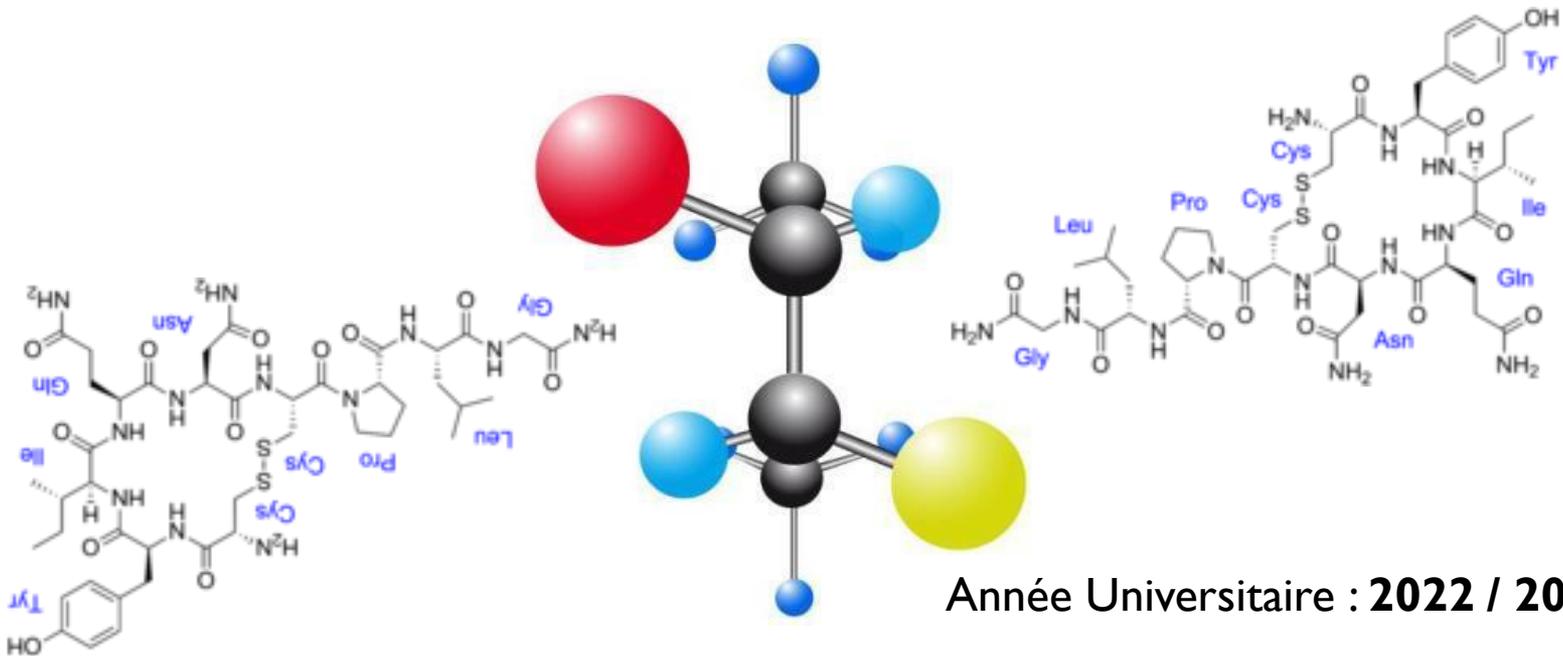


Module : **BIOCHIMIE**

Responsable du module : **Dr. AROUSSI Abdelkrim**

Classe : **Licence 2^{ème} année**



Objectifs de l'enseignement :

Consiste à assurer un enseignement sur les bases fondamentales de la biochimie et les notions d'enzymologie, et vous familiariser avec les techniques biochimiques.

Connaissances préalables recommandées :

L'étudiant doit avoir certaines notions sur les liaisons chimiques (faibles et fortes) et sur propriétés physicochimiques des molécules organiques.

Contenu de la matière

Introduction : Les liaisons chimiques

1. Rappel sur les liaisons chimiques

Chapitre 1 : Les glucides

2. Structure et propriétés physico-chimiques des glucides

3. Métabolisme des glucides

Chapitre 2 : Les lipides

4. Structure et propriétés physico-chimiques des lipides

5. Métabolisme des lipides

Chapitre 3 : Les protéines

6. Structure et propriétés physico-chimiques des acides aminés, peptides et protéines

7. Métabolisme des peptides et des protéines

Chapitre 4 : Notions d'enzymologie

8. Notions d'enzymologie

9. Notions de bioénergétique



INTRODUCTION :

LES LIAISONS CHIMIQUES
(Rappel)

BIOCHIMIE STRUCTURALE

I. Liaisons chimiques

- Une molécule est l'assemblage de deux ou plusieurs atomes. La molécule la plus simple est H_2^+ .

Dans H_2^+ , les deux noyaux H sont reliés par un seul électron.

- Une molécule homonucléaire est formée de noyaux identiques, H_2 ; O_3 ; S_6 .

- Une molécule hétéronucléaire est formée de noyaux différents, H_2O , H_3PO_4 .
Il existe une quantité innombrable de molécules.

Différents types de liaisons peuvent unir deux noyaux:

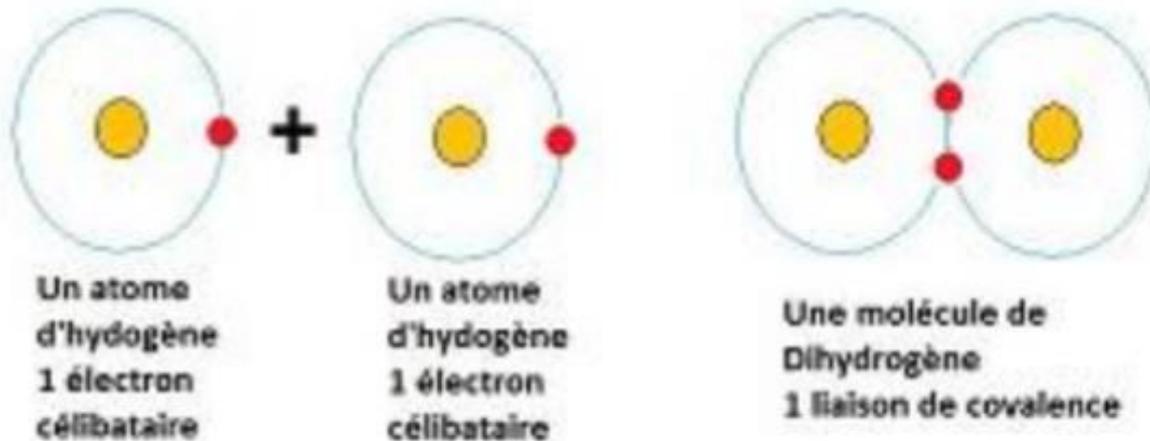
BIOCHIMIE STRUCTURALE

I. Liaisons chimiques

A - Liaison covalente

La liaison covalente entre 2 atomes A et B non métalliques est la mise en commun de deux électrons. Chaque atome fournit un électron de valence.

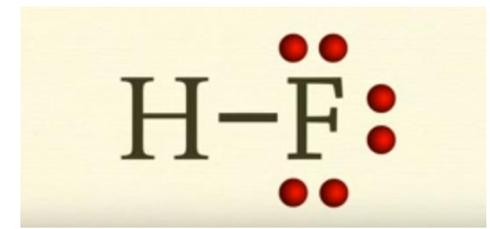
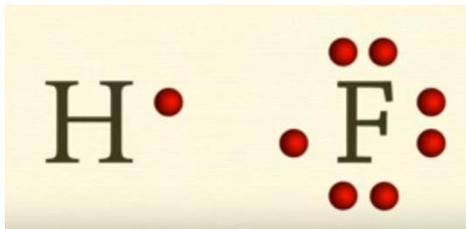
Les liaisons de covalence



BIOCHIMIE STRUCTURALE

I. Liaisons chimiques

A.1 - Liaison covalente « Pure »



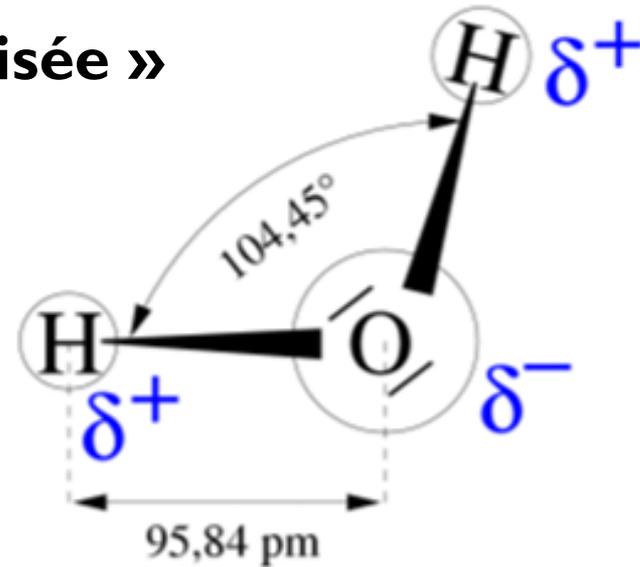
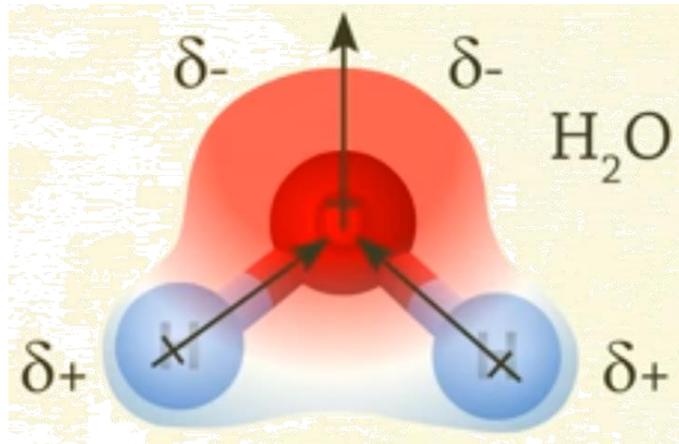
On distingue deux types de liaisons covalente:

- la covalente pure concerne presque exclusivement les molécules homonucléaires, les alcanes et les cyclanes. La liaison dans une molécule homonucléaire à l'état gazeux est apolaire. Dans les alcanes, la liaison C-C est également apolaire. De même pour la liaison C-H car les électronégativités du C et de H sont très voisines.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

I. Liaisons chimiques

A.2 - Liaison covalente « Polarisée »



- La liaison covalente polarisée entre A et B est toujours la mise en commun de deux électrons. L'électronégativité de A est différente de celle de B. Le nuage électronique sera plus dense du côté de l'atome le plus électronégatif. Par conséquent, l'atome le plus électronégatif aura une charge partielle négative et l'autre atome aura une charge partielle positive.

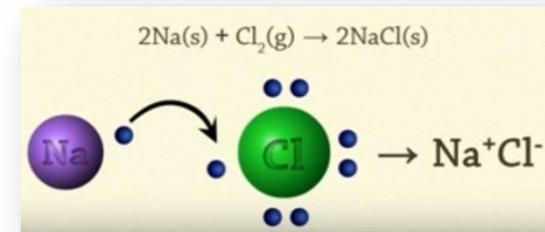
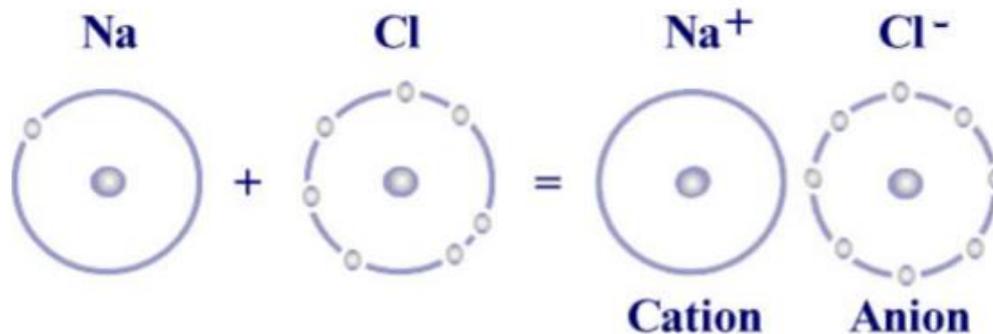
BIOCHIMIE STRUCTURALE

I. Liaisons chimiques

B - Liaison ionique

Il n'y a pas de mise en commun d'électrons. Un atome (généralement un alcalin) cède son électron s^1 à l'autre atome.

Exemple: le sel de cuisine NaCl



Par exemple, le sel de cuisine est du chlorure de sodium (NaCl). Quand le sodium (Na) réagit avec le chlore (gaz de dichlore, Cl₂), les atomes de sodium perdent un électron et les atomes de chlore gagnent un électron (la molécule de dichlore est d'abord dissociée). Les ions se combinent dans un rapport 1 : 1 pour former le sel de cuisine.

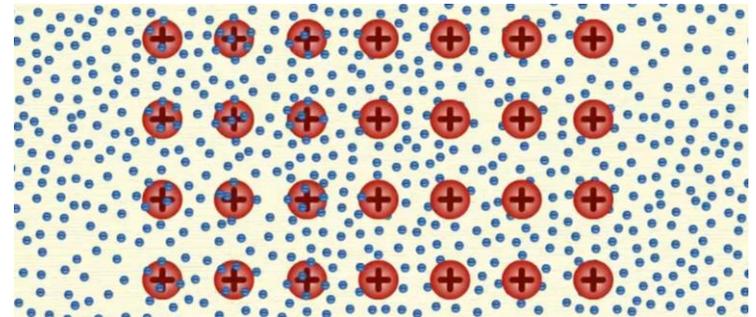
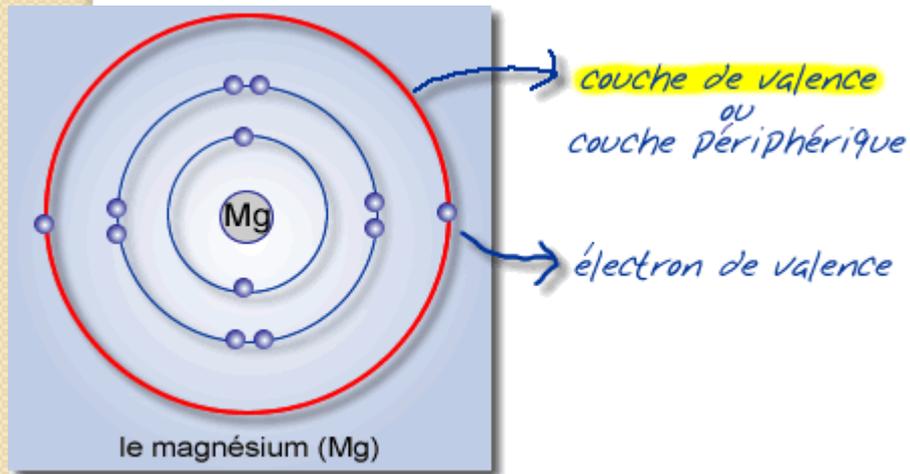


BIOCHIMIE STRUCTURALE

I. Liaisons chimiques

C - Liaison métallique

C'est la mise en commun dans le métal de tous les électrons de valence. On obtient alors une bande de conduction. C'est la raison pour laquelle, un métal est capable de transporter de l'énergie électrique.





CHAPITRE I :

LES GLUCIDES

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2. Structure et propriétés physico-chimiques des glucides

1. Ce sont des molécules organiques dont les carbones sont porteurs

- de fonctions alcools (alcool secondaire, alcool primaire)
- d'une fonction aldéhyde ou cétonique (fonction carbonyle)
- parfois d'une fonction acide ou aminée.

2. Au total, il s'agit d'aldéhyde ou de cétone polyhydroxylées car un carbone est porteur soit d'un aldéhyde soit d'une cétone, tous les autres étant porteurs de fonctions alcools

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.1. Importance des glucides

○ Ce sont des molécules présentes dans toutes les cellules du monde vivant.

→ Les glucides peuvent représenter jusqu'à **70%** du poids sec des végétaux.

Ils peuvent avoir un rôle structural ou être source d'énergie.

Leur formule brute est de la forme $C_n(H_2O)_n$. On les appelle parfois aussi hydrates de carbone.

On distingue deux catégories:

- les molécules élémentaires non hydrolysables: les oses
- les composés hydrolysables: les osides



BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.1. Importance (suite)

1. Rôle énergétique

- 40 à 50 % des calories apportées par l'alimentation humaine sont des glucides.
- Ils ont un rôle de réserve énergétique dans le foie et les muscles (glycogène).

2. Rôle structural

Les glucides interviennent comme :

- Éléments de soutien (cellulose), de protection et de reconnaissance dans la cellule.
- Éléments de réserve des végétaux et animaux (glycogène, amidon).
- Constituants de molécules fondamentales : acides nucléiques, coenzymes, vitamines, ...
- Ils représentent un fort pourcentage de la biomasse car la plus grande partie de la matière organique sur la Terre est glucidique.

3. Rôle économique

- Cellulose : milliards de tonnes / an
- Amidon, saccharose : millions de tonnes / an.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.1. Importance (suite)

4. Place du glucose

→ Principal carburant des tissus.

→ Seul carburant du fœtus

→ Rôle fondamental car tous les glucides alimentaires sont absorbés sous forme de glucose ou convertis en glucose dans le foie.

→ Tous les glucides sont synthétisés à partir du glucose dans l'organisme

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.2. Classification des glucides

- On distingue les **oses** et les **osides** (polymère d'oses).

Critères de classification des oses

- Ces critères font appel au :

- nombre d'atomes de carbone de l'ose
- et à la nature du carbonyle.

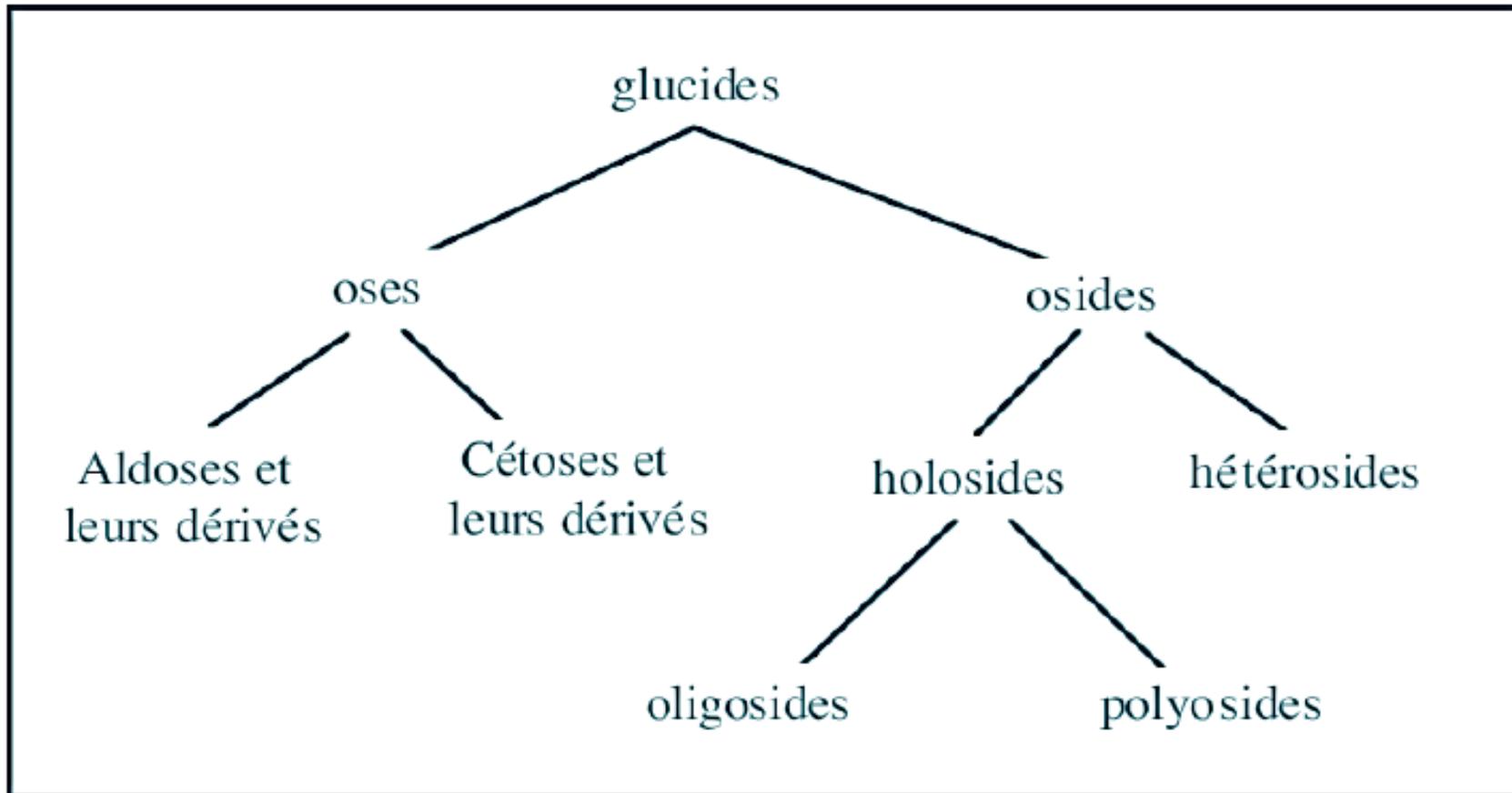
Le nombre d'atomes de carbone : 3C (triose) ; 6C (hexose)

la nature du carbonyle : Aldéhyde → Aldose ; Cétone → Cétose

La combinaison de ces 2 critères caractérise l'ose : Aldopentose, Aldohehexose, Cétopentose, Cétohexose,

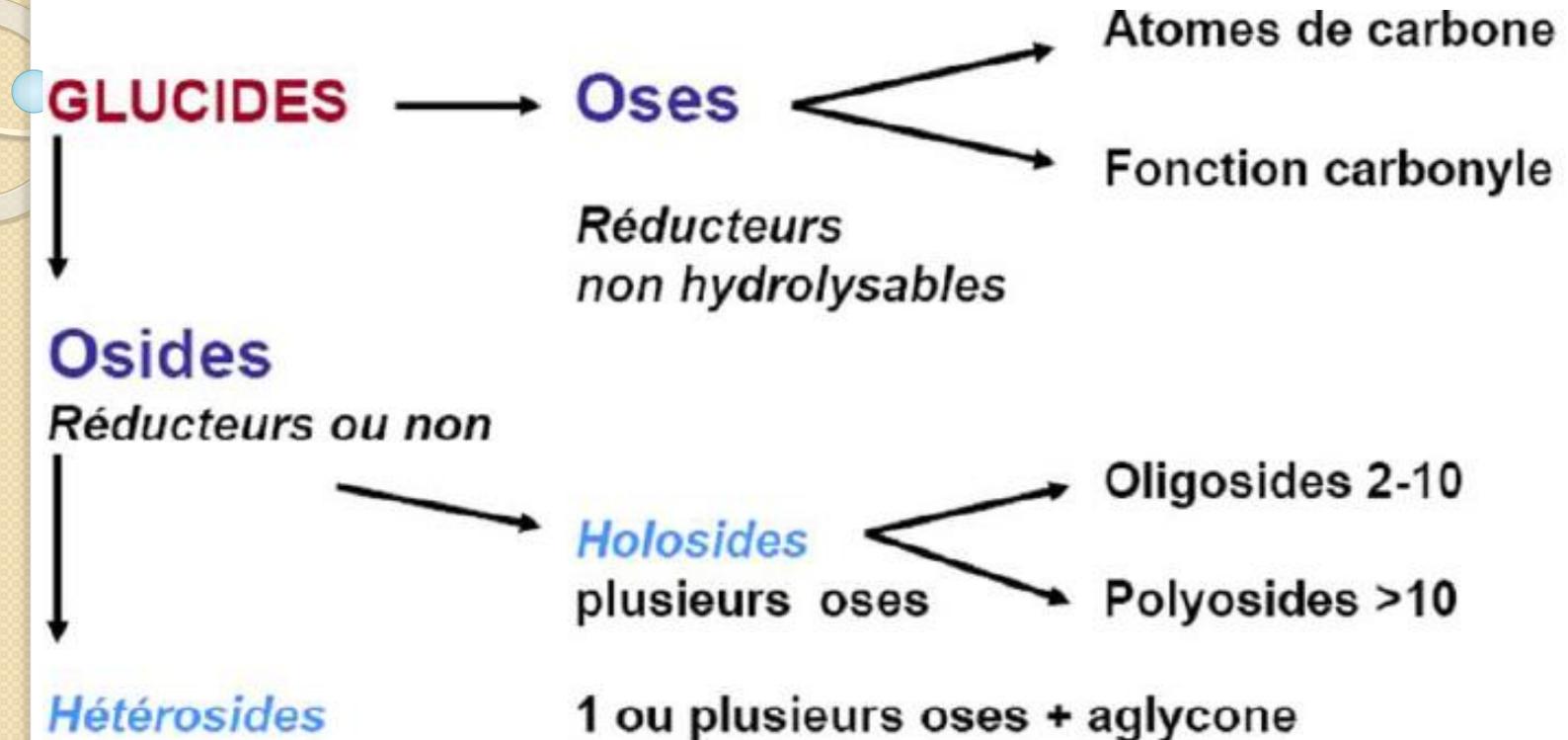
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.2. Classification des glucides



BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.2. Classification des glucides



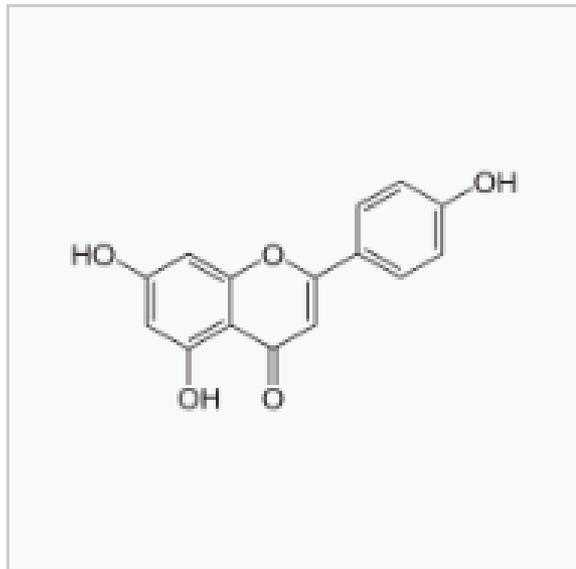
Glycoconjugués : structures glucidiques complexes
association covalente

Un **glycoconjugué** est un composé constitué de **glucides** liés de manière covalente avec **d'autres types moléculaires** : polypeptides ou protéines et lipides.

