Document téléchargeable sur le site https://www.svt-tanguy-jean.com/

Chapitre 8

Les constituants chimiques du vivant
Proposition de fiche de synthèse

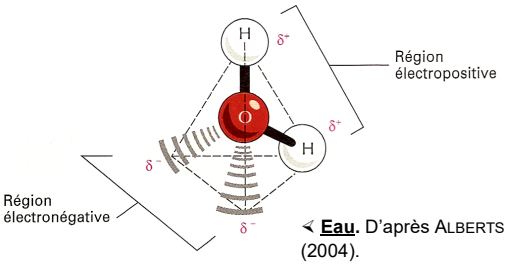
I. Organisation atomique et moléculaire du vivant

A. Le vivant : une composition atomique originale sur le globe terrestre

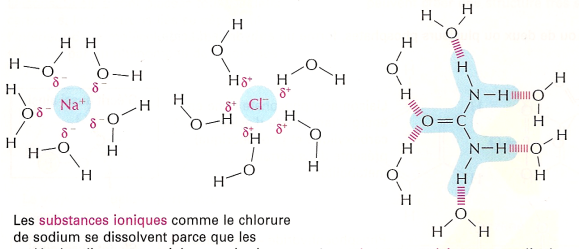
- Plus de **95 % de la matière vivante** en masse : **macroéléments** = **carbone C**, **oxygène O**, **azote N**, **hydrogène H**
- Et aussi : **oligoéléments** (entre 0,3 % et 1,3 %) et **micro-éléments** (traces : < 0,01 %)
  → État : **dissous et ionisés** (« sels minéraux » au sens strict) + **complexés** aux molécules organiques

B. Composition moléculaire du vivant

- **Eau = 70 % au moins** du volume cellulaire | **Molécules organiques (glucides, lipides, protides, nucléotides et acides nucléiques)** | **Ions minéraux**
- Notion de **polymère** = ***grande molécule composée de la répétition de petites molécules [monomères] identiques ou semblables liées entre elles par des liaisons covalentes***.
  → **Homopolymère** : ***monomères identiques*** (ex. amidon, cellulose…)
  → **Hétéropolymère** : ***monomères différents*** (ADN, ARN, protéine) >> **séquence** (***ordre d'enchaînement des monomères***)
- **Importance de l'eau liquide**
  → **Solvant du vivant** car **molécule abondante**, **polaire** (← **charges partielles**) capable de se lier par **liaisons faibles** (notamment des **liaisons H**) à d'autres **molécules polaires** ou à des **ions**.
  ° Existence de **molécules hydrophiles** (polaires ou chargées) / **hydrophobes** (apolaires) / **amphiphiles**
  >>> Les **molécules hydrophobes se regroupent** de manière à échapper à l'eau (**interactions hydrophobes**).
  → **Propriétés physiques biologiquement importantes**
  ° **Liquide cohérent**, avec importante **tension superficielle** ($7{,}3 \times 10^{-2}$ N × m^{-1}, contre éthanol $2{,}23 \times 10^{-2}$ N × m^{-1})
  ° **Liquide qui s'évapore difficilement**, ce qui facilite la **préservation de l'eau liquide** en toutes saisons : **chaleur de vaporisation élevée** (2,26 kJ × g^{-1}, contre éthanol 0,85 kJ × g^{-1})
  ° **Tampon thermique** qui change de température seulement avec un grand apport d'énergie : **haute chaleur spécifique** (4,18 J × g^{-1}, contre éthanol 2,45 J × g^{-1})
  ° **Fluide incompressible** : **pression / tension** > mise en **mouvement** ; rôle **structural**, rôle dans l'**auxèse**…
  → **Propriétés chimiques**
  ° **ionisable** (H_3O^+, HO^-) → **réactions acidobasiques**
  ° **réactif** de beaucoup de réactions (> permet l'**hydrolyse** de molécules)
  ° **produit** de nombreuses réactions (par exemple lors de **polymérisations**)
  ° rôle dans la **croissance**, le **mouvement**…



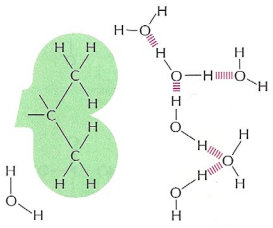
Eau. D'après ALBERTS *et al.* (2004).



Les substances ioniques comme le chlorure de sodium se dissolvent parce que les molécules d'eau sont attirées vers la charge positive (Na^+) ou négative (Cl^-) de chaque ion.

Les substances polaires comme l'urée se dissolvent parce que leurs molécules forment des liaisons hydrogène hybrides avec les molécules d'eau qui les entourent.

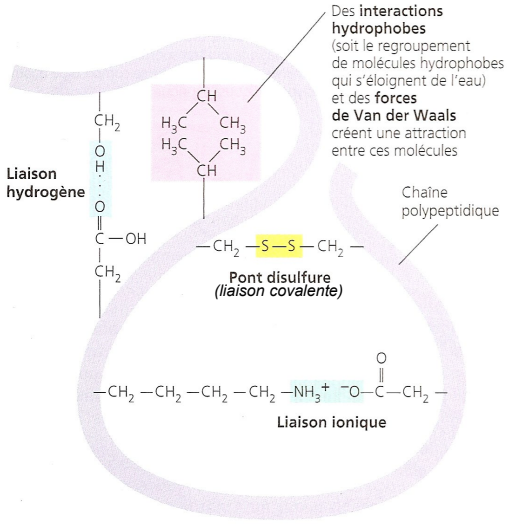
Hydrophilie. D'après ALBERTS *et al.* (2004).



Hydrophobie. D'après ALBERTS *et al.* (2004).

C. Importance biologique des liaisons chimiques

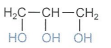
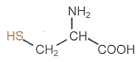
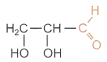
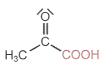
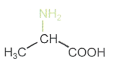
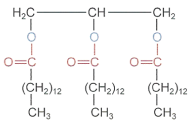
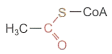
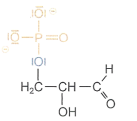
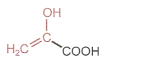
→ **Liaisons covalentes** = ***liaisons fortes (quelques centaines de kJ/mol) dues à une mise en commun d'électrons entre atomes*** :
° **stables** en conditions biologiques ; **faible longueur**
° **issues** et/ou **à l'origine** des **réactions biochimiques**
° responsables de la **polarité des molécules** >> **hydrophilie**, ou au contraire de leur **apolarité** >> **hydrophobie**
° pouvant autoriser la **mésomérie** > **électrons** hautement **délocalisables**, capacité d'absorber des **rayonnements**
→ **Liaisons faibles (quelques dizaines de kJ/mol)** : **liaisons hydrogène**, **liaisons ioniques**, **interactions de VAN DER WAALS**, **interactions hydrophobes** :
° **solubilisation** des **ions** et **molécules polaires** [**liaisons H**]
° **regroupement** des **molécules hydrophobes** [**interactions hydrophobes**]
° **conformation** des **petites molécules** [**interactions de vdW**]
° **liaisons intramoléculaires** entre **monomères** d'un **polymère**, par exemple **conformation** d'une protéine [**liaisons diverses**]
° **liaisons intermoléculaires** des **édifices supramoléculaires**, par exemple microfibrilles de cellulose, complexe protéique association des brins d'ADN… [**liaisons diverses**]
° **interactions transitoires protéine-ligand** dans les **récepteurs**, les **enzymes**… [**liaisons diverses**]



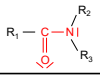
Principales liaisons entre AA dans une protéine. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

D. Les principales fonctions organiques biologiques et leurs propriétés

Tableau VIII. Quelques fonctions organiques présentes dans les molécules biologiques et citées par le programme.
D'après Perrier, Beaux *et al.* (2014), corrigé.

Nom de la fonction	Nom de la molécule	Formule générique	Exemple
alkyle	-	R—$[CH_2]_n$—CH_3	acide laurique (acide gras) :
hydroxyle	alcool	R—OH	glycérol (polyol) : 
sulfhydryle	thiol	R—SH	cystéine (acide α aminé) : 
carbonyle	aldéhyde		glycéraldéhyde (ose) : 
	cétone		dihydroxyacétone (ose) :
carboxyle*	acide carboxylique		pyruvate : 
amine*	amine		alanine (acide α aminé) : 
ester, thioester, phosphoryle	ester		triglycéride (lipide) : 
	thioester		acétyl-Coenzyme A : 
	phospho-	phosphate	glycéraldéhyde-3-phosphate (ose phosphorylé) : 
énol	énol		énolpyruvate (isomère du pyruvate) : 

* Les fonctions carboxyle et amine confèrent une réactivité acido-basique aux molécules qui les portent, et la forme majoritaire protonée ou non dépend du pH (voir figure 8.4). En biochimie, on a souvent coutume de nommer les acides carboxyliques par le nom de la base conjuguée carboxylate, majoritaire à pH 7. Le *pyruvate* présenté dans le tableau est en toute rigueur un *acide pyruvique*.

amide	**amide**		ex. dans liaison peptidique

Des fonctions déterminant les propriétés chimiques des molécules (hydrophilie, solubilité, ionisation)

Hydrophilie ou hydrophobicité + solubilité

→ **groupements ioniques/ionisés** ou **polaires** ⇒ **liaisons H** avec l'eau ⇒ **hydrophiles** [→ solubles dans l'eau]
Ex. **alcools**, **cétones**, **aldéhydes**, **amines**, **phosphoryles**…
→ **groupements apolaires** ⇒ pas de ~~**liaisons H**~~ avec l'eau ⇒ **hydrophobes** [→ non solubles dans l'eau]
Ex. **alkyles**, **cycles hydrogénocarbonés**, en partie les **thiols**, **esters**…

Ionisation

Fonctions **ionisables** : **acides carboxyliques**, **amines**, **acides phosphoriques** (et même parfois les **thiols**)
+ dépend du **pK_A** et du **pH**

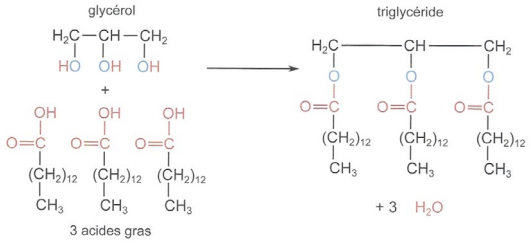
Principales réactions (avec exemples) :

