

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la recherche Scientifique

Université Ammar Telidji de Laghouat

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عمار تليجي بالأغواط

كلية العلوم

قسم العلوم الفلاحية

Polycopie pédagogique du Cours

Aliment et Base de la Technologie Alimentaire (ABTA)

Présenté par

Djokhdem Laid

DOCTEUR EN SCIENCES VETERINAIRES

Filière : Science Agronomique

Option : Sciences Alimentaires (ScA)

Licence académique (LMD) en spécialité : 2^{em} Sciences alimentaires (ScA)

Année Universitaire : 2024-2025

Préambule

Ce document est un outil pédagogique conçu pour s'aligner sur le programme d'études officiel en vigueur, en se concentrant sur les fondamentaux de la technologie alimentaire. Il est le résultat de mon expérience personnelle et des connaissances acquises lors de mes cours sur les bases de la technologie alimentaire. Son objectif principal est de fournir aux étudiants une ressource complète et pratique couvrant toutes les connaissances nécessaires. Le document est organisé comme un cours détaillé, comprenant des exercices guidés sous forme de test. Dans un souci de clarté et d'efficacité pédagogique, le langage utilisé est volontairement accessible, permettant aux étudiants d'assimiler rapidement et facilement le contenu.

Public cible :

Ce polycopié de cours a été rédigé à l'intention des étudiants de 2eme année en spécialité science alimentaire (SC A).

Prérequis :

Les Etudiants doivent avoir des prérequis concernant les connaissances de base sur le système alimentaire. Il est indispensable aussi de faire un rappel des notions fondamentales.

Objectifs de l'enseignement :

- ✓ Initiation aux définitions de base de l'aliment et à la multitude des groupes alimentaires et des degrés et processus de transformation. A l'issu de cet enseignement l'étudiant sera capable de différencier les groupes alimentaires et de connaître les caractéristiques ainsi que les bases de leurs fabrications et de transformation de la matière première agricole.
- ✓ De procurer à l'étudiant les bases théoriques des opérations unitaires (distillation, évaporation, cristallisation et les techniques de séparation membranaires) ainsi que les applications pratiques industrielles en mettant l'accent sur des applications en industries agroalimentaires.
- ✓ La bonne description d'un procédé et ses opérations unitaires.

Ces objectifs visent à doter les apprenants d'une compréhension approfondie des principes régissant le traitement, la conservation et la sécurité des aliments, tout en mettant en évidence l'importance stratégique de la technologie alimentaire dans la vie courante et au sein de l'industrie agroalimentaire à l'échelle internationale.

Continu de la matière

1. Caractères généraux des aliments
2. Les groupes alimentaires
3. Introduction aux technologies de transformation et de production des aliments
4. Les opérations unitaires des procédés alimentaires
5. Effets de la transformation sur la qualité des aliments

Mode d'évaluation : Contrôle continu, examen, etc

Sommaire

Préambule.....	I
Sommaire	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux.....	IV
Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1 :	3
Caractères généraux des aliments	3
Introduction	4
I.Définition d'un Aliment.....	5
II.Energie.....	5
1.Balance énergétique	5
2.Composantes de la dépense énergétique	6
3.Energie d'un aliment :	7
III. Les protéines	7
1.Rôles des protéines.....	7
2.Métabolisme des protéines	8
3.Besoins en protéines.....	8
4.Interaction avec d'autres nutriments :	8
5.Les apports recommandés des proteines	9
IV. Les lipides et acides gras.....	9
1.Rôles des acides gras en général :	9
2.Métabolisme des acides gras.	10
3.Besoins et apports conseillés.....	10
V. Les glucides.....	11
1.Rôle	12
2.Métabolisme	12
3.Index Glycémique (IG)	13
VI.Les fibres alimentaires	14
VII.Les sels minéraux	15
Conclusion.....	19
CHAPITRE 2 : Les groupes d'aliments	20

I.Objectifs	21
II.Introduction.....	21
III.Les groupes alimentaires	21
1.Groupe des viandes	22
1.1. Viandes.....	22
1.2. Poissons.....	23
1.2.1.Avantages de consommer du poisson bleu.....	23
1.2.2.Avantages de consommer du poisson blanc.....	24
1.3.Œufs	24
2.Groupe des produits laitiers.....	24
3.Matières grasses	25
3.1. Matières grasses d'origine animale	25
3.2. Huiles et margarines.....	26
4.Légumes et fruits.....	26
4.1.Légumes	26
4.2.Fruits.....	27
5.Céréales et féculents.....	28
5.1.Céréales et dérivés.....	28
5.2.Légumineuses.....	28
6. Groupe des boissons.....	30
6.1. L'eau.....	30
6.2. Boissons sucrées.....	30
6.3. Le thé, le café	30
6.4. Les jus de fruits	30
IV.L'étiquetage alimentaire.....	30
a.L'étiquetage informatif.....	31
b.Les mentions obligatoires.....	31
V.Qualité alimentaire	32
Conclusion.....	34
Test chapitre I et II.....	35
CHAPITRE 3 : Introduction aux technologies de transformation et de production des aliments	37
I.Objectifs pédagogiques	38
II.Introduction	38

III.Quelques définitions.....	39
IV. Quelques Exemples de quelques technologies	42
V.Conclusion.....	49
CHAPITRE 4 : Opération unitaire	50
1.Opérations unitaires des modifications chimiques.....	53
1.1.Conservation par les agents dépresseurs	53
1.2.Opérations unitaires mécaniques.....	54
1.2.1.Fragmentation.....	54
1.2.2.Criblage	56
1.3.Opérations unitaires physiques.....	57
1.3.1.Extraction	57
1.4.Opération unitaire des traitements post-récolte et post-mortem des matières premières alimentaires	58
1.4.1.Opérations primaires dans le traitement post récolte	59
1.4.1.1.Le nettoyage	59
1.4.1.2.Tri.....	59
1.4.1.3.Calibrage	60
1.4.1.4.Épluchage	60
1.4.1.5.Blanchiment	61
1.4.1.6.Sulfitage	61
1.4.2.Les phases des modifications post-mortem après l'abattage.	62
1.4.2.1.Phase pré-rigor (état pantelant)	63
1.4.2.2.Phase de rigor mortis (état de rigidité cadavérique).....	63
1.4.2.3.Phase post-rigor (état de maturation)	64
1.5.Les procédés de conservations	65
1.5.1.Méthodes physiques :	65
1.5.1.1.Conservation par la chaleur.....	65
1.5.1.2.Conservation par le froid.....	67
1.5.1.3.Méthodes physico-chimiques :	69
1.5.1.4.Réduction de l'activité de l'eau	69
1.5.2.Lyophilisation.....	71
1.5.3.L'abaissement du pH.....	72
1.5.4.Méthodes microbiologiques :	72
1.5.4.1.La fermentation	73

CHAPITRE 5 :Les Effets du Traitement des Aliments sur la Qualité Alimentaire

Introduction	76
1.Impact du traitement des aliments sur la qualité nutritionnelle	77
2.Effets du Traitement des Aliments <u>sur</u> les Propriétés Sensorielles	78
3.Effets du Traitement des Aliments sur la Sécurité et la Durée de Conservation	79
4.Changements Physiques et Chimiques dans les Aliments Pendant le Traitement	80
5.Types de Traitement des Aliments et Leurs Effets Spécifiques.....	80
Conclusion.....	82
Conclusions generale.....	83
References bibliographiques	85

Liste des figures

Figure 1: Diagramme de fabrication du lait pasteurisé.....	41
Figure 2: Schéma général d'un procédé de transformation industriel	52
Figure 3: Exemple d'opération unitaire de modification chimique.....	54
Figure 4: Exemple d'opération unitaire de modification mécanique	54
Figure 5: Compression ou compression- friction	55
Figure 6: Cisaillement	55
Figure 7: Choc contre une paroi	55
Figure 8: Choc mutuel entre deux particules	55
Figure 9: Surfaces de criblage (Blanc, 1980)	60
Figure 10: Réactions chimiques (composés, enzymes, métaboliques) et changements post-mortem de la viande en état de rigidité cadavérique.	64
Figure 11: Installation complète d'une ligne de pasteurisation du lait	66
Figure 12: Aliments et durée de conservation	68
Figure 13: Plages de tolérance au pH des principaux groupes de microorganismes	72

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs caloriques des nutriments:	7
Tableau 2: Classification des Glucides selon leur Structure et leurs Sources Alimentaires	12
Tableau 3: Rôle des vitamines:	18
Tableau 4: Substances extractibles fréquemment rencontrées dans les matières premières alimentaires.....	59

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

L'alimentation constitue l'un des éléments essentiels de l'existence humaine, servant non seulement de source d'énergie et de nutriments, mais également de fondement à la culture, à l'économie et au développement des sociétés. Avec l'accroissement des populations et l'évolution des modes de vie, la demande en produits alimentaires sûrs, nutritifs et durables s'est considérablement intensifiée. Cette évolution met en lumière le rôle fondamental de la technologie alimentaire, une discipline qui applique les principes scientifiques à la transformation, à la conservation et à l'innovation des produits alimentaires.

L'étude des aliments et des bases de la technologie alimentaire permet de comprendre de manière intégrée les propriétés physiques, chimiques et biologiques des denrées alimentaires, ainsi que les méthodes utilisées pour préserver leur qualité et leur sécurité depuis la production jusqu'à la consommation. La science et la technologie des aliments consistent à comprendre et à appliquer la science pour répondre aux besoins de la société en matière de qualité alimentaire durable, de sécurité et de sûreté de l'approvisionnement.

Ce module introduit donc les concepts fondamentaux qui relient la science des aliments à ses applications technologiques, posant ainsi les bases nécessaires à l'étude approfondie de domaines tels que la microbiologie, la biochimie, les techniques de transformation et les innovations durables dans le secteur alimentaire.

CHAPITRE 1 :

Caractères généraux des aliments

Introduction

Les aliments sont essentiels à la survie humaine, fournissant les nutriments et l'énergie nécessaires pour soutenir les fonctions corporelles. Les caractéristiques des aliments sont multiples, englobant leur valeur nutritionnelle, leurs propriétés physiques et leurs qualités sensorielles. Ces caractéristiques, telles que le goût, la texture, la couleur et l'arôme, influencent non seulement nos préférences alimentaires, mais jouent également un rôle important dans la digestion et la santé générale. De plus, les aliments peuvent être classés en fonction de leur origine, de leur composition et de leurs méthodes de préparation, ce qui contribue à la diversité de ce que nous consommons au quotidien. Ce chapitre explorera les caractéristiques générales des aliments, mettant en lumière leur rôle crucial dans le maintien de la vie, la promotion du bien-être et l'influence des pratiques culturelles.

I. Définition d'un Aliment

- ❖ **Les aliments** : substances ingérées nécessaires au développement, au fonctionnement, à la construction des réserves et à la réparation de l'être humain. les aliments ingérés libèrent des nutriments nécessaires au fonctionnement des cellules. celles-ci ont besoin d'une diversité de nutriments et d'apports quantitativement équilibrés.

Selon l'article 2 du règlement (CE) n° 178/2002,

- ❖ « On entend par denrée alimentaire (ou aliment), toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain.
- ❖ Les aliments sont composés de grosses molécules complexes (glucides, lipides, protéines sont des molécules complexes contenues dans les aliments) formées par l'assemblage de nutriments « briques » élémentaires ,sucres simples, acides gras, acides aminés sont des nutriments.

II. Energie

La dépense énergétique **peut varier** au cours de la journée en **fonction de l'activité**, d'un jour à l'autre. Il y a aussi des variations en fonction de **facteurs intrinsèques et de l'environnement**.

Le besoin en énergie est : « **La quantité d'énergie nécessaire pour compenser ses dépenses énergétiques et assurer une taille et une composition corporelle compatibles avec le maintien à long terme d'une bonne santé et une activité physique adaptée au contexte économique et social** ».

1. Balance énergétique

Il y a deux compartiments dans l'organisme :

- Compartiment métaboliquement actif qui est représenté par la masse maigre (consommateur d'énergie)
- Compartiment de réserve d'énergie : masse grasse

La balance énergétique est la balance entre apports énergétiques et dépenses énergétiques, elle est représentative du bilan énergétique : On a un équilibre : Si énergies = dépenses

- Si les apports sont inférieurs aux dépenses, on va utiliser la masse grasse pour compenser le manque d'énergie ; il y aura donc perte de poids.
- Si les apports sont supérieurs aux dépenses, il y aura synthèse de tissus pour stocker l'énergie non utilisée et donc prise de poids.

Qu'est-ce que l'énergie ?

Quand on pense à l'énergie, il faut penser au travail fourni, c'est-à-dire une force par un déplacement que l'on exprime par une puissance W (joules) = F/d .

L'ATP est la molécule la plus riche en énergie, son hydrolyse est accompagnée d'une perte d'énergie sous forme de chaleur.

2. Composantes de la dépense énergétique

a) Métabolisme de base :

Représente 60% des dépenses énergétiques journalières (DEJ). C'est la dépense d'énergie mesurée chez un sujet à jeun, qui est au repos depuis 12h, qui est éveillé dans des conditions de thermoneutralité. **Cette énergie assure en fait les fonctions vitales de base.**

b) Thermorégulation :

C'est une fonction vitale qui est sous contrôle hormonal. Si la température augmente de 1°C alors le métabolisme augmente de 10% car cela est dû à une augmentation de la vitesse enzymatique (raison partielle). À une température plus élevée, les molécules d'eau et autres substrats se déplacent plus rapidement, ce qui peut accélérer les réactions catalysées par les enzymes. Cependant, au-delà d'une certaine température, les enzymes peuvent se dénaturer et perdre leur fonction.

c) Thermogenèse :

Au repos, le fait de manger provoque une dépense énergétique. Cette dépense varie en fonction de la composition du régime alimentaire et aussi de la quantité ingérée (activité dynamique spécifique des aliments due à l'absorption, digestion, stockage, transformation en nutriments) : glucides 5 à 10 %, graisses 0 à 2 % (provoque de dépenses énergétiques), protéines 20 à 30 %. Les protéines demandent le plus d'énergie pour être digérées et métabolisées, suivies des glucides et des graisses.

d) Activité physique :

C'est le mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui entraîne une augmentation substantielle de la dépense d'énergie au-dessus de la dépense énergétique de repos.

3. Energie d'un aliment :

L'énergie brute est la quantité de chaleur produite par la combustion d'un gramme de cet aliment dans un calorimètre sous pression d'oxygène.

Elle s'exprime en calories (unités de chaleur) ou en joules par g d'aliment.

Une calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température de 1g d'eau de 14,5 à 15,5°C.

1 Kcal = 4,185 KJ ; inversement 1 KJ = 0,239 Kcal.

L'expression en mégajoules (MJ) est utilisée pour le besoin énergétique journalier :

1 MJ = 100 KJ = 239 Kcal.

Quand on digère un aliment, on libère des nutriments : les 2 nutriments les plus énergétiques sont les **glucides et les lipides**.

L'alcool est utilisé dans les voies métaboliques classiques quand il est consommé modérément.

Valeurs caloriques des nutriments : voir le tableau I

Tableau I: Valeurs caloriques des nutriments:

Nutriments	KJ / gramme	Kcal / gramme
Glucides	17	4
Protéines	17	4
Lipides	38	9
Ethanol	29	7

III. Les protéines

Les protéines sont les constituants fondamentaux de tous les tissus vivants, elles sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme (certaines hormones, enzymes et anticorps sont des protéines). Beaucoup d'acide aminé existent mais seuls 20 d'entre eux participent à la synthèse des protéines de l'homme. Environ 95% de l'azote corporel est présent sous forme de protéines ; le reste est sous forme d'AA libres ou d'urée, de nucléotides... Cet azote va nous permettre de doser la masse protéique de l'organisme vivant.

1. Rôles des protéines

- Structural : ex au niveau du muscle, membranes cellulaires, mucus, trame osseuse,

phanères, ...

- Métabolique, fonctionnel : ex communication intercellulaire, enzymes, transport, récepteurs, hormones, immunité (Ig), la glutamine est un précurseur des bases puriques et pyrimidiques.
- Energétique = très limité : apport en protéine relativement stable varie de 50 à 100 g de protéines / jour = $4\text{Kcal} \times 100 = 400 \text{ Kcal}$ maximum. Ce qui est faible par rapport aux apports énergétiques journaliers.
- Précurseurs de nombreux dérivés protéiques comme les purines.
- Elaboration de tissus, croissance : un enfant en carence en protéines ne peut pas rattraper son retard de croissance ; il a besoin d'un bilan azoté positif.
- Processus inflammatoire

2. Métabolisme des protéines

Résulte d'un échange dynamique et constant entre le compartiment des protéines et le compartiment des AA libres (compartiment très petit par rapport à la réserve qu'il y a au niveau des protéines corporelles). On parle de protéosynthèse et de protéolyse qui libère des AA lors de la digestion.

3. Besoins en protéines

Le besoin physiologique en protéines pour un individu correspond à l'apport alimentaire en protéines le plus faible qui permet d'équilibrer les pertes azotées de l'organisme d'un adulte qui est en équilibre énergétique à un niveau d'activité physique modéré.

4. Interaction avec d'autres nutriments :

- Les besoins en vitamines B6 sont augmentés si l'alimentation est riche en protéines (B6 = cofacteur de la transaminase des AA).
- Folate et vitamine B12 interviennent dans le métabolisme de la méthionine => perturbation du métabolisme si carence.
- Une carence en minéraux provoque des problèmes au niveau du métabolisme des protéines, car ils sont des cofacteurs dans de nombreux systèmes enzymatiques intervenant dans le métabolisme des protéines
- Les antioxydants (oligoélément et polyphénol) protègent les protéines et améliorent ainsi le métabolisme.

5. Les apports recommandés des protéines

Selon l'OMS : la moyenne des besoins protéiques pour un adulte = $0,6\text{g} / \text{kg} / \text{jour}$ Ou un apport conseillé de $0,8\text{g} / \text{kg} / \text{jour}$ de protéines de qualité.

- Pour une femme enceinte : $+ 20\text{g/j}$ en fin de grossesse
- Pour une femme allaitante : 1.49g/kg/j
- Pour les personnes âgées : 1g/kg/j (état d'inflammation constant qui augmente les besoins car stimule le catabolisme).

L'apport en protéines permet de combler entre 9 et 12 % des apports énergétiques journaliers, cet apport tient compte de la qualité moyenne des protéines.

Un léger excès n'est pas grave mais un régime hyperprotéinique chez l'adulte entraîne une perte de calcium (Ca) et un risque d'obésité chez l'enfant.

Dans l'alimentation, on trouve des protéines d'origine végétale et animale. Pour avoir un bon équilibre, on a besoin des deux.

- Chez les végétaliens : que des protéines végétales : il faut une énorme connaissance de la composition des aliments car les substances végétales ont des facteurs limitants : par exemple des céréales dont le facteur limitant est la lysine mais qui sont par contre riche en AA soufrés. Pour les légumineuses, c'est l'inverse. Donc on combine les deux pour avoir un équilibre.
- Chez les végétariens : il est recommandé d'ajouter des œufs, lait et poissons.

La consommation de trop de protéines d'origine animale entraîne un excès de certaines protéines et de matières grasses.

IV. Les lipides et acides gras

Ils sont aussi appelés corps gras ou encore matières grasses. C'est un groupe de substances hétérogènes, mais toutes sont insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques. Ils se présentent essentiellement sous deux formes dans le corps : les triglycérides (TG) et les phospholipides. Ils sont composés par des acides gras (AG). Les lipides peuvent contenir aussi du cholestérol et autres molécules.

1. Rôles des acides gras en général :

les acides gras ont des rôles très importants :

- Structural : les phospholipides sont les constituants universels des membranes cellulaires (fluidité et déformabilité des membranes avec répercussion sur l'activité des protéines membranaires comme les récepteurs, transporteurs et enzymes).
- Energétique : les lipides sont les nutriments les plus denses au niveau énergétique (9 kCal/g)

N.B : on utilise nos réserves en graisse quand les réserves en énergie provenant du glucose sont épuisées.

- Gustatif : Ils sont porteurs d'arômes, la teneur élevée en graisse correspond au goût des consommateurs.
- Précurseur : les acides gras (AG) essentiels sont des acides gras que l'organisme humain ne peut pas synthétiser, et qui doivent donc être obtenus à partir de l'alimentation, sont les précurseurs de substances très spécifiques comme les prostaglandines, les prostacyclines, les thromboxanes et les leucotriènes.
- Véhicule : pour un apport adéquat en vitamines liposolubles, d'origine des viandes rouges ou des œufs.

2. Métabolisme des acides gras.

Pour produire de l'énergie à partir des AG, le corps effectue un catabolisme oxydatif des AG. Si le foie produit de l'énergie en excès, celle-ci est remise en réserve sous forme de triglycéride dans le tissu adipeux.

On sait que pour être complètement absorbés, les TG doivent être décomposés en glycérol et AG, puis sont recomposés au niveau des entérocytes après avoir été absorbé. Ils forment les chylomicrons qui vont au foie.

