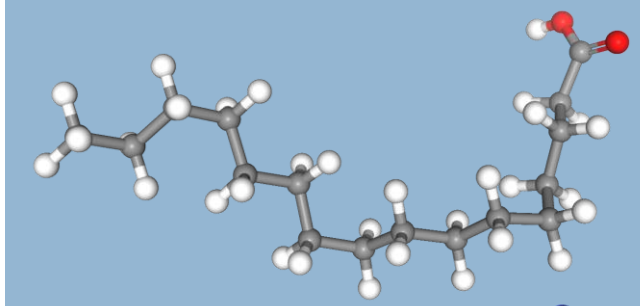
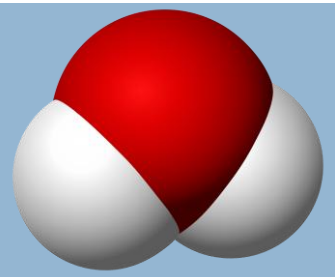
SV-D-1 LES CONSTITUANTS DU VIVANT

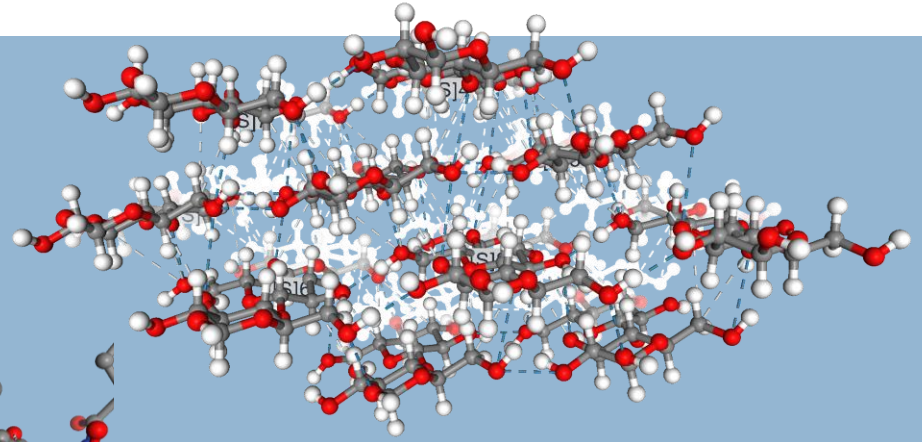
SV-D-ORGANISATION FONCTIONNELLE DES MOLÉCULES DU VIVANT



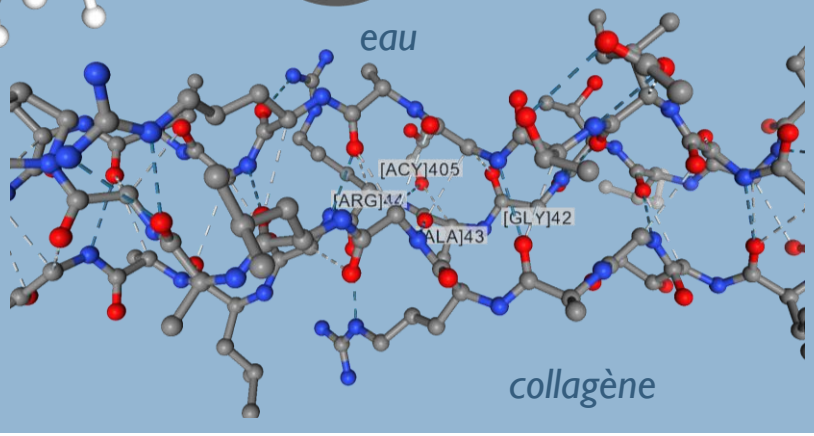
Acide palmitique



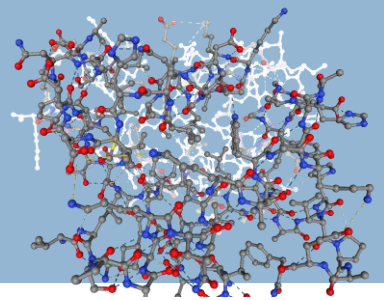
eau



cellulose



collagène



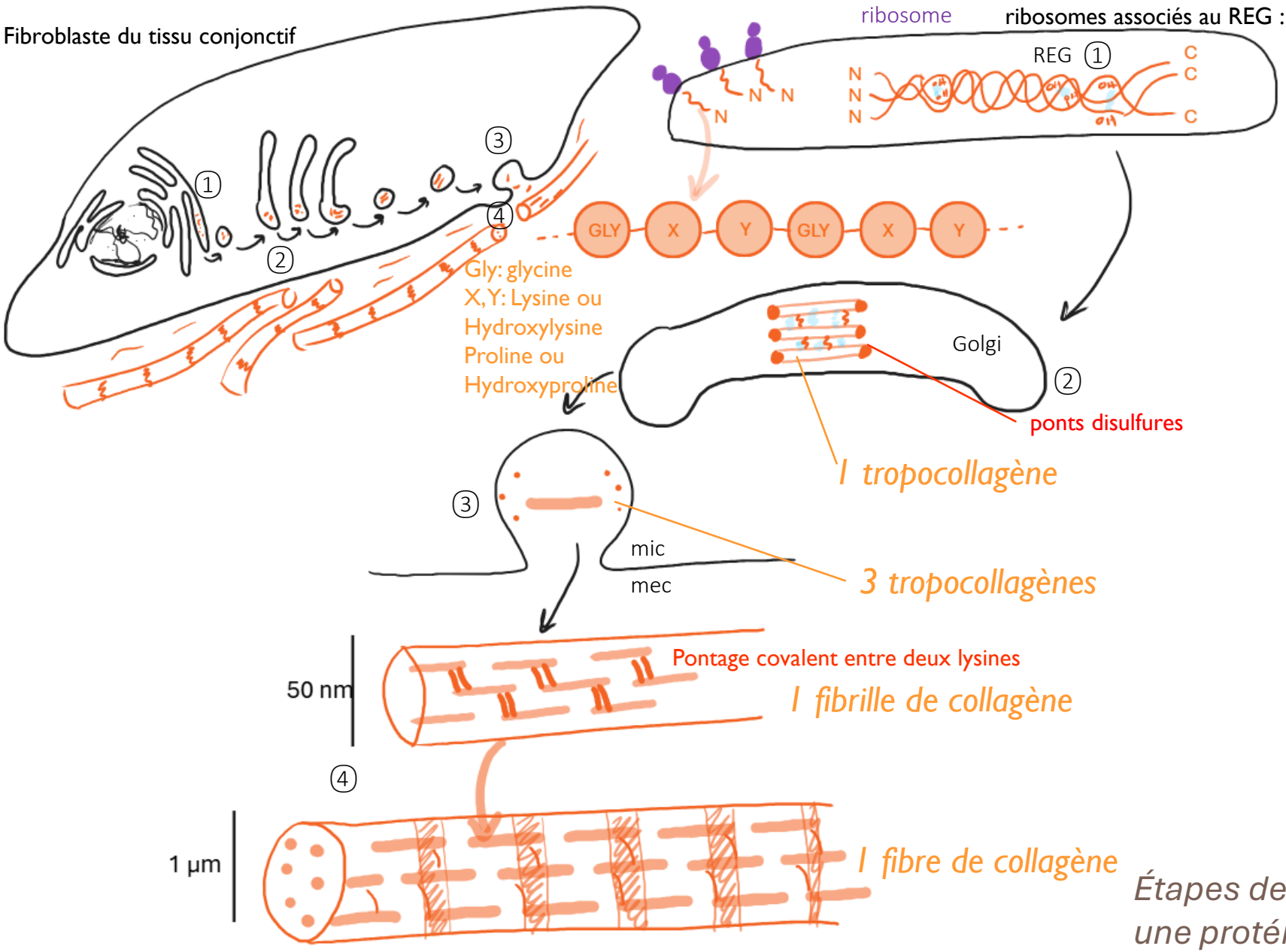
Globine α

QUE DIT LE B.O.?

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
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.**	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.

Cf SV-C-I

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)

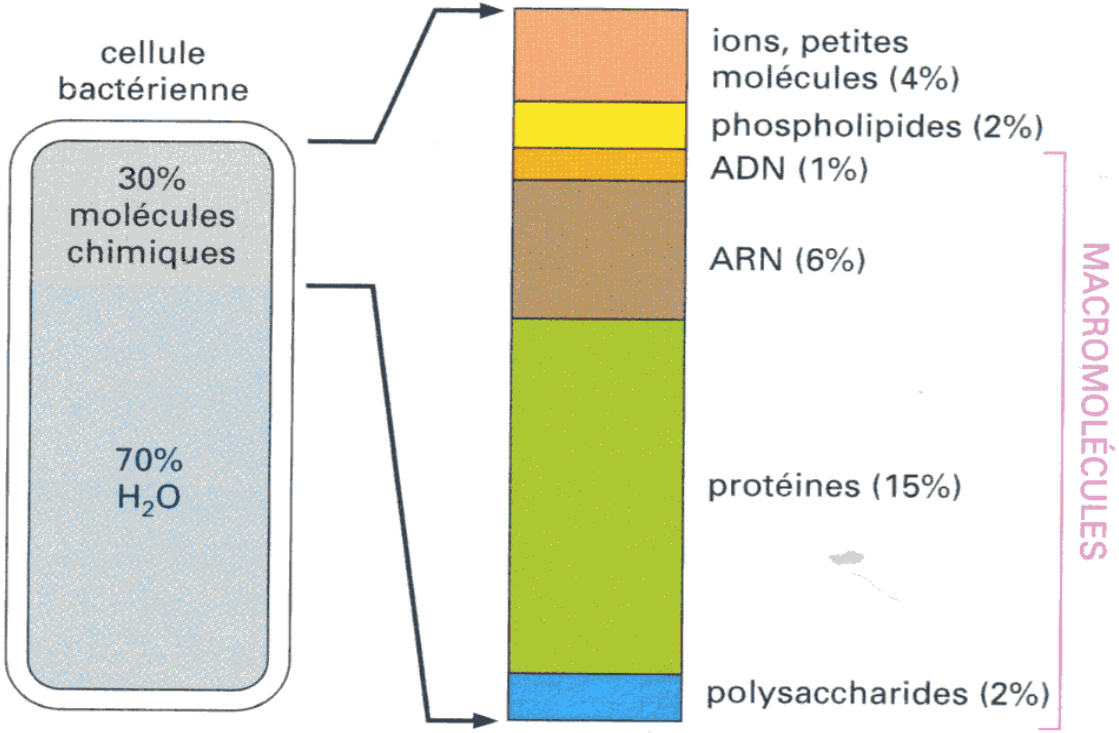


Figure 1 : % massique des principales molécules du vivant

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

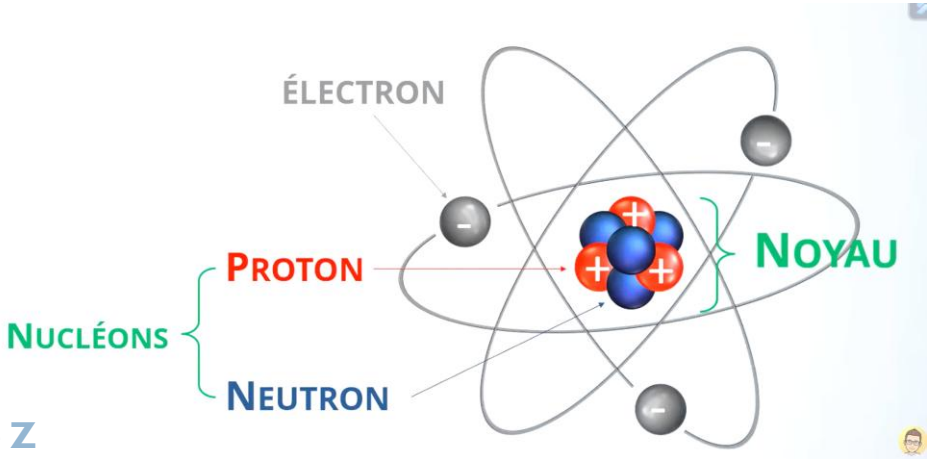
B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant

C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

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

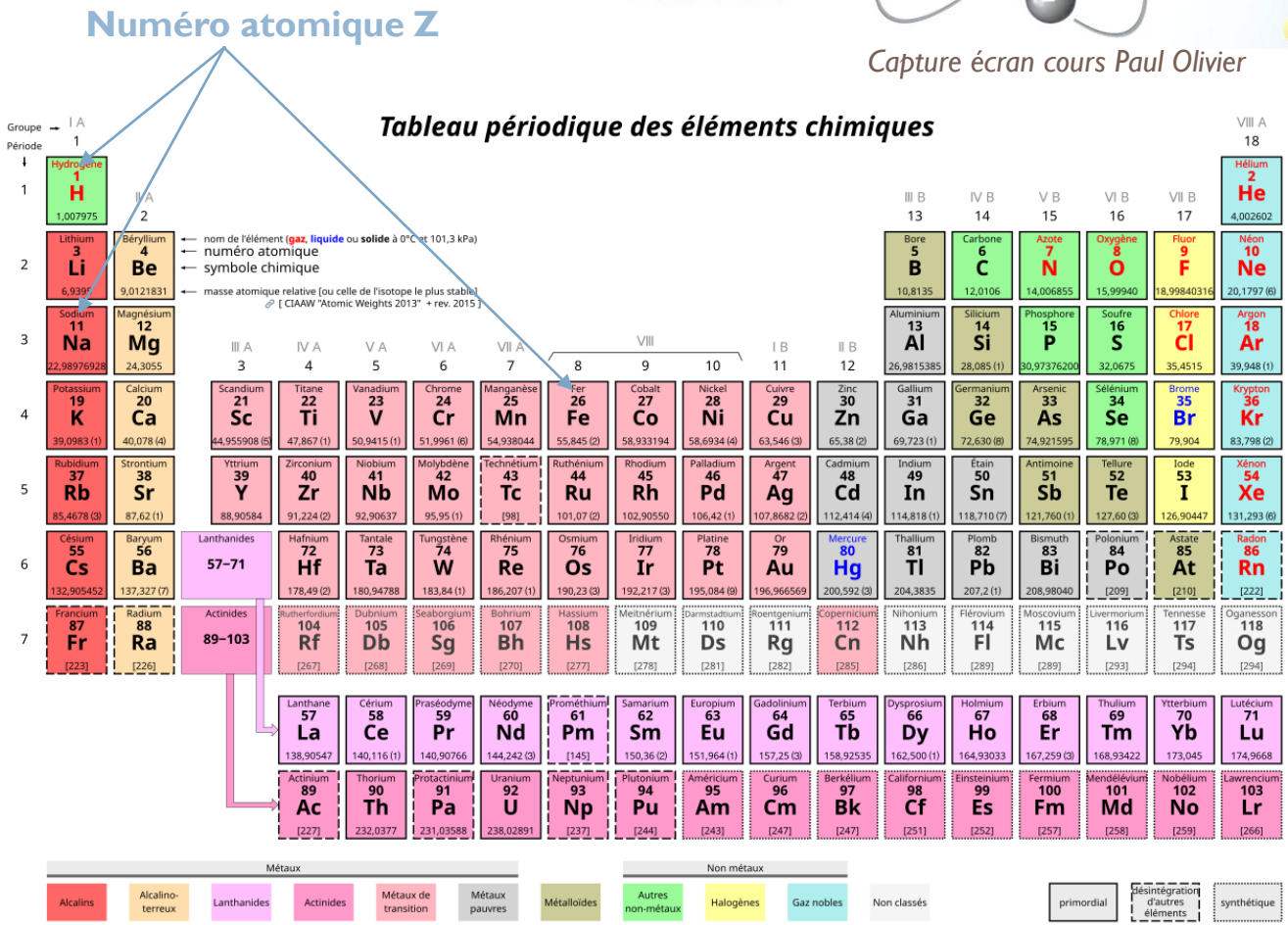
A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS

1. Constitution d'un atome



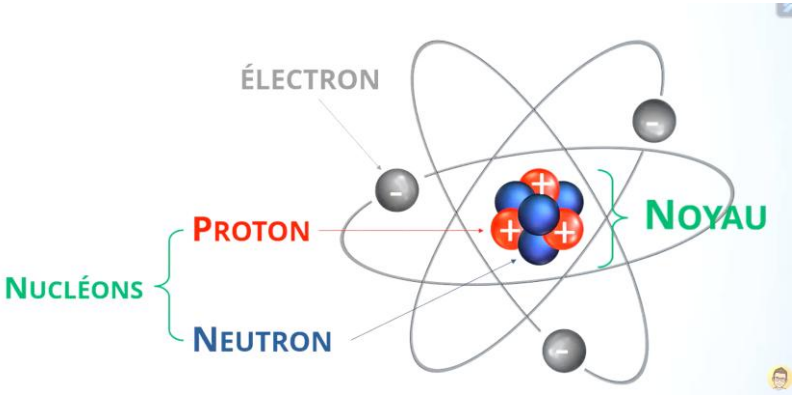
Capture écran cours Paul Olivier

- 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 $^{A}_{Z}X$
  - **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.*
- Eléments possédant le même numéro atomique mais des nombres de masses différents : **isotopes**
  - ✓ *Ex: tritium $^{3}_{1}H$ et l'hydrogène $^{1}_{1}H$*
  - ✓ *Ex carbone 12 $^{12}_{6}C$ et le carbone 14 $^{14}_{6}C$*



Source: Wikipédia

I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES
A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS
1. Constitution d'un atome

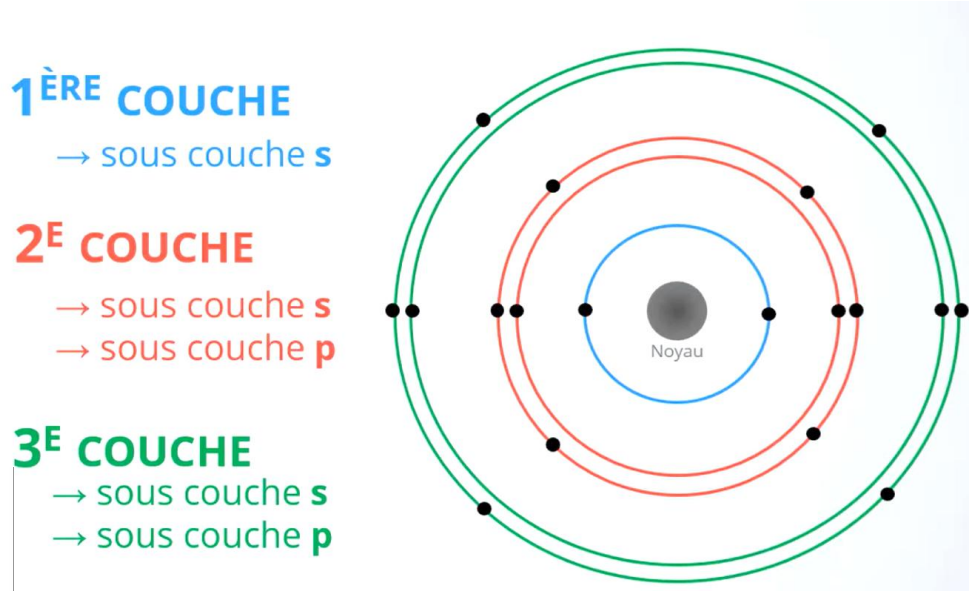


Capture écran cours Paul Olivier

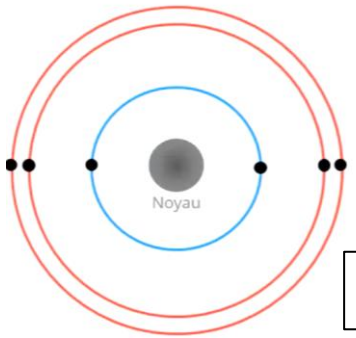
- **Configuration électronique** d'un atome: répartition des électrons dans les différentes couches (1, 2, …) et sous couches (s, p)
  - ➢ ordre de remplissage des couches:

  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*



Capture écran cours Paul Olivier



Capture écran cours Paul Olivier

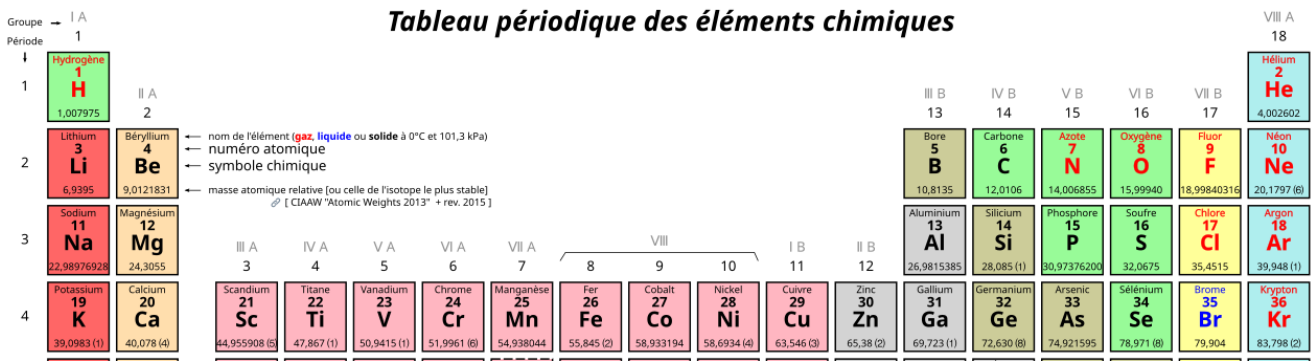
$_6C$

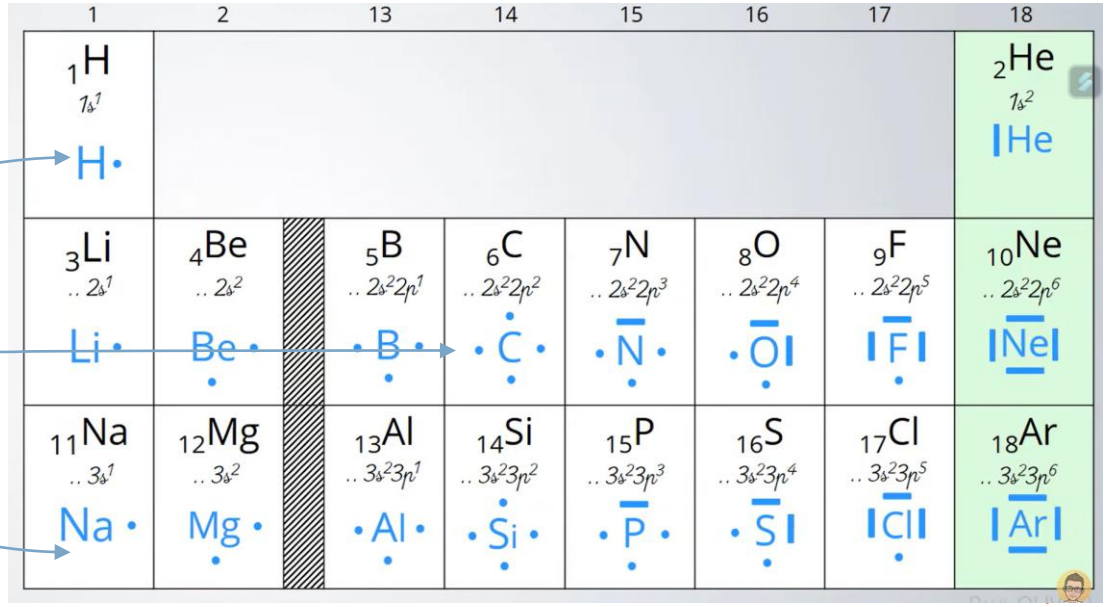
$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$

