

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** de la masse cellulaire | **Molécules organiques** (**glucides, lipides, protéides, 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** ($7,3 \times 10^{-2} \text{ N} \times \text{m}^{-1}$, contre éthanol $2,23 \times 10^{-2} \text{ N} \times \text{m}^{-1}$)

° **Liquide qui s'évapore difficilement**, ce qui facilite la **préservation de l'eau liquide** en toutes saisons : **chaleur de vaporisation élevée** ($2,26 \text{ kJ} \times \text{g}^{-1}$, contre éthanol $0,85 \text{ kJ} \times \text{g}^{-1}$)

° **Tampon thermique** qui change de température seulement avec un grand apport d'énergie : **haute chaleur spécifique** ($4,18 \text{ J} \times \text{g}^{-1}$, contre éthanol $2,45 \text{ J} \times \text{g}^{-1}$)

° **Fluide incompressible** : **pression / tension** > mise en mouvement ; rôle **structural**, rôle dans l'**auxèse**...

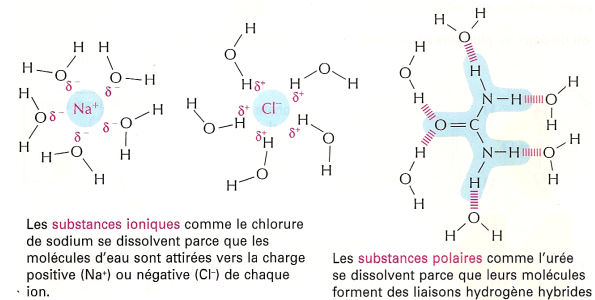
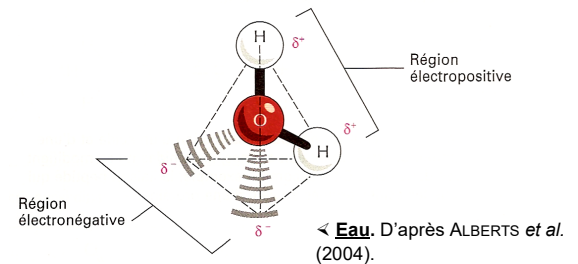
→ **Propriétés chimiques**

° **ionisable** (H_3O^+ , HO^-) → **réactions acidobasiques**

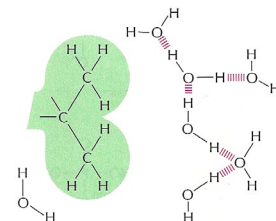
° **réactif** de beaucoup de réactions (> permet l'**hydrolyse** de molécules)

° **produit** de nombreuses réactions (par exemple lors de **polymérisations**)

° rôle dans la **croissance**, le **mouvement**...



▲ **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** :

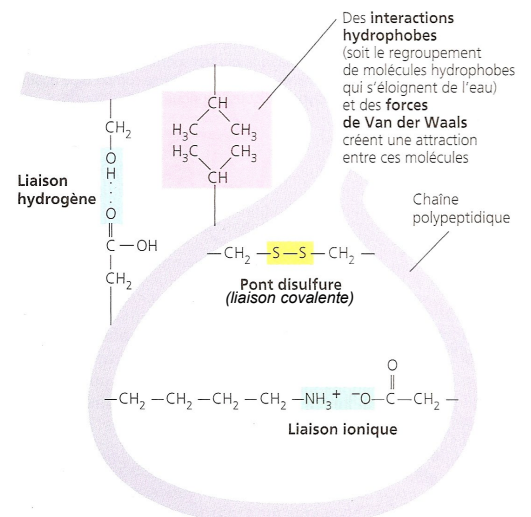
- ° **solubilisation** des ions et molécules polaires [**liaisons H**]
- ° **regroupement** des **molécules hydrophobes** [**interactions hydrophobes**]

° **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	$R-C(=O)H$	glyceraldéhyde (ose) :
	cétone	$R_1-C(=O)R_2$	dihydroxyacétone (ose) :
carboxyle*	acide carboxylique	$R-C(=O)OH$	pyruvate :
amine*	amine	$R-NH_2$ R_1-NH-R_2 $R_1-N(R_2)-R_3$	alanine (acide α aminé) :
ester, thioester, phosphoryle	ester	$R_1-C(=O)OR_2$	triglycéride (lipide) :
	thioester	$R_1-C(=O)SR_2$	acétyl-Coenzyme A :
	phospho-	$R-O-P(=O)(OH)_2$ phosphate	glyceraldéhyde-3-phosphate (ose phosphorylé) :
énol	énol	$R_1-C(OH)=R_2$	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	$R_1-C(=O)-N(R_2)R_3$	ex. dans liaison peptidique
-------	-------	-----------------------	-----------------------------

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

Hydrophilie ou hydrophobicité + solubilité

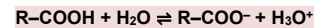
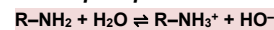
→ groupements ioniques/ionisés ou polaires ⇒ liaisons H avec l'eau ⇒ **hydrophiles** [→ **solubles dans l'eau**]
Ex. alcools, cétones, aldéhydes, amines, phosphoryles...
→ groupements apolaires ⇒ pas de liaisons H avec l'eau ⇒ **hydrophobes** [→ **non solubles dans l'eau**]
Ex. alkyles, cycles hydrogénocarbonés,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

Ionisation

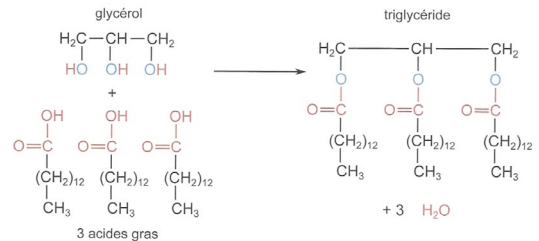
Fonctions ionisables : **acides carboxyliques, amines, acides phosphoriques** (et même parfois les thiols)
+ dépend du **pK_A** et du **pH**

Principales réactions (avec exemples) :

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



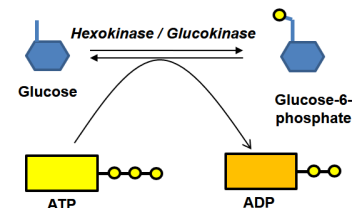
- **estérification** = réaction entre le groupement carboxyle d'un acide carboxylique $R-COOH$ et le groupement hydroxyle d'un alcool $R'-OH$ formant un ester $R-COO-R'$ [avec production d'eau]



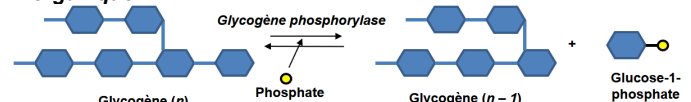
- **thioestérification** = l'acide carboxylique réagit avec le groupement sulfhydryle d'un thiol, aboutissant à un thioester [avec production d'eau]