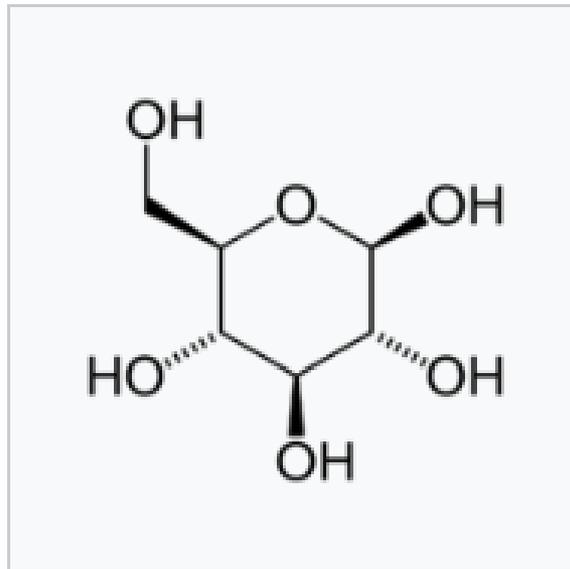
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.2. Classification des glucides

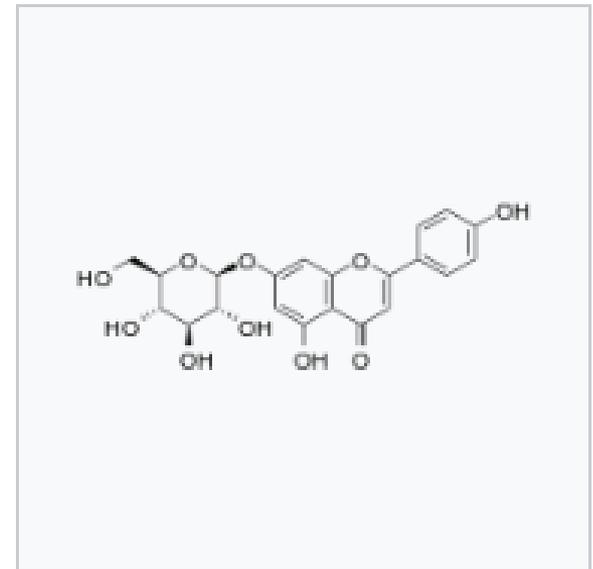
Hétéroside (présence d' aglycone) :



Apigénine : **aglycone**

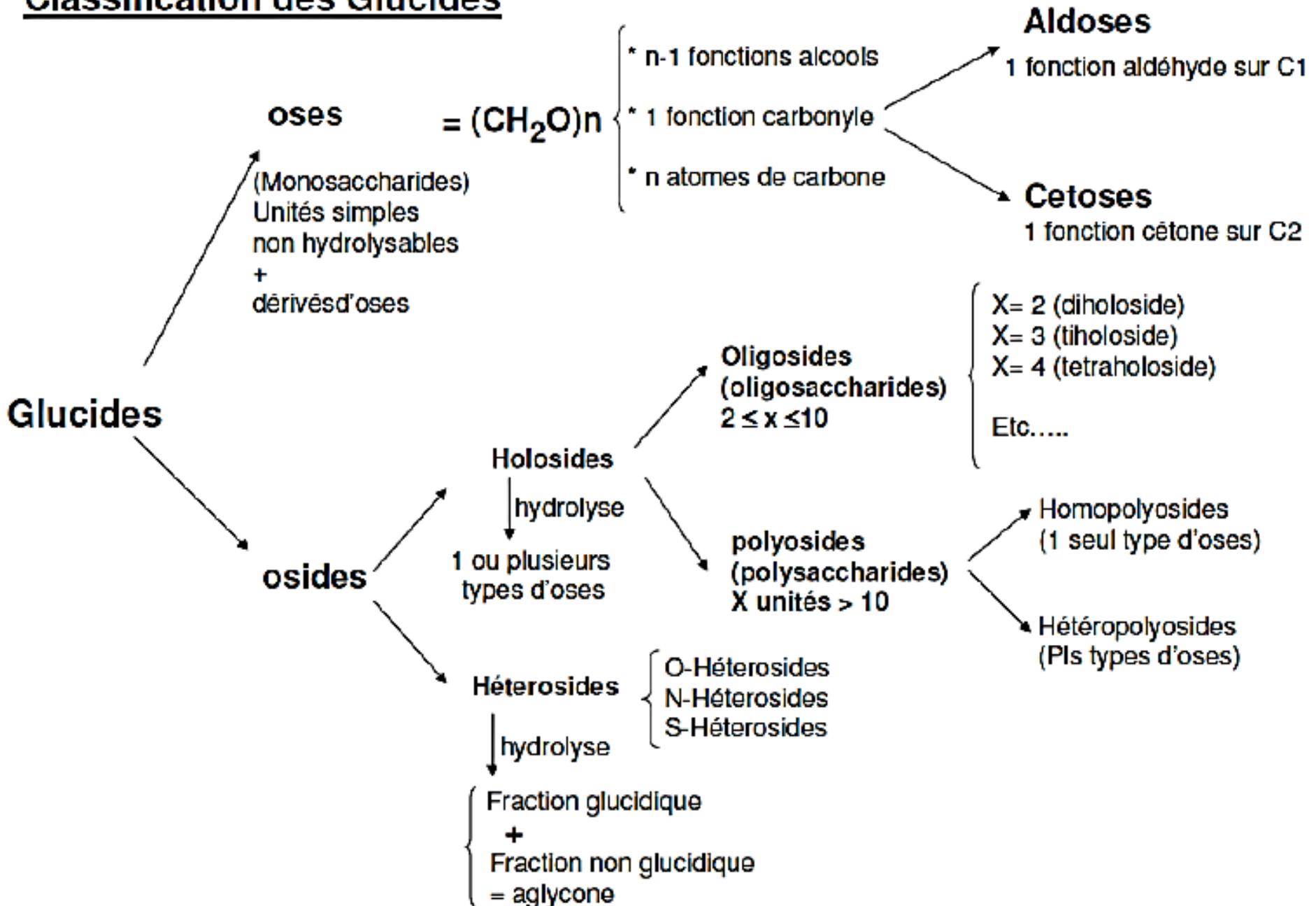


D-glucose : **ose**



Apigétrine : **hétéroside**

Classification des Glucides



BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.2. Classification des glucides

Ose : appelé aussi **sucre simple** ou **monosaccharide**.

- Il est non hydrolysable et porte la plupart du temps, de 3 à 7 atomes de carbone.

- C'est un polyol qui porte au moins 2 fonctions alcools dont l'une au moins est une fonction alcool primaire, et une fonction réductrice carbonylée, soit :

- **aldéhyde** (-CHO)

dans ce cas l'ose est un **aldose**

- ou **cétone** (>C=O)

dans ce cas l'ose est un **cétose**

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.2. Classification des glucides

Oside : sucre hydrolysable, il peut être :

a. holoside : son hydrolyse ne libère que des oses. On distingue les :

a.1 oligoside : association de 2 à 10 oses par des liaisons osidiques

a.2 polyoside : polymère formé de 10 à plusieurs milliers d'oses

- polyoside homogène (ou homopolyoside) pour un polymère d'un même ose
- polyoside mixte (ou hétéropolyoside) pour un enchaînement d'unités différentes

b. hétéroside : son hydrolyse libère des oses et des composés non glucidiques (aglycone).

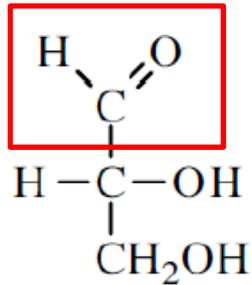
Des chaînes glucidiques peuvent être fixées, par voie chimique ou enzymatique, sur des lipides ou des protéines : ces dérivés sont regroupés sous le terme de glycoconjugués

BIOCHIMIE STRUCTURALE

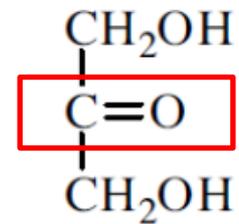
2.3. Oses

A. Nomenclature

- Les oses les plus simples ont trois atomes de carbone



glycéraldéhyde



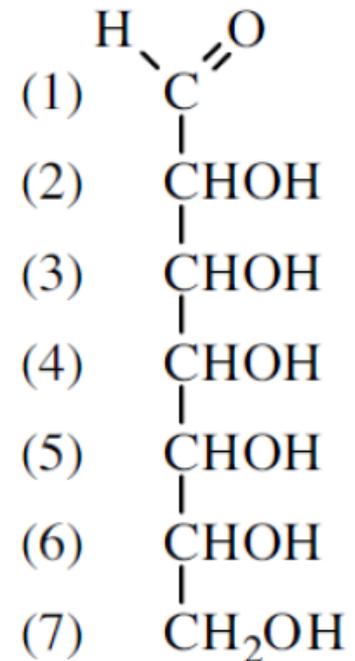
dihydroxyacétone

Les atomes de carbone d'un ose sont numérotés à partir du carbone le plus oxydé.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

Nb C		Nom générique
3	trioses	aldotrioses, céto-trioses
4	tétraoses	aldotétraoses, céto-tétraoses
5	pentoses	aldopentoses, cétopentoses
6	hexoses	aldohexoses, cétohexoses
7	heptoses	aldoheptoses, cétoheptoses



Exemple : le glucose est un aldohexose, le fructose un cétohexose.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

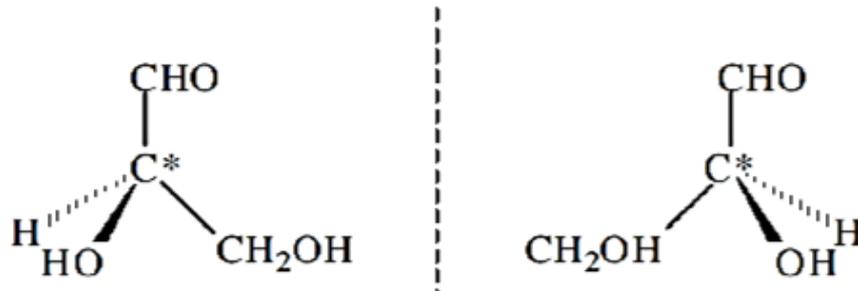
2.3. Oses

B. Centre de chiralité

- **Objet chiral** : tout objet qui ne peut pas être superposé à son image dans un miroir est un objet chiral. Cette définition s'applique aux molécules.

B.1 Stéréoisomère : énantiomère

Dans la molécule de glycéraldéhyde, le carbone C2 (sp³) portant quatre substituants différents est dit asymétrique ; il est souvent noté C*. Deux configurations, non superposables mais images l'une de l'autre dans un miroir sont possibles : nous sommes en présence de deux stéréoisomères, appelés **énantiomères**.



BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

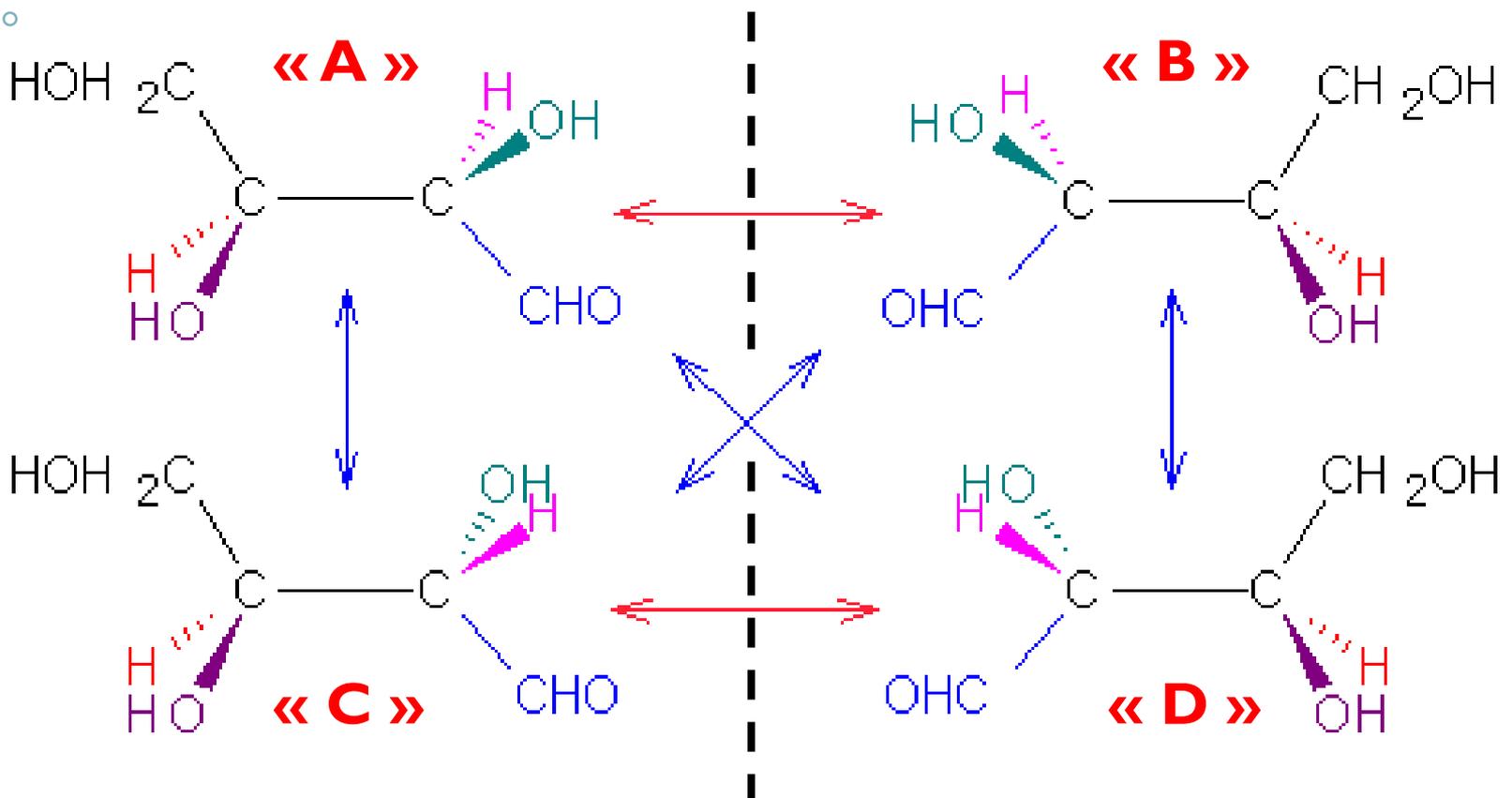
Les propriétés chimiques et physiques des énantiomères sont en général identiques à l'exception d'une propriété physique : *le pouvoir rotatoire*.

Lorsqu'une molécule a plusieurs centres de chiralité, on parle de **diastéréoisomérisation**.

De façon générale pour n carbones asymétriques, nous aurons 2^n stéréoisomères et $2^{(n-1)}$ couples d'énantiomères.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses



↔ Enantiomères

↔ diastéréoisomères

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

B. Centre de chiralité (suite)

B.2 Pouvoir rotatoire

En solution, les formes énantiomères d'une molécule portant un carbone asymétrique présentent des propriétés optiques différentes. Elles sont douées d'une activité optique : chacune d'entre elles dévie de manière spécifique le plan de polarisation d'une onde monochromatique polarisée. Le plan de polarisation est dévié d'un angle égal en valeur absolue mais de sens inverse.

Cette propriété est caractérisée par le **pouvoir rotatoire spécifique** :

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

Pouvoir rotatoire

$$[\alpha]_{\lambda}^t = \frac{\alpha}{l c}$$

t : température, λ : longueur d'onde

α : rotation observée, l : longueur de la cellule en dm

c : concentration de la solution en g/ml

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

L'un des énantiomères du glycéraldéhyde à la concentration de 1g/ml dévie vers la droite le plan de polarisation d'un faisceau monochromatique ($\lambda = \underline{570\text{nm}}$) de 14° pour un chemin optique de 10 dm à une température de 20°C. Cet énantiomère est une substance **dextrogyre**, il est noté (+). L'autre énantiomère est dit **lévogyre** (-). Ces deux énantiomères sont aussi appelés **isomères optiques**.

Un mélange équimolaire de deux énantiomères est optiquement inactif : il est noté **racémique**.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

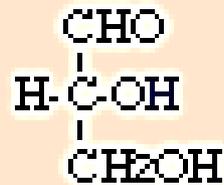
Différentes formes d'isomérisation

1. **Isomérisation de fonction** : le fructose est un isomère de fonction du glucose
2. **Isomérisation optique** : stéréoisomères
 - Énantiomères (miroir)
 - Épimères (\neq 1 seul atome de C*)
 - Anomères (isomères en forme cyclique)
3. **Etats conformationnels** (cis/trans, alpha/béta, etc.)

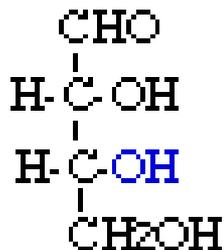
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

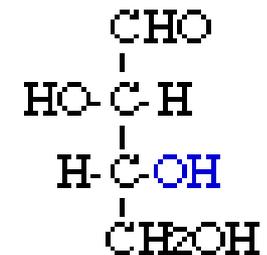
Configuration des aldoses isomères de la série D



D-Glycéraldéhyde



D-Erythrose

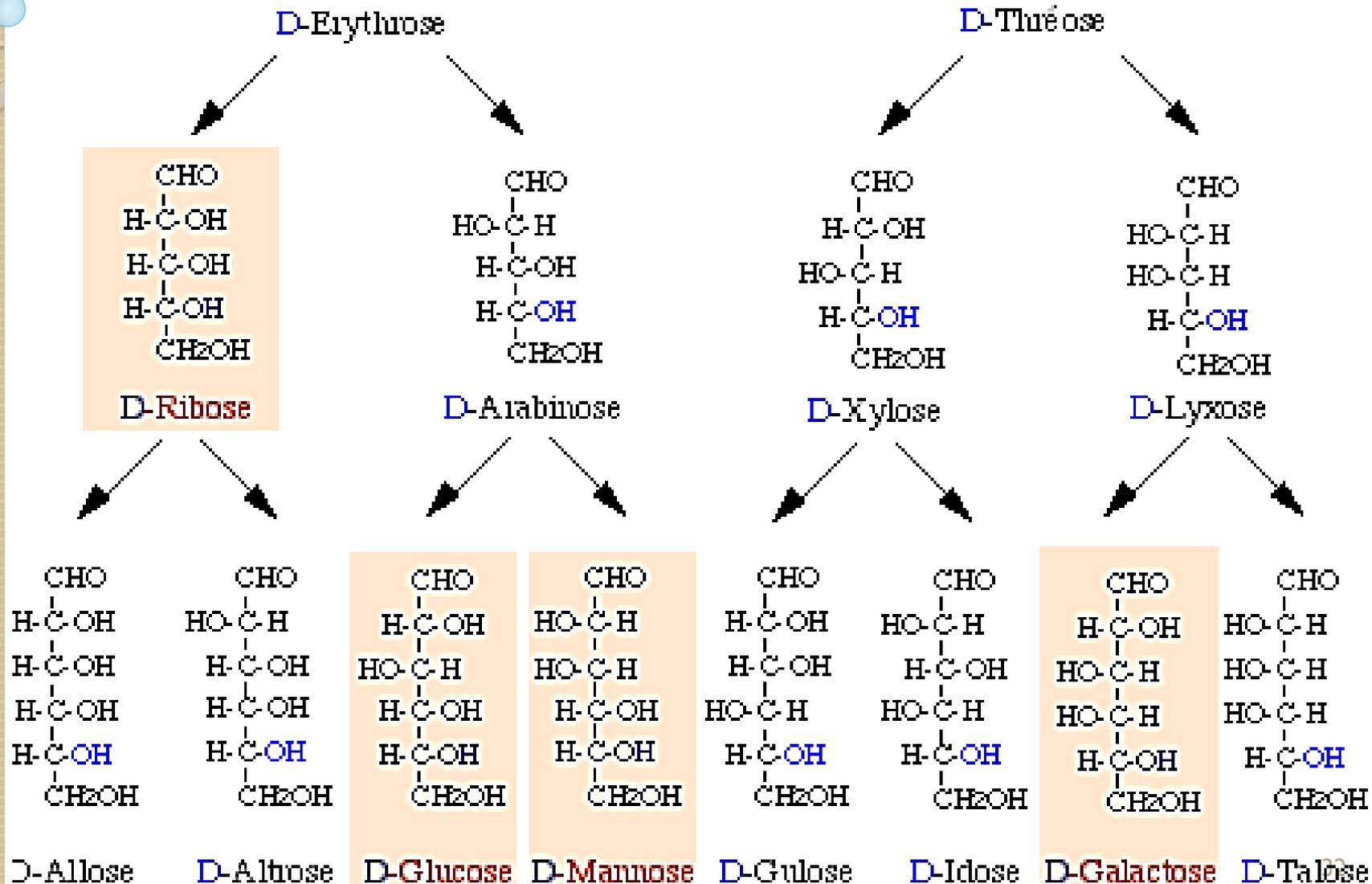


D-Thréose

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

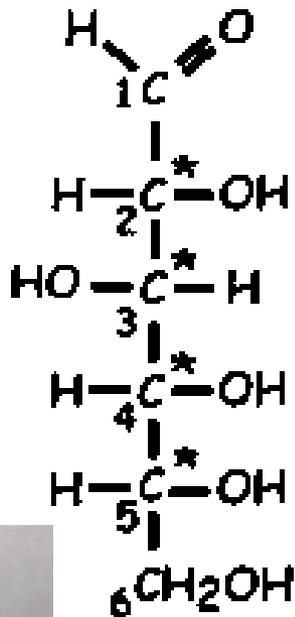
Configuration des aldoses isomères de la série D



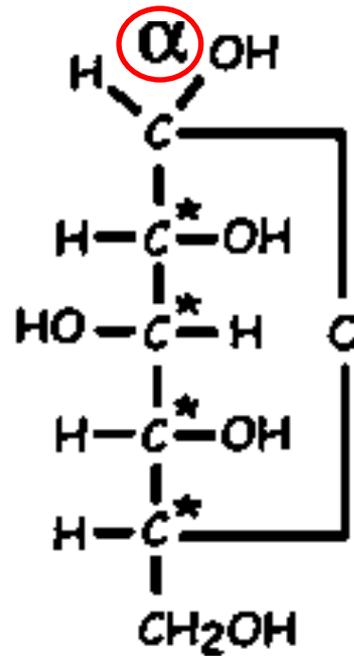
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

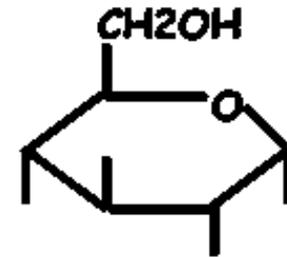
Structure cyclique des oses (de Fisher à Haworth)



