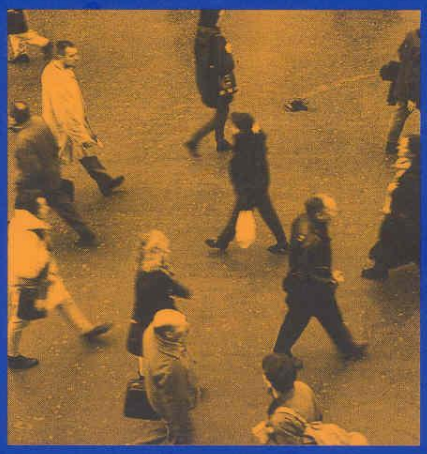
SUIVRE LA SCIENCE

LA NUTRITION HUMAINE

la recherche au service de la santé



DOSSIERS documentaires

INSERM
NATHAN

Collection DOSSIERS documentaires

Dossiers documentaires
INSERM / NATHAN

- *Le médicament : naissance, vie et mort d'un produit pas comme les autres,* G. BOUVENOT, E. ESCHWEGE, D. SCHWARTZ
- *Adolescence : physiologie, épidémiologie, sociologie,* M. CHOQUET, P. ALVIN, O. GALLAND, F. FRAISSE, S. LEDOUX, C. MARÉCHAL
- *Drogues et toxicomanies : neurobiologie et épidémiologie,* F. FACY, J.-P. TASSIN, F. TROVERO, S. PIROT
- *Génétique humaine : de la transmission des caractères à l'analyse de l'ADN,* J.-L. SERRE, J. FEINGOLD
- *Transmettre la vie à l'aube du XXIe siècle,* F. FERRÉ, P. ROBEL, J.-C. SOUFIR, P. BOYER, D. BELLET, R. LÉVY, I. NISAND, A. JARDIN, V. IZARD, R. HENRION, M. DOMMERGUES, P. DUC-GOIRAN, A. MALASSINÉ, É. ALSAT, G. CHAOUAT, M. BREUILLER-FOUCHÉ, B. HADDAD, B. CARBONNE, C. SINDING, F. SÉRUSCLAT, V. MOISSELIN.
- *Le métabolisme énergétique chez l'homme : nutrition et physiopathologie,* J.P. LEROUX, P. FERRÉ, P. KAMOUN, A. LAVOINE, L. PÉNICAUD, M. RIEU.
- *Le Cœur : fonctionnement, dysfonctionnements et traitements,* B. SWYNGHEDAUW, P. BEAUFILS.
- *Le Système immunitaire : ou l'immunité cent ans après Pasteur,* M. DAËRON, M. FOUGEREAU, W.-H. FRIDMAN, A.-M. MOULIN, J.-P. REVILLARD.

Dossiers documentaires
CNRS / NATHAN

- *Les molécules de la beauté, de l'hygiène, et de la protection,* P. LE PERCHEC
- *Plantes, molécules et médicaments,* T. SÉVENET

Diffusion Nathan/Livredis. Disponible chez votre libraire habituel.

Coordination éditoriale :
Marie-Christine REBOURCET, Action culturelle, Service de communication externe, Département de l'Information et de la Communication, INSERM.
Éric PÉRILLEUX, Conseiller scientifique, Éditions Nathan.
Catherine PAUL, Éditrice, Éditions Nathan.

Conception graphique : Annie LE GALLOU
Shémas : Laurent BLONDEL

© NATHAN, Paris 1996.
© INSERM, Paris 1996.
ISBN 2-09-172048-8
ISBN 2-85 598-663-X

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

"Le photocopillage, c'est l'usage abusif et collectif de la photocopie sans autorisation des auteurs et des éditeurs.
Largement répandu dans les établissements d'enseignement, le photocopillage menace l'avenir du livre, car il met en danger son équilibre économique. Il prive les auteurs d'une juste rémunération.
En dehors de l'usage privé du copiste, toute reproduction totale ou partielle de cet ouvrage est interdite."

SOMMAIRE

LE POINT SUR...

PREMIERE PARTIE
Les aliments

Chapitre 1
La diversité des consommations d'aliments 7

Chapitre 2
Les aliments come mélanges de nutriments. Aspects biochimiques 22

Chapitre 3
Les aliments sont transformés avant d'être consommés. Science des aliments 38

Chapitre 4
Les risque provenant des aliments sont-ils contrôlés ? Aspects toxicologiques et réglementaires 45

DEUXIEME PARTIE
La nutrition : les hommes et les aliments

Chapitre 1
L'ethnologie, une méthode pour comprendre les comportements alimentaires 53

Chapitre 2
Les comportements alimentaires. Aspects physiologiques 56

Chapitre 3
La digestion des aliments et l'absorption des nutriments 60

Chapitre 4
Le devenir métabolique des nutriments chez l'homme 65

Chapitre 5
Le devenir métabolique des aliments est unique pour chaque individu. Aspects génétiques 92

TROISIEME PARTIE
La gestion de l'alimentation en vue d'une bonne alimentation

Chapitre 1
Les apports nutritionnels conseillés. Bases scientifiques et utilisation 95

Chapitre 2
Les besoins métaboliques et leurs variations métaboliques 99

Chapitre 3
Quels liens entre l'alimentation et les maladies ? 124

LA SCIENCE AU PRÉSENT 153

LA MARCHE DES IDÉES 7

LES SOURCES DOCUMENTAIRES 7

INDEX 7

INTRODUCTION

Le monde vivant se caractérise par sa capacité de développement et de reproduction. Au quotidien, cette finalité est maintenue par la nutrition qui est l'utilisation des aliments disponibles. Même si on ne considère que l'alimentation humaine, il est évident que les enjeux de la nutrition sont importants, aussi bien pour chaque individu que pour la collectivité des individus de la planète. Au niveau de l'individu, la croissance harmonieuse et le maintien de cette harmonie ne peuvent se faire sans une alimentation appropriée en quantité et en qualité. Au niveau collectif ou historique, l'individu fait partie d'une société qui a une histoire et, probablement, un futur ; il a aussi une activité industrieuse au sein de la société en un point particulier de notre terre.

Ainsi, la complexité de l'aliment, la complexité du comportement et du métabolisme de l'homme et le complexité de la gestion de l'alimentation en vue de la nutrition ne peuvent être sous-estimées. La recherche consiste justement à comprendre cette complexité en utilisant les compétences les plus diverses. Pour cela, des systèmes sont isolés de l'ensemble complexe pour être analysés ; c'est ainsi qu'un aliment pris comme système peut être analysé pour sa composition en nutriments, le plus souvent à l'échelle moléculaire ? Ces analyses biochimiques , physiologiques, énergétiques, psychologiques, économiques ou sociologiques permettent d'intervenir sur le système analysé, par exemple pour une transformation alimentaire.

Dans le domaine de la connaissance nutritionnelle, il est donc important de se situer par rapport aux systèmes d'étude et aux hiérarchies des systèmes entre eux : par exemple, sur le plan biochimique, un aliment est un ensemble de nutriments ; mais sur le plan du comportement alimentaire l'aliment fait partie d'un ensemble plus complexe, puisqu'il fait partie d'un plat du repas, qu'il a une histoire, un prix, un goût... Explorer la nutrition humaine, c'est donc explorer la place de l'homme dans la société. Cette exploration ne peut se faire sans méthode et sans une part d'implication personnelle.

L'objectif de cet ouvrage est de donner une méthode et des éléments de réflexion pour comprendre cette extraordinaire interdépendance de l'homme et des aliments. Il est construit sur une base logique où la complexité de l'aliment et de l'homme est analysé avant d'envisager les interactions entre les deux. Les relations avec la santé sont envisagées chaque fois que cela est possible. Certains chapitre sont spécifiquement consacrés aux relations entre aliments et maladies.

CHAPITRE 2

LES ALIMENTS COMME MÉLANGES DE NUTRIMENTS ASPECTS BIOCHIMIQUES

Jean-Louis Cuq

Jean-Louis Cuq
Professeur de biochimie et de microbiologie alimentaires à l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier.
Responsable du département des Sciences et Technologies des Industries alimentaires.

Nos aliments, qu'il s'agisse de produits d'origine animale ou végétale, sont pour la plupart des mélanges complexes de composés classés généralement en fonction de certaines de leurs propriétés et plus particulièrement de leur structure chimique. L'étude de ces composés présents dans les êtres vivants est un des domaines de la biochimie alimentaire.

Les composés qualifiés de nutriments comprennent les glucides, les protides, les lipides, les minéraux et les vitamines. L'eau, composant commun de nos aliments, les pigments et les substances aromatiques ne sont pas considérés comme des nutriments.

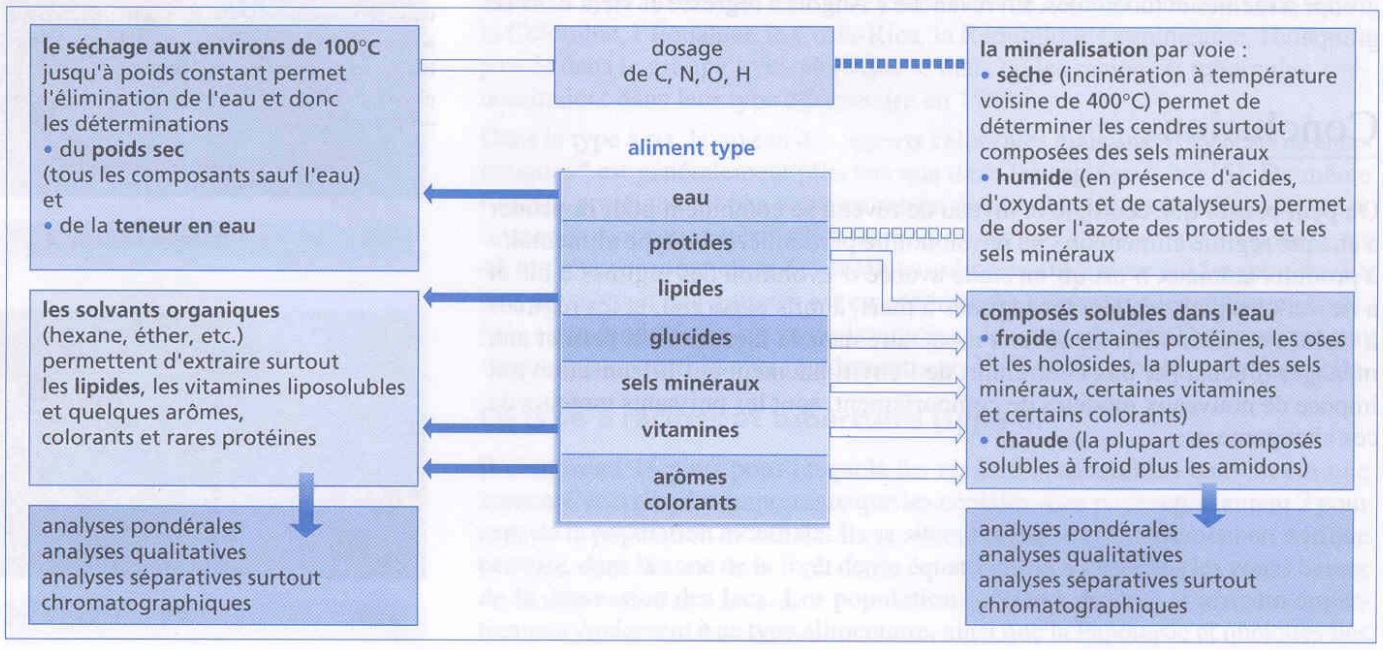
Actuellement l'analyse de ces composés repose :

– soit sur des techniques qui passent d'abord par la destruction des composés organiques (composés contenant du carbone) puis par un dosage des composés minéraux formés par spectrométrie d'absorption atomique, par oxydoréduction, par acidimétrie, par colorimétrie, etc.