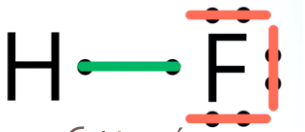
4 électrons de valence

I. LES MOLÉCULES, DES ÉDIFICES ATOMIQUES LIÉS PAR DES LIAISONS COVALENTES
A. LES ATOMES : GÉNÉRALITÉS
1. 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 $_2He$: $1s^2$*
  - ⇨ *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*







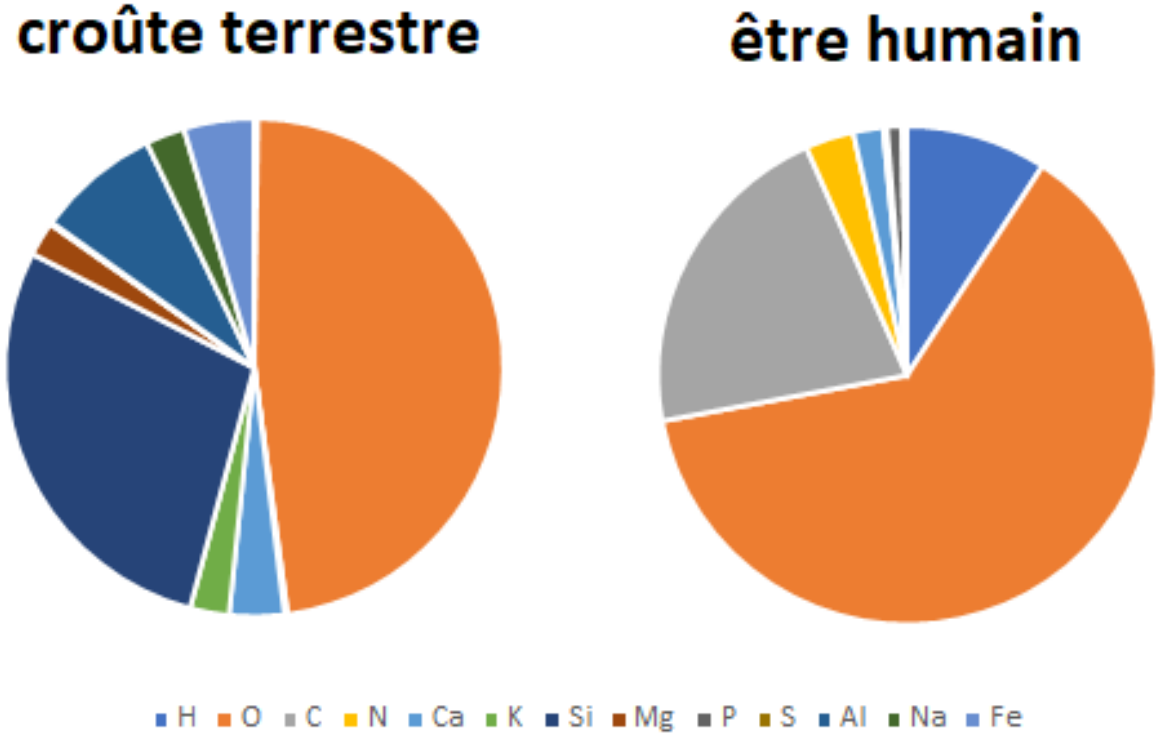
Capture écran cours Paul Olivier

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

Principaux éléments

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



Principaux éléments

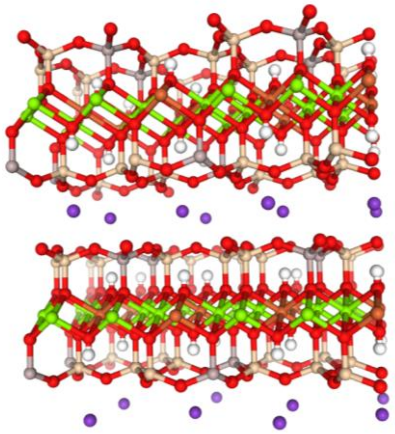
O, C, H et N: macro-éléments

Fe, P, S…: oligo éléments

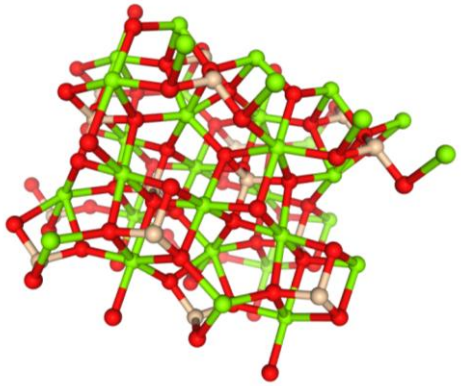
Composition atomique (en % massique) des êtres vivants et de la croûte terrestre (connaître les valeurs approximatives)

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

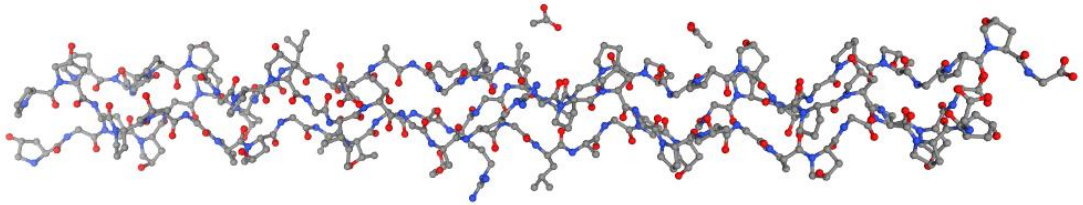


Biotite (mica noir) Libmol

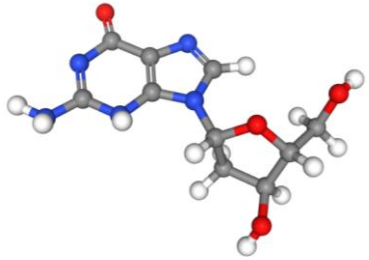


Olivine forstérite Libmol

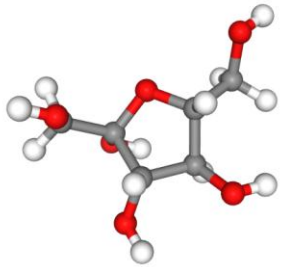
- Molécules organiques : **molécules carbonées réduites** produites par les êtres vivants : sucres, protéines, lipides, acides nucléiques essentiellement, combustibles dans une atmosphère oxydante



Collagène



Désoxyguanosine Libmol



Fructose Libmol

RÉFLEXION SUR LE NOMBRE D'OXYDATION

Énergie chimique
(ATP)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$$

$$12\ H_2O + 6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6\ H_2O$$

Énergie lumineuse
(photonique)

Oxydation
Réduction
Comment le démontrer?

Rappels:
oxydant= espèce chimique capable de capter des électrons
Réducteur: espèce chimique capable de céder des électrons

Cf SV-E

LES ÉNERGIES D'OXYDO-RÉDUCTION

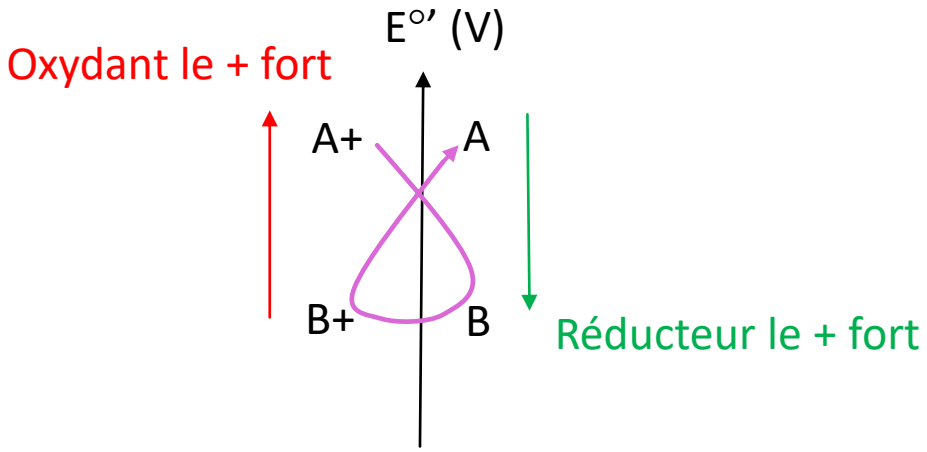
- Réducteur : donneur d'e-
- Oxydant : accepteur d'e-
- entre deux espèces chimiques, les e- vont toujours du réducteur le plus fort à l'oxydant le plus fort

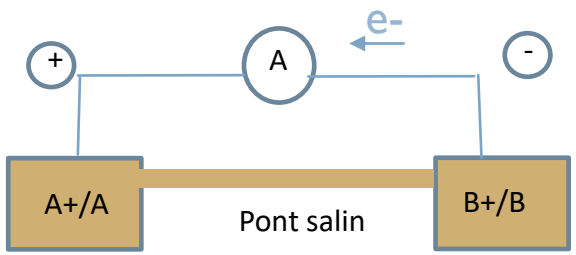
Réactions redox se font **spontanément** dans **le sens des potentiels croissants**

$$\Delta G^{\circ\prime} = - n\mathcal{F}\Delta E$$

$$A^+ + e^- \rightleftarrows A$$

$$B \rightleftarrows B^+ + e^-$$



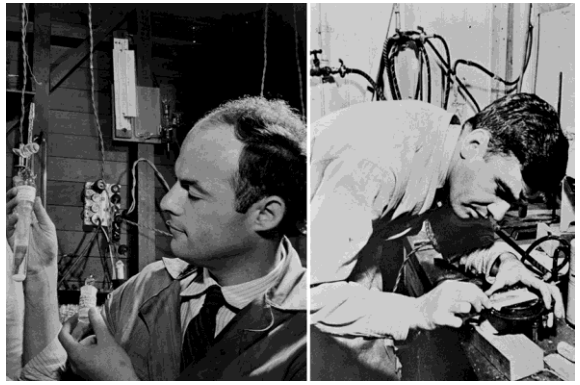


Réaction d'oxydoréduction et énergie libérée

Cf SV-E

1. Les végétaux chlorophylliens sont photolithotrophes

1.2. 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 ($H_2{}^{18}O$) → $^{8}O_2$

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

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

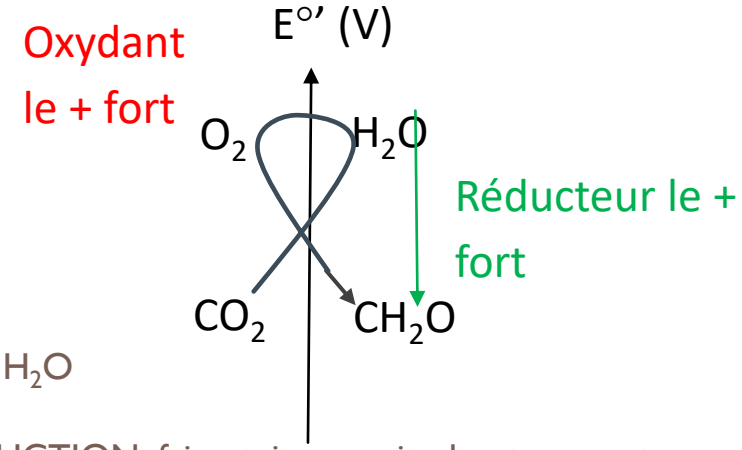
- Décomposer de la réaction photosynthétique en deux groupes de réactions :

➢ Oxydation de l'eau :

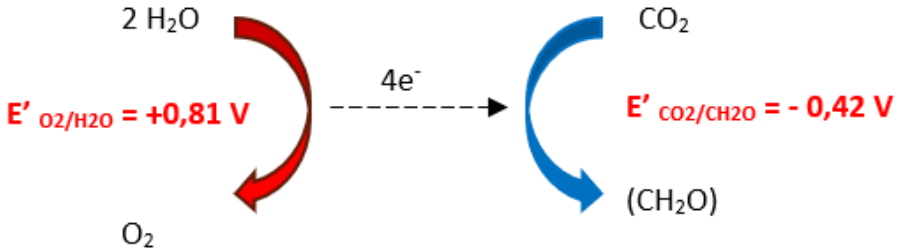
$2\ H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

➢ Réduction du carbone :

$CO_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow (CH_2O) + H_2O$



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



➢ $\Delta G°' = - n\mathcal{F}\Delta E$ soit $\Delta G°' = - 4.96\ 500.(-0,42-0,81) = 475\ kJ.mol^{-1}$

➢ $\Delta G°' > 0$

➢ **Réaction endergonique**

Cf SV-E

L'**assimilation** du carbone minéral (CO_2) en carbone organique ($C_6H_{12}O_6$) est une **réduction** de l'élément carbone

- Soit x = n.o. de C dans le glucose ;

on peut écrire :

(n.o.) $C_6H_{12}O_6 = 0 = 6x + 12.(+1) + 6.(-II)$

ainsi (n.o.) C = 0

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

Somme (n.o.) $CO_2 = 0 = x + 2.(-II)$ soit $x = +IV$.

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.

Cf SV-E

ENTRAÎNEMENT AU CALCUL DU NOMBRE D'OXYDATION

Soit x le n.o. de C :

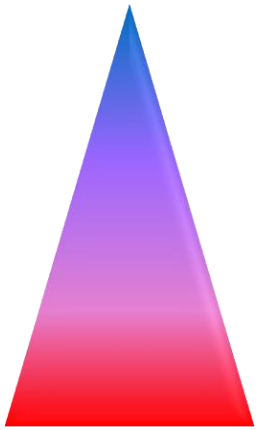
C de la fonction méthyle R-CH_3 : 0 = x + 3.(+I) d'où n.o. C = -III

C d'une fonction alcool R-CH_2OH : 0 = x +3.(+I) + (-II) +I soit n.o. C = -I

C de la fonction aldéhyde R– CHO : 0 = x + I + (-II) d'où n.o. C = +I

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

C de la fonction carboxyle R– COOH : 0 = x + 2.(-II) +I d'où n.o. C = +III

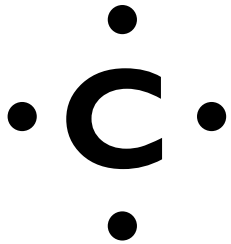


Degrés d'oxydation du carbone

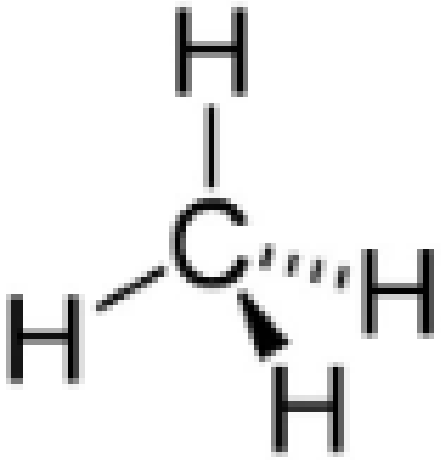
Ce qu'il faut retenir en biologie, c'est qu'on dira qu'une **molécule est plus oxydée si ses atomes de carbone ont un degré d'oxydation élevé**, et qu'une molécule est réduite si le degré d'oxydation est… réduit (plus faible). Un atome de C relié à plusieurs O est donc plus oxydé qu'un atome de C relié 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, LE NOMBRE D'OXYDATION DU C AUGMENTE**.

DES MOLÉCULES ORGANIQUES



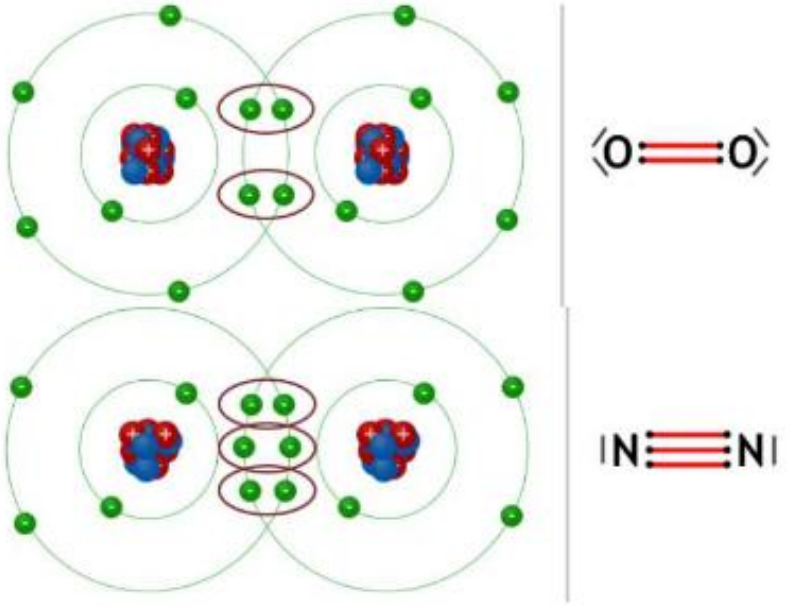
- **Le $_6$C est un atome de petite taille possédant 4 électrons libres sur sa couche externe**
  - **C tétravalent** => formation de **squelettes carbonés**
  - **C réduit dans la matière organique** (C a capté bcp d'e^- souvent accompagnés de H^+)
    - ⇨ **oxydation de C organique exergonique → libère énergie (C réduit est combustible)**
  - **Squelette carboné** des biomolécules porte des **fonctions chimiques** (-OH, -COOH, $-NH_2$)
    - ⇨ existence de familles de molécules

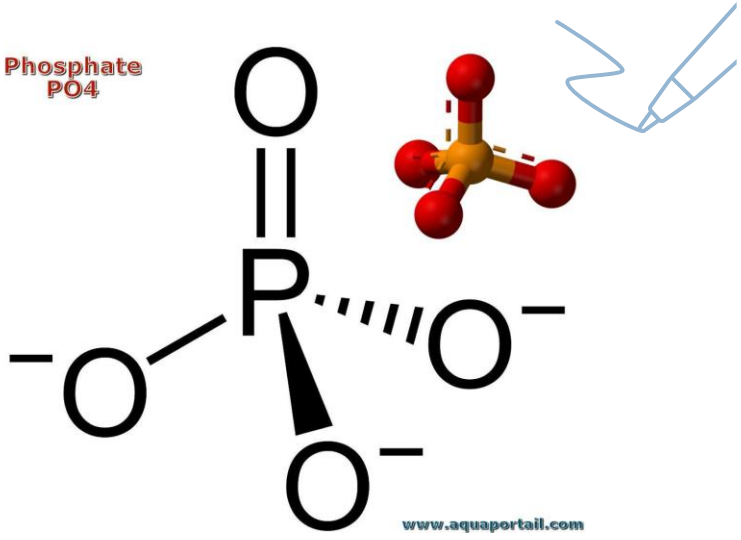


Molécule organique = biomolécule = C réduit (C-H)

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 (O_2 → respiration, carbonate → tampon cellulaire, phosphate → précurseur d'ATP et d'Acide Nucléique…)**





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

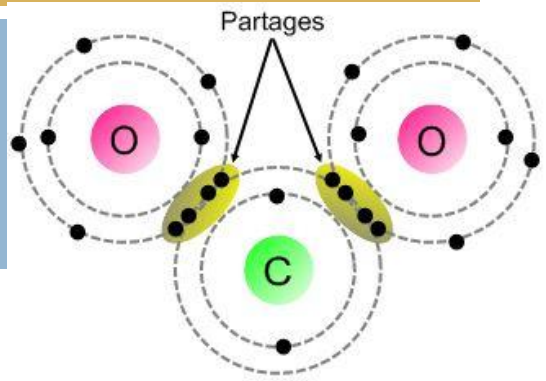
A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau

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

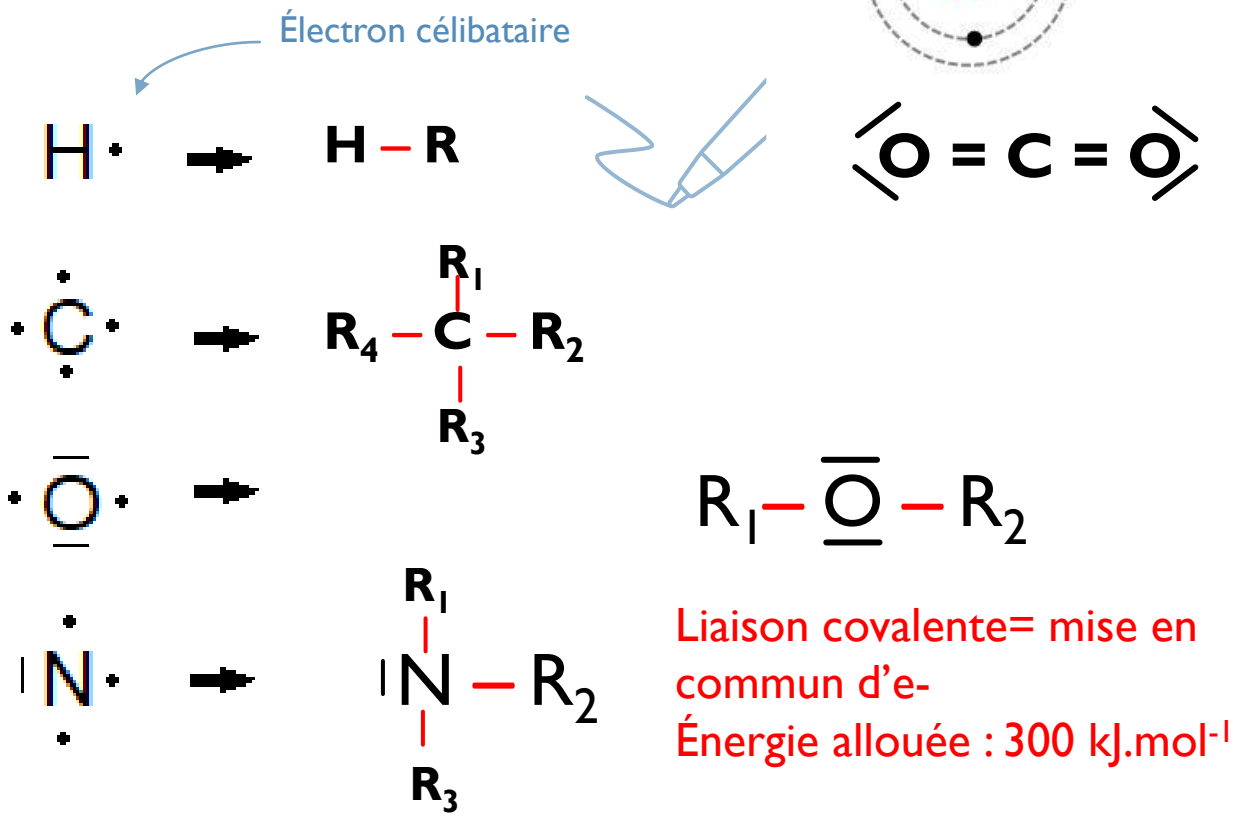
B. LES LIAISONS COVALENTES : MISE EN COMMUN D'ÉLECTRONS ET FORMATION DE MOLÉCULES

1. 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, -NH_2) => 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}**