- Besoin d'énergie : catabolisé en AG.
- Pas besoin d'énergie : stockage dans le tissu adipeux.

3. Besoins et apports conseillés

- **Acide Z-Z linoléique (ω 6):** 3 à 4 % du contenu énergétique d'un régime correspond à un niveau satisfaisant pour prévenir une carence. Cela correspond à **10g/j**.
- **Acide α -linolénique (ω 3) :** 0.8 % de l'apport calorique total, soit **2g/j**.

Il est nécessaire d'avoir un rapport optimal entre la famille des (ω 6) et des (ω 3): celui-ci est donc de 5 : (ω 6) = 10g/j et (ω 3)= 2g/j

- **AG mono insaturés (AGMI) : ex : huile d'olive**

Les AGMI sont synthétisés par l'homme donc les carences sont rares.

➤ **AG saturés**

Ils sont synthétisés par l'homme ; ils jouent rôles au niveau cardiovasculaire et hypocholestérolémiant.

L'apports en AG saturés sont fixés à **8%** de l'apport énergétique total.

➤ **Cholestérol**

C'est une substance vitale mais en cas d'excès il y a des risques cardiovasculaires. Si on fait augmenter les HDL-cholestérol, on a un effet protecteur et si on fait baisser LDL-cholestérol on a un statut cardiovasculaire qui s'améliore.

les AG saturés favorise la synthèse endogène de cholestérol, et **les AG poly insaturés freine la synthèse endogène de cholestérol.**

L'apport en cholestérol : **200 à 300 mg de cholestérol/j. Rôle du cholestérol :**

- Constitution de la membrane cellulaire
- base de la synthèse des hormones stéroïdiennes
- précurseur des acides biliaires.

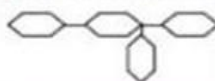
En conséquence, on limite l'apport en cholestérol que chez les patients qui ont de l'hypercholestérolémie.

V. Les glucides

Saveur sucrée variable. Ce sont des composants organiques composés des atomes C,H,O.

Aucun constituant de cette famille n'a été considéré comme indispensable ou éléments qui ne peuvent pas être synthétisés par le corps. Mais ils jouent un rôle important au point de vue physiologique, bien être...voir tableau II.

Tableau II: Classification des glucides selon leur structure et leurs sources Alimentaires:

Groupe	Exemple de biomolécules	Sources	Formule chimique
Oses ou glucides simples 	Glucose	• Fruits, miel, confiture, c'est aussi le nutriment issu de la digestion des glucides	$C_6H_{12}O_6$
	Fructose	• Fruits, miel	
	Galactose	• Lait	$C_6H_{12}O_6$
	Ribose	• Acide ribo-nucléique	$C_5H_{10}O_5$
Diholosides ou glucides composés 	Maltose (glucose + glucose)	• Orge, c'est aussi le produit intermédiaire de la digestion de l'amidon	$C_{12}H_{22}O_{11}$
	Lactose (glucose + galactose)	• Lait	
	Saccharose (glucose + fructose)	• Betterave sucrière, canne à sucre	
Polyholosides ou glucides complexes 	Amidon	• Riz, pâtes, pain, céréales, féculents, blé et dérivés	$(C_6H_{10}O_5)_n$
	Cellulose	• Fibres végétales, légumes fruits, céréales	
	Glycogène	• C'est la forme de stockage du glucose dans le foie et le muscle	

1. Rôle

- Structural : ribose et désoxyribose dans les acides nucléiques mucopolysaccharides dans différents mucus.
- Énergétique : il représente le nutriment énergétique par l'excellence de l'énergie apporté, facilement utilisable impliquant peu de réactions intermédiaires. 1g de glucides = 4 kCal.
- Capacité de cerveau : effet sur la mémoire. Améliore la mémoire. Le cerveau se nourrit presque strictement de glucose.
- Régulation pondérale : les régimes riches en glucides facilitent cette régulation. La densité énergétique de l'alimentation est un déterminant important de l'apport énergétique de l'homme.
- Activité sportive : le muscle utilise le glycogène-glucose.
- Capacité physique dépend des réserves en glycogène.

Nos besoins quotidiens en glucides sont de 4 grammes par Kg de poids et par jour.

Dans un régime alimentaire équilibré, l'apport énergétique devrait comporter 50 % à 55% de glucides

2. Métabolisme

Tous les glucides apportés par les aliments sont hydrolysés pour être transformés en oses, (seuls absorbables au niveau de la barrière digestive). Ces oses sont transformés en glucose. Il y a un système hormonal dépendant qui fait pénétrer le glucose dans les cellules : c'est l'insuline. Ensuite,

- Si besoin d'énergie, il y a le cycle de Krebs
- Si pas besoin, il y a stockage

3. Index Glycémique (IG)

La glycémie, c'est la quantité de « sucre », (en réalité du glucose) contenu dans le sang. Lorsque l'on est à jeun, la glycémie est environ de 1g de glucose par litre de sang.

Les glucides à absorption lente entraînent une élévation lente et progressive de la glycémie.

Au contraire, la consommation des sucres à absorption rapides provoque souvent une hyperglycémie avec une assez forte sécrétion d'insuline qui peut déclencher une réaction d'hypoglycémie secondaire.

L'index glycémique mesure la capacité d'un glucide donné à élever la glycémie après le repas par rapport à un standard de référence qui est le glucose pur.

- ❖ **Calcul de l'index glycémique :** -on fait ingérer à une personne 50g de glucose pur et on mesure sa glycémie pendant 3h → courbe 1
- On fait de même en faisant ingérer 50g d'un aliment dont on veut connaître l'index glycémique (pendant 3h aussi) → courbe 2 => l'index glycémique de cet aliment est le rapport des 2 courbes.

Trois catégories d'aliment : IG < 50 bas, IG entre 50 et 70 moyen, IG > 70 élevé

➤ Les variations de l'index glycémique :

- **Le processus de fabrication :** de manière générale, plus le produit a été "raffiné" (c'est à dire transformé) plus l'IG est élevé. Ainsi, l'index glycémique du pain fait avec de la farine de blé est plus élevé que celui des pâtes réalisées avec de la semoule de blé dur.
- **L'hydratation et la chaleur :** ils ont pour effet d'augmenter l'index glycémique d'un aliment. Par exemple ; - La carotte a un index glycémique de 30 quand elle est crue. Dès qu'elle est bouillie dans l'eau son index grimpe à 85 du fait de la gélatinisation de son amidon.
- **Le contenu en protéines et en fibres :** pour certains glucides, le contenu naturel en protéines peut être à l'origine d'une moindre hydrolyse (digestion) des amidons et en conséquence d'une diminution de l'index glycémique. C'est notamment le cas de la famille des céréales. Le phénomène est particulièrement évident dans le cas des pâtes alimentaires. La présence de gluten ralentit en effet l'action des amylases digestives ce qui limite d'autant l'absorption de glucose.

Quels conseils donner ?

Pour protéger la santé, vous pouvez conseiller :

1. D'augmenter la contribution des glucides complexes en donnant une plus grande place aux féculents dans l'alimentation quotidienne : insister sur l'intérêt des féculents pour assurer la sensation de rassasiement, signal essentiel de la régulation de la prise alimentaire.
2. De réduire la contribution des glucides simples en modérant la place des aliments sucrés :
 - Les sodas
 - Les pâtisseries, les viennoiseries, les sucreries, les glaces, les crèmes dessert, les barres chocolatées. Sans les exclure de l'alimentation, il est recommandé de limiter la consommation de ce type d'aliments au profit d'aliments plus favorables tels que des fruits et de l'eau.

VI. Les fibres alimentaires

Les fibres sont des glucides que l'organisme ne peut ni digérer ni assimiler, et de ce fait, elles ne fournissent pas d'énergie comme les autres glucides. Elles proviennent de différentes sources alimentaires : son (l'enveloppe) des céréales, légumes et légumineuses, fruits et graines oléagineuses. Il existe deux types de fibres :

1. Fibres solubles (les pectines, les gommes et les mucilages)

Ces fibres plus douces, solubles forme comme un gel, en leur présence le milieu s'épaissit ou gélifie. Elles forment une sorte de gel pendant la digestion et permettent :

- De prévenir la constipation.
- De diminuer l'absorption du cholestérol et des graisses alimentaires. En diminuant l'absorption des graisses et en réduisant le LDL-cholestérol sanguin et les triglycérides, elles jouent un rôle dans la diminution des maladies cardio-vasculaires.
- De ralentir la digestion des glucides. En freinant la montée de la glycémie (taux de sucre sanguin), leur consommation aurait un impact important sur la prévention du diabète de type 2.

Douces pour les intestins, elles peuvent être conseillées chez les personnes ayant des intestins fragiles ou un côlon irritable. Elles stimulent moins le transit que les fibres insolubles. Elles prolongent la sensation de satiété et permettent ainsi d'avoir faim moins rapidement et de mieux gérer son poids. Les fibres solubles favorisent également l'équilibre de la flore intestinale et seraient ainsi préconisées dans la prévention des risques de cancers digestifs et en particulier de cancer colorectal.

2. Fibres insolubles

La cellulose, l'hémicellulose et la lignine sont des fibres insolubles. Elles se retrouvent dans la peau, les graines, les légumes feuilles et les racines. En absorbant l'eau, elles gonflent et augmentent le volume des selles et stimulent ainsi les contractions intestinales. En accélérant le transit et la fréquence des selles, elles permettent de lutter contre la constipation. Leur consommation n'est donc pas à recommander en cas de diarrhées ou de selles molles. Les fibres alimentaires, notamment les fibres dures, ont un fort pouvoir hydrophile, c'est-à-dire qu'elles peuvent gonfler en absorbant jusqu'à 20 fois leur poids en eau.

Cette grande capacité à gonfler et retenir l'eau le long de leur trajet dans l'estomac et l'intestin facilite la réduction de la quantité des prises alimentaires et permet d'augmenter le volume des selles, ce qui accélère le transit intestinal.

3. Principales propriétés physiologiques des fibres alimentaires

- **Régulation de la fonction intestinale** : Les fibres alimentaires aident à maintenir un transit intestinal régulier et à prévenir la constipation, favorisant ainsi une meilleure santé digestive.
- **Contrôle de la glycémie** : Les fibres, en particulier les fibres solubles, ralentissent l'absorption des sucres, aidant à maintenir un taux de sucre sanguin stable et à prévenir les pics de glycémie après les repas.
- **Amélioration du métabolisme du cholestérol et des TG** : Certaines fibres contribuent à la réduction du cholestérol LDL et des triglycérides en se liant aux acides biliaires, améliorant ainsi le profil lipidique.
- **Effet sur la satiété et faible apport énergétique** : Les fibres augmentent la sensation de satiété, ce qui aide à contrôler l'appétit. De plus, leur faible teneur en calories favorise la gestion du poids.
- **Propriétés prébiotiques** : Les fibres prébiotiques nourrissent les bactéries bénéfiques de l'intestin, favorisant ainsi l'équilibre du microbiote intestinal et la santé digestive.

VII. Les sels minéraux

Les sels minéraux et les oligoéléments sont des composants de l'organisme, d'origine minérale. Il n'y a pas de différence bien établie entre eux si ce n'est leur teneur dans le corps.

Les sels minéraux existent en quantités relativement élevées dans l'organisme (de l'ordre de plusieurs grammes): ce sont **le calcium, le sodium, le magnésium, le phosphore et potassium**.

Les oligoéléments, au contraire, sont présents en très petites quantités dans l'organisme, et même pour certains seulement à l'état de traces : ce sont **le fer, le zinc, le fluor, le cuivre, l'iode, le manganèse, le cobalt, le sélénium, le vanadium, le molybdène, le chrome...etc.**

1. Leurs rôles

Les rôles joués par ces minéraux sont variables et divers :

- ✓ Constitution des tissus,
- ✓ Régulateur des mouvements d'eau,
- ✓ Rôle dans l'excitabilité neuromusculaire,
- ✓ Élaboration des hormones, des enzymes, etc... soit par incorporation directe, soit par un mécanisme catalytique.
- ✓ Les glucides, les lipides, les protéines et les vitamines ne peuvent être apportés au corps humain que si celui-ci dispose de suffisamment de sels minéraux.

Par exemple le Calcium, le Phosphore servent à fabriquer la matière vivante et entrent dans sa composition, le Cuivre ou le Chrome ne sont utilisés que comme accélérateurs de réactions enzymatiques (catalyseurs). Leur rôle est essentiel dans la fabrication des protéines, le transport de l'oxygène et dans la régulation du taux de sucre par l'insuline.

2. Apports énergétiques et calorique

les sels minéraux ne sont pas une source énergétique

3. Sources dans l'alimentation

Comme le rein les élimine quotidiennement, notre alimentation doit en apporter chaque jour des quantités suffisantes.

Les sels minéraux sont apportés principalement par les aliments d'origine végétale. Les principaux sont les sels de calcium dans le lait, le fromage, les végétaux frais. Fer, dans le persil, le foie de veau, les légumes secs ; il est essentiel dans la composition des globules rouges. Phosphore dans la viande, le poisson, les œufs et qui est utilisé dans la formation des cellules nerveuses du cerveau. Le mode de cuisson est important pour la conservation des minéraux: la cuisson à la vapeur n'altèrent pratiquement pas les minéraux.

Des carences peuvent être liées à un apport insuffisant (parfois d'origine géologique) ou à une modification de la digestibilité des oligoéléments : additifs alimentaires, cuisson inadéquate, médicaments, Il faut, comme pour les vitamines, éviter tout surdosage.

IIV. Les vitamines

Les vitamines sont des substances organiques, sans valeur énergétique propre, qui sont nécessaires à l'organisme et que l'homme ne peut synthétiser en quantité suffisante. Elles doivent être fournies par l'alimentation. Treize substances répondent à cette définition. Il s'agit

d'un groupe de molécules chimiquement très hétérogènes. Ce sont des substances de faible poids moléculaire.

Les besoins quotidiens en vitamines ne sont que de quelques fractions de microgramme à quelques milligrammes. Ceci est dû au fait que la plupart agissent comme des coenzymes ou des cofacteurs au cours des réactions enzymatiques. À la différence des oligo-éléments, ce sont des substances organiques. Les vitamines doivent être apportées en faible quantité dans l'alimentation. Quelques vitamines ont d'autres sources pouvant remplacer les apports alimentaires : exposition de la peau aux ultraviolets solaires pour la vitamine D,(tableau III).

Tableau III: Rôles des vitamines

Les Vitamines hydrosolubles

Molécules	Besoin d'un adulte en bonne santé	Où la trouver ? (Source)	Fonctions dans l'organisme
Vitamine C (Acide ascorbique)	110 mg / jour	Fruits (kiwi, agrumes, fraises, fruits rouges) Légumes (persil, poivron, oseille, chou-fleur, pomme de terre, épinard, fenouil)	-Participe à la synthèse du collagène et du tissu conjonctif, à la synthèse d'hormones. -Augmente l'absorption du Fe d'origine végétale. -Joue un rôle dans l'immunité. -Intervient dans de nombreuses réactions biochimiques avec un pouvoir antioxydant.
Vitamine B1 (Thiamine)	1,1 à 1,3 mg / jour	levure de bière, viande de porc, germes de blé, légumes secs (pois, lentilles ou haricots), abats, noisettes, noix, amandes, céréales complètes et pommes de terre	-Participe à des réactions enzymatiques. -Intervient dans la transmission de l'influx nerveux. -Participe à l'intégrité de la fonction cardiaque ainsi que des tissus nerveux et digestifs. -Indispensable au métabolisme des glucides. -Favorise la croissance.
B2 (Riboflavine)	1,5 à 1,6 mg / jour	abats (foie, rognons), fruits secs et oléagineux (raisins secs), champignons, lait et fromages affinés (camembert, bleu d'Auvergne), pain complet	-Intervient dans le métabolisme des glucides, des lipides et des protéines. -Améliore la qualité des organes. -Favorise la croissance. -Possède un pouvoir antioxydant.
B3 ou PP (Niacine)	10 à 15 mg / jour	abats (foie, rognons, cœur), viandes blanches, œufs, poissons et champignons.	-Entre dans la composition de nombreux systèmes enzymatiques. -Indispensable au bon fonctionnement cellulaire.
B5 (Acide pantothénique)	5 mg / jour	La plupart des aliments en contiennent : abats, champignons, viandes, jaune d'œuf, amandes, noix et noisettes.	-Bon développement de la peau, des cheveux, des muqueuses et du système immunitaire. -Participe aux mécanismes de résistance au stress. -Métabolisme des glucides et des lipides.
B6 (Pyridoxine)	1,5 à 1,8 mg/jour	abats, viande de porc et de mouton, œufs, poisson, légumes secs, céréales complètes.	-Rôles multiples dans le système nerveux. -Synthèse de l'hémoglobine. -Construction des tissus.
B8 (Biotine)	50 µg/jour	Très répandue dans les aliments : levure de bière, abats (foie de poulet, rognons), viandes (agneau, mouton, porc), laitages, jaune d'œuf, champignons, lentilles, légumes frais (haricot vert, épinard), banane, cacahuètes, noix. -Une partie de la vitamine B8 est produite par la flore intestinale	-Participe au mécanisme énergétique. -Coenzyme pour de nombreuses enzymes (les carboxylases) qui catalysent des réactions de carboxylation, décarboxylation et de désamination. -Intervient dans le métabolisme lipidique et au cours de la biosynthèse des AG dans le foie. -Joue un rôle dans le catabolisme des glucides et dans la synthèse de certains AA (notamment l'acide aspartique) ce qui a pour conséquence une production d'énergie.
B9 (Acide folique ou folates)	300 µg/jour Femmes enceintes : 400 µg/jour	son nom du latin « folium » (feuille) car elle est présente en grande quantité dans les légumes verts à feuille (Laitue, endives, choux, poireaux, artichauts, haricots verts), petits pois, melon, radis, asperges, betteraves, courgettes, avocats, lentilles, œufs, foie, fromages.	-Indispensable pour prévenir certaines malformations congénitales chez l'embryon. -Joue un rôle majeur dans la synthèse de l'ADN en participant à la synthèse des purines entrant dans la composition des ADN et ARN. -Nécessaire au bon fonctionnement du système nerveux central et celui du système immunitaire.
B12 (Cobalamines)	2,4 µg/jour	abats (foie, rognons, cervelle, cœur) et viande de bœuf, lait, produits laitiers, les œufs, poissons et crustacés.	-Antianémique. -Favorise la formation des globules rouges du sang. -Participe à la synthèse protéique.

Les Vitamines liposolubles

Molécules	Besoin d'un adulte en bonne santé	Où la trouver ? (Sources)	Fonction pour l'organisme
Vitamine A et Provitamine A (Rétinol et autres composés. Caroténoïdes)	800 équivalents rétinols	-Présente uniquement dans les aliments d'origine animale, surtout le foie mais aussi le beurre, le thon, jaune d'œuf... Le carotène est transformé en vitamine A dans l'organisme.	-Elle est indispensable à la vision et à la croissance de certains organes et tissus (Os, peau). -La vitamine A intervient dans la synthèse de certaines hormones et dans les mécanismes immunitaires. -Sa carence entraîne des problèmes de vision et des lésions oculaires pouvant aller jusqu'à la cécité.
Vitamine D (Calciférol)	10 à 15 µg / jour	-Les œufs, le beurre et le foie, les poissons gras et surtout les huiles extraites du foie de certains poissons (morue).	-Elle agit comme une hormone. -Régule l'absorption du Ca et du P. -Joue un rôle essentiel dans la minéralisation des os. -Pour être utilisable par l'organisme la vitamine D a besoin de l'action des rayons UV du soleil. Elle est en effet modifiée au niveau de la peau par les UV. -Chez l'enfant, la carence en vitamine D entraîne le rachitisme.
Vitamine E (Alpha tocophérol)	12 mg / jour	-Huiles de graines oléagineuses, germes de blé, margarine.	-Elle joue le rôle d'antioxydant. -Elle intervient dans la synthèse des GR. -Les carences en vitamine E sont très rares
K	Entre 0,1 et 1 µg / jour	Choux, épinards, tomates.	-Nécessaire à la coagulation du sang. -Produite dans l'organisme par les bactéries intestinales et apportée par l'alimentation. -Les besoins en vitamine K sont largement couverts par l'alimentation.

Conclusion

Les caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles des aliments constituent des paramètres fondamentaux, non seulement pour l'acceptabilité sensorielle des produits alimentaires par les consommateurs, mais également pour leur impact sur la santé publique. La composition biochimique, les propriétés physiques ainsi que la valeur nutritionnelle des denrées interagissent de manière complexe, déterminant à la fois la qualité globale et la sécurité sanitaire des aliments. Les avancées scientifiques dans ces domaines, en intégrant l'étude des matrices alimentaires et des interactions moléculaires, continueront à influencer de façon déterminante les procédés de production, de transformation et de consommation des aliments à l'avenir.