– soit surtout sur des techniques extractives plus ou moins sélectives associées à des techniques séparatives comme la chromatographie en phase gazeuse, la chromatographie liquide haute performance (CLHP) ou encore l'électrophorèse. Les composés ainsi séparés sont détectés et dosés par leurs propriétés spectrales ou conductrices quand ils sont en phase liquide ou encore après combustion quand ils sont séparés en phase vapeur. Le couplage de ces méthodes séparatives avec la spectrométrie de masse permet d'accéder à la structure de nombreuses molécules. La caractérisation et parfois le dosage des molécules présentes dans nos aliments sont souvent réalisables au moyen de réactions chimiques spécifiques (méthodes volumétriques ou colorimétriques par exemple).

Le schéma ci-dessous donne le devenir des composants d'un aliment type au cours de quelques opérations analytiques simples (Fig. 1).

Fig. 1 : Schéma des principales méthodes d'analyse des composants des produits alimentaires.



1. LES GLUCIDES

Les glucides (*glucis*, doux), sont des substances carbonées comportant de nombreuses fonctions alcool (H–C–OH) et une fonction aldéhyde (CHO) ou cétone (CO) libre ou, selon les conditions, impliquée dans la formation, avec une fonction alcool, d'une liaison hémiacétalique (–C(OH)–O–C) qui aboutit à la cyclisation de la molécule.

Leur comportement en milieu faiblement acide à ébullition les fait classer en deux groupes (Fig. 2) :

• les **oses** non hydrolysables (ou glucides simples) ;

• les **osides** (ou glucides complexes) dont l'hydrolyse libère :

– soit uniquement des unités (ou résidus) d'oses, **holosides** ;

– soit des résidus d'oses mais aussi des composés divers non glucidiques qualifiés d'aglycones, **hétérosides**.

Dans les osides, les molécules d'oses sont liées entre elles par une liaison éther (–C–O–C–) qualifiée de liaison osidique.

Les dénominations *hydrates de carbone* ou *saccharides* sont à proscrire et le terme *sucre* devrait être réservé au saccharose, produit disponible à l'état pratiquement pur.

La teneur moyenne des glucides relativement faible dans les aliments d'origine animale (entre 0 et 5 à 6 g pour 100 g) peut atteindre 80 g pour 100 g dans certains produits végétaux comme les céréales. Dans nos aliments, les glucides sont essentiellement présents sous forme :

– d'holosides à nombre élevé de résidus que l'on qualifie alors de polyholosides (amidon, glycogène, cellulose) ;

– d'holosides à faible nombre de résidus (oligosides), les plus communs étant des dimères ou diholosides (saccharose, maltose, lactose) ;

– d'oses (holosides) qui sont des monomères avec comme représentants les plus communs le glucose, le fructose et le galactose.

L'hydrolyse complète des polyholosides par voie chimique (en milieu faiblement acide et à chaud) ou enzymatique génère le plus souvent plusieurs centaines de monomères ou monoses.

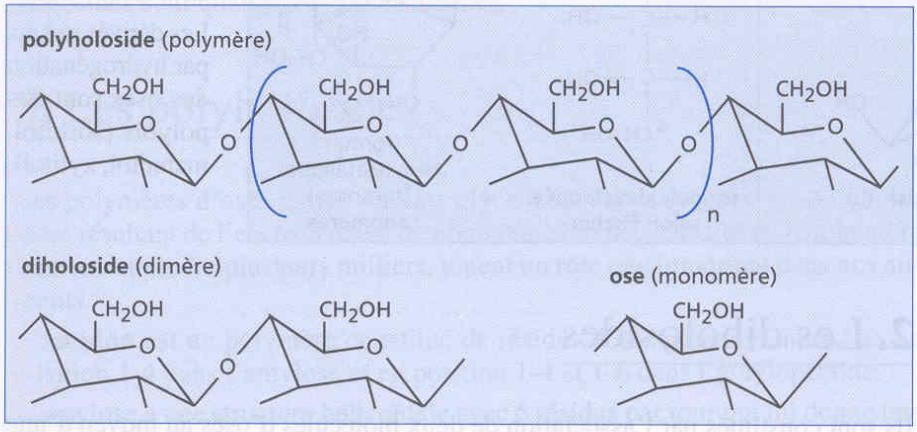


Fig. 2 : Structure chimique type d'un ose, d'un diholoside et d'un polyholoside *(les traits sur les cycles représentent des OH).*

1. Les oses

Glucides simples, résidus non hydrolysables par voie enzymatique ou chimique, les oses renferment de 3 à 7 atomes de carbone ; les plus communs sont en C6 (glucose, fructose, galactose) ou C5 (arabinose et xylose).

Le **glucose** est l'ose (hexose) le plus fréquemment rencontré à l'état libre ou à l'état polymère ou combiné. La position de la fonction carbonyle (C=O) dans la molécule détermine des isomères de type aldose (en C1 fonction pseudoaldéhydique) ou de type cétose (en C2 fonction pseudocétonique). Ces fonctions sont à l'origine du pouvoir réducteur des oses mis en évidence par la réduction

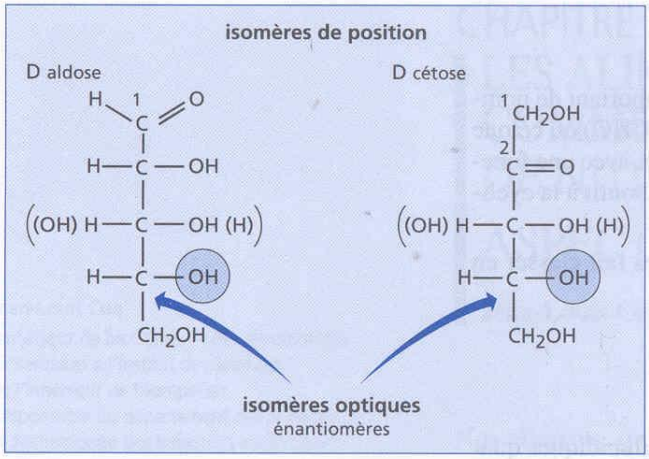


Fig. 3 : Les isomères des oses.

de Cu^{2+} en Cu^{+} de la liqueur de Fehling. Les atomes de carbone à quatre substituants différents génèrent des isomères optiques ou énantiomères, les oses les plus souvent rencontrés appartenant à la série D, structure définie par la position conventionnelle de la fonction alcool sur l'avant-dernier atome de carbone de la chaîne (Fig. 3). Il n'existe pas de relation entre énantiomères D ou L et la propriété d'une solution de l'ose à dévier le plan de la lumière polarisée vers la gauche (lévogyre, l ou –) ou vers la droite (dextrogyre, d ou +). Le glucose naturel est le D(+) glucose.

Selon la position des autres fonctions hydroxyles, 8 isomères (ou épimères) d'aldohexoses (glucose, mannose, galactose, etc) et 4 de cétohexoses (sorbose, fructose, etc) peuvent être décrits dans la série D .

La cyclisation sous forme d'un cycle pyranique à 6 atomes (5 C et 1 O) est commune des hexoses, le cycle furanique à 5 atomes (4 C et 1 O) étant commun des pentoses (Fig. 4). Certains oses peuvent, selon les conditions, évoluer d'une forme vers l'autre ; ainsi le fructose est sous forme de fructofuranose dans les dimères ou polymères et de fructopyranose en solution. Cette forme hémiacétalique génère deux isomères qualifiés d'anomères a et ß en fonction de la position du OH par rapport au plan moyen du cycle. Chez les hexoses, l'anomère a a le pouvoir rotatoire le plus élevé. Cette isomérisation joue un rôle important dans les structures spatiales qu'elle impose ; elle est par exemple la seule différence entre des polyholosides comme l'amidon (polymère a D-glucose1-4) et la cellulose (polymère ß D-glucose1-4) dont il est inutile de décrire les conséquences structurales ou comportementales ou encore nutritionnelles.

Enfin, il faut signaler que la forme spatiale de la molécule d'hexopyranose a une allure de chaise et qu'il existe des conformères par variation de cette structure.

Les dérivés réduits par hydrogénation des oses sont des polyols (sorbitol, mannitol, xylitol).

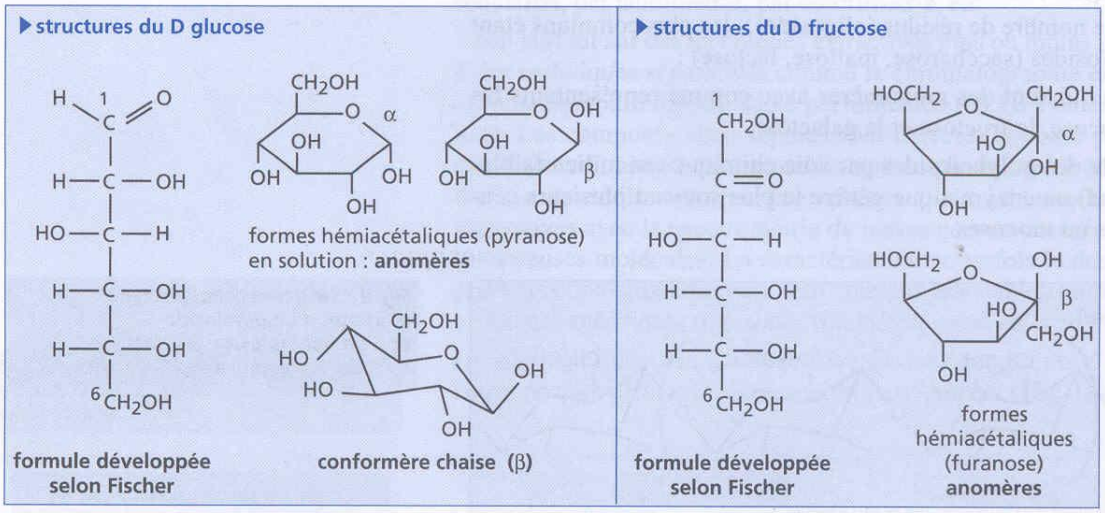


Fig. 4 : Les différentes formules développées et spatiales du D-glucose et du D-fructose.

