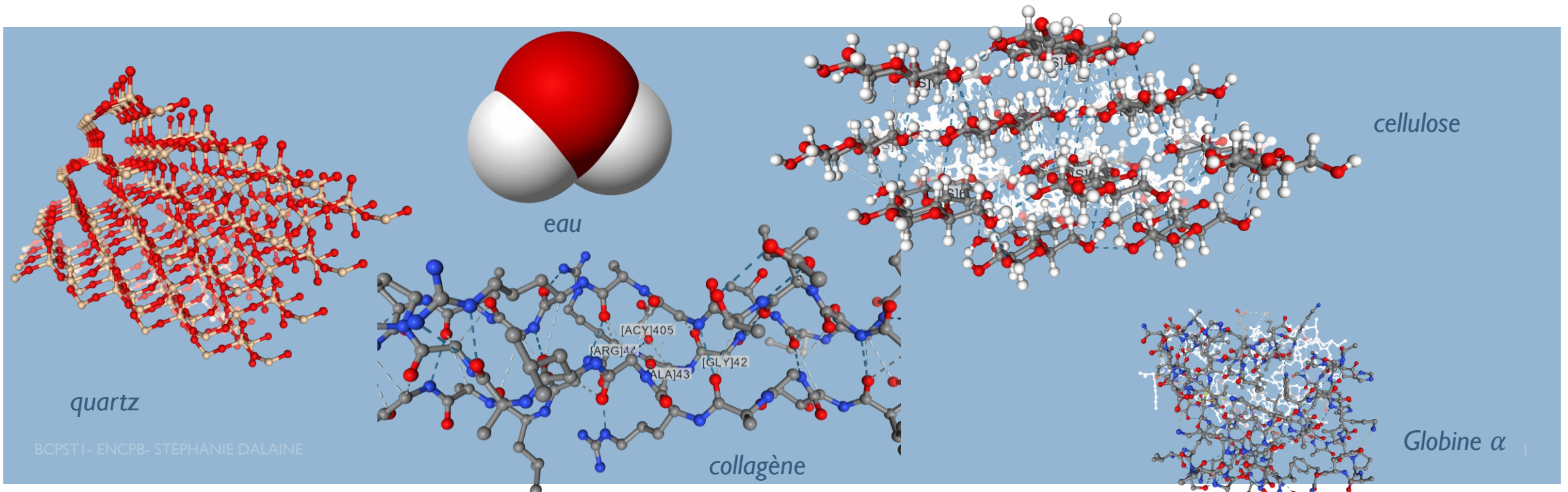


SV-D-I LES CONSTITUANTS DU VIVANT

SV-D-ORGANISATION FONCTIONNELLE DES MOLÉCULES DU VIVANT



QUE DIT LE B.O.?



Connaissances clés à construire

Les atomes de carbone des molécules biologiques portent des fonctions variées qui déterminent leurs propriétés physico-chimiques (dimension, solubilité, polarité, ionisation).

Le rôle biologique des molécules organiques dépend de leurs propriétés physico-chimiques et de leur réactivité.

Des réactions d'oxydo-réduction modifient et diversifient les fonctions chimiques des petites molécules biologiques. Une même molécule peut appartenir à plusieurs familles.

Commentaires, capacités exigibles

Mettre en relation les caractéristiques d'une molécule (nature, taille...) et ses propriétés (hydrophilie, solubilité, ionisation...), sa réactivité (acides, bases, esters et thioesters, phosphorylations, équilibre céto-énolique) et in fine sa stabilité, ses fonctions.

Identifier la nature des réactions chimiques lors de l'analyse d'une voie métabolique (acide-base, estérification, hydrolyse, oxydo-réduction, hydratation, aldolisation).

Cf maturation du tropocollagène

Identifier et analyser les réactions d'oxydo-réduction du vivant en termes de transferts d'électrons.

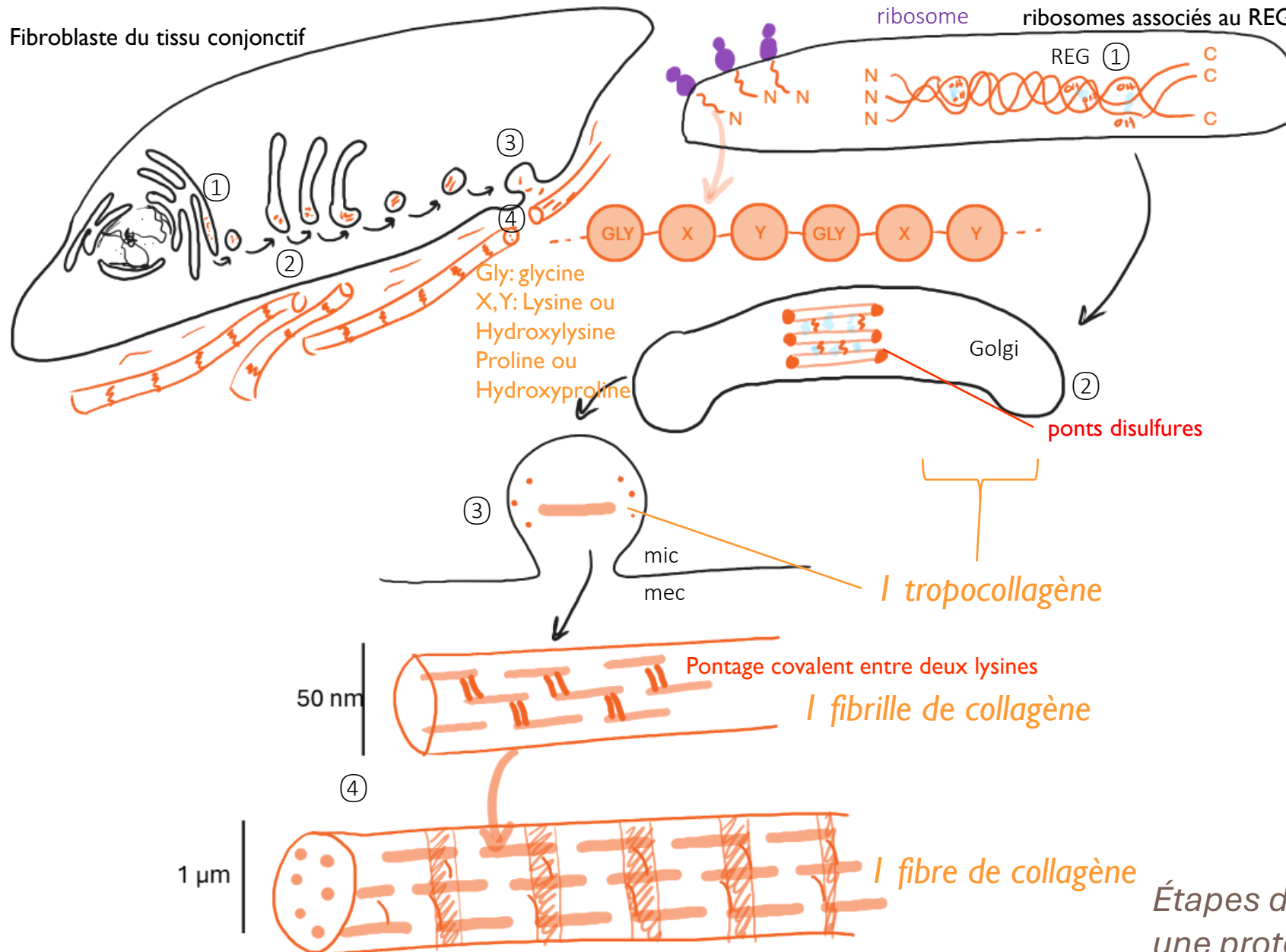
On se limitera à la description des fonctions alkyl, alcool, aldéhyde, cétone, acide et amine.

Liens : métabolisme, cours de chimie.



Fibroblaste du tissu conjonctif

Traduction de l'ARNm en hélice de collagène par les ribosomes associés au REG : voie endomembranaire



① Maturation dans le REG avec notamment action de l'hydroxylase permettant de passer de la proline à l'hydroxyproline (lysine en hydroxylysine) + liaisons H entre les 3 chaînes + mise place de ponts disulfures à l'extrémité carboxyterminale + N-glycosylation

② Maturation dans le Golgi avec pontage entre les tropocollagènes par aldolisation

③ exocytose et ④ assemblage en fibrilles de collagène dans le milieu extracellulaire, association des fibrilles en fibre de collagène

Étapes de la synthèse du collagène, une protéine extracellulaire

CONSTAT



- Vivant = matière organique + matière minérale.
- Matière = constituée de molécules:
 - assemblages d'atomes liés par des liaisons covalentes et aussi des liaisons faibles
 - Réaction entre molécules = **métabolisme** (ensemble des réactions chimiques du vivant).
- Eau très représentée : de 70 à 95 % de la masse d'un individu
 - ⇒ Eau liquide essentielle à la vie
 - ⇒ Cf critères d'habitabilité d'une planète (possibilité de l'existence d'eau liquide à sa surface)

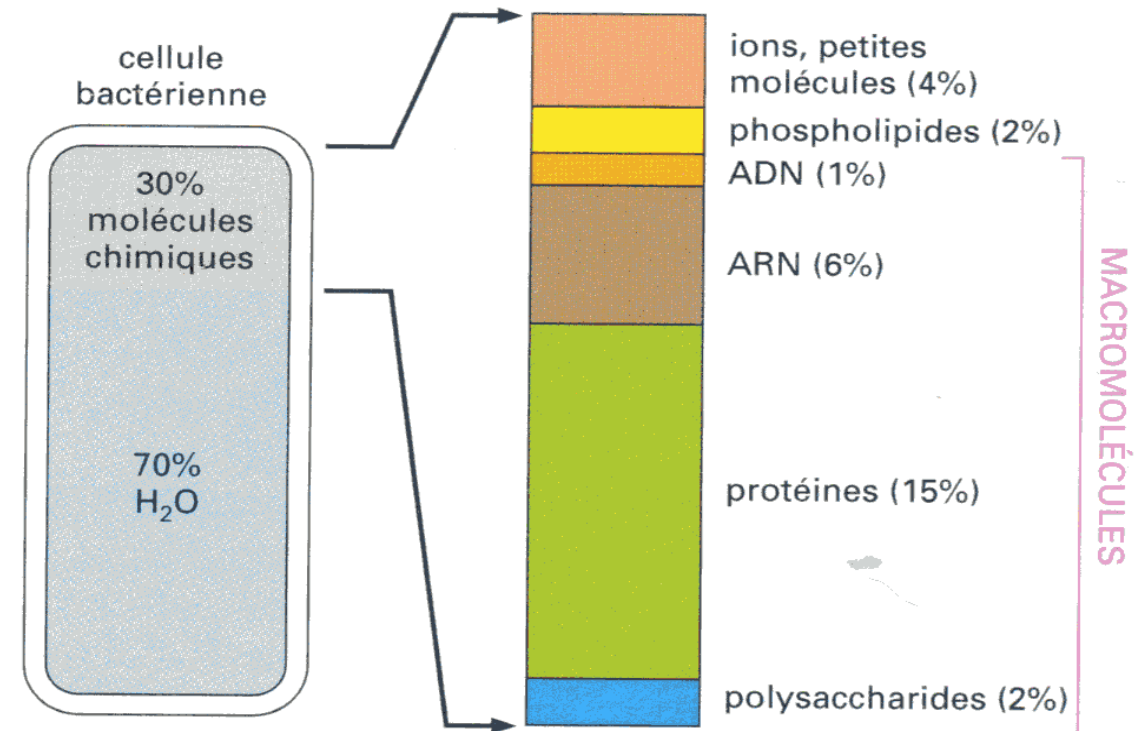


Figure 1: % massique des principales molécules du vivant

En quoi l'eau joue-t-elle un rôle majeur dans le vivant ? Quelles sont les principales molécules du vivant et comment interagissent-elles avec l'eau et entre elles ?

PLAN DU COURS

- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

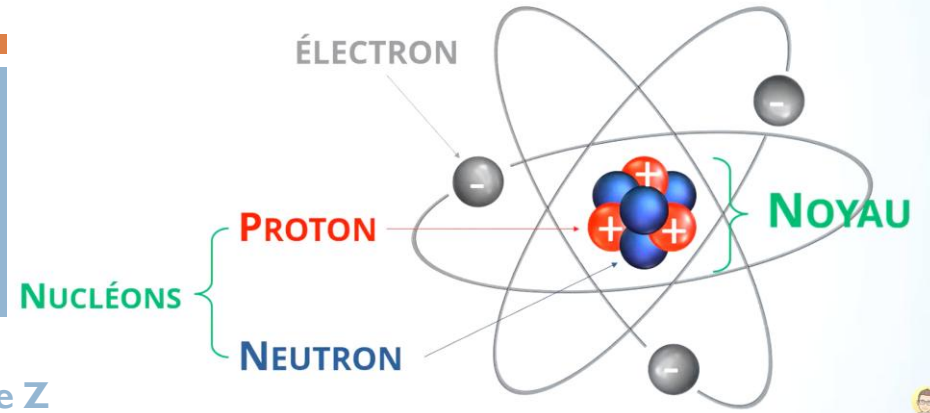
PLAN DU COURS

- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES

A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS

I. Constitution d'un atome



Capture écran cours Paul Olivier

- Un **élément** = un atome =
 - Un **noyau** : **protons** (chargés positivement) + **neutrons**
 - Un nuage d'électrons (chargés négativement)
 - ✓ *Rappel: un atome est électriquement neutre*

- Représentation symbolique du noyau de l'atome: notation A_ZX

- **nombre de masse A** : nombre de nucléons (neutrons + protons)
- **NUMÉRO ATOMIQUE Z** : **NOMBRE DE PROTONS (LA CHARGE)**
- ✓ *cf classification périodique: atomes classés par nombre de protons croissants*
- ✓ *Nature d'un atome dépend uniquement de son numéro atomique.*

- Éléments possédant le même numéro atomique mais des nombres de masses différents : **isotopes**

- ✓ *Ex: tritium ${}^3_1\text{H}$ et l'hydrogène ${}^1_1\text{H}$*
- ✓ *Ex carbone 12 ${}^{12}_6\text{C}$ et le carbone 14 ${}^{14}_6\text{C}$.*

Numéro atomique Z

Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe	1	2	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII	IX	X	XI	II B	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII A	
1	Hydrogène 1 H 1,007975																		Hélium 2 He 4,002602
2	Lithium 3 Li 6,939	Béryllium 4 Be 9,0121831											Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006855	Oxygène 8 O 15,9994	Fluor 9 F 18,99840316	Néon 10 Ne 20,1797(6)	
3	Sodium 11 Na 22,98976928	Magnésium 12 Mg 24,3055											Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085(1)	Phosphore 15 P 30,97376200	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Argon 18 Ar 39,948(1)	
4	Potassium 19 K 39,0983(1)	Calcium 20 Ca 40,078(4)	Scandium 21 Sc 44,955908(6)	Titane 22 Ti 47,867(1)	Vanadium 23 V 50,9415(1)	Chrome 24 Cr 51,9961(6)	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845(2)	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934(4)	Cuivre 29 Cu 63,546(3)	Zinc 30 Zn 65,38(2)	Galium 31 Ga 69,723(1)	Germanium 32 Ge 72,630(8)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971(8)	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,798(2)	
5	Rubidium 37 Rb 85,4678(3)	Strontium 38 Sr 87,62(1)	Yttrium 39 Y 88,90584	Zirconium 40 Zr 91,224(2)	Niobium 41 Nb 92,90637	Molybdène 42 Mo 95,95(1)	Technétium 43 Tc [98]	Ruthénium 44 Ru 101,07(2)	Rhodium 45 Rh 102,90550	Palladium 46 Pd 106,42(1)	Argent 47 Ag 107,8682(2)	Cadmium 48 Cd 112,414(4)	Indium 49 In 114,818(1)	Étain 50 Sn 118,710(7)	Antimoine 51 Sb 121,760(1)	Tellure 52 Te 127,60(3)	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,293(8)	
6	Césium 55 Cs 132,905452	Baryum 56 Ba 137,327(7)	Lanthanides 57-71	Hafnium 72 Hf 178,49(2)	Tantale 73 Ta 180,94788	Tungstène 74 W 183,84(1)	Rhénium 75 Re 186,207(1)	Osmium 76 Os 190,23(3)	Iridium 77 Ir 192,217(3)	Platine 78 Pt 195,084(9)	Or 79 Au 196,966569	Mercur 80 Hg 200,592(3)	Thallium 81 Tl 204,3835	Plo 82 Pb 207,2(1)	Bismuth 83 Bi 208,98040	Po 84 Po [209]	Astato 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]	
7	Françium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Actinides 89-103	Rutherfordium 104 Rf [267]	Dubnium 105 Db [268]	Seaborgium 106 Sg [269]	Bohrium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [271]	Méitnérium 109 Mt [278]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [282]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [286]	Flerovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [289]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennesse 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]	
			Lanthane 57 La 138,90547	Cérium 58 Ce 140,116(1)	Praséodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242(3)	Prométhium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36(2)	Europium 63 Eu 151,964(1)	Gadolinium 64 Gd 157,25(3)	Terbium 65 Tb 158,92535	Dysprosium 66 Dy 162,500(1)	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259(3)	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,045	Lutécium 71 Lu 174,9668		
			Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa 231,03588	Uranium 92 U 238,02891	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Americium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendelevium 101 Md [258]	Nobelium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [260]		

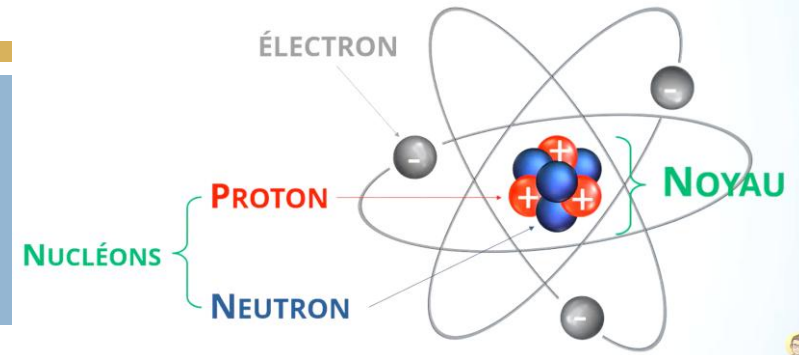
Alcalins Alcalino-terreux Lanthanides Actinides Métaux de transition Métaux pauvres Métalloïdes Autres non-métaux Halogènes Gaz nobles Non classés

primordial intégration d'autres éléments synthétique

I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES

A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS

I. Constitution d'un atome



Capture écran cours Paul Olivier

- **Configuration électronique** d'un atome: répartition des électrons dans les différentes couches (1, 2, ...) et sous couches (s, p)

- ordre de remplissage des couches:

$$1s > 2s > 2p > 3s > 3p$$

- ✓ Sous-couche s: 2 électrons max

- ✓ Sous-couche p: 6 électrons max

- Identification des électrons de valence présents sur la couche externe (autres électrons = électrons de cœur)

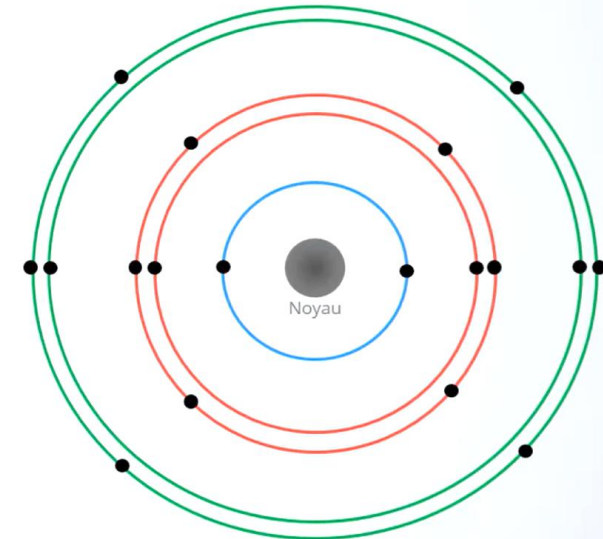
- Cortège électronique d'un atome (modèle de Bohr)

- ✓ Ex atome de C: 4 électrons de valence

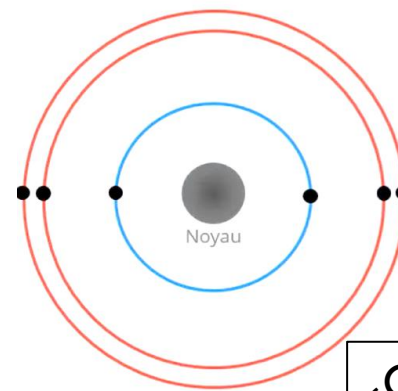
1^{ÈRE} COUCHE
→ sous couche s

2^E COUCHE
→ sous couche s
→ sous couche p

COUCHE
➤ sous couche s
➤ sous couche p



Capture écran cours Paul Olivier



Capture écran cours Paul Olivier

${}^6\text{C}$



4 électrons de valence

I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES

A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS

I. Constitution d'un atome



- **Règle de stabilité:** acquérir la configuration électronique du gaz noble le plus proche

➤ Gaz nobles (éléments stables → faible réactivité chimique = inerte → pas de molécules formées)(dernière colonne à droite)

✓ Ex ${}_2\text{He}$: $1s^2$

⇒ Couche de valence saturée → stabilité chimique

➤ Les atomes tendent vers la stabilité → cherchent à atteindre une couche de valence pleine (règle duet-octet) → s'associer pour former des molécules /ou former des ions

⇒ Connaître **modèle de Lewis** ie structure électronique externe et donc la répartition des électrons de valence:

✓ **Doublets d'électrons liants**

✓ **Doublets d'électrons non liants**



Capture écran cours Paul Olivier

Tableau périodique des éléments chimiques

1	2	13	14	15	16	17	18										
Hydrogène 1 H 1,007975	Béryllium 4 Be 9,0121831	Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006855	Oxygène 8 O 15,99940	Fluor 9 F 18,99840316	Hélium 2 He 4,002602										
Lithium 3 Li 6,9395	Magnésium 12 Mg 24,3055	Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085(1)	Phosphore 15 P 30,97376209	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Néon 10 Ne 20,1797(6)										
Sodium 11 Na 22,98976928	Calcium 20 Ca 40,078(4)	Scandium 21 Sc 44,955908(5)	Titane 22 Ti 47,867(1)	Vanadium 23 V 50,9415(1)	Chrome 24 Cr 51,9961(6)	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845(2)	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934(4)	Cuivre 29 Cu 63,546(3)	Zinc 30 Zn 65,38(2)	Gallium 31 Ga 69,723(1)	Germanium 32 Ge 72,630(6)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971(8)	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,798(2)

← nom de l'élément (**gaz, liquide** ou **solide** à 0°C et 101,3 kPa)
 ← numéro atomique
 ← symbole chimique
 ← masse atomique relative (ou celle de l'isotope le plus stable)
 [CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015]

1	2	13	14	15	16	17	18
1H $1s^1$ H·							2He $1s^2$ He
3Li $.. 2s^1$ Li·	4Be $.. 2s^2$ Be·	5B $.. 2s^2 2p^1$ ·B·	6C $.. 2s^2 2p^2$ ·C·	7N $.. 2s^2 2p^3$ ·N·	8O $.. 2s^2 2p^4$ ·O·	9F $.. 2s^2 2p^5$ F	10Ne $.. 2s^2 2p^6$ Ne
11Na $.. 3s^1$ Na·	12Mg $.. 3s^2$ Mg·	13Al $.. 3s^2 3p^1$ ·Al·	14Si $.. 3s^2 3p^2$ ·Si·	15P $.. 3s^2 3p^3$ ·P·	16S $.. 3s^2 3p^4$ ·S·	17Cl $.. 3s^2 3p^5$ Cl	18Ar $.. 3s^2 3p^6$ Ar

Capture écran cours Paul Olivier

I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES

A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS

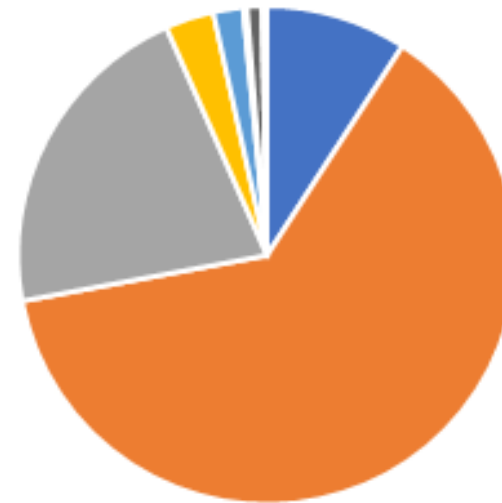
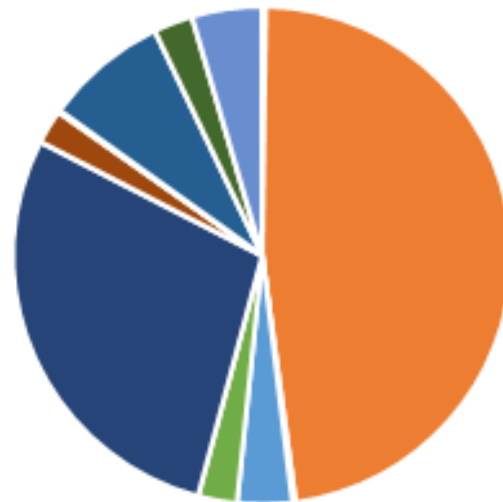
2. Les principaux atomes du vivant



croûte terrestre

être humain

Principaux éléments



■ H ■ O ■ C ■ N ■ Ca ■ K ■ Si ■ Mg ■ P ■ S ■ Al ■ Na ■ Fe

Principaux éléments

O, C, H et N: macro-éléments
Fe, P, S...: oligo-éléments

O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, P

Figure 3 : Composition atomique (en % massique) des êtres vivants et de la croûte terrestre (connaître les valeurs approximatives)

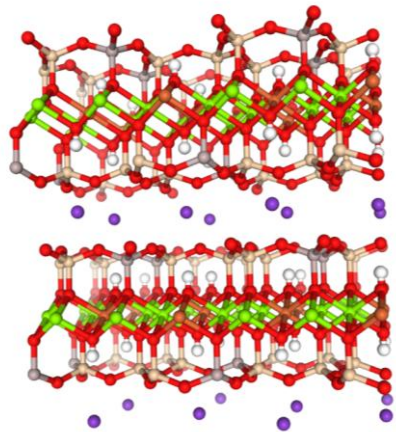
I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES