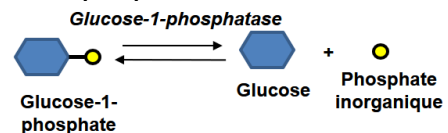
- **phosphorylation [kinase]** = réaction d'un acide phosphorique et d'un groupement OH provenant soit d'un alcool, soit d'un acide carboxylique, et aboutissant à la formation d'une molécule nouvellement phosphorylée ; **cas le plus fréquent : transfert de phosphate d'une molécule à une autre = transphosphorylation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



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

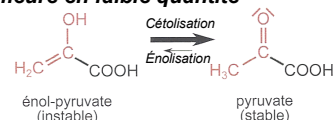


Enfin, un **alcane** peut être **oxydé** en **alcène** selon la demi-équation :



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

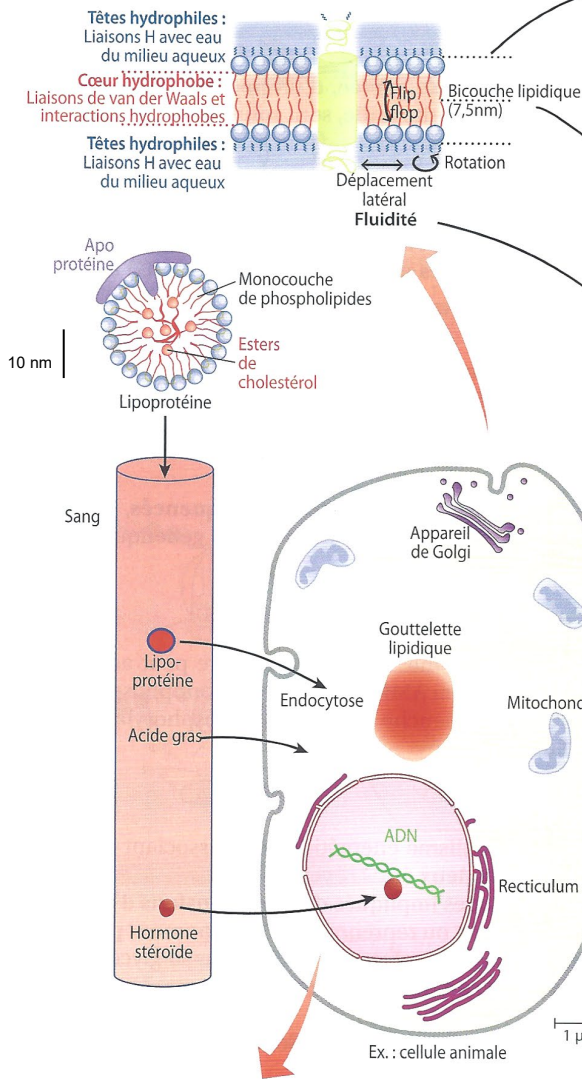
[Coloration au Rouge Soudan III ou au tétraoxyde d'osmium]

Lipides = « graisses »

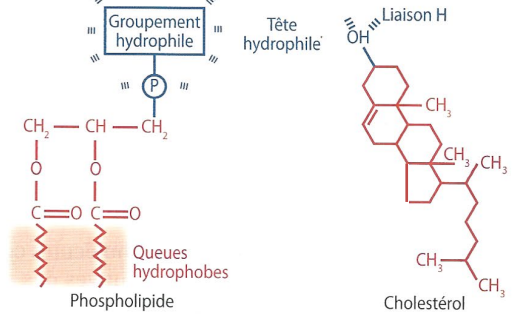
Molécules organiques en partie ou en totalité hydrophobes [apolarité due à des zones hydrogénocarbonées sans fonctions organiques]

Groupes principaux	Fonctions principales	Exemples
Acides gras AG (acides carboxyliques) chaîne hydrogénocarbonée (apolaire → queue hydrophobe) dont une extrémité porte un groupement acide carboxylique (polaire → hydrophile) > saturés AGS (pas de double liaison) > insaturés AGI (au moins une double liaison = insaturation) Existence d'acides gras à courte chaîne (AGCC) = acides gras volatils (AGV)	* Précurseurs d'autres lipides (ou d'autres molécules organiques) * Substrats énergétiques	Acide palmitique, acide arachidonique, acide linoléique... AG saturé AG insaturé Encombrement latéral faible Encombrement latéral SEGARRA et al. (2014)
Esters	Triglycérides Triesters d'AG et de glycérol. NB Les 3 AG peuvent être identiques ou non. NB Les fonctions hydrophiles sont neutralisées >> molécule très hydrophobe.	* 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) Glycérol 3 acides gras Triglycéride Eau Estérification Hydrolyse Formation d'un triglycéride. SEGARRA et al. (2014)
	Phospholipides Lipides amphiphiles avec une tête hydrophile comprenant toujours une unité phosphate, et deux longues queues hydrophobes (liées au glycérol par des liaisons ester) > Phosphoglycérolipides (formés à partir de glycérol) > Sphingolipides = sphingophospholipides (formés à partir de sphingosine)	* 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. Liaisons phosphoesters Aminoalcool Choline Tête hydrophile Phosphate Glycérol Queues hydrophobes (acides gras) Liaisons esters Modèle compact d'un phospholipide, la phosphatidylcholine Dans les phospholipides, deux des groupements -OH du glycérol sont reliés à des acides gras, pendant que le troisième groupement -OH est relié à de l'acide phosphorique. Le phosphate est ensuite relié à un petit groupement polaire (alcool). Schématisation simplifiée d'un phospholipide → Glycolipides (= phospholipides portant un oligoside) permettant la reconnaissance entre cellules → Le PIP2 permet la formation de seconds messagers (IP3, DAG) ° 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...
	Cérides Monoesters d'AG saturés et d'alcools gras (= alcools à longue chaîne carbonée). NB Existence de polymères en réseaux : subérine, cutine	* Très hydrophobes >> rôle protecteur et imperméabilisant Acide gras Alcool gras Céride Estérification Liaison ester Formation d'un céride. SEGARRA et al. (2014)
Autres lipides : terpénoïdes au sens large [= isoprénoïdes s. l.]	Stérols Lipides dont la base est un noyau à quatre cycles hydrogénocarbonés + un groupement alcool hydrophile [Amphiphiles]	* 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) * Communication : hormones stéroïdes (dérivées du cholestérol) ° Phytostérols chez les 'végétaux' ° Cholestérol chez les Animaux Seule partie hydrophile Cholestérol Wikipédia
	Terpènes Autres dérivés isopréniques	° Hormones sexuelles : testostérone, œstrogènes, progestérone... ° Hormones du stress : cortisol, cortisone... * Pigments végétaux : chlorophylles, caroténoïdes * Transporteurs d'électrons (rôle métabolique : oxydoréduction) : quinones * Phytohormones : gibbérellines * Diverses vitamines (molécules nécessaires en faible quantité au métabolisme d'un hétérotrophe, devant être apportées au moins en partie par l'alimentation) unité isoprène caroténoïdes (n = 8) chlorophylles vitamines et quinones PEYCRU et al. (2013) De l'unité isoprène aux terpènes (n variable).

