

Les Interactions et l'eau

support CM : Pr H. Becker
courriel : h.becker@unistra.fr

Institut de Physiologie et de Chimie Biologique

https://dyps.unistra.fr/websites/gmgm/equipe-dyps/Cours_PDF/H2O_L1S2_cours1.pdf

Plan

Généralités sur l'importance des liaisons/interactions et leur niveau d'énergie

I. La liaison covalente

1. Quels sont les atomes qu'on lie ou avec lesquels on interagit en biochimie?
2. Valence de C, H, O, N, P et liaison covalente
3. Les liaisons covalentes des molécules biologiques
4. Les groupements fonctionnels des molécules biologiques

II. Les interactions non covalentes en biochimie et l'implication de l'eau

1. La force de van der Waals
2. Le Rayon de van der Waals (**RVD**)
3. La liaison ionique: une forme d'interaction électrostatique
4. L'eau: un dipôle électrique qui forme des liaisons hydrogène
5. Liaisons H en biologie: les groupements donneurs & accepteurs impliqués
6. Interaction hydrophobes: molécules polaire et de non polaires

III. L'eau & les solutés

1. L'eau liée est essentielle à la fonction des protéine/enzymes
2. Les soluté peuvent changer les propriétés de l' H_2O
3. La pression osmotique
4. Effet de la pression osmotique sur les cellules
5. L'ionisation de l'eau et la protolyse de l'eau
6. Le produit ionique (K_w) de l'eau et l'échelle de pH
7. Échelle de pH et quelques exemples
8. Hydrolyse d'un ester par une base
9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base

Supports du cours

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/>


NCBI Resources How To Sign in to NCBI

Bookshelf Books stryer biochemistry Search

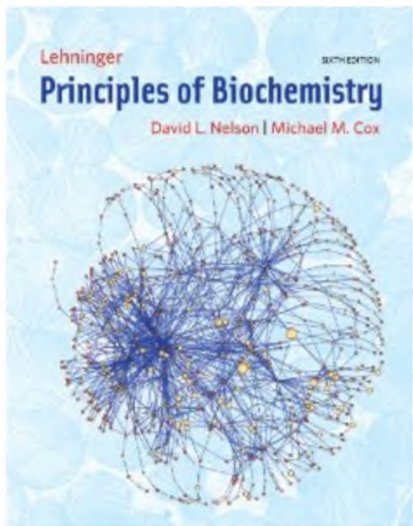
Browse Titles Save search Limits Advanced Help

Display Settings: Summary, 20 per page, Sorted by Relevance Send to:

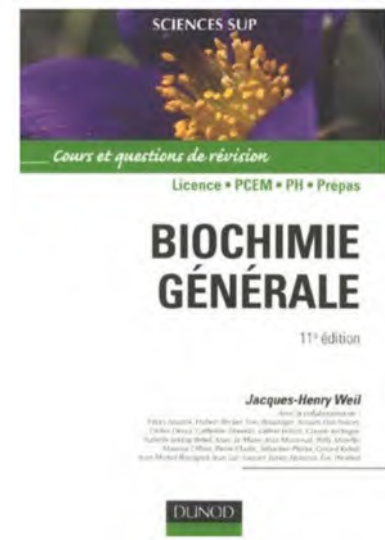
Results: 16

-  [Biochemistry, 5th edition.](#)
Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L.
New York: W H Freeman; 2002.
[Top results in this book](#) [Table of Contents](#)

Lehninger



Biochimie Générale J-H Weil



<http://www.genome.jp/kegg/>

<https://www.jove.com/education/biology-list>

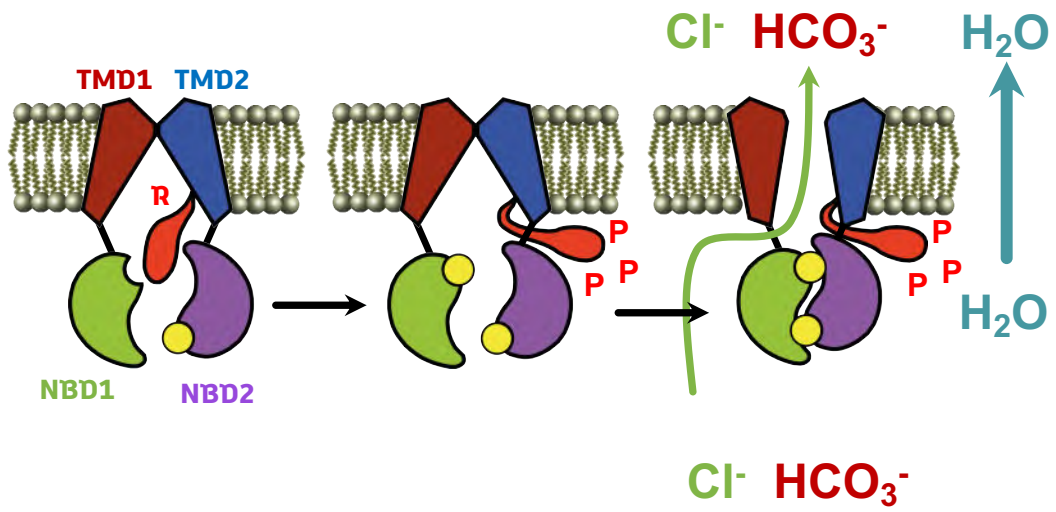
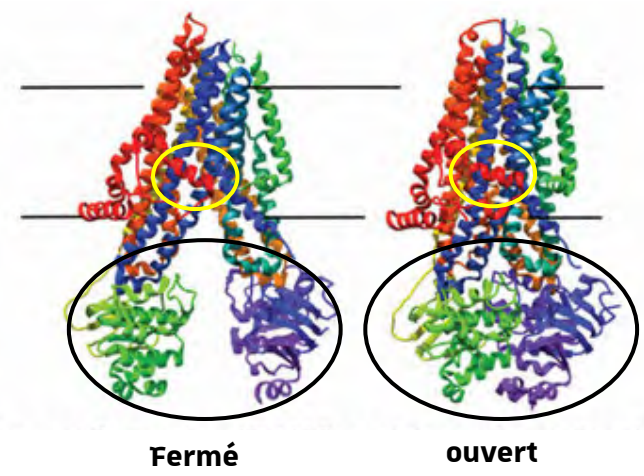
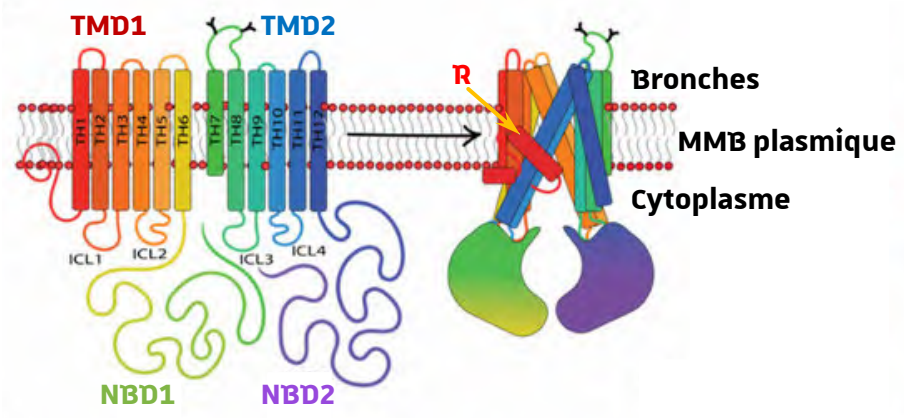
Généralités

1. Différents types de représentations des atomes & molécules
2. Noms et nomenclatures
3. Types d'interactions (liaisons)
4. Niveaux d'organization en biochimie
5. Synthèse et lyse de liaisons ... le lien avec H₂O

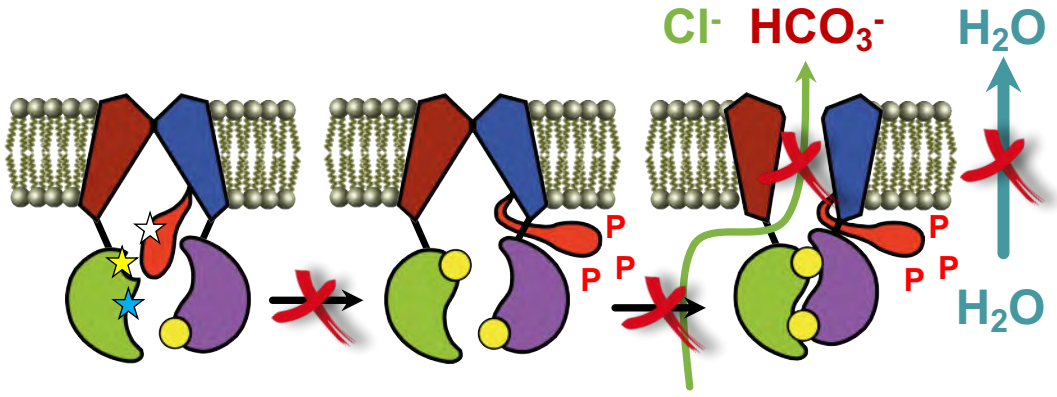
Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

La mucoviscidose, littéralement "maladie des mucus visqueux", également nommée fibrose kystique du pancréas (ou en anglais cystic fibrosis, CF), est la maladie génétique grave la plus fréquente dans les populations de type caucasienne (population blanche occidentale). On estime qu'une personne sur 25 serait porteuse de cette maladie, soit environ deux millions de porteurs sains. [\[https://laboratoire-recherche-brest.net/notre-mission-la-mucoviscidose-pxl-47_63.html\]](https://laboratoire-recherche-brest.net/notre-mission-la-mucoviscidose-pxl-47_63.html)

CFTR: Cystic Fibrosis Transmembrane conductance Regulator

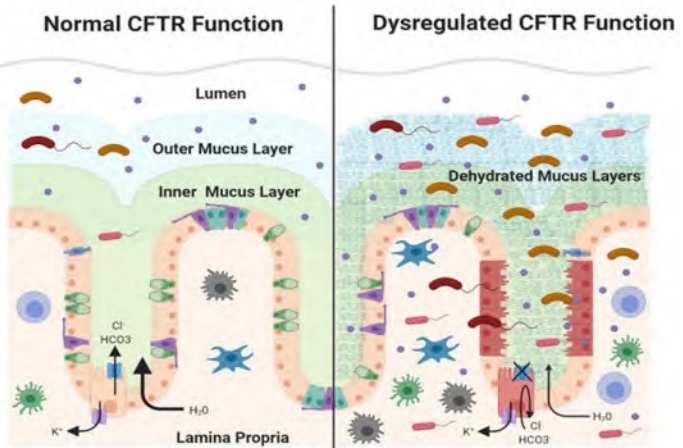


Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

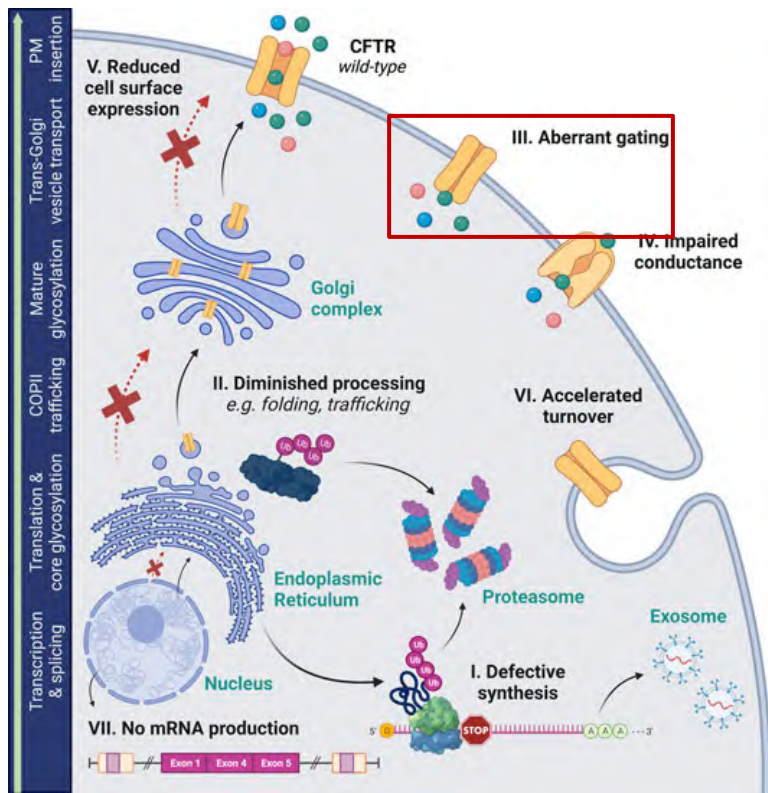


Le canal ne s'ouvre plus si:

- ☆ Mutation d'un résidu empêchant la phosphorylation de **R**
- ★ Mutation d'un résidu empêchant la fixation ATP dans **NBD1**
- ★ Mutation d'un résidu empêchant interaction **NBD1-NBD2**



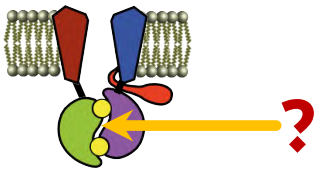
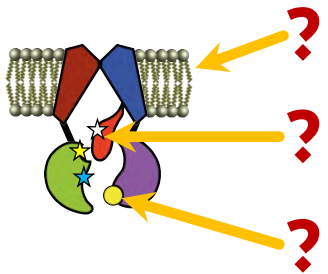
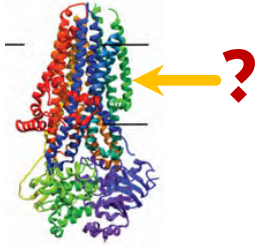
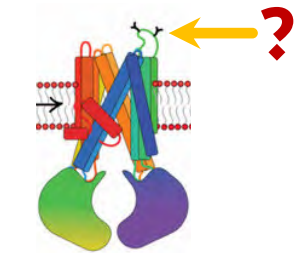
- Legend :
- Normal Epithelial Cell
 - KCNQ1 Channel
 - Dendritic Cell
 - CFTR Channel
 - Macrophage
 - Inflamed Epithelial Cell
 - Bacteria and other microflora
 - Fibroblast
 - Lymphocyte



- Class I. Defective synthesis**
G542X, 3120+1G>A
- Class II. Diminished processing**
F508del, N1303K, A559T
- Class III. Aberrant gating**
G551D, S549N
- Class IV. Impaired conductance**
R117H, R334W, D1152H
- Class V. Reduced cell surface expression**
3849+10kbC>T, A455E
- Class VI. Accelerated turnover**
120del23
- Class VII. No mRNA production**
CFTRdele2,3

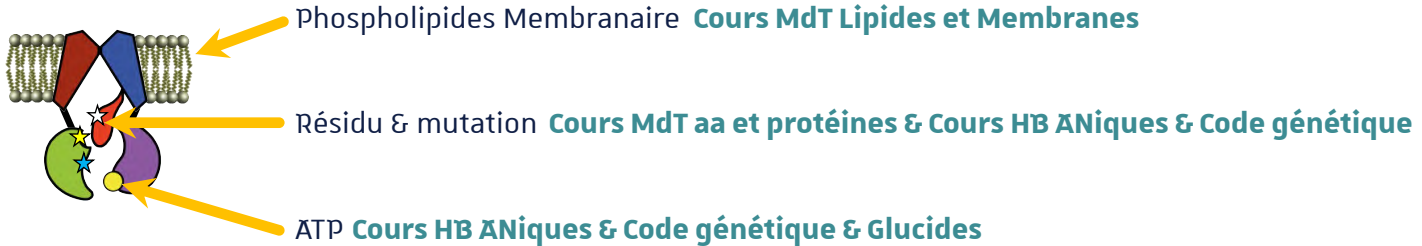
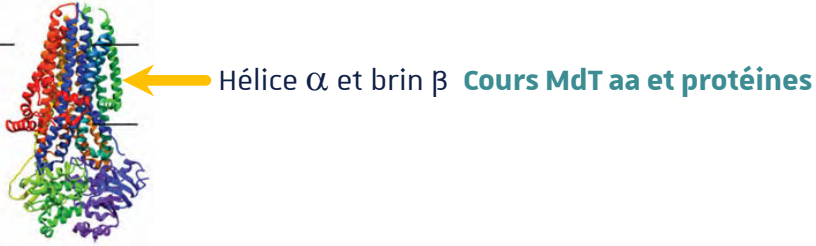
Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

Représentations et nom ?



Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

Quand et où en parlera-t-on?

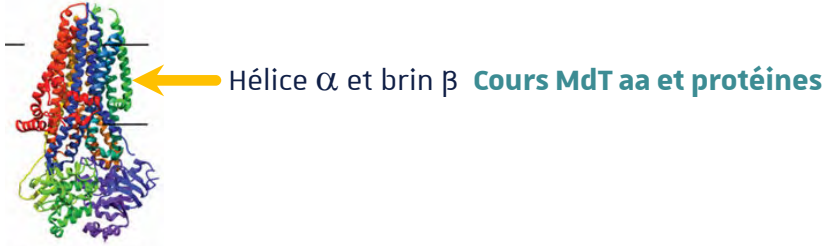


Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?



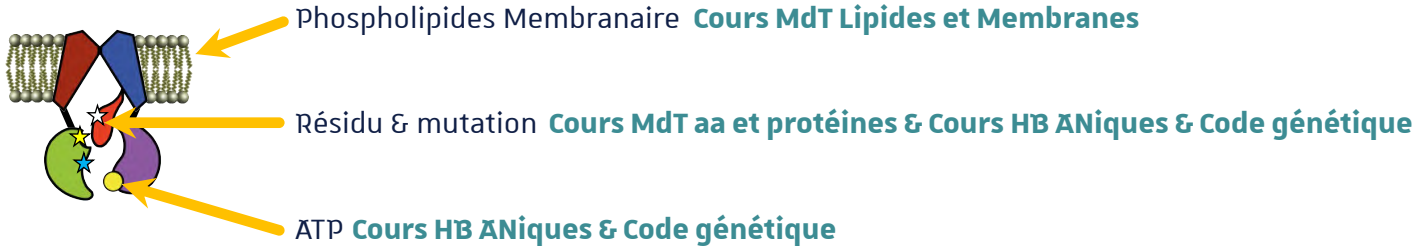
Glycosylée **Cours HB Glucides**



Hélice α et brin β **Cours MdT aa et protéines**



Gène – exon – intron **Cours HB Acides Nucléiques**



Phospholipides Membranaire **Cours MdT Lipides et Membranes**

Résidu & mutation **Cours MdT aa et protéines & Cours HB ANiques & Code génétique**

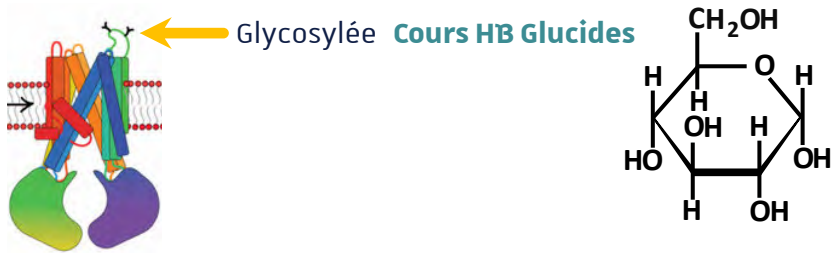
ATP **Cours HB ANiques & Code génétique**



Interactions **Cours HB Interaction & H₂O**

Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

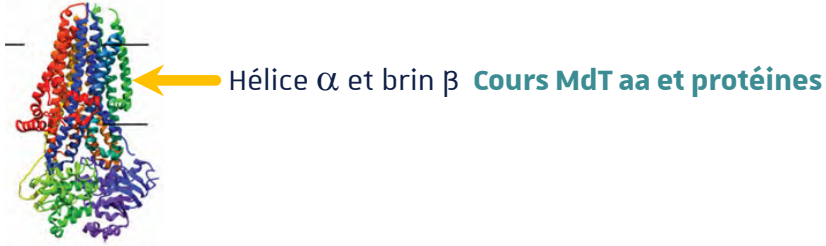
Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?



Glycosylée **Cours HB Glucides**

OCC1OC(O)C(O)C(O)O1

The diagram shows a protein structure with a glycan chain attached to its surface. To the right is a Haworth projection of a glucose molecule, showing its six-membered ring structure with hydroxyl groups at various positions.



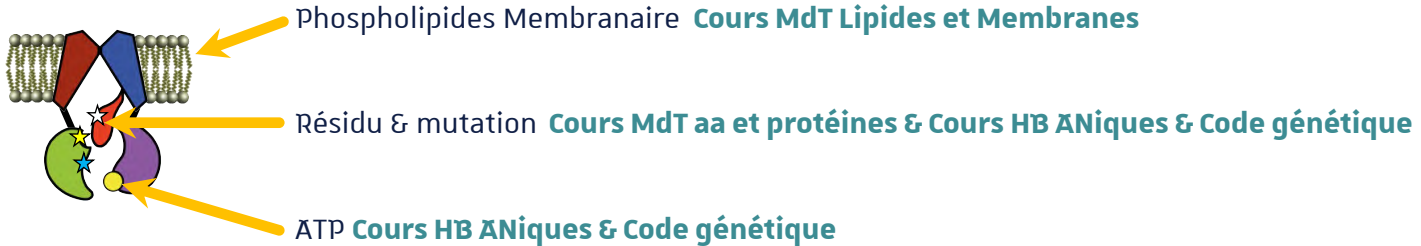
Hélice α et brin β **Cours MdT aa et protéines**

The diagram illustrates a complex protein structure composed of multiple alpha helices (represented as red and blue coils) and beta strands (represented as green and purple sheets).



Gène – exon – intron **Cours HB Acides Nucléiques**

The diagram shows a linear sequence of DNA with three exons (labeled Exon 1, Exon 4, Exon 5) and two introns (represented by lines with arrows) connecting them.



Phospholipides Membranaire **Cours MdT Lipides et Membranes**

Résidu & mutation **Cours MdT aa et protéines & Cours HB ANiques & Code génétique**

ATP **Cours HB ANiques & Code génétique**

The diagram shows a protein embedded in a phospholipid bilayer. A specific residue is highlighted with a star and labeled as a mutation. An ATP molecule is shown bound to the protein.



Interactions **Cours HB Interaction & H₂O**

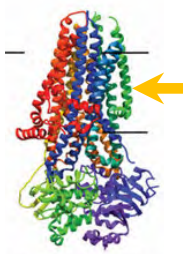
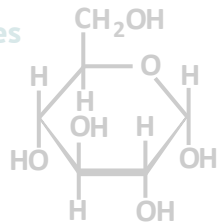
The diagram shows two protein subunits interacting with each other, with water molecules (represented as small red and white spheres) mediating the interaction.

Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

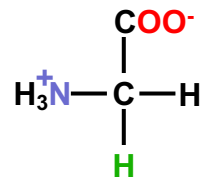
Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?



Glycosylée Cours HB Glucides



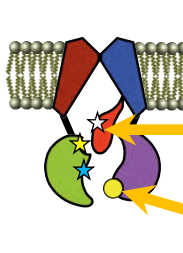
Hélice α et brin β Cours MdT aa et protéines



Class III.
Aberrant gating
G551D, S549N ?



Gène - exon - intron Cours HB Acides Nucléiques



Phospholipides Membranaire Cours MdT Lipides et Membranes
Résidu & mutation Cours MdT aa et protéines & Cours HB ANiques & Code génétique
ATP Cours HB ANiques & Code génétique



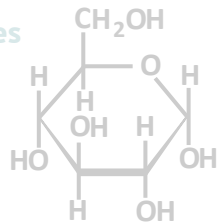
Interactions Cours HB Interaction & H₂O

Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

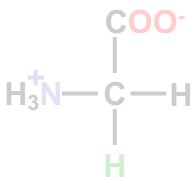
Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?



Glycosylée Cours HB Glucides



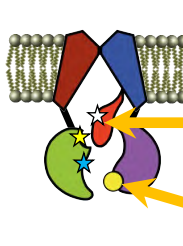
Hélice α et brin β Cours MdT aa et protéines



Class III. Aberrant gating G551D, S549N ?



Gène – exon – intron Cours HB Acides Nucléiques



Phospholipides Membranaire Cours MdT Lipides et Membranes

Résidu & mutation Cours MdT aa et protéines & Cours HB ANiques & Code génétique

ATP Cours HB ANiques & Code génétique

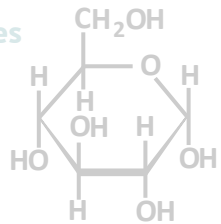


Interactions Cours HB Interaction & H₂O

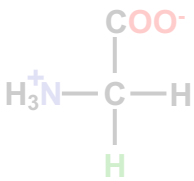
Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?

Glycosylée **Cours HB Glucides**

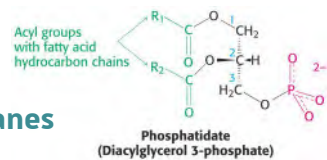



Hélice α et brin β **Cours MdT aa et protéines**





Class III. Aberrant gating G551D, S549N ?