A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS

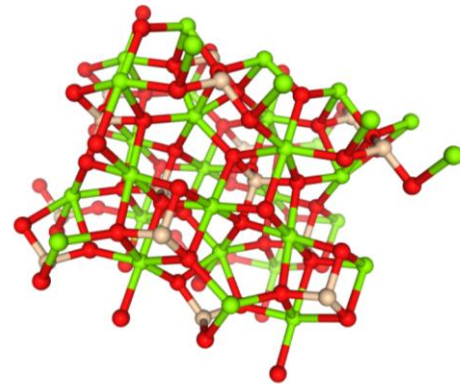
3. Molécule minérale ou organique



- Molécules minérales : eau et sels minéraux

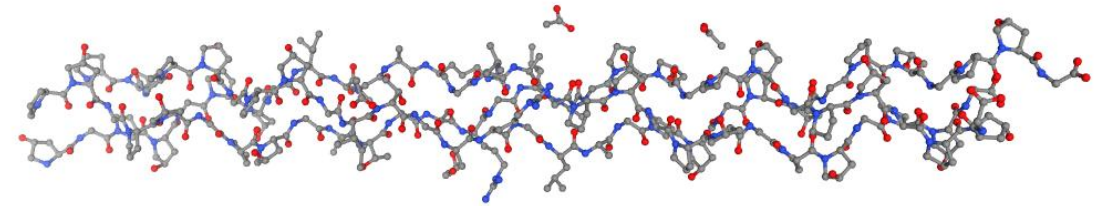


Biotite (mica noir) Libmol

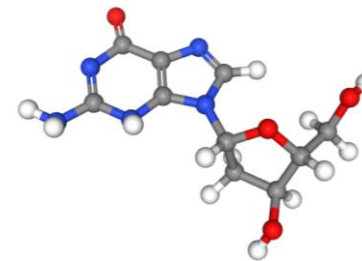


Olivine forstérite Libmol

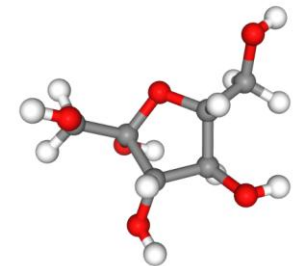
- Molécules organiques : **molécules carbonées réduites** produites par les êtres vivants : sucres, protéines, lipides, acides nucléiques essentiellement, combustibles dans une atmosphère oxydante



Collagène

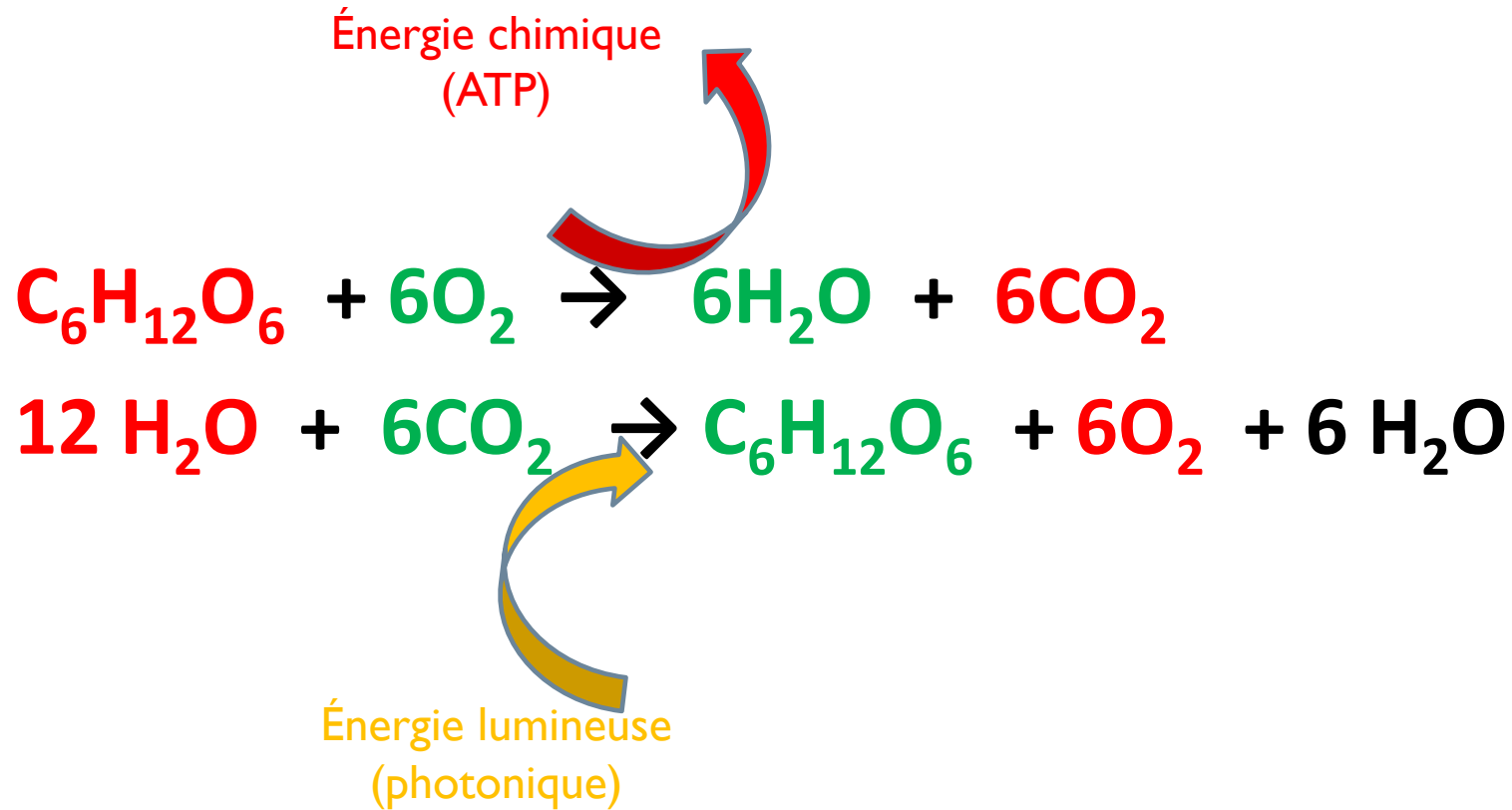


Désoxyguanosine Libmol



Fructose Libmol

RÉFLEXION SUR LE NOMBRE D'OXYDATION



Oxydation
Réduction
Comment le démontrer?

Rappels:

oxydant= espèce chimique capable de capter des électrons

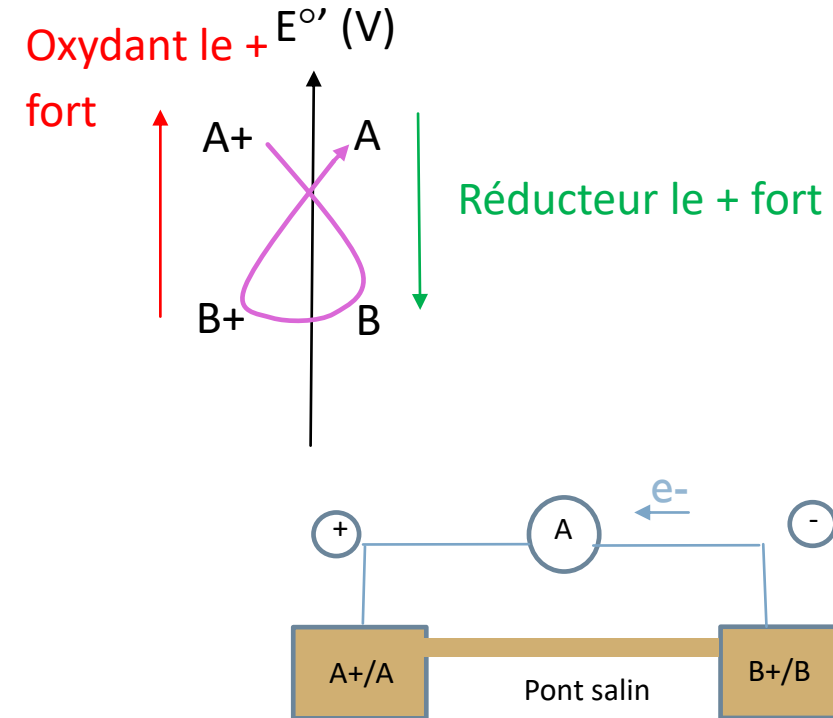
Réducteur: espèce chimique capable de céder des électrons

LES ÉNERGIES D'OXYDO-RÉDUCTION

- Réducteur : donneur d'e-
- Oxydant : accepteur d'e-
- entre deux espèces chimiques, les e- vont toujours du réducteur le plus fort à l'oxydant le plus fort

Réactions redox se font spontanément dans le sens des potentiels croissants

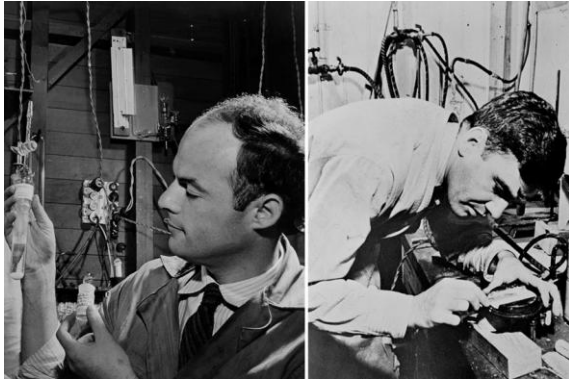
$$\Delta G^{\circ} = - nF\Delta E$$



Réaction d'oxydoréduction et énergie libérée

I. Les végétaux chlorophylliens sont photolithotrophes

I.2. Mise en évidence d'un dégagement de dioxygène et de son origine



Samuel Ruben (1913-1943) and Martin Kamen (1913-2002)

- Protocole:

Utilisation d'un **isotope lourd** de l'oxygène (^{18}O) à la place de l'oxygène habituel (^{16}O)

- Résultats:

➤ Lorsque $(\text{H}_2^{18}\text{O}) \rightarrow {}^8\text{O}_2$

=> l'eau (H_2O) est à l'origine du dioxygène produit.

=> pour former une molécule de dioxygène, il faut donc 2 molécules d'eau.

- Décomposer de la réaction photosynthétique en deux groupes de réactions :

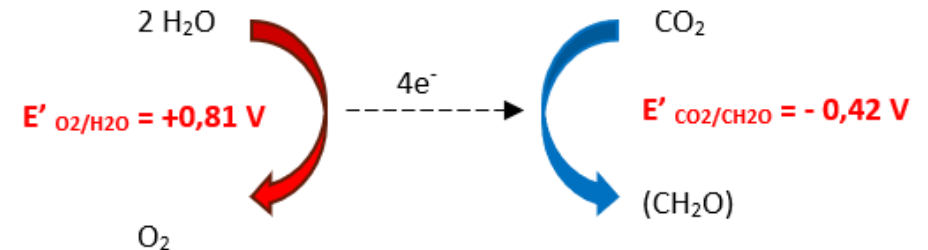
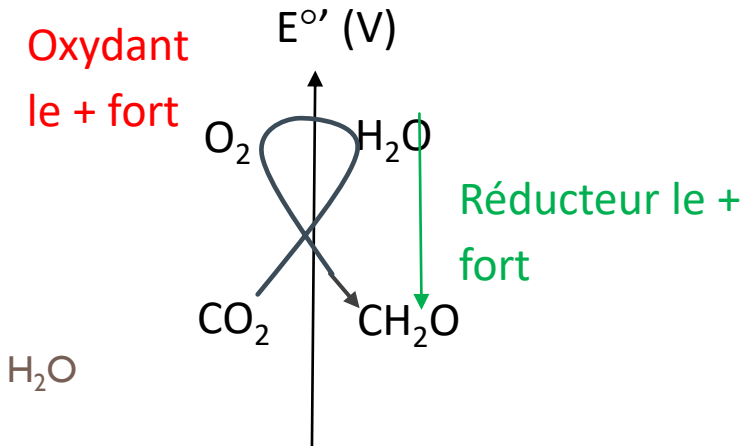
➤ Oxydation de l'eau :



➤ Réduction du carbone :



- Réactions d'OXYDO-REDUCTION faisant intervenir des transporteurs de protons (H^+) et d'électrons (e^-).



➤ $\Delta G^{\circ} = - nF\Delta E$ soit $\Delta G^{\circ} = -4.96 \text{ 500} \cdot (-0,42 - 0,81) = 475 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

➤ $\Delta G^{\circ} > 0$

➤ **Réaction endergonique**

L'assimilation du carbone minéral (CO_2) en carbone organique ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) est une **réduction** de l'élément carbone

- Soit $x = \text{n.o. de C dans le glucose}$;

on peut écrire :

$$(\text{n.o.}) \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 0 = 6x + 12.(+1) + 6.(-2)$$

ainsi $(\text{n.o.}) \text{C} = 0$

De même il vient pour n.o. de C dans le dioxyde de carbone :

$$\text{Somme } (\text{n.o.}) \text{CO}_2 = 0 = x + 2.(-2) \text{ soit } x = +4.$$

On constate alors que l'élément carbone est plus oxydé dans le dioxyde de carbone que dans le glucose ;

pour passer du carbone minéral (CO_2) au carbone organique (glucose), il faut fournir à chaque carbone 4 e^- donc le réduire.

ENTRAÎNEMENT AU CALCUL DU NOMBRE D'OXYDATION

Soit x le n.o. de C :

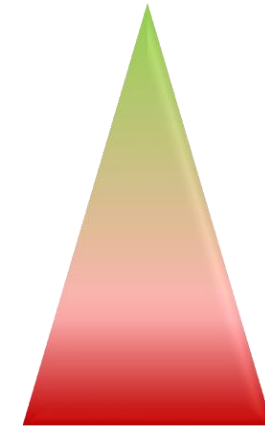
C de la fonction **méthyle** $R-CH_3$: $0 = x + 3.(+1)$ d'où **n.o. C = -III** ;

C d'une fonction **alcool** $R-CH_2OH$: $0 = x + 3.(+1) + (-2) + 1$ soit **n.o. C = -I** ;

C de la fonction **aldéhyde** $R-CHO$: $0 = x + 1 + (-2)$ d'où **n.o. C = +I** ;

C de la fonction cétone $R-CO-R'$: $0 = x + (-2)$ d'où **n.o. C = +II** ;

C de la fonction **carboxyle** $R-COOH$: $0 = x + 2.(-2) + 1$ d'où **n.o. C = +III**.



Degré d'oxydation du carbone

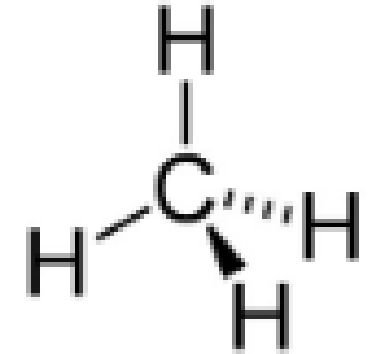
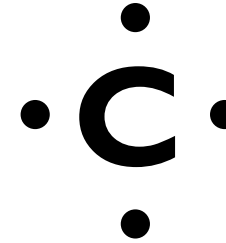
Ce qu'il faut retenir en biologie, c'est qu'on dira qu'une **molécule est plus oxydée si ses atomes de carbone ont un degré d'oxydation élevé**, et qu'une molécule est réduite si le degré d'oxydation est... réduit (plus faible). Un atome de C relié à plusieurs O est donc plus oxydé qu'un atome de C relié à plusieurs H. On définit une **molécule organique** comme une **molécule carbonée réduite** (avec au moins un hydrogène lié).

DE MANIERE GENERALE, **AU COURS DE LA DEGRADATION DU CARBONE ORGANIQUE, L'OXYDATION DU C AUGMENTE.**

DES MOLÉCULES ORGANIQUES

- Le ${}_6\text{C}$ est un atome de petite taille possédant 4 électrons libres sur sa couche externe
 - **C tétravalent** => formation de **squelettes carbonés**
 - **C réduit dans la matière organique** (C a capté bcp d'e⁻ souvent accompagnés de H⁺)
 - ⇒ **oxydation de C organique exergonique** → libère énergie (**C réduit est combustible**)
 - **Squelette carboné** des biomolécules porte des **fonctions chimiques** (-OH, -COOH, -NH₂)
 - ⇒ existence de familles de molécules

Molécule organique = biomolécule = C réduit (C-H)



DES MOLÉCULES MINÉRALES

- Toute molécule **non organique** est minérale

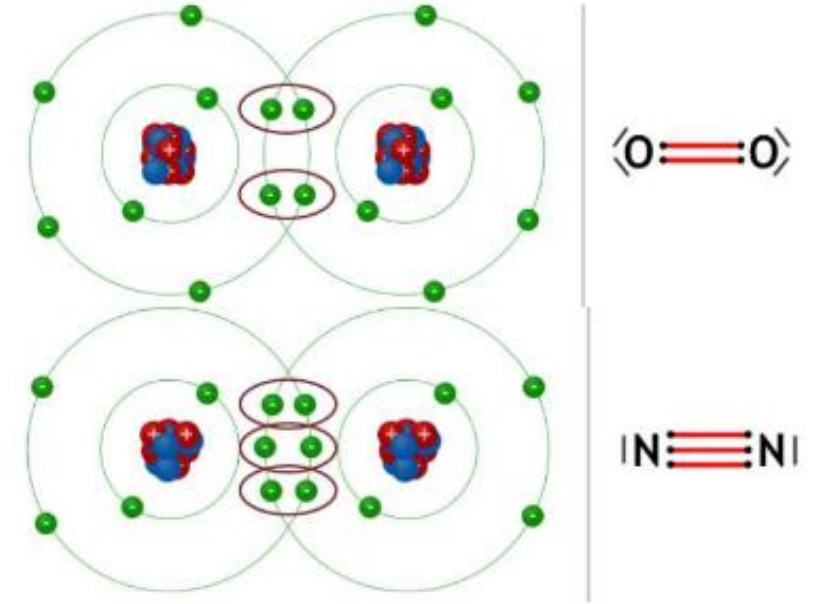
- H_2O
- O_2
- PO_4^{3-}
- HPO_4^{2-}



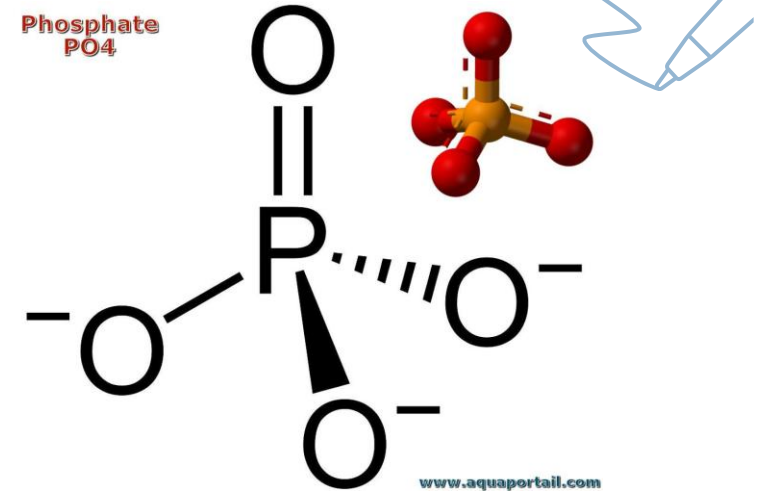
- Certaines molécules minérales comprennent du **C** :

- CO_2
- HCO_3^-
- CO_3^{2-}

- Ces molécules minérales ont des **rôles essentiels dans la cellule** ($\text{O}_2 \rightarrow$ respiration, carbonate \rightarrow tampon cellulaire, phosphate \rightarrow précurseur d'ATP et d'Acide Nucléique...)



Phosphate
 PO_4



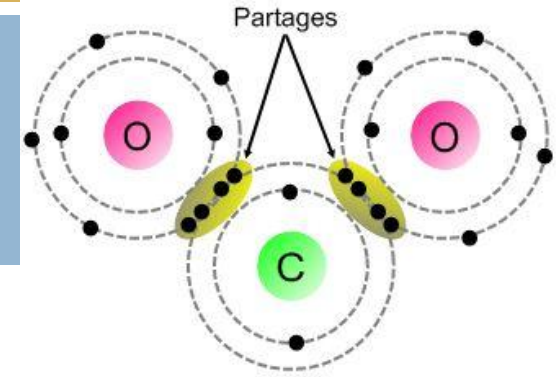
Phosphate inorganique (Pi) PO_4^{3-}

PLAN DU COURS

- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

B. LES LIAISONS COVALENTES : MISE EN COMMUN D'ÉLECTRONS ET FORMATION DE MOLÉCULES

I. Valence électronique et établissement des liaisons covalentes



- **nombre d'électrons** dans la **couche de valence** (dernière couche) → nombre de liaisons covalentes

- **C tétravalent** => formation de **squelettes carbonés**
- **C réduit** dans la **matière organique** (C a capté bcp d'e⁻ souvent accompagnés de H⁺) => **oxydation de C organique** => **libère énergie** (C réduit est combustible)
- **Squelette carboné** des biomolécules porte des **fonctions chimiques** (-OH, -COOH, -NH₂) => existence de familles de molécules

- Un ensemble d'atomes liés par des liaisons covalentes = molécule

⇒ Beaucoup d'énergie nécessaire pour briser **une liaison covalente = 300 à 400 kJ.mol⁻¹**

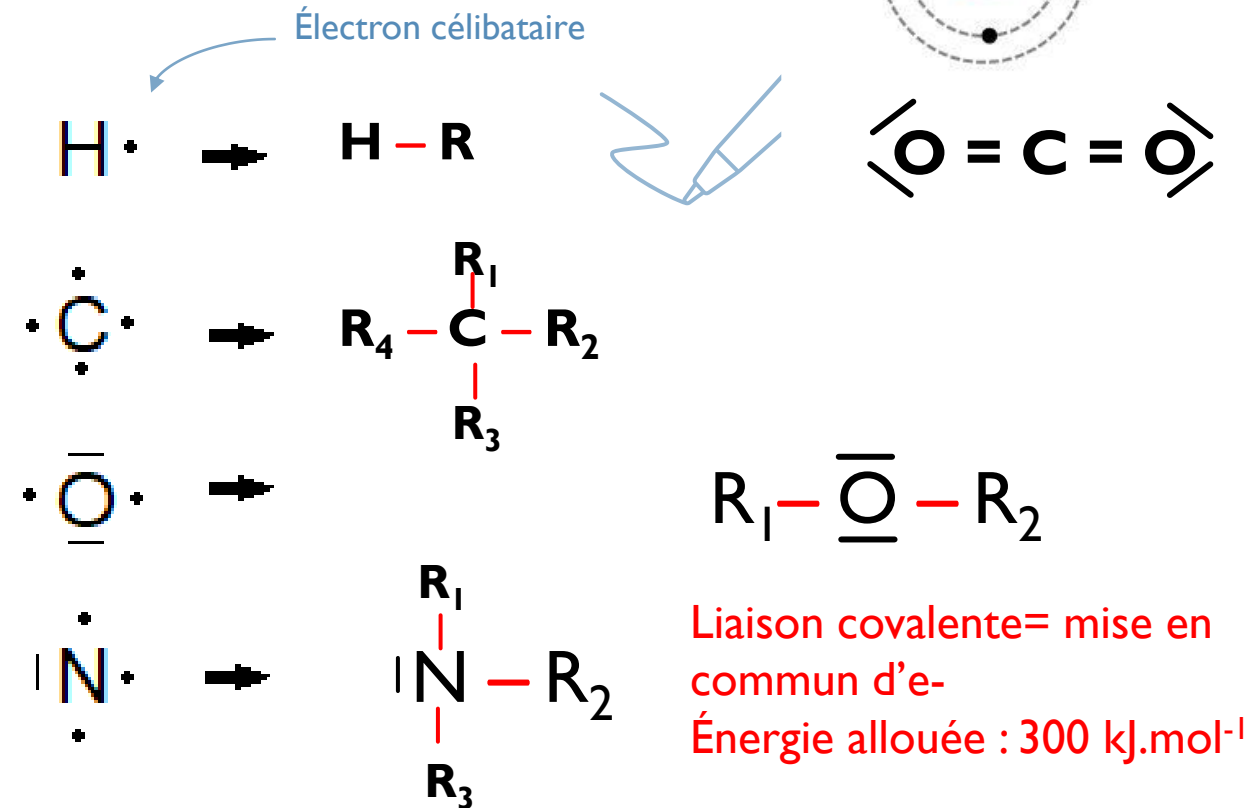


Figure 5 : modalités d'établissement des liaisons covalentes

Molécule organique = biomolécule = C réduit (C-H)

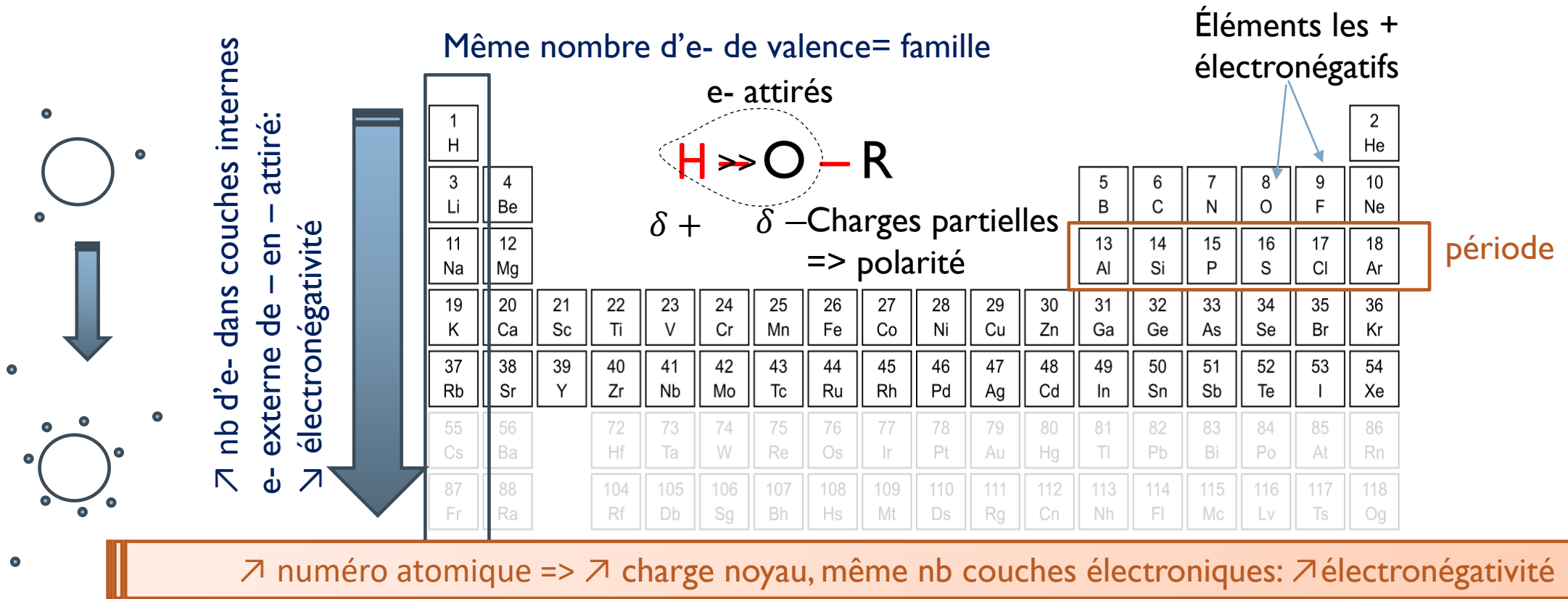
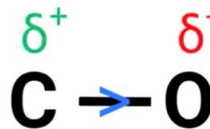


