

Introduction à la chimie du vivant

Professeur Bertrand Toussaint

PLAN du COURS

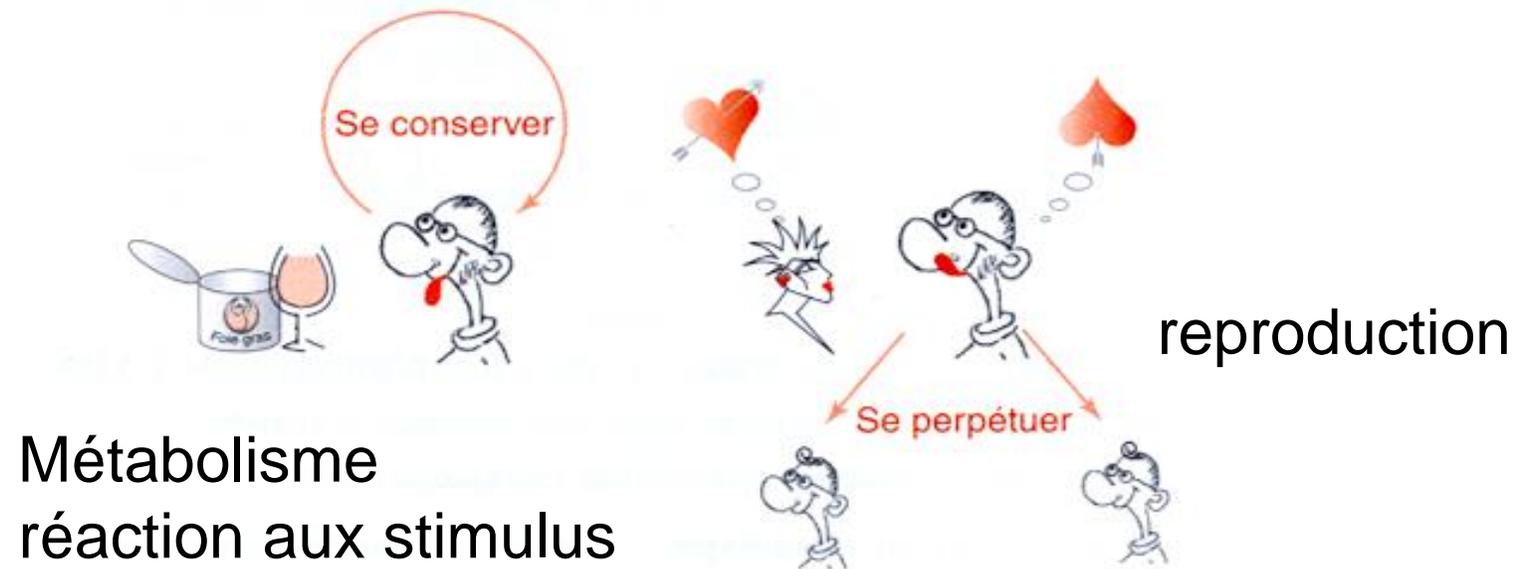
- 5 grandes idées pour bien comprendre
- Atomes, ions
- Liaisons et molécules du vivant
- Le carbone réduit/oxydé
- L'eau, solvant du vivant
- Réactions chimiques et biochimiques
- Acides/bases, pH
- Ai-je bien compris ?

5 grandes idées sur le vivant

- Définition du vivant
- L'unicité biochimique du vivant
- La génération spontanée est une chimère
- L'apparition sur terre des molécules de la vie
- Les niveaux d'organisation du vivant

Définition(s) de la vie

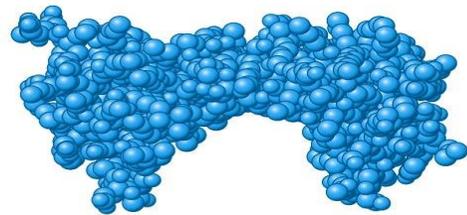
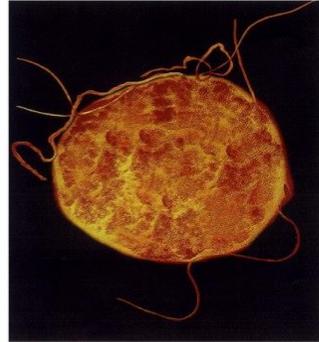
- « Un état organique caractérisé par la capacité de reproduction, de métabolisme et de réaction aux stimulus »



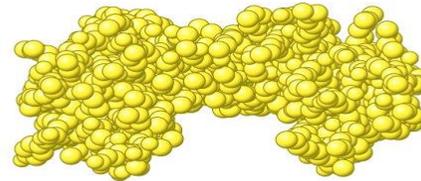
Objectif : durée d'existence

préservation de l'information génétique

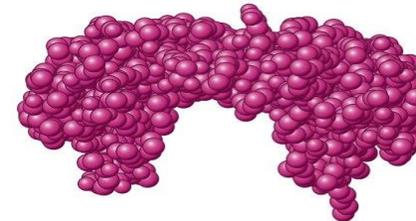
Unicité biochimique de la vie



Sulfolobus acidicaldarius



Arabidopsis thaliana



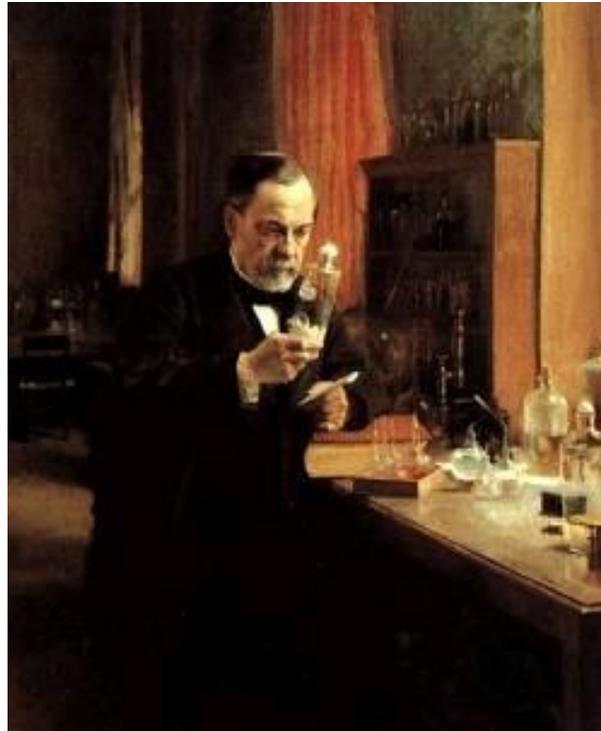
Homo sapiens

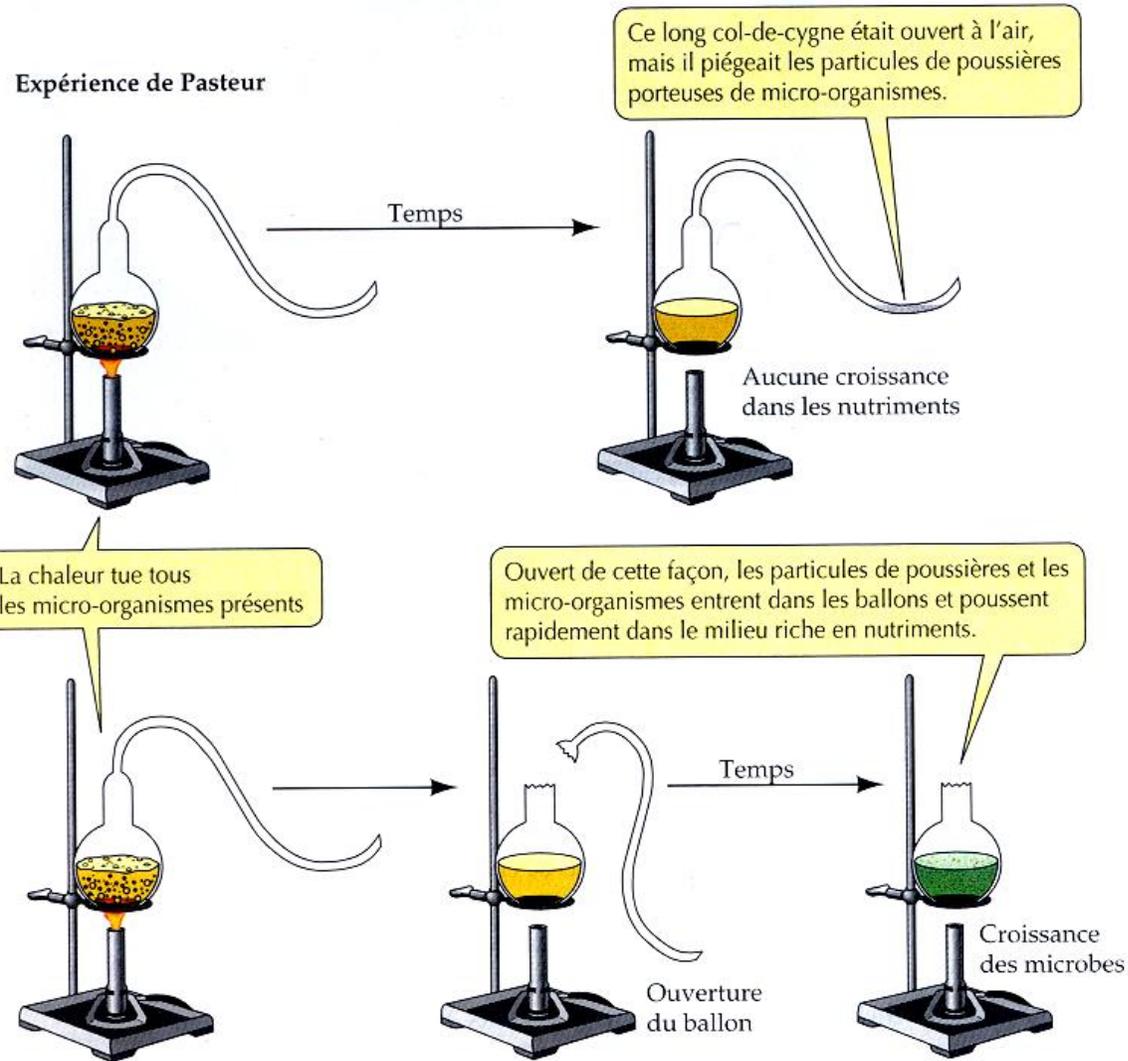
Figure 1-1
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

- Cellule
- 60 à 90% d'eau : protons, électrons, oxygène, solvant des biomolécules
- Macromolécules : Protéines, lipides, polysaccharide
- Métabolites : petites molécules issues du métabolisme
- Réactions lentes catalysées par des enzymes
- ADN : acide désoxyribonucléique