Gène - exon - intron **Cours HB Acides Nucléiques**

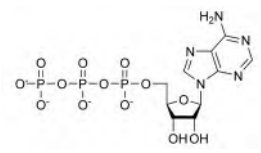
Phospholipides Membranaire **Cours MdT Lipides et Membranes**



Résidu & mutation **Cours MdT aa et protéines & Cours HB ANIques & Code génétique**



ATP **Cours HB ANIques & Code génétique**



| | | Deuxième lettre | | | | |
|------------------|---|-----------------|-----|------|------|---|
| | | U | C | A | G | |
| Première lettre | U | Phe | Ser | Tyr | Cys | U |
| | C | Leu | Ser | Stop | Stop | C |
| | A | Leu | Pro | His | Arg | A |
| | G | Leu | Pro | Gln | Arg | G |
| Troisième lettre | U | Leu | Ser | Stop | Tip | U |
| | C | Leu | Pro | His | Arg | C |
| | A | Ile | Thr | Asn | Ser | A |
| | G | Val | Ala | Asp | Gly | G |

Interactions **Cours HB Interaction & H₂O**



Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?

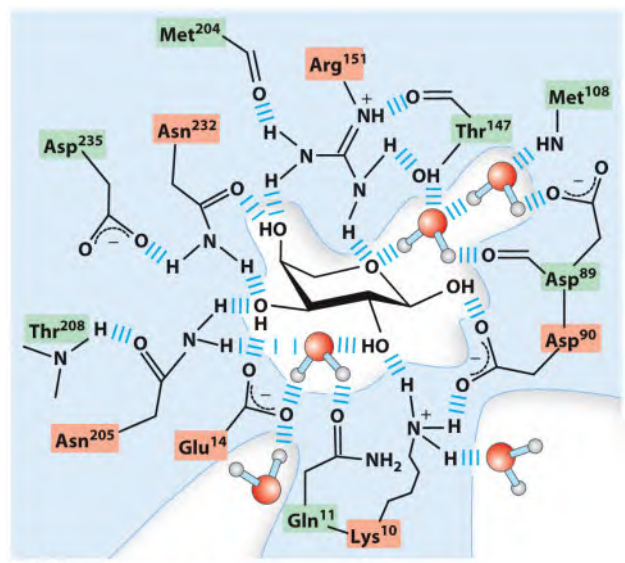
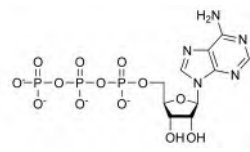
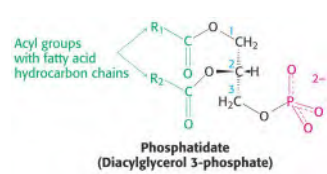
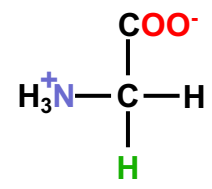
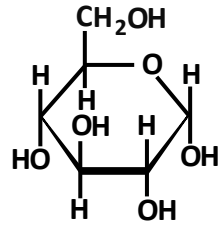
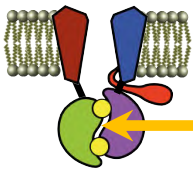


Figure 2-11
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company
L-arabinose-binding protein of the bacterium *E. coli*



Interactions Cours HB Interaction & H₂O

Pourquoi la notion d'interactions est-elle importante ?

Des exemples ? Vos Connaissances à ce sujet ?

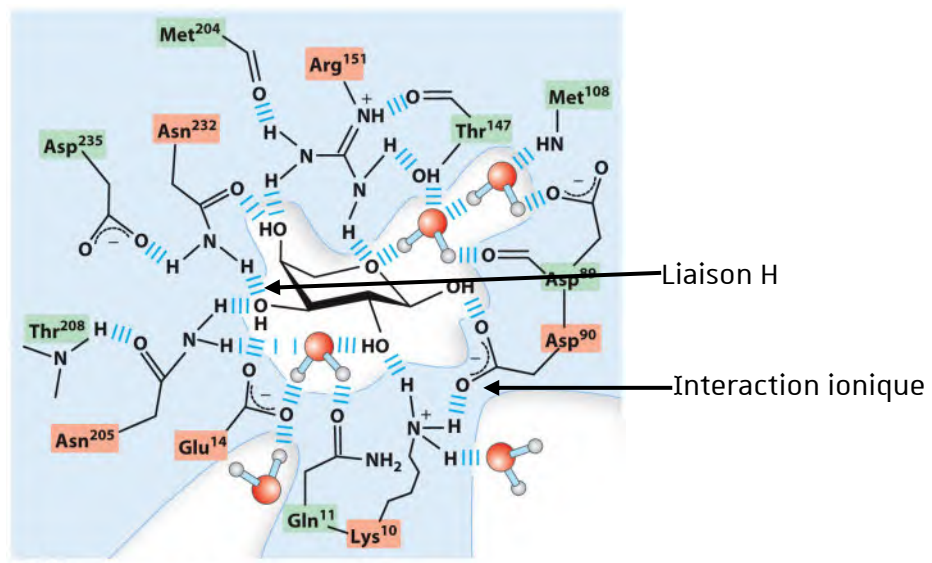
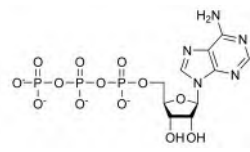
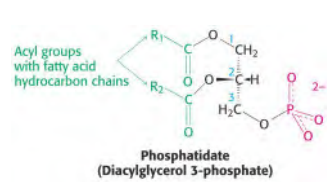
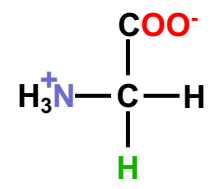
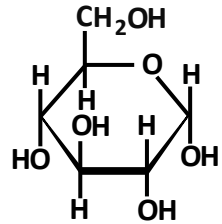
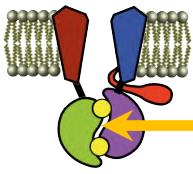


Figure 2-11
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company
L-arabinose-binding protein of the bacterium *E. coli*



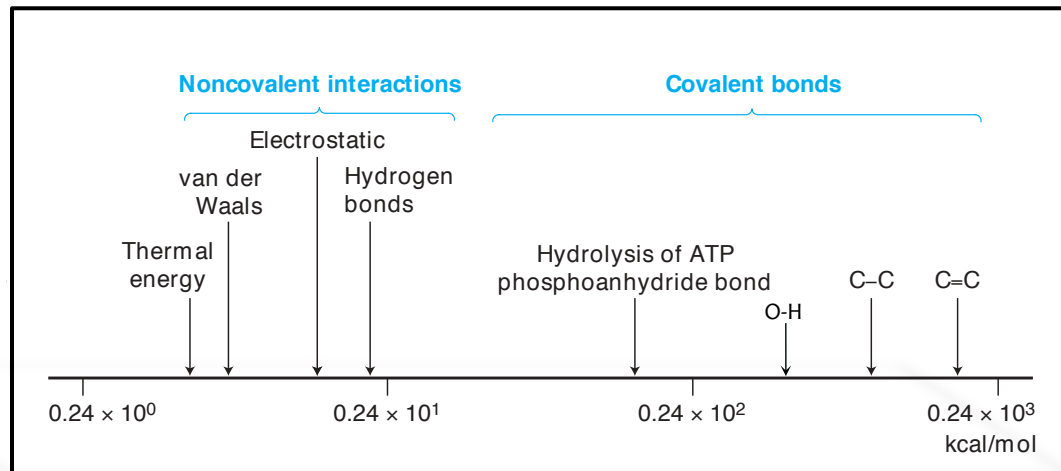
Interactions **Cours HB Interaction & H₂O**

- Liaison covalente
- Liaisons non covalentes
 - Liaison H
 - Interaction électrostatique
 - Interaction de Van der Waals
 - Interaction hydrophobe

L'énergie des différentes liaisons dans les biomolécules

L'énergie individuelle des liaisons non covalentes est relativement faible en comparaison des liaisons covalentes.

Néanmoins, les interactions non covalentes, jouent un rôle **fondamental** dans la structure et la fonction des biomolécules.



modifié de Mol Cell Biol, 5th ed.

énergies relatives (liaisons covalentes / non covalentes)

I. La liaison covalente

1. Quels sont les atomes qu'on lie ou avec lesquels on interagit en biochimie?

- ♦ **C, H, O, N, P**, représentent **99%** de la masse des cellules.
- ♦ les **ions métalliques** (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+}) jouent un rôle important dans le métabolisme et les réactions chimiques effectuées par des enzymes.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He | | | | |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr | | | | |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe | | | | |
| 55 Cs | 56 Ba | | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn | | | | |
| 87 Fr | 88 Ra | ↙ ↘ Lanthanides Actinides | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 1-14

Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

Mariasusai Antony est décédé en 2020, quelques jours après avoir achevé son tableau des isotopes à 90 ans. L'œuvre d'une vie pour ce chercheur de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules de Strasbourg (IN2P3) qui a également travaillé à un nouveau tableau de Mendeleïev publié en 2019.



2. Valence de C, H, O, N, P et liaison covalente

Une liaison **covalente** se forme quand 2 atomes **mettent en commun** une ou plusieurs **paires d'électrons** de valence (doublet liant). Pour savoir combien de liaisons covalentes un atome peut former avec un autre atome, il suffi de connaître la **valence** de l'atome = nombre d'électons que l'atome doit perdre ou gagner pour avoir une couche électronique externe saturée (cad 8 = octet si Z>6)

Nbre couches e-iques






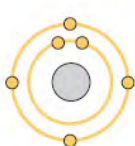
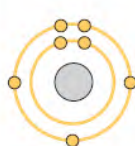
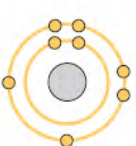






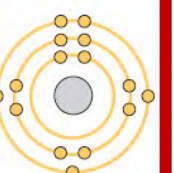



| | Colonne 1 V=1 | Colonne 2 V=2 | Colonne 3 V=3 | Colonne 4 V=4 | Colonne 5 V=5 | Colonne 6 V=6 | | |
|--------------------------|--|---|--|---|--|--|---|---|
| 1 First shell | <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Hydrogen ${}^1_1\text{H}$  </div> | | | | | | <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Helium ${}^2_2\text{He}$  </div> | |
| 2 Second shell | Lithium ${}^3_3\text{Li}$  | Beryllium ${}^4_4\text{Be}$  | Boron ${}^5_5\text{B}$  | <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Carbon ${}^6_6\text{C}$  </div> | <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Nitrogen ${}^7_7\text{N}$  </div> | <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Oxygen ${}^8_8\text{O}$  </div> | Fluorine ${}^9_9\text{F}$  | Neon ${}^{10}_{10}\text{Ne}$  |
| 3 Third shell | Sodium ${}^{11}_{11}\text{Na}$  | Magnesium ${}^{12}_{12}\text{Mg}$  | Aluminum ${}^{13}_{13}\text{Al}$  | Silicon ${}^{14}_{14}\text{Si}$  | <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Phosphorus ${}^{15}_{15}\text{P}$  </div> | Sulfur ${}^{16}_{16}\text{S}$  | Chlorine ${}^{17}_{17}\text{Cl}$  | Argon ${}^{18}_{18}\text{Ar}$  |

Diagram of Helium (He) with labels:

- Atomic number: 2
- Element symbol: He
- Atomic mass: 4.003
- Electron distribution diagram: Shows 2 protons and 2 electrons in the first shell.

Valence de C, H, O, N, P et liaison covalente

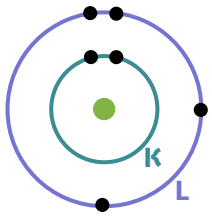
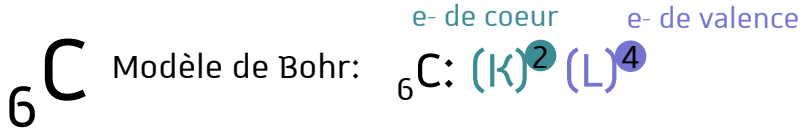
| Name and Molecular Formula | Electron Distribution Diagram | Lewis Dot Structure and Structural Formula | Space-Filling Model |
|---|-------------------------------|--|---------------------|
| <p>(a) Hydrogen (H₂). Two hydrogen atoms share one pair of electrons, forming a single bond.</p> | | <p>H:H H—H</p> | |
| <p>(b) Oxygen (O₂). Two oxygen atoms share two pairs of electrons, forming a double bond.</p> | | <p>Ö::Ö O=O</p> | |
| <p>(c) Water (H₂O). Two hydrogen atoms and one oxygen atom are joined by single bonds, forming a molecule of water.</p> | | <p>Ö:H H O—H H</p> | |
| <p>(d) Methane (CH₄). Four hydrogen atoms can satisfy the valence of one carbon atom, forming methane.</p> | | <p>H H:C:H H H H—C—H H</p> | |

Doublet liant

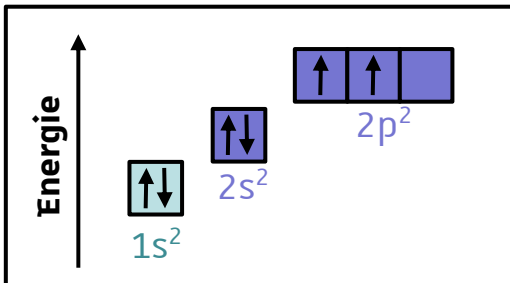
La couche électronique externe de l'O est saturée (8 e⁻)

La couche électronique externe de l'H est saturée (2 e⁻; le doublet liant est comptabilisé pour les 2 atomes)

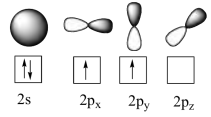
2.1. Pourquoi valence C = 4 et fait 4 liaisons covalentes ?



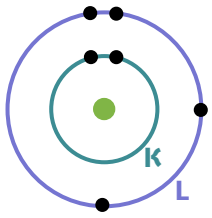
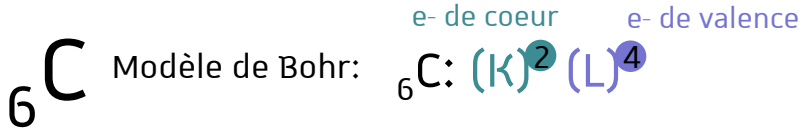
Modèle de Schrödinger: ${}_6\text{C} : 1s^2 2s^2 2p^2$
 Dans son état fondamental



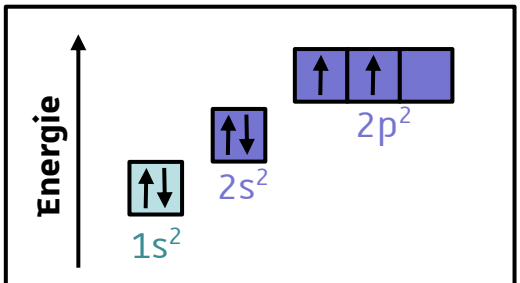
Dans son état fondamental



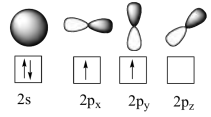
2.1. Pourquoi valence C = 4 et fait 4 liaisons covalentes ?



Modèle de Schrödinger: ${}_6\text{C}: 1s^2 2s^2 2p^2$
 Dans son état fondamental

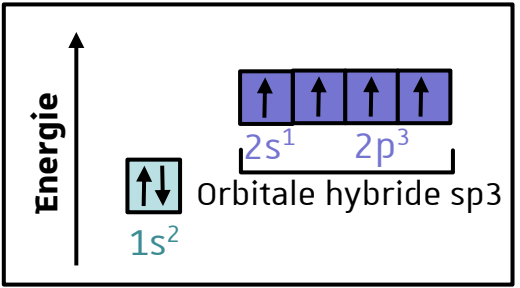


Dans son état fondamental

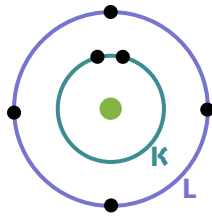
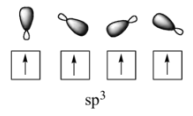


Les e- d'une couche énergétique
 ont toujours tendance à remplir
 le maximum de cases quantiques

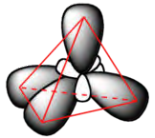
Modèle de Schrödinger: ${}_6\text{C}: 1s^2 2s^1 2p^3$
 Dans son état excité



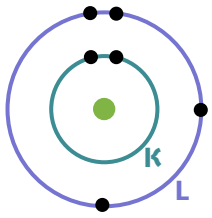
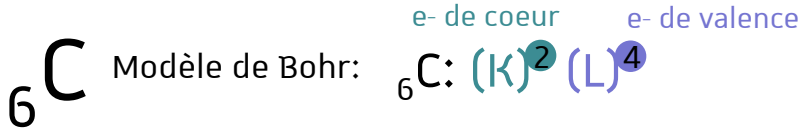
Dans son état excité



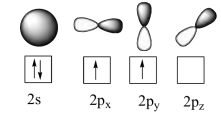
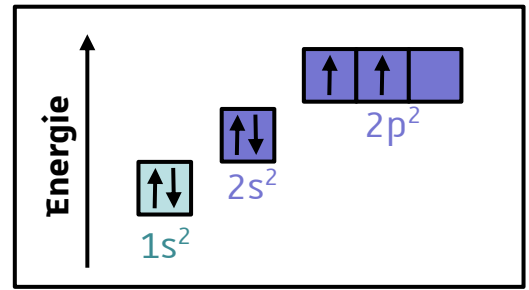
<https://chem.libretexts.org/>



2.1. Pourquoi valence C = 4 et fait 4 liaisons covalentes ?

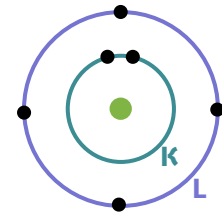
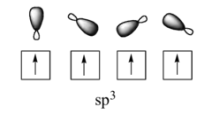
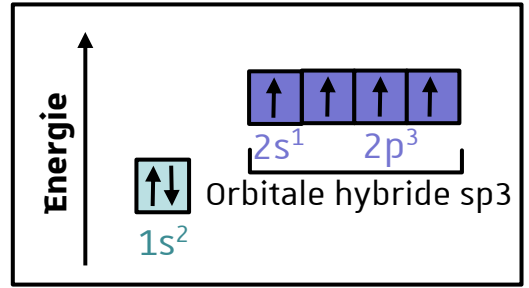


Modèle de Schrödinger: ${}_6\text{C} : 1s^2 2s^2 2p^2$
 Dans son état fondamental

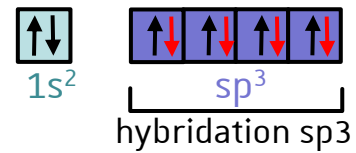
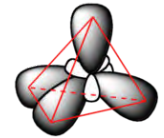


Les e- d'une couche énergétique ont toujours tendance à remplir le maximum de cases quantiques

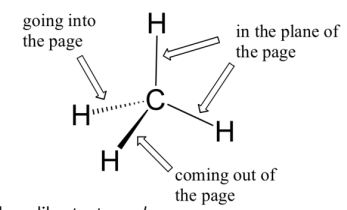
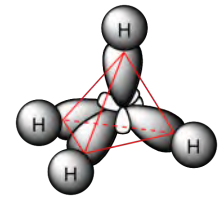
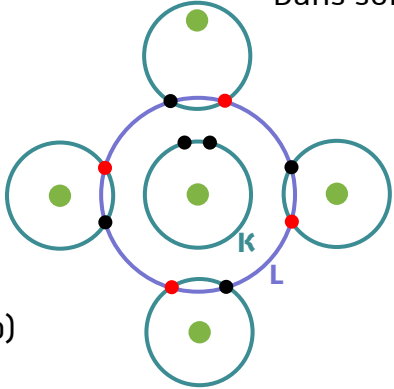
Modèle de Schrödinger: ${}_6\text{C} : 1s^2 2s^1 2p^3$
 Dans son état excité



<https://chem.libretexts.org/>



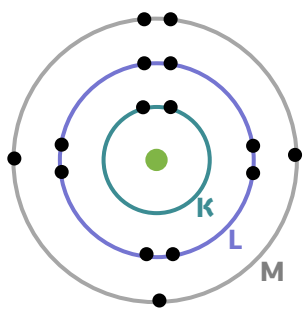
(1 orbitale 2S et 3 orbitales 2p)



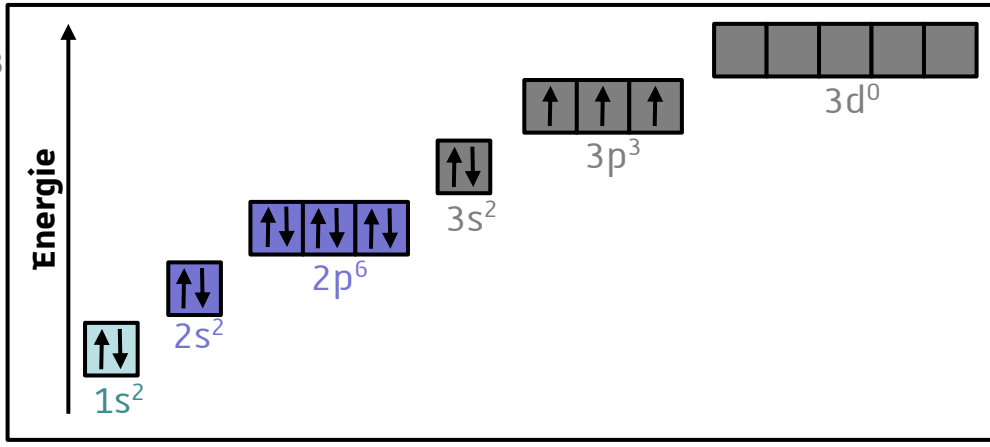
<https://chem.libretexts.org/>

2.2. Pourquoi valence P=5 mais et fait 5 liaisons covalentes ?

^{15}P Modèle de Bohr: $^{15}\text{P}: (\text{K})^2 (\text{L})^8 (\text{M})^5$
e- de coeur e- de valence



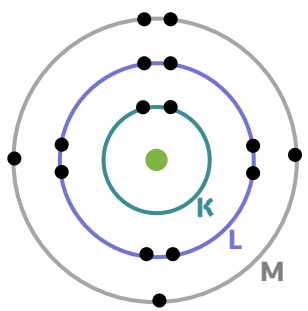
Modèle de Schrödinger: $^{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^3 3s^2 3p^3$
 Dans son état fondamental



2.2. Pourquoi valence P=5 mais et fait 5 liaisons covalentes ?

Modèle de Bohr: ${}_{15}\text{P}: (\text{K})^2 (\text{L})^8 (\text{M})^5$

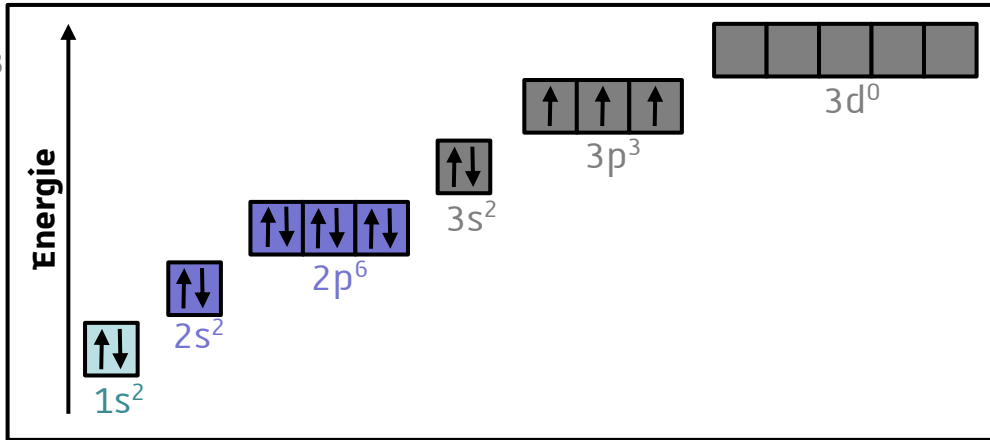
e- de coeur e- de valence



Modèle de Schrödinger: ${}_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

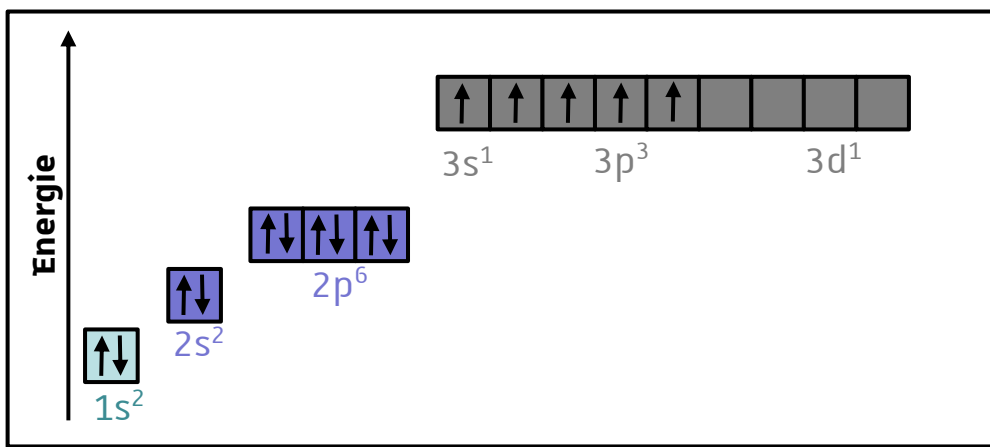
Dans son état fondamental

Les e- d'une couche énergétique ont toujours tendance à remplir le maximum de cases quantiques