- **réaction acido-basique** = ***réaction au cours de laquelle un acide libère un ou des protons captés par une base***

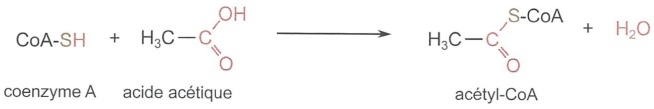
$$R–NH_2 + H_2O \rightleftharpoons R–NH_3^+ + HO^-$$

$$R–COOH + H_2O \rightleftharpoons R–COO^- + H_3O^+$$

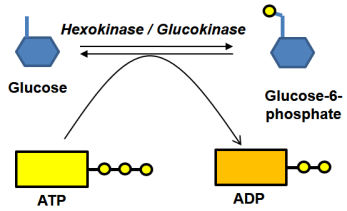
- **estérification** = ***réaction entre le groupement carboxyle d'un acide carboxylique R–COOH et le groupement hydroxyle d'un alcool R'–OH formant un ester R – COO – R)*** [avec production d'**eau**]



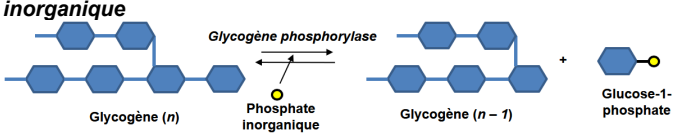
- **thioestérification** = ***l'acide carboxylique réagit avec le groupement sulfhydryle d'un thiol, aboutissant à un thioester*** [avec production d'**eau**]



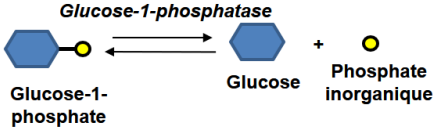
- **phosphorylation** [kinase] = ***réaction d'un acide phosphorique et d'un groupement OH provenant soit d'un alcool, soit d'un acide carboxylique, et aboutissant à la formation d'une molécule nouvellement phosphorylée*** ; cas le plus fréquent : ***transfert de phosphate d'une molécule à une autre*** = **transphosphorylation** = **phosphorylation au niveau du substrat**



- **phosphorolyse** [phosphorylase] = ***lyse d'une liaison covalente – souvent entre des oses – par incorporation d'un phosphate inorganique***



- **déphosphorylation** [phosphatase] = ***hydrolyse d'une liaison covalente entre un phosphate et une autre molécule***



- **oxydoréduction** = ***réaction chimique au cours de laquelle s'effectue un transfert d'électrons depuis un composé nommé réducteur vers un composé nommé oxydant***

Un alcool primaire R–OH peut être oxydé en carbonyle selon la demi-équation :

$$R–CH_2–OH = R–CH=O + 2\,H^+ + 2\,e^-$$

De même, un aldéhyde peut être oxydé en acide carboxylique selon la demi-équation :

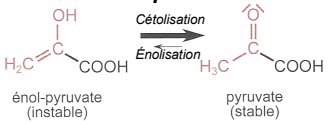
$$R–CH=O + H_2O = R–COOH + 2\,H^+ + 2\,e^-$$

Enfin, un alcane peut être oxydé en alcène selon la demi-équation :

$$R_1–CH_2–CH_2–R_2 = R_1–CH=CH–R_2 + 2\,H^+ + 2\,e^-$$

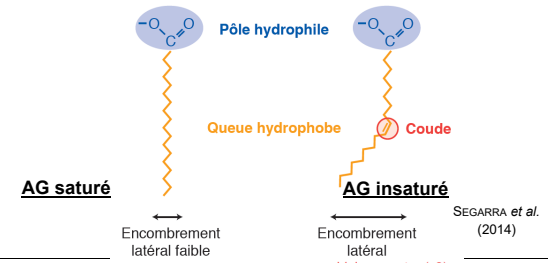
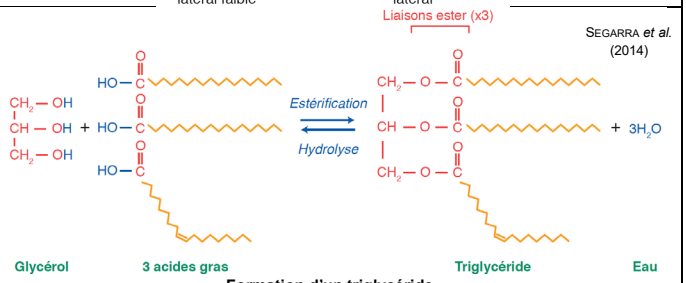
L'ensemble de ces fonctions a donc une grande importance dans les processus oxydants (respiration par exemple) ou réducteurs (photosynthèse et chimiosynthèse par exemple).

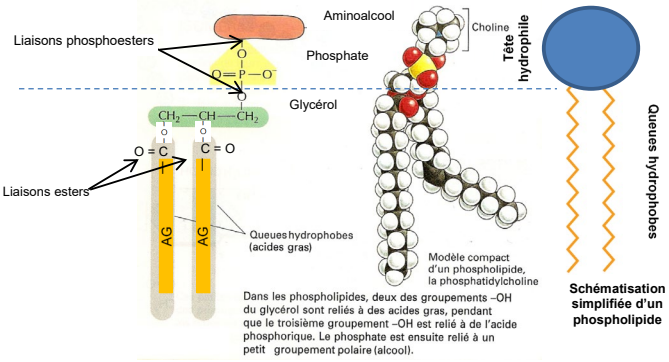
- **équilibre céto-énolique** = ***tout composé de type énol (instable) tend à s'isomériser spontanément en cétone (très stable), même si la forme énol demeure en faible quantité***

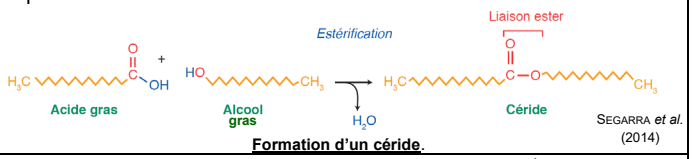


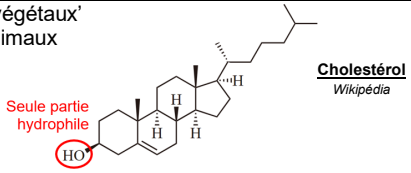
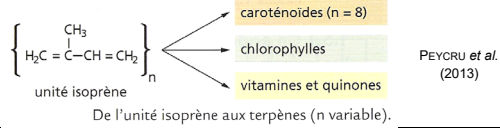
II. Les lipides

[*Coloration au **Rouge Soudan III** ou au **tétraoxyde d'osmium***]

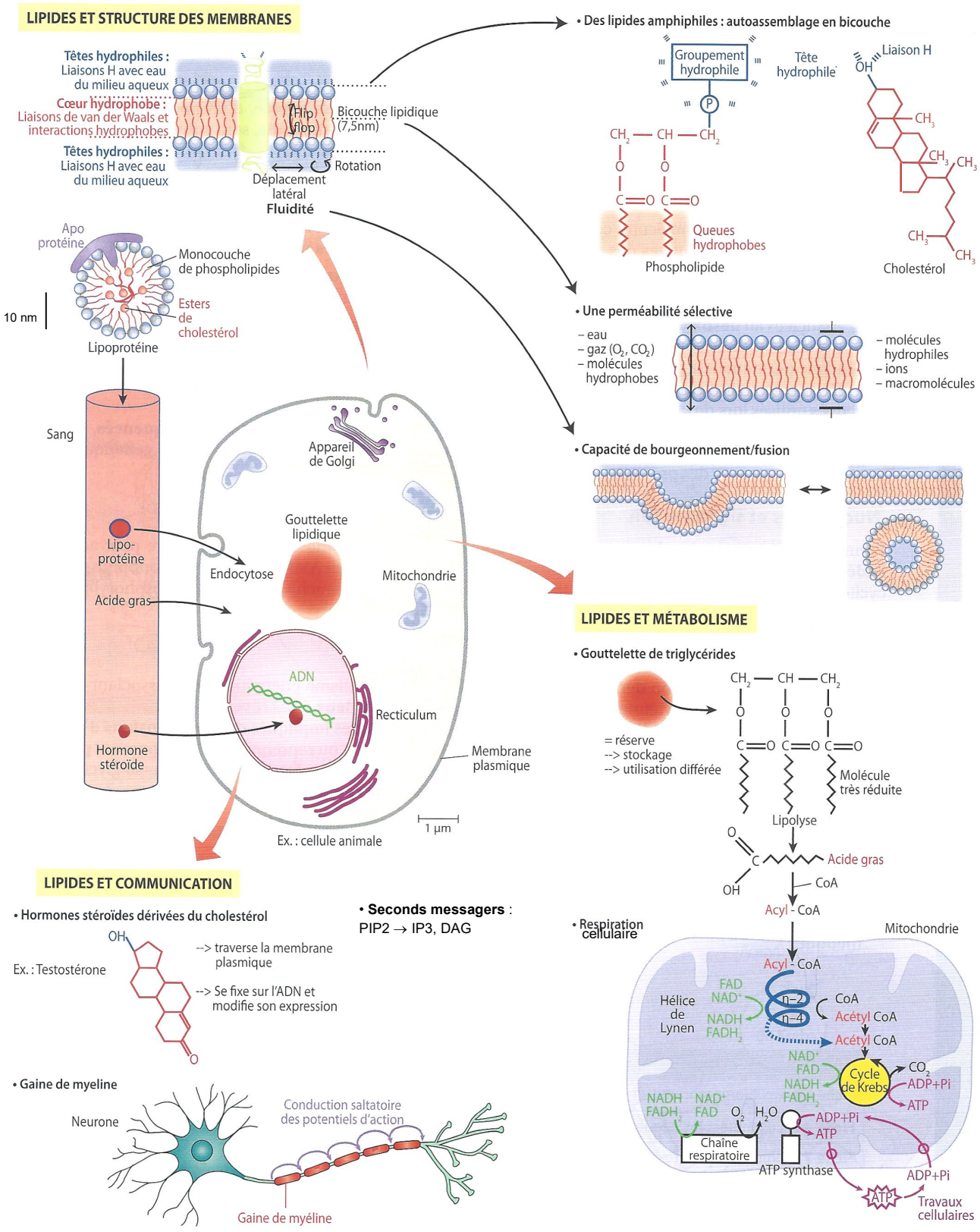
<table>
<tr><th colspan="3">Lipides = « graisses »
Molécules organiques en partie ou en totalité hydrophobes [apolarité due à des zones hydrogénocarbonées sans fonctions organiques]</th></tr>
<tr><th colspan="2">Groupes principaux</th><th>Fonctions principales</th><th>Exemples</th></tr>
<tr><td colspan="2"><u>Acides gras AG</u> (acides carboxyliques)
Longue chaîne hydrogénocarbonée (apolaire → queue hydrophobe) dont une extrémité porte un groupement acide carboxylique (polaire → hydrophile)
> <u>saturés AGS</u> (pas de double liaison)
> <u>insaturés AGI</u> (au moins une double liaison = insaturation)</td><td>* Précurseurs d'autres lipides (ou d'autres molécules organiques)
* Substrats énergétiques</td><td>Acide palmitique, acide arachidonique, acide linoléique…
 
