

## Chimie Générale pour Etudiant-es en Médecine

Enseignant: Thomas Bürgi  
Science II, bureau 218

Objectifs:

Introduction aux concepts de bases de la chimie (propriétés de la matière, liaisons entre atomes et molécules, réactions chimiques et énergie, force motrice des réactions chimiques)

La chimie est un domaine central pour les sciences de la vie (utile, magnifique...)

1

## Chimie Générale pour Etudiant-es en Médecine

Enseignement:

- Cours ex cathedra  
14 x 2h (septembre – janvier)
- Répétitoire («travaux dirigés»: 8 x 2h)
- Auto-apprentissage
- Forum

<https://moodle.unige.ch/>

Contenu d'examen:

- Notes des exemples vu dans le cours
- Supports

2

## Chimie Générale pour Etudiant-es en Médecine

### Bibliographie:

- Atkins PW et al. Principes de chimie. 5ème éd. Bruxelles : De Boeck ; 2024. QD 31 16 Ebook

### Ouvrages complémentaires:

- Bonin J, Marchal D. La chimie générale en 1001 QCM. 2ème éd. Paris : Ellipses ; 2010. QD 42 6
- Gédéon A. Cours de chimie générale : QCM d'entraînement. 2ème éd. Paris : Ellipses ; 2011. QD 42 5
- Schmuck C et al. Chemie für Mediziner. 2. Aufl. Hallbergmoos : Pearson Studium ; 2017. QD 31 18
- Schmuck C et al. Chemie für Studierende der Medizin und Biowissenschaften. 3. Aufl. München : Pearson; 2023. QD 31 18

3

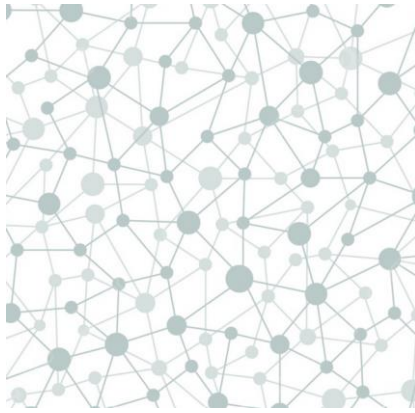
## Contenu

- Chimie et médecine, un lien étroit (2h)
- Propriétés de la matière (4h)
- A l'intérieur des matériaux: les liaisons chimiques (4h)
- Les forces intermoléculaires et les propriétés de l'eau (1h)
- Transformation de la matière (1h)
- La réaction chimique et l'énergie (4h)
- Equilibres chimiques (2h)
- Applications équilibres (4h)
- Cinétique (4h)
- Cinétique et équilibre (2h)

Table des matières détaillée sur <https://moodle.unige.ch/>

4

## Pourquoi étudier la chimie en médecine?



Le corps humain est un système complexe (processus chimiques qui interagissent entre eux).

5

## Pourquoi étudier la chimie en médecine?

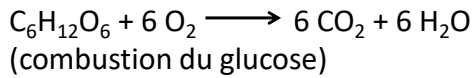
- La cellule est la plus petite unité vivante. Chaque être vivant est constitué d'une ou de plusieurs cellules
- Les fonctions fondamentales d'une cellule sont tous liées à des processus chimiques (alimentation, communication, reproduction etc.)
- Une cellule ne peut pas s'échapper aux lois fondamentales de physique et de chimie comme par exemple la conservation de l'énergie et les principes de la thermodynamique
- Une cellule doit constamment lutter contre l'entropie (évolution vers le plus grand désordre)

6

## Les lois fondamentales (physique/chimie) sont aussi valable pour le corps humain

Par exemple: **conservation de la masse**

**Réaction chimique** (microscopique)



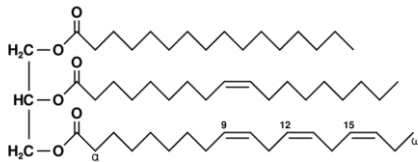
Masse des réactifs = masse des produits

Nombre d'atomes de chaque élément dans les réactifs = Nombre d'atomes de chaque élément dans les produits