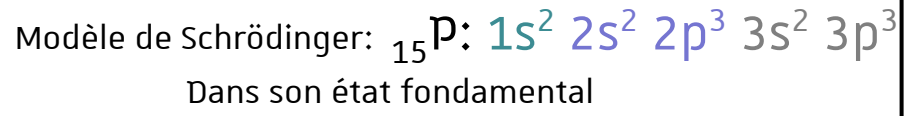
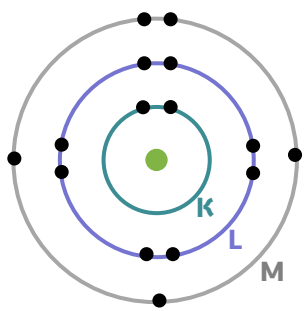
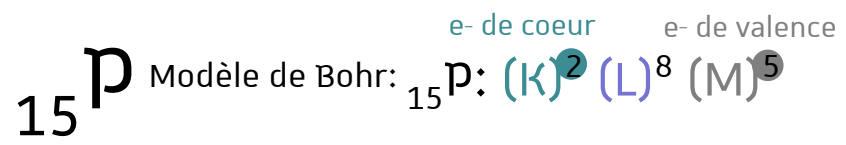


Schrödinger: ${}_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^3 3d^1$

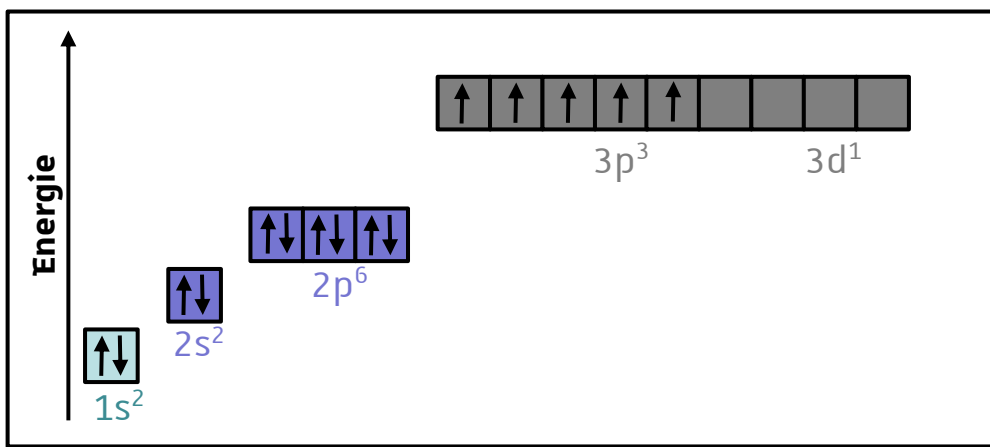
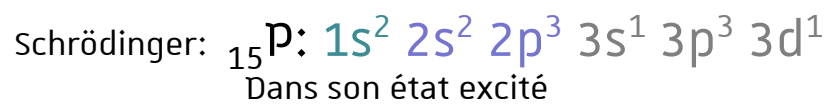
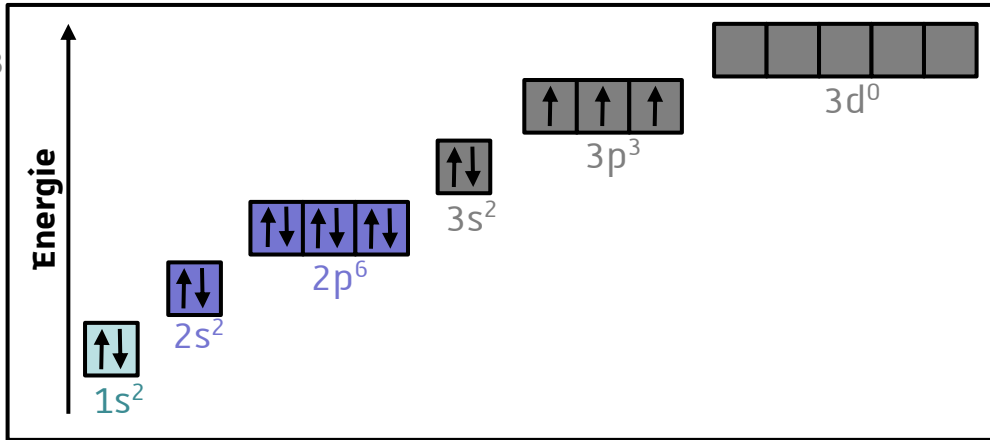
Dans son état excité



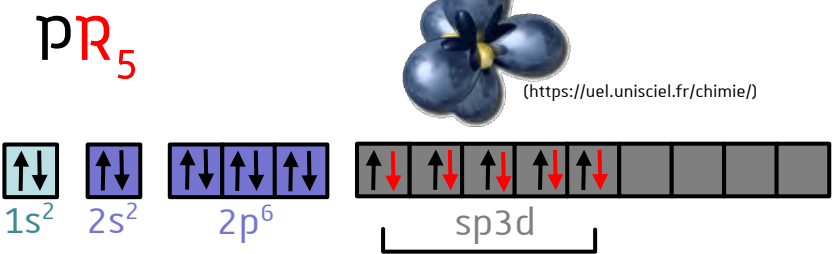
2.2. Pourquoi valence P=5 mais et fait 5 liaisons covalentes ?



Les e- d'une couche énergétique ont toujours tendance à remplir le maximum de cases quantiques



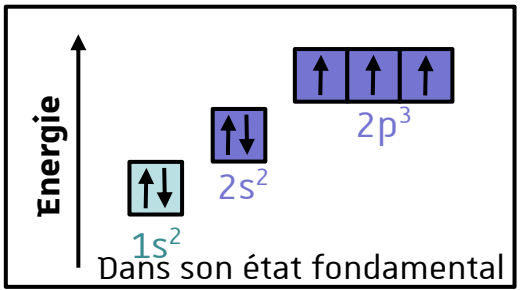
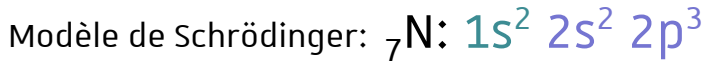
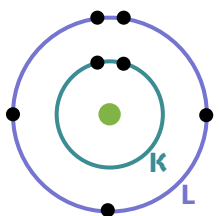
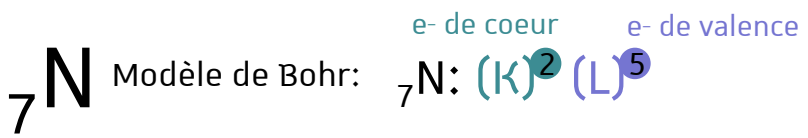
(<https://uel.unisciel.fr/chimie/>)



hybridation sp3d

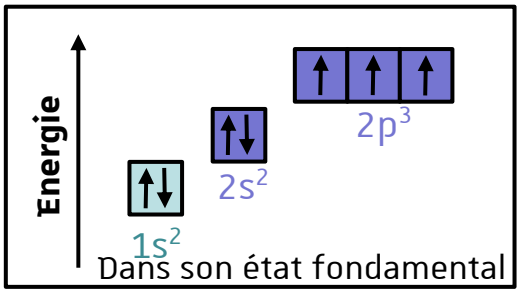
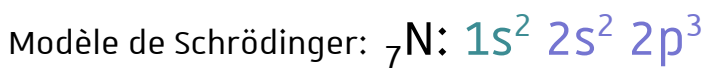
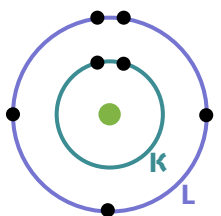
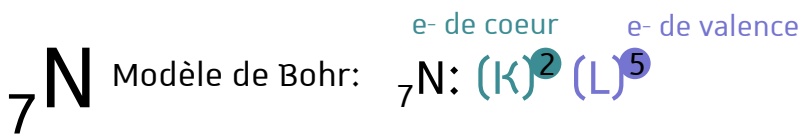
1 orbitale 3s 3 orbitales 3P et 1 orbitale 3d

2.3. Pourquoi valence N=5 mais N fait 3 liaisons covalentes ?



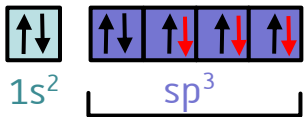
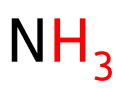
La couche 2 est trop petite pour contenir une sous-couche 2d et c'est pourquoi l'N ne peut pas faire 5 liaisons covalentes.

2.3. Pourquoi valence N=5 mais N fait 3 liaisons covalentes ?

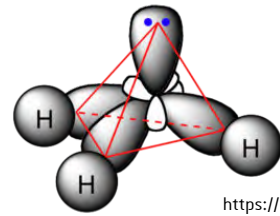
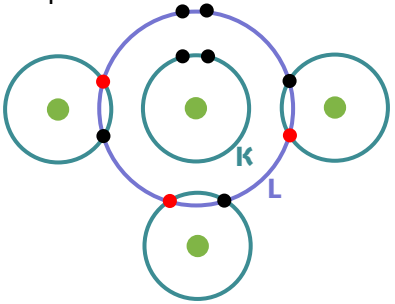


La couche 2 est trop petite pour contenir une sous-couche 2d et c'est pourquoi l'N ne peut pas faire 5 liaisons covalentes.

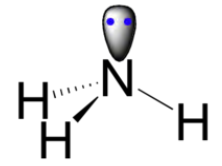
Dans NH₃ on a quand même 4 orbitales avec 1 orbitale occupée par le doublet d'e- libres



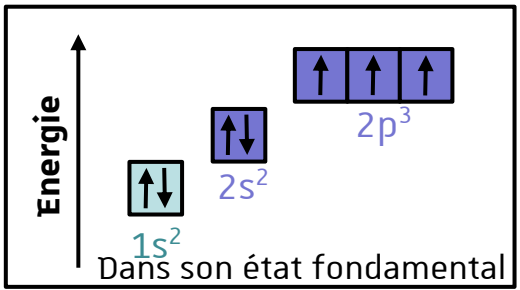
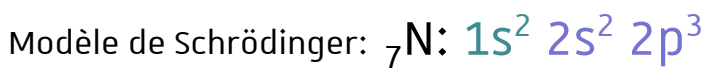
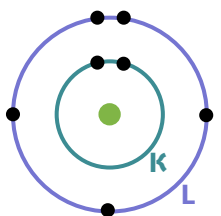
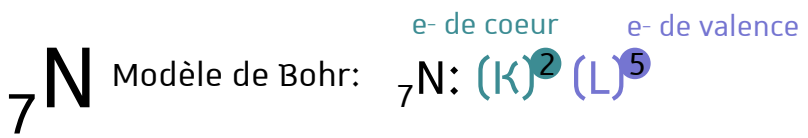
hybridation sp³
(1 orbitale 2s et 3 orbitale 2p)



<https://chem.libretexts.org/>

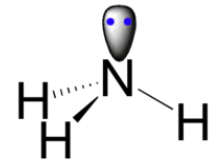
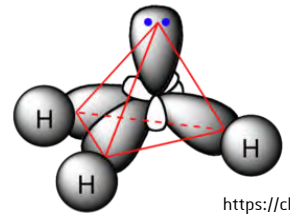
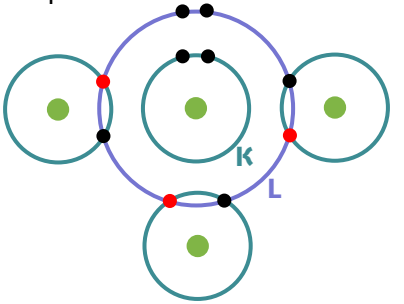
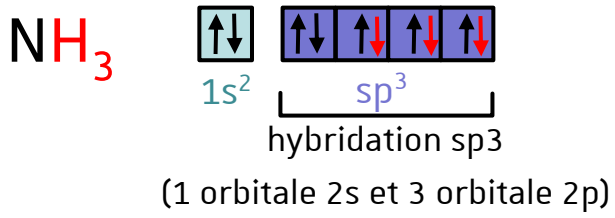


2.3. Pourquoi valence N=5 mais N fait 3 liaisons covalentes ?

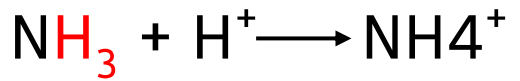


La couche 2 est trop petite pour contenir une sous-couche 2d et c'est pourquoi l'N ne peut pas faire 5 liaisons covalentes.

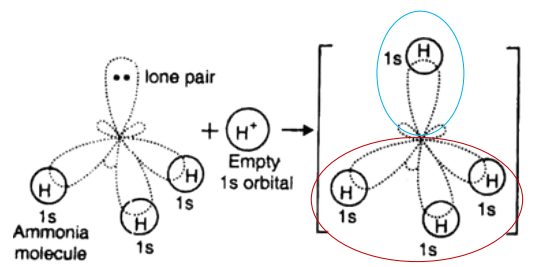
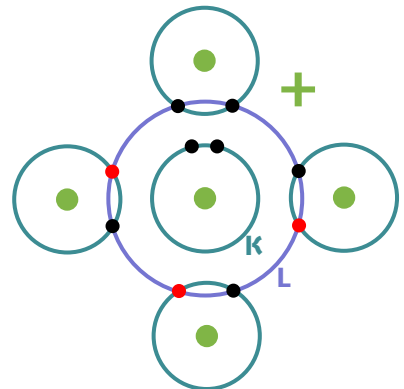
Dans NH₃ on a quand même 4 orbitales avec 1 orbitale occupée par le doublet d'e- libres



<https://chem.libretexts.org/>



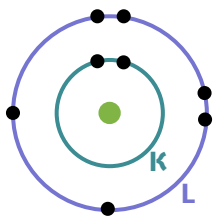
L'ammoniaque est une espèce riche en e- (nucléophile) à cause de sa paire d'e- non liant et peut donner cette paire à un atome électrophile comme par exemple un proton H⁺.



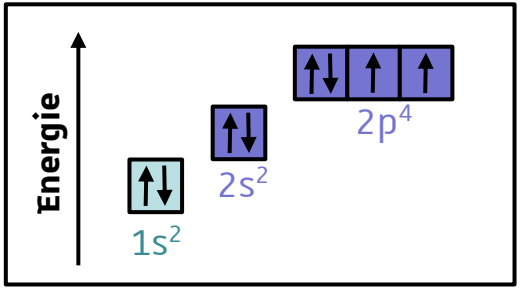
4 orbitales identiques mais **3 liaisons covalentes** et **1 liaison de coordination**

2.4. Pourquoi valence O=6 mais O fait 2 liaisons covalentes ?

8_0 Modèle de Bohr: ${}^8_0\text{O} : (\text{K})^2 (\text{L})^6$
e- de coeur e- de valence



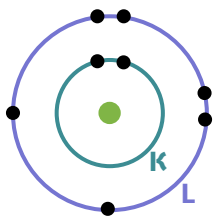
Modèle de Schrödinger: ${}^8_0\text{O} : 1s^2 2s^2 2p^4$



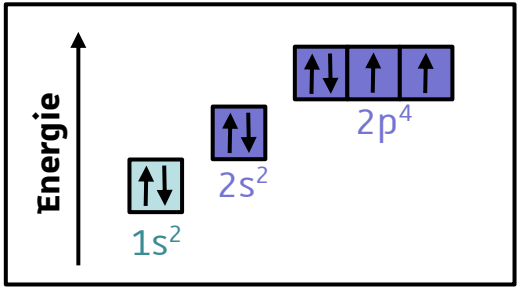
Dans son état fondamental

2.4. Pourquoi valence O=6 mais O fait 2 liaisons covalentes ?

8O Modèle de Bohr: $8\text{O}: (\text{K})^2 (\text{L})^6$
e- de coeur e- de valence

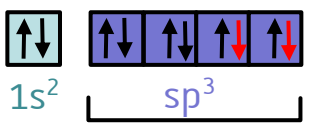


Modèle de Schrödinger: $8\text{O}: 1s^2 2s^2 2p^4$



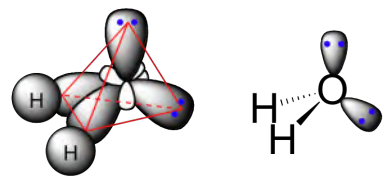
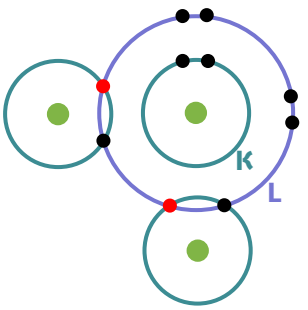
Dans son état fondamental

OH_2



hybridation sp^3

(1 orbitale 2s et 3 orbitale 2p)



<https://chem.libretexts.org/>

3. Les liaisons covalentes des molécules biologiques

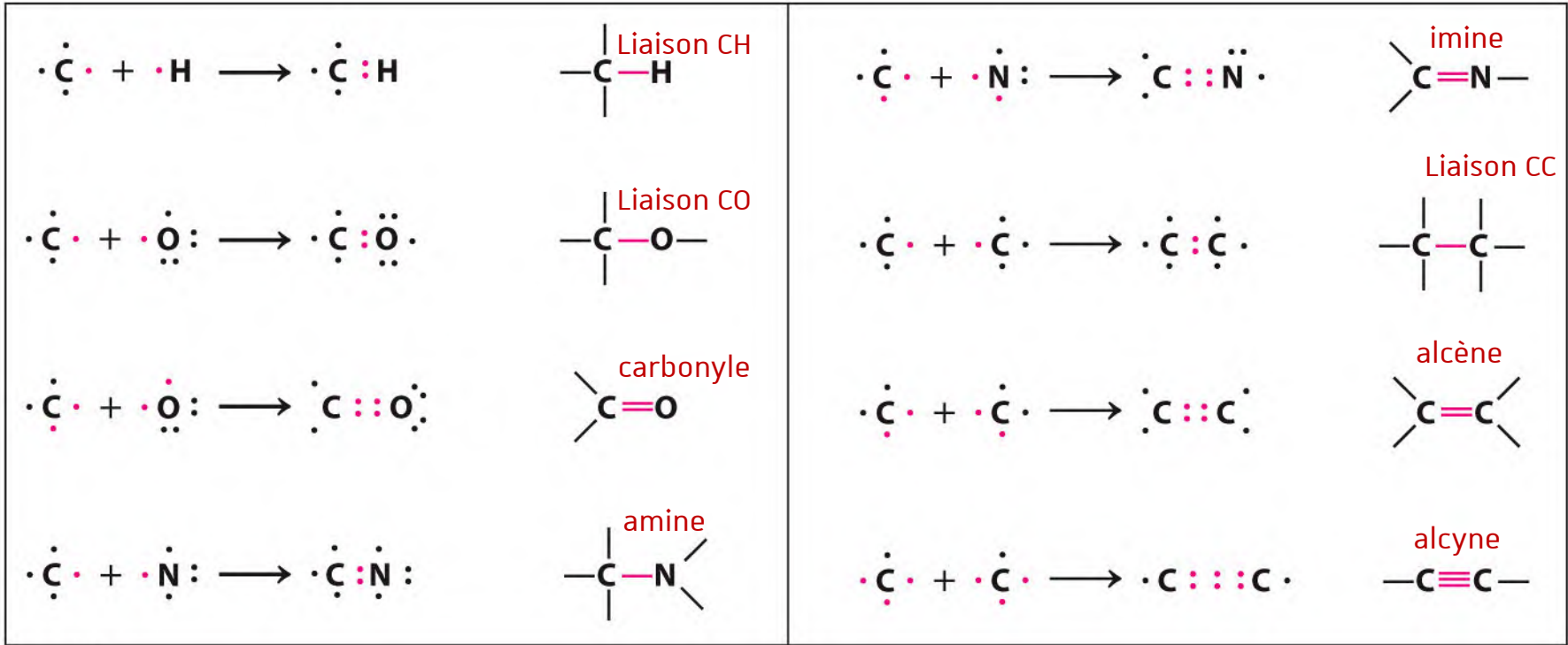


Figure 1-15
 Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
 © 2017 W. H. Freeman and Company

4. Les groupements fonctionnels des molécules biologiques

Nomenclature:

1C: Meth...

2C: Eth... ou Acét...

3C: Prop...

4C: But...

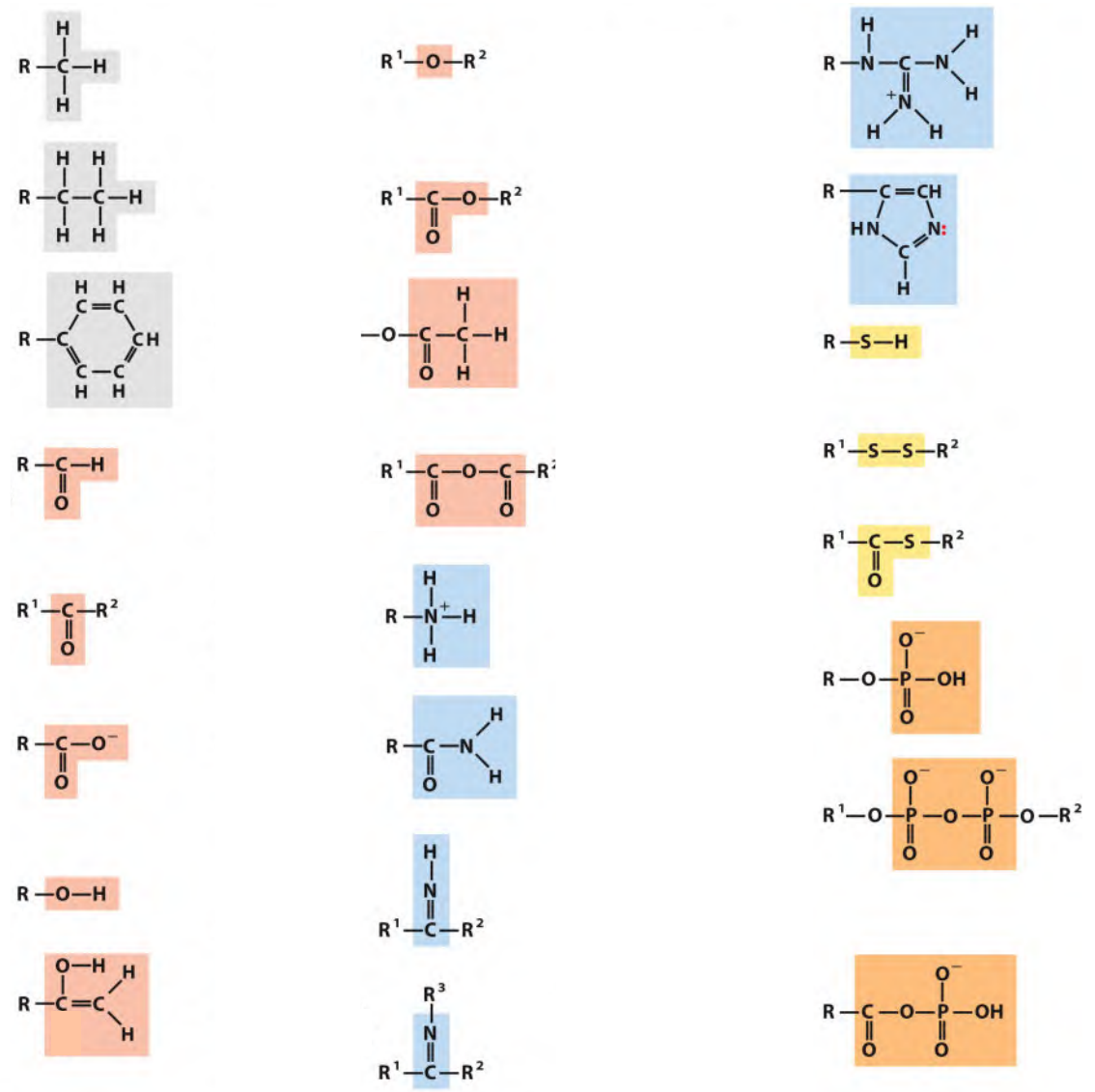


Figure 1-17
 Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
 © 2017 W. H. Freeman and Company

4. Les groupements fonctionnels des molécules biologiques

Nomenclature:

1C: Meth...

2C: Eth... ou Acét...

3C: Prop...

4C: But...