2. Les diholosides

Ils sont constitués par l'association de deux molécules d'oses au moyen d'une liaison osidique impliquant la participation d'au moins un groupement réducteur (aldéhyde ou cétone) d'un des oses. Le pont osidique se forme par élimination d'une molécule d'eau. Quand les deux fonctions réductrices de chacun des oses sont engagées dans la liaison, le diholoside formé n'est plus réducteur (saccharose). Cette liaison est hydrolysable par voie chimique (acide dilué à chaud) ou spécifiquement, selon les oses engagés, par voie enzymatique (Fig. 5).

Le **saccharose**, naturellement présent dans de nombreux végétaux (betterave, canne) est hydrolysable par une a-glucosidase (reconnaissance du résidu glucose) ou par une ß-fructosidase ou invertase (reconnaissance du résidu fructose). Ce diholoside a un goût sucré marqué et sert de référence sucrée. Parmi l'ensemble des glucides, seuls les oses et les diholosides sont édulcorants avec des potentialités variables.

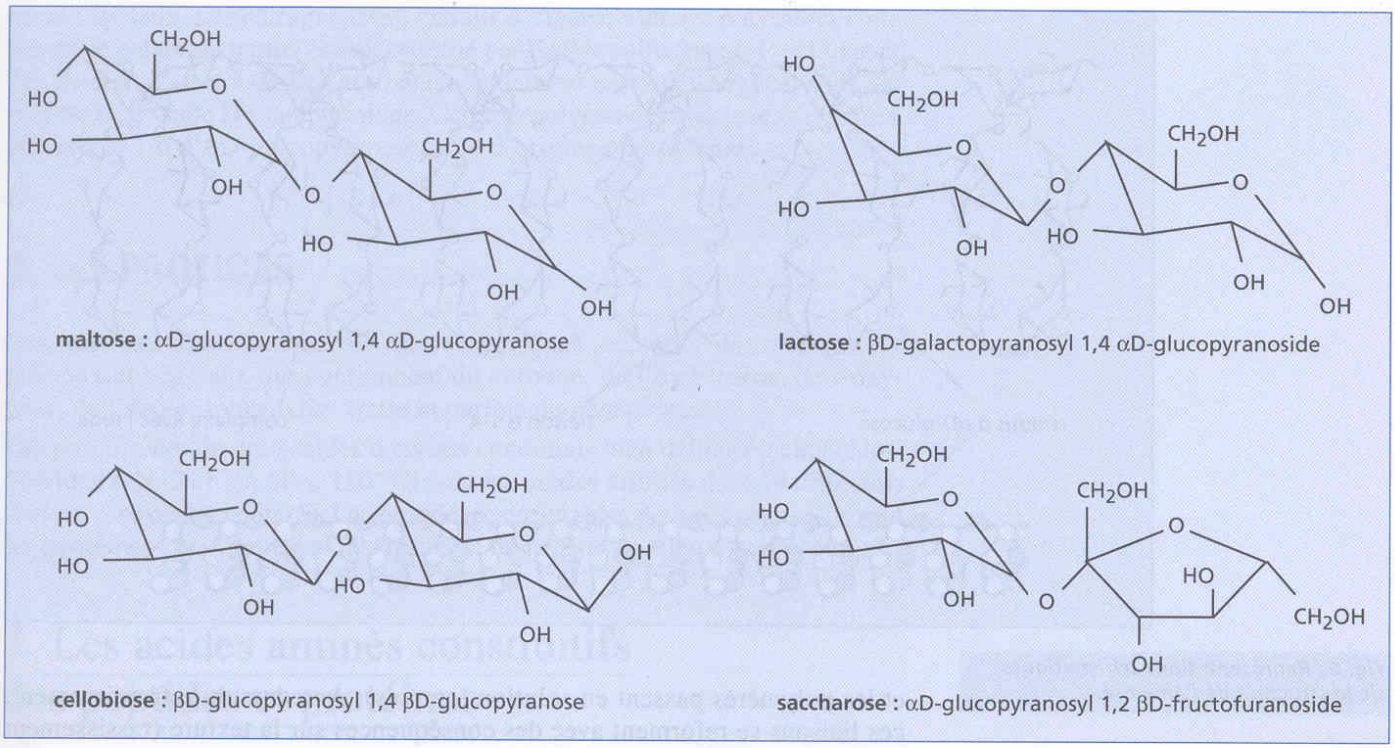


Fig. 5 : Les diholosides les plus importants de nos aliments.

Le **maltose**, réducteur, résulte surtout de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon par une ß amylase ; il est hydrolysé en glucose par une a-glucosidase.

Le **cellobiose** résulte de l'hydrolyse enzymatique de la cellulose.

Le **lactose** présent dans le lait est hydrolysé en galactose et glucose par une ß-galactosidase.

Parmi les oligoholosides présents dans certains de nos aliments d'origine végétale, les dérivés a-osidiques 1,6 tels que le raffinose (aD-galactopyranosyl-1,6 aD-glucopyranosyl-1,2 ßD-fructofuranoside assimilable à un triholoside galactose 1,6-saccharose), le stachyose (tétraholoside galactose 1,6-raffinose) et le verbascose (pentaholoside galactose 1,6-stachyose) jouent un rôle important par la présence de cette liaison osidique a1,6 non hydrolysable *in vivo*. Ces oligosides sont qualifiés d'a-galactosides.

3. Les polyholosides

Les polymères d'oses variés sont les glycannes. Parmi ceux-ci, les polyholosides résultant de l'enchaînement de nombreuses molécules d'oses, leur nombre pouvant atteindre plusieurs milliers, jouent un rôle très important dans nos aliments.

L'**amidon** est un polymère constitué de résidus d'aD-glucopyranose liés en position 1-4 dans l'amylose et en position 1-4 et 1-6 dans l'amylopectine.

L'amylose a une structure hélicoïdale avec 6 résidus par tour qui lui donne une forme de tube. L'iode réagit à froid avec l'amylose en pénétrant dans cette structure hélicoïdale à raison de 2 molécules par tour, le complexe formé possédant une couleur bleu intense (Fig. 6).

L'amylopectine peut être considérée comme un ensemble de nombreuses molécules d'amylose reliées les unes aux autres par des liaisons 1-6 tous les 4 ou 5 tours. La molécule ainsi ramifiée présente un aspect volumineux et buissonnant (Fig. 7).

Le **glycogène** présente une structure comparable mais avec des ramifications plus rapprochées tous les 2 tours environ.

Ces deux types de polyholosides sont présents dans les grains d'amidon dans lesquels ils établissent de nombreuses liaisons hydrogène qui leur confèrent une insolubilité dans l'eau froide et une structure pseudocristalline. En milieu aqueux et à chaud, les liaisons hydrogène stabilisant l'ensemble sont rompues

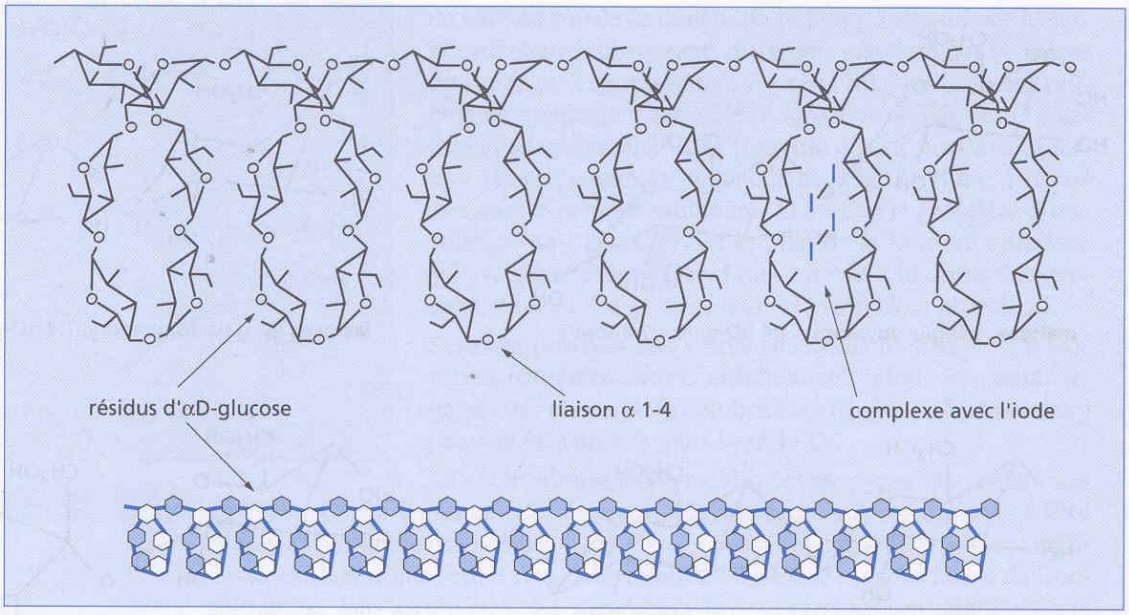


Fig. 6 : Représentations schématiques de la structure de l'amylose.

et les polymères passent en solution (empois). Au cours du refroidissement, ces liaisons se reforment avec des conséquences sur la texture (rassissement du pain, crème tournée, gâteau non levé, etc.).

Les amidons sont hydrolysables par des enzymes spécifiques des liaisons 1-4 (a-amylase libérant des oligosides de 5 à 7 résidus, ß-amylase libérant du maltose), des liaisons 1-6 (a-glucosidases) ou encore des liaisons 1-4 et 1-6 (amyloglucosidases).

