

mémo to
sciences

ce qu'il faut VRAIMENT retenir !
1^{er} cycle - PACES

Biochimie métabolique

Tout en
couleur

Sabine Meyer-Rogge
Kai Meyer- Rogge



de boeck

Biochimie métabolique

Dans la même collection

Aymeric J.-L., Lefranc G., Immunologie humaine

Ferry N., Nguyễn-Truster V., La reproduction des vertébrés

Galas S., Descamps S., Martinez A.-M., Le cycle cellulaire

Gaudriault S., Vincent R., Génomique

Hilber P., Physiologie animale. Notions essentielles et modélisation du vivant

Vincent R., Génétique moléculaire

Biochimie métabolique

Sabine Meyer-Rogge et Kai Meyer-Rogge

Traduction de l'édition allemande par Philippe Brion

Ouvrage original

Biochemie (1st edition) by Sabine Meyer-Rogge & Kai Meyer-Rogge. Copyright © 2005 by KVM – Der Medizinverlag Dr. Kolster Verlags-GmbH Berlin, Germany, ein Unternehmen der Quintessenz-Verlagsgruppe. All rights reserved.

This French edition is published by arrangement with KVM – Der Medizinverlag Dr. Kolster Verlags-GmbH Berlin, Germany, ein Unternehmen der Quintessenz-Verlagsgruppe.

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web : **www.deboeck.com**

© De Boeck Supérieur s.a., 2012
rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Imprimé en Belgique

Dépôt légal :

Bibliothèque nationale, Paris : octobre 2012

Bibliothèque royale de Belgique : 2012/0074/325

ISBN 978-2-8041-7147-6

Sommaire

	Fondamentaux de chimie	8
	Constituants et éléments structuraux	
	Glucides	14
	Acides aminés	18
	Lipides	22
	Nucléotides	26
	Métabolisme du glucose et du glycogène	30
	Cycle de Krebs	54
	Oxydation phosphorylante	68
	Métabolisme des acides aminés	82
	Métabolisme des lipides	100
	Métabolisme du cholestérol / Lipides membranaires	120
	Métabolisme des purines et des pyrimidines	136
	Métabolisme de l'hème	148
	Compléments	158
	Annexe	
	Abréviations	180
	Index	182

Légende

-  flèche de réaction
-  site de régulation du processus métabolique
-  flèche de transport
-  interruption/blocage de la réaction
-  interconnexion dans le métabolisme
-  flèche correspondant à plusieurs réactions
-  augmentation de la quantité / réaction activée
-  diminution de la quantité / réaction inhibée
- +ATP** production d'ATP
- ATP** consommation d'ATP
- P_i** réactif rouge = conversion de phosphates et d'équivalents réducteurs
-  Jonction qui symbolise l'implication d'un composé dans plusieurs métabolismes. Une telle flèche signifie soit qu'un composé suit plusieurs voies métaboliques, soit qu'un composé passe d'un métabolisme à un autre (de façon unidirectionnelle).

Préface

Dans la lignée de la série FACTs I, Biochimie s'empare du concept d'atlas cartographique et présente les voies métaboliques au moyen d'une arborescence claire. Nous étions dès le départ enthousiastes à l'idée de cartographier la Biochimie. Il fut pourtant difficile d'adapter tout cet enseignement au format du livre de poche. Cela nous a coûté quelques nuits d'insomnie, mais, pour nos lecteurs, nous espérons y être parvenus.

La densité de la Biochimie dans le cadre pratique de ce livre suppose que soit présent en bibliothèque un ouvrage de référence en soutien. FACTs I-Biochimie n'est profitable qu'une fois les bases de la Biochimie travaillées de façon systématique. C'est alors seulement que ce livre sera d'une aide véritable, parce que son articulation et sa structure en réseau soutiennent la mémorisation.

Les principales voies métaboliques sont présentées sur deux pages attenantes au contenu informatif différent. Ce dernier peut être appris en feuilletant simplement les pages dans un sens ou un autre. Des flèches d'interconnexion vers les différentes voies métaboliques se trouvent dans la marge. Nous nous sommes, ce faisant, concentrés sur l'essentiel, afin de ne pas perdre la vue d'ensemble.

Il convient à ce stade de remercier l'équipe de KVM, et spécialement le Dr. Bernard Kolster qui est à l'origine de l'idée de ce livre. Nous remercions Sylvia Krause, Angela Bechthold et Silke Jäger pour leur travail dévoué.

Au cours des derniers mois, il nous est à nouveau apparu combien la Biochimie est complexe. Nous avons cependant finalement pu constater que, grâce à la présentation choisie, la vue d'ensemble de la Biochimie est perçue et qu'ainsi cette discipline suscite l'intérêt. Nous souhaitons la même expérience à nos lecteurs.

Laubach
Mars 2005

Sabine et Kai Meyer-Rogge

- La biochimie est dominée par six éléments chimiques qui, ensemble, constituent la majorité des composés cellulaires. Il s'agit des éléments hydrogène (H), carbone (C), azote (N), phosphore (P), oxygène (O) et soufre (S) (→ Tableau p. 9). La molécule d'eau (H_2O) occupe une place particulière en tant que solvant et représente la transition vers la chimie inorganique. L'eau est le milieu de vie de tous les organismes vivants, dans lequel sont dissous non seulement des molécules organiques, mais également des éléments inorganiques comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le phosphate (PO_4^{3-}).
- Les atomes ne s'assemblent pas au hasard, ils suivent des règles précises pour établir leurs liaisons. L'une d'elles est la **règle de l'octet** qui stipule qu'un atome possède au maximum huit électrons dans sa couche externe. Ainsi, le carbone, en tant que sixième élément du tableau périodique, possède six protons dans son noyau (numéro atomique 6). Il possède par conséquent également six électrons dans son nuage électronique. Parmi ces électrons, deux se trouvent dans l'orbitale s de la première couche et quatre dans la deuxième couche. Ceux-ci se répartissent par paire dans les orbitales 2s et 2p. Seuls les électrons de la couche la plus externe sont intéressants pour les réactions chimiques. Les couches complètement pleines ne sont pas prises en compte. La configuration électronique du carbone est $1s^2 2s^2 2p^2$. Il en résulte que le carbone peut participer au maximum à quatre liaisons pour parvenir à huit électrons dans sa couche externe.
- Les deux types standard de liaison chimique sont la **liaison covalente** et la **liaison ionique**. Une liaison covalente s'établit entre deux atomes d'électronégativité comparable (composés organiques, par ex. le méthane). Si les deux partenaires ont des électronégativités très différentes, ils sont réunis par une liaison ionique (sels, par ex. NaCl). Les énergies des deux types de liaison sont de l'ordre de 400 kJ/mol. À côté de ces deux types, il existe également des liaisons de moindre énergie comme la **liaison hydrogène** avec 40 kJ/mol (interaction dipôle-dipôle), l'**interaction de van der Waals** avec 10 kJ/mol (dipôle induit par la fluctuation électronique), l'**interaction hydrophobe** avec 4 kJ/mol (répulsion en milieu hydrophile) et l'**interaction ionique** également avec 4 kJ/mol (ions hydratés).

