



Tut'Rentrée 2013

BIOCHIMIE

Cours 1 – Introduction au Métabolisme Energétique

Cours 1 - Introduction au Métabolisme Energétique

I- Concepts de Base

II- Le Métabolisme Energétique

III- L'Energie

I- Concepts de Base

1) Métabolisme

2) Molécules Energétiques

- A) Protéines
- B) Glucides
- C) Lipides

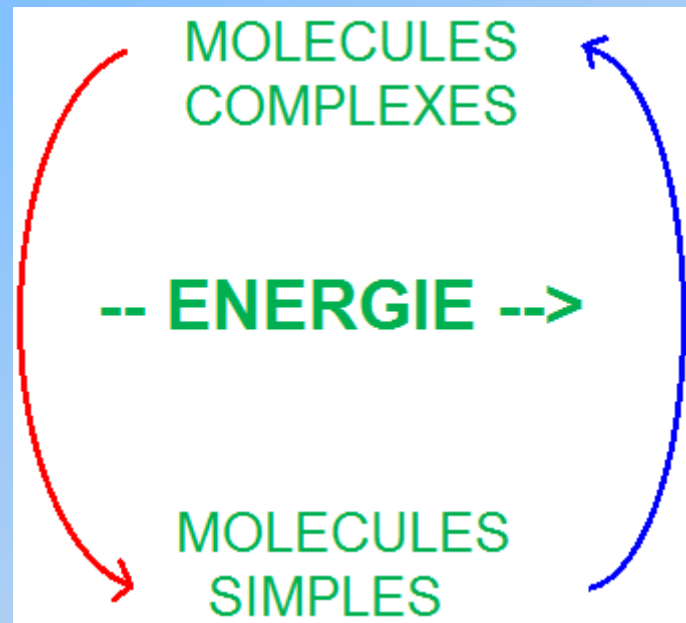
3) Voies Métaboliques

- A) Définitions
- B) Les Enzymes
- C) Localisation des Voies Métaboliques

1) Métabolisme

- Ensemble des **réactions chimiques** mettant en jeu les molécules présentes dans les cellules
- Assure la survie:
 - production d'**énergie**
 - synthèse de **molécules indispensables**

- **Catabolisme: dégradation** des molécules
- **Anabolisme: synthèse** de molécules



CATABOLISME

Dégradation de **nutriments riches en énergie**

Formation de molécules précurseurs

Extraction d'énergie

Réactions d'**oxydation**
(*en général*)

ANABOLISME

Utilisation de **molécules précurseurs**

Formation de molécules complexes

Utilisation d'énergie

Réactions de **réduction**
(*en général*)

I- Concepts de Base

1) Métabolisme

2) Molécules Energétiques

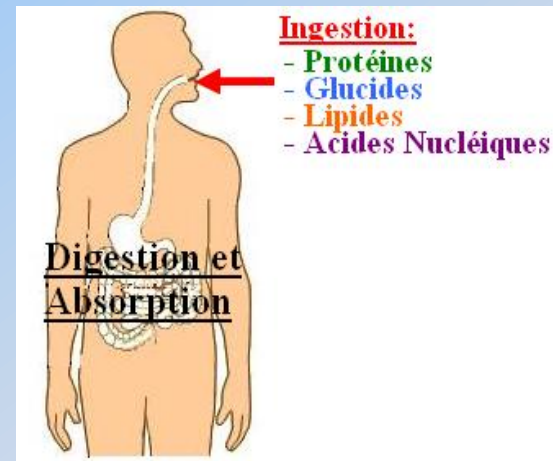
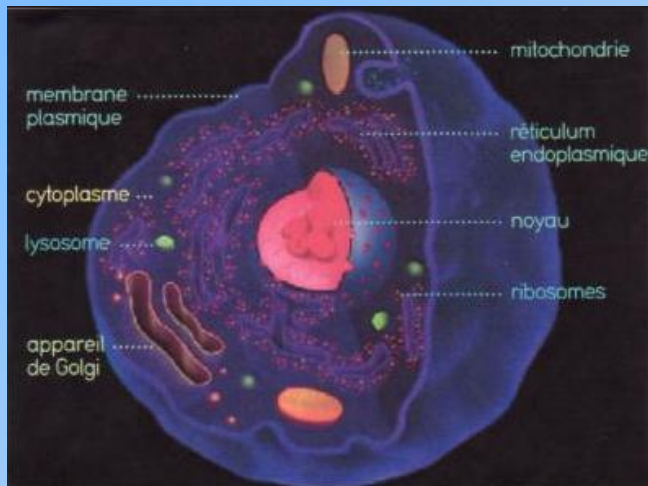
A) Protéines

B) Glucides

C) Lipides

2) Molécules Energétiques

- Apportent des calories
- Proviennent:
 - des réserves cellulaires
 - de l'alimentation



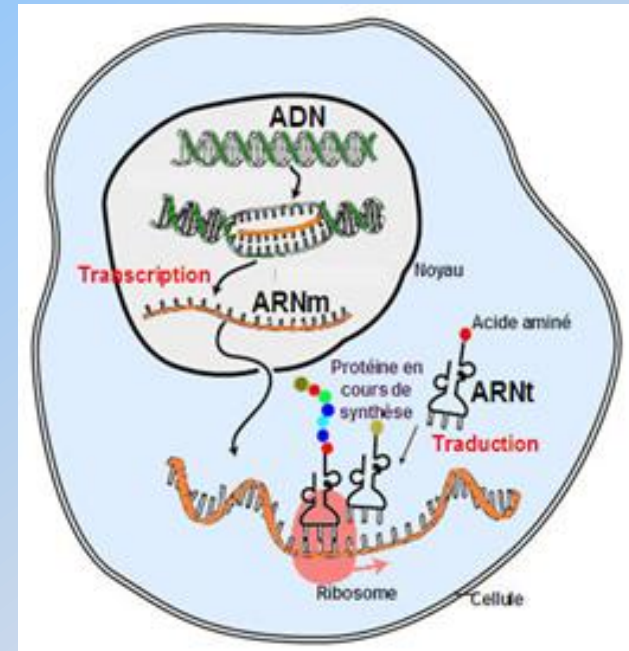
A) Protéines

- **Protéine = assemblage d'acides aminés (AA)**
- **AA protéinogènes = codés par le code génétique**

A) Protéines

- protéine = assemblage d'acides aminés (AA)
- AA protéinogènes = codés par le code génétique

- **Synthèse d'une protéine:**
 - transcription
 - traduction



A) Protéines

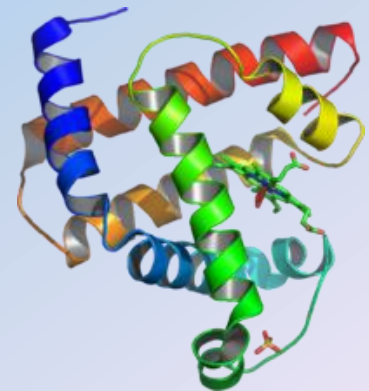
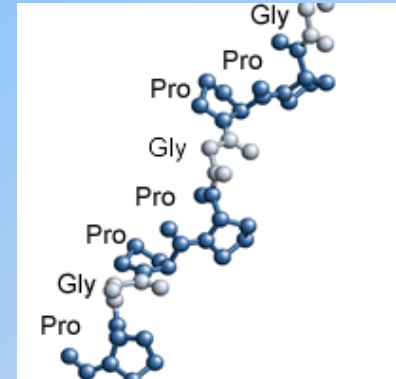
AA essentiels / non essentiels:

- AA **essentiel**:
 - ne peut **pas** être **synthétisé** par la cellule
 - doit être **apporté par l'alimentation**

- AA **non essentiel**:
 - **synthétisable** par la cellule
 - *≠ AA protéinogène!*

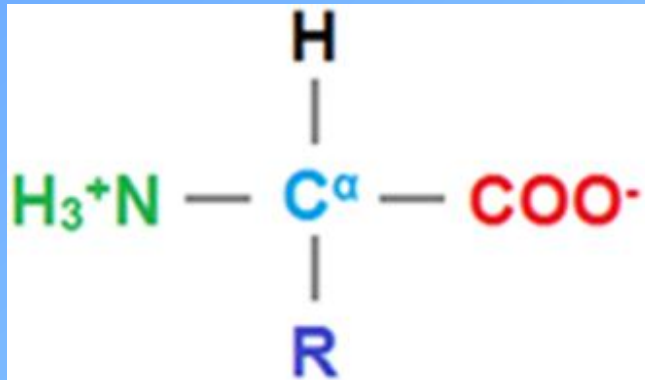
A) Protéines

- **structure primaire = séquence d'acides aminés** *liés par des liaisons peptidiques*
- **Organisation dans l'espace: structure tridimensionnelle et acquisition de la fonction**