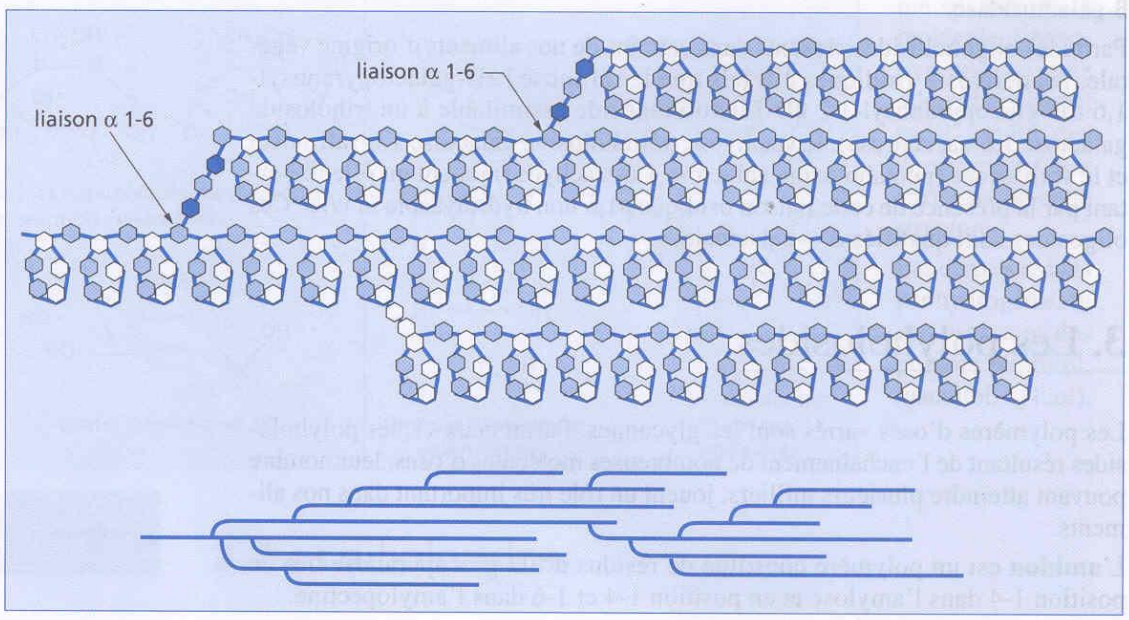


Fig. 7 : Représentations schématiques de la structure de l'amylopectine.

La **cellulose**, impliquée dans les structures de soutien de la plupart des végétaux, représente un polyholoside important de nos aliments. Résultant de la condensation linéaire de molécules de ßD-glucopyranose liées par des liaisons 1-4, elle présente une structure cristalline fibreuse qui la rend insoluble dans l'eau. Elle est soluble dans une solution ammoniacale d'hydroxyde cuivrique (liqueur de Schweitzer) et dans l'acide sulfurique concentré.

L'**inuline** est un polymère de ßD-fructofuranose (lévane) présent dans le topinambour, la patate douce et l'artichaut.

Il existe de nombreux polyosides utilisés en technologie alimentaire pour leurs propriétés épaississantes ou gélifiantes. Parmi ceux-ci, on peut signaler les pectines, polymères 1-4 d'acide galacturonique ou de son ester. Des polymères de pentoses comme les arabanes et les xylanes sont présents dans la plupart des

tissus végétaux. Les carraghénates, extraits d'algues, sont des polymères complexes de galactose partiellement estérifié par l'acide sulfurique ($-O-SO_3^-$) avec des liaisons 1-4 et 1-3. Les alginates, également extraits d'algues, sont des polymères d'acide D-mannuronique. Certains polyosides comme les dextranes, polymères 1-6 d'αD-glucopyranose, sont d'origine microbienne.

2. LES PROTIDES

Il s'agit de constituants très caractéristiques présents dans les tissus animaux et végétaux qui contiennent du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote, souvent du soufre et parfois du phosphore.

Les protides non hydrolysables dans des conditions bien définies (acide chlorhydrique 6 N, 24 h ou plus, 110 °C) sont les **acides aminés** dont 19 différents sont couramment rencontrés. Les protides hydrolysables dans ces conditions sont les **protéines** et les **peptides** ; ils résultent de la condensation d'acides aminés.

1. Les acides aminés constitutifs des peptides et protéines

Les acides aminés présents dans les hydrolysats de protéines sont actuellement analysés par chromatographie liquide haute performance en une vingtaine de minutes. Le plus souvent, ils sont d'abord condensés avec une molécule apolaire et fluorescente, ce qui favorise leur séparation et leur détection par des méthodes extrêmement sensibles. Ainsi il est possible d'analyser des femtomoles d'acides aminés soit environ 10 picogrammes (10^{-15} moles ou 10^{-11} g environ).

a. Structure des acides aminés

Il s'agit de composés comportant au moins un groupe aminé primaire ($-NH_2$) ou secondaire (–NH–) et au moins un groupe carboxylique (–COOH). La fonction amine occupe une position α par rapport au groupe carboxyle. Du fait de l'hybridation sp^3 de l'atome Cα, tous les acides aminés (sauf la glycine) possèdent deux **stéréo-isomère**s ou énantiomères. Dans les protéines, les acides aminés appartiennent à la série L, ce qui ne préjuge pas de leur pouvoir rotatoire d ou l.

Les acides α L-aminés ont la structure représentée ci-contre (Fig. 8).

Proline et hydroxyproline ne répondent pas à cette structure générale.

Environ 20 acides aminés sont rencontrés dans les hydrolysats de protéines. D'autres, plus rares, jouent parfois des rôles biologiques importants. L'usage en biochimie leur a attribué un nom commun, généralement à suffixe « **ine** », rappelant l'origine ou l'une des propriétés.

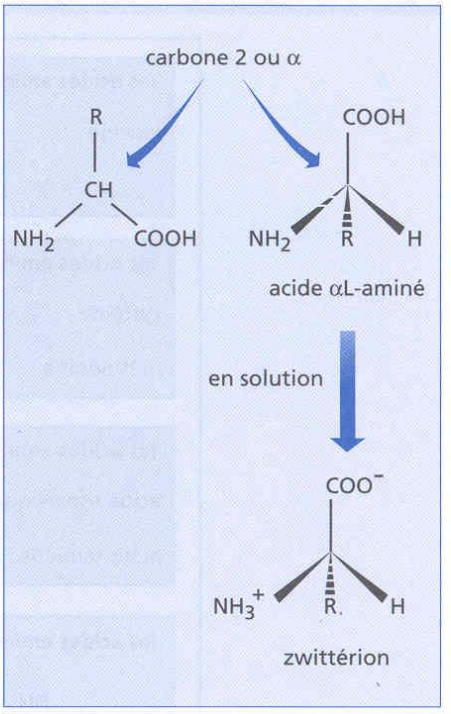


Fig. 8 : Structure d'un acide aminé L.

b. Classification des acides aminés

Les acides aminés peuvent être classés d'après la structure de leur chaîne latérale, **R**, chaîne qui contribue par ses propriétés physico-chimiques, aux propriétés de la protéine qui les contient.

Parmi les différentes classifications possibles des acides aminés, l'une des plus utilisées repose sur la polarité et les possibilités d'ionisation de cette chaîne. Au plan international, ils sont souvent anotés par un code à trois lettres ou même par un code à une seule lettre (par exemple lysine = lys = K, méthionine = met = M, alanine = ala = A, tryptophane = TRP = W etc.).

• Les acides aminés à chaîne latérale apolaire aliphatique (non chargée) sont au nombre de six :

– La **glycine** est le plus simple des acides aminés (**R = H**). Son ancienne nomenclature de glycocolle (sucre de colle) rappelle sa saveur sucrée et le fait qu'elle a été d'abord été isolée d'un hydrolysat de gélatine.

– L'**alanine** est le plus simple des acides aminés à 3 atomes de carbone dont on peut faire dériver les autres par substitution d'un ou de deux atomes d'hydrogène de son radical R (Fig. 9).

– La **valine,** la **leucine,** et l'**isoleucine** sont des acides aminés communs essentiels à la nutrition de l'homme.

– La **proline** : aminoacide dérivé de la pyrrolidine joue un rôle très important dans les structures protéiques par sa rigidité.

• Les acides aminés à chaîne latérale aromatique apolaire :

– La **phénylalanine** et le **tryptophane** (essentiels en nutrition humaine).

– La chaîne latérale de la **méthionine** contient un atome de soufre.

• Quelques acides aminés possèdent une chaîne latérale polaire dont la polarité partielle (– d) ou totale (+ ou –) est liée à la présence de fonctions organiques contenant un hétéroatome d'électronégativité supérieure à celle du carbone et de l'hydrogène (O, S, N).

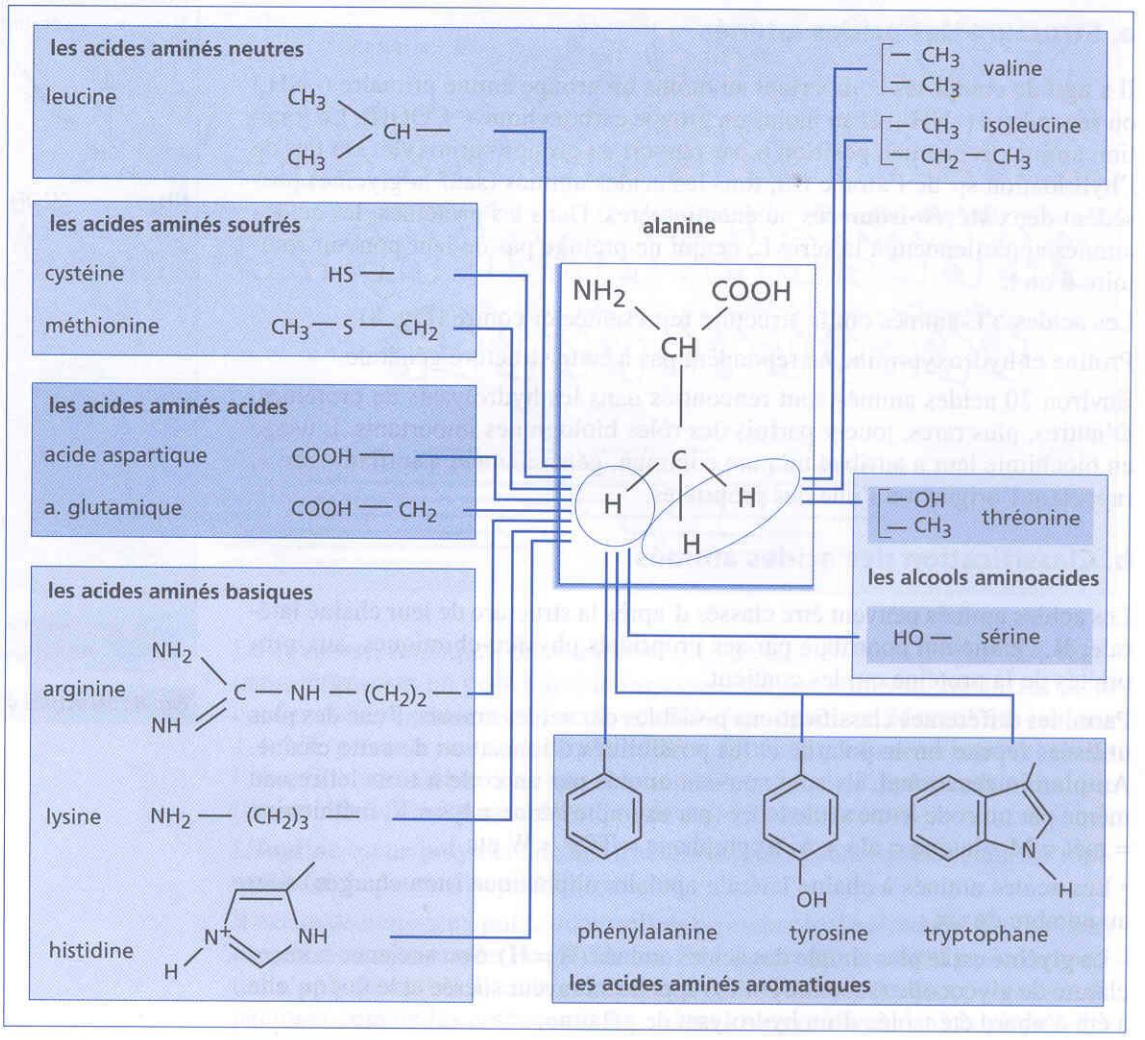
• Les acides aminés à chaîne latérale polaire non chargée sont qualifiés d'hydrophiles car leur chaîne latérale est capable de former des liaisons hydrogène avec des molécules comme l'eau (hydratation) ou avec d'autres résidus polaires ce qui contribue à la structure des molécules protéiques.