D-glucose



α D-glucopyranose



Emil Fischer
1852-1919

Fisher



Tollens



Haworth

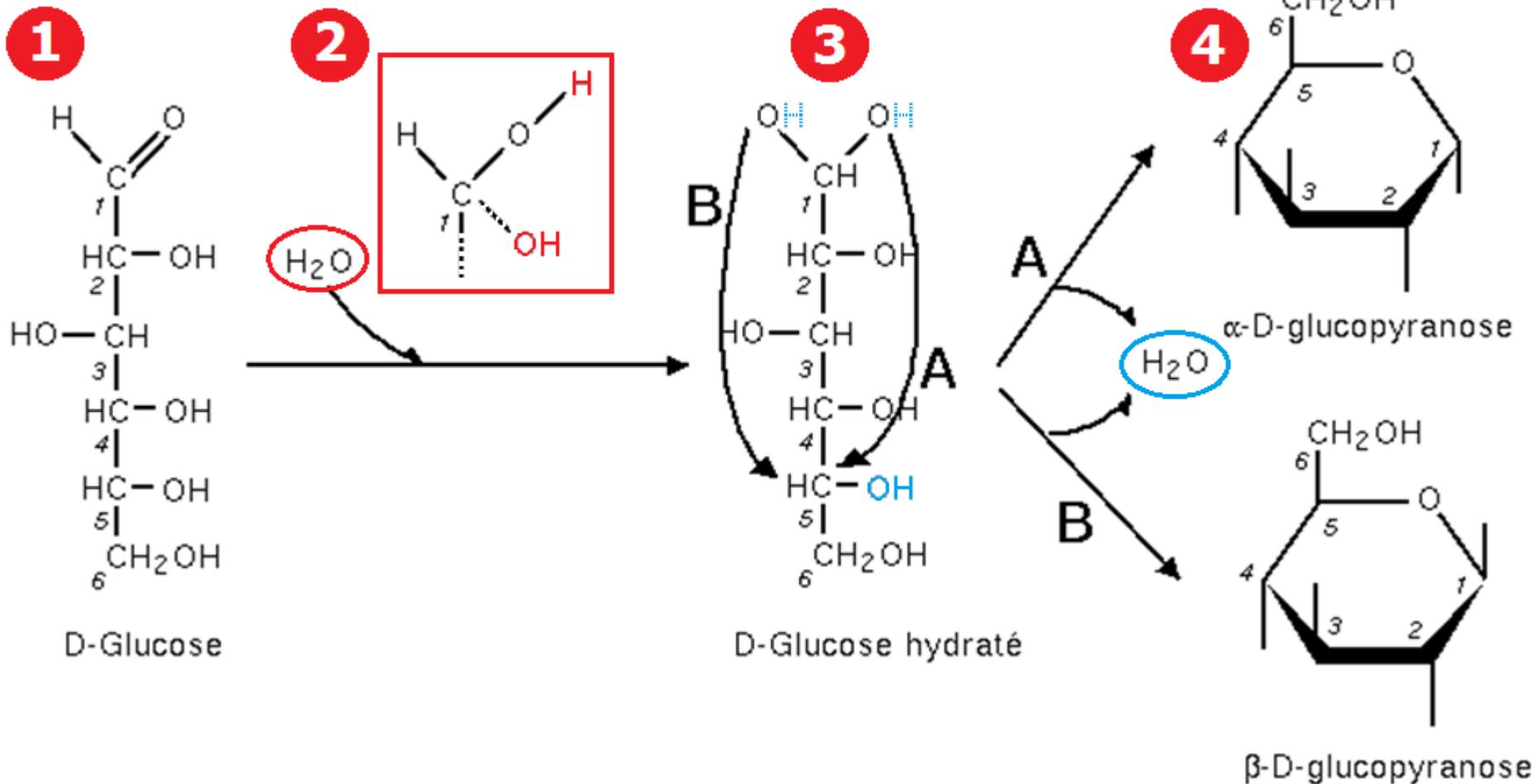


Walter Norman Haworth
1883-1950

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

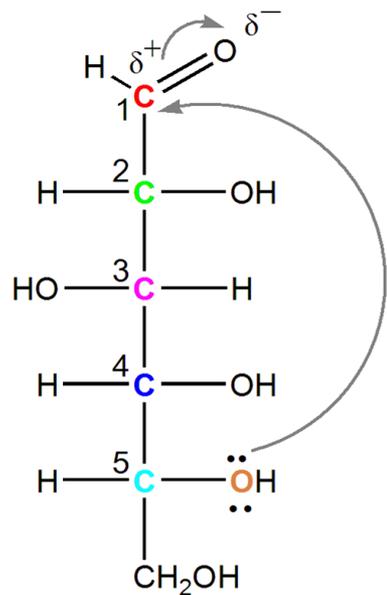
Configuration (α) et (β)



BIOCHIMIE STRUCTURALE

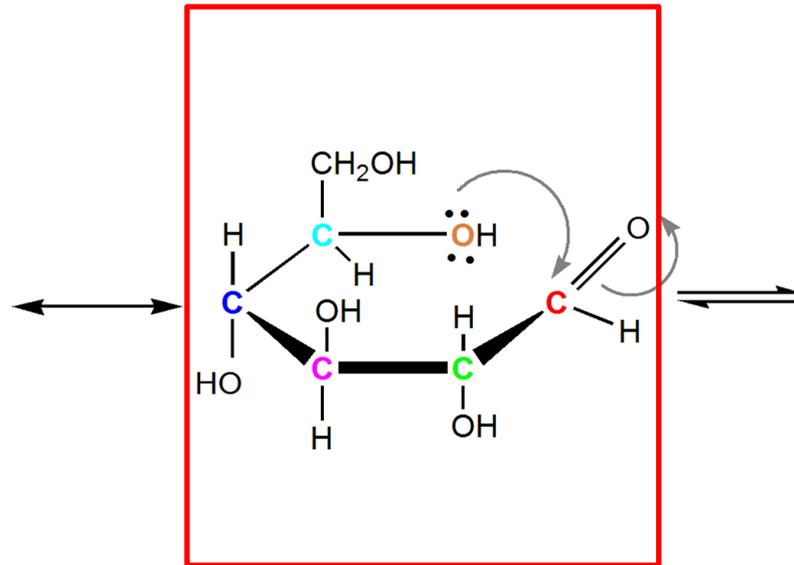
2.3. Oses

A - Cyclisation des aldohexoses

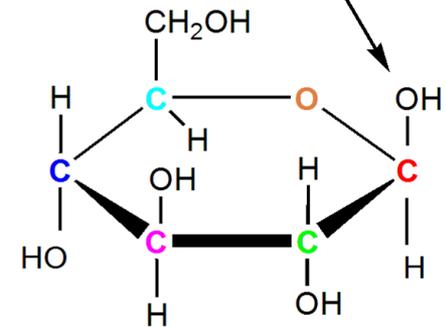


up on the ring | down on the ring

D-Glucose
Fischer projection



Anomère β :
CH₂OH et OH
du même côté



β-D-Glucopyranose

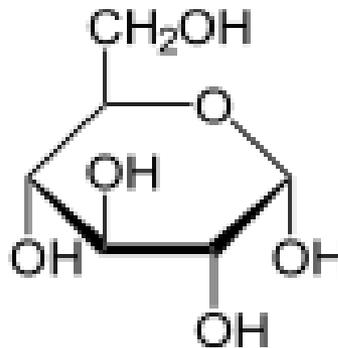
(hemiacetal of D-glucose)
Haworth projection

BIOCHIMIE STRUCTURALE

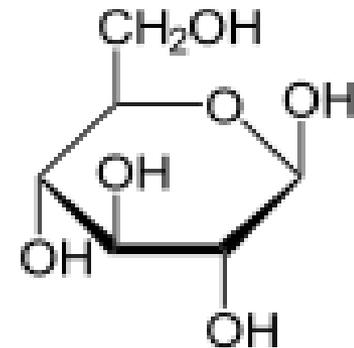
2.3. Oses

Cyclisation glucose

- avec C_4 => Cycle **Furane** (Furanose)
- avec C_5 => Cycle **Pyrane** (Pyranose)

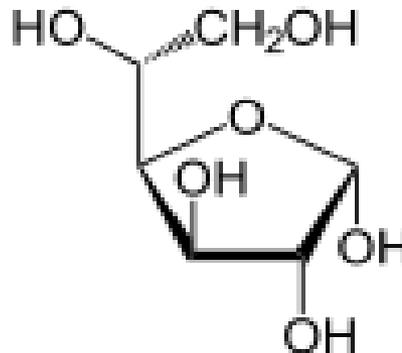


α -D-Glucopyranose

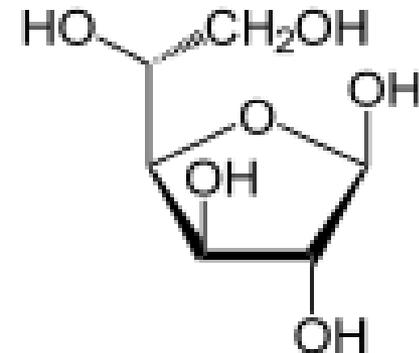


β -D-Glucopyranose

Anomères α et β
(\neq énantiomère)



α -D-Glucofuranose

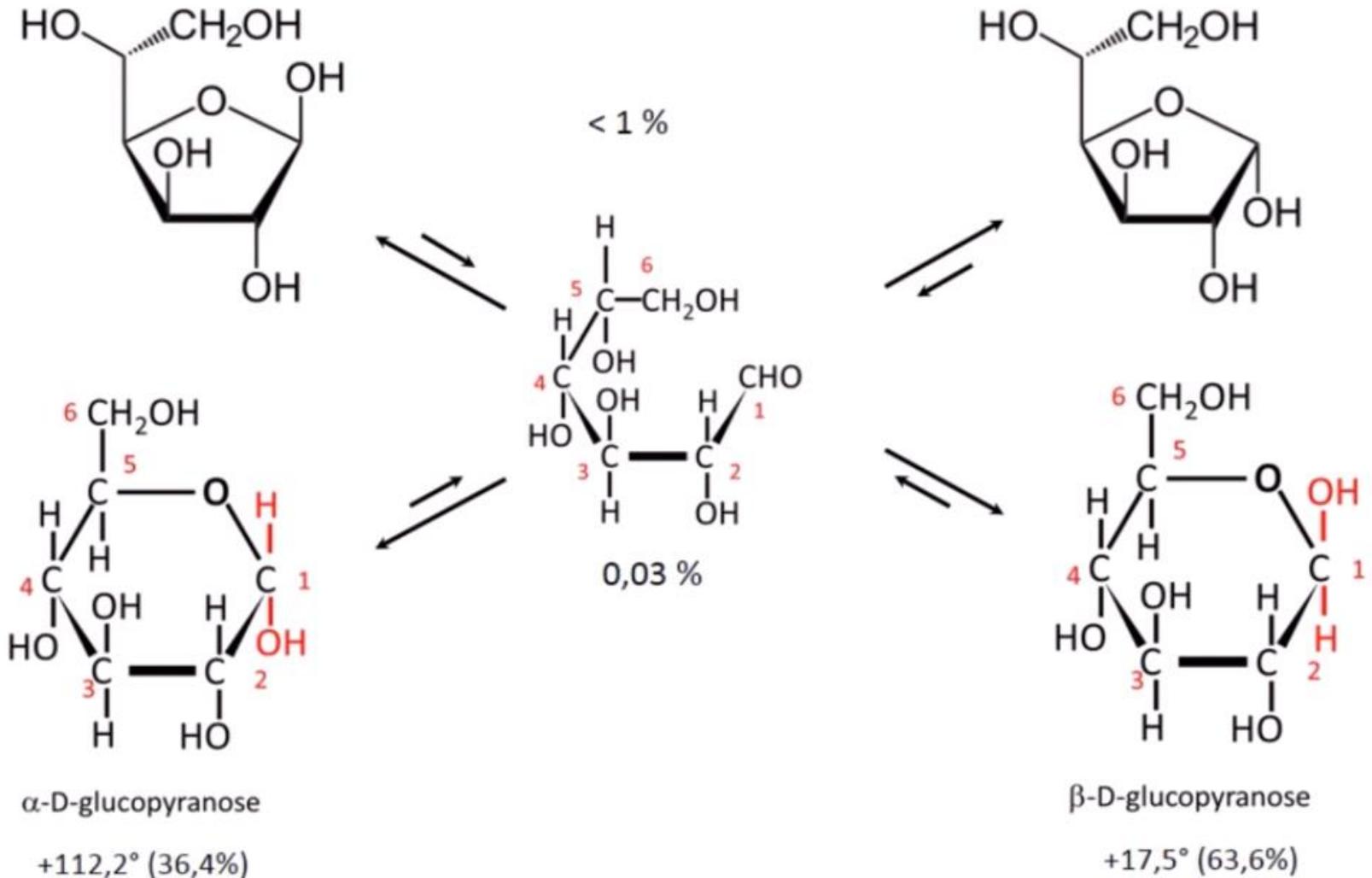


β -D-Glucofuranose

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

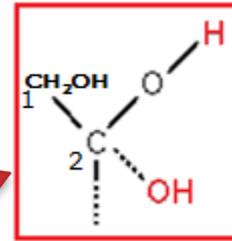
Phénomène de « mutarotation »



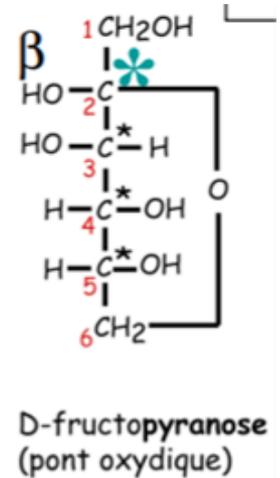
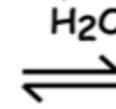
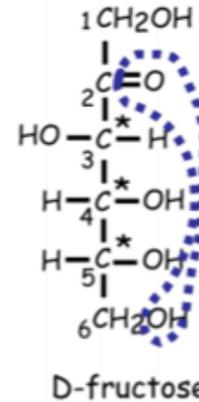
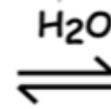
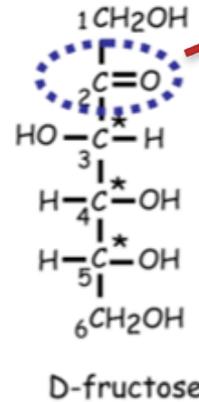
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

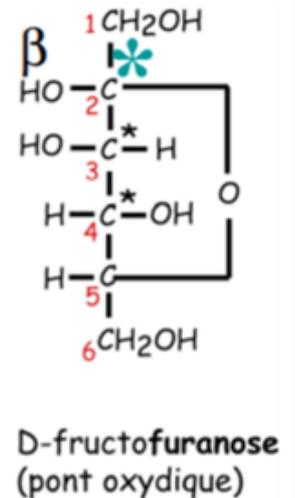
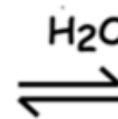
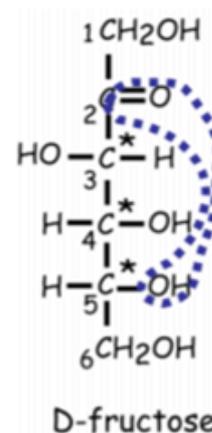
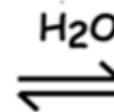
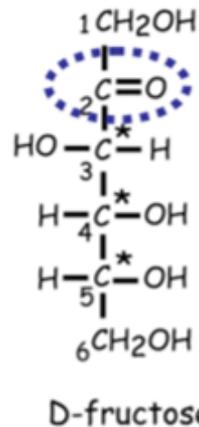
B - Cyclisation des cétohexoses :



Cyclisation 2 → 6
Cycle de type pyrane
pyranose



Cyclisation 2 → 5
Cycle de type furane
furanose



BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

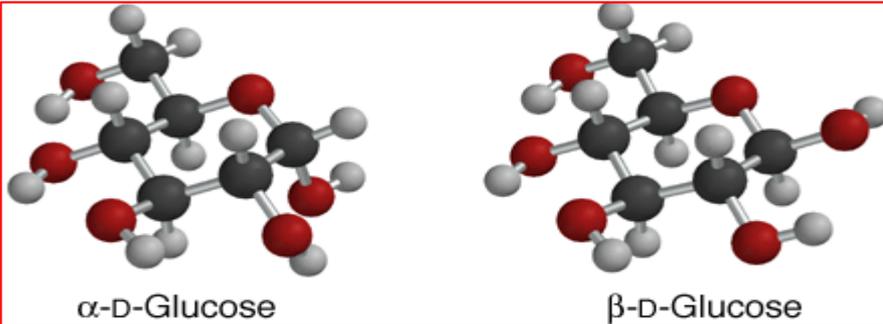
Règles générales de la représentation des oses

- Le carbone anomérique est représenté à droite de la structure cyclique
- La numérotation des autres atomes de carbone se fait dans le sens des aiguilles d'une montre
- Les OH situés à droite de l'axe vertical de la molécule dans la représentation de Tollens se retrouvent au dessous du plan du cycle dans la représentation de Haworth (les OH à gauche au dessus)
- Pour chaque ose de la série D, l'anomère α a sa fonction réductrice en dessous du plan du cycle et β au dessus. **Ce sens est inversé pour les oses de la série L**

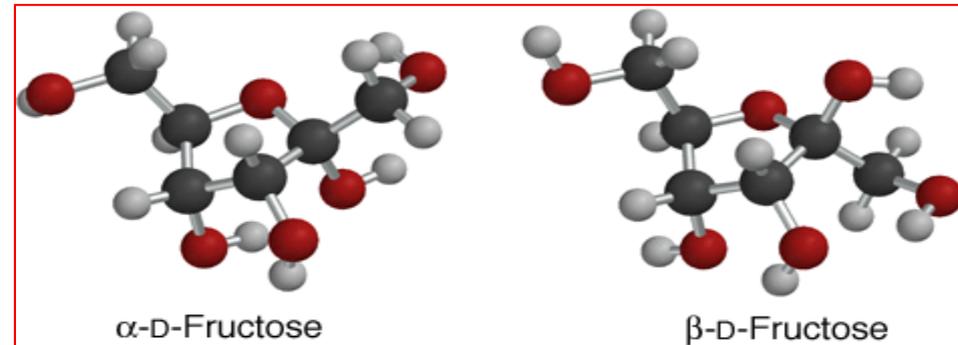
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

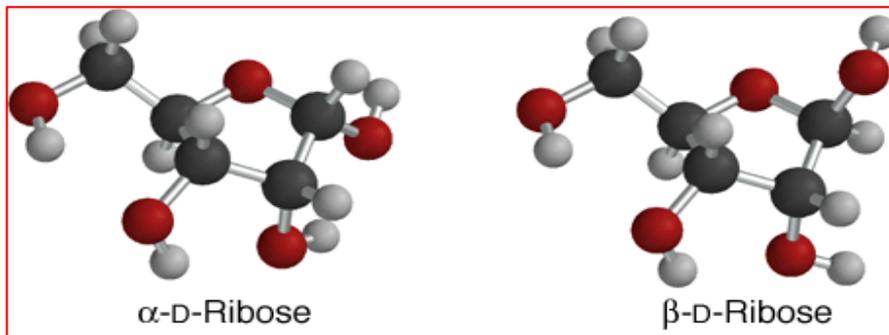
Exemple : Représentations tridimensionnelles



Glucose – 3D



Fructose – 3D

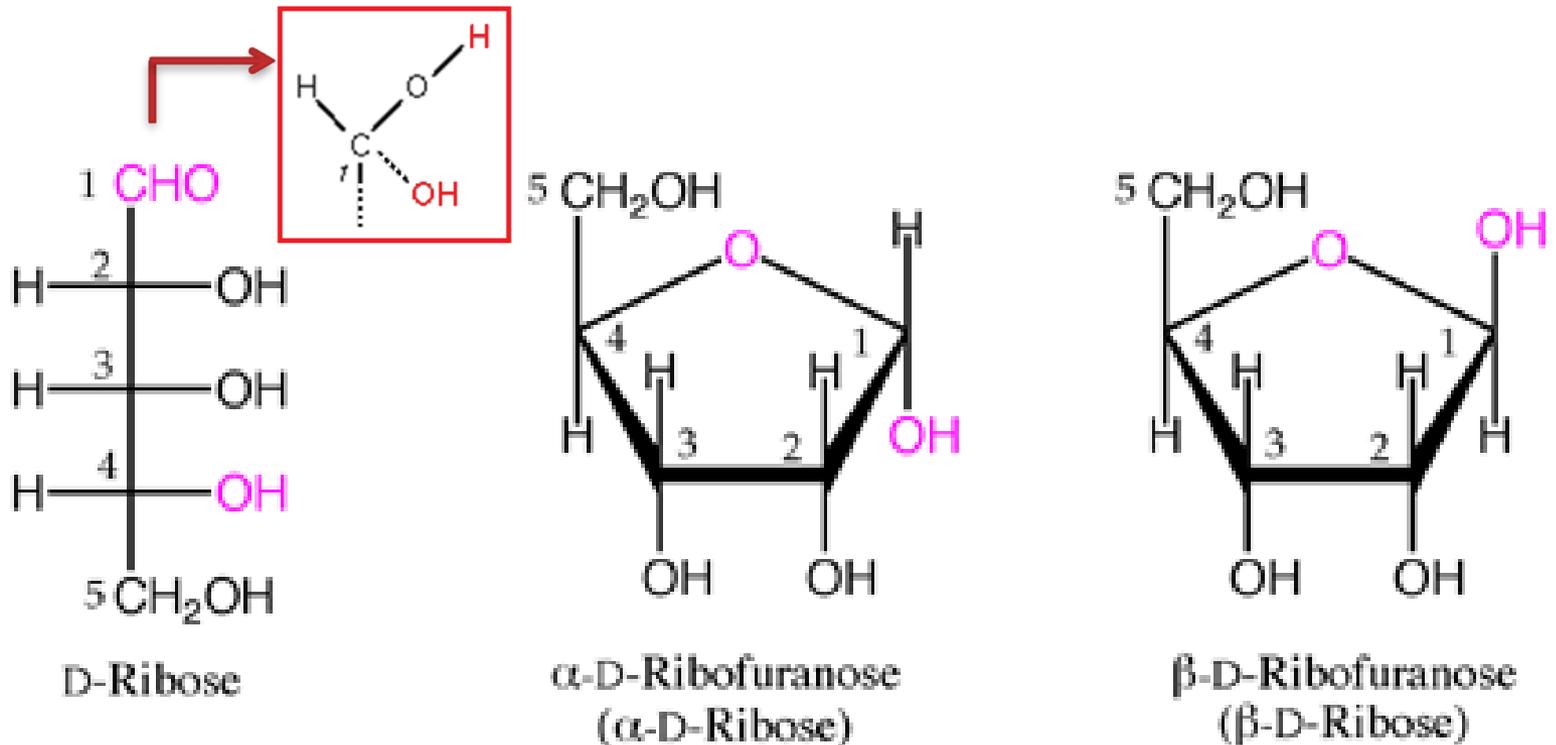


Ribose – 3D

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

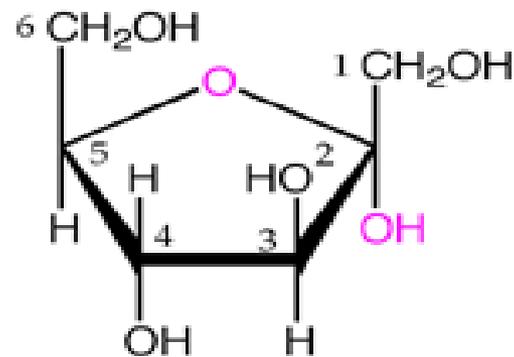
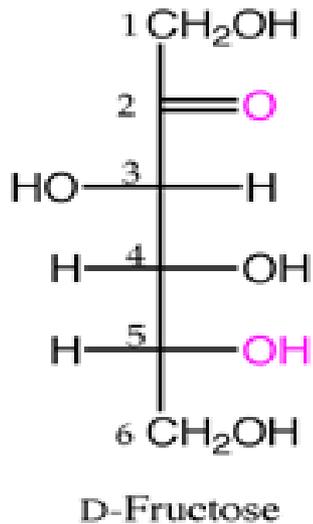
Exemple : Cyclisation du Ribose



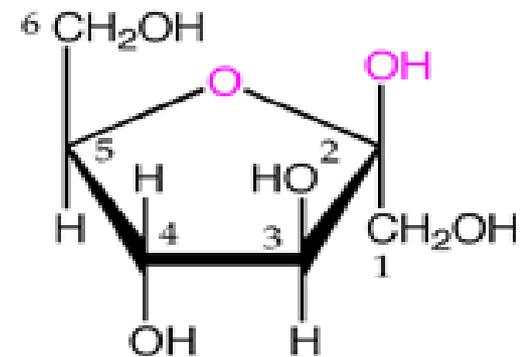
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

Exemple : Cyclisation du Fructose



α -D-Fructofuranose
(α -D-Fructose)

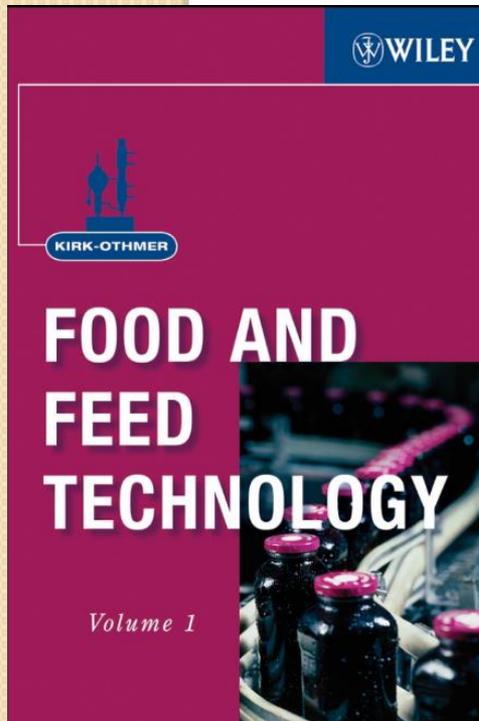


β -D-Fructofuranose
(β -D-Fructose)

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

Cas particulier : Représentation de série L Cyclique



atoms that are not involved in ring formation, the hydroxyl groups that are on the right in the Fischer projection project down in the Haworth ring form and the hydroxyl groups that are on the left in the Fischer projection stick up in the Haworth ring form.