La vie, phénomène mystérieux

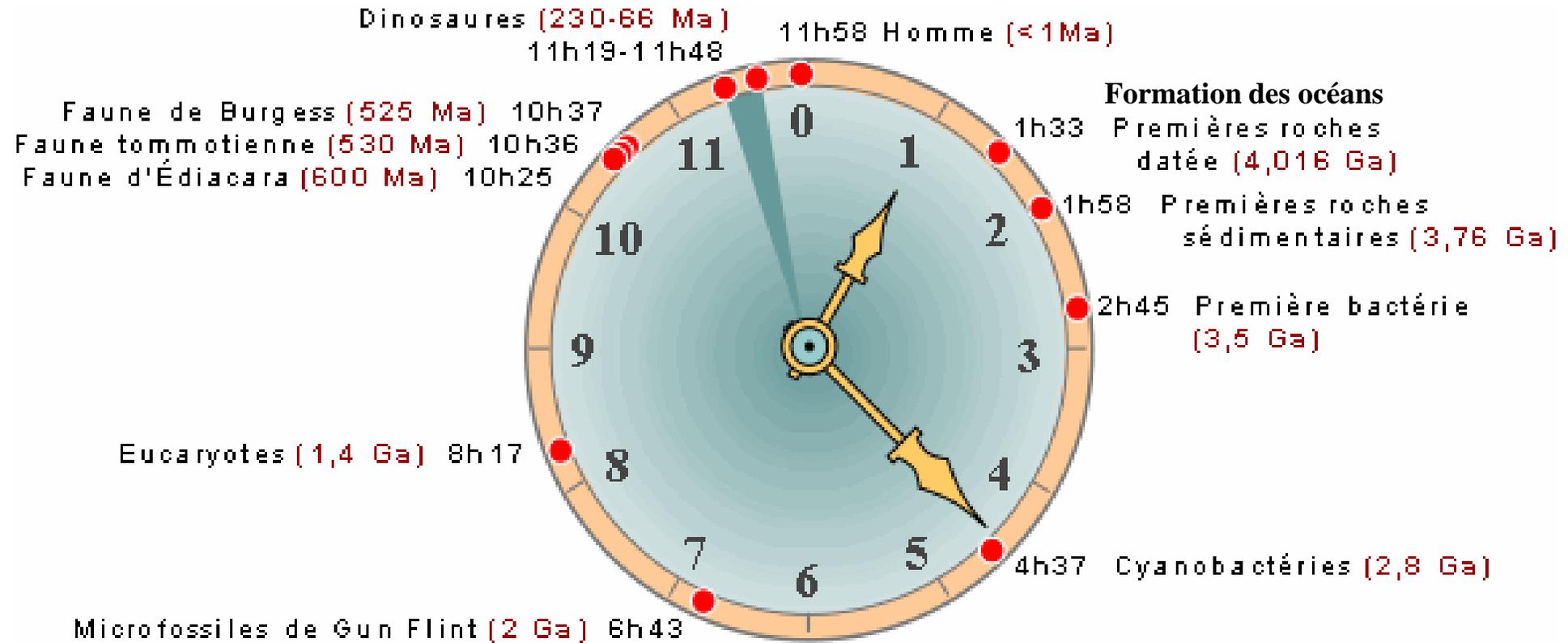
Pasteur fin XIXème : première démonstration réfutant l'hypothèse en cours de la génération spontanée : la vie n'apparaît pas de l'inerte.





« la génération spontanée est une chimère » : toute forme de vie née d'une vie préexistante
Comment la vie est -elle apparue de l' inerte ??

Origines de la vie

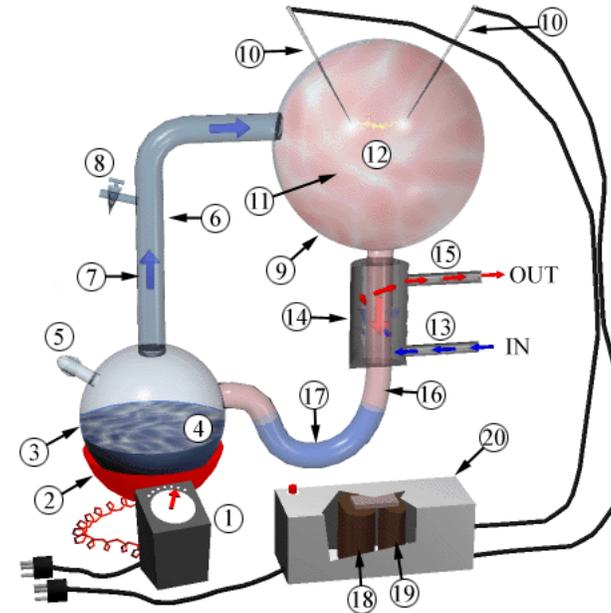




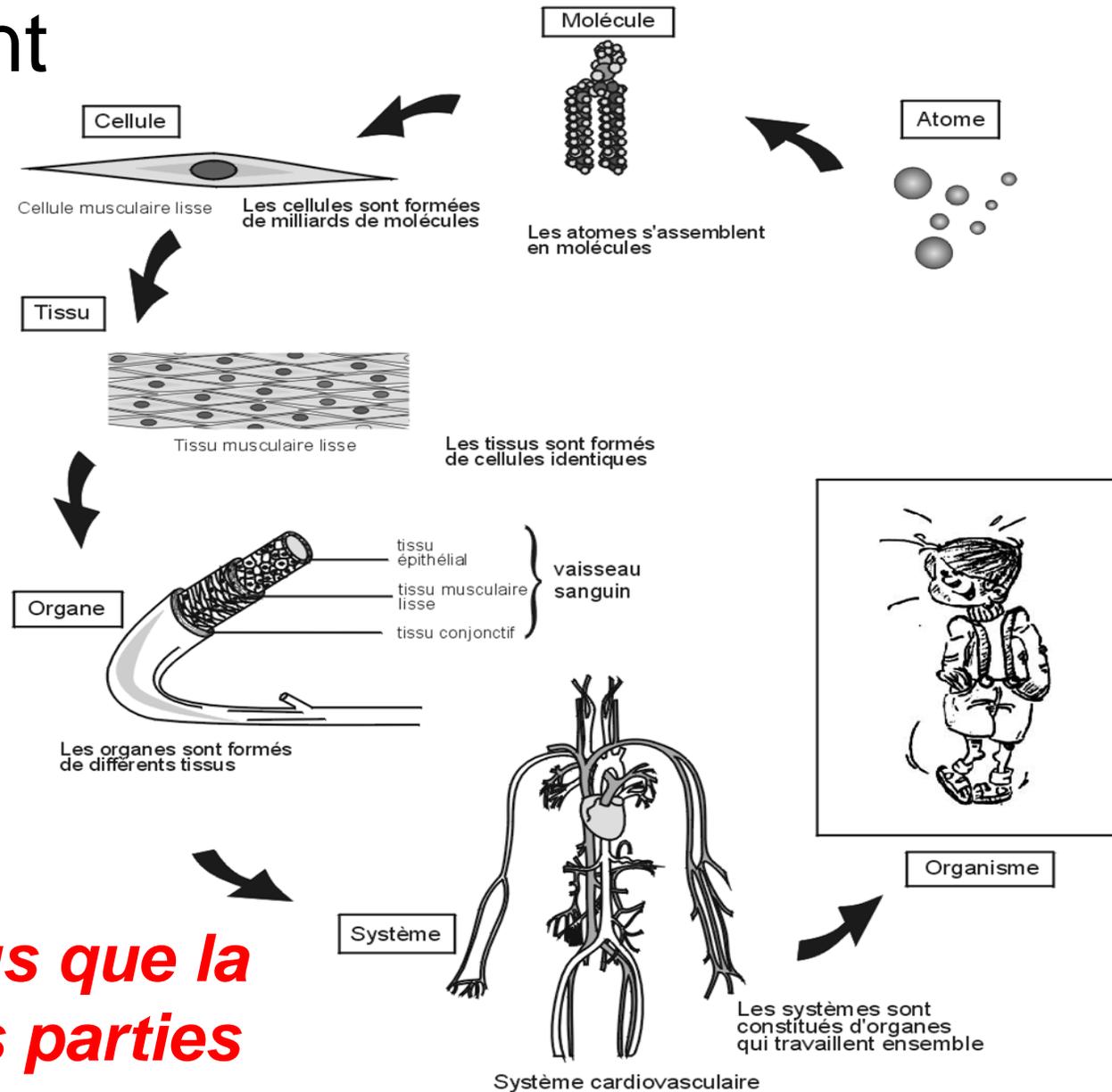
Expérience de Stanley Miller



1. Régulateur de tension
2. Manchon chauffant
3. Flasque de 500mL en ébullition
4. Océan primitif
5. Tube de prélèvement
6. Colonne d'évaporation
7. Formation de nuages
8. Valve d'arrêt
9. Flasque de 5L
10. Electrodes de Tungstène
11. Atmosphère primitive de méthane (CH_4), ammoniac(NH_3), hydrogène (H_2), et vapeur d'eau(H_2O)
12. Eclair
13. Eau froide
14. Colonne de condensation
15. Eau chaude
16. Précipitation
17. Trappe d'échantillonnage des acides aminés, bases d'ADN (purines, pyrimidines, sucre ribose, etc.)
18. Alimentation primaire 110 volts
19. Alimentation secondaire 7500 volts à 30 ampères
20. Transformateur



Les niveaux d'organisation de la matière et du vivant



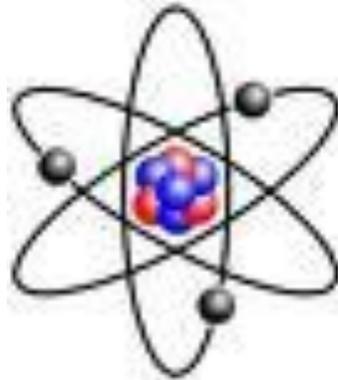
Le tout est plus que la somme de ses parties

PLAN du COURS

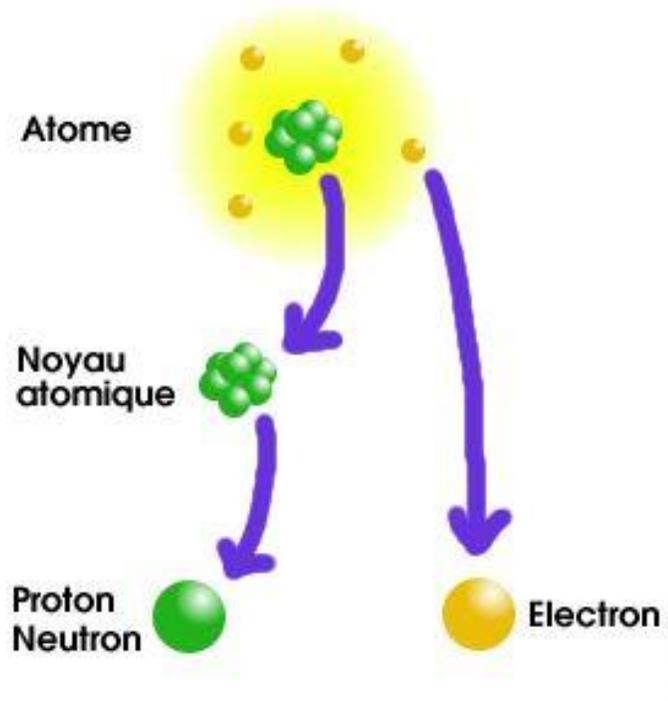
- 5 grandes idées pour bien comprendre
- **Atomes, ions**
- Liaisons et molécules du vivant
- Le carbone réduit/oxydé
- L'eau, solvant du vivant
- Réactions chimiques, biochimiques
- Acides/bases, pH
- Ai-je bien compris ?