Liaison covalente= mise en commun d'e-
Énergie allouée : 300 kJ.mol^{-1}

Figure 5 : modalités d'établissement des liaisons covalentes

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

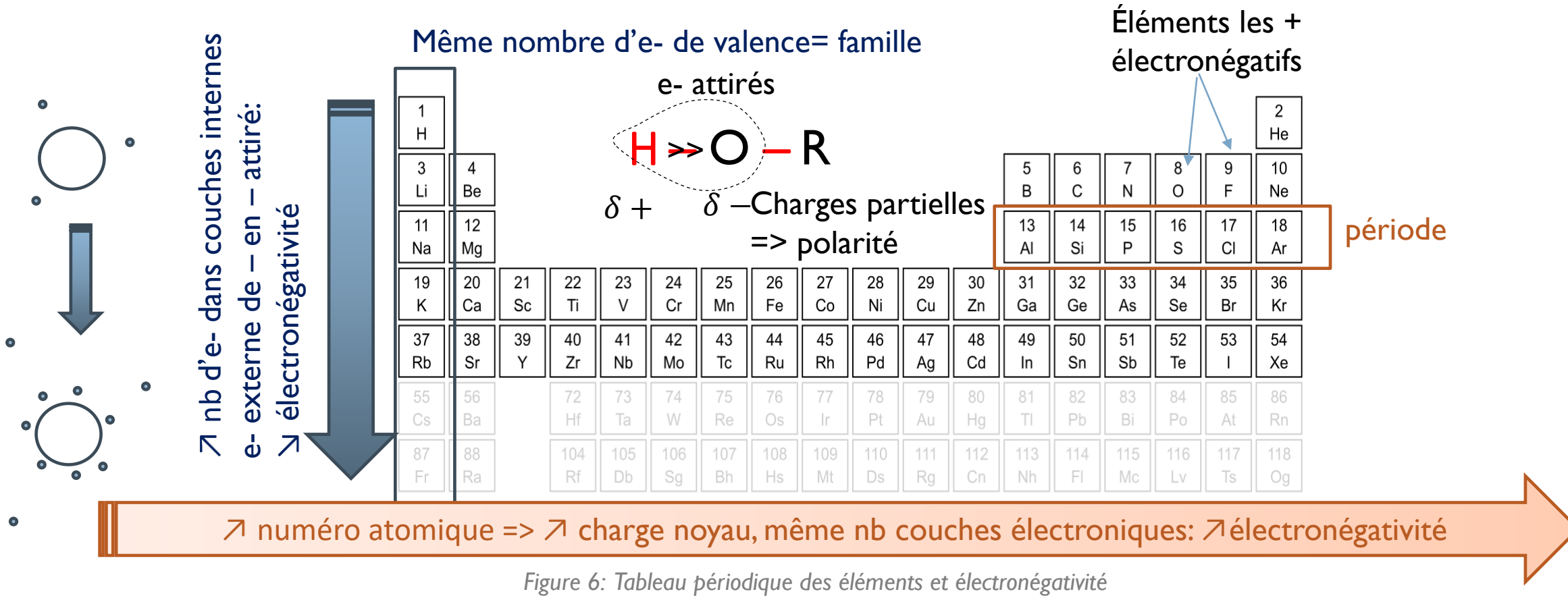
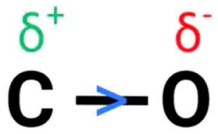


Figure 6: Tableau périodique des éléments et électronégativité

- Échelle de Pauling: électronégativité augmente le long d'une période
  - ⇨ *F est le plus électronégatif*
- 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 électronégativité entre deux atomes > 0,4
  - ✓ C – H : liaison non polarisée
  - ✓ C – O: liaison polarisée → e- plus souvent localisés près de O → δ –

Capture écran cours Paul Olivier

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

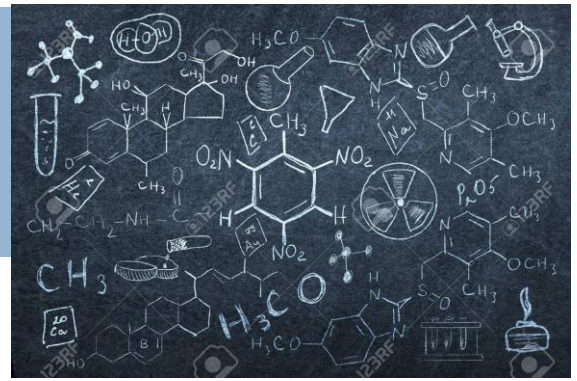
II. L'eau molécule polaire essentielle du vivant

A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau

B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant

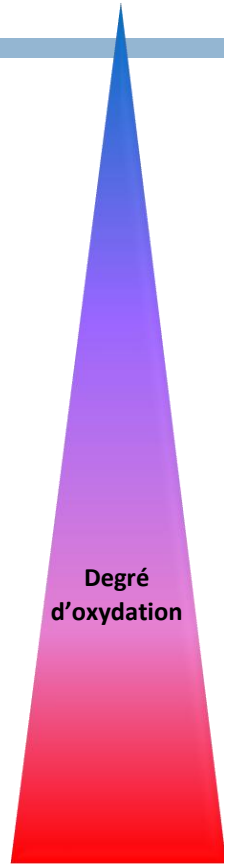
C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

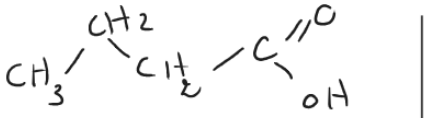
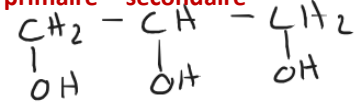
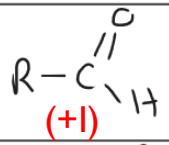
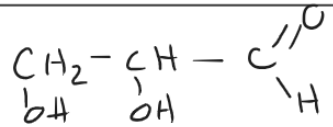
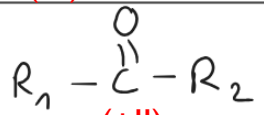
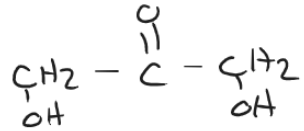
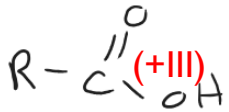
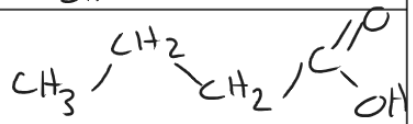
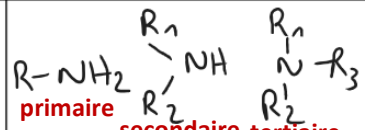
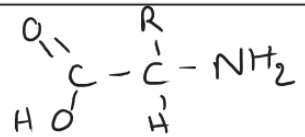
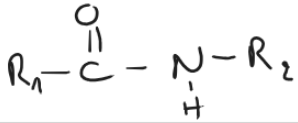
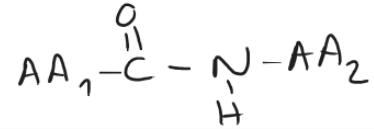
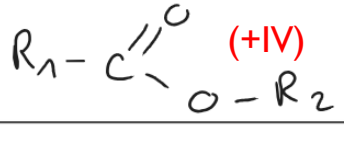
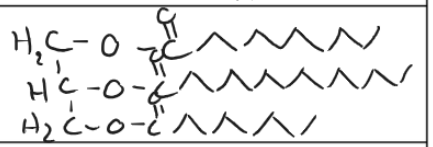
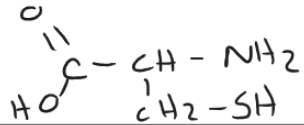
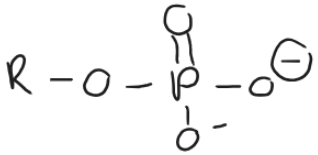
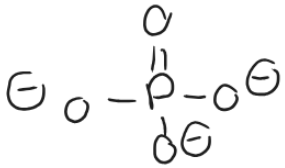
C. LES PRINCIPALES FONCTIONS CHIMIQUES DANS LES MOLÉCULES DU VIVANT

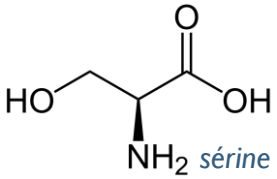


Regroupements d'atomes = « fonctions » → propriétés chimiques particulières

- La chaîne carbonée : R – CH_3 ou R – CH_2 – R
  - ✓ *Exemple : chaine 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: $>$C=O
  - ✓ *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)		Acide gras (acide butyrique)
Alcool	$R-CH_2-OH$ (-I)	primaire secondaire 	Glycérol
Aldéhyde	 (+I)		Glycéraldéhyde
Cétone	 (+II)		Dihydroxyacétone
Acide carboxylique	 (+III)		Acide gras
Amine	$R-NH_2$ primaire  secondaire tertiaire		Acide aminé (alanine)
Amide			Liaison peptidique
Ester	 (+IV)		Triacylglycérol
Thiol	$R-SH$		
Phosphoryle			



sérine

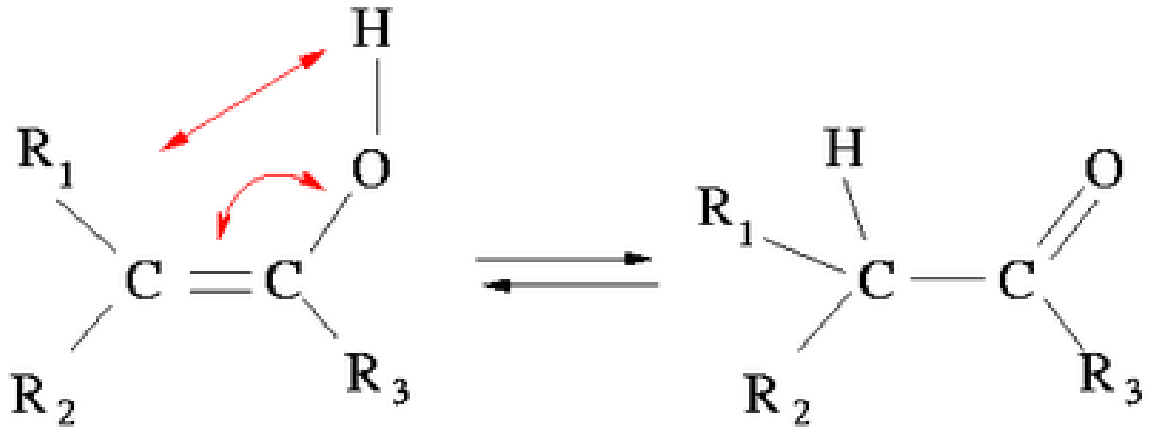
- **déplacements spontanés de doublets liants et non liants**

➢ **Formes tautomères des nucléotides**

  ✓ *Par exemple thymine* ***forme cétone en équilibre avec une forme énol***

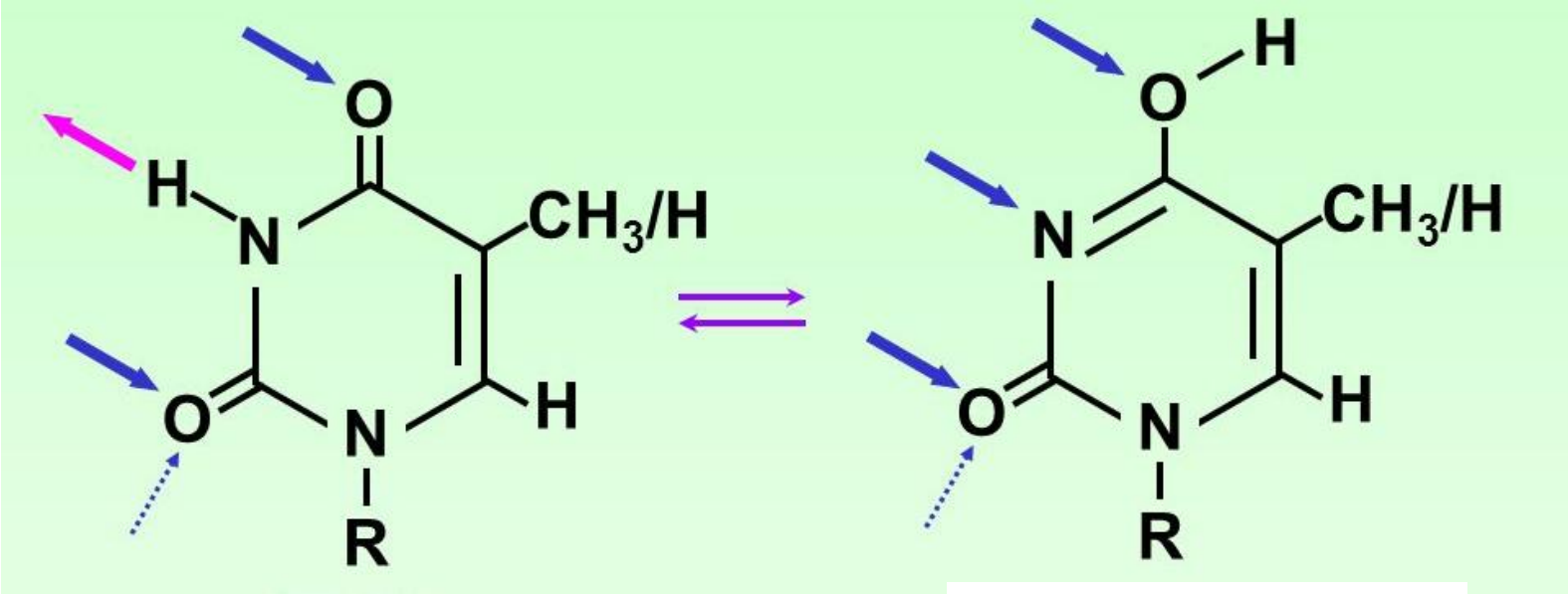
  ✓ *formes cétone normalement intégrées dans l'ADN*

  ✓ *Forme thymine-énol → mésappariement : thymine-énol se lie à la guanine*



Forme énol

Forme cétone



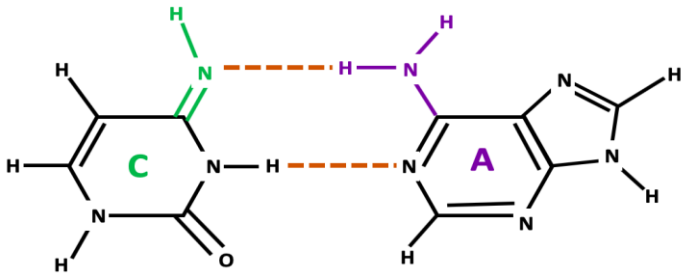
Forme thymine-cétone

Forme thymine-énol

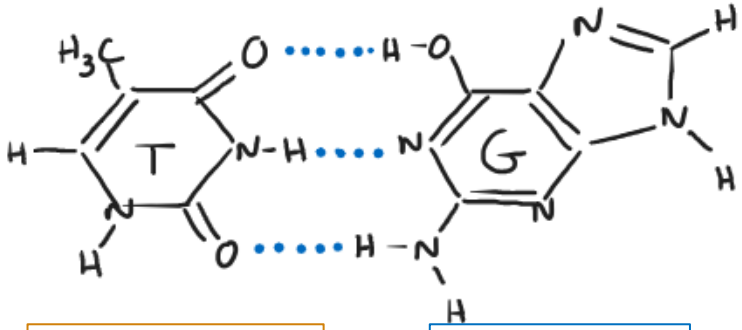
Figure 8 : l'équilibre céto-énolique, un exemple d'interconversion

- Les bases azotées peuvent basculer sous la forme de **tautomères** rares :
  - T et G (cétones) existent sous forme énol
  - A et C (amines) existent sous forme imine

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



Cytosine (imine) Adénine (amine)

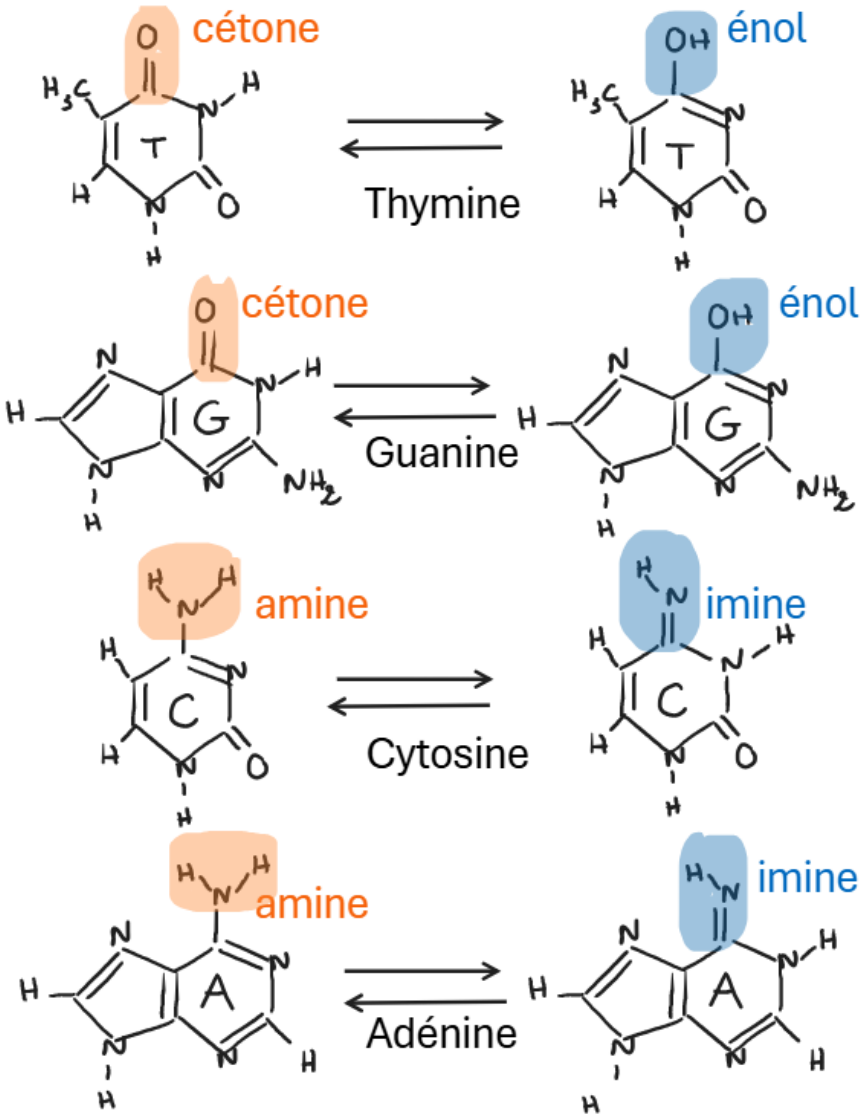


Thymine cétone Guanine énol

Formes communes
9 999/10 000

C⋯A

T⋯G



Formes rares
1/10 000

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

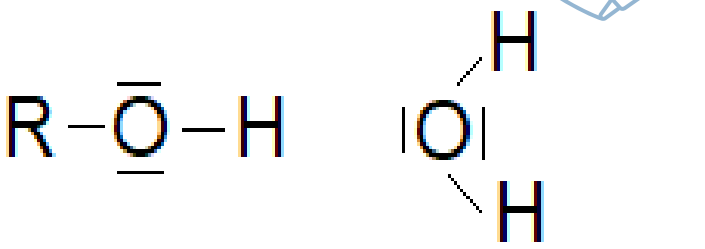
B. La structure de l'eau lui confère des propriétés essentielles au vivant

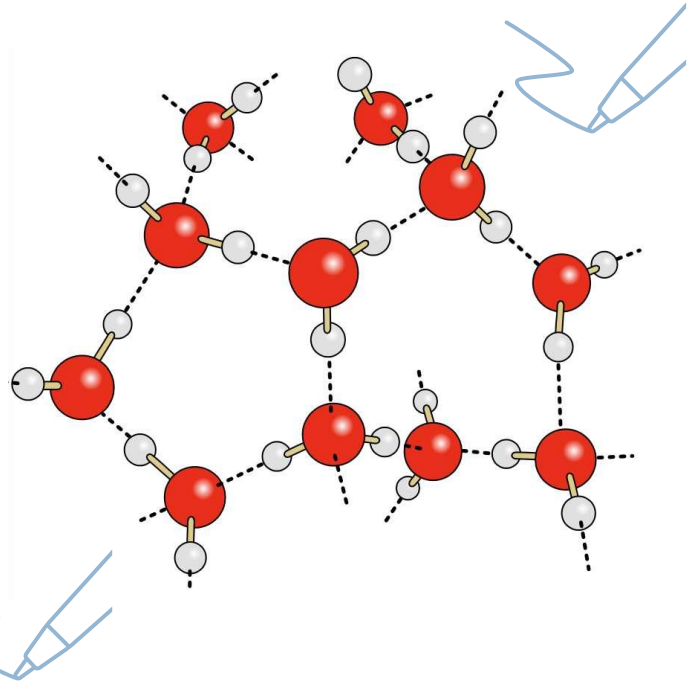
C. L'eau est un réactif et un produit de certaines réactions chimiques

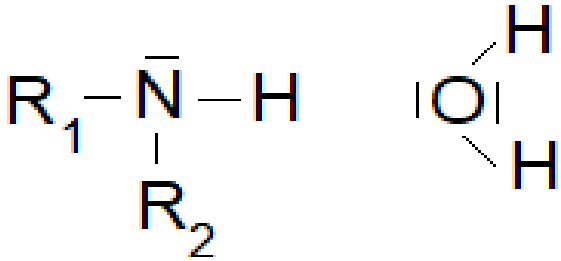
D. LES LIAISONS FAIBLES : INTERACTIONS ENTRE MOLÉCULES

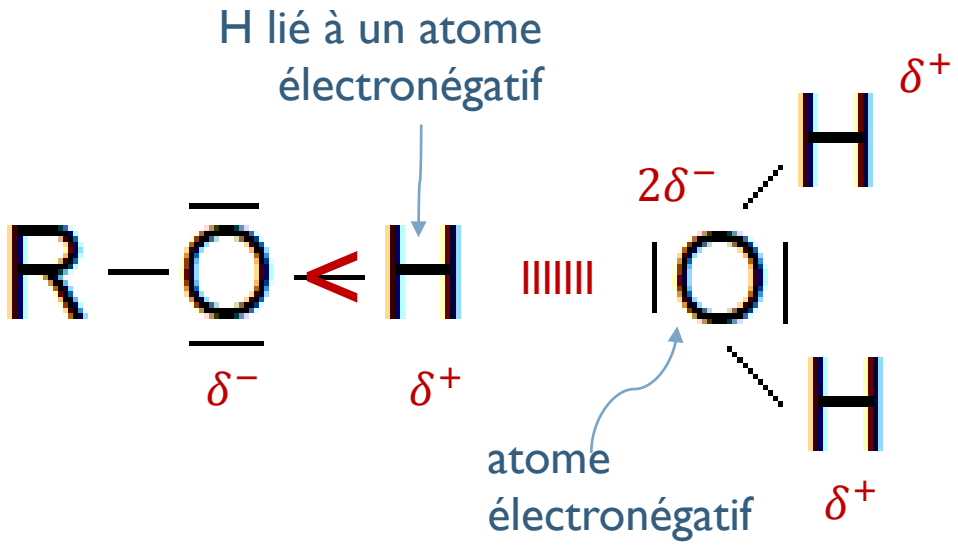
1. La liaison hydrogène

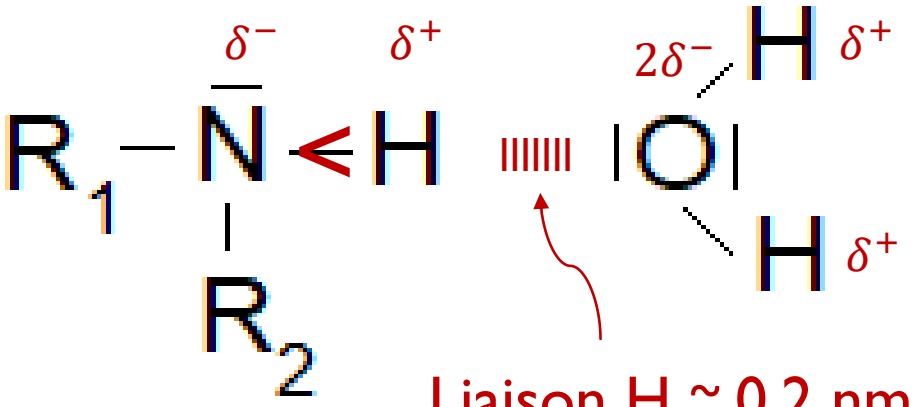
- **atomes les plus en haut et les plus à droite du tableau périodique sont les plus électronégatifs** → tendance à attirer e- d'une liaison
  - O plus électronégatif que H →liaison O-H polarisée →la molécule est **polaire**.
- Molécule **polaire** → établissement potentiel de **liaisons hydrogènes**
- 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 H ~ 0,2 nm
Énergie allouée ~ 20 kJ.mol^{-1}