When the pyranose (six-membered) ring is formed, a new chiral carbon atom is formed from C-1. Thus there can be two forms of the pyranose ring. D Sugars with the hydroxyl group at C-1 in the up position are said to be in the beta (β) configuration; D sugars with the hydroxyl group at C-1 projecting down are said to be in the alpha (α) configuration. α -D-Glucopyranose [492-62-6] and β -D-glucopyranose [492-61-5] are anomers of each other. In β -L-pyranoses, the hydroxyl group on C-1, termed the anomeric carbon atom, projects down in the Haworth representation. Thus, eg, β -D- and β -L-glucopyranose [39281-65-7] are complete mirror images of each other.

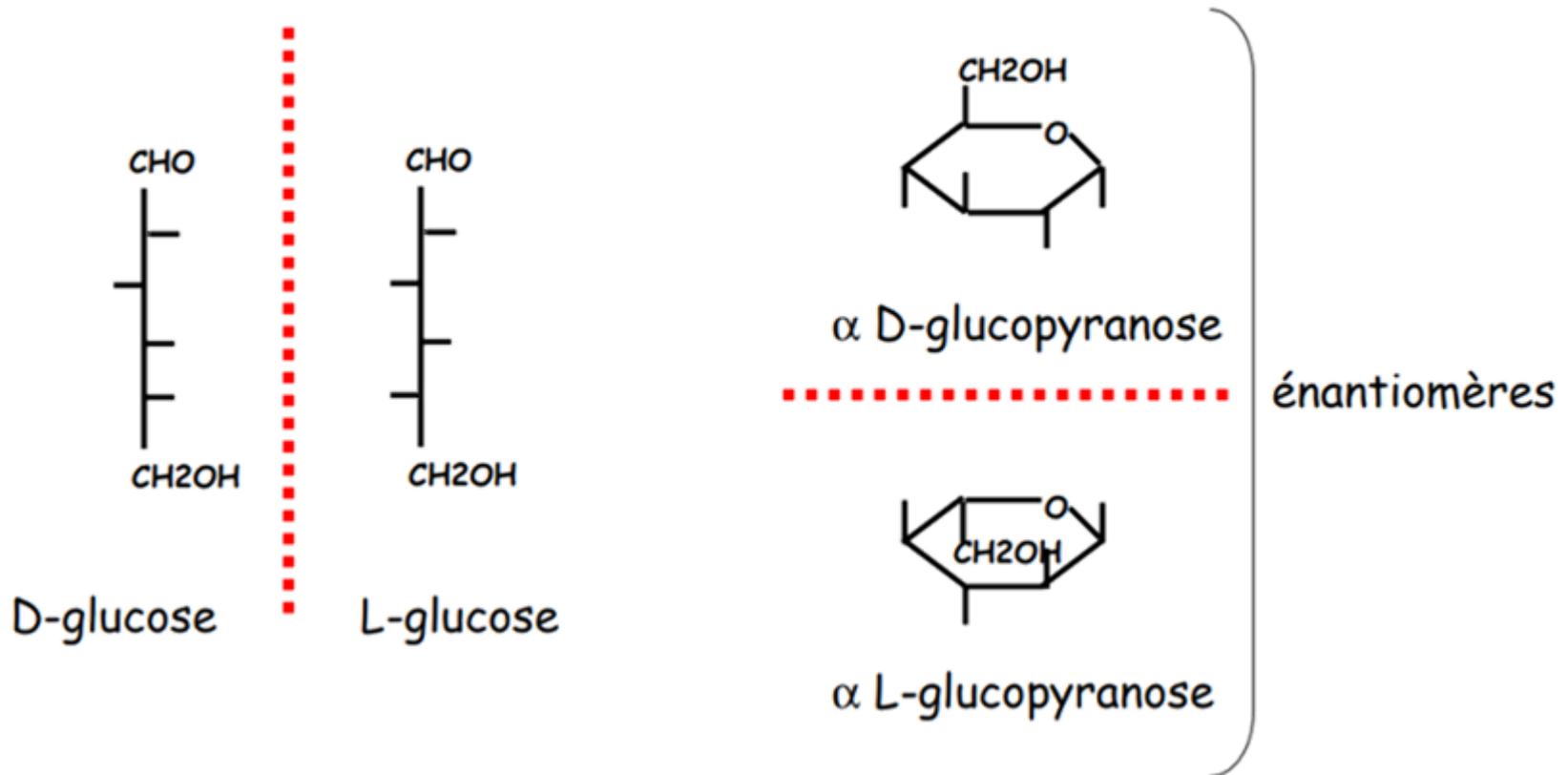
Most free pentoses, hexoses, and heptoses occur primarily in less-strained pyranose rings, but the furanose ring is also quite important. The furanose ring is formed in the same way as the pyranose ring and also occurs in α and β forms.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

Écriture en « L »

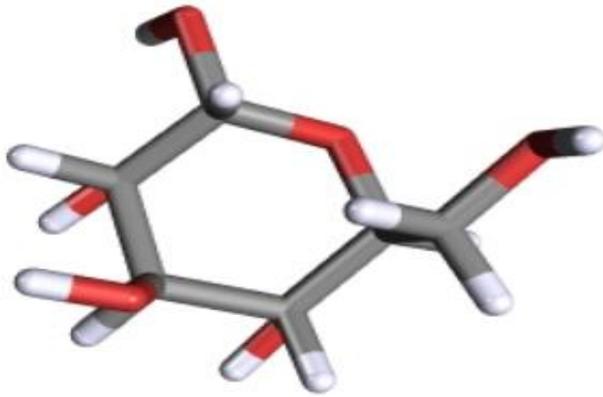
l'énantiomère L d'un ose peut être obtenu en représentant le symétrique de l'isomère D soit par rapport à un plan vertical, soit par rapport à un plan horizontal.



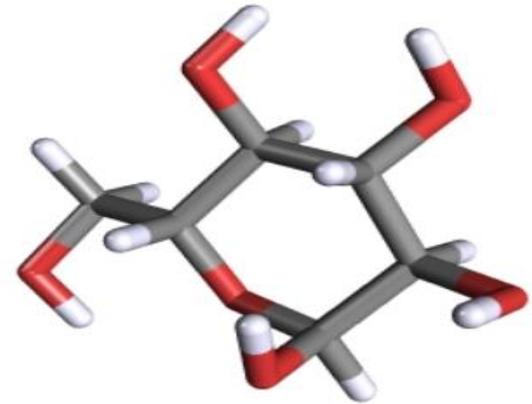
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

Exemple : Représentations tridimensionnelles



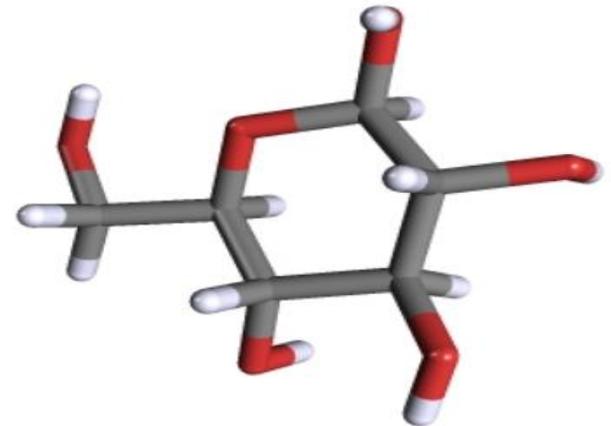
α -L-Glucopyranose



α -D-Glucopyranose



β -L-Glucopyranose



β -D-Glucopyranose

BIOCHIMIE STRUCTURALE

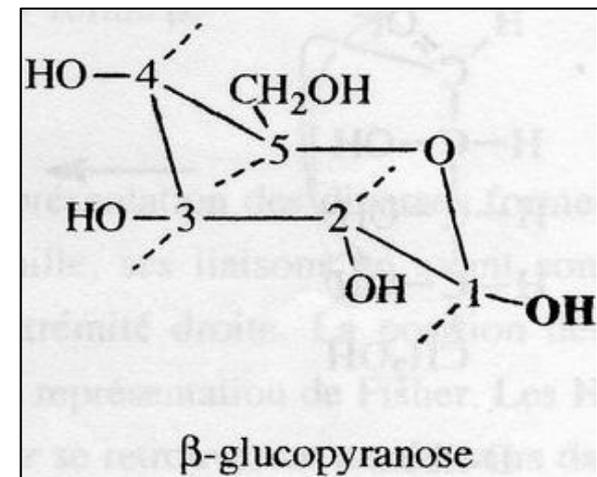
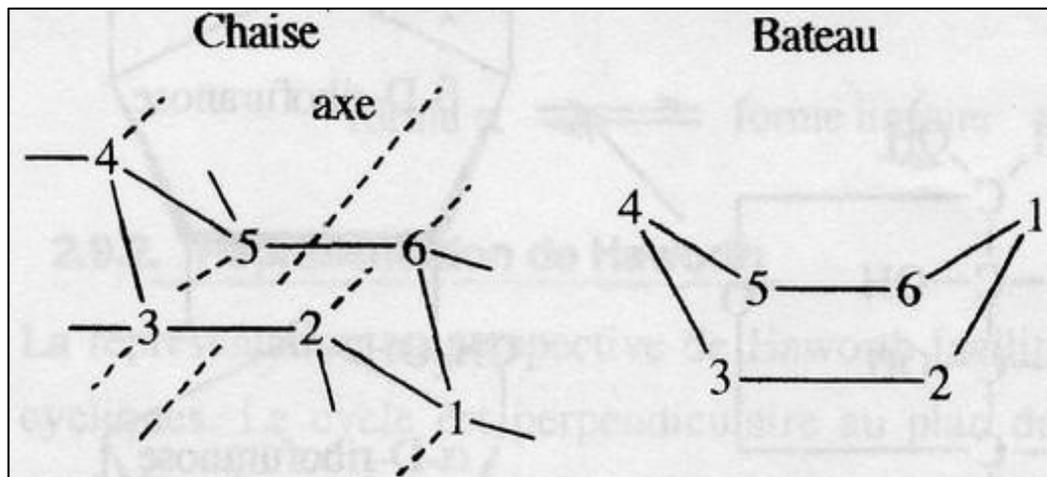
2.3. Oses

Conformations des structures cycliques

En réalité le cycle fermé n'est pas « plan », Dans un hexagone régulier, les angles sont de 120° , or les angles de valence du carbone sont de 109° ,

Les carbones **2,3,5** et l'**oxygène** sont situés dans un même plan,
Les carbones **1** et **4** sont :

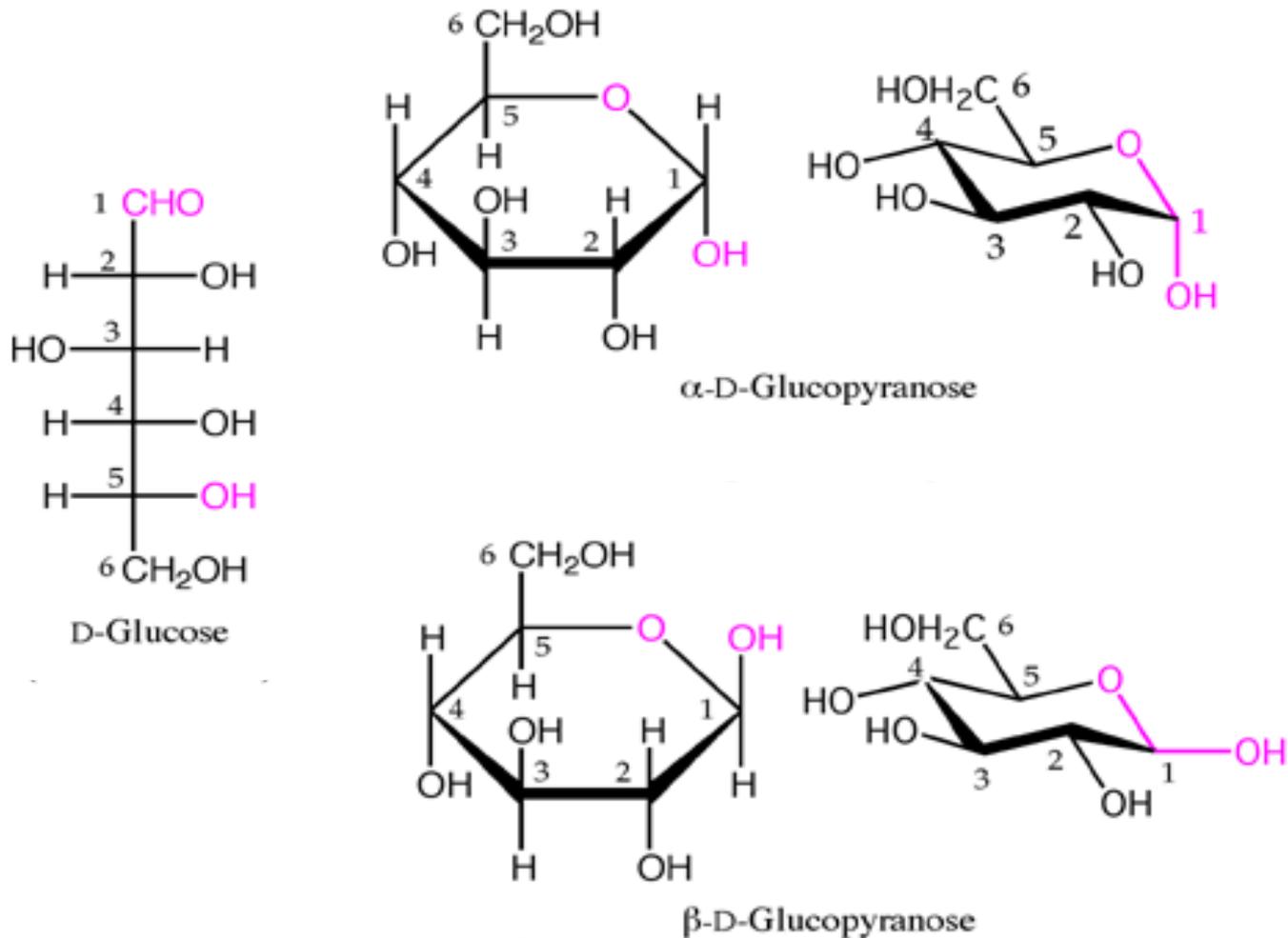
- De part et d'autre, de ce plan : **Forme chaise**
- Du même côté du plan : **Forme bateau**



BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3. Oses

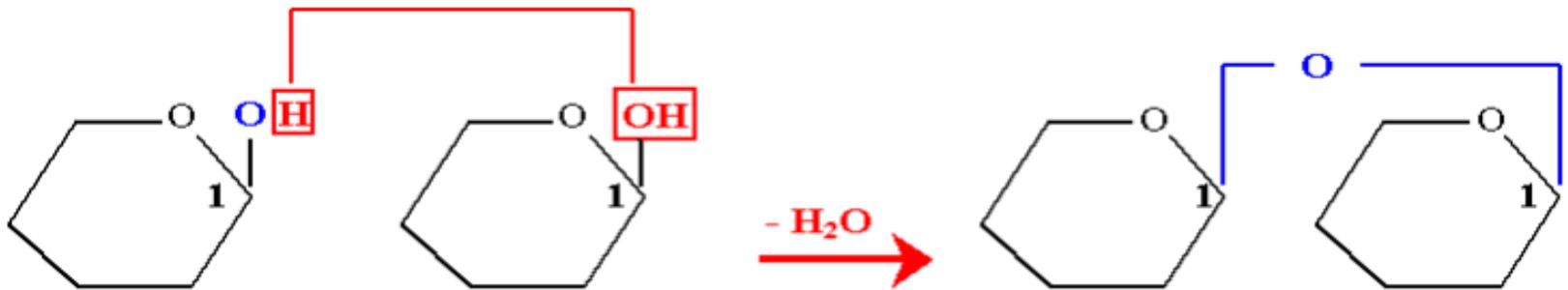
Exemple : Conformation anomérique en « chaise »



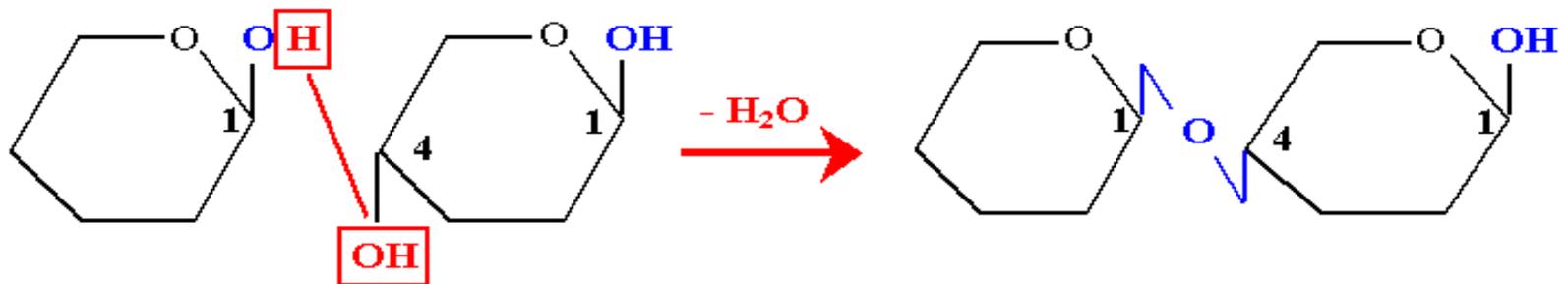
BIOCHIMIE STRUCTURALE

2.3.1. Mode de liaison des oses (Osides)

- Deux oses sont unis entre eux par une liaison osidique (ou glycosidique) pour donner un diholoside. Selon le mode de liaison des 2 oses le diholoside est non réducteur ou réducteur.



Diholoside Non-Réducteur



Diholoside Réducteur

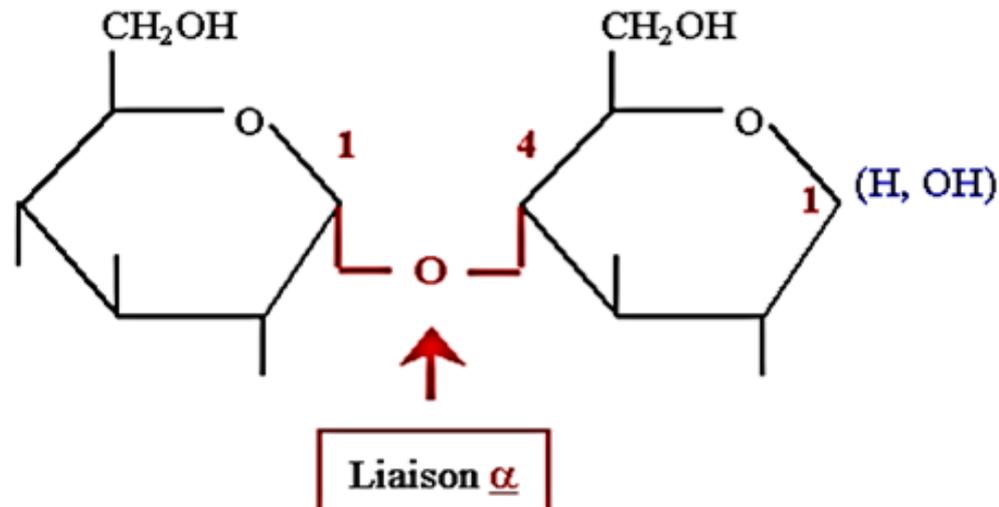
BIOCHIMIE STRUCTURALE

Les principaux diholosides

A- Le Maltose

- C'est un produit d'hydrolyse obtenu lors de la digestion des polysides (amidon et glycogène) par les amylases (enzymes).
- Il est formé par l'union de 2 molécules de glucose unies en α 1-4. C'est un oside réducteur.
- Il est hydrolysé en 2 molécules de glucose par une enzyme spécifique, la maltase.

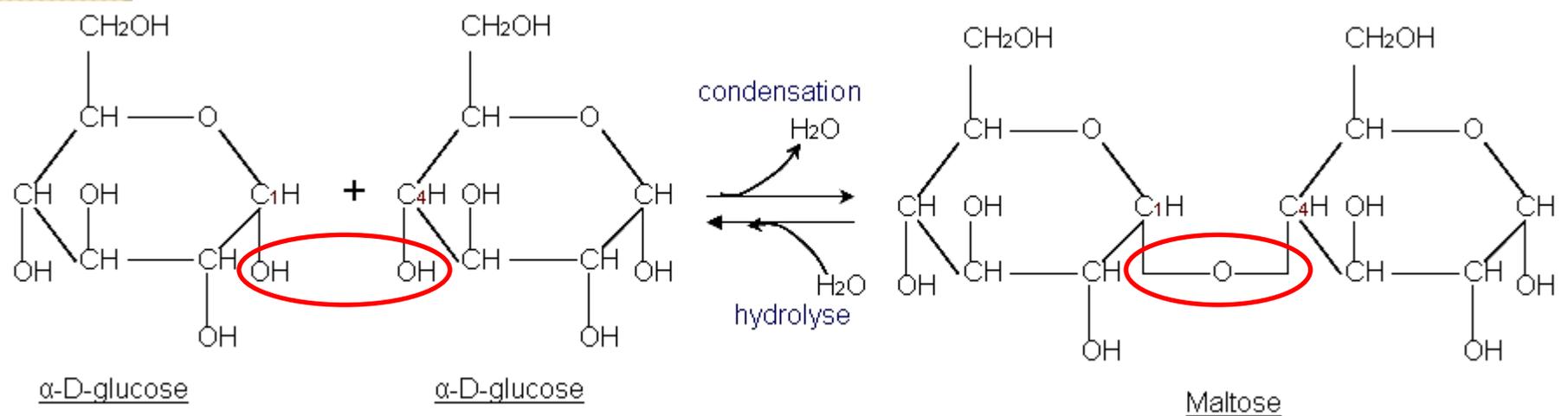
Maltose = α D-Glucopyranosyl (1-4) D-Glucopyranose



BIOCHIMIE STRUCTURALE

Les principaux diholosides

A- Le Maltose

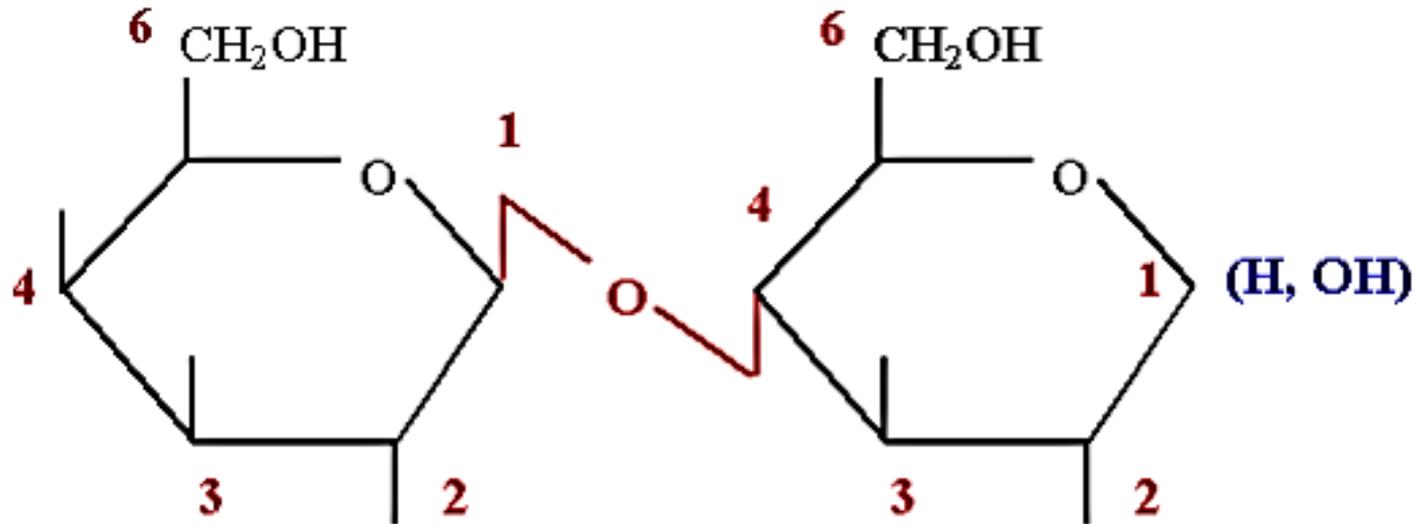


BIOCHIMIE STRUCTURALE

Les principaux diholosides

B- Le Lactose

- Il est présent dans le lait de tous les mammifères.
- C'est un diholoside réducteur constitué d'une molécule de **Galactose** et d'une molécule de **Glucose** unies par une **liaison β 1-4 osidique**.