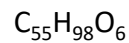
C: 6; H: 12; O: 18

Toute équation chimique doit donc être équilibrée

7



Combustion d'un triglycéride

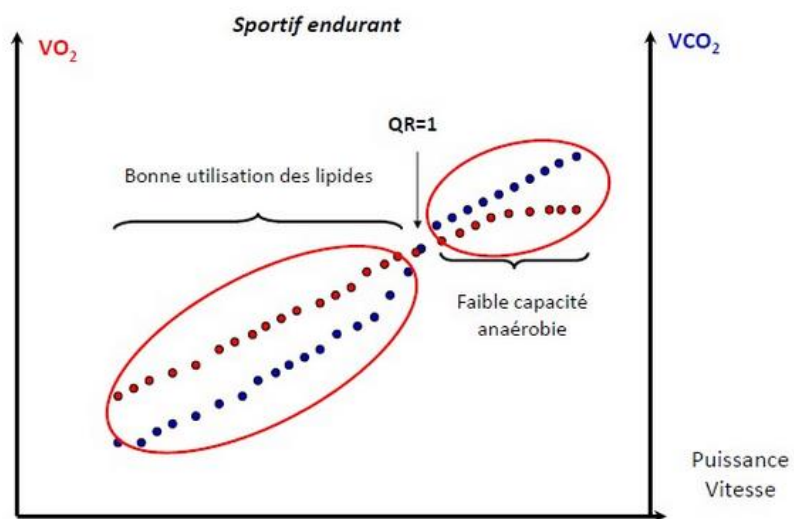


8



9

## Illustration QR (quotient respiratoire)



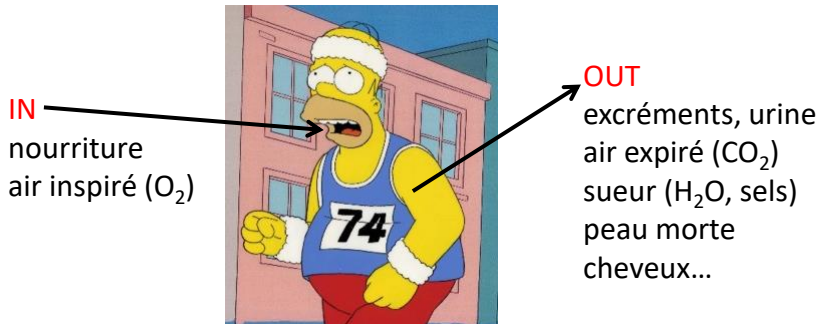
<http://www.lepape-info.com/entrainement/entrainement-running/progresser/les-tests-defforts-le-quotient-respiratoire/>

10

## Les lois fondamentales (physique/chimie) sont aussi valable pour le corps humain

Par exemple: **conservation de la masse**

**Corps humain** (macroscopique)



$$m(IN) = m(OUT) + \Delta m$$

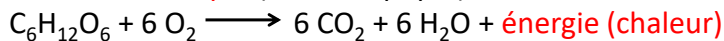
$$m(IN) > m(OUT) \rightarrow \Delta m > 0$$

11

## Les lois fondamentales (physique/chimie) sont aussi valable pour le corps humain

Par exemple: **conservation de l'énergie**

**Réaction chimique** (microscopique)



(combustion du glucose)

Glucose: haute teneur énergétique

Dioxyde de carbone, eau: basse teneur énergétique

«Energie chimique»: dans les liaisons entre les atomes (énergie potentielle)

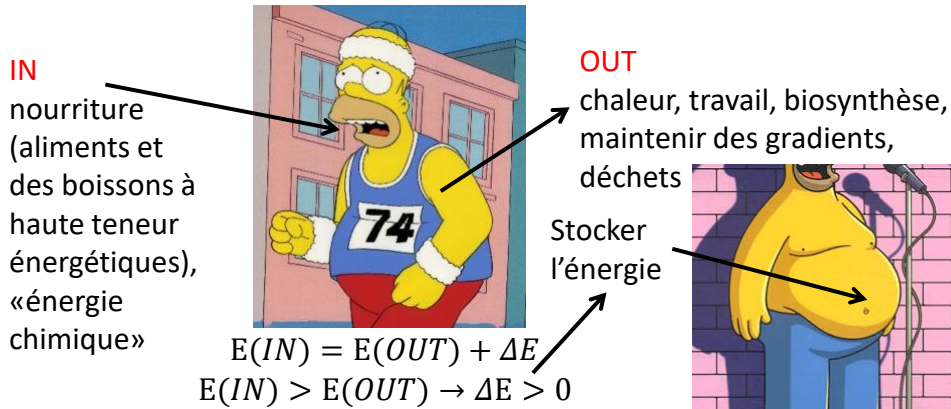
Molécules à haute teneur énergétique: Moyen de stocker de l'énergie

12

## Les lois fondamentales (physique/chimie) sont aussi valables pour le corps humain

Par exemple: **conservation de l'énergie**

**Corps humain** (macroscopique), température constante



13

## Conservation de l'énergie

**L'énergie ne peut pas être créée ni détruite, elle peut être transformée d'une forme à l'autre.**

*Formes d'énergies «ordonnées»*

énergie potentielle (macroscopique)

énergie électrique

énergie cinétique

«**énergie chimique**»

*Formes d'énergies «non-ordonnées»*

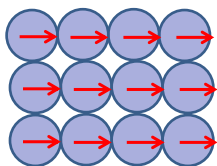
énergie stockée dans les mouvements

des atomes et molécules

(translations, rotations, vibrations)

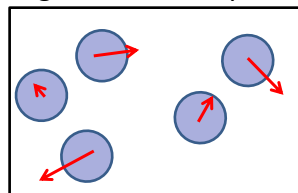
dépend de la température

Énergie de «haute qualité»



Énergie cinétique d'un objet

Énergie de «basse qualité»



Énergie stockée dans un gaz

14

## Conservation de l'énergie

énergie nécessaire pour:

-lever un homme de 100 kg de 10 m?

$$w = m \times g \times h = 100 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 10 \text{ m} = 9810 \text{ J} = \mathbf{9.81 \text{ kJ}}$$

-augmenter la température d'un litre d'eau de 20 C° à 100 C°

1 cal = 4.185 J = énergie nécessaire pour augmenter la température d'un gramme d'eau d'un degré.

$$q = 1000 \text{ g} \times 80^\circ \text{C} \times \frac{1 \text{ cal}}{1^\circ \text{C} \times 1 \text{ g}} = 80000 \text{ cal} = 334800 \text{ J} = \mathbf{335 \text{ kJ}}$$

$$q = m \times \Delta T \times c \quad c: \text{capacité calorifique spécifique}$$

énergie libérée

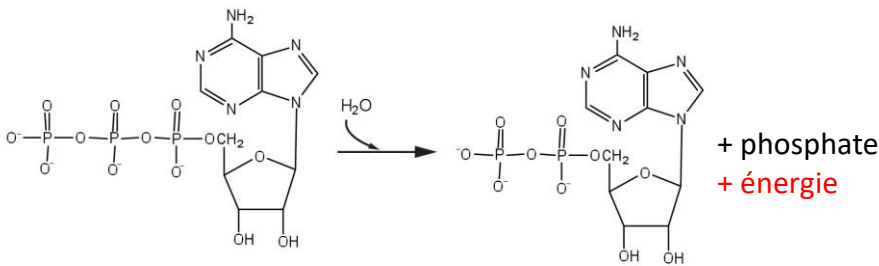
-bruler 180.16g de glucose (1 mole de C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)? (≈1.6 l Coca-Cola)