Figure 6: Tableau périodique des éléments et électro-négativité

- Échelle de Pauling: électro-négativité augmente le long d'une période
 - ⇒ F est le plus électro-négatif
- Les éléments d'une même colonne (même famille) : même nombre d'électrons de valence
 - ⇒ propriétés similaires

- Polarité d'une liaison:

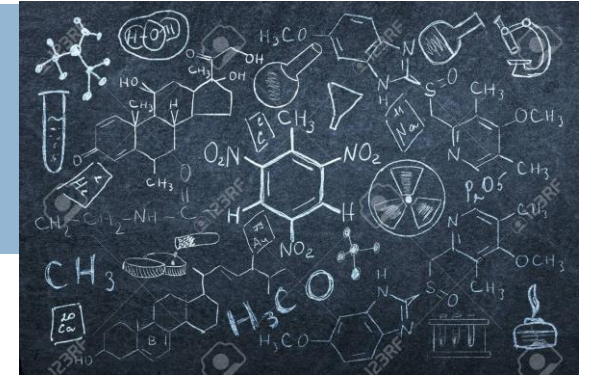
- Liaison covalente polarisée ssi différence électro-négativité entre deux atomes > 0,4
- ✓ C – H : liaison non polarisée
- ✓ C – O: liaison polarisée → e- plus souvent localisés près de O → $\delta -$



PLAN DU COURS

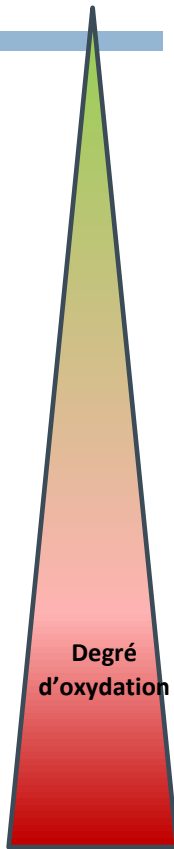
- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

C. LES PRINCIPALES FONCTIONS CHIMIQUES DANS LES MOLÉCULES DU VIVANT



Regroupements d'atomes = « fonctions » → propriétés chimiques particulières

- La chaîne carbonée : $R - CH_3$ ou $R - CH_2 - R$
 - ✓ Exemple : chaîne aliphatique d'un acide gras
- La fonction alcool : $C - OH$
 - ✓ Exemple : glycérol (tri-alcool).
- La fonction aldéhyde: $- C=O$ terminal
 - ✓ Exemple : glycéraldéhyde. Fonction polaire également
- La fonction cétone: $\diagup C=O \diagdown$
 - ✓ Exemple : dihydroxyacétone.
- La fonction acide carboxylique: $- COOH$
 - ✓ Exemple : tête hydrophile d'un acide gras.
- La fonction amine: $- NH_2$
- La fonction ester: $R - COO - R'$



Alkyl	$R-CH_3$ (-III) $R-CH_2-CH_3$ (-II)	$CH_3-CH_2-CH_2-C(=O)OH$
Alcool	$R-CH_2-OH$ (-I)	primaire secondaire $CH_2-CH-CH_2$ $ \quad \quad $ $OH \quad OH \quad OH$
Aldéhyde	$R-C(=O)H$ (+I)	$CH_2-CH-C(=O)H$ $ \quad $ $OH \quad OH$
Cétone	$R_1-C(=O)-R_2$ (+II)	$CH_2-C(=O)-CH_2$ $ \quad $ $OH \quad OH$
Acide carboxylique	$R-C(=O)OH$ (+III)	$CH_3-CH_2-CH_2-C(=O)OH$
Amine	$R-NH_2$ primaire R_1-NH-R_2 secondaire $R_1-N(R_2)-R_3$ tertiaire	$HO-C(=O)-CH(NH_2)-R$
Amide	$R_1-C(=O)-N(R_2)-H$	$AA_1-C(=O)-N(H)-AA_2$
Ester	$R_1-C(=O)O-R_2$ (+IV)	$H_2C-O-C(=O)-\text{chain}$ $H_2C-O-C(=O)-\text{chain}$ $H_2C-O-C(=O)-\text{chain}$
Thiol	$R-SH$	$HO-C(=O)-CH(NH_2)-CH_2-SH$
Phosphoryle	$R-O-P(=O)(O^-)-O^-$	$E-O-P(=O)(O^-)-O^-$

Acide gras (acide butyrique)

Glycérol

Glycéraldéhyde

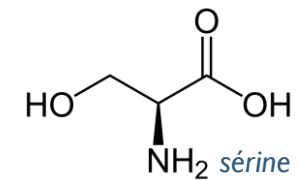
Dihydroxyacétone

Acide gras

Acide aminé (alanine)

Liaison peptidique

Triacylglycérol



- déplacements spontanés de doublets liants et non liants

➤ Formes tautomères des nucléotides

- ✓ Par exemple thymine **forme cétone en équilibre avec une forme énol**
- ✓ formes cétone normalement intégrées dans l'ADN
- ✓ Forme thymine-énol → mésappariement : thymine-énol se lie à la guanine

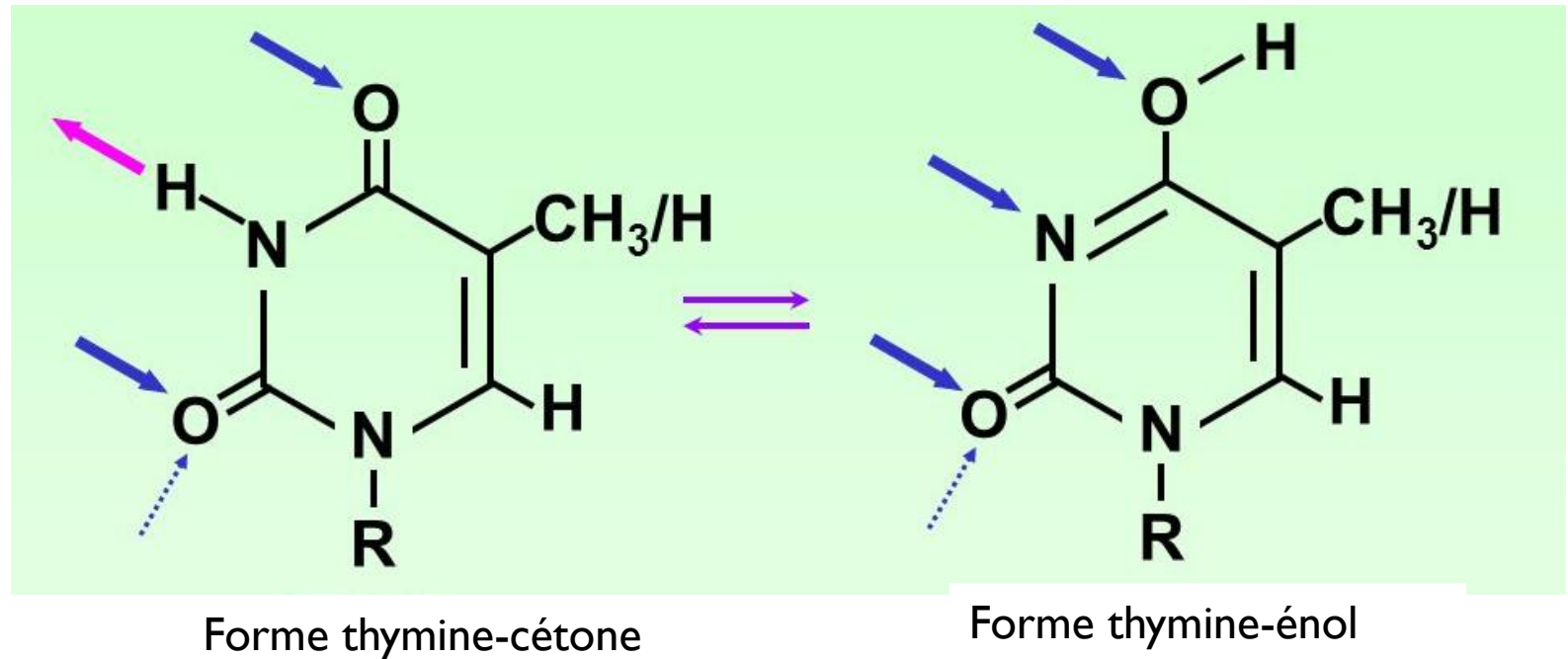
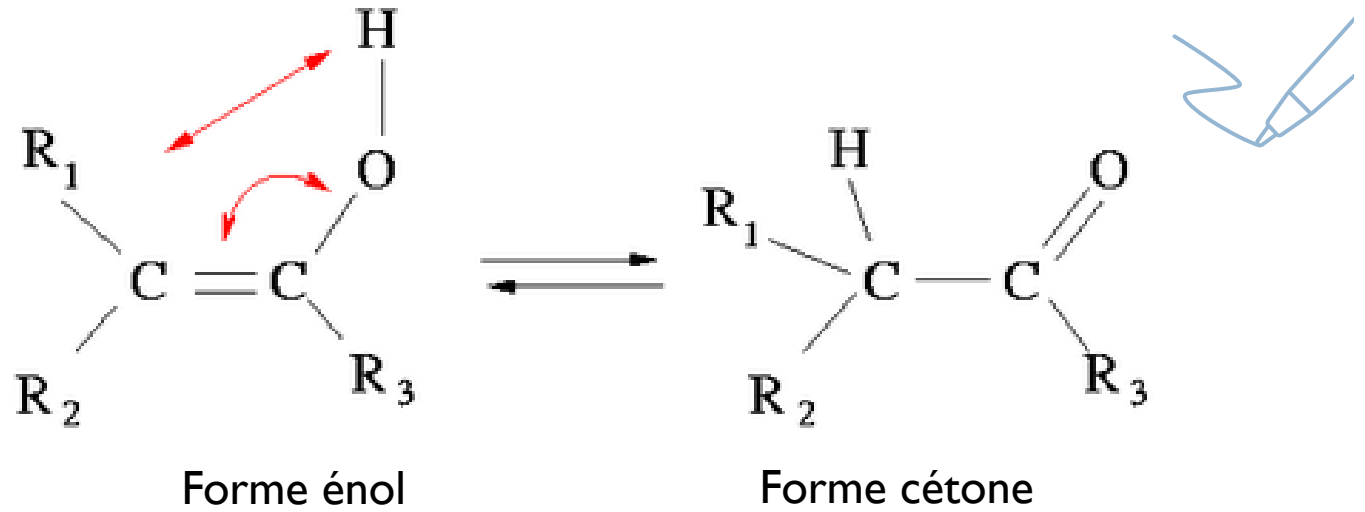


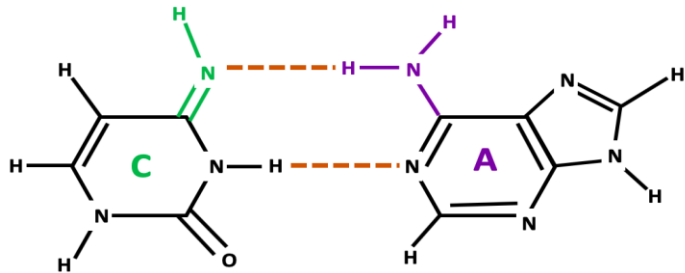
Figure 8 : l'équilibre céto-énolique, un exemple d'interconversion

- Les bases azotées peuvent basculer sous la forme de **tautomères** rares :

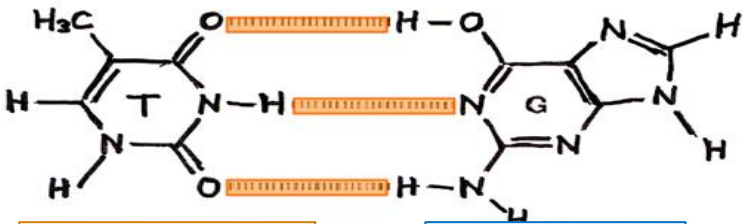
- T et G (cétones) existent sous forme énoles
- A et C (amines) existent sous forme imines



- Des **mésappariements** peuvent alors se former entre bases azotées :



Cytosine (imine) Adénine (amine)

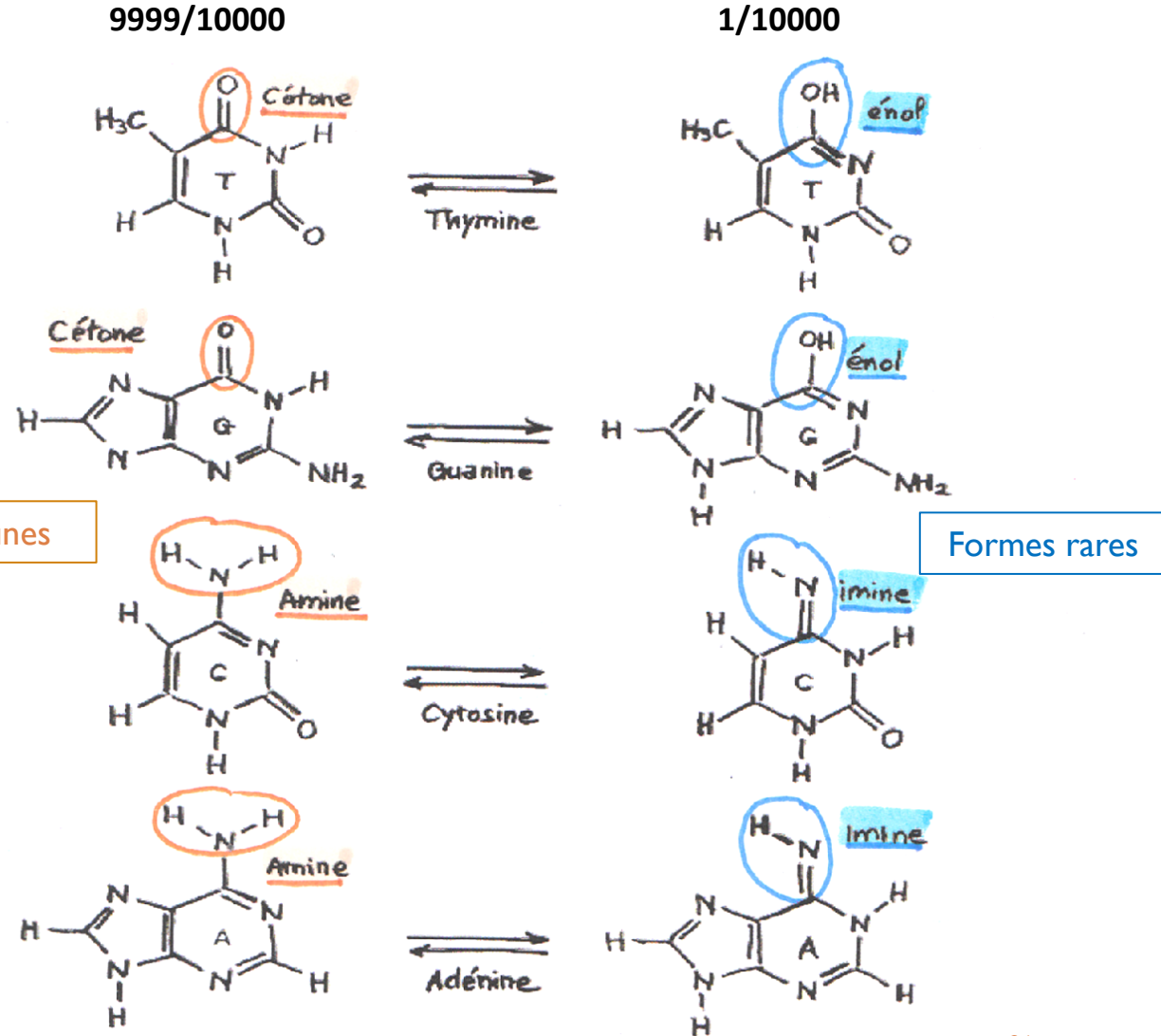


Thymine cétone

Guanine énoles



Formes communes



Formes rares

PLAN DU COURS

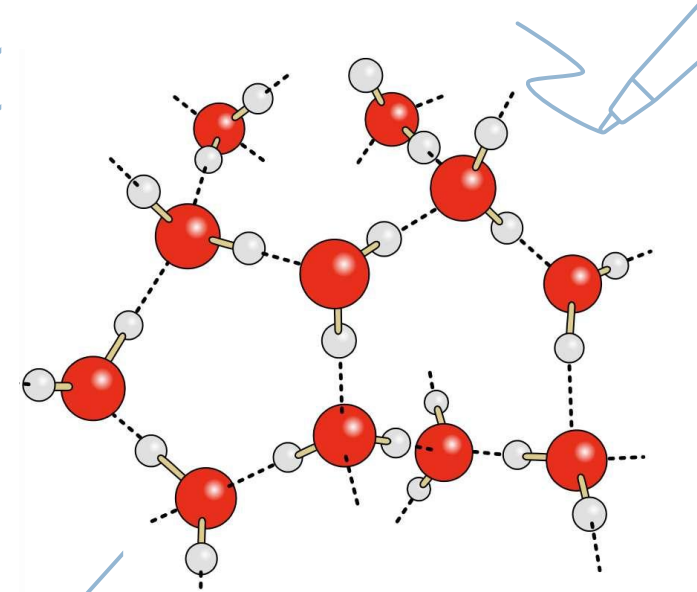
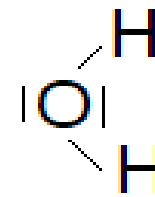
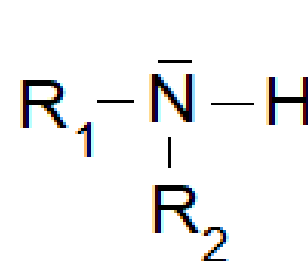
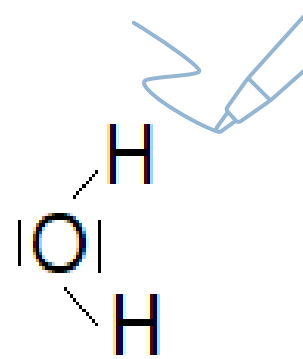
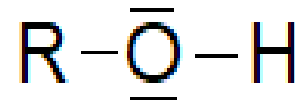
- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

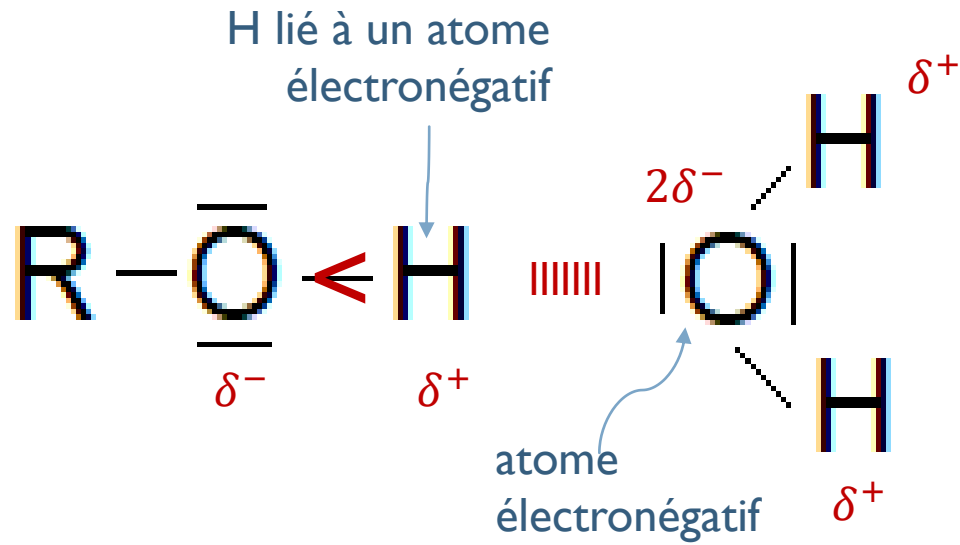
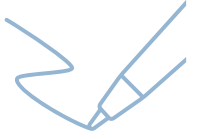
D. LES LIAISONS FAIBLES : INTERACTIONS ENTRE MOLÉCULES

I. La liaison hydrogène

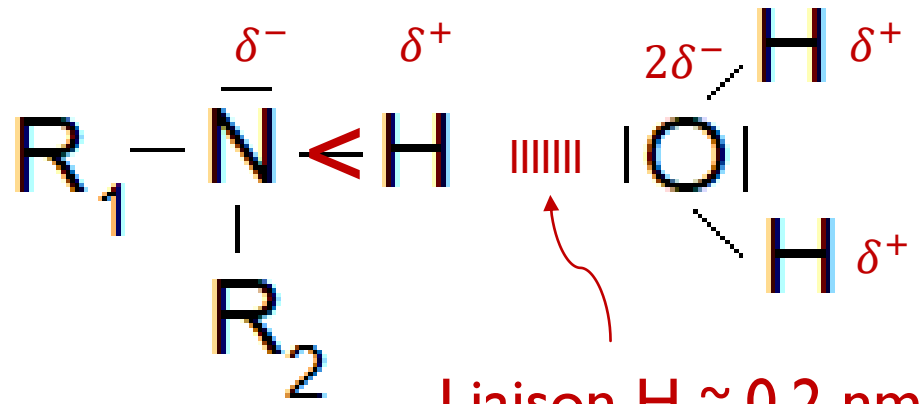


- **atomes les plus en haut et les plus à droite du tableau périodique sont les plus électronégatifs** → tendance à attirer e- d'une liaison
 - O plus électronégatif que H → liaison O-H polarisée → la molécule est **polaire**.
- Molécule **polaire** → établissement potentiel de **liaisons hydrogènes**
- Liaison hydrogène ~ 0,18nm ; durée brève (10^{-10} sec)
 - ⇒ liaisons se font et se défont en permanence
 - ⇒ liaison H entre deux molécules d'eau = **10 à 50 kJ/mol** environ
- A 37°C, environ 15% des molécules d'eau reliées à 4 autres molécules.
- Liaisons H s'établissent entre des molécules possédant des atomes électronégatifs liés à des H, autrement dit O, N (et F).





Liaison hydrogène se forme entre un hydrogène lié par une liaison covalente à un atome A très électronégatif et un doublet non liant d'un atome B également très électronégatif



Liaison H ~ 0,2 nm
Énergie allouée ~ 20 kJ.mol⁻¹

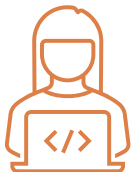
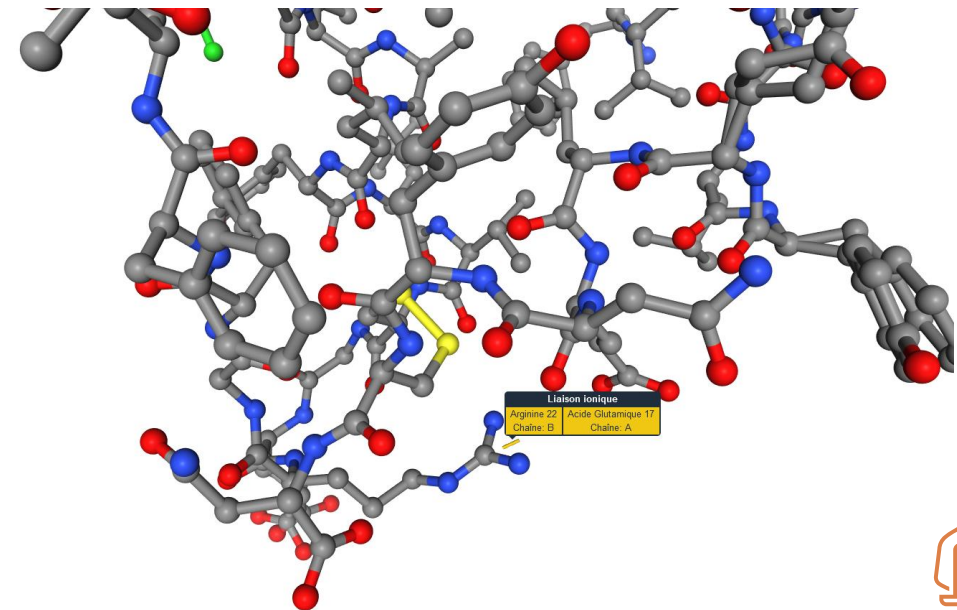
2. Les liaisons électrostatiques avec des ions et les liaisons ioniques

Différents types de liaison électrostatiques:

- Ion-dipôle
- Molécules chargées-molécules chargées: COO^- ; NH_3^+ ...
- Ions-ions: « liaison ionique »
- ⇒ cristaux ioniques
- ⇒ Stabilité des protéines entre acides aminés chargés
- Énergie : 100 kJ.mol^{-1}



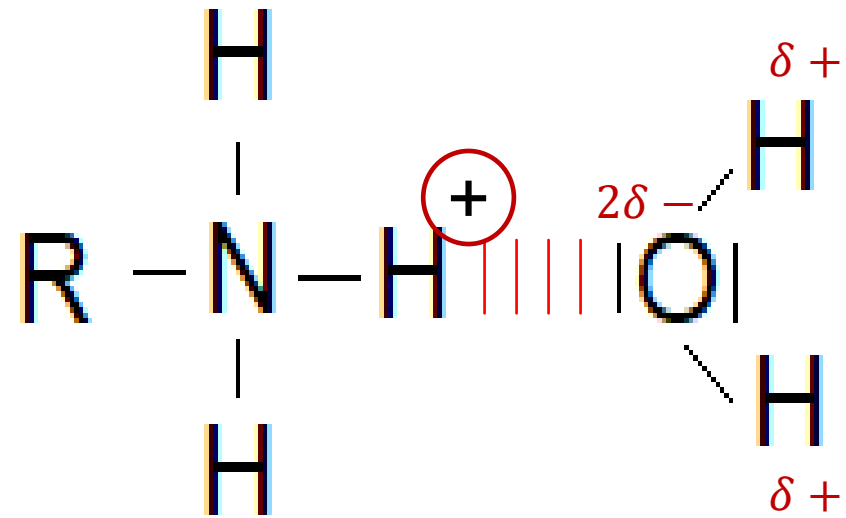
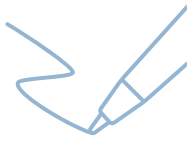
Cristal ionique par Agathe Manceau Dalaine