LIPIDES ET STRUCTURE DES MEMBRANES



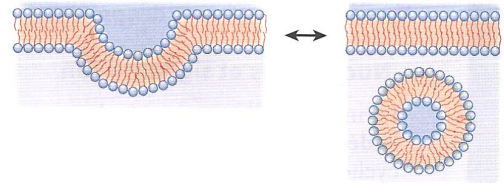
Des lipides amphiphiles : autoassemblage en bicouche



Une perméabilité sélective

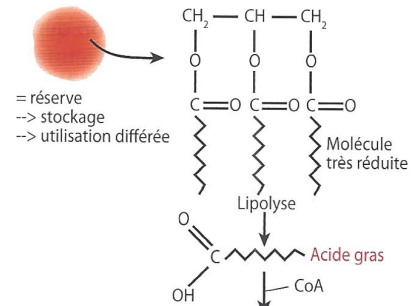
- eau
- gaz (O₂, CO₂)
- molécules hydrophobes
- molécules hydrophiles
- ions
- macromolécules

Capacité de bourgeonnement/fusion

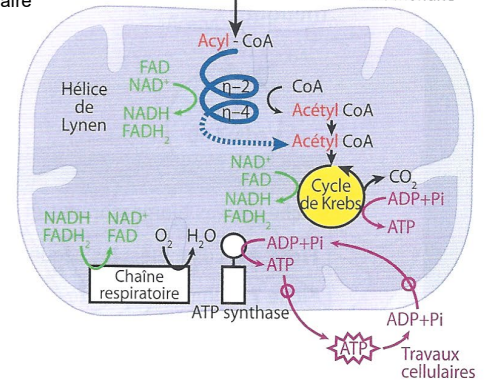


LIPIDES ET MÉTABOLISME

Gouttelette de triglycérides

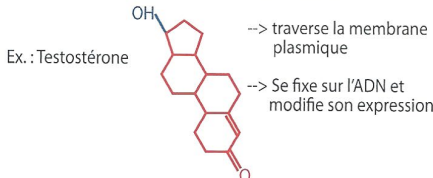


Respiration cellulaire

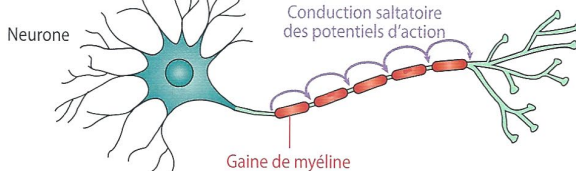


LIPIDES ET COMMUNICATION

Hormones stéroïdes dérivées du cholestérol

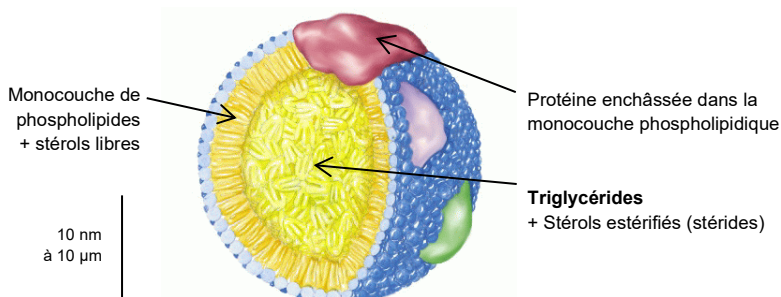


Gaine de myéline

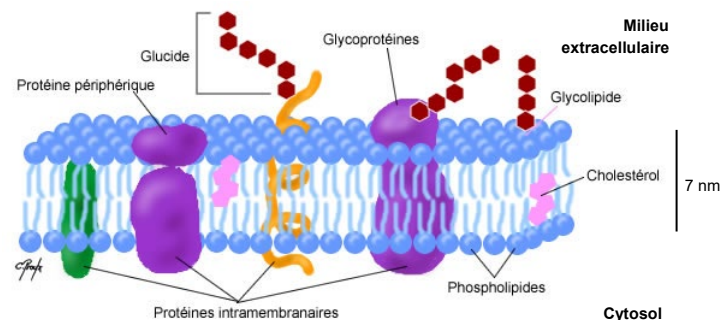


Seconds messagers : PIP2 → IP3, DAG

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

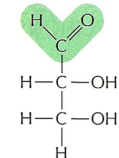
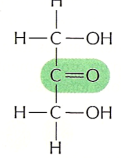
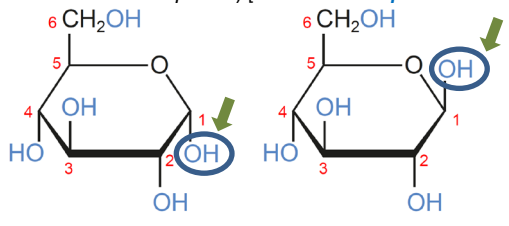
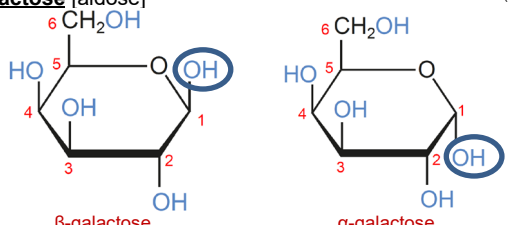
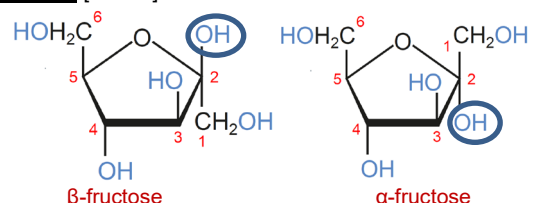
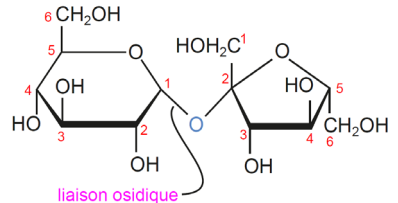
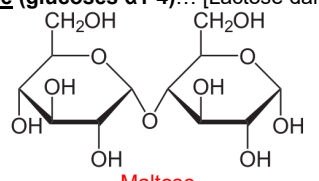