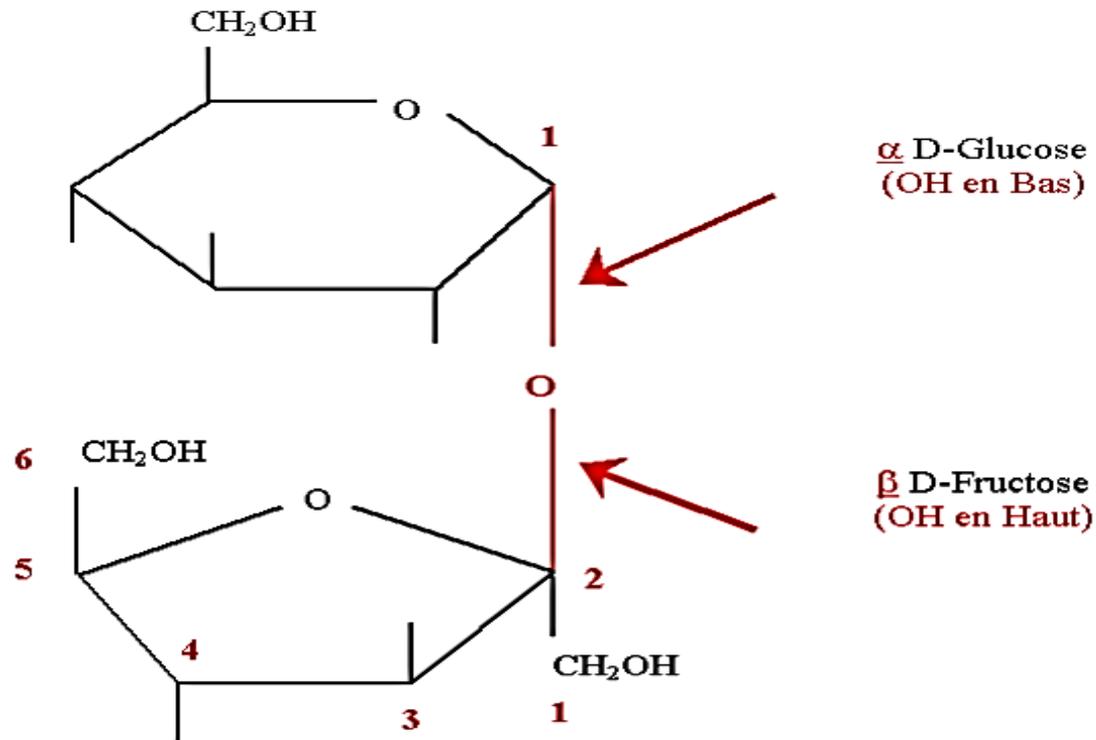
β D- Galactopyranosyl (1 - 4) D- Glucopyranose

BIOCHIMIE STRUCTURALE

Les principaux diholosides

C- Le Saccharose

- C'est un diholoside **non réducteur**, très répandu dans les végétaux, constitué d'une molécule de **Glucose** et d'une molécule de **Fructose** unies par une **liaison α 1-2 osidique**.



α D-Glucose
(OH en Bas)

β D-Fructose
(OH en Haut)

α D- Glucopyranosyl (1 - 2) β D- Fructofuranoside

BIOCHIMIE STRUCTURALE

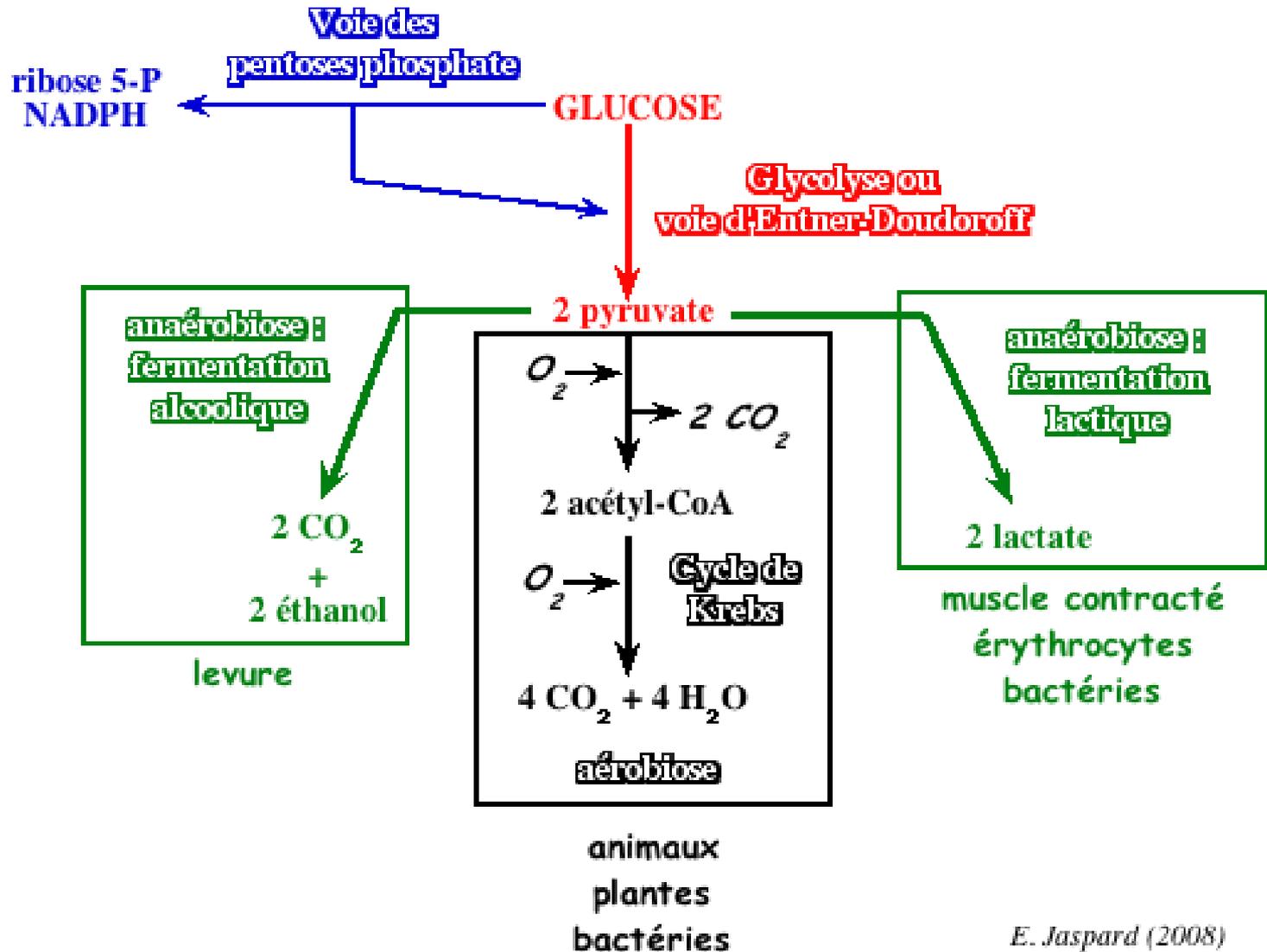
3. Métabolisme des glucides

◦ Digestion et absorption des glucides :

- Seuls les oses passent à travers les membranes cellulaires
- Donc hydrolyse des diholosides et polyosides présents dans les aliments (Lactose, Saccharose, Amidon, Glycogène...)
- Hydrolyse des polyholosides par des « exoenzymes » (libérés hors des cellules où ont été synthétisé)

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides



BIOCHIMIE STRUCTURALE

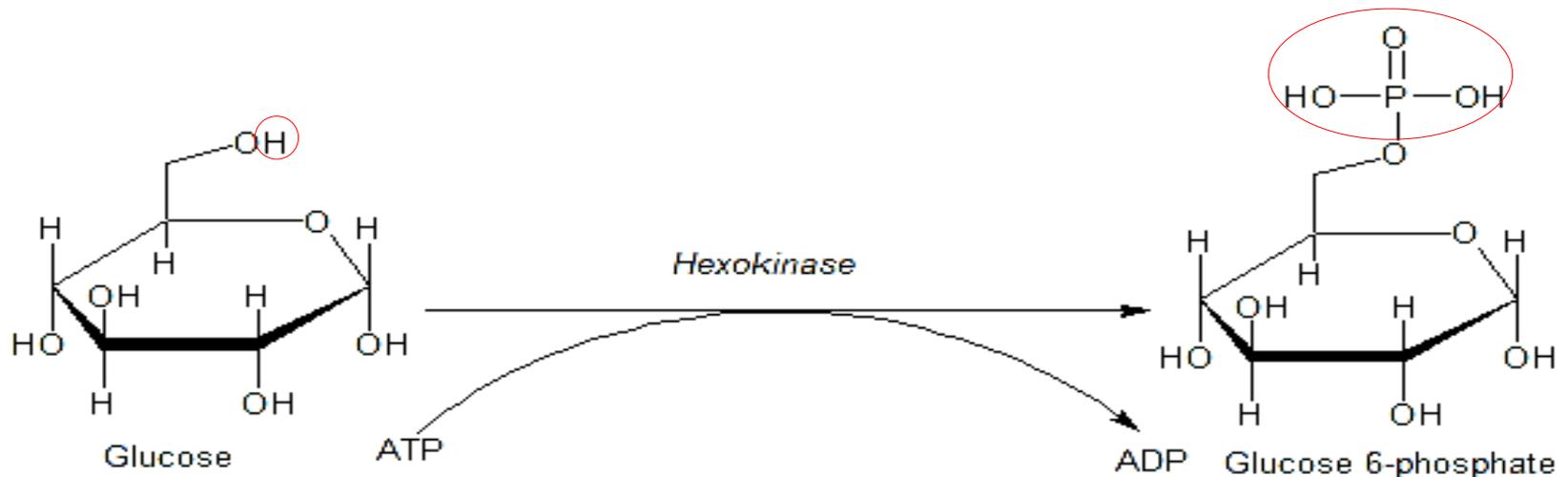
3. Métabolisme des glucides

Métabolisme des OSES :

I. GLYCOLYSE (production d'énergie = ATP)

I) Phosphorylation du glucose :

- 1^{ère} étape du métabolisme qui survient juste après l'absorption
- Intervention d'ATP pour donner un gpt. Phosphate
- Intervention de transphosphorylase (kinase, glucokinase) en C6

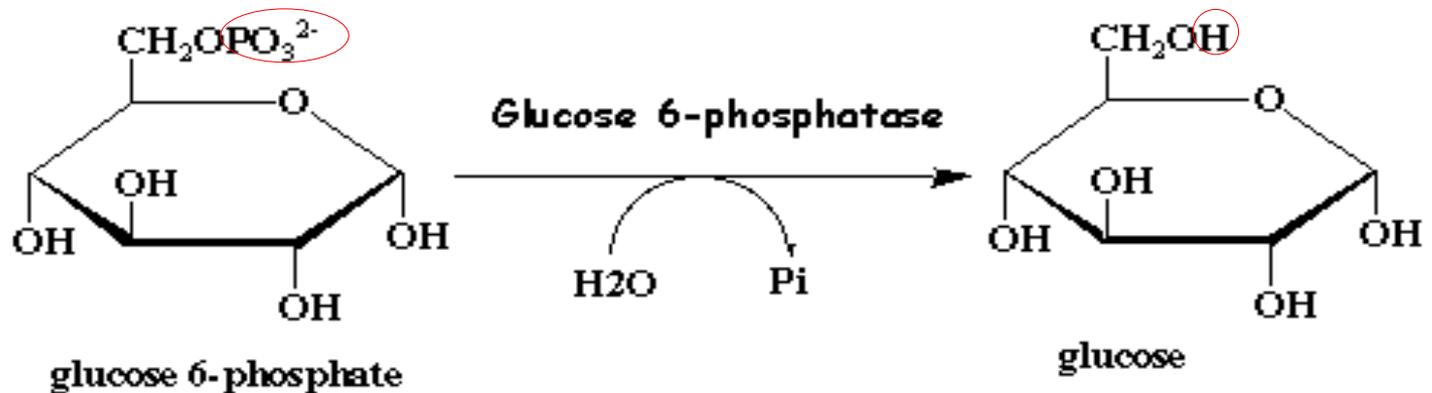


BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

- Le G6P est très important dans le métabolisme glucidique :
 - ≠ voies métaboliques sont possibles (Glucose, Ac. Pyruv, Pentoses..)
 - selon l'état physiologique de l'organisme (ou cellule), Ex:
 - Si besoin +++ATP → oxydation massive des G6P (qui génèrent l'ATP)
 - Si besoin + ATP → G6P converties en Glycogènes ...

Formation du Glucose à partir du G6P:

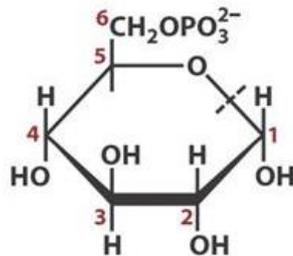


BIOCHIMIE STRUCTURALE

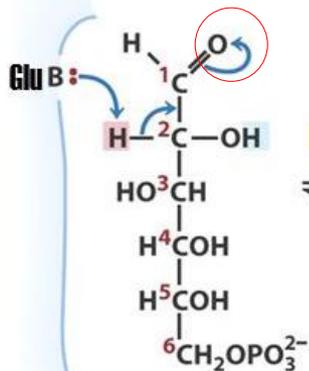
3. Métabolisme des glucides

2) Phosphohexose isomérase : qui isomérisé le G6P en F6P

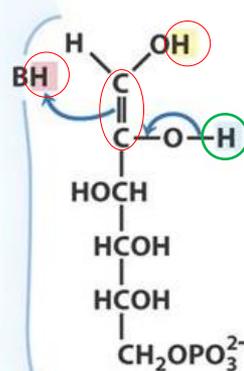
Glucose 6-phosphate



① binding and ring opening by an active-site His residue

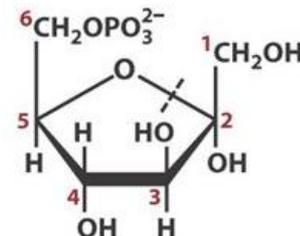


Phosphohexose isomerase

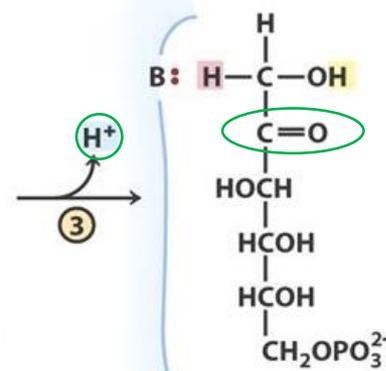


cis-Enediol intermediate

Fructose 6-phosphate



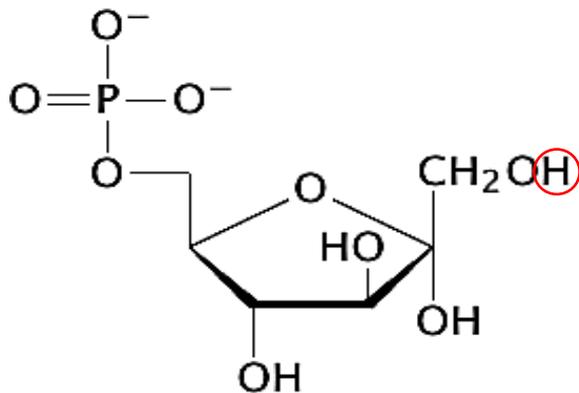
④ ring closing and dissociation



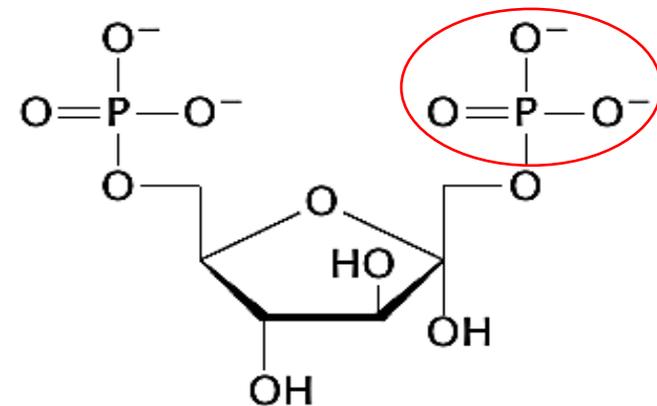
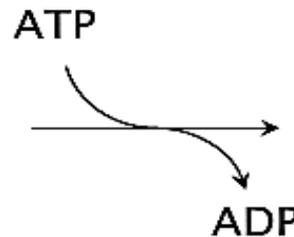
BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

3) **Phosphofructokinase** : Le F6P subit une 2^{ème} phosphorylation → fructose-1,6-bisphosphate (avec consommation d'ATP)



Fructose-6-phosphate

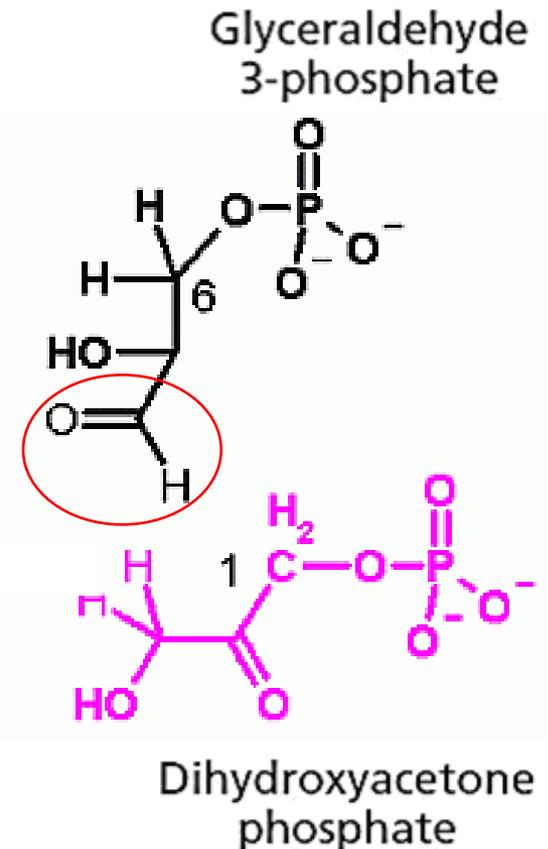
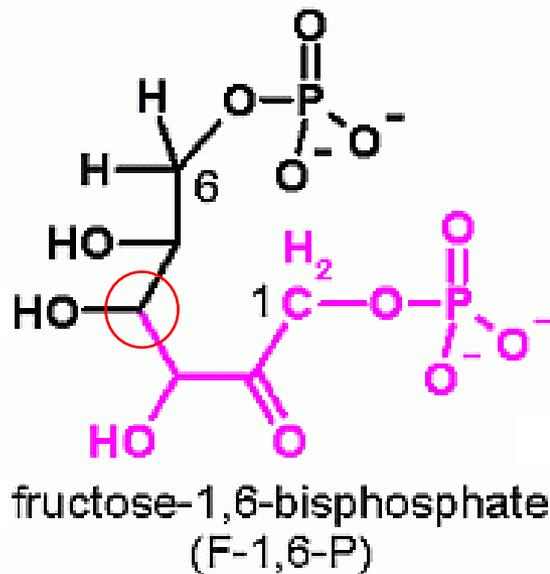


Fructose-1,6-bisphosphate

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

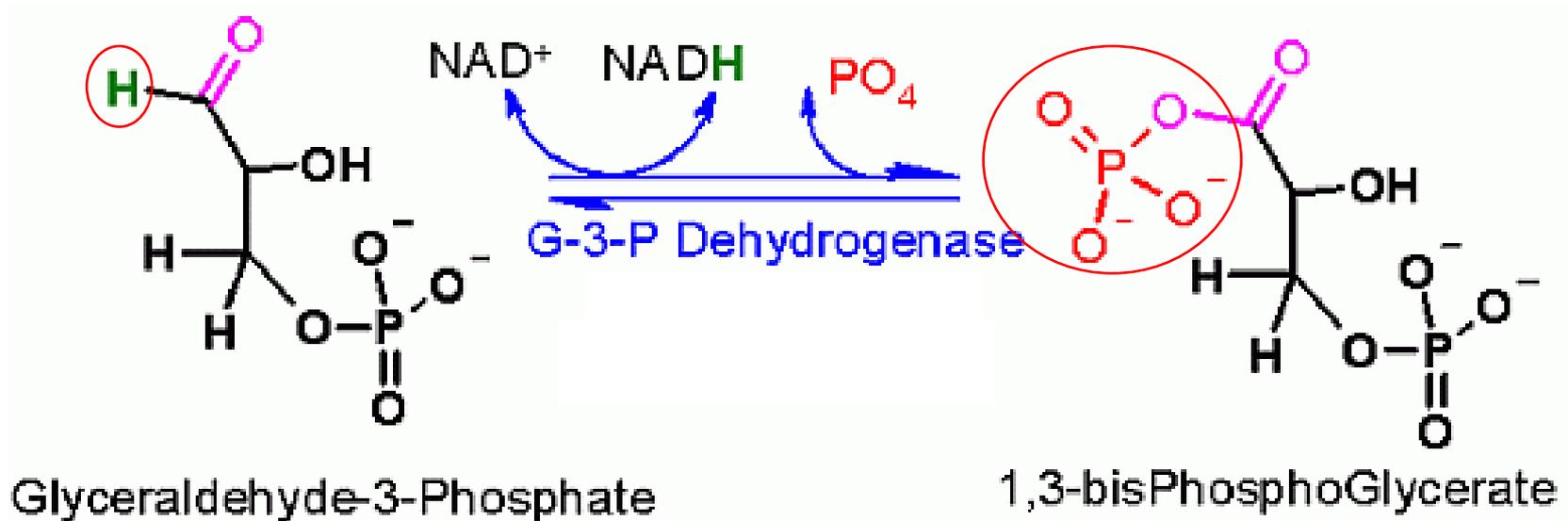
4) **Aldolase** (fructose-bisphosphate aldolase) : Le F-1,6-bisP est scindé en 2 trioses différents (dihydroxyacétone et glyceraldehyde-3-P)



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

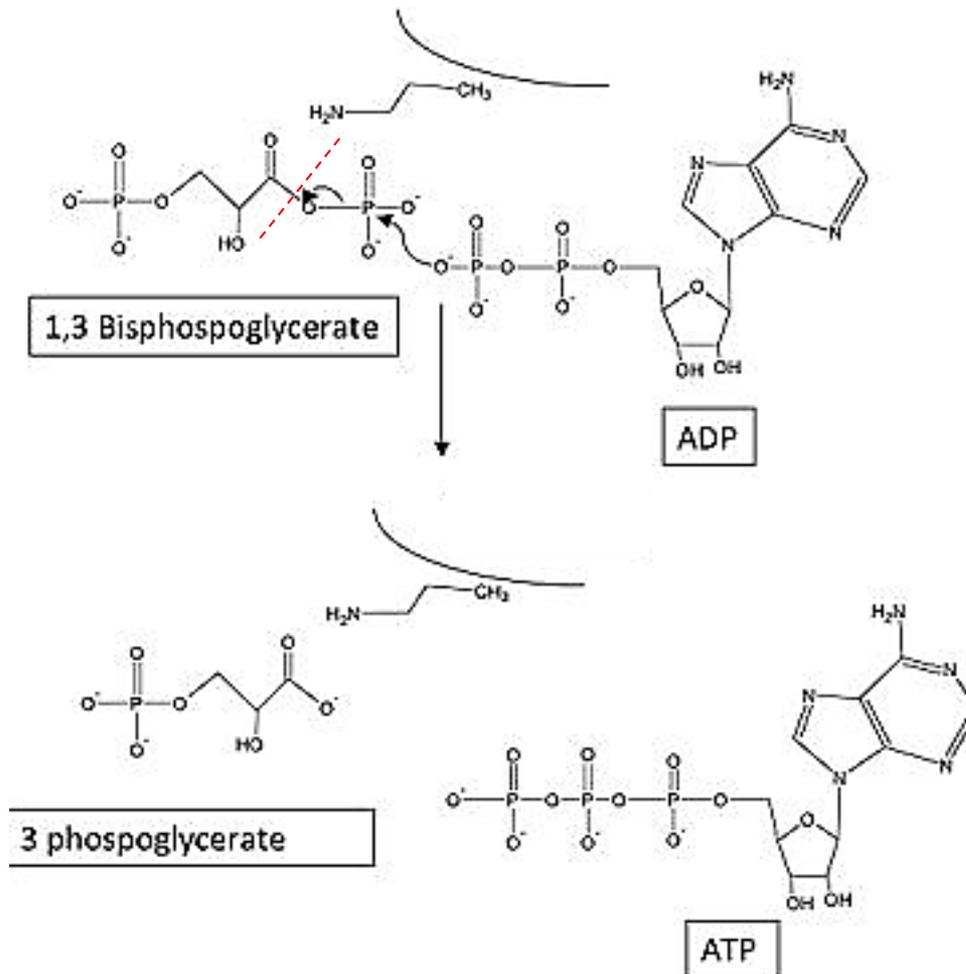
- 5) Glyceraldehyde-3-P-déhydrogénase : oxydation de la fonction aldéhyde
→ Formation de : thio-semi-acetal, thio ester et *acide 1,3-di(P) glycérique*



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

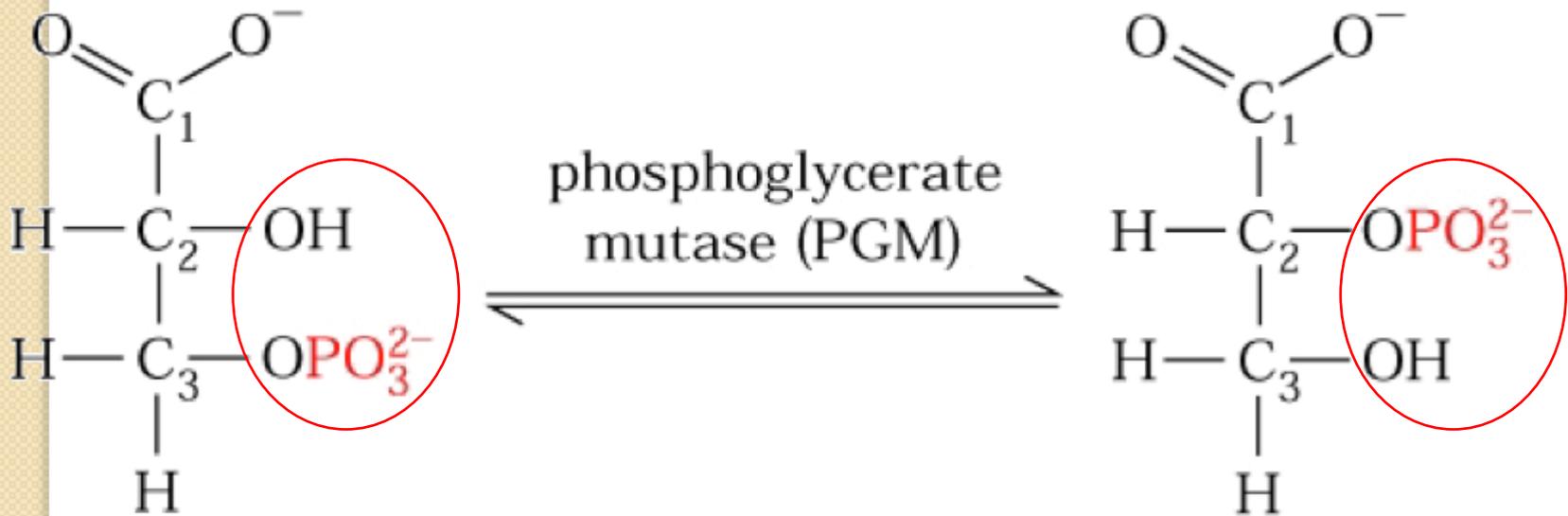
6) 3-phosphoglycerate kinase : phosphorylation de l'ADP en ATP



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

- 7) **Phosphoglycérate mutase** : conversion de Ac.3-phosphoglycérique en Ac.2 phosphoglycérique.



