

Biochimie des aliments

Master I

Contenu de la matière

1. Composition biochimique des aliments d'origine végétale
2. Altérations liées à la conservation et à la transformation.
3. Composition biochimique des aliments d'origine animale et produits dérivés.
4. Modifications liées à la technologie.
5. Procédés de transformation fromagère.

6. Fabrication des laits fermentés.
7. Transformation d'animaux en carcasses.

I- Composition biochimique des aliments d'origine végétale

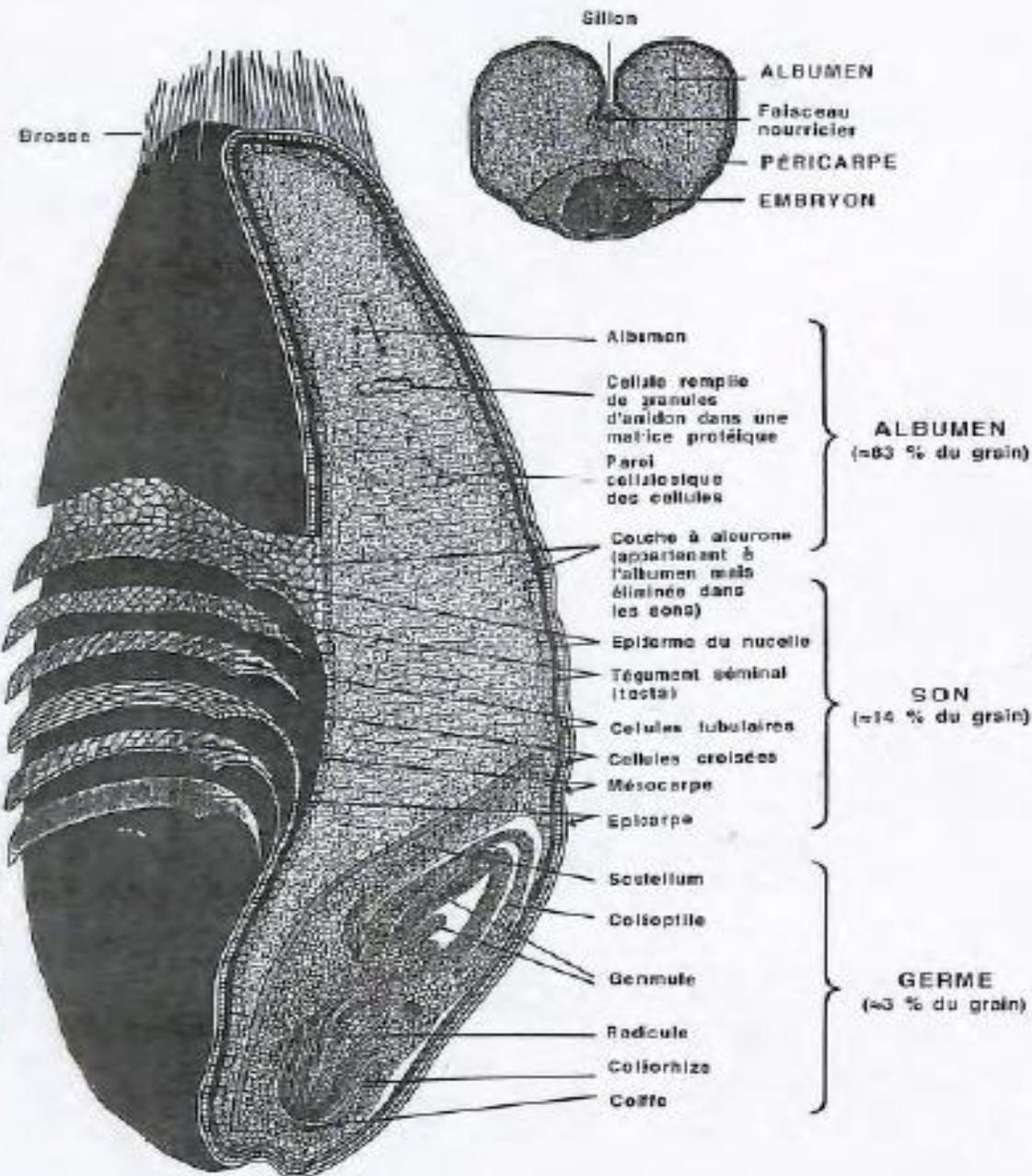
1- Graines de céréales

1-1- Définition des céréales

- Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques.

- La plupart des céréales appartiennent à la famille des ***Graminées*** (ou ***Poacées***).
- Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho.
- Les unes appartiennent à la sous-famille des ***Festucoïdées***: blé, orge, avoine, seigle;
- les autres à la sous-famille des ***Panicoïdées*** : maïs, riz, sorgho, millet.

Section d'un grain de blé



TAILLE ET COMPOSITION DES GRAINS DE CEREALES

CEREALES	POIDS DE 1000 GRAINS (g.)	% DES GRAINS				
		EMBRYONS	SCUTELLUM	PERICARPE	ALEURONE	ALBUMEN
BLÉ TENDRE	30-45	1.2	1.5	7.9	7.0	81-84
BLÉ DUR	34-46	— 1.6 —	—	12.0	— 86.4 —	—
ORGE (GRAIN)	36-45	1.8		18.3	— 79.0 —	—
MATS	150-600	1.1	7.2	— 5.5 —		82
SEIGLE	15-40	1.8	1.7	12.0	— 85.1 —	—
SORGHO	8-50	— 7.8 ↔ 12.0 —		— 7.3 ↔ 9.3 —		80-85
RIZ (CARGO)	38-53	— 3.7 —		14.4	— 81.9 —	—

SELON SIMMONDS; 1978

Aleurone est une protéine présente sous forme de grains dans l'albumen de nombreuses graines.

Le scutellum est un organe de réserve placé entre l'albumen et le germe, organe de réserve de la graine et l'embryon.

Composition biochimique des grains de céréales

<u>Céréale</u>	<u>Protéines</u> %	<u>Lipides</u> %	<u>Amidon</u> %	<u>Cellulose</u> %	<u>Minéraux</u> %
• Blé (USA)	16,0	2,9	74,1	2,6	1,8
• " (Europe)	10,5	2,6	78,6	2,5	1,8
• Seigle	13,8	1,4	79,7	2,6	2,2
• Orge	11,8	1,8	78,1	5,3	3,1
• Avoine	11,6	5,2	69,8	10,4	2,9
• Riz (paddy)	9,1	2,2	71,2	10,2	7,2
• " (cargo)	11,0	2,7	83,2	1,2	1,8
• " (blanchi)	9,8	0,5	88,9	0,3	0,6
• Maïs (corné)	11,1	4,9	80,2	2,1	1,7
• " (denté)	10,6	4,6	81,0	2,2	1,6
• Sorgho	12,4	3,6	79,7	2,7	1,7

Composition des céréales (pour 100 g de grain à 10 % d'humidité).

		Blé	Sorgho	Mil	Maïs	Riz brun
Protéines	(g)	13	11	10,6	9,5	8,3
Lipides	(g)	1,8	3,2	4,1	4,0	1,6
Glucides disponibles	(g)	61,6	59,3	73,2	66	75
Fibre diététique	(g)	11	14,5		9	4
Calcium	(mg)	60	26	22	16	22
Phosphore	Composition des céréales (pour 100 g de grain à 10 % d'humidité).)					
Fer	(mg)	7,6	10,6	20,7	3,6	2,0
Thiamine (Vit. B ₁)	(mg)	0,35	0,34	0,30	0,33	0,36
Riboflavine (Vit. B ₂)	(mg)	0,12	0,15	0,22	0,10	0,06
Niagine (Vit. PP)	(mg)	6,1	5,3	4,7	3,1	7,0
Pyridoxine (Vit. B ₆)	(mg)	0,5			0,4	0,67
Acide panthoténique	(mg)	0,8	1,2	1,25	0,65	1,70
Biotine	(mg)	7			6	12

D'après F.A.O., 1970, [4].

Composition biochimique du grain de blé

Tissus	Grain entier	Péricarpe	Couche à aleurone	Albumen amylicé	Germe
• Protéines	14,0	8,5	28,2	12,0	30,5
• Lipides	2,1	0	9,4	1,6	11,8
• Amidon	68,8	0	0	82,0	0
• Sucres réd.	2,3	0	0	1,6	30,5
• Pentosanes	7,7	40,5	45,2	1,4	7,5
• Cellulose	2,7	45,0	4,1	0,3	2,3
• Minéraux	1,9	5,9	12,0	0,6	6,2

Composition biochimique du grain de maïs

Tissus	Grain entier	Péricarpe (son)	Pointe	Albumen amylicé	Germe
• Protéines	9,1	3,7	9,1	8,0	18,4
• Lipides	4,4	1,0	3,8	0,8	33,2
• Amidon	73,4	7,3	5,3	87,6	8,3
• Sucres réd.	1,9	0,3	1,6	0,6	10,8
• Pentosanes	7,0	86,9	78,6	2,7	18,8
• Cellulose	2,0				
• Minéraux	1,4	0,8	1,6	0,3	10,5

1- Les réserves en protéines dans les graines de blé sont plus élevés que dans les graines de maïs.

2- Le taux de réserve en amidon est trop élevé dans les graines du maïs que dans les graines du blé.

Pentosane:

Composé chimique formé par l'union de plusieurs pentoses

Rôle de l'amidon en panification

- L'amidon intervient de différentes manières au cours de la fabrication du pain :
 - - c'est une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la multiplication et la croissance des levures
 - - c'est également un "fixateur" d'eau. On admet que l'amidon absorbe environ 45% de l'eau ajoutée à la farine
- - c'est enfin une "charge" de remplissage assurant une fonction de dilution du gluten.