▲ **Organisation d'une gouttelette lipidique chez les Mammifères.**



▲ **La membrane plasmique, un exemple de membrane biologique.**

III. Les glucides

Glucides = hydrates de carbone = saccharides = « sucres » Molécules organiques comprenant les oses (de formule $C_nH_{2n}O_n$), leurs composés et leurs dérivés.			
Groupes principaux	Fonctions principales	Exemples	
Osés [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.	Trioses (n = 3)	* Précurseurs métaboliques * Substrats énergétiques ...	Aldose :  Cétose :  Glycéraldéhyde Dihydroxyacétone ALBERTS et al. (2004)
	Pentoses (n = 5)	* Précurseurs métaboliques, notamment des nucléotides ...	Ribose, désoxyribose → voir acides nucléiques
	Hexoses (n = 6)	* Substrats énergétiques majeurs * Précurseurs métaboliques * Transport glucidique dans l'organisme mammalien	° Glucose [aldose] réducteur , possibilité de transport dans le sang car milieu très tamponné [coloration à la liqueur de Fehling]  glucose α glucose β ° Galactose [aldose]  β-galactose α-galactose ° Fructose [cétose]  β-fructose α-fructose PERRIER, BEAUX et al. (2021)
	Dérivés d'osés Osés dont une ou plusieurs fonctions organiques ont été modifiées . Hétérosides Osés condensés avec une substance non glucidique (nommée aglycone ou génine). NB La nuance entre les deux termes est ténue...	* Précurseurs métaboliques, notamment de polymères * Fonctions variées (par ex. défenses pour certains hétérosides végétaux)	Glucosamine, Nucléoside...
Osides = holosides = de deux à une multitude d'osés (ou dérivés d'osés) associés par liaison covalente .	Diosides [Diholosides = Disaccharides = sucres doubles] (2 monomères)	* Transport glucidique chez les Angiospermes (dioside non réducteur)	° Saccharose (glucose α1 – fructose β2) Fonction réductrice du glucose neutralisée suite à la liaison.  liaison osidique PERRIER, BEAUX et al. (2021)
	Oligosides [Oligosaccharides] (quelques monomères)	* Substrats énergétiques (diosides réducteurs)	° Maltose (glucoses α1-4)... [Lactose dans le lait]  Maltose
		* Reconnaissance entre cellules (rôle informatif) * Transport glucidique chez les Angiospermes	→ Chaînes glucidiques des glycoprotéines et glycolipides → Raffinose, stachyose, verbascose ...

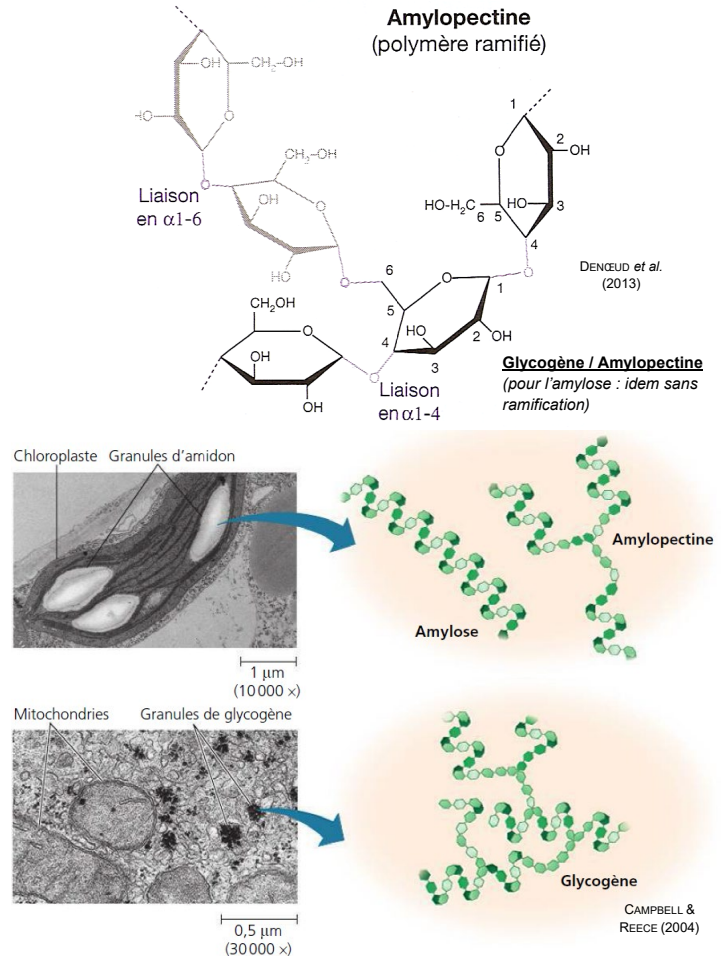
**Osides =
holosides**
(Suite)

Polyosides [Polyholosides = Polysaccharides]
(n monomères)
1/ Cas où les monomères sont seulement des oses

a) Homopolysides

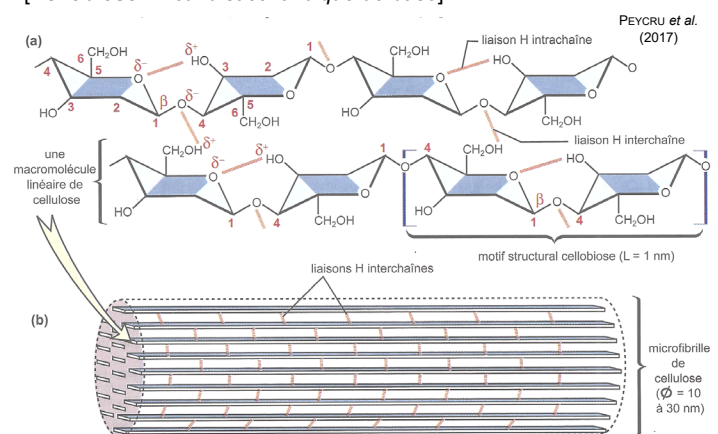
- * Stockage glucidique**
- >> La polymérisation permet :
 - ° le stockage en **grande quantité des monomères**
 - ° la **réduction importante de la pression osmotique** par rapport aux **monomères isolés**
 - ° la **diminution de la réactivité de la molécule (extrémités non réductrices)**
 - >> des **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 (plastides)
 ° **Glycogène** (glucoses en **α1-4** avec **ramifications en α1-6**, tous les 8-12 résidus) → ex. Mammifères (cytosol : **rosettes**)



- * 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 intrachânes** et **interchânes**
 - ° **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]