A) Protéines

structure des AA:



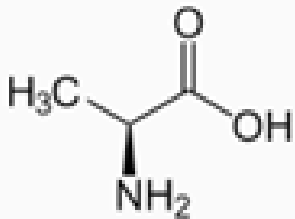
C^α: carbone central

H: hydrogène

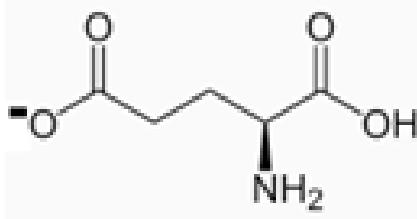
COOH/ COO⁻: fonction carboxylique

NH₃⁺/NH₂: fonction amine

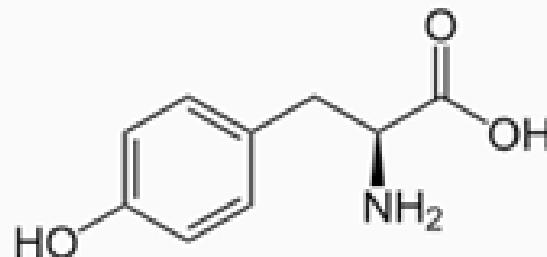
R: chaîne latérale



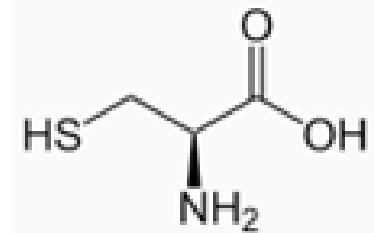
Alanine



Glutamate



Tyrosine



Cystéine

A) Protéines

Une propriété des AA: la solubilité

- La **solubilité** de l'AA **dépend** du **groupement** porté par sa **chaîne latérale**

A) Protéines

une propriété des AA: la solubilité

- la solubilité de l'AA dépend du groupement porté par sa chaîne latérale
 - AA apolaires :
 - hydrophobes
 - lipophiles
 - à l'intérieur des protéines

A) Protéines

une propriété des AA: la solubilité

- la solubilité de l'AA dépend du groupement porté par sa chaîne latérale
 - AA apolaires
 - **AA polaires:**
 - hydrophiles
 - lipophobes
 - à la surface des protéines solubles

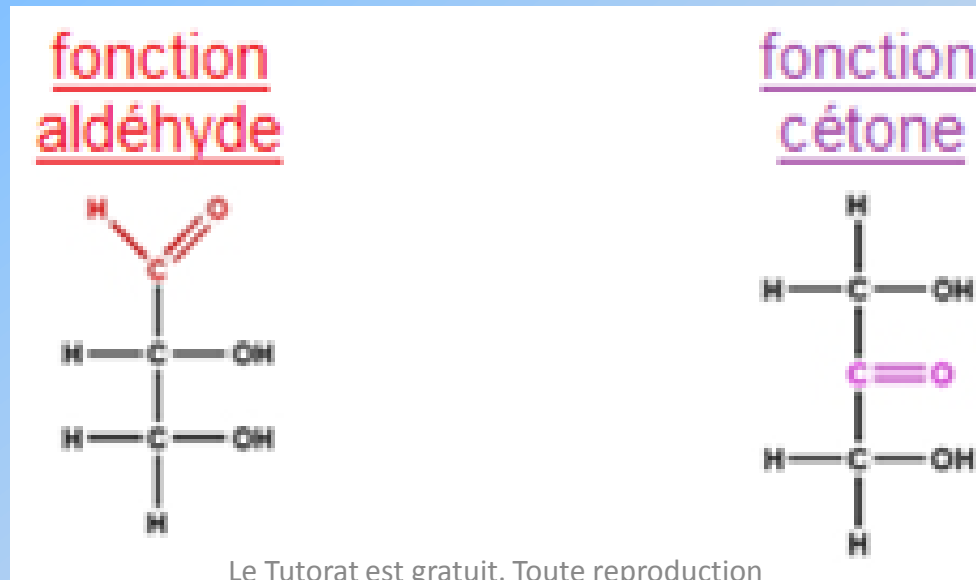
A) Protéines

devenir des acides aminés:

- **renouvellement** des **protéines**
- Ne peuvent **pas** être **stockés**:
 - utilisés pour **former d'autres molécules**
 - catabolisés pour **libérer de l'énergie**

B) Glucides

- Structure :
 - Fonction aldéhyde (**aldose**) ou fonction cétone (**cétose**)
 - Nombreuses fonctions alcool



Le Tutorat est gratuit. Toute reproduction
ou vente interdite.

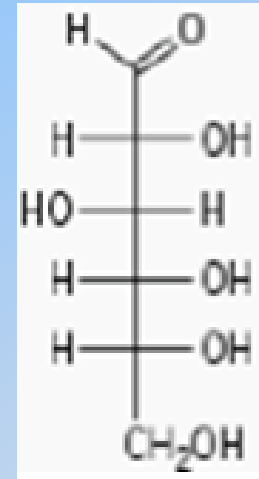
B) Glucides

- **Oses** : glucides simples (*monomères*)
- **Osides** : **oses** associés par des **liaisons osidiques** (*polymères*)
 - **oligosides** : 2 à 10 oses
 - **polyosides** : + de 10 oses

B) Glucides

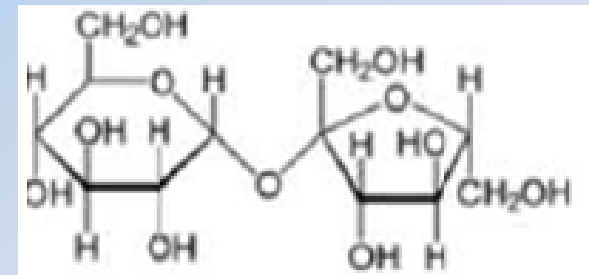
- **Monosaccharides :**

- Glucose (*aldose*)
- Fructose (*cétose*)
- Galactose (*aldose*)



- **Disaccharides :**

- Saccharose (*Glucose – Fructose*)
- Lactose (*Glucose – Galactose*)
- Maltose (*Glucose – Glucose*)



B) Glucides

- **Polysaccharides:**
 - **Glycogène** : polymère du glucose
 - . unique forme de **stockage** des glucides chez l'homme
 - **Amidon** : polymère du glucose
 - . même structure que le glycogène, mais d'**origine végétale**

C) Lipides

Acides gras (AG): unité de base des lipides

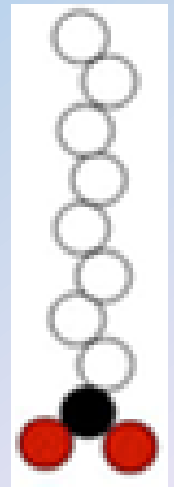
Structure :

– chaîne hydrocarbonée apolaire

- 4 à 24 carbones
- lipophile & hydrophobe

– tête polaire

- groupement carboxylique ($\text{COOH} / \text{COO}^-$)
- lipophile & hydrophile



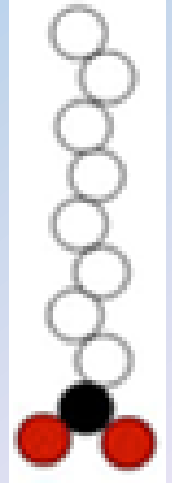
C) Lipides

Acides gras (AG): unité de base des lipides

Structure :

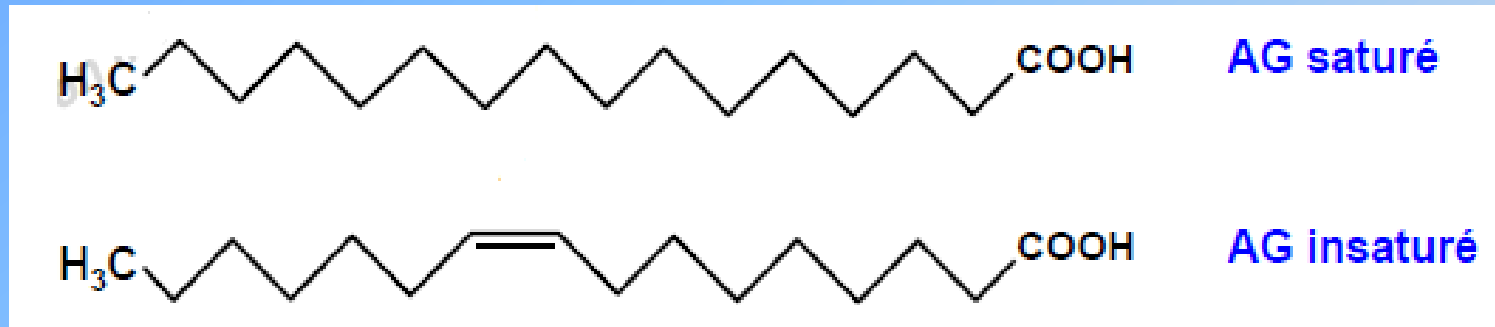
- chaîne hydrocarbonée apolaire
- tête polaire