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

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

Différents types de liaison électrostatiques:

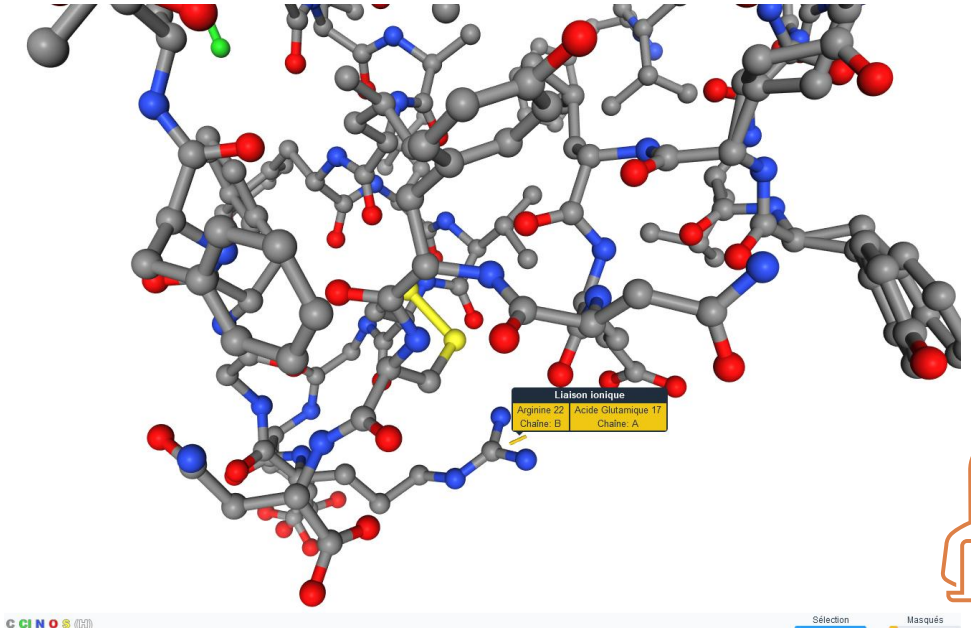
- Ion-dipôle
- Molécules chargées-molécules chargées: COO^-, NH_3^+…
- Ions-ions: « liaison ionique »

⇒ cristaux ioniques

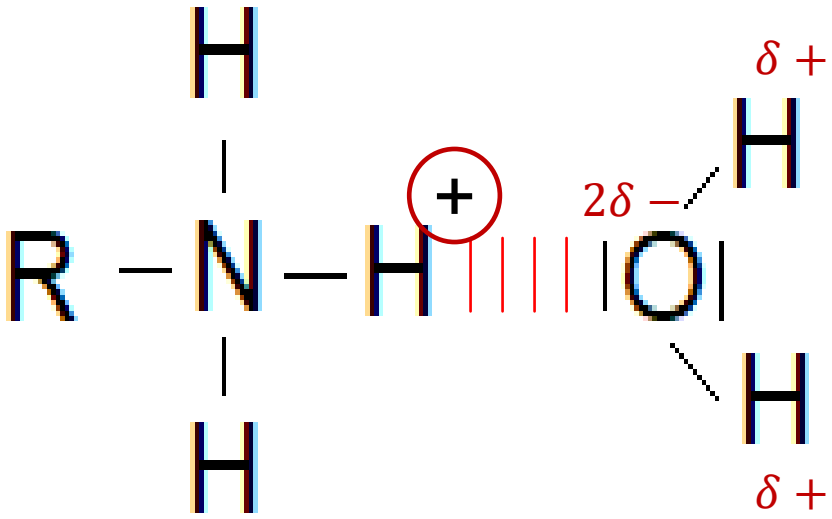
⇒ Stabilité des protéines entre acides aminés chargés

- Énergie : 100 $kJ.mol^{-1}$

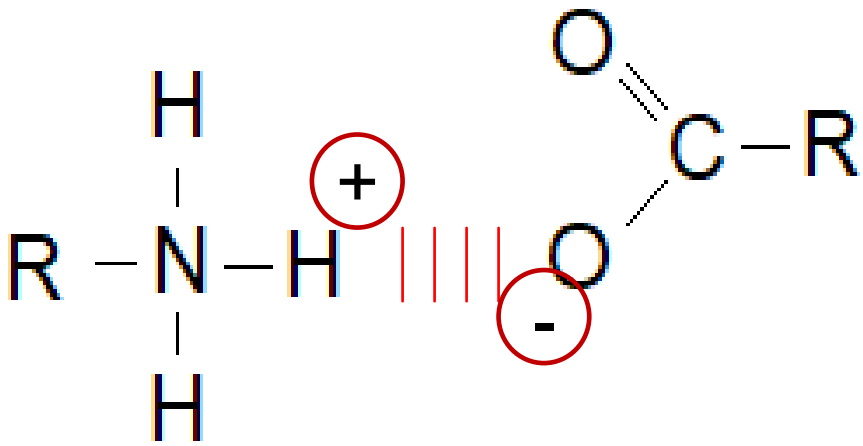
Cristal ionique par Agathe Manceau Dalaine



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



Liaison ion-dipôle



Liaisons ion-ion

Liaison électrostatique
Énergie allouée ~ 100 kJ.mol^{-1}

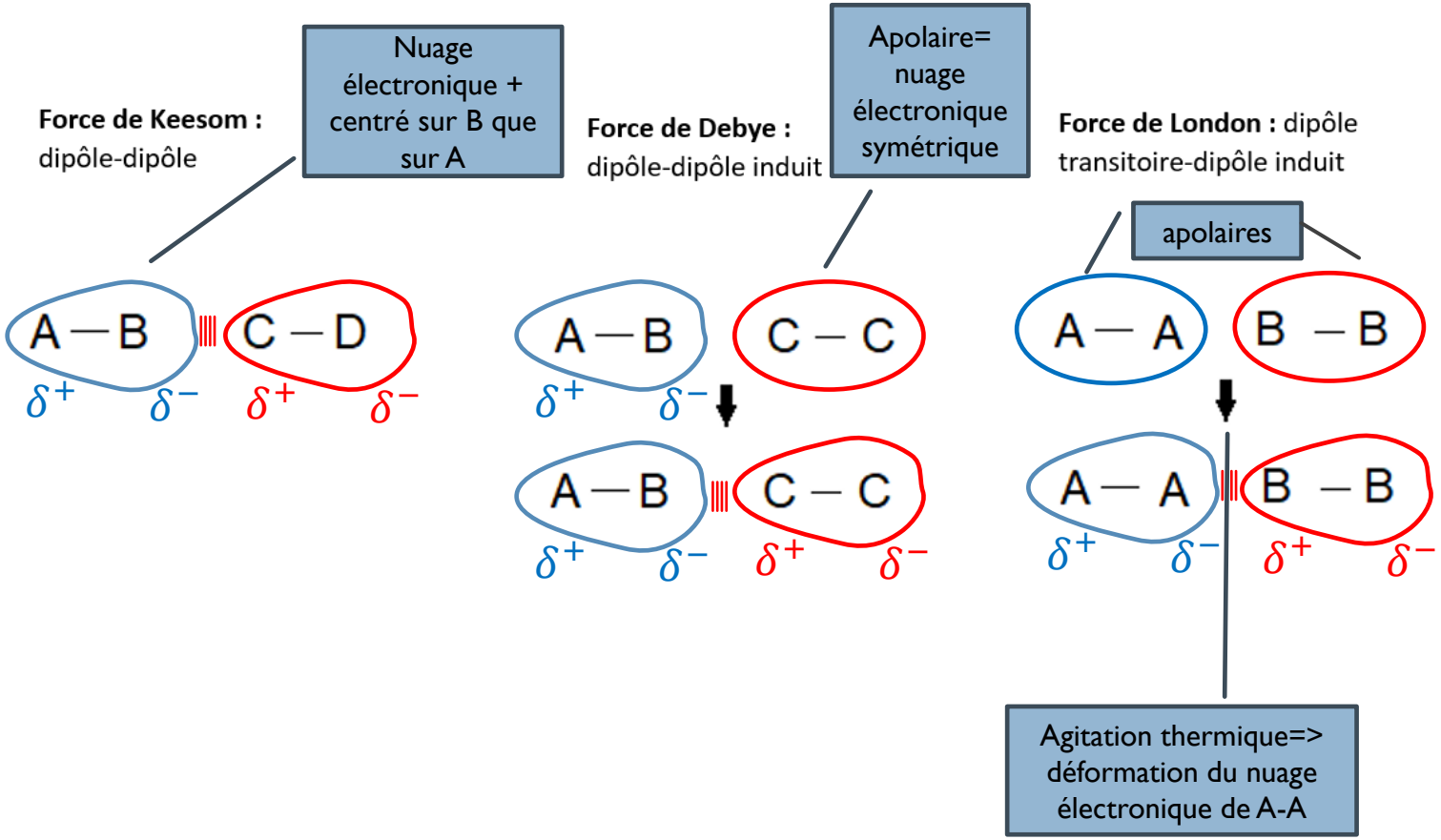
3. Les liaisons de Van der Waals

- 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 kJ.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. 10^{-24}g) ou 1/12 d'un atome de C
  - ✓ *ex : le glucose, de formule $C_6H_{12}O_6$ fait 6x12 + 12 x1 + 6 x 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

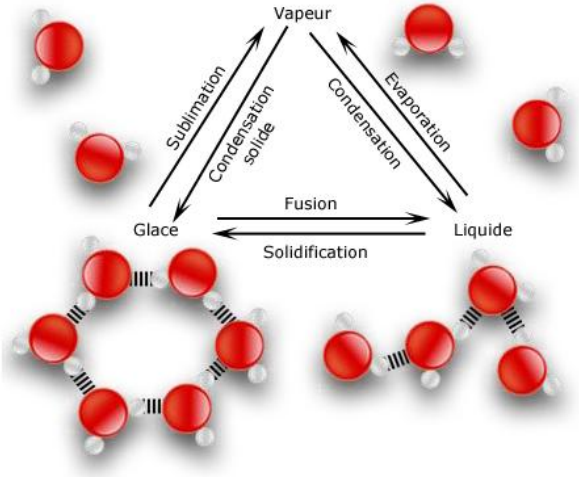
A. Structure et propriétés générales de la molécule d'eau

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

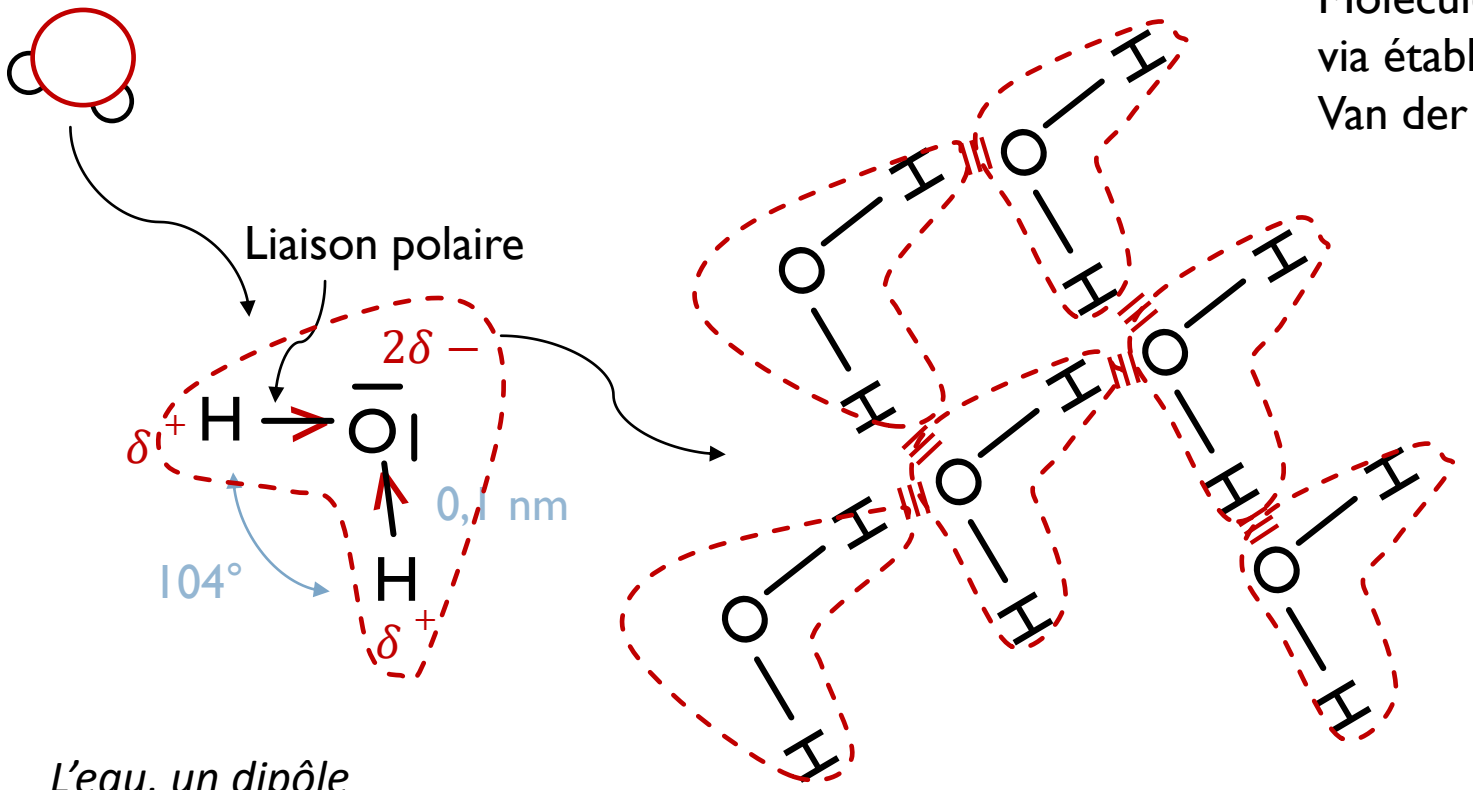
II. L'EAU, MOLÉCULE POLAIRE ESSENTIELLE DU VIVANT
A. STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA MOLÉCULE D'EAU
1. L'eau, un dipôle

- **Molécule minérale, composé le plus abondant**
- **Teneur en eau:** Teneur en $H_20(\%) = \frac{(P_{frais} - P_{sec})}{P_{frais}.100}$
- **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°**



Liaison labile: réseau dynamique (fluidité)

Molécules d'eau en « réseau » via établissement de liaisons H et Van der Waals (Keesom)



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

Figure 13 : l'eau, un dipôle

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 J/g = 1 calorie/g)
  ⇒ **tampon thermique**
- **forte chaleur latente de vaporisation** (2 257 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** 1ère ES
  ⇒ thermorégulation : par sudation, par halètement, par évapotranspiration => l'animal ou le végétal se refroidit

Forte capacité thermique massique => faible variation de T°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

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

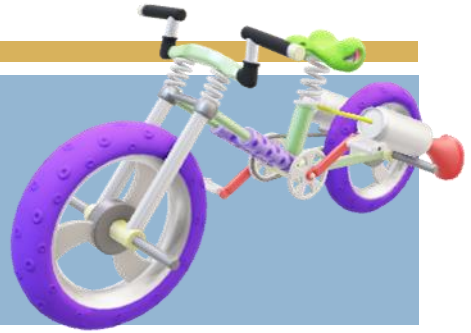
Forte capacité thermique massique => faible variation de T°C
Fluide incompressible => protection

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.

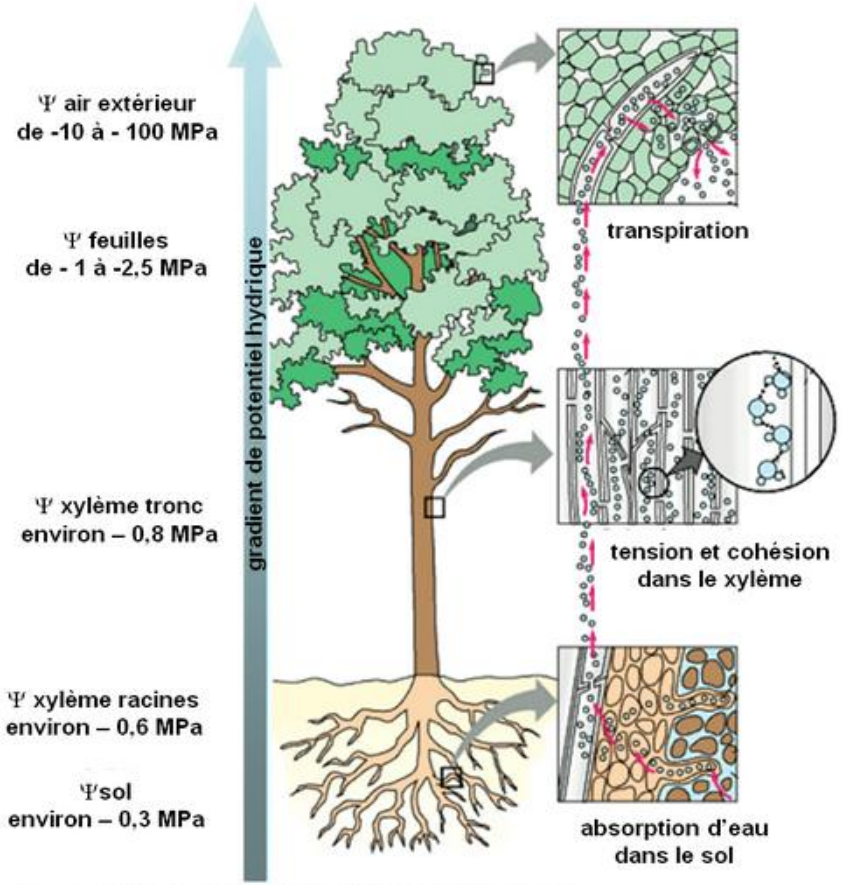
Géris posé sur l'eau par des soies hydrophobes

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 sècheresse
  - cavitation fréquente chez plantes xérophytes
  - Chez les conifères les ponctuations entre 2 vaisseaux de xylème forment une soupape de sécurité



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Le trajet de l'eau :

feuille :
depuis la nervure
jusqu'aux stomates

↑

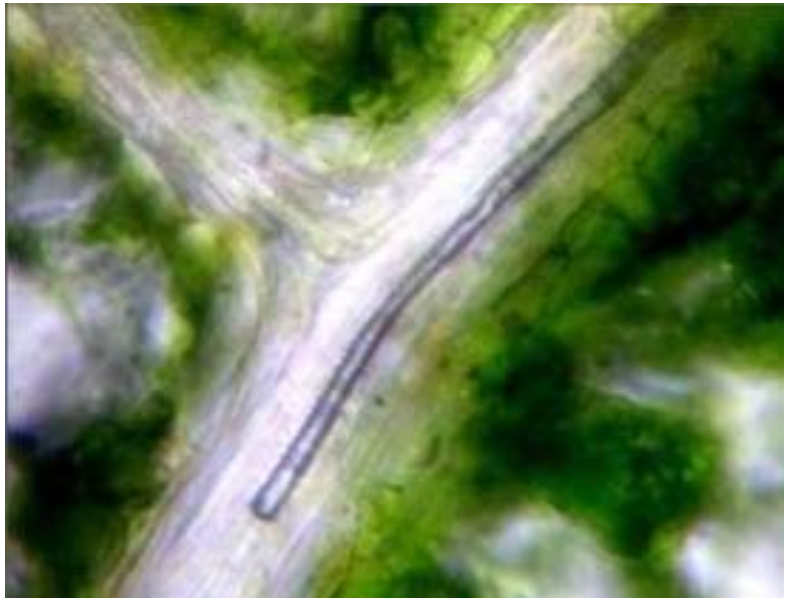
tronc :
dans les éléments
conducteurs (xylème)

↑

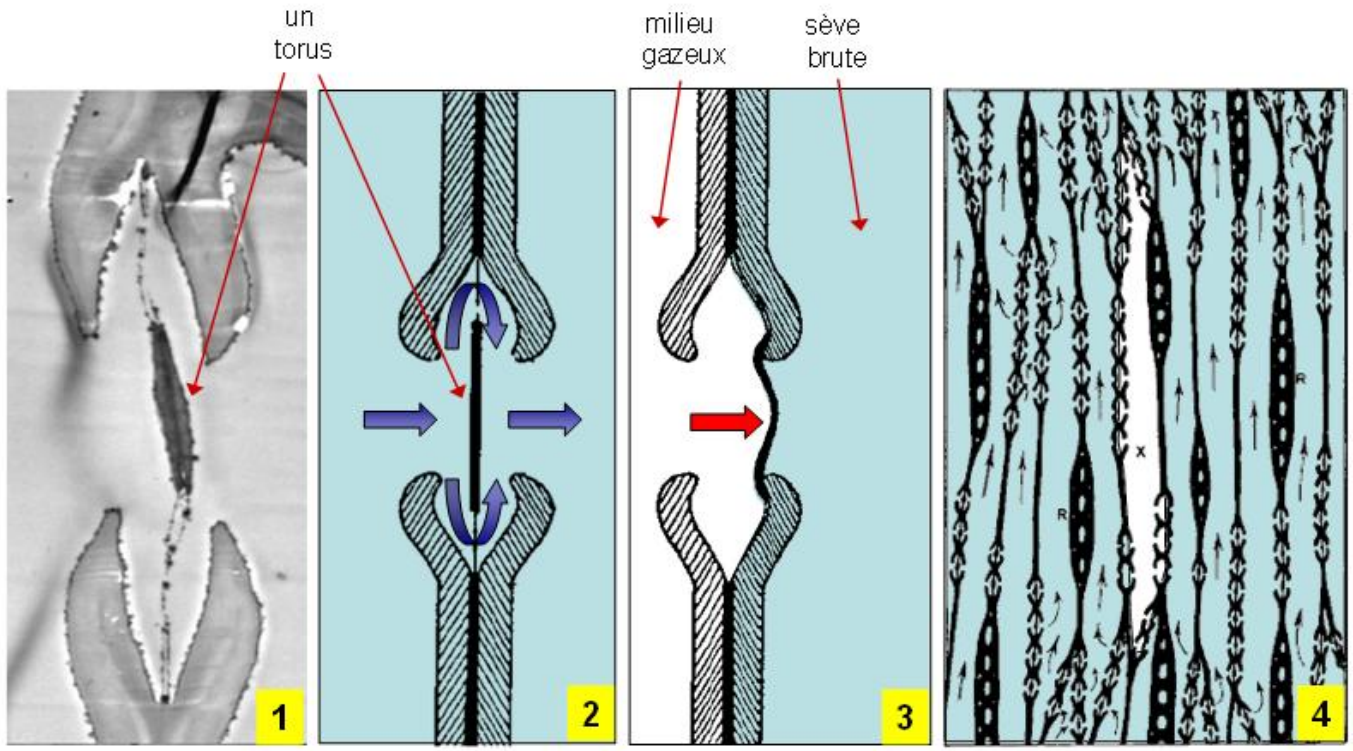
système racinaire :
du sol à la racine fine