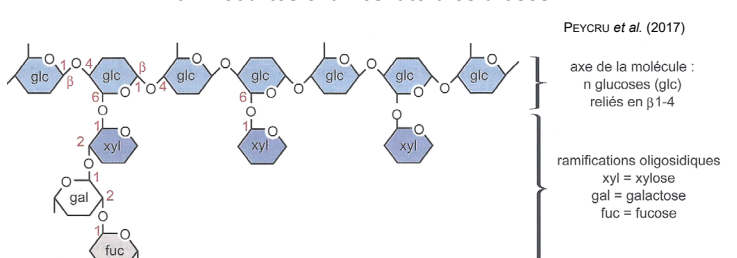
*** Rôles variés**

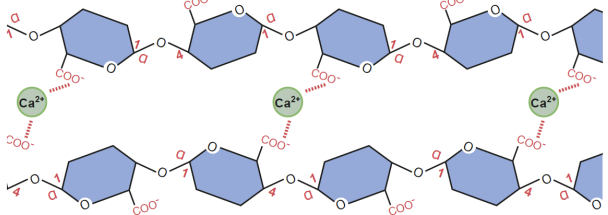
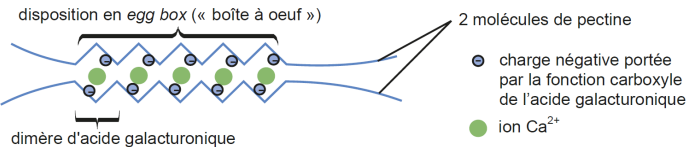
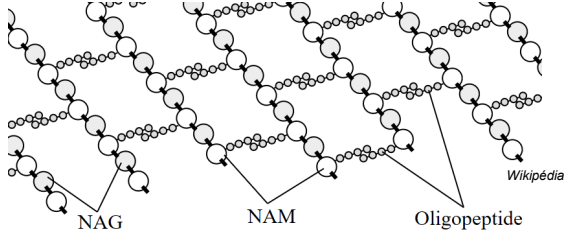
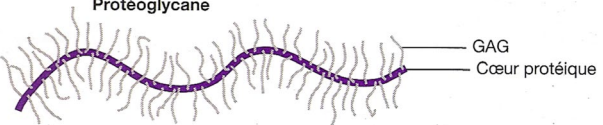
- ° **Callose** (Glucoses en **β1-3**, ramifications en **β1-6**) :
 - Obturation de plasmodesmes, ou encore des cribles à la mauvaise saison
 - Croissance du tube pollinique
 - Paroi fongique

b) Hétéropolysides

- * 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.



			° Chitine (N-actéylglucosamines liées en $\beta 1-4$) → paroi fongique, cuticule des Arthropodes Seul glycoasminoglycane (GAG) homogène ° Pectines : 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)  Structure moléculaire de l'acide polygalacturonique montrant les ponts de Ca^{2+} interchaînes  disposition en egg box (« boîte à œuf ») 2 molécules de pectine charge négative portée par la fonction carboxyle de l'acide galacturonique ion Ca^{2+} Organisation en boîte à œufs (en dents de scie) des pectines = 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 paroi végétale [du gr. pektos, hydraté] ° Glycosaminoglycans (GAG) = 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 rétenion → principal agent GÉLIFIANT des matrices extracellulaires animales. ° Peptidoglycans = 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.  NAG NAM Oligopeptide Wikipédia Coloration de GRAM : dépend de la couche de peptidoglycans ! ° Protéoglycans : association d'une ou plusieurs protéines avec des GAG (cf. rôle des GAG plus haut). → matrices extracellulaires animales Protéoglycane  GAG Cœur protéique ° Glycoconjugués membranaires, situés sur le feuillet externe de la membrane plasmique eucaryote : glycolipides (phospholipide + oligosaccharide ou ose seul), glycoprotéines (protéine + oligosaccharide)

Sucres réducteurs (ex. glucose)

→ liqueur de **FEHLING** (précipité rouge brique)

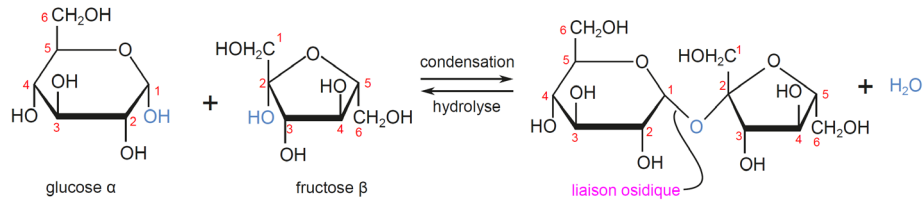
Amidon → eau iodée / LUGOL

(coloration violette)

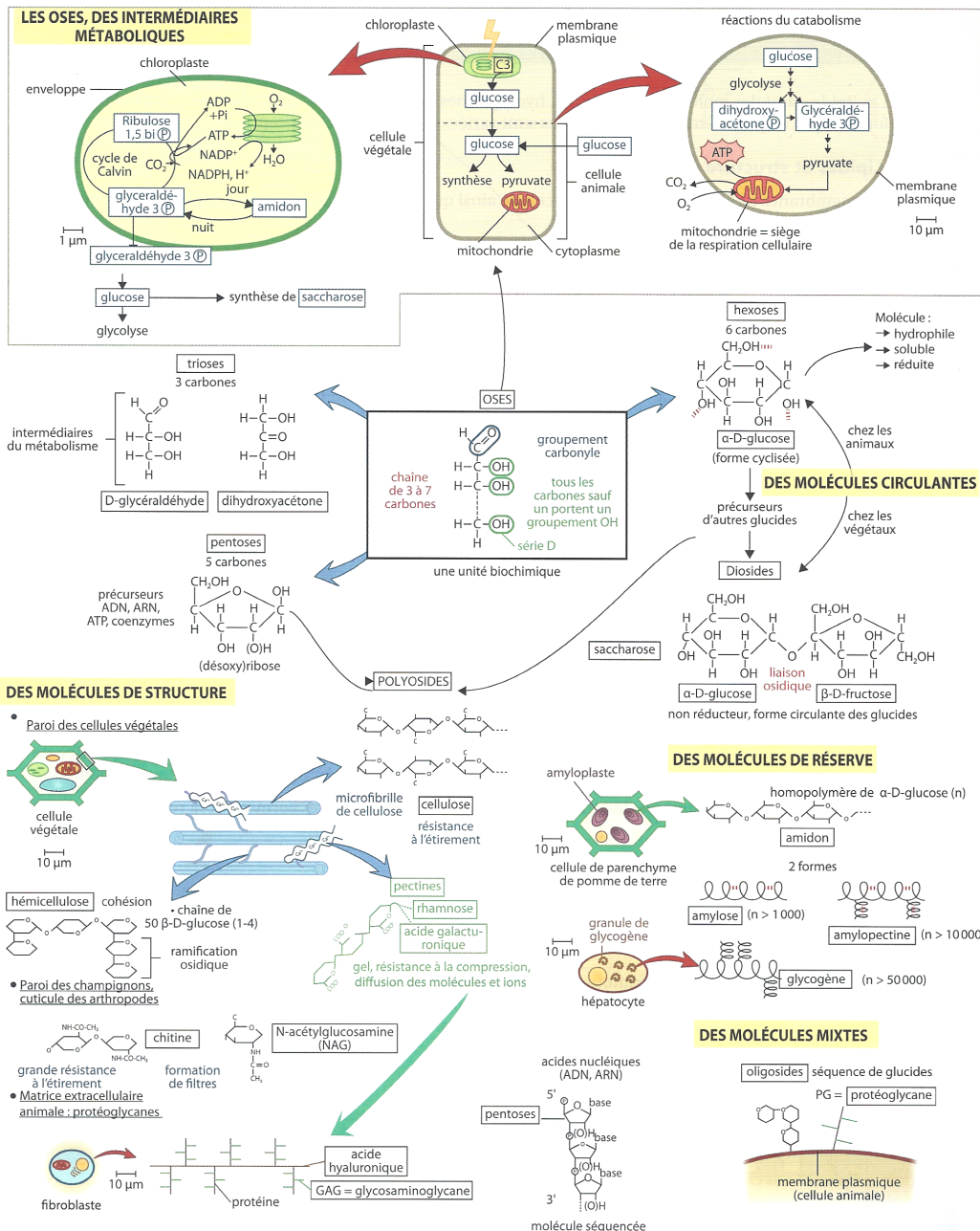
Glycogène → eau iodée / LUGOL

(coloration brun-acajou)