CHAPITRE 2 :

Les groupes d'aliments

I. Objectifs

À la fin de ce chapitre, les étudiants seront capables de :

- Définir le concept de groupes alimentaires et en expliquer l'importance ;
- Identifier et décrire les sept principaux groupes d'aliments ;
- Expliquer la composition nutritionnelle, les fonctions physiologiques et les aspects technologiques de chaque groupe ;
- Comprendre le lien entre les groupes alimentaires, les recommandations nutritionnelles et la sécurité alimentaire

II. Introduction

Les groupes d'aliments peuvent être ordonnés selon le rôle majeur qu'ils exercent sur le corps.

- Les aliments fonctionnels qui apportent des fibres, des minéraux et des vitamines sont protecteurs et sont nécessaires au bon fonctionnement de notre organisme. Ils sont représentés par le groupe des fruits et légumes.
- Les aliments bâtisseurs sont nécessaires à la formation de l'ossature et au développement de la masse musculaire de notre organisme. Ils sont représentés par les groupes des féculents et des viandes/poissons/ œufs.
- Les aliments énergétiques fournissent de l'énergie pour les cellules de l'organisme mais également des substances de réserve. Ils sont représentés par les groupes des produits céréaliers, des produits sucrés et les matières grasses.
- L'aliment vital est l'eau. Elle appartient au groupe des boissons.

III. Les groupes alimentaires

- Il est classique de regrouper dans une même « catégorie » les aliments qui présentent une parenté biochimique, une composition en nutriments voisine ou des modalités de production semblables. La classification en groupes alimentaires repose sur la composition nutritionnelle et la fonction principale dans l'alimentation.

Nous envisagerons donc 7 groupes d'aliments :

1. Le groupe des viandes
2. Le groupe des produits laitiers.
3. Le groupe des matières grasses
4. Le groupe des fruits et légumes.

5. Le groupe des céréales et féculents
6. Le groupe des sucreries.
7. Le groupe des boissons. L'eau, le café et la tisane font partie du groupe des boissons

1. Groupe des viandes

Ce groupe comprends les viandes les poissons et les œufs.

Apports nutritionnels caractérisant les aliments de ce groupe :

- Protéines
- Minéraux : fer (viande, jaune d'œuf), iode (poisson)
- Vitamines : groupe B ; A (foie et jaune d'œuf)
- Pas de calcium et pratiquement pas de vitamine C
- Apports potentiel en lipides
- Apport en cholestérol

1.1. Viandes

- **Apport en protéines** : les viandes renferment en moyenne 20 % de protéines. Ces protéines d'excellente qualité comportant tous les acides aminés indispensables ce qui confère aux viandes un très bon coefficient d'efficacité protidique.

Ces protéines sont composées essentiellement de myosine, myoalbumine et de collagène. Il s'agit, pour la myosine et la myoalbumine, de protéines d'excellente qualité comportant tous les acides aminés indispensables ce qui confère aux viandes un très bon coefficient d'efficacité protidique. Les morceaux de 2^{ème} et 3^{ème} catégorie sont plus riches en tissus conjonctifs (élastine et collagène surtout). Le collagène, pauvre en tryptophane et en acides aminés soufrés, diminue la valeur biologique des viandes qui en sont riches. Il en est de même pour l'élastine dont l'équilibre en acides aminés indispensables est médiocre. Les viandes apportent d'autre part une petite quantité de substance azotée non protéiques (purines entre autres).

- ❖ La 1^{ère} catégorie représente les morceaux à cuisson courte : filet, escalope, bifteck, côte...

Les viandes apportent d'autre part une petite quantité de substances azotées non protéiques (purines entre autres).

- **Apport en lipides** : une viande peut contenir 2 à 30 % de graisses. Les lipides des viandes sont constitués principalement d'acides gras saturés et monoinsaturés. Leur composition

varie cependant en fonction du type de viande considéré. Les volailles représentent globalement une bonne source d'acides gras mono et polyinsaturés. Toutes les viandes, mêmes maigres sont sources de cholestérol, en particulier les abats.

- **Apport en glucides** : il est négligeable car il n'y a pratiquement plus de glycogène dans la viande au stade de sa commercialisation.
- **Apports en minéraux**: les viandes sont riches en phosphore et représentent la meilleure source alimentaire de fer héminique. Il s'agit de fer ferreux (++) , mieux absorbé que le fer ferrique (+++) des végétaux. Cette catégorie d'aliments est pauvre en calcium et présente un très mauvais rapport Calcium/Phosphore. Les abats, en particulier le foie, sont très riches en fer et en phosphore.
- **Apports en vitamines** : les viandes sont dépourvues de vitamines liposolubles. Elles sont riches en vitamines du groupe B. Les abats (principalement le foie) en sont les plus riches et représentent en outre un apport important de vitamines A et D.

1.2. Poissons

- **Apports en protéines** : Le poisson contient en moyenne 20 % de protéines. Les huîtres et les moules 7 à 10 %.
- **Apports en lipides** : Les poissons sont pour leur immense majorité moins gras que les viandes. Il est souhaitable d'encourager leur consommation à la place de la viande ou de la charcuterie. La teneur en lipides des poissons est variable (0,5 % à 15 %). La teneur en cholestérol du poisson est de 50 mg à 70 mg pour 100 g. Les crustacés ont une teneur assez élevée, en revanche les coquillages (huîtres, moules, palourdes...) contiennent des quantités relativement importantes de stérols mais le cholestérol ne représente en fait qu'un tiers de ces stérols.
- **Apports en glucides** : les coquillages contiennent un peu de glycogène.
- **Apports en minéraux** : comme les viandes, le poisson apporte peu de calcium. Il représente une source importante de phosphore et pour les poissons de mer d'iode.
- **Apports en vitamines** : les poissons sont une bonne source de vitamines du groupe B (en particulier B12) et de vitamine E. Les vitamines A et D sont également abondantes dans les poissons gras et surtout dans le foie de poisson.

1.2.1. Avantages de consommer du poisson bleu

- Prévient les crises cardiaques,
- Les maladies cérébrovasculaires et l'hypertension ; (bonnes graisses).

- Réduit le taux de cholestérol.
- Réduit le LDL.
- Améliorer la circulation sanguine.
- Contribution de vitamines et de minéraux :
- Fournit une grande quantité de nutriments importants, tels que le phosphore, le fer, l'iode, le calcium, le potassium, la vitamine A, la vitamine B, la vitamine C et la vitamine E.
- Propriétés anti-inflammatoires : Les nutriments contenus dans les poissons gras ont un effet anti-inflammatoire sur notre corps, en raison de la graisse oméga 3.
- Riche en Oméga 3.

1.2.2. Avantages de consommer du poisson blanc

- Faible teneur en matières grasses : Un maximum de poisson blanc contient 5% de matières grasses.
- Apport protéique : acides aminés essentiels.
- Vitamines et minéraux : vit groupe B, et des minéraux comme le phosphore.
- Facile à digérer : gastro-entérite.
- Saveur douce.

1.3.Œufs

- Apports en protéines : les protéines de l'œuf (l'ovalbumine dans le blanc et ovovi-telline dans le jaune) ont une excellente valeur biologique. Leur composition en acides aminés, parfaitement équilibrée, en fait la protéine de référence pour le calcul du coefficient d'efficacité protidique des autres aliments sources de protides.
- Apports en lipides : les lipides représentent 12 % de l'œuf entier. Ils sont contenus uniquement dans le jaune qui est une source importante de cholestérol.
- Apports en minéraux : le jaune d'œuf est riche en phosphore et en fer. Comme la viande et le poisson il représente un faible apport de calcium associé à un rapport Ca/P très défavorable à son absorption.
- Apports en vitamines : l'œuf est une bonne source de vitamines du groupe B et pour le jaune de vitamines A et D.

2.Groupe des produits laitiers.

Apports nutritionnels caractérisant les aliments de ce groupe :

- Protéines, Calcium, Vitamines : B2 – A et D dans les produits non écrémés

- Pas de fer ni de vitamine C
- Apports potentiels en lipides, Apport de cholestérol
- Apport en protéines : un litre de lait de vache, qu'il soit entier ou écrémé apporte 35 g de protéines. Il s'agit principalement de caséine, de lactalbumine et de lactoglobuline, tous les acides aminés indispensables sont présents.
- Apports en lipides : la teneur en lipides du lait de consommation courante est standardisée à un taux minimum de 36 g par litre de lait entier. Le lait est pauvre en acides gras essentiels (environ 3 %) et comporte 11 à 15 % d'acides gras à chaîne courte ou moyenne (C4 à C12). Le lait contient également du cholestérol (lait entier : 140 mg/litre, lait 1/2 écrémé : 90 mg/litre).
- Apports en glucides: le lactose, glucide essentiel du lait, favorise l'absorption du calcium contenu dans cet aliment. Un litre de lait, qu'il soit entier ou écrémé apporte 50 g de lactose.
- Apport en minéraux et oligo-éléments :le lait est une source importante de calcium .Il ne contient pas de fer.
- Apport en vitamines : le lait entier est une source appréciable de vitamine A. La teneur en vitamine D est variable (plus élevée dans le lait d'été que dans le lait d'hiver). Presque toutes les vitamines du groupe B sont présentes, en particulier la vitamine B12. Les vitamines liposolubles (A et D) sont absentes dans le lait écrémé.

3.Matières grasses

Apports nutritionnels caractérisant les aliments de ce groupe :

- Acides gras essentiels (acide linoléique (C18 : 2 n-6), acide α -linolénique (C18 : 3 n-3))
- Vitamines liposolubles – D – A (rétinol) – E (alpha tocophérol)
- Source d'énergie importante (9 kcal/g)
- Aucun élément minéral

3.1. Matières grasses d'origine animale

- La crème et le beurre

La crème comporte environ 30 à 35 % de lipides et le beurre 82 à 84 %. Les acides gras saturés représentent plus de 60 % des acides gras totaux (en particulier acide palmitique C16:0, acide myristique C14:0 et acide stéarique C18:0). Le beurre apporte également des acides gras saturés, à chaîne courte ou moyenne (environ 13 %). Ces produits sont pauvres en acides gras polyinsaturés (2 %) et apportent du cholestérol (250 mg/100 g de beurre).

Ces matières grasses sont une excellente source de vitamine A (teneur variable selon la provenance du beurre) et contiennent un pourcentage faible de vitamine D lorsqu'ils sont réalisés à partir du lait d'été, même pour le cas de calcium.

3.2. Les huiles et margarines

- **Les huiles**

Ce sont les huiles fluides ou concrètes préparées à partir de graines ou de fruits oléagineux. Les huiles sont généralement liquides à une température ambiante.

On appelle huiles concrètes ou graisses les matières grasses solides à température ambiante. Ces huiles sont caractérisées par une forte teneur en acides gras saturés. Ces matières grasses ne contiennent pas de cholestérol et apportent toutes 100 % de lipides.

- **Les margarines**

La margarine est constituée par l'émulsion d'une phase aqueuse dans une phase grasse qui représente 82 % du produit final. Elle comprend, selon les cas, des huiles ou des graisses végétales et animales. Le type d'huile ou de graisse entrant dans la composition d'une margarine très variable et les caractéristiques nutritionnelles du produit final en dépendent.

Elles ont les caractéristiques nutritionnelles des huiles avec lesquelles elles sont fabriquées. Leur teneur en acides gras polyinsaturés est cependant inférieure à celle des huiles du même nom du fait de l'hydrogénation qu'elles ont subie au cours de la fabrication.

1. Légumes et fruits

Apports nutritionnels caractérisant les aliments de ce groupe :

- Fibres
- Minéraux
- Vitamines : C, bêta-carotène, vitamines du groupe B
- Glucides
- Pas de lipides et apport de protéines négligeable

4.1. Légumes

Ils se caractérisent par une teneur en eau très importante (90 % en moyenne), un apport en glucides modéré : 1 à 6 % pour les parties aériennes des plantes (salades, épinards, courgettes, tomates...) et 9 % environ pour les racines (carottes, céleri...).

Les légumes représentent un apport important de potassium. On y trouve également du calcium (surtout dans les choux), du magnésium, du fer et du cuivre (légumes à feuilles type épinard), du soufre (choux, oignons, ail, poireaux, navets, radis) et de nombreuses autres matières minérales.

Les légumes sont riches en vitamines hydrosolubles : vitamine C (choux, légumes à feuilles, tomates), provitamine A ou bêta-carotène (partie colorée des plantes : légumes à feuilles vertes, carottes...) et vitamines du groupe B. Les fibres des plantes se composent surtout de cellulose, d'hémicellulose et de matières pectiques. La pomme de terre se distingue par un apport plus important en amidon (20 %) et une teneur en vitamine C assez faible surtout après quelques mois de conservation. Elle doit être assimilée aux aliments sources d'amidon (pâtes alimentaires, riz) plutôt qu'à un légume frais.

4.2. Fruits

• Composition des fruits

La composition des fruits est semblable à celle des légumes. Leur teneur en glucides est cependant plus élevée. Il s'agit le plus souvent de sucres (de fructose mais aussi de saccharose ou de glucose et plus rarement d'amidon (banane, châtaigne).

L'intérêt principal des fruits réside dans leur richesse en vitamines. Les plus riches en vitamine C sont les fruits acides (agrumes, groseilles, cassis, fraises...), les plus riches en carotène sont les fruits colorés (abricots, pêches, myrtilles, cassis...). Seuls, les agrumes contiennent du calcium. Il y a peu d'oligo-éléments dans les fruits. Ils sont tous riches en potassium et pauvres en sodium.

Les fibres des fruits sont composées à part égale de cellulose, lignine, hémicellulose et matières pectiques. Certains fruits sont particulièrement riches en pectines (pommes, coings, groseilles).

• Fruits secs

- Les fruits séchés (raisins, pruneaux, bananes, pommes, poires) renferment en moyenne 73 % de glucides assimilables. Si la dessiccation est bien conduite (par des procédés industriels plutôt que grâce au soleil), ces fruits constituent une bonne source de vitamines A et C. Ils ont une teneur élevée en fibres.
- Les fruits oléagineux (noix, noisettes, amandes, cacahuètes, noix de cajou) représentent un apport important de lipides (plus de 50 %) et de protéines (10 à 15 %). Les noix et les

noisettes sont riches en acides gras insaturés (poly ou mono). Les fruits oléagineux représentent par ailleurs une bonne source de minéraux (calcium, magnésium, fer) et de fibres. Il s'agit d'aliment très énergétiques.

2. Céréales et féculents

5.1. Céréales et dérivés

Les céréales les plus utilisées sont le blé, le riz et dans une moindre mesure le maïs, l'avoine, le seigle, le sarrasin et le manioc (tapioca).

Apports nutritionnels caractérisant les aliments de ce groupe :

- Glucides (amidon)
- Protéines végétales
- Vitamines du groupe B
- Pas de lipides
- Fibres
- Minéraux
- Apports en glucides

Cette catégorie d'aliments est principalement source d'amidon : 74 % dans les farines. Les céréales et farines complètes apportent des fibres. Le son de blé se compose principalement d'hémicellulose et de cellulose.

- **Apports en protéines**

Les farines apportent en moyenne 10 % de protéines, En leur associant des produits laitiers ou des œufs, riches en cet acide aminé, on augmente notablement leur valeur biologique.

- **Apport en minéraux**

Les céréales et leurs dérivés sont pauvres en calcium. Elles apportent beaucoup de phosphore, pour les 3/4 sous forme d'acide phytique dans les produits à base de farines complètes. Ce type d'aliments apporte du fer et du magnésium malheureusement mal absorbés.

- **Apports en vitamines**

Il s'agit essentiellement de vitamines du groupe B (B1, B2, B3). Les teneurs sont plus élevées dans les céréales et farines complètes. Cependant la présence d'acide phytique et de son peut nuire à leur absorption.

5.2. Légumineuses

Cette catégorie comprend les légumes secs (lentilles, haricots, pois, pois chiches...), le soja et l'arachide.

Les légumes secs : ces aliments sont riches en protéines, éléments minéraux (phosphore, fer) et vitamines du groupe B. Les légumes secs apportent 24 % de protéines. Ces protéines sont pauvres en méthionine ; leur valeur biologique est donc moins bonne que celle de la viande, du poisson, des œufs ou des produits laitiers. Il est intéressant d'associer des céréales aux légumes secs afin de les compléter mutuellement en leur acide aminé déficitaire. Cette association est indispensable dans une alimentation strictement végétalienne.

Les légumes secs sont riches en fibres (12 % à 25 % du poids sec), ce qui rend leur digestibilité parfois difficile. La consommation des légumes secs nécessite une cuisson plus longue préjudiciable à leur apport en vitamines.

Les minéraux des légumes secs sont mal absorbés (le taux d'absorption intestinale du fer est d'environ 3 %). Cependant il faut rappeler que le fer non héminique représente 85 % à 90 % du fer alimentaire et que son absorption augmente lorsqu'il existe un déficit du statut en fer de l'organisme.

3. Sucres et produits sucrés

Apports nutritionnels caractérisant les aliments de ce groupe :

- Glucides essentiellement (saccharose, glucose ou fructose)
- Aucun autre élément nutritif sauf dans le chocolat

La dénomination de sucre est réservée aux mono et disaccharides à l'exclusion des polyols, d'après certaines réglementation nationale et communautaire relative à l'étiquetage et à la présentation des denrées alimentaires.

- **Le sucre**

Tous ces sucres sont composés de 100 % de saccharose rapidement assimilé par l'organisme. Il s'agit d'une source d'énergie rapidement utilisable, intéressante en cas d'efforts physiques importants.

- **Le miel**

Le miel est constitué pour 3 à 6 % de saccharose, 35 % de glucose et 35 % de fructose. Vitamines et minéraux sont présents à l'état de traces.

- **Le chocolat**

Il est obtenu par le mélange de sucre et de pâte de cacao. La pâte de cacao représente, sauf pour le chocolat au lait, au moins 35 % du produit final dont 18 % de beurre de cacao.

Le chocolat apporte en moyenne 50 à 65 % de saccharose, 20 à 30 % de lipides (beurre de cacao essentiellement), 6 % de protéines, des minéraux (phosphore, calcium, magnésium, et un peu de fer) et un peu de vitamines.

4. Le groupe des boissons.

4.1. L'eau

La composition d'eau est extrêmement variable. La législation impose pour les eaux potables un taux maximum de minéraux de 2 g/l. Les minéraux qui peuvent être présents dans l'eau sont nombreux : calcium, magnésium, fer, sodium, potassium, fluor...

4.2. Boissons sucrées

Il s'agit des limonades, sodas, sirops, coca cola, boissons aux fruits. Les boissons aux fruits composées d'eau, de sucre et de 12 % seulement d'extraits de fruits ne doivent pas être confondues avec les jus de fruits. Un litre de ces boissons apporte 90 à 120 g de sucres.

Dans les boissons "light" le sucre est remplacé par un édulcorant de synthèse. Ce type de boissons n'apporte pas de sucre.

4.3. Le thé, le café

Ces boissons sont très utilisées pour leurs qualités stimulantes (caféine, théine). Elles ne contiennent aucun élément nutritif assimilable.

4.4. Les jus de fruits

Les jus de fruits contiennent les éléments nutritifs des fruits dont ils sont issus : minéraux, vitamines et sucres. La teneur en sucres d'un jus de fruit est variable : le jus de raisin contient environ 200 g de sucres par litre, le jus d'orange 90 à 100 g.

On appelle "jus de fruit" un produit composé exclusivement de fruits pressés. Les jus reconstitués à partir de concentré de jus de fruits et d'eau ont également droit à cette appellation. Les "nectars" qui sont des mélanges de jus de fruits (25 à 50 % du produit final), d'eau et de sucre ne sont pas des jus de fruits.

IV. L'étiquetage alimentaire

Les denrées alimentaires présentées à la vente doivent comporter un étiquetage pour bien informer le consommateur. Les obligations d'étiquetage sont différentes selon le mode de conditionnement des denrées alimentaires.

- L'étiquetage informatif
- Les mentions obligatoires

a. L'étiquetage informatif

- Signes officiels de qualité : (produits bio) -Autres signes et logos, code barre.

b. Les mentions obligatoires

Selon l'article 12 du **Décret exécutif n° 13-378 du 9 novembre 2013** fixant les conditions et les modalités relatives à l'information du consommateur

- Date Limite de Consommation (DLC) « A consommer jusqu'au ... » (jour, mois). dont la consommation au-delà de cette date présente un danger immédiat pour la santé humaine. Cette date est accompagnée de la mention de la température de conservation requise et n'est valable que si cette température est respectée. ou
- Date Limite d'Utilisation Optimale (DLUO) « A consommer de préférence avant le ... » (jour, mois, année), ou « A consommer de préférence avant fin ... » (mois, année) ou (année). Elle indique le délai au-delà duquel les qualités gustatives ou nutritionnelles du produit risquent de s'altérer.
- Lot de fabrication :
- Coordonnées du responsable .
- Mode d'emploi (ou conseil d'utilisation)
- Dénomination de vente, Liste des ingrédients, Quantité nette

➤ **Les mentions obligatoires complémentaires selon l'article 12 DU D.E n° 13-378 du 9 novembre 2013**

- Marque de salubrité :
- Degré alcoolique Pour les boissons,
- Matière grasse (MG) % des fromages
- « Conditionné sous atmosphère protectrice »
- « Avec édulcorants » ou « Avec sucre(s) et édulcorant(s) »

➤ **L'étiquetage nutritionnel**

L'étiquetage nutritionnel concerne toutes les informations apparaissant sur l'étiquette et relatives à la valeur énergétique et aux nutriments.