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Esters</td><td><u>Triglycérides</u>
Triesters d'AG et de glycérol.
NB Les 3 AG peuvent être identiques ou non.
NB Les fonctions hydrophiles sont neutralisées >> molécule très hydrophobe.</td><td>* Molécules de réserve [dans gouttelettes lipidiques]
→ leur hydrolyse libère des AG utilisables dans la production d'énergie
* Rôle protecteur mécanique, voire d'isolant thermique (Mammifères : tissu adipeux)</td><td> 

<u>Formation d'un triglycéride</u>.</td></tr>
<tr><td><u>Phospholipides</u>
Lipides amphiphiles avec une tête hydrophile comprenant toujours une unité phosphate, et deux longues queues hydrophobes (liées au glycérol par des liaisons ester)
> <u>Phosphoglycérolipides</u> (formés à partir de glycérol)
> <u>Sphingolipides = sphingophospholipides</u> (formés à partir de sphingosine)</td><td>* Principaux constituants des membranes en lien avec leur amphiphilie.
NB Plus le nombre d'insaturations augmente dans les AG des phospholipides, plus la fluidité membranaire augmente.
* Quelques composés à fonction informative</td><td> 

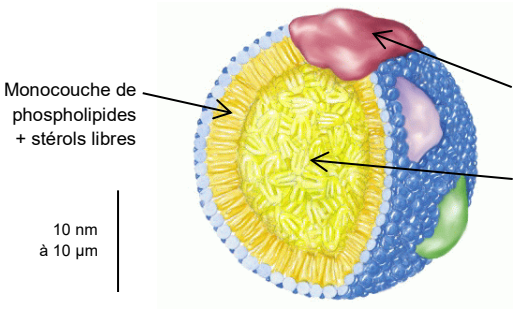
→ <u>Glycolipides</u> (= phospholipides portant un oligoside) permettant la reconnaissance entre cellules
→ Le PIP2 permet la formation de seconds messagers (IP3, DAG)</td></tr>
<tr><td><u>Cérides</u>
Monoesters d'AG saturés et d'alcools gras (= alcools à longue chaine carbonée).
NB Existence de polymères en réseaux : subérine, cutine</td><td>* Très hydrophobes >> rôle protecteur et imperméabilisant</td><td>° Animaux : cire d'abeille, revêtements des plumes d'oiseaux, revêtements des téguments animaux…
° 'Plantes' : cutine (et autres cérides) formant la cuticule, subérine imperméabilisant certains tissus…
 

<u>Formation d'un céride</u>.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Autres lipides : <u>terpénoïdes</u> au sens large [= <u>isoprénoïdes</u> s. l.]
Tous les composés dérivant d'unités isoprènes condensées.</td><td rowspan="2"><u>Stérols</u>
Lipides dont la base est un noyau à quatre cycles hydrogénocarbonés + un groupement alcool hydrophile
[Amphiphiles]</td><td>* Importants constituants membranaires : diminuent la fluidité
* Possibilité de mise en réserve / transport dans des gouttelettes lipidiques / lipoprotéines sous forme estérifiée par un acide gras (stéride)</td><td>° Phytostérols chez les 'végétaux'
° <u>Cholestérol</u> chez les Animaux
 
</td></tr>
<tr><td>* Communication : <u>hormones stéroïdes</u> (dérivées du cholestérol)</td><td>° Hormones sexuelles : testostérone, œstrogènes, progestérone…
° Hormones du stress : cortisol, cortisone…</td></tr>
<tr><td><u>Terpènes</u>
Autres dérivés isopréniques</td><td colspan="2">* <u>Pigments végétaux</u> : chlorophylles, caroténoïdes
* Transporteurs d'électrons (rôle métabolique : oxydoréduction) : <u>quinones</u>
* <u>Phytohormones</u> : gibbérellines
* Diverses <u>vitamines</u> (molécules nécessaires en faible quantité au métabolisme d'un hétérotrophe, devant être apportées au moins en partie par l'alimentation)
 

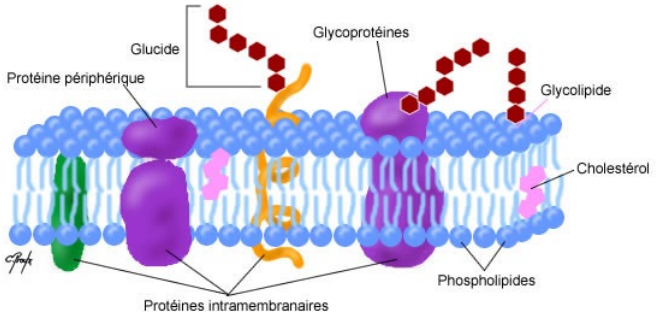
De l'unité isoprène aux terpènes (n variable).</td></tr>
</table>



Importance biologique des lipides. D'après SAINTPIERRE, BORDI *et al.* (2021), corrigé.



Organisation d'une gouttelette lipidique chez les Mammifères.

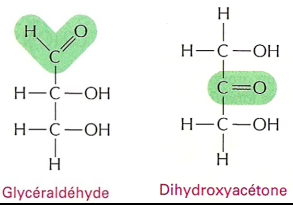
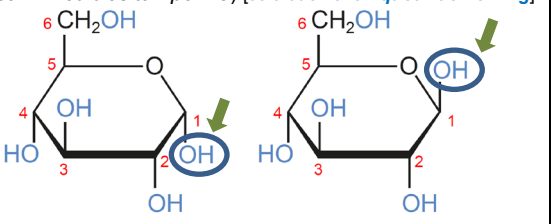
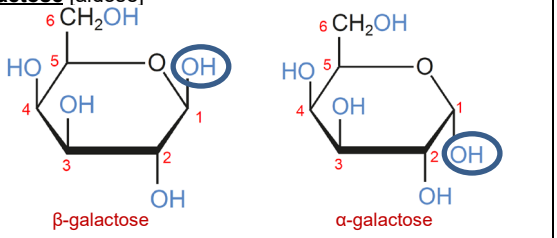
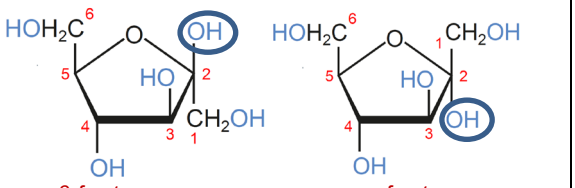
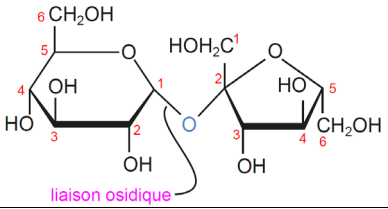
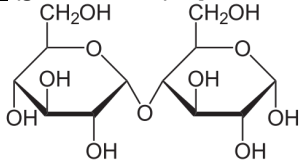


La membrane plasmique, un exemple de membrane biologique.

III. Les glucides

<table>
<tr><th colspan="3">Glucides = hydrates de carbone = saccharides = « sucres »
Molécules organiques comprenant les oses (de formule $C_nH_{2n}O_n$), leurs composés et leurs dérivés.</th></tr>
<tr><th colspan="2">Groupes principaux</th><th>Fonctions principales</th><th>Exemples</th></tr>
<tr><td rowspan="3"><u>Oses</u> [Monosaccharides = sucres simples]
Polyalcools avec une fonction aldéhyde (aldoses) ou cétone (cétoses) de formule $C_nH_{2n}O_n$
(n compris entre 3 et 8).

NB Composés très réactifs, « riches en énergie ».

NB Cyclisation spontanée des pentoses et hexoses.</td><td>Trioses (n = 3)</td><td>* Précurseurs métaboliques
* Substrats énergétiques…</td><td>Aldose : Cétose :
 
Glycéraldéhyde Dihydroxyacétone
Alberts et al. (2004)</td></tr>
<tr><td>Pentoses (n = 5)</td><td>* Précurseurs métaboliques, notamment des nucléotides…</td><td><u>Ribose</u>, <u>désoxyribose</u> → voir acides nucléiques</td></tr>
<tr><td>Hexoses (n = 6)</td><td>* Substrats énergétiques majeurs
* Précurseurs métaboliques
* Transport glucidique dans l'organisme mammalien</td><td>° <u>Glucose</u> [aldose] réducteur, possibilité de transport dans le sang car milieu très tamponné) [coloration à la liqueur de Fehling]
 
glucose α glucose β
Perrier, Beaux et al. (2021)
° <u>Galactose</u> [aldose]
 
β-galactose α-galactose
° <u>Fructose</u> [cétose]
 
β-fructose α-fructose</td></tr>
<tr><td colspan="2"><u>Dérivés d'oses</u>
Oses dont une ou plusieurs fonctions organiques ont été modifiées.
<u>Hétérosides</u>
Oses condensés avec une substance non glucidique (nommée aglycone ou génine).
NB La nuance entre les deux termes est ténue…</td><td>* Précurseurs métaboliques, notamment de polymères
* Fonctions variées (par ex. défenses pour certains hétérosides végétaux)</td><td>Glucosamine, Nucléoside…</td></tr>
<tr><td rowspan="3"><u>Osides = holosides</u>
= de deux à une multitude d'oses (ou dérivés d'oses) associés par liaison covalente.</td><td rowspan="2">Diosides [Diholosides = Disaccharides = sucres doubles]
(2 monomères)</td><td>* Transport glucidique chez les Angiospermes (dioside non réducteur)</td><td>° <u>Saccharose</u> (glucose α1 – fructose β2)
Fonction réductrice du glucose neutralisée suite à la liaison.
 