	Embryophytes	Métazoaires	Eumycètes
Production d'énergie	Glucose, glyceraldéhyde, dihydroxyacétone... [cytosol]		
Transport	Saccharose [sève élaborée]	Glucose [sang] Lactose [lait]	Variable (petits oses, saccharose...)
Mise en réserve	Saccharose [vacuole] Amidon [plastides]	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

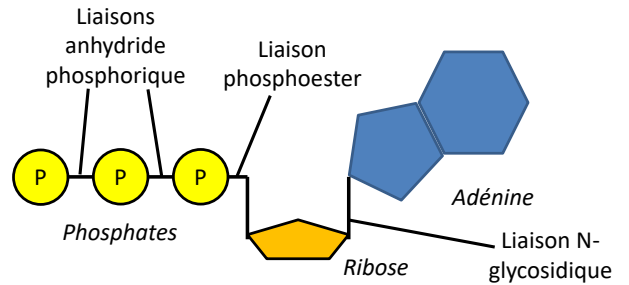
- **Nucléotides** = molécules composées d'un sucre, d'une base azotée et d'un ou plusieurs phosphates.
- **Acides nucléiques** = polymères de nucléotides intervenant dans le codage et/ou l'expression de l'information génétique.

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** :



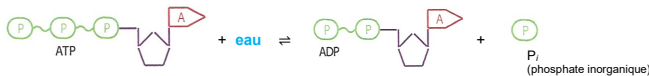
▲ **L'ATP, un nucléotide de l'ARN et une molécule énergétique.** Original 2015.

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

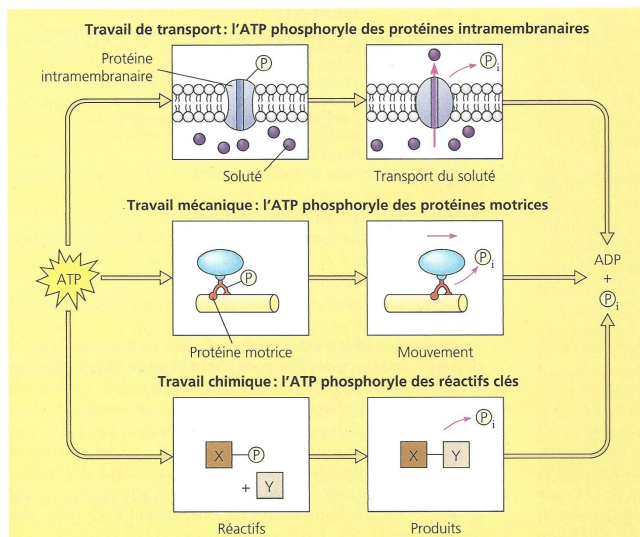
Bases puriques	Adénine (A), Guanine (G)
Bases pyrimidiques	Thymine (T), Uracile (U), Cytosine (C)
Ribonucléosides (pentose = ribose)	Adénosine, Guanosine, Uridine, Cytidine
Désoxyribonucléosides (pentose = désoxyribose)	Désoxyadénosine, Désoxyguanosine, Désoxythymidine, Désoxycytidine
Ribonucléotides	• 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)

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 polysides	UDP-glucose (synthèse du glycogène ou de cellulose), ADP-glucose (synthèse d'amidon), UDP-galactose

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

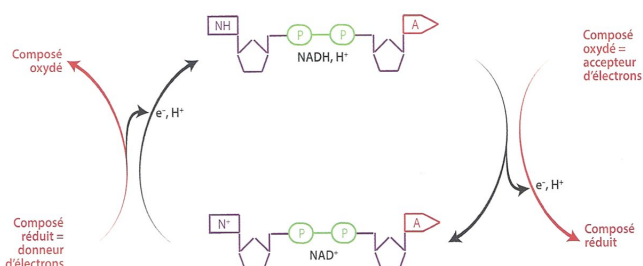


- **Utilisation de l'ATP** (ou autres NTP) dans de **nombreux travaux cellulaires** :



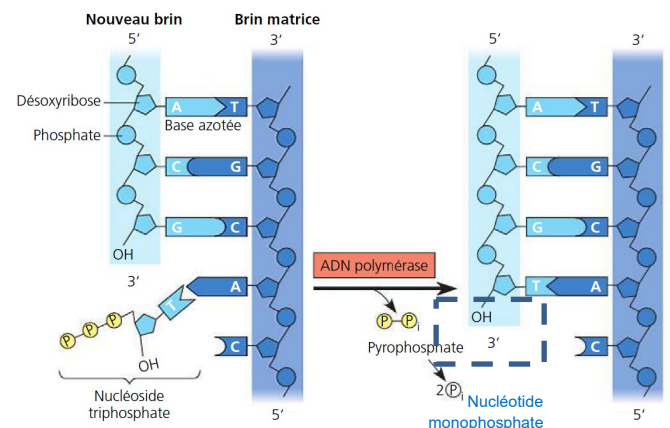
▲ **Principaux rôles énergétiques de l'ATP.** D'après CAMPBELL & REECE (2004).

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



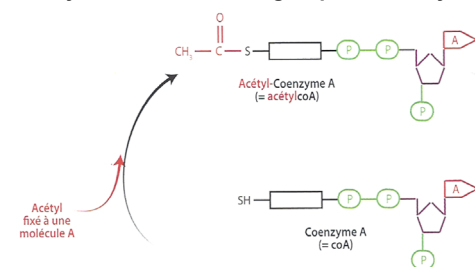
▲ **Principe de fonctionnement d'un coenzyme redox.** D'après DAUTEL *et al.* (2021)

- **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**



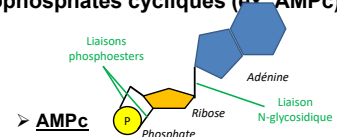
▲ **Polymérisation de l'ADN.** D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