Index glycémique de quelques produits céréaliers

<i>Produits</i>	<i>Index glycémique</i>
Pâtes alimentaires	50
Riz brun	66
Pain blanc	69
Ebly® (blé dur "légume" précuit)	72
Riz blanc	72
Pain complet	72
Pétales de maïs (corn-flakes)	78
Glucose	100

Classification traditionnelle des protéines de céréales

<u>Appellation</u>	<u>% moyen</u>	<u>Solubilité</u>	<u>Fonction</u>
Albumines	10	Eau] Protéines métaboliques
Globulines	5	Sels neutres	
Prolamines	45	Alcools dilués] Protéines de réserve
Glutélines	40	Acides dilués, urée, réducteurs détergents	

Composition protéique de l'albumen des céréales (en % des protéines totales)

Céréales	Teneur en protéines (en % m.s.)	Albumines	Globulines	Prolamines	Glutélines
• Blé tendre	10-15	5-10	5-10	40-50	30-40
• Blé dur	12-16	10-15	5-10	40-50	30-40
• Orge	10-16	3-4	10-20	35-45	35-45
• Maïs	7-13	2-10	10-20	50-55	30-45
• Seigle	9-14	20-30	5-10	20-30	30-40
• Avoine	10-15	2-5	30-35	15-20	45-50
• Sorgho	9-13	tr.	tr.	60-70	30-40
• Riz	8-10	2-5	2-8	1-5	85-90

AMINO ACID COMPOSITION OF WHEAT PROTEINS—GLUTENIN,
GLIADIN, ALBUMIN, GLOBULIN
(G AMINO ACID/16 G NITROGEN)

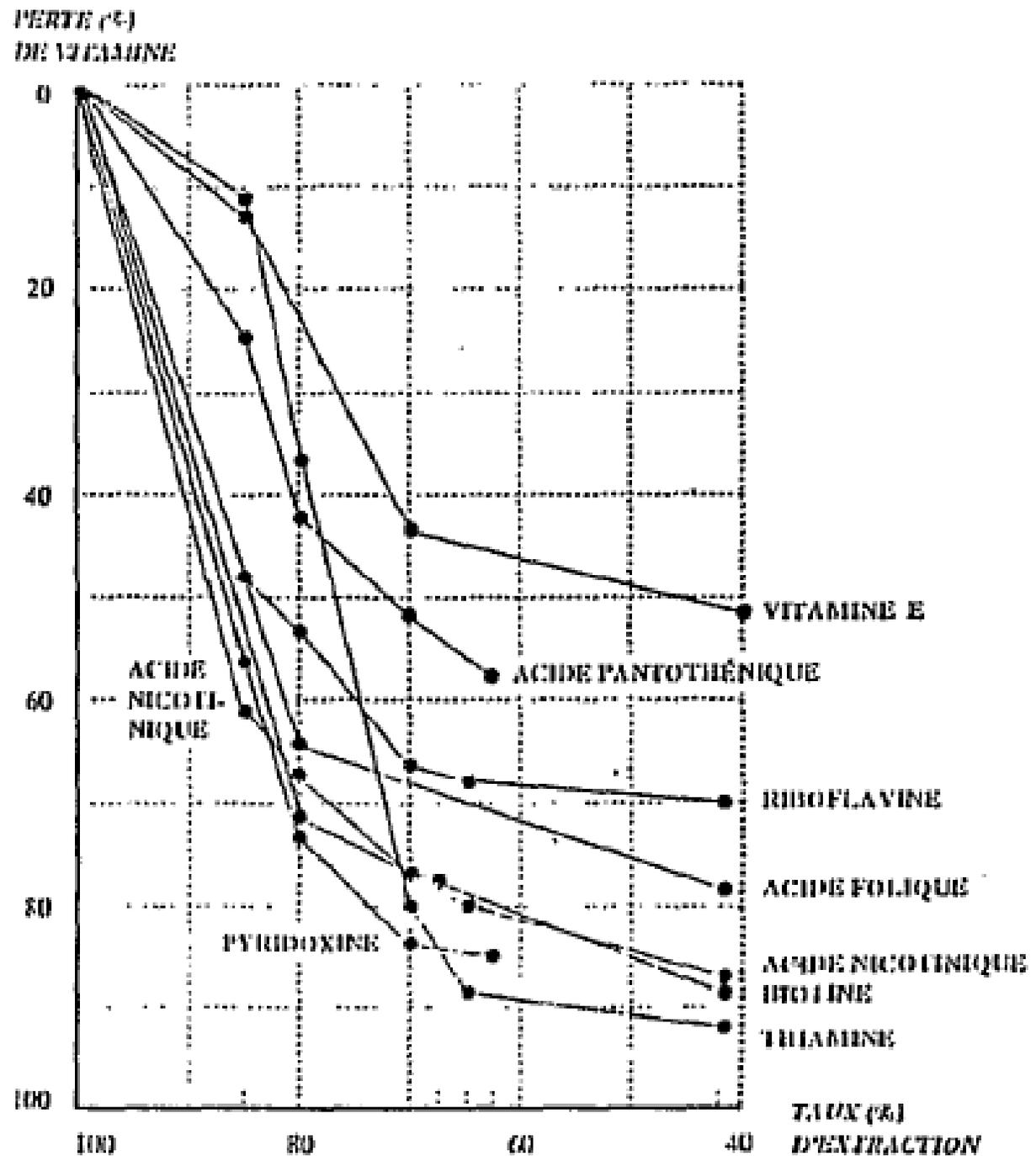
Amino acid	Glutenin*	Gliadin*	Albumin†	Globulin§
Alanine	3.1	2.3	5.6	4.3
Arginine	4.2	2.7	7.5	14.5
Aspartic acid	3.9	3.0	7.9	6.3
Cystine	2.5	3.1	6.7	12.6
Glutamic acid	34.1	40.0	17.7	5.9
Glycine	4.5	1.8	3.1	5.6
Histidine	2.4	2.3	4.3	2.2
Hydroxylysine	n.d.	n.d.	0.2	0
Isoleucine	3.9	4.5	4.1	1.4
Leucine	6.9	7.2	10.7	9.2
Lysine	2.3	0.7	11.0	12.2
Methionine	1.7	1.5	0	0.4
Phenylalanine	4.8	5.6	5.0	3.2
Proline	11.0	14.7	8.4	3.3
Serine	5.9	5.1	4.7	9.1
Threonine	3.3	2.3	2.9	4.5
Tryptophan	2.1	0.7	n.d.	n.d.
Tyrosine	3.6	2.6	3.4	2.3
Valine	4.5	4.4	8.1	2.2

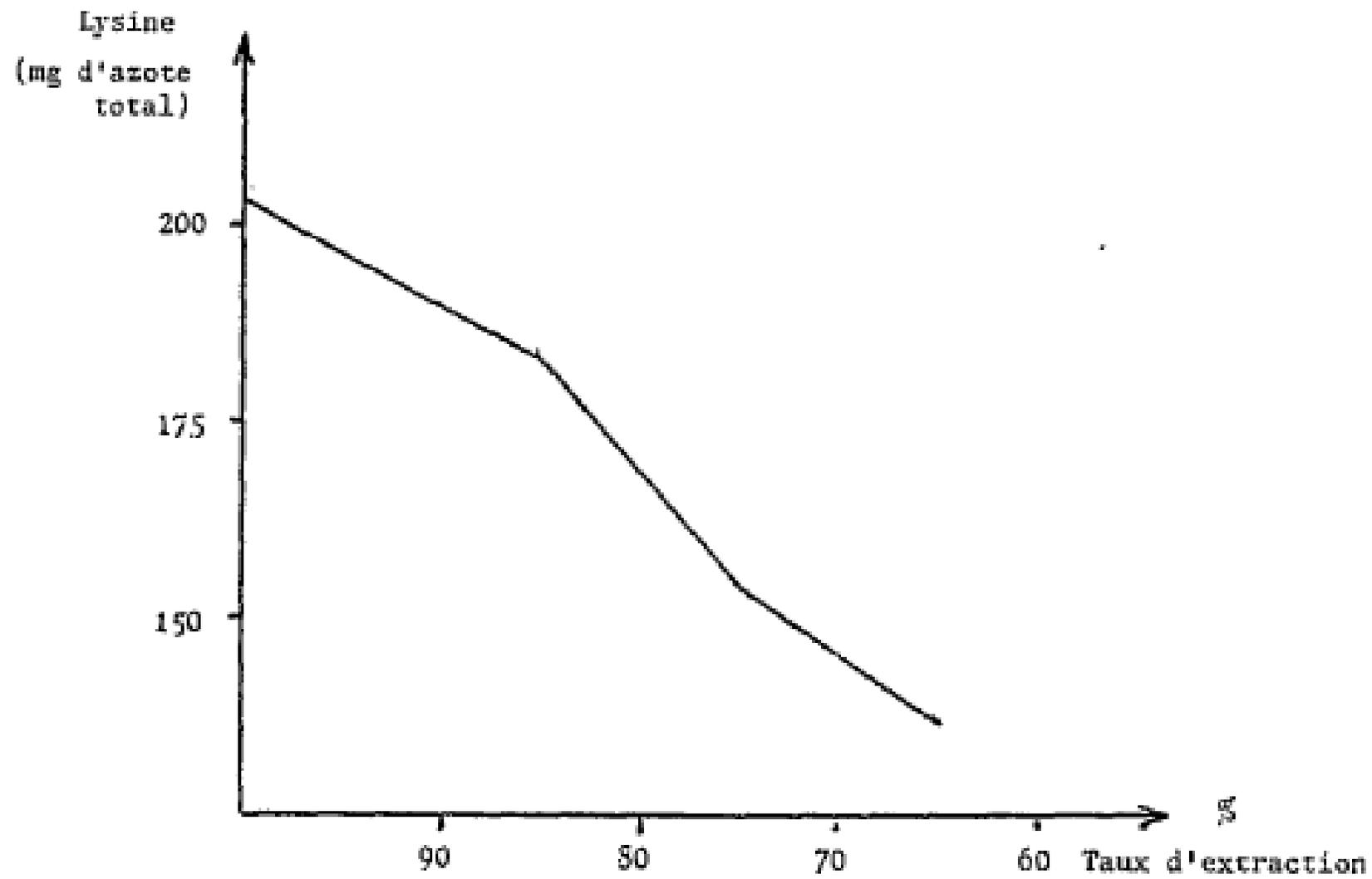
Gliadine = prolamines

La qualité des protéines

- ❑ Notion qui dépend du domaine d'utilisation des farines
- ❑ *En boulangerie* : capacité des protéines à former, au cours du pétrissage, des complexes insolubles, des réseaux viscoélastiques conférant à la pâte des propriétés de ténacité, élasticité et extensibilité
- ❑ *En biscuiterie* : capacité à former des réseaux extensibles et non élastiques pour éviter la rétraction des biscuits

Relation entre le taux d'extraction et l'appauvrissement d'une farine en vitamines.





Relation entre taux d'extraction de la farine de blé et taux de lysine de ses protéines

2- Les graines de légumineuses

- Les protéagineux = pois, féverole et lupin.
- Les légumes secs = **Haricots secs** : haricot commun, haricot de Lima, haricot azuki, haricot mungo, haricot d'Espagne ...
Fèves
Pois secs ou pois cassé, **Pois d'Angole**
Pois chiche
Lentille
Mongette ...
- Le soja

- Haricot, lentille, pois, pois chiche, fève sont utilisés pour l'alimentation humaine, tandis que l'alimentation animale a recours à d'autres légumineuses, soit sous forme de graines riches en protéines (on parle alors de protéagineux : pois, féverole, soja, lupin) soit sous forme de fourrages (luzerne, trèfle).
- Les légumineuses à graines (pois, féverole, lupin) constituent une source de protéines végétales particulièrement importante pour l'alimentation animale.