On dit que les AG sont amphiphiles (*ou amphipathiques*)



C) Lipides

– **AG saturés: que des liaisons simples**



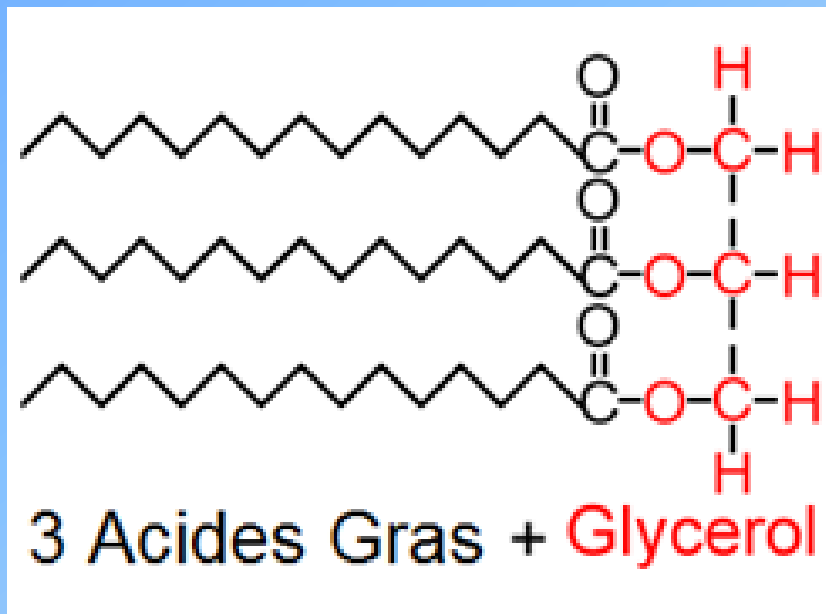
– **AG insaturés: présentent des doubles liaisons**

. AG mono-insaturés: une double liaison C=C

. AG poly-insaturés: plusieurs doubles liaisons

C) Lipides

Stockage des AG: sous forme de Triacylglycérol
(ou Triglycérides)



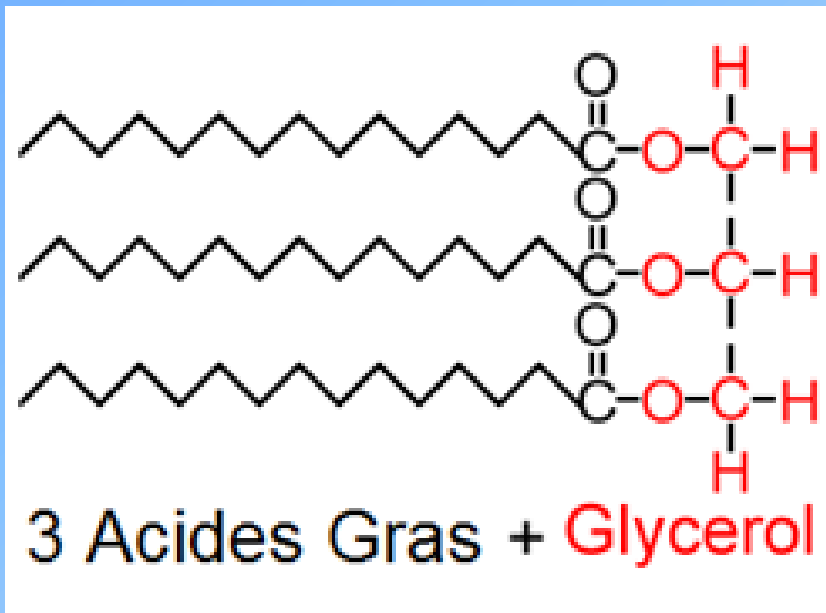
Les trois **fonctions alcool (OH)** du **Glycérol** sont **estérifiées par des AG**

Hétérogénéité : les AG peuvent différer par:

- . La longueur de leur chaîne
- . le nombre de double liaisons

C) Lipides

Stockage des AG: sous forme de Triacylglycérol
(ou Triglycérides)



Les Triacylglycérols
sont hydrophobes

I- Concepts de Base

1) Métabolisme

2) Molécules Energétiques

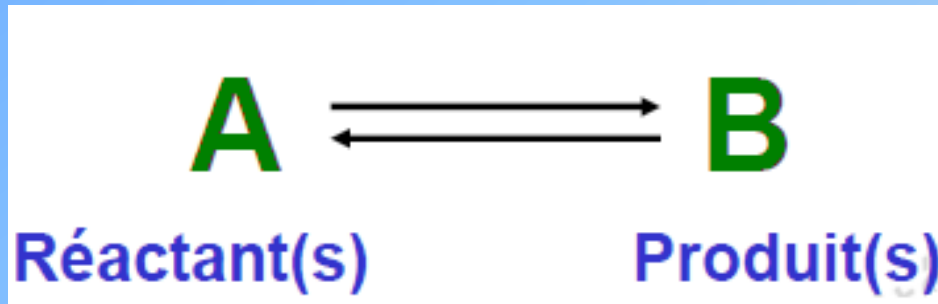
- A) Protéines
- B) Glucides
- C) Lipides

3) Voies Métaboliques

- A) Définitions
- B) Les Enzymes
- C) Localisation des Voies Métaboliques

A) Définitions

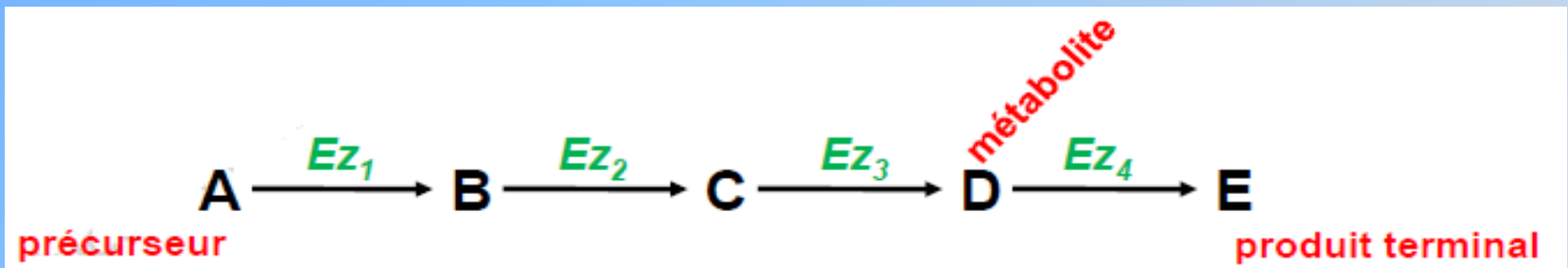
- Réaction chimique:



si enzyme: A est appelé substrat

A) Définitions

- **Voie métabolique** : séquence de réactions chimiques ordonnées



B) Enzymes

- Protéines
- **Catalyseurs biologiques** : accélèrent la vitesse d'une réaction biologique



nom de l'enzyme : type de réaction + 'suffixe ase'

B) Enzymes

Enzymes: siège **des régulations** des voies métaboliques

- Régulées par :
 - **Métabolites** présents dans la cellules
 - Action des différentes **hormones**
- Régulation sur :
 - **Activité** de l'enzyme (active/inactive)
 - **Quantité** d'enzyme (régulation de la transcription)

C) Localisation des Voies

- Toutes les **voies métaboliques** ne se dérouleront **pas forcément dans tous les organes**
 - il faut que les enzymes nécessaires au déroulement de la voie soient présentes
- Il existe une **compartimentation cellulaire**:
 - enzymes cytosoliques, enzymes mitochondriales, etc.