C C I N O S

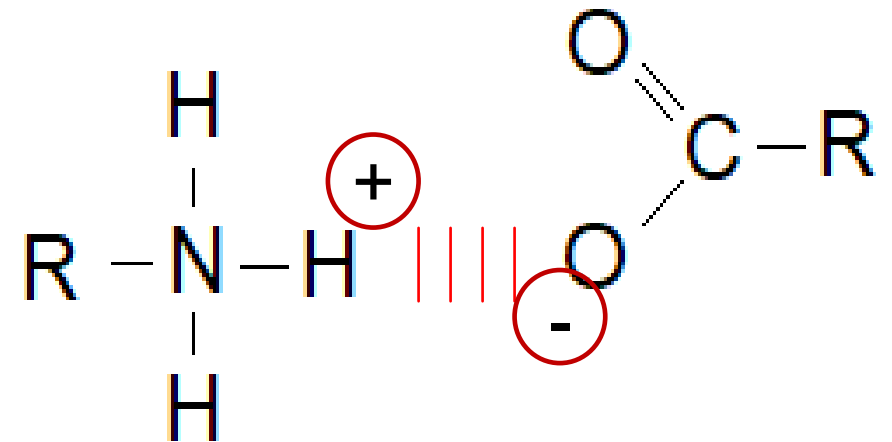
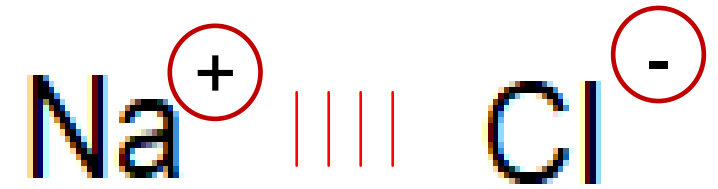
Sélection Masqués

Interaction électrostatique Acide Glutamique (COO^-) et Arginine (NH_3^+) au sein de la protéine insuline par Libmol



Liaison ion-dipôle

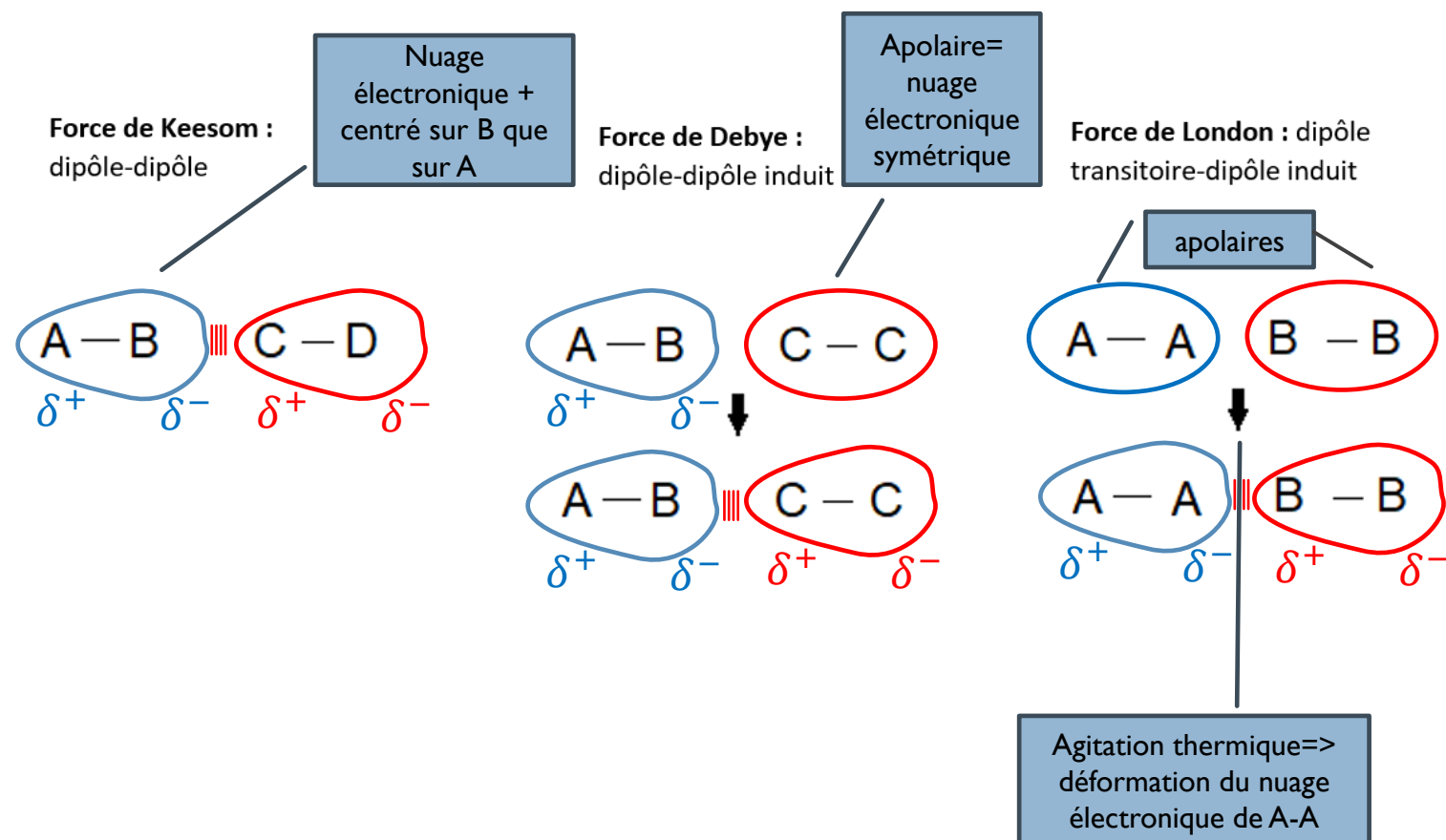
Liaison électrostatique
Énergie allouée $\sim 100 \text{ kJ.mol}^{-1}$



Liaisons ion-ion

3. Les liaisons de Van der Waals

- Les liaisons de Van Der Waals constituent des **liaisons faibles** s'établissant entre deux dipôles, transitoires ou non.
 - Force de Keesom : interaction entre dipôles permanents
 - Force de Debye : interaction dipôle permanent/dipôle induit
 - Force de London : interaction dipôle instantané (ou transitoire)/dipôle induit
- Dans un mélange d'acides gras, les **chaines carbonées établissent entre elles des liaisons de Van der Waals de type London.**
- Énergie des liaisons de Van der Waals: 1 à 10 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$



E. NOTION DE POIDS ET DE TAILLE MOLÉCULAIRE



On peut caractériser une molécule par :

■ Son **poids moléculaire en Da**

- Dalton: unité de masse atomique égale à la masse d'un atome d'H ($1,66 \cdot 10^{-24}$ g) ou 1/12 d'un atome de C
- ✓ ex : le glucose, de formule $C_6H_{12}O_6$ fait $6 \times 12 + 12 \times 1 + 6 \times 16 = 180$ Da, c'est une petite molécule organique.
- **macromolécule** = molécule de poids moléculaire > **5 kDa** obtenue par **polymérisation** de **monomères** : les macromolécules sont toujours des biopolymères (exemple l'amidon et la cellulose sont des polymères de glucose)

■ Sa **taille en Å** ou en nm:

- Les petites biomolécules (oses, acides aminés, acides gras) font quelques Angström = 10^{-10} m.
- Les protéines, étant des macromolécules sont plus grandes (ex L'hémoglobine fait 6,5 nm de diamètre).

BILAN SUR LES DIFFÉRENTS TYPES DE LIAISONS INTER ET INTRAMOLÉCULAIRES



Type de liaison/interactions	Énergie kJ.mol ⁻¹	caractéristiques
Covalente double ou triple	400 à 1100	Stables, ruptures via des enzymes ou conditions extrêmes
Covalente simple	150-600	
Électrostatique	100	Faibles et instables => réversibles => dynamique
Hydrogène H	10-40	
Van der Waals	0,3 à 10	

PLAN DU COURS

- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

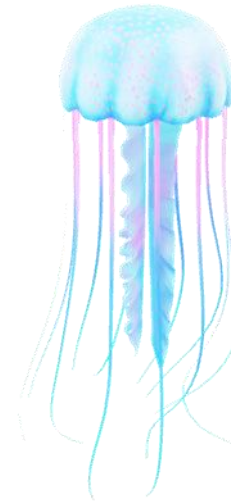
II. L'EAU, MOLÉCULE POLAIRE ESSENTIELLE DU VIVANT

A. STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA MOLÉCULE D'EAU

I. L'eau, un dipôle



- **Molécule minérale, composé le plus abondant**
- **Teneur en eau:** $Teneur\ en\ H_2O(\%) = \frac{(P_{frais} - P_{sec})}{P_{frais}} \cdot 100$
- **Molécule dipolaire** (delta - et +)
 - ⇒ Liaisons O - H polarisées et centre géométrique des charges partielles + différent de celui des charges partielles -
 - ⇒ Liaisons hydrogène
 - ⇒ Liaisons électrostatiques
 - ⇒ Liaisons de Van der Waals (Keesom)
 - ⇒ cohésion
 - ⇒ Propriétés chimiques (rôle de solvant ; rôle réactionnel)
 - ⇒ Propriétés physiques de l'eau (densité, viscosité, chaleur latente de vaporisation, chaleur spécifique ...)
- Longueur de la liaison O-H: 0,1 nm
- **Angle 104°**

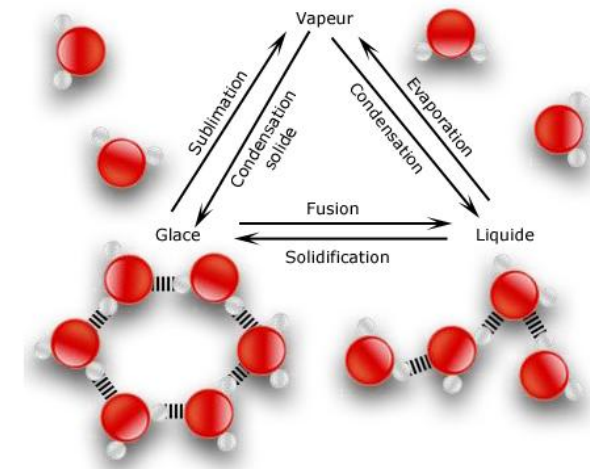


98% et toi?



Pareil.

60% pour moi.



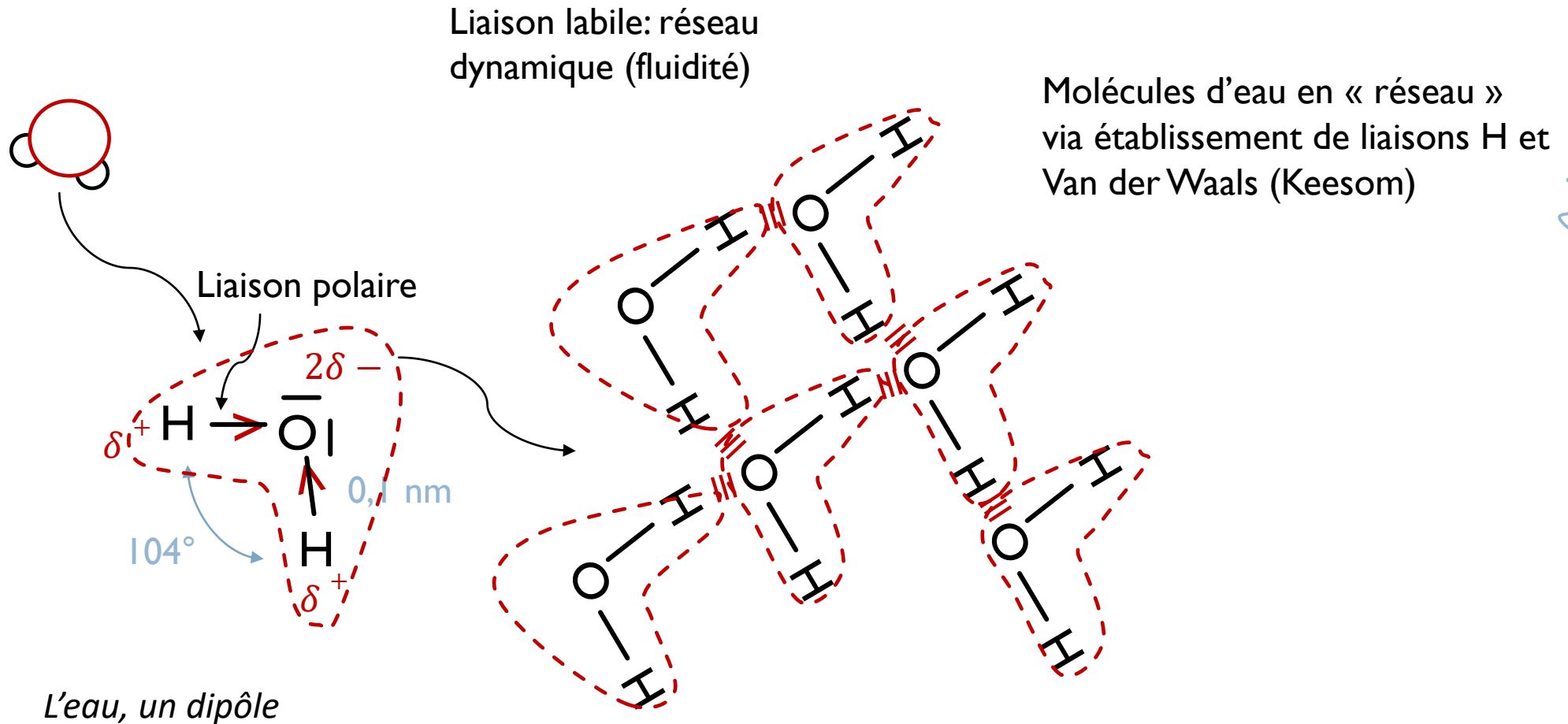


Figure 13 : l'eau, un dipôle

Conséquences:

- forte chaleur spécifique => tampon thermique
- forte chaleur latente de vaporisation => transpiration
- Cohésion intermoléculaire => tension superficielle
=> montée de la sève brute

II. L'EAU, MOLÉCULE POLAIRE ESSENTIELLE DU VIVANT

A. STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA MOLÉCULE D'EAU

2. Propriétés physiques de l'eau



- **forte chaleur spécifique = capacité thermique massique** (quantité d'énergie à fournir pour élever de 1°C la température d'1g d'eau = $4,185 \text{ J/g} = 1 \text{ calorie/g}$)
 - ⇒ **tampon thermique**
- **forte chaleur latente de vaporisation** ($2\,257 \text{ J/g}$ = énergie à fournir pour vaporiser 1g d'eau à 100°C et donc rompre toutes les liaisons H / par comparaison, 843 J/g pour l'éthanol) cf **thermolyse** 1^{ère} ES
 - ⇒ thermorégulation : par sudation, par halètement, par évapotranspiration => l'animal ou le végétal se refroidit



*Forte capacité thermique massique
=> faible variation de $T^{\circ}\text{C}$
Fluide incompressible
=> protection*



Océan = réservoir thermique



chaleur latente de vaporisation à cause des liaisons H => L'évaporation de l'eau des surfaces des organismes retire une quantité importante de chaleur, ce qui explique la thermolyse réalisée par sudation ou halètement chez les animaux, évaporation au niveau des feuilles chez les végétaux ce qui évite leur surchauffe.



Géris posé sur l'eau par des soies hydrophobes



II. L'EAU, MOLÉCULE POLAIRE ESSENTIELLE DU VIVANT

A. STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA MOLÉCULE D'EAU

2. Propriétés physiques de l'eau



- **force de cohésion interne**
 - **tension superficielle**
(tension de surface eau/air) => montée de sève
 - **force de capillarité** => cohésion de la colonne d'eau => montée des sèves



*Forte capacité thermique massique
=> faible variation de T°C
Fluide incompressible
=> protection*



Océan = réservoir thermique

- **fluide (quasi-)incompressible**
 - ⇒ croissance cellulaire par **plasmolyse et turgescence**
 - ⇒ Protection (**liquide amniotique**)



chaleur latente de vaporisation à cause des liaisons H => L'évaporation de l'eau des surfaces des organismes retire une quantité importante de chaleur, ce qui explique la thermolyse réalisée par sudation ou halètement chez les animaux, évaporation au niveau des feuilles chez les végétaux ce qui évite leur surchauffe.



Géris posé sur l'eau par des soies hydrophobes

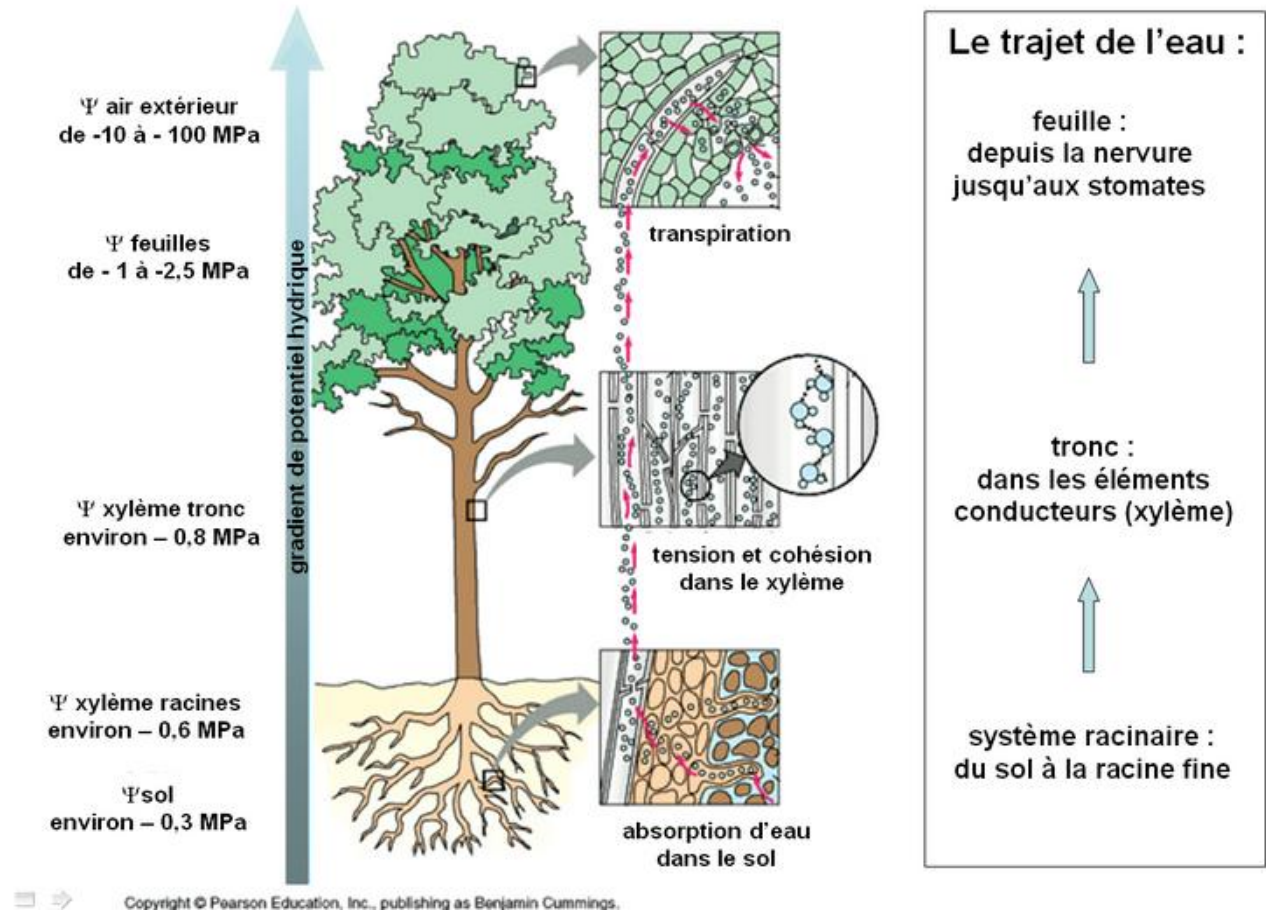


Pression dans mon pneu: 2 bars soit 0,2 MPa



CIRCULATION DE L'EAU AU SEIN D'UNE PLANTE

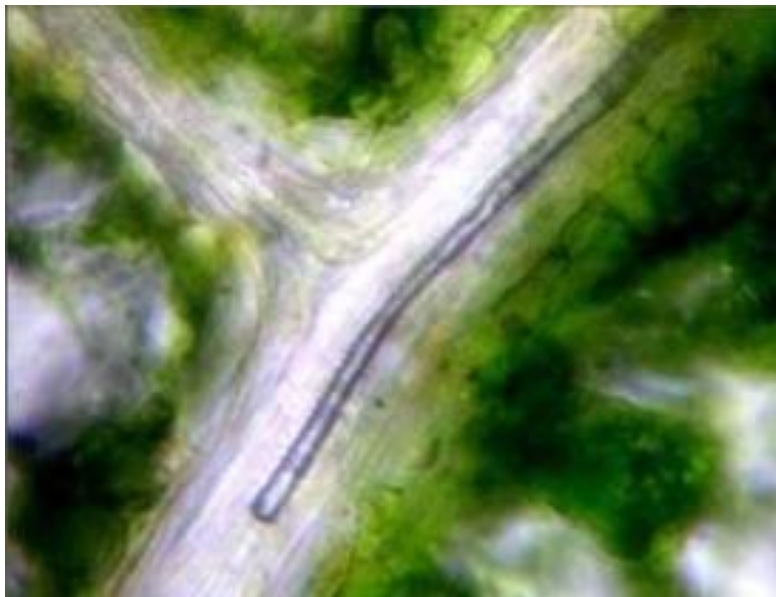
- Théorie de la **tension-cohésion** (Dixon 1896):
 - Montée de sève brute grâce à **transpiration foliaire**
 - **Moteur de l'ascension: potentiel hydrique** (toujours négatif -> eau sous tension et non sous pression)
- **Cavitation**: formation de bulles de vapeur d'eau souvent par action mécanique (ex: aspirer trop vite dans une paille)
 - ⇒ cavitation souvent provoquer par la sécheresse
 - ⇒ cavitation fréquente chez plantes xérophytes
 - Chez les conifères les ponctuations entre 2 vaisseaux de xylème forment une soupape de sécurité



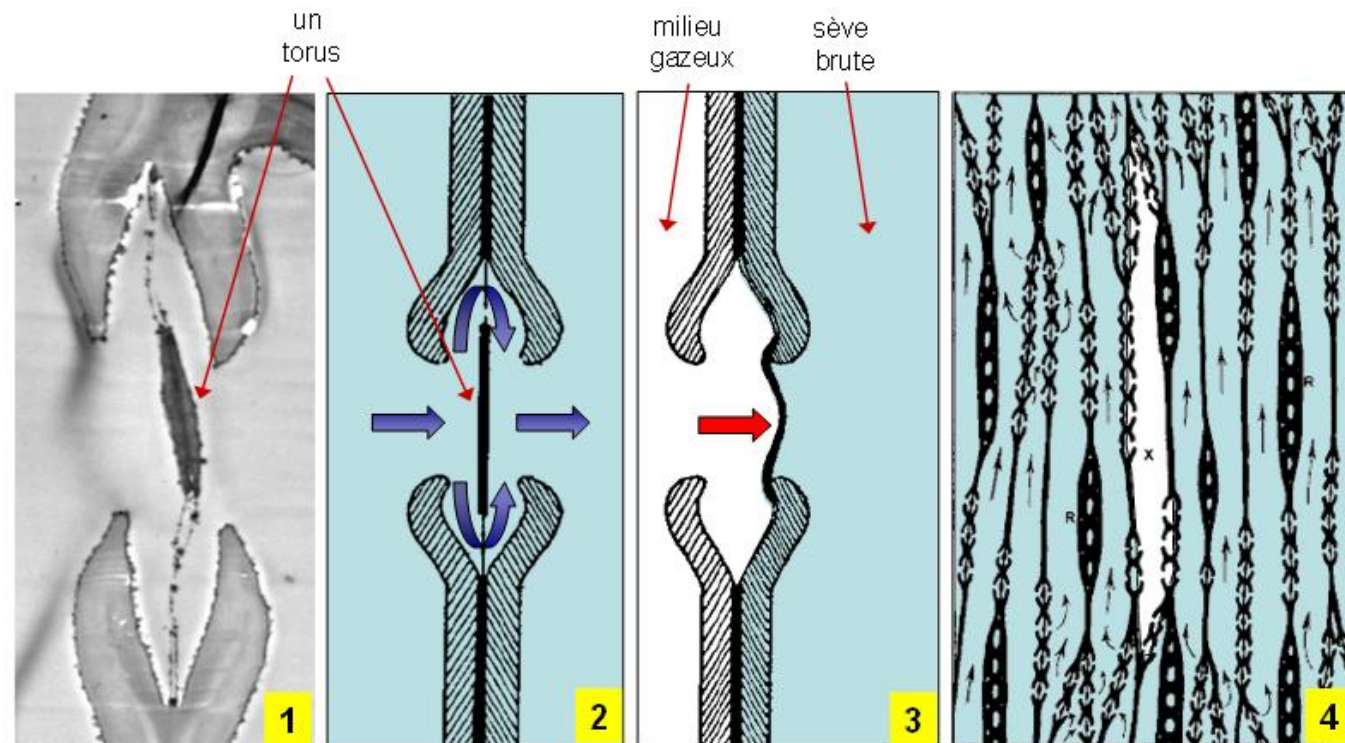
CIRCULATION DE L'EAU AU SEIN D'UNE PLANTE



- **Cavitation:** formation de bulles de vapeur d'eau souvent par action mécanique (ex: aspirer trop vite dans une paille) => embolie souvent provoquée par la sécheresse
- Chez les conifères les ponctuations entre 2 vaisseaux de xylème forment une soupape de sécurité



Cavitation dans un vaisseau de xylème
(source André Granier site plantes-et-eau)



Fonctionnement d'une ponctuation chez un conifère (source plantes-et-eau)

CIRCULATION DE L'EAU AU SEIN D'UNE PLANTE (SUITE)

- À l'échelle de la plante, le potentiel hydrique d'un organe est une grandeur physique qui traduit son statut hydrique (cf TP-I-SV-C)