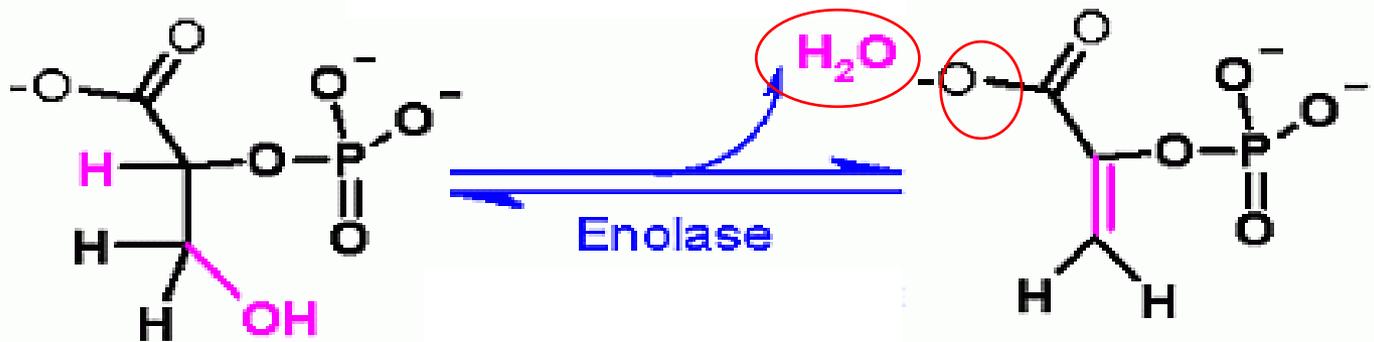
**3-Phosphoglycerate
(3PG)**

**2-Phosphoglycerate
(2PG)**

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

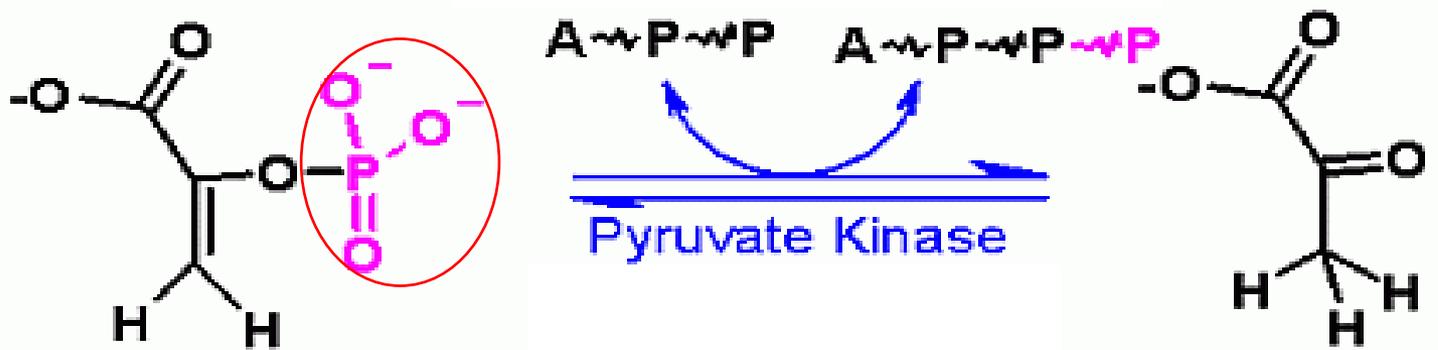
- 8) Énolase : catal. l'Ac.2 phosphoglycérique en Ac phosphoénolpyruvique.



2-PhosphoGlycerate

phosphoenolpyruvate

- 9) Pyruvate kinase : formation ATP + Acide Pyruvique



phosphoenolpyruvate

pyruvate

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

BILAN ENERGETIQUE DE LA GLYCOLYSE

1. Glucose + **ATP** $\xrightarrow{\text{Hexokinase}}$ Glucose-6-P + **ADP**
2. Glucose-6-P $\xrightarrow{\text{Glucose-6-P-Isomerase}}$ Fructose-6-P
3. Fructose-6-P + **ATP** $\xrightarrow{\text{Phospho-fructokinase}}$ Fructose-1,6-P-P + **ADP**
4. Fructose-1,6-P-P $\xrightarrow{\text{Aldolase}}$ Glycerinaldehyd-3-P + Dihydroxyaceton-P
 \longrightarrow 2 Glycerinaldehyd-3-P
5. 2 Glycerinaldehyd-3-P + **2 P_i** + **2 NAD⁺** $\xrightarrow{\text{GADPH}}$ 2 1,3-Bisphosphatglycerat + 2 **NADH**
6. 2 1,3-Bisphosphatglycerat + **2 ADP** $\xrightarrow{\text{GADP-Dehydrogenase}}$ 2 Glycerat-3-P + **2 ATP**
7. 2 Glycerat-3-P $\xrightarrow{\text{Phosphoglycerat-mutase}}$ 2 Glycerat-2-P
8. 2 Glycerat-2-P $\xrightarrow{\text{Enolase}}$ 2 Phospho-Enol-Pyruvat + 2 H₂O
9. 2 Phospho-Enol-Pyruvat + **2 ADP** $\xrightarrow{\text{Pyruvatkinase}}$ 2 Pyruvat + **2 ATP**

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

Première étape: Glycolyse

La glycolyse a lieu dans le cytoplasme de la cellule.



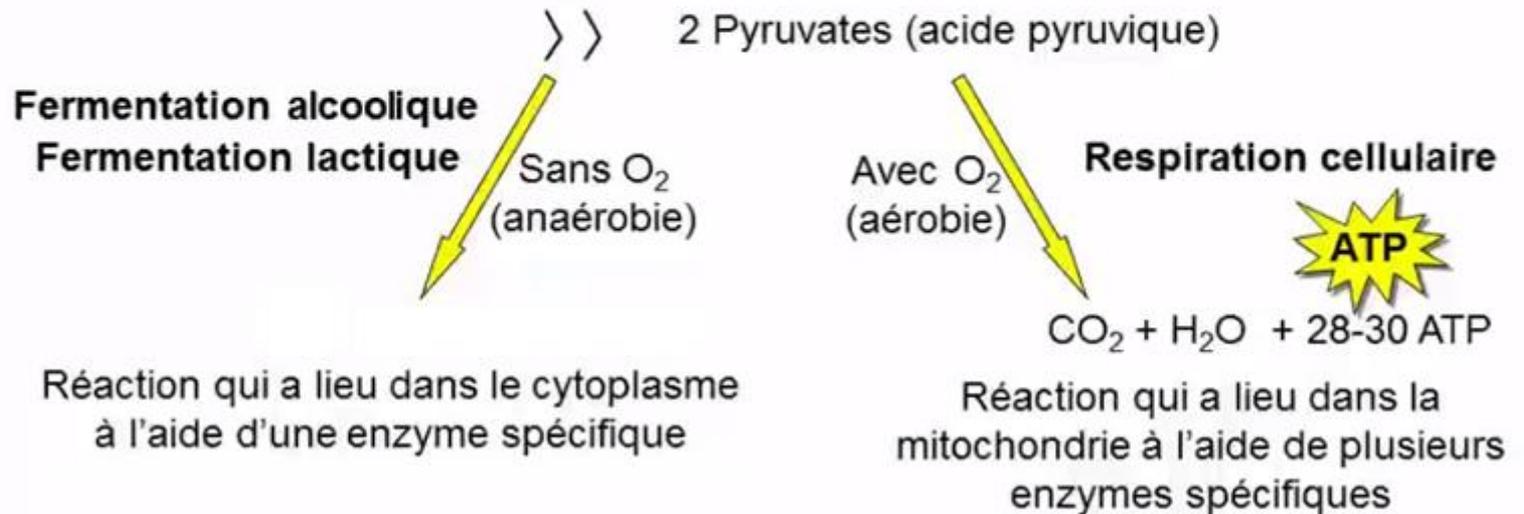
La glycolyse est anaérobie (dans le cytosol)

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

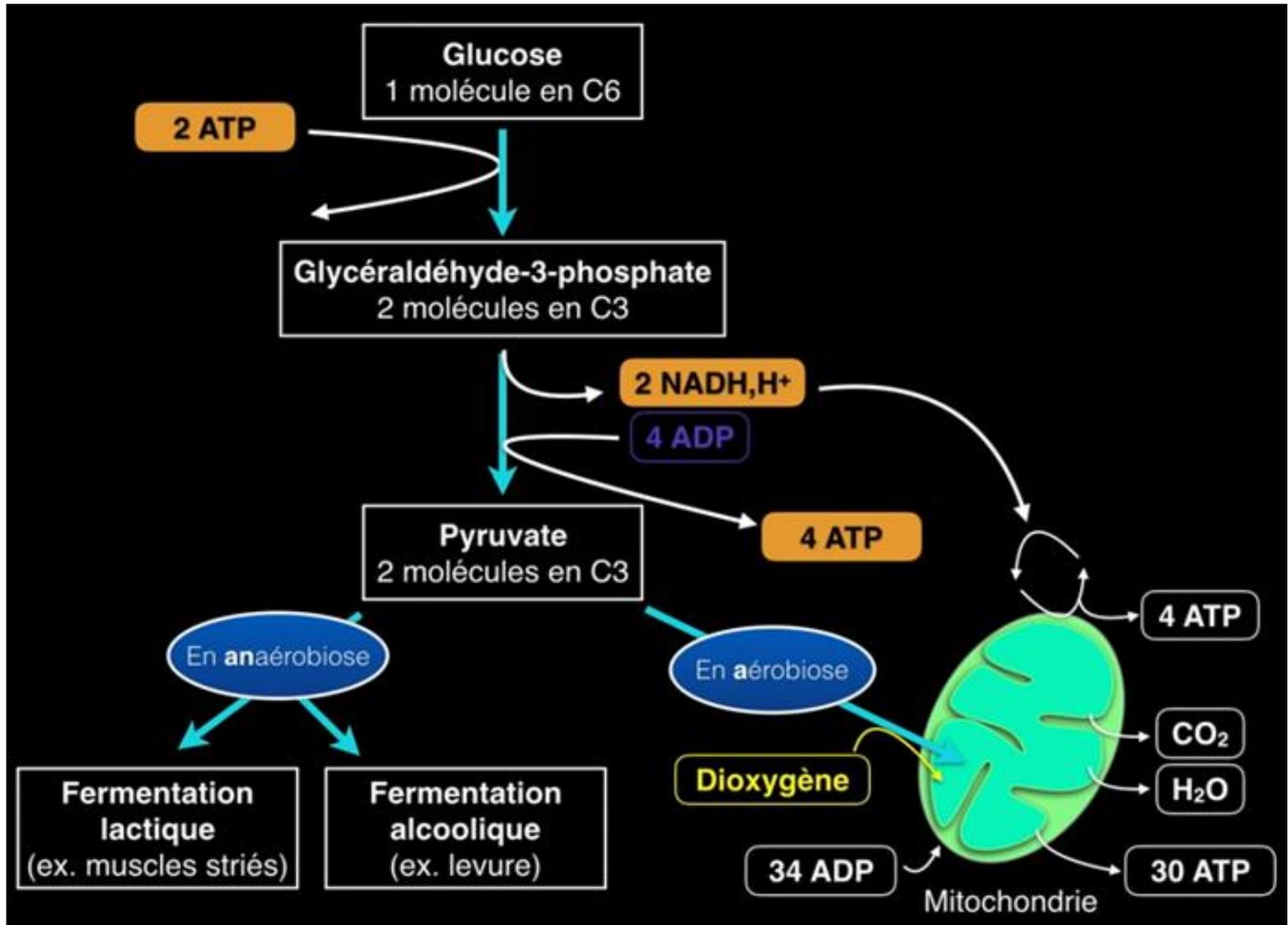
Deuxième étape:

Varie selon la présence ou l'absence d'oxygène (O_2).



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

BILAN ENERGETIQUE DE LA GLYCOLYSE (production d'énergie= ATP)

Glucose (C₆H₁₂O₆) + 2 ADP + 2 Pi + 2 NAD⁺ ---> 2 pyruvate + 2 ATP + 2 NADH + 2 H⁺ + 2 H₂O

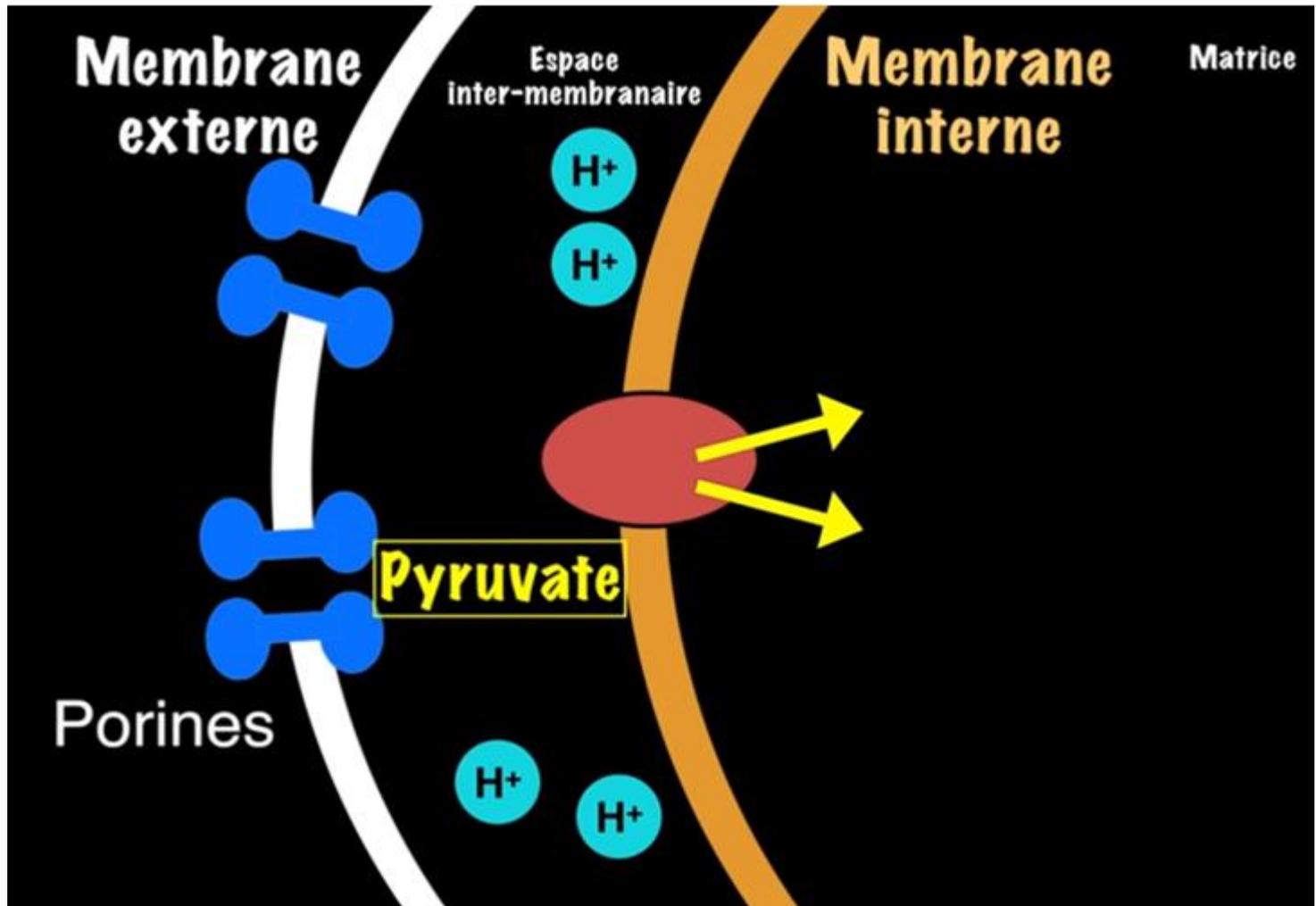
- Jusqu'à la formation des 2 trioses : 2 moles d'ATP consommées par molécule de glucose
- Jusqu'au pyruvate : 4 molécules d'ATP formées par molécule de glucose
- 2 molécules de (NADH + H⁺) formées par molécules de glucose.