– La **sérine** et la **thréonine** (essentielle) possèdent une fonction alcool primaire ou secondaire qui leur permet d'être estérifiées (en particulier par l'acide phosphorique).

– La **tyrosine** possède une fonction phénol.

– La **cystéine** possède une fonction thiol R–SH qui, par oxydation, génère un pont disulfure (cystine), pont covalent jouant un rôle important dans la stabilisation des structures spatiales des protéines.

Fig. 9 : Principaux acides aminés.



– La **glutamine** et l'**asparagine**, abondantes dans les protéines, contribuent à l'établissement de liaisons intra- et intermoléculaires de forte énergie cumulée ; ces liaisons jouent un rôle déterminant dans les propriétés rhéologiques des pâtes et gels alimentaires.

• Certains acides aminés ont une chaîne latérale polaire chargée (ionisable). Il s'agit de chaînes à groupement carboxylique à caractère acide ou de chaînes à fonctions amine, guanidine ou imidazole à caractère basique. Ainsi :

– Les **acides aspartique** et **glutamique** sont chargés négativement à des pH voisins de 7.

– La **lysine** (essentielle en nutrtition humaine) est chargée positivement à des pH voisins et inférieurs à 7, de même que l'**arginine** et l'**histidine**.

c. Propriétés des acides aminés

Les acides aminés possèdent des propriétés communes liées aux fonctions a-aminée et a-carboxylique.

– La fonction carboxylique donne des esters en présence d'alcool, est réduite en alcool par des réducteurs puissants, peut être décarboxylée, amidée etc.

– La fonction aminée est transformable en azote gazeux par l'acide nitreux, peut subir des réactions de désamination et donne de très nombreuses réactions de condensation qui sont largement utilisées pour le dosage (réaction à la ninhydrine, condensation avec le chlorure de dansyle, l'isothiocyanate de phényle, le 1-fluoro-2,4-dinitrobenzène etc.).

Les acides aminés sont chargés différemment en fonction du pH du milieu dans lequel ils sont en solution. Schématiquement, il apparaît que ces molécules qualifiées d'ampholytes sont chargées négativement en milieu alcalin, positivement en milieu acide et leur charge nette est nulle à une valeur de pH pour laquelle la molécule est porteuse d'autant de charges positives que de charges négatives. On parle alors de zwitterion et le pH pour lequel le phénomène est observé est qualifié de pH isoélectrique, pH variable d'un acide aminé à l'autre en fonction de la nature de la chaîne latérale.

2. Les peptides et les protéines

Les acides aminés peuvent s'associer par élimination d'une molécule d'eau et formation d'une liaison peptidique. Il se forme des peptides ou des protéines.

a. Les peptides

Le terme oligopeptide est généralement réservé aux polymères de 10 résidus d'acides aminés au plus (dipeptides, tripeptides, tétra, penta etc.) ; certains olipeptides sont cycliques (tyrocidine, gramicidine etc.).

Le terme polypeptide est réservé aux peptides de 100 résidus au plus (masse moléculaire voisine de 10 000 daltons). Les protéoses et les peptones sont obtenues par hydrolyse partielle ou poussée des protéines.

1. Nomenclature

Il existe une nomenclature internationale des peptides, certains d'entre eux possédant cependant un nom propre. Le nom du peptide commence par la racine du nom de l'acide aminé dont le groupement NH_2 est libre, additionnée du suffixe yl. Suivent ensuite dans l'ordre la racine du nom additionnée de yl des autres acides aminés qualifiés de résidus. Le dernier résidu dont la fonction COOH est libre garde son nom.

Exemple : valyl–glycyl–tyrosine.

L'écriture d'un peptide se fait généralement dans le sens –CO–NH–. La nomenclature des peptides est possible à partir de leur code à 3 lettres, le groupement NH_2 terminal étant symbolisé par H et le groupement COOH par OH.

Exemple : H–VAL–GLY–TYR–OH.

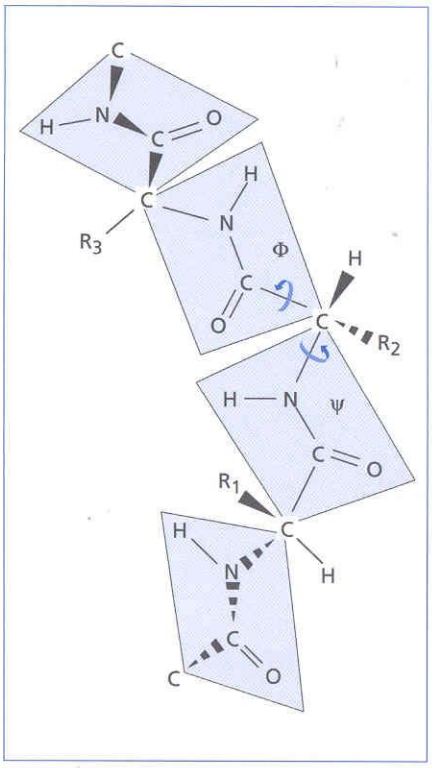


Fig. 10 : Sructure d'un polypeptide.

2. Structure des peptides

La structure des peptides résulte d'abord des propriétés de la liaison peptidique qui fait que les atomes C, O, N, H et les deux Ca sont dans le même plan. La rotation autour de la liaison C-N est impossible et la configuration *trans* pour laquelle les forces de répulsion des deux atomes de carbone sont minimales est donc stabilisée. La chaîne polypeptidique est donc une succession de plans rigides séparés par des Ca–HR, les substituants de cet atome de carbone (chaîne latérale) étant dans l'espace situés au sommet d'un tétraèdre.

La libre rotation autour des liaisons, schématisées par les angles F et Y, permet un grand nombre de conformations. La seule variable dans cette structure est liée à la chaîne latérale des résidus d'acides aminés. Le volume ou encombrement stérique de cette chaîne associé à ses propriétés chimiques (groupements ionisables ou non, apolaires, etc.) conditionnent les angles F et Y ce qui conduit à une structure spatiale bien définie.

L'analyse structurale d'un peptide comprend donc l'analyse des acides aminés qu'il contient et la détermination de leur séquence ou structure primaire ou ordre d'enchaînement.

b. Les protéines

Les **protéines** sont des macromolécules donnant, par la diversité des fonctions organiques des chaînes latérales des acides aminés qui les constituent, de nombreuses réactions chimiques caractéristiques (réaction du Biuret, réaction de Millon pour la tyrosine, réaction de Pauly pour l'histidine, réaction xanthoprotéique avec les acides aminés aromatiques, réaction de Folin et Ciocalteu avec la tyrosine, etc.).

Elles sont actuellement séparées et analysées par des techniques électrophorétiques (séparation dans un champ électrique essentiellement basée sur leur charge et/ou leur volume) et par des méthodes chromatographiques diverses (échange d'ions, interactions apolaires, affinité, exclusion, etc.). Leur hydrolyse par voie chimique suivie d'une analyse chromatographique permet de déterminer leur composition globale en acides aminés.

1. Structure des protéines

Du fait de son particularisme, la structure d'une protéine est d'abord évaluée linéairement par l'ordre d'assemblage des résidus d'acides aminés qui la constituent, puis on évalue la structure spatiale de certaines parties de cet enchaînement, puis la forme spatiale de son ensemble.

La **structure primaire**, qui correspond à l'ordre séquentiel des acides aminés (résidus) dans la molécule, est déterminée par des analyses sophistiquées après hydrolyses partielles (séquençage) ; il existe des séquenceurs automatiques.

Les **structures secondaires**, qui correspondent à l'organisation de certaines parties de la chaîne dans l'espace selon un axe privilégié, sont estimées par des méthodes physiques comme le dichroïsme circulaire. Ainsi des parties de ces molécules sont parfois organisées en hélices (hélice a), d'autres en feuillets plissés (feuillets ß), d'autres en courbures (ponts ß) et d'autres en pelote.

La **structure tertiaire** correspondant à l'organisation spatiale de la chaîne polypeptidique selon les trois dimensions est déterminée par cristallographie aux rayons X.

La **structure quaternaire,** arrangement dans l'espace de diverses chaînes liées entre elles le plus souvent par des liaisons non covalentes ou par des ponts disulfures est en général déterminée par des méthodes physiques.