- Elles sont une source vitale de protéines végétales et d'acides aminés pour les populations mondiales et devraient être consommées dans un régime santé pour lutter contre l'obésité, pour prévenir et aider à gérer les maladies chroniques.

LES NOMBREUX AVANTAGES POUR LA SANTÉ DES LÉGUMINEUSES

Riches en fibres alimentaires

Peuvent réduire les risques de maladies cardiaques coronariennes.

Faible index glycémique, faible teneur en gras et riches en fibres

Augmentent la satiété et aident à stabiliser le taux de sucre et niveau d'insuline, les rendant appropriées aux diabétiques et idéales pour la gestion du poids.

Source de vitamines, dont le folate

Elles réduisent les risques d'anomalies du tube neural (ATM) comme le spina-bifida chez les nouveaux nés.

Riches en composés phytochimiques et antioxydants

Peuvent avoir des propriétés anti-cancérigènes.

Présence de phyto-œstrogènes

Peuvent prévenir le déclin cognitif et réduire les symptômes de la ménopause.

Teneur en calcium

Le calcium contenu dans les légumineuses contribue à la bonne santé des os et à la réduction des risques de fractures et d'ostéoporose.

Haute teneur en fer

Favorables pour la prévention de l'anémie due à la carence en fer chez les femmes et les enfants quand associées à la vitamine C.



Composition des graines de légumineuses

Constituant/ espèce	Amidons % MS	Fibres % MS	Lipides % MS	Protéines % MS
Pois	50	15	2	22-25
Féverole	43	18	2	28-32
Lupin blanc	1	22	10	35-39
Soja	2	20	20	36-40
Blé	70	8-10	1-1,5	10-15

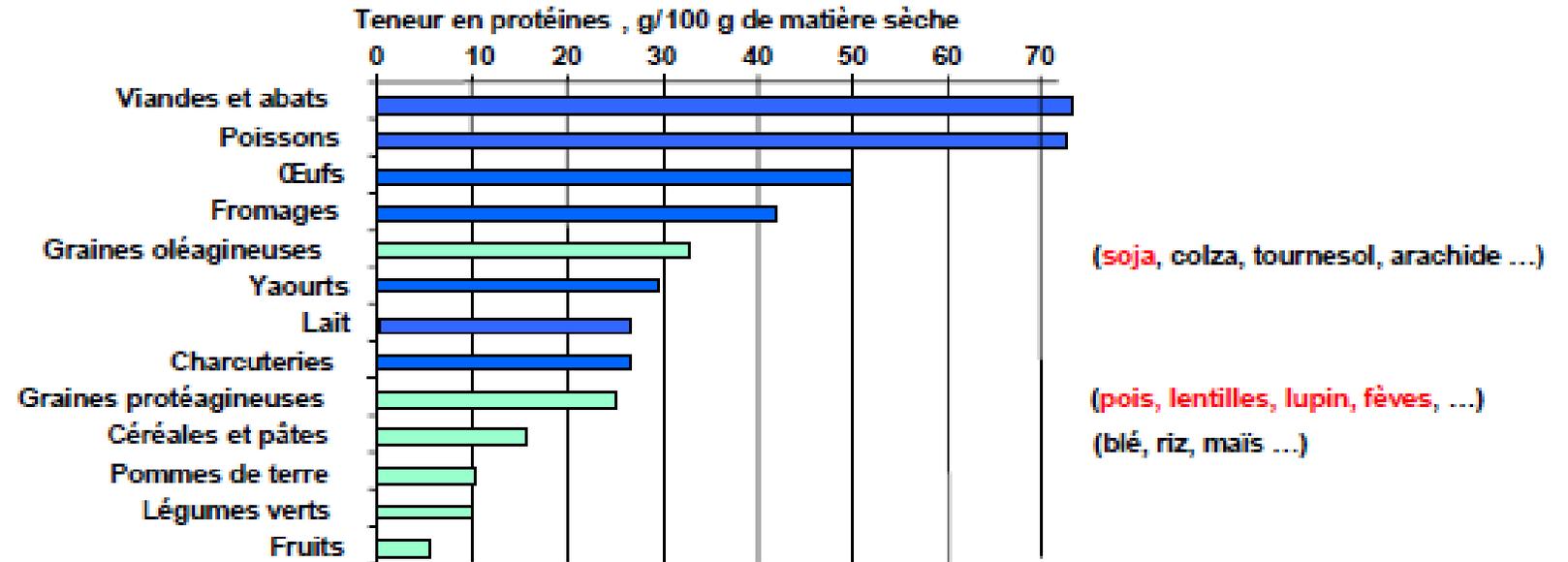
Les légumineuses contiennent du fer, du potassium, du calcium, du sélénium du magnésium, des polyphénols, des vitamines, B1, B6, PP.

Composition nutritionnelle de quelques graines de légumineuses, par rapport à des aliments de référence (féculent, viande, lait).

	pour 100 g	Energie kcal	Protéines g	Lipides g	Glucides g	Fibres g	Fer mg	Zinc mg	Calcium mg
Haricot blanc	sec	333	23.4	0.9	60.3	15.2	10.40	3.67	240
	cuit	139	9.7	0.4	25.1	6.3	3.70	1.38	90
Lentilles	sec	352	24.6	1.1	63.4	10.7	6.51	3.27	35
	cuit	116	9.0	0.4	20.1	7.9	3.33	1.27	19
Pois chiche	sec	378	20.5	6.0	63.0	12.2	4.31	2.76	57
	cuit	164	8.9	2.6	27.4	7.6	2.89	1.53	49
Pois cassé	sec	352	23.8	1.2	63.7	15.5	4.82	3.55	37
	cuit	118	8.3	0.4	21.1	8.3	1.29	1.00	14
Fève	sec	341	26.1	1.5	58.3	25	6.70	3.14	103
	cuit	110	7.6	0.4	19.7	5.4	1.50	1.01	36
Cornille	sec	336	23.5	1.3	60.0	10.6	8.27	3.37	110
	cuit	116	7.7	0.5	20.8	6.5	2.51	1.29	24
Lupin	sec	371	36.2	9.7	40.4	18.9	4.36	4.75	176
	cuit	119	15.6	2.9	9.9	2.8	1.20	1.38	51
Soja	sec	446	36.5	19.9	30.2	9.3	15.70	4.89	277
	Tofu	61	7.2	3.7	1.2	0.2	1.11	0.64	111
Riz	cuit	130	2.7	0.3	28.2	0.4	1.20	0.49	10
Pâtes	cuit	158	5.8	0.9	30.9	1.8	0.50	0.51	7
Viande (bifteck)	cuit	142	26.4	4.1	-	-	2.90	5.60	-
Lait entier, 1 verre	25 cl	157	8.1	8.4	12.3	-	0.07	0.95	292

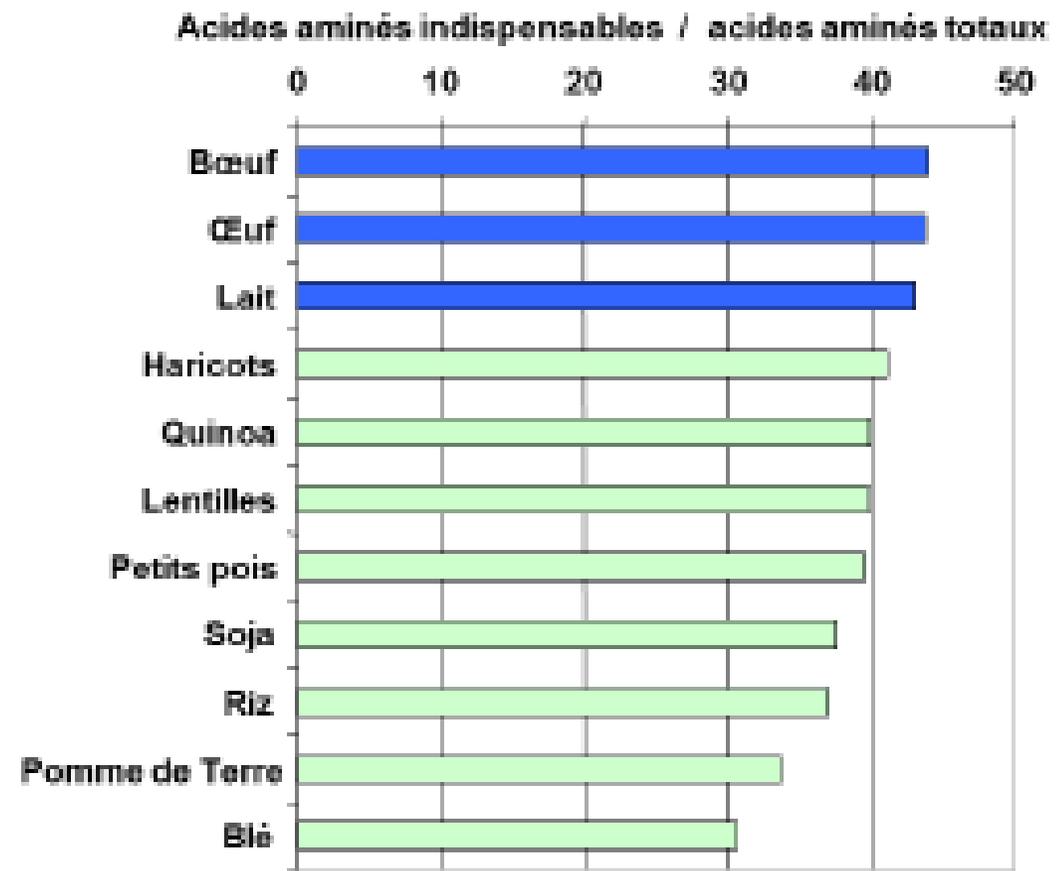
Les légumineuses : une source de protéines

□ Teneur en protéines



% du produit brut : Soja (35%) > lupin (31%) > Fèves (25%) > Lentille (23%) > haricots sec, pois ... (21%)

☐ Teneur en acides aminés indispensables



Quinoa: Cultivée en Amérique du sud

- Les graines de légumineuses sont riches en lysine et plus pauvres en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) que les céréales.
- La lysine est le premier acide aminé limitant, il est donc important que les légumineuses complètent les céréales en équilibre lysine.
- Les protéines de légumineuses sont composées de plusieurs milliers de protéines spécifiques.
- Environ 70 à 80% des protéines brutes dans les graines de légumineuses sont des protéines de stockage.

- Les protéines non stockées sont des enzymes, des inhibiteurs d'enzymes, des hormones, des protéines de transport, structurelles et de reconnaissance.
- Les principales fractions protéiques des graines de légumineuses sont l'albumine et la globuline.
- La principale caractéristique des graines de légumineuses est leur teneur élevée en protéines (20-40% du produit sec).

