



# *ONCE UPON A TUT* *PRÉSENTE LA* **BIOCHIMIE**

---

GLYCOLYSE

# INTRODUCTION

## RAPPEL

---

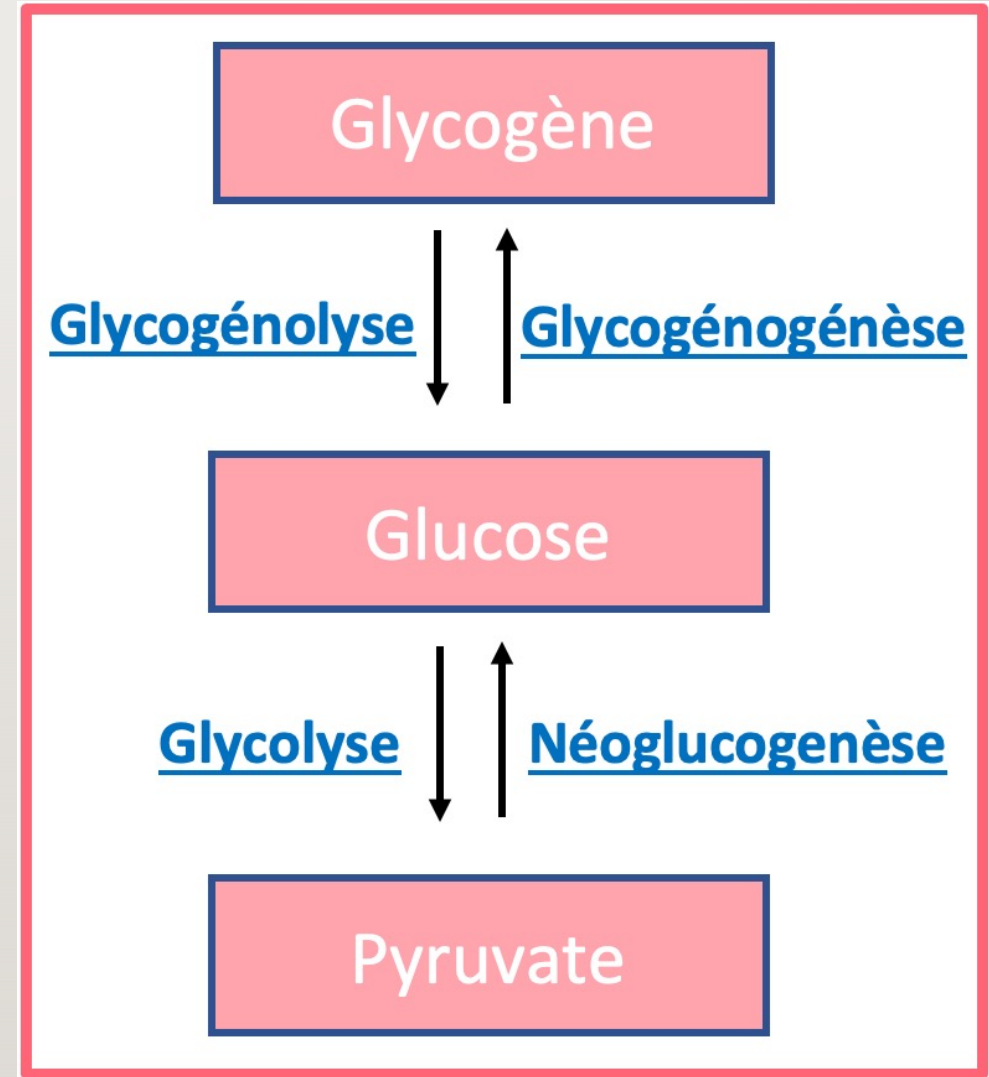
- Deux sources d'apport de glucose :
- **Exogène** (alimentaire) par **digestion** des glucides
- **Interne** via la **dégradation du glycogène** et donc de la mobilisation des réserves du corps
  - Dans ces deux cas, on aura une **libération de molécules de glucose** dans la circulation sanguine, qui seront utilisables par les cellules, et, ainsi, dans la glycolyse

# INTRODUCTION

## PRÉSENTATION

---

- Voie de **dégradation** du **glucose** en deux molécules de **pyruvate**
  - Hexose → deux dérivés à 3 carbones
- **Cytoplasme** de **toutes** les cellules
- But final: **production d'énergie**



# INTRODUCTION PRÉSENTATION

---

- Voie **amphibolique** très **conservée**
  - Catabolisme + anabolisme
- **10** étapes avec enzymes et intermédiaires **différents** à chaque étape
- Une 1<sup>ère</sup> phase de **consommation d'énergie** et une 2<sup>ème</sup> phase de **production d'énergie**
- Voie **oxydative** qui utilise le **NAD<sup>+</sup>** comme co-enzyme

# INTRODUCTION PRÉSENTATION

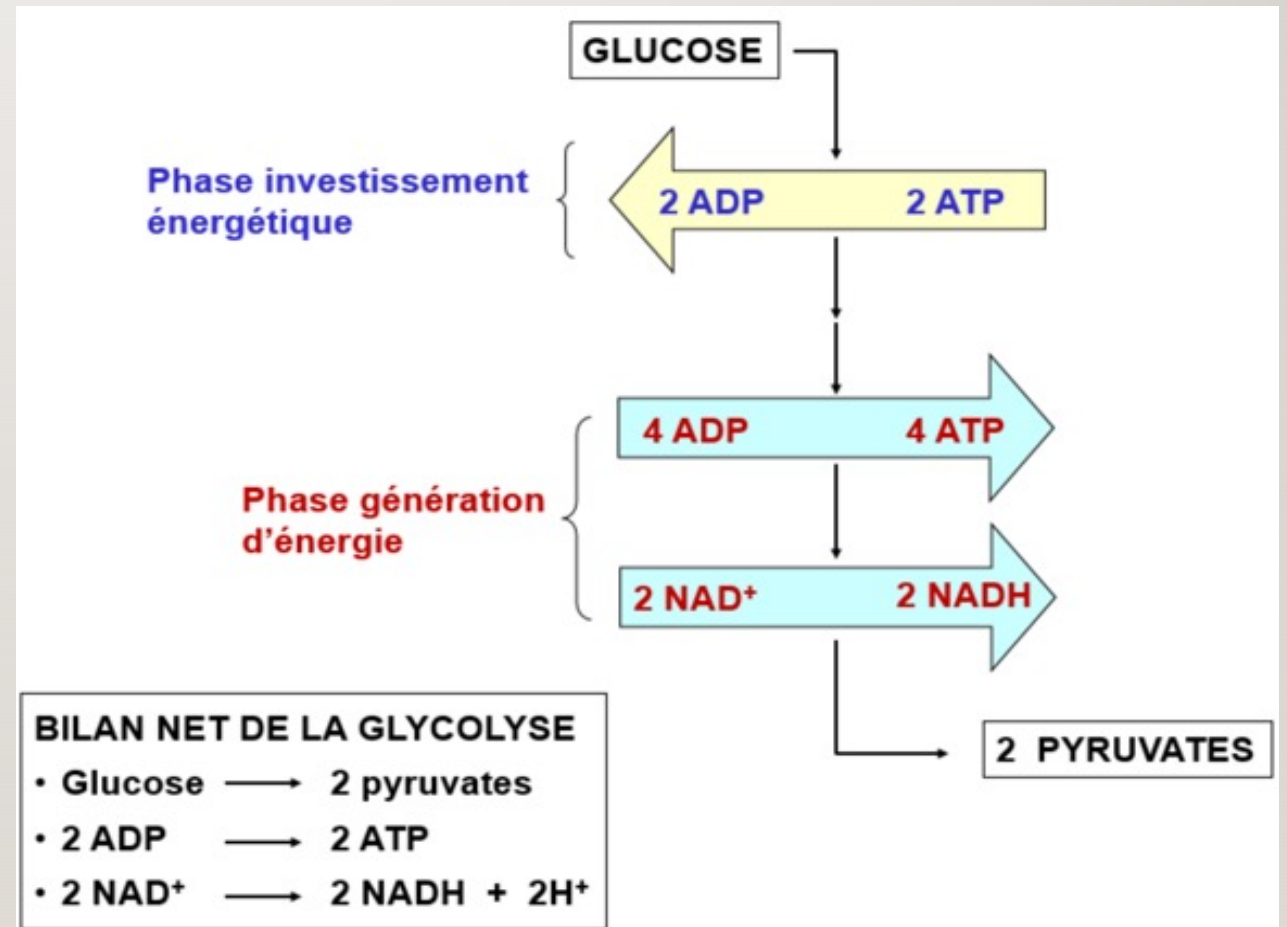
---

- Déroulement:
  - Glucose pénètre dans les cellules via la **circulation** sanguine. Il se fait **phosphoryler** et ne peut plus sortir de la cellule → **glycolyse**
- On a des réactions de transfert de **groupements phosphate** car chaque intermédiaire est **phosphorylé**