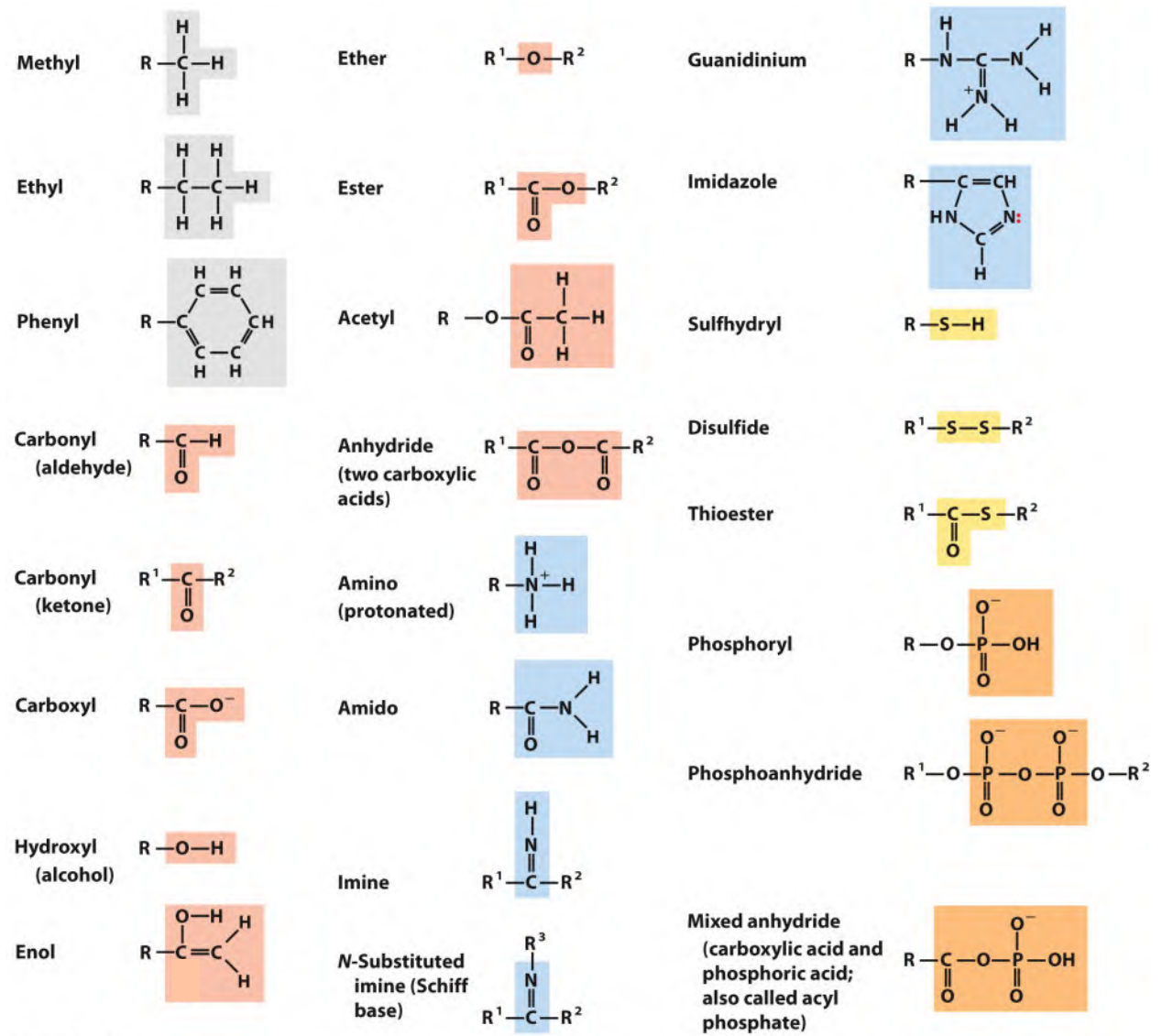
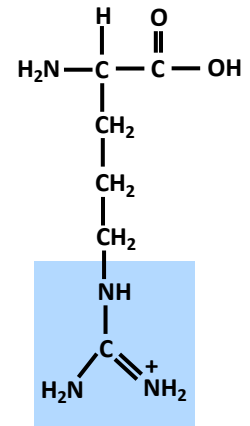
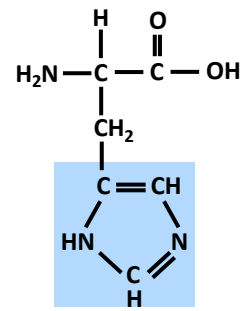
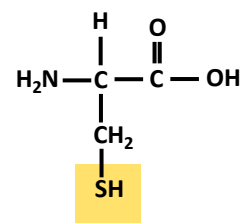
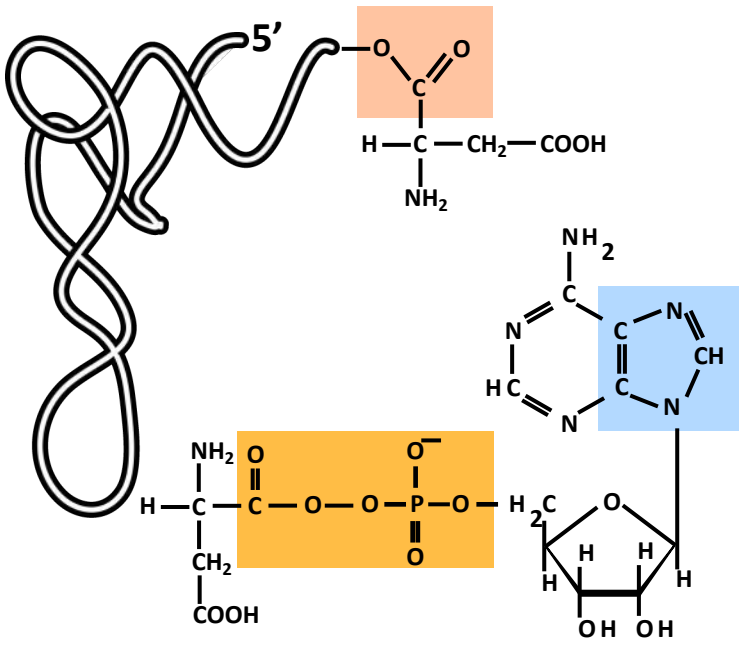
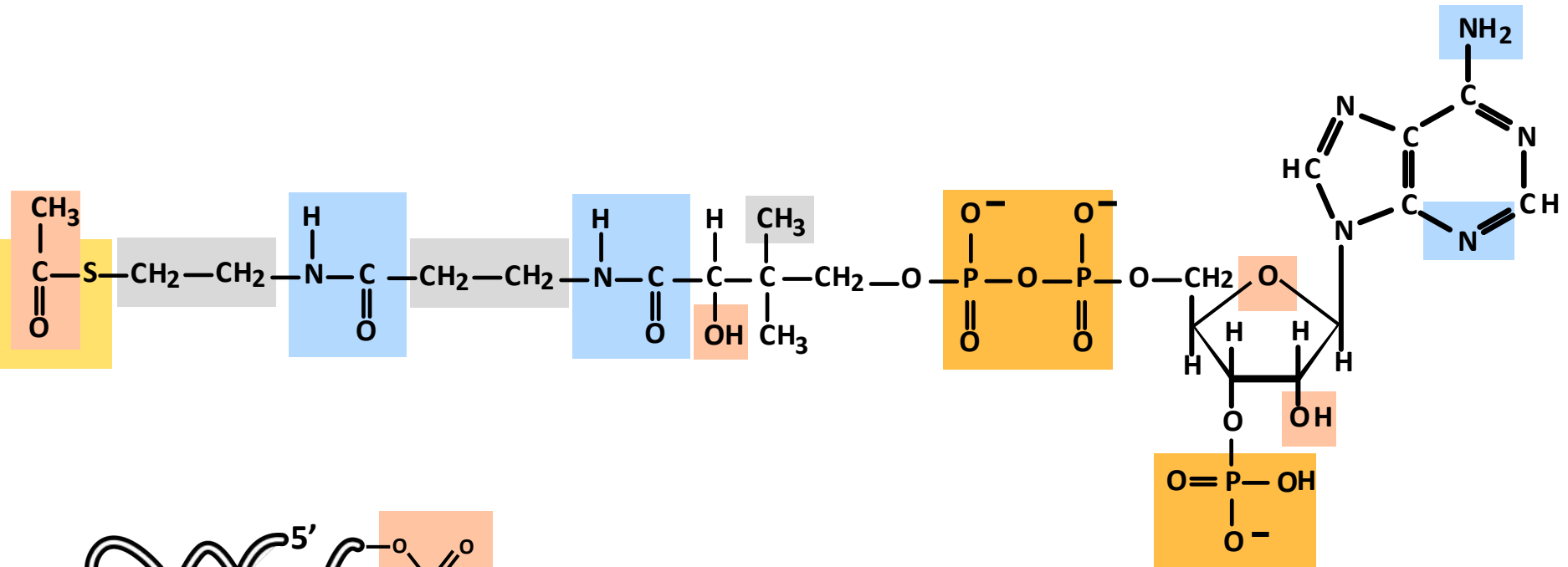
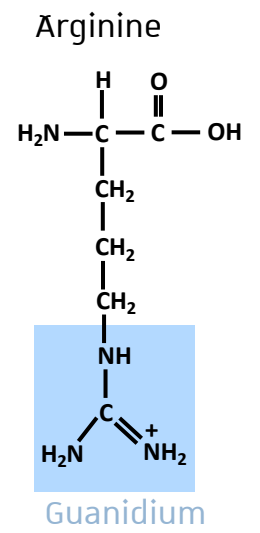
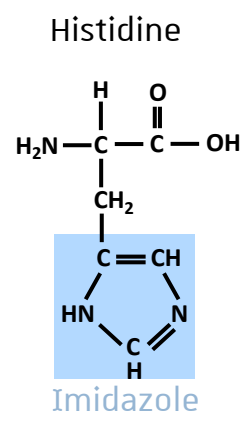
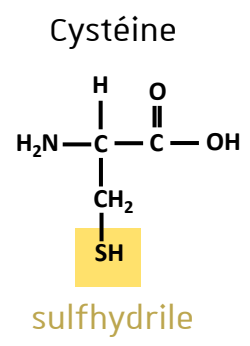
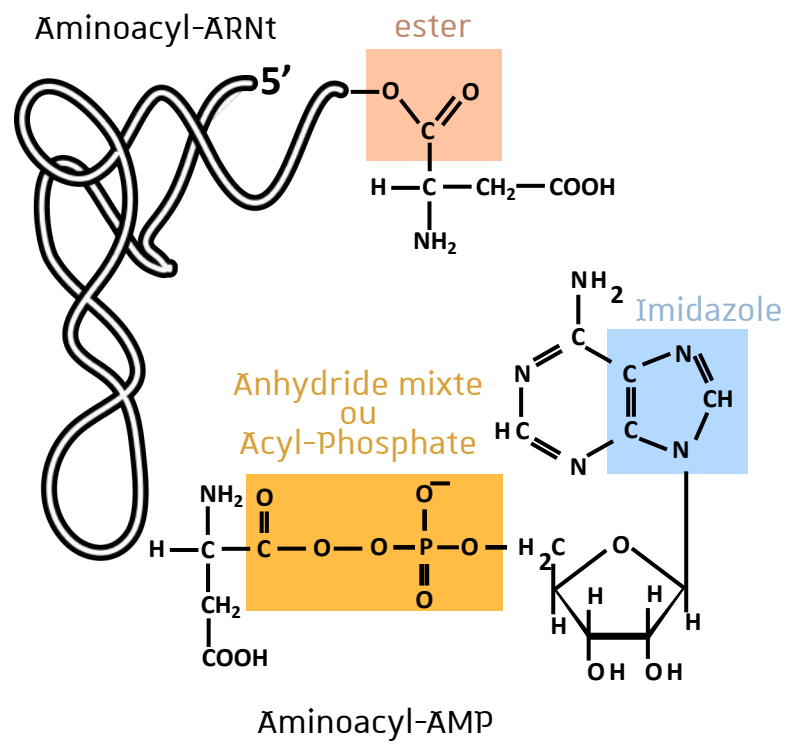
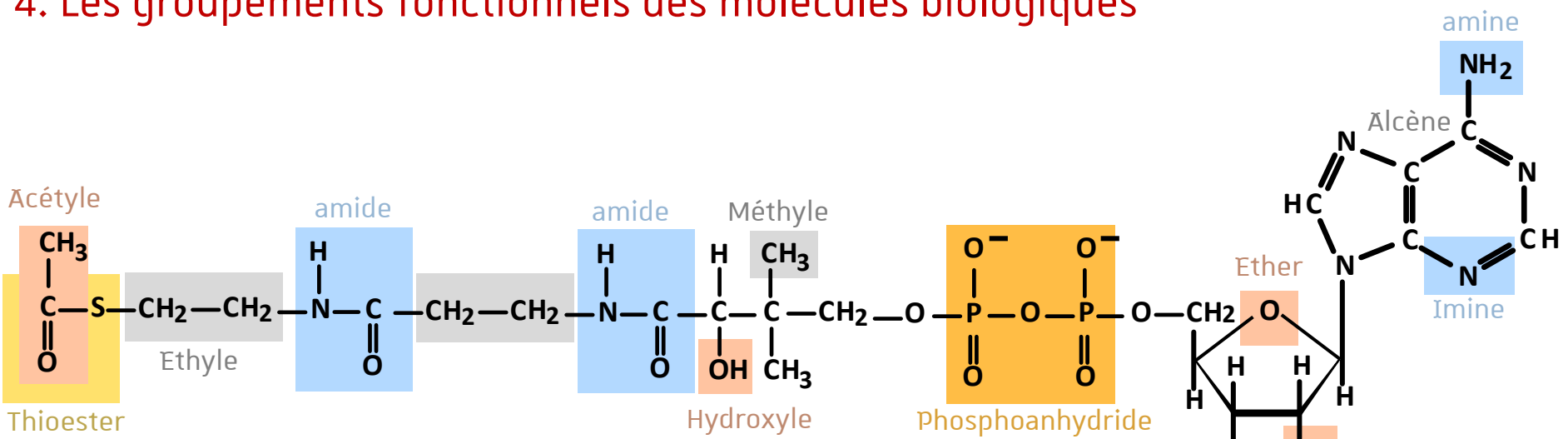


Figure 1-17
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
 © 2017 W. H. Freeman and Company

4. Les groupements fonctionnels des molécules biologiques



4. Les groupements fonctionnels des molécules biologiques



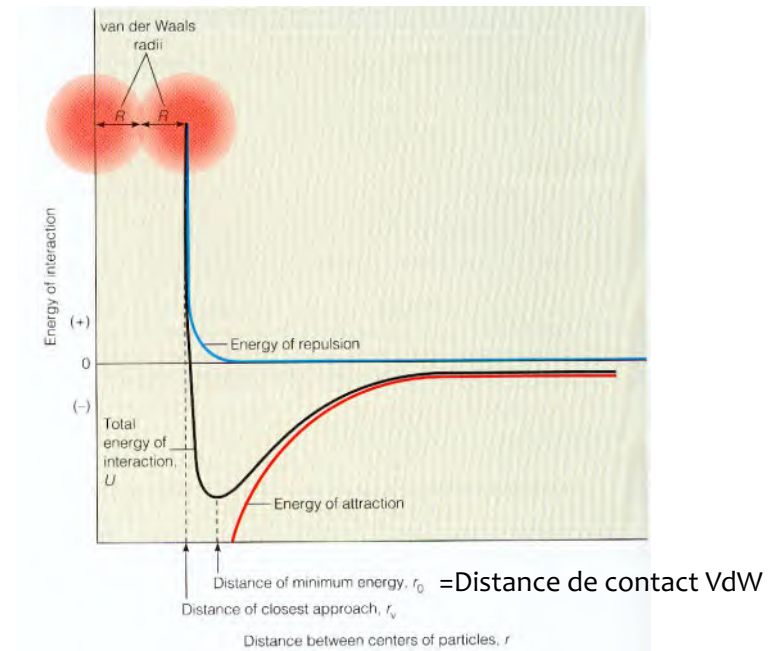
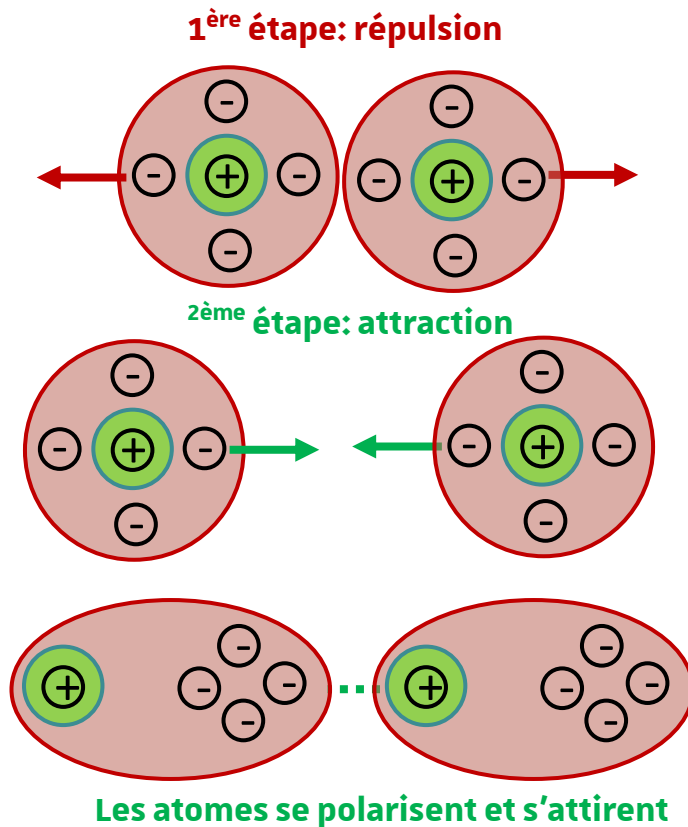
II. Les interactions non covalentes en biochimie et l'implication de l'eau

1. La force de van der Waals

La **force de van der Waals** ou **liaison de van der Waals** est une **force à courte portée** due à la **fluctuation des nuages d'électrons** entourant le noyau de 2 atomes ou molécules non chargées.

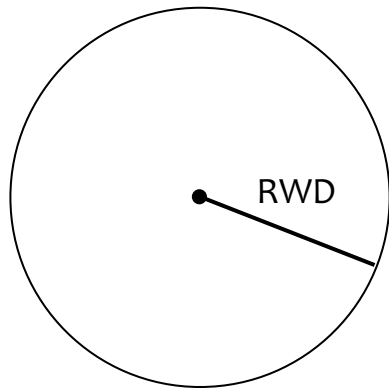
Les forces de van der Waals sont des **forces électrostatiques causées par un moment dipolaire fluctuant temporairement** résultant d'un bref **déplacement d'électrons orbitaux d'un côté d'un atome ou d'une molécule**, ce qui crée un déplacement similaire dans les atomes ou molécules adjacents. Les forces de Van der Waals sont des **interactions non spécifiques** qui peuvent se former entre n'importe quel type de molécules, quelle que soit leur structure chimique.

(<https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/10287/force-de-van-der-waals>)



Le rayon de Van Der Waals (RWD) correspond à la distance minimale d'approche de 2 atomes

2. Le Rayon de van der Waals (RWD)



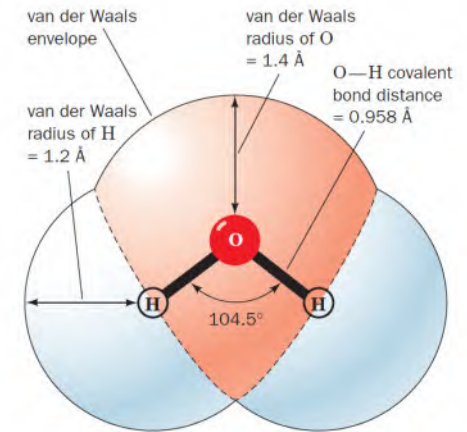
RWD : C'est le rayon occupé par un atome sans liaisons

Chaque élément à un RWD caractéristique

| Elément | rayon de van der Waals (Å) | rayon covalent pour une liaison simple (Å) |
|---------|----------------------------|--|
| H | 1,1 | 0,3 |
| O | 1,5 | 0,66 |
| N | 1,5 | 0,70 |
| C | 1,7 | 0,77 |
| S | 1,8 | 1,04 |
| P | 1,9 | 1,10 |
| I | 2,1 | 1,33 |

Plus l'atome est grand plus RWD est grand

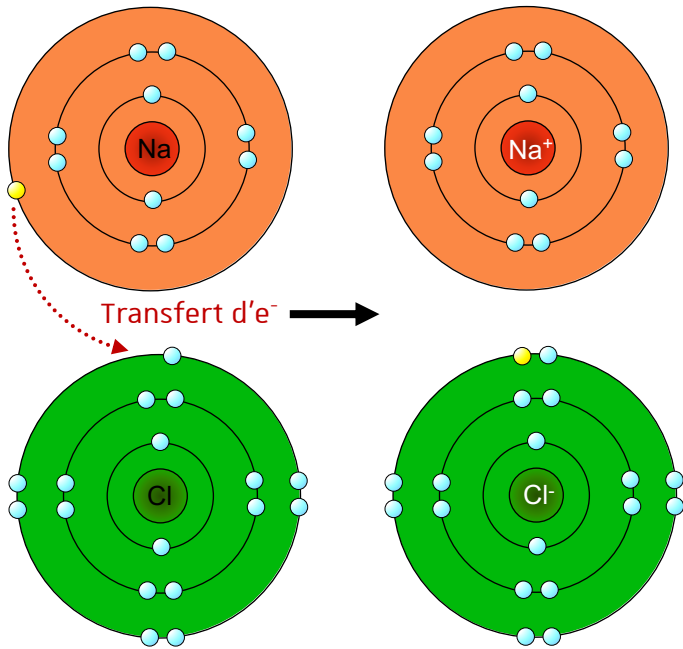
Le rayon covalent est < à RWD



Modèle de van der Waals de H₂O

3. La liaison ionique: une forme d'interaction électrostatique

Une **liaison ionique** est une **attraction électrostatique qui unit des ions de charges opposées** dans les composés ioniques ou dans les phénomènes de surface, typiquement de sphère externe. En qualité de liaison électrovalente, elle est souvent associée à une liaison covalente. Les types d'éléments formant des liaisons ioniques sont les **métaux et les non-métaux**.



La liaison ionique est le **transfert complet d'électrons de valence entre les atomes qui génère deux ions de charge opposée**.

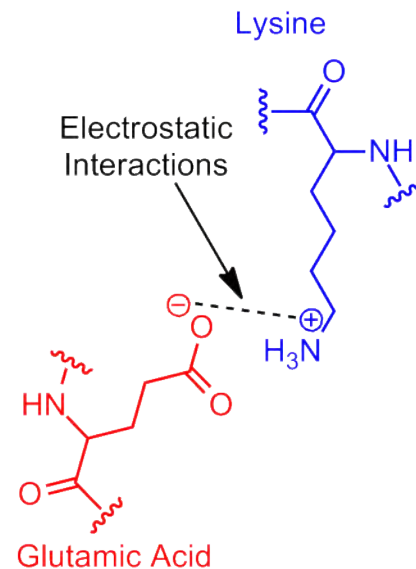
Dans les liaisons ioniques, le métal perd des électrons pour devenir un cation, tandis que le non-métal accepte ces électrons pour devenir un anion.

Lorsque les deux ions se combinent *via* une liaison ionique, ils forment des composés ioniques.

L'électronégativité = force avec laquelle l'atome attire ou retient les électrons.

Les liaisons ioniques se forment lorsqu'il y a une **différence d'électronégativité élevée entre les atomes** qui se traduit par une attraction électrostatique entre les électrons d'un atome et les noyaux de l'autre atome.

Après transfert, **configuration électronique de gaz inerte** stable = sphères les plus externes (valence) des atomes sont complètes (ici octet).

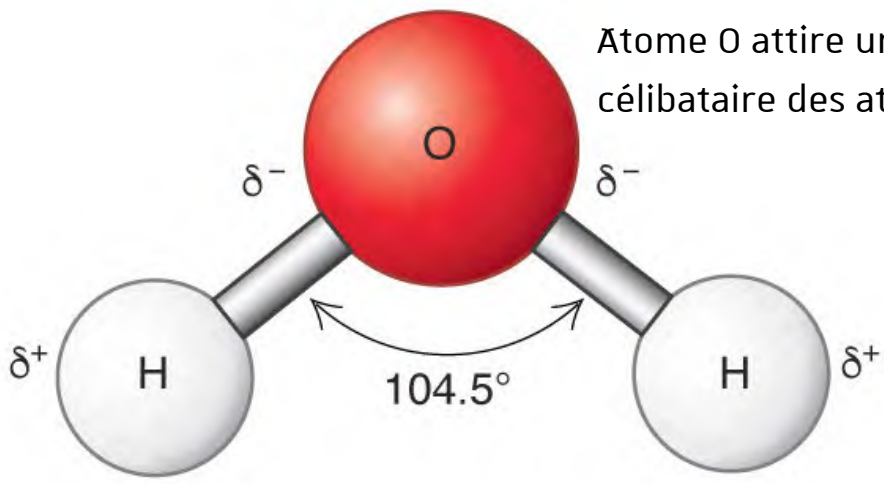


4. L'eau: un dipôle électrique qui forme des liaisons hydrogène

Electronégativité

Certains atomes sont plus électronégatifs que d'autres.

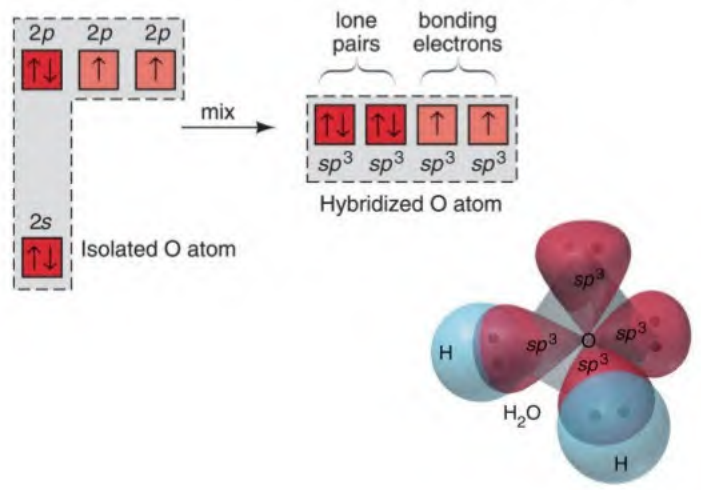
Dans une **liaison covalente**, ils vont avoir tendance à attirer des électrons. Il y aura donc création d'une charge partielle négative (δ^-) et positive (δ^+), soit **un dipôle**.



Atome O attire un électron célibataire des atomes H.