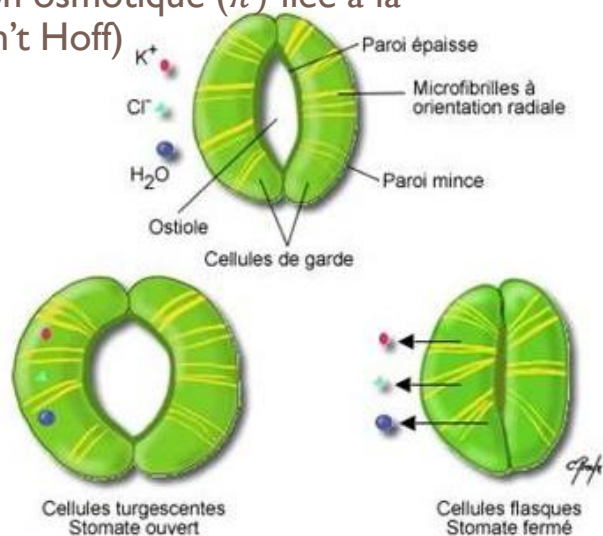
- $\psi_H = \psi_P + \psi_S + \psi_g$

ψ : potentiel hydrique du compartiment

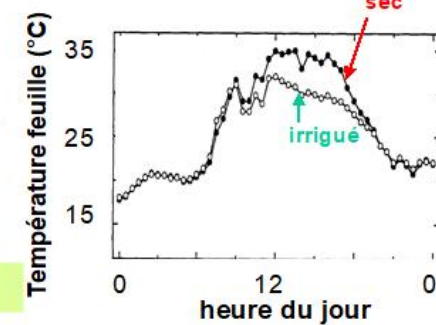
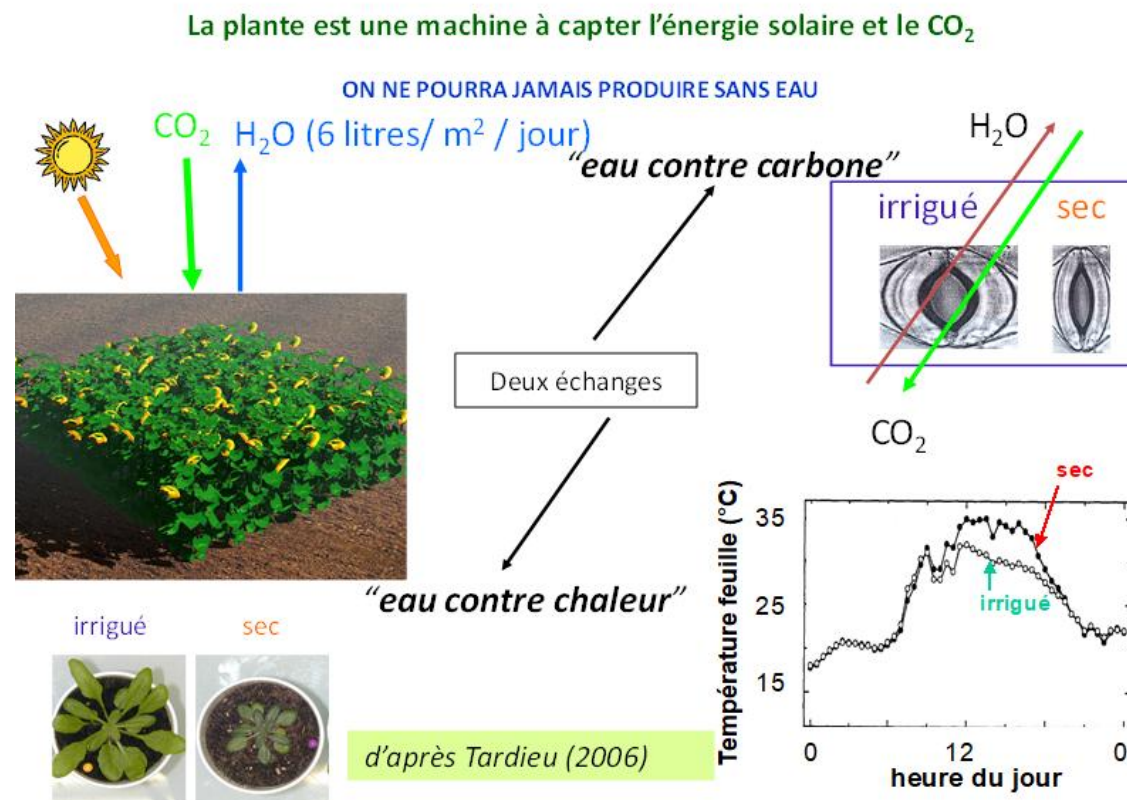
ψ_P : potentiel hydrostatique (-pression de turgescence liée à la paroi pectocellulosique)

ψ_g : potentiel gravitaire (négligeable)

ψ_S : potentiel osmotique = - pression osmotique (π) liée à la concentration en solutés (loi de Van't Hoff)



Le stomate se ferme quand diminue la pression de turgescence

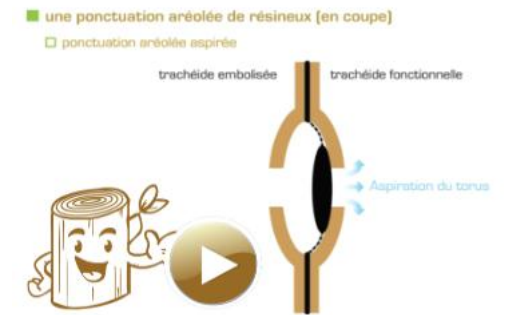
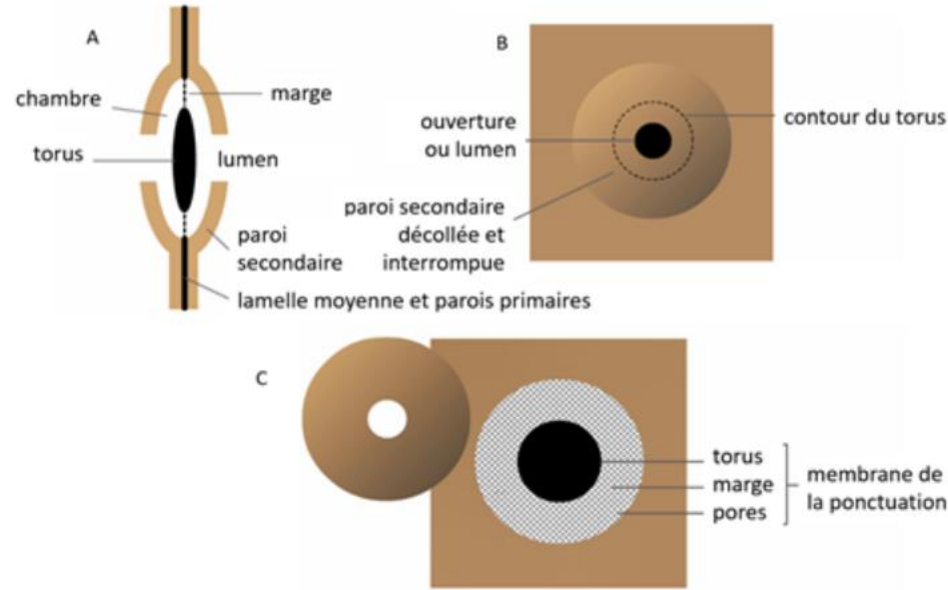


Force de cohésion interne

- **Ponctuation:** entre deux éléments vasculaires, zone de contact caractérisée par une **lamelle moyenne et une paroi primaire épaissie, mais sans paroi secondaire**. La lamelle moyenne et la paroi I sont partiellement hydrolysées.
 - ⇒ Ponctuation: passage latéral de sève d'un élément de vaisseau à l'autre
- **Ponctuations aréolées** ~ petites valves susceptibles de se fermer de façon plus ou moins irréversible.

⇒ évite l'embolie (remplissage d'un élément de xylème par de l'air consécutif à la cavitation si trop forte transpiration
 ⇒ trop forte tension dans colonne d'eau
 ⇒ rupture de la colonne d'eau ⇒ arrêt de l'ascension de la SB

⇒ fermeture obtenue par aspiration du torus qui vient se plaquer contre la paroi secondaire de la trachéide qui l'a aspiré, et en obture l'ouverture



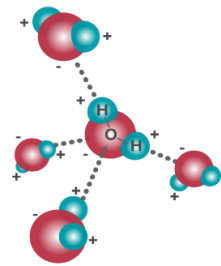
Représentation schématique d'une ponctuation aréolée : en A sur une coupe tangentielle, en B et C sur une coupe radiale. En C, la paroi secondaire est enlevée, tel un couvercle, pour montrer la paroi primaire sous-jacente[4].

Le mécanisme de montée de sève brute dans le bois

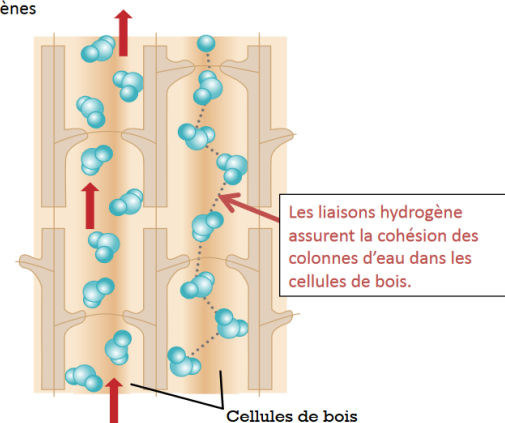
LA COHESION

Les molécules d'eau H₂O sont polaires avec :

- un pôle négatif : l'oxygène
- deux pôles positifs : les deux hydrogènes



Liaison hydrogène : attirance entre les pôles opposés de deux molécules d'eau voisines



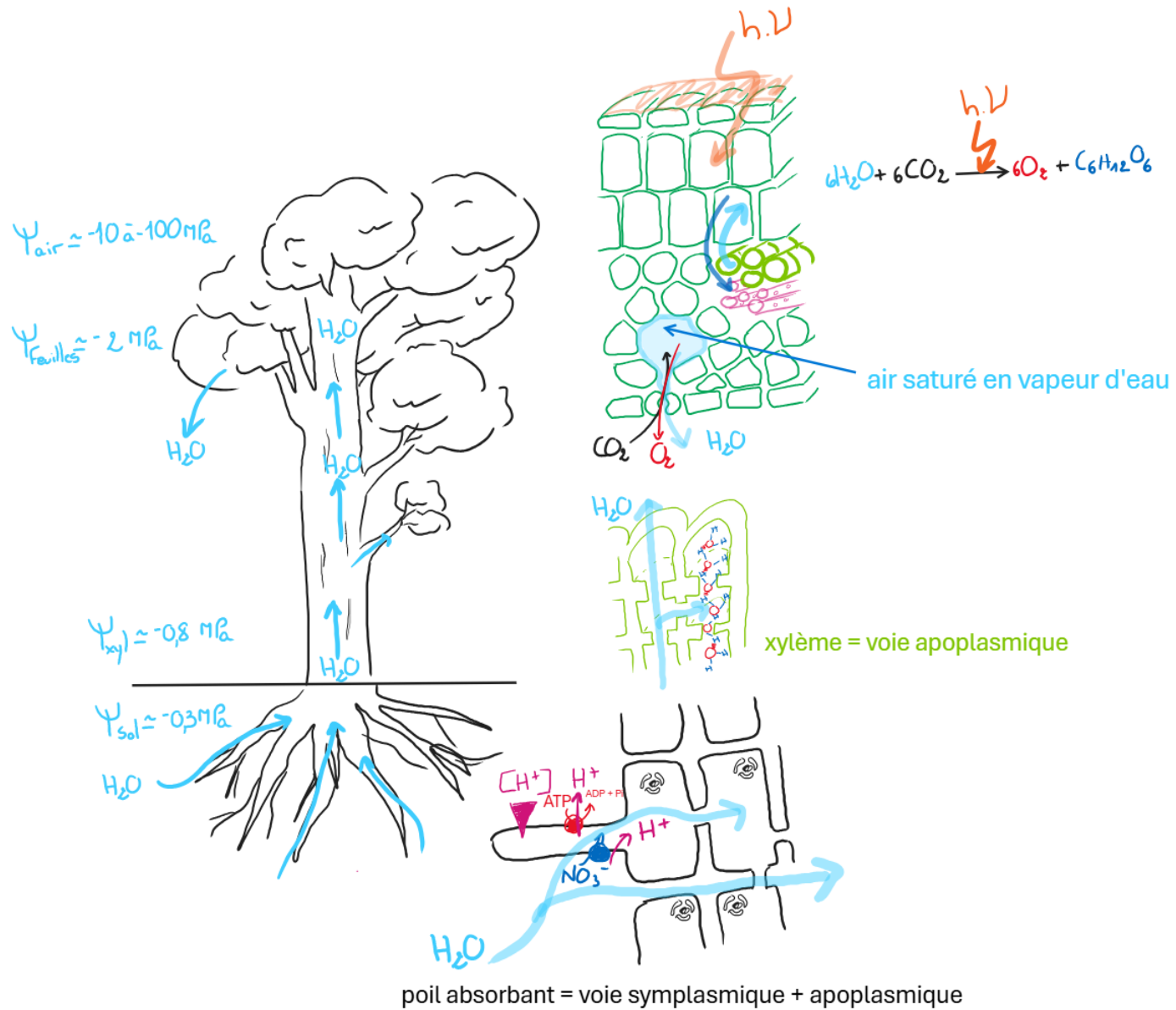
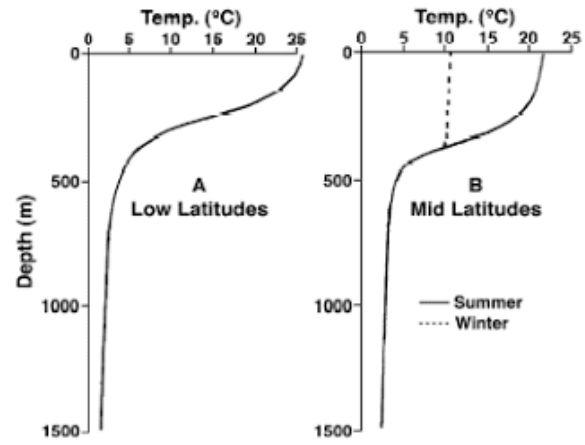


Schéma bilan: l'eau dans un arbre (S. Dalaine)

Typical Temperature Profiles



L'eau, un tampon thermique



*Forte chaleur latente de vaporisation :
transpiration et thermorégulation*



*Cohésion intermoléculaire : montée
des sèves ...*



CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION DE L'EAU ET SUDATION (RÔLE DANS LA THERMOLYSE)

- La **sudation** permet de **diminuer la température** interne en évacuant l'excès de chaleur par vaporisation de l'eau



PLAN DU COURS

- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

B. LA STRUCTURE DE L'EAU LUI CONFÈRE DES PROPRIÉTÉS ESSENTIELLES AU VIVANT

I. L'eau, un solvant pour les composés polaires et chargés



■ L'eau interagit avec les molécules polaires et chargées

- **Groupements polaires:** -OH, -NH₂, C=O
- liaisons hydrogènes avec l'eau → molécule **solubilisée**
- l'eau disperse les molécules polaires et les **transporte**
- **Molécule polaire = hydrophile**

■ Dissolution des molécules polaires

- Les molécules polaires peuvent aussi former des liaisons hydrogènes entre elles.
- ✓ Ex de biomolécules polaires (=hydrophiles) : **glucides, acides nucléiques**. Les protéines peuvent présenter à la fois des parties hydrophiles et hydrophobes.
- ✓ **Cellulose très polaire, très hydrophile et pourtant non soluble dans l'eau car trop fort poids moléculaire**
- ✓ Gaz O₂ moins soluble dans eau que CO₂

Solubilité : capacité d'une substance à interagir plus fortement avec les molécules du solvant qu'entre molécules de soluté.

Solvant : liquide possédant la propriété de dissoudre certaines substances, en majorité dans une solution.

Soluté : substance à l'état dissous dans une solution, en minorité dans la solution.

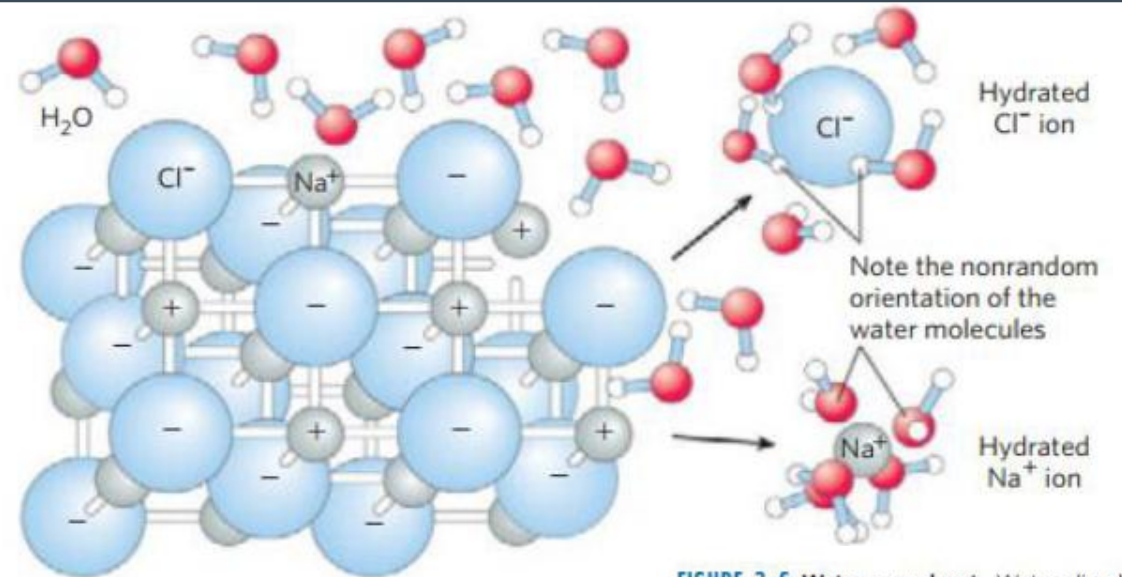
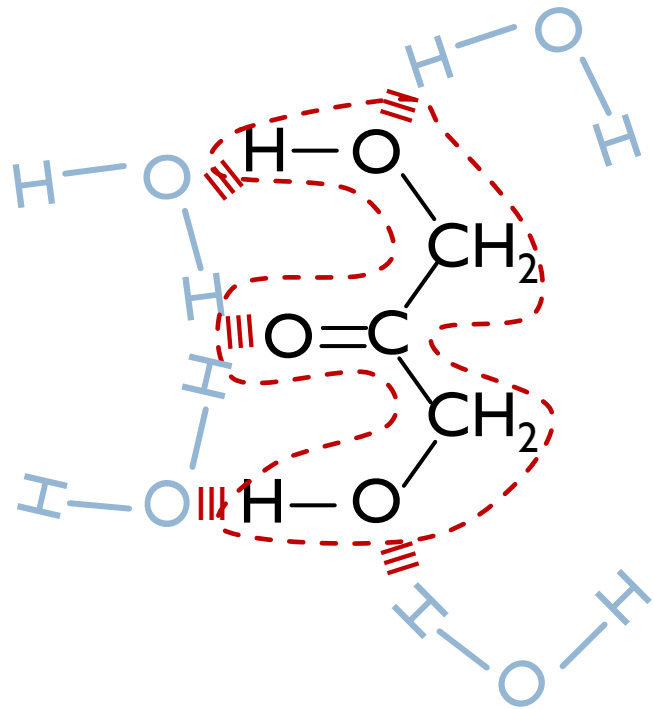


FIGURE 2-6 Water as solvent. Water dissolves many crystalline salts by hydrating their component ions. The NaCl crystal lattice is disrupted as water molecules cluster about the Cl⁻ and Na⁺ ions. The ionic charges are partially neutralized, and the electrostatic attractions necessary for lattice formation are weakened.

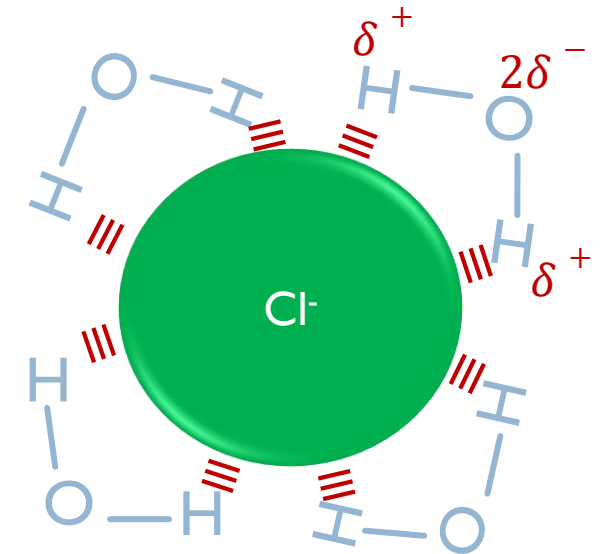
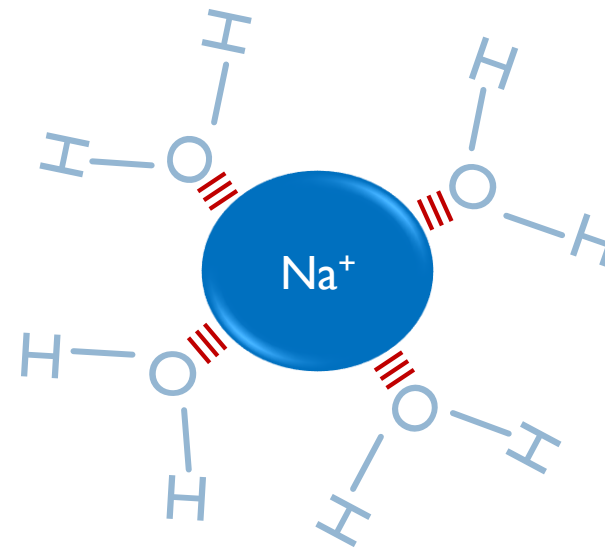
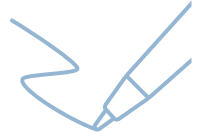


Dissolution des molécules polaires

Dissolution des molécules polaires Ex: DHA (DiHydroxyAcétone)

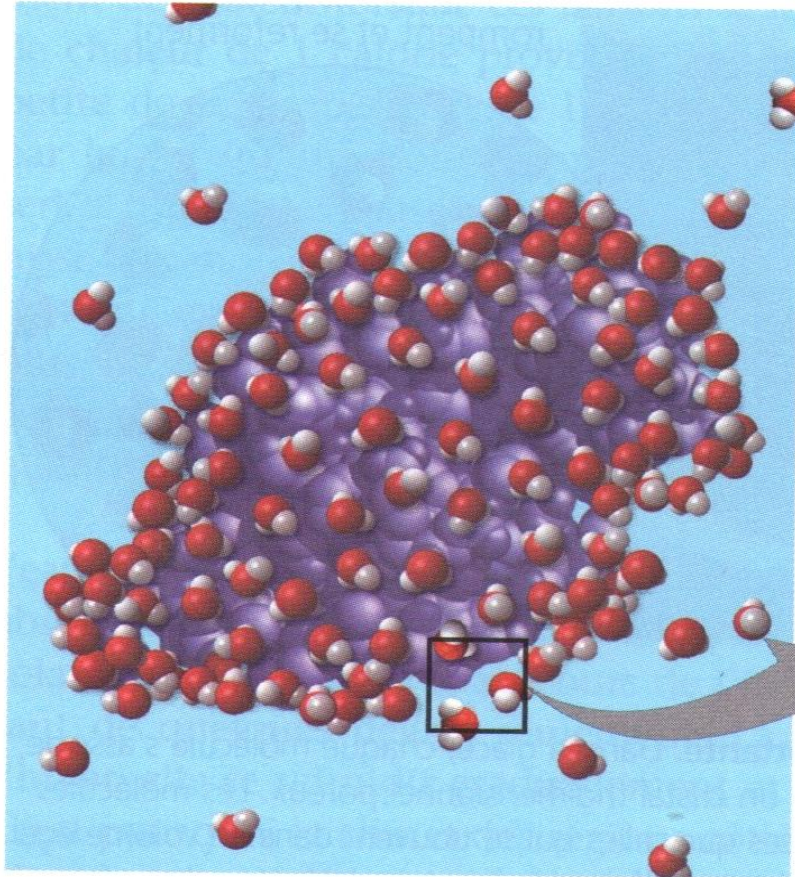


Solvatation des ions

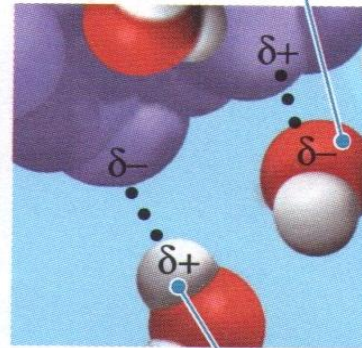


« cage » de solvatation autour des ions

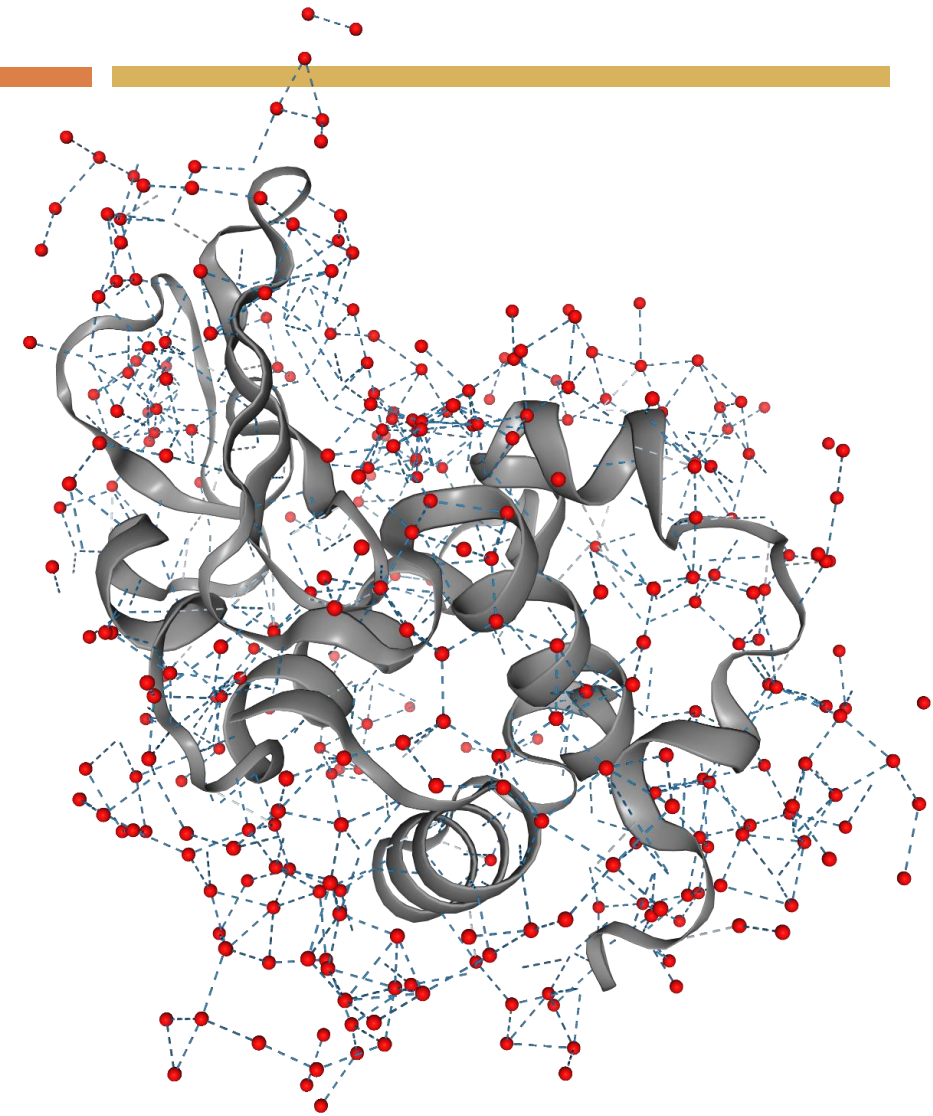
L'eau : un solvant, un milieu réactionnel et un vecteur de transport des solutés



Une charge partielle positive sur la molécule de lysozyme attire cet oxygène.



Une charge partielle négative sur la molécule de lysozyme attire cet hydrogène.