# INTRODUCTION PRÉSENTATION

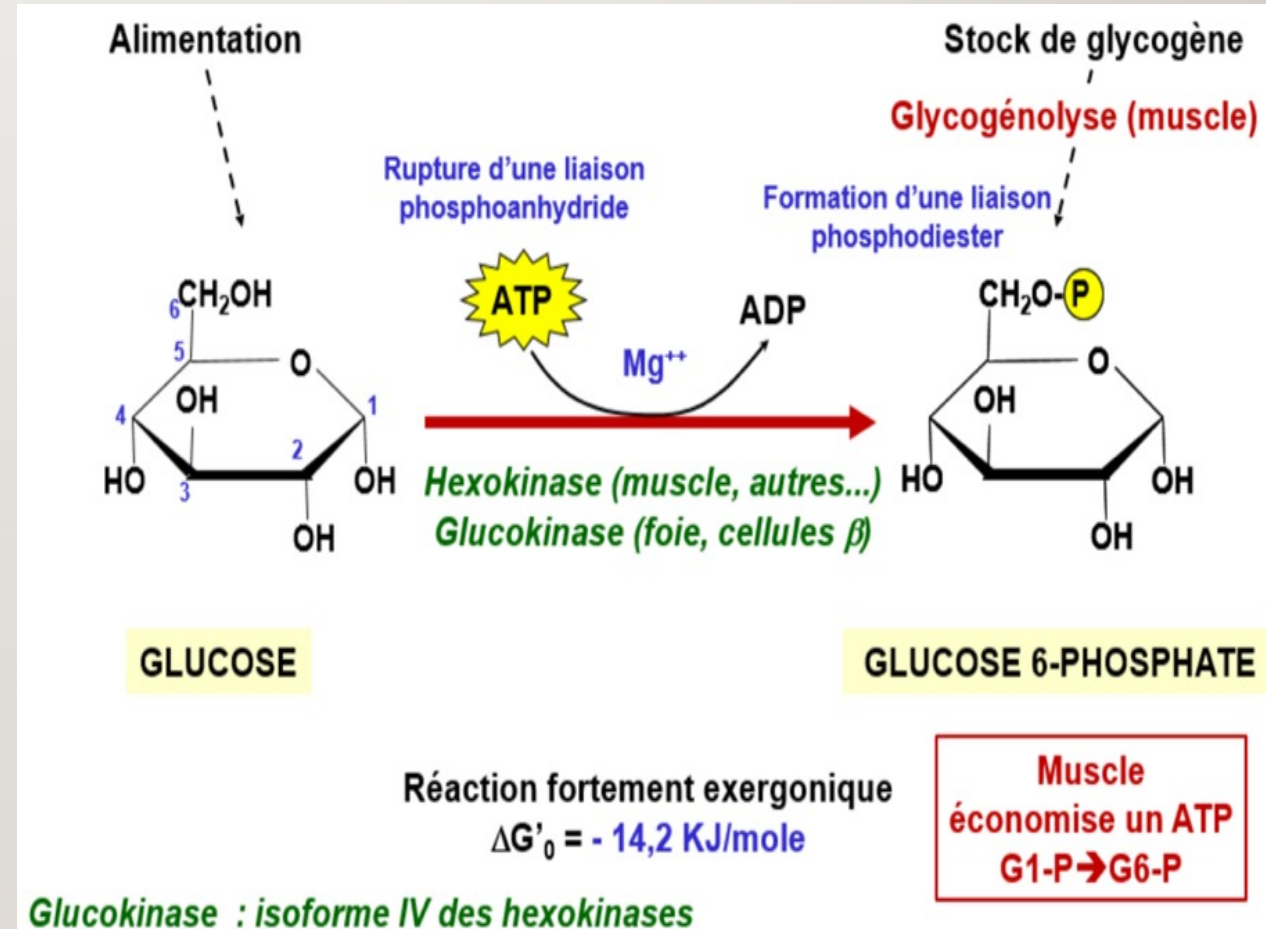
- La glycolyse est permise par le principe de **couplage énergétique**:
  - 1<sup>ère</sup> phase de consommation d'ATP
  - 2<sup>ème</sup> phase de régénération d'énergie  
(avec bilan positif)



# PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

## I<sup>ÈRE</sup> ÉTAPE

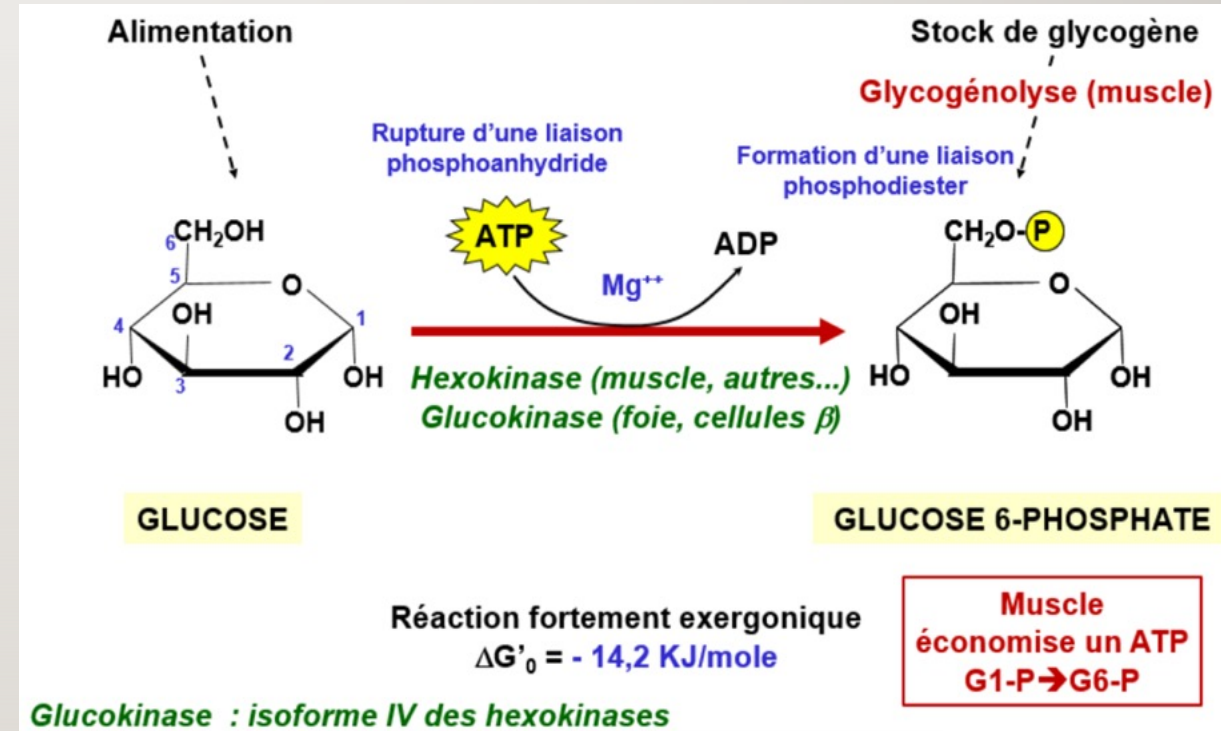
- **Phosphorylation** du **glucose** en **glucose 6-phosphate**
- Enzyme: **hexokinase** ( $Mg^{2+}$  en cofacteur)
- NB: on utilise la **glucokinase** (= **hexokinase IV**) dans le **foie** et le **pancreas**
- **Irréversible**
- Très fortement **exergonique**
- Exemple de **couplage énergétique**



## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### I<sup>ÈRE</sup> ÉTAPE

- **Consommation d'un ATP** par rupture de la liaison **phosphoanhydride** sur l'ATP
- Formation d'une liaison **phosphoester** sur le C6 du glucose → **glucose 6-phosphate**
  - *G 6-P plus réactif que le glucose*