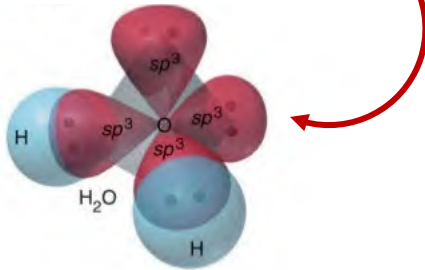
Modèle 'Ball-and-stick'

Figure 11.5 continued The sp^3 hybrid orbitals in H_2O .



4. L'eau: un dipôle électrique qui forment des liaisons hydrogène

Quand un H lié par covalence à un atome fortement électronégatif (O, N) est proche d'un atome électronégatif qui porte un doublet d'électrons non liants



Attraction électrostatique entre l'atome O (δ^-) d'une molécule d'eau et un atome H (δ^+) d'une autre molécule créant une liaison appelée

liaison hydrogène (H-bond)

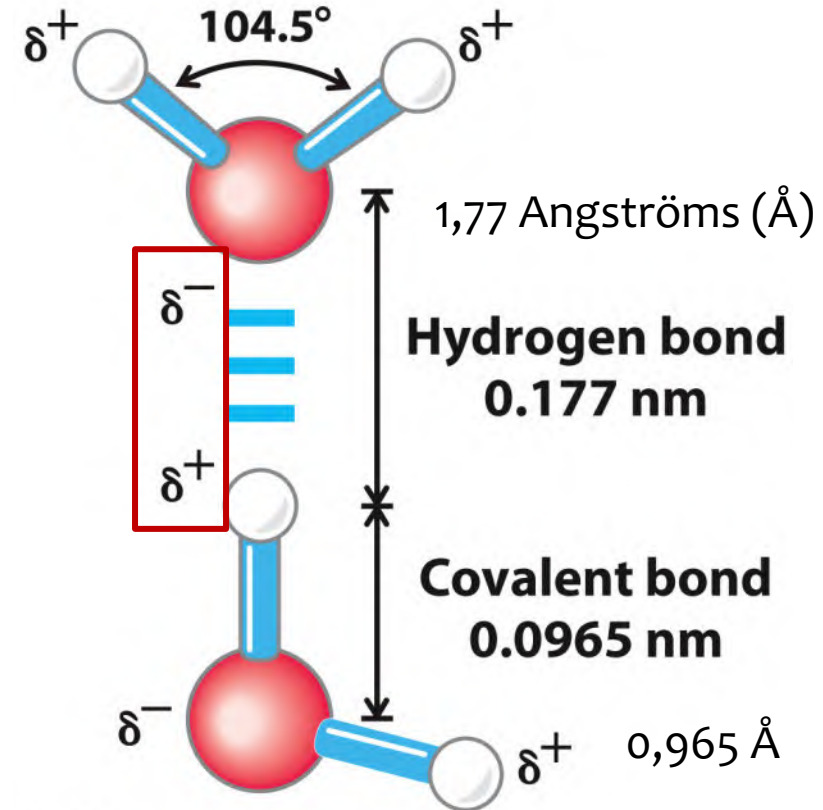
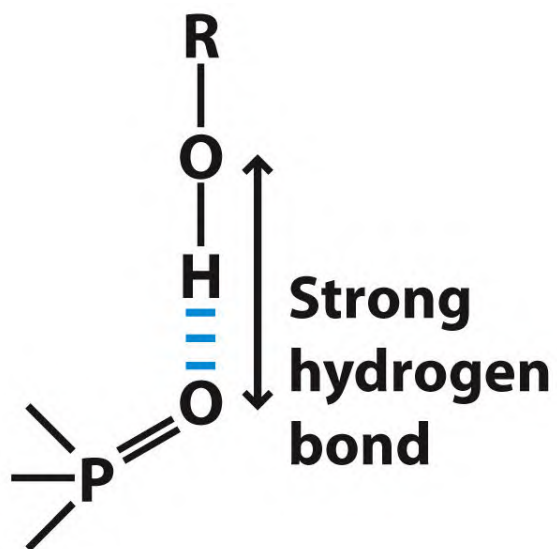


Figure 2-1b
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

4.1. Liaisons hydrogène entre deux molécules d'H₂O: 2 orientations & 2 forces

Liaison O-H de l'eau
même axe que liaison H



Atome accepteur n'est pas
aligné avec la liaison O-H

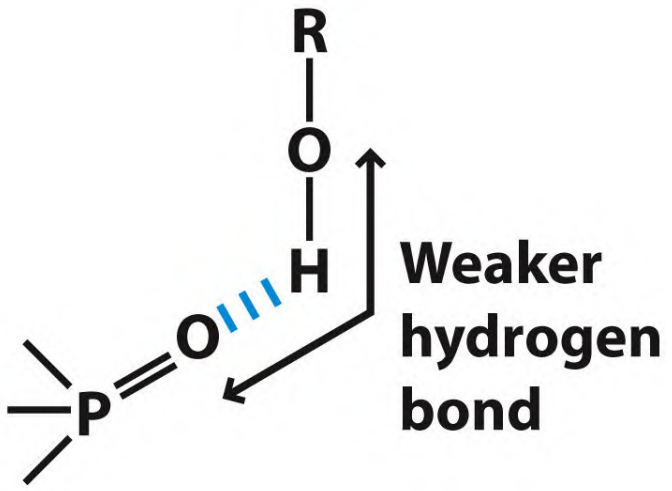
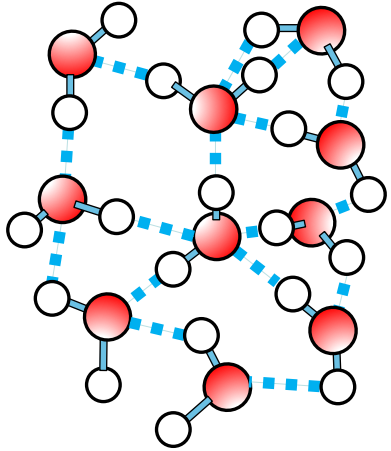


Figure 2-5
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

La force des liaisons H est plus importante lorsque les atomes impliqués sont alignés

4.2. Liaisons hydrogènes de l'eau liquide ou solide



Réseau fluctuant (car très dynamique), avec 3 à 4 liaisons H en moyenne par molécule d'eau.

| | distance | ½ vie |
|----------|----------|--------------------------|
| glace: | 1.77 Å | 20.0×10^{-12} s |
| liquide: | 1.9 Å | 1.0×10^{-12} s |
| vapeur: | 2.05 Å | 0.1×10^{-12} s |

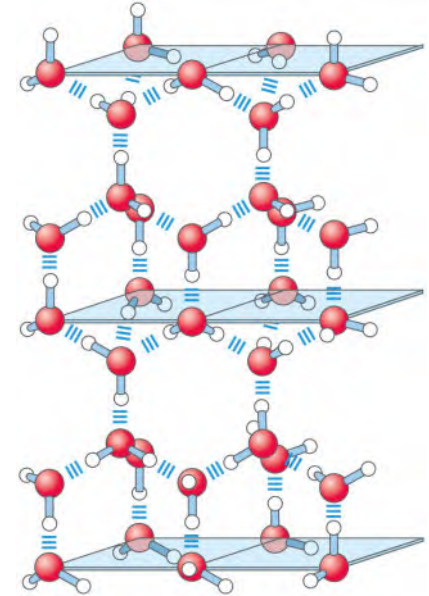


Figure 2-2
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

Chaque molécule d'eau est liée par des liaisons H avec les 4 molécules d'eau les plus proches dans un réseau ordonné (cristallin)

4.3. Liaisons hydrogènes: à quoi ça sert ?

- ♦ source des propriétés uniques de l'eau
- ♦ structure et fonction des protéines
- ♦ structure et fonction de l'ADN et de l'ARN
- ♦ structure et fonction des polysaccharides
- ♦ liaison enzyme – substrat
- ♦ liaison protéine - ligand
- ♦ appariement ARNm et ARNt: décodage codons

“I believe that as the methods of structural chemistry are further applied to physiological problems, it will be found that the significance of the hydrogen bond for physiology is greater than that of any other single structural feature.”

Linus Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, 1939 (Prix Nobel de Chimie 1954)

5. Liaisons H en biologie: les groupements donneurs & accepteurs impliqués

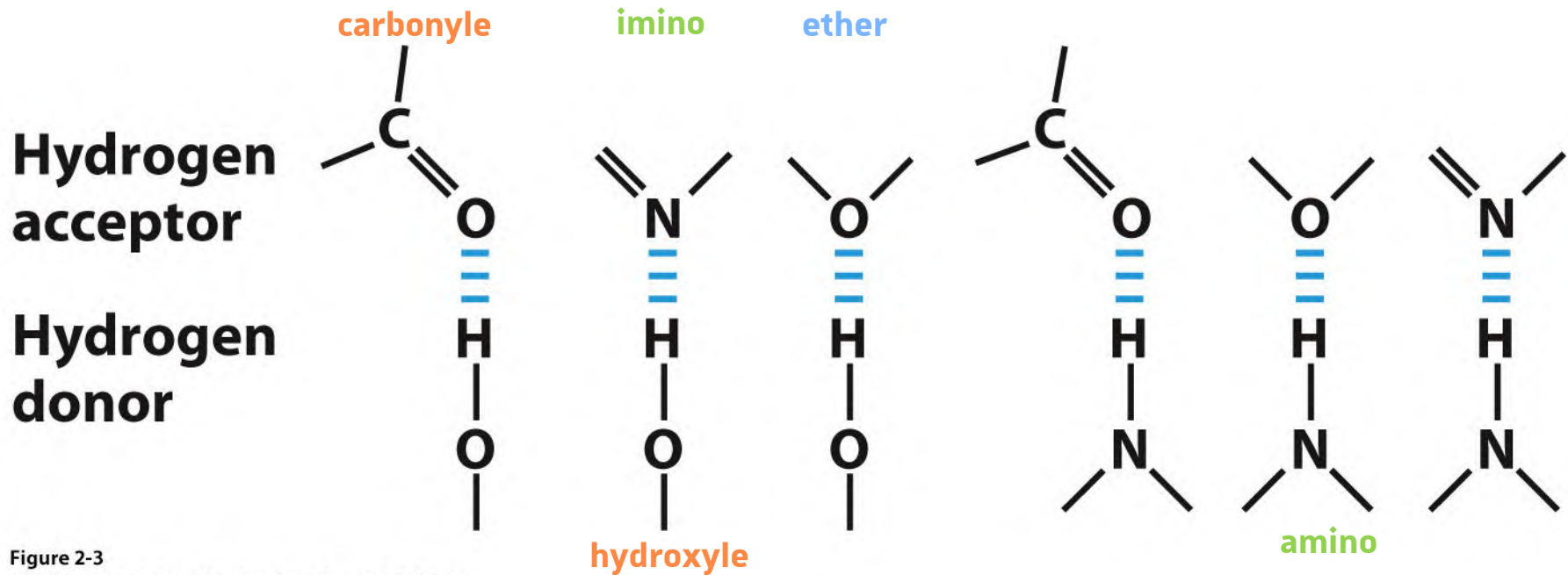


Figure 2-3
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

Accepteur: O d'un **carbonyle** ou d'un **ether** ou N d'un **imino**

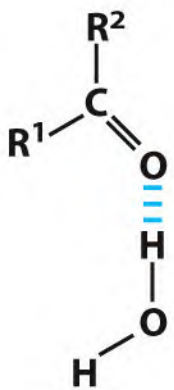
donneur: H d'un **hydroxyle** ou N d'un **amino**

5.1. Liaisons H en biologie: quelques exemples

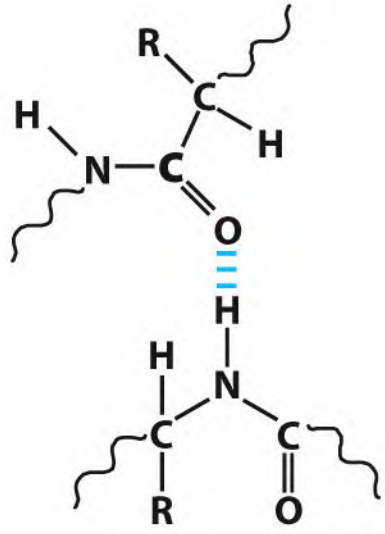
Between the hydroxyl group of an alcohol and water



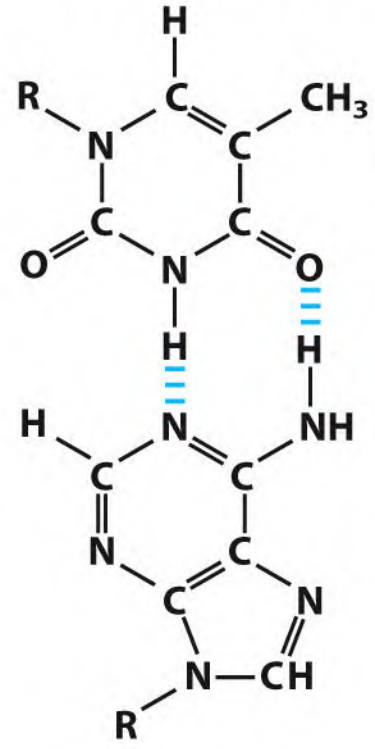
Between the carbonyl group of a ketone and water



Between peptide groups in polypeptides



Between complementary bases of DNA



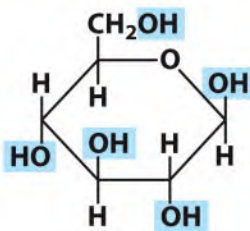
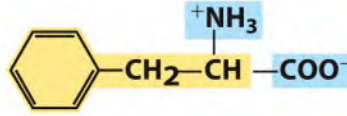
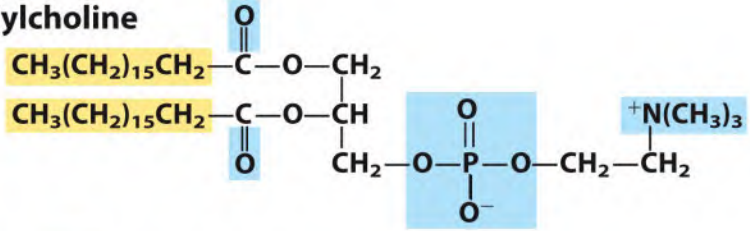

Thymine

Adenine

Figure 2-4
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

6. Interaction hydrophobes: molécules polaire et de non polaires

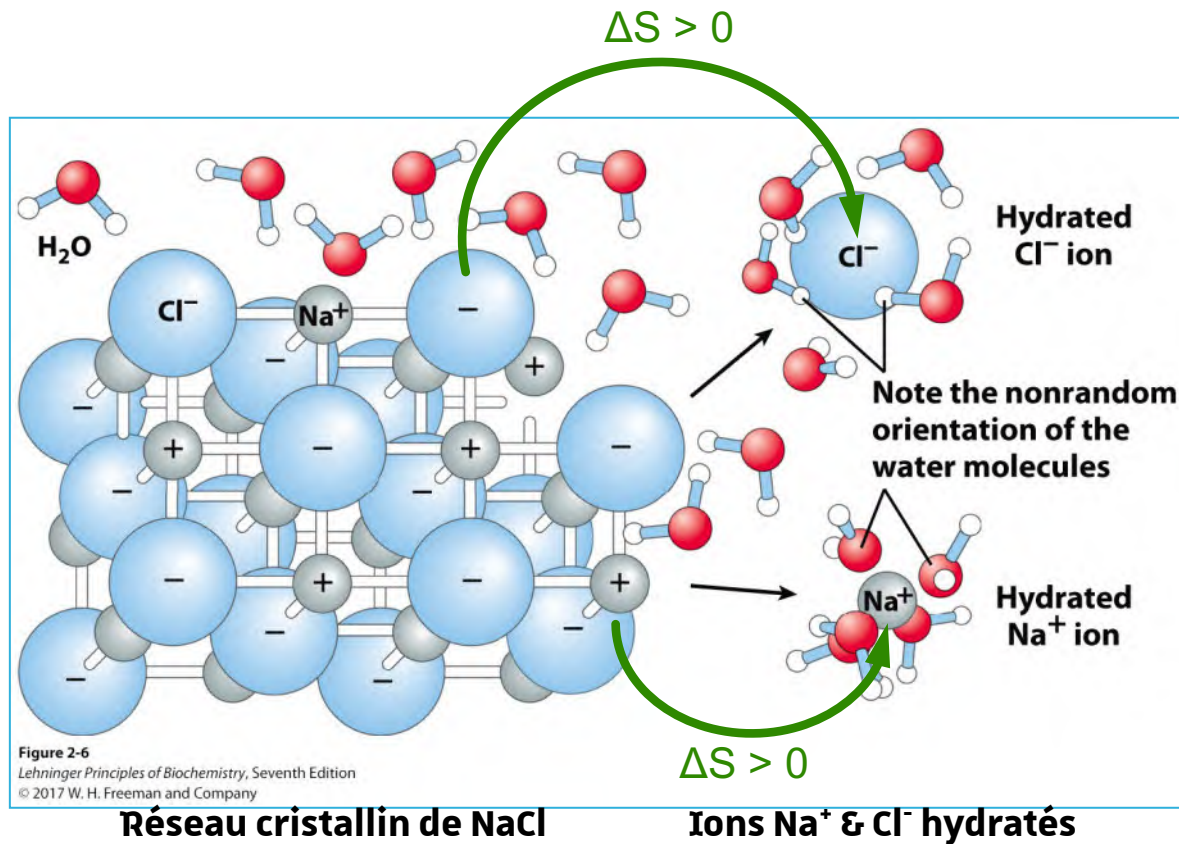
TABLE 2-2 Some Examples of Polar, Nonpolar, and Amphipathic Biomolecules (Shown as Ionic Forms at pH 7)

| Polar | Nonpolar |
|--|--|
| Glucose  | Typical wax $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_2$ |
| Glycine $^+\text{NH}_3-\text{CH}_2-\text{COO}^-$ | Amphipathic Phenylalanine  |
| Aspartate $-\text{OOC}-\text{CH}_2-\overset{+}{\text{N}}\text{H}_3-\text{CH}-\text{COO}^-$ | Phosphatidylcholine  |
| Lactate $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{COO}^-$ | |
| Glycerol $\text{HOCH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2\text{OH}$ | |
| |  |

La nature polaire de la liaison covalente O-H de l'eau fait de cette molécule un excellent solvant (bonne dissolution) pour les composés polaires (hydrophiles)

Les composés non polaires ne se dissolvent pas dans l'eau mais dans des solvants organiques comme le chloroforme (hydrophobe)

6.1. La solvation = dissolution de molécules hydrophiles dans H₂O

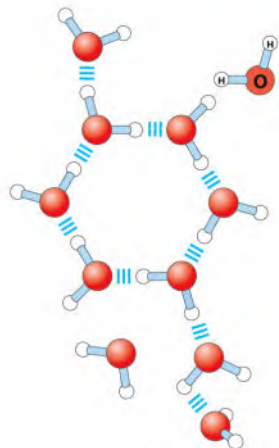


La **solvation** résulte de l'établissement de **liaisons électrostatiques** entre les molécules d'eau et les ions (composés chargés: **Na⁺, Cl⁻, COO⁻, NH₃⁺, PO₄³⁻...**) et de **liaisons hydrogène entre les molécules d'eau** de cette "couche" dite de solvation.

Le nombre moyen de molécules d'eau de la couche de solvation dépend de la charge de l'ion et de son rayon atomique:

plus l'ion est chargé plus il attire les molécules d'eau; et à charge égale, plus un ion a un rayon ionique important, moins il attire de molécules d'eau.

6.2. L'effet hydrophobe

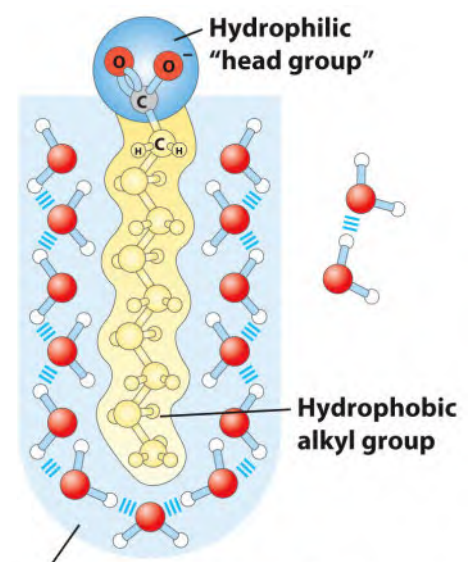


"Flickering clusters" of H₂O molecules in bulk phase

Une molécule **apolaires** (exemple : lipide, aa aromatique ou aliphatique) qui ne possède pas de charges ou de d'atomes capables de former des liaisons hydrogènes est solubilisée dans l'eau.

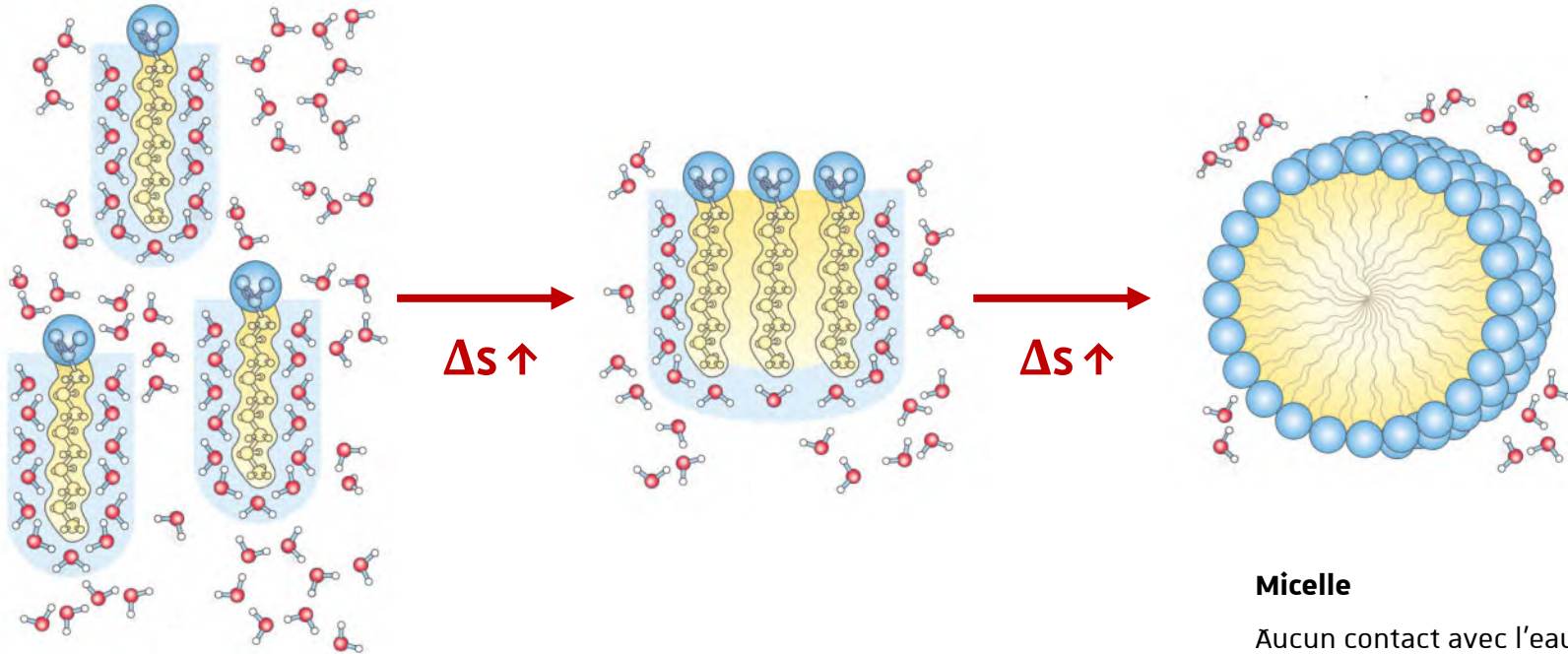
Il en résulte que **l'ordre des molécules d'eau** avant l'ajout de la molécule apolaire **augmente** lorsque cette molécule est ajouté à l'eau et du coup **l'entropie diminue**.

Une faible entropie est thermodynamiquement défavorable, donc les solutes hydrophobes ont une faible solubilité.



Highly ordered H₂O molecules form "cages" around the hydrophobic alkyl chains.

6.3. L'effet hydrophobe



Les molécules hydrophobes et apolaires (aliphatiques, aromatiques) ont la propriété **d'empêcher la formation des liaisons hydrogène entre les molécules d'eau.**

Les molécules d'eau engagées dans ces zones sont attirées vers l'extérieur par les liaisons qui les unissent aux autres molécules d'eau. La force qui en résulte, **tendant à réunir les molécules d'eau entre elles, va réduire au minimum possible les surfaces entre l'eau et les zones hydrophobes de la molécule.**

Pour obtenir la plus petite surface de contact, les radicaux hydrophobes sont repoussés les uns contre les autres, comme s'ils étaient unis : on dit qu'ils sont liés par des liaisons hydrophobes. En fait ces liaisons n'existent pas elles résultent seulement de la force qui unit les molécules d'eau qui environnent ces molécules hydrophobes

Micelle

Aucun contact avec l'eau.