ATOME

- Un **atome** [atomos], « indivisible » est la plus petite partie d'un corps simple pouvant se combiner chimiquement avec une autre.
- La théorie atomiste, soutient l'idée d'une matière composée de « grains » indivisibles (contre l'idée d'une matière indéfiniment sécable)
- ATOME : Noyau (protons et neutrons) entouré d'électrons
- Les atomes se combinent entre eux pour former des molécules



Le noyau

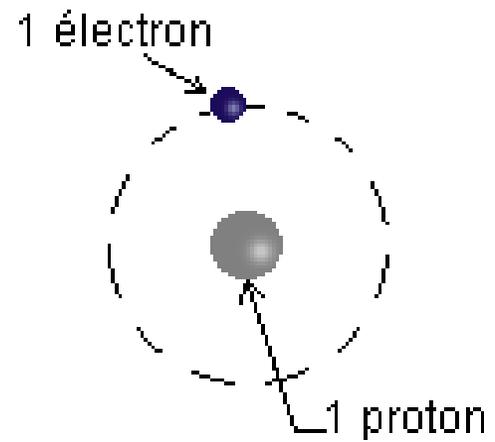


- Le noyau atomique est le cœur de l'atome. Il est situé en son centre, est mille fois plus petit et contient 99,97% de sa masse.
- Protons : charge électrique positive
- Neutrons : charge neutre.
- Le noyau est donc de charge positive
- Les électrons de l'atome sont maintenus autour du noyau par attraction électrique

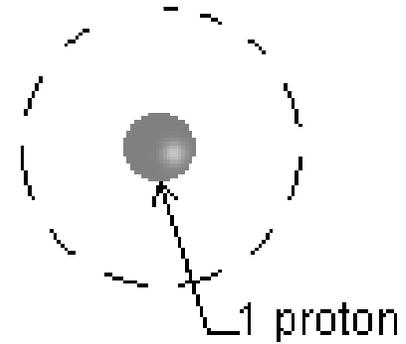
Modèle des anneaux du nuage électronique

- Un électron qui tourne autour du noyau emprunte plusieurs espaces
- La taille de cet espace dépend de l'énergie de l'électron
- Les électrons de même énergie se déplacent dans le même anneau
- L'anneau le plus à l'extérieur ne peut posséder que 8 électrons, au-delà un nouvel anneau sera nécessaire
- le premier anneau (plus proche du noyau) ne possède que 2 électrons

Différents atomes

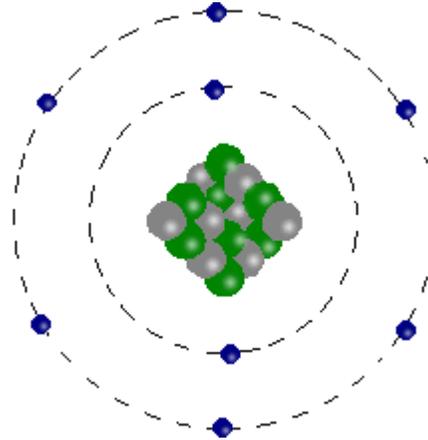


Atome d'hydrogène H : le plus simple



H⁺ : proton sans electron

Atome d'oxygène



Atome d'oxygène O

Il est constitué de 8 électrons, 8 protons et 8 neutrons.

16 est le **nombre de masse** (8 protons + 8 neutrons).

Le nombre de masse correspond au nombre total de protons et de neutrons constituant le noyau atomique.

Le **numero atomique** correspond au nombre de proton

Unités de Quantités

- La mole : La mole est la **quantité de matière** contenant **$6,02 \cdot 10^{23}$ entités** (entités = molécules, atomes ou ions).
- Le symbole de la mole est **mol**.
- **La masse molaire atomique d'un élément ou la masse d'une mole d'atomes est exprimée en gramme par mole.**
- Le symbole est **M**
- L'unité est le gramme par mole = **$\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$**
- 1mole d'oxygène (atome)
pèse 16g (cf nombre de masse)

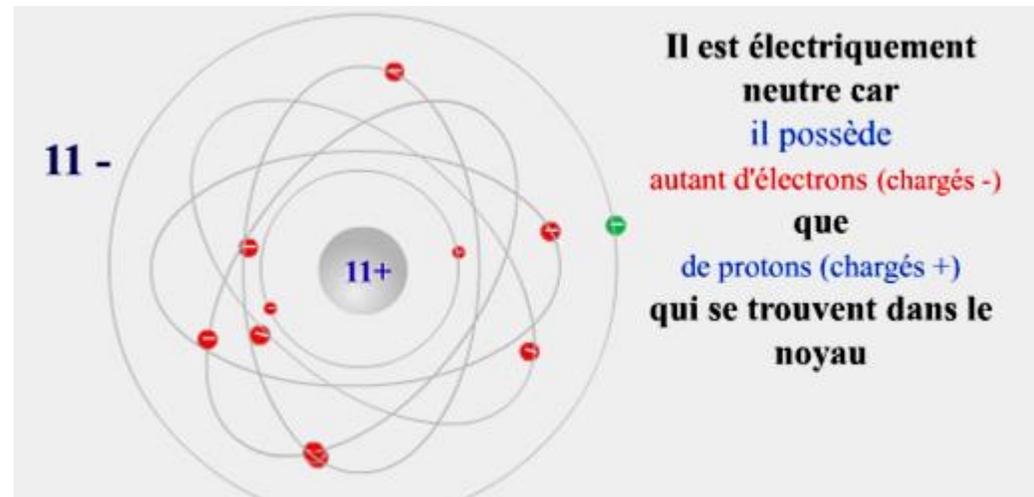
Unités de Concentration

- La concentration molaire est le **nombre de moles d'atome ou de molécule par litre de solution.**
- Le symbole est **C**
- Les unités :
- Concentration molaire : la **mole par litre (mol/l ou M)**
- Nombre de moles : la mole (**mol**)
Volume : le litre (**l**)



ions

- Un ion est un atome (ou une molécule, cf infra) qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons
- Exemple : ion sodium Na^+



- $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + 1 \text{e}^-$ ion sodium
- $\text{Cl} + 1 \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-$ ion chlorure

Les principaux éléments du vivant

Éléments principaux : 99,3% de la totalité des atomes	
Symbôles	Eléments
H	Hydrogène (63%)
O	Oxygène (26%)
C	Carbone (9%)
N	Azote (1%)

Ces quatre éléments se combinent pour former les molécules dites organiques

Les autres éléments importants du vivant

Minéraux principaux : 0,7% de la totalité des atomes	
Symbôles	Eléments
Ca	Calcium
P	Phosphore
K	Potassium
Na	Sodium
Cl	Chlore
Mg	Magnésium
S	Souffre

Eléments rares : oligo-éléments

Oligo-éléments principaux : moins de 0,01% de la totalité des atomes	
Symboles	Eléments
Fe	Fer
I	Iode
Cu	Cuivre
Zn	Zinc
Mn	Manganèse
Co	Colbat
Cr	Chrome
Se	Sélénium
Mo	Molybdène
F	Fluor
Sn	Etain
Si	Silicium
V	Vanadium

PLAN du COURS

- 5 grandes idées pour bien comprendre
- Atomes, ions
- **Liaisons et molécules du vivant**
- Le carbone réduit/oxydé
- L'eau, solvant du vivant
- Réactions chimiques, biochimiques
- Acides/bases, pH
- Ai-je bien compris ?

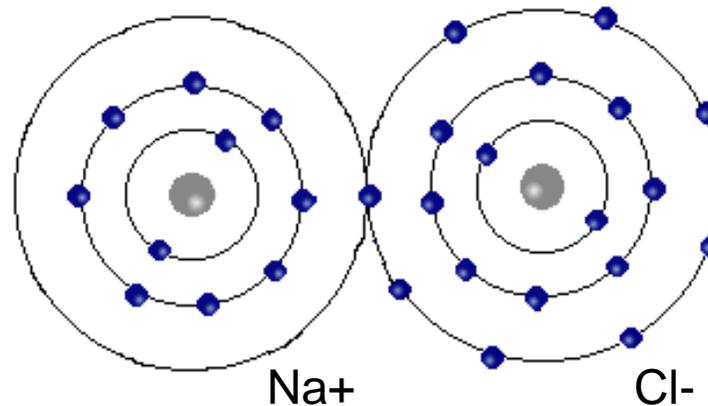
Liaisons atomiques

- Liaison de covalence : la plus forte
 - Simple ou doubles liaisons
- Liaisons faibles : très importantes
 - Exemple des liaisons ioniques

Liaisons faibles : ioniques

entre 2 ions de charge opposées, elle fait intervenir la charge des ions en présence

- Les ions ne sont pas liés comme dans une molécule
- L'édifice est le résultat d'un équilibre entre les forces d'attraction et de répulsion électrostatique. C'est le cas des sels tel que le chlorure de sodium.

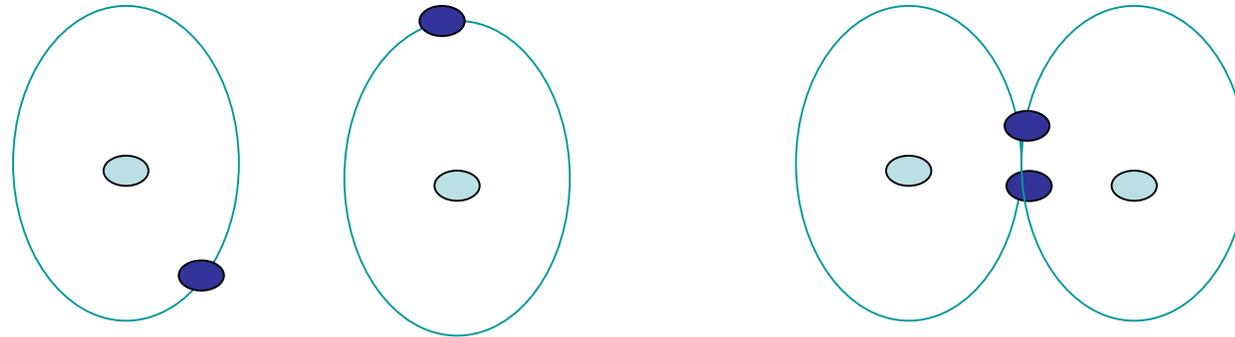


- Liaison ionique : Chlorure de sodium Na Cl : Na⁺ est lié à Cl⁻
- Na⁺ + Cl⁻ → NaCl chlorure de sodium

Liaison covalente

- Elle fait intervenir la mise en commun d'électrons entre les atomes, car les atomes tendent à avoir leur couche électronique externe complète (généralement 8 électrons).
- Une nouvelle répartition du nuage électronique entourant les 2 atomes se produit.
- On obtient un véritable lien entre atomes (existence de la molécule).
- Les liaisons covalentes sont donc toujours plus difficiles à rompre que les liaisons non covalentes comme les liaisons ioniques

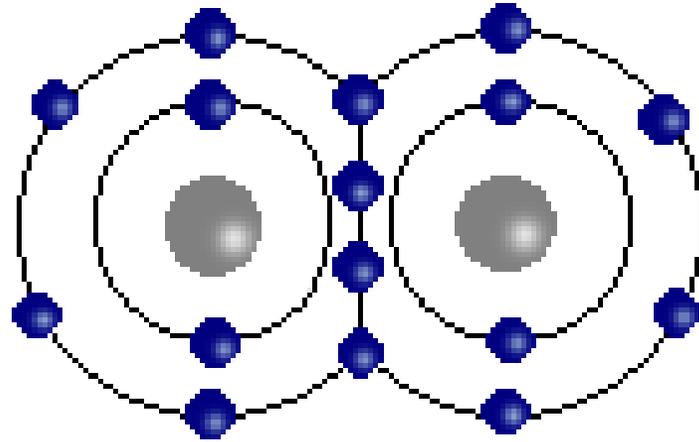
Liaison covalente simple



Chaque atome d'hydrogène qui avait un seul électron sur sa première couche électronique va vouloir la compléter avec un 2ème électron provenant de l'autre atome d'hydrogène : molécule de dihydrogène

Cette structure est ainsi plus stable, on dit que la liaison covalente ainsi formée est une liaison forte, bien plus que les liaisons ioniques vu précédemment.