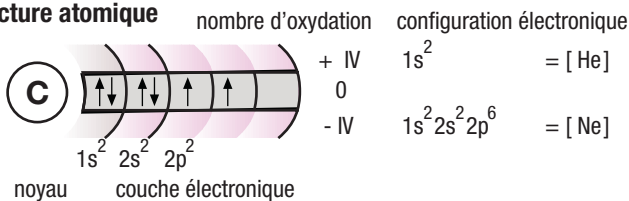


Tableau périodique

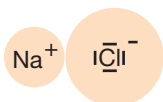
Périodique		Groupes							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	H								He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra							

électronégativité croissante

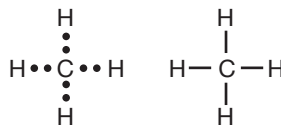
Structure atomique



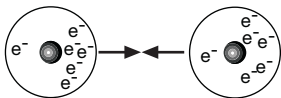
Liaisons chimiques



liaison ionique



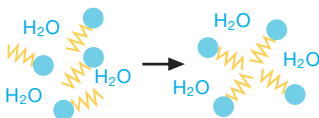
liaison covalente



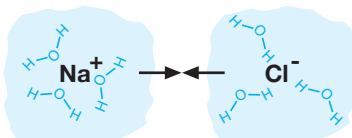
interaction de van der Waals



liaison hydrogène



interaction hydrophobe

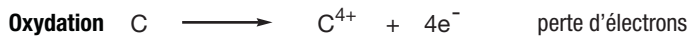
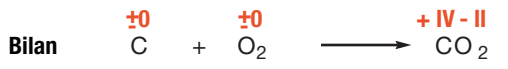


interaction ionique

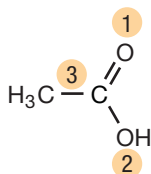
- Une **oxydation** est toujours couplée à une **réduction**. La substance oxydée cède ses électrons (son nombre d'oxydation augmente), lesquels sont acceptés par un partenaire réactionnel. Celui-ci est réduit (son nombre d'oxydation diminue). Ceci est qualifié de **réaction redox**. Pour déterminer un **nombre d'oxydation** dans un composé organique, un atome est choisi comme point de départ et les nombres d'oxydation de tous les éléments qui y sont liés sont additionnés. La valeur opposée correspond au nombre d'oxydation de l'atome de départ dans ce composé. Dans ce calcul, les liaisons entre même élément ne sont pas prises en compte. Pour cette méthode, il est utile de connaître les nombres d'oxydation les plus fréquents de la biochimie (→ Tableau p. 11).
- La diversité de la chimie organique commence avec sa classe de substances les plus simples, les hydrocarbures. Les **alcane**s, **alcène**s et **alcyne**s contiennent des carbones avec 1, 2 ou 3 liaisons. L'étape suivante est l'introduction d'un groupement fonctionnel, comme par exemple dans les alcools. Selon la position du groupement fonctionnel sont distingués des **alcools** primaires, secondaires et tertiaires. Les alcools primaires s'oxydent en **aldéhydes** et les alcools secondaires en **cétones**. Un aldéhyde peut encore être oxydé en **acide carboxylique**, qui autorise à son tour plusieurs variations. Ainsi, un acide carboxylique réagit avec un alcool pour donner un **ester carboxylique**, avec une amine pour donner une **amide** ou avec un autre acide pour donner un **anhydride d'acide** par déshydratation. À la fin de cette suite d'oxydations se trouve le **dioxyde de carbone** (nombre d'oxydation du carbone = + IV).
- Pour une même formule brute, la disposition des atomes dans une molécule peut être différente. Le chimiste qualifie cette situation d'**isomérie**. Une **isomérie de constitution** et une **stéréoisomérie** sont distinguées. Dans le premier cas, les atomes et les liaisons d'une molécule sont disposés différemment (par ex. butane/isobutane). Dans le deuxième cas, le squelette de la molécule n'est pas modifié, par contre la disposition relative des atomes les uns par rapport aux autres l'est.



Réactions redox



Détermination du nombre d'oxydation formel

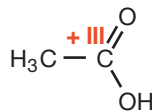


1 oxygène - II

2 groupement hydroxyle - I

3 liaison C-C non comptabilisée

Résultat :

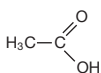
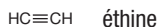
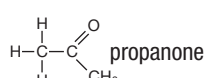
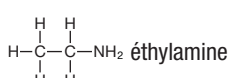
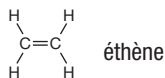
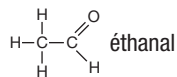
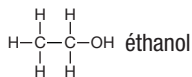
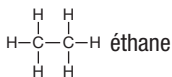


Nombres d'oxydation fréquents

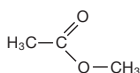
H	+ I	H ₂ O
C	- IV, + IV	CH ₄ , CO ₂
N	- III	-NH ₂

P	+ V	-OPO ₃ ²⁻
O	- II	-OH
S	+ VI	H ₂ SO ₄

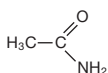
Composés carbonés simples



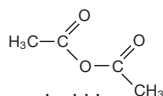
acide
éthanoïque



éthanoate
de méthyle



éthanamide



anhydride
éthanoïque

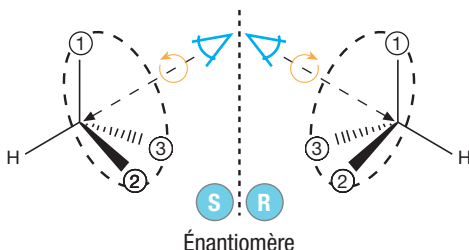


dioxyde
de carbone

- La stéréochimie recouvre l'isomérisie *cis/trans*, l'énantiomérisie, la diastéréoisomérisie et l'isomérisie de conformation. La **nomenclature R/S** a été développée par Cahn, Ingold et Prelog pour décrire les stéréoisomères de façon univoque (→ illustration p. 13).
- Une réaction chimique en solution aqueuse consiste toujours en une **réaction directe** et une **réaction inverse**. Si les deux vitesses de réaction sont égales, la réaction globale est à l'**équilibre chimique**. Ce rapport est décrit par la loi d'action de masse. La constante d'équilibre K se calcule en faisant le rapport des concentrations des produits sur celles des réactifs.
- Le **pH** est défini comme l'opposé du logarithme décimal de la concentration en ions H_3O^+ . Cette conversion donne des valeurs numériques plus faciles à manipuler. Pour passer de cette formulation à l'échelle habituelle de pH allant de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), la loi d'action de masse doit être appliquée à la dissociation de l'eau. Comme un litre d'eau contient 55,5 mol de H_2O et que cette valeur est quasi constante en solution aqueuse diluée, l'échelle de pH est obtenue à partir de la constante d'équilibre de l'eau ($K = 1,8 \cdot 10^{-16}$) en utilisant l'opposé du logarithme décimal. Cela signifie en outre que le produit des ions hydronium (H_3O^+) et des ions hydroxyde (HO^-) est constant et égal à 14.
- Tout comme le pH décrit la dissociation de l'eau, il est possible de décrire de façon analogue tout autre acide ou base. À partir de l'énoncé de la réaction d'équilibre, il est possible d'obtenir le **pK_a** pour des acides et le **pK_b** pour des bases. Les acides et les bases sont ainsi classés selon leur force (valeur de leur pK) en solution aqueuse. Un domaine des acides faibles, particulièrement important pour les systèmes tampon, est défini pour des $\text{pK}_a > 5$. Les systèmes tampon sont constitués d'un acide faible et de sa base conjuguée (par ex. $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$, $\text{pK}_a = 7,2$). Ils sont en mesure de stabiliser le pH d'une solution aqueuse à l'intérieur de certaines limites. Cette propriété est décrite par l'équation d'Henderson-Hasselbalch. Celle-ci permet également de déduire que le pouvoir tampon le plus élevé est obtenu quand le pH de la solution est égal au pK_a de l'acide.