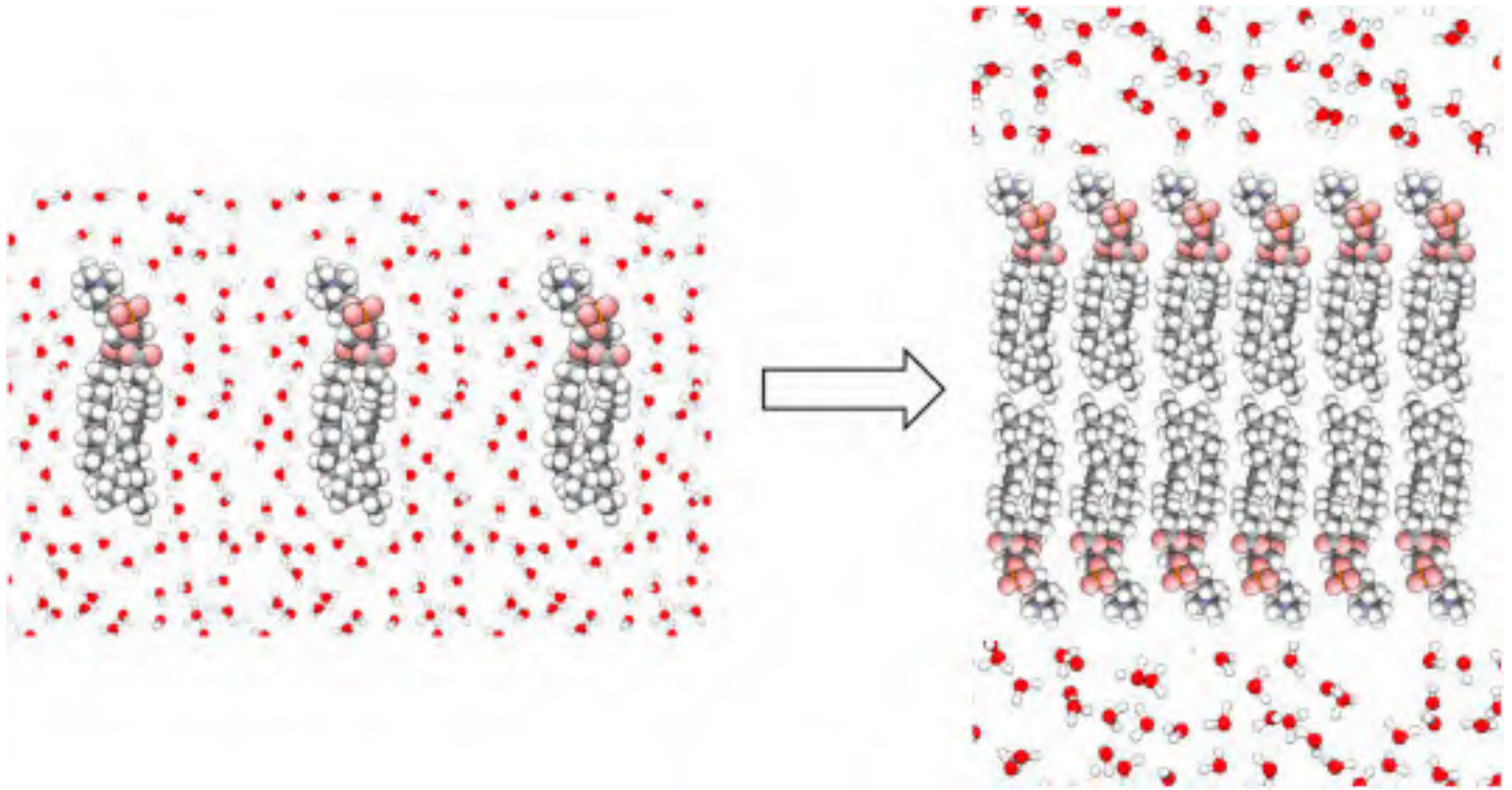
- Réduction de la surface exposée au solvant polaire (ici H₂O)
- Le nombre de molécules d'eau ordonnées est minimisé =
L'entropie est encore augmentée

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

La formation de micelles est énergiquement favorable

6.3. L'effet hydrophobe

Formation des bicouches lipidiques



6.3. L'effet hydrophobe

- L'**effet hydrophobe** (aussi appelé **interactions hydrophobes**) s'établit entre deux groupements **apolaires**.
- La force de ces interactions n'est pas due à une attraction entre les régions non polaires des molécules.
- Une fois assemblées en amas, les molécules hydrophobes sont **maintenues** ensemble par les interactions de **Van der Waals**.
- Le système résulte en une **meilleure stabilité thermodynamique** (minimisation du nombre de molécules d'eau requises pour entourer les portions hydrophobes des molécules et augmentation de l'entropie).
- Cet effet hydrophobe est en partie responsable du **repliement des protéines** sur elles-mêmes (structure 3D) en milieu aqueux.

Pas d'eau (ou de milieu polaire), pas d'effet hydrophobe !

6.3. L'effet hydrophobe

- ♦ Les **sites** de liaison des enzymes et des récepteurs sont souvent **hydrophobes**.
- ♦ Ces sites lient des **substrats et ligands hydrophobes**, remplaçant les molécules d'eau et augmentant l'entropie du système.

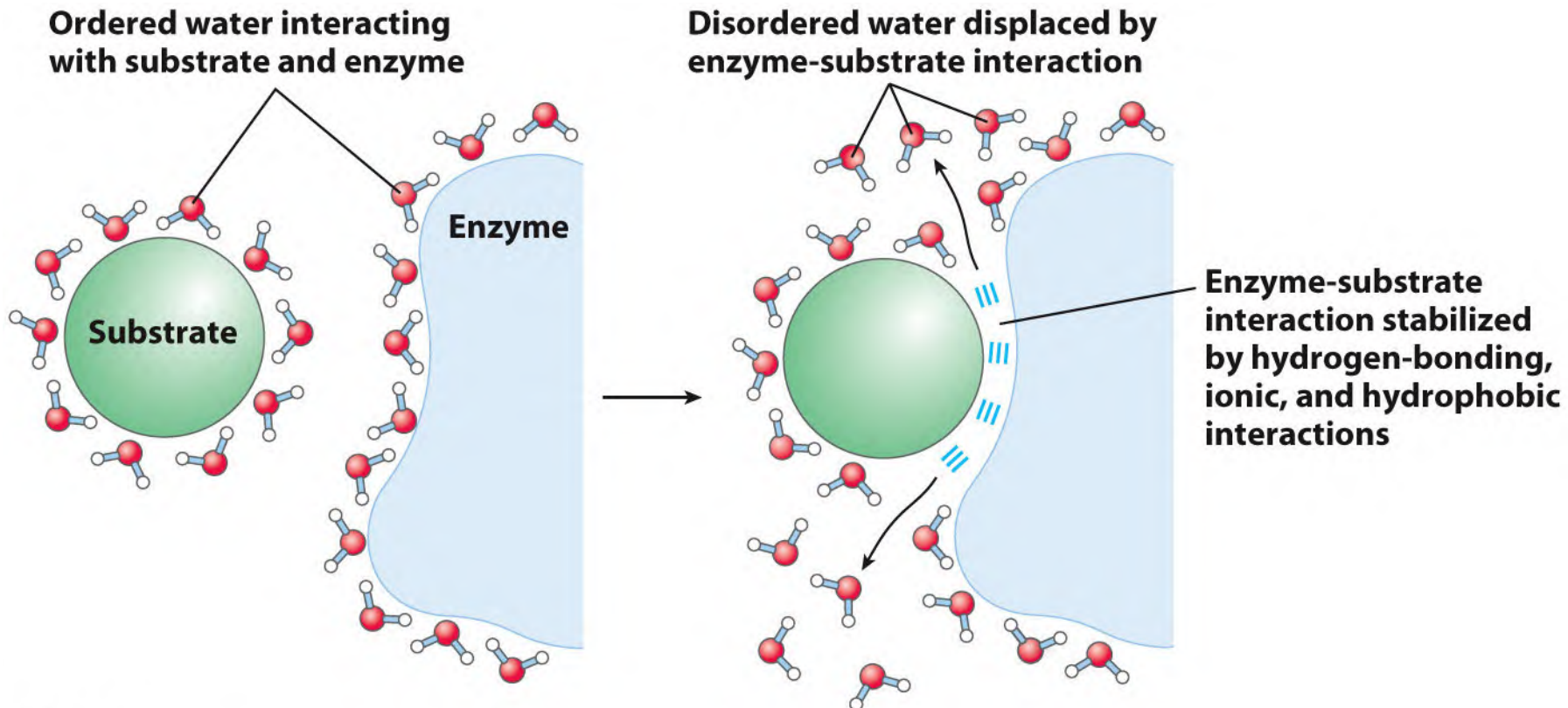


Figure 2-8

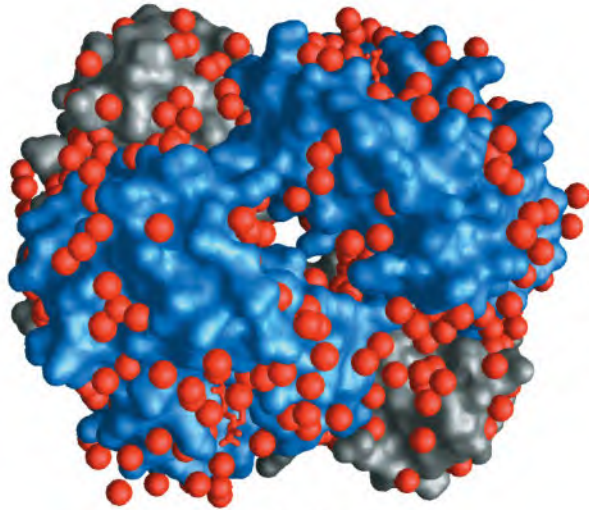
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition

© 2017 W. H. Freeman and Company

III. L'eau & les solutés

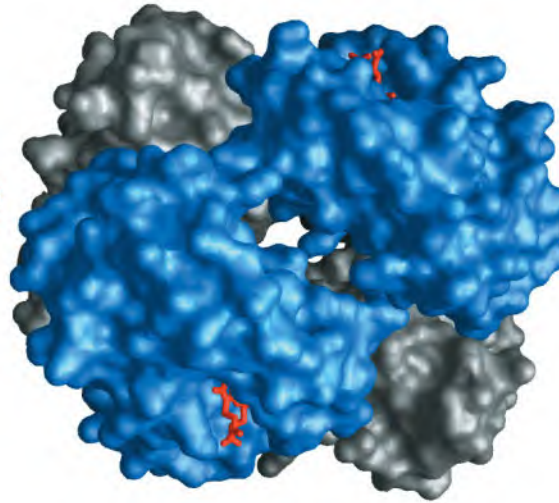
1. L'eau liée est essentielle à la fonction des protéine/enzymes

Hémoglobine avec H₂O liée



(a)

Hémoglobine sans H₂O liée



(b)

Figure 2-9
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

Site actif de la L-arabinose-binding protein

5 H₂O sont impliquées dans le positionnement et lialiaison du L-ara

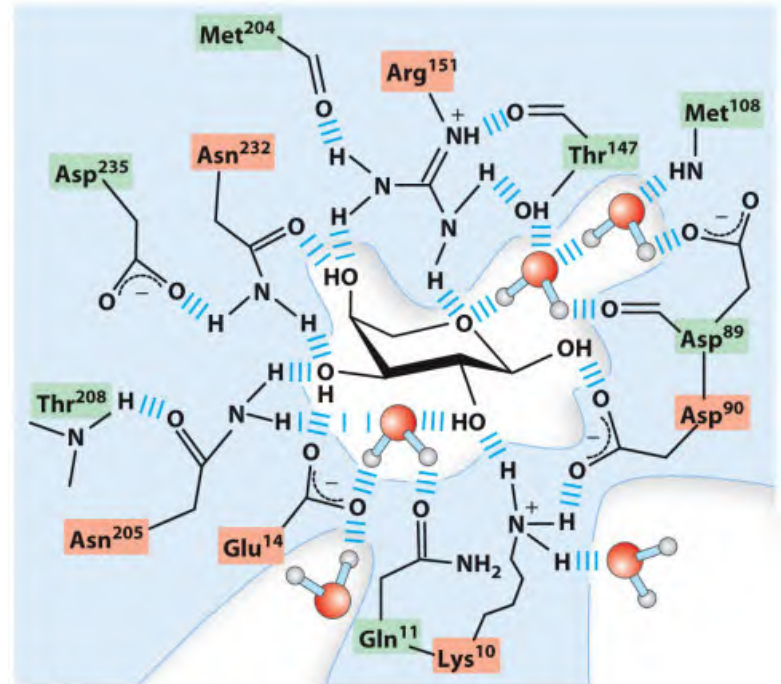
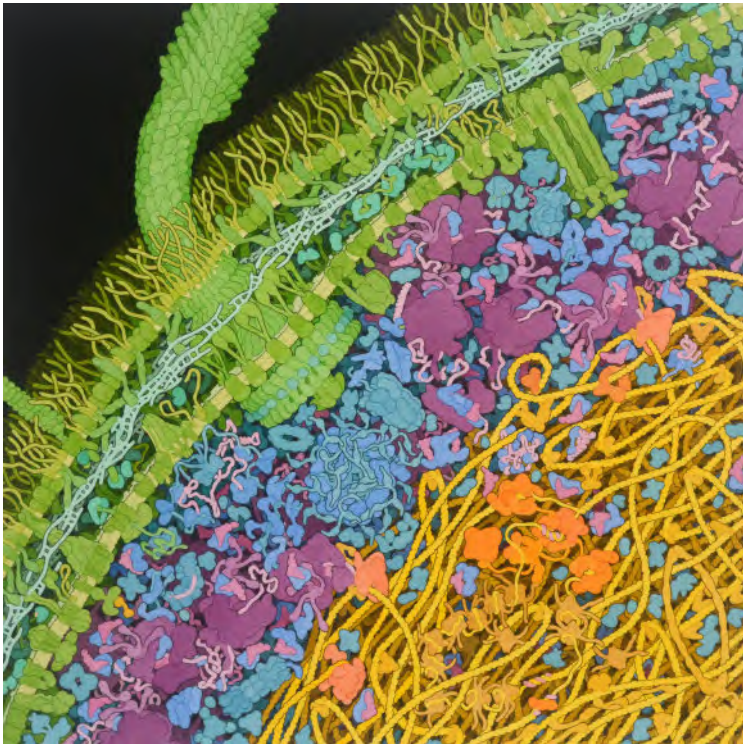


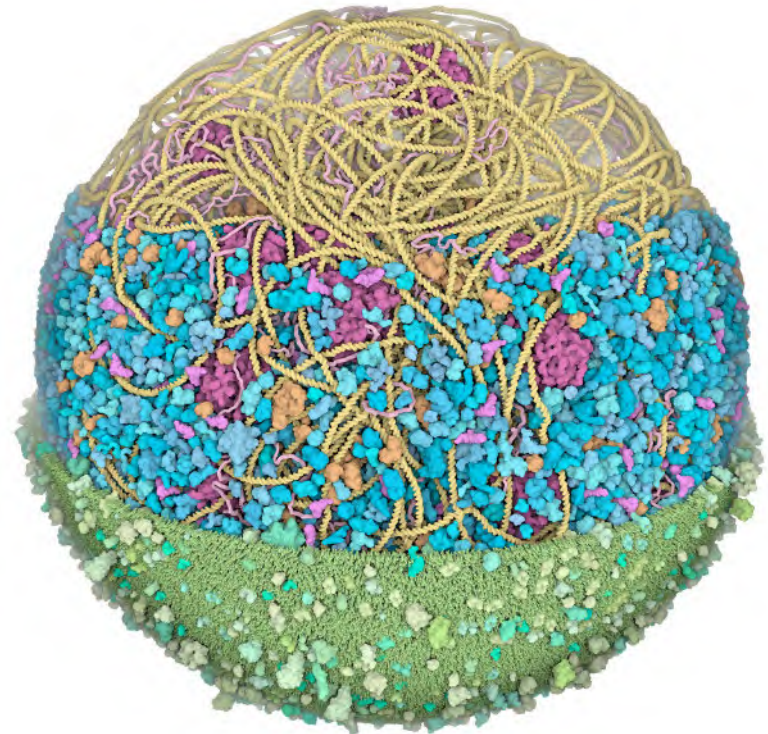
Figure 2-11
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

2. Les soluté peuvent changer les propriétés de l'H₂O

- ♦ Les propriétés **colligatives** ne dépendent pas de la nature du soluté, uniquement de la concentration du soluté: point d'ébullition, point de fusion, osmolarité
- ♦ Les propriétés **non colligatives** dépendent de la nature chimique du soluté : viscosité, tension de surface, couleur, goût...
- ♦ Le cytoplasme des cellules sont des solutions très concentrées et ont une **pression osmotique élevée** due aux solutés dissous.



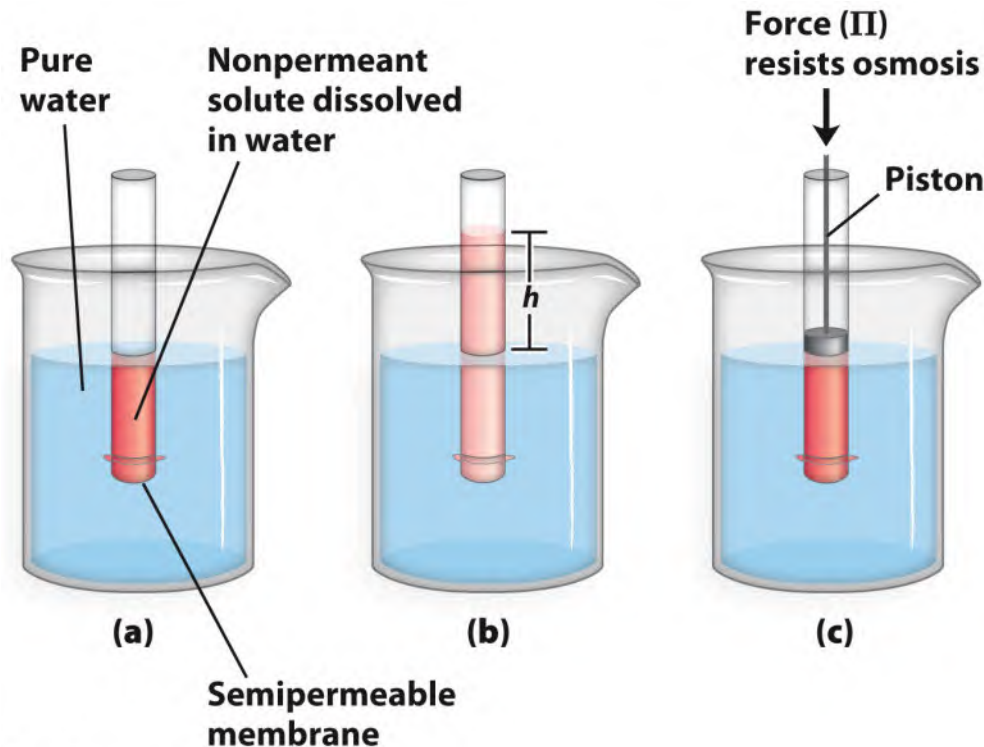
Coupe *E. coli*



Mycoplasma

3. La pression osmotique

- ♦ L'eau se déplace des zones à forte concentration en eau (eau pure ou soluté faiblement concentré) vers des zones à faible concentration en eau (haute concentration en soluté).
- ♦ La pression osmotique (π) est la force nécessaire pour résister à ce mouvement.
- ♦ La pression osmotique est influencée par la concentration de chaque soluté en solution.



Osmosis and the measurement of osmotic pressure. (a) The initial state. The tube contains an aqueous solution, the beaker contains pure water, and the semipermeable membrane allows the passage of water but not solute. Water flows from the beaker into the tube to **equalize its concentration across the membrane**. (b) The final state. Water has moved into the solution of the nonpermeant compound, **diluting it and raising the column of water** within the tube. At equilibrium, the force of gravity operating on the solution in the tube exactly balances the tendency of water to move into the tube, where its concentration is lower. (c) Osmotic pressure (Π) is measured as the **force that must be applied to return the solution in the tube to the level of that in the beaker**. This force is proportional to the height, h , of the column in (b).

4. Effet de la pression osmotique sur les cellules

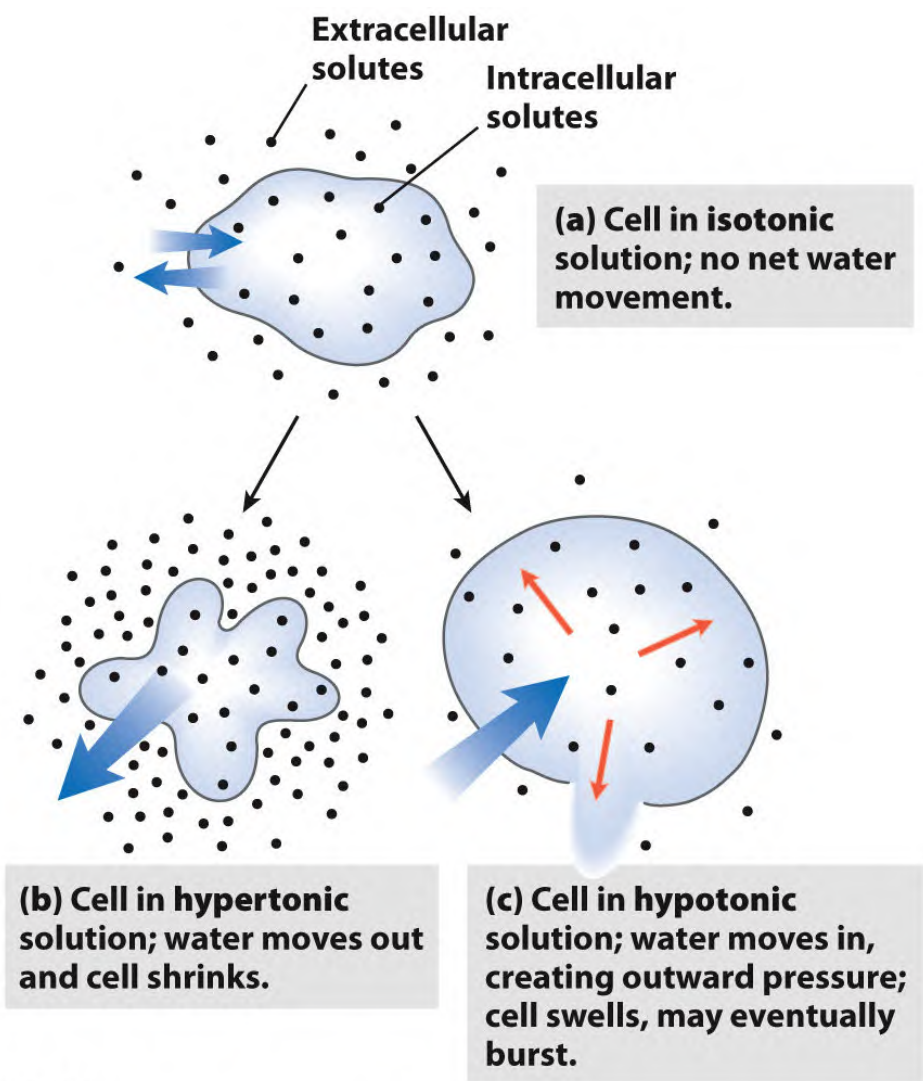
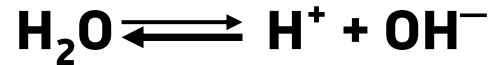


Figure 2-13
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

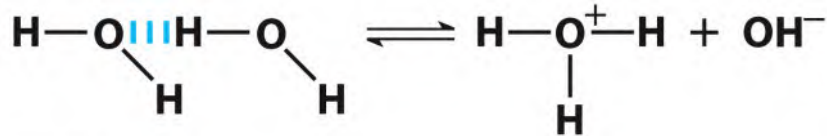
5. L'ionisation de l'eau et la protolyse de l'eau



- ♦ Les liaisons O-H sont polaires et peuvent se dissocier.
- ♦ Les produits sont un proton (H^+) et un ion hydroxide (OH^-).
- ♦ La dissociation de l'eau est un processus réversible rapide .
- ♦ La plupart des molécules d'eau restent non-ionisées, et donc l'eau pure a une conductivité électrique faible (résistance : $18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$).
- ♦ L'équilibre est fortement déplacé vers la gauche (faible K_{eq}).
- ♦ Le taux de dissociation dépend de la température.