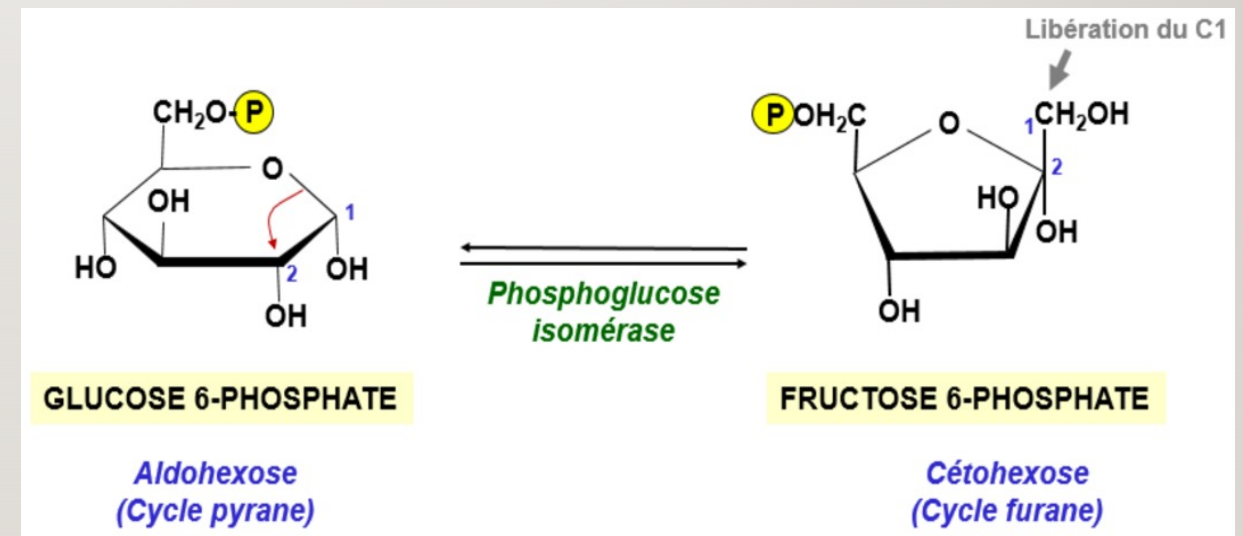


## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### 2<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- **Isomérisation** du **G 6-P** en **F 6-P**
- Enzyme: *phosphoglucose isomerase*
- **Réversible**
- Faiblement **endergonique**
- Passage d'un **aldohexose** (cycle pyrane) à un **cétohexose** (cycle furane)
- Réarrangement du G 6-P libérant le carbone C1

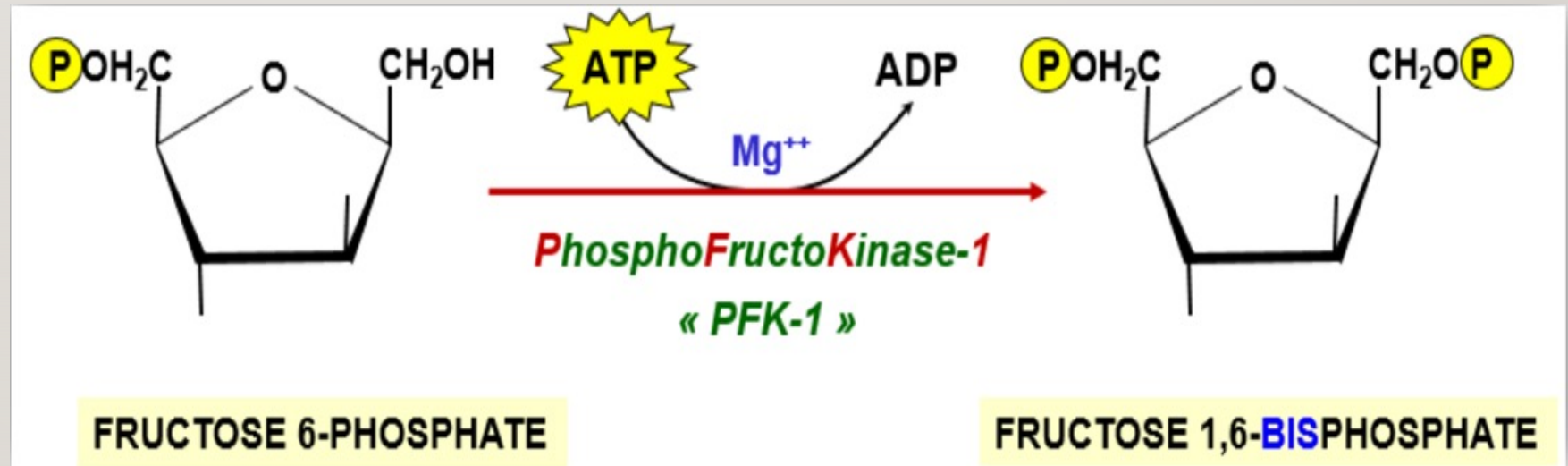


## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### 3<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- **Phosphorylation** du **F 6-P** en **fructose 1,6 bisphosphate**
- Enzyme: phosphofructokinase I (PFK I)  
( $Mg^{2+}$  en cofacteur)
- **Consommation d'un ATP**
- Fortement **exergonique**
- **Irréversible**

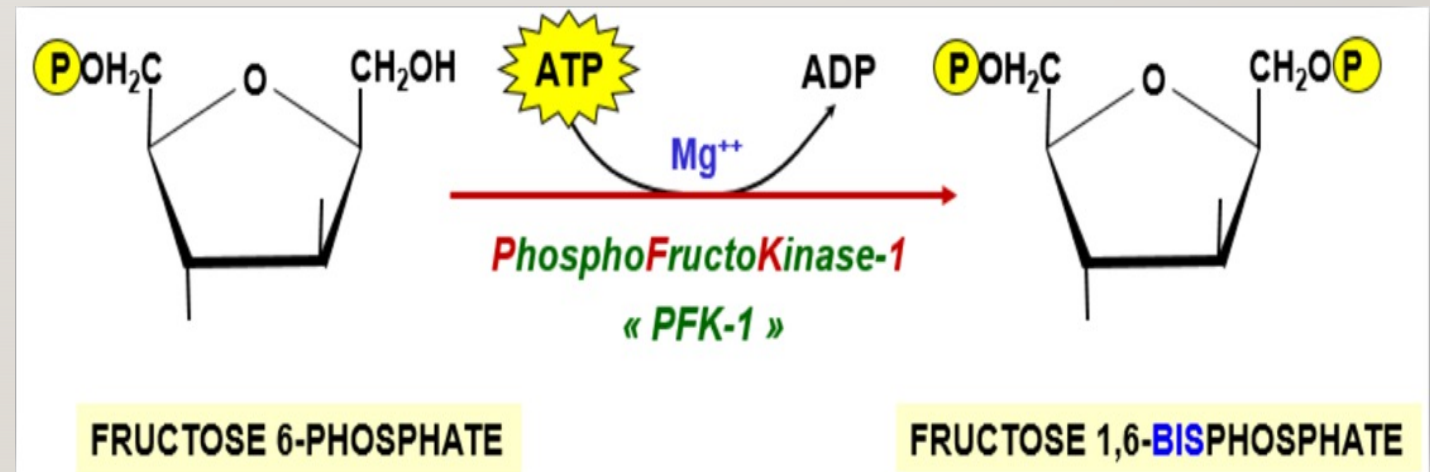


## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### 3<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- La **phosphofructokinase I** est sensible au **niveau énergétique** de la cellule + régule le **flux entrant** de la glycolyse
- Engagement **définitif** du glucose dans la glycolyse car on a une réaction **irréversible**