liaison osidique
Perrier, Beaux et al. (2021)</td></tr>
<tr><td>* Substrats énergétiques (diosides réducteurs)</td><td>° <u>Maltose</u> (glucoses α1-4)… [Lactose dans le lait]
 
Maltose</td></tr>
<tr><td>Oligosides [Oligosaccharides]
(quelques monomères)</td><td>* Reconnaissance entre cellules (rôle informatif)
* Transport glucidique chez les Angiospermes</td><td>→ Chaînes glucidiques des glycoprotéines et glycolipides

→ Raffinose, stachyose, verbascose…</td></tr>
</table>

Osides = holosides (Suite)

Polyosides [Polyholo-sides = Polysaccha-rides] (*n* monomères)

1/ Cas où les monomères sont seulement des oses

a) Homopolyosides

*** Stockage glucidique**

>> La polymérisation permet :
*° le stockage en **grande quantité** des **monomères***
*° la **réduction** importante de la **pression osmotique** par rapport aux **monomères isolés***
*° la **diminution** de la **réactivité** de la molécule (**extrémités non réductrices**)*

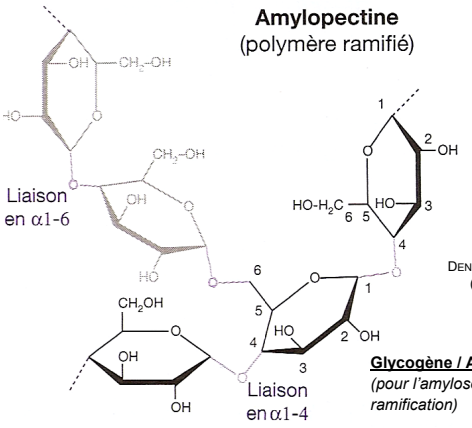
*>> des **liaisons H** entre monomères **stabilisent** l'édifice*

*>> Les **liaisons α** induisent une **légère rotation** de la chaîne, ce qui favorise la **condensation** de la molécule et donc le stockage*

*>> Les **ramifications**, quand elles existent, favorisent aussi la **condensation** et donc le stockage*

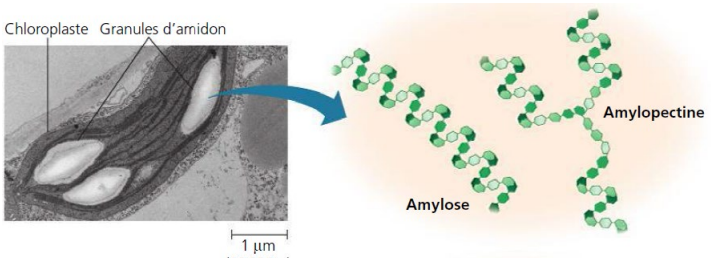
Polymères de glucose [*Coloration au **Lugol/eau iodée***]
° **Amidon** : **amylose** (linéaire hélicoïdal : **glucoses en α1-4**) et **amylopectine** (glucoses en α1-4 avec **ramifications en α1-6**, tous les 12-30 résidus) → ex. Angiospermes (plastes)
° **Glycogène** (**glucoses en α1-4** avec **ramifications en α1-6**, tous les 8-12 résidus) → ex. Mammifères (cytosol : rosettes)

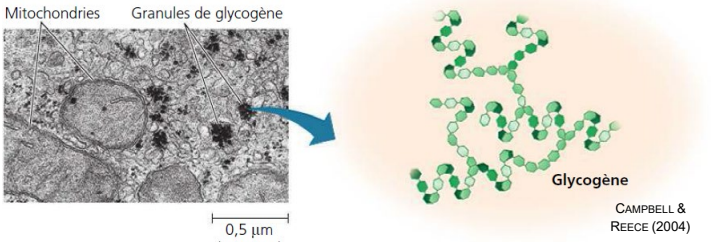
Amylopectine
(polymère ramifié)



DENŒUD *et al.* (2013)

Glycogène / Amylopectine
(pour l'amylose : idem sans ramification)





CAMPBELL & REECE (2004)

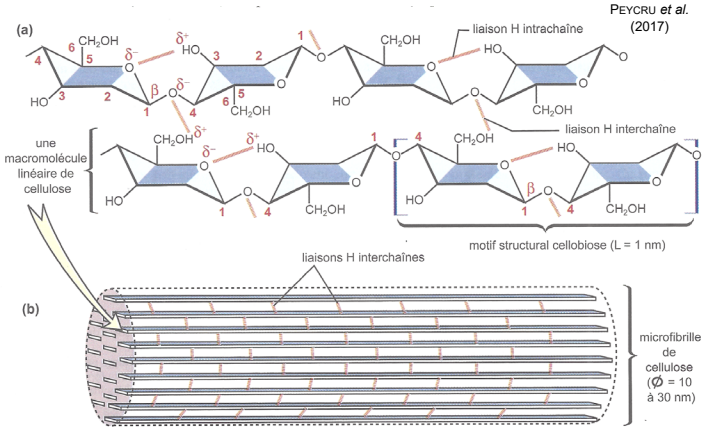
*** Rôle structural**

*>> Exemple de la **cellulose***

*° **linéarité** permise par les **liaisons bêta***
*° formation de **microfibrilles** : **80-120 celluloses superposées** liées par des **liaisons H** [Au sein des microfibrilles : disposition des celluloses en **feuillets** visibles en microscopie électronique]*
*° **stabilisation** de l'édifice par des **liaisons intrachaînes** et **interchaînes***
*° résistance aux **forces de tension***
*° polymérisation → **faible pouvoir osmotique***

° **Cellulose** : polymère linéaire rectiligne de **glucoses en β1-4**, sans ramifications → paroi végétale. [*coloration au **carmin acétique***]
[**Cellobiose** : *motif disaccharidique de base*]

PEYCRU *et al.* (2017)



*** Rôles variés**

° **Callose** (Glucoses en β1-3, ramifications en β1-6) :
- Obturation de plasmodesmes, ou encore des cribles à la mauvaise saison
- Croissance du tube pollinique
- Paroi fongique

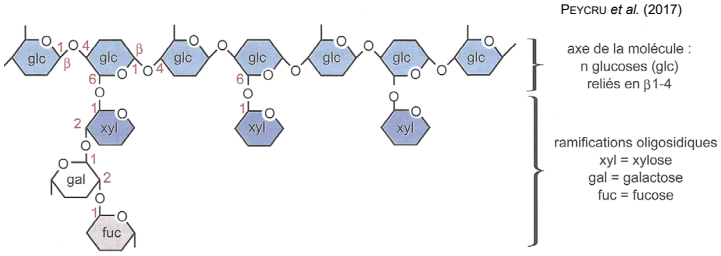
b) Hétéropolyosides

*** Rôle structural**

*>> Exemple des **hémicelluloses** : se lient de manière non covalente (**liaisons H**) à la surface des **microfibrilles de cellulose** qu'elles permettent de relier entre elles, et de relier aux **pectines**.*

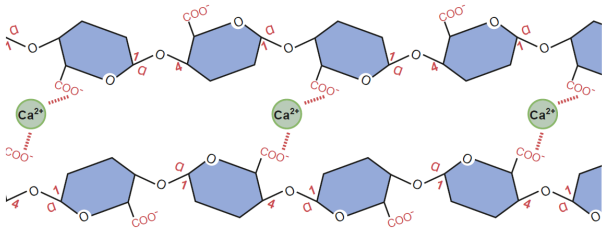
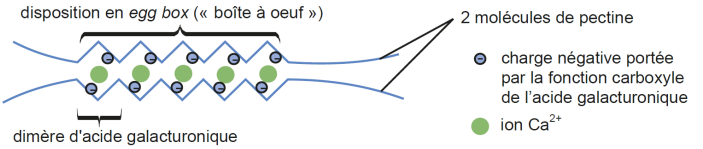
° **Hémicelluloses** : **squelette linéaire** de **glucoses en β1-4**, portant sur certains carbones 6 de **courtes chaînes latérales d'oses** très variables.

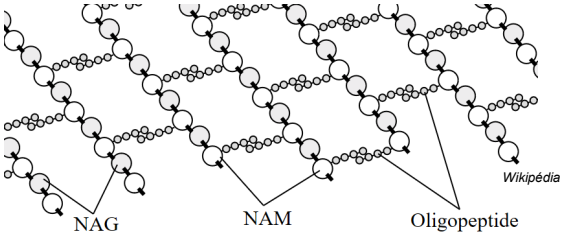
PEYCRU *et al.* (2017)

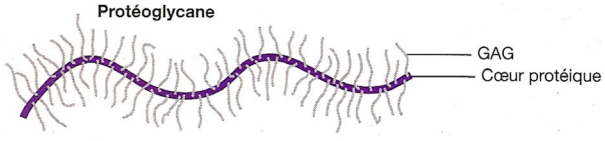


<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Polyosides
[Polyholo-sides =
[Polysaccha-rides]
(n monomères)

<u>2/ Cas où les monomères sont des oses ET des dérivés d'oses, ou seulement des dérivés d'oses</u></td><td>a) Homo-</td><td rowspan="2">* Rôle structural
(Composés de matrices extracellulaires)

NB Pectines et GAG :
° rôle gélifiant
° résistance aux forces de compression
° élasticité</td><td>° <u>Chitine</u> (N-actéylglucosamines liées en β1-4) → paroi fongique, cuticule des Arthropodes
Seul glycoasminoglycane (GAG) homogène</td></tr>
<tr><td>b) Hétéropolyosides</td><td>° <u>Pectines</u> : polymère hétérogène comprenant notamment de l'acide polygalacturonique (chargé – au pH légèrement acide de la paroi végétale) dont les secteurs non méthylés forment des domaines en boîte à œufs en prenant en sandwich l'ion calcium.
PERRIER, BEAUX et al. (2021)
 