Glycolyse (glucose → 2 pyruvate) : 2 ATP + 2 NADH

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

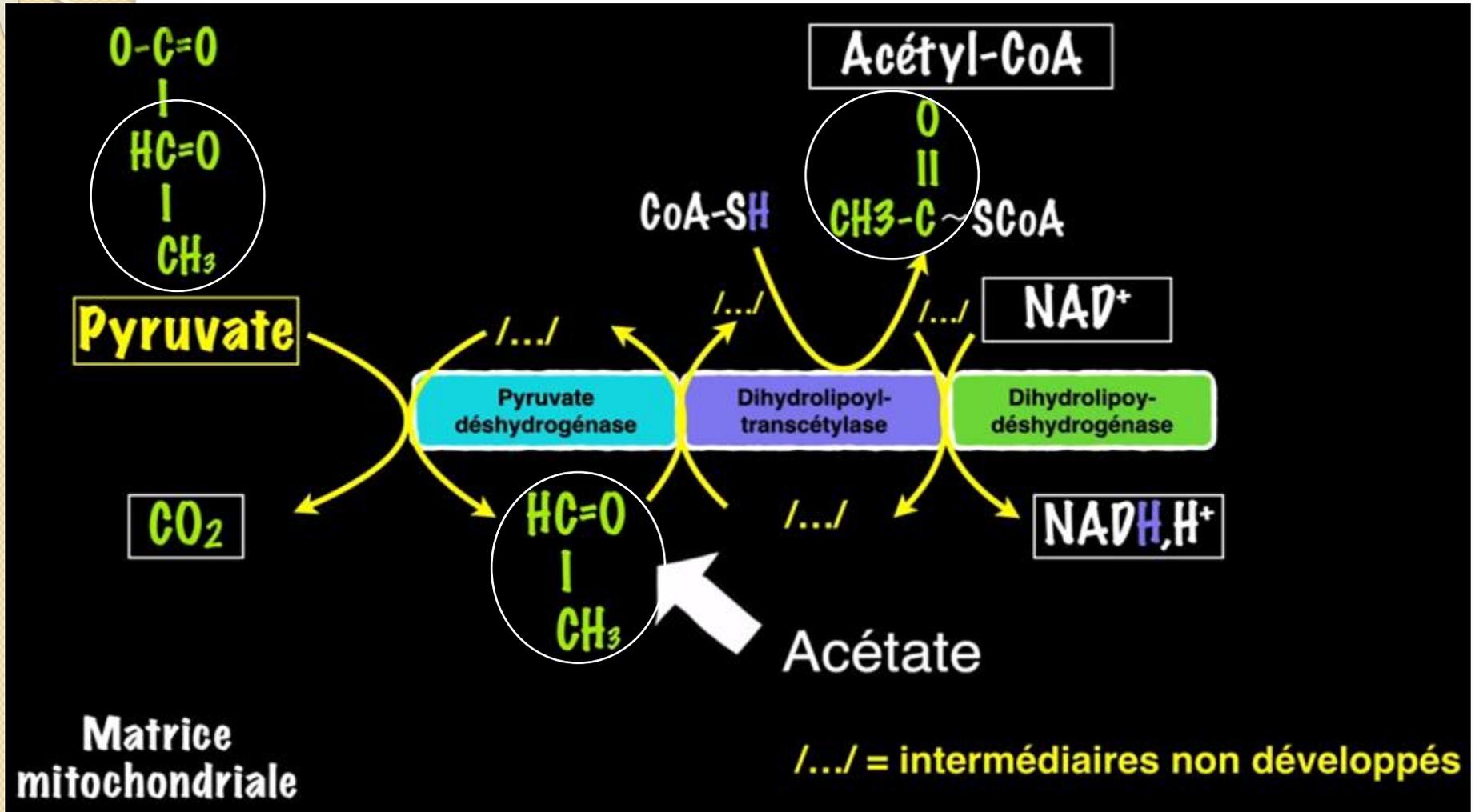
II. CYCLE DE KREBS



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

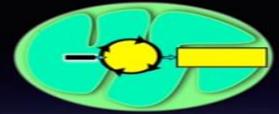
Cycle de Krebs



BIOCHIMIE STRUCTURALE

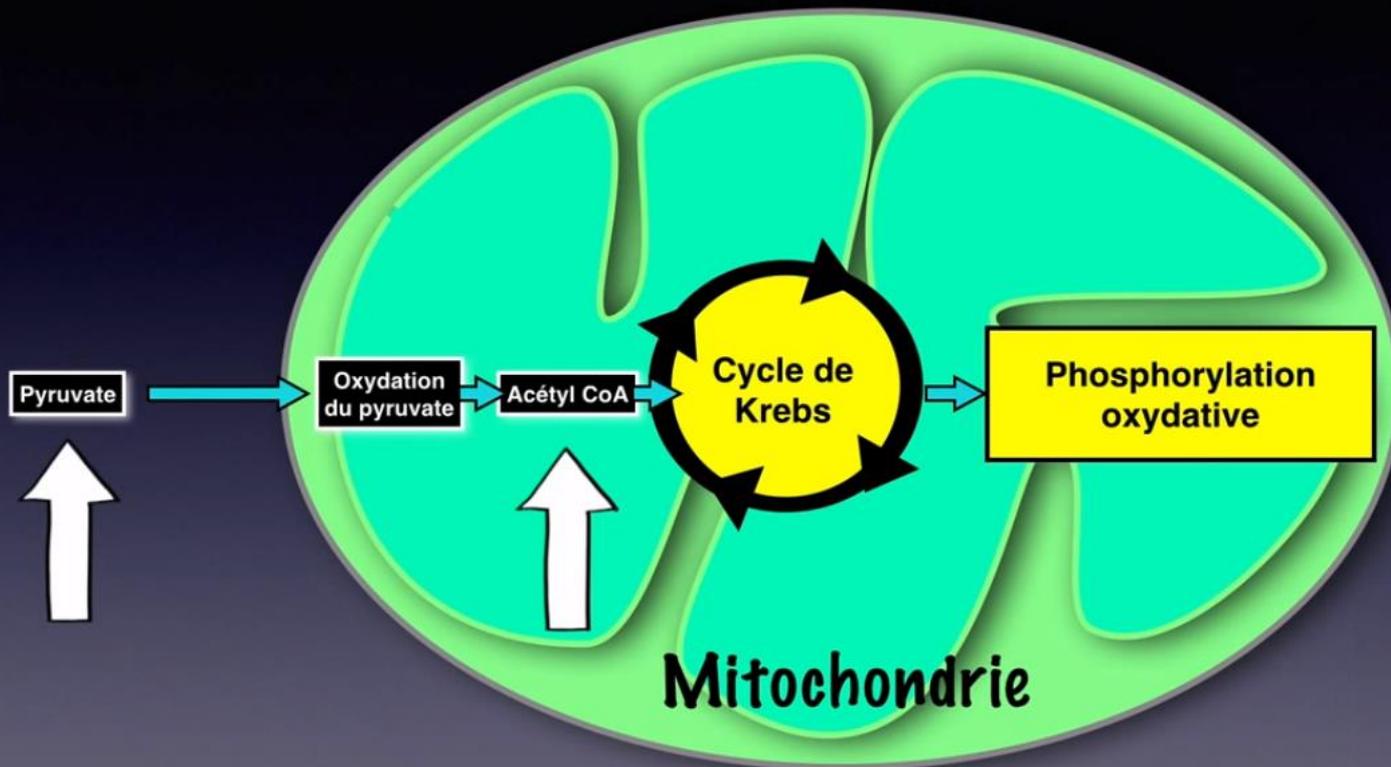
3. Métabolisme des glucides

CYCLE DE KREBS



Hans Adolf Krebs

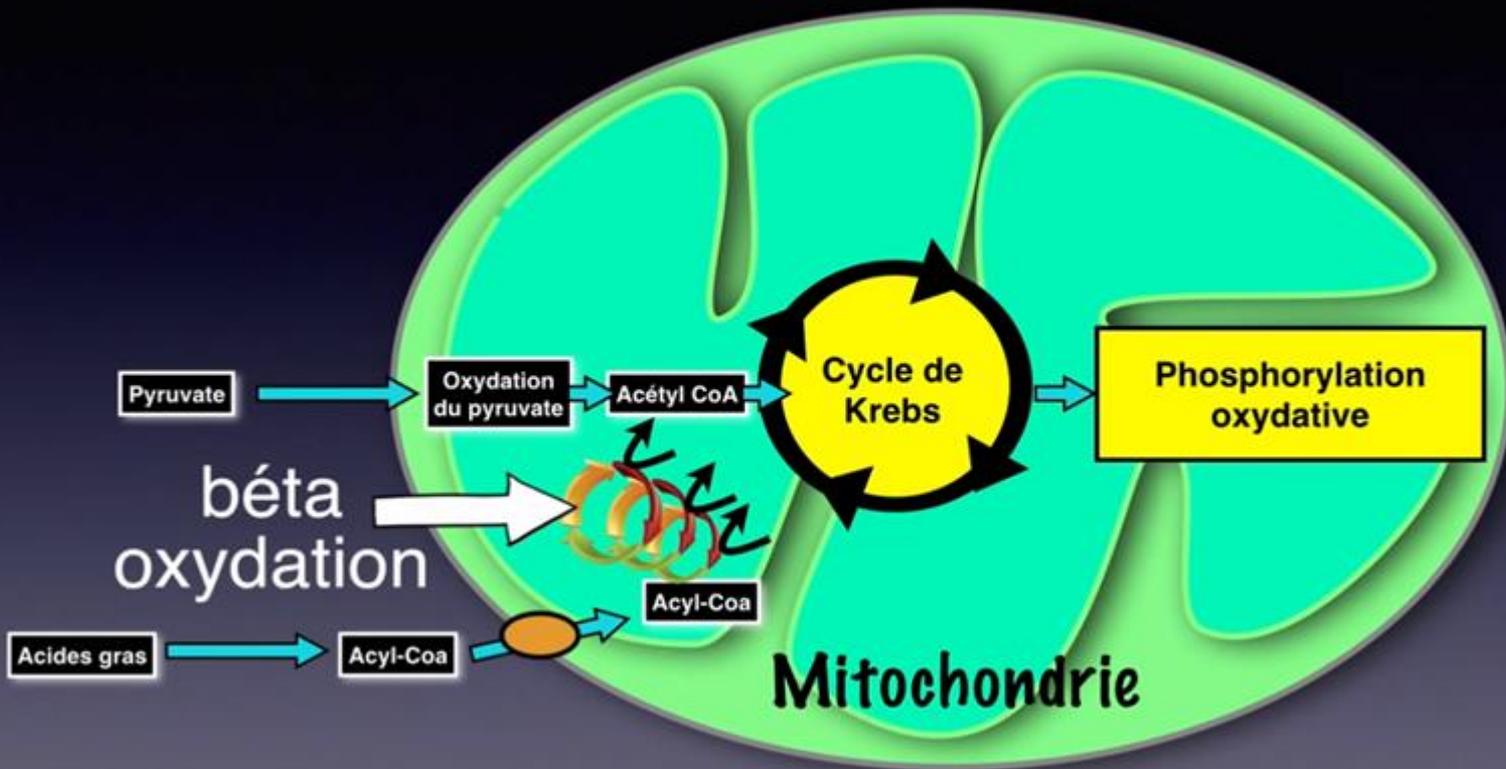
Né Allemagne - 1900
Décédé - 1981



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

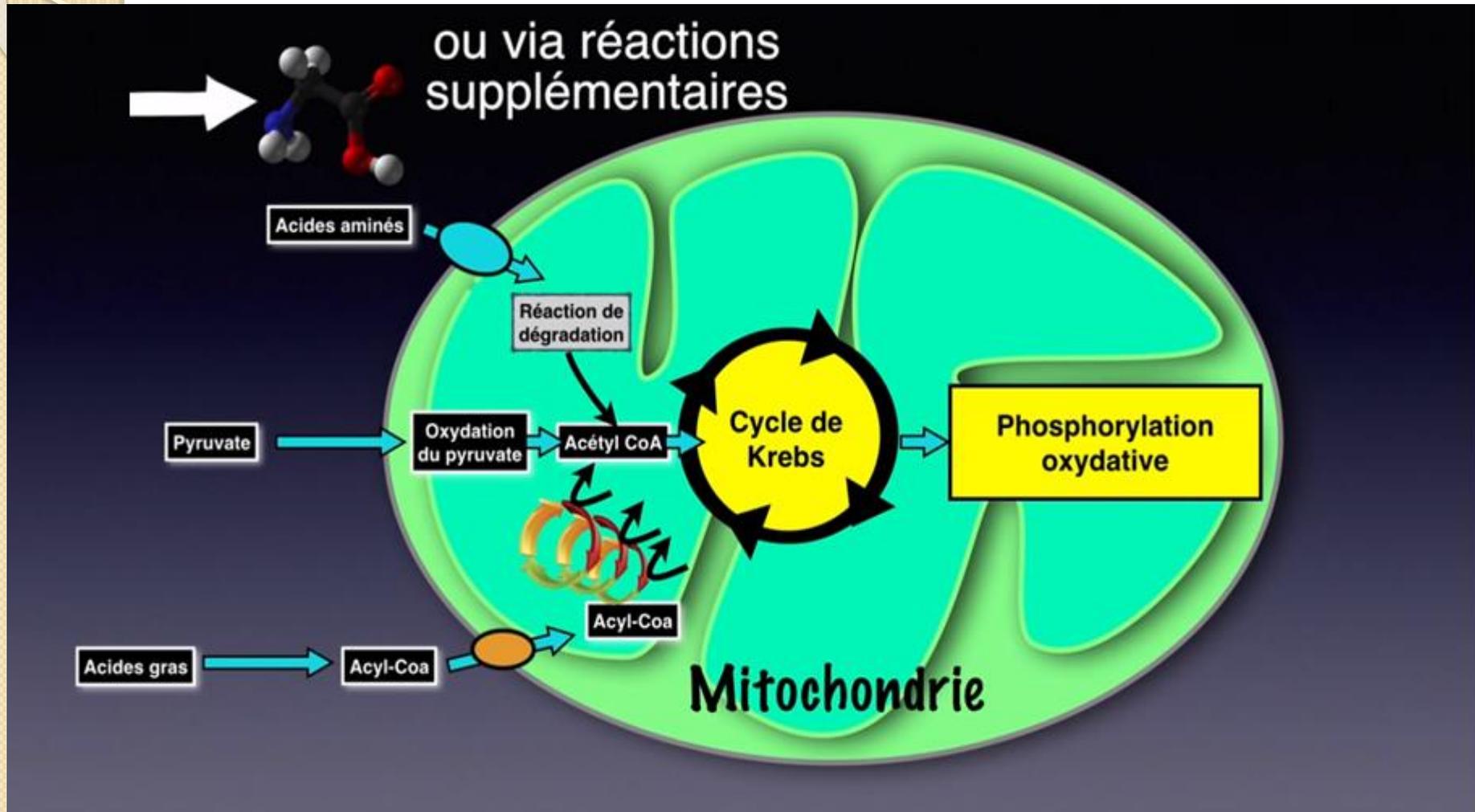
CYCLE DE KREBS



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

CYCLE DE KREBS



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

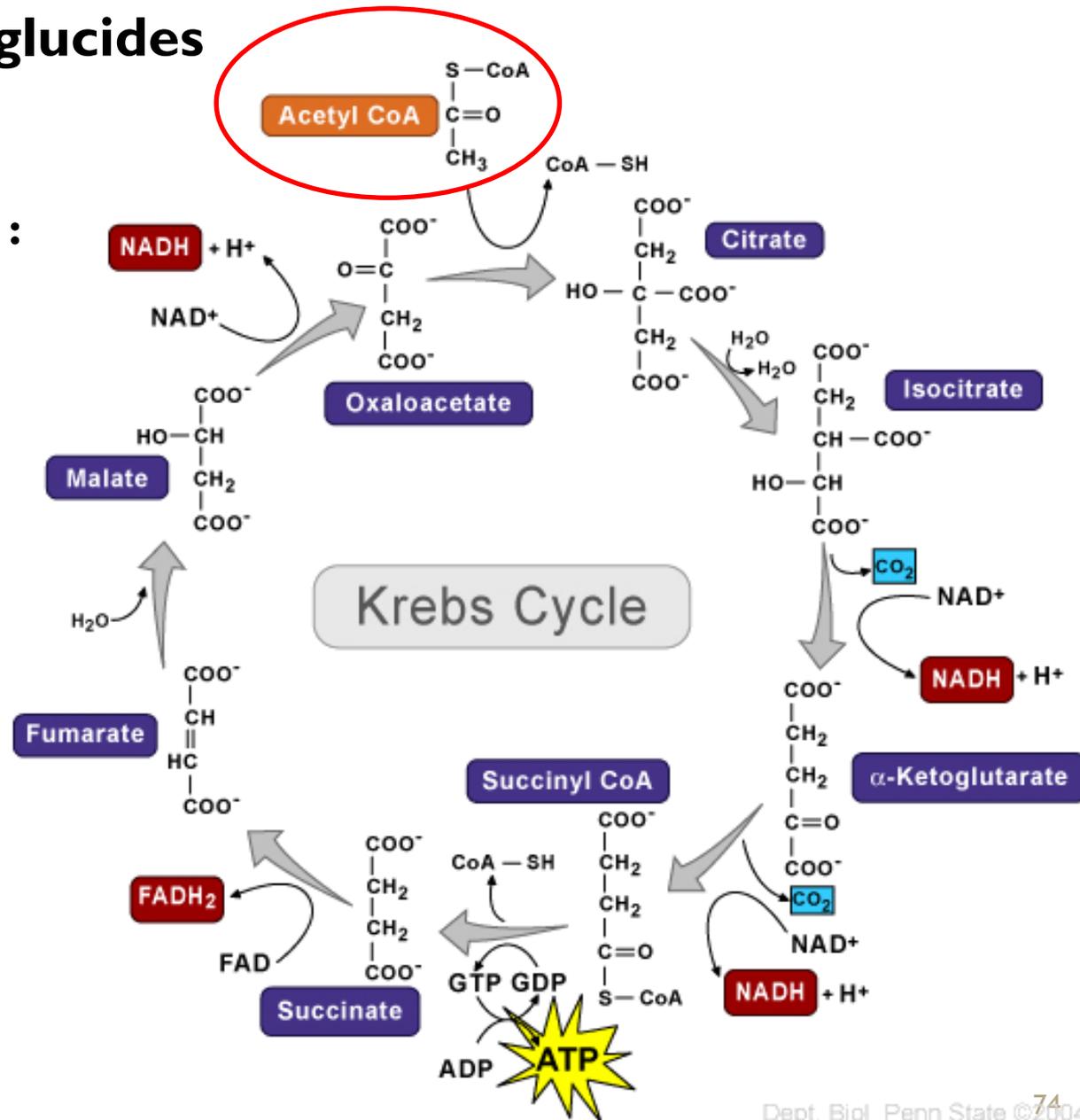
CYCLE DE KREBS

Bilan énergétique :

02 ATP

06 NADH + H⁺

02 FADH₂



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

CYCLE DE KREBS (Oxydation de l'acétyl CoA ou cycle de l'acide citrique)

Voie métabolique présente chez tous les organismes aérobies et dont la fonction première est d'oxyder les groupes acétyle (issus de la dégradation des glucides, des graisses et des protéines) pour en récupérer **l'énergie**

Dans les cellules des organismes aérobies, le pyruvate formé à l'issue de la glycolyse est oxydé en CO_2 et H_2O par une série de réactions enzymatiques au cours desquelles une partie de l'énergie est finalement stockée sous forme d'ATP.

Le pyruvate est d'abord converti en acétyl coenzyme A (acétyl-CoA) à partir du coenzyme A (CoASH).

L'énergie issue des réactions d'oxydation de ce cycle est convertie sous forme de coenzymes réduits qui contiennent une partie de l'énergie initiale du glucose sous forme d'électrons :

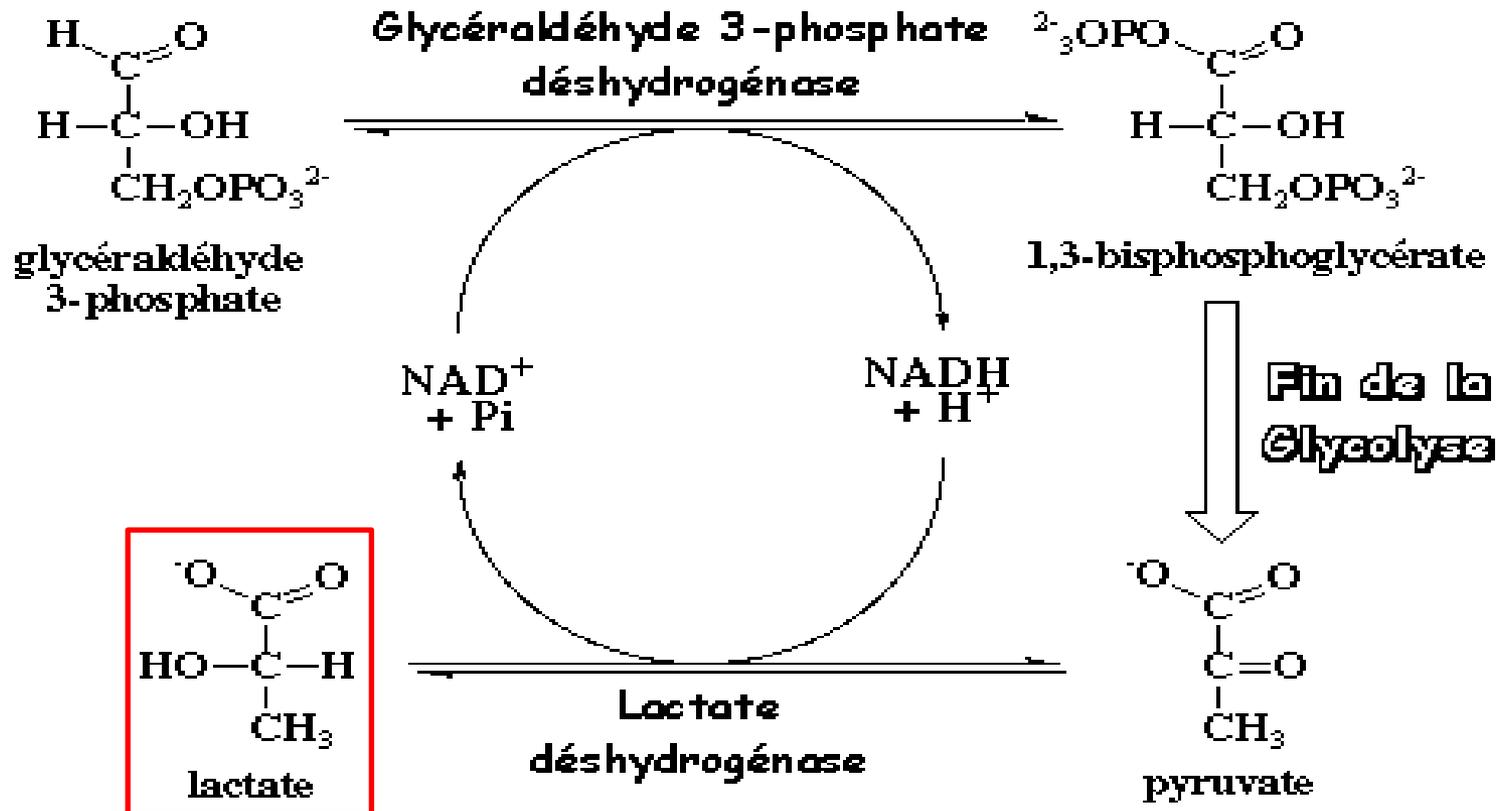
- conversion du coenzyme NAD^+ en $[\text{NADH} + \text{H}^+]$
- conversion du coenzyme FAD en FADH_2

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

III. FERMENTATION LACTIQUE :

La plupart des organismes sont dépourvus de pyruvate décarboxylase et donc incapables de transformer le pyruvate en éthanol. Ces organismes réduisent donc le pyruvate en lactate par la lactate déshydrogénase

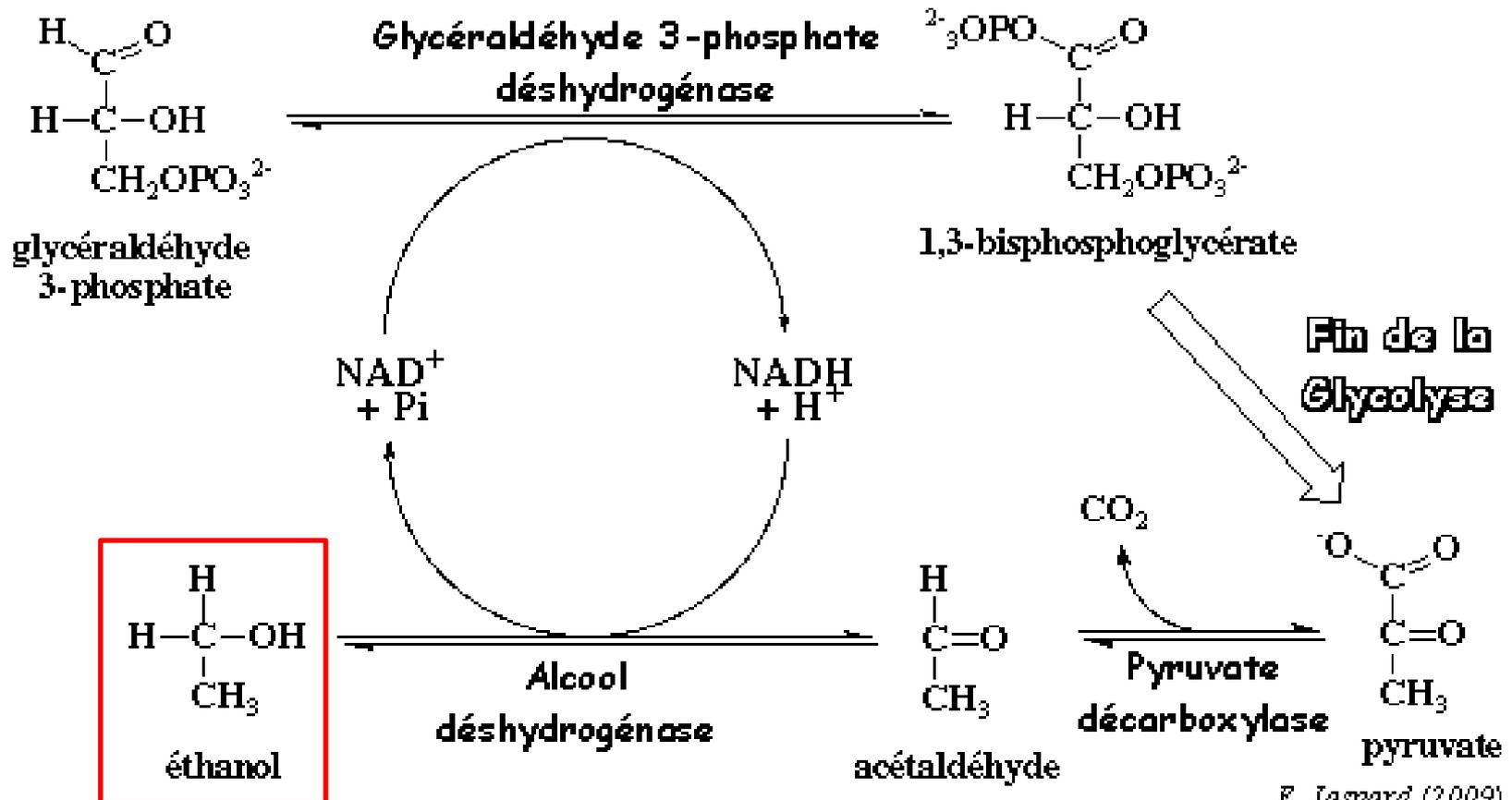


BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

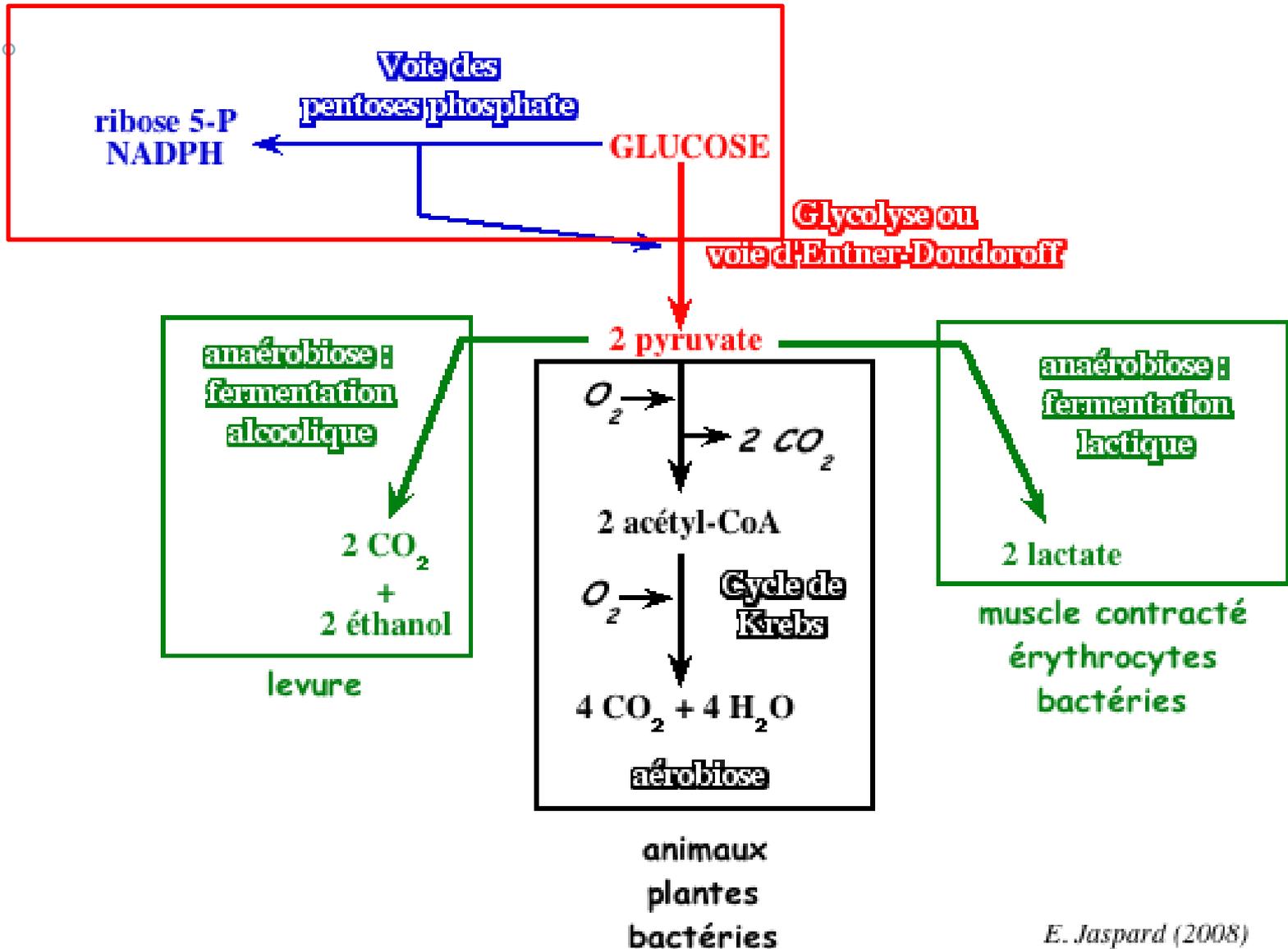
IV. FERMENTATION ALCOOLIQUE :