Lorsque la quantité d'acides gras polyinsaturés, monoinsaturés ou le taux de cholestérol est indiquée, la quantité d'acides gras saturés doit également être donnée.

L'étiquetage nutritionnel doit comporter l'indication de la teneur du nutriment ou des substances concernés par l'allégation nutritionnelle ou de santé

➤ Les allégations

L'allégation est une mention qui affirme, ou suggère, qu'un aliment possède des caractéristiques particulières liées à son origine, sa nature, sa composition, ses propriétés nutritionnelles, sa production, sa transformation...

L'Allégations selon Art. 36. (D.E. n° 13-378 du 9 .11.2013)

Aucun aliment ne doit être décrit ou présenté de façon fausse, trompeuse, mensongère ou susceptible de créer une impression erronée au sujet de sa nature de manière à induire le consommateur en erreur.

Les allégations employées dans l'étiquetage et la présentation des denrées alimentaires mises à la consommation ne doivent pas :

- Être inexactes, ambiguës ou trompeuses ;
- Susciter des doutes quant à la sécurité et/ou l'adéquation nutritionnelle d'autres denrées alimentaires ;
- Encourager ou tolérer la consommation excessive d'une denrée alimentaire ;
- Laisser entendre qu'une alimentation équilibrée et variée ne peut fournir tous les éléments nutritifs en quantité suffisante ;
- Être non justifiées ;
- Mentionner des modifications des fonctions corporelles qui soient susceptibles d'inspirer des craintes au consommateur sous la forme soit de textes, soit d'images, soit d'éléments graphiques ou de représentations symboliques ;
- Faire référence à des propriétés préventives ou curatives à l'égard des maladies humaines, sauf les eaux minérales naturelles et les denrées alimentaires destinées à une alimentation particulière.

V. Qualité alimentaire

Qu'est-ce que la qualité alimentaire ou la qualité d'un aliment ?

C'est l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou d'un aliment qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou implicites des consommateurs. La qualité de chaque aliment est décrite par cinq composantes qui sont indépendantes les unes des autres:

➤ **La qualité hygiénique « Sécurité » (ou qualité microbiologique):** Un aliment d'une bonne qualité hygiénique ne doit pas contenir des germes pathogènes, leurs toxines ou

germes toxinogènes. la teneur en flores banales ne doit pas dépasser les normes. Aussi un aliment d'une bonne qualité hygiénique ne doit pas contenir des substances toxiques ou dangereuses pour la santé humaine : mercure.etc.

➤ **La qualité nutritionnelle « Santé » : La qualité nutritionnelle :** est reliée, d'une part, à la présence d'éléments nutritifs essentiels (acides aminés essentiels, acides gras insaturés, fibres alimentaires, micronutriments tels que les vitamines, les antioxydants, les minéraux, les substances bioactives), éléments majeurs : glucides, lipides, eau, protéines..... Il s'agit de l'aspect qualitatif et, d'autre part, à leur quantité et rapport dans les aliments.

➤ **La qualité organoleptique « Saveur » (ou qualité sensorielle ou hédonique)** .Elle correspond à l'ensemble des propriétés d'un produit perçues par les organes des cinq sens. Il s'agit de l'aspect, la couleur, la consistance, le goût, l'odeur, la saveur,

➤ **La qualité d'usage « Service » (ou qualité commerciale):** Il s'agit des qualités technologiques d'un produit en vue de sa transformation domestique, artisanale ou industrielle. Ses principaux critères sont :

Aptitude à la conservation avant la vente, après achat, après ouverture (ex.: lait UHT) ; facilité d'utilisation, stockage, ouverture/fermeture Le comportement dans les différents modes de cuisson, le rendement, le temps de préparation et le rapport qualité/prix.

➤ **La qualité environnementale:** Cet aspect de la qualité concerne l'impact de la production des aliments sur l'environnement. Il prend en compte l'ensemble du processus, depuis la production agricole jusqu'à la transformation.

Conclusion

L'analyse des sept groupes alimentaires souligne la nécessité d'adopter une approche nutritionnelle globale et équilibrée. Chacun de ces groupes joue un rôle particulier et complémentaire dans l'organisme : les glucides fournissent l'essentiel de l'énergie, les protéines participent au renouvellement et à la construction des tissus, tandis que les lipides assurent le stockage énergétique et soutiennent les fonctions cellulaires. Les vitamines et les minéraux interviennent dans la régulation des processus métaboliques, les fibres favorisent une bonne santé digestive et l'eau reste indispensable au maintien de l'équilibre hydrique ainsi qu'aux réactions biochimiques vitales.

Il apparaît dès lors que la bonne santé et la performance ne reposent pas sur la consommation isolée d'un seul type d'aliment, mais sur l'action synergique de l'ensemble des apports nutritionnels. Une alimentation variée, intégrant en juste proportion chaque groupe, représente donc un fondement essentiel pour le bien-être et le développement durable de l'individu.

Test chapitre I et II

- Ce QCM permet d'évaluer la compréhension des groupes alimentaires et de l'importance d'une alimentation variée et équilibrée.

QCM sur les Groupes Alimentaires(10mn)

Question 1: Quel groupe alimentaire est la principale source de vitamine C?

- A) Produits laitiers
- B) Fruits et légumes
- C) Viandes et substituts
- D) Féculents

Question 2: Lesquels parmi les suivants appartiennent au groupe des féculents?

- A) Pommes et bananes
- B) Pain et pâtes
- C) Fromage et yaourt
- D) Poulet et poisson

Question 3: Quelle est la recommandation principale concernant la consommation de matières grasses?

- A) Éviter toutes les matières grasses
- B) Privilégier les graisses saturées
- C) Limiter les graisses trans
- D) Consommer exclusivement des graisses insaturées

Question 4: Pourquoi est-il important d'inclure des protéines dans notre alimentation?

- A) Elles fournissent de l'énergie
- B) Elles aident à la croissance et à la réparation des tissus
- C) Elles sont une source principale de vitamine D
- D) Elles réduisent le besoin en eau

Question 5: Quel groupe alimentaire devrait constituer la base de chaque repas pour une alimentation équilibrée?

- A) Fruits et légumes
- B) Féculents

- C) Produits laitiers
- D) Sucreries et snacks

Question 6: Combien de portions de fruits et légumes est-il recommandé de consommer chaque jour?

- A) Au moins 2 portions
- B) Au moins 5 portions
- C) Au moins 3 portions
- D) Au moins 7 portions

Question 7: Quel groupe alimentaire est une bonne source de calcium?

- A) Viandes et substituts
- B) Fruits et légumes
- C) Produits laitiers et alternatives
- D) Matières grasses et huiles

CHAPITRE 3 :

Introduction aux technologies de transformation et de production des aliments

I. Objectifs pédagogiques

À l'issue de ce chapitre, les étudiants devront être capables de :

1. Comprendre l'importance générale de la transformation alimentaire
2. Identifier les objectifs fondamentaux de la transformation

II. Introduction

Le secteur de la transformation des produits agricoles et alimentaires est un secteur industriel primordial dont l'activité touche toute la société. Ce secteur, qui a toujours eu beaucoup d'importance dans les activités humaines, a pris au cours de ces deux derniers siècles, une dimension industrielle.

Le processus de transformation des aliments transforme les matières premières alimentaires par une variété d'opérations : de nettoyage, de séparation, de réduction de taille, de mélange, de chauffage, de refroidissement et d'emballage en produits nutritifs de haute qualité.

Sans ce processus de transformation des aliments, nous devenons dépendants des aliments indigènes de saison. La transformation des aliments prolonge la durée de conservation tout en introduisant de la variété et une expérience alimentaire sensorielle améliorée.

Les propriétés physiques des aliments dictent leur comportement pendant la transformation. En général, les aliments sont de mauvais conducteurs de chaleur, ce qui introduit le défi d'atteindre des températures homogènes.

Généralement, les aliments non traités sont des environnements hospitaliers pour que les microbes se développent ; les techniques de conservation des aliments utilisent des opérations de transformation des aliments qui prolongent la durée de conservation en éliminant les microbes ou en rendant les aliments moins hospitaliers.

Il a déjà été mentionné que la transformation des aliments est une branche de fabrication dans laquelle les matières premières sont transformées en denrées alimentaires intermédiaires ou en produits comestibles grâce à l'application de connaissances scientifiques et de technologies. Divers procédés sont utilisés pour convertir des matières alimentaires volumineuses, périssables et parfois non comestibles en aliments ou en boissons potables plus utiles, concentrés, de longue conservation et agréables au goût. Les changements de produits réduisent souvent le temps de préparation pour le cuisinier. La plupart du temps, la transformation des aliments ajoute de la valeur au produit résultant en augmentant la capacité

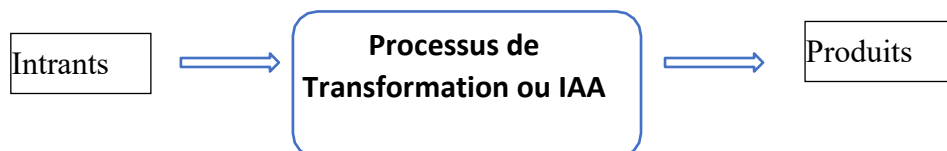
de stockage, la portabilité, la saveur et la commodité. Les professionnels de la transformation des aliments doivent connaître les caractéristiques générales des matières premières alimentaires, les principes de conservation des aliments, les facteurs de transformation qui influencent la qualité, l'emballage, la gestion de l'eau et des déchets, les bons procédés de fabrication et les procédures d'assainissement. Examinons brièvement la nécessité, les principes, les méthodes et la modernisation de la transformation **alimentaire**.

III. Quelques définitions

1. Technologie alimentaire / technologie agro-alimentaire / transformation des aliments / Industrie alimentaire ou encore industrie agroalimentaire :

Ensemble des techniques et méthodes utilisées pour faire transformer une matière première issue de l'agriculture, de l'élevage ou de la pêche (Blé, Lait, Viandes,...) pour déboucher sur un produit alimentaire consommable fini ou semi fini destiné essentiellement à la consommation humaine (Farine, Fromage, Conserves de viande,...). Ainsi, l'industrie alimentaire ne comprend pas l'agriculture qui élève les produits vivants, cultive les plantes et fruits, et les fournit à l'industrie agroalimentaire (IAA).

Il s'agit des différents procédés de fabrication des aliments : Une même transformation ou technologie peut être réalisée par différents procédés



Les Intrants de l'IAA : peuvent être alimentaires ou non alimentaires ;

- **Intrants alimentaires :**
- **Matière première :** : C'est le produit alimentaire sans aucune modification ou transformation tel qu'il est issu de la nature, et qui peut être d'origine : Animale (Viande, lait, œufs...), Végétale (Fruits, légumes, blé...), Minérale (Eau, Sel...) et Microbienne (Levure). C'est la matière unique ou principale soumise à la transformation
 - Unique : blé en minoterie, betterave ou canne en sucrerie
 - Principale en volume : lait pour le yaourt, eau pour les boissons gazeuses
 - Principale en valeur : sucre pour les boissons gazeuses

- **Ingrédient** : nécessaire, mais en quantité et en valeurs moindres que la matière première (levure pour le pain)
- **Additif** : non indispensable, utilisé pour une fonction donnée (conservateur, colorant, aromatisant, épaississant, etc.)
- **Intrants non alimentaires** : Matières non destinées à être consommées, bien qu'utiles, voire indispensables (Matériaux d'emballage : papier, carton, verre, plastique, métal, bois, ...etc.).

2. Produits de la transformation (éléments de sortie) : On distingue

- **Produits finis** : produits commercialement les plus importants (un ou plusieurs produits d'une même matière première)
- **Sous-produits** : ont une valeur commerciale, mais moindre que celle des produits finis
- **Déchets** : valeur commerciale nulle ou négative (frais d'évacuation, etc.) ; ce sont des rejets solides, liquides ou gazeux. (Un déchet peut être valorisé et un sous-produit revalorisé).

3. Procédé de fabrication :

Succession d'opérations (traitements) appliqués à une ou plusieurs matières premières pour l'obtention d'un ou plusieurs produits finis.

Chaque transformation exige une ou plusieurs opérations unitaires :

- **Opération unitaire** : opération correspondant généralement à un poste de fabrication où il est réalisé un traitement bien déterminé visant un objectif précis et aboutissant à un résultat mesurable.
Exemples d'opérations unitaires :

- **Traitement thermique d'un aliment** : *objectif* : destruction des micro-organismes ; *résultat* : diminution du nombre de micro-organismes vivants par ml de produit

- **Extraction de l'huile à partir de graines oléagineuses** : *objectif* : obtention d'huile brute, *résultat* : taux ou rendement (%) d'extraction

- **Séchage d'un produit** : *objectif* : élimination de l'eau ; *résultat* : taux d'humidité finale du produit.

Ainsi, pour chaque transformation, on note un **diagramme de fabrication** qui est une représentation schématique du procédé de fabrication indiquant, le plus précisément possible: la nature des produits : matières premières, produits intermédiaires, produits finis ; la nature des opérations (traitements) à chaque étape; si possible, les conditions de réalisation des opérations; et si possible, les contrôles effectués à chaque étape

Exemple : Diagramme de fabrication du lait pasteurisé (figure ci-dessous)

diagramme de fabrication

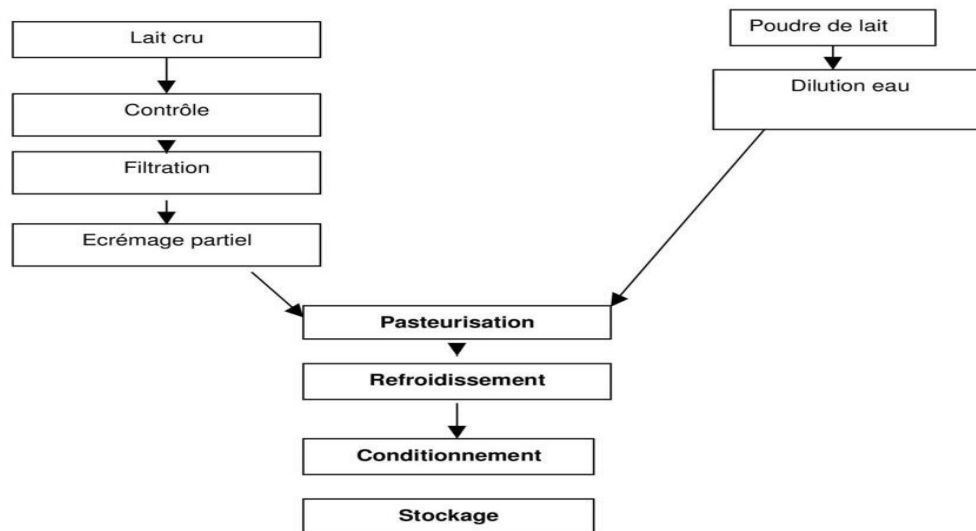


Figure 1: Diagramme de fabrication du lait pasteurisé

Exemple : Diagramme de fabrication du lait pasteurisé (figure ci-dessous)

Une Chaîne de fabrication : succession des machines et des équipements nécessaires à la réalisation des étapes successives d'un procédé de fabrication .Une chaîne de fabrication peut être automatique, semi-automatique ou manuelle.

Classification des industries agroalimentaires : la classification la plus adaptée est une classification par type dominant de technologie. Le secteur des industries agroalimentaires est généralement classé en 10 sous- secteurs :

1. Transformation et conservation de **la viande et préparation de produits à base de viande** (ou Industries des viandes et produits carnés)
2. Transformation et conservation **de poisson, de crustacés et de mollusques**
3. Industries laitières ou technologie **du lait et produits laitiers** : fabrication du lait, du beurre, des yaourts, des fromages, du lait en poudre, fabrication de crèmes glacées et glaces.
4. Transformation et conservation **de fruits et légumes**
5. Industries **céréalières** (stockage, meunerie, ...)
6. Industries des boissons

7. Industries des **corps gras** (Fabrication d'huiles et graisses végétales et animales)

8. Industrie **Sucrière** (fabrication de sucre de table)

9. Fabrication de **boissons** (boissons et jus)

10. Industries de fabrication **d'aliments pour animaux** (aliments de bétails)

- **Autres industries alimentaires** : pâtisserie fraîche, transformation du thé et du café, fabrication de condiments et assaisonnements, d'arômes alimentaires, de levures et d'ovoproduits.

III. Quelques Exemples de quelques technologies :

1. Technologie de la viande et produits à base de viande :

La filière viande est la succession d'étapes au cours desquelles s'effectue le passage progressif des animaux de boucherie ou de basse-cour à la viande et aux produits carnés, elle regroupe:

- La première transformation : De l'animal vivant, débouche sur la carcasse et le cinquième quartier ;
- La deuxième transformation : ou s'opère le passage au muscle puis à la viande ;
- La troisième transformation: Conduit aux produits carnés.

Le muscle est l'Elément pondéralement et économiquement le plus important de la carcasse, représenté par la chaire musculaire striée dite « maigre », il s'agit plus précisément du muscle *post mortem*

- **Viande** : Aliment protéique du 1^{er} groupe, produit carné qui correspond à la masse musculaire striée des carcasses des animaux à sang chaud. C'est le muscle qui se transforme en viande, elle ne devient consommable qu'après avoir subi sa maturation
 - **Les produits carnés** correspondent d'une part, aux viandes destinées à la consommation humaine après un traitement thermique simplifié, d'autre part aux produits à base de viande après une transformation plus ou moins élaborée
 - **Produits à base de viandes** : Les produits à base de viandes sont définis comme étant : « produits transformés qui ont été élaborés à partir de viande ou avec de la viande qui a subi un traitement tel que la surface de coupe à cœur permet de constater la disparition des caractéristiques de la viande fraîche ; il s'agit également des plats cuisinés à base de viandes correspondants à des préparations culinaires cuites ou précuites, et conditionnées et conservées par le froid sinon appertisées »
- **Composition des produits à base de viandes** : Les produits additionnés lors de la fabrication des produits à base de viandes sont cités ci-dessous, les conserves de viande peuvent renfermer les mêmes composants que pour les produits à base de viandes non appertisés.

a) **Composants d'origine carnée** : Il s'agit de la principale matière première, on distingue :

- **Le maigre** : Le maigre est la partie comestible des carcasses des animaux, il s'agit de pièces dont la structure anatomique sera largement conservée, ou qui seront hachées pour préparer pâté, galantine, saucisses et saucissons ;
- **Le gras** : Mélangé au maigre pour assurer la composition spécifique des produits ou utilisés en cuisine, on utilise les graisses d'oie, de canard ou des huiles et graisses végétales ;
- **Les abas** : utilisés pour fabriquer des pâtés (exemple : foie), des andouilles et andouillettes (boyaux et estomacs);
- Certains **produits résultant d'un traitement de la viande** : gelée, bouillon,... sont ajoutées.

b) **Composants d'origine non carnée** : Utilisés pour modifier le goût ou pour leurs propriétés technologiques, représentés par des denrées alimentaires, des ingrédients ou des adjuvants:

- **Le sel** : ou chlorure de sodium, utilisé en rapport avec la saveur, il a un rôle gustatif, bactériostatique (diminue l'activité de l'eau), solubilisant des protéines musculaires et agent de rétention d'eau;
- **Les sucres** : Utilisés non pour leur goût, mais car ils réduisent l'amertume de certains composés (foie), ils favorisent la croissance des bactéries acidifiantes réductrices créant un pH acide, auquel un potentiel d'oxydoréduction induit la formation d'oxyde d'azote et sa fixation sur la myoglobine ;
- **Les liants** : Les liants protéiques, outre leur goût, ont un rôle technologique en tant qu'émulsifiants, stabilisants, rétenteurs d'eau, et de formation de gel. Ils sont soit d'origine animale (dérivés laitiers, ovoproduits, sang et ses dérivés,...etc.) ou végétales (à partir des graines oléagineuses ou des céréales) et des liants amylacés (farines) ;
- **L'eau** : De qualité alimentaire, elle permet la préparation des saumures, bouillons, gelée ; mouillage des pâtes, création de la phase aqueuse des émulsions et permet de dissoudre les composants hydrosolubles;
- **Les assaisonnements** : on parle des épices, aromates et condiments en premier lieu ; et en second lieu champignons, extraits de fumée,...etc..

c) **Les additifs.**

- **Colorants** : La coloration des produits de charcuterie, de salaisons et des conserves de viandes est obtenue par des colorants ou des pigments autorisés tels que : le rouge de cochenille (E120), le rouge de betterave (E162), les caroténoïdes (E160),...etc. ; ces mêmes

colorants peuvent néanmoins renforcer la coloration rose obtenue lors de l'addition des nitrites ou des nitrates;

- **Acidifiants** : Les acides organiques sont utilisés soit pour la conservation : acide lactique, acide citrique, soit pour favoriser la prise de couleur (Glucono-Delta-Lactone) ;
- **Exhausteurs de goût** : Les plus utilisés sont le L-glutamate monosodique et les acides guanylique et inosinique et leurs sels de sodium et de calcium;
- **Antioxygènes** : L'acide L-ascorbique : E300 (et son sel de sodium : E 301) est un oxydant donc protège la myoglobine ainsi que les corps gras de l'oxydation, c'est un réducteur, donc favorise la formation de nitrosomyoglobine en réduisant les nitrites, bloque les nitrites libres et limite la formation de nitrosamines, et freine la formation de peroxydes. Aussi, l'acide ascorbique assure la stabilité de la couleur de nitrosomyoglobine formé. Outre cet antioxygène, l'acide érythrobie : E315 et son sel de sodium : E316 sont aussi utilisés ;
- **Stabilisants, épaississants et gélifiants** : Les polyphosphates : E450 sont utilisés comme agents de stabilité dans la fabrication des pièces cuites ; les carraghénanes sont classés également dans cette rubrique d'additifs ;
- **Auxiliaires de fabrication** : Les ferments lactiques font partie de cette catégorie, elle peut comprendre en outre le nitrite de sodium et les nitrates ; L'acide L-ascorbique et son sel de sodium, et autres ;
- **Conservateurs** : Nitrates de potassium (salpêtre) : E 252, de sodium : E251 et nitrite de sodium : E250 qui ne peut être utilisé que sous forme de sel nitrité (mélange de nitrite de sodium et chlorure de sodium). Les nitrites et les composés nitrosés résiduels donnent une saveur caractéristique ; la coloration rose, caractéristique des produits à base de viandes est due à la formation de nitrosohème

2. Technologie du lait et produits laitiers :

Le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum. Il s'agit d'un fluide aqueux opaque, blanc, légèrement bleuté ou plus ou moins jaunâtre, d'une saveur douce et d'un pH légèrement acide proche de la neutralité (6.6 à 6.8).