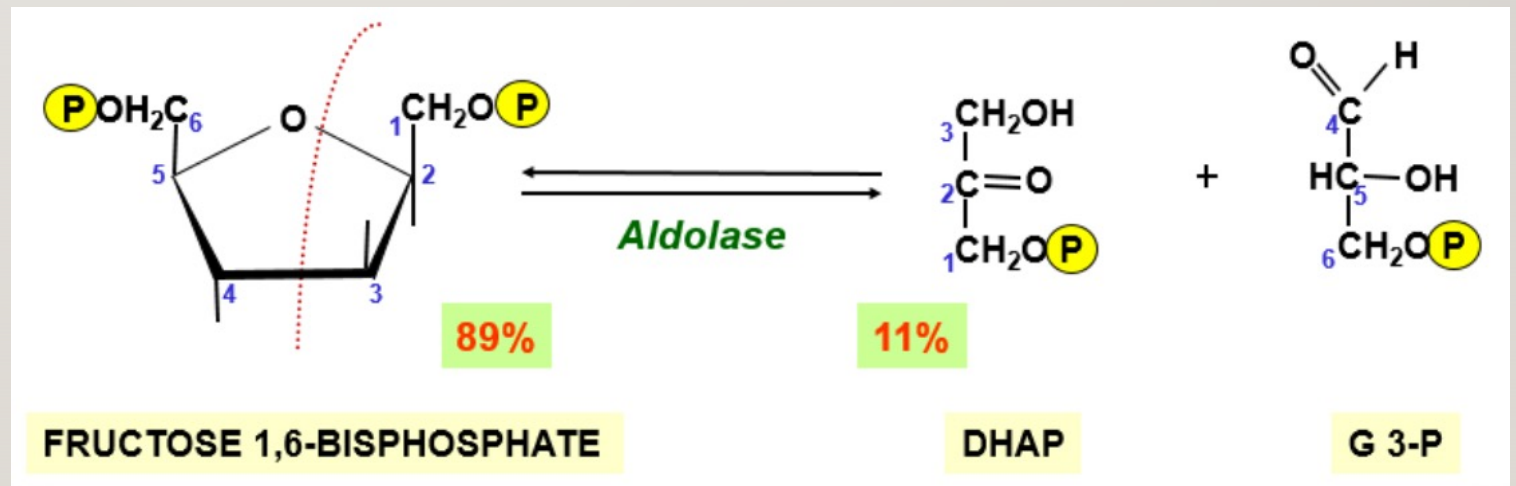


## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### 4<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- **Clivage** du **F 1,6 BisP** au niveau du **pont hémiacétal** pour donner 2 trioses phosphates → **DHAP** (triose à fonction cétone) + **G 3-P** (triose à fonction aldehyde)
- Enzyme: aldolase
- **Réversible**

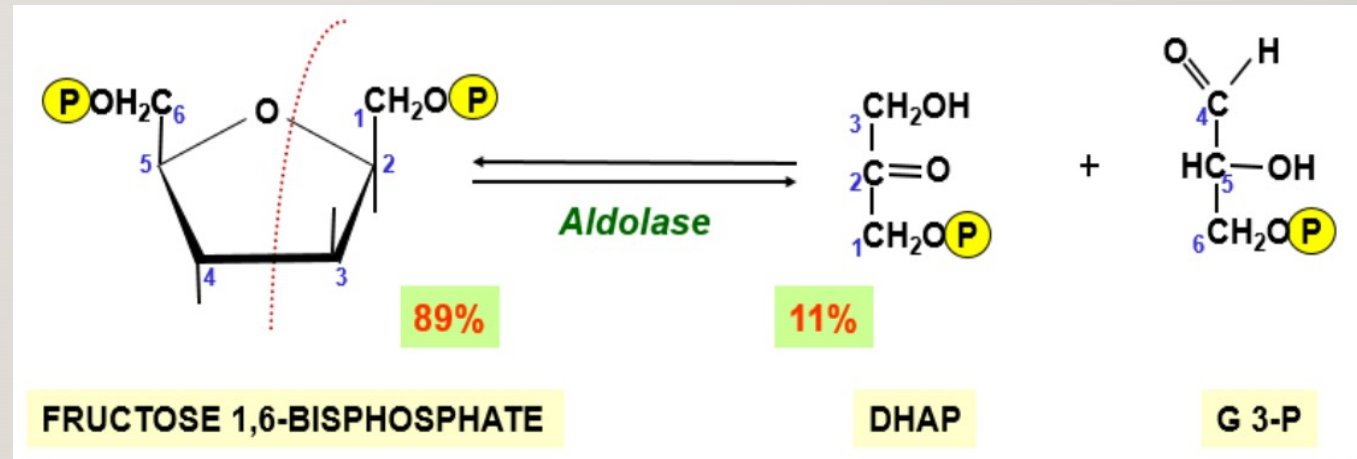


## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### 4<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- Très fortement **endergonique** (possible sans consommation d'ATP grâce au couplage énergétique)
- Cette étape constitue un **frein à la glycolyse** car le pourcentage de produits formé est plus faible que celui de la formation des molécules de départ

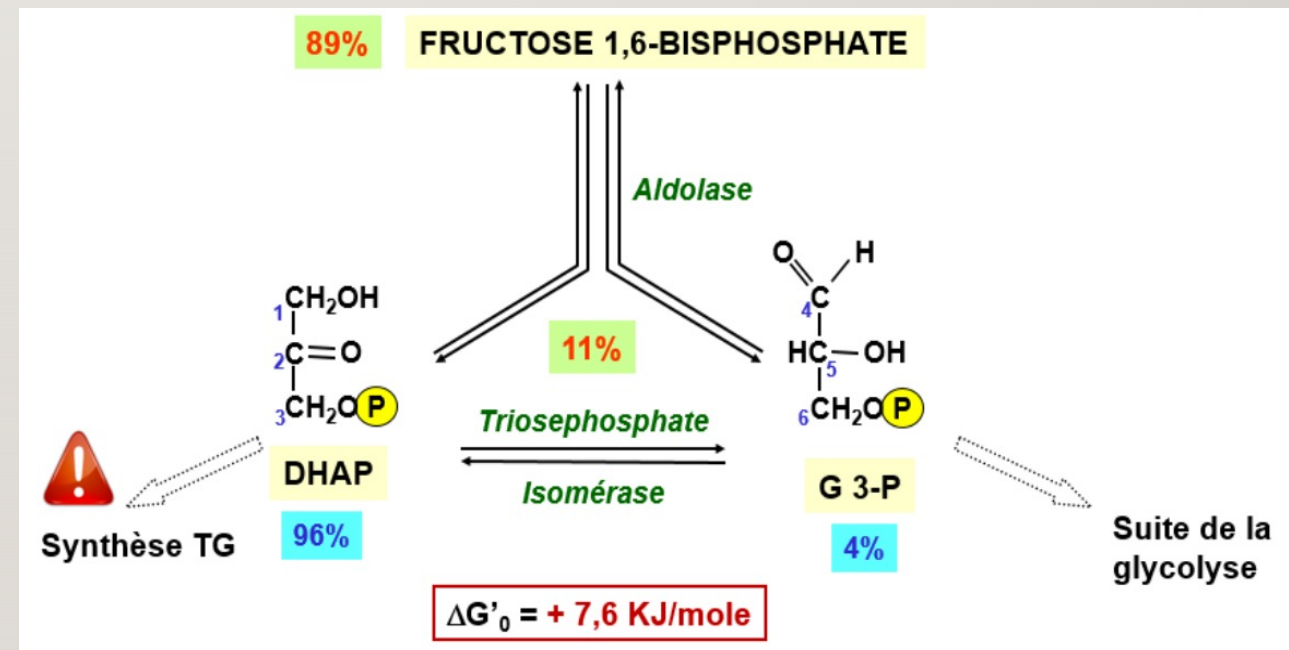




## PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

### 5<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

- **Isomérisation** du **DHAP** en **G 3-P**
- Enzyme: *triose phosphate isomerase*
- Dernière étape de la phase de consommation d'ATP
- Réarrangement du **DHAP** pour donner du **G 3-P** (*seul lui peut continuer la glycolyse*)
- Faiblement **endergonique**
- **Réversible**