<u>Structure moléculaire de l'acide polygalacturonique montrant les ponts de Ca^{2+} interchaînes</u>
 

<u>Organisation en boîte à œufs (en dents de scie) des pectines</u>
= Ions calcium Ca^{2+} pris en « sandwich » entre les deux chaînes
La présence de charges négatives et d'ions calcium fait des pectines des substances très hydrophiles et donc fortement hydratées
→ principal agent GÉLIFIANT de la <u>paroi végétale</u> [du gr. pektos, hydraté]</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>° <u>Glycosaminoglycanes (GAG)</u> = Mucopolysaccharides : chaînes linéaires (polymères non ramifiées) composées de la répétition d'un diholoside de base contenant toujours une hexosamine (glucosamine ou galactosamine) et un ose (acide glucuronique, acide iduronique, galactose).
La glucosamine est soit N-sulfatée, soit N-acétylée.
Ces molécules riches en charges négatives attirent l'eau et en permettent la rétention
→ principal agent GÉLIFIANT des <u>matrices extracellulaires animales</u>.</td></tr>
<tr><td colspan="2"><u>Glycoconjugués</u>
[= Holosides conjugués]
Association entre un oside (voire ose) et une molécule non glucidique</td><td colspan="2">* Rôle structural
(composés des matrices extracellulaires)</td><td>° <u>Peptidoglycanes</u> = muréine = mucocomplexe = mucopeptides : polymères glucidiques reliés par des ponts peptidiques
- Squelette glucidique : polymère d'acétyl-glucosamine (NAG) et d'acide N-acétyl-muramique (NAM)
- Ponts peptidiques : courts peptides entre les polymères glucidiques
→ paroi des Bactéries
- Nombreuses liaisons avec l'eau : agent GÉLIFIANT
- Résistance aux forces de compression
- Protection mécanique de la cellule : maintien de la forme, protection contre les chocs osmotiques
SEGARRA et al. (2014)
 

Coloration de GRAM : dépend de la couche de peptidoglycanes !</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td>° <u>Protéoglycanes</u> : association d'une ou plusieurs protéines avec des GAG (cf. rôle des GAG plus haut).
→ matrices extracellulaires animales
 
</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">* Rôle informatif : reconnaissance entre cellules</td><td>° Glycoconjugués membranaires, situés sur le feuillet externe de la membrane plasmique eucaryote : <u>glycolipides</u> (phospholipide + oligosaccharide <u>ou</u> ose seul), <u>glycoprotéines</u> (protéine + oligosaccharide)</td></tr>
</table>

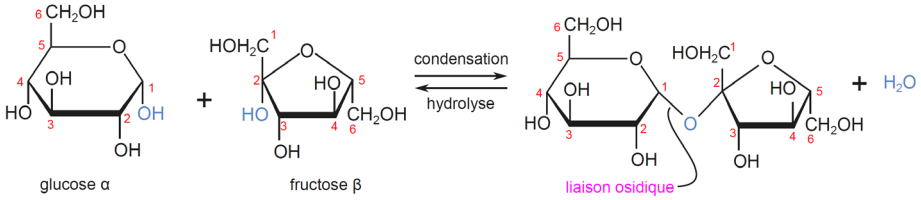
Sucres réducteurs (ex. **glucose**) → liqueur de **FEHLING** (précipité **rouge brique**)

Amidon → **eau iodée / LUGOL** (coloration **violette**)

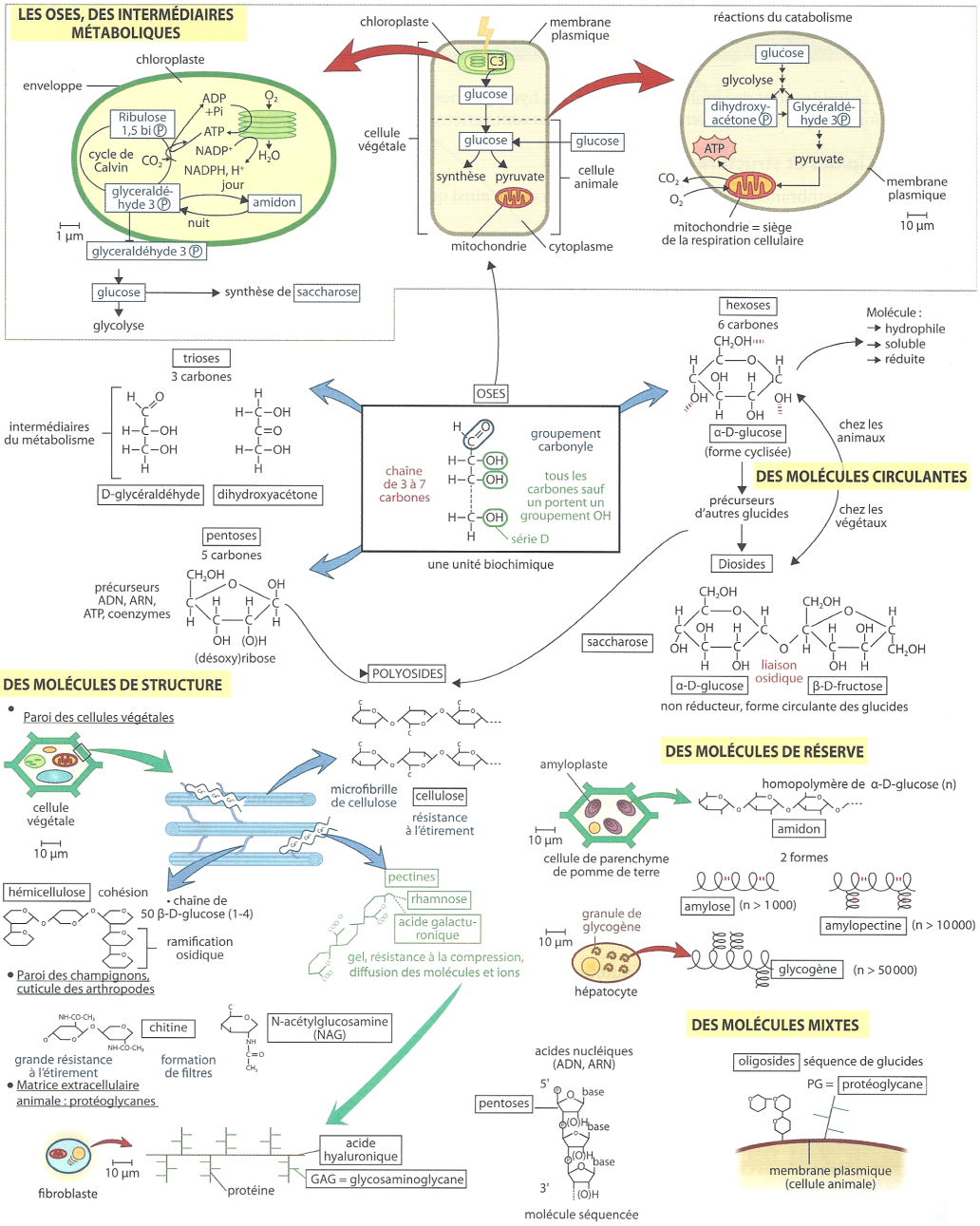
Glycogène → **eau iodée / LUGOL** (coloration **brun-acajou**)

Diversité fonctionnelle des glucides. Original 2021.

	Embryophytes	Métazoaires	Eumycètes
Production d'énergie	Glucose, glycéraldéhyde, dihydroxyacétone… [cytosol]		
Transport	Saccharose [sève élaborée]	Glucose [sang] Lactose [lait]	*Variable (petits oses, saccharose…)*
Mise en réserve	Saccharose [vacuole] Amidon [plastes]	Glycogène [cytosol]	
Structure / cohésion tissulaire	Cellulose (*résistance aux forces de tension*), pectines (*gel hydraté*), hémicelluloses (*assemblage*) [paroi primaire] Callose [bouchons]	Chitine [cuticule] Glycosaminoglycanes = GAG (*gel hydraté* → protéoglycanes) [matrice animale]	Chitine [paroi]
Information		Oligosaccharides des glycoprotéines et glycolipides [membrane plasmique]	



Condensation / hydrolyse des glucides (liaison osidique).
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021).



Unité et diversité des glucides. D'après SAINTPIERRE, BORDI *et al.* (2021).

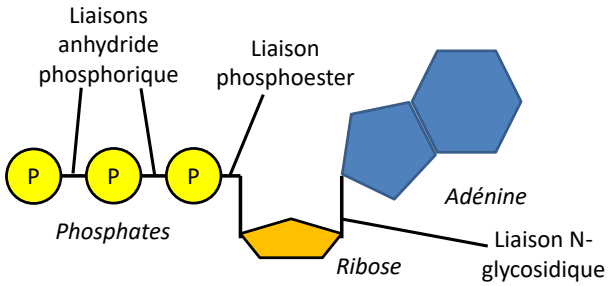
IV. Les nucléotides et acides nucléiques

- **Nucléotides** = ***molécules composées d'un sucre, d'une base azotée et d'un ou plusieurs phosphates***.
- **Acides nucléiques** = ***polymères de nucléotides intervenant dans le codage et/ou l'expression de l'information génétique***.

A. Les nucléotides, monomères des acides nucléiques

- Un **nucléoside** se compose de :
  - Une **base azotée** (= **nucléobase**) qui peut être
    - Une **purine** : **adénine A** ou **guanine G**
    - Une **pyrimidine** : **cytosine C**, **thymine T** ou **uracile U**

  La **thymine** est propre à l'**ADN** et l'**uracile** est propre à l'**ARN**. || Existence de **bases modifiées** (= non canoniques)
  - Un **pentose** (***sucre à 5 carbones***) nommé **ribose** dans l'ARN et **désoxyribose** dans l'ADN.
- Les **nucléotides** sont ***composés d'un nucléoside relié à un ou trois phosphates par une liaison phosphoester***. On les qualifie alors de **monophosphate**, **diphosphate** ou **triphosphate**.
- Existence de **fonctions variées** ⮟ :



⮝ **L'ATP, un nucléotide de l'ARN et une molécule énergétique**. Original 2015.