Configuration selon Cahn, Ingold et Prelog (Nomenclature R/S)



A) Priorité

1. Numéro atomique
2. Degré d'oxydation

B) Substituant de plus faible priorité vers l'arrière

- ### C) Sens des aiguilles d'une montre = R
- Sens inverse des aiguilles d'une montre = S

Réaction chimique – Équilibre chimique

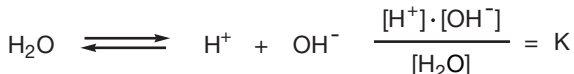


Loi d'action de masse

$$\frac{\text{concentration des produits}}{\text{concentration des réactifs}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{HCl}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K$$

K = constante d'équilibre

pH



$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_e = 10^{-14} \quad -\log()$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Systèmes tampon – Calcul



$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

équation d'Henderson-Hasselbalch

$$\text{pH} = \text{p}K_a \Rightarrow \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 1:1$$

pouvoir tampon maximal

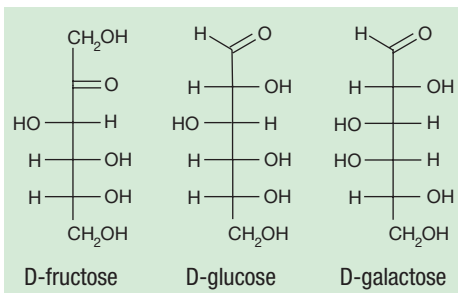
Constituants et éléments structuraux

- Les glucides ou sucres sont d'un point de vue chimique des polyols avec le groupement fonctionnel d'un **aldéhyde** ou d'une **cétone**. C'est pourquoi les sucres sont classés en **aldoses** et **cétoses**. À partir d'une longueur de chaîne de trois atomes de carbone, il est possible de parler d'un sucre qui répond à la formule brute des glucides $C_n(H_2O)_n$.
- Les sucres sont **chiraux**. La condition requise pour cette propriété est un atome de carbone asymétrique (**stéréocentre**¹). Un atome de carbone avec quatre substituants différents est qualifié ainsi (→ p. 12). La dihydroxyacétone et les composés méso constituent des exceptions. Ils possèdent un plan de symétrie intramoléculaire et sont de ce fait achiraux.
- Si deux molécules sont images miroir l'une de l'autre, chacun de ces **énantiomères** provoque la rotation d'une lumière polarisée d'une même valeur angulaire, mais dans des sens opposés. La molécule est qualifiée de lévogyre (-) ou dextrogyre (+). S'il y a deux ou davantage de stéréocentres dans une molécule, cela conduit à des **diastéréoisomères**. Ils possèdent la même formule chimique, sont chiraux, mais ne sont pas images miroir les uns des autres.
- Des diastéréoisomères possèdent des propriétés physiques différentes (point de fusion, point d'ébullition). Ce n'est pas le cas des énantiomères. Dans leur cas, les propriétés physiques sont les mêmes, bien que des effets biologiques différents (médicaments) puissent exister.
- Si un groupement OH réagit avec l'atome de carbone du groupement carbonyle du sucre pour former un cycle, il s'établit un équilibre entre les deux formes possibles. Ce processus est appelé **mutarotation**. Les deux **anomères** sont différenciés par un α ou un β précédant leur nom.
- Le chimiste allemand Emil Fischer a proposé la **nomenclature D/L** ainsi qu'une représentation particulière, la **projection de Fischer**, pour organiser les multiples isomères des sucres. Outre les sucres, elle est également employée pour les acides aminés. Les sucres de série D et les acides aminés de série L sont d'une importance fondamentale en biochimie.

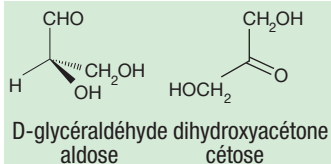
¹ Un stéréocentre est encore appelé centre chiral.



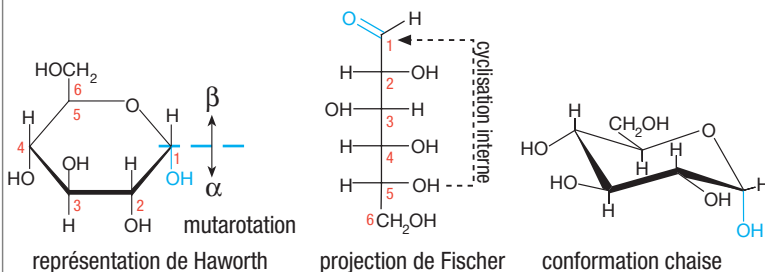
Les principaux sucres



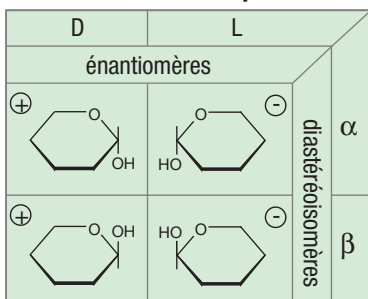
Les sucres les plus petits



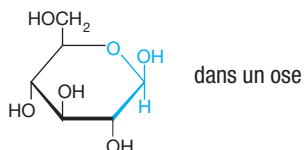
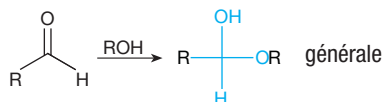
Représentations des oses : exemple de l' α -(+)-D-glucopyranose



Relations stéréochimiques



forme hémiacétale



Constituants et éléments structuraux

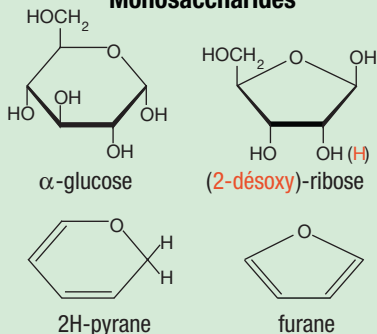
- Les hexoses (sucres à 6 atomes de carbone) les plus importants sont le **glucose**, le **fructose** et le **galactose**. Ce sont des fournisseurs d'énergie et des éléments de synthèse. Les pentoses (sucres à 5 atomes de carbone) **ribose** et **désoxyribose** sont importants en tant que constituants des acides nucléiques ARN et ADN. Dans les conditions physiologiques, le glucose existe sous forme cyclique. Ceci est vrai pour tous les sucres ayant au moins cinq atomes de carbone. Les cycles à cinq atomes (furanoses) et à six atomes (pyranoses) sont les plus stables. Le glucose existe presque exclusivement sous forme pyranose, le fructose en revanche sous forme furanose.
- La réduction du glucose et du fructose conduit au **sorbitol**, un polyol (sucre-alcool). L'oxydation du C2 conduit à la gluconolactone et à l'**acide gluconique** après hydrolyse. Une deuxième possibilité est l'oxydation du C6 qui conduit à l'**acide glucuronique**.
- Les disaccharides les plus importants que sont le **lactose**, le **maltose**, l'**isomaltose** et le **saccharose** sont synthétisés à partir de glucose, de galactose et de fructose. Ils représentent la part principale de notre alimentation et sont les constituants des réserves glucidiques. Les **homoglycanes**² **amidon** et **glycogène** sont constitués d'unités maltose et isomaltose. Ils sont donc constitués uniquement d' α -glucose.
- Les **hétéroglycanes**³ contiennent différents oses ou dérivés d'oses qui peuvent être liés à des protéines ou des lipides. Selon leur composition, il convient de distinguer des protéoglycanes (plus de sucre que de protéine), des glycoprotéines (plus de protéine que de sucre) et des glycolipides (plus de lipide que de sucre ; → p. 130).
- Les **protéoglycanes** sont composés de glycosaminoglycanes comme, par exemple, l'acide hyaluronique. Ils sont intégrés dans la matrice extracellulaire et possèdent une capacité élevée de rétention de l'eau. Les **glycoprotéines**, en tant que composantes des membranes plasmiques, caractérisent les différents groupes sanguins à la surface cellulaire.