Liaison double



Molécule de dioxygène O_2

Chaque atome d'oxygène (qui avait 6 électrons sur leur couche externe) va maintenant avoir 8 électrons.



liaison double : $O=O$

Les molécules de la vie

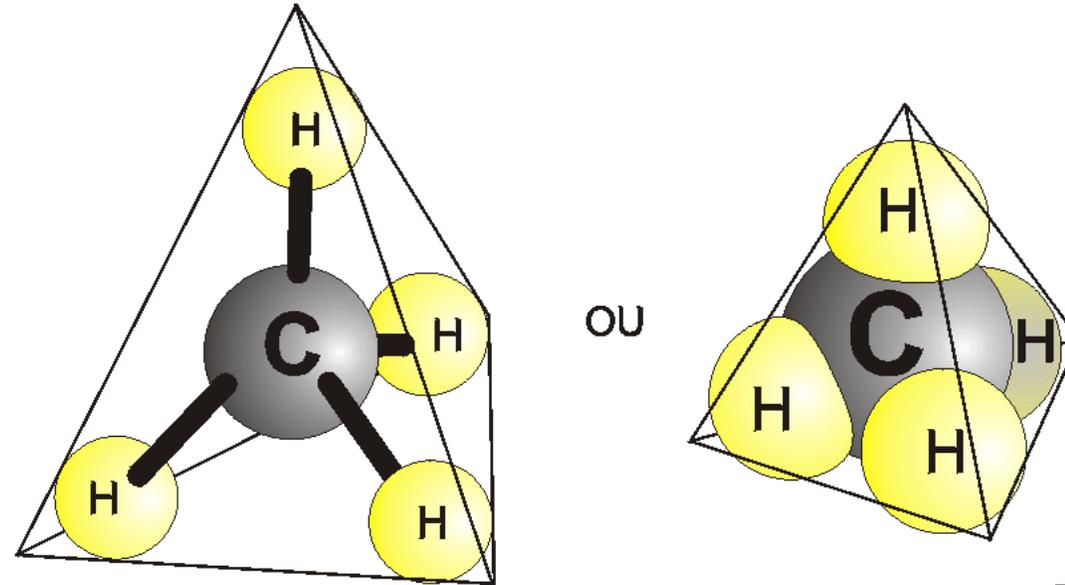
La vie utilise environ 25 des 92 éléments chimiques présents à l'état naturel.

De ces 25, quatre sont particulièrement importants :

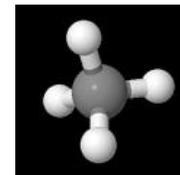
- **Carbone (C)** : peut former 4 liaisons chimiques
- **Hydrogène (H)** : ne forme qu'une liaison
- **Oxygène (O)** : peut former 2 liaisons
- **Azote (N)** : peut former 3 liaisons

Avec ces 4 éléments on peut former un nombre astronomique de molécules différentes, des plus simples aux plus complexes.

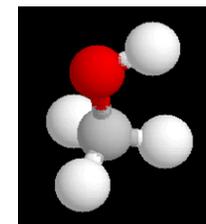
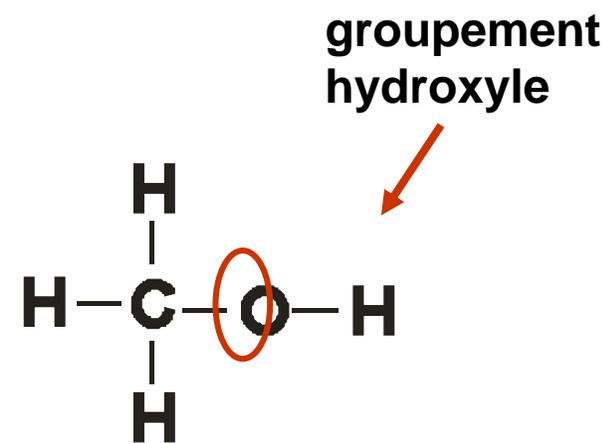
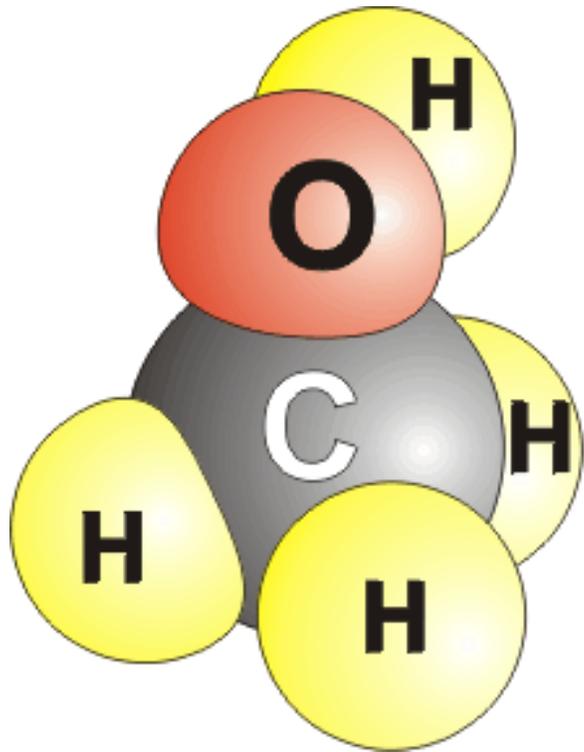
Exemples :



CH₄ (méthane)



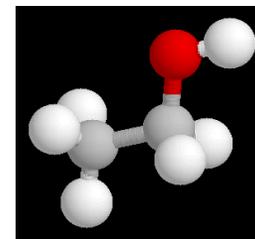
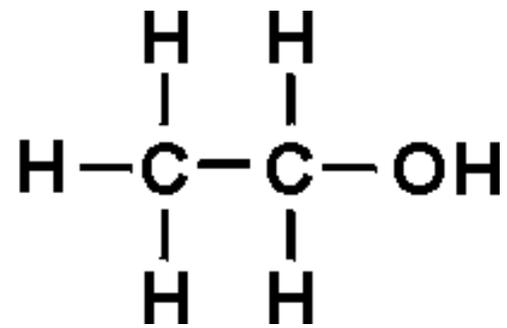
Ex. Le méthanol CH_3OH



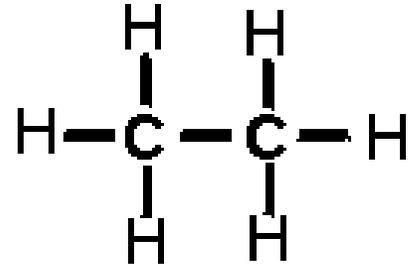
Principaux groupements chimiques organiques

- Méthyle : $-\text{CH}_3$
- Hydroxyle : $-\text{OH}$
- Amine : $-\text{NH}_2$
- Acide carboxylique : $-\text{COOH}$

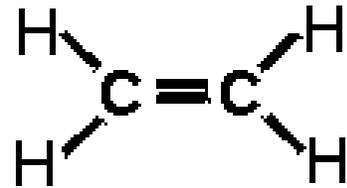
Ex. L'éthanol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$



Particularités du carbone



Éthane



Éthylène



Acétylène

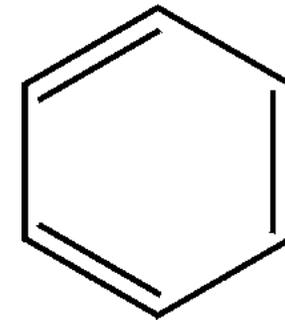
Les liaisons covalentes du carbone peuvent être simples, doubles ou triples

Presque toutes les molécules des êtres vivants sont formées d'atomes de carbones reliés les uns aux autres.

• Chaînes linéaires $C-C-C-C-C-C$

• Chaînes ramifiées $\begin{array}{ccccccc} & & & & C & & \\ & & & & | & & \\ C & - & C & - & C & - & C \\ & & | & & & & \\ & & C & & & & \end{array}$

• Cycles $\begin{array}{ccccc} & & C & & \\ & / & & \backslash & \\ C & & & & C \\ | & & & & | \\ C & & & & C \\ \backslash & & / & & \\ & & C & & \end{array}$



Le benzène
 C_6H_6

Chimie des molécules contenant du carbone = **chimie organique**

Matière organique = matière formée de molécules contenant du carbone (sauf CO₂)

Autre définition : matière formée de molécules contenant du carbone et de l'hydrogène

Carbone = **le seul atome pouvant se lier à lui-même de nombreuses fois.**

Permet de construire des molécules :

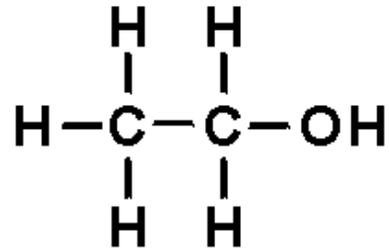
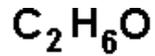
- Complexes (peuvent contenir des milliers d'atomes)
- Variées

Ex. On peut imaginer 62,5 millions de molécules différentes de la formule C₄₀H₈₂

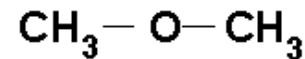
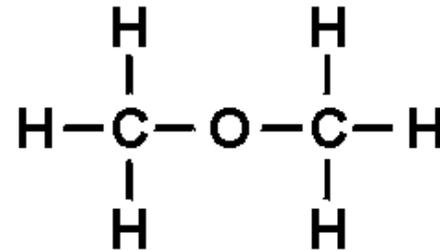
Les mêmes atomes peuvent former des molécules différentes:

Formule Brute : C_2H_6O : plusieurs molécules possibles

= **Isomères**



Ethanol



Éther diméthylique

La souplesse structurale liée au carbone

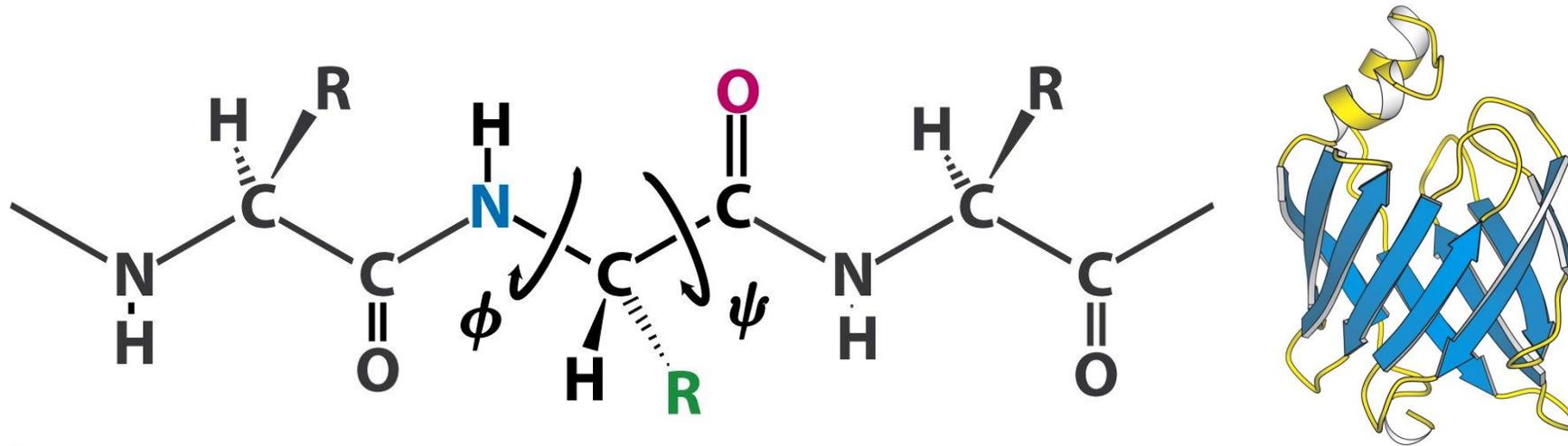
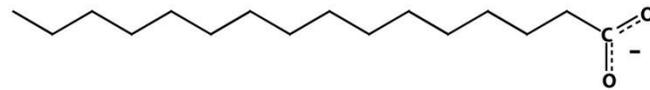
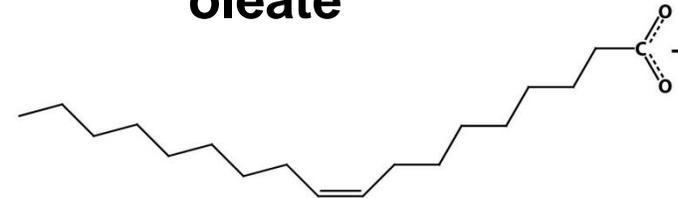


Figure 2-27a
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

palmitate

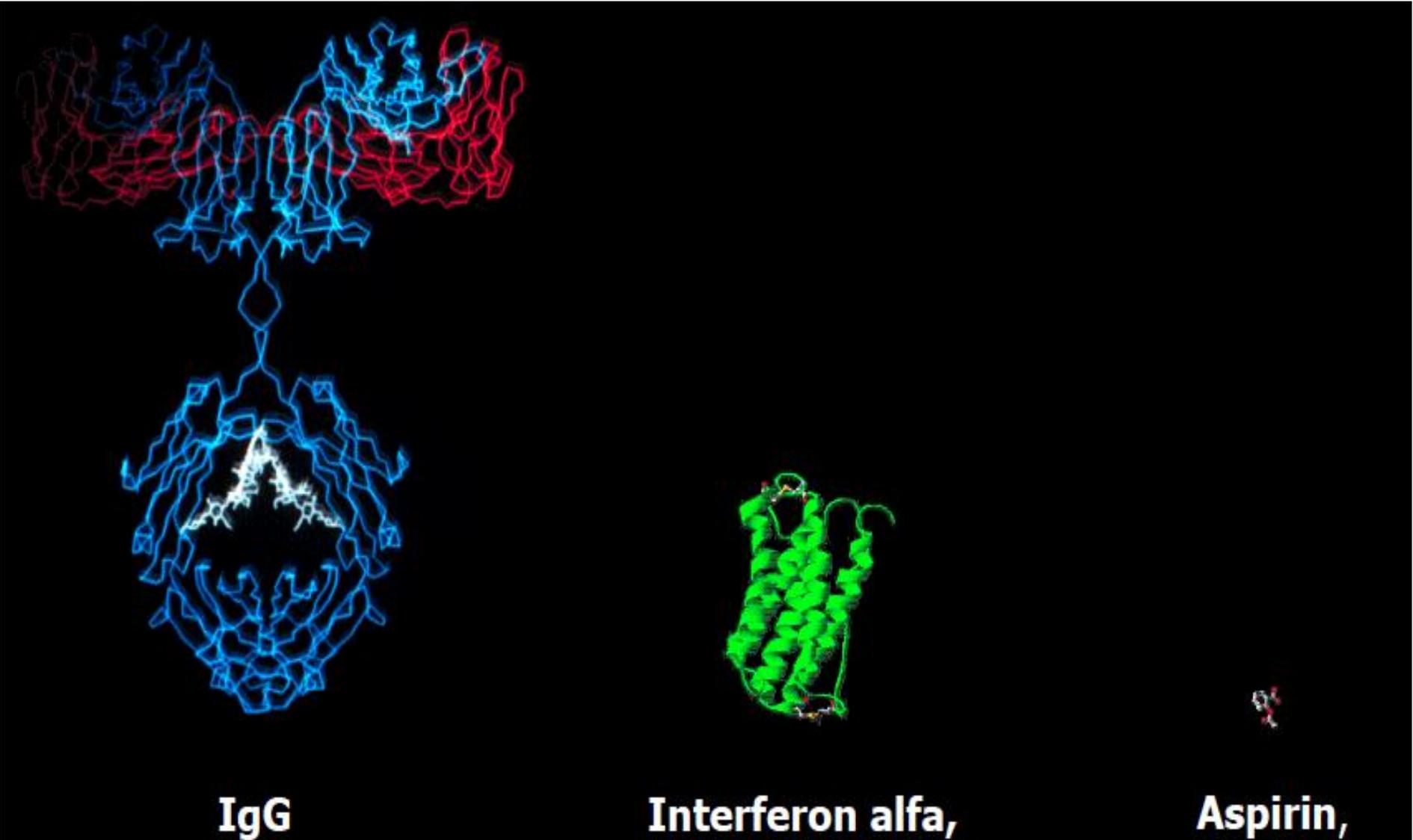


oléate



La structure d'une molécule dicte ses propriétés biologiques

- Structure = forme dans l'espace :
positionnement en 3D de chacun des atomes
- C'est la structure d'une molécule qui détermine
 - avec quelle autres molécules elle pourra interagir
 - Quels fonctions seront possibles (enzyme,..)
- C'est donc un exemple de propriétés supplémentaires qui apparaît avec ce niveau de complexité



Les molécules du vivant

Chaque être vivant contient des milliers de molécules différentes.

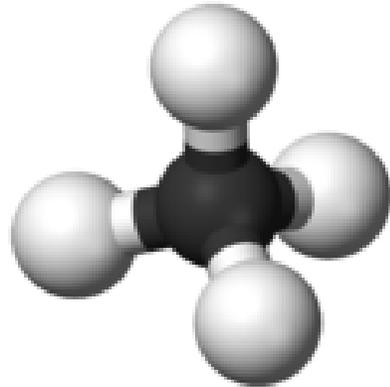
On peut regrouper la plupart de ces molécules en 4 grandes familles:

- **Glucides** (sucres ou hydrates de carbone)
- **Lipides** (gras, huiles et stéroïdes)
- **Protéines**
- **Acides nucléiques** (ADN et ARN)

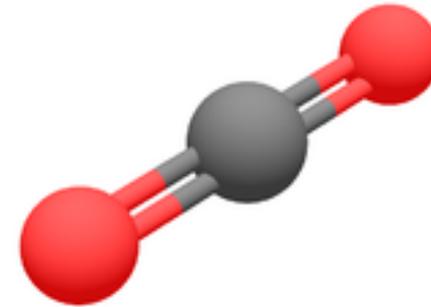
PLAN du COURS

- 5 grandes idées pour bien comprendre
- Atomes, ions
- Liaisons et molécules du vivant
- **Le carbone réduit/oxydé**
- L'eau, solvant du vivant
- Réactions chimiques, biochimiques
- Acides/bases, pH
- Ai-je bien compris ?

Carbone réduit/oxydé



CH₄,
Carbone chargé d'électrons :
Carbone réduit



CO₂,
Carbone pauvre en électron :
Carbone oxydé

Réactions de réduction/oxydation

- Une molécule qui gagne un ou plusieurs électrons au cours d'une réaction chimique est dite réduite
- Une molécule qui perd un ou plusieurs électrons est dite oxydé



Des molécules peuvent ainsi échanger des électrons au cours de réaction dites d'oxydo/réduction.



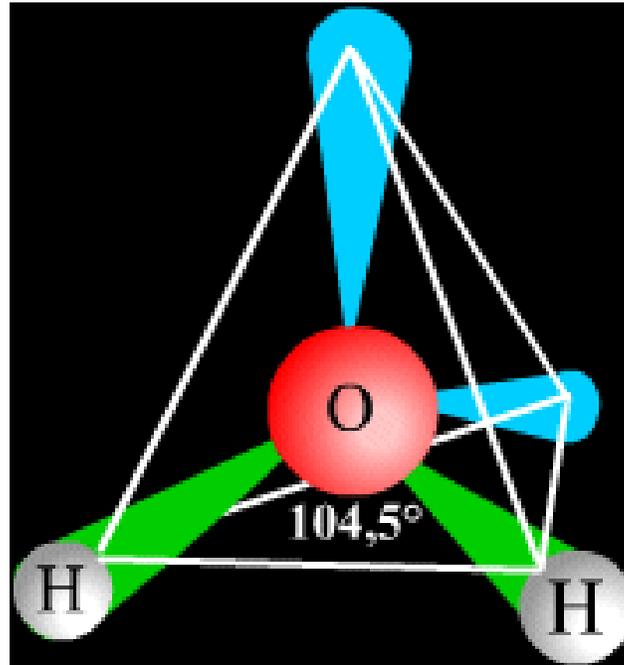
PLAN du COURS

- 5 grandes idées pour bien comprendre
- Atomes, ions
- Liaisons et molécules du vivant
- Le carbone réduit/oxydé
- **L'eau, solvant du vivant**
- Réactions chimiques, biochimiques
- Acides/bases, pH
- Ai-je bien compris ?

L'eau solvant de la vie

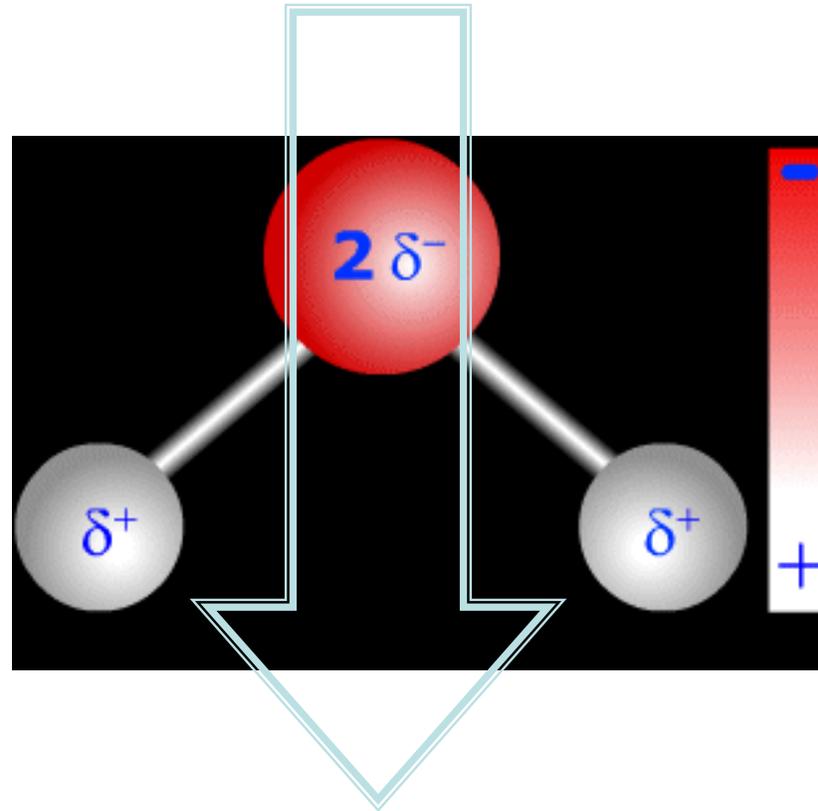


« Tout ce qui est vivant exige de l'eau ; tous les organismes sont des systèmes chimiques en phase aqueuse »



La molécule d'eau H₂O possède une structure pyramidale.