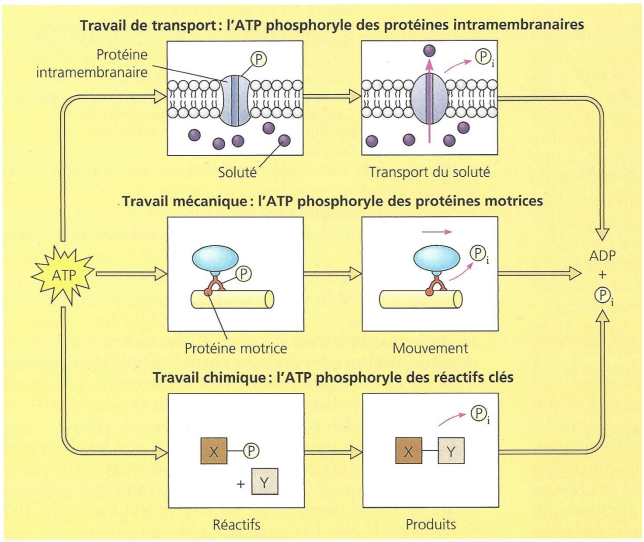
Fonctions	Nucléotides ou dérivés nucléotidiques impliqués
Construction d'acides nucléiques : ADN, ARN (stockage et expression de l'information génétique)	Tous types de nucléotides
Molécules énergétiques et coenzymes* (intermédiaires métaboliques)	**Transfert de phosphates :** Tous nucléotides, notamment **ATP** **Transfert d'électrons (coenzymes d'oxydoréduction) :** Dérivés nucléotidiques : ° NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) ° FAD (flavine adénine dinucléotide) *Etc.* …
Signalisation cellulaire	**Seconds messagers :** AMPc (AMP cyclique) GMPc (GMP cyclique)
Participation à la synthèse de polyosides	UDP-glucose (synthèse du glycogène ou de cellulose), ADP-glucose (synthèse d'amidon), UDP-galactose

⮟ **Nom des bases, nucléosides et nucléotides.** D'après SEGARRA *et al.* (2014).

Bases puriques	Adénine (A), Guanine (G)
Bases pyrimidiques	Thymine (T, Uracile (U), Cytosine (C)
Ribonucléosides (pentose = ribose)	Adénosine, Guanosine, Uridine, Cytidine
Désoxyribonucléosides (pentose = désoxyribose)	Désoxyadénosine, Désoxyguanosine, Désoxythymidine, Désoxycytidine
Ribonucléotides	• monophosphates (AMP, GMP, TMP, CMP, UMP) • triphosphates (ATP, GTP, TTP, CTP, UTP) • cycliques (AMPc, GMPc)
Désoxyribonucléotides	• monophosphates (dAMP, dGMP, dTMP, dCMP, dUMP) • diphosphates (dADP, dGDP, dTDP, dCDP, dUDP) • triphosphates (dATP, dGTP, dTTP, dCTP, dUTP)

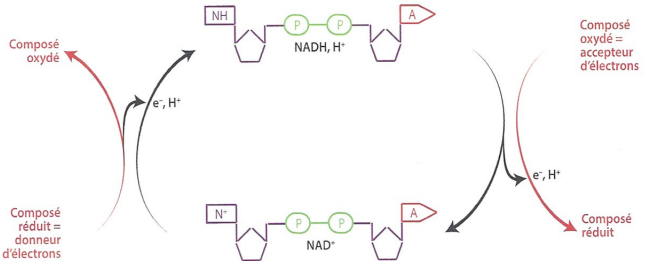
- **NTP**, notamment **ATP** : haut **potentiel d'hydrolyse – 30,5 kJ • mol^{-1}** pour **ATP + eau ⇌ ADP + Pi**

- **Utilisation** de l'ATP (ou autres NTP) dans de **nombreux travaux cellulaires** :



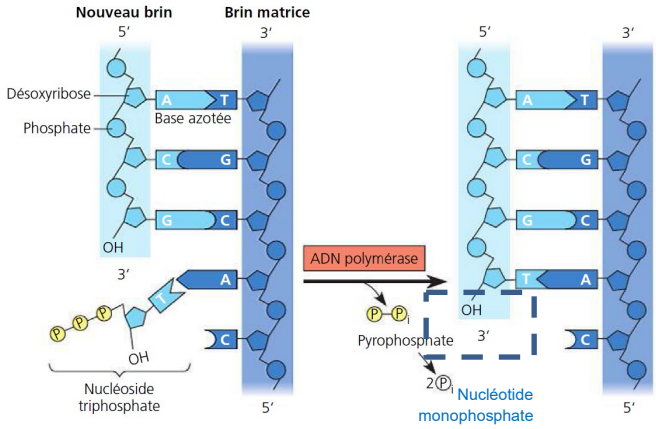
⮝ **Principaux rôles énergétiques de l'ATP.** D'après CAMPBELL & REECE (2004).

- **Coenzymes d'oxydoréduction** : transferts d'**électrons**



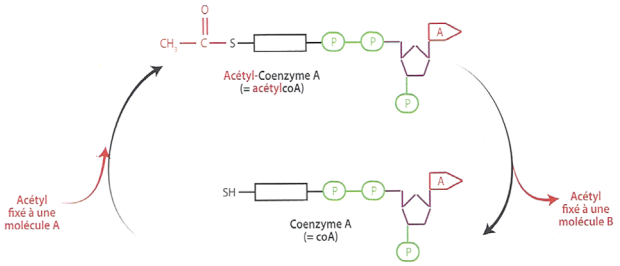
⮝ **Principe de fonctionnement d'un coenzyme redox.** D'après DAUTEL *et al.* (2021)

- **Nucléotides** = **polymérisables** (à l'extrémité **3' OH**) : toujours à partir de **nucléotides triphosphates** [= nucléosides triphosphates], perte d'un **pyrophosphate** à chaque fois.
  → **monomères des acides nucléiques**



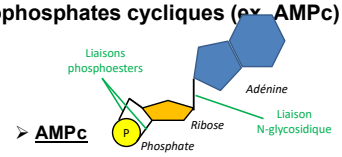
⮝ **Polymérisation de l'ADN.** D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

- **Coenzyme A** : transferts de **groupements acyl** ou **acétyl**

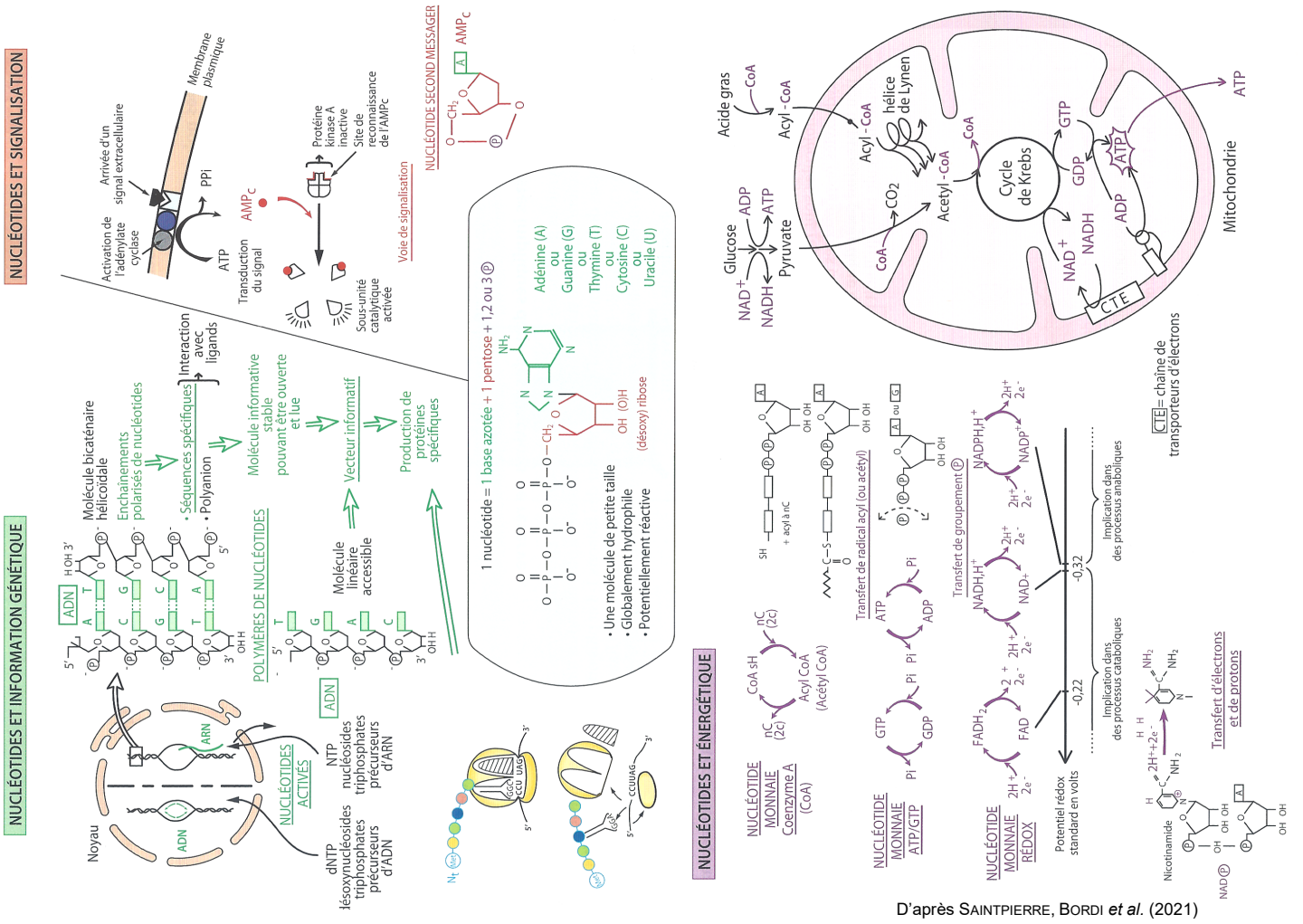


⮝ **Principe de fonctionnement du coenzyme A.** D'après DAUTEL *et al.* (2021)

- **Nucléotides monophosphates cycliques (ex. AMPc) = seconds messagers**



- **Nucléotides diphosphates** : **navettes à oses** [synthèse d'**amidon**, de **glycogène**, de **cellulose**…]