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 sècheresse
- 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

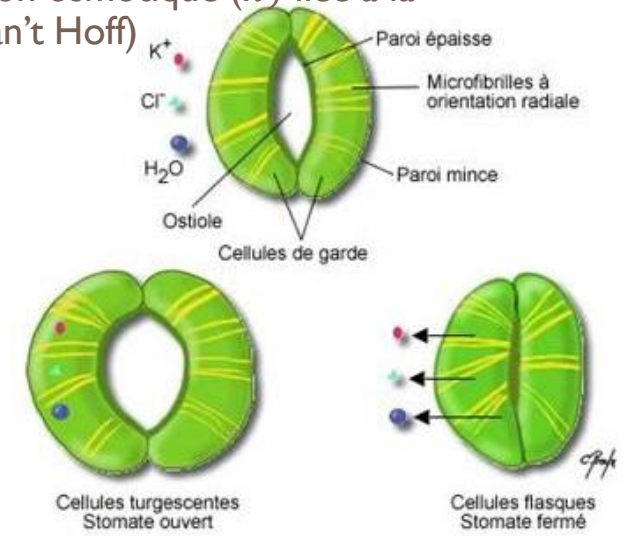
- À l'échelle de la plante, le potentiel hydrique d'un organe est une grandeur physique qui traduit son statut hydrique (cf TP-1-SV-C)
- $\psi_H = \psi_P + \psi_S + \psi_g$

ψ_H: *potentiel hydrique du compartiment*

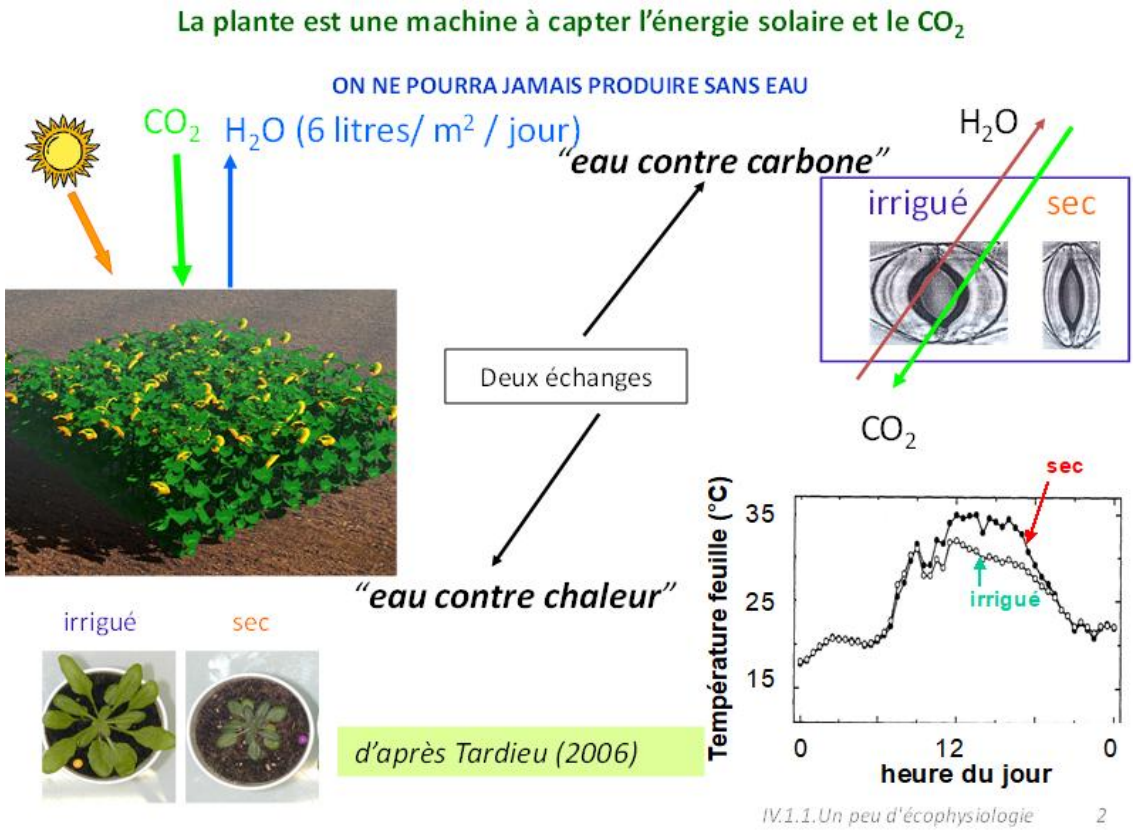
ψ_P: potentiel hydrostatique (-pression de turgescence liée à la paroi pectocellulosique)

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



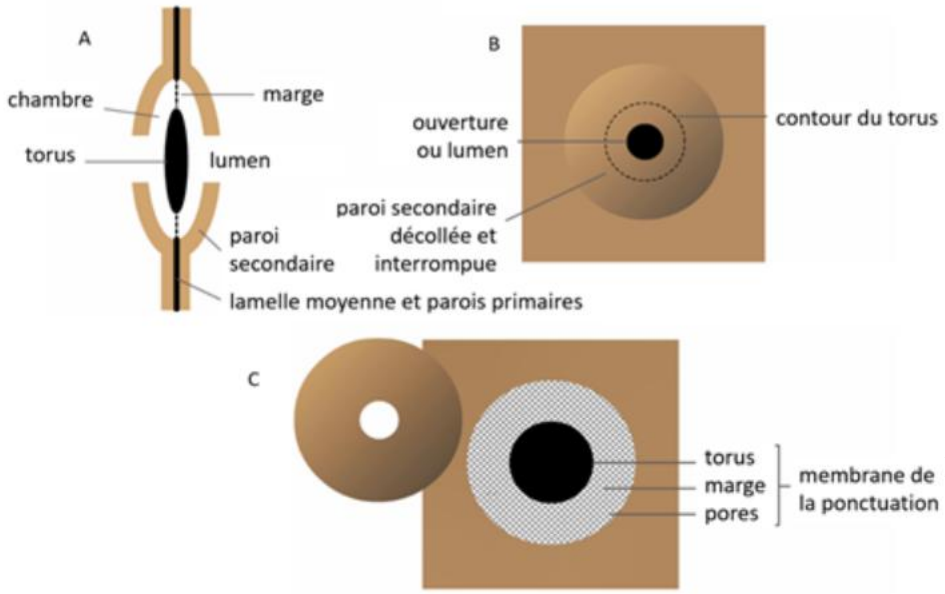
Cf TP1-SV-C

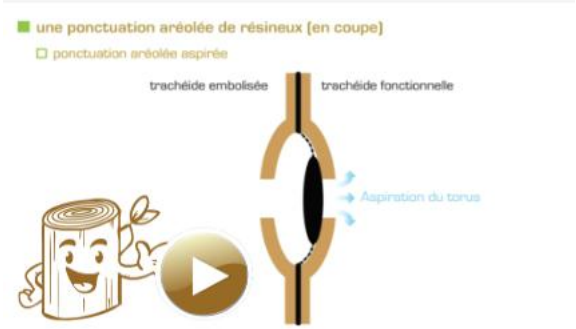
Force de cohésion interne

- **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.

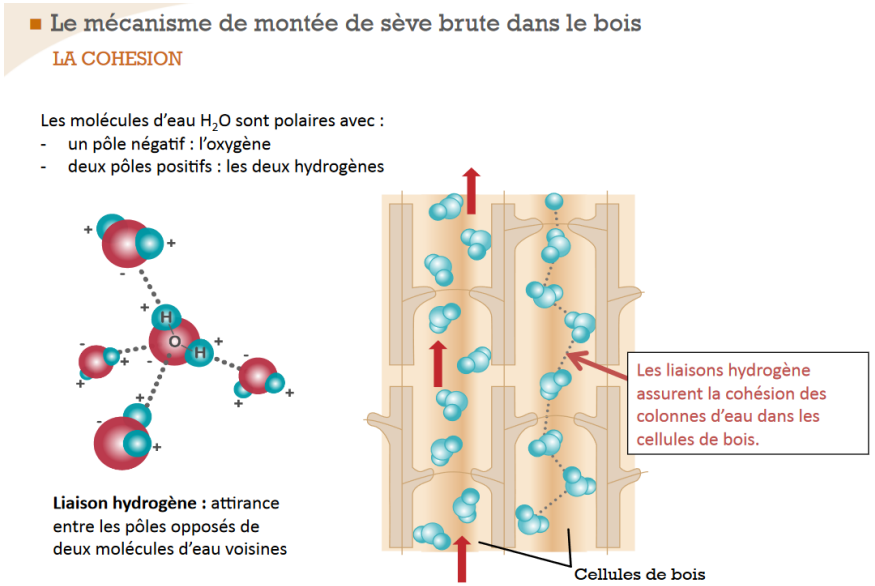
=> évite l'embolie (remplissage d'un élément de xylème par de l'air consécutif à la cavitation si trop forte transpiration => trop forte tension dans colonne d'eau => rupture de la colonne d'eau => arrêt de l'ascension de la SB

=> 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

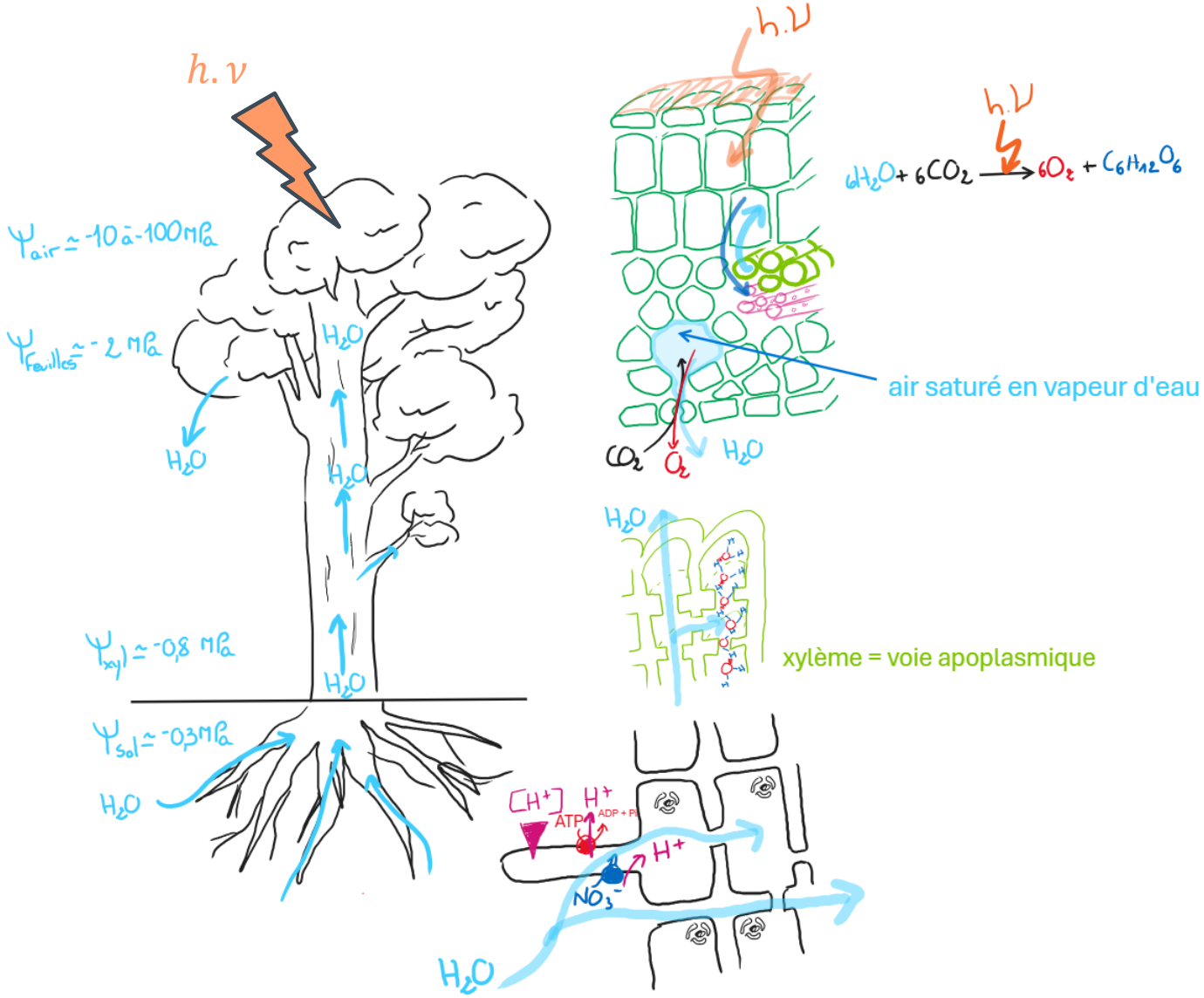




Représentation schématique d'une ponctuation aréolée : en A sur une coupe tangentielle, en B et C sur une coupe radiale. En C, la paroi secondaire est enlevée, tel un couvercle, pour montrer la paroi primaire sous-jacente[4].

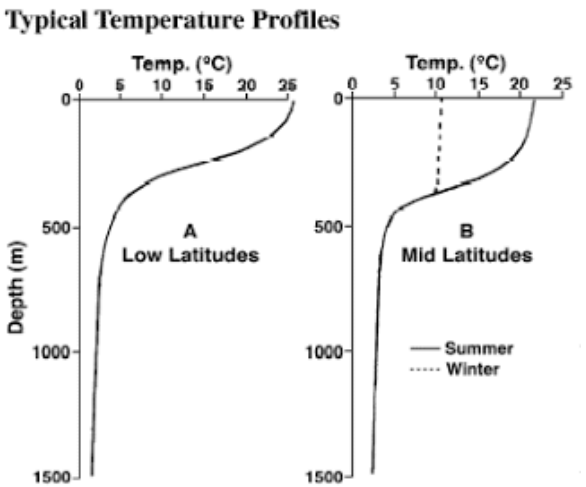


https://lms.fun-mooc.fr/c4x/lorraine/30003/asset/MOOC_Anatomie_du_bois_chapitre3.pdf



poil absorbant = voie symplasmique + apoplasmique

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



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

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

- **L'eau interagit avec les molécules polaires et chargées**
  - **Groupements polaires**: -OH, -NH_2, 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 O_2 moins soluble dans eau que CO_2*

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.

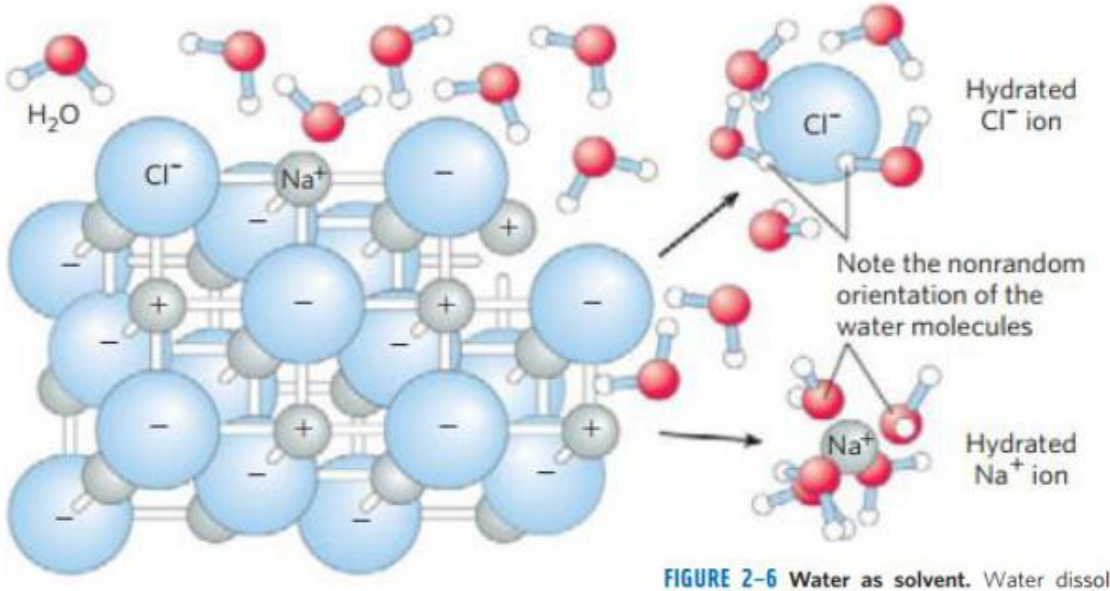
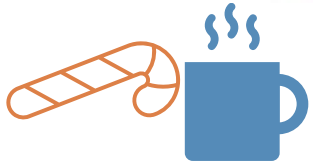
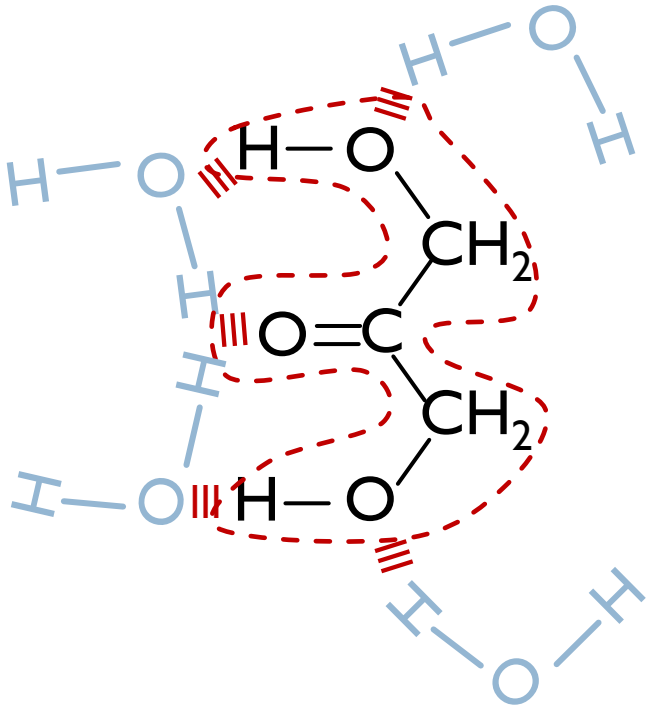


FIGURE 2–6 Water as solvent. Water dissolves many crystalline salts by hydrating their component ions. The NaCl crystal lattice is disrupted as water molecules cluster about the Cl^- and Na^+ ions. The ionic charges are partially neutralized, and the electrostatic attractions necessary for lattice formation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

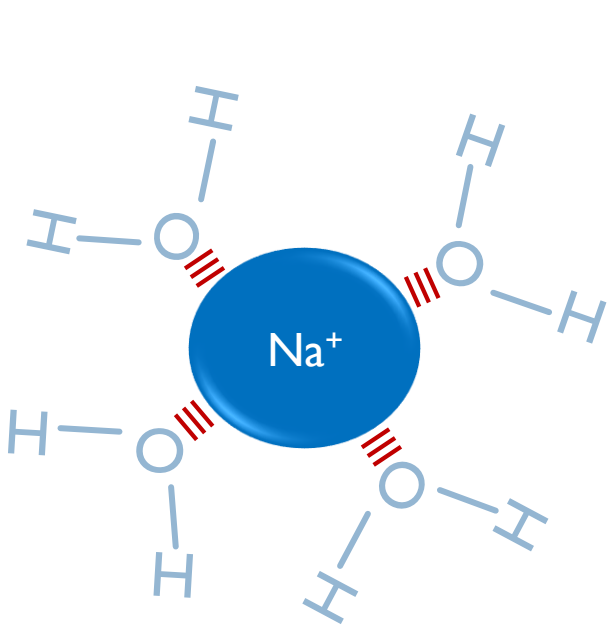


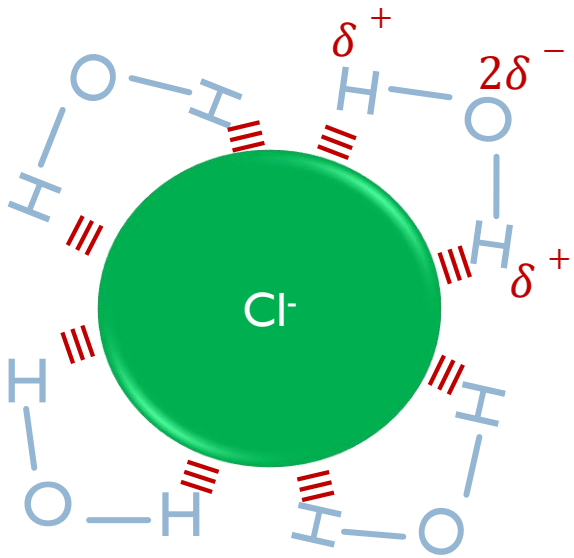
Dissolution des molécules polaires

Dissolution des molécules polaires
Ex: DHA (DiHydroxyAcétone)