Au cours de la fermentation alcoolique, le pyruvate est d'abord décarboxylé en acétaldéhyde et CO₂ par la pyruvate décarboxylase



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSES PHOSPHATES : (Dickens et Horecker)

Localisation : Cytoplasme des cellules du foie, du cortex surrénal et des glandes mammaires. Chez les plantes, la plupart dans les plastides

Se distingue de la glycolyse par :

- L'oxydation ne nécessite pas d'ATP
- Essentiellement en aérobiose

L'intérêt de cette voie :

- Elle fournit des pentoses phosphates indispensables à la synthèse des nucléotides (Acide nucléique)
- Permet la formation de NADPH nécessaires à diverses réactions
- Elle peut permettre l'oxydation du glucose en CO₂, avec +++ATP
- Elle permet chez les organismes photosynthétiques (bactéries procaryotes, algues...) la synthèse des glucides à partir du CO₂

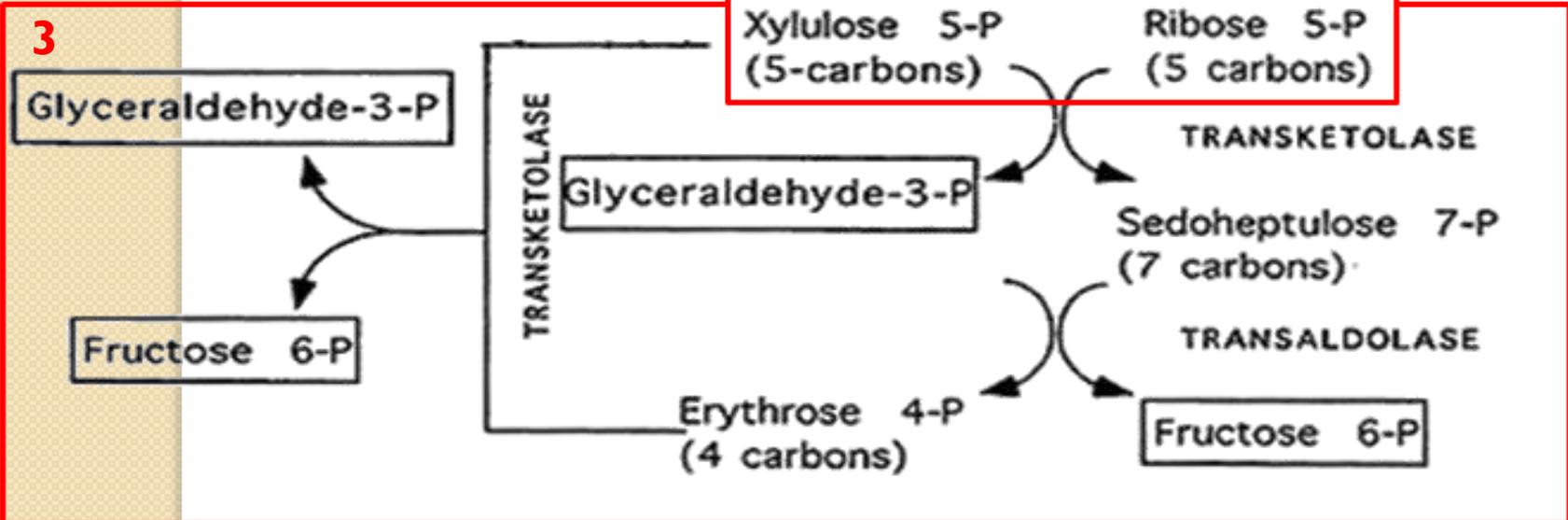
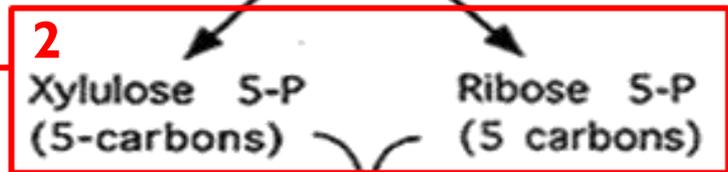
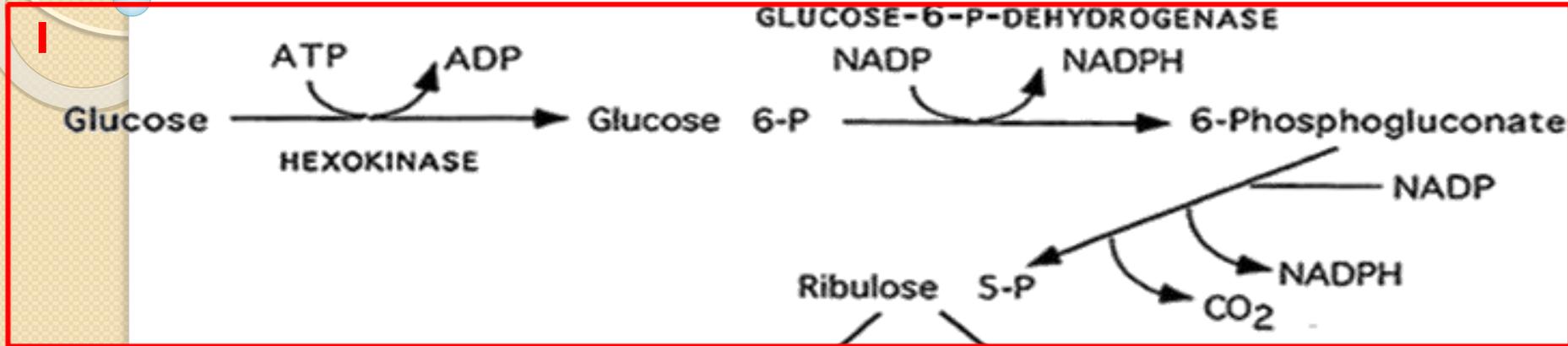
Étapes clés :

- Oxydation du Glucose-6-P en Ribulose-5-P
- Isomérisation du Ribulose-5-P
- Interconversion des pentoses-P

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :

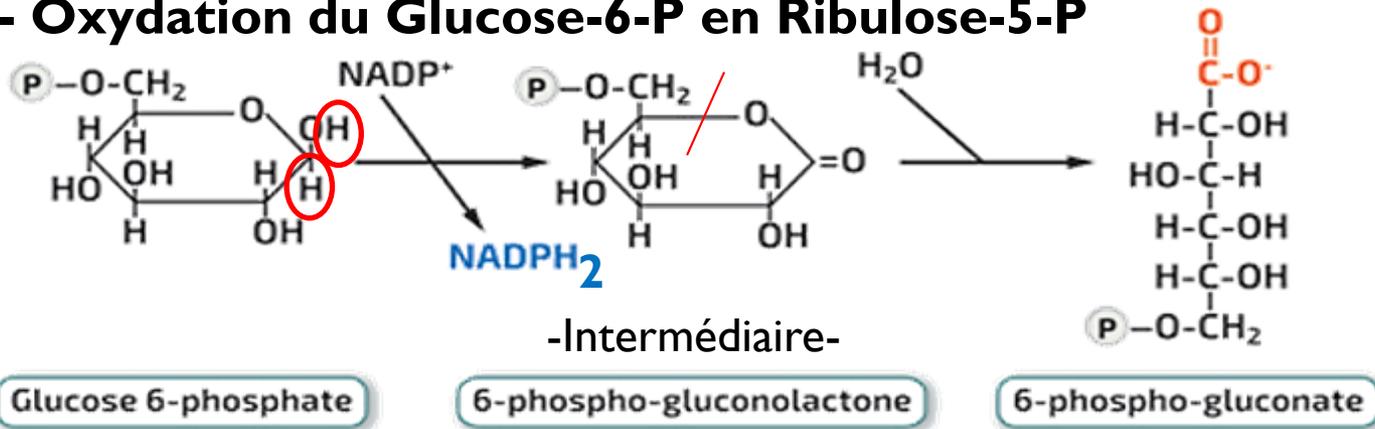


BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

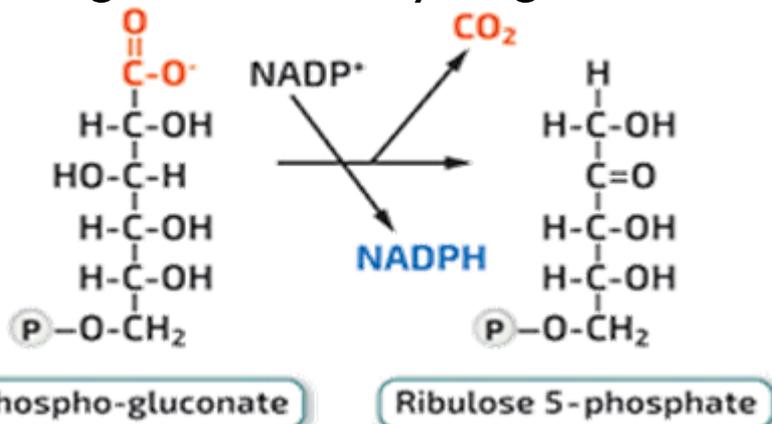
IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :

I- Oxydation du Glucose-6-P en Ribulose-5-P



En 2 réactions d'oxydation :

- Glucose-6-P-déshydrogénase : **G-6-P** → **acide-6-P-gluconique**
- 6-P-gluconate-déshydrogénase : **acide-6-P-gluconique** → **D-ribulose-5-P**



Avec intermédiaire possible :
acide-3-céto-6-P-gluconique
décarboxylé en D-Ribulose-5-P

BIOCHIMIE STRUCTURALE

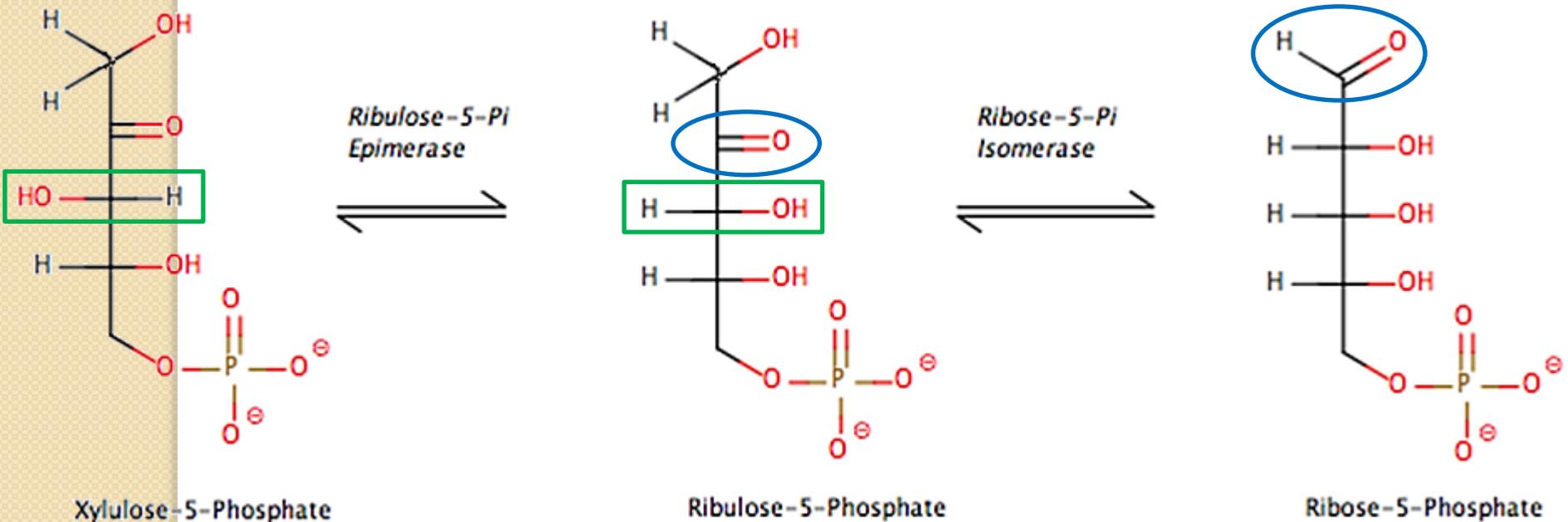
3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSES PHOSPHATES :

II- Isomérisation du Ribulose-5-P

Deux réactions permettant d'avoir deux isomère : **Ribose** et **Xylulose**

Ces deux réactions sont importantes car elles sont la jonction entre la 1^{ère} partie du cycle (oxydation du G6P en Ribulose5P) et la 2^{ème} partie (interconversion des pentoses-P et hexoses-P)



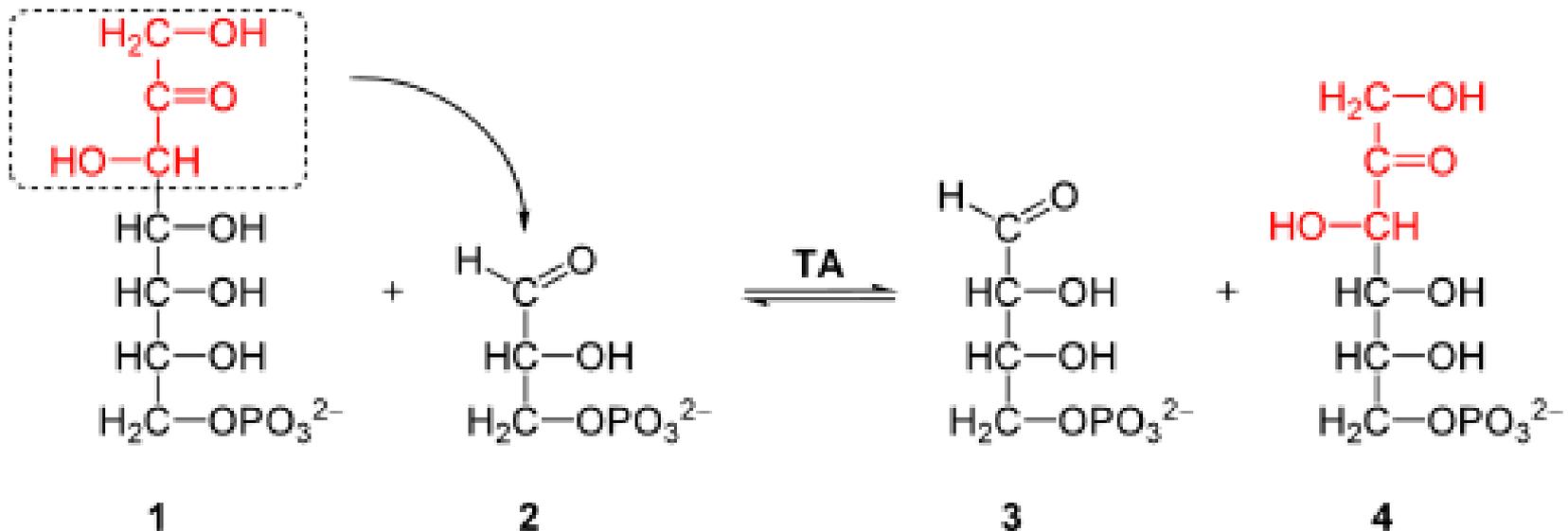
BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :

III- Interconversion des pentoses-P et hexoses-P par transaldolisation et transcétolisation :

Transaldolisation : Transfert d'un gpt à 3C (dihydroxyacétone) d'un donneur (cétose-P) à un accepteur (aldose-P), grâce à une combinaison entre la fonction NH₂ d'une molécule de lysine de l'enzyme et le C=O du gpt dihydroxyacétone.



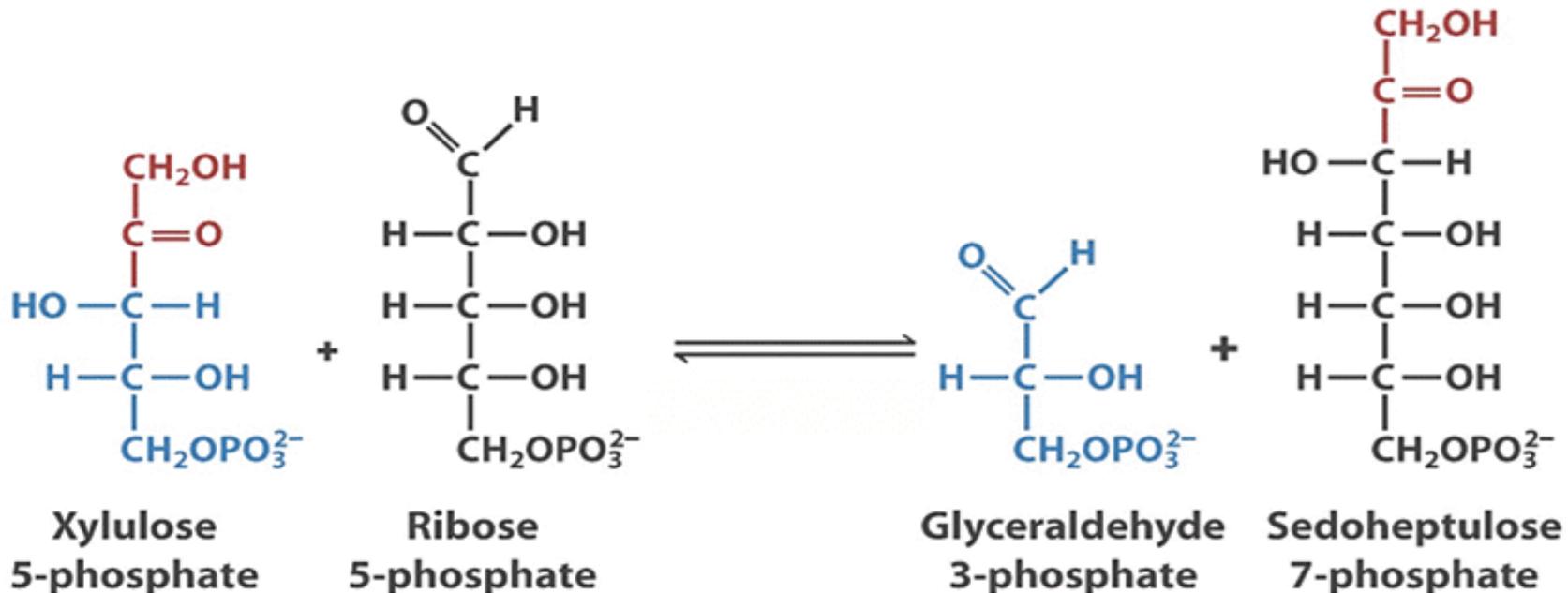
BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :

III- Interconversion des pentoses-P et hexoses-P par transaldolisation et transcétolisation :

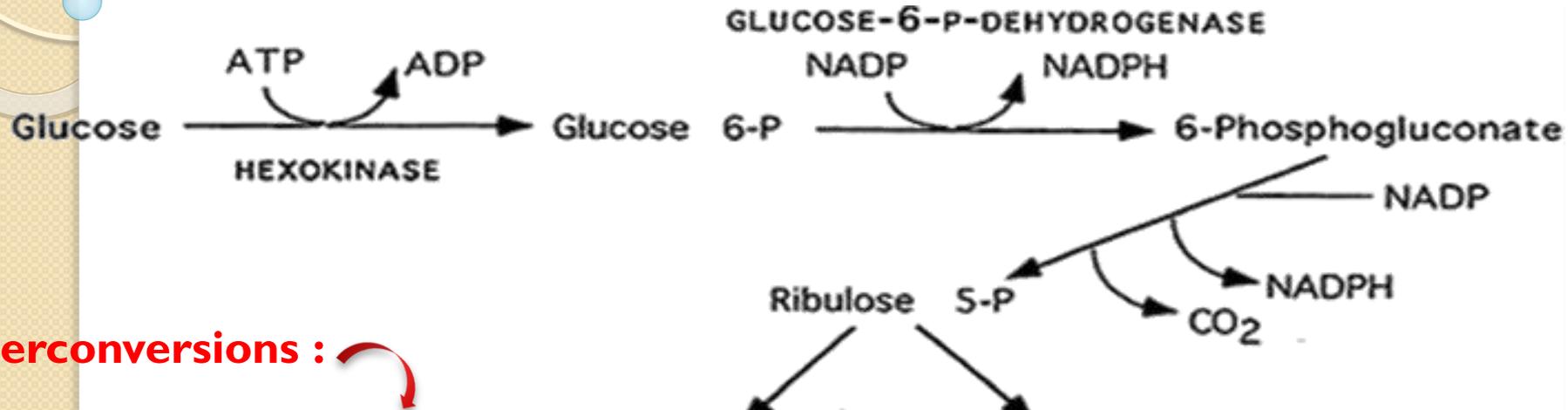
Transcétolisation : Transfert d'un gpt à 2C (glyceraldéhyde) d'un donneur (cétose-P) à un accepteur (aldose-P)



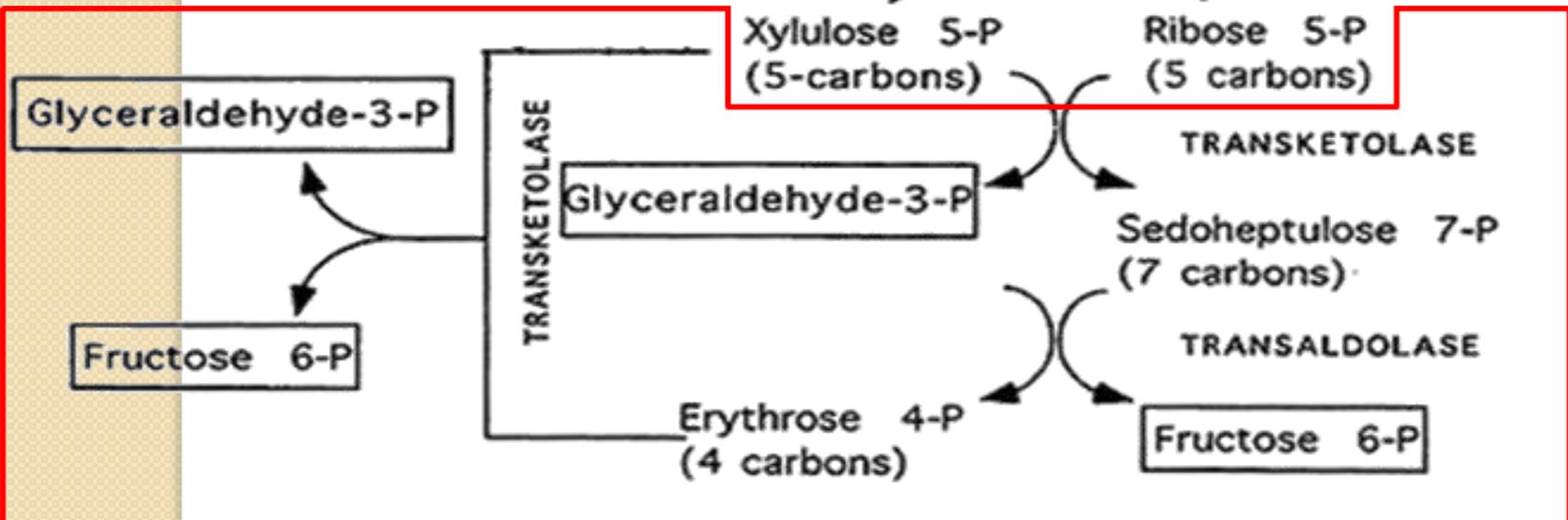
BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :



Interconversions :



BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :

Bilan des réactions :



Partie oxydative (Irréversible) :

Génère 2 NADPH, qui peuvent ensuite être utilisés dans la synthèse des acides gras et du cholestérol et dans le maintien de la réduction du glutathion dans les globules rouges.

Partie non oxydative (Réversible) :

Génère des molécules intermédiaires (ribose-5-phosphate; glycéraldéhyde-3-phosphate; fructose-6-phosphate) pour la synthèse de nucléotides et la glycolyse.

BIOCHIMIE STRUCTURALE

3. Métabolisme des glucides

IV. VOIE DES PENTOSE PHOSPHATES :

But de la voie des pentoses phosphates :

- Fonctionne comme une voie alternative pour l'oxydation du glucose qui ne consomme (et ne produit) pas directement de l'ATP.
- Produit du NADPH pour la synthèse des acides gras.
- NADPH est également utilisé pour réduire le glutathion qui aide à prévenir les dommages oxydatifs aux cellules en réduisant le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2).
- Le glutathion est également utilisé pour transporter les acides aminés à travers les membranes de certaines cellules.
- Lorsque les taux de NADPH sont bas, les réactions oxydatives de la voie peuvent être utilisées pour générer du ribose-5-phosphate pour la biosynthèse de nucléotides.
- Lorsque les taux de NADPH sont élevés, la partie non oxydative réversible de la voie peut être utilisée pour générer du ribose-5-phosphate pour la biosynthèse de nucléotides à partir de fructose-6-phosphate et de glycéraldéhyde-3-phosphate.



Thank you for your attention
&
Get ready for the next Chapter