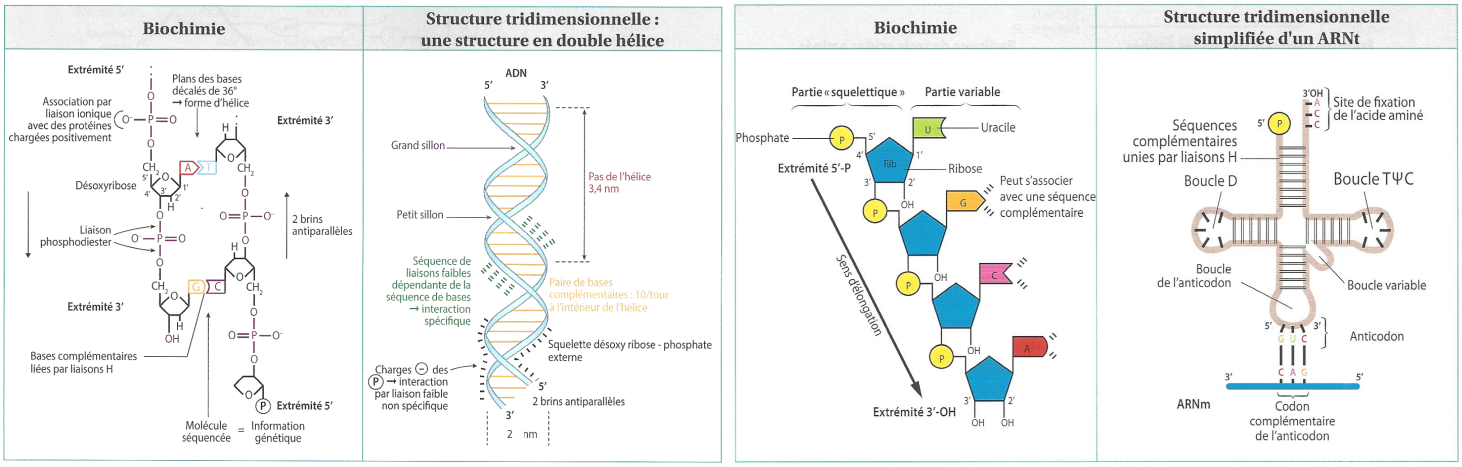


D'après SAINTPIERRE, BORDI *et al.* (2021)

B. Les acides nucléiques, des hétéropolymères séquencés de nucléotides porteurs d'une information

- **Deux types** d'acides nucléiques :
  - **ADN** = **acide désoxyribonucléique** : ***molécule support de l'information génétique, contenue dans le noyau des Eucaryotes ou le nucléoïde des 'procaryotes'***.
    → **bicaténaire** = ***deux brins*** (deux polymères de nucléotides).
    → **structure en double hélice** = ***deux brins qui s'enroulent en hélice*** (associés par des **liaisons H**). Complémentarité : **A en face de T**, **C en face de G**).
    → **interactions** avec **protéines de structure** et **protéines de travail** : interactions **non-spécifiques** (liaisons ioniques entre **protéines chargées +** et **phosphates chargés –**) et **spécifiques** (**liaisons faibles AA / nucléotides**, en lien avec la **séquence**).
  - **ARN** = **acide ribonucléique** : ***molécule transitoire qui permet l'expression de l'information génétique***.
    → **monocaténaire** = ***un seul brin*** ; **localement bicaténaire** dans de **nombreux ARN**.
    → **multiples ARN** (exemples : **ARN messager**, **ARN de transfert** et **ARN ribosomique**).
- Pour tout **brin de nucléotides** : existence d'une **extrémité 3' OH** (**fonction OH du pentose libre**, porté par le carbone 3') et une **extrémité 5' P** (**phosphate libre**, porté par le carbone 5')

ADN **ARN**



Les acides nucléiques : relations structure / propriétés chimiques / fonction(s). D'après DAUTEL *et al.* (2021)

V. Les protides : acides aminés, peptides, protéines

- **Protides** = ***famille de molécules organiques comprenant les acides aminés, leurs dérivés et leurs composés (peptides, protéines)***.

A. Les acides aminés, entités fondamentales des protides

- **Acide aminé** = **amino-acide** : ***substance composée fondamentalement d'un carbone (dit alpha) portant une fonction acide carboxylique, une fonction amine (d'où « acide aminé »), un hydrogène et un radical (= chaîne latérale) variable (notée R de manière générique)***. Le **radical** peut contenir les **atomes C, H, O et N** (et, pour la cystéine : du soufre S).

  Tous les AA des protéines sont **alpha-aminés**. Existence d'acides aminés autres.
  Série L dominante chez les êtres vivants.

- En fonction du **radical**, on peut distinguer **quatre** grands types d'AA à pH = 7 : **apolaires** (hydrophobes), **polaires non chargés** (hydrophiles), **cationiques / acides** (hydrophiles), **anioniques / basiques** (hydrophiles).

  Pour chaque AA, il existe un ***pH où toutes les charges se compensent*** (état de **zwittérion** = **amphion**) : c'est le **pH iso-électrique**.

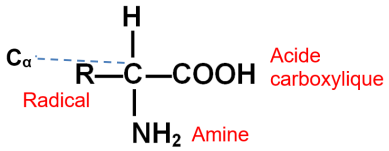
- Distinguer :
  → **AA** : environ 500 connus.
  → **AA biologiques** : ***AA présents chez les êtres vivants*** (env. 150).
  → **AA protéinogènes** : ***AA incorporés dans les protéines lors de la traduction*** : il y en a universellement **vingt standard** (*parfois un ou deux en plus dans quelques taxons*).
  → **AA présents dans les protéines** : ***AA effectivement présents dans les protéines, plus nombreux que vingt*** >> de nombreux AA sont **modifiés** lors de la **maturation de la protéine**, d'où un nombre final de types d'AA supérieur aux AA initialement incorporés.

- **Fonctions** des AA :
  → **Monomères** des **protéines** et autres **peptides**
  → **Intermédiaires métaboliques**, **précurseurs** de molécules

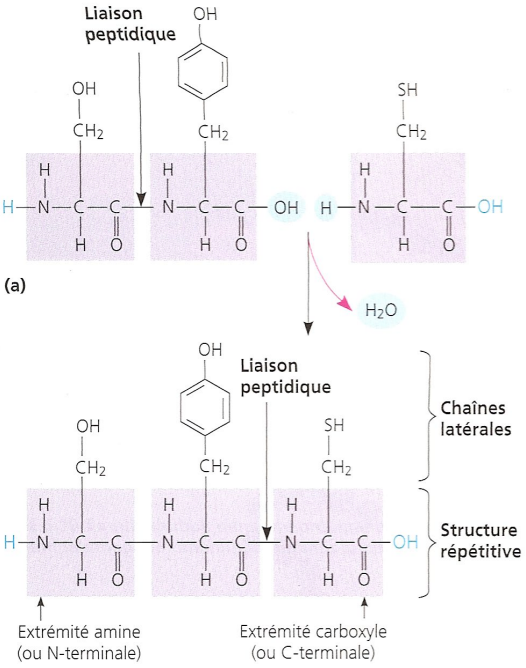
  Retenir le cas des **lignines** : ***polyphénols dérivant de la phénylalanine qui rigidifient certaines parois végétales***.
  [Coloration par le **vert d'iode**]

  → Parfois des **fonctions propres** : *exemple du glutamate ou du GABA (acide γ-aminobutyrique) = neurotransmetteurs*

- **Polymérisation d'AA par formation de liaisons peptidiques [amidification] / dépolymérisation par hydrolyse de liaisons peptidiques**
  → Au sens large **CO – NH** [***Réaction entre – COOH d'un AA et – NH_2 de l'autre***]
  → La **liaison** est **plane** : ces **plans peptidiques** peuvent former des **hélices alpha** ou des **brins bêta** stabilisés par des **liaisons H**



Acide aminé (AA) : formule générale.



Formation d'une liaison peptidique. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

B. Peptides, oligopeptides, polypeptides, protéines

- **Peptide** = ***ensemble d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques***.
  - **Oligopeptide** = ***peu d'acides aminés*** (souvent moins de 10).
  - ***Au-delà***, on parle de **polypeptide**.
- **Protéine** = ***polypeptide de grande taille, souvent de taille supérieure à 100 acides aminés (ou un ensemble fonctionnel de plusieurs polypeptides)***.

C. Les protéines, agents principaux des activités biologiques

- **Trois niveaux de structure** (parfois **quatre**) sont acquis par **reploiement** de la protéine lors de sa **maturation** :
  → **Structure primaire** : ***polypeptide linéaire*** (correspond à la **séquence peptidique**).

  Le reploiement dépend de la **séquence peptidique** mais aussi souvent de l'intervention de **protéines chaperonnes**.

  → **Structure secondaire** : ***petits repliements locaux et spontanés (hélices alpha, brins bêta, coudes bêta, pelote statistique)***.

  Existence de **structures supersecondaires** : ***motifs d'association de structures secondaires***.

  → **Structure tertiaire** : ***chaîne polypeptidique complètement repliée et fonctionnelle***. Si la protéine est monomérique, alors elle est **fonctionnelle** ; on peut parler de **conformation spatiale native**.

  Beaucoup d'auteurs considèrent que les **protéines fibrillaires** ne présentent ***pas de vraie structure tertiaire***.