Les **holoprotéines**, macromolécules complexes souvent qualifiées de biopolymères, sont les plus abondantes des molécules organiques des cellules et constituent plus de 50 % du poids sec des êtres vivants. Elles jouent un rôle fondamental dans la structure et les fonctions cellulaires et c'est par elles que l'information génétique s'exprime. Elles sont intimement liées à tous les phénomènes physiologiques d'où leur nom : substances venant en premier (en grec *protos* signifie premier). Elles sont constituées par une ou plusieurs chaînes polypeptidiques qui sont des copolymères d'environ une vingtaine d'acides

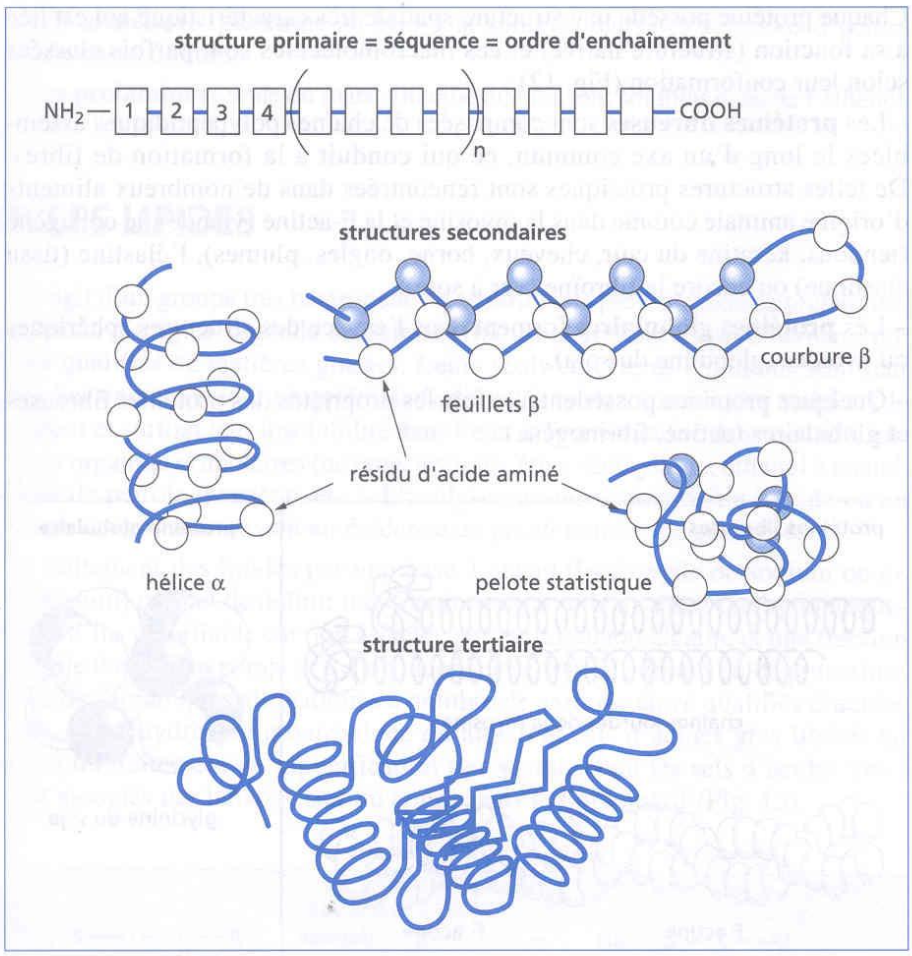


Fig. 11 : Les structures primaire, secondaires et tertiaire des protéines.

aminés appartenant à la série L. Ces acides aminés sont liés entre eux par liaison peptidique. Toutes les protéines, quelle que soit leur origine, sont composées des mêmes acides aminés dont seuls la proportion et l'ordre d'enchaînement varient. Ces biopolymères portent souvent un nom qui les caractérise avec précision (ovalbumine, ß-lactoglobuline, myoglobine, etc.).

2. Classification des protéines

Il existe par ailleurs de nombreuses classifications qui reposent soit sur leur composition, soit sur leurs propriétés (fonctionnelles ou physicochimiques), soit sur leur forme tridimensionnelle (conformation). Dans les aliments d'origine animale elles contribuent entre autres à la structure (fromages, viandes) et à la couleur (viande, lait). Les protéines alimentaires ne constituent pas un groupe unique mais un groupe hétérogène surtout composé de protéines de structure ou biologiquement actives. Il s'agit de protéines savoureuses, digestibles, non toxiques et économiquement utilisables.

Classification des protéines selon leur composition

Il existe des hétéroprotéines qui sont des holoprotéines possédant un groupement prosthétique extrêmement variable.

– Les nucléoprotéines sont combinées avec des acides nucléiques ;

– Les lipoprotéines sont liées avec des lipides neutres, du cholestérol, des phospholipides ;

– Les glycoprotéines ont des liaisons avec un glucide souvent du type polyoside ;

– Les phosphoprotéines, comme les caséines du lait, ont deux de leurs acides aminés constitutifs, la sérine et la thréonine, qui sont estérifiés par un groupement phosphate.

Classification des protéines selon leur conformation

La forme tridimensionnelle (ou structure spatiale ou conformation) d'une protéine donnée est toujours très caractéristique de l'être vivant dans lequel elle a été synthétisée.

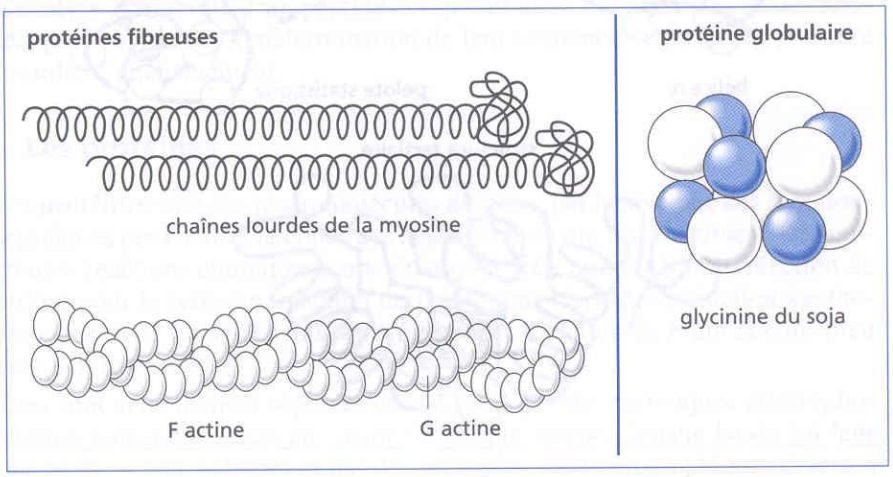
Chaque protéine possède une structure spatiale très caractéristique qui est liée à sa fonction (structure native) et ces macromolécules sont parfois classées selon leur conformation (Fig. 12) :

– Les **protéines fibreuses** sont composées de chaînes polypeptidiques assemblées le long d'un axe commun, ce qui conduit à la formation de fibres. De telles structures protéiques sont rencontrées dans de nombreux aliments d'origine animale comme dans la myosine et la F-actine (viande), le collagène (tendons, kératine du cuir, cheveux, corne, ongles, plumes), l'élastine (tissu élastique) ou encore la fibroïne (ver à soie).

– Les **protéines globulaires** forment dans l'espace des structures sphériques ou ovoïdes (globuline du soja).

– Quelques protéines possèdent à la fois les propriétés des protéines fibreuses et globulaires (actine, fibrinogène).

Fig. 12 : Exemples de protéines fibreuses et de protéines globulaires.



Classification des protéines selon leur fonction

• Les **protéines de structure** comme la kératine, le collagène, l'élastine sont présentes dans tous les tissus comme le muscle, l'os, la peau, les organes internes, les membranes cellulaires et organites intracellulaires.

• Les **protéines à activité biologique** sont dans la nature impliquées dans tous les phénomènes biologiques. Il est possible de citer :

– les **enzymes** dont plus de 2 000 ont été décrites et qui possèdent une activité catalytique spécifique ;

– les **hormones** comme l'insuline, la somatotrophine, etc. ;

– les **protéines contractiles** (myosine, actine, tubuline) ;

– les **protéines de transport** (transferrine, hémoglobine, myoglobine) ;

– les **protéines protectrices** (immunoglobulines, fibrinogène, thrombine) ;

– les **protéines de réserve** (ovalbumine, glycinine, gliadine, zéine) ;

– les **protéines toxiques** pour l'homme (toxines botuliniques, staphylococciques, venins de serpents, de scorpion, ricine) ou pour les micro-organismes (bactériocines, antibiotiques) ;

– les **protéines antinutritionnelles** (inhibiteur trypsique du soja, hémagglutinines) ;

– les **protéines allergènes**.

Classification des protéines selon leur solubilité

Il existe aussi une classification ancienne des protéines, d'abord proposée par Osborne au début de ce siècle, qui est fonction de certaines de leurs propriétés physico-chimiques et surtout de leur solubilité.

– Les **albumines** comme l'a-lactalbumine, la sérum albumine bovine, etc., sont solubles dans l'eau.

– Les **globulines** comme la ß-lactoglobuline, la sérumglobuline, les immunoglobulines, etc. sont solubles dans des solutions salines diluées.

– Les **glutélines** (gluténine du blé) sont solubles dans des solutions d'acides ou de bases diluées.

– Les **prolamines** (zéine du maïs, gliadine du blé) sont solubles dans de l'éthanol.

3. LES LIPIDES

Il s'agit d'un groupe très hétérogène de constituants présents dans la plupart des aliments d'origine végétale ou animale (huiles et graisses essentiellement) qui sont qualifiés de matières grasses. Leurs seuls caractères communs sont leur toucher onctueux, leur propriété de former des taches translucides stables à la chaleur et surtout leur insolubilité dans l'eau et leur solubilité dans certains solvants organiques apolaires (hexane, acétone, éther diéthylique, éthanol à chaud, éther de pétrole, benzène, etc.). L'analyse par chromatographie liquide ou en phase vapeur met souvent en évidence un grand nombre de composés.

Le traitement des lipides par une base à chaud (hydroxyde de sodium ou de potassium) permet de définir une fraction extractible à l'éther diéthylique qualifiée d'insaponifiable car non affectée par le traitement alcalin, et une fraction soluble dans l'eau composée d'un alcool et de sels de sodium ou de potassium d'acides organiques aliphatiques à nombre de carbone élevé qualifiés d'acides gras. Cette hydrolyse montre donc qu'alcool et sels d'acides gras libérés au cours du traitement de saponification (les savons étant les sels d'acides gras) sont associés par liaison ester ou amide dans le lipide natif (Fig. 13).

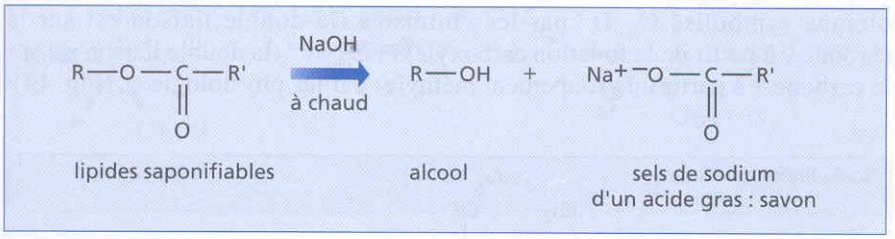


Fig. 13 : Hydrolyse en milieu alcalin et à chaud d'un lipide saponifiable.

Difficiles à classifier, les lipides sont actuellement subdivisés en acides gras, en glycérolipides comprenant des glycérides et des glycérophospholipides, en sphingolipides, en cérides et en substances lipoïdes comprenant des dérivés isopréniques (carotènes), les stérols libres et les quinones et hétérocycles oxygénés comme l'ubiquinone et les vitamines E et K.

1. Les acides gras

Les acides gras naturels les plus abondants dans nos aliments sont constitués d'une chaîne hydrocarbonée linéaire (aliphatique) à nombre pair d'atomes de carbone (généralement compris entre 16 et 20) et comportant une fonction carboxylique (–COOH). Ils perdent leur solubilité dans l'eau à partir d'environ 6 atomes de carbone. Les acides gras sont analysables par chromatographie en phase vapeur.