- La digestibilité des protéines végétale est souvent considérée inférieure à celle des produits animaux.
- Cette plus faible digestibilité est attribuée à la structure de la graine qui protège les protéines de l'attaque des enzymes digestives, et à la présence de composés qui bloque l'activité protéolytique de ces enzymes.
- La cuisson entraine une fragilisation de la structure de la graine, et une inactivation des inhibiteurs de protéase, améliorant ainsi la digestibilité des protéines.

- La fermentation des graines avant cuisson permet également de réduire sensiblement l'activité de ces enzymes.

Composition en lysine, acides aminés soufrés et tryptophane des graines de légumineuses, par rapport à des aliments de référence (féculent, viande, lait).

	pour 100g	Lysine	Méthionine + cystéine	Tryptophane
Haricot blanc	sec	1.60	0.61	0.28
	cuit	0.67	0.25	0.12
Lentilles	sec	1.72	0.53	0.22
	cuit	0.63	0.20	0.08
Pois chiche	sec	1.38	0.55	0.20
	cuit	0.59	0.24	0.09
Pois cassé	sec	1.77	0.62	0.28
	cuit	0.60	0.21	0.09
Fève	sec	1.67	0.55	0.25
	cuit	0.49	0.16	0.07
Cornille	sec	1.59	0.60	0.29
	cuit	0.52	0.20	0.10
Lupin	sec	1.93	0.70	0.29
	cuit	0.83	0.30	0.13
Soja	sec	2.71	1.20	0.59
	Tofu	0.43	0.18	0.10
Riz	cuit	0.10	0.12	0.03
Pâtes	cuit	0.13	0.18	0.08
Viande (bifteck)	cuit	2.2	1.82	0.26
Lait entier, 1 verre	25cl	0.68	0.26	0.10

- Les graines de légumineuses peuvent se répartir en deux groupes.
- Le premier groupe correspond à **des graines riches en glucides**, et notamment en amidon (**40-50% du produit sec**), et **pauvres en matières grasses (1-6% du produit sec)**, c'est le groupe le plus important et il rassemble entre autres **le pois, la fève, les haricots secs, le pois chiche, les lentilles, la cornille, le dolique et le pois bambara**.
- Le second groupe correspond à des graines **plus riches en matières grasses et contenant peu d'amidon**.

- Ce groupe rassemble notamment le lupin et le soja qui contiennent respectivement **10 et 20% de lipides**.
- Les légumineuses ont des teneurs naturellement faibles **en acides gras saturés**, et parce qu'elles sont des aliments végétaux, elles sont également **exemptes de cholestérol**.
- Ces végétaux ont également **un faible indice glycémique**, généralement compris entre **10 et 40**.
- Les graines de légumineuses constituent également une source importante de fibres, de vitamines du **groupe B** (notamment de folates), ainsi que de **minéraux** (fer, zinc, calcium ...).

- Beaucoup de graines de légumineuses (surtout les variétés tropicales) contiennent des composés toxiques tels que **les lectines et l'acide phytique**.
- Il a été montré sur des modèles animaux que certaines lectines (hémagglutinine) à des niveaux élevés peuvent provoquer des **diarrhées et vomissements**, ainsi qu'une **irritation de la muqueuse intestinale**.
- Ces **lectines** sont en grande partie **désactivées par la cuisson** ce qui réduit considérablement le risque de toxicité pour l'homme.

- L'acide phytique présent essentiellement dans l'enveloppe des graines bloque la libération des minéraux et constitue ainsi un obstacle important à leur absorption.
- Le trempage et la fermentation permettent de réduire sensiblement la teneur en acide phytique, mais le traitement le plus efficace semble la germination.

3- Les aliments oléagineuses

- 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'aliments **très énergétiques**.
- Les huiles fluides ou concrètes sont 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** (huile de coprah...).

- Ces matières grasses ne contiennent pas de cholestérol et apportent toutes 100 % de lipides.
- Les huiles se distinguent les unes des autres par leur composition en acides gras.
- Les huiles concrètes sont caractérisées par une forte teneur en acides gras saturés.

Aliment		Totaux Acides gras (% des AG Totaux)		
(g/100 g)	Lipides	Saturé	MI	PI
Huile d'arachide	100	20,8	47,5	31,7
Huile d'olive	100	15,2	74,3	10,5
Huile de colza	100	6,5	64,3	26,5
Huile de noisette	100	7,3	76,3	16,4
Huile "Isio 4	100	12	41	47
Huile de maïs	100	12,9	27,4	59,6
Huile de soja	100	14,8	21,6	63,6
Huile de tournesol	100	12,2	23,5	64,3
Huile de noix	100	9,8	v17,1	72,3

4- Fruits et légumes

- Ils contiennent **90 % d'eau en moyenne**, des sucres sous forme d'amidon dans les légumes et sous forme de fructose et de glucose dans les fruits, beaucoup de minéraux et de vitamines.
- Ils ne contiennent pas de lipides.
- Leur richesse en fibre limite parfois leur absorption.

- La cuisson **déshydrate en partie ces aliments, les rend plus digestibles**, mais diminue leur contenu en vitamines.

Les légumes frais

- Les légumes frais proviennent de toutes les parties de la plante : **racines** (carottes, navet...), **tubercules** (pommes de terre), **tiges** (céleri branche), feuille (épinard), **fleur** (chou-fleur), **fruit** (tomate, courgette).
- 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.

Les 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'apport en sucres est très variable.
- Il est peu important pour les agrumes, les groseilles, les fraises, les framboises, les mûres, le melon et la pastèque (5 à 10 %).
- Les fruits les plus riches en sucres sont le raisin, la banane (18 à 20 %). Un fruit apporte généralement 15 à 20 g de glucides.

Fruits : équivalence pour 15-20 g de glucides (60-80 kcal).

- 1 petite banane, soit 100 g
- 1 petite grappe de raisin, soit 100 g
- 1 poire ou pêche ou pomme ou orange moyenne, soit 150 g
- 1/2 pamplemousse (jaune ou rose)
- 3 mandarines ou clémentines, soit 150 g
- 4 abricots moyens, soit 150 g
- 12 cerises, soit 100 g
- 10 mirabelles, soit 100 g
- 5 prunes-quetsche ou Reine Claude, soit 150 g
- 1 coupelle de fraises, framboises, myrtilles ou groseilles, soit 250 g
- 200 g de melon

Les 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**.

5- Composition du café

- Le caféier appartient à la famille des ***Rubiaceés*** comportant 500 genres dont le genre ***Coffea***.
- Le genre ***Coffea*** comprend environ **120 espèces** en tenant compte des *coffea* sauvages.
- Les espèces ***arabica*** et ***canephora*** sont les espèces les plus cultivées.

- *Coffea arabica* Linné et *Coffea canephora* Pierre comprennent respectivement les variétés regroupées dans les catégories plus communément appelées « **arabica** » et « **robusta** ».
- *Coffea arabica* et *Coffea canephora* var. *robusta* constituent l'essentiel du marché du café dans le monde dont elles représentent respectivement 65 % et 35 %.
- La composition chimique du café est complexe et n'est pas encore totalement élucidée à l'heure actuelle.

- De plus, celle-ci varie selon plusieurs paramètres tels que l'origine, l'espèce ou la variété considérée, les conditions de culture ainsi que le mode de préparation et de conservation du café.
- La torréfaction du café vert a un impact important sur les constituants finaux : alors que certains sont dégradés, d'autres apparaissent suite à la réaction de Maillard.
- Parmi eux, les melanoïdines –composés azotés- qui jouent un rôle dans la constitution de la saveur du café.

Composition moyenne en % de matière sèche des cafés verts et torréfiés selon la variété, et d'un café instantané soluble

Composants	<i>Arabica</i>		<i>Robusta</i>		Poudre de café instantané soluble
	Vert	Torréfié	Vert	Torréfié	
Minéraux	3,0-4,2	3,5-4,5	4,0-4,5	4,6-5,0	9,0-10,0
Caféine	0,9-1,2	~ 1,0	1,6-2,4	~ 2,0	4,5-5,1
Trigonelline	1,0-1,2	0,5-1,0	0,6-0,75	0,3-0,6	-
Lipides	12,0-18,0	14,5-20,0	9,0-13,0	11,0-16,0	1,5-1,6
Acides chlorogéniques totaux	5,5-8,0	1,2-2,3	7,0-10,0	3,9-4,6	5,2-7,4
Acides alipathiques	1,5-2,0	1,0-1,5	1,5-2,0	1,0-1,5	-
Oligo-saccharides	6,0-8,0	0-3,5	5,0-7,0	0-3,5	0,7-5,2
Polysaccharides totaux	50,0-55,0	24,0-39,0	37,0-47,0	-	~ 6,5
Acides aminés	2,0	0	2,0	0	0
Protéines	11,0-13,0	13,0-15,0	11,0-13,0	13,0-15,0	16,0-21,0
Acides humiques	-	16,0-17,0	-	16,0-17,0	15,0

La **trigonelline** est un produit du métabolisme de la niacine (vitamine B3).

Les **acides humiques** sont de couleur noire à brun foncé, résultant d'un processus de condensation oxydative des composés phénoliques et liés à des acides aminés, des peptides et des polysaccharides.

- Les grains de café verts contiennent des glucides qui représentent environ **50% de la matière sèche du café** et que nous pouvons classer en deux catégories:
 - * *les glucides solubles* (polysaccharides et oligosaccharides) et
 - * *les glucides insolubles* (hémicellulose et holocellulose).
- La torréfaction influe fortement sur la concentration glucidique : elle entraîne la libération de monosaccharides –ribose, galactose, arabinose- à partir des polysaccharides, qui pourront ensuite participer à la réaction de Maillard.

Composition moyenne en glucides (exprimée en % de la matière sèche) des grains de café vert.

Structures du grain	% matières sèches		Composants
	<i>Arabica</i>	<i>Robusta</i>	
Glucides solubles du cytoplasme, dont	9,2-13,5	6,2-11,9	fructose, galactose, arabinose, saccharose, raffinose, stachyose, polymères de galactose (55-65 %), mannose (10-20 %), arabinose (20-35 %), glucose (0-2 %)
Monosaccharides	0,2-0,5	0,2-0,5	
Oligosaccharides	6,0-9,0	3,0-7,0	
Polysaccharides	3,0-4,0	3,0-4,4	
Glucides insolubles des structures membranaires dont	46,0-53,0	34,0-44,0	Polymères de galactose (65-75 %), arabinose (25-30 %), mannose (0-10 %)
Hémicelluloses	5,0-10,0	3,0-4,0	
Holocelluloses	41,0-43,0	32,0-40,0	Polymères de galactose (10-20 %), mannose (60-70 %), glucose (10-20 %)
TOTAL	55,2-66,5	41,2-55,9	

- **Les lipides** sont localisés dans deux compartiments différents du grain de café : à l'intérieur de l'endosperme (huile de café) et sur la face externe où ils rentrent dans la composition de la cire.
- Cependant, **les lipides contenus dans la cire sont minoritaires (0.2 à 0.3%), la majorité se trouvant dans l'huile de café : acides gras saturés (acide palmitique, stéarique) et insaturés (acide oléique et linoléique).**
- Des stérols (sitostérol, stigmastérol, campésterol, cycloarténol) ainsi que des diterpènes (cafestol, kahweol) sont également présents.