² Les homoglycanes sont également appelés homopolysaccharides.

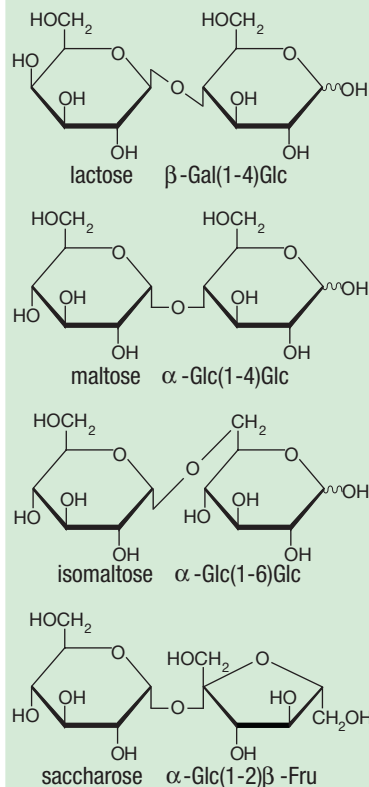
³ Les hétéroglycanes sont également appelés hétéropolysaccharides.



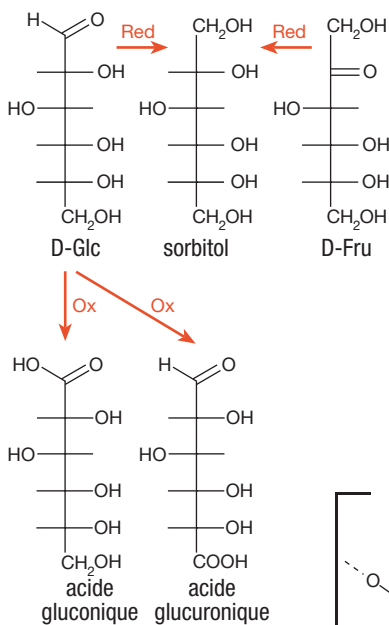
Monosaccharides



Disaccharides



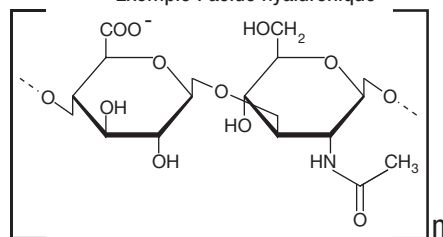
Réactions redox



glucose Glc
galactose Gal
fructose Fru

Polysaccharide – Hétéroglycane

Exemple : acide hyaluronique



Constituants et éléments structuraux

- L'information génétique d'un organisme est stockée dans son ADN. Dans la plupart des cas, les protéines sont nécessaires à son expression en signaux physiologiques (l'ARN peut également être catalytique, les ribozymes). L'alphabet des protéines consiste en vingt acides aminés, les **acides aminés protéinogènes**. Tout comme les glucides, les acides aminés sont chiraux (unique exception : la glycine). Ils sont de **configuration L** en représentation de Fischer.
- Un acide aminé comporte un **groupement carboxyle**, un **groupement amine** et une chaîne latérale, qui sont liés par l'intermédiaire du carbone α (exception : la proline, un iminoacide). Ils ne se distinguent que par la structure de leur chaîne latérale R. Il existe des acides aminés avec des chaînes latérales apolaires, polaires et chargées.
- Chaque acide aminé possède un **point isoélectrique** spécifique. Ce dernier constitue également un paramètre important pour analyser les protéines. Lors de la séparation d'un mélange de protéines par électrophorèse en gel, les protéines se déplacent vers l'anode ou la cathode selon la valeur du pH qui est imposée par le tampon.
- Il existe également des acides aminés non codés par le code génétique. Ces **acides aminés non protéinogènes** sont synthétisés par le corps à partir d'acides aminés protéinogènes. Bien qu'ils ne soient pas incorporés dans les protéines, ils exercent des fonctions particulières dans l'organisme. L'ornithine et la citrulline sont par exemple produites à partir de l'arginine et participent à la synthèse de l'urée.
- Dans le métabolisme, les acides aminés peuvent perdre leurs groupements fonctionnels ou les transférer sur d'autres composés. Des déficits en acides aminés peuvent être compensés et des intermédiaires métaboliques importants peuvent être synthétisés par **transamination**, **désamination** et **décarboxylation**.

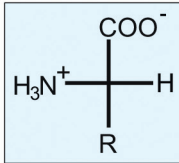


Les acides aminés sont des ampholytes. Ils peuvent exister sous différents états ioniques en solution aqueuse. Selon la valeur du pH, le groupement amine, tout comme le groupement carboxyle, peut être protoné ou déprotoné. Les acides aminés possèdent de ce fait un effet tampon, c'est-à-dire qu'ils peuvent stabiliser le pH d'une solution.



Chaînes latérales des 20 acides aminés protéinogènes
(exception : Pro)

Formule générale d'un acide aminé



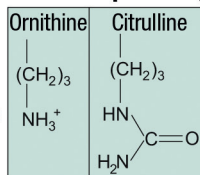
Glycine (Gly, G)	Alanine (Ala, A)	Valine (Val, V)	Leucine (Leu, L)	Isoleucine (Ile, I)
H	CH ₃	$\begin{array}{c} \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \end{array}$

Cystéine (Cys, C)	Méthionine (Met, M)	Phénylalanine (Phe, F)	Tryptophane (Trp, W)	Proline (Pro, P)	Sérine (Ser, S)	Thréonine (Thr, T)	Tyrosine (Tyr, Y)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_8\text{H}_6\text{N} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{HC} \\ \\ \text{C}_4\text{H}_7\text{N} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{HCOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$

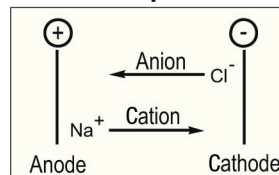
Asparagine (Asn, N)	Glutamine (Gln, Q)	Aspartate (Asp, D)	Glutamate (Glu, E)	Histidine (His, H)	Lysine (Lys, K)	Arginine (Arg, R)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{COO}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COO}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_4 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_3 \\ \\ \text{HN} \\ \\ \text{C}=\text{NH}_2^+ \\ \\ \text{H}_2\text{N} \end{array}$

Acides aminés : Acides aminés non protéinogènes

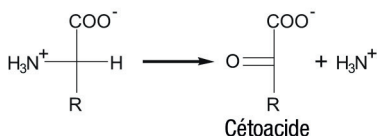
- apolaires
- polaires
- chargés
- ✱ essentiels pour la croissance et la grossesse
- ✱ indispensables