Le lait peut subir un simple traitement de conservation thermique (refrigération, congélation, pasteurisation ou stérilisation) ou peut être transformé en produits laitiers (Yaourt, beurre, fromage).

a) **Laits de consommation** : Les laits de consommation se caractérisent notamment par le traitement thermique qui leur est appliqué pour leur conservation, et le taux de matière grasse. - Selon le taux de matières grasses ,on distingue :

- **Le lait entier** est un lait traité thermiquement dont la teneur en matière grasse s'élève à 3,50 % m/m au minimum.
- **Lait demi-écrémé** : est un lait traité thermiquement dont la teneur en matière grasse a été ramenée à un taux qui s'élève à 1,50 % (m/m) au minimum et à 1,80 % (m/m) au maximum.
- **Lait écrémé** : est un lait traité thermiquement dont la teneur en matière grasse ne peut excéder 0,50 % (m/m).

Selon **le traitement appliqué**, les laits de consommation peuvent être classés en deux catégories :

- **Lait cru** (non traité thermiquement) : Il est défini comme le lait produit par la sécrétion de la glande mammaire d'animaux d'élevage et non chauffé à plus de 40 °C, ni soumis à un traitement d'effet équivalent. Ce lait n'a donc subi aucun traitement autre que la réfrigération mécanique immédiate après la traite à la ferme.
- **Laits traités thermiquement** Ces laits ne subissent aucune addition d'ingrédients ou d'additifs, seuls les traitements physiques sont appliqués : Pour obtenir un lait de consommation, le lait cru ne doit subir que des traitements physiques, comme la *clarification*, la *standardisation*, l'*homogénéisation* et bien évidemment les *traitements thermiques*. C'est uniquement ce dernier qui fait différencier le lait pasteurisé, le lait stérilisé et le lait U.H.T., les autres traitements sont presque communs.

Pour produire un lait de consommation de qualité irréprochable, avec le goût désiré, une belle apparence et une longue conservabilité, le lait (cru, poudre) doit être contrôlé lors de sa réception. La fabrication des laits de consommation peut être produite à partir du lait en poudre et de la matière grasse du lait anhydre suivant les systèmes de reconstitution et recombinaison:

- ✓ **Reconstitution** Consiste à mélanger de l'eau et du lait en poudre écrémé afin d'obtenir un produit dont la teneur en matière sèche est voisine de celle du lait liquide initial (ou conforme à un rapport eau/ matière sèche donné). La reconstitution peut aussi être la dilution d'une poudre de lait grasse dans de l'eau.
- ✓ **Recombinaison** Consiste à ajouter à l'eau et à la poudre de lait de la matière grasse laitière anhydre, de façon à obtenir un lait entier ou partiellement écrémé présentant à la fois les rapports eau/matière sèche totale et matière grasse/matière sèche dégraissée conformes au produit désiré.

Quelles sont les principales technologies utilisées en industrie laitière ? La transformation du lait ne fait appel à aucun traitement chimique. Seuls des procédés physiques et des réactions biochimiques sont utilisés. Parmi les principaux :

- 1) **Les traitements thermiques** : ils permettent de garantir la qualité sanitaire des produits mais conditionnent également leur durée de vie et leurs caractéristiques technologiques et texturales. Ils améliorent par exemple la fermeté des laits fermentés et la coagulation enzymatique, étape importante en fromagerie. Les couples temps/ température utilisés varient selon les produits
- 2) **L'écrémage**: cette opération manuelle (crémage) ou mécanique (par centrifugation) consiste à séparer la crème (globules gras en suspension) du lait. La crème peut ensuite être utilisée pour la production de beurre ou de crème de consommation.
- 3) **L'homogénéisation** : elle vise à stabiliser la phase grasse du lait et éviter la montée de la crème même après un entreposage de plusieurs jours. Ce procédé consiste à réduire la taille des globules de matière grasse en fines gouttelettes qui se répartissent de façon homogène dans la phase aqueuse. L'homogénéisation est utilisée dans la fabrication du lait de consommation, de yaourts et lors de la préparation du lait pour certaines technologies fromagères.
- 4) **Le séchage** : il permet de transformer le lait (ou ses composés) en poudre favorisant ainsi leur conservation, leur stockage et leur transport. C'est une méthode combinant évaporation sous vide et déshydratation thermique par atomisation (« spray process » le lait est vaporisé sous forme de gouttelettes au sein d'une chambre à séchage (air chaud et sec) et est récupéré sous forme de poudre) ou par cylindre chauffant (« roller process » : le lait circule entre les parois externes de deux cylindres rotatifs proches, chauffés de l'intérieur; il est récupéré sous forme de paillettes).
- 5) **Les techniques de filtration** : ces procédés physiques de séparation consistent à filtrer les liquides laitiers au travers d'une membrane de porosité contrôlée. Dans les techniques de filtration communément utilisées, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse qui diffèrent entre elles par la taille des pores et la pression appliquée.
- 6) **La fermentation** : réactions biochimiques réalisées sous l'influence d'enzymes microbiennes. Il existe différents types de fermentation :

- **La fermentation lactique** : transformation du lactose en acide lactique par des bactéries dites « lactiques,» (*Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp., *Leuconostoc* sp...) utilisées notamment dans la fabrication des fromages affinés ou des laits fermentés ;
 - **La fermentation propionique** : transformation du lactose en acide propionique, acide acétique et dioxyde de carbone (CO₂) par des bactéries du genre *Propionibacterium*. Ces bactéries jouent un rôle important au cours de l'affinage des fromages à pâte pressée cuite comme le gruyère.
- 7) **La standardisation** : elle consiste à amener le lait à une concentration donnée en matière grasse (par centrifugation) ou en protéines (par ultrafiltration). Ces ajustements permettent de pallier les variations de composition naturelles inhérentes à la race bovine ou liées à l'alimentation des vaches et aux saisons.
- 8) **La coagulation** : cette étape de transformation du lait en caillé est essentielle dans la fabrication des laits fermentés, des fromages et de certains desserts lactés. Elle est réalisée grâce à l'emploi de bactéries lactiques et/ou d'agents coagulants qui peuvent être d'origine microbienne, fermentaire, végétale ou animale (présure).
- 9) **La clarification** est l'opération par laquelle le lait est soumis à une force centrifuge dans le but d'en extraire les particules plus denses, tels les débris cellulaires, les leucocytes et les matières étrangères. Sans ce traitement, ces particules sédimenteraient dans le lait homogénéisé, et devenir visibles dans les contenants transparents.
- 10) **Thermisation** Dans de nombreuses laiteries importantes, il n'est pas possible de pasteuriser et de traiter le lait immédiatement après réception. Une partie du lait doit être stockée dans des cuves de stockage pendant plusieurs heures ou plusieurs jours. Dans ces conditions, même une réfrigération poussée ne suffit pas à éviter une grave détérioration de la qualité. De nombreuses laiteries préchauffent donc le lait à une température inférieure à la température de pasteurisation, pour inhiber la croissance des bactéries pathogènes. Ce procédé est appelé thermisation. Le lait est chauffé à 63-65°C pendant environ 15 secondes.

3. Transformation et conservation de fruits et légumes :

Les différentes étapes de la préparation auxquelles les fruits frais sont soumis auront bien évidemment un impact sur la flore des fruits frais, étant donné que certaines procédures inactivent une grande partie des microorganismes présents, alors que d'autres peuvent avoir l'effet opposé. Ainsi, bien que le lavage puisse ôter beaucoup d'organismes à la surface, certaines opérations comme peler, couper et débiter en tranches peuvent endommager les

cellules, en exposant aux milieux extérieurs les fluides nutritionnels des tissus intérieurs, et en fournissant de nouveaux accès aux microorganismes et aux autres contaminants.

3.1. Le blanchiment, c'est-à-dire l'exposition des fruits à des températures élevées pendant quelques minutes, est une opération de contrôle décisive de leur transformation en produits stables. Dans les méthodes traditionnelles de conservation, ce traitement par la chaleur a pour principale fonction de détruire les enzymes susceptibles d'abîmer les légumes et les fruits. Mais dans ces techniques de transformation minimales, le blanchiment a un autre rôle important: réduire la charge microbienne initiale en inactivant les microorganismes sensibles à la chaleur. Les températures utilisées sont létales pour les levures ainsi que pour la plupart des moisissures et des microorganismes aérobies. le blanchiment réduisait en fait la charge microbienne de 60 pour cent à 99 pour cent.

De plus, ce traitement par la chaleur a un effet de sensibilisation sur les survivants rendus moins résistants aux stress imposés par la réduction de l'activité de l'eau et du pH ainsi que par la présence de sorbate et de sulfites ou d'autres agents antimicrobiens. Le blanchiment peut s'effectuer dans de l'eau bouillante ou très chaude, ou encore dans de la vapeur d'eau saturée. Cette dernière méthode a la préférence car elle permet de garder les propriétés sensorielles (principalement la texture) et nutritionnelles (surtout les vitamines

V. Conclusion

La technologie alimentaire est essentielle dans l'industrie alimentaire moderne, garantissant que les produits sont non seulement sûrs, mais aussi nutritifs et largement accessibles. En appliquant des méthodes scientifiques, les techniciens alimentaires améliorent les processus de production, perfectionnent les techniques de conservation des aliments et créent des produits innovants qui répondent aux besoins en constante évolution des consommateurs. Une compréhension approfondie des concepts de base de la technologie alimentaire, allant de la transformation des matières premières à l'emballage et au contrôle de la qualité, est cruciale pour les étudiants souhaitant progresser dans l'industrie alimentaire

CHAPITRE 4 :
Opération unitaire

I. Introduction

Le concept d'opération unitaire a été initialement proposé et utilisé dans l'industrie pétrolière. Cependant, ce n'est que plus tard que les méthodes de génie chimique ont été étendues à toutes les autres industries. Début des années 1915-1920 : tout processus industriel peut être simplifié en une combinaison d'un nombre limité d'opérations physiques (telles que le broyage, la distillation, l'absorption, le séchage, etc.). La production de tout produit industriel est réalisée selon un processus industriel clairement défini, dans un ordre coordonné d'opérations individuelles. Dans le cas des produits chimiques, ces opérations comprennent la préparation et la purification des matières premières jusqu'à l'emballage du produit fini.

II. Procédé industriel

Un procédé industriel est structuré par un ensemble d'opérations unitaires destinées à transformer les matières premières en produits finis. (Figure 2).

Une opération unitaire est un élément de la chaîne de production d'un composé. En effet, l'élaboration de tout produit industriel se fait selon une suite coordonnée d'opérations individuelles qui vont, pour la chimie, de la préparation et la purification des matières premières jusqu'au conditionnement des produits finis. Il est connu que les mêmes opérations unitaires peuvent être utilisées dans plusieurs industries : chimie, pharmacie, agroalimentaire, etc.

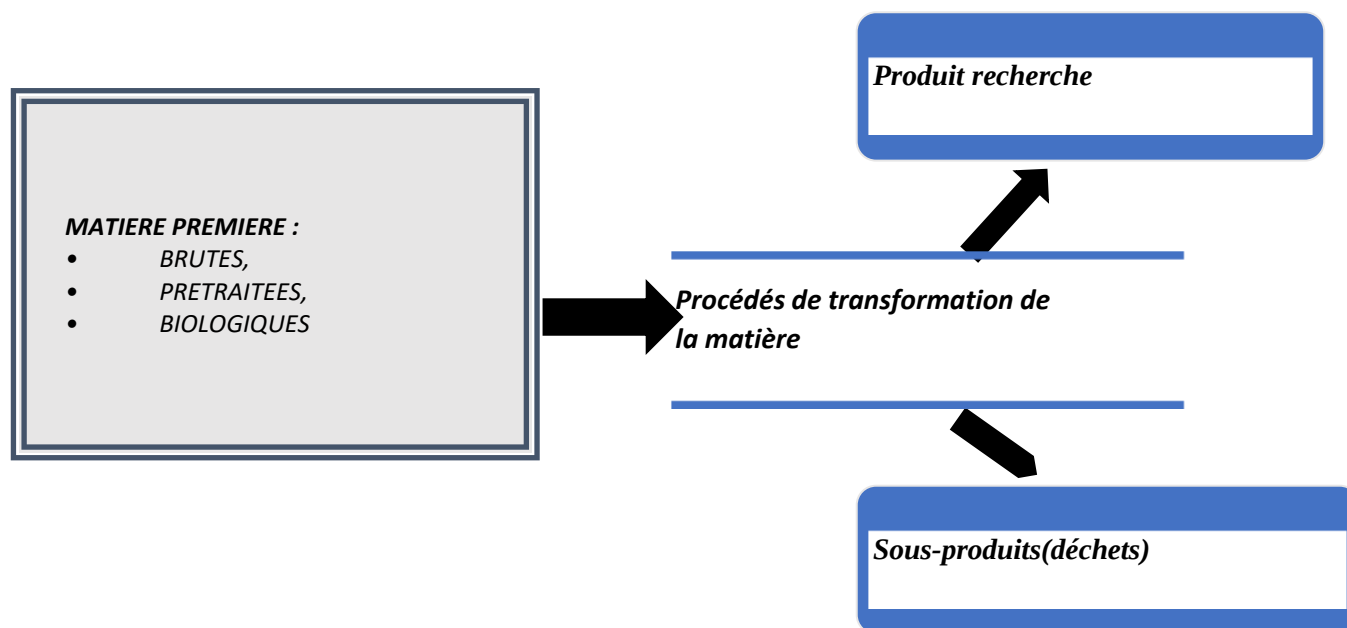


Figure 2: Schéma général d'un procédé de transformation industriel

III. Opération unitaire

Une opération unitaire est une subdivision d'un procédé industriel qui consiste en général en une opération physique ou chimique, est une opération où est réalisée une seule transformation chimique ou la séparation physique de constituants d'un mélange (distillation d'un mélange liquide) ou d'une suspension (par exemple la filtration).

Ce terme est utilisé en génie des procédés industriels et repris dans tous les secteurs industriels (pharmacie, chimie, alimentaire...). Cette découpe par opération permet d'établir des principes communs à plusieurs procédés en matière de conception, utilisation, dimensionnement.

IV. Classification des opérations unitaires

Dans un procédé industriel, on distingue généralement les réacteurs dans lesquels se déroulent les réactions chimiques et les opérations unitaires de séparation destinées à séparer et purifier les constituants d'un mélange. On distingue trois catégories d'opérations unitaires.

- Opérations unitaires chimiques et/ou biochimiques : réacteurs, fermentation, conservation, fours...
- Opérations unitaires mécaniques : tamisage, filtration, broyage centrifugation, sédimentation.
- Opérations unitaires physiques : extraction, distillation, absorption, adsorption séchage,...

1. Opérations unitaires des modifications chimiques

1.1. Conservation par les agents dépresseurs

L'ajout de sel ou de sucre représente l'une des méthodes les plus économiques et simples pour abaisser l'activité de l'eau (A_w) dans un aliment, améliorant ainsi sa conservation. Néanmoins, cette technique n'est applicable que pour des produits spécifiques où ces ingrédients sont essentiels à leurs propriétés gustatives et sensorielles. On peut citer comme exemples les anchois salés, les câpres conservées dans le sel, les sirops et divers produits de confiserie.

A. Le salage

La conservation par salage est une méthode qui utilise le sel pour préserver les aliments. Elle peut être réalisée de deux manières principales :

A.1. Salage à sec

Cette technique consiste à appliquer directement le sel sur la surface de l'aliment. On utilise généralement une quantité de sel équivalente à environ 15% du poids de l'aliment pour provoquer sa déshydratation.

A.2. Saumurage

Dans ce procédé, l'aliment est immergé dans une solution d'eau salée appelée saumure. Cette solution peut contenir, en plus du sel et de l'eau, divers additifs tels que des aromates, des sucres ou des nitrates. Le saumurage fonctionne par osmose : le sel migre dans l'aliment jusqu'à ce que la concentration en sel dans ses tissus s'équilibre avec celle de la saumure, (figure 2).



Figure 3: Exemple d'opération unitaire de modification chimique (saumurage de poulet marine, visite pédagogique des étudiants L2 Science Alimentaire. Abattoir avicole hadj khider complexe Ain oussera w de Djelfa)

1.2. Opérations unitaires mécaniques

1.2.1. Fragmentation

A. Processus de fragmentation

La fragmentation comprend toutes les opérations visant à décomposer une masse solide en fragments plus petits grâce à l'application de forces mécaniques externes (figure 3). L'objectif technologique du broyage est d'augmenter la surface d'échange entre le solide et son environnement (liquide ou gazeux), ainsi que de faciliter son mélange avec un autre solide. Cela contribue également à améliorer les processus de transfert tels que le séchage, le refroidissement, le chauffage ou l'extraction (Bimbenet et al., 2017).

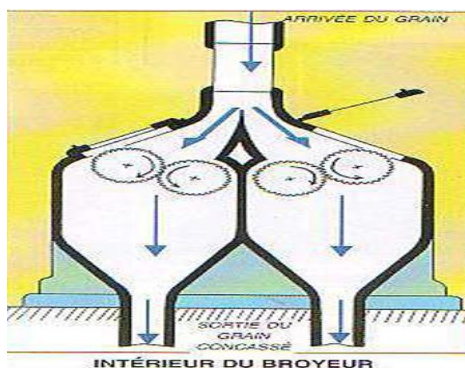


Figure 4: Exemple d'opération unitaire de modification mécanique (étape de broyage (mouture))(visite pédagogique des étudiants L2 Science Alimentaire. Meunerie .Agrodiv .Laghouat. w Laghouat)

B. Mécanisme

Les forces de contact appliquées à une particule de matériau créent un champ de contraintes tridimensionnel à l'intérieur du volume du matériau, distribué de manière non uniforme. Ces contraintes provoquent des déformations élastiques et inélastiques liées à la taille

et/ou à la masse de la particule initiale. Ces déformations sont à l'origine de la formation de fissures.

Rumpf (1965) a décrit quatre types de contraintes mécaniques pouvant être responsables de la comminution des particules solides.

a) Par compression ou compression- friction (figure 5)

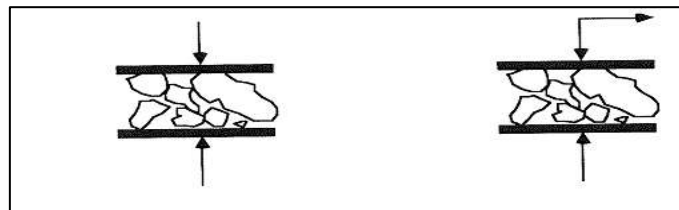


Figure 5: compression ou compression- friction

b) Par cisaillement (figure 6)

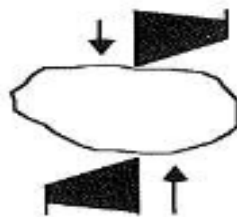


Figure 6: cisaillement

c) Par choc contre une paroi (figure7)

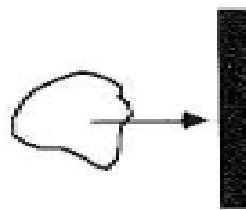


Figure 7: choc contre une paroi

d) Par choc mutuel entre deux particules (figure 8)



Figure 8: choc mutuel entre deux particules

La compression ou l'écrasement sont généralement utilisés pour fragmenter des solides durs en gros morceaux. Le frottement sur une surface rugueuse, en revanche, produit généralement des particules fines. Le découpage et le cisaillement permettent en général d'obtenir des fragments de taille définie. La réduction par impact génère des tailles pouvant varier considérablement, allant de particules relativement grossières à des poudres.