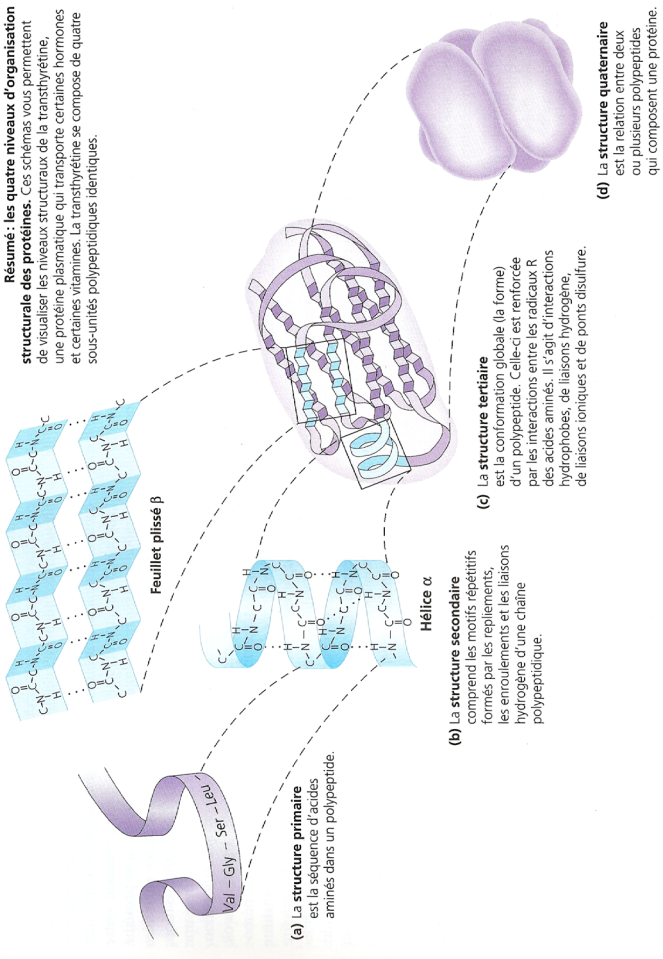
  [→ **Structure quaternaire** : ***conformation spatiale fonctionnelle d'une protéine multimérique, c'est-à-dire formée de l'assemblage de plusieurs chaînes polypeptidiques repliées***. Chaque chaîne est alors un **protomère** = une **sous-unité** de la protéine.]
- Possibilité d'association de la **protéine** avec des **éléments non protéiques** :
  → **groupement prosthétiques** (***petits groupements issus d'autres familles de molécules organiques, présentant un ion métallique***) comme l'**hème** de l'hémoglobine.

  [La ***partie protéique*** s'appelle **apoprotéine**]

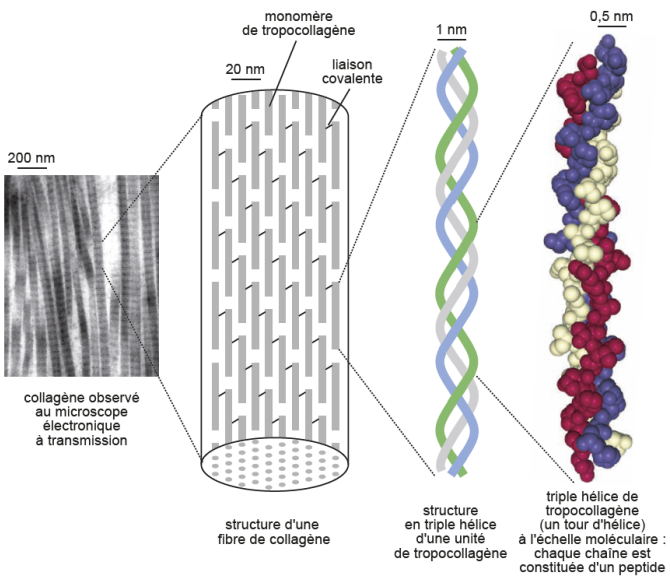
  → **lipides** : formation d'une **lipoprotéine**.

  [La ***partie protéique*** s'appelle alors **apolipoprotéine**]

  → petits **glucides (oligosaccharides)** > **glycoprotéines** que l'on retrouve au niveau de la **membrane plasmique**.

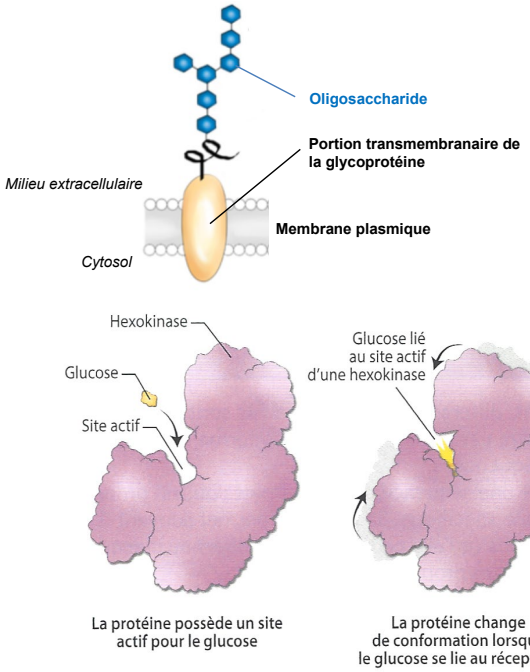


- **Forme** des **protéines variable**. 2 formes notoires : **fibrillaire** (***en long*** : protéines de **structure**) ou **globulaire** (***en boule*** : nombreuses autres protéines : enzymes, transporteurs…). (!) Toujours relation structure-fonction
- Lors de la **maturation** : **modifications d'AA** dont méthylations, hydroxylations, **glycosylations**… (**modification covalente irréversible**)
- Possibilité d'une **phosphorylation / déphosphorylation contrôlant** l'activité protéique (**modification covalente réversible**)
- **Interaction spécifique** avec un ou des **ligands** permise par une **complémentarité** entre **ligand** et **forme tridimensionnelle** de la protéine + **composition en AA** du **site d'interaction** (interaction par des **liaisons faibles**… **parfois covalentes** comme dans la liaison **enzyme-substrat**) ; l'interaction peut être **durable** (ex. liaison entre protéines de structure) ou **transitoire** (ex. liaison enzyme-substrat)
- Fréquent **changement de conformation** (= **transconformation**) lors de l'**activité protéique** [permis par la **labilité** des **liaisons faibles** en leur sein]
- Possibilité d'une **coopérativité entre sous-unités** d'une **protéine oligomérique** [[sens historique de l'allostérie]]
- Possibilité de **contrôle de l'activité protéique** par **changement de conformation** suite à la **fixation de ligands (effecteurs allostériques)** en dehors du ~~site de fixation du ligand principal~~ [[sens moderne de l'allostérie]]



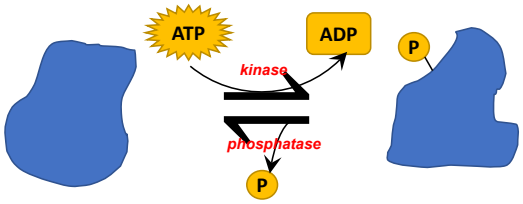
Le collagène, une protéine fibrillaire résistant à l'étirement.

Une protéine fibrillaire : le collagène. D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021).

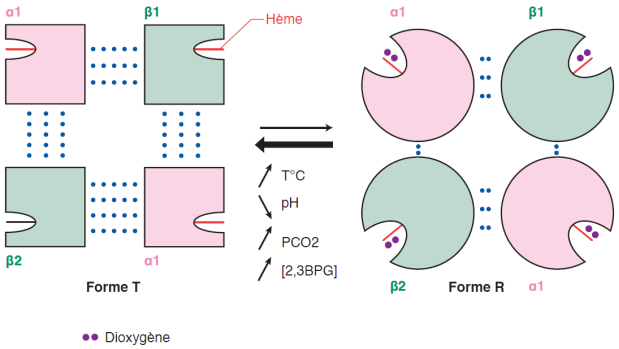


Glycoprotéine.

Ajustement induit. D'après DAUTEL *et al.* (2021).

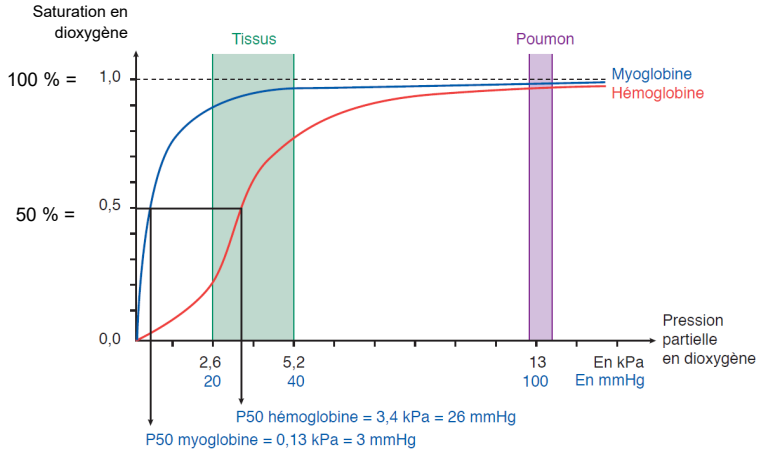


Phosphorylation / déphosphorylation de protéine.

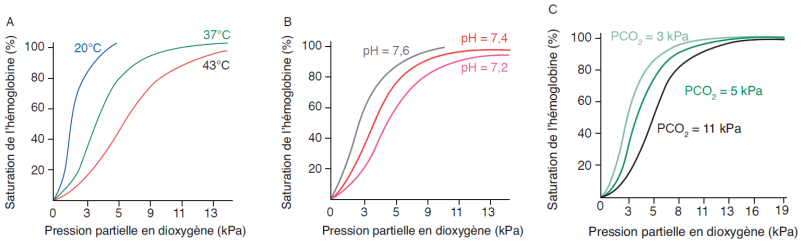


Une hausse de la température, de la P_{CO2}, de la concentration en 2,3-BPG ,et une baisse du pH facilitent le passage de l'hémoglobine sous forme T et la libération du dioxygène au niveau des tissus.

Organisation de l'hémoglobine et action de divers paramètres.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).



Courbes de saturation de l'hémoglobine et de la myoglobine.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).



A. Effet de la température sur la saturation par le dioxygène de l'hémoglobine
B. Effet du pH sur la saturation par le dioxygène de l'hémoglobine
C. Effet de la pression partielle en dioxyde de carbone sur la saturation par le dioxygène de l'hémoglobine

Modifications de la cinétique de l'hémoglobine.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

(!) Méthodes d'études des protéines à savoir citer : **séquençage**, **cristallographie** / **rayons X**, RMN, diagramme de Ramachandran, profils d'hydropathie

(!) Méthodes d'étude des protéines à savoir expliciter (schématiser simplement) : **chromatographies** (dont **chromatographie d'affinité**), **électrophorèses** (**dénaturante** ou **non**), ***Western Blot***, **immunomarquage**, **mutagenèse**, **transgenèse**

T. JEAN 2021 (Tanguy.Jean4@gmail.com)
Dernière mise à jour : octobre 2023