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

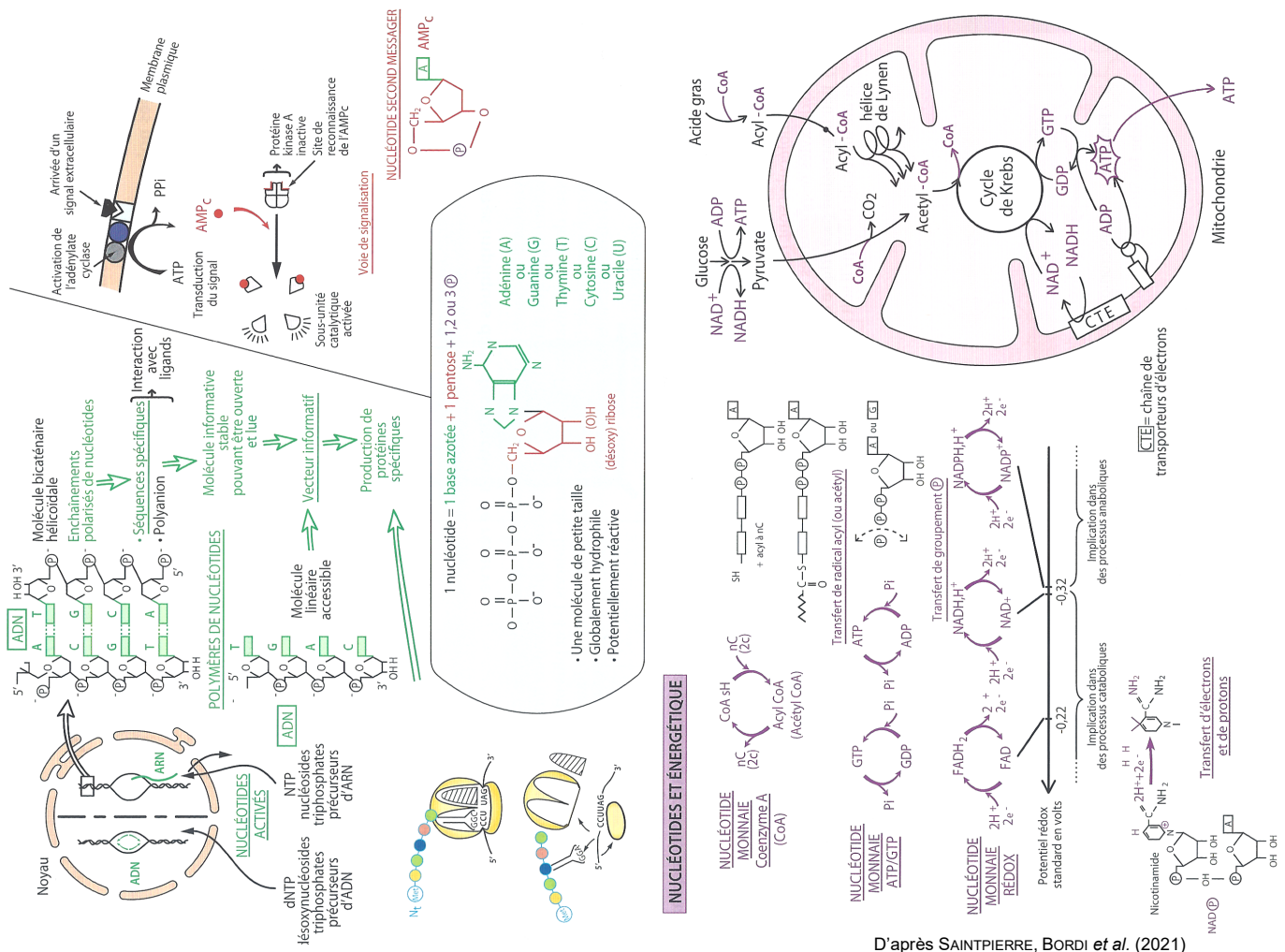


▲ **Principe de fonctionnement du coenzyme A.** D'après DAUTEL *et al.* (2021)

- **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	
Biochimie	Structure tridimensionnelle : une structure en double hélice	Biochimie	Structure tridimensionnelle simplifiée d'un ARNt

▲ 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 **zwitterion** = **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.

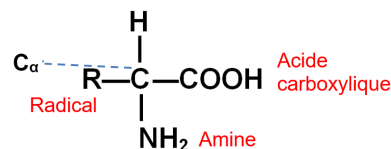
[Coloration par le **vert d'iode**]

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

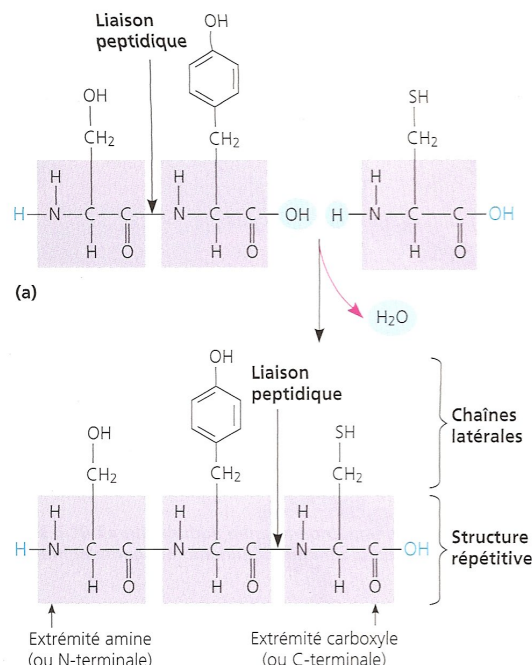
- **Polymérisation** d'AA par formation de **liaisons peptidiques** [amidification] / **dépolymérisation** par hydrolyse de **liaisons peptidiques**

→ Au sens large **CO – NH** [Réaction entre – COOH d'un AA et – NH₂ 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 (amidification).**

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 **repliement** de la protéine lors de sa **maturation** :
 - **Structure primaire** : **polypeptide linéaire** (correspond à la **séquence peptidique**).

Le repliement 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** :

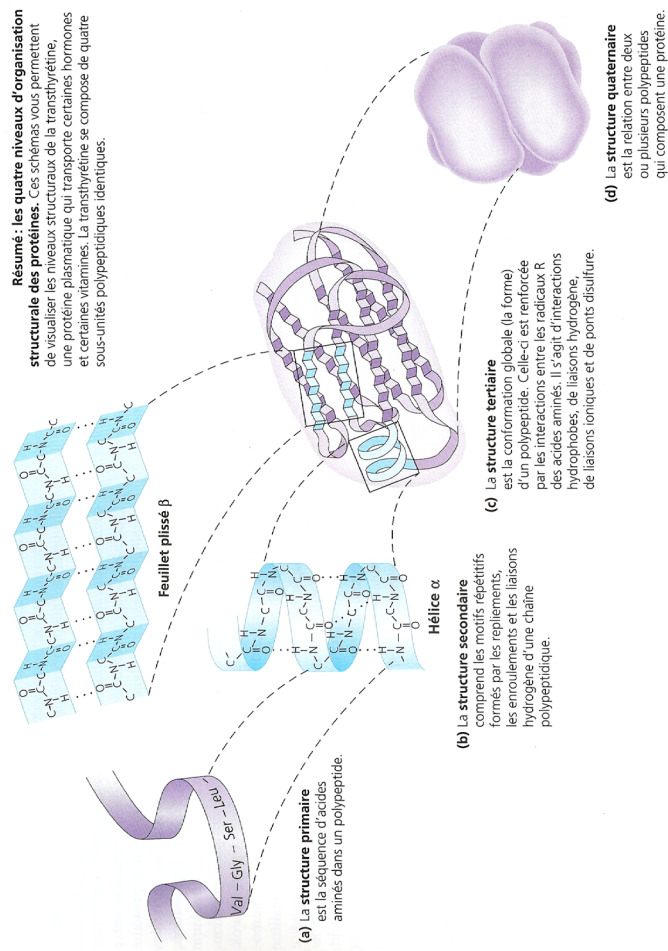
→ **groupement prosthétiques** (petits groupements issus d'autres familles de molécules organiques, présentant un **ion métallique**) comme l'hème de l'hémoglobine.