C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 6 O<sub>2</sub> → 6 CO<sub>2</sub> + 6 H<sub>2</sub>O, libère **2800 kJ** d'énergie

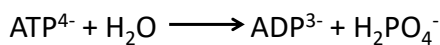
15

## Conservation de l'énergie

L'énergie libérée par l'oxydation de matière organique (glucides, lipides, protéines, alcool) par l'oxygène est transformé sous une **forme utilisable et stockable**.



adénosine triphosphate (ATP)    adénosine diphosphate (ADP)

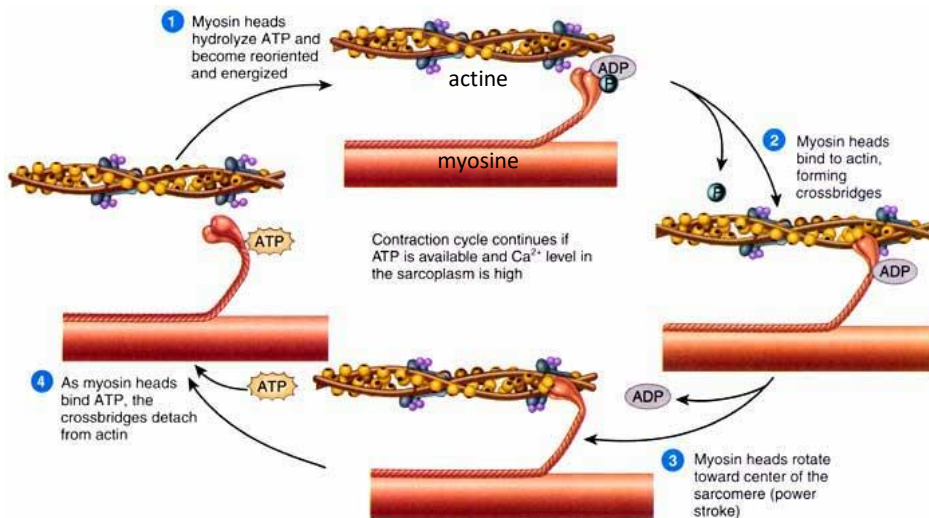


$$\Delta G^0 = -30.9 \text{ kJ/mole}$$

(énergie libre de Gibbs)

16

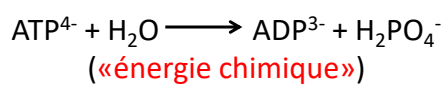
## Contraction des muscles



<http://www.sivabio.50webs.com/mus.htm>

17

## Contraction des muscles – conservation de l'énergie



L'efficacité n'est pas 100%!



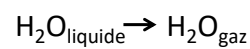
contraction des muscles  
**travail**



**chaleur**

*Transfert de chaleur*  
corps humain –  
environnement

- radiation
- conduction
- évaporation (transpiration)



Il faut  
40.6 kJ par 18 g  $\text{H}_2\text{O}$

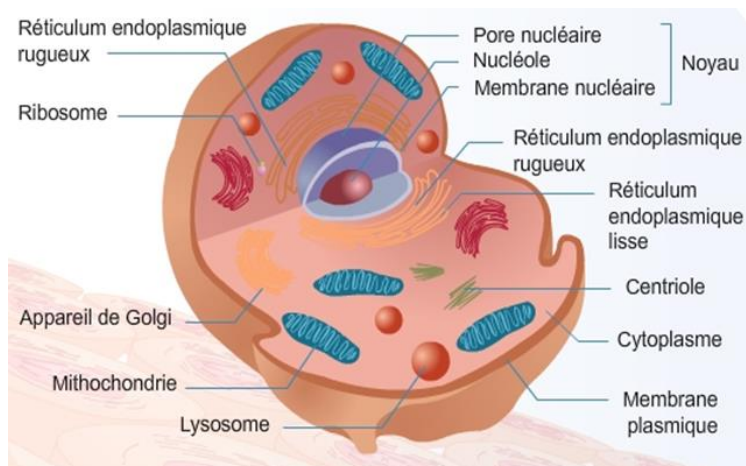
18

## La cellule comme usine chimique

19

## La cellule comme usine chimique

Pour arriver à accomplir ses tâches ou activités, la cellule a besoin de travailleurs dans son usine : les organites. Ce sont des structures internes de la cellule qui ont des rôles spécifiques à jouer.