# PHASE DE CONSOMMATION D'ATP

## BILAN

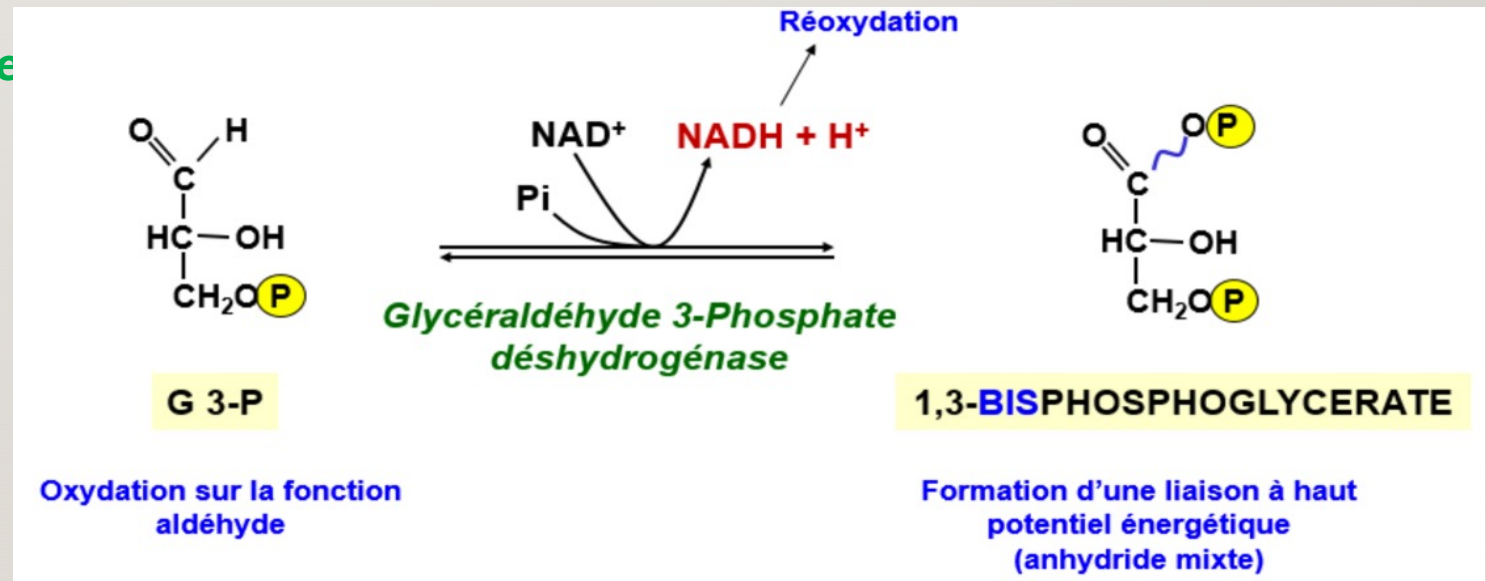
---

- $\Delta G > 0$
- Déficit de 2 ATP
- Réarrangement de la molécule pour emmagasiner de l'énergie

## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 6<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

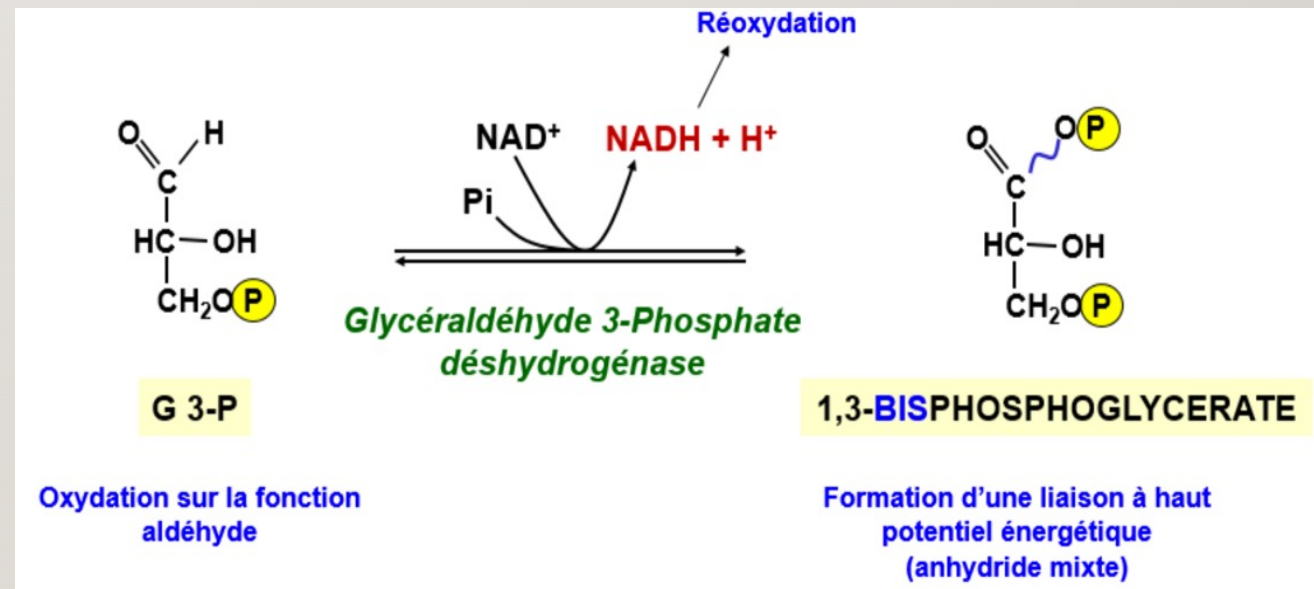
- Remarque: à partir d'ici le bilan est multiplié par 2 car le F 1,6 BisP a été clivé en 2 molécules
- **Oxydation** du **G 3-P** en **1,3 bisphosphoglycérate**
- **Enzyme: glycéraldéhyde 3 phosphate déshydrogénase**
- Faiblement **endergonique**
- **Réversible**



## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 6<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

- **Oxydation** sur la liaison **aldéhyde** → **1,3 bisphosphoglycérate**
- Formation d'une liaison **anhydride mixte** à haut potentiel énergétique
- Pas de consommation d'ATP car le phosphate inorganique vient du **pool cellulaire**
- Pas de production d'ATP mais génération de **NADH+H<sup>+</sup>**

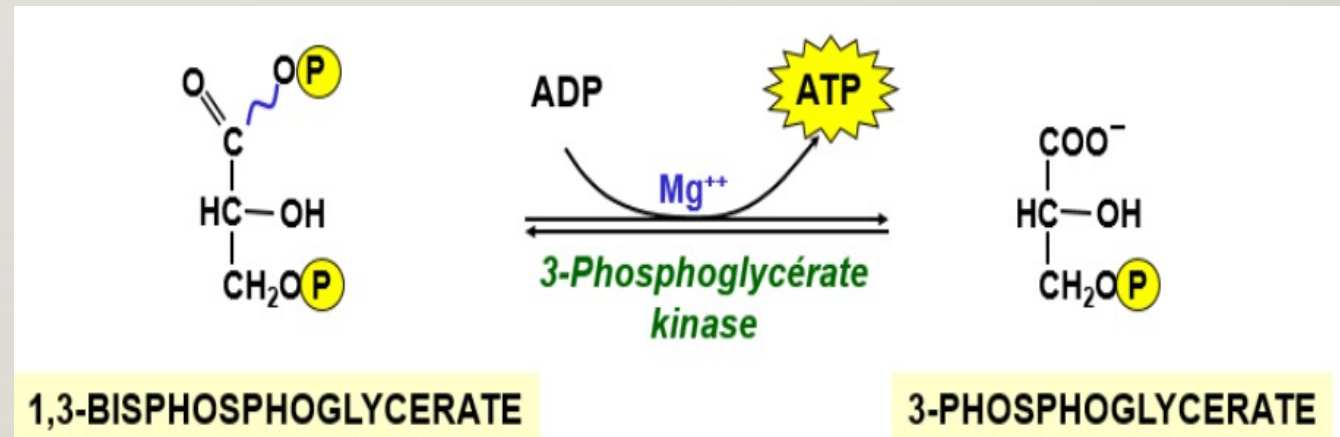


## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 7<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- **Transfert** de phosphate du **1,3 bisphosphoglycérate** sur une molécule d'ATP → **3 phosphoglycérate**
- Enzyme: **3 phosphoglycérate kinase** ( $Mg^{2+}$  en cofacteur)
- Exergonique
- Réversible
- Bilan énergétique revient à 0 ATP