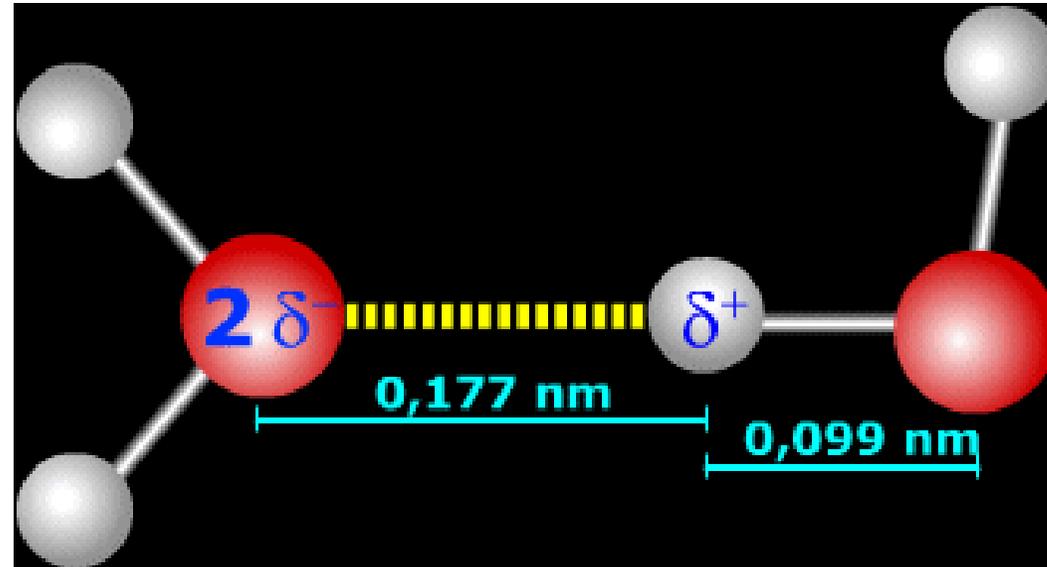
L'eau est un dipôle électrique



Application : micro-ondes

destruction des métastases hépatiques de cancer colique par radio-fréquence.

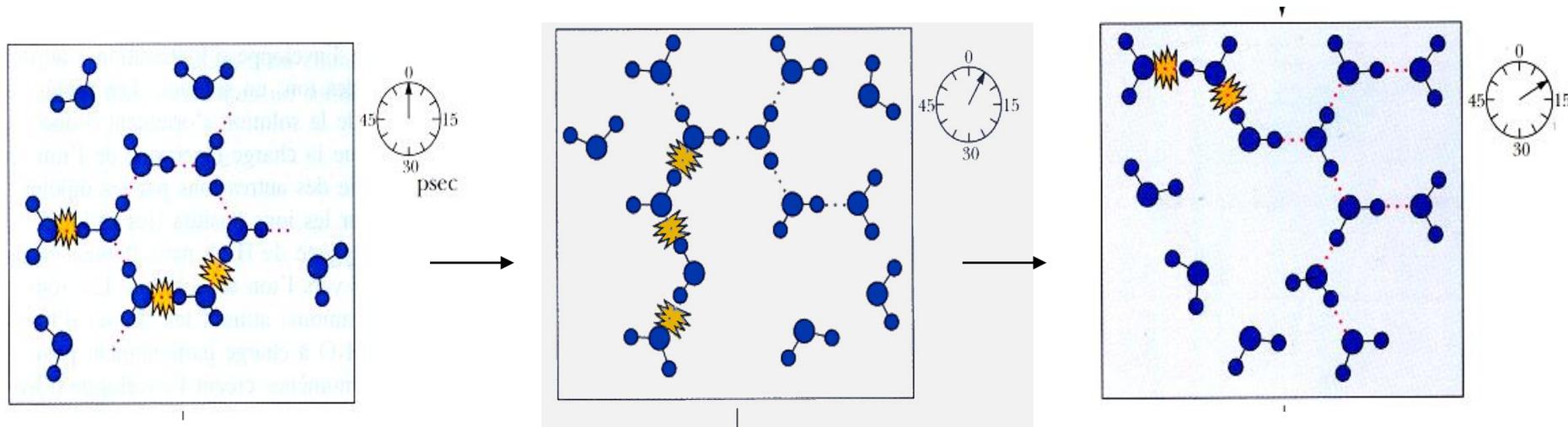
La liaison hydrogène



De nature électrostatique, elle s'établit entre un atome d'hydrogène porteur d'une charge partielle δ^+ et l'atome d'oxygène d'une molécule d'eau voisine.

Energie de cette liaison est très inférieure à l'énergie d'une liaison de covalence.

L'interprétation moderne de la structure de l'eau



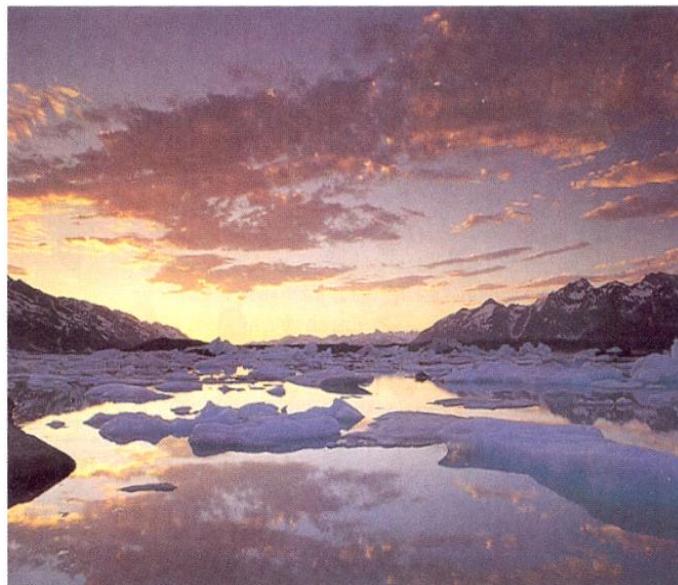
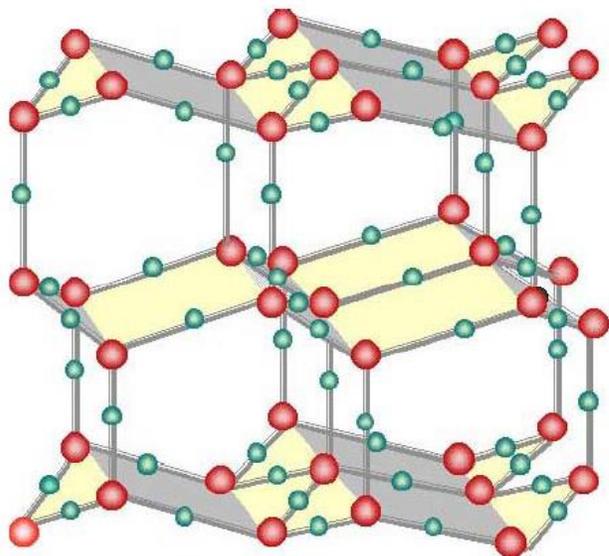
La durée moyenne d'une liaison H entre 2 molécules d'eau est très brève (10^{-12} s)

→ la fluidité de l'eau

Propriétés de l'eau

- **liquide entre 0 et 100°C**
- **état solide (glace) de densité plus faible l'état liquide**
- **solvant : permet la mise en solution de nombreuses molécules**
- **toutes liées à sa structure en réseau de liaisons hydrogènes.**

Eau liquide, eau solide



Eau solide : 4 liaisons hydrogène par molécule d'eau

Structures cristallines similaire à un « échafaudage »

Moins compacte que l'eau liquide : densité plus faible : 0.916kg/l

La glace, qui flotte, forme une couche isolante de protection à la surface de l'étang, réduisant ainsi l'arrivée du courant chaud vers l'air froid.

Cohésion de l'eau

Capillarité : la hauteur atteinte par le liquide est inversement proportionnelle au rayon du tube

**La cohésion de l'eau permet à la colonne d'eau
De monter plusieurs dizaine de mètres**

Captation de la lumière : photosynthèse.



Propriétés de solvatation

Nature de l'eau : excellent solvant pour

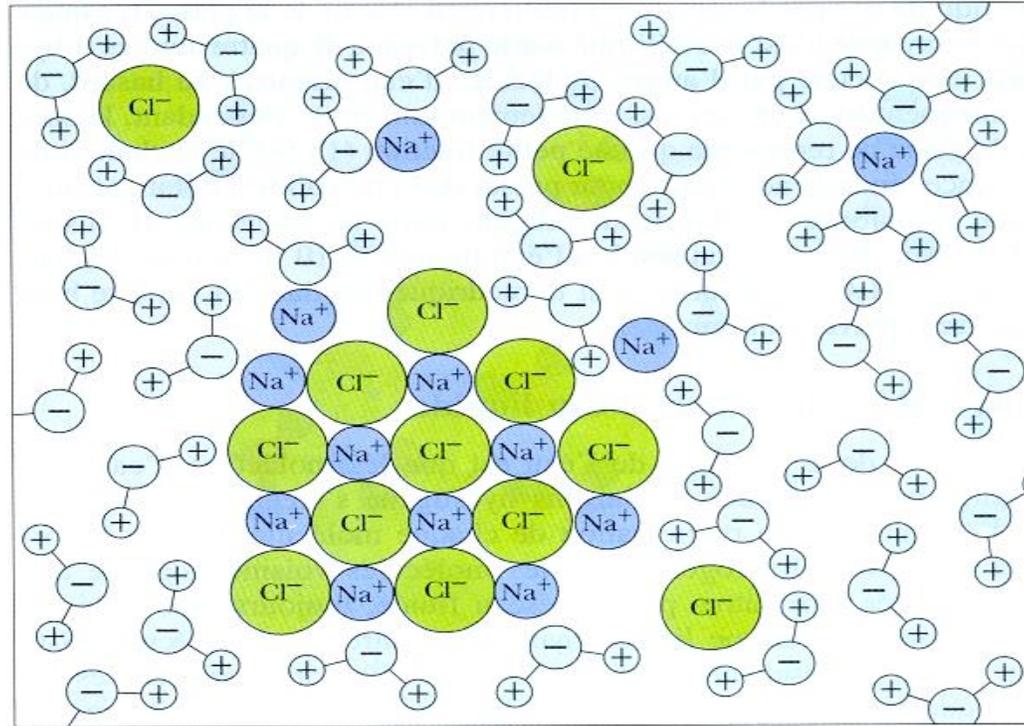
- 1) des substances ionisables (sels, NaCl)**
- 2) des substances non ionisables
mais dites polaires (oses, alcools, amines)**