5. L'ionisation de l'eau et la protolyse de l'eau

L'eau est faiblement dissociée en ions H^+ (protons) et OH^- (ions hydroxydes). Le proton fixe une molécule d'eau pour former l'ion hydronium (ou oxonium), ou proton hydraté H_3O^+ de sorte que l'équilibre de dissociation de l'eau s'écrit :



Unnumbered 2 p58
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

Il s'agit d'une auto-protolyse dont la constante d'équilibre K_{eq} s'écrit, en n'y faisant pas figurer la seconde molécule d'eau qui agit comme solvant :

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

d'où: $[\text{H}_2\text{O}] \times K_{\text{eq}} = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = K_e$ (produit ionique de l'eau K_w en anglais)

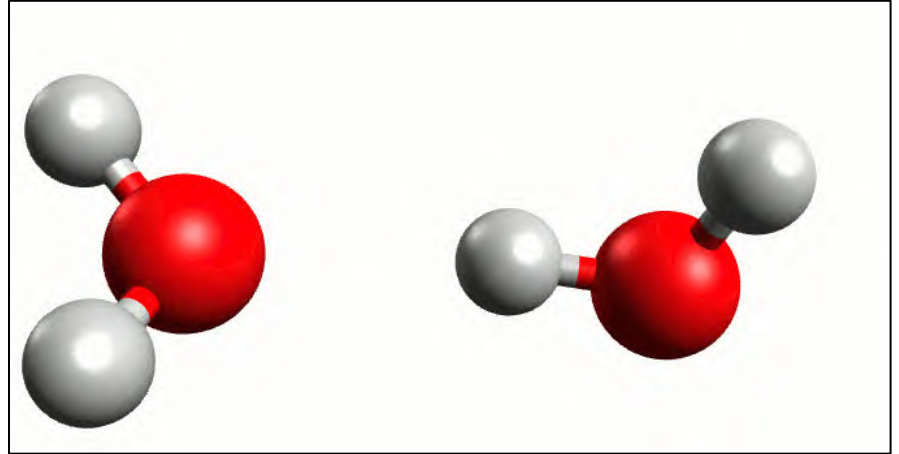
Or: $K_{\text{eq}} = 1.8 \times 10^{-16}$ mol/L par mesure de la conductivité électrique

et: En considérant la concentration en molécules entières $[\text{H}_2\text{O}]$ comme constante

$$(\text{à } 25^\circ\text{C}) [\text{H}_2\text{O}] = \frac{\text{g H}_2\text{O dans 1 L}}{\text{PM H}_2\text{O}} = \frac{1000 \text{ g/L}}{18 \text{ g/mol}} = 55.5 \text{ mol/L}$$

d'où:

$$[\text{H}_2\text{O}] \times K_{\text{eq}} = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = K_e = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 55,5 \text{ mol/L} \times 1.8 \times 10^{-16} \text{ mol/L} = 10^{-14} \text{ (mol/L)}^2$$



[Manuel Almagro Rivas](#) – Travail personnelSelf-ionization of water as an animation. Made with Avogadro and GIMP.

6. Le produit ionique (K_e) de l'eau et l'échelle de pH

$$K_e = [H^+] \times [OH^-]$$

or: à la neutralité, $[H^+] = [OH^-]$

$$\text{d'où: } K_e = [H^+] \times [OH^-] = [H^+] \times [H^+] = [H^+]^2$$

$$\text{d'où: } [H^+] = \sqrt{K_e} = \sqrt{10^{-14} \text{ M}^2} = 10^{-7} \text{ M}$$

$$\text{d'où: } [H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ M}$$

Pour éviter l'utilisation d'exposants négatifs élevés, on préfère travailler en échelle logarithmique en définissant le pH par : *logarithme décimal changé de signe de la concentration en ions hydronium = potentiel hydrogène = pH*

$$\text{d'où: } \text{pH} = \log_{10} \frac{1}{[H^+]} = -\log_{10}[H^+]$$

$$\text{d'où: } \text{pH} = -\log_{10}[10^{-7}] = 7$$

Le pH n'est pas un nombre arbitraire
Il est dérivé du produit ionique de l'eau, K_e

$$\text{comme: } K_e = [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14} \text{ M}^2$$

$$\text{d'où: } \text{p}K_e = -\log_{10}[H^+] - \log_{10}[OH^-] = 14$$

$$\text{d'où: } \text{p}K_e = \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

7. Échelle de pH et quelques exemples

Echelle de pH (25° C)

| $[H^+]$ (M) | pH | $[OH^-]$ (M) | pOH* |
|-------------|----|--------------|------|
| 10^0 (1) | 0 | 10^{-14} | 14 |
| 10^{-1} | 1 | 10^{-13} | 13 |
| 10^{-2} | 2 | 10^{-12} | 12 |
| 10^{-3} | 3 | 10^{-11} | 11 |
| 10^{-4} | 4 | 10^{-10} | 10 |
| 10^{-5} | 5 | 10^{-9} | 9 |
| 10^{-6} | 6 | 10^{-8} | 8 |
| 10^{-7} | 7 | 10^{-7} | 7 |
| 10^{-8} | 8 | 10^{-6} | 6 |
| 10^{-9} | 9 | 10^{-5} | 5 |
| 10^{-10} | 10 | 10^{-4} | 4 |
| 10^{-11} | 11 | 10^{-3} | 3 |
| 10^{-12} | 12 | 10^{-2} | 2 |
| 10^{-13} | 13 | 10^{-1} | 1 |
| 10^{-14} | 14 | 10^0 (1) | 0 |

$$pOH = -\log[OH^-]$$

$$pH + pOH = 14$$

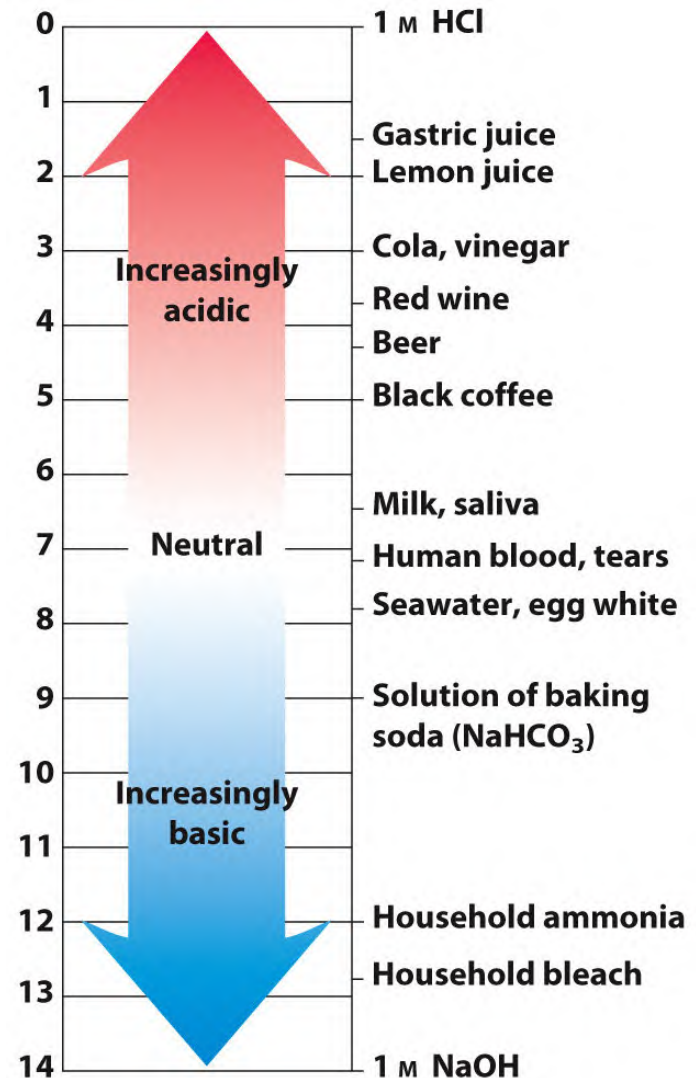


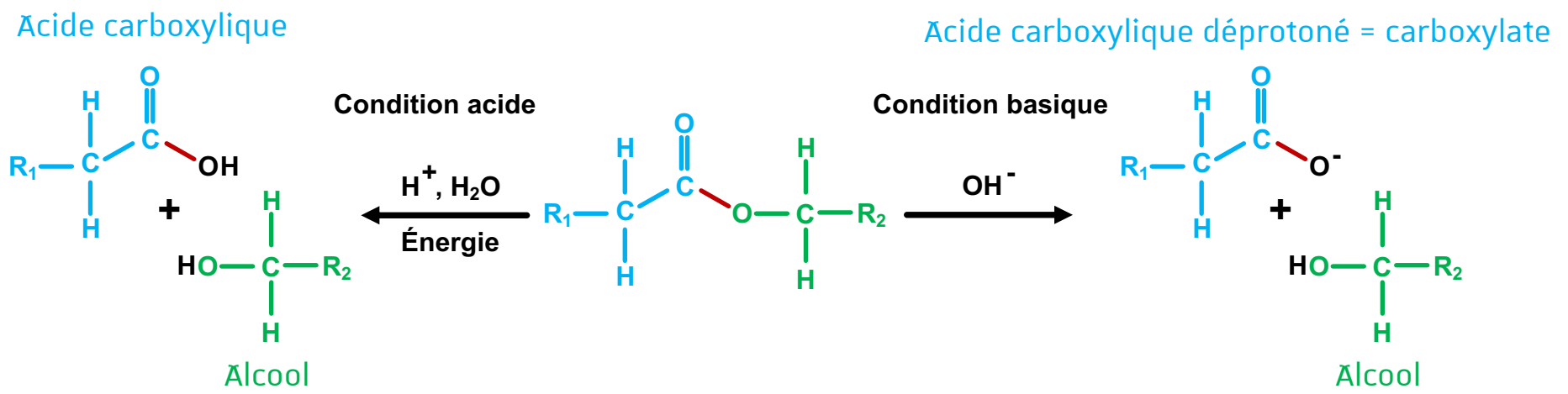
Figure 2-15

Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition

© 2017 W. H. Freeman and Company

8. Hydrolyse d'un ester par une base

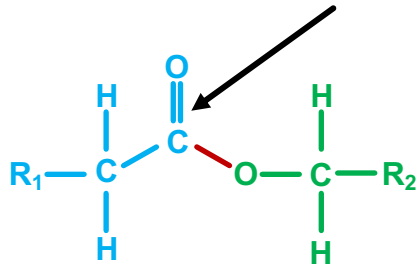
La liaison ester est instable à pH alcalin cad en milieu basique cad en présence d'une base



8. Hydrolyse d'un ester par une base

1) Le carbonyle à cause de sa liaison faible π est électrophile (accepteur de paires d'électrons)

Électrophile = composé chimique déficient en électrons qui a la capacité à former une liaison avec un autre composé en acceptant un doublet électronique de celui-ci.



2) OH^- est une base forte et les bases sont des très bons nucléophiles (donneur de paires d'électrons)

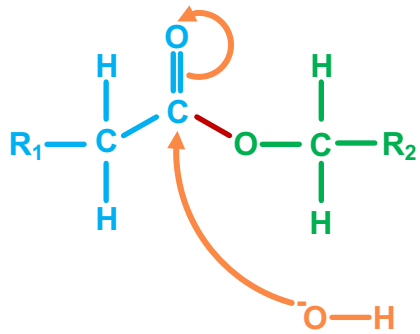
Nucléophile = espèce chimique attirée par les espèces chargées positivement et qui réagit en donnant des électrons à des composés électrophiles pour former une liaison chimique

8. Hydrolyse d'un ester par une base

3) Donc une liaison existante doit se rompre

4) La liaison π entre le C et le O du carbonyle est faible et

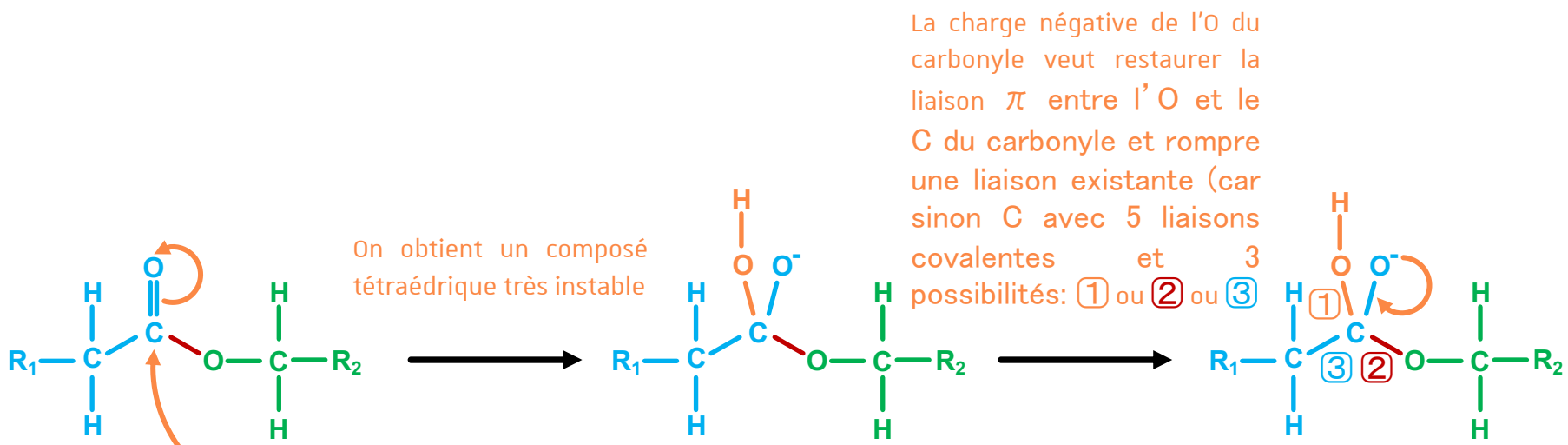
5) l'O du carbonyle est légèrement électronégatif et du coup la liaison π se rompt en direction de cet O



1) La charge négative de l'hydroxyle est capable de donner ses électrons au carbone du carbonyle

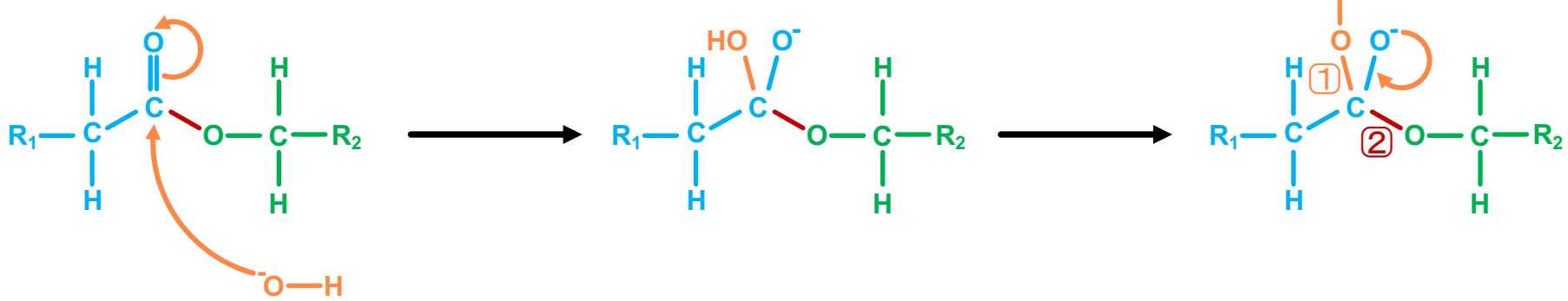
2) Mais le carbone formerait alors 5 liaisons covalente et ce n'est pas possible

8. Hydrolyse d'un ester par une base



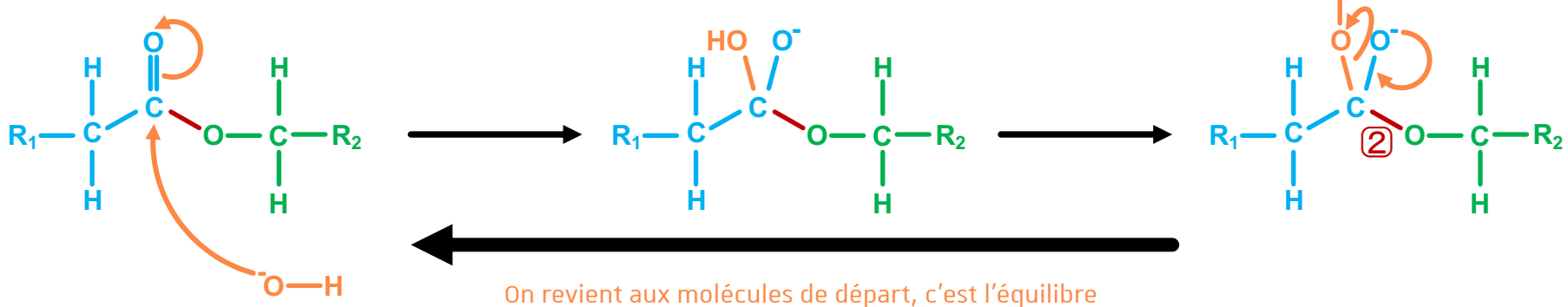
La liaison C-C ③ étant la plus forte, ce n'est pas cette liaison qui sera rompue

8. Hydrolyse d'un ester par une base



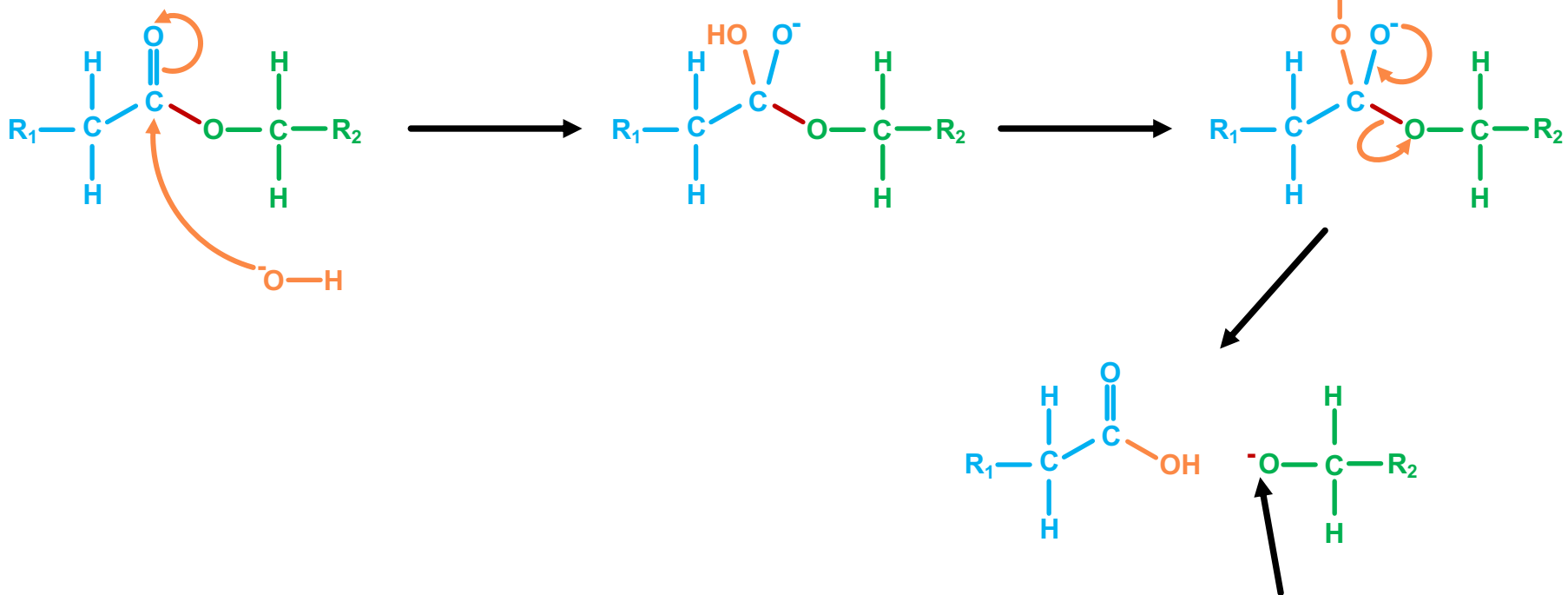
Il reste donc 2 options qui sont les 2 liaisons C-O ① ou ②

8. Hydrolyse d'un ester par une base



Si ①: les électrons de la liaison C-O retournes sur l'O de l'OH

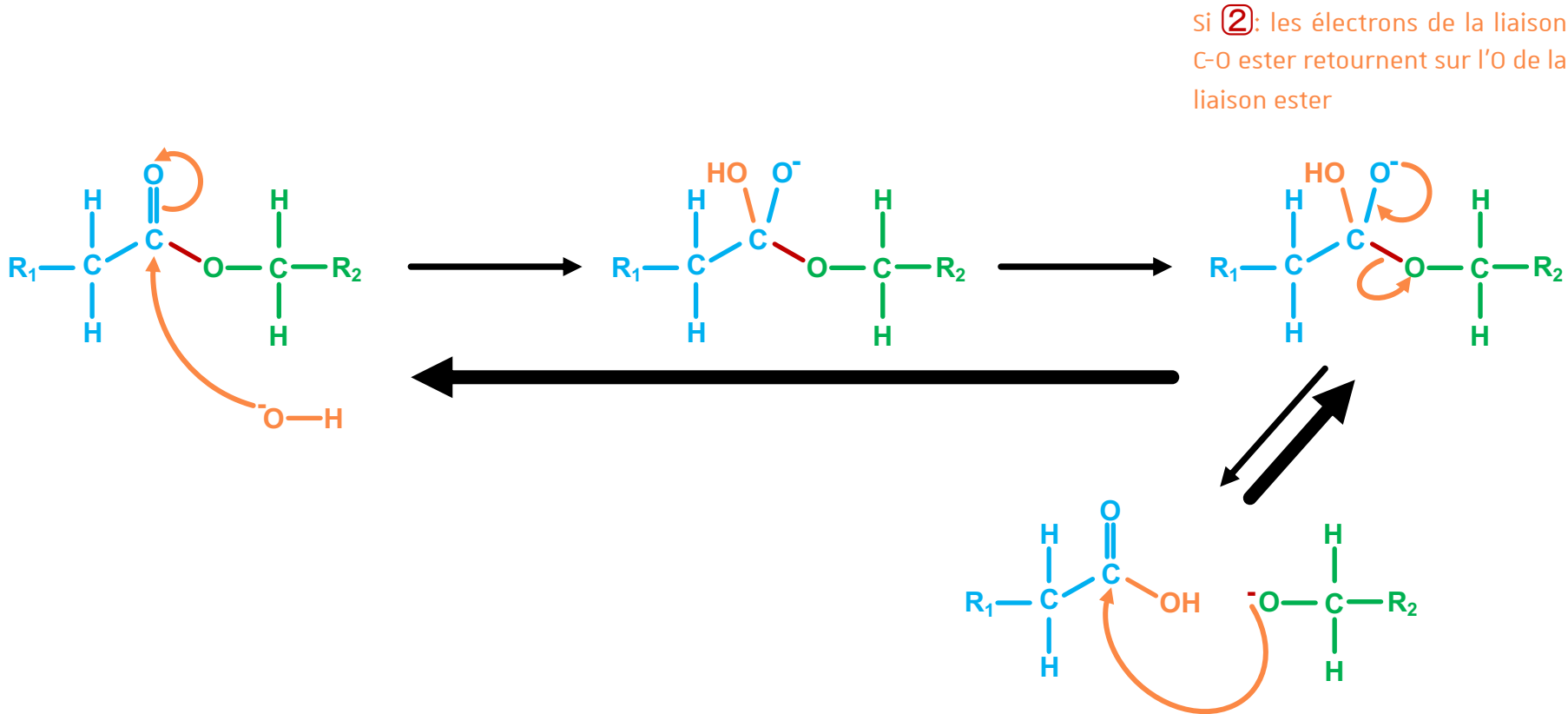
8. Hydrolyse d'un ester par une base



Si ②: les électrons de la liaison C-O ester retournent sur l'O de la liaison ester

Le O⁻ du ⁻O-CH₂-R₂ est une base forte et un nucléophile tout comme le ⁻OH du départ qui veut donner ses électrons

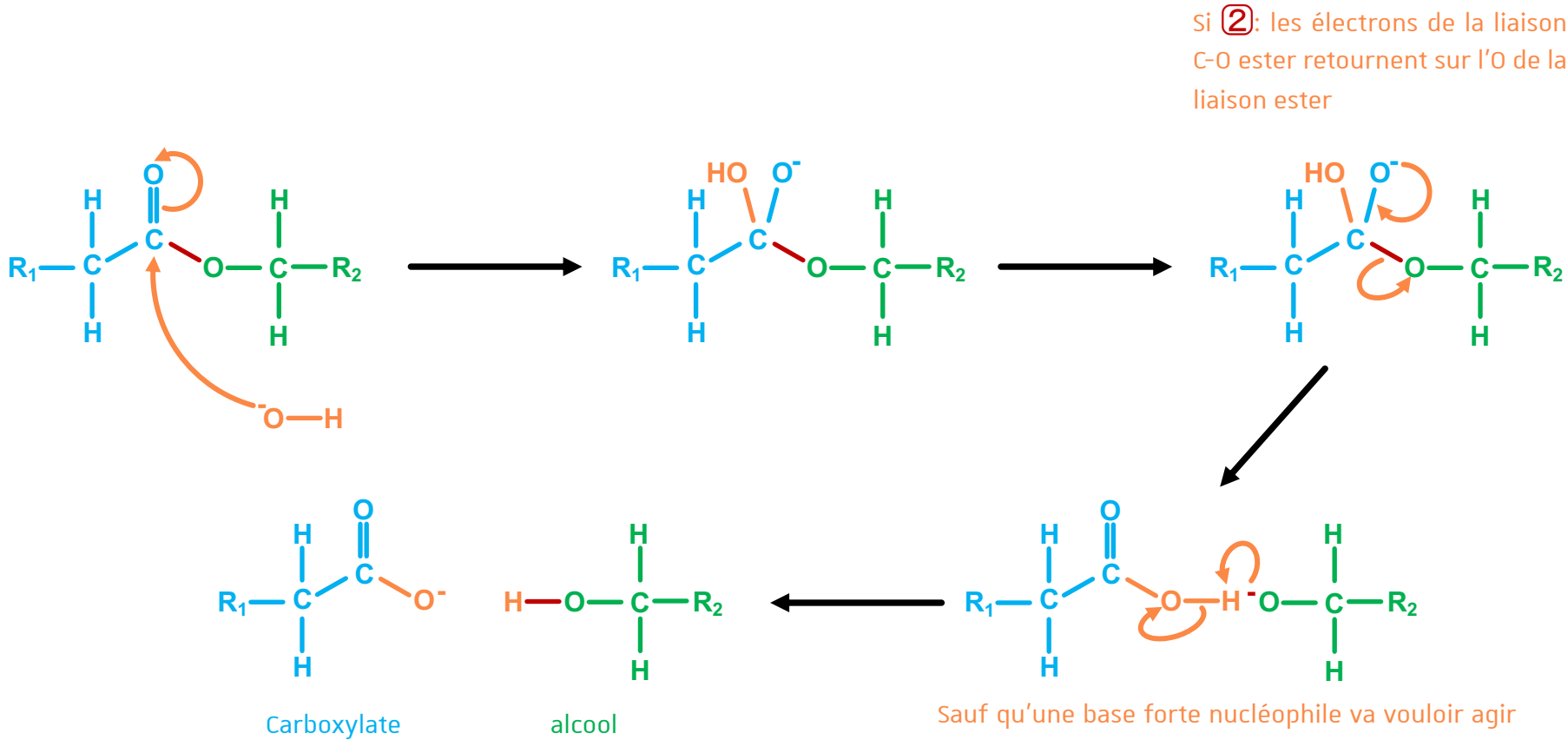
8. Hydrolyse d'un ester par une base



Si ②: les électrons de la liaison C-O ester retournent sur l'O de la liaison ester