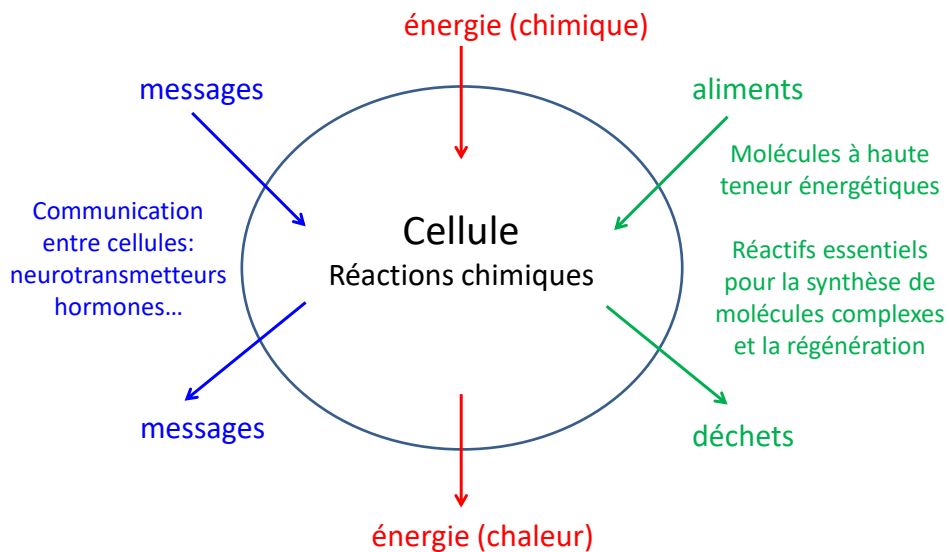
20

## La cellule comme usine chimique

organite	rôle	Importance de la chimie
Membrane cellulaire	Protège le contenu de la cellule. Aide à contrôler l'entrée et la sortie des substances dans la cellule	Lutte contre l'entropie, maintient des différences de concentration
Noyau	Contient l'information génétique, dirige les activités de la cellule	Information stocké dans 4 bases nucléiques, reconnaissance intermoléculaire
Mitochondries	Dégradent les substances nutritives (protéines, lipides, glucide) pour fournir de l'énergie à la cellule.	Combustion $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ $\Delta H^0 = -2800 \text{ kJ/mole}$ , libération d'énergie

21

## La cellule comme usine chimique



22

## Les conditions essentielles de la vie

23

## Les conditions essentielles de la vie

Problèmes fondamentaux d'un organisme vivant:

- Isolation du monde extérieur
- Alimentation
- Contrôle des transformations chimiques
- Reproduction

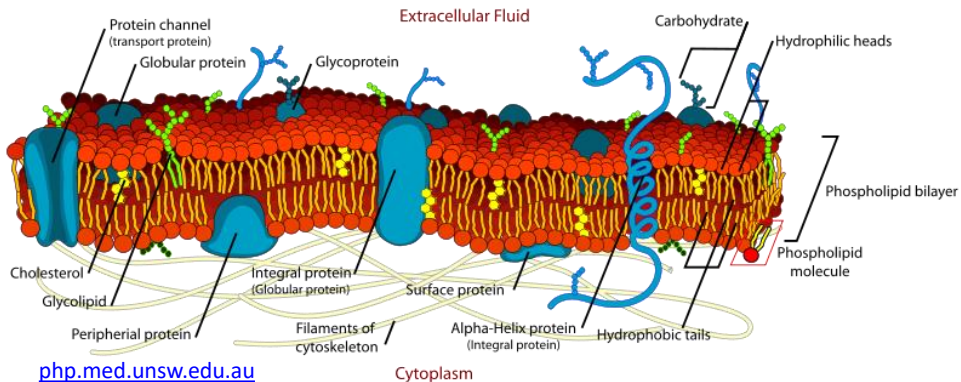
Ces problèmes sont tous résolus par une **approche chimique!**

24

## Isolation du monde extérieur

Séparation de l'intérieur de la cellule («réacteur chimique») de son extérieur; maintenir les gradients de concentrations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ); maintenir un flux contrôlé des produits chimiques (réactifs et produits, déchets...)

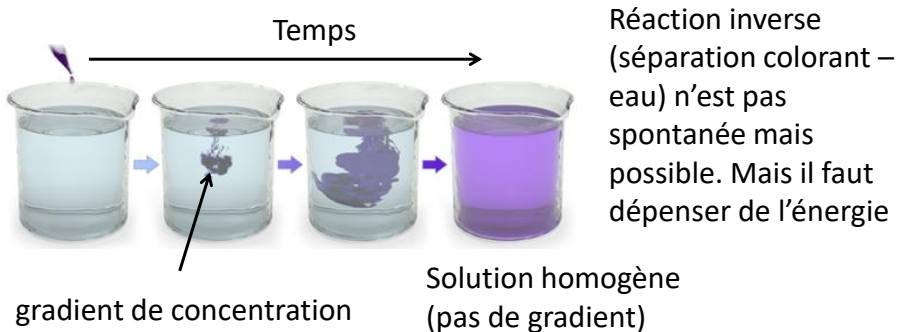
Solution chimique: **membrane semi-perméable** (phospholipides, protéines)



25

## Lutte contre l'entropie

Chaque transformation spontanée s'effectue avec augmentation de **l'entropie** (« désordre ») global (système plus environnement): deuxième principe de la **thermodynamique**

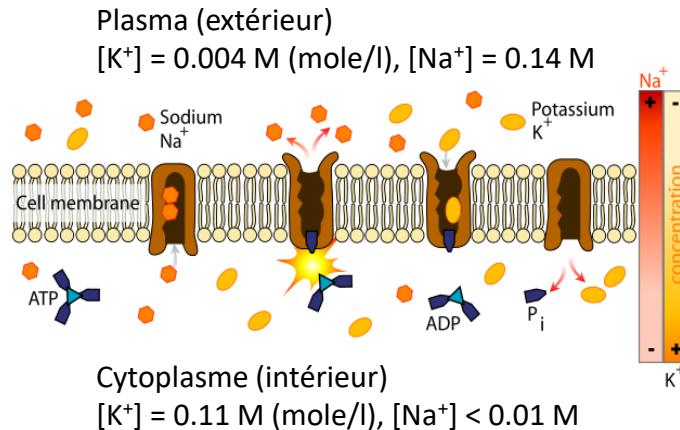


Par exemple: Diffusion d'un colorant dans l'eau; tendance naturelle vers l'équilibre. A l'équilibre il n'y a plus de changements macroscopiques (le système est «mort»)

26

## Lutte contre l'entropie

La maintenance de gradients de concentrations entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule réclame 25% de l'énergie « produite » (ATP) par l'organisme (lutte contre l'entropie).