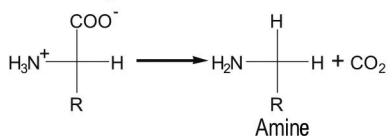
Electrophorèse



Transamination/Désamination



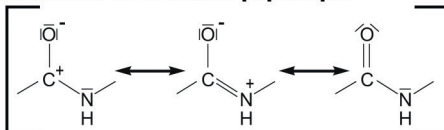
Décarboxylation



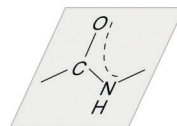
Constituants et éléments structuraux

- La réaction la plus importante impliquant les acides aminés est leur condensation en polymères dans le cadre de la traduction au niveau des ribosomes. C'est ainsi que les protéines sont synthétisées. Le groupement carboxyle du premier acide aminé réagit avec le groupement amine du deuxième pour former une liaison peptidique. Il s'ensuit qu'une protéine a toujours une extrémité N-terminale et une extrémité C-terminale. La **liaison peptidique** est plane, car les électrons sont délocalisés le long des liaisons CO-NH. Le chimiste qualifie cette situation de **mésomérie**.
- Les éléments structuraux tridimensionnels d'une protéine se mettent en place à partir de cet agencement séquentiel des acides aminés, la **structure primaire**. Les acides aminés peuvent soit s'enrouler autour d'un cylindre pour former une **hélice α** , soit s'organiser en un plan par interactions réciproques pour former un **feuillet β** . Ces deux types d'éléments de structure secondaire se combinent pour former une protéine fonctionnelle et mettent en place la **structure tertiaire**. Le niveau d'organisation le plus élevé des protéines est appelé **structure quaternaire**. Cette appellation regroupe les assemblages de plusieurs sous-unités et les complexes multi-enzymatiques. Une protéine est stabilisée grâce à des **liaisons hydrogène**, mais également par des **ponts disulfure** et par **effet hydrophobe**.
- Les protéines exercent différentes fonctions dans le corps. La plus connue est la fonction catalytique en tant qu'**enzymes**. Elles font toutefois également fonction d'**éléments de construction** des tissus, sous forme de longs polymères, tel que le collagène. En tant que **pores** dans les membranes, elles permettent à des molécules hydrophiles de traverser un environnement hydrophobe. Les protéines peuvent également être encore modifiées après leur synthèse, par exemple par fixation d'une chaîne glucidique. Ces **glycoprotéines** se présentent comme des antennes sur la face externe de la membrane plasmique et forment la base de notre système immunitaire.
- Les peptides jouent un rôle important dans la **communication**. Les hormones peptidiques, comme par exemple l'insuline, sont sécrétées de façon ciblée pour déclencher une réaction métabolique par liaison à des récepteurs.

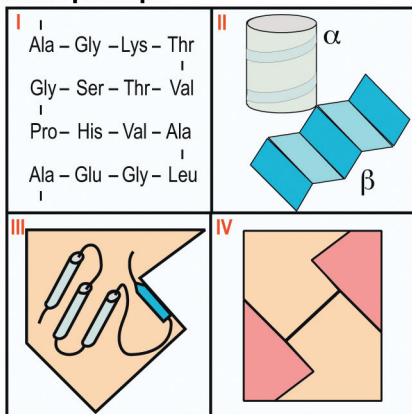
Mésomérie de la liaison peptidique



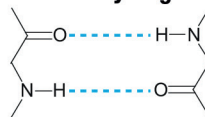
Liaison peptidique



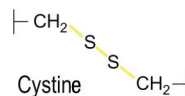
Structure protéique



Liaisons hydrogène



Pont disulfure



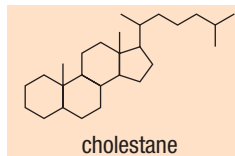
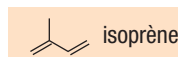
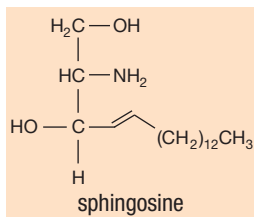
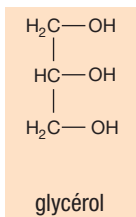
- I Structure primaire
- II Structure secondaire
- III Structure tertiaire
- IV Structure quaternaire

Fonctions des protéines

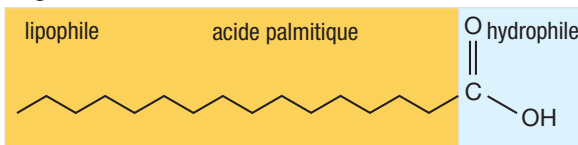
Structure, par ex. collagène	Transport, protéines membranaires
Reconnaissance, glycoprotéines	Signalisation, par ex. insuline

Constituants et éléments structuraux

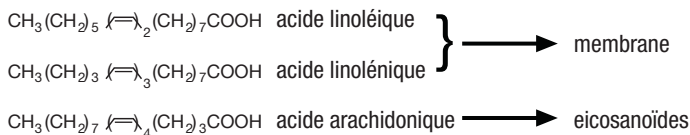
- Les **lipides** sont employés comme réserve énergétique, comme constituants membranaires et comme isolant thermique sous forme de tissu adipeux. Ils exercent en outre des fonctions particulières sous forme d'hormones, de vitamines ou d'acides biliaires. Ils peuvent être répartis en trois classes avec pour charpente le **glycérol**, la **sphingosine** et l'**isoprène**. L'acétyl-CoA est la molécule à l'origine de leur synthèse à tous.
- La diversité structurale des lipides résulte de la combinaison d'**acides gras**, d'**acide phosphorique**, et d'**alcools**, voire de **sucre**. Dans ce cadre, les acides gras occupent une place particulière. Ils peuvent exister sous forme d'acides carboxyliques libres ou estérifiés par l'une des charpentes précédentes. Selon la longueur de leur chaîne hydrocarbonée, leur caractère lipophile est plus ou moins marqué. Un **acide gras** est qualifié d'**insaturé** dès lors qu'il contient des doubles liaisons. Deux voies sont disponibles pour leur dégradation dans notre organisme : les acides gras **à nombre pair d'atomes de carbone** sont dégradés en acétyl-CoA, ceux **à nombre impair** sont transformés en succinyl-CoA via le propionyl-CoA.
- Parmi les acides gras, les **acides linoléique** et **linolénique** sont essentiels et doivent régulièrement être apportés par l'alimentation. Notre organisme est incapable de synthétiser par lui-même ces acides gras doublement ou triplement insaturés. Ils sont contenus dans la membrane plasmique et servent de composés de départ lors de la synthèse de l'**acide arachidonique** qui sert lui-même de précurseur aux eicosanoïdes (médiateurs).
- La principale propriété des lipides est leur solubilité. Certains se dissolvent uniquement dans des liquides apolaires : ils sont **lipophiles**. D'autres possèdent également une partie polaire et se dissolvent en plus dans un environnement aqueux : ils sont **amphiphiles**. Il en résulte une capacité à former en solution des structures particulières. Des **monocouches lipidiques** se forment à l'interface de liquides polaires et des **micelles** se forment en milieu polaire. Les membranes cellulaires et les liposomes sont constitués d'une **double couche de lipides**. Les liposomes possèdent une cavité interne hydrophile, séparée de l'environnement extérieur par une enveloppe lipophile.