QCM

A propos des lipides, donnez les vraies:

- A) Les AG sont composés d'une longue chaîne hydrophile et d'un groupement acide carboxylique
- B) Les AG saturés possèdent seulement des liaisons simples sur leur chaîne hydrocarbonnée
- C) Un triglycéride est constitué d'un glycérol dont les 3 fonctions alcool ont été estérifiées par des acides gras
- D) Les Triglycérides sont homogènes
- E) Aucune de ces réponses n'est correcte

QCM

A propos des lipides, donnez les vraies:

- A) Les AG sont composés d'une longue chaîne hydrophile et d'un groupement acide carboxylique
- B) Les AG saturés possèdent seulement des liaisons simples sur leur chaîne hydrocarbonnée**
- C) Un triglycéride est constitué d'un glycérol dont les 3 fonctions alcool ont été estérifiées par des acides gras**
- D) Les Triglycérides sont homogènes
- E) Aucune de ces réponses n'est correcte

QCM

A propos du métabolisme en général, donnez les vraies:

- A) Le Métabolisme désigne l'ensemble des réactions chimiques de l'organisme et se divise en Catabolisme et Anabolisme
- B) L'Anabolisme désigne les voies de dégradation ayant pour but la production d'énergie
- C) Le Catabolisme désigne les voies de biosynthèse de molécules nécessaires aux cellules et consomme de l'énergie
- D) L'Anabolisme fournit l'énergie nécessaire à la réalisation du Catabolisme
- E) Aucune de ces réponses n'est correcte

QCM

A propos du métabolisme en général, donnez les vraies:

- A) Le Métabolisme désigne l'ensemble des réactions chimiques de l'organisme et se divise en Catabolisme et Anabolisme**
- B) L'Anabolisme désigne les voies de dégradation ayant pour but la production d'énergie
- C) Le Catabolisme désigne les voies de biosynthèse de molécules nécessaires aux cellules et consomme de l'énergie
- D) L'Anabolisme fournit l'énergie nécessaire à la réalisation du Catabolisme
- E) Aucune de ces réponses n'est correcte

II- Le Métabolisme Energétique

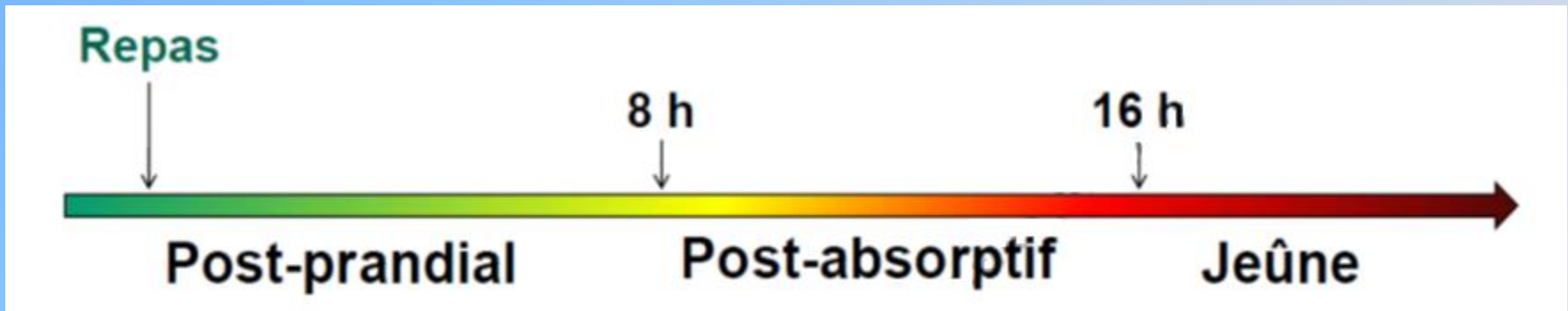
1) Les périodes alimentaires

2) Les organes et leurs spécificités

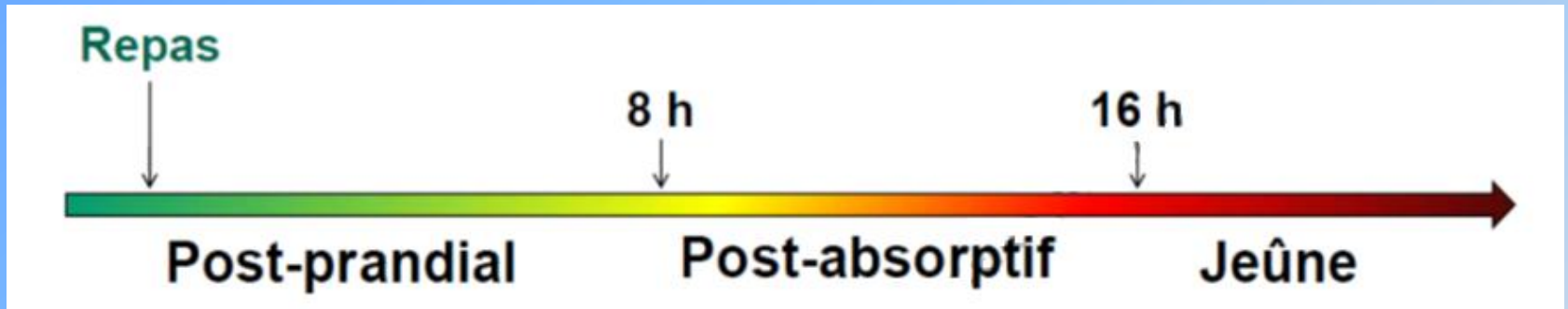
1) Périodes Alimentaires

Définies par rapport à

la dernière prise alimentaire



1) Périodes Alimentaires



après le repas:

- Période **Post Prandiale** : jusqu'à 5-8 h
- Période **Post Absorptive** : de 8 à 16h
- **Jeûne** : 16h et plus (*pathologique*)

1) Périodes Alimentaires

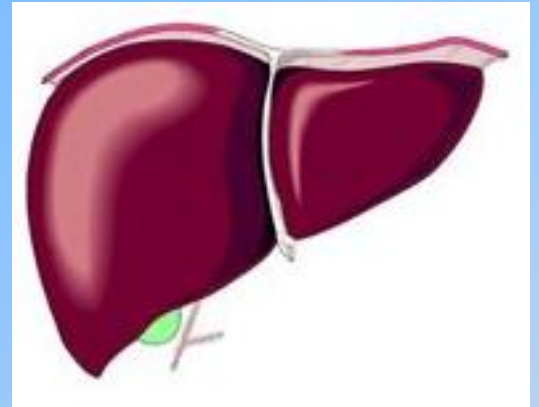
Repas:

- Apport de **molécules énergétiques**
 - Dégradation : voies **cataboliques**
 - Stockage : voies **anaboliques**

2) Organes et Spécificités

- Le foie
- Les muscles
- Le cœur
- Le cerveau
- Le tissu adipeux
- Les globules rouges

Le foie

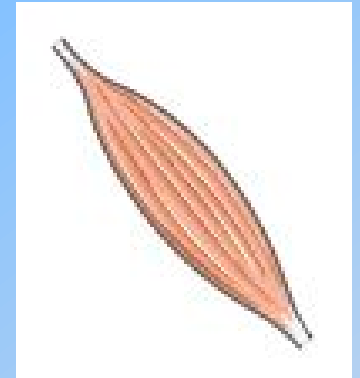


Rôle: Régulation de la **normoglycémie**

Source d'énergie : AG

- Chef d'orchestre de l'organisme
- Le foie travaille pour les autres

Le muscle

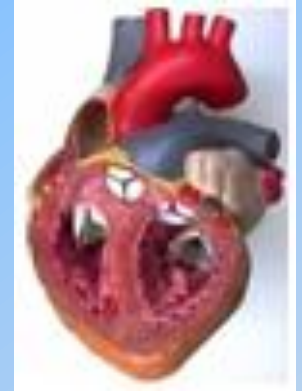


But : Stocker

Sources d'énergie : Glucose / AG /
Corps Cétoniques

- Au repos: formation des réserves en vue d'un effort

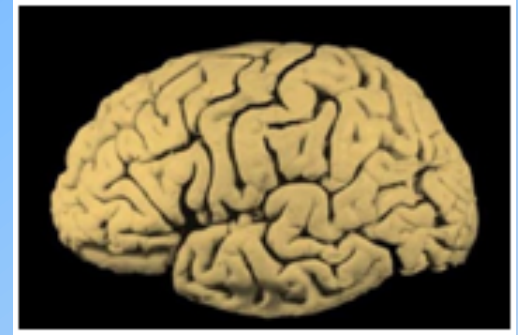
Le cœur



Sources d'énergies : Lactate / Glucose / AG /
Corps cétoniques

- **le lactate** : substrat énergétique métabolisé le plus rapidement
 - substrat préférentiel à l'effort

Le cerveau



Source d'énergie: Glucose / Corps cétoniques

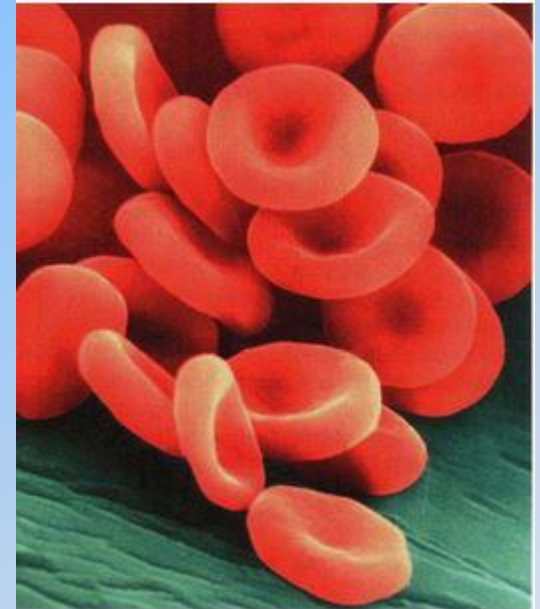
- **Le cerveau n'utilise pas les AG** (barrière hémato-encéphalique)
- **Aucune réserve**