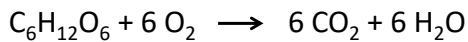
27

## Alimentation

Des matières premières doivent être accessible à l'organisme pour sa **construction**, sa production d'**énergie** (plutôt transformation d'énergie) et son **entretien**.

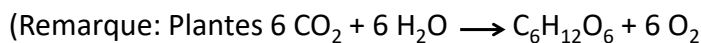
Ingestion: protéines, lipides, glucides; respiration: oxygène

Solution chimique:



$\Delta H^0 = -2800 \text{ kJ/mole}$ , libération d'énergie

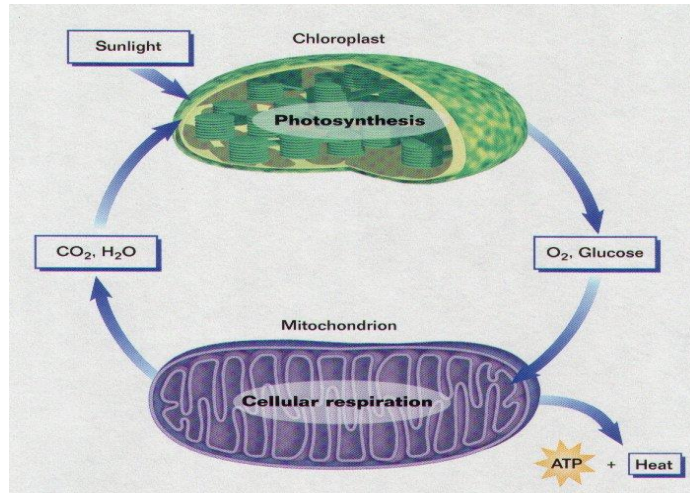
Cette oxydation de matière organique par l'oxygène libère une énergie qui est transformée sous une forme utilisable et stockable (ATP, adénosine triphosphate).



$\Delta H^0 = +2800 \text{ kJ/mole}$ , absorption d'énergie)

28

## Alimentation

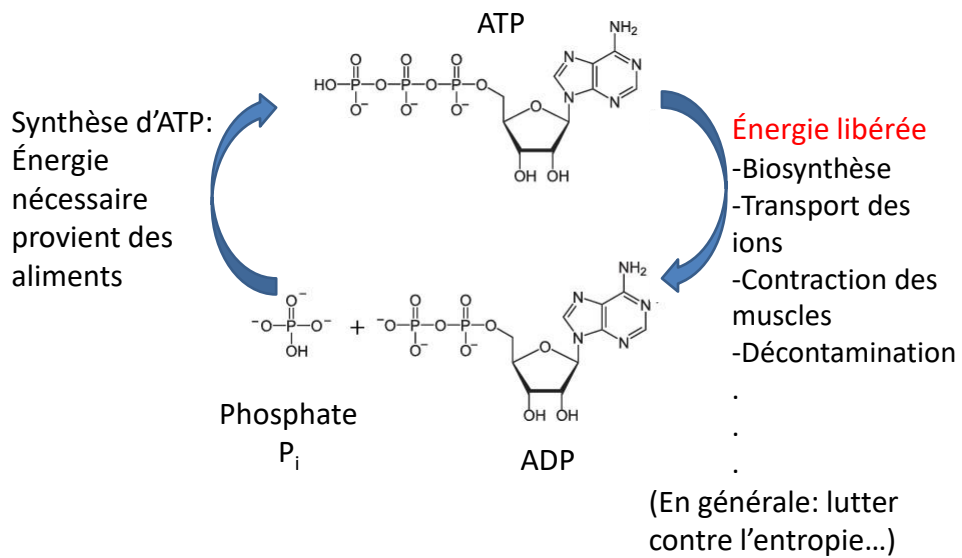


<http://staff.district87.org/bachl/Links/CellBiologypage/cellbiology.htm>

29

## Alimentation

Énergie stockée dans l'ATP



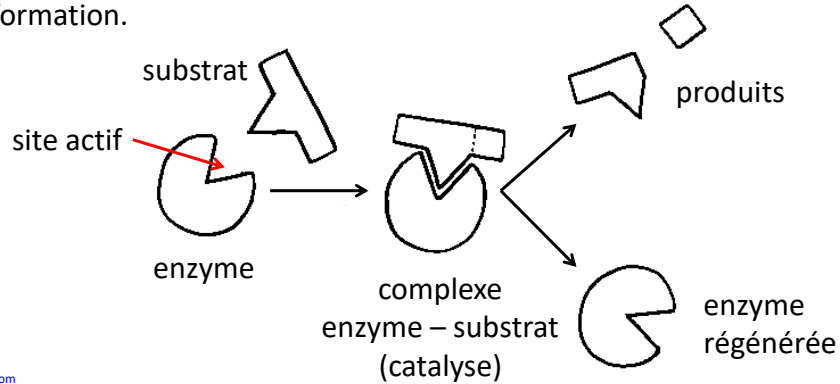
30

## Contrôle des transformations chimiques

But: Contrôler de façon précise la vitesse et la nature des réactions chimiques

Solution chimiques:

Utilisation de catalyseurs (**enzymes**) capables de réguler la vitesse des réactions chimiques. Les enzymes sont spécifiques pour une transformation.