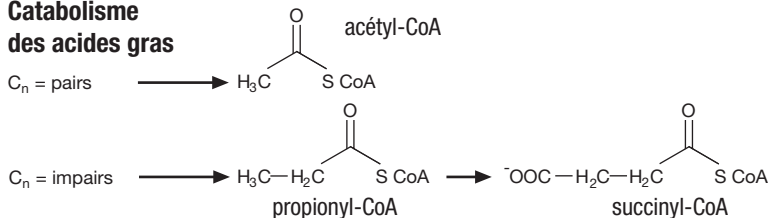
Acides gras saturés



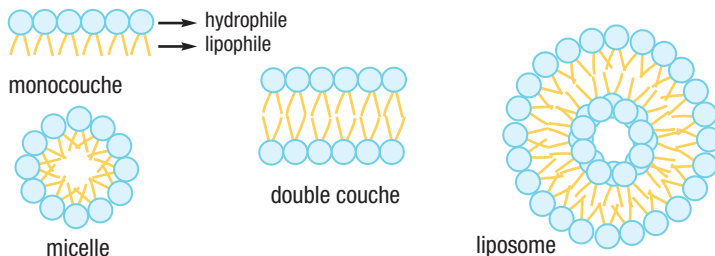
Acides gras insaturés



Catabolisme des acides gras



Agencement de lipides amphiphiles aux interfaces



- Les **glycérolipides** sont synthétisés par estérification de la charpente glycérol avec des acides gras. Ils se subdivisent encore en **triglycérides**, purement lipophiles, et en **glycérophospholipides**, amphiphiles. Les premiers sont uniquement estérifiés par des acides gras et constituent la graisse blanche, la plus importante réserve d'énergie pour notre organisme. Les derniers possèdent à la place d'un acide gras un groupement phosphate hydrophile. Ce sont des constituants importants des membranes cellulaires et ils peuvent encore être modifiés au niveau du groupement phosphate, par exemple avec de la choline pour donner de la phosphatidylcholine (lécithine).
- La **sphingosine**, un aminoalcool, constitue la deuxième charpente de base. Elle est toujours dérivée en **céramide**. Les **sphingophospholipides** sont formés par fixation d'un groupement phosphate. La sphingomyéline, organisée de façon analogue à la lécithine, compose les gaines de myéline. Si des glucides remplacent le phosphate, il en résulte des **glycolipides**. Ils se répartissent en **cérébrosides** et **gangliosides**. Les cérébrosides ont un monosaccharide, le plus souvent le galactose, comme composant glucidique. Ils sont trouvés, comme leur nom le laisse supposer, dans les membranes plasmiques des cellules du système nerveux central. Les gangliosides comportent des oligosaccharides de trois à six oses et de l'acide N-acétylneuraminique (NANA). Ils participent entre autre à la reconnaissance cellulaire et à la structure des membranes des neurones.
- La troisième classe est composée d'unités isoprène. Il convient de distinguer les **terpènes**, composés à chaîne aliphatique comme les vitamines lipophiles A, E et K, des **stéranes**. Ceux-ci sont constitués de six unités isoprène qui forment un polycycle. Le stérol le plus connu est le cholestérol.

A

Acétate 142
 Acétoacétate 118
 Acétyl-coenzyme A (Acétyl-CoA) 56, 90, 102, 112
 Acétylsalicylique (acide) (AAS) 134
 Acide aminé 18
 - catabolisme 88
 - effet tampon 18
 - indispensable 84
 - métabolisme 82
 - non indispensable 84
 - non protéinogène 18
 - protéinogène 18, 84
 - semi-essentiél 84
 - structure de base 18
 - synthèse 84
 Acide biliaire 104, 126
 - formation 127
 Acide gras synthase 112
 Acides gras 22
 - à nombre impair d'atomes de carbone 22, 108
 - à nombre pair d'atomes de carbone 22, 108
 - amphiphile 22
 - biosynthèse 112
 - catabolisme 22, 106
 - estérification 24
 - insaturé 22, 108
 - lipophile 22
 - polyinsaturé 110
 - régulation 114
 - saturé 23, 108
 Acidocétose 118
 Acidose 118
 Acyl-CoA cholestérol acyl-transférase (ACAT) 126
 Acyltransférase 126
 Adénine 26, 142
 Adénine phosphoribosyl-transférase (APRT) 142
 Adénohypophyse 166
 Adénosine 5'-triphosphate (ATP) 26, 32, 40, 70, 74, 85, 92, 103, 106, 113, 123, 127, 129, 139

- synthèse 74
 Adiurétine (vasopressine ou ADH) 170
 Adrénaline 104
 Alanine 40, 84, 90
 Alanine aminotransférase (ALAT) 66
 Albinisme 96
 Alcaptonurie 98
 Alcool 10
 - abus d' 118
 Aldéhyde 10
 Aldolase A 50
 Aldolase B 50
 Alimentation
 - équilibrée 34
 Allopurinol 144
 Amide 10
 Amidon 16, 32
 Amido-phosphoribosyl-transférase 140
 δ -Aminolévulinate synthase 152
 δ -Aminolévulinique (acide) (δ -ALA) 150
 Ammoniac (NH_3) 92
 Ammonium (ion) 92
 AMPc 26, 164
 Ampholyte 18
 Anaplérotique (réaction) 64
 Anémie hémolytique 48
 Anémie mégalo-blastique 146
 Anhydride d'acide 10
 Anomère 14
 Anti-inflammatoire 135
 Appariement de bases 29
 Arachidonique (acide) 114, 134
 Arginine 18, 86, 90, 93
 ARN 28
 - de transfert 28
 - messenger 28
 - ribosomique 28
 Artériosclérose 132
 Asparagine 86
 Aspartate 84, 88, 92
 Aspartate aminotransférase (ASAT) 66

ATP

- synthase 74
 - synthèse 74
 Atriopéptine (facteur natriurétique auriculaire ou ANF) 170

B

Base nucléique 26
 Bériberi 66
 Bilirubine 52, 154
 - détection 156
 - directe 156
 - indirecte 156
 - norme 157
 Biliverdine 154 f
 Biologie moléculaire
 - dogme 29
 Biotine 175

C

Calcium 170
 Carbamoyl phosphate 92
 - synthétase 94
 Carboxybiotine 112
 Carboxykinase 42
 Carboxylique (acide) 10
 Carboxylique (ester) 10
 Carence en acide folique 146
 Carence vitaminique 174
 Catabolisme du glucose
 - aérobie 34
 - anaérobie 34
 - bilan énergétique 32
 Célecoxib 135
 Cellule 176
 Centre fer-soufre 70, 72
 Céramide 24, 130
 Cérébroside 24
 Cétone 10
 α -Cétoglutarate 90
 α -cétonique (acide) 62, 88
 Chaîne respiratoire 56, 60, 70
 - gain énergétique 110
 - régulation 76
 Chlorure 170
 Cholécalciférol (Vit. D₃) 131