hydrophiles

**L'eau ne peut pas dissoudre les
composés non polaires et non chargés
Comme les lipides**

hydrophobes

Mise en solution des substances ionisables



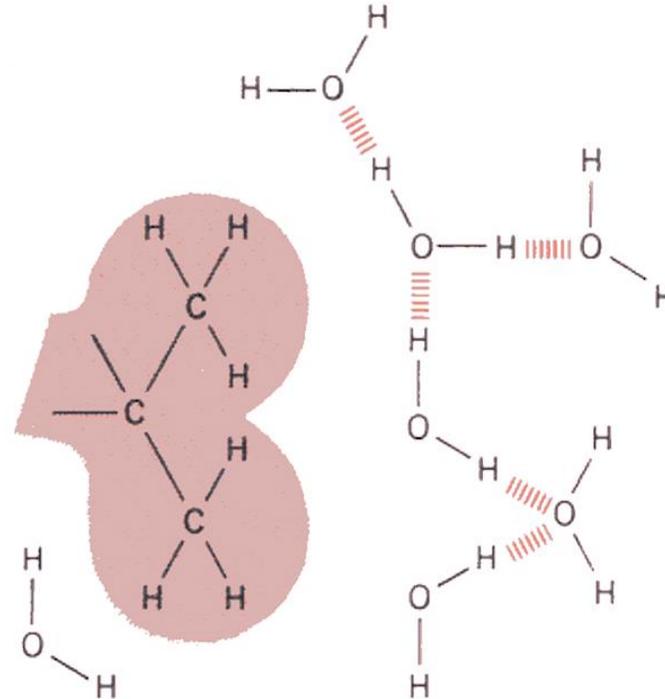
Dissolution du chlorure de sodium dans l'eau : molécules d'eau entourant les ions séparés les uns des autres (attraction de charges opposées) plus fortes que celles qui lient les ions entre eux : solvation

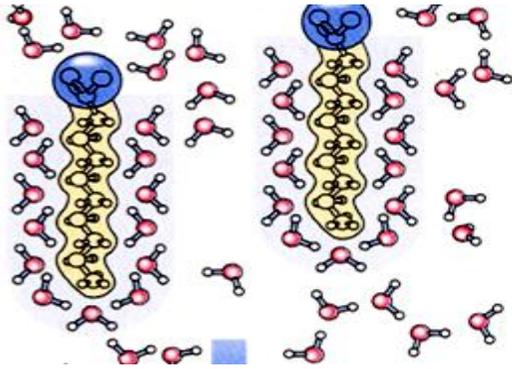
Non mise en solution des substances non ionisables et non polaires

Composés hydrophobes dans l'eau !!

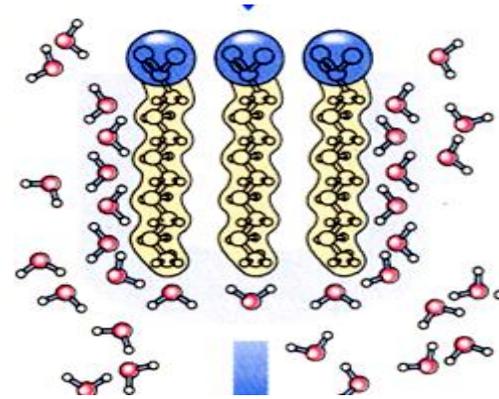
Définition :

Les molécules dépourvues de groupes chargés ou d'atomes capables de former des liaisons hydrogène sont dénommées substances **hydrophobes.**

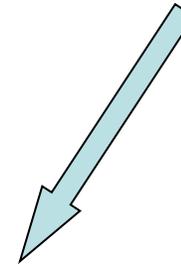
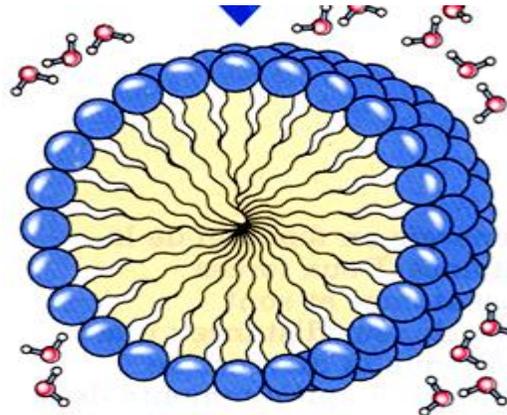




1: Dispersion des lipides dans l'eau :
chaque molécule de lipide oblige les
molécules d'eau à s'organiser



2: Association de molécules lipidiques : seules
les portions lipidiques au bord de l'agrégat
imposent à l'eau une organisation. Le nombre de
molécule d'eau ordonnée diminue



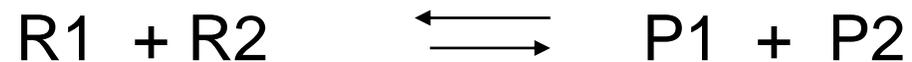
3 : Micelles : tous les groupes
hydrophobes sont séparés de l'eau, il n'y a
pas de coque de molécules d'eau
hautement organisées,

PLAN du COURS

- 5 grandes idées pour bien comprendre
- Atomes, ions
- Liaisons et molécules du vivant
- Le carbone réduit/oxydé
- L'eau, solvant du vivant
- Réactions chimiques, biochimiques
- Acides/bases, pH
- Ai-je bien compris ?

Réactions chimiques

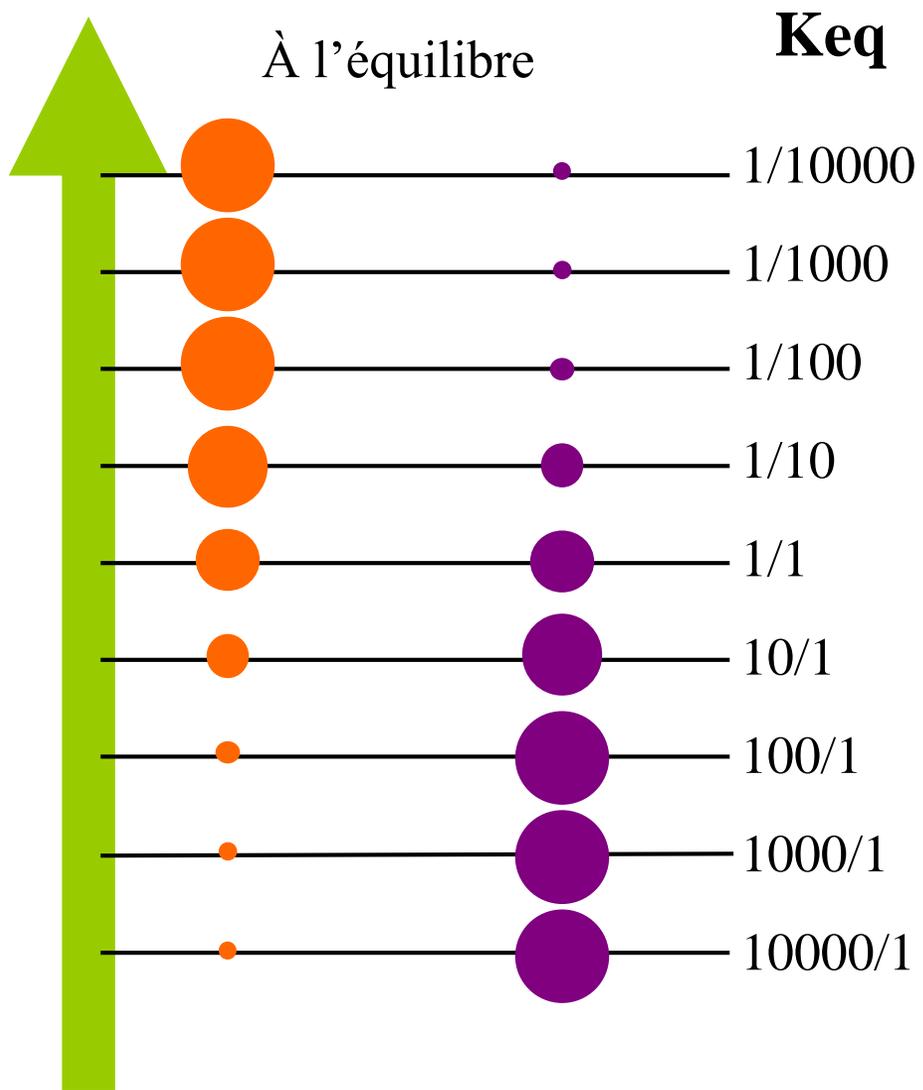
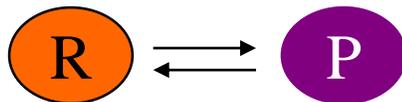
- Une réaction est un réarrangement des atomes d'une ou de plusieurs molécules (les substrats ou les réactifs) pour former une ou des nouvelles molécules (les produits)



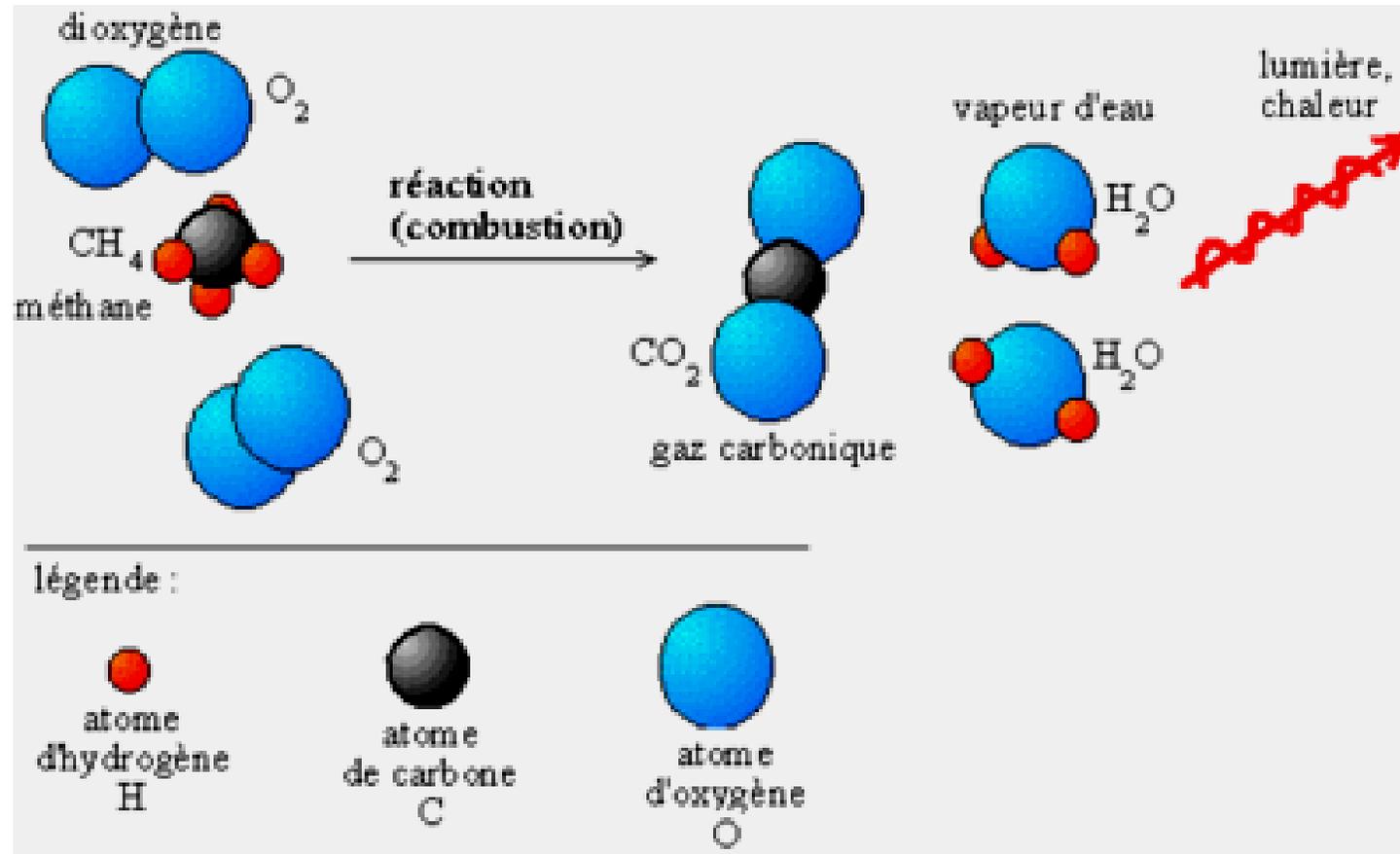
- La double flèche signifie que la réaction a lieu dans un sens ou dans l'autre
- Il y a forcément , pour chaque atome, le même nombre du côté réactifs et du côté produit