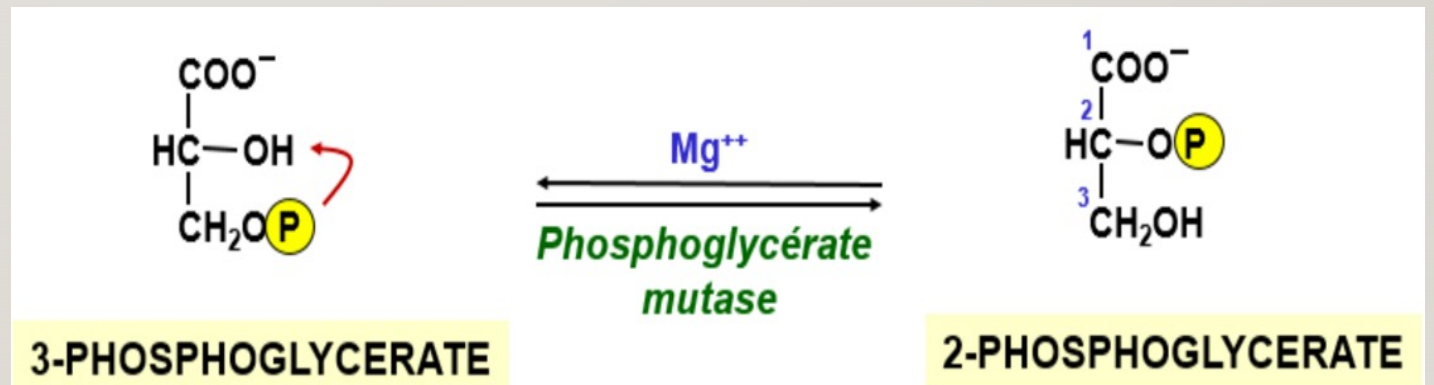




## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 8ÈME ÉTAPE

- **Isomérisation** du 3 phosphoglycérate en 2 phosphoglycérate
- Enzyme: phosphoglycérate mutase ( $Mg^{2+}$  en cofacteur)
- On déplace le phosphate du C3 pour le mettre sur le C2
- Faiblement **endergonique**
- **Réversible**

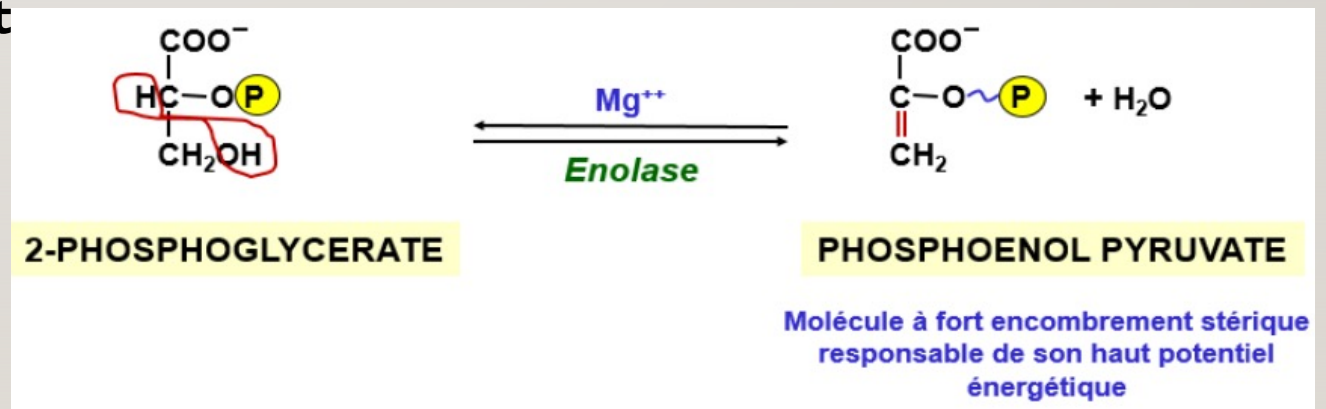


## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 9<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- **Déshydratation** du **2 phosphoglycérate** en **phosphoénol pyruvate**
- Enzyme: énalase
- Réversible
- Faiblement endergonique
- Le PEP est une molécule à **fort encombrement stérique** donc à **haut potentiel énergétique**

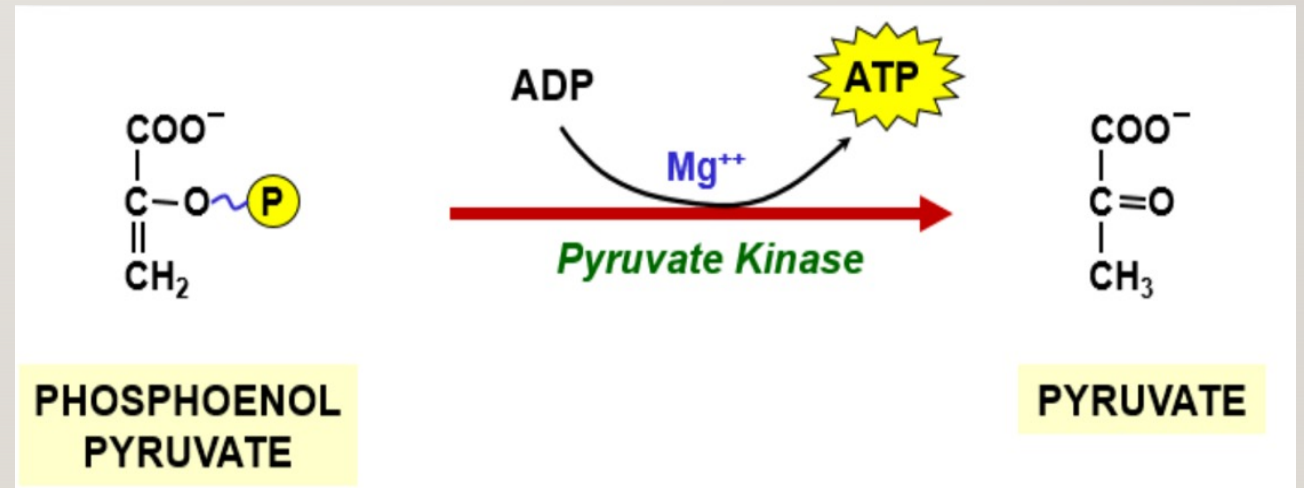


## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 10<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

- **Transfert** d'un groupement phosphate du PEP sur un ADP → pyruvate
- Enzyme: pyruvate kinase
- Fortement exergonique
- Irréversible
- Remarque: on génère 2 ATP donc à partir de cette étape, le bilan de la GL devient favorable