- Cholestérol 24, 122
- besoins quotidiens 122
 - biosynthèse 122
 - dégradation 126 f
 - dérivés 126
 - estérification 127
 - facteur de risque 132
 - métabolisme 120
 - régulation 124
- Choline 128
- Chromatine 28
- Cirrhose 118
- Citrulline 18, 86, 94
- Classes d'enzymes 159
- Cobalamine 175
- Coenzyme 28
- Coenzyme Q (ubiquinone) 72
- Compartiment
- extracellulaire 168
 - intracellulaire 168
- Complexe PDH 56
- Composé carboné simple 11
- Configuration électronique 8
- Conformation chaise 15
- Constituants et éléments structuraux 14
- Corps cétonique 116
- diagnostic 118
- COX I 134
- COX II 134
- Cyanure 78
- intoxication au 78
- Cycle de Cori 40
- Cycle de Krebs 54
- régulation 60
 - vitesse 60
- Cycloalcane 122
- Cyclo-oxygénase 134
- Cystathionine 88
- Cystathionine synthétase 98
- Cystéine 86, 90
- Cytidine triphosphate 140
- Cytochrome c 72
- oxydase 70, 78
 - réductase 70
- Cytopathie mitochondriale 80
- Cytoplasme 177
- Cytosine 26
- D**-Alanine 96
- 3-Déaza-uridine 147
- Décarboxylation 18
- Découplage 80
- Désamination 18
- Désaturase 114
- 7-Déshydrocholestérol 131
- Désoxyribose 16
- Désoxythymidine triphosphate 140
- Détection du glucose 54
- bandelette test 53
 - méthode de laboratoire 53
- Diabète sucré 48
- absolu (Type 1) 48
 - relatif (Type 2) 48
- Diastéréoisomère 14
- Diclofenac 135
- Disaccharide 16
- Disulfure (pont) 20
- Double couche lipidique 22, 176
- Double hélice 28
- structure 28
- E**ffet tampon 18
- Eicosanoïde 134
- Électrolyte 169
- Élément 8
- Énantiomère 14
- Entraînement en altitude 152
- Enveloppe nucléaire 177
- Enzyme 158
- transmembranaire 177
 - types de réaction 158
- Enzyme de déramification (*debranching enzyme*) 38
- Enzyme de ramification (*branching enzyme*) 36
- Équilibre chimique 12
- Équilibre hydrique 171
- Équivalent réducteur 70, 114
- Érythrocyte 44
- durée de vie 154
- Éthanolamine 128
- F**ixation d'azote 86
- Flavoprotéine de transfert d'électrons (*Electron Transfer Flavoprotein*) 72
- Folique (acide) 175
- Formule brute 12
- Formyl-tétrahydrofolate 146
- Fructose 16, 46
- intolérance au 50
- Fructose 6-phosphate 33
- Fumarate 88
- Furanose 16
- G**alactose 16
- Galactose-1-phosphate uridyl transférase 48
- Galactosémie 48
- Ganglioside 24
- Gaucher (maladie de) 134
- Globine 150
- Glucagon 104, 124
- Glucide 14, 32
- β-Glucocérébrosidase 134
- Gluconéogenèse 40
- régulation 40
- Gluconique (acide) 16
- Gluconolactone 16
- Glucose 16, 32
- métabolisme 30
 - production d'énergie 56
- Glucose 6-phosphate déshydrogénase 48
- Glucose-6-phosphate 33, 47
- Glucuronate 52
- Glucuronique (acide) 16
- Glutathion 44
- Glutamate 84, 90, 92
- Glutamate déshydrogénase (GLDH) 64, 66
- Glutamine 86, 90

Glycémie 52, 104, 108
- à jeun 52
Glycéraldéhyde-3-phosphate 33
Glycérol 22, 40
Glycérol-3-phosphate 40
Glycérolipide 24
Glycérophospholipide 24
Glycine 86, 90
Glycogène 16, 32, 36
- maladie d'accumulation du 50
- métabolisme 30, 36, 38
- régulation 38
- réserve en 36
Glycogénine 36
Glycogénose 50
Glycolipide 16, 24, 122, 130
Glycolyse 32, 56
- bilan énergétique 32, 74
- régulation 34
Glycoprotéine 16
Golgi (appareil de) 176
Goutte 144
- de l'enfant 144
Gradient de protons 70
Guanine 26
Guthrie (test de) 48, 96
Haworth (représentation de) 15
HDL (*High density lipoprotein*) 132

Hélice α 20
Hème
- biosynthèse 150
- catabolisme 154
- fixation de dioxygène 81
- métabolisme 148
- régulation 152
Hémiacétal 15
Hémoglobine 150
Henderson-Hasselbalch (équation d') 13
Hétéroglycane 16
Hexose 16
HGPR transférase (HGPR) 144

Histidine 90
HMG-CoA réductase 124, 132
Homocystéine 88, 98
Homocystinurie 98
Homogentisique (acide) 88, 98
Homoglycane 16
Hormone 162
- autocrine 163
- effectrice
 périphérique 166
 endocrine 163
 glandulaire 162
 hydrophile 162
 lieu de synthèse 163
 lipophile 164
 mode d'action 163
 neurohormone 162
 organe cible 166
 paracrine 163
 tissulaire 162
Hydrocarbure 10
Hydrolase 158
 β -Hydroxybutyrate 118
 β -Hydroxy- β -méthylglutaryl-CoA (β -HMGCoA) 90, 122
Hydroxyurée 147
Hyperbilirubinémie 52, 156
Hyperlipoprotéïnémie 132
Hyperuricémie 144
Hypervitaminose 174
Hypolipémiant 133
Hypothalamus 166
Hypovitaminose 174
Hypoxanthine-guanine phosphoribosyl transférase (HGPR) 142

Ibuprofène 135
Ictère 156
Ictère du nouveau-né 52
Inhibition compétitive 160
Inhibition non compétitive 160
Inositol 128
Insuline 48, 124
- action systémique 49
- carence en 48

- cible 49
Interaction
- de van der Waals 8
- hydrophobe 8
- ionique 8
Isoleucine 98
Isomaltose 16
Isomérase 158
Isomérisation 12
- de constitution 10
Isopentényl-pyrophosphate 122
Isoprène 22
- activé 122
- unités 24
Isoprénoïde 25

Jaunisse 156

Krebs, Hans 60

Lactate 40
Lactose 16
L-carnitine-acylcarnitine translocase 106
LDL (*Low Density Lipoprotein*) 132
Lécithine cholestérol acyl-transférase (LCAT) 126
Legal (réaction de) 119
Lésion hépatique 66
- diagnostic 66
- lésion cellulaire 67
Leucémie (thérapie de la) 146
Leucine 90, 98
Liaison chimique
- classification 8
Liaison covalente 8
Liaison hydrogène 8, 20
Liaison ionique 8
Liaison peptidique 20
Libérine 166
Lineweaver-Burk (représentation de) 160
Linoléique (acide) 22, 112, 114

Linoléique (acide) 22, 112
 Lipase 102
 - activité 104
 - pancréatique 104
 Lipide 22, 102
 - à l'interface 23
 - membranaire 120
 - métabolisme 100
 - structure 22
 Lipidose 134
 Lipoamide 56
 Lipogenèse 102
 Lipolyse 102
 - sang 102
 - intestin 102
 - tissu adipeux 102
 Lipo-oxygénase 134
 Lipoprotéine
 - métabolisme 133
 Loi d'action de masse 13
 Lysine 90
 Lysosome 176

Macro-élément 168
 Magnésium 170
 Maladie de Forbes 50
 Malique (enzyme) 64
 Malonyl-CoA 112
 Maltose 16
 Mc Ardle (maladie de) 50
 Médiateur 162
 Membrane 122
 Membrane cellulaire 176
 - protéine membranaire 177
 Ménaquinone (Vit K₂) 131
 Méso (composés) 14
 Mésomérie 20
 Messenger 26
 Métabolisme des lipides
 - perturbations 133
 Métabolisme énergétique 26
 - aérobie 176
 Méthémoglobine 78
 Méthionine 89
 Méthode à l'hexokinase 52
 Mévalonate 122