- Enfin, il convient de noter **que la torréfaction n'a que peu d'effet sur la teneur finale en lipides.**
- **Les protéines** constituent de 8 à 13% de la matière sèche des grains de café verts.
- Deux classes sont à distinguer : les protéines solubles (globulines) ou insolubles dans l'eau.
- Les acides aminés principaux sont l'acide glutamique, l'acide aspartique, la proline, l'alanine ou encore l'asparagine.

- Leurs concentrations diminuent de façon importante au cours de la torréfaction.

Les composés phénoliques

- Les acides chlorogéniques, les tanins condensés, les lignanes et les anthocyanes font partie des composés phénoliques présents dans le grain de café.
- Les tanins sont principalement abondants dans la pulpe tandis que les acides chlorogéniques sont surtout présents dans le grain du café vert où leur concentration varie en fonction de l'espèce.

- Ces composés font l'objet d'une attention particulière quant à leurs effets bénéfiques sur la santé humaine qui seraient principalement liés à **leur action antioxydante**.
- Ils auraient en effet une action protectrice, que l'on désigne par le terme générique de «**chémoprévention**», contre les maladies cardiovasculaires, les maladies chroniques dégénératives, les cancers.

Vitamines et minéraux

- Le café contient de nombreux minéraux dont le principal est le **potassium** (environ 55 à 65 mg pour une tasse de 100 ml).

- Viennent ensuite **le magnésium, le calcium et le sodium** ainsi que le fer, le zinc et le cuivre en plus faibles quantités.
- Parmi les vitamines, c'est la **vitamine B3** qui est majoritairement retrouvée, à raison de **400 à 1200 µg** par tasse de café.
- On estime qu'un bol de café de 250 ml permettrait de couvrir jusqu' à 15% des apports nutritionnels conseillés en vitamine B3 qui sont de l'ordre de 16 mg par jour.
- En comparaison, la même tasse de café contiendra également les vitamines B5 (environ 80 µg), B2 (2 µg) et B6 (0.6 µg).

- Les vitamines B1 et C sont dégradées lors de la torréfaction.

Autres composants

- Les alcaloïdes : la caféine est le constituant majeur du café.
- La dose de caféine contenue dans un café varie en fonction de l'espèce de caféier utilisé (*arabica* ou *robusta*), de leur proportion respective (les deux types de cafés sont le plus souvent mélangés), de la finesse de la mouture ainsi que de la température de l'eau.
- L'eau : elle est de l'ordre de 9 à 11% dans le café vert et de 1 à 3% suite à la torréfaction.

- Les fibres alimentaires solubles (galactomannane, arabinogalactane) et insolubles (cellulose) sont apportées par le café de **l'ordre de 470 à 750 mg pour une tasse de 100 ml.**

		Boisson	Volume moyen ingéré	Caféine (mg)
				Moyenne (valeurs extrêmes)
Classification des boissons selon leur teneur en caféine		Expresso	30 ml	60 (35-100)
		Café filtre	125 ml	85 (60-135)
		Café instantané soluble	125 ml	65 (35-105)
		Boissons énergétiques	330 ml	80 (70-120)
		Thé	150 ml	32 (20-45)
		Sodas caféinés	330 ml	39 (30-48)
		Café décaféiné	125 ml	3 (1-5)

II- Altérations liées à la conservation et à la transformation d'aliment d'origine végétale.

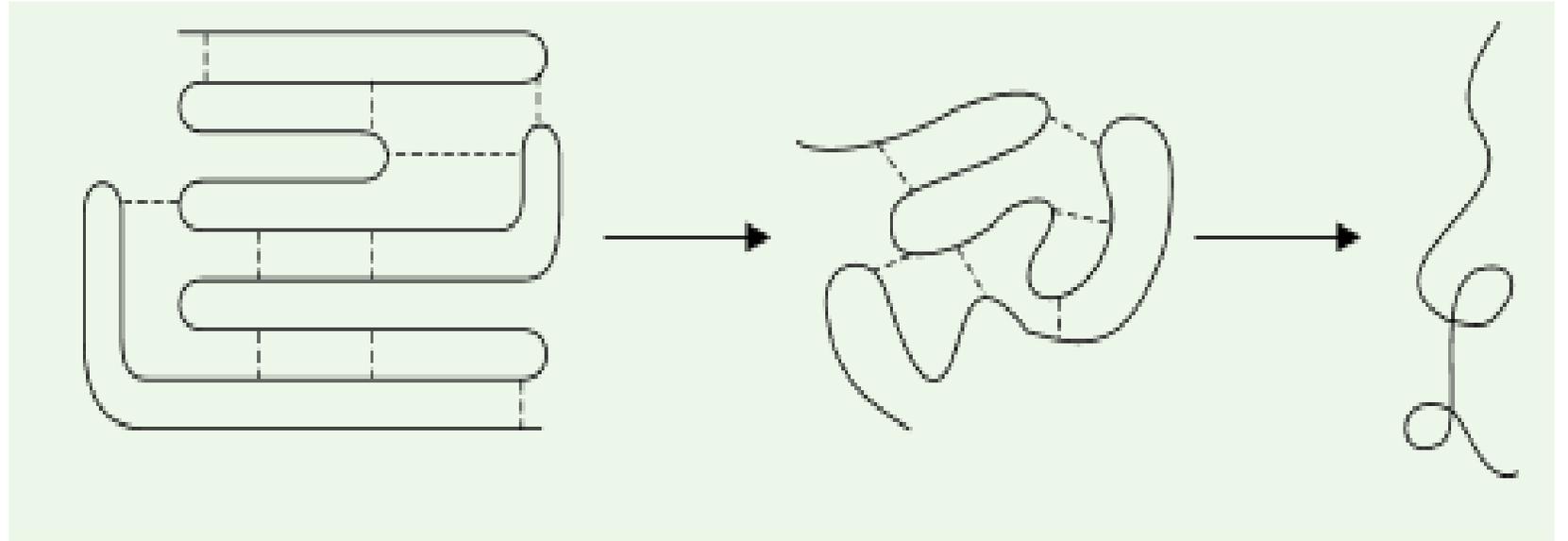
1- Dénaturation des protéines

- La dénaturation fait référence aux modifications des propriétés d'une protéine. En d'autres termes, **c'est la perte d'activité biologique.**
- Dans de nombreux cas, le processus de dénaturation est suivi d'une **coagulation**, *un processus dans lequel les molécules de protéines dénaturées ont tendance à former de grands agrégats et à précipiter de la solution.*

- La dénaturation peut être provoquée par divers agents, à la fois **physiques et chimiques**.
- Les agents physiques comprennent **une action mécanique** (agitation par exemple), **des opérations de refroidissement et de congélation par traitement thermique, des frottements, des pressions hydrostatiques élevées (5 000 à 10 000 atm), des rayons ultraviolets, etc.**

- Les agents chimiques à l'origine de la dénaturation sont de nombreux rayonnements ionisants (rayons X, rayonnements radioactifs et ultrasons), solvants organiques (acétone, alcool), anions aromatiques (salicylates), certains détergents anioniques (comme le dodécylsulfate de sodium), etc...
- Wu (1931) a suggéré que la dénaturation entraîne principalement le déploiement de la chaîne peptidique, provoquant ainsi une désorganisation de la structure interne de la protéine.

Ceci est démontré par le fait que les protéines dénaturées sont plus facilement hydrolysées (Mirsky, 1935).



Representation of denaturation of a protein

- Lorsque les chaînes peptidiques ou les molécules protéiques sont déroulées, certaines liaisons se divisent et de nouveaux sites de faisceaux sont exposés à l'action de certaines enzymes protéolytiques provoquant une hydrolyse.
- Ainsi, les liaisons H reliant les 2 chaînes peptidiques sont partiellement libérées et les liaisons disulfure (-S-S-) reliant également les deux chaînes peptidiques s'ouvrent pour donner les groupes sulfhydryle libre (-SH).

- Selon Putnam (1953), les protéines, lors de la dénaturation, subissent les modifications suivantes:

1. Diminution de leur solubilité.
2. Cessation de leur activité biochimique sous forme d'enzymes ou d'hormones.

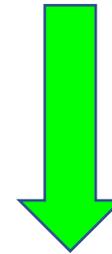
3. Diminution de la taille et de la forme de la molécule.
4. Augmentation de l'activité de certains radicaux présents dans la molécule, tels que le groupe -SH de la cystéine, la liaison -S-S- de la cystine et le groupe phénolique de la tyrosine.

- Certaines protéines, lorsqu'elles sont dénaturées, ne peuvent pas être ramenées à leur état d'origine. Dans ce cas, la dénaturation est décrite comme du type «**irréversible**».
- En revanche, la dénaturation dans d'autres protéines est de type «**réversible**».



- Par exemple, si la trypsine est exposée à une température de 80-90 ° C, elle se dénature et lorsque cette solution est refroidie à 37 ° C, la solubilité et l'activité de cette protéine-enzyme sont retrouvées.

- Le processus de récupération des propriétés protéiques normales par une protéine dénaturée est appelé **renaturation** ou **repliement**.



La récupération de la protéine renaturée n'est cependant jamais complète.

2- Brunissement

- De nombreuses denrées alimentaires subissent des changements de coloration avec le temps.
- Ces changements de coloration consistent en un phénomène de brunissement *qui se produit aussi bien au cours du vieillissement d'aliments frais que pendant la mise en œuvre des différents procédés de fabrication ou de conservation.*

- Ces réactions colorées, qu'elles soient celles de la croûte de pain, du malt après touraillage, de la viande grillée ou encore celles qui apparaissent lors de la maturation des feuilles de thé, de l'élaboration du cidre s'accompagnent bien souvent de molécules aromatiques.

2-1- Brunissement non enzymatique

Le brunissement non-enzymatique ou brunissement par oxydation produit une couleur brune sur les aliments.