Il convient de noter que la fragmentation peut résulter de l'interaction avec le fluide environnant ou être provoquée par l'apport d'énergie électromagnétique, sonore ou thermique (Lecoq, 1994).

Exemple de fragmentation

- Broyeurs à meules : Ils sont utilisés en amidonnerie et dans la mouture du café.
- Broyeurs à cylindres : Sont utilisés particulièrement en meunerie ou ils permettent d'obtenir des farines avec des caractéristiques bien précises, sans briser les sons et donnant un **amidon peu fissuré**
- Broyeurs à percussion : Le broyage s'effectue par impact du produit à broyer avec les masses articulées, tournant à grande vitesse (120 m /s).
- Les cutters à lames rapides et tranchantes : Utilisés en IAA pour hacher les produits mous ou fibreux comme les viandes, les chairs à saucisse.
- Le broyage en milieu liquide de légumes ou de fruits (Bimbenet *et al.*, 2002).

1.2.2. Criblage

A. Définition

Le criblage est une opération de classement dimensionnel de grains de matière de formes et de dimensions variées, par présentation de ces grains sur des surfaces perforées qui laissent passer les grains de dimensions inférieures aux dimensions de perforation, tandis que les grains de dimensions supérieures sont retenus et évacués séparément (Blanc, 1980).

B. Le criblage à différents buts qui sont les suivants :

- Séparer les plus gros fragments (ou refus) contenus dans un mélange, soit en vue de les éliminer, soit en vue de leur faire subir une réduction par concassage ou broyage ;
- Séparer les plus petits fragments, soit pour les agglomérer, soit pour les éliminer comme déchets ;

Les surfaces de criblage se classent, du point de vue de leur constitution en grilles, tôles perforées, grillages ou tissus. Les dispositions les plus courantes sont rassemblées sur la (Figure 9) (Blanc, 1980).

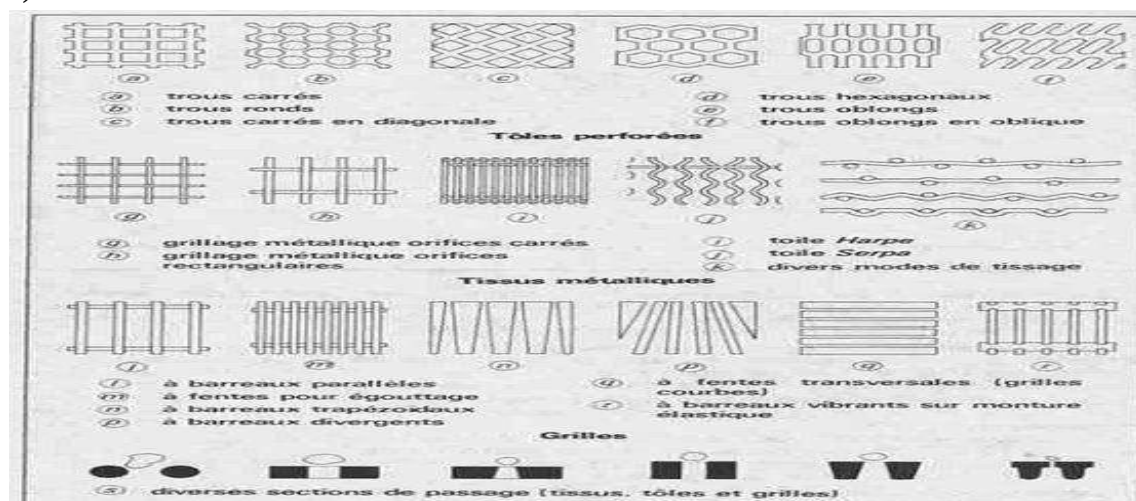


Figure 9: Surfaces de criblage (Blanc, 1980)

1.3. Opérations unitaires physiques

1.3.1. Extraction

C'est la première opération de séparation de tout un ensemble de filières de transformations (sucrierie, huilerie, jus de fruits...). Le verbe extraire évoque une séparation sélective dans laquelle on retient l'une des phases (l'extrait) pour rejeter l'autre (le résidu)(Mafart et Béliard, 2004).

Il existe différents types d'extractions, l'extraction par pression, l'extraction liquide/liquide et l'extraction solide / liquide.

A. Extraction par pression

L'extraction par pression ne fait intervenir que la force de pression ,elle est couplée à l'extraction solide- liquide dans le cas de l'huilerie et de sucrierie de canne. L'extraction par pression permet la récupération de la majeure partie de la substance à extraire et suivie d'une extraction par solvant pour épuiser le résidu (Mafart et Béliard, 2004).

Toute extraction par pression est procédée d'une ou de plusieurs opérations préparatoires mécaniques ou thermiques : broyage et malaxage des oléagineux, défibrage de la canne à sucre, râpage de la pulpe de pomme.

Lors de l'extraction des jus de raisin et de pomme la pression appliquée ne doit pas dépasser 10 à 15 bars, car l'augmentation de pression entraîne une augmentation du pH du jus ainsi que la teneur en phénols dans le cas de jus de raisin (Mafart et Béliard, 2004).

B. Extraction liquide - liquide

L'extraction liquide - liquide consiste à faire passer une substance d'un solvant dont elle est souvent difficile à séparer, à un autre, dont elle sera facilement isolable. Cette extraction est réalisée dans le cas où les deux solvants sont très peu ou pas miscibles entre eux (Chavanne et al., 1986).

- Applications et exemples dans l'industrie alimentaire

Cette technique est couramment utilisée dans l'agroalimentaire pour :

- **Purifier ou concentrer des arômes, des colorants, ou des composés actifs** présents dans des matrices liquides complexes.
- **Éliminer des contaminants, résidus de pesticides ou d'agents indésirables** présents dans les produits alimentaires finis ou semi-finis

C. Extraction solide - liquide

L'extraction solide-liquide encore appelée extraction par solvant est une opération de transfert de matière destinée à séparer les principes solubles d'un substrat solide par leur diffusion dans un solvant (Mafart et Béliard, 2004).

Le lavage de la caséine du lait doit être considéré comme une extraction du lactose et des sels minéraux. De même le blanchiment des pommes de terre destiné à diminuer partiellement les sucres est une extraction solide-liquide. Aussi l'élimination des lipoprotéines de soja ou la caféine du thé ou du café peut faire appel à l'extraction par solvant (Mafart et Béliard, 2004).

1.4. Opération unitaire des traitements post-récolte et post-mortem des matières premières alimentaires

Le rôle principal de l'industrie alimentaire est de transformer les matières premières agricoles et animales en produits alimentaires appropriés à la consommation humaine.

Le traitement post-récolte et post-mortem des matières premières alimentaires est d'expliquer les opérations de traitement et la manipulation des cultures agricoles, des produits animaux et des matières premières alimentaires après leur récolte/abattage et leur entrée

ultérieure dans les usines de production alimentaire. Ces processus et opérations unitaires sont très importants car ils affectent directement la qualité et la sécurité des produits alimentaires finaux obtenus.

1.4.1. Opérations primaires dans le traitement post récolte

1.4.1.1. Le nettoyage

Le nettoyage est la première étape du traitement des aliments pour les matières premières de l'industrie. C'est un processus en plusieurs étapes pour éliminer les matériaux indésirables, contaminés et non comestibles des aliments, préparant et permettant aux aliments un traitement et une transformation ultérieure ou un stockage. Le nettoyage est non seulement important pour améliorer la qualité des produits, réduire les déchets, améliorer la durée de conservation, augmenter les valeurs marchandes, recevoir de meilleurs retours de la part des consommateurs satisfaits, mais aussi pour protéger les équipements de traitement ultérieurs des dommages (abrasion mécanique et chimique, (Fellows, 2000).

Dans le nettoyage, outre le nettoyage à sec et humide, des opérations comme l'épluchage (fruits et légumes,), le dépouillement et le détartrage (animaux terrestres et aquatiques,), le blanchiment (fruits et légumes) peuvent également être incluses, car toutes ces opérations contribuent au nettoyage final des produits alimentaires

Tableau 2: Les substances extractibles fréquemment rencontrées dans les matières premières alimentaires (Brennan et al.,1990) :

Type of contaminants	Examples
Organismes et leurs sécrétions et leurs produit	Micro-organismes, insectes, larves, œufs, autres animaux et plantes
Pulvérisations agricoles	Herbicides, pesticides et engrais
Déchets animaux	Fèces, poils, griffes et os
Déchets végétaux	Cosses, brindilles, graines et mauvaises herbes
Déchets solides	Particules de sol, sable, pierres, métaux et autres solides
Produits chimiques	Couleurs, arômes, toxines, huiles et graisses

1.4.1.2. Tri

Le tri et le calibrage sont souvent confondus, mais le tri consiste en une séparation fondée sur une seule caractéristique mesurable du produit, tandis que le calibrage correspond à

une évaluation globale prenant en compte plusieurs attributs (Fellows, 2000). Le tri des produits alimentaires facilite diverses opérations telles que le remplissage pondéral, l'amélioration de l'esthétique, la sélection de produits spécifiques pour un traitement ultérieur, la stérilisation, la déshydratation, la congélation ainsi que le stockage en unités alimentaires triées. Il rend également les produits plus adaptés aux traitements mécaniques, tels que la découpe (réduction de taille), l'épluchage et le calibrage final des produits. Ces processus sont généralement réalisés en amont. Le tri repose essentiellement sur quatre critères principaux : la taille, la forme, la couleur et le poids.

1.4.1.3. Calibrage

Le calibrage correspond à « l'évaluation globale de la qualité d'un aliment à travers un ensemble d'attributs spécifiques », en s'appuyant sur des critères de qualité incluant la valeur commerciale, l'usage final et les normes officielles (Saravacos, 2002). Le calibrage requiert souvent un jugement manuel exercé par des opérateurs qualifiés, qui peut impliquer une comparaison avec des standards et des modèles de référence, sauf lorsque le critère d'évaluation est unique (comme la taille des graines), ce qui permet alors une certaine automatisation.

Parmi les exemples, on peut citer le « mirage » des œufs sous lumière tungstène, où l'inspecteur recherche la fertilisation, les malformations, les fissures de la coquille, les maladies, les taches de sang, la pourriture, ainsi qu'une dizaine d'autres critères. De même, l'inspection de la viande porte sur la détection de maladies, la couleur, les dommages, les ecchymoses, le ratio chair/os, la taille, etc. Pour les fruits et légumes, on examine la couleur, les imperfections, les altérations, la taille et la forme. Les produits comme le thé et le café sont évalués selon leur arôme, leur intensité nutritionnelle, leur couleur et leur saveur. Le fromage, le beurre et autres produits laitiers font également l'objet d'appréciations sensorielles telles que l'arôme, la couleur, le goût et la valeur nutritionnelle.

Parfois, des analyses en laboratoire complémentaires sont nécessaires, notamment pour les céréales, les produits laitiers et d'autres aliments transformés. Ces tests peuvent inclure la mesure de la couleur, la teneur en protéines, l'élasticité de la pâte, la teneur en humidité ainsi que le contrôle de la contamination interne.

1.4.1.4. Épluchage

L'épluchage (fruits et légumes) ou le détartrage ou le dépouillement (animaux) sont profondément liés et sont donc effectués après ou avec les procédures de nettoyage.

L'épluchage, en plus d'augmenter la qualité du produit et les valeurs marchandes, rend également le produit convivial et attrayant pour le consommateur. Les principales méthodes d'épluchage sont : Mécanique – épluchage au couteau, épluchage abrasif, épluchage à la vapeur, épluchage à la flamme, et Chimique –épluchage alcalin ou caustique et à la saumure.

1.4.1.5. Blanchiment

Le blanchiment peut être défini comme un traitement thermique visant à dénaturer les enzymes dans les morceaux de fruits et de légumes solides, généralement avant la congélation, le séchage ou la mise en conserve.

Le blanchiment est particulièrement utilisé pour préserver la couleur des aliments ; il est généralement effectué à la pression atmosphérique à l'aide de vapeur ou d'eau chaude à des températures allant de 90 à 95 °C pendant environ 1 ou 2 minutes (Smith, 2011).

Les conditions susmentionnées comprennent le blanchiment à haute température et à courte durée (HTST). Néanmoins, l'utilisation de températures de blanchiment aussi basses que 50 °C et de durées de blanchiment aussi longues que 40 minutes a été signalée au cours des dix dernières années. Après le blanchiment, le produit est généralement refroidi dans de l'eau, ce qui permet d'inhiber les thermophiles et d'éviter que le produit ait un goût de cuit.

Bien que l'inactivation des enzymes ait été le principal objectif du blanchiment, les rapports de datant du milieu du siècle dernier font référence à son effet positif sur d'autres aspects, tels que :

1. La réduction du niveau microbien sur les aliments avant la congélation
2. L'amélioration de la rétention des caroténoïdes dans les fruits secs ; et
3. Réduction de la concentration de pesticides sur la surface des légumes

D'autre part, des effets délétères du blanchiment ont également été signalés à cette époque, à savoir la perte de vitamines hydrosolubles dans l'eau de blanchiment, (Reis, 2017).

1.4.1.6. Sulfitage

Le dioxyde de soufre (SO₂) ou les sulfites inorganiques (SO₃²⁻) peuvent être ajoutés aux aliments (en particulier aux fruits et légumes) pour contrôler le brunissement enzymatique et non enzymatique, limiter la croissance microbienne, ou encore comme agents de blanchiment, agents réducteurs ou antioxydants. Les principales applications consistent à préserver ou à prévenir la décoloration des fruits et légumes. Certains agents sulfiteux autorisés

par la réglementation européenne incluent : le SO₂, le sulfite de calcium, le bisulfite de calcium, le sulfite de sodium, le bisulfite de sodium, le métabisulfite de sodium, le métabisulfite de potassium et le bisulfite de potassium. Cependant, les sulfites présentent certains risques et inconvénients (par exemple, des effets secondaires chez les asthmatiques) ; de ce fait, leur usage est partiellement restreint par l'Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux (FDA).

1.4.2. Les phases des modifications post-mortem après l'abattage.

Contrairement aux fruits et légumes qui continuent à subir des réactions métaboliques après la récolte, la viande traverse une phase post-mortem suite à l'abattage. On observe des différences notables dans les caractéristiques physico-chimiques de la viande avant (pré-mortem) et après l'abattage (post-mortem). De nombreuses réactions biochimiques et chimiques entraînent des modifications importantes des propriétés physico-chimiques du muscle. La viande est composée principalement de trois types de tissus, tissu musculaire, tissu adipeux et tissu conjonctif.

La viande est souple et tendre, mais après l'abattage, le tissu musculaire de la viande devient plus dur, plus rigide (phase de rigor mortis) et difficile à bouger. Cependant, les modifications après l'abattage ne se maintiennent pas sur une longue période car la viande redevient tendre (phase post-rigor). (Ruiz de Huidobro, Miguel, Onega, & Bla'zquez, 2003).

Les modifications biochimiques se déroulent en trois phases distinctes : (1) la phase pré-rigor, (2) la phase de rigor mortis (rigidité cadavérique) et (3) la phase post-rigor. Au sein du tissu musculaire, l'adénosine triphosphate (ATP) est synthétisée par l'oxydation des glucides musculaires (glycogène) via le cycle de Krebs. L'ATP forme un complexe stable avec des ions magnésium, désigné sous le terme ATP·Mg²⁺. L'adénosine diphosphate (ADP), l'acide phosphorique (H₃PO₄), l'énergie libérée ainsi que les ions calcium (Ca²⁺) régulent la disponibilité de l'ATP libre en inhibant la dissociation du complexe ATP·Mg²⁺.

À l'état de relaxation musculaire, les filaments d'actine, présents dans les sarcomères des fibres musculaires, sont maintenus séparés, l'ATP étant majoritairement lié sous forme de complexe ATP·Mg²⁺, tandis que les ions Ca²⁺ sont stockés dans le réticulum sarcoplasmique. Lorsqu'un stimulus nerveux est délivré, le système nerveux central induit la libération des ions Ca²⁺ par le réticulum sarcoplasmique. L'ion Ca²⁺ libre provoque la dissociation du complexe ATP·Mg²⁺, libérant ainsi de l'ATP disponible qui active l'enzyme ATPase. Cette enzyme hydrolyse l'ATP libre, générant l'énergie nécessaire à la formation des ponts entre les filaments

d'actine et de myosine, ce qui engendre la contraction musculaire (Ji & Takahashi, 2006 ; Ramanathan et al., 2020).

Inversement, lorsque le stimulus cesse, les ions Ca^{2+} sont recaptés par le réticulum sarcoplasmique, entraînant l'inactivation de l'ATPase. L'ATP est alors reformé en complexe $\text{ATP}\cdot\text{Mg}^{2+}$, et les filaments d'actine dans les sarcomères des fibres musculaires se relâchent

1.4.2.1. Phase pré-rigor (état pantelant)

Après la mort d'un animal, la respiration et la circulation sanguine s'arrêtent, ce qui entraîne l'absence d'apport d'oxygène au tissu musculaire. Cela interrompt également la production d'ATP par le processus d'oxydation du glycogène via le cycle de Krebs. Le reste du glycogène dans le tissu musculaire est décomposé en acide lactique par glycolyse anaérobie, ce qui diminue lentement le pH du tissu musculaire. Après la phase pré-rigor, il y a encore suffisamment de complexe $\text{ATP}\cdot\text{Mg}^{2+}$ dans le tissu musculaire pour empêcher le croisement des filaments d'actine dans les sarcomères des fibres musculaires. Par conséquent, le tissu musculaire reste mou, flasque et lisse. Cette phase dure environ 8 à 12 heures après la mort de l'animal.

1.4.2.2. Phase de rigor mortis (état de rigidité cadavérique)

Après la mort de l'animal, les fibres réticulaires ne peuvent plus fonctionner et les ions Ca^{2+} sont libérés . La libération induit la décomposition du complexe $\text{ATP}\cdot\text{Mg}^{2+}$ pour produire de l'ATP libre. L'enzyme ATPase est activée pour cliver l'ATP libre afin de produire l'énergie nécessaire à la traversée des filaments d'actine dans les sarcomères des fibres musculaires. Ce processus se déroule lentement et le croisement des filaments d'actine dans les sarcomères des fibres musculaires se produit complètement. Par conséquent, le tissu musculaire devient dur, rugueux et rigide. Cette phase dure environ 15 à 20 heures après la phase de pré-rigor. La figure 5 montre le cheminement des composés, métaboliques et enzymatiques dans cette phase de rigor-mortis.