Micelle 22
 Michaelis (constante de) 160
 Michaelis-Menten
 (équation) 160
 Minéraux 168
 Mitochondrie 176
 - matrice 56
 Mono-oxygénase 124
 Monosaccharide 17, 32
 Monoxyde de carbone 80
 Mutarotation 14
 Myoglobine 150

NADH déshydrogénase 70
 Navette
 - aspartate 76
 - malate 41, 76, 116
 - malate-aspartate 76
 Nicotinamide 175
 Nitroprussiate de sodium 118
 Nombre d'oxydation 10
 - formel 11
 Nomenclature D/L 14
 Nomenclature enzymatique EC
 (*Enzyme Classification*) 159
 Nomenclature R/S 12
 Noyau 176
 Nucléoside 26
 - synthétique 146
 Nucléotide 26, 28
 - cofacteur 29
 Nucléotide purique 142
 Nucléotide pyrimidique
 - catabolisme 142

Octet (règle de l') 8
 Oléique (acide) 112
 Oligo-élément 168
 Oligomycine 74
 Ornithine 18, 86, 94
 Orotidine monophosphate
 (OMP) 140
 Oxaloacétate 40, 60, 92
 β-Oxydation 106
 - régulation 108

Oxydation phosphorylante 68
 Oxydoréductase 158

Palmitique (acide) 23, 112
 Palmitoléique (acide) 112
 Pantothénique (acide) 175
 Parathormone 166
 Pénicilline 96
 Pentose 16
 Pentoses phosphate (voie
 des) 44
 - régulation 44
 PEP carboxykinase 42
 Peroxysome 176
 pH 12
 Phénylalanine 88
 Phénylalanine hydroxylase 96
 Phénylcétonurie 96
 Phényléthylamine 96
 Phénylpyruvate 96
 Phosphate 170
 Phosphatidate 102
 Phosphatidyle (dérivé du) 128
 Phospholipase A, B, C 128
 Phospholipide 122, 128
 - biosynthèse 128
 - catabolisme 128
 Phosphorique (acide) 22
 Phosphorylation
 - réversible 58
 Photo-oxydation 130
 Phylloquinone (Vit. K₃) 131
 Piège à radicaux libres 44
 pK_a 12
 pK_b 12
 Point isoélectrique 18
 Polysaccharide – Hétéro-
 glycane 17
 Polysaccharide 32
 Porphyrine 150
 Potassium 168
 Pouvoir tampon 13
 Principe de la clé et de la
 serrure 160
 Projection de Fischer 14

Index

- Proline 84, 90
Propionate 142
Prostaglandine 135
Prostaglandine E₂ 134
Protéine
 - de transport 104
 - élément de construction 20
 - enzyme 20
 - fonctions 20
 - pore 20Protéoglycane 16
Purine 26
 - biosynthèse 138
 - catabolisme 142
 - métabolisme 136
 - régulation 140Pyranose 16
Pyridoxal (phosphate de) 86
Pyridoxine 175
Pyrimidine 26
 - biosynthèse 139
 - catabolisme 143
 - métabolisme 136Pyrophosphokinase 140
Pyrrole (noyau) 150
Pyruvate 34
Pyruvate carboxylase 42, 64
Pyruvate déshydrogénase (complexe) 56
Pyruvate déshydrogénase (réaction de la) 56
 - régulation 58**R**amification (enzyme de) 36
Réaction enzymatique 159
Réaction glucose oxydase
 - peroxydase 52Récepteur
 - à l'acétylcholine 165
 - à l'adrénaline 165
 - à l'insuline 163
 - canal 162
 - couplé aux protéines G 162
 - tyrosine kinase 162Recyclage (voie de) 142
Redox (réaction) 11, 17
 - régulation 171Réticulum endoplasmique 176
 - lisse 177
 - rugueux 177Rétinal 131
Rétinol (ester de) 131
Rétinol-tout-*trans* 131
Rétrocontrôle négatif 166
Rhodanase 78
Ribavirine 146
Riboflavine 175
Ribose 16
Ribosome 176
Rofécoxib 135
Saccharide de réserve 36
Saccharose 16
S-adenosylméthionine (S-AdoMet) 89
Second messager 26, 164
Sérine 86, 90, 128
Sirop d'érable (maladie du) 98
Sodium 168
Sorbitol 16
Sphingolipide 25
Sphingophospholipide 24
Sphingosine 22, 130
Squalène 124
Stéarique (acide) 112
Stéatose hépatique 118
Stérane 24, 122
Stercobiline 154
Stercobilinogène 154
Stéroïsomérie 12
Stéroïde 126
 - gonade 126
 - surrénale 126Structure atomique 9
Structure protéique 21
Succinate déshydrogénase 60, 62, 70
Sucre 14, 22
Symport à protons 56
Symport pyruvate/H⁺ 116
Syndrome de Lesch-Nyhan 144
Synthase (Lyase) 158
Synthétase (Ligase) 158
Système
 - rénine-angiotensine 170Système tampon 12
Tableau périodique 9
Terpène 24
TG-lipase (*HSL : Hormone Sensitive Lipase*) 104
Thérapie tumorale 146
Thermogénine 80
Thiamine 172
 - carence en 66Thiamine pyrophosphate 56
Thiocyanate 78
 - formation de 79Thioester 102
Thiosulfate 78
Thréonine 90
Thromboxane 134
Thymine 26
Thyroïde
 - système de contrôle hormonal 167Tissu adipeux 104
 - α -Tocophérol (Vit. E) 131Transaldolase 46
Transamination 18
Transcétolase 46
Transférase 158
Transporteur d'acides tricarboxyliques 62, 116
Triglycéride (TG) 24, 102, 118
 - biosynthèse 102
 - catabolisme 102Tryptophane 90
Tyrosinase 96
Tyrosine 88
Ubiquinone 72
UDP-galactose 46
UDP-glucose 36, 46

Urate de sodium 144

Urée

- biosynthèse 64, 94
- coût énergétique 92

Urée (cycle de l') 92

- régulation 94

Uridine monophosphate
(UMP) 140

Uridine triphosphate
(UTP) 140

Urique (acide) 142, 144

Urobiline 154

Urobilinogène 154

Valine 98

Vision 130

Vitamine 172

- carence 56
- hydrophile 172
- hydrosoluble 172, 175
- lipophile 172
- liposoluble 130, 172

Vitamine A 130, 173

Vitamine B₁ 166, 173

Vitamine B₁₂ 175

Vitamine B₆ 175

Vitamine C 88, 173

Vitamine D 130, 173

Vitamine E 131, 173

Vitamine K 131, 173

von Gierke (maladie de) 50

Xanthine oxydase 144



Une présentation **synthétique** et **illustrée en couleur** de l'ensemble des réactions métaboliques

Soutenu par une **riche iconographie**, cet ouvrage présente **la biochimie métabolique de façon didactique**. Il organise la biochimie métabolique selon des schémas détaillés dans lesquels le lecteur s'oriente aisément grâce à des **graphiques synoptiques** en tête de chaque chapitre et à un astucieux **système de guidage en couleur** dans les marges.

- Une synthèse des connaissances sous forme de **fiches**
- Un **outil de révision** pour les concours et les examens
- Un ouvrage **concis**, pratique à transporter

L'ouvrage trouvera son public parmi les étudiants de Licence, de PACES et tous ceux préparant des concours.

Traduction de l'édition allemande par Philippe Brion, Normalien, Docteur en Biochimie, Professeur Agrégé de Biochimie en Classes Préparatoires.

ISBN : 9782804171476



9 782804 171476

MEYERROGGE