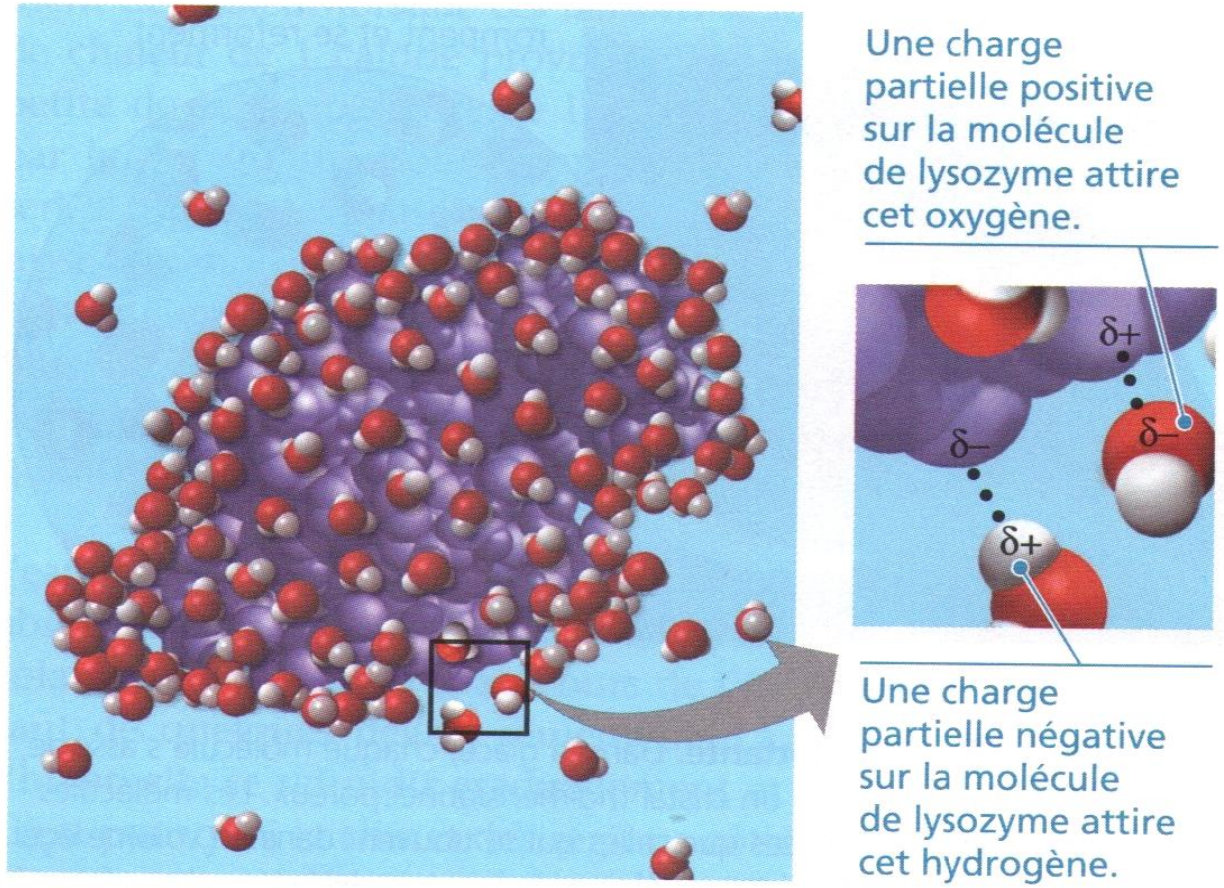
Solvatation des ions



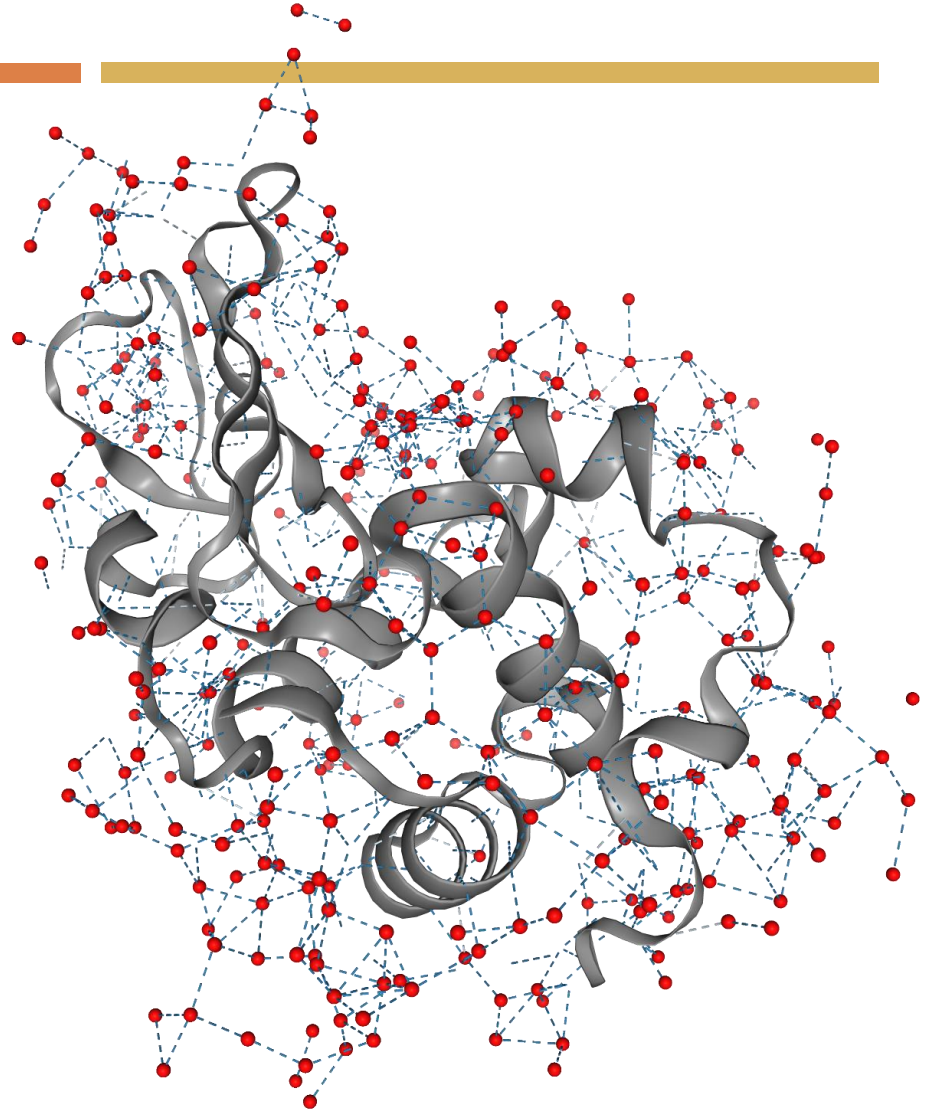


« cage » de solvatation autour des ions

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



▲ **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.

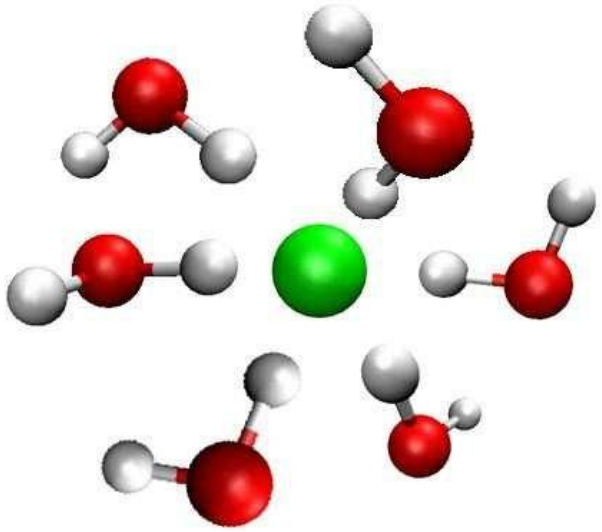


Lysozyme humain: mise en évidence de la solubilisation de la protéine avec Libmol

Entraînement Libmol sur la protéine de Lysozyme

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

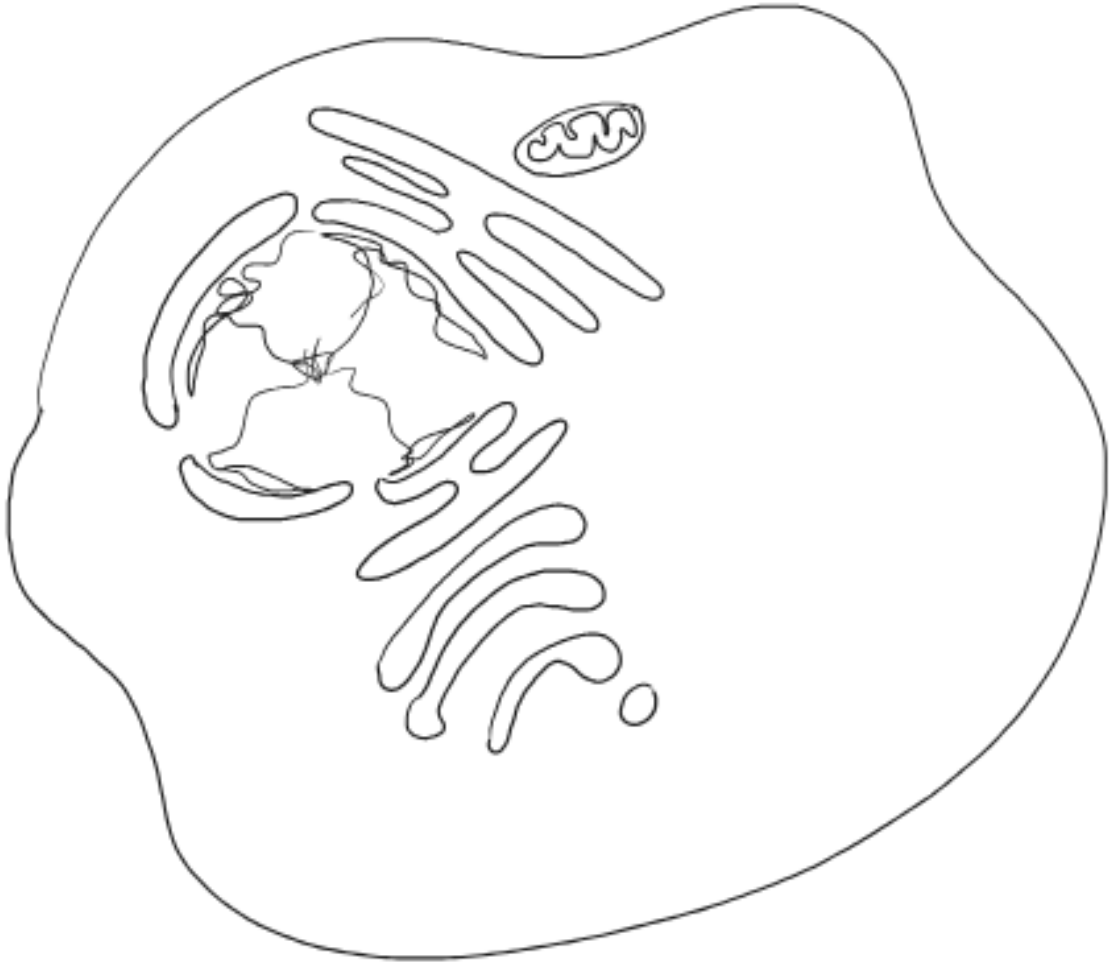
1. L'eau, un solvant pour les composés polaires et chargés

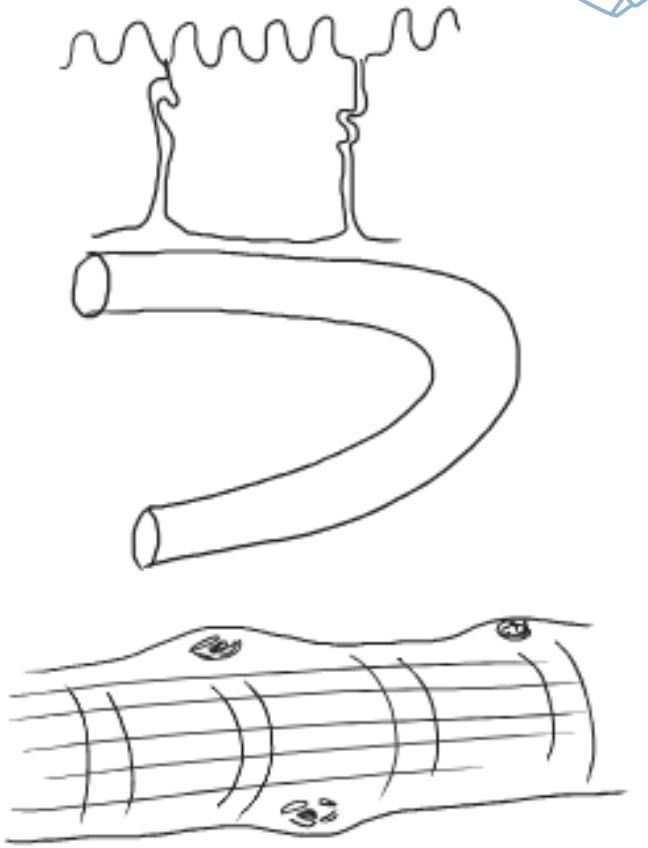


L'ion vert est-il un anion ou un cation?

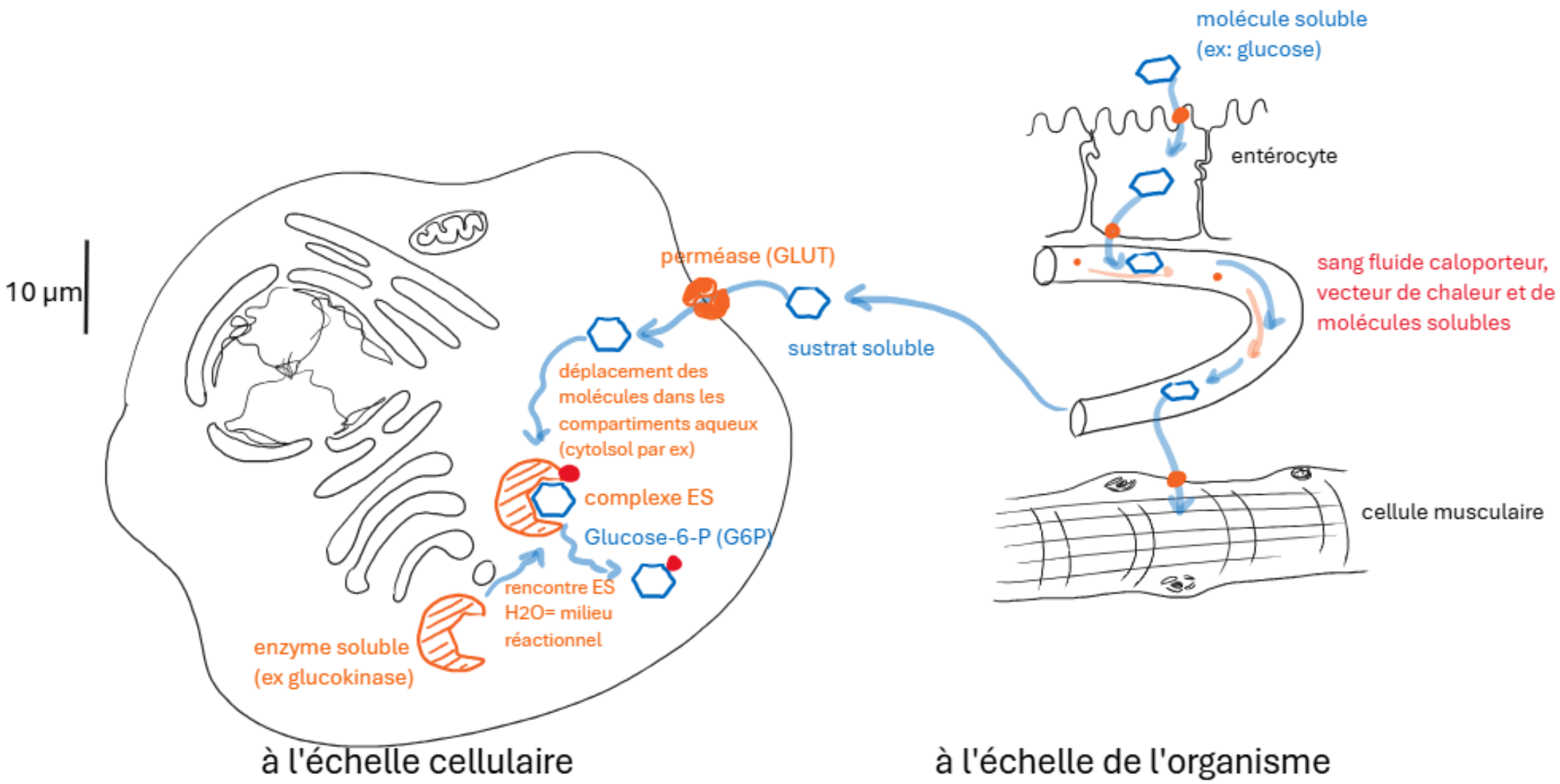
- **Solvatation des ions**
  - Cage ou sphère de solvatation = **anions ou cations**
  - L'eau hydrate les ions via sphères de solvatation => eau minimise les liaisons ioniques
- **Milieu de transport** et de **dispersion** des molécules hydrophiles:
  - **Sang** et **sève** = milieux de transport
  - **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



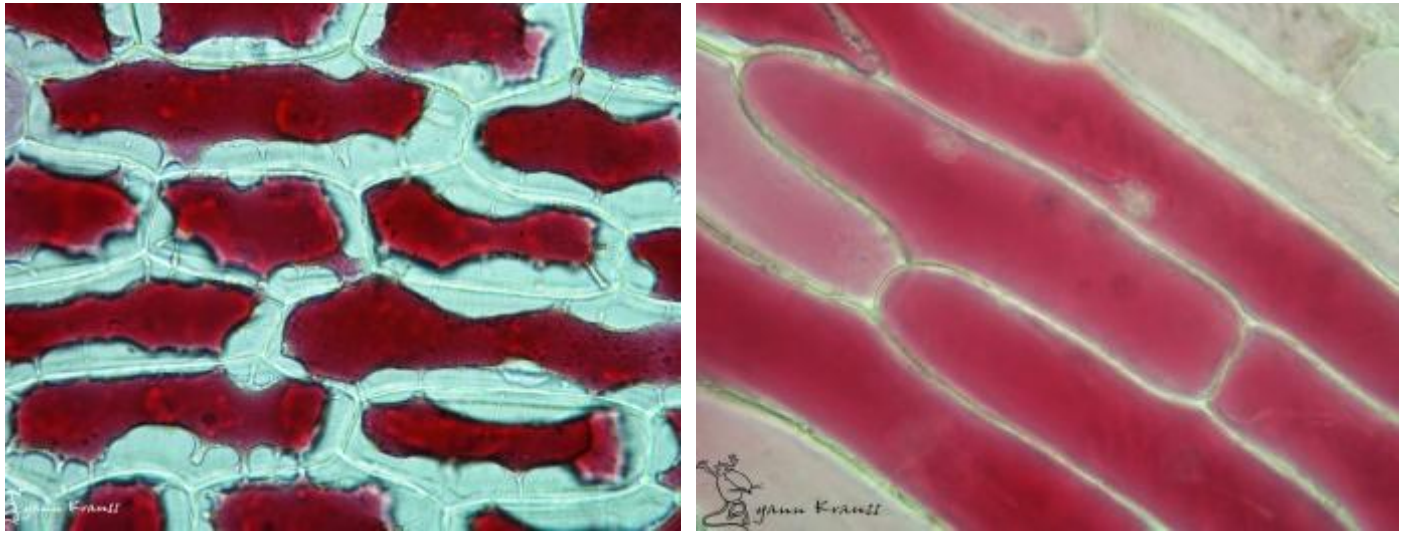


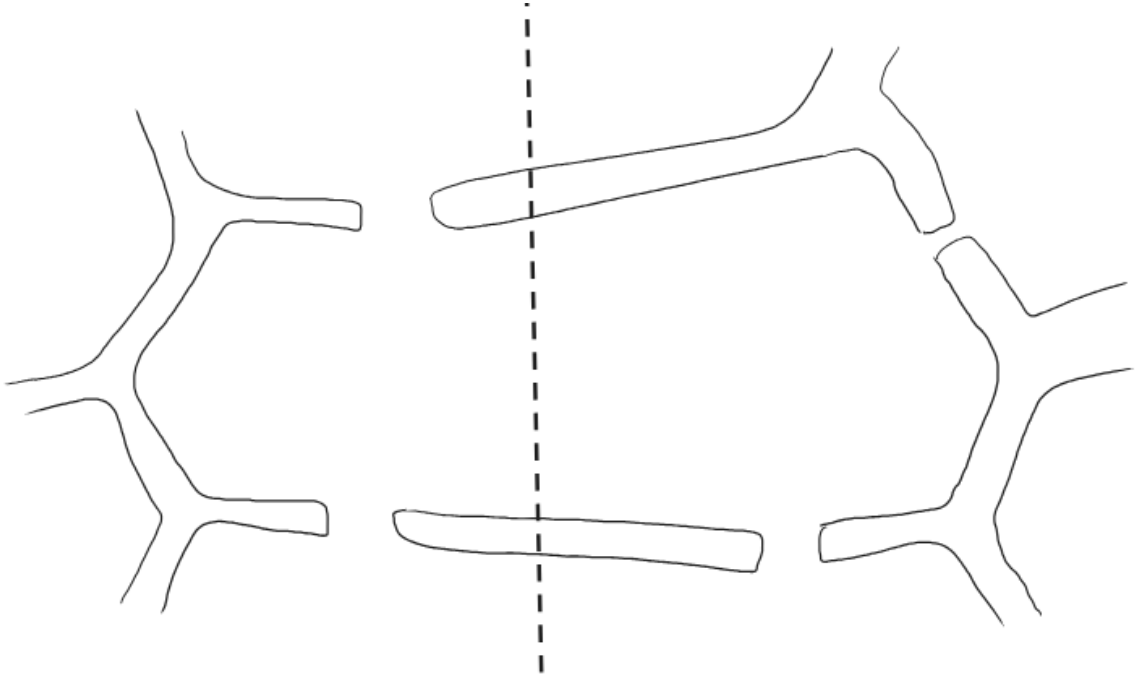
L'eau, un vecteur de transport de solutés (Déplacement des molécules polaires dans les fluides aqueux à différentes échelles)



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

OSMOSE





CfTP1-SV-C-1

$\Psi_S = -RTC_S$

$\psi_S = -R \times T \times C_S$

$\Psi_H = \Psi_S + P$

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 plamsolyse Milieu hypotonique: cellule en turgescence

L'eau se déplace selon les potentiels **hydriques décroissants**

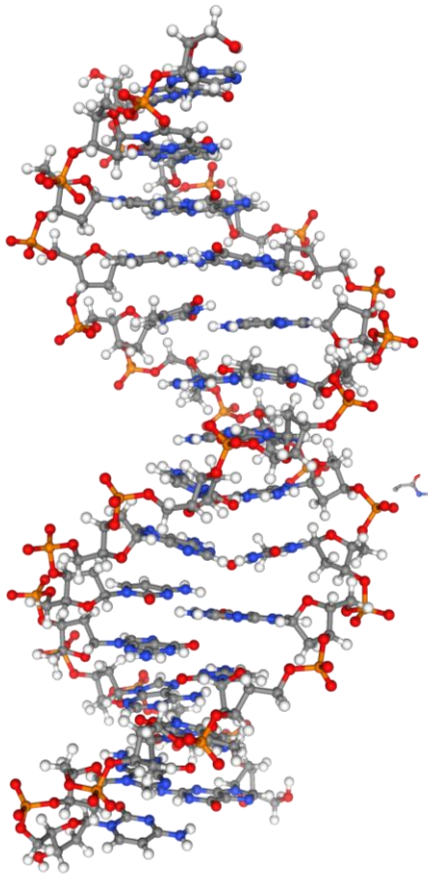
Avec:
ψS: potentiel osmotique
C_S la concentration en solutés = osmolarité de la solution. Plus CS augmente, plus ψS diminue, donc plus l'eau est attirée. ψS est l'opposé de π qui correspond la « pression osmotique » (si π est élevé, la pression est forte)
R la constante des gaz parfaits
T la température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

2. L'eau conditionne l'organisation des molécules apolaires et amphiphiles
2.1. L'eau gouverne le repliement tridimensionnel des molécules amphiphiles

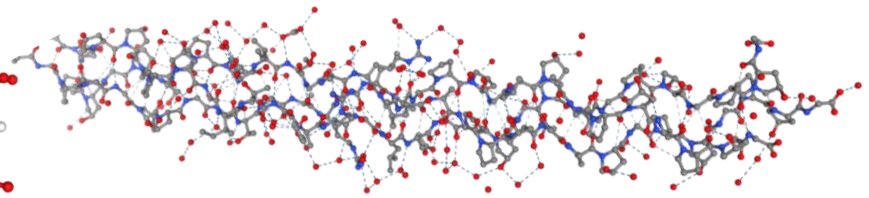
- **Eau contraint les résidus hydrophobes** à se regrouper entre eux en un **ensemble compact anhydre** ce qui permet de désorganiser le moins possible les liaisons H entre molécules d'eau => liaisons de Van der Waals (London) entre résidus apolaires

- **Protéines** = **polymères** constitués d'un **enchainement 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.