Lysozyme humain: mise en évidence de la solubilisation de la protéine avec Libmol

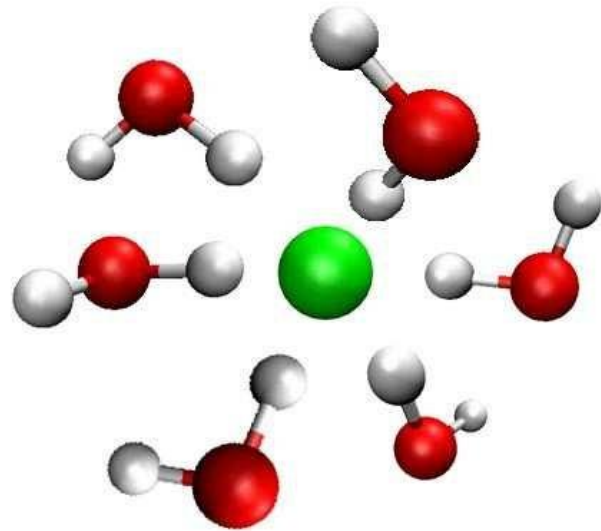
▲ **Figure 3.8 Une protéine hydrosoluble.** Le lysozyme humain est une protéine présente dans les larmes et la salive et qui possède une activité antibactérienne. Ce modèle illustre une molécule de lysozyme (violet) dans un milieu aqueux. Les régions ioniques et polaires à la surface d'une protéine attirent les molécules d'eau.



Entraînement Libmol sur la protéine de Lysozyme

B. LA STRUCTURE DE L'EAU LUI CONFÈRE DES PROPRIÉTÉS ESSENTIELLES AU VIVANT

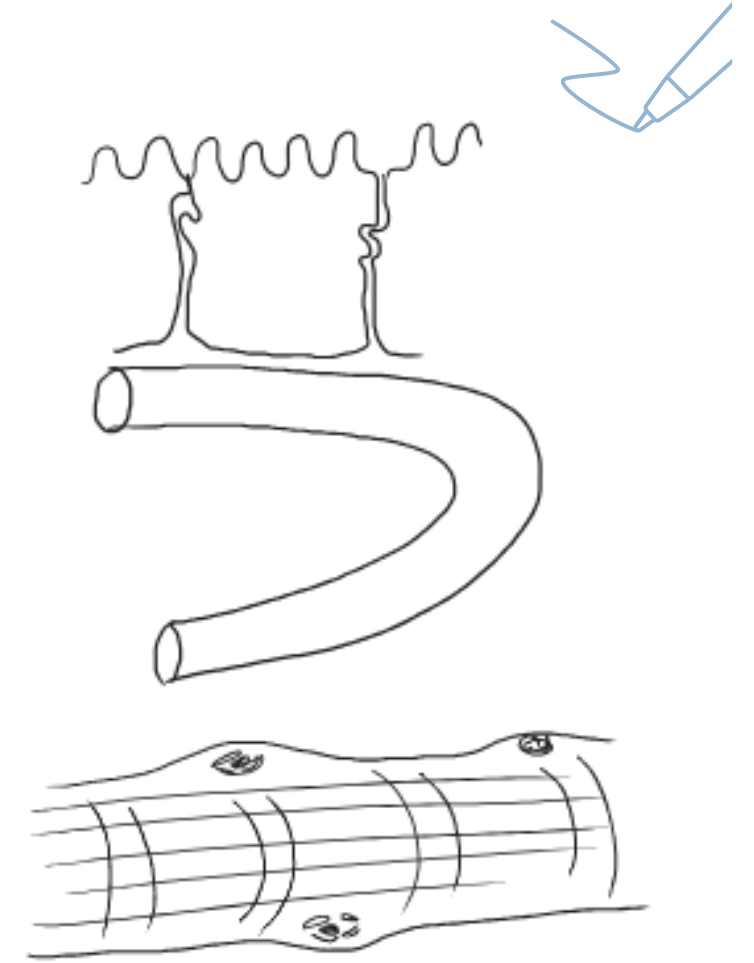
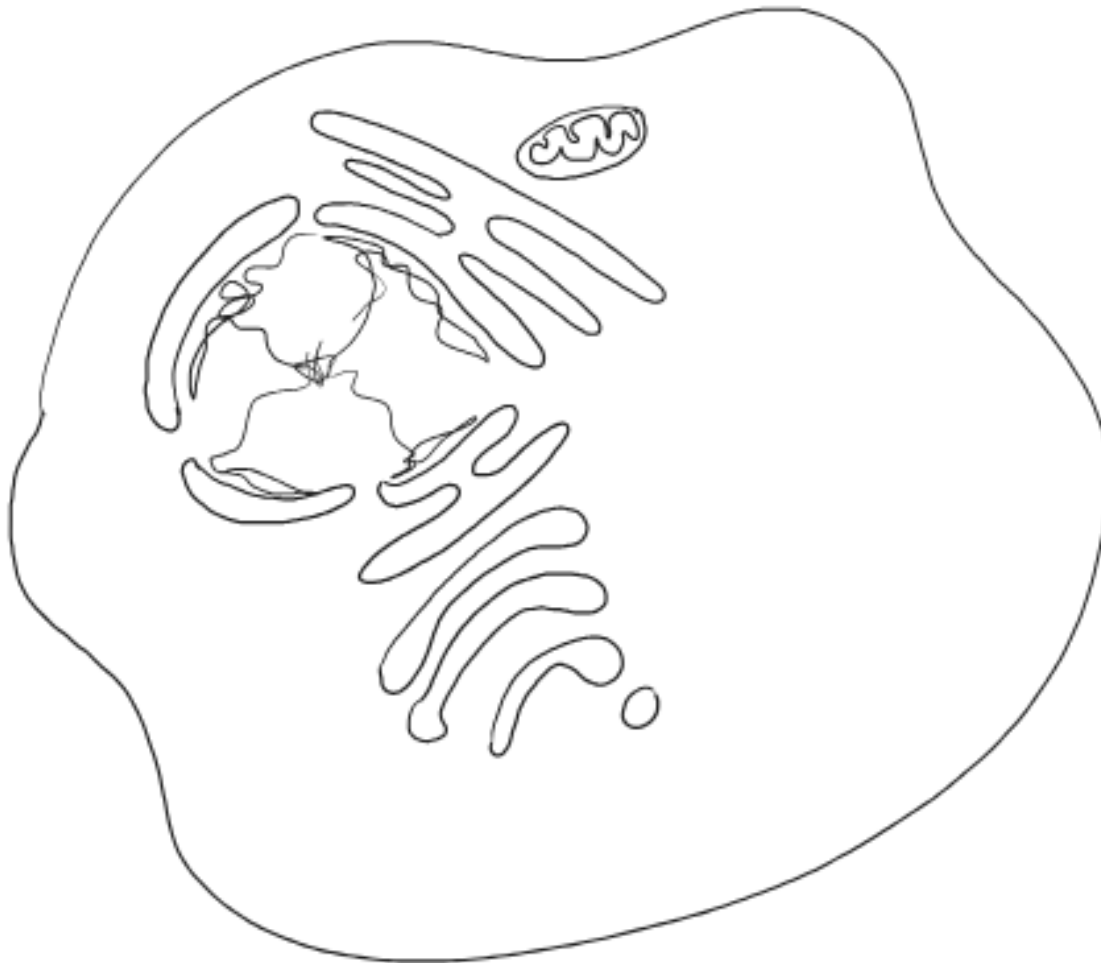
I. L'eau, un solvant pour les composés polaires et chargés



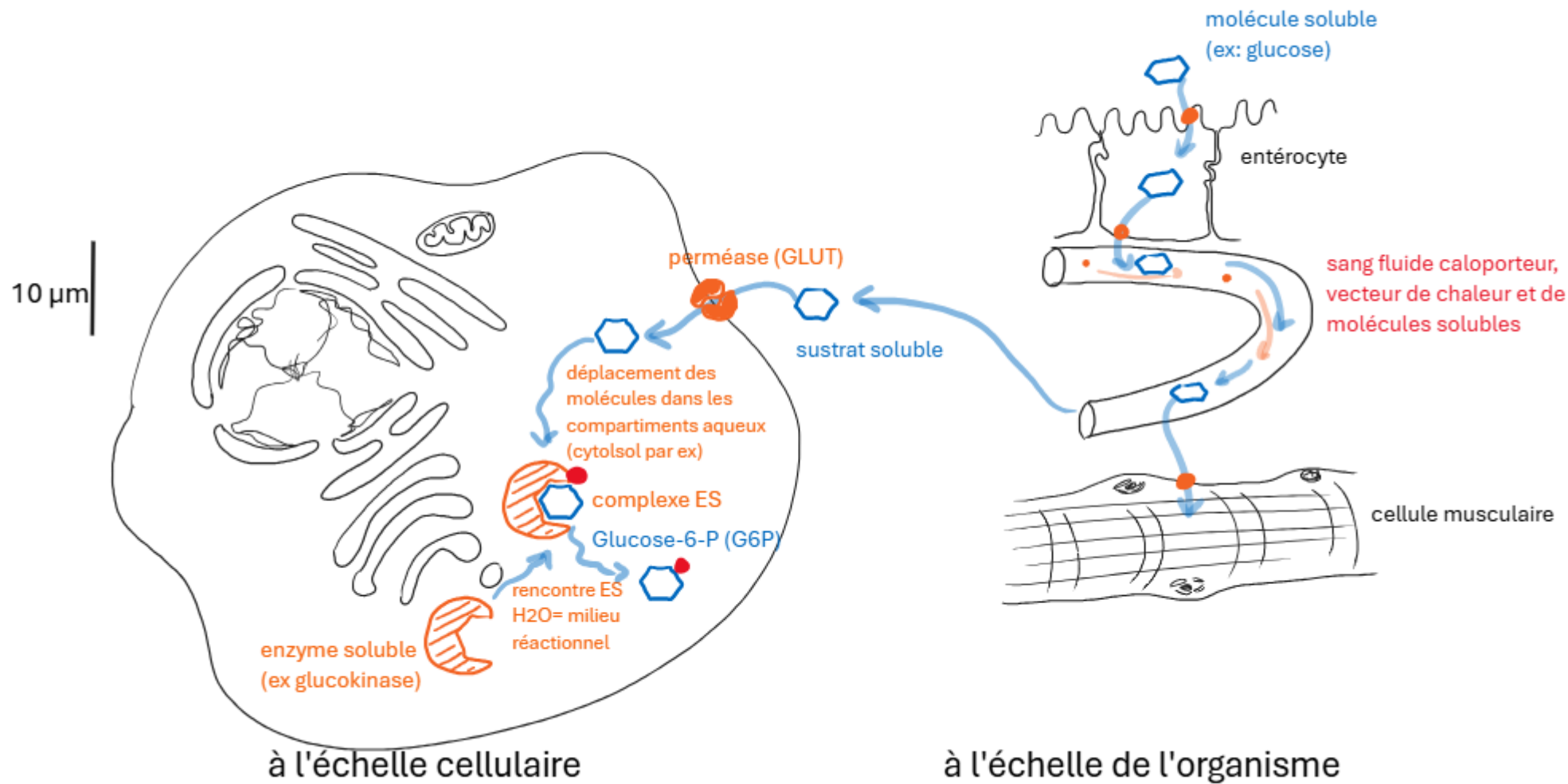
L'ion vert est-il un anion ou un cation?

- **Solvatation des ions**
 - Cage ou sphère de solvatation = **anions ou cations**
 - L'eau hydrate les ions via sphères de solvatation => eau minimise les liaisons ioniques
- **Milieu de transport** et de **dispersion** des molécules hydrophiles:
 - **Sang** et **sève** = milieux de transport
 - **Cytoplasme**: milieu de dispersion
- **Osmolarité**: concentration totale en solutés osmotiquement actifs (i.e. polaires)
 - molécules polaires attirent l'eau qui a tendance à égaliser les concentrations globales en solutés de part et d'autre de la membrane
 - Potentiel osmotique: $\psi_s = -R \times T \times C_s$

FLUIDE DE TRANSPORT

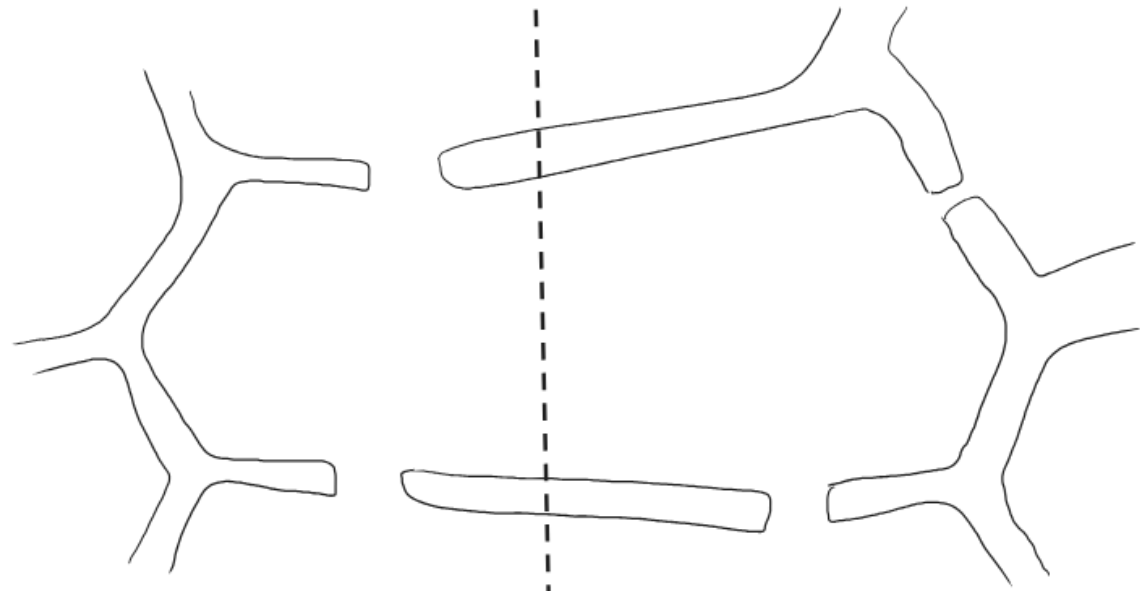
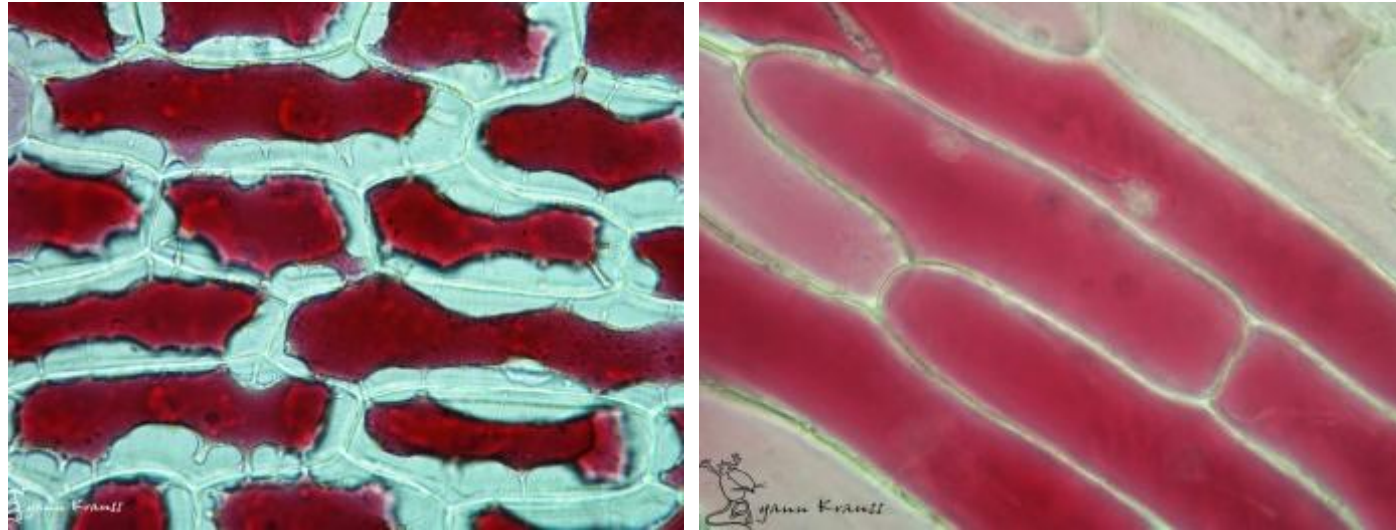


L'eau, un vecteur de transport de solutés (Déplacement des molécules polaires dans les fluides aqueux à différentes échelles)

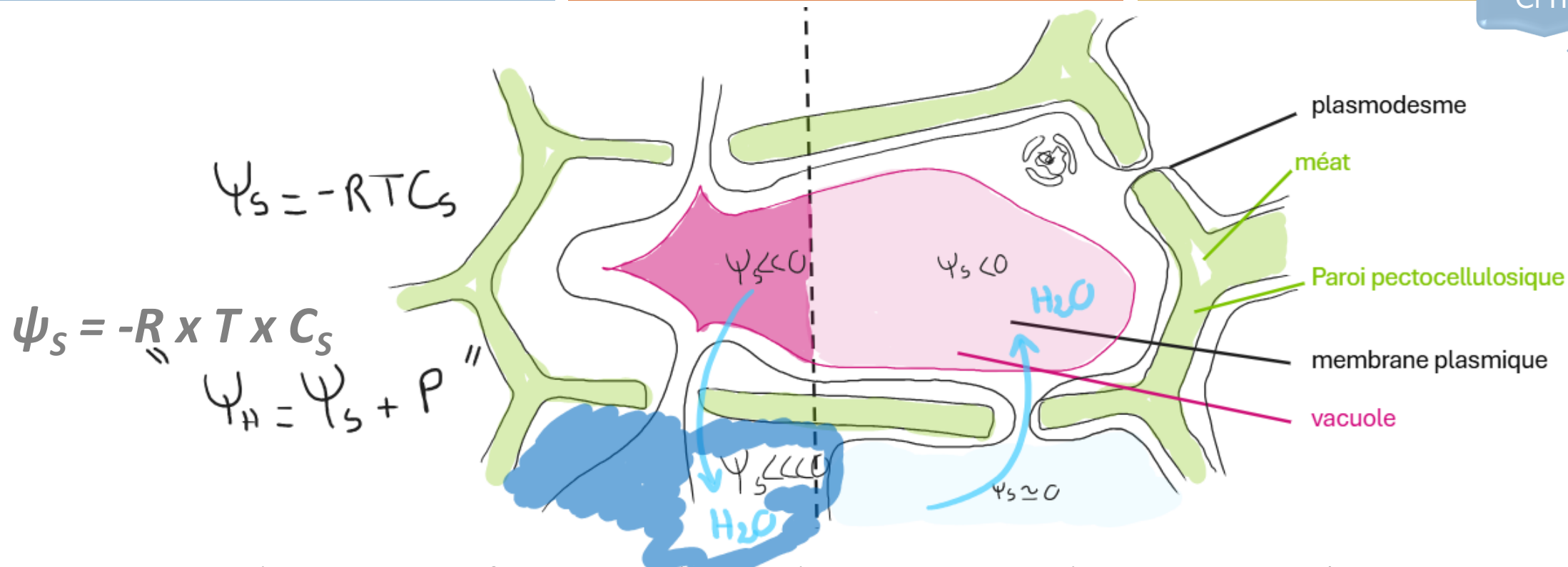


L'eau, un vecteur de transport de solutés (Déplacement des molécules polaires dans les fluides aqueux à différentes échelles)

OSMOSE



L'EAU ET L'OSMOSE



Phénomène d'osmose observé au MO sur des cellules d'épiderme d'oignon rouge après ajout d'une solution hypotonique/hypertonique

Milieu hypertonique: cellule en plasmolyse

Milieu hypotonique: cellule en turgescence

L'eau se déplace selon les potentiels hydriques décroissants

Avec:

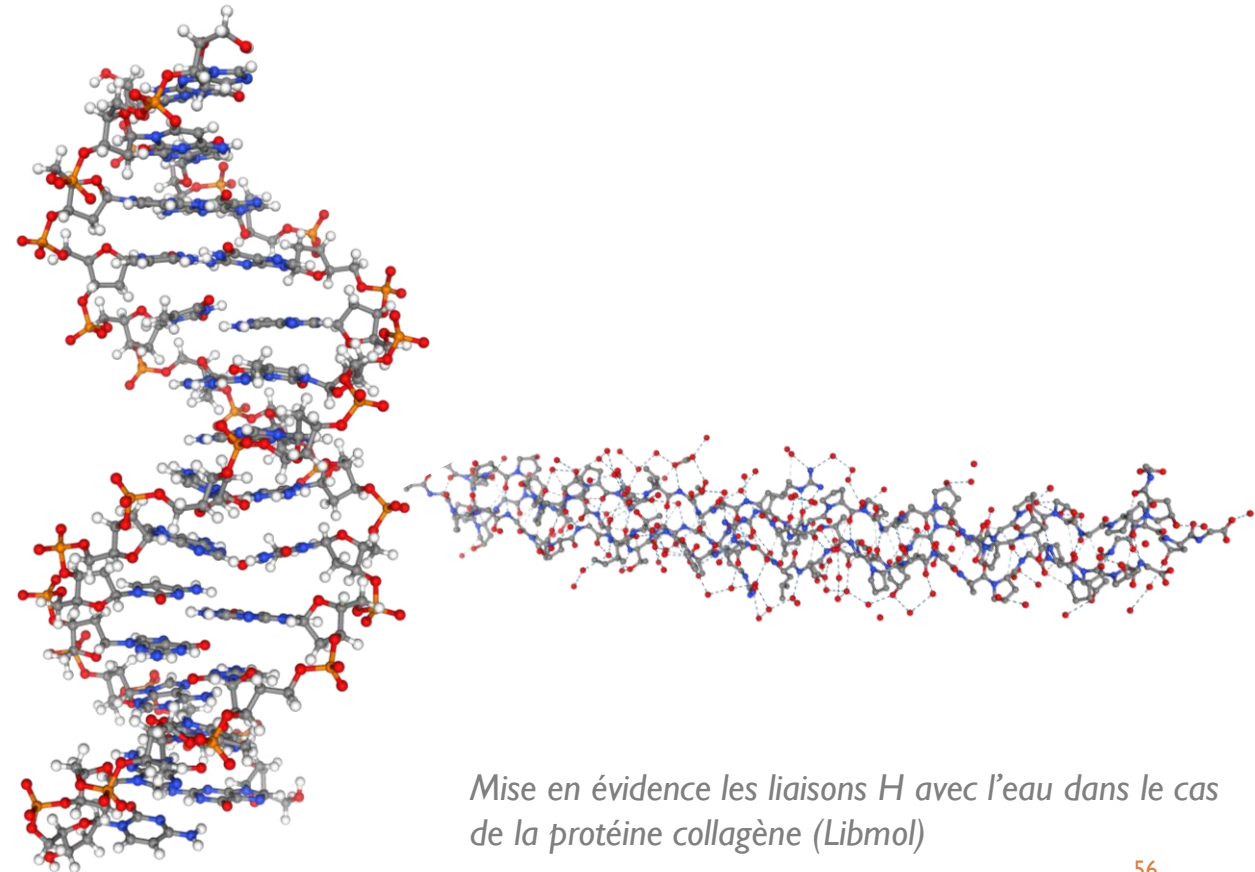
- ψ_s : potentiel osmotique
- C_s la concentration en solutés = osmolarité de la solution. Plus C_s augmente, plus ψ_s diminue, donc plus l'eau est attirée. ψ_s est l'opposé de π qui correspond la « pression osmotique » (si π est élevé, la pression est forte)
- R la constante des gaz parfaits
- T la température en Kelvin

2. L'eau conditionne l'organisation des molécules apolaires et amphiphiles

2.1. L'eau gouverne le repliement tridimensionnel des molécules amphiphiles



- **Eau contraint les résidus hydrophobes** à se regrouper entre eux en un **ensemble compact anhydre** ce qui permet de désorganiser le moins possible les liaisons H entre molécules d'eau => liaisons de Van der Waals (London) entre résidus apolaires
- **Protéines = polymères** constitués d'un **enchaînement d'acides aminés** polaires (sérine), apolaires (glycine)
 - ⇒ protéine : **amphiphile**
 - ⇒ En milieu aqueux (cytosol) déformation de la protéine : **acides aminés polaires** (ex cystéine) en **périphérie** et **apolaires** (ex alanine) au **cœur**
 - ⇒ **conformation tridimensionnelle 3D**
- **ADN = portions hydrophiles** (squelette pentose-phosphate) et hydrophobes (bases azotées)
 - ⇒ En solution aqueuse, la molécule d'ADN en double hélice
 - ⇒ bases azotées au cœur de molécule
 - ⇒ squelette pentose phosphate au contact avec l'eau.