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

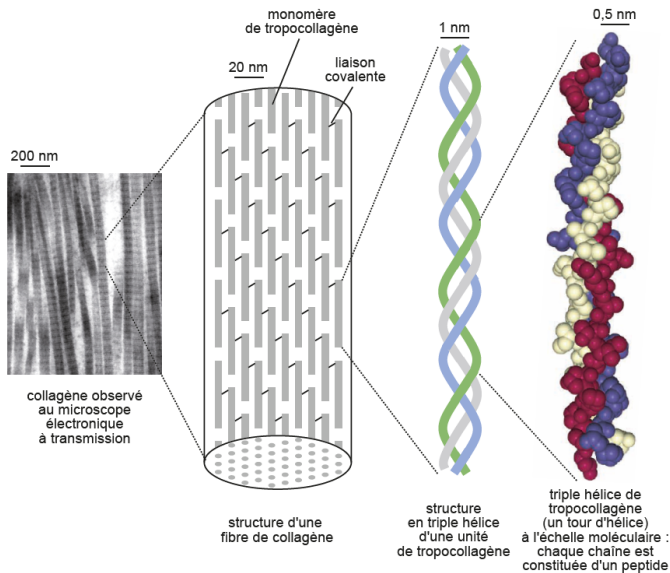
→ **lipides** : formation d'une **lipoprotéine**.

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

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

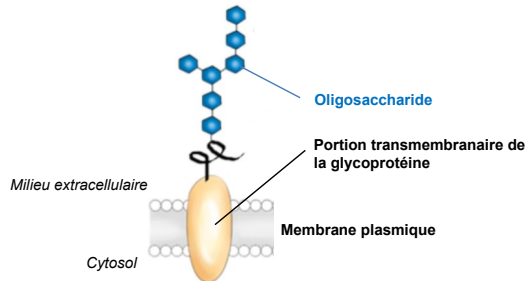


- **Forme des protéines variable.** 2 formes notoires : **fibrillaire** (*en long* : protéines de **structure**) ou **globulaire** (*en boule* : nombreuses autres protéines : enzymes, transporteurs...). (!) Toujours relation structure-fonction
- Lors de la **maturation** : **modifications d'AA** dont 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**]

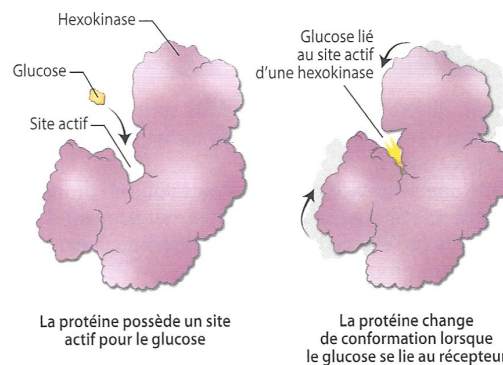


Le collagène, une protéine fibrillaire résistant à l'étirement.

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

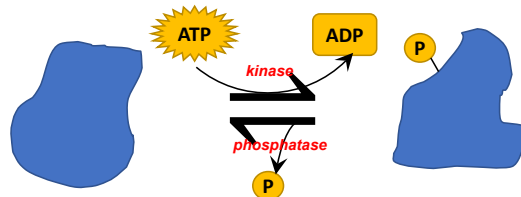


◀ **Glycoprotéine.**

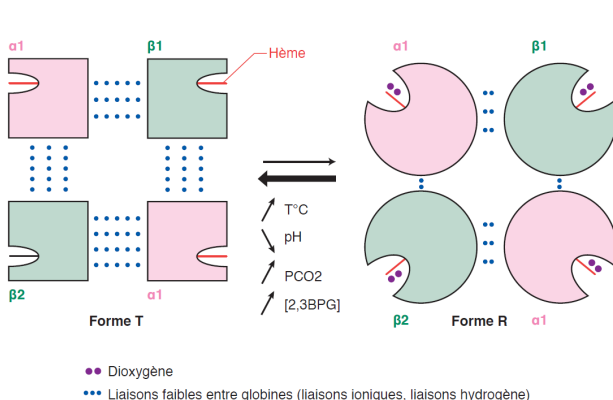


◀ **Ajustement induit.** D'après DAUTEL *et al.* (2021).

L'enzyme hexokinase change de forme lors de la fixation du substrat, le glucose.



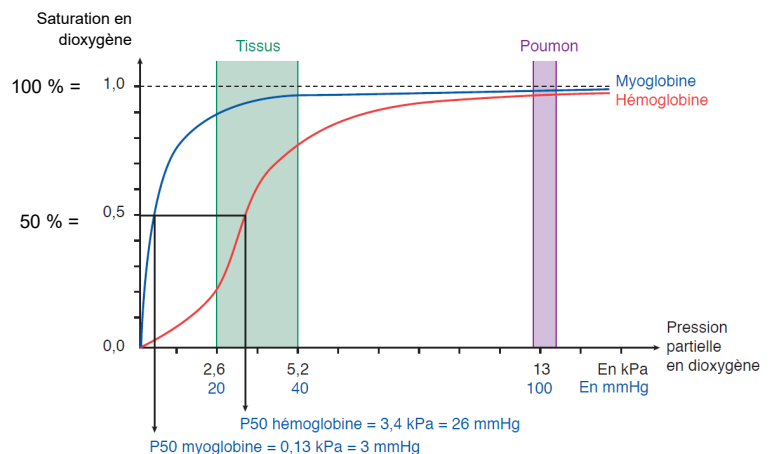
◀ **Phosphorylation / déphosphorylation de protéine.**



Une hausse de la température, de la P_{CO_2} , 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.

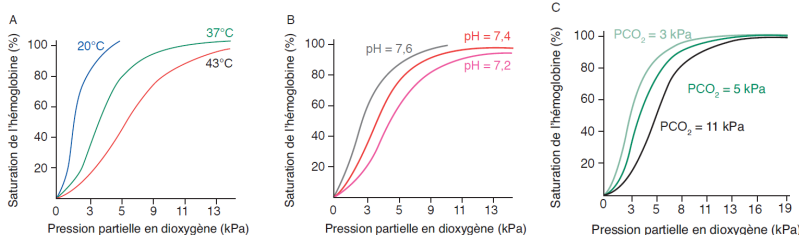
▲ **Organisation de l'hémoglobine et action de divers paramètres.**

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** : **séquencage**, **cristallographie / rayons X**, **RMN**, **diagramme de Ramachandran**, **profils d'hydropathie**

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