Le globule rouge

Rôle : transport de l'O₂

Source d'énergie : Glucose

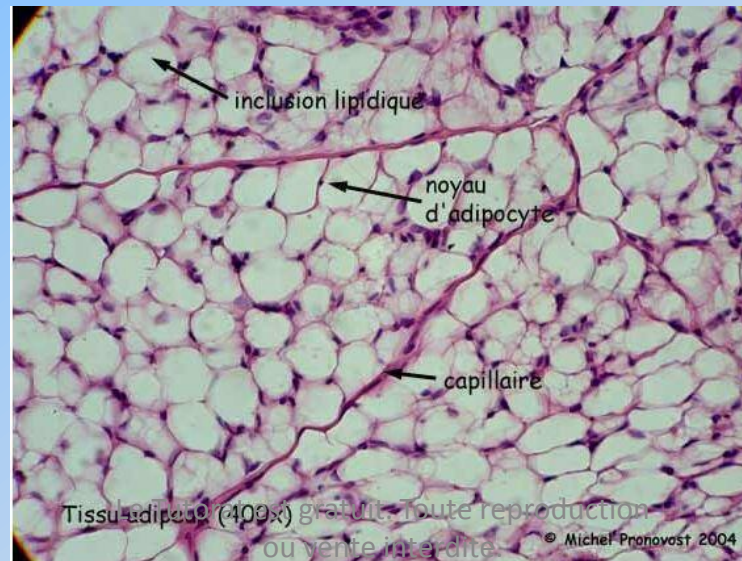
- Absence de mitochondries
- Métabolisme **anaérobie**
- Production de **lactate**



Le tissu adipeux

Source d'énergie: Glucose / Acides Gras

- Stockage des AG sous forme de TAG (triglycérides)



QCM Time !

- A) La période post-absorptive suit la période post-prandiale
- B) Le foie utilise les AG et le glucose comme substrat énergétique
- C) Lors d'un effort physique le substrat préféré du cœur est le lactate
- D) Les cellules adipeuses forment des triglycérides à partir d'AG et de glycérol 3P
- E) Tout est faux

QCM Time !

- A) La période post-absorptive suit la période post-prandiale**
- B) Le foie utilise les AG et le glucose comme substrat énergétique
- C) Lors d'un effort physique le substrat préféré du cœur est le lactate**
- D) Les cellules adipeuses forment des triglycérides à partir d'AG et de glycérol 3P**
- E) Tout est faux

QCM Time !

B) Le foie utilise les AG et le glucose comme substrat énergétique : **FAUX**

Le foie n'utilise pas le glucose !!

III- L'Énergie

1) Notions de Bioénergétique

2) L'ATP

3) La Production d'Énergie

1) Notions de Bioénergétique

Les cellules ont constamment besoin d'énergie pour fonctionner

> elles utilisent de l'énergie chimique

- Une réaction chimique peut être:
 - **Exergonique**: il y a **libération d'énergie**
 - **Endergonique**: il y a **consommation d'énergie**

1) Notions de Bioénergétique

Réactions chimiques:

Exergoniques

spontanées

favorables

font en général partie
du **catabolisme**

Endergoniques

pas spontanées

défavorables

font en général partie
de l'**anabolisme**

1) Notions de Bioénergétique

Couplage réactionnel:

L'énergie **libérée** par une réaction **exergonique** est **utilisée** pour permettre de la réalisation d'une réaction **endergonique**

1) Notions de Bioénergétique

Dans les voies métaboliques:

- Le **bilan global** doit être **exergonique**
rappel: dans les voies métaboliques, aucune réaction n'est isolée
-> par **couplage réactionnel**, les voies métaboliques peuvent donc contenir des réactions endergoniques

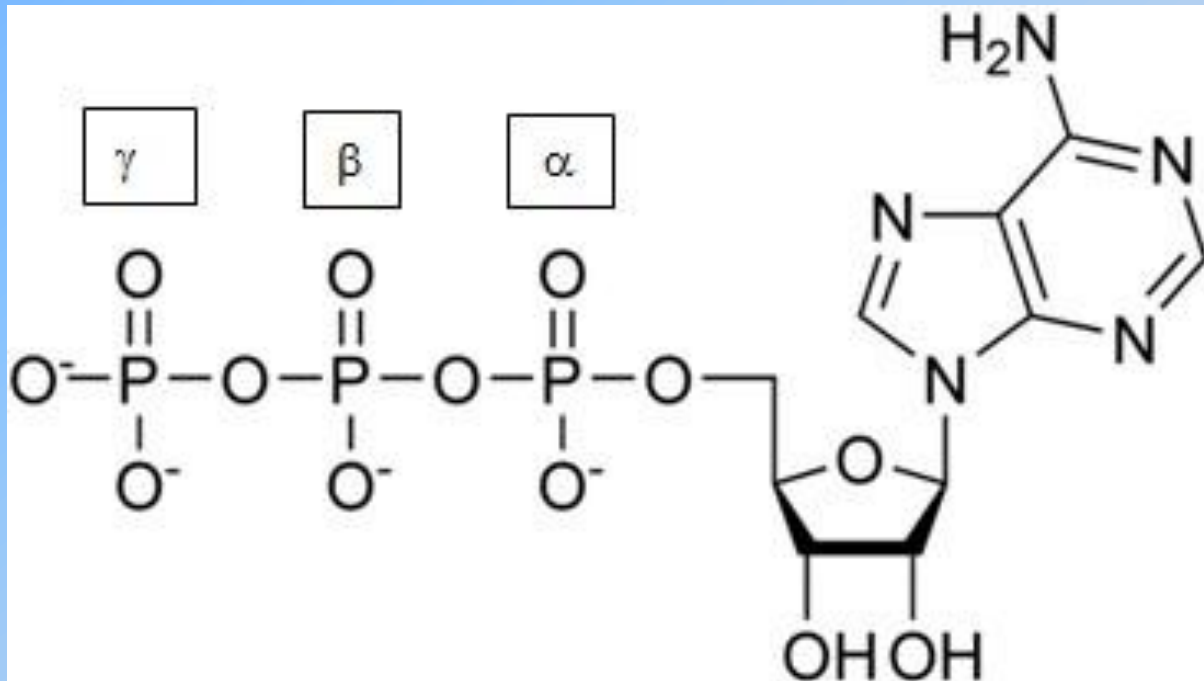
1) Notions de Bioénergétique

Liaisons à Haut Potentiel Energétique:

- On retrouve ces liaisons dans certaines molécules comme l'ATP
- La **rupture** de ces liaisons par hydrolyse **libère** une **forte quantité d'énergie** : **> 30kJ**