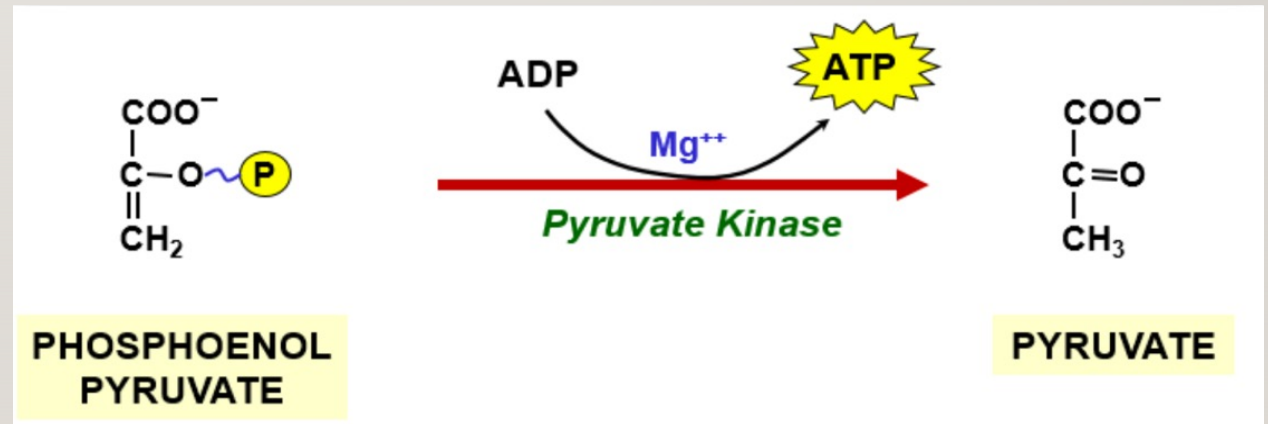


## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP

### 10<sup>ÈME</sup> ÉTAPE

---

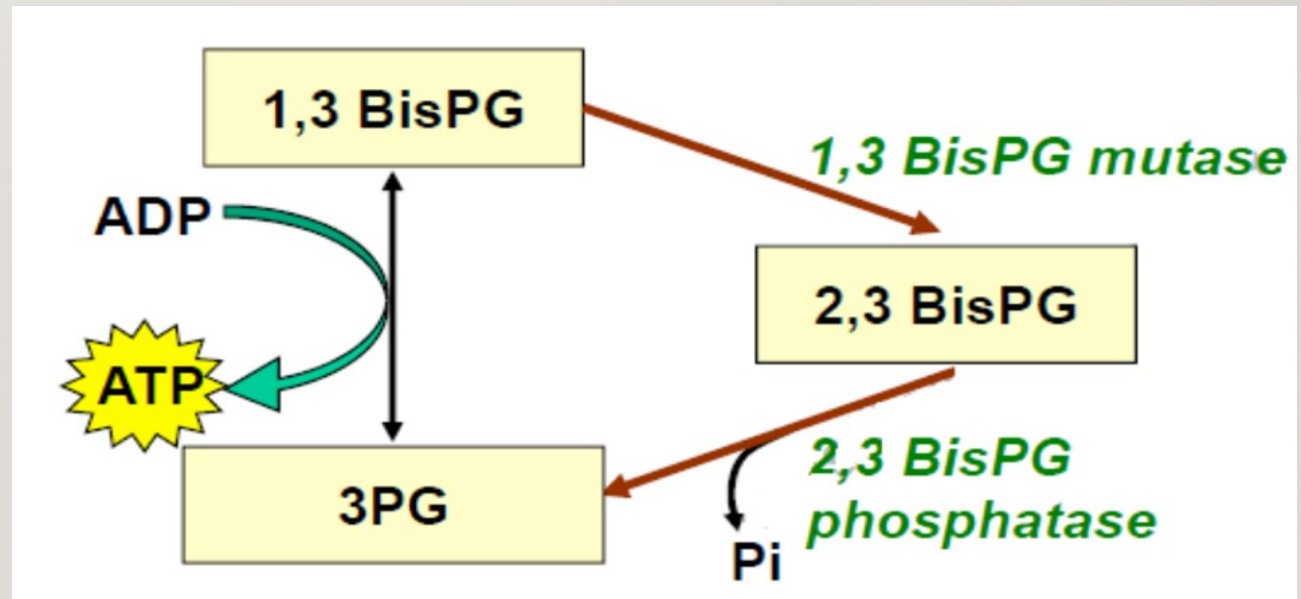
- La **pyruvate kinase** est **sensible** au **niveau énergétique** de la cellule et régule le **flux sortant** de la glycolyse
- *Rappel: la PFK 1 régule le flux entrant de la GL et la pyruvate kinase régule le flux sortant de la GL*



## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP SHUNT DE L'ÉTAPE 7 POUR LES GR

---

- Pour les **globules rouges** (*uniquement*), on va pouvoir **shunter** la production de 3 phosphoglycérate. On va produire du **2,3 bisphosphoglycérate** à partir du 1,3 bisphosphoglycérate par l'utilisation de la **1,3 bisphosphoglycérate mutase**
- Le 2,3 bisphosphoglycérate va pouvoir réintégrer la **glycolyse** via la **2,3 bisphosphoglycérate phosphatase** pour produire du 3-phosphoglycérate par **déphosphorylation**

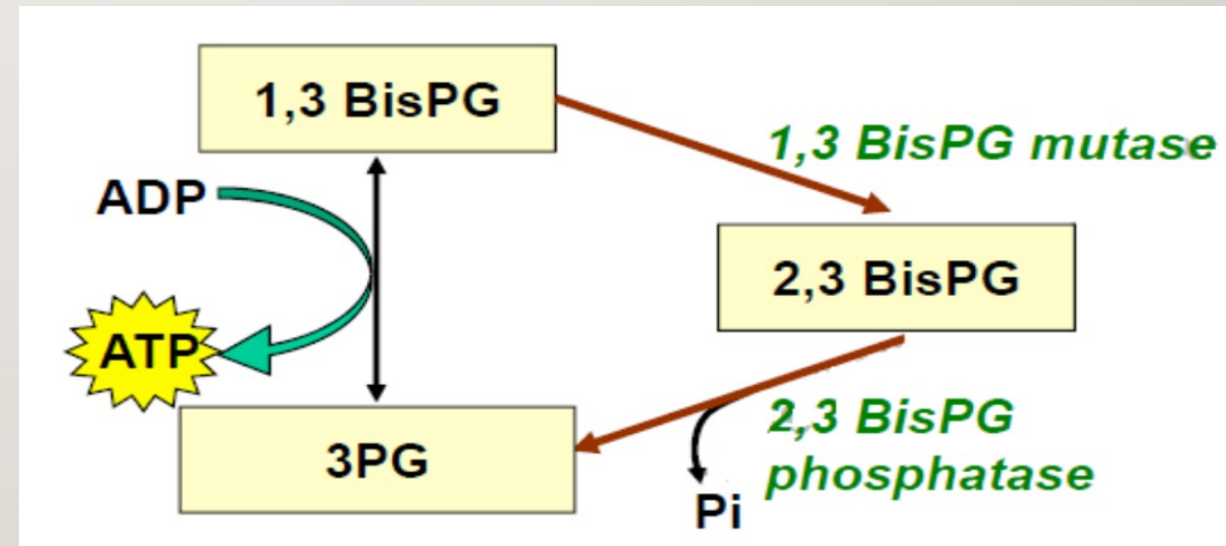




## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP SHUNT DE L'ÉTAPE 7 POUR LES GR

---

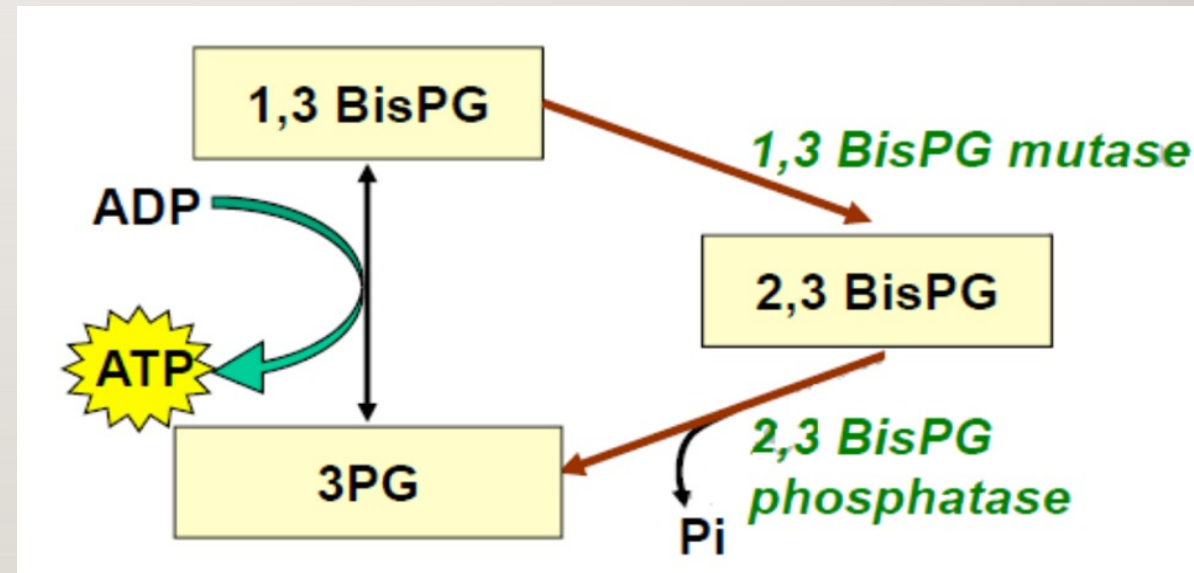
- Ce shunt (pas toujours fait), va induire un **bilan nul de la glycolyse** car la production du 2,3 bisphosphoglycérate **empêche la restitution de 2 ATP** qui se fait normalement à la 7<sup>ème</sup> étape
- Ce shunt n'a lieu **que** dans les érythrocytes = globules rouges



## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP SHUNT DE L'ÉTAPE 7 POUR LES GR