[keepschool.com](http://keepschool.com)

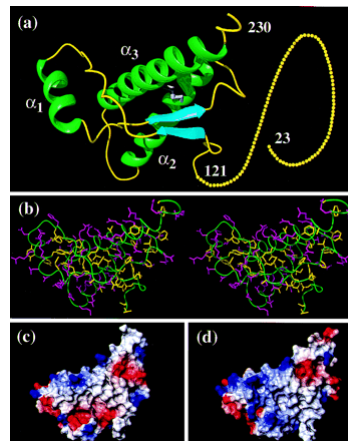
31

## Structure des protéines



Kurt Wüthrich, ETHZ  
Prix Nobel en Chimie 2002

“for his development of nuclear magnetic resonance spectroscopy for determining the three-dimensional structure of biological macromolecules in solution”



Prion (protéine)

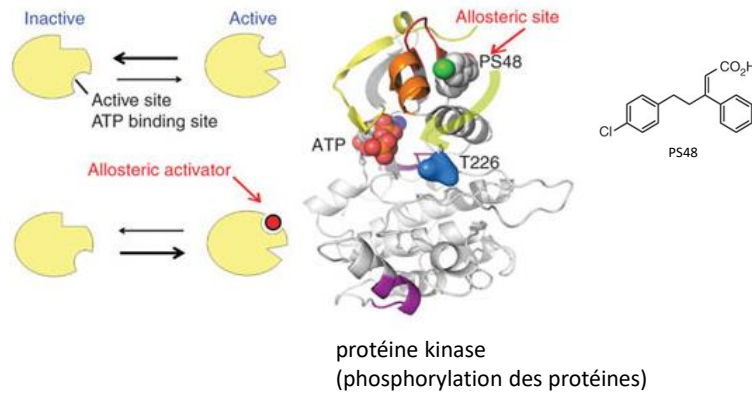
charges  
négative  
positive

PNAS,doi: 10.1073/pnas.97.15.8334

32

## Contrôle des transformations chimiques

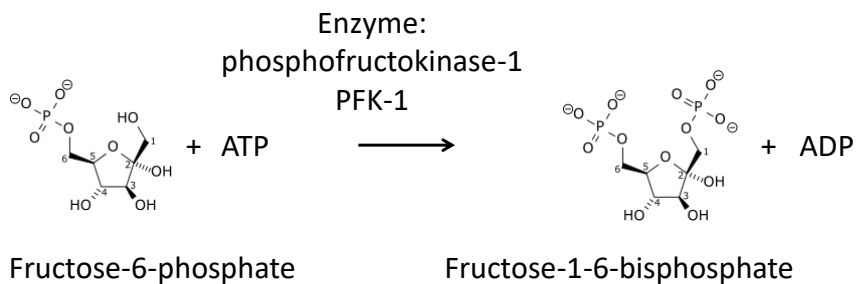
Allostérie: Propriété de certaines enzymes qui peuvent changer de structure spatiale lorsqu'elles se lient à un effecteur à un site différent du site actif. Cette liaison se traduit par une modification de l'activité (vitesse de réaction change).



Nature Chemical Biology 5, 758 - 764 (2009)

33

## Contrôle des transformations chimiques



- La phosphofruktokinase-1 est important pour la régulation de la vitesse de la glycolyse
- La PFK-1 est inhibée (allostérie) par des taux élevés d'ATP

34

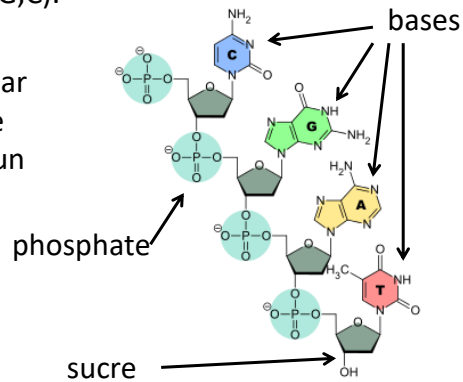
## Reproduction

But: Le maintien de l'espèce, transfert d'informations pour la génération suivante

Solution chimiques:

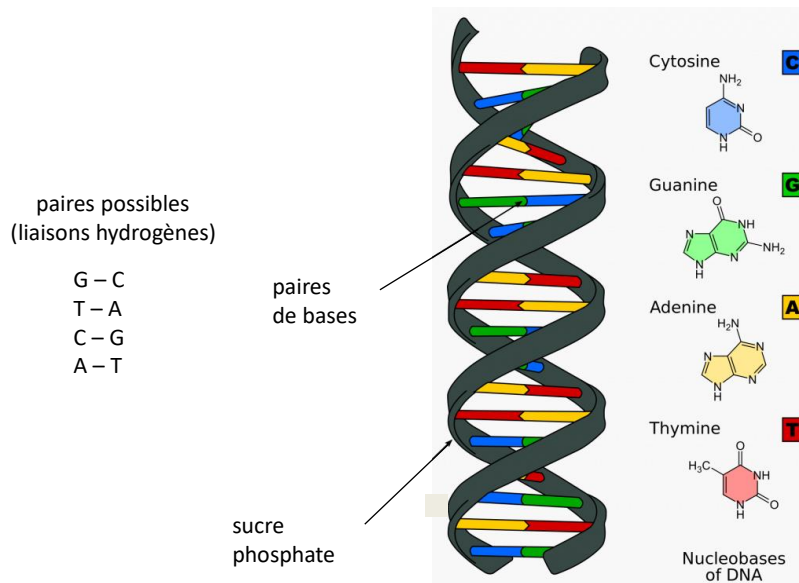
Utilisation d'un code basé sur quatre bases nucléiques: Thymine, Adénine, Guanine, Cytosine (T,A,G,C).