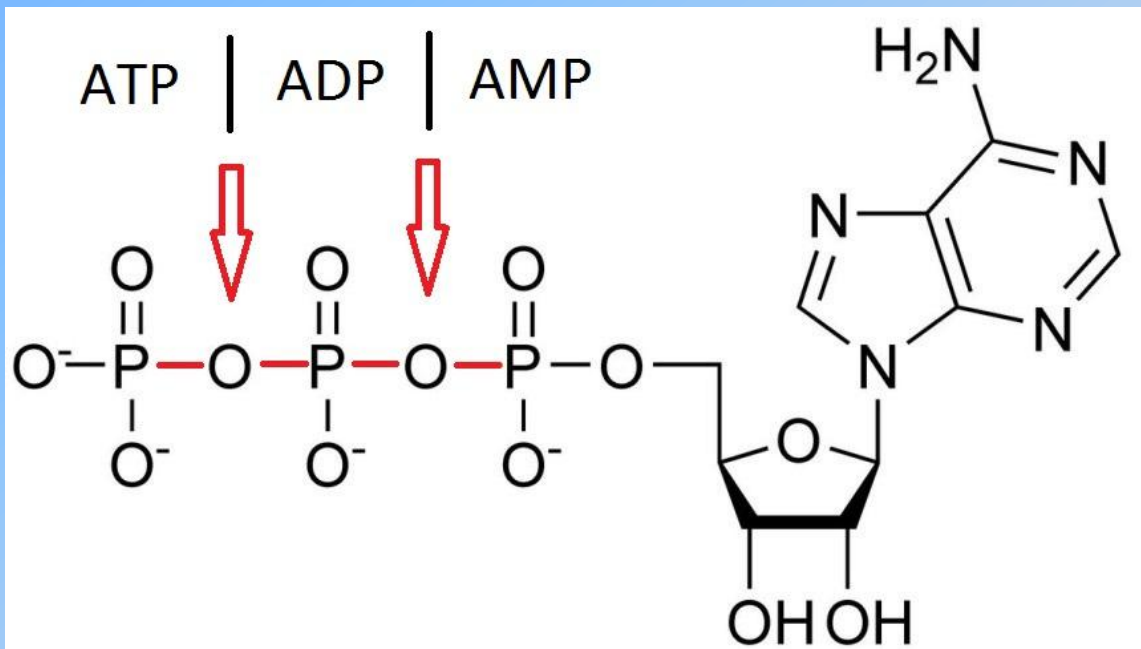
2) L'ATP

- L'Adénosine Tri-Phosphate est le **fournisseur universel d'énergie**



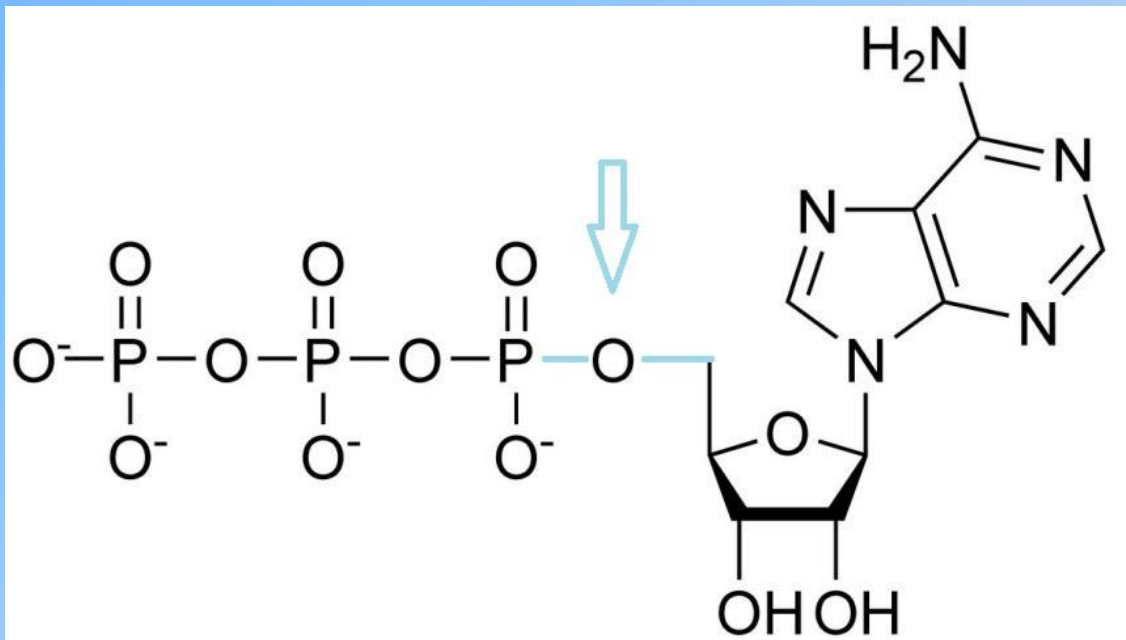
Libération d'énergie

- Liaisons riches en énergie: **liaisons phosphoanhydres**



Libération d'énergie

- Liaison pauvre en énergie: **liaison phosphoester**



Libération d'énergie



- 30 kJ
- Dans la mitochondrie

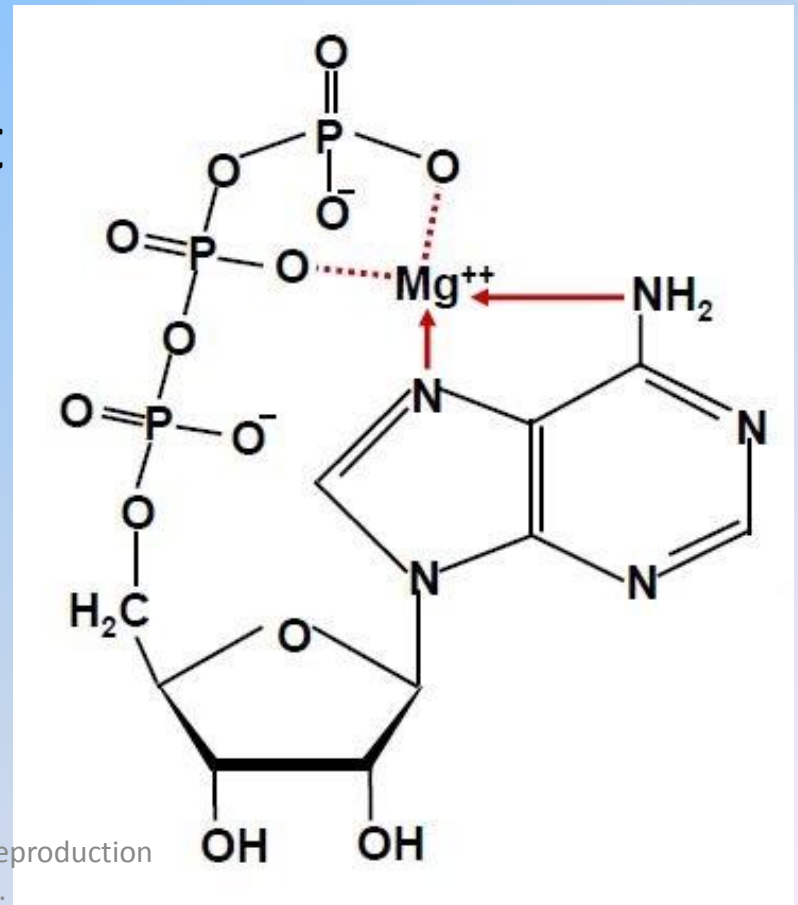
Libération d'énergie



- 45 kJ
- Dans le cytoplasme
- La **pyrophosphatase** libère les deux phosphates inorganiques

Libération d'énergie

- Mg^{2+} contraint la structure de l'ATP
- L'ATP devient instable
- La libération d'énergie est plus rapide



Production d'ATP

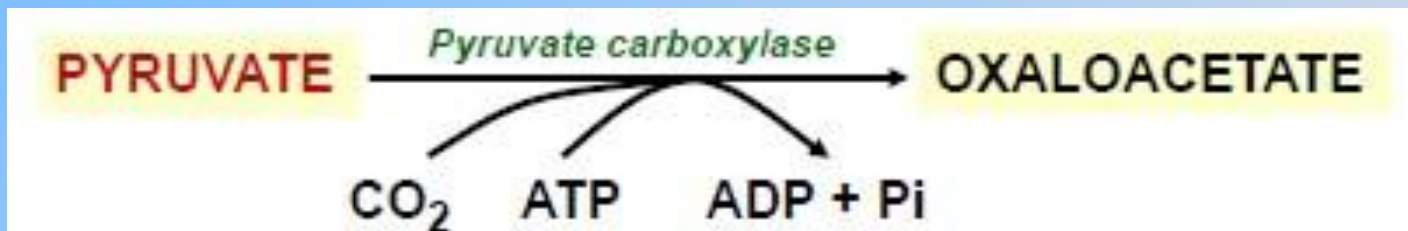
- $[1\text{mM}] = 10^{-3} \text{ mol/L}$
- Le **turn-over** (renouvellement d'ATP) est important : production d'environ 45kg d'ATP/jour

Production d'ATP

- La **CRM** (Chaîne respiratoire mitochondriale)
→ 90% de la production d'ATP
- Transfert d'un phosphate sur **l'ADP**

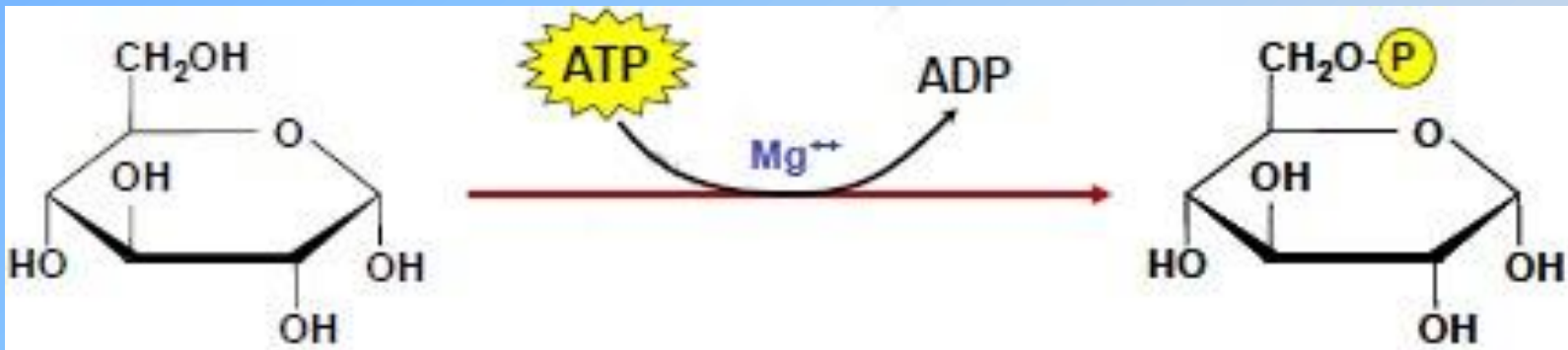
Réactions

- L'ATP peut être **fournisseur d'énergie** pour une réaction : il lui donne l'énergie nécessaire à sa réalisation