On observe deux grands types de brunissement non-enzymatique : **la réaction de Maillard et la caramélisation.**

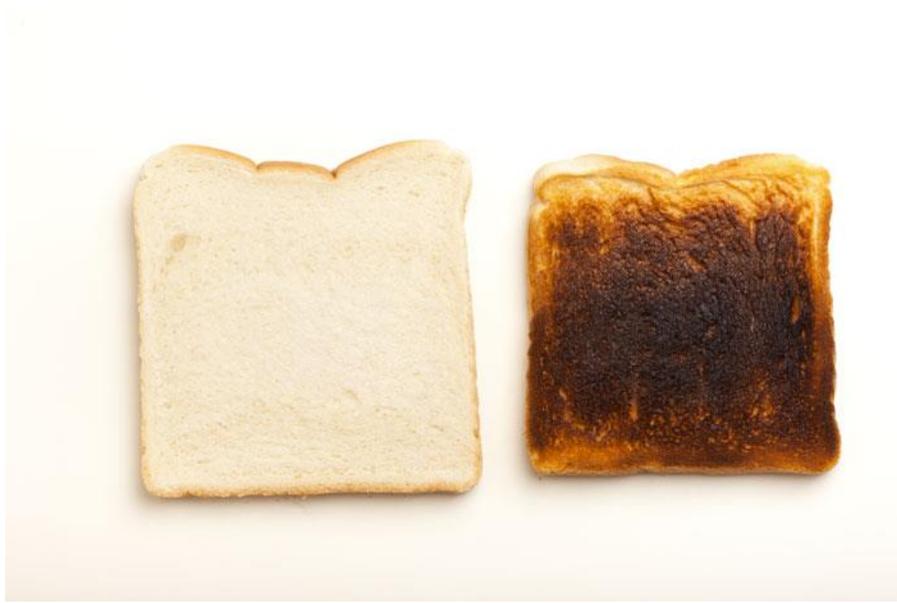
2-1-1- La réaction de Maillard est une réaction des sucres de l'aliment avec les acides aminés et la chaleur. On obtient alors le brunissement des acides aminés lors de la cuisson d'un aliment par exemple.

- Cette réaction chimique est connue dans le monde scientifique sous le nom de **glycation** ou **glycosylation non enzymatique des protéines.**

Sucres simples + Acides aminés + Eau + Chaleur = réaction de Maillard

- Elle est la responsable principale de la production des odeurs, des arômes et des pigments caractéristiques des aliments cuits.
- Elle peut aussi donner naissance à des composés cancérigènes et également réduire la valeur nutritionnelle des aliments en dégradant des acides aminés essentiels.
- Certaines molécules formées par réaction de Maillard telles que les amines hétérocycliques, les furanes et furfurals et l'acrylamide présentent des propriétés toxiques bien caractérisées.
- *In vivo*, elle intervient dans les processus de dégradation du collagène.

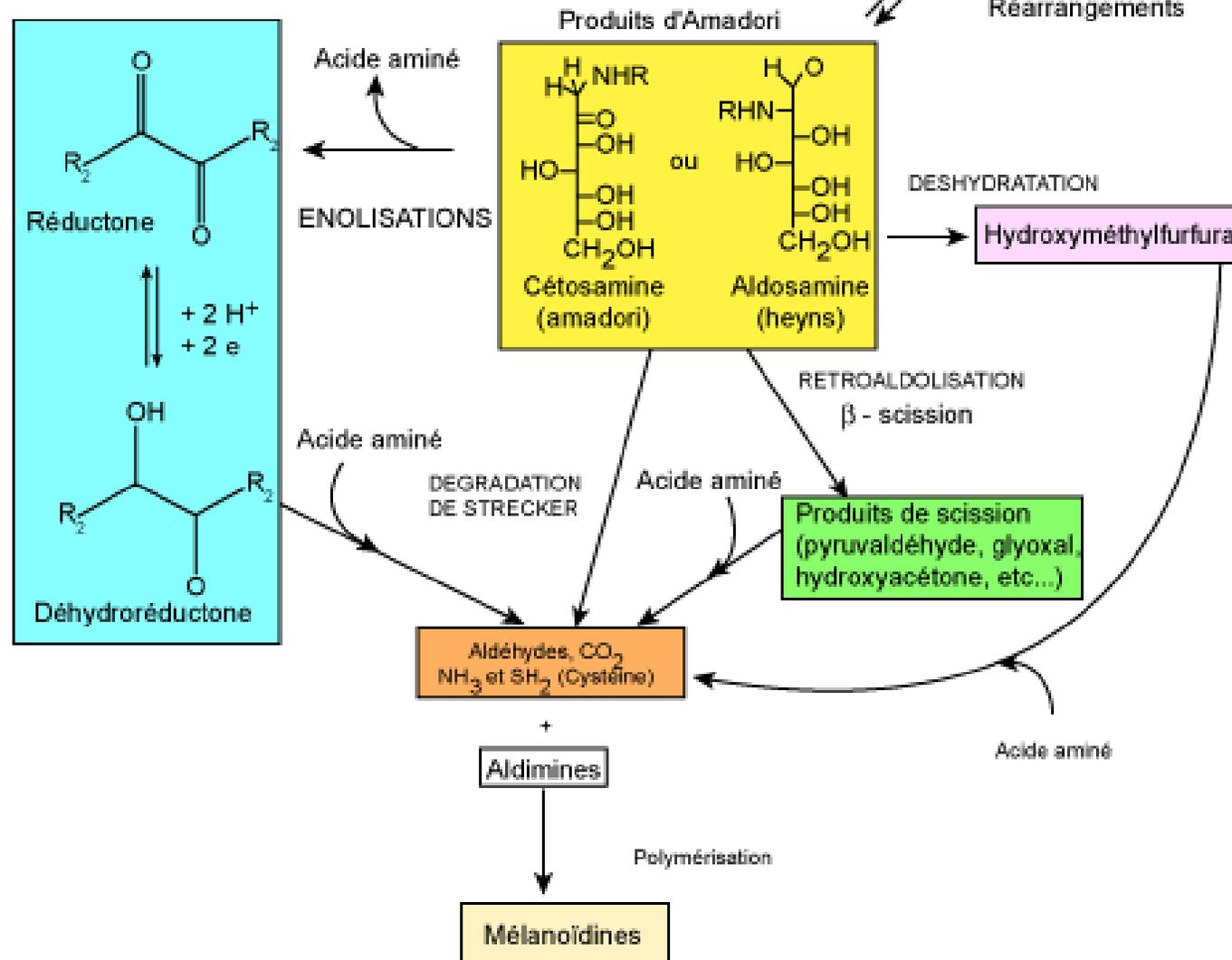
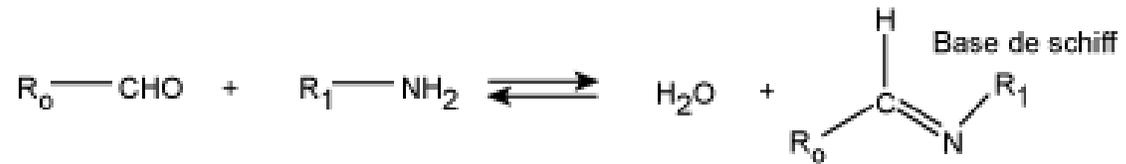
- La réaction de Maillard intervient lorsqu'un mélange de protéines et de sucres est chauffé à une température comprise entre 0 à 150° C, à un pH idéalement entre 6 et 10, en présence d'un taux d'hygrométrie idéalement proche de 15 %.



- On peut subdiviser la réaction de Maillard en trois étapes principales:
 - ***La première** conduit à la formation réversible de **glycosylamines** qui se réarrangent selon les réarrangements d'**Amadori** ou de **Heyns**.
 - ***La seconde étape** correspond à la dégradation des produits des réarrangements d'Amadori et de Heyns. Elle conduit, notamment, à la formation de composés hétérocycliques responsables des odeurs.
 - ***La troisième étape** correspond à la polymérisation d'intermédiaires réactionnels produits lors de la deuxième étape.

Elle produit **des mélanoidines**.

- La température, le temps de réaction, la teneur en eau ainsi que la concentration et la nature des précurseurs influencent la réaction de Maillard.



- La présence élevée de sucre chez les diabétiques favorise **la glycation des protéines**. Ceci expose à des lésions cellulaires et tissulaires expliquant que **les diabétiques ont un risque accru de maladies cardio-vasculaires ou rénales**.
- Les cuissons élevées induisent la production de substances inexistantes à l'état naturel et pour lesquelles notre intestin et nos cellules ne disposent pas des enzymes nécessaires à leur digestion, absorption et utilisation.

- Parmi les corps de Maillard, l'**acrylamide** est formée lors de la cuisson forte d'aliments riches en amidon et contenant de l'asparagine (AA).
- L'acrylamide est particulièrement présente dans les chips et les céréales du petit déjeuner, les poudres de café, de chicorée, et **tous les aliments fortement grillés ou cuits à plus de 120°C**.
- Son pouvoir cancérigène et toxique pour les cellules de la reproduction et du système nerveux est reconnu.
- Une étude publiée dans la revue « *International Journal of Cancer* » a montré une association positive entre un taux élevé d'acrylamide dans le sang et le développement du cancer du sein.

2-1-2- La caramélisation consiste à faire réagir du saccharose et de l'eau. Elle a lieu lorsqu'un le saccharose approche de sa température de fusion. C'est une polymérisation du saccharose.

Sucres simples + Eau + Chaleur = caramélisation

*Le caramélane possède une structure chimique du genre : $C_{24}H_{36}O_{18}$,

il est constitué de particules dont la taille est voisine de $0,45\mu\text{m}$.

C'est un produit brun, cassant à saveur amère, très hygroscopique.

C'est le produit majeur qu'on obtient quand, après chauffage la perte en masse du produit n'excède pas 12%.

*Le caramélène correspond à une structure du type $C_{36}H_{48}O_{24}$, la taille des particules est de l'ordre de $0,95 \mu\text{m}$.

La coloration est plus intense que pour le caramélane. Il est moins hygroscopique et sa température de fusion est voisine de $153-154^\circ\text{C}$.

*Le caraméline est une structure du type $C_{96}H_{102}O_{51}$, il renferme des particules qui sont de l'ordre de $4 \mu\text{m}$. La teinte est beaucoup plus noire que les précédents. On ne peut pas l'obtenir sous forme fondue. Comme on peut le constater les caramels sont des solutions colloïdales. L'homogénéité va dépendre de la viscosité du produit.

- La différence entre une réaction de Maillard et une caramélisation simple est la présence d'acides aminés. Ainsi, du sucre chauffé en présence d'eau donnera du caramel, le même sucre chauffé en présence d'eau et de protéines (constituées d'acides aminés) donnera un « corps de Maillard ».



2-1-3- Dégradation de la vitamine C

- Le chauffage des jus de fruits en particulier lors de la pasteurisation ou de la flash pasteurisation est responsable de la dégradation d'une partie de l'acide ascorbique. Cette dégradation s'effectue en milieu acide soit en aérobiose ou en anaérobiose.
- L'addition de vitamine C « synthétique » peut amplifier les phénomènes de brunissement car cette molécule peut jouer le rôle d'une réductone et s'associer avec des acides aminés pour donner **des mélanoidines** dans le cadre d'une réaction de Maillard déjà initiée.