Si cette base agit comme un nucléophile elle redonne ses électrons au C du carbonyle (électrophile) on revient au composé tétraédrique et à l'ester

8. Hydrolyse d'un ester par une base

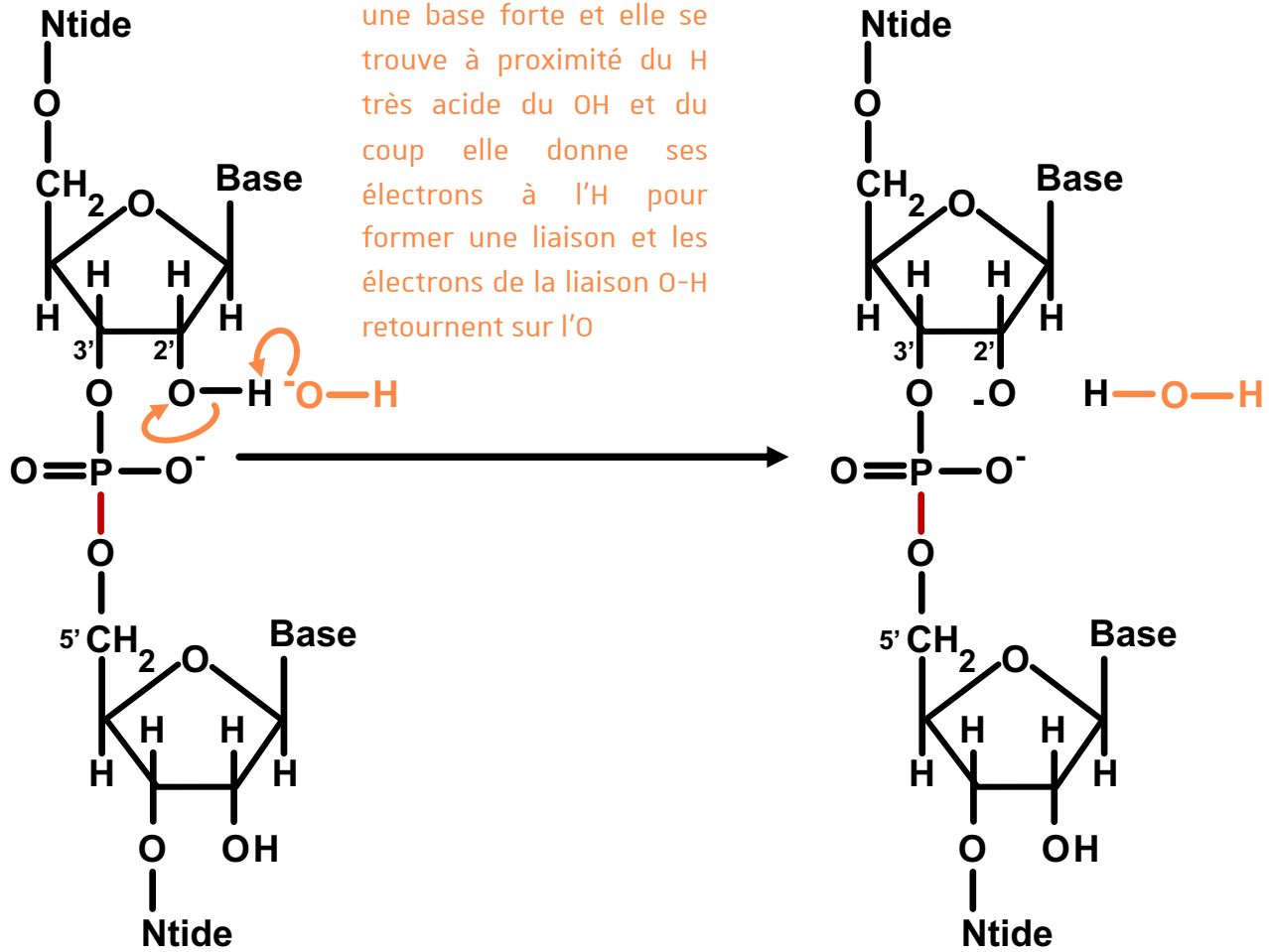


Si ②: les électrons de la liaison C-O ester retournent sur l'O de la liaison ester

Sauf qu'une base forte nucléophile va vouloir agir comme une base forte et elle se trouve à proximité du H très acide du OH et du coup elle donne ses électrons à l'H pour former une liaison et les électrons de la liaison O-H retournent sur l'O

9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base

La base forte agit comme une base forte et elle se trouve à proximité du H très acide du OH et du coup elle donne ses électrons à l'H pour former une liaison et les électrons de la liaison O-H retournent sur l'O

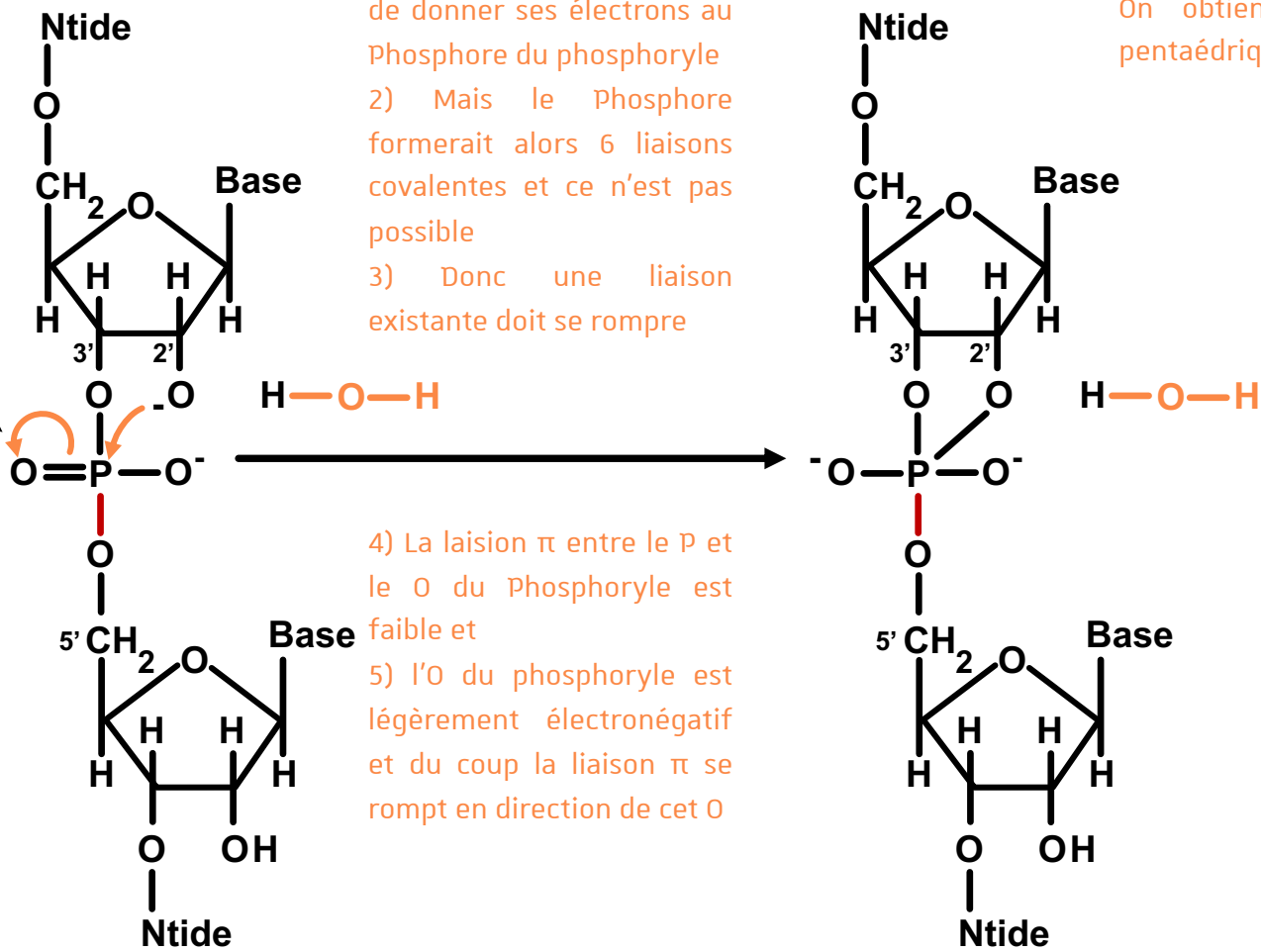


9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base

- 1) La charge négative de l'hydroxyle en 2' est capable de donner ses électrons au Phosphore du phosphoryle
- 2) Mais le Phosphore formerait alors 6 liaisons covalentes et ce n'est pas possible
- 3) Donc une liaison existante doit se rompre

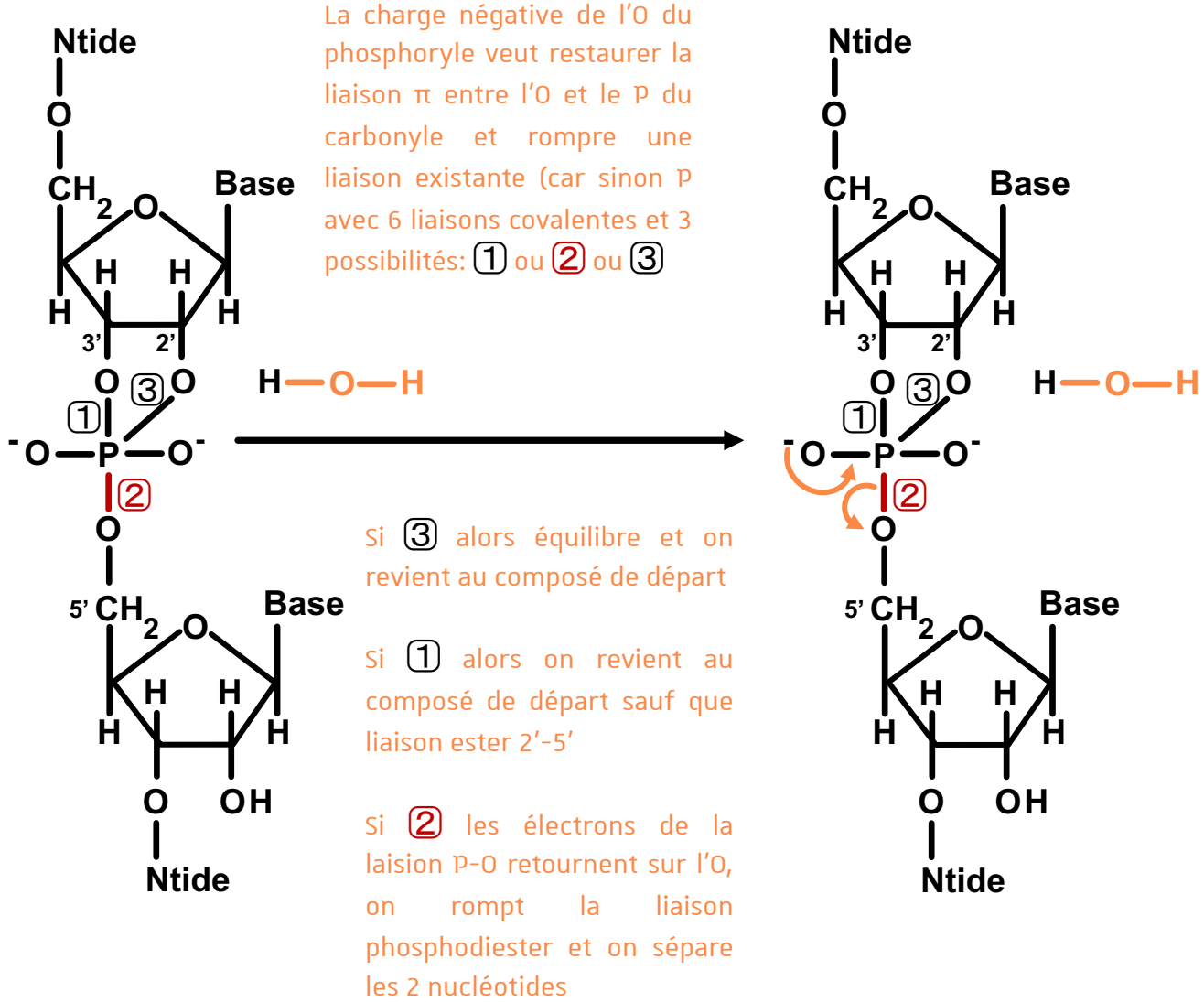
On obtient un composé pentaédrique très instable

Le phosphoryle à cause de sa liaison faible π est électrophile (accepteur de paires d'électrons)

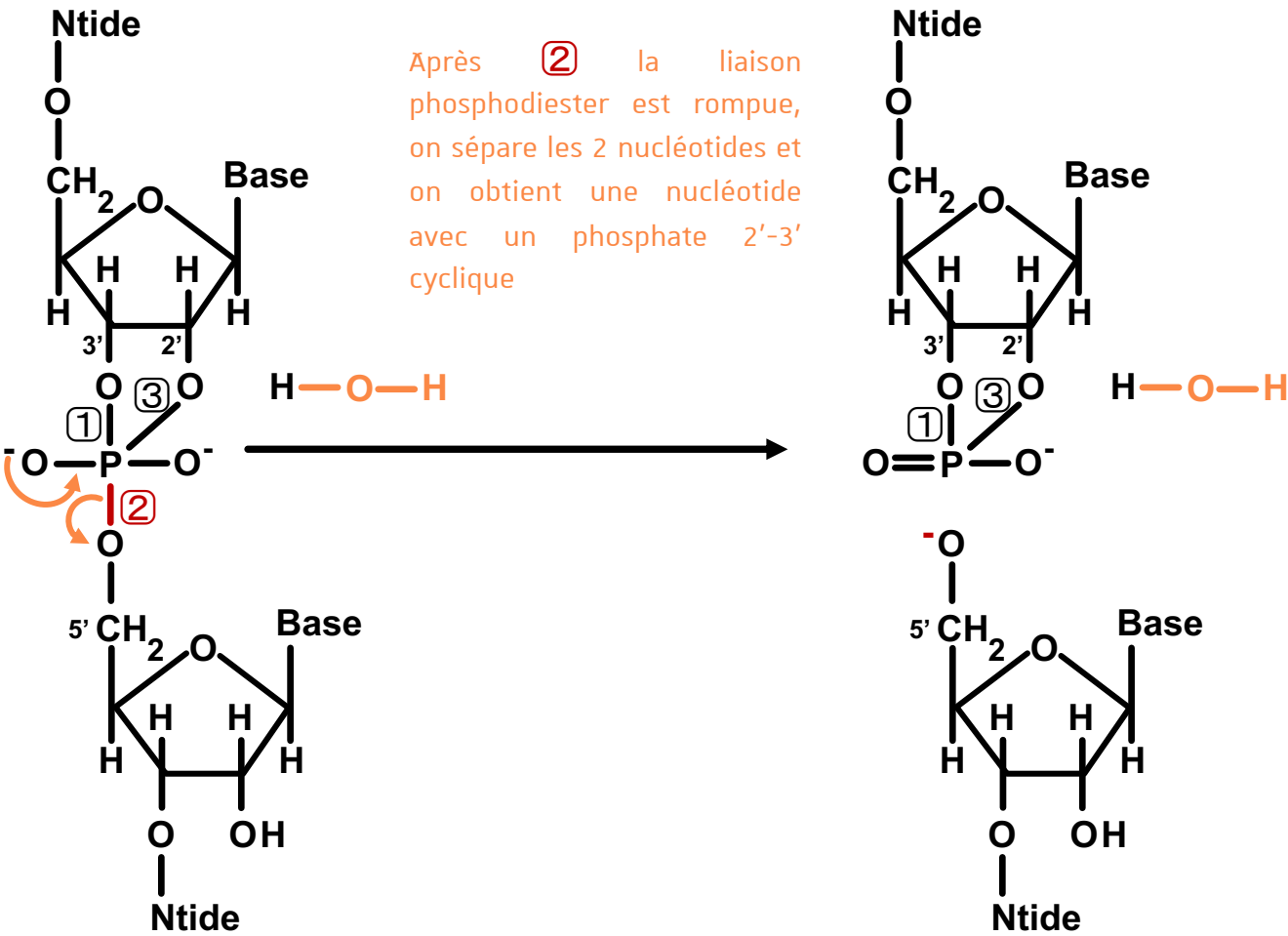


- 4) La liaison π entre le P et le O du Phosphoryle est faible et
- 5) l'O du phosphoryle est légèrement électronégatif et du coup la liaison π se rompt en direction de cet O

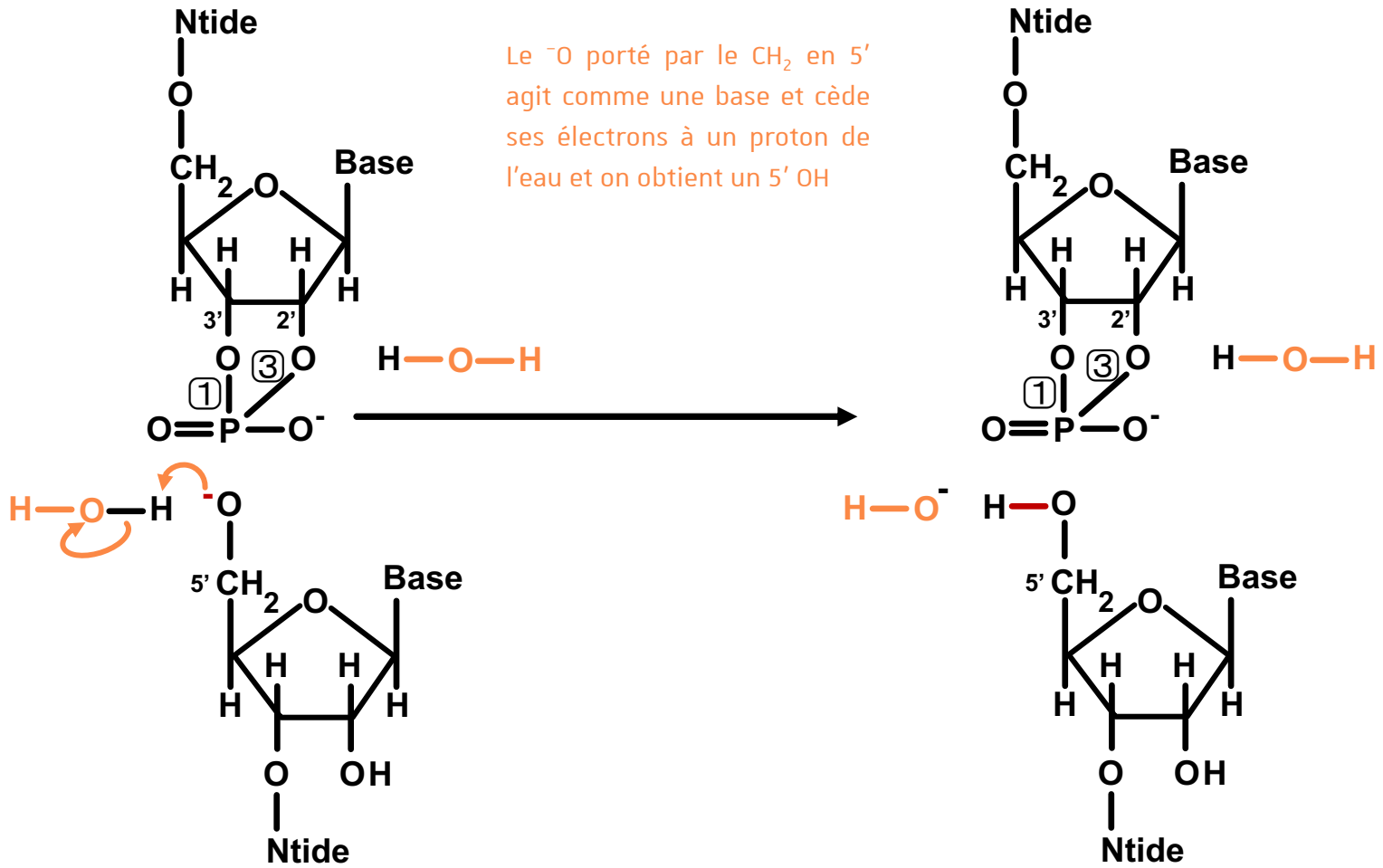
9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base



9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base

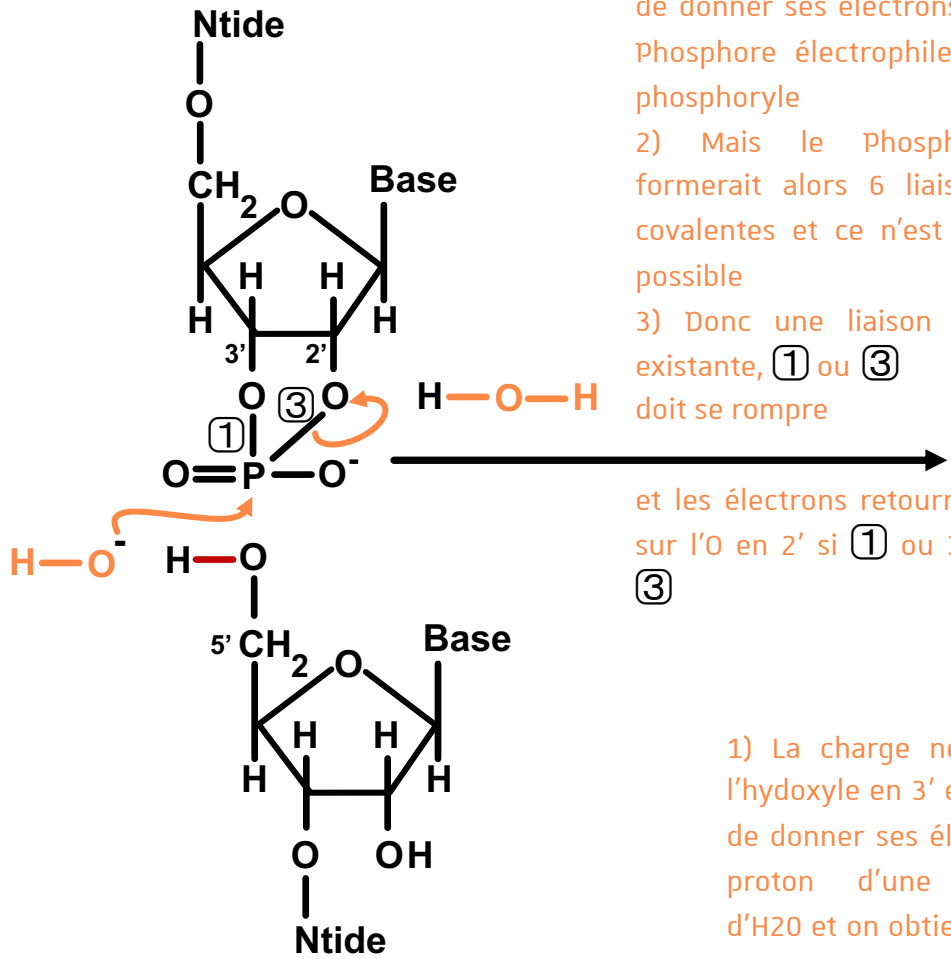


9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base



9. Hydrolyse d'un phosphodiester par une base

- 1) La charge négative de l'hydroxyle en 2' est capable de donner ses électrons au Phosphore électrophile du phosphoryle
- 2) Mais le Phosphore formerait alors 6 liaisons covalentes et ce n'est pas possible
- 3) Donc une liaison P-O existante, ① ou ③ doit se rompre



et les électrons retournent sur l'O en 2' si ① ou 3' si ③

- 1) La charge négative de l'hydroxyle en 3' est capable de donner ses électrons au proton d'une molécule d'H2O et on obtient un 3'OH et l'-OH de départ avec la »consommation« d'une molécule de H2O