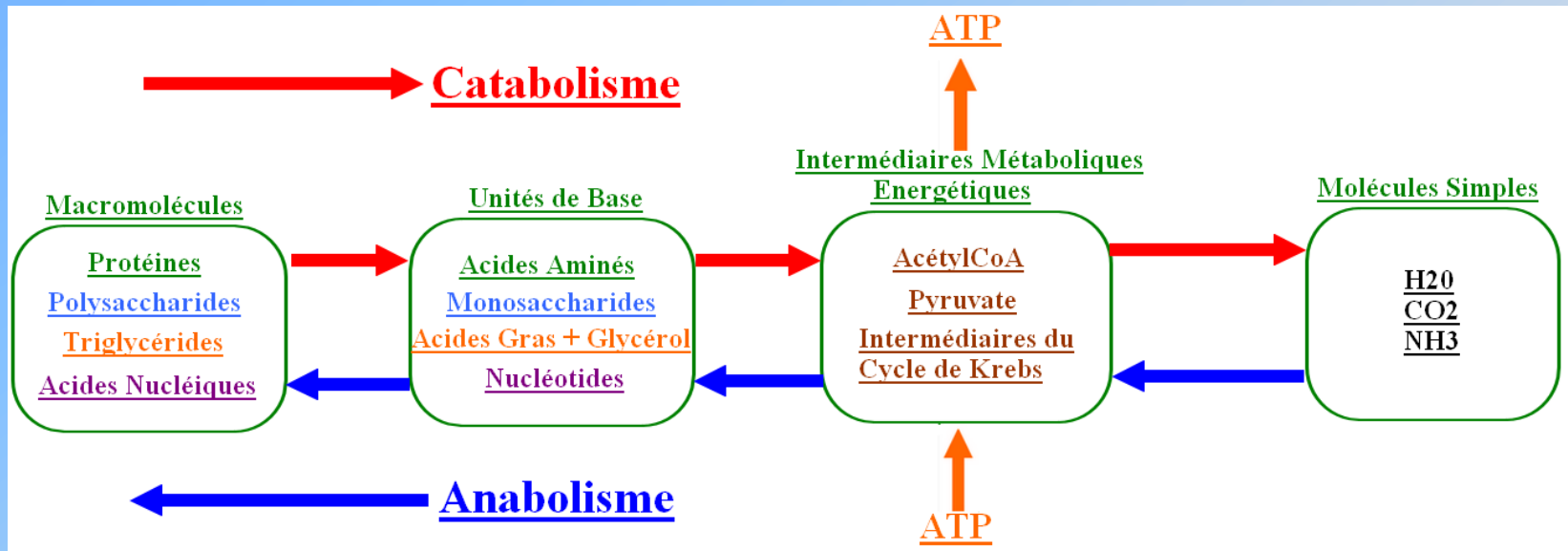
Réactions

- L'ATP peut être **substrat** de la réaction : il transfère son phosphate



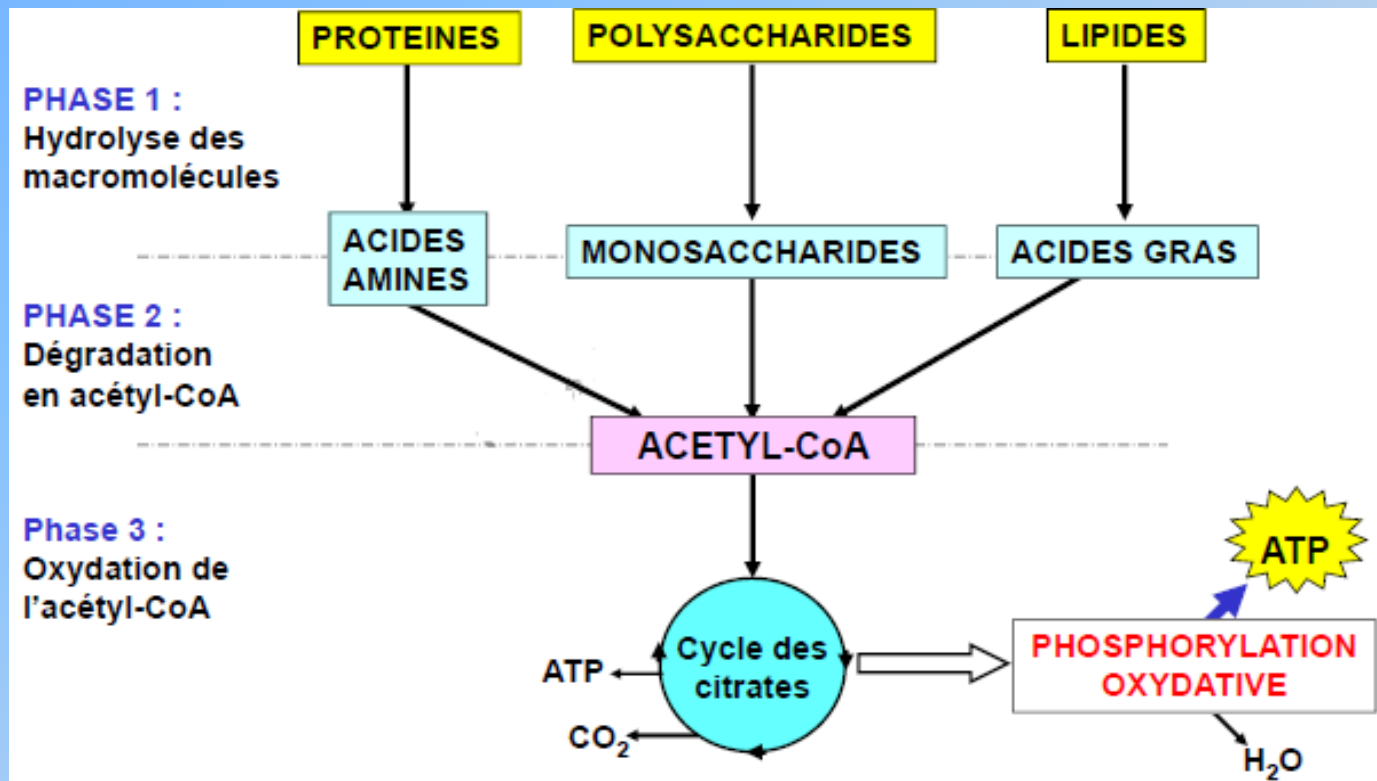
3) Production d'Énergie

- **Catabolisme: stockage** de l'énergie sous forme d'**ATP**
- **Anabolisme: utilisation d'ATP** pour la synthèse de molécules



3) Production d'Énergie

Les **catabolismes** glucidique, lipidique, et protéique **convergent vers le Cycle de Krebs**



3) Production d'Énergie

- **Cycle de Krebs (ou cycle du Citrate) :**
réduction de **NAD⁺** et **FAD**
= apport d'électrons et **transformation en NADH et FADH₂**

- **Chaîne respiratoire mitochondriale (CRM):**
réoxydation de NADH et FADH₂
= **récupération d'électrons**

3) Production d'Énergie

Chaîne Respiratoire Mitochondriale:

- Les **électrons** du NADH et du FADH₂ sont **transmis au dioxygène O₂**
 - réoxydation en NAD⁺ et FADH
 - réduction du dioxygène en eau H₂O

3) Production d'Énergie

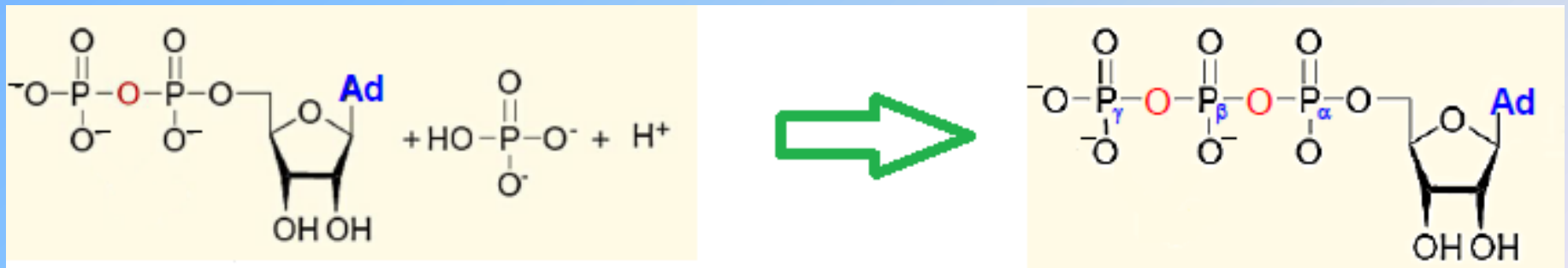
Chaîne Respiratoire Mitochondriale:

- Les électrons du NADH et du FADH₂ sont transmis au dioxygène O₂
- Déplacement d'électrons => **libération d'énergie**
 - énergie transmise à l'**ATP Synthase**

3) Production d'Énergie

ATP Synthase: complexe enzymatique

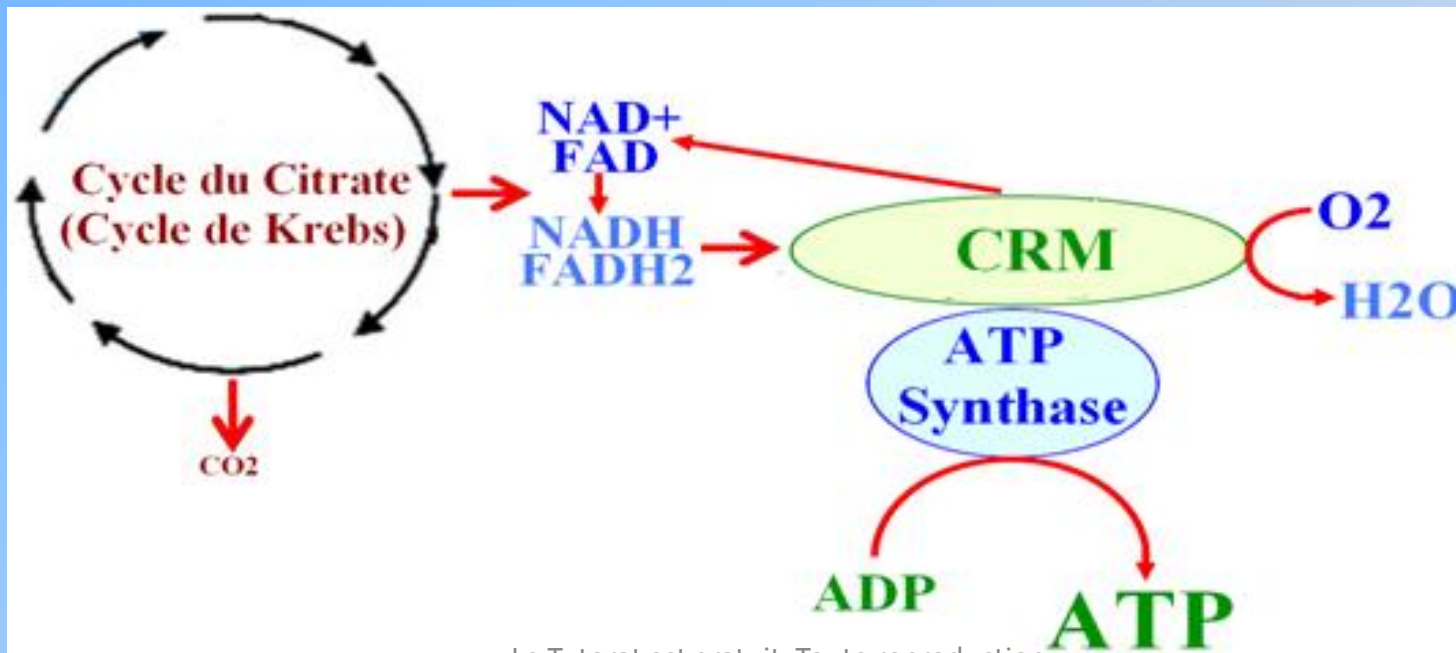
> catalyse la réaction de **phosphorylation de l'ADP en ATP** (*ajout d'un phosphate*)



3) Production d'Énergie

Phosphorylation Oxydative:

- Phosphorylation de l'ADP en ATP
- Oxydation du NADH et du FADH₂



3) Production d'Énergie

Production d'Énergie et Oxygène

O₂ accepteur terminal des électrons
du NADH et du FADH₂

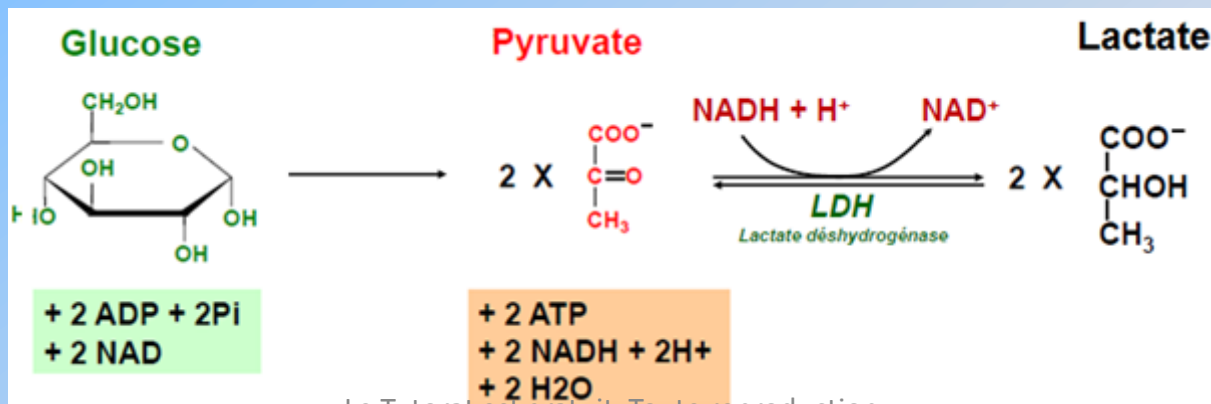
=> la **CRM** ne fonctionne qu'en **conditions
aérobies** (= *en présence d'O₂*)

3) Production d'Énergie

Production d'Énergie et Oxygène

En l'absence d'O₂:

- pas de métabolisme mitochondrial
- production d'énergie assurée par **glycolyse anaérobie**



QCM

A propos de l'ATP (Adénosine Tri Phosphate), forme principale de stockage d'énergie chimique dans l'organisme, donnez les vraies:

- A) C'est un nucléotide dont le sucre est le ribose, la base azotée est une guanine, et qui possèdent trois groupements phosphate
- B) Il possède trois liaisons "à Haut Potentiel Energétique" de type phospho-anhydride
- C) Son hydrolyse en ADP + Pi libère de l'énergie utilisable par les cellules pour fournir un travail
- D) En raison de sa faible quantité dans l'organisme, c'est son turn over (*renouvellement*) qui permet de satisfaire les besoins énergétiques des cellules
- E) Aucune de ces réponses n'est correcte

QCM

A propos de l'ATP (Adénosine Tri Phosphate), forme principale de stockage d'énergie chimique dans l'organisme, donnez les vraies:

- A) C'est un nucléotide dont le sucre est le ribose, la base azotée est une guanine, et qui possèdent trois groupements phosphate
- B) Il possède trois liaisons "à Haut Potentiel Energétique" de type phospho-anhydride
- C) Son hydrolyse en ADP + Pi libère de l'énergie utilisable par les cellules pour fournir un travail**
- D) En raison de sa faible quantité dans l'organisme, c'est son turnover (*renouvellement*) qui permet de satisfaire les besoins énergétiques des cellules**
- E) Aucune de ces réponses n'est correcte

QCM Time !

- A) L'ATP fournit de l'énergie aux réactions exergoniques
- B) L'ATP est principalement issu du transfert de phosphate sur l'ADP
- C) Tous les métabolismes convergent vers l'Acétyl-CoA
- D) La CRM ne fonctionne qu'en présence d'O₂
- E) Tout est faux

QCM Time !

- A) L'ATP fournit de l'énergie aux réactions exergoniques
- B) L'ATP est principalement issu du transfert de phosphate sur l'ATP
- C) Tous les métabolismes convergent vers l'Acétyl-CoA**
- D) La CRM ne fonctionne qu'en présence d'O₂**
- E) Tout est faux

QCM Time !

A) L'ATP fournit de l'énergie aux réactions exergoniques
FAUX

→ L'ATP fournit de l'énergie aux réactions
endergoniques

B) L'ATP est principalement issu du transfert de phosphate sur l'ADP **FAUX**

→ Principalement issu de la **CRM**

Crédits – Biochimistes Illustres



Le Tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente interdite.