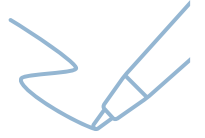
Mise en évidence les liaisons H avec l'eau dans le cas de la protéine collagène (Libmol)

L'ADN une molécule amphiphile (Libmol)

A.A. à résidu Hydrophile
polaire)
Ex: Glu, Asp

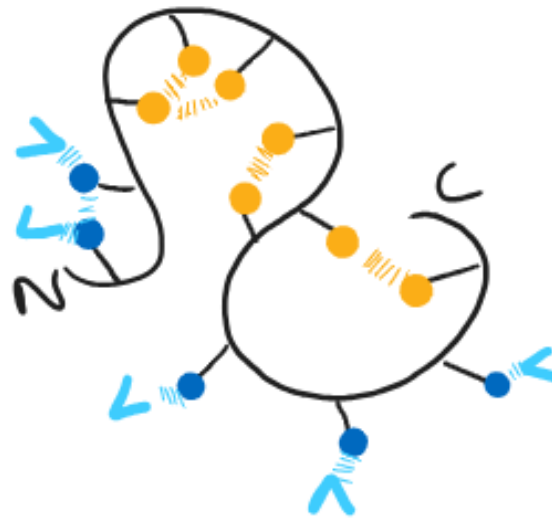
A.A. à résidu Hydrophobe
(apolaire)
Ex: Trp, Leu, Ile

Protéine: polymère d'acides aminés



Chaîne polypeptidique
Structure primaire

Repliement dans un milieu aqueux

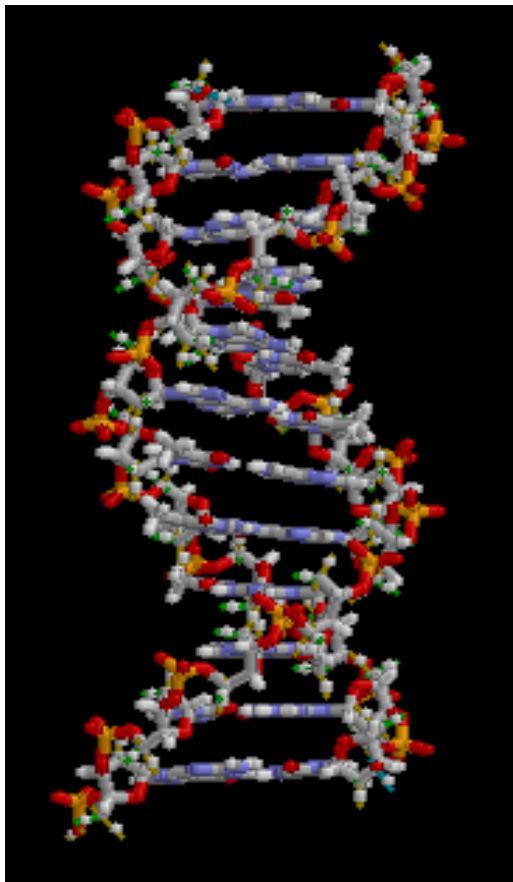


Protéine conformée

Résidus hydrophobes au
cœur de la protéine

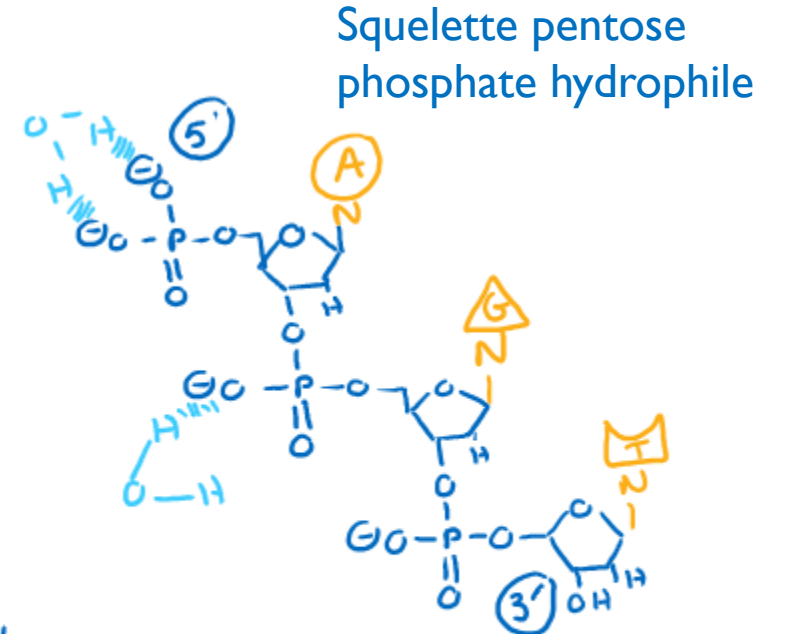
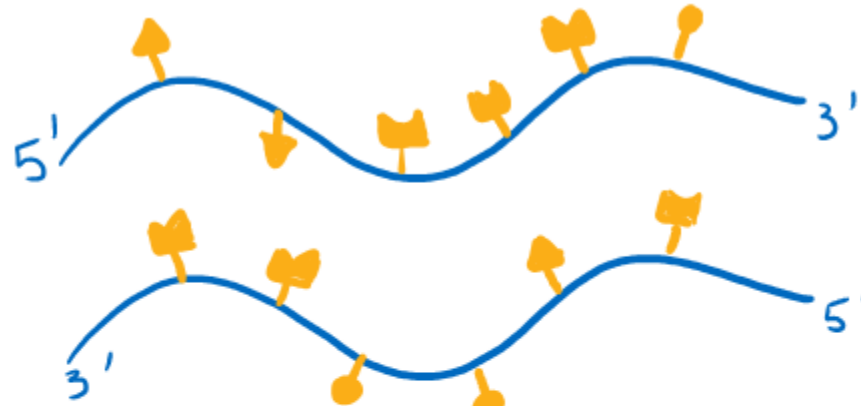
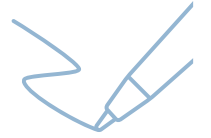
Résidus hydrophiles au
contact de l'eau

Interaction entre l'eau et les molécules amphiphiles et repliement 3D des molécules : exemple de de protéines



Bases azotées hydrophobes (A : adénine, T: thymine, C: cytosine, G: guanine)

1 brin d'ADN



Double hélice d'ADN



Squelette pentose phosphate hydrophile en périphérie

Bases azotées au cœur de la double hélice

ADN: polymère de nucléotides

2. L'eau conditionne l'organisation des molécules apolaires et amphiphiles

2.2. L'eau permet l'organisation des assemblages supramoléculaires



lipides: molécules hydrophobes ou amphiphiles

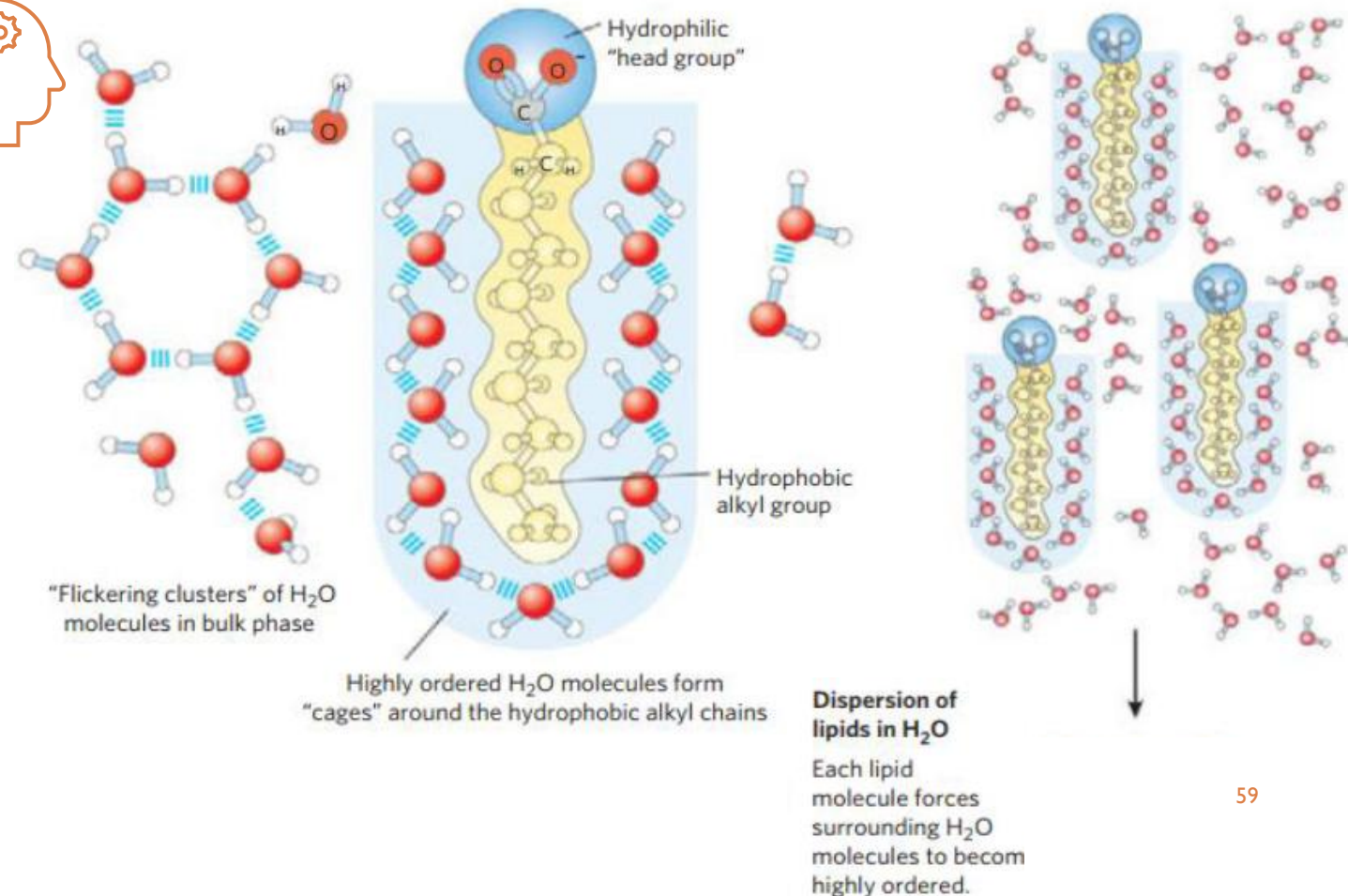
➤ fonction acide carboxylique polaire

➤ chaîne hydrogénocarbonée apolaire

⇒ dans un milieu aqueux, auto organisation en micelle: pôles polaires font face à l'eau et queues apolaires se regroupent en cœur

⇒ Queue apolaire = chaîne aliphatique : liaisons de Van der Waals

⇒ eau et huile non miscibles

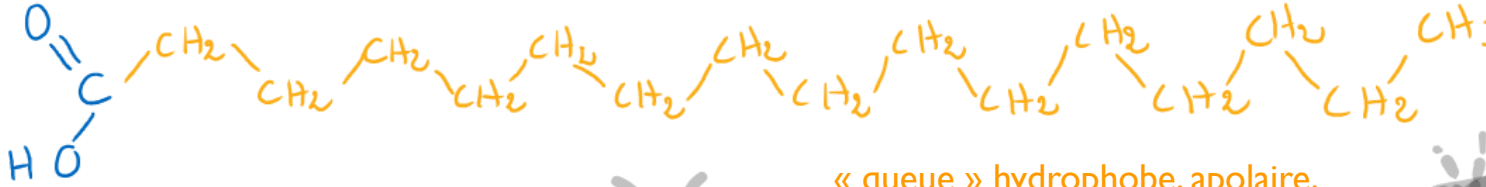


Acide gras

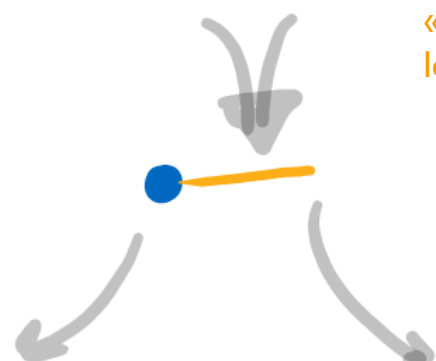
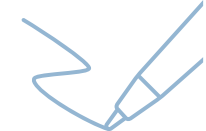
Ex: acide palmitique (C16)

Molécule amphiphile

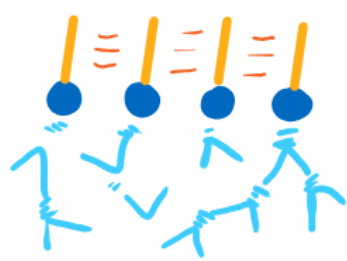
« tête »
hydrophile
polaire



« queue » hydrophobe, apolaire,
longue chaîne aliphatique



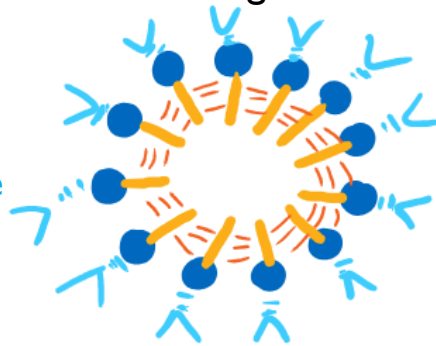
Monocouche



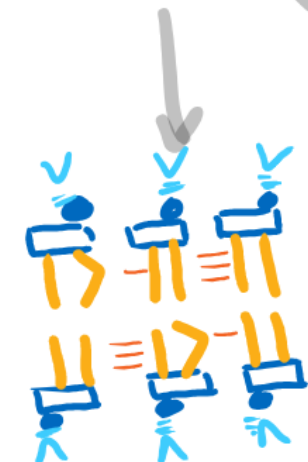
Liaisons de Van
der Waals

Liaisons hydrogène

Micelle: gouttelette lipidique



Pour des lipides plus
complexes



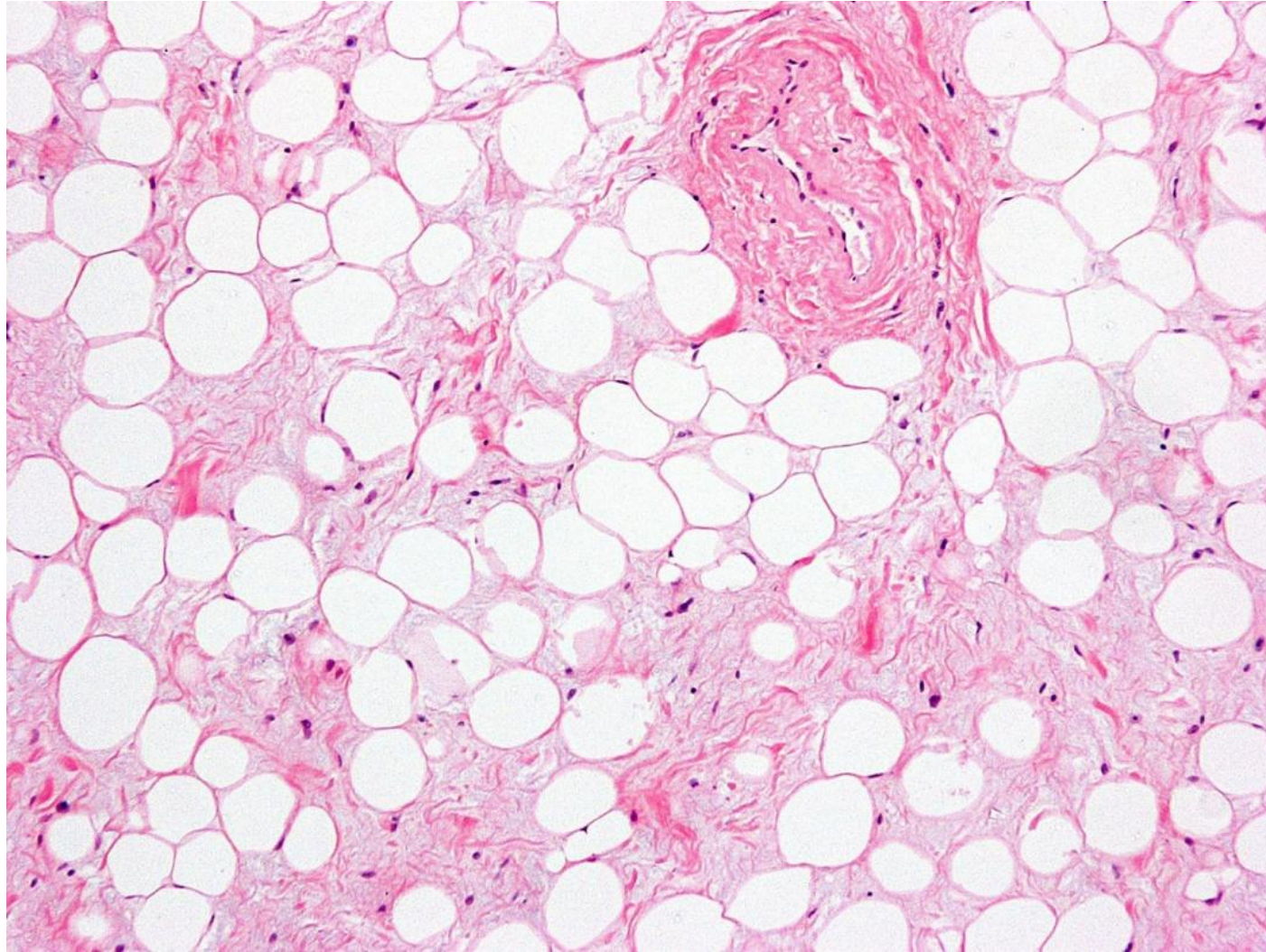
Bicouche

7,5 nm

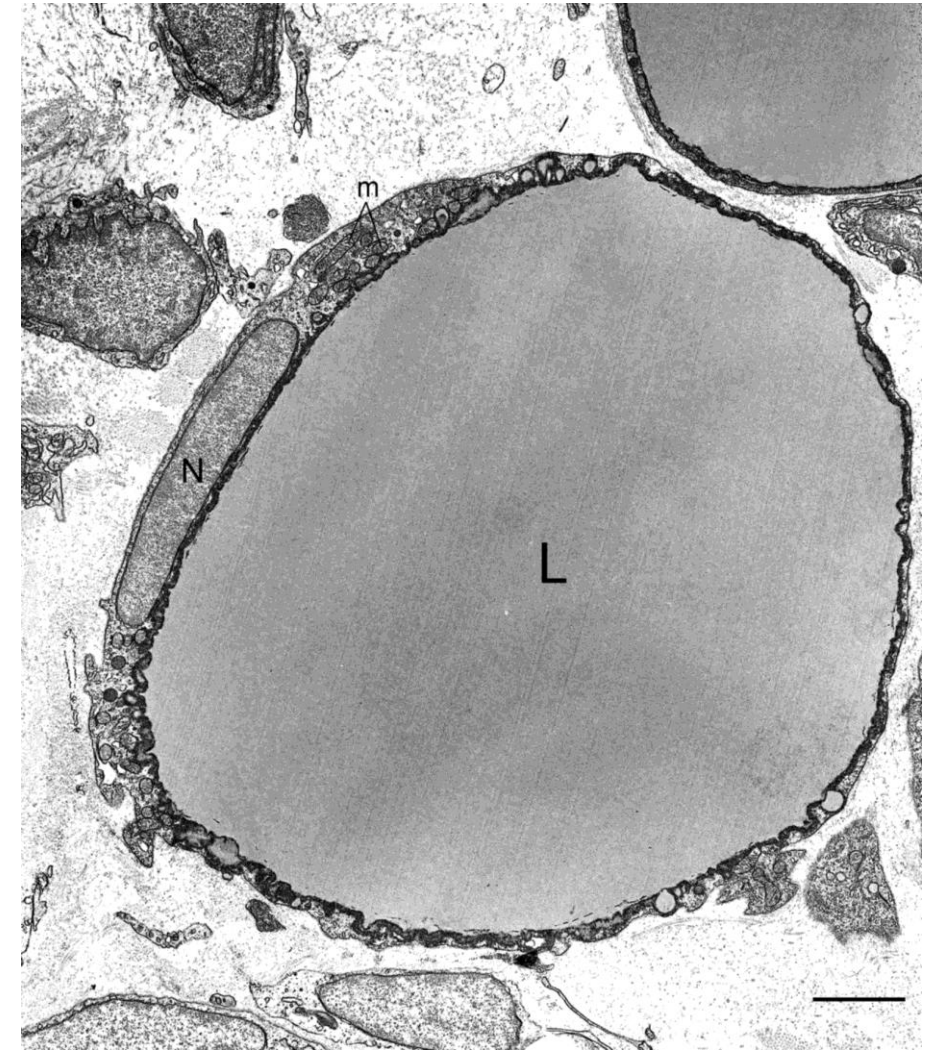


Bicouche refermée:
liposome

Interaction entre l'eau et les molécules amphiphiles et formations d'édifices supramoléculaires



Tissu adipeux au microscope optique



Zoom sur un adipocyte, MET

PLAN DU COURS

- I. Les biomolécules des édifices atomiques, liés par des liaisons covalentes
 - A. Les atomes, généralités
 - B. Les liaisons covalentes: mise en commun d'électrons et formation de molécules
 - C. Principales fonctions chimiques dans les molécules du vivant
 - D. Les liaisons faibles: interactions entre molécules
- II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant
 - A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau
 - B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant
 - C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

C. L'EAU EST UN RÉACTIF ET UN PRODUIT DE CERTAINES RÉACTIONS CHIMIQUES

I. Condensation et hydrolyse

- La réaction d'**hydrolyse** correspond à la rupture d'une liaison covalente faisant intervenir l'eau.
 - **Hydrolyse** = décomposition d'une molécule par action d'une molécule d'eau qui se dissocie (→attaque nucléophile par OH⁻), la réaction inverse s'appelle une **condensation**



✓ Exemples : hydrolyse d'une liaison peptidique, osidique, ester

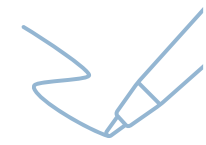
- **Condensation** = inverse de l'hydrolyse = combinaison de deux molécules via l'établissement d'une **liaison covalente** et la **libération d'une molécule d'eau**.

✓ Exemples : condensation liaison peptidique, osidique, ester

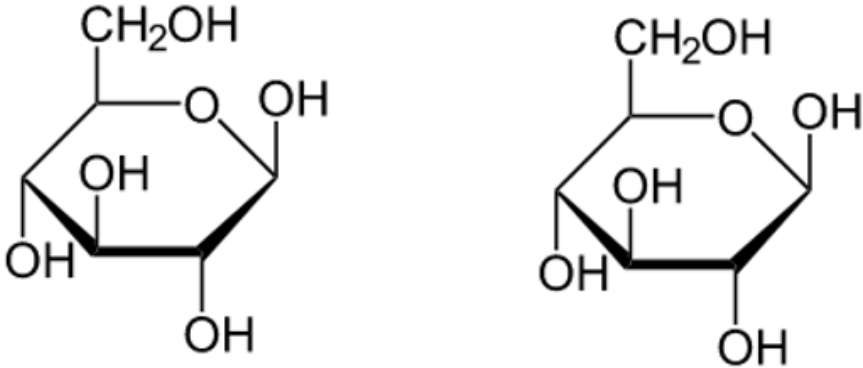
Métabolisme : ensemble des réactions chimiques cellulaires



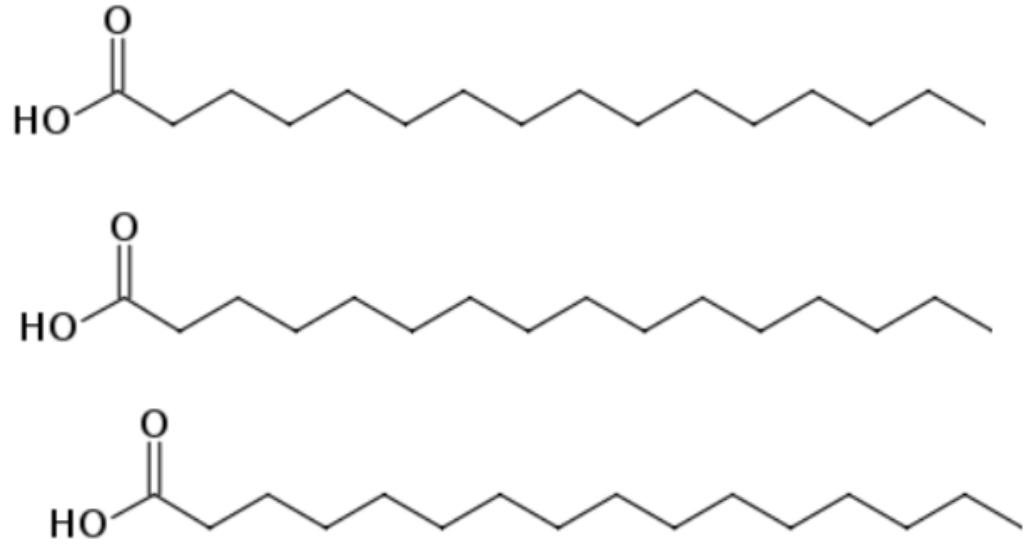
ATP: monnaie énergétique cellulaire



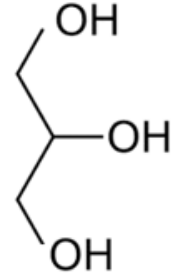
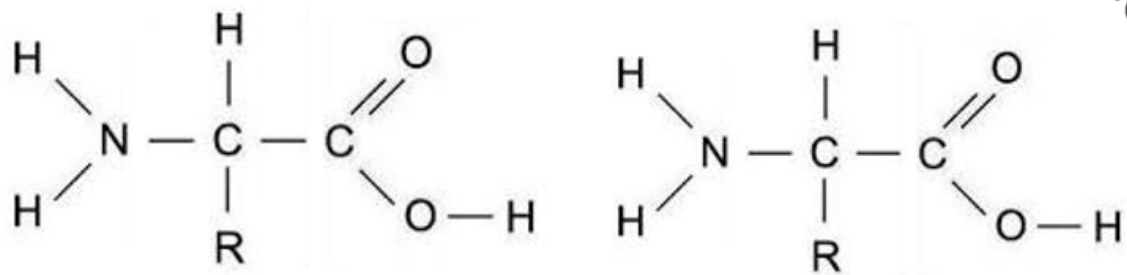
Condensation/hydrolyse de la liaison osidique



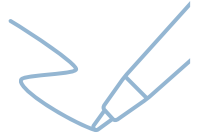
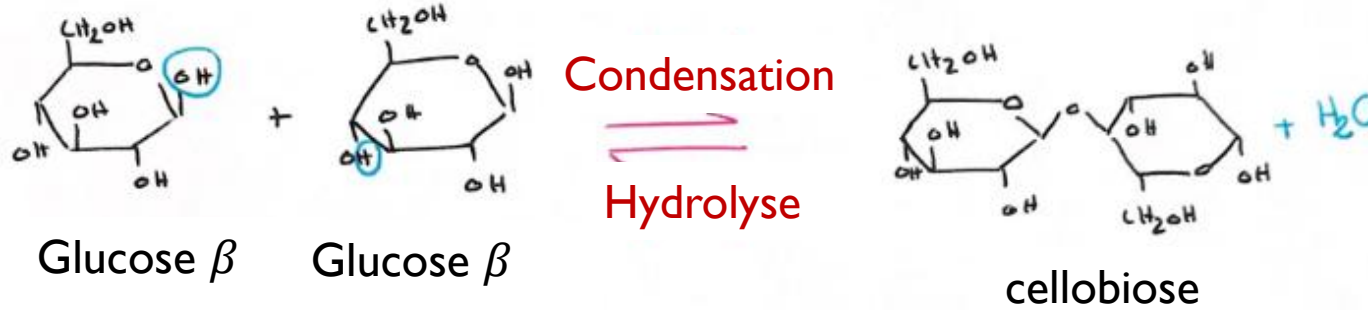
Condensation/hydrolyse d'un triacylglycérol



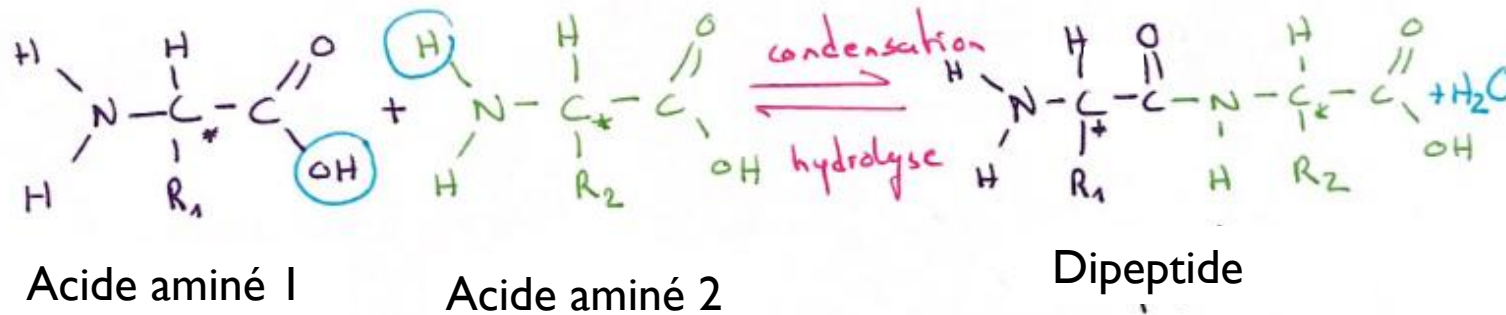
Condensation/hydrolyse de la liaison peptidique