---

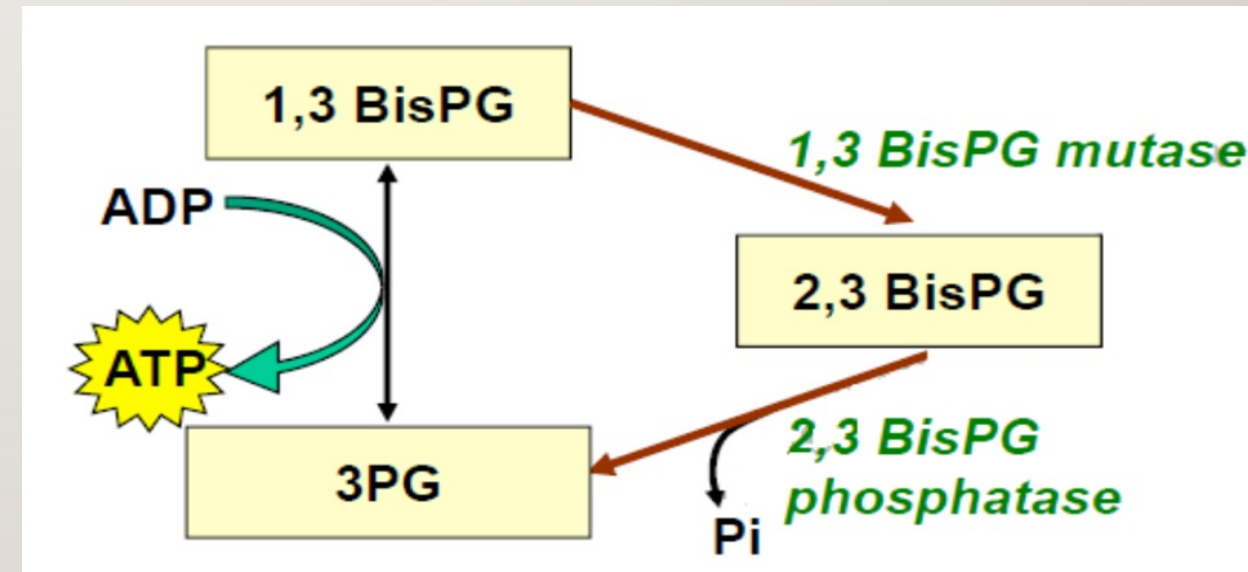
- But du shunt :
  - Dans les GR, l'hémoglobine fixe avec une affinité plus ou moins grande l'oxygène pour l'amener aux tissus
  - Le 2,3 biphosphoglycérate est un **effecteur allostérique négatif** pour l'hémoglobine car il **diminue l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène** (donc libère l'oxygène dans les tissus)
  - Le shunt est donc réalisé pour **augmenter la capacité en oxygène dans les tissus**
    - Le shunt va être fait dans les GR que lorsqu'on a un **besoin plus important en oxygène**



## PHASE DE GÉNÉRATION DE L'ATP SHUNT DE L'ÉTAPE 7 POUR LES GR

---

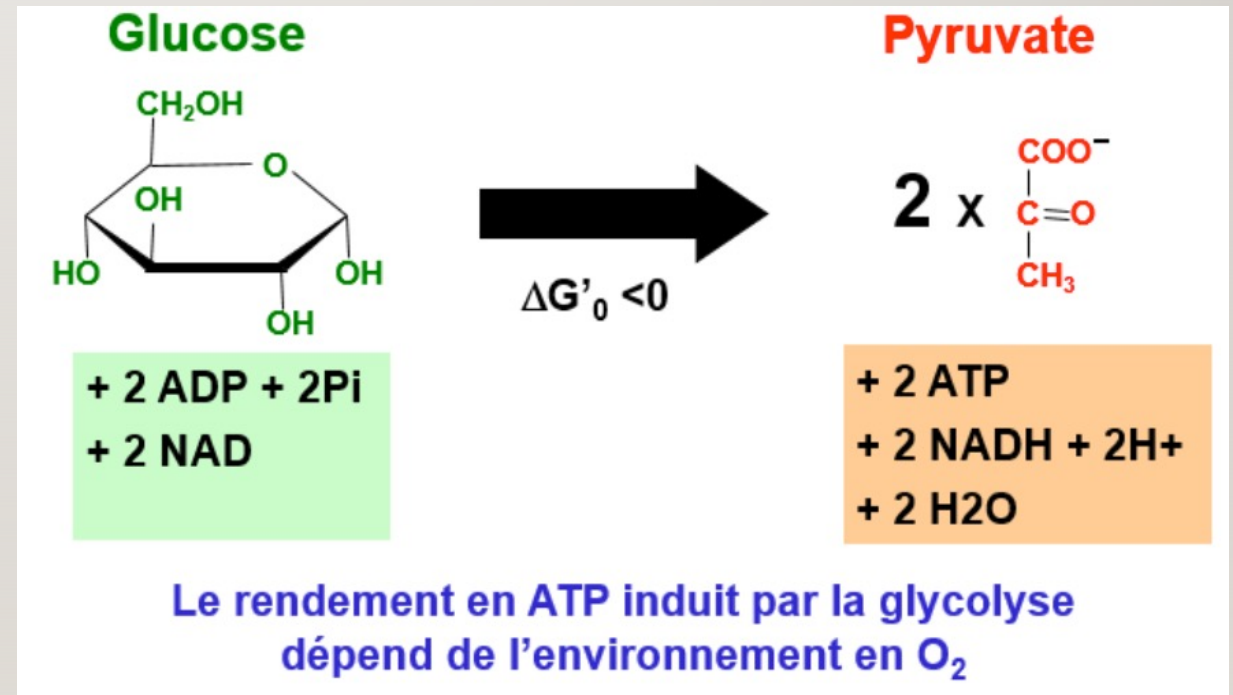
- Le shunt va être fait dans les GR que lorsqu'on a un **besoin plus important en oxygène**
- *Exemple: au cours d'une grossesse, la maman a besoin de libérer plus d'oxygène pour aller jusqu'au fœtus*
- *Exemple: lors de randonnées en altitude, il est nécessaire d'augmenter la capacité en oxygène à libérer pour les tissus*





# BILAN DE LA GLYCOLYSE

- **Bilan :** 1 glucose  $\rightarrow$  2 pyruvates
- **$2 \text{ ADP} + 2 \text{ Pi} + 2 \text{ NAD}^+ \rightarrow 2 \text{ ATP} + 2 \text{ NADH} + \text{H}^+ + 2 \text{ H}_2\text{O}$**
- Le rendement de la glycolyse est un **rendement positif au final** (+ 2ATP) *sauf dans l'érythrocyte si le shunt de l'étape 7 a lieu*
- Le rendement **dépend fortement de la présence d'O<sub>2</sub>** car la glycolyse peut être **couplée à la mitochondrie** et aller jusqu'à la **phosphorylation oxydative** pour avoir une production maximale de molécules d'ATP lors de la dégradation des molécules de glucose



# BIOCHLABEST

---

# QCM



# QCM

---

- A propos de la glycolyse, donnez la (les) bonne(s) réponse(s):
  - A) Elle correspond à la dégradation du glycogène en glucose
  - B) C'est une voie se déroulant dans les mitochondries de toutes les cellules
  - C) Elle comporte une première phase de consommation d'énergie et une deuxième phase de production d'énergie
  - D) Seulement 5 intermédiaires de la glycolyse sont phosphorylés
  - E) Les réponses A,B,C et D sont fausses

# RÉPONSE: C

---

- A) Elle correspond à la dégradation du **glycogène** en **glucose**
  - Faux, elle correspond à la dégradation du glucose en pyruvate
- B) C'est une voie se déroulant dans les **mitochondries** de toutes les cellules
  - C'est une voie se déroulant dans le cytoplasme de toutes les cellules
- C) Elle comporte une première phase de consommation d'énergie et une deuxième phase de production d'énergie
- D) Seulement **5** intermédiaires de la glycolyse sont phosphorylés
  - Tous les intermédiaires de la glycolyse sont phosphorylés (10 en tout)

# QCM

---

- A propos de la glycolyse, donnez la (les) bonne(s) réponse(s):
  - A) La glycolyse est permise par le principe de couplage énergétique
  - B) Au niveau du muscle, on utilise une glucokinase pour catalyser la première réaction de la glycolyse
  - C) Le bilan de la glycolyse sera différent selon la disponibilité ou non en oxygène
  - D) Dans l'érythrocyte, lors du shunt de l'étape 7, on aura un bilan énergétique positif avec une production de 2 ATP
  - E) Les réponses A,B,C et D sont fausses

# RÉPONSE:AC

---

- A) La glycolyse est permise par le principe de couplage énergétique
- B) Au niveau du **muscle**, on utilise une glucokinase pour catalyser la première réaction de la glycolyse
  - Au niveau du foie et du pancréas, on utilise une glucokinase (isoforme 4 de l'hexokinase) pour catalyser la première réaction de la glycolyse
- C) Le bilan de la glycolyse sera différent selon la disponibilité ou non en oxygène
- D) Dans l'érythrocyte, lors du shunt de l'étape 7, on aura un bilan énergétique **positif avec une production de 2 ATP**
  - Dans l'érythrocyte, lors du shunt de l'étape 7, on aura un bilan énergétique nul avec ni perte ni production d'ATP



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite