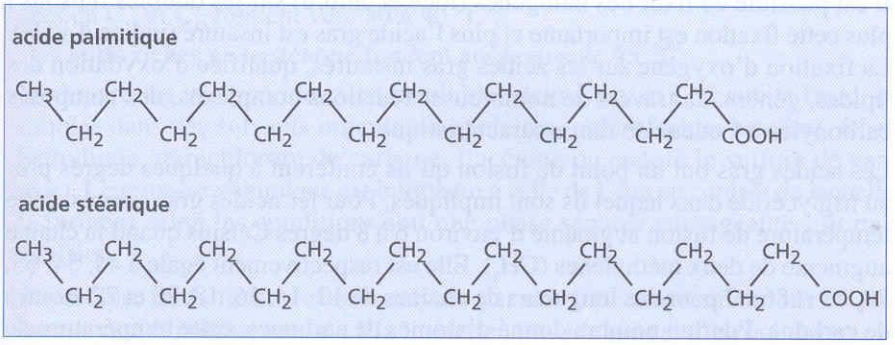
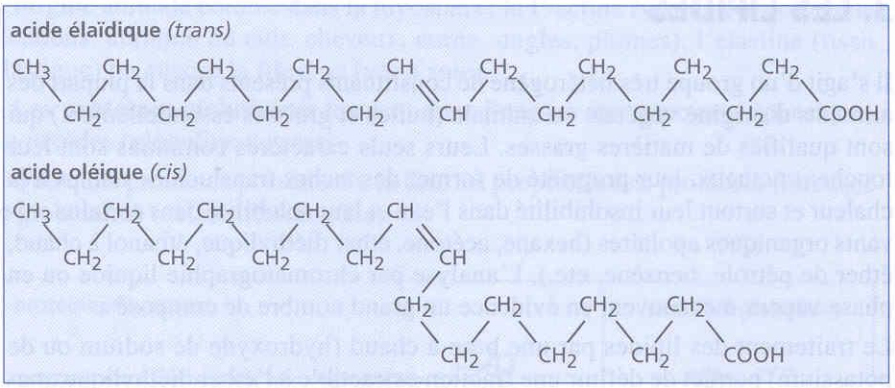


Fig. 14 : Stucture chimique de deux acides gras saturés.

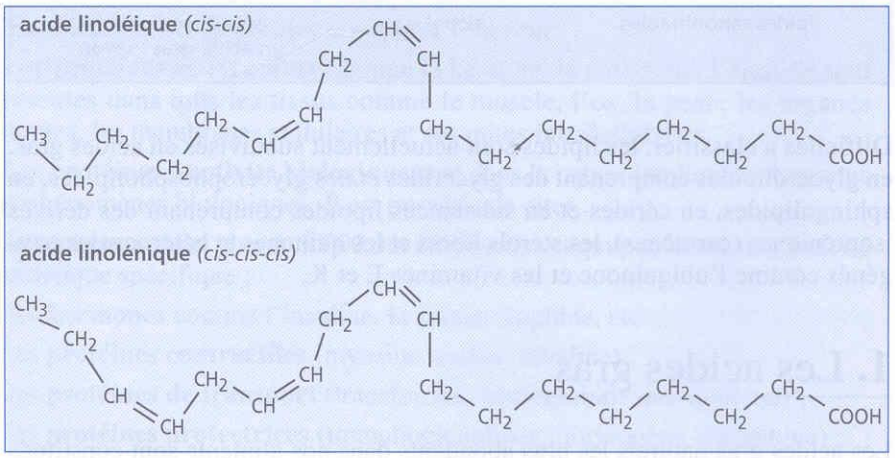
Les acides gras saturés ne comprennent que des groupements méthylène (CH_2) et leur formule brute est $C_nH_{2n}O_2$. Parmi ceux-ci les acides myristique (C_{14}), palmitique (C_{16}), stéarique (C_{18}) et arachidique (C_{20}) sont les plus importants. Ils présentent vraisemblablement une forme étirée. Ils sont symbolisés par leur nombre de carbone avec 0 double liaison par exemple $C_{16:0}$ (Fig. 14).

Fig. 15 : Isomères cis et trans d'un acide gras monoinsaturé.



Les acides gras insaturés comprennent une ou plusieurs doubles liaisons engendrant des isomères de position et géométrique. De formule brute $C_nH_{2n-2}O_2$, les acides monoèniques ne comportent qu'une seule double liaison souvent située vers le centre de la molécule. Cette double liaison impose une rigidité à la molécule, la forme *cis* la plus répandue induisant une torsion d'environ 30°, tandis que la forme *trans* est sensiblement linéaire. Le plus commun est l'acide oléique symbolisé $C_{18:1}D^9$ par les chimistes (la double liaison est sur le carbone 9 à partir de la fonction carboxyle) et $C_{18:1}W^9$ (la double liaison est sur le carbone 9 à partir du groupement méthyle) par les physiologistes (Fig. 15).

Fig. 16 : Structures de deux acides gras polyinsaturés.



Les acides gras polyèniques les plus courants comprennent de deux à quatre voire cinq doubles liaisons ; ils sont qualifiés d'acides gras polyinsaturés. Les acides linoléique (symbolisé $C_{18:2}D^{9,12}$) et linolénique (symbolisé $C_{18:3}D^{9,12,15}$) sont les plus répandus et possèdent respectivement 2 et 3 doubles liaisons (Fig.16).

Il est possible de fixer des halogènes (iode et chlore) sur les doubles liaisons ; plus cette fixation est importante et plus l'acide gras est insaturé (indice d'iode). La fixation d'oxygène sur les acides gras insaturés, qualifiée d'oxydation des lipides, génère, au travers de nombreuses réactions complexes, des composés carbonylés à l'odeur de rance caractéristique.

Les acides gras ont un point de fusion qu'ils confèrent à quelques degrés près au triglycéride dans lequel ils sont impliqués. Pour les acides gras saturés, cette température de fusion augmente d'environ 6 à 8 degrés Celsius quand la chaîne augmente de deux méthylènes (CH_2). Elle est respectivement égale à 44, 54, 63, 70, 77 et 86 °C pour des longueurs de chaînes de 12, 14, 16, 18, 20 et 22 atomes de carbone. Pour un nombre donné d'atomes de carbones, cette température de

fusion diminue avec le nombre de doubles liaisons. Dans les séries des acides gras en C_{18} elle est respectivement égale à 70, 15, –5 et –11°C pour 0, 1, 2, et 3 doubles liaisons. L'hydrogénation catalytique des doubles liaisons se traduit par une augmentation de la température de fusion et donc par un durcissement du corps gras qui contient ces acides.

Les acides gras apolaires au niveau de leur chaîne hydrocarbonée et polaires au niveau de leur groupement carboxylique se positionnent à l'interface eau/huile, leur partie polaire étant alors au contact de l'eau et leur partie hydrophobe au contact de l'huile. Les structures micellaires (interface sphérique) ou lamellaires (interface plane) ainsi obtenues jouent un rôle important dans la stabilisation de nombreuses émulsions alimentaires.

2. Les glycérolipides

1. Les glycérolipides simples correspondent essentiellement à des triglycérides qui sont très abondamment distribués dans nos nutriments, les mono- et diglycérides n'étant que faiblement représentés. Dans ces glycérides, l'alcool estérifié est le glycérol qui comprend trois fonctions alcool (deux fonctions alcool primaire identiques et une fonction alcool secondaire).

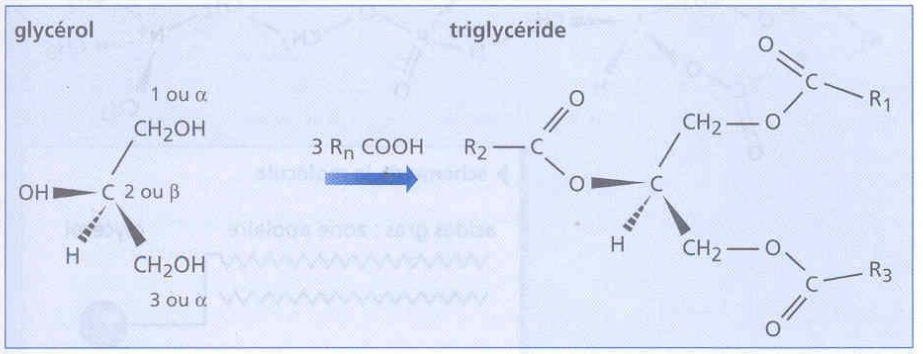


Fig. 17 : Structure chimique du glycérol et d'un triglycéride.

La répartition des acides gras sur le glycérol peut conduire à un grand nombre d'esters qui diffèrent les uns des autres par le nombre et la position des fonctions alcool estérifiées mais aussi par la nature des acides gras (mono-, di- ou triglycérides avec respectivement une, deux et trois fonctions alcool estérifiées). Les acides gras les plus longs sont généralement en position 1 ou a et les plus courts en position 3.

La nomenclature des triglycérides est celle des esters : par exemple trioléate de glycéryle, 1-oléate, 2-stéarate, 3-linoléate de glycéryle.

Le point de fusion des triglycérides dépend de celui des acides gras constitutifs. Dominants dans de nombreux nutriments gras, les triglycérides leur confèrent leur point de fusion ; par exemple :

– les **huiles** riches en triglycérides à acides gras insaturés à courte chaîne fondent aux environs de 10 °C ;

– les **beurres** dont les acides gras des triglycérides sont saturés à chaîne relativement courte ont un point de fusion situé aux environs de 25 °C ;

– les **graisses** composées de triglycérides riches en acides gras saturés et insaturés en C_{16} et C_{18} fondent vers 30 à 40 °C ;

– les **suifs** riches en tristéarate fondent au-dessus de 45 °C.

La plupart des triglycérides sont insolubles dans l'eau et l'éthanol à froid, et solubles dans des solvants organiques apolaires (chloroforme, benzène, éther diéthylique, tétrachlorure de carbone, l'acétone ou encore le sulfure de carbone). Leur masse volumique est inférieure à celle de l'eau au contact de laquelle ils forment selon les conditions soit une phase séparée surnageante soit une émulsion.

L'hydrolyse de la liaison ester catalysée par une base (saponification) ou par une enzyme (lipolyse) conduit à la libération d'acide gras et d'alcool. La trans-

estérification entre un triglycéride et un autre ester est possible en présence d'un catalyseur approprié comme le méthylate de sodium ; l'échange et le réarrangement des acides gras génère des triglycérides aux propriétés nouvelles.

2. Les phospholipides présents dans toutes les cellules sont plus particulièrement localisés dans les diverses structures membranaires des cellules. Les glycérophospholipides sont des 1,2-diglycérides avec en position 3 la fonction alcool estérifiée par l'acide phosphorique. Un autre alcool peut être estérifié par la deuxième fonction acide de l'acide phosphorique pour donner naissance à la lécithine (ou phosphatidylcholine) (Fig. 18) ou à des céphalines (phosphatidylsérine).

Dans les sphingomyélines l'acide gras est lié par une liaison amide (–CO–NH–) à la sphingosine.

Les cérides sont des monoesters d'un alcool à longue chaîne (C_{16} à C_{30}) avec un acide gras souvent en C_{15}. La cire d'abeille et le blanc de baleine sont des cérides.

Fig. 18 : Structure chimique et schéma d'une molécule de lécithine.

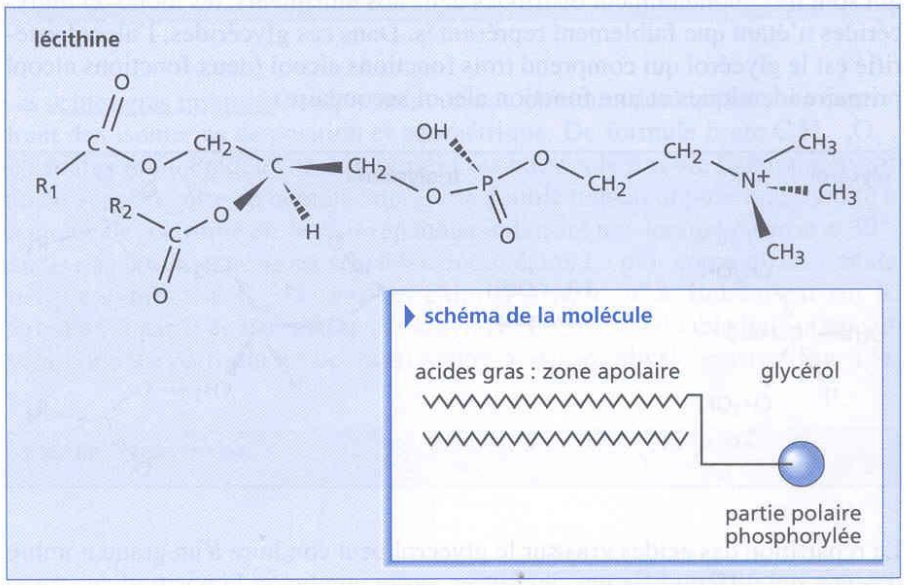


Fig. 19 : Structure chimique de caroténoïdes.

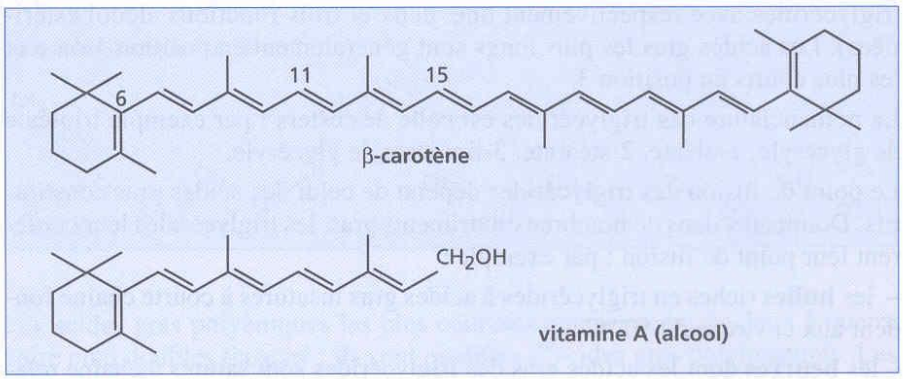
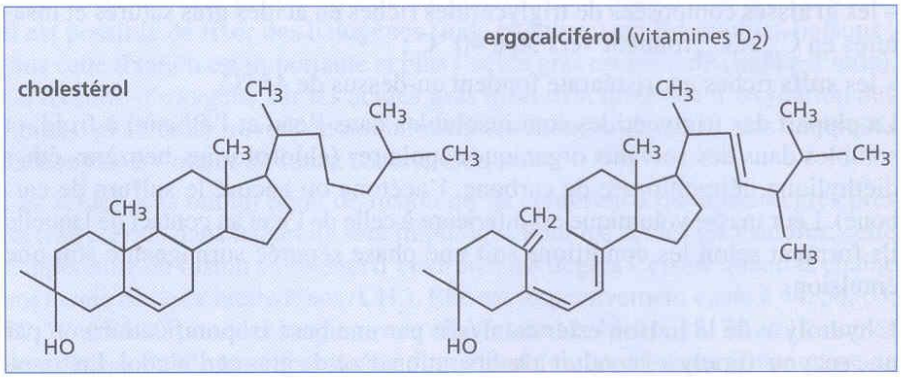


Fig. 20 : Structure chimique de stéroïdes.



Les lipoïdes de nos aliments sont des composés apolaires qui accompagnent de ce fait les lipides mais qui n'en possèdent pas la structure.

Les caroténoïdes sont des hydrocarbures insaturés d'origine végétale parmi lesquels on trouve des composés colorants (lycopène, carotènes, xanthophylles) et la vitamine A.

Les stérides sont des molécules complexes possédant une trentaine d'atomes de carbone. Les vitamine D et le cholestérol ont des structures relativement voisines.

Le cholestérol est transporté dans le sang par des lipoprotéines soit de basse densité (LDL : *low density lipoprotein*) soit de haute densité (HDL : *high density lipoprotein*). Quand le rapport LDL/HDL devient supérieur à 4, le risque de maladie cardiovasculaire est très grand.

QUELQUES POINTS DE REPERES DANS L'HISTOIRE DE L'ALIMENTATION ET DE LA NUTRITION, EN OCCIDENT .

3 500 000 av J.-C.	Lucy, l'une de nos ancêtres, se tenait droite et marchait sur le sol de ce qui est maintenant l'Éthiopie.
800 000 à 500 000 av J.-C.	Découverte de l'utilisation du feu.
15 000 av J.-C.	Utilisation du lait des animaux. Mutation en faveur de la persitance du gène de la lactase chez les éleveurs.
2 000 av J.-C.	Description dans la civilisation summérienne de la quantité de céréales, de farines, d'huile et de viande pour les travailleurs.
Ve siècle av J.-C.	«Siècle de Périclès» à Athènes. Hippocrate, fondateur de la médecine et de la nutrition occidentale. L'homme comme objet d'étude. Le régime comprend l'alimentation et l'activité physique.
IIe siècle	À Rome, Galien fait connaître et développe la pensée d'Hippocrate.
IXe siècle	Rhazès, médecin islamique, demande à ses confrères de revenir à l'examen clinique des patients pour comprendre leurs maladies.
Xe siècle	Ibn Sînâ, dit Avicenne, la santé comme élément d'harmonie de l'homme avec lui-même et avec la société.
XIIIe siècle	Épidémie de scorbut de l'armée de Saint-Louis devant Tunis.
XVIe siècle	Rabelais : place de l'alimentation et de la culture dans l'éducation Amphithéatre d'anatomie à l'Université de Padoue Wirsung décrit les canaux du pancreas exocrine, sur des études *post mortem* Harvey décrit la circulation sanguine, *in vivo* Jacques Cartier utilise des décoctions d'aiguilles de pin pour prévenir le scorbut.
XVIIe siècle	L'agriculture est toujours la principale activité en Europe. Début de l'ère industrielle. La physique et la chimie pour étudier la nutrition. Antoine Van Loewenhock découvre le microscope qui permettra de voir les microbes. L'huile de foie de morue reconnue contre le rachitisme.
1753	Lind recommande le jus de citron à la marine britannique pour prévenir le scorbut.
1765	Mise en marche de la première machine à vapeur par James Watt ; début de l'ère industrielle.
1765	Denis Papin : première cuisson à la vapeur.
1789	Antoine Laurent de Lavoisier : « *La vie est une réaction chimique* ».
1798	Thomas Robert Malthus : « *Essai sur le principe de population* ».
XIXe siècle	Mise en pratique des idées du siècle précédent : utilisation des engrais, développement de l'industrie. Magendie et Claude Bernard : développement de la médecine expérimentale. Rôle de la physiologie en nutrition. Claude Bernard : rôle nutritionnel du foie et du pancréas. Louis Pasteur : origine bactérienne des intoxications alimentaires.
20 Sept. 1792	1er Vendémiaire an1 : bataille de Valmy : début de la République française ; les armées révolutionnaires reçoivent l'aide inattendue... d'une épidémie de dysenterie d'origine alimentaire.
1804	Nicolas Appert :le début des conserves alimentaires.
1871	J.B. Dumas : tentative infructueuse de reconstituer un lait artificiel à base de caséine.
vers 1880	La population agricole ne représente plus que 50 % de la population française. Invention du moteur à essence et du pneumatique.
1890	C.Eijkmann reproduit les symptômes du béribéri sur des poulets nourris au riz poli.
XXe siècle	En France, décroissance de la population agricole (environ 5 % de la population actuelle) et l'industrie agroalimentaire représente la principale activité industrielle. Presque toute l'alimentation est industrialisée. Diminution des besoins énergétiques individuels par la mise en service des automobiles, des transports en commun et le développement de la vie de bureau. La recherche en nutrition humaine utilise maintenant les études cliniques et épidémiologiques (initiées par Hippocrate), l'anatomie (depuis le XVIe siècle), la physique, la chimie (depuis le XVIIIe siècle), l'agronomie, la physiologie (depuis le XIXe siècle), et plus récemment la biologie cellulaire et moléculaire, la génétique, la psychologie, l'ethnologie et l'économie. Rédaction des *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, sous la direction de H. Dupin.
1905	Archibald Garrod : les erreurs innées du métabolisme à l'origine de la compréhension du rôle du contrôle génétique dans la nutrition. De nombreux gènes sont maintenant identifiés et de nombreux traitements diététiques sont efficaces.
1914	C. Funck propose le nom de vitamine à la substance (vitamine B1) qui corrige le béribéri.
1926	A. Szent-Györgyi découvre la vitamine C.
1926–1950	Découverte des principales vitamines.
1930	Premières études sur la malnutrition infantile.
1960	Création de la 1re Unité de Recherche à l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale sur la nutrition humaine.
1942	Utilisation des molécules marquées aux isotopes stables (non radioactifs) pour l'étude de la nutrition humaine. Développement de la notion de risque en nutrition.
1967	Utilisation du glucose pour la réhydratation provoquée par les infections digestives.
1980	Une nouvelle discipline: l'ethno-marketing.
1994	Découverte par J. Friedman de la leptine. (Cette protéine est un régulateur naturel de l'appétit. Une mutation du gène codant pour cette protéine prédispose la souris à l'obésité).
XXIe siècle	Vers une population mondiale de 12 milliards ?