L'association intermoléculaire (par liaisons hydrogènes) de paires de bases complémentaires produit un filament d'ADN (acide desoxyribonucléique)



35

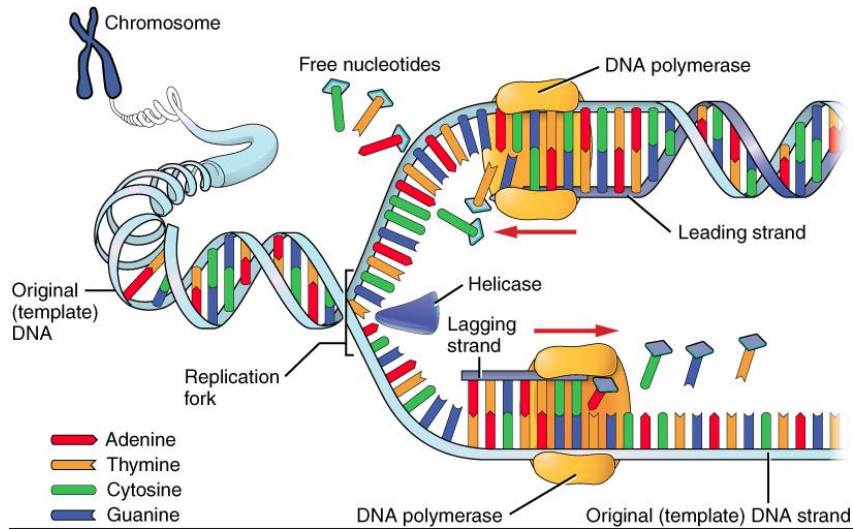
## Structure de l'ADN (acide desoxyribonucléique)



<http://teachmephysiology.com/basics/cell-growth-death/dna-replication/>; 13.9.2018

36

## Replication de l'ADN



<https://www.tes.com/lessons/ZFp9Hk-E0c2kVA/dna-structure-replication>; 13.9.2018

37

**L'importance des processus chimiques dans le corps**

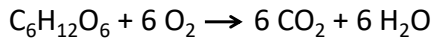
38

## L'importance des processus chimiques dans le corps



combustion  
libération d'énergie  
sous forme de chaleur

### Utilisation de l'oxygène



$\Delta H^0 = -2800 \text{ kJ/mole}$ , libération d'énergie

L'oxygène  $\text{O}_2$  est essentiel pour  
permettre l'oxydation de la matière  
(«production» d'énergie)

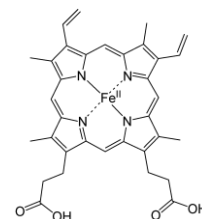
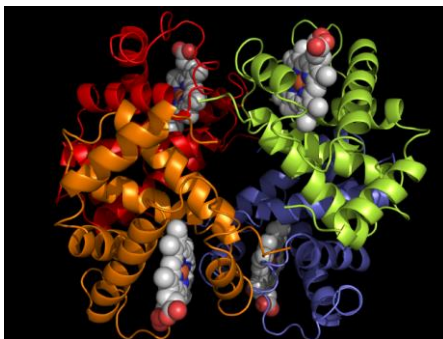
### En biologie / médecine

$\text{O}_2$  (air)  $\longrightarrow$  poumons (assimilation)  
 $\downarrow$   
 sang (transport, hémoglobine)  
 $\downarrow$   
 muscle (stockage, myoglobine)  
 utilisation (cytochrome c oxidase)

39

## Transport de l'oxygène

Oxygène n'est peu soluble dans le sang: L'organisme utilise  
l'**hémoglobine** (Hb, protéine) pour fixer l'oxygène et le transporter.



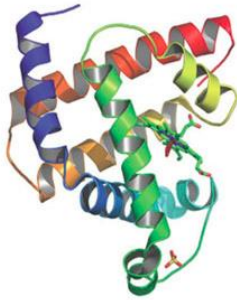
Structure de l'hème

Hémoglobine: Possède quatre hèmes (porphyrines) contenant  
du fer(II). Chaque hème est capable de fixer une molécule  
d'oxygène

40

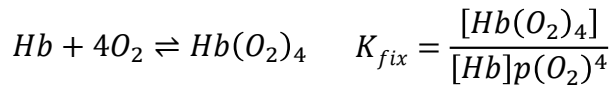
## Transport de l'oxygène

L'hémoglobine transporte l'oxygène vers les muscles où l'oxygène est relâché et fixé sur une autre protéine, la myoglobine.



La **myoglobine** (Mb) contient seulement une seule porphyrine de fer.

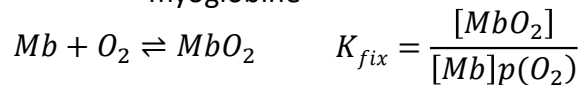
hémoglobine



équilibre

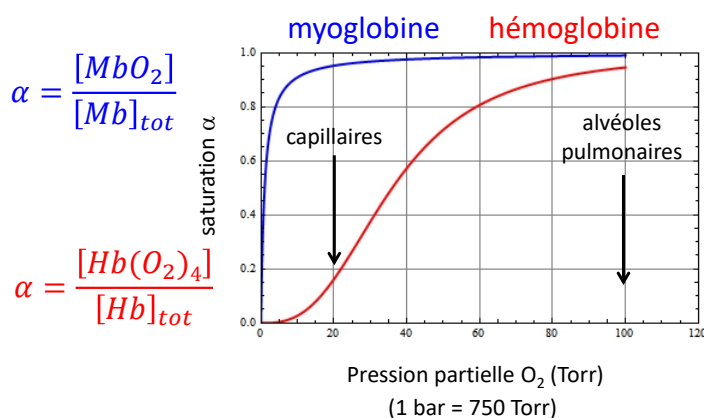
constante d'équilibre (thermodynamique)