L'ADN une molécule amphiphile (Libmol)



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

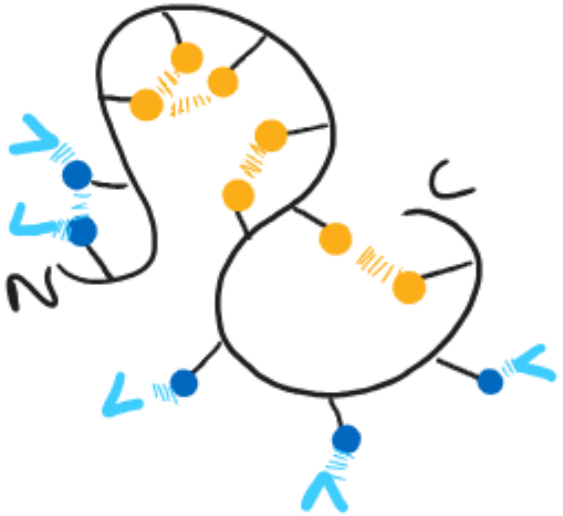
Protéine: polymère d'acides aminés

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

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

Chaîne polypeptidique
Structure primaire

Repliement dans un milieu aqueux

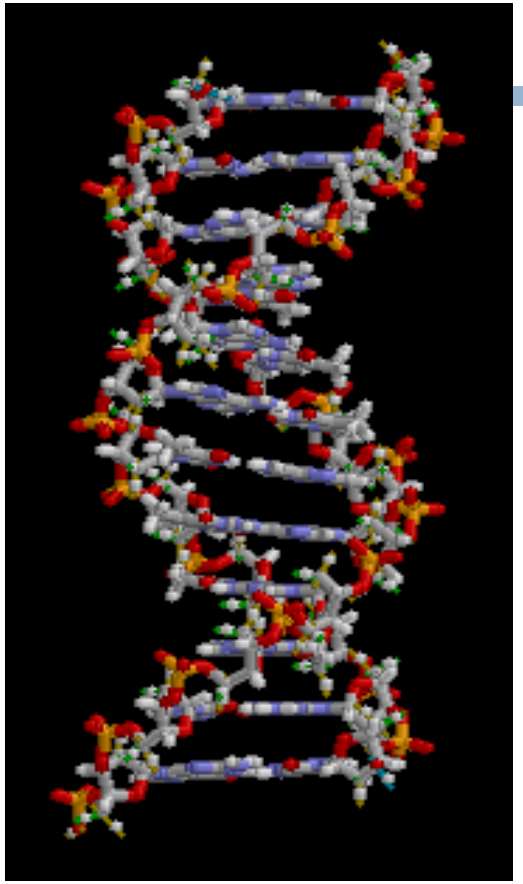


Protéine conformée

Résidus hydrophobes au cœur de la protéine

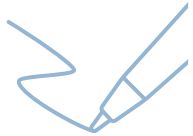
Résidus hydrophiles au contact de l'eau

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

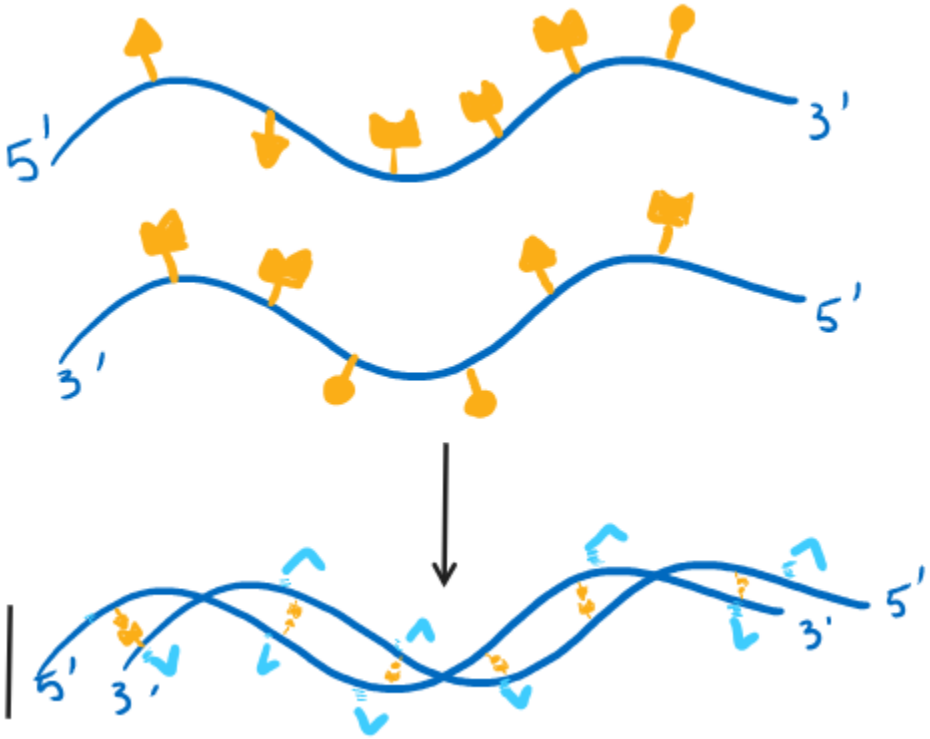


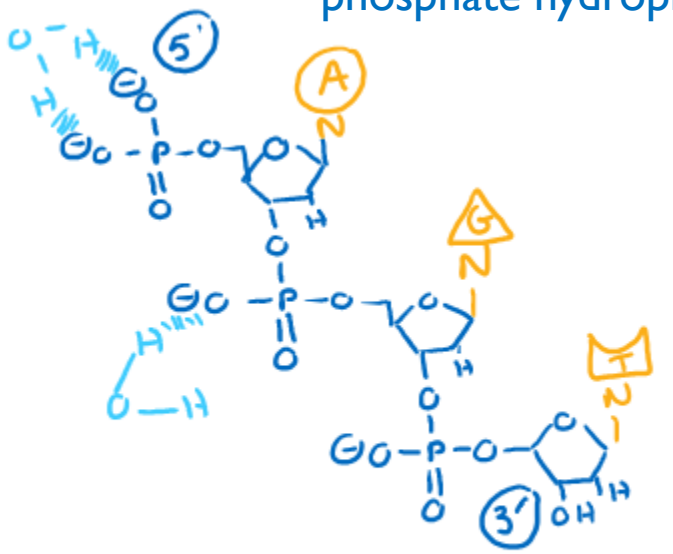
Bases azotées hydrophobes (A : adénine, T: thymine, C: cytosine, G: guanine

1 brin d'ADN



Squelette pentose phosphate hydrophile





Double hélice d'ADN

2 nm

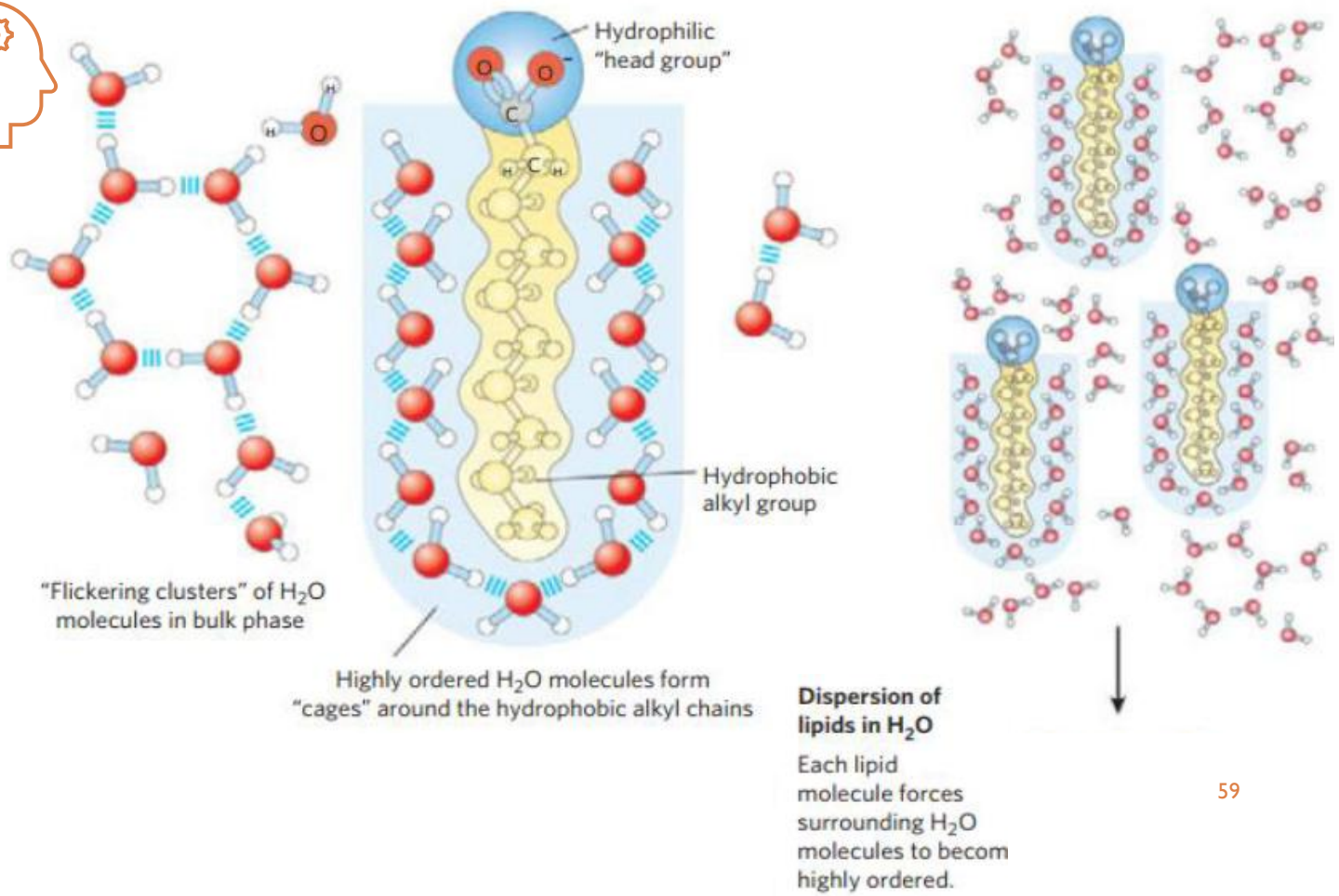
Squelette pentose phosphate hydrophile en périphérie

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

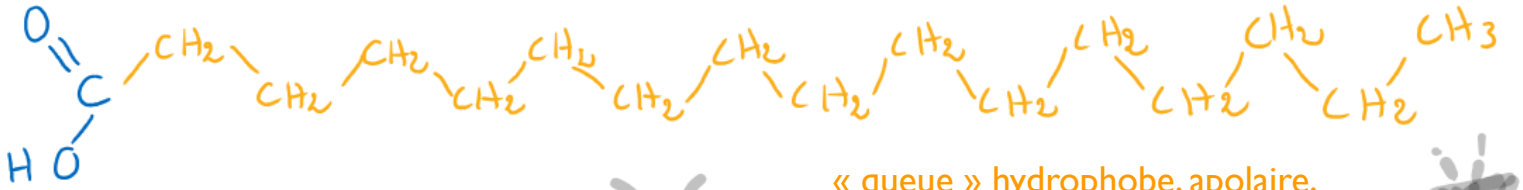
- lipides: molécules hydrophobes ou amphiphiles
  - ➢ **fonction acide carboxylique polaire**
  - ➢ **chaine hydrogénocarbonée apolaire**
  - ⇒ dans un milieu aqueux, auto organisation en micelle: pôles polaires font face à l'eau et queues apolaires se regroupent en cœur
  - ⇒ Queue apolaire = chaine 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 chaine aliphatique

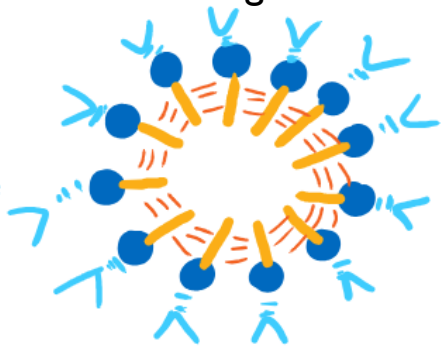
Pour des lipides pus complexes

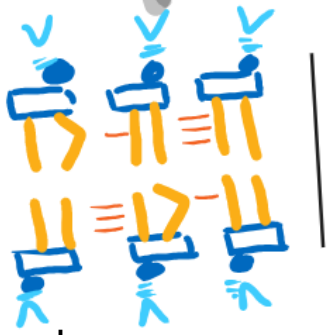
Monocouche

Liaisons de Van der Waals

Liaisons hydrogène

Micelle: gouttelette lipidique



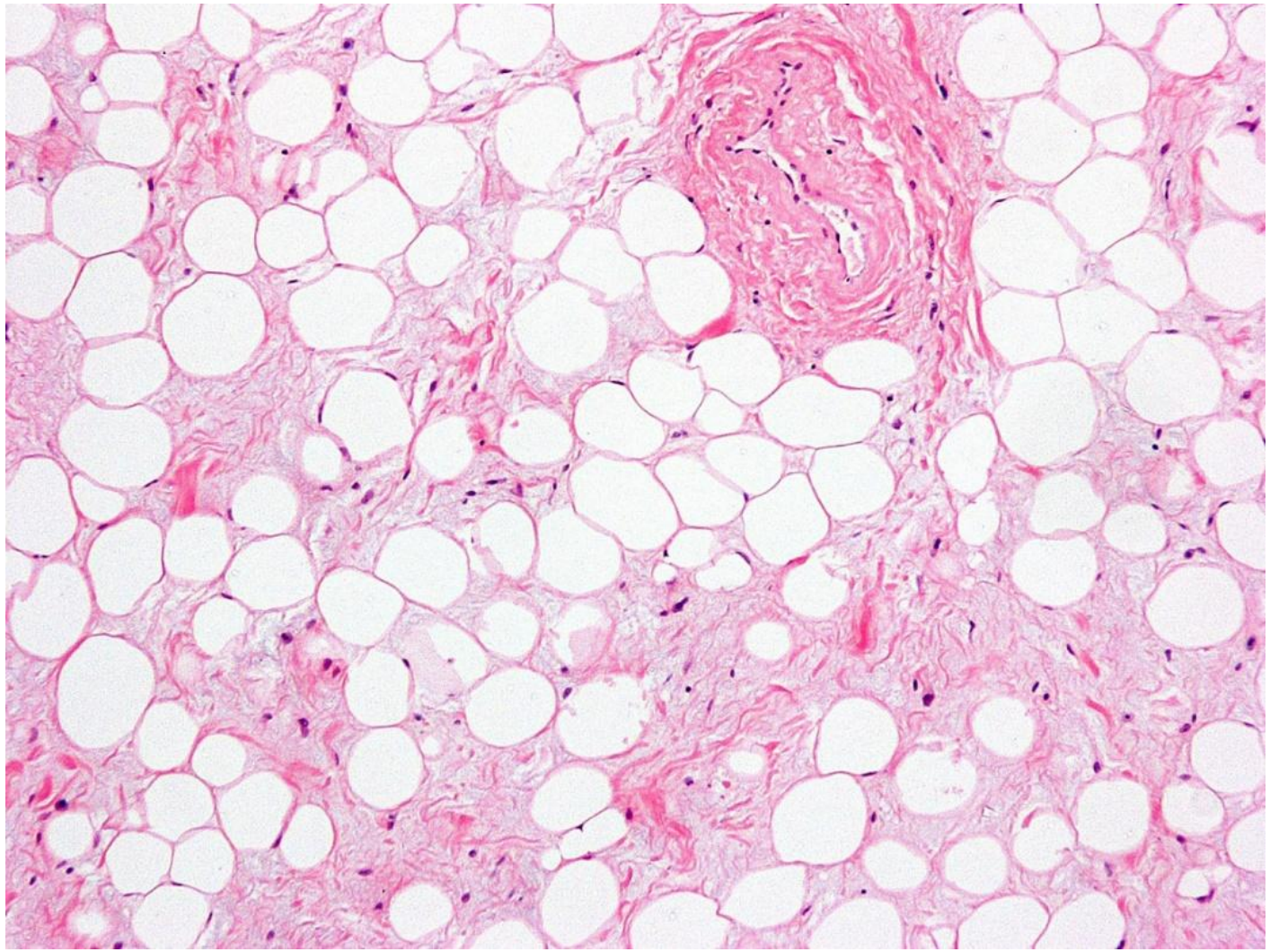


7,5 nm

Bicouche

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

1. Condensation et hydrolyse

Métabolisme : ensemble des réactions chimiques cellulaires

- 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**

$$H_2O \longrightarrow OH^- + H^+$$

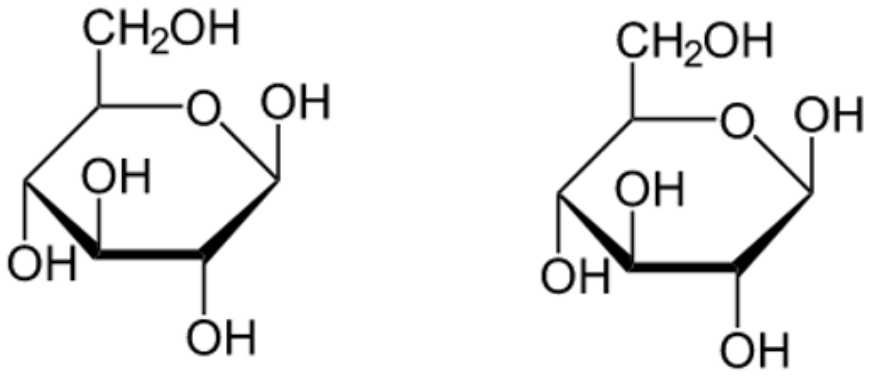
$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi + \text{énergie libérée}$$

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

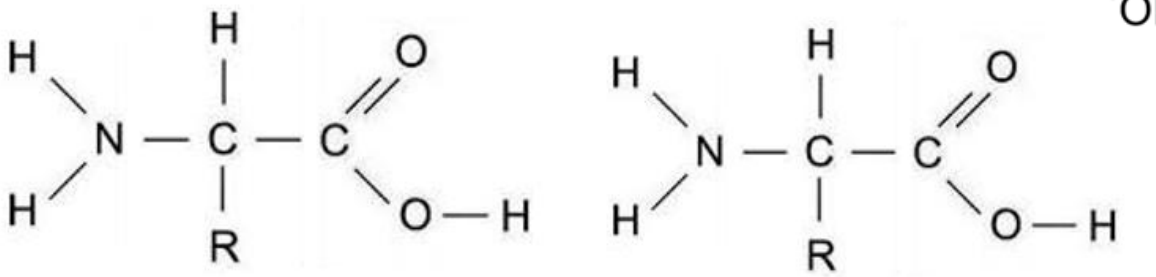
ATP: monnaie énergétique cellulaire

- **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*

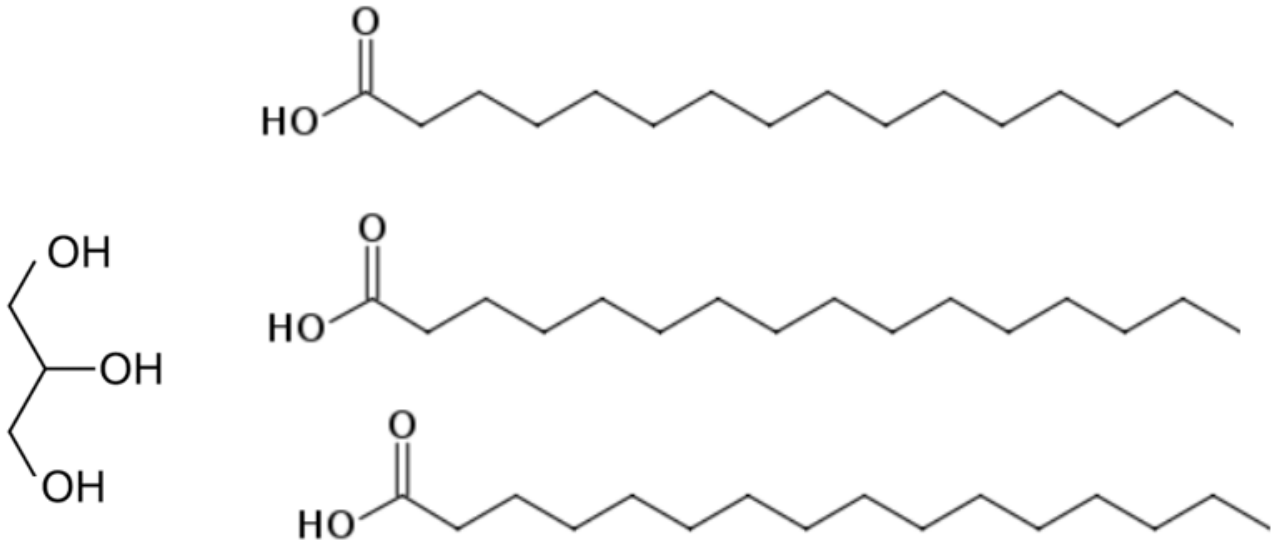
Condensation/hydrolyse de la liaison osidique



Condensation/hydrolyse de la liaison peptidique



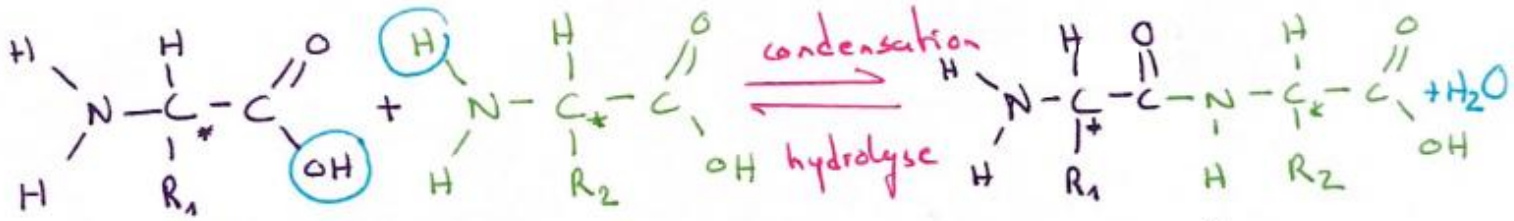
Condensation/hydrolyse d'un triacylglycérol



Condensation/ hydrolyse de la liaison osidique

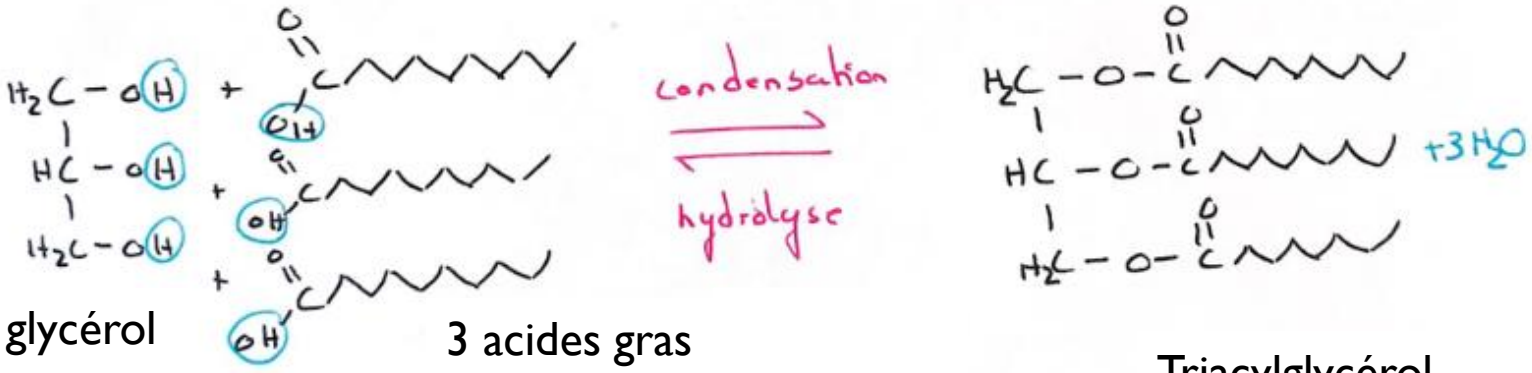
Glucose β Glucose β cellobiose

Condensation/ hydrolyse de la liaison peptidique



Acide aminé 1 Acide aminé 2 Dipeptide

Condensation/ hydrolyse d'un triacylglycérol (TAG)