2-2- brunissement enzymatique

- Les réactions de brunissement enzymatique concernent surtout les produits alimentaires d'origine végétale.
- Cependant ces activités ont aussi été caractérisées chez les micro-organismes et chez les invertébrés (crustacés).
- Ces réactions entraînent une modification de **l'apparence, de la flaveur et de la qualité nutritionnelle du produit.**

- Toutes ces conséquences sont préjudiciables à la qualité organoleptique de l'aliment.
- Cependant le brunissement peut dans certains cas être recherché lorsqu'il permet d'améliorer l'aspect et le goût des produits alimentaires comme dans le cas du café, de la maturation des dattes, la fermentation du thé ou la fabrication du cidre.
- Ces réactions sont le résultat de la transformation par l'intermédiaire de système spécifique des composés phénoliques en polymère colorés,

le plus souvent en brun ou noir sous l'action d'une enzyme : la polyphénol oxydase (PPO).

- Cette réaction est d'autant plus importante que les tissus des végétaux sont malades ou lésés.
- L'endommagement par contusion peut résulter d'action de pelage, découpage, broyage, congélation et déshydratation.
- Il existe de nombreux substrats phénoliques : **mono-, di-, triphénol** susceptibles de donner des réactions de brunissement.

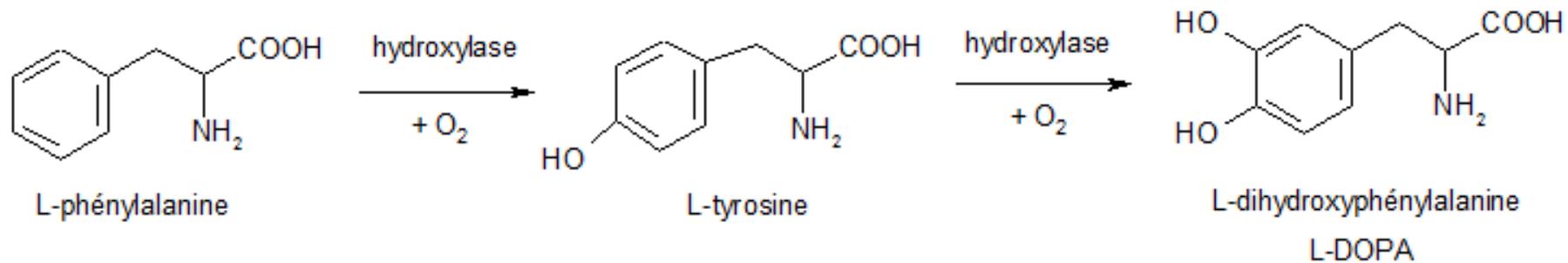
- Leur réactivité est plus ou moins grande en fonction de leur structure (les dérivés méta diphénol sont les moins réactifs par rapport aux dérivés ortho- et para-).
- La réaction va aussi dépendre de la spécificité des enzymes et du degré d'oxydation.

2-2-1- Les substrats de la réaction

- Les substrats les plus simples sont **les pyrocatechols et leurs dérivés**.
Ce sont des dérivés diphénoliques.

- **Les acides aminés:**

Les dérivés de la phénylalanine sont les substrats des polyphénol oxydases car cet acide aminé par l'intermédiaire d'hydroxylase à bioptérine peut être transformé en tyrosine dans un premier temps puis en dihydroxy phényl alanine (DOPA) dans un second temps selon le processus réactionnel suivant :



La DOPA sous l'action des PPO va pouvoir donner la **DOPAquinone**.

Dans la banane, la DOPA va subir une réaction de décarboxylation (réaction caractéristique des acides aminés) pour donner la 3,4 dihydroxy phényléthylamine qu'on appelle : la DOPAmine.

C'est cette DOPAmine qui après oxydation sera le principal agent de coloration de la banane en cours de mûrissement.

- **Les acides organiques:**

Les acides organiques sont les substrats privilégiés des PPO.

Ces enzymes réagiront sur des acides organiques polyphénoliques comme dans le cas de l'acide gallique ou l'acide chlorogénique.

L'acide chlorogénique est constitué par l'association de l'acide quinique et de l'acide caféique.

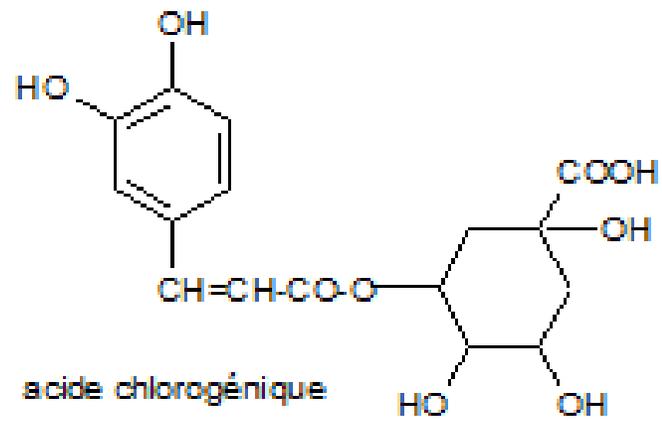
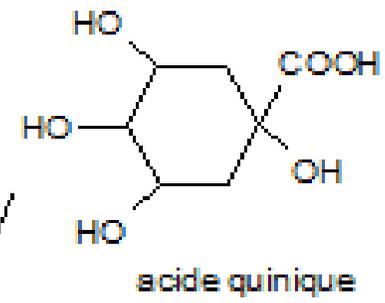
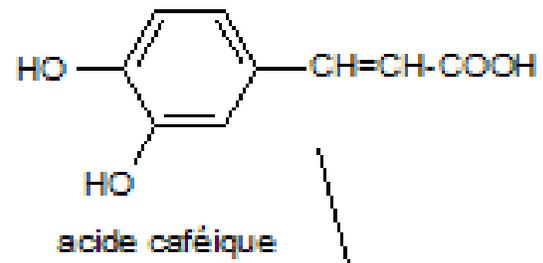
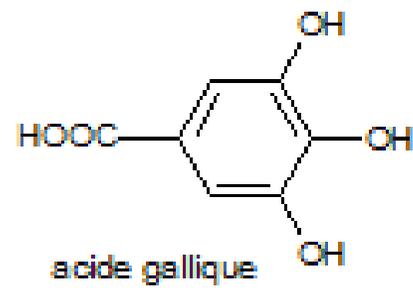
Il se rencontre dans les pommes de terre, les pommes, les poires.

Lors de la cuisson des pommes de terre et en présence de sel de fer, il y a développement d'une coloration bleu-noire.

La réaction et la coloration disparaissent si on est en milieu acide.

L'idéal serait de cuire à des pH inférieurs à 4 mais dans ces conditions, le couplage de l'acidité et de la chaleur se traduirait par une hydrolyse de l'amidon et perte de la structure du végétal.

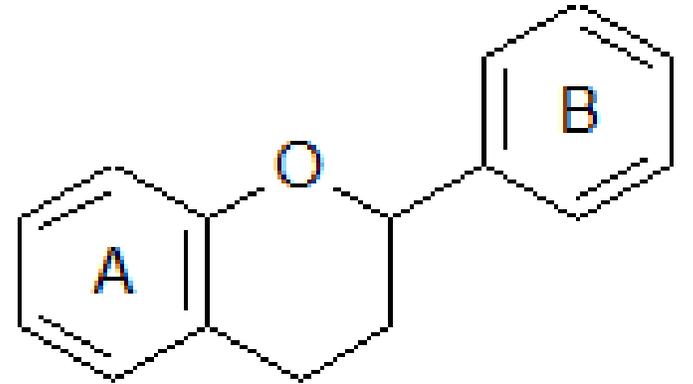
La cuisson pourrait aussi se réaliser en présence d'agent chélateur (*En chimie un **chélate** est un corps qui possède la capacité de fixer des **cations** métalliques en constituant un complexe stable non ionisé, non toxique, et facilement éliminé par le rein*) si la législation le permet.



- **Les flavonoïdes:**

Les flavonoïdes répondent à la structure générale suivante :

- ✓ Les noyaux A et B pourront être substitués plus ou moins fortement par des fonctions hydroxylées.
- ✓ La partie réactive de cette structure vis-à-vis des PPO est en général le noyau B qui porte les fonctions mono, di, triphénoliques.



Structure générale d'un flavonoïde

Parmi les flavonoïdes on distingue: **Les anthocyanidoles, les leucoanthocyanidoles, les flavonols et les flavanones.**

* **Les anthocyanidoles** ont la particularité de changer de couleur en fonction du pH du milieu. Ces molécules passent du bleu au rouge quand le milieu s'acidifie. C'est la couleur des petits fruits rouges, des bleuets, des coquelicots...

* **Les leucoanthocyanidoles** sont pas colorés, ils pourront être transformés en anthocyanidoles par oxydation et déshydratation.

C'est ce qui se réalise au cours de la cuisson de certains végétaux comme les fèves, les pommes, les poires, les salsifis... la coloration passe alors au rose ou au rouge.

***Les flavonols (le kaempférol, la quercétine, la myricétine):** Ce sont des pigments végétaux de couleur jaune plus ou moins clair. Les flavonols sont de bons anti-oxydants et anti-inflammatoires. Les sources principales sont le thé, les oignons, les pommes, les épinards et les choux-fleurs.

***Les flavanones:** Cette structure est responsable de l'amertume dégagée par certains végétaux (albédo des agrumes, pépin de raisin...).

- **Les tannins (tannins):** Les tannins sont des molécules qui vont subir l'action des polyphénol oxydases mais ils vont aussi contribuer à la structure des végétaux (incrustation des parois cellulaires) et participer à la saveur des aliments.

Les tannins sont des polyphénols, le plus souvent hydrosolubles, d'origine végétale et qui possèdent la capacité de précipiter les protéines, alcaloïdes et polysaccharides, à partir de leur solution aqueuse.

Ex: **Thé vert** : riche en tanins, ses propriétés sont multiples. Ce sont ces polyphénols antioxydants qui donnent au thé son arôme et son goût amer particulier.

2-2-2- Rôle physiologique des polyphénol-oxydases:

- Le rôle physiologique des PPO demeure en grande partie obscur et donc très controversé. L'absence de PPO ne semble pas avoir d'effet sur la viabilité de certaines espèces végétales.

- Certains végétaux ne contiennent pratiquement pas de polyphénol oxydases et/ou de **substrats phénoliques polyhydroxylés** : c'est le cas des agrumes, de l'ananas. D'autres peuvent renfermer des enzymes mais pas de substrats adaptés pour engendrer la coloration.
- Dans tous les autres tissus la coloration n'intervient pas tant que les tissus ne sont pas blessés.
- Chez les végétaux, les PPO seraient impliquées dans les phénomènes de défense et de résistance aux infections bactériennes, fongiques et virales.