Equilibre

- La réaction démarre : la quantité de réactif diminue et la quantité de produit augmente
- La réaction a lieu jusqu'au point d'équilibre ou la quantité de réactif et de produit n'évolue plus
- Ce point d'équilibre est particulier pour chaque réaction
- Pour certaines il y a disparition complète des réactifs en produit (la réaction est dite totale)
- Pour la plupart on obtient une proportion entre les produits et les réactifs qui s'appelle constante d'équilibre K_{eq}



Réaction de combustion



PLAN du COURS

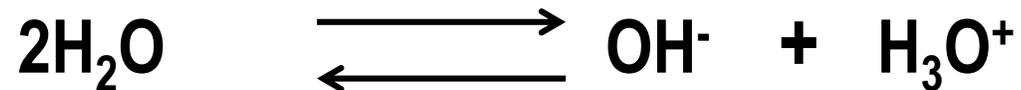
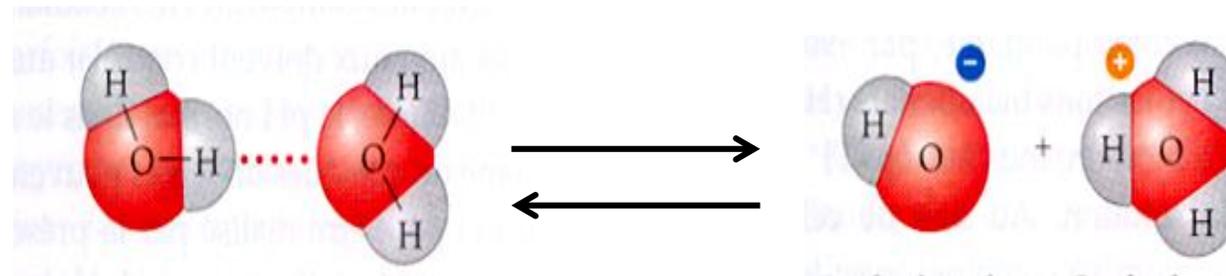
- 5 grandes idées pour bien comprendre
- Atomes, ions
- Liaisons et molécules du vivant
- Le carbone réduit/oxydé
- L'eau, solvant du vivant
- Réactions chimiques, biochimiques
- **Acides/bases, pH**
- Ai-je bien compris ?

Ionisation de l'eau



L'eau, même pure, est un mélange de H_2O , H^+ et OH^- car la molécule d'eau est constamment soumise à la réaction de dissociation

Le proton n'existant pas seul dans l'eau on écrit :



La dissociation de l'eau se poursuit jusqu'à ce que 10^{-7} moles de H^+ et 10^{-7} moles de OH^- soient présentes à l'équilibre, dans un litre d'eau à 25°C

Acide / Base

Définitions simples des acides et des bases

* un acide, **HA**, est un donneur de protons **H⁺** :



→ Base conjuguée de l'acide HA

* une base, **B**, est un accepteur de protons **H⁺** :



→ Acide conjuguée de la base B

Définition du pH (potentiel d 'Hydrogène)

pH est le l'opposé du logarithme décimal de la concentration des H_3O^+

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

Pour l'eau pure : $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7}$ M donc $\text{pH} = 7$

On peut avoir des espèces qui produisent des H^+ (et donc des H_3O^+) ou qui en consomment

si $\text{pH} < 7$ la solution est dite « **acide** »

si $\text{pH} > 7$ la solution est dite « **basique** »

pH de divers fluides communs

Fluide	pH
Lessive de soude	13,6
Eau de javel	12,6
Ammoniaque (pour le ménage)	11,4
Lait de magnésie	10,3
Bicarbonate de sodium	8,4
Eau de mer	8,0
Suc pancréatique	7,8-8,0
Plasma sanguin	7,4
Fluides intracellulaires	
Foie	6,9
Muscle	6,1
Salive	6,6
Urine	5-8
Acide borique	5,0
Bière	4,5
Jus d'orange	4,3
Jus de pamplemousse	3,2
Vinaigre	2,9
Boissons gazeuses non alcoolisées	2,8
Jus de citron	2,3
Suc gastrique	1,2-3,0
Acide d'un accumulateur	0,35

pH plasma sanguin : 7.4
soit $10^{-7.4} = 4 \cdot 10^{-8}$ M de H^+

Pathologies avec pH ↘ jusqu'à 6.8

$[H^+] = 10^{-6.8}$ soit $1.6 \cdot 10^{-7}$

quatre fois plus de proton : mort

Des systèmes « tampons » régulent le pH

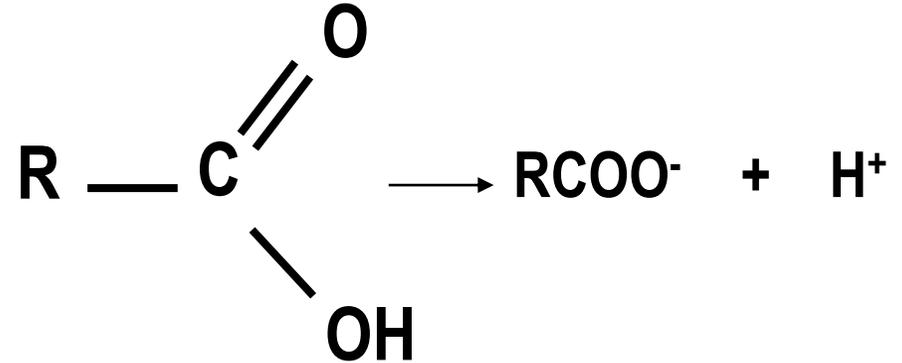
- Un mélange de base et d'acide en proportion égale permettent de maintenir le pH dans une gamme précise : système tampon.
- Le pH du sang est maintenu entre 7.2 et 7.4 par le tampon bicarbonate (base)/acide carbonique (acide).

En biologie c 'est le groupement carboxyle qui possède la fonction acide et qui donne les protons

Carboxyle

-COOH

Acides
carboxyliques

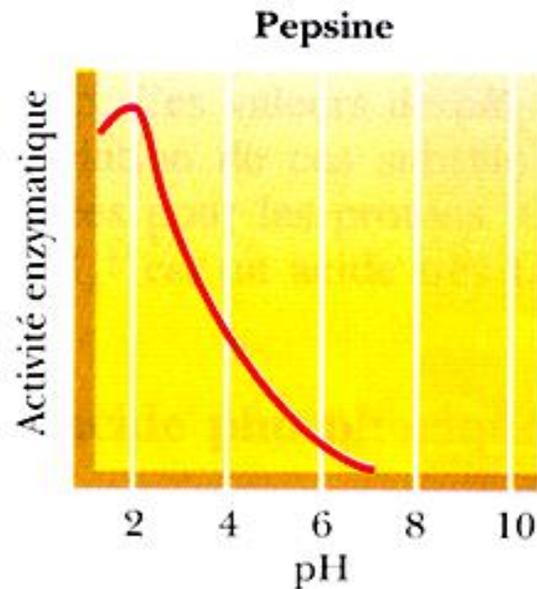


R = CH₃ : acide acétique

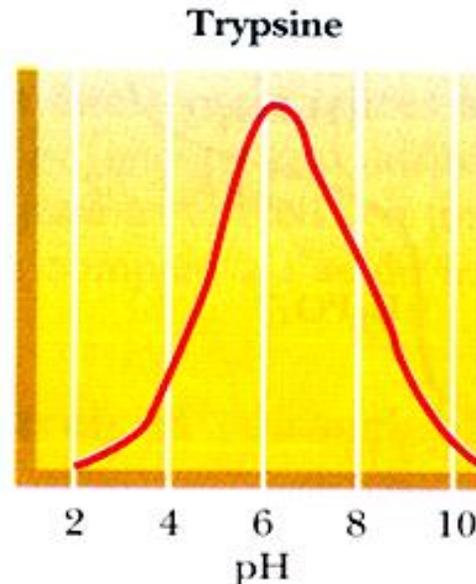
= CH₃CHOH : acide lactique

Le maintien du pH est vital pour toutes les cellules

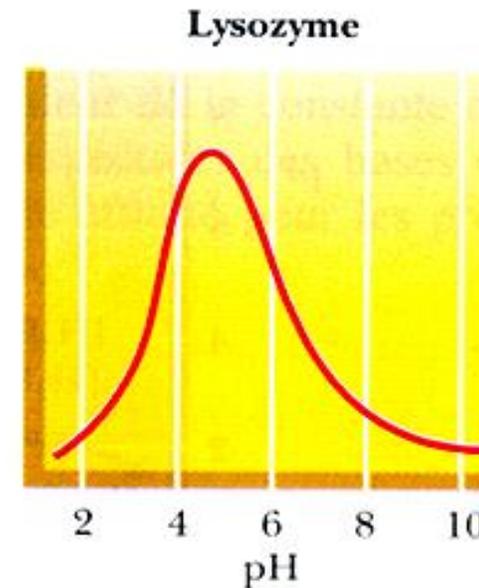
Le pH optimum d'un enzyme est l'une de ses plus importantes caractéristiques.



La pepsine est un enzyme de la digestion des protéines, elle est active dans le suc gastrique.



La trypsine est également un enzyme protéolytique mais elle agit dans le milieu plus alcalin de l'intestin grêle.



Le lysozyme digère les parois bactériennes; il est présent dans les larmes.

Ai-je bien compris ??

- Le différents niveaux d'organisation de la matière et du vivant
- Les molécules sont constituées d'atomes assemblés par liaison covalente
- des liaisons faibles, ionique par exemple existent et sont importante pour le vivant
- Rôle particulier du carbone
 - Squelette des molécules du vivant : importance de la structure
 - Source d'électrons lorsqu'il est réduit pour l'énergie du vivant
- La particularité de la molécule d'eau, polaire, et son influence sur l'eau liquide, solvant de la vie
- La réaction chimique ou biochimique est souvent un équilibre
- La définition du pH, son importance et sa régulation par des systèmes tampons

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées aux Instituts de Formation en Soins Infirmiers de la région Rhône-Alpes.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits dans les Instituts de Formation en Soins Infirmiers de la région Rhône-Alpes, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.