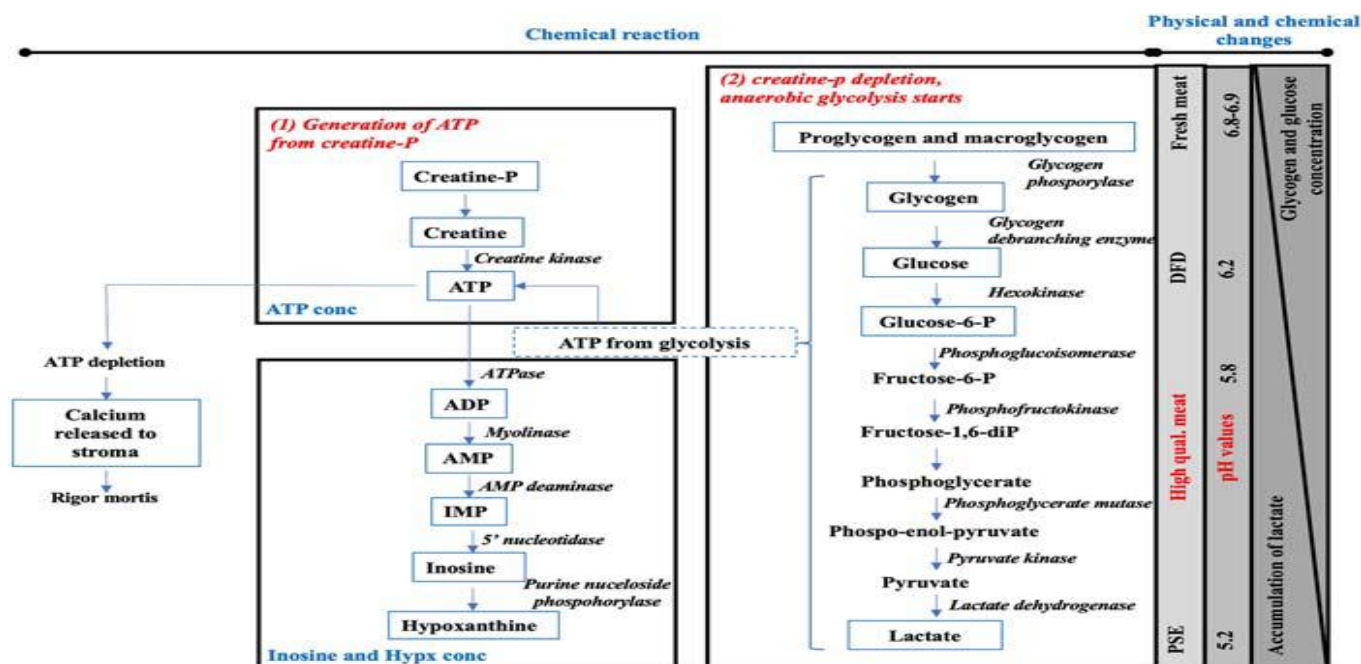


Figure 10: Réactions chimiques (composés, enzymes, métaboliques) et changements post-mortem de la viande en état de rigidité cadavérique. L'activité enzymatique et les composés sont indiqués en lettres bleues et en bordure rouge, respectivement. PSE, Pale, soft,

1.4.2.3. Phase post-rigor (état de maturation)

À partir du moment où l'animal meurt, la dégradation de l'ATP et du glycogène se poursuit si le glycogène est encore présent dans le tissu musculaire. La dégradation de l'ATP produit des composés précurseurs de la saveur de la viande, responsables de goûts spécifiques. Le produit final de la dégradation du glycogène est l'acide lactique, qui fait baisser le pH du tissu musculaire. Pendant la phase post-rigor, le pH normal du tissu musculaire, d'environ 6,5-6,6, descend à environ 5,3-5,5. Lorsque le pH du tissu musculaire atteint 5,5, les cellules musculaires libèrent et activent une enzyme protéolytique, la cathepsine. Cette enzyme détend les fibres musculaires tendues et assouplit la structure des molécules de protéines, augmentant leur capacité à retenir l'eau puis détruisant les liaisons entre les fibres musculaires. Par conséquent, les tissus musculaires tendus et raides en phase de rigor mortis redeviennent mous et souples dans la phase post-rigor.

L'état de l'animal au moment de l'abattage influence la quantité de glycogène restante dans le tissu musculaire. Avant l'abattage, un animal affamé contient peu de glycogène dans le muscle, et le pH final atteint dans la phase post-rigor est relativement élevé. Si ce pH final atteint 5,8 ou plus, la capacité de liaison à l'eau des protéines est élevée, ce qui donne une viande d'apparence sombre, ferme et sèche.

En revanche, le stress et d'autres facteurs inconnus provoquent une chute rapide du pH, le rendant très bas. En conséquence, la capacité de rétention d'eau (WHC) des protéines devient très faible, et la viande apparaît pâle, molle et aqueuse, ou pâle, molle et exsudative.

Les réactions chimiques dans le tissu musculaire après la mort de l'animal sont affectées par la température de conservation de la carcass. Une température plus basse ralentit le rythme des réactions biochimiques. Cette basse température peut provoquer une contraction des fibres musculaires alors que la concentration d'ATP dans le tissu reste suffisamment élevée, empêchant un attendrissement post-mortem optimal, ce qui peut rendre la viande plus ferme. Cette condition s'appelle le « raccourcissement à froid ». De même, la congélation des tissus musculaires en phase pré-rigor ralentit les réactions biochimiques. Lors de la décongélation, ces réactions s'accélèrent fortement du fait des dommages aux cellules musculaires, ce qui entraîne un rapprochement plus intense des filaments d'actine au sein des sarcomères des fibres musculaires. Ainsi, la viande congelée en phase pré-rigor (immédiatement après l'abattage) est préférable à cuire immédiatement sans décongélation préalable. Cette situation est appelée « rigidité par décongélation ».

1.5. Les procédés de conservations

Techniques de conservation des aliments désignent les méthodes utilisées pour prolonger la durée de vie d'un aliment donné tout en maintenant sa qualité nutritionnelle, sensorielle et de sécurité. Ces méthodes visent à prévenir ou à ralentir les dommages causés par des processus chimiques, physiques ou microbiologiques.

Les techniques de conservation des aliments peuvent être regroupées en trois catégories principales :

1.5.1. Méthodes physiques :

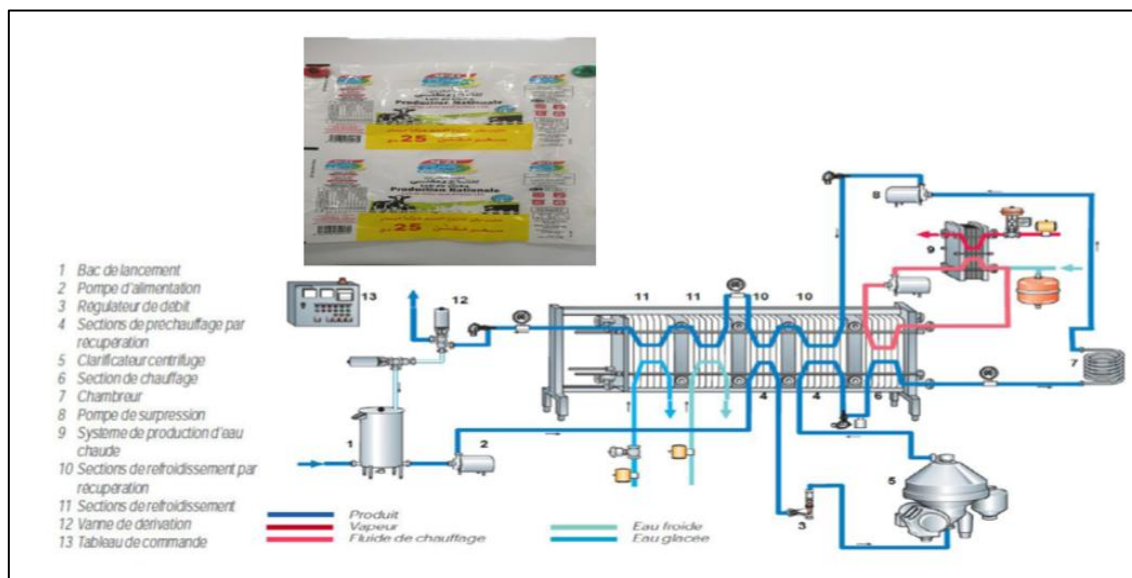
C'est des méthodes par modification de la température (ex. pasteurisation, stérilisation, réfrigération, congélation) ou application de pression, irradiation ou champs électriques pour prolonger la conservation. (Figure 11).

1.5.1.1. Conservation par la chaleur

a) Pasteurisation

Ce traitement thermique s'effectue à des températures inférieures à 100°C et doit être suivi d'un refroidissement rapide car tous les micro-organismes ne sont pas éliminés et il est nécessaire de ralentir le développement des agents pathogènes encore présents (par exemple les

bactéries sporulantes). Selon la combinaison de la température et du temps, il existe trois types de pasteurisation : la pasteurisation à basse température (60 à 65°C, 15 à 30 minutes), la pasteurisation à haute température (70 à 75°C, 15 à 40 secondes) et la pasteurisation instantanée



(85 à 95°C, 1 à 2 secondes), (figure 11)

Figure 11: Installation complète d'une ligne de pasteurisation du lait

b) Stérilisation

La stérilisation est une technique de conservation des produits alimentaires par chauffage, qui consiste à les exposer à des températures généralement supérieures à 100°C (température : 100-150°C ; généralement >115°C, référence : 121,1°C) pendant une durée suffisamment longue pour inhiber l'activité enzymatique et détruire tous les micro-organismes sous forme végétatives ou sporulée. La stérilisation permet aux produits d'avoir une longue durée de conservation à température ambiante (par exemple, le lait stérilisé à ultra-haute température, les aliments en conserve, etc.)

c) L'appertisation

L'appertisation est un procédé de conservation qui consiste à stériliser par la chaleur des denrées périssables dans des récipients hermétiques (boîtes de conserve, bocaux, etc.) (récipients étanches à l'eau, au gaz et aux micro-organismes). Sa découverte remonte aux années 1790. L'appertisation est aujourd'hui largement utilisée pour la conservation à long terme des aliments d'origine animale et végétale. La durée de conservation des aliments appertisés varie de quelques mois à plusieurs années.

En cas de mauvaise hygiène ou d'utilisation incorrecte du procédé, le risque alimentaire lié au botulisme peut être mortel.

1.5.1.2. Conservation par le froid

L'application du froid (réduction de la température = froid "positif" ou "négatif") pour la conservation des aliments est la technique la plus répandue. Les basses températures retardent le développement des micro-organismes, ainsi que les réactions chimiques et enzymatiques qui conduisent à la détérioration du produit. Les enzymes et les réactions chimiques sont considérablement ralenties à basse température ($< +5^{\circ}\text{C}$), tandis que la plupart des micro-organismes ne sont plus capables d'activité métabolique à des températures inférieures à -5°C . il est connu qu'il existe trois règles fondamentales à respecter dans l'application du froid :

1. Le froid doit être appliqué à des denrées alimentaires initialement saines ;
2. La réfrigération doit être effectuée le plus rapidement possible ;
3. La chaîne du froid ne doit pas être rompue.

Deux procédés qui utilisent cette technique de refroidissement sont : la réfrigération et la congélation.

a) Réfrigération

La réfrigération consiste à conserver les aliments à une basse température, proche du point de congélation, mais toujours positive. En général, la température de réfrigération se situe entre 0°C et $+7^{\circ}\text{C}$, à ces températures, la vitesse de développement des micro-organismes est ralentie. La plupart des micro-organismes présents peuvent donc reprendre leur activité dès que la température remonte à un niveau favorable.

La réfrigération ralentit les processus de dégradation des matières, vivantes ou non, ainsi que le métabolisme cellulaire des organismes vivants (comme la respiration, la croissance et la maturation). Elle retarde la multiplication des populations microbiennes mais ne détruit qu'un nombre limité de germes. Par conséquent, la contamination initiale du produit est un facteur crucial, car toute hausse de température, même brève, entraîne une reprise du développement des micro-organismes,(figure12).

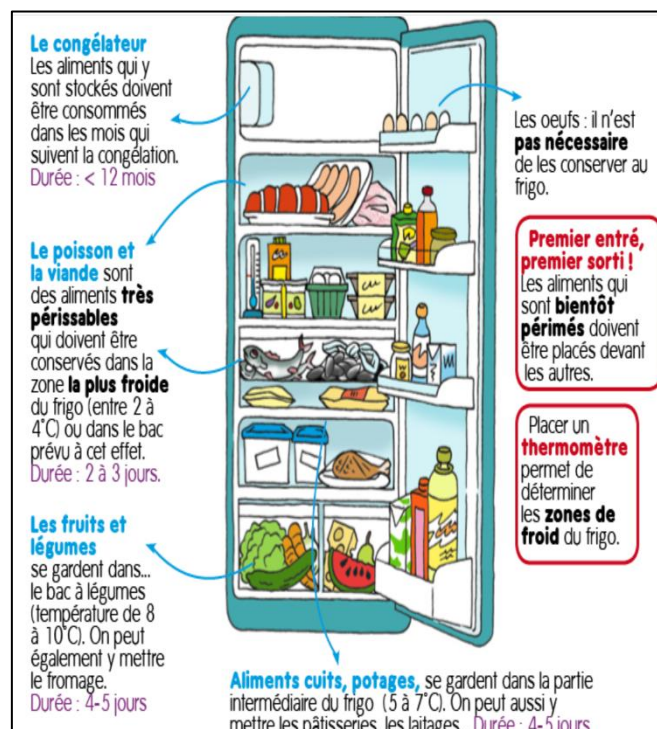


Figure 12: Aliments et durée de conservation

a.1.Réfrigération (2-8°C) :

- Cette plage est utilisée pour le stockage à court terme des aliments périssables tels que les fruits, légumes, produits laitiers, viandes et fruits de mer. À ces températures, les activités métaboliques des micro-organismes sont considérablement ralenties, mais elles ne sont pas totalement arrêtées.
- La croissance bactérienne est inhibée, en particulier la croissance de pathogènes tels que Salmonella, E. coli et Listeria monocytogenes. Cependant, la réfrigération ne tue pas ces pathogènes, elle ralentit simplement leur reproduction.
- Cependant, la congélation ne tue pas les bactéries. Elle préserve les aliments en rendant les micro-organismes dormants. Si les aliments sont décongelés et mal manipulés, ces microbes peuvent redevenir actifs.

a.2.Stockage Réfrigéré (0°C - 2°C) :

- Le stockage réfrigéré, juste au-dessus du point de congélation, est utilisé pour certains produits qui nécessitent un environnement plus froid que la réfrigération classique, comme

certaines poissons, qui se conservent mieux à des températures proches du congélateur pour maintenir leur fraîcheur.

- À cette plage, la croissance microbienne est ralentie mais non arrêtée complètement.

b) La congélation

La congélation désigne le processus par lequel un produit est soumis à des températures suffisamment basses pour provoquer la transition de l'eau qu'il contient de l'état liquide à l'état solide. Cette opération vise à ralentir les processus enzymatiques et microbiens, garantissant ainsi une durée de conservation prolongée. Au cours de ce procédé, l'eau présente dans les aliments se cristallise, entraînant une diminution significative de l'eau disponible, ce qui réduit l'activité de l'eau. Cette réduction ralentit ou inhibe l'activité microbienne et enzymatique. En conséquence, la congélation permet de conserver les aliments sur une période plus longue que la réfrigération. Bien que la congélation puisse être comparée à une déshydratation, l'eau cristallisée devient liée et est donc inutilisable par les micro-organismes. Toutefois, le produit congelé doit être consommé rapidement après sa décongélation, car ce traitement n'élimine ni les enzymes ni les micro-organismes présents dans l'aliment.

La Congélation à -18°C et en dessous est principalement utilisée pour le stockage à long terme des viandes, volailles, fruits de mer, légumes et repas cuisinés. La congélation arrête essentiellement la croissance des bactéries et des moisissures en congelant l'eau dans les aliments, ce qui réduit l'humidité disponible pour que les microbes se développent.

La congélation peut altérer la texture alimentaire due à la formation de cristaux de glace dans les structures cellulaires, bien que des techniques de congélation appropriées peuvent minimiser la dégradation de qualité. La Congélation Rapide Individuelle (IQF) et autres technologies de congélation rapide créent des cristaux de glace plus petits qui causent moins de dommages cellulaires, préservant la qualité alimentaire plus efficacement que les méthodes de congélation lente.

1.5.1.3. Méthodes physico-chimiques :

changement de certaines propriétés intrinsèques des aliments, comme l'abaissement du pH, la réduction de l'activité de l'eau (ex. salage, séchage, lyophilisation) ou l'ajout de certains conservateurs pour prévenir la détérioration dans une certaine mesure.

1.5.1.4. Réduction de l'activité de l'eau

L'activité de l'eau (a_w) est un facteur clé pour déterminer la stabilité et la durée de conservation des aliments. Elle fait référence à la disponibilité de l'eau dans un produit, c'est-à-dire l'eau qui peut être utilisée par les micro-organismes, pour l'activité enzymatique et pour les

réactions chimiques. Bien que l'eau soit essentielle à la qualité des aliments, contrôler sa disponibilité peut considérablement améliorer leur conservation.

Qu'est-ce que l'Activité de l'Eau ?

- L'activité de l'eau est une mesure de l'eau "libre" ou disponible dans un aliment, contrairement à l'eau liée aux molécules alimentaires (comme les protéines ou les glucides).
- Elle varie de 0 (complètement sec) à 1,0 (eau pure).
- La plupart des micro-organismes, y compris les bactéries, les levures et les moisissures, nécessitent des niveaux d'activité de l'eau supérieurs à 0,6 pour se développer et se multiplier. Les réactions enzymatiques et chimiques dépendent également de l'activité de l'eau

➤ Comment la Réduction de l'Activité de l'Eau Permet-elle de Conserver les Aliments ?

En réduisant l'activité de l'eau, l'aliment devient moins favorable à la croissance des micro-organismes, à l'activité enzymatique et aux réactions chimiques. Voici comment cela fonctionne :

- **Inhibition de la Croissance Microbienne**

La plupart des micro-organismes nuisibles, tels que Salmonella, E. coli, et Listeria, ont besoin d'eau pour survivre et se développer. En réduisant l'activité de l'eau, ces micro-organismes sont soit ralentis, soit incapables de se développer.

Par exemple :

Les bactéries ont besoin d'une activité de l'eau d'au moins 0,91 pour se développer. Les levures et moisissures ont besoin d'une activité de l'eau minimale de 0,60. En réduisant la disponibilité de l'eau (sans complètement dessécher l'aliment), l'activité microbienne est inhibée, ce qui limite le risque de détérioration.

- **Ralentissement ou Arrêt des Réactions Enzymatiques**

Les réactions enzymatiques, telles que celles impliquées dans le brunissement des fruits ou la maturation des légumes, dépendent de la disponibilité de l'eau. En réduisant l'activité de l'eau, ces processus enzymatiques sont considérablement ralentis ou arrêtés.

Cela permet d'éviter des changements indésirables dans la qualité des aliments, tels que la perte de saveur, de couleur ou de texture.

- **Réduction des Réactions Chimiques**

De nombreuses réactions chimiques, comme l'oxydation, nécessitent de l'eau comme milieu pour se produire. Réduire l'activité de l'eau limite la possibilité de ces réactions, ce qui aide à maintenir la qualité, la saveur et la valeur nutritionnelle des aliments sur le long terme.

Par exemple, la rancification des graisses, qui se produit lorsque l'oxygène interagit avec les graisses en présence d'eau, est considérablement ralentie lorsque l'activité de l'eau est réduite.

1.5.2. Lyophilisation

La lyophilisation des aliments est une méthode avancée de conservation qui consiste à retirer l'eau d'un produit en deux étapes principales : la congélation rapide suivie de la sublimation de la glace sous vide.

Le principe de la lyophilisation repose sur le phénomène physique de la sublimation : l'eau passe directement de l'état solide (glace) à l'état gazeux (vapeur d'eau) sans passer par une phase liquide. Pour cela, les aliments sont d'abord rapidement congelés à des températures très basses, généralement autour de -40°C , puis placés dans une chambre à vide où la glace se sublime.

Les étapes du procédé :

1. Congélation rapide : l'eau contenue dans l'aliment se transforme en glace.
2. Sublimation sous vide : la glace devient vapeur à basse pression et à une température légèrement élevée.
3. Séchage secondaire : élimination de l'humidité résiduelle pour que le produit final contienne moins de 2% d'eau.
4. Conditionnement : emballage hermétique pour protéger de l'humidité et de l'oxygène, assurant une longue durée de conservation

Les avantages :

- **Conservation** jusqu'à 95% des nutriments : vitamines, minéraux, protéines, ainsi que du goût, de l'odeur, de la couleur et de la texture.
- L'absence d'eau et d'oxygène empêche le développement des micro-organismes, garantissant la stabilité et une durée de vie pouvant atteindre 25 ans à température ambiante.

- Convient à une large gamme d'aliments : fruits, légumes, viandes, poissons, produits laitiers, etc.
- Réhydratation facile et rapide en ajoutant de l'eau.

La lyophilisation est une technologie de séchage à froid très efficace qui préserve au maximum la qualité et la valeur nutritionnelle des aliments tout en permettant une conservation longue durée sans ajout de conservateurs.

1.5.3. L'abaissement du pH

L'abaissement du pH des aliments consiste à réduire l'acidité de ceux-ci en ajoutant des substances acides, comme des acides organiques (acide acétique, acide citrique, acide lactique, etc.), ou en utilisant des méthodes naturelles comme la fermentation. Cela crée un environnement défavorable à la croissance de micro-organismes pathogènes ou de moisissures.

Les micro-organismes ont besoin de conditions spécifiques de pH pour se développer. La plupart des pathogènes se développent dans une plage de pH neutre à légèrement alcalin (pH 6-7). (Figure13). En abaissant le pH sous 4,5, on inhibe la croissance de nombreux micro-organismes, notamment les bactéries pathogènes comme *Salmonella* et *Escherichia coli*.