3- Inhibition des réactions de brunissement

Au cours des processus de transformation, il conviendra de prendre des mesures appropriées pour limiter voire inhiber complètement les réactions de brunissement qu'elles soient non enzymatiques (réaction de Maillard) ou enzymatiques (Polyphénol oxydases).

3-1- Procédés communs pour inhiber les réactions de brunissement

3-1-1- Elimination du substrat

****Cas des réactions de brunissement non enzymatique:***

- Dans le cas des réactions de brunissement non enzymatique, on peut essayer d'éliminer en tout ou partie l'un des substrats de la réaction.
- **Ex:** Lors de la fabrication de poudre d'œuf, par exemple, il faudra éliminer au maximum le glucose soit par voie fermentaire (utilisation de levure) soit par voie enzymatique avec la glucose oxydase.

****Cas des réactions de brunissement enzymatique:***

- Dans le cas des végétaux, on sélectionnera des espèces végétales ne renfermant que peu de composés polyphénoliques.

- Dans le cas de la préparation des jus de fruits par exemple, il est possible de traiter les extraits par le **polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)**, le charbon actif ou la bentonite qui adsorbera les dérivés phénoliques.
- On utilise aussi maintenant des composés comme les cyclodextrines dont l'efficacité a été mise en évidence pour piéger l'acide chlorogénique et les flavonols.

3-1-2- Modification du pH:

****Cas des réactions de brunissement non enzymatique:***

- L'abaissement du pH permet de limiter le phénomène de brunissement non enzymatique par ionisation de la fonction amine primaire en ammonium quaternaire non réactif.
- On pourra aussi ajouter au milieu de **la delta gluconolactone** qui libérera progressivement son acidité (poudre d'œuf).

****Cas des réactions de brunissement enzymatique:***

- Un jus de citron est utilisé pour éviter le brunissement de champignons émincés ou la découpe d'un avocat.
- Cette technique est très utilisée pour contrer les brunissements enzymatiques dans la mesure où l'on travaille à des **pH de l'ordre de 2,7-2,5. A ces valeurs de pH les PPO sont inactives.**
- On emploie généralement le trempage dans des bains acides, l'acide le plus utilisé est l'acide citrique mais le plus efficace est l'acide malique.

3-1-3- Modification de la température

****Cas de brunissement non enzymatique***

- C'est généralement au cours de la réaction de déshydratation que se produit le brunissement (haute température et teneur en eau critique).
- On peut évidemment diminuer la température mais on devra augmenter le temps de mise en œuvre du procédé et on aboutira pratiquement au même résultat.

- A basse température on ne bloque pas la réaction de Maillard on ne fait que diminuer la vitesse de réaction.
- Les produits déshydratés doivent être entreposés à des températures inférieures à 25°C, dans des emballages imperméables à la vapeur d'eau.
- Pour les jus de fruits concentrés, il faut parfois envisager de stocker à des températures inférieures à 0°C afin d'éviter la dégradation de la vitamine C qui produira du gaz carbonique et fera bomber les emballages.

****Cas de brunissement enzymatique***

- L'inactivation des PPO peut se réaliser par une opération de blanchiment (pasteurisation, appertisation[stérilisation à la chaleur, dans des récipients hermétiquement clos]).
- C'est une méthode qui est efficace mais qui entraîne de profonde modification de texture et des propriétés organoleptiques des végétaux. Si cela peut se concevoir pour les légumes, on ne peut l'utiliser pour les fruits.

- On peut aussi diminuer l'intensité de la réaction en abaissant la température aux environs de $40^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.
- La congélation n'est pas une solution adaptée car à moins d'être effectuée à très basse température il y aura formation de cristaux de glace au niveau cellulaire.
- Ces cristaux vont modifier la perméabilité membranaire et mettre en présence substrat et enzyme au moment de la décongélation et de la remontée en température favorisant ainsi la réaction de brunissement.

3-1-4- Utilisation des agents réducteurs

****Cas des réactions de brunissement non enzymatique***

- Dans le cas de la réaction de Maillard le seul agent efficace contre les réactions de brunissement est **l'anhydride sulfureux**, utilisé sous forme de sel ou de gaz.
- Quand le SO_2 (dioxyde de soufre) est utilisé pour ses propriétés antiseptiques (concentration supérieure à 50 ppm), la concentration est très largement suffisante pour inhiber les réactions de brunissement.

- C'est le cas notamment des jus de raisin, du vin, des fruits déshydratés, des jus concentrés en fûts ou de la pulpe de fruit pour confiture.
- Dans les produits où le SO_2 est utilisé uniquement pour inhiber la réaction de brunissement non enzymatique, les concentrations sont beaucoup plus faibles.
- Il s'agit par exemple de la purée déshydratée en poudre, les pommes de terre déshydratées en tranche, les marrons glacés, les jus concentrés d'agrumes.

- L'addition de SO_2 peut entraîner des modifications d'arome, de pigmentation et, dans les jus d'agrumes produire de l'hydrogène sulfuré (H_2S).
- Enfin le SO_2 détruit la vitamine B1.

****Cas de brunissement enzymatique***

- Les sulfites vont pouvoir réagir à la fois au niveau des PPO et sur les produits de la réaction.

- Ces réactifs, à savoir les ions sulfite (SO_3^{2-}) et bisulfite (HSO_3^-), sont capables d'inactiver de manière irréversible les PPO de végétaux supérieurs ou d'origine fongique.
- L'inactivation de la PPO peut se produire en 20 minutes pour des concentrations en sulfite de l'ordre de 1 mg par litre.
- Il s'avère en outre que l'inactivation est d'autant plus efficace que le pH est plus acide.
- Le mécanisme d'inactivation s'accompagne d'un changement de structure tertiaire et/ou d'ionisation de la PPO, vraisemblablement suite à la réduction de ponts disulfure.

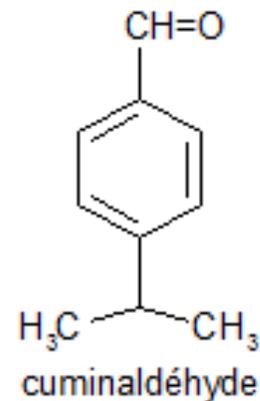
3-2- Procédés spécifiques pour inhiber les réactions de brunissement

- Il s'agira uniquement des techniques qui permettent d'inhiber les réactions de brunissement enzymatique. Elles concerneront la réaction enzymatique elle-même et on pourra caractériser 4 niveaux d'intervention qui seront : **action au niveau de l'enzyme, au niveau du cuivre, du site de fixation du substrat polyphénolique et de l'oxygène de l'air.**

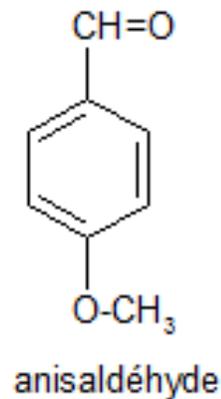
3-2-1-Action au niveau des polyphénol oxydases

- Il existe des réactifs qui seront capables de réagir avec les fonctions amines libres des structures polypeptidiques des PPO en donnant des bases de **schiff stables**.

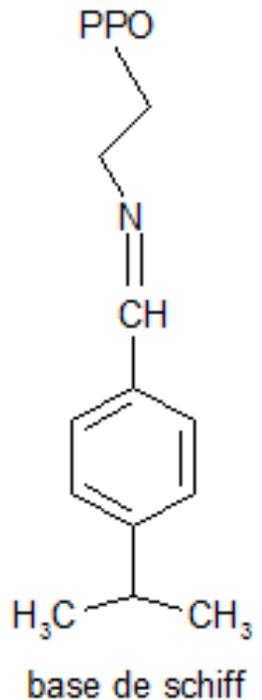
Action des aldéhydes sur les PPO



ou



+



- Les PPO partiellement purifiées de pomme, de raisin, de poire et d'avocat sont partiellement dénaturées (10 à 60 % de l'activité initiale est perdue) lorsqu'elles sont exposées durant 15 secondes à des pressions allant de 100 à 900 MPa et à des températures atteignant 60°C.
- Toutefois, la température, la pression et la durée du traitement restent des paramètres à optimiser pour une meilleure efficacité.

3-2-2- Action au niveau de l'interaction avec le cuivre

- **Les composés chélateurs** de métaux forment des complexes avec les atomes de cuivre du centre actif des polyphénol oxydases.

- Cette inactivation s'accompagne de l'arrachement d'un des deux atomes de cuivre de l'enzyme conduisant à une forme inactive nommée **metapo**.

3-2-3 Action au niveau du site de fixation des structures polyphénoliques

- Dans ce groupe d'inhibiteurs, on trouve **des acides carboxyliques** et **plus particulièrement des acides benzoïques, cinnamiques et phénylcanoïques**.

3-2-4- Action vis-à-vis de la fixation d'oxygène

- Une façon de limiter les réactions de brunissement est de limiter la pression partielle en oxygène au niveau du système enzymatique. Différentes techniques sont utilisées pour atteindre ce but.
 - ✓ On peut utiliser **des agents anti-oxydants synthétiques (E300 à E321)** comme on peut utiliser **les techniques du vide ou le barbotage sous gaz inerte (azote)**.
 - ✓ Il est aussi possible de diminuer la concentration en oxygène par le biais de réaction enzymatique. Cette action se double d'une augmentation de l'acidité qui diminue aussi la réactivité des PPO.

- ✓ La limitation de la teneur en oxygène peut se réaliser par une action de croûtage. Cette technique est utilisée après le tranchage ou le pelage des fruits soit en traitant par de **la saumure soit par des sirops de glucose ou de saccharose.**
- ✓ L'utilisation d'emballage imperméable à l'oxygène permet d'augmenter la durée de vie des produits.

4- Oxydation des lipides

La phase d'initiation de l'oxydation des lipides peut être déclenchée par plusieurs facteurs : **les formes activées de l'oxygène, les enzymes, les métaux ou la chaleur.**

- Les facteurs qui influencent l'oxydation des lipides sont nombreux.
- Il s'agit **de facteurs intrinsèques** tels que la composition en acides gras des lipides (nombre et position des insaturations), la présence de pro oxydants (hème, ions métalliques, enzymes) ou d'antioxydants naturels (tocophérols, caroténoïdes...).

- et **des facteurs externes** tels que la température, la lumière, la pression partielle en oxygène, l'activité de l'eau, les conditions de stockage et de transformation.
- L'oxydation des lipides peut résulter de plusieurs voies réactionnelles en fonction du milieu et des agents initiateurs :
 - ❖ l'auto-oxydation catalysée par la température, les ions métalliques, les radicaux libres ;
 - ❖ la photo-oxydation, initiée par la lumière en présence de photosensibilisateurs
 - ❖ l'oxydation enzymatique initiée par la lipoxygénase, même à basse température.