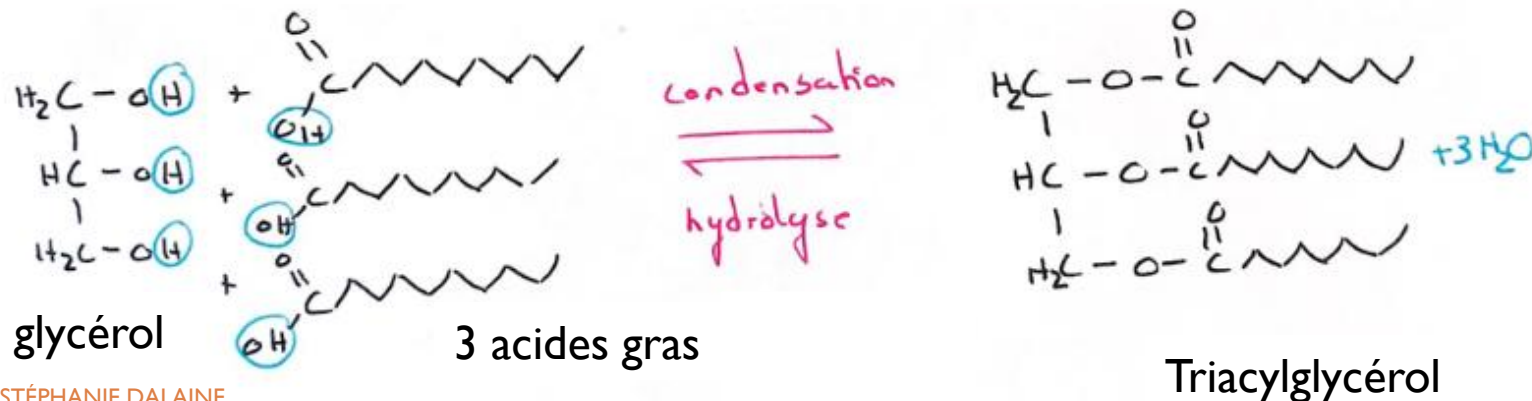
Condensation/ hydrolyse de la liaison osidique



Condensation/ hydrolyse de la liaison peptidique

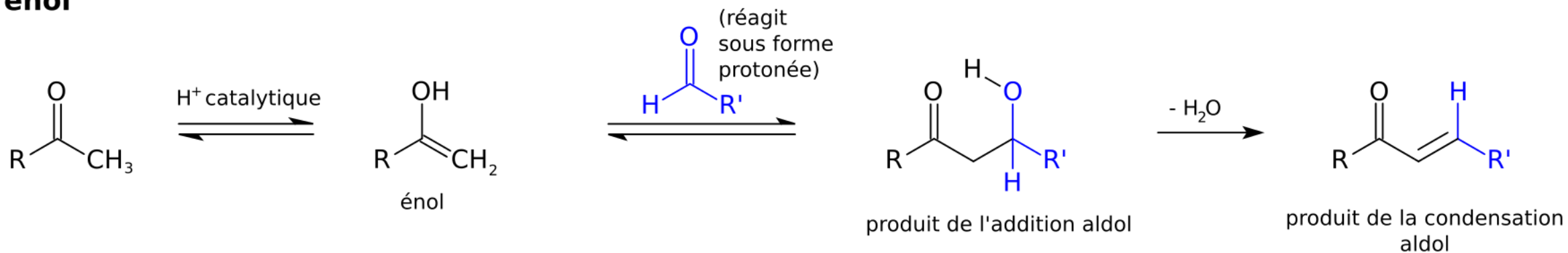


Condensation/ hydrolyse d'un triacylglycérol (TAG)

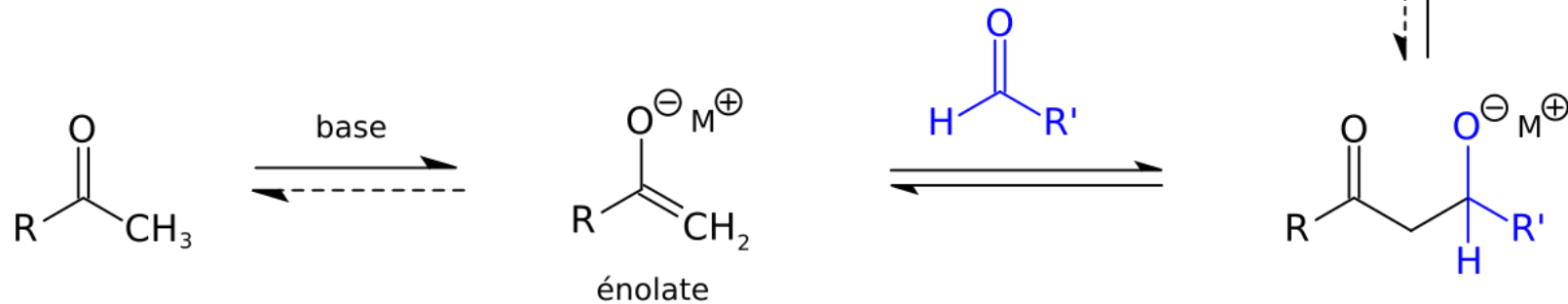


ALDOLISATION

Type énoI



Type énoIate

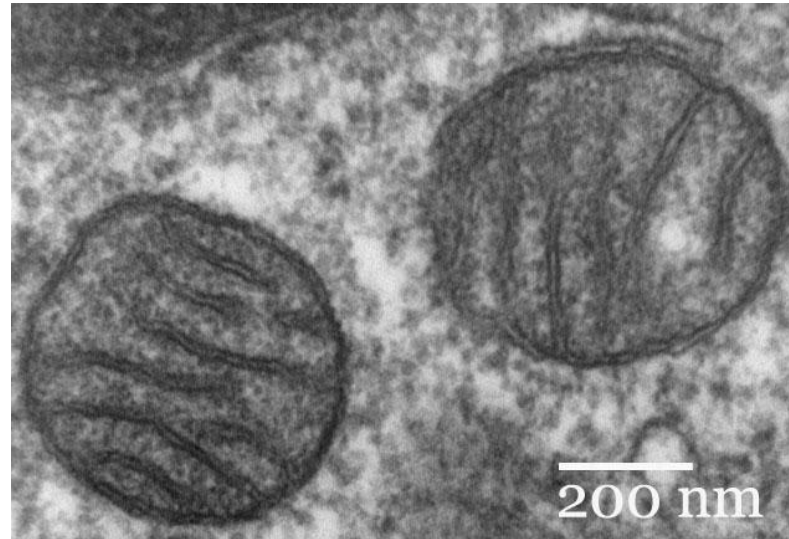


C. L'EAU EST UN RÉACTIF ET UN PRODUIT DE CERTAINES RÉACTIONS CHIMIQUES

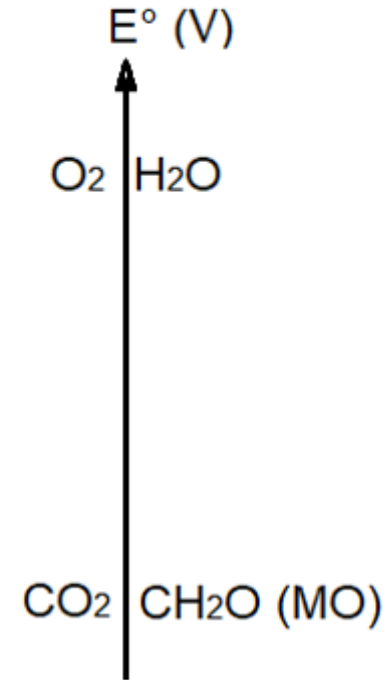
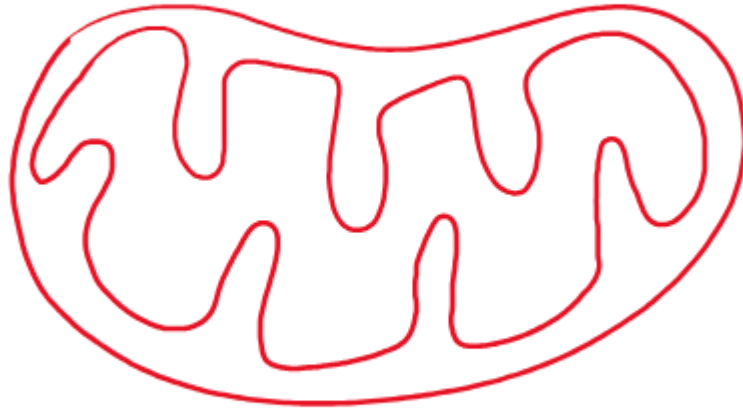
2. L'eau dans les réactions redox



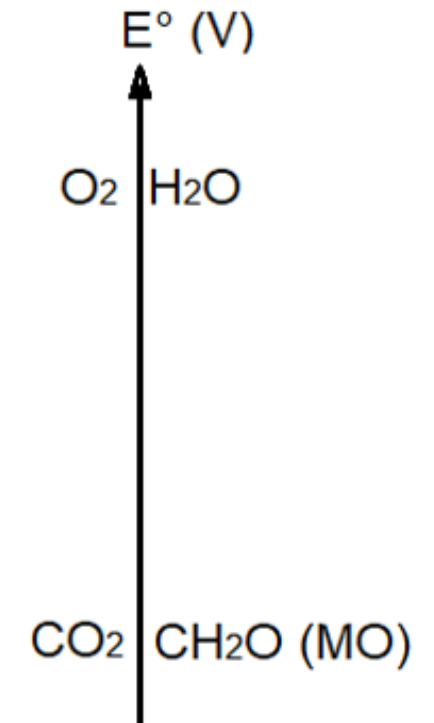
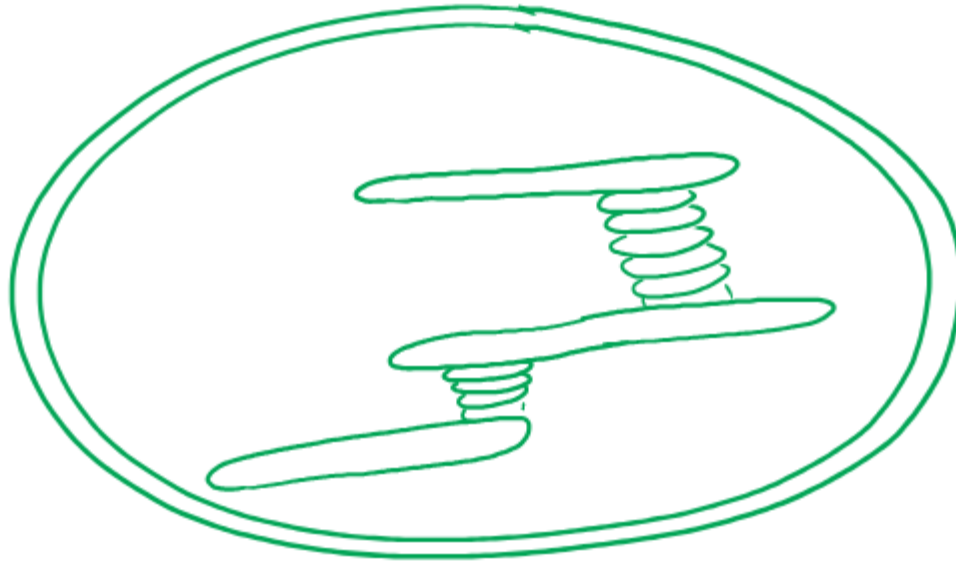
- **Réaction d'oxydoréduction**= réaction chimique au cours de laquelle une molécule est oxydée et l'autre est réduite.
- **transfert d'électrons** entre ces molécules.
- élément qui cède un ou des électron(s) = « réducteur »
- élément qui capte un ou des électron(s) = « oxydant ».



L'eau dans les réactions redox du catabolisme oxydatif



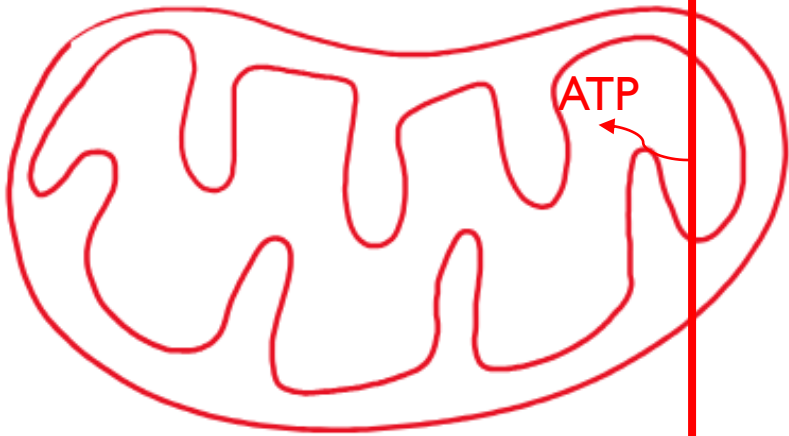
L'eau dans les réactions redox de la photosynthèse



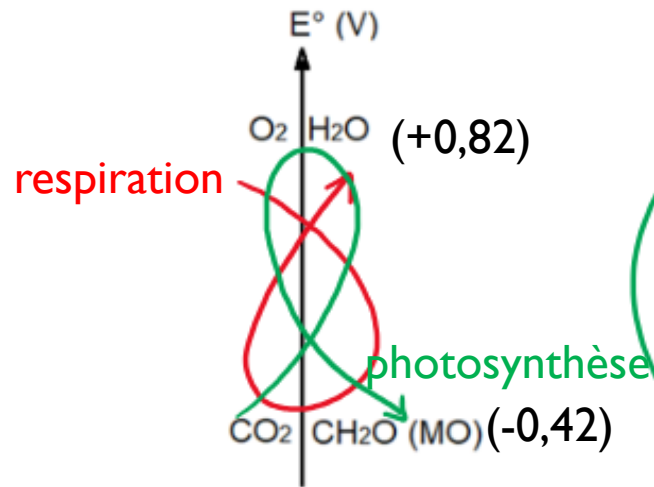
Réaction redox dans la mitochondrie:
oxydation de la matière organique

Réaction spontanée
(exergonique) => synthèse d'ATP

Carbone réduit: CH_2O + O_2
mat. organique red ox



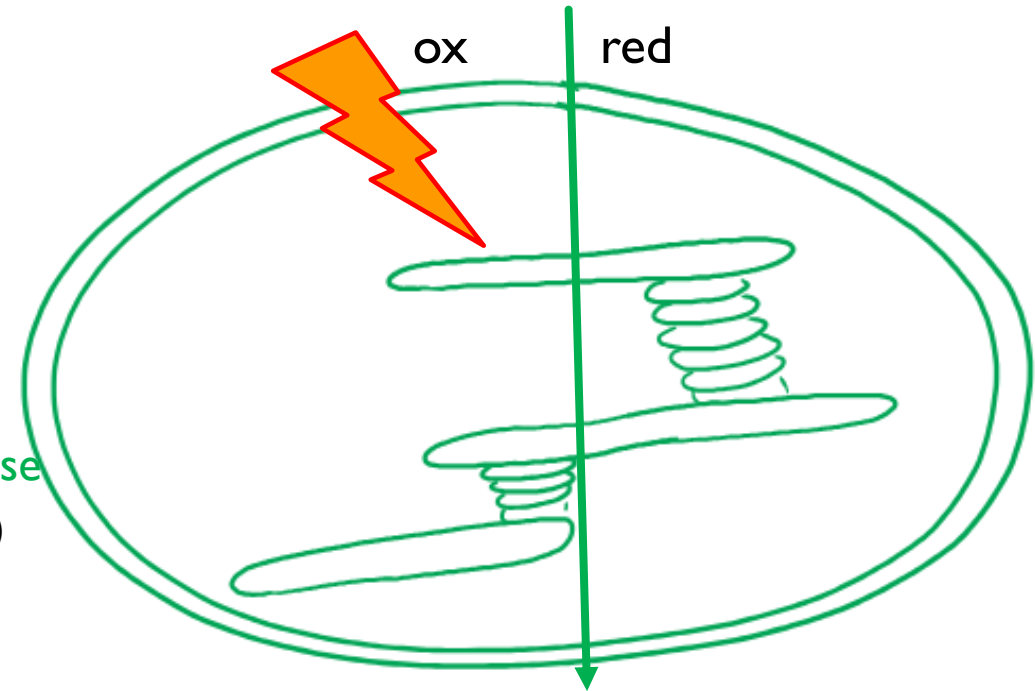
Carbone oxydé: CO_2 + H_2O
mat. minérale ox red



Réaction redox dans le chloroplaste:
réduction de la matière minérale

Réaction non (endergonique) => nécessite
une source d'énergie (énergie lumineuse)

CO_2 + H_2O
ox red



CH_2O + O_2
red ox

C. L'EAU EST UN RÉACTIF ET UN PRODUIT DE CERTAINES RÉACTIONS CHIMIQUES

3. L'eau dans les réactions acide-base

- Pour rappel, un **acide** (au sens de Bronsted) = espèce chimique capable de **libérer un ou plusieurs protons H^+** , une **base** est une espèce chimique capable de **capter un ou plusieurs protons**.
- Une réaction A/B fait intervenir 2 couples, comme une réaction redox. Couple A1/B1 et A2/B2.
- Lors d'une réaction acido-basique :
 - l'acide A1 perd un H^+ au profit de la base B2
 - la base B2 devient l'acide A2 et A1 devient la base B1
- Plus le **pKa du couple est faible**, plus l'acide libère facilement son H^+ , donc **plus l'acide est fort**.
- L'eau joue doublement un rôle dans les réactions A/B :
 - en tant que **solvant**, puisque l'ion H^+ est toujours récupéré par une molécule d'eau pour devenir H_3O^+
 - en tant qu'**acide** du couple H_2O/HO^- (pKa du couple = 14)
 - en tant que **base** du couple H_3O^+/H_2O (pKa du couple = 0)
- L'eau = molécule **amphotère (n.m. ampholyte)** → soit une base, soit un acide.
- **pH du cytoplasme 7** => supérieur au pKa des **groupes carboxyliques (-COOH)** => au pH intracellulaire les groupes carboxyliques sont des bases: pyruvate et non acide pyruvique⁷¹

CONCLUSION



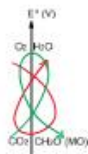
- **composition atomique relativement homogène** : abondance de **C, H, O, N** et d'autres composés : diffère de celle du monde minéral.
- Etablissement de **liaisons covalentes** et formation de **molécules** : molécules **minérales** (l'eau étant la plus abondante) et molécules **organiques** (présentant au moins une liaison C-H) dont on peut distinguer 4 types : **glucides, lipides, protides et nucléotides**, caractérisés par des **groupes fonctionnels précis** et qui déterminent leurs propriétés physico-chimiques.
- Interactions entre eau et autres molécules : **interactions faibles (liaison H, liaison électrostatique ionique et liaisons de Van Der Waals)**.
- **Eau = molécule polaire** :
 - **Solubilisation des molécules polaires** solvant, milieu réactionnel, vecteur de transport
 - **Organisation des molécules** et des **édifices supramoléculaires amphiphiles et hydrophobes**.
 - Mise en jeu dans les **réactions chimiques du vivant : métabolisme**

L'eau: réactif et produit du métabolisme

Respiration exergonique



O₂ = accepteur final d'électrons



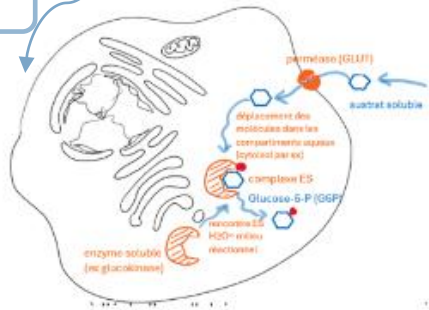
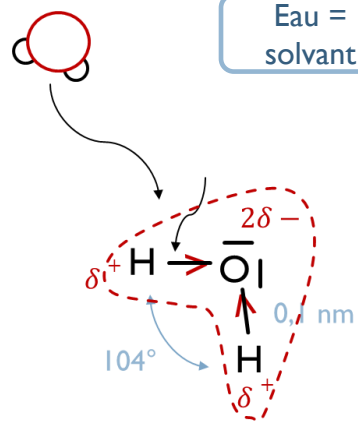
Photosynthèse endergonique



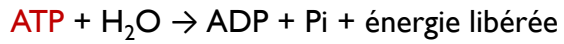
H₂O = faible réducteur

L'eau, molécule dipolaire, établissant des liaisons (H, électrostatique, Keesom (VdW))

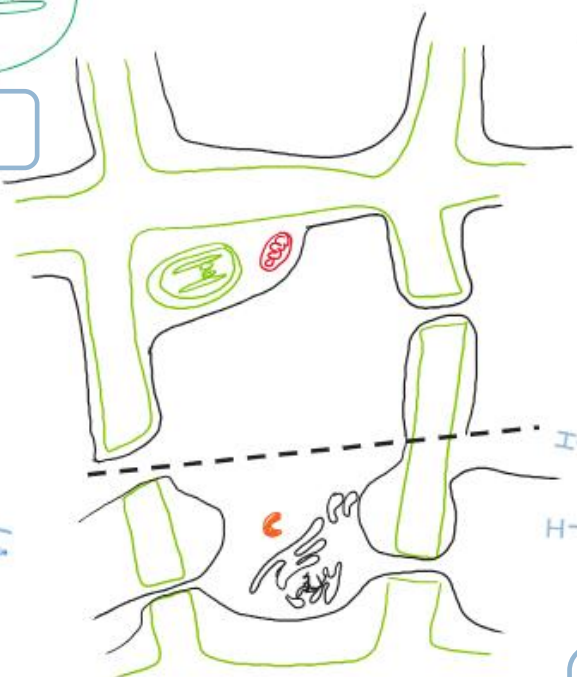
Eau = solvant



Eau = agent d'hydrolyse et produit de condensation



L'eau dans la cellule



$$\Psi_s = -RTC_s$$

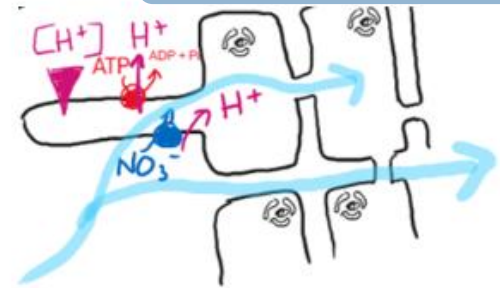
$$\Psi_H = \Psi_s + P$$

L'eau: fluide quasi-incompressible, son rôle dans la structure cellulaire



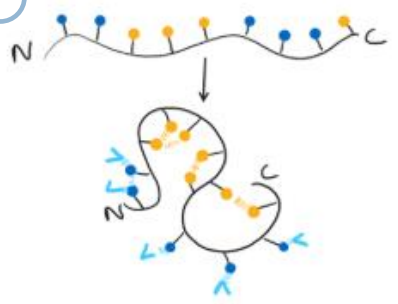
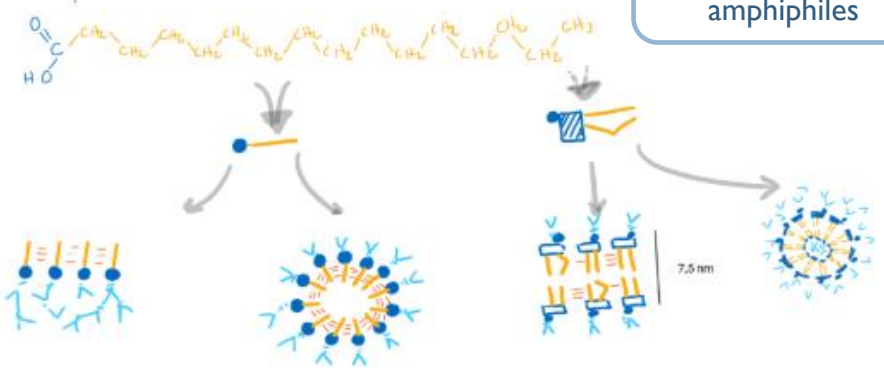
Eau et ouverture/fermeture des stomates

Eau = solvant, transportant des molécules solubles



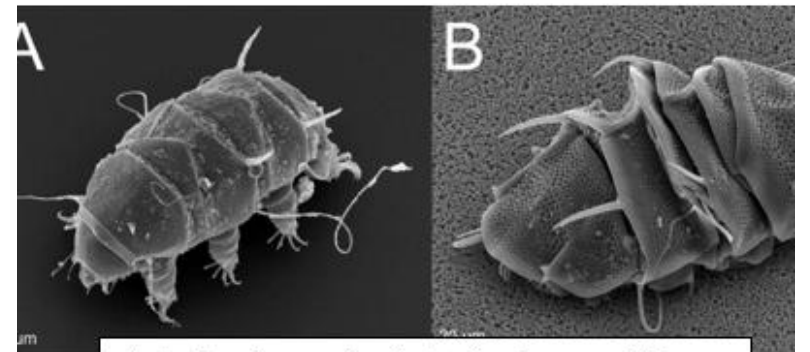
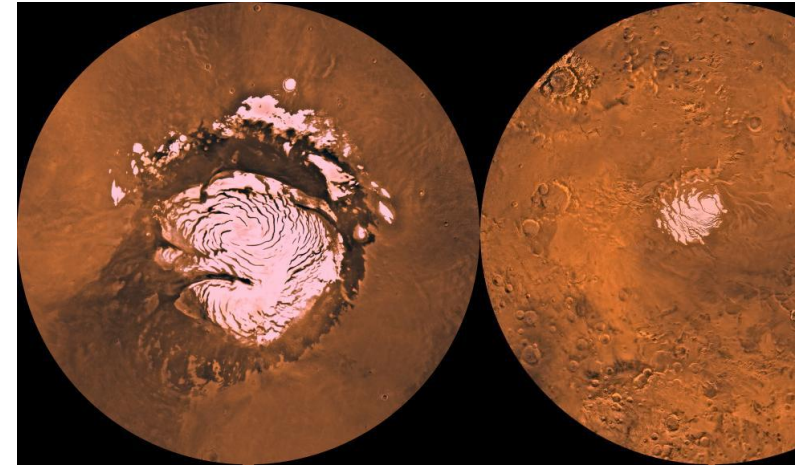
Eau = solvant

Eau => repliement des molécules amphiphiles



RÉACTION DES VIVANTS AU STRESS HYDRIQUE

- Réaction des êtres vivants au stress hydrique:
 - Hibernation, diapause, cryptobiose
- Eau liquide sur d'autres planètes?



A : Tardigrade normal B : Tardigrade en cryptobiose

SUJETS D'ORAUX

- L'eau dans la cellule
- L'importance biologique des liaisons non covalentes