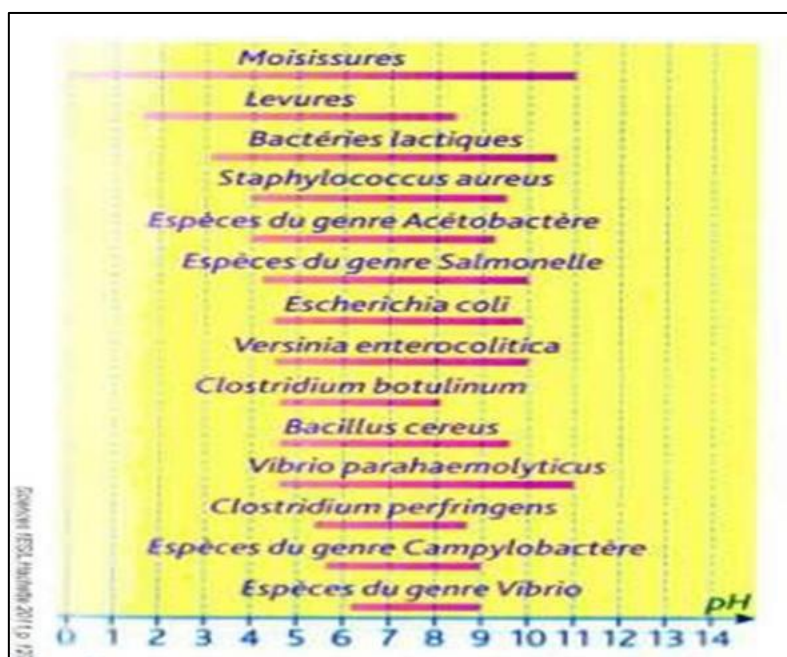


Figure 13: Plages de tolérance au pH des principaux groupes de microorganismes

1.5.4. Méthodes microbiologiques :

application de microorganismes bénéfiques pour modifier les caractéristiques des aliments, par exemple, la fermentation.

1.5.4.1 La fermentation

La fermentation alimentaire est une méthode biotechnologique ancestrale et très répandue qui repose sur réduction du pH par l'activité métabolique de micro-organismes,

comme les bactéries lactiques, les levures et les champignons, afin d'améliorer la conservation des aliments ainsi que leurs qualités organoleptiques.

Au cours du processus de fermentation, les micro-organismes produisent des métabolites tels que l'acide lactique, l'acide acétique, l'éthanol, le dioxyde de carbone et des peptides antimicrobiens qui agissent comme des conservateurs naturels, augmentant la durée de conservation en empêchant l'altération et la croissance des agents pathogènes. Les outils moléculaires modernes, tels que le séquençage de nouvelle génération et les approches multimoléculaires, ont amélioré notre compréhension des microbiomes de fermentation et de leurs interactions dynamiques, offrant des moyens d'optimiser les processus de fermentation afin d'améliorer l'efficacité, la sécurité et la qualité des produits

D'après la définition scientifique, la fermentation est un processus par lequel des micro-organismes transforment des substances organiques, généralement des glucides, en divers composés en l'absence d'oxygène, tout en libérant de l'énergie. Les principaux types de fermentation se classent selon les produits finaux obtenus et les micro-organismes impliqués :

- **Fermentation lactique** : les bactéries lactiques transforment les sucres en acide lactique, utilisée notamment dans la fabrication du yaourt, de la choucroute ou du kéfir.
- **Fermentation alcoolique** : les levures décomposent les sucres en éthanol (alcool) et dioxyde de carbone ; c'est la base de la production du vin, de la bière et du pain.
- **Fermentation acétique** : les bactéries transforment l'éthanol en acide acétique en présence d'oxygène, typique de la production de vinaigre.
- **Fermentation propionique** : les bactéries propioniques produisent de l'acide propionique, de l'acide acétique et du CO₂, notamment utilisée pour la fabrication du fromage emmental.
- **Fermentation butyrique** : certaines bactéries anaérobies produisent de l'acide butyrique, de l'acide acétique, du CO₂ et de l'hydrogène, contribuant à la saveur caractéristique de certains fromages.
- **Fermentation malolactique** : ce processus convertit l'acide malique en acide lactique, commun dans l'affinage des vins pour en adoucir le goût.
- **Méthanogenèse** : des micro-organismes méthanogènes produisent du méthane et du dioxyde de carbone à partir de matières organiques, utilisé dans la production de biogaz.

Chaque type de fermentation repose sur des voies biochimiques spécifiques. Le choix du substrat et des micro-organismes détermine la nature des produits finaux et leurs applications industrielles ou alimentaires.

Chaque méthode repose sur des principes fondamentaux tels que l'élimination ou l'inhibition des microorganismes, la réduction de l'eau disponible ou la protection contre l'oxydation.

CHAPITRE 5 :

Les Effets du Traitement des Aliments sur la Qualité Alimentaire

Introduction

Le traitement des aliments est un terme large utilisé pour décrire les différentes méthodes de transformation des ingrédients bruts en produits alimentaires destinés à la consommation. Cela inclut un large éventail de techniques allant de méthodes simples comme le lavage et la découpe à des méthodes plus complexes comme la congélation, la mise en conserve et la fermentation. L'objectif principal du traitement des aliments est de préserver leur qualité, d'améliorer leur saveur, d'augmenter leur durée de conservation et d'assurer leur sécurité. Cependant, le traitement peut aussi avoir plusieurs effets sur les propriétés physiques, chimiques et sensorielles des aliments, entraînant parfois des changements indésirables de leur qualité.

Ce chapitre abordera les aspects clés du traitement des aliments et ses effets sur la qualité alimentaire, avec un focus sur les points suivants :

- 1. Impact sur la qualité nutritionnelle**
- 2. Effet sur les propriétés sensorielles**
- 3. Effet sur la sécurité et la durée de conservation**
- 4. Changements physiques et chimiques dans les aliments pendant le traitement**
- 5. Types de traitement des aliments et leurs effets spécifiques**

1. Impact du traitement des aliments sur la qualité nutritionnelle

Le traitement des aliments peut entraîner à la fois des changements bénéfiques et nuisibles dans la composition nutritionnelle des aliments.

Effets positifs :

- **Fortification et enrichissement** : Le traitement peut améliorer la valeur nutritionnelle des aliments grâce à l'enrichissement. Par exemple, la vitamine D est souvent ajoutée au lait, et le fer est ajouté aux céréales.
- **Amélioration de la biodisponibilité des nutriments** : Certains traitements comme la cuisson ou la fermentation peuvent améliorer la biodisponibilité des nutriments. Par exemple, la cuisson des tomates augmente la disponibilité du lycopène, un antioxydant.

Effets négatifs :

- **Perte de nutriments** : Certains nutriments sont sensibles aux conditions de traitement et peuvent se dégrader ou se dissoudre pendant le processus. Par exemple :
- **Vitamines** : Les vitamines hydrosolubles telles que la vitamine C et les vitamines B sont particulièrement sensibles à la chaleur, à la lumière et à l'oxygène. Une étude a révélé que les jus de fruits frais perdent jusqu'à 60 % de leur vitamine C lors de la pasteurisation.
- **Minéraux** : Le traitement peut entraîner la perte de minéraux, notamment ceux qui sont solubles dans l'eau (comme le potassium et le magnésium), lorsque les aliments sont bouillis ou lavés en grande quantité.
- **Réduction des fibres alimentaires** : L'élimination des parties extérieures des grains et des légumes pendant le traitement peut entraîner une perte de fibres alimentaires.

Facteurs influençant la perte de nutriments :

- **Température** : Les températures élevées pendant la cuisson, la pasteurisation ou la mise en conserve entraînent souvent la dégradation des vitamines et des enzymes sensibles à la chaleur.
- **Temps** : Plus l'exposition aux conditions de traitement est longue, plus la dégradation des nutriments est probable.
- **Contenu en eau** : L'utilisation de l'eau dans le traitement (comme le bouillage, le blanchiment, etc.) peut entraîner la lixiviation des nutriments.

2. Effets du Traitement des Aliments sur les Propriétés Sensorielles

Les qualités sensorielles des aliments, telles que le goût, la texture, la couleur et l'arôme, sont parmi les effets les plus évidents du traitement.

Goût :

- **Changements de saveur** : La cuisson ou la fermentation peut produire de nouvelles saveurs et arômes, qui peuvent être désirables (par exemple, le café torréfié ou la viande grillée) ou indésirables (par exemple, des légumes trop cuits avec un goût amer).
- **Douceur et acidité** : Certains fruits deviennent plus sucrés après traitement en raison de la dégradation de l'amidon en sucres. Cependant, un traitement excessif peut entraîner la perte de cette douceur.

Texture :

- **Ramollissement et attendrissement** : La cuisson peut entraîner la dégradation des parois cellulaires, ce qui rend les aliments plus tendres. Par exemple, la viande devient plus tendre lorsqu'elle est cuite lentement en raison de la dégradation du collagène.
- **Perte de croquant** : Des traitements comme la congélation ou la mise en conserve peuvent détruire la structure cellulaire des fruits et légumes, les rendant plus mous et moins croquants.

Couleur :

- **Perte de vivacité** : De nombreux fruits et légumes perdent leur couleur vive lorsqu'ils sont exposés à la chaleur. Par exemple, les épinards deviennent bruns après cuisson.
- **Réaction de Maillard** : Il s'agit d'une réaction non enzymatique qui se produit lors du traitement à haute température (cuisson, rôissage). Bien qu'elle puisse améliorer la saveur, elle peut également entraîner une couleur brune indésirable dans certains aliments.

Arôme :

- **Libération de composés volatils** : Pendant la cuisson ou la fermentation, des composés aromatiques sont libérés, affectant l'arôme. Certains de ces changements peuvent renforcer l'attrait (par exemple, le pain fraîchement cuit), mais un traitement excessif peut entraîner des saveurs et des odeurs désagréables.

3. Effets du Traitement des Aliments sur la Sécurité et la Durée de Conservation

La sécurité alimentaire et la durée de conservation sont des préoccupations essentielles dans le traitement des aliments. Des techniques de traitement appropriées aident à prévenir les maladies d'origine alimentaire et à prolonger la durée de conservation des produits.

Sécurité microbienne :

- **Traitement thermique** : Des processus comme la pasteurisation et la stérilisation tuent les micro-organismes pathogènes. Par exemple, la pasteurisation du lait détruit les bactéries pathogènes telles que *Salmonella* et *E. coli*.
- **Fermentation** : Ce processus, utilisé dans des aliments comme le yaourt et la choucroute, favorise la croissance de bactéries bénéfiques (probiotiques), qui peuvent concurrencer les micro-organismes nuisibles et améliorer la sécurité alimentaire.

Conservation :

- **Mise en conserve et congélation** : Ces deux méthodes ralentissent la croissance microbienne et préviennent la détérioration en réduisant l'humidité ou en créant un environnement scellé. Les produits en conserve, par exemple, peuvent être stockés pendant des mois sans se détériorer.
- **Déshydratation** : En retirant l'eau des aliments (par exemple, en séchant des fruits ou de la viande), on réduit l'humidité nécessaire à la croissance des bactéries et des moisissures, prolongeant ainsi la durée de conservation.

Risques chimiques :

- **Formation de toxines** : Certaines méthodes de traitement, comme la friture ou le grillage, peuvent entraîner la formation de composés nuisibles tels que l'acrylamide ou les amines hétérocycliques, qui sont liés au cancer dans les études sur les animaux.
- **Contaminants provenant des emballages** : Certaines méthodes de traitement peuvent impliquer l'utilisation de matériaux d'emballage qui libèrent des produits chimiques dans les aliments, comme le bisphénol A (BPA) des contenants en plastique.

4. Changements Physiques et Chimiques dans les Aliments Pendant le Traitement

Pendant le traitement des aliments, plusieurs changements physiques et chimiques se produisent, dont certains peuvent affecter la nutrition, les propriétés sensorielles et la sécurité des aliments.

Changements physiques :

- **Réduction de la taille** : Le broyage, la découpe ou le râpage des aliments modifie leur structure physique, ce qui peut affecter le temps de cuisson, la texture et la digestibilité. Par exemple, la viande hachée cuit plus rapidement qu'un morceau entier de viande.
- **Changements dans l'activité de l'eau** : Le séchage ou la congélation modifie la teneur en eau des aliments, ce qui affecte leur texture, leur stabilité et leur sécurité microbiologique.

Changements chimiques :

- **Réactions enzymatiques** : Certaines activités enzymatiques (comme le brunissement des pommes ou des avocats) peuvent être réduites par le blanchiment, qui consiste à chauffer brièvement les aliments pour inactiver les enzymes.
- **Gélatinisation de l'amidon** : Pendant la cuisson, l'amidon absorbe de l'eau et gonfle, ce qui modifie la texture et la digestibilité des aliments comme le riz ou les pâtes.
- **Oxydation des graisses** : Les aliments gras peuvent subir des réactions d'oxydation pendant le traitement, entraînant une rancidité et des goûts désagréables, surtout s'ils sont exposés à la chaleur ou à la lumière.

5. Types de Traitement des Aliments et Leurs Effets Spécifiques

Différentes méthodes de traitement ont des effets uniques sur la qualité des aliments. Voici quelques méthodes courantes et leurs effets spécifiques :

Traitement thermique :

- **Blanchiment** : Chauffer brièvement les légumes pour arrêter la détérioration enzymatique, mais cela peut entraîner la perte de certaines vitamines et minéraux.
- **Pasteurisation** : Chauffer les aliments à une température spécifique pour tuer les agents pathogènes sans affecter de manière significative leur goût.
- **Stérilisation** : Des traitements à des températures plus élevées (comme la mise en conserve) détruisent tous les micro-organismes, ce qui peut aussi affecter la texture, la saveur et les nutriments des aliments.

Congélation :

- **Impact sur la texture** : La congélation conserve les nutriments, mais peut entraîner la formation de cristaux de glace qui perturbent la structure cellulaire, affectant ainsi la texture.
- **Impact sur la saveur** : La congélation permet de conserver la saveur naturelle des aliments, mais certains produits (comme les légumes congelés) peuvent perdre un peu de leur fraîcheur.

Fermentation :

- **Effets probiotiques** : La fermentation améliore la valeur nutritionnelle en produisant des micro-organismes bénéfiques (probiotiques) qui soutiennent la santé intestinale.
- **Changements de goût et de texture** : Les aliments fermentés ont souvent des goûts distincts (comme l'acidité du yaourt) et des textures particulières (comme la texture souple de la choucroute fermentée).

Séchage et déshydratation :

- **Concentration des saveurs** : Le séchage permet de concentrer les saveurs des fruits et des viandes, les rendant plus intenses.
- **Impact sur les nutriments** : La déshydratation à haute température peut entraîner une perte de certaines vitamines, notamment la vitamine C.

Traitement haute pression (HPP) :

- **Impact minimal sur la qualité nutritionnelle** : La HPP est une méthode de pasteurisation non thermique qui préserve les nutriments, la saveur et la couleur.
- **Sécurité microbienne** : La HPP tue les bactéries nuisibles sans affecter de manière significative la texture ou la saveur des aliments.

Conclusion

Le traitement des aliments joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire, l'amélioration de la valeur nutritionnelle et l'augmentation de la disponibilité des produits alimentaires. Cependant, il est important de comprendre que différentes méthodes de traitement ont des effets variés sur la qualité des aliments. Certaines méthodes, comme la fermentation, peuvent améliorer les propriétés nutritionnelles, tandis que d'autres, comme la friture, peuvent réduire les bienfaits pour la santé. Pour optimiser la qualité des aliments, il est essentiel de choisir des méthodes de traitement appropriées qui équilibrent la conservation, la saveur, la texture et les nutriments. En tant qu'étudiants en science alimentaire, il est crucial d'étudier ces effets en détail pour prendre des décisions éclairées lors du développement de nouveaux produits alimentaires qui répondent aux attentes des consommateurs et aux normes de santé publique.

Principaux Points à Retenir :

- Le traitement des aliments peut avoir des impacts positifs et négatifs sur les aspects nutritionnels, sensoriels et de sécurité des aliments.
- La température, le temps et la méthode de traitement jouent un rôle clé dans la détermination de ces effets.
- Une compréhension approfondie de ces effets est essentielle pour améliorer les produits alimentaires et maintenir leur qualité.

CONCLUSIONS GENERALE

CONCLUSIONS GENERALE

La technologie alimentaire nous aide à comprendre comment les matières premières sont transformées en produits sûrs, nutritifs et de bonne qualité. Dans cette unité, nous avons appris que le traitement et la transformation de la matière première ont un grand impact sur la fraîcheur, la sécurité, le goût et la durée de conservation des aliments. Comprendre les changements liés aux enzymes, aux microbes et aux réactions chimiques est essentiel pour réduire les pertes et préserver l'attrait des produits pour les consommateurs.

Nous avons également découvert différentes méthodes de transformation comme le chauffage, la congélation, le séchage, la fermentation et l'emballage, chacune étant adaptée selon le type de produit. Les technologies modernes et les bonnes pratiques, telles que les règles d'hygiène et les systèmes de sécurité, aident l'industrie à produire des aliments sûrs qui répondent aux besoins des consommateurs.

Pour les étudiants, ces bases montrent que la technologie alimentaire ne se limite pas aux machines et aux procédés, mais qu'elle concerne aussi la protection de la santé, la garantie de la qualité et la durabilité pour l'avenir. Ces connaissances constituent la première étape vers des études plus approfondies qui les prépareront à travailler dans l'industrie alimentaire et à trouver de meilleures solutions pour la sécurité et la production alimentaires.

References bibliographiques

- **Alvarez, C., Morán, L., Keenan, D. F., Mullen, A. M., & Delgado-Pando, G. (2019).** Mechanical and biochemical methods for rigor measurement: Relationship with eating quality. *Journal of Food Quality*, 2019(1), 1894543.
- **Bahloul, A. (2023).** *Opérations unitaires*. Polycopié de cours, 3^e année Licence - Génie des procédés.
- **Bimbenet, J.J., Duquenoy, A., Trystram, G. (2002).** *Génie des procédés alimentaires : Des bases aux applications*. Dunod. Paris.
- **Brennan, J. G., Butters, J. R., Cowell, N. D., & Lilly, A. E. V. (1990).** *Food engineering operations* (3rd ed.). London: Elsevier Applied Science.
- **Chavanne, M., Jullien, A., Beaudoin, G.J., Flamand, E. (1986).** *Chimie Organique expérimentale*. Belin, Paris.
- **Fellows, P. J. (2000).** *Food processing technology: Principles and practice* (2nd ed., pp. 63_97). Cambridge: Woodhead Publishing, and 233_240.
- **Fennema, O. R. (1996).** *Food chemistry* (3rd ed.). CRC Press.
- **Food and Agriculture Organization (FAO). (1992).** The role of food processing in the reduction of nutrient losses (FAO Agricultural Services Bulletin). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Jafari, S. M. (2021).** *Postharvest and postmortem processing of raw food materials: Unit operations and processing equipment in the food industry*. Elsevier.
- **Ji, J. R., & Takahashi, K. (2006).** Changes in concentration of sarcoplasmic free calcium during post-mortem ageing of meat. *Meat Science*, 73(3), 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.09.010>
- **Lecoq, O. (1994).** *Mécanisme de broyage* [Mémoire de DEA, Université de Technologie de Compiègne].
- **Mafart, P., Béliard, E. (2004).** *Génie industriel alimentaire : Techniques séparatives*. Tome 2. 2eme édition. Tec et Doc, Paris.
- **Morvan, D. (2009).** *Les opérations unitaires, procédés industriels : Cours et exercices corrigés*. Éditions Ellipses.
- **Nacim, N. (2017).** *Génie industriel alimentaire* [Polycopié de cours, Master 1 – Qualité des produits et sécurité alimentaire & Master 1 – Production et transformation laitière].
- **Rahman, M. S. (2020).** *Handbook of food preservation*. CRC press.
- **Reis, F. R. (2017).** *New perspectives on food blanching* (pp. 7-48). Berlin: Springer.

- **Ruiz de Huidobro, F., Miguel, E., Onega, E., & Blázquez, B.** (2003). Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Science*, 65(4), 1439–1446. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00068-8)
- **Rumpf, H.** (1965). Le broyage individuel des grains comme base d'une science technique du broyage. *Ingénierie chimique*, 37(3), 187–202.
- **Ziani, k.** (2022). Conservation et emballage des denrées Alimentaires. : Cours Master 1 – Microbiologie

Site internet

1. Arthrolink, "Calcium : faites le bon choix" : page web d'information (PDF téléchargeable depuis un site web).
2. FAO, "Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine" : site institutionnel (page web).
3. Grand Fermage, "Les secrets du beurre" : site d'entreprise agroalimentaire (page web).
4. https://fac.umc.edu.dz/vet/Cours_Ligne/Cours/Zootecnie.pdf
5. https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/guide_alimentairetous.pdf
6. <https://tech-alim.univ-batna.dz/images/Formations/NUTRITION-ET-SCIENCES-DES-ALIMENTS.pdf>
7. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/legislation-lignes-directrices/lois-reglements/incorporation-renvoi/tableau-caracteristiques-chimiques-physiques-nutritionnelles-aliments.html>
8. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/documents-techniques-exigences-etiquetage/tableau-allegations-autorisees-concernant-teneur-nutritive/document-tableau.html>
9. <https://www.fao.org/4/w0073f/w0073f09.htm>
10. <https://www.quae.com/extract/2612>
11. <https://www.sante.fr/aliments-et-nutriments>
12. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/biochimie-alimentaire-analyses-et-alimentation-humaine-42470210/les-composants-chimiques-des-produits-alimentaires-f1010/>
13. Nutri&Co, "Aliments riches en vitamine A" : site de vulgarisation nutritionnelle (page web).