myoglobine



41

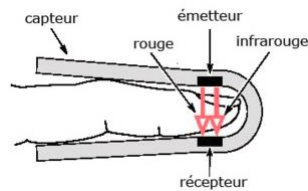
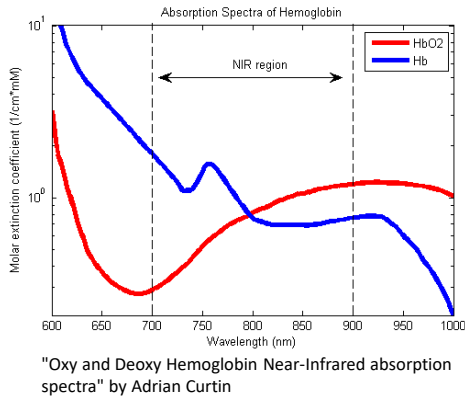
## Transport de l'oxygène



Alvéoles pulmonaires: Saturation de l'hémoglobine avec de l'oxygène  
 Capillaires (muscles): O<sub>2</sub> est relâché de l'hémoglobine et fixé sur la myoglobine

42

## Mesurer la saturation en oxygène de l'hémoglobine au niveau des capillaires sanguins (SpO2)

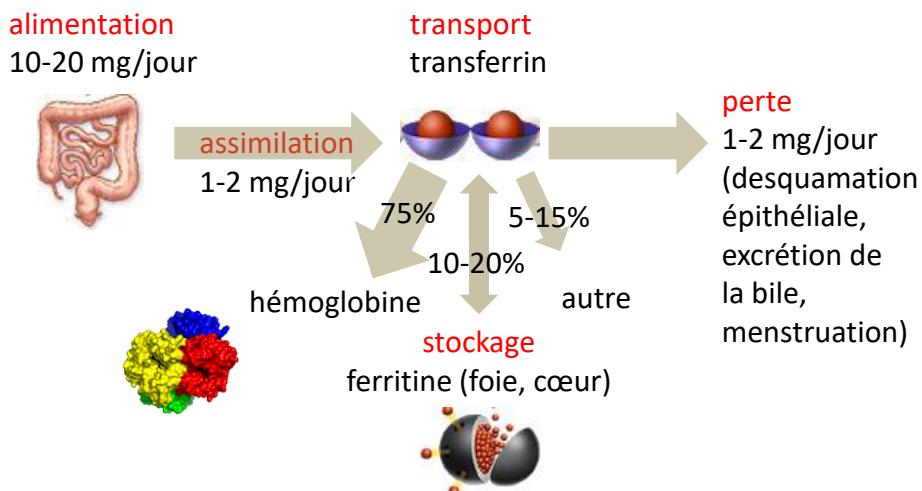


L'oxyhémoglobine (HbO<sub>2</sub>) absorbe plus de lumière infrarouge et laisse passer plus de lumière rouge.

La déoxyhémoglobine (Hb) absorbe plus de lumière rouge et laisse passer plus de lumière infrarouge.

43

## Le métabolisme du fer



L'absorption intestinale du fer dépend de sa forme chimique. Le fer hémérique (hémoglobine, myoglobine) sont très bien absorbés. Le fer des complexes organiques (végétaux, ...) est peu absorbé.

44

## Effets somatiques de désordre chimiques

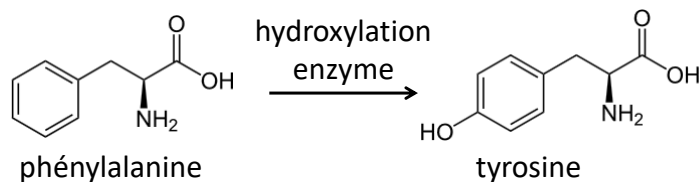
45

### Effets somatiques de désordres chimiques

#### La phénylcétonurie

*Symptôme:* La phénylcétonurie empêche le développement du cerveau lors de la croissance (retard mental).

Dans les cellules du foie, une enzyme permet de transformer la phénylalanine en excès en tyrosine



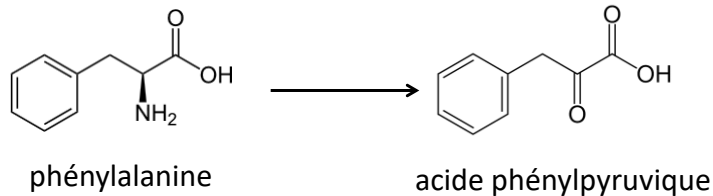
L'absence de l'enzyme, phénylalanine hydroxylase, (gène responsable est défectueux) qui catalyse cette réaction a comme conséquence l'accumulation de la phénylalanine. L'excès de phénylalanine dans le sang est toxique pour le système nerveux.

46

## Effets somatiques de désordres chimiques

### La phénylcétonurie

*Détection:* L'accumulation de la phénylalanine produit de métabolites (molécules) inhabituel qui peuvent être détectés dans les urines.



phénylalanine (mg/100ml)	concentration normale	concentration chez un malade
Dans le plasma	1 à 10	15 à 63
Dans les urines	30	300 à 1000

47

## Effets somatiques de désordres chimiques

### La phénylcétonurie

*Détection:* L'accumulation de la phénylalanine produit de métabolites (molécules) inhabituel qui peuvent être détectés dans le sang et les urines.

test de Guthrie  
ou  
spectrométrie de masse



*Traitement:* L'enfant atteint peut vivre avec un développement cérébral normal en suivant un régime pauvre en phénylalanine. On supprime toute viande, poissons, œufs, laitages, légumes secs, mayonnaise, pâtes, etc., (tout aliment pouvant contenir une quantité importante de protéine comportant la phénylalanine).

48