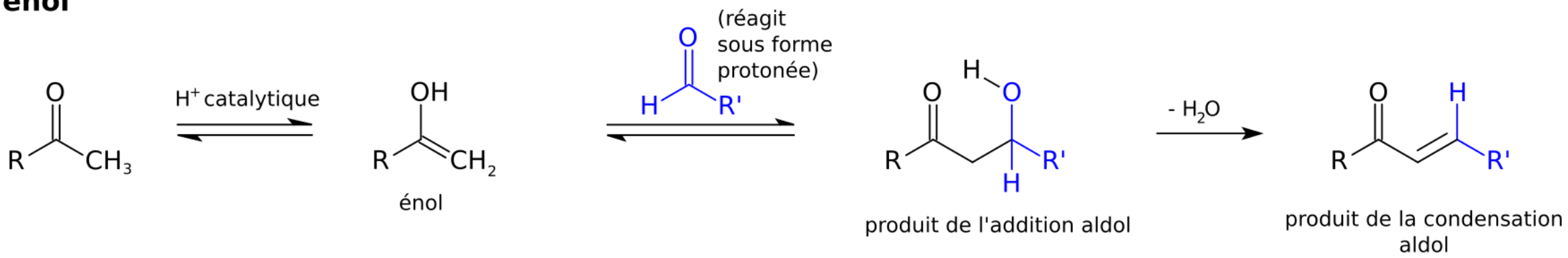


glycérol 3 acides gras Triacylglycérol

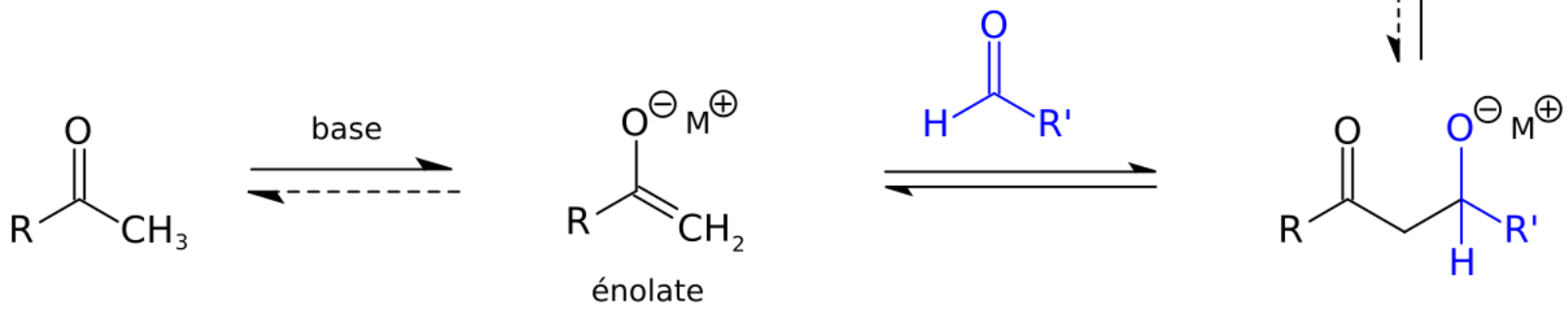
ALDOLISATION

Cf BCPST2

Type énol



Type énolate

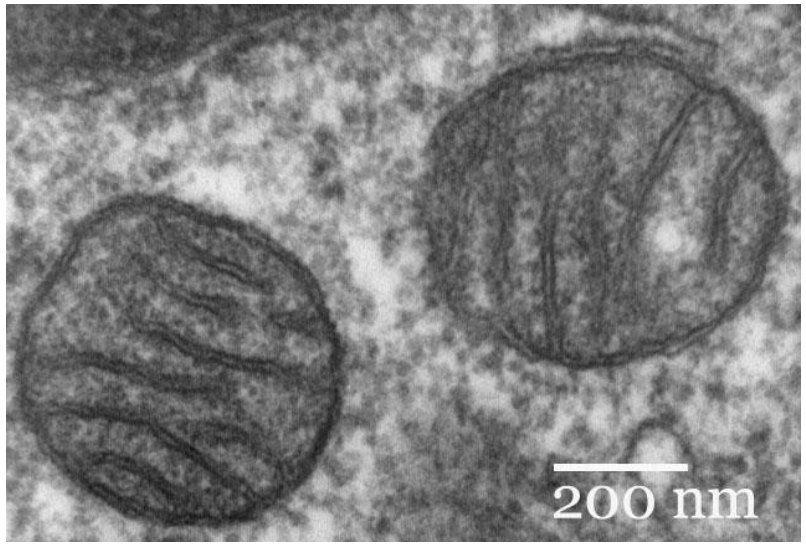


C. L'EAU EST UN RÉACTIF ET UN PRODUIT DE CERTAINES RÉACTIONS CHIMIQUES

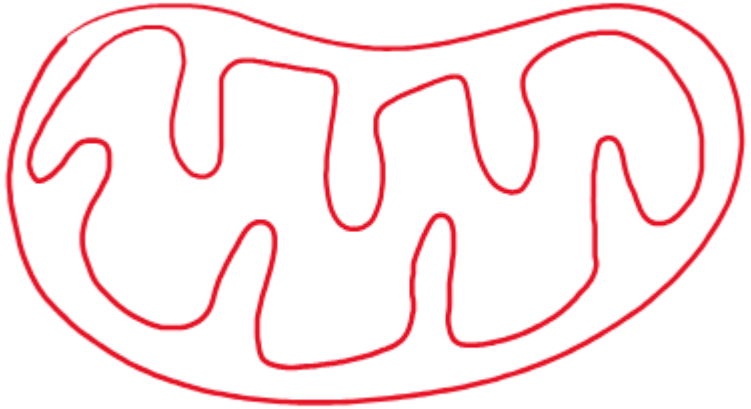
2. L'eau dans les réactions redox

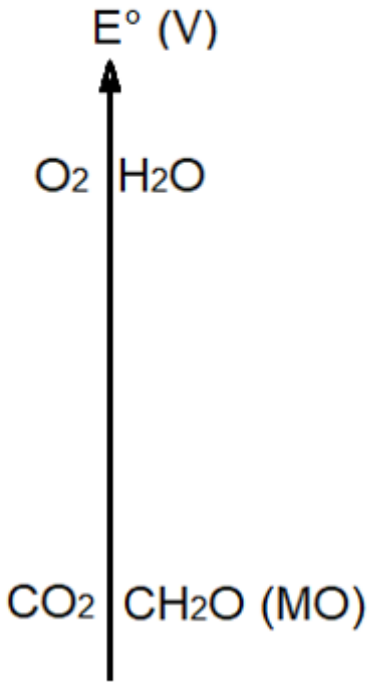
- **Réaction d'oxydoréduction**= réaction chimique au cours de laquelle une molécule est oxydée et l'autre est réduite.

  - **transfert d'électrons** entre ces molécules.
  - élément qui cède un ou des électron(s) = « réducteur»
  - élément qui capte un ou des électron(s) = « oxydant ».

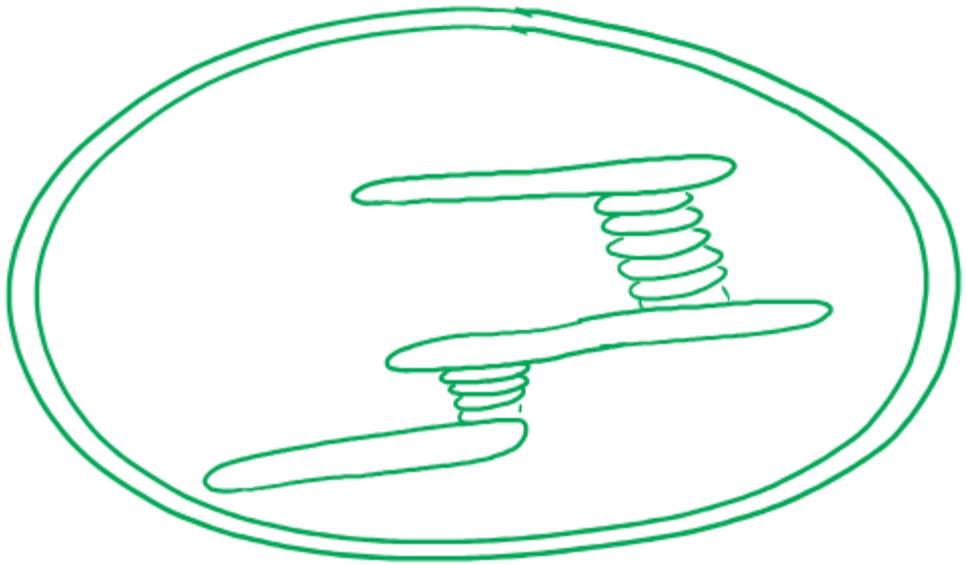


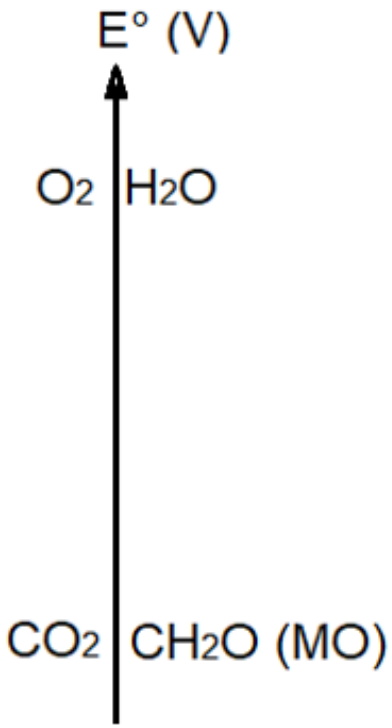
L'eau dans les réactions redox du catabolisme oxydatif





L'eau dans les réactions redox de la photosynthèse

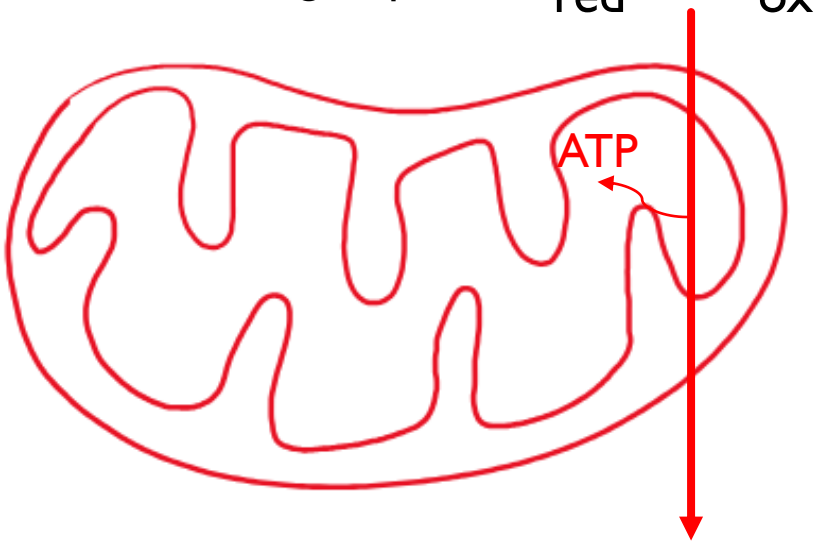




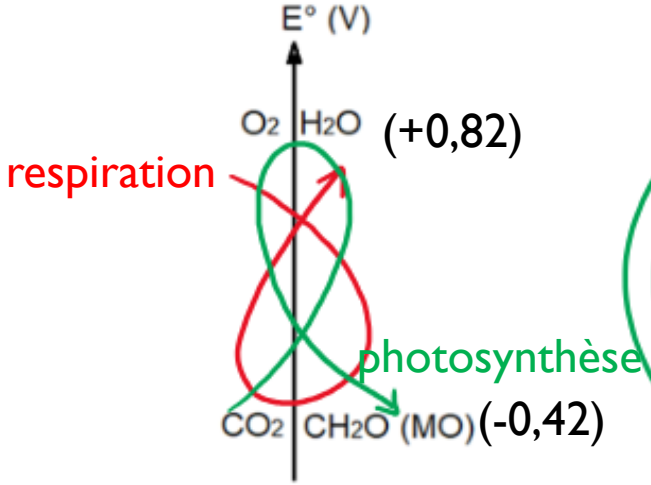
Réaction redox dans la mitochondrie:
oxydation de la matière organique

Réaction spontanée
(exergonique) => synthèse d'ATP

Carbone réduit: CH_2O + O_2
mat. organique red ox



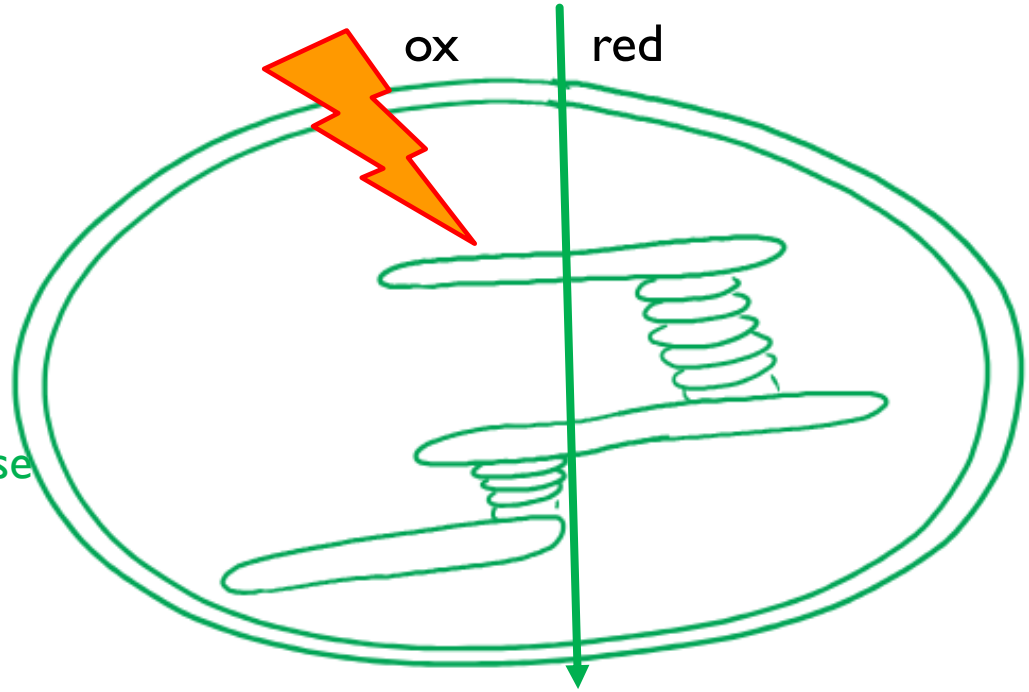
Carbone oxydé: CO_2 + H_2O
mat. minérale ox red



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 pyruvique

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.

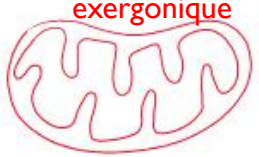
- Interactions entre eau et autres molécules : **interactions faibles** (**liaison H, liaison électrostatique ionique et liaisons de Van Der Waals**).

- **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 dans la cellule

L'eau: réactif et produit du métabolisme

Respiration exergonique



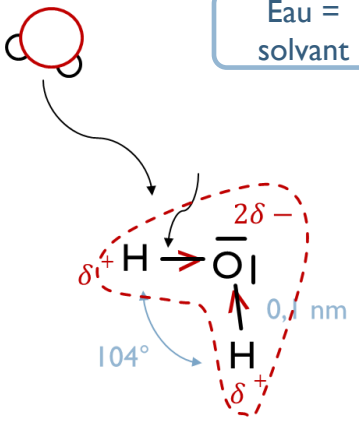
Photosynthèse endergonique

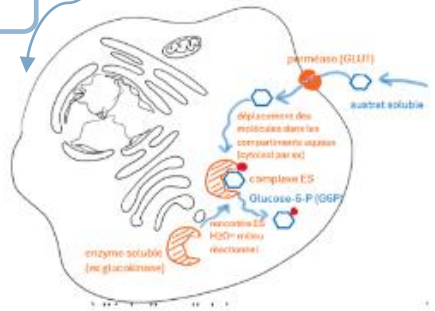
O_2 = accepteur final d'électrons

H_2O = faible réducteur

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

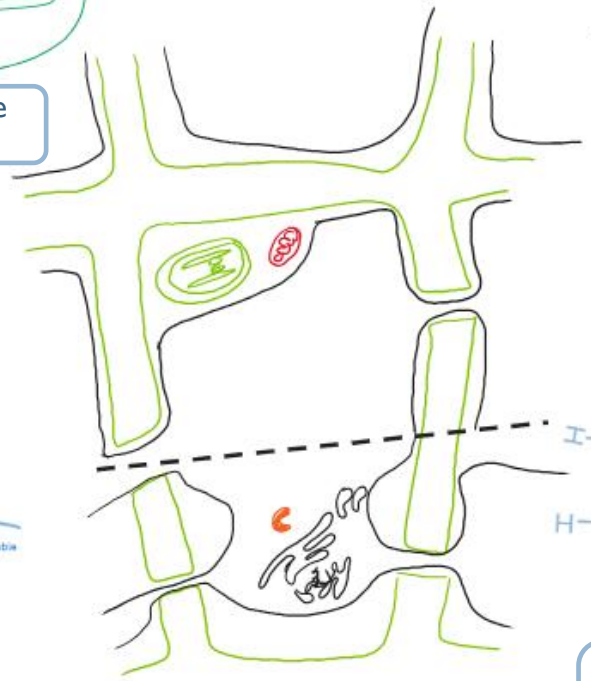
Eau = solvant





Eau = agent d'hydrolyse et produit de condensation

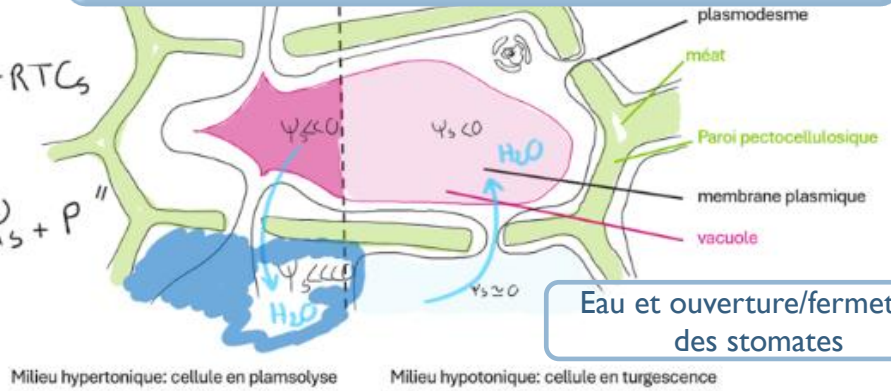
ATP + H_2O → ADP + Pi + énergie libérée



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

$\Psi_s = -RTC_s$

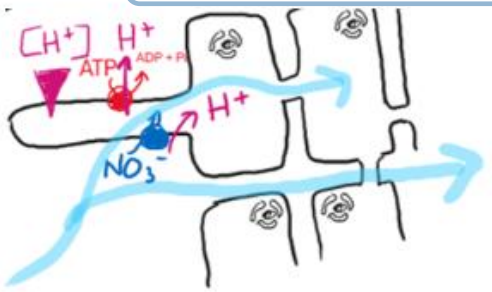
" $\Psi_H = \Psi_s + P$ "



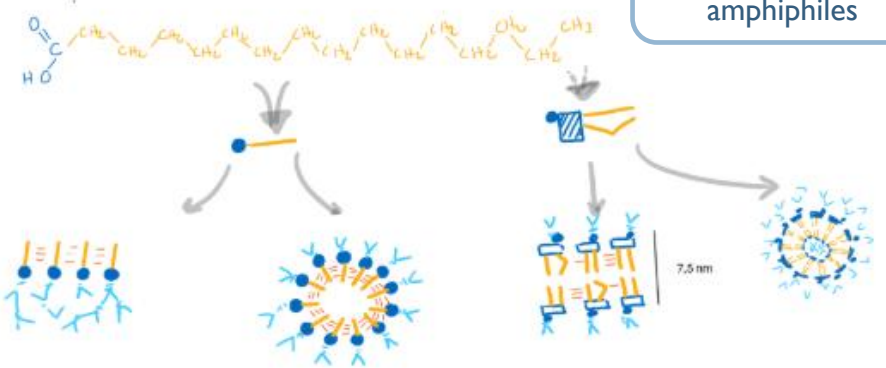
Eau et ouverture/fermeture des stomates

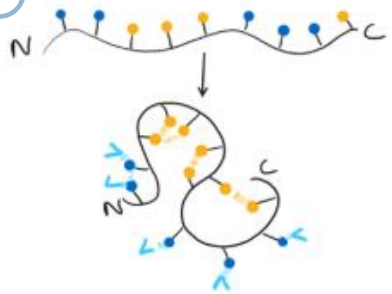
Eau = solvant

Eau = solvant, transportant des molécules solubles



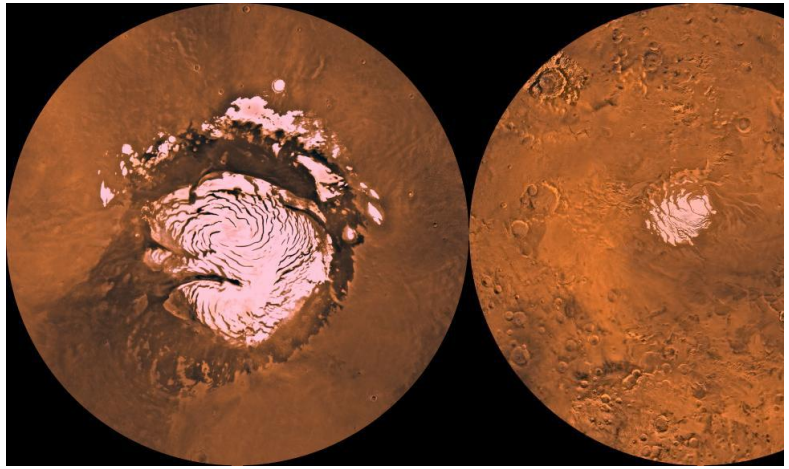
Eau => repliement des molécules amphiphiles

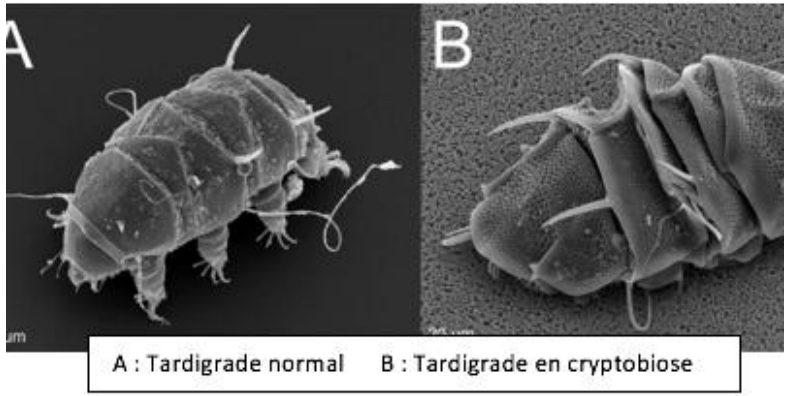




RÉACTION DESS VIVANTS AU STRESS HYDRIQUE

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





SUJETS D'ORAUX

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