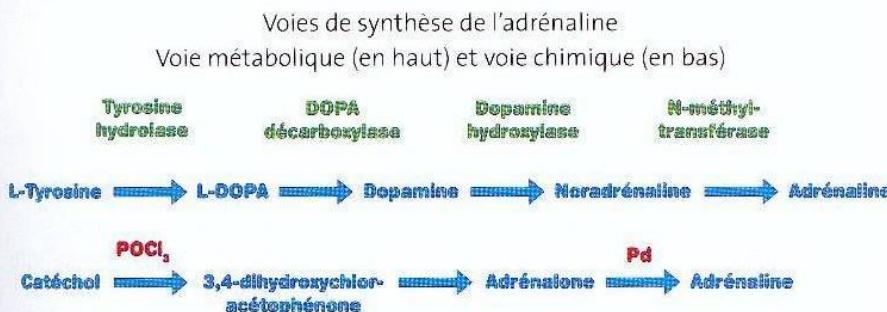


## AD n°1 : Qu'est-ce qu'une voie métabolique ?

### DOCUMENT 1 Comparaison de la synthèse de l'adrénaline par voie chimique et par voie métabolique

L'adrénaline est une molécule synthétisée par les cellules des glandes surrénales ou par certains neurones du cerveau. Cette molécule peut être également synthétisée chimiquement, notamment pour fabriquer des médicaments. Les deux voies de synthèse sont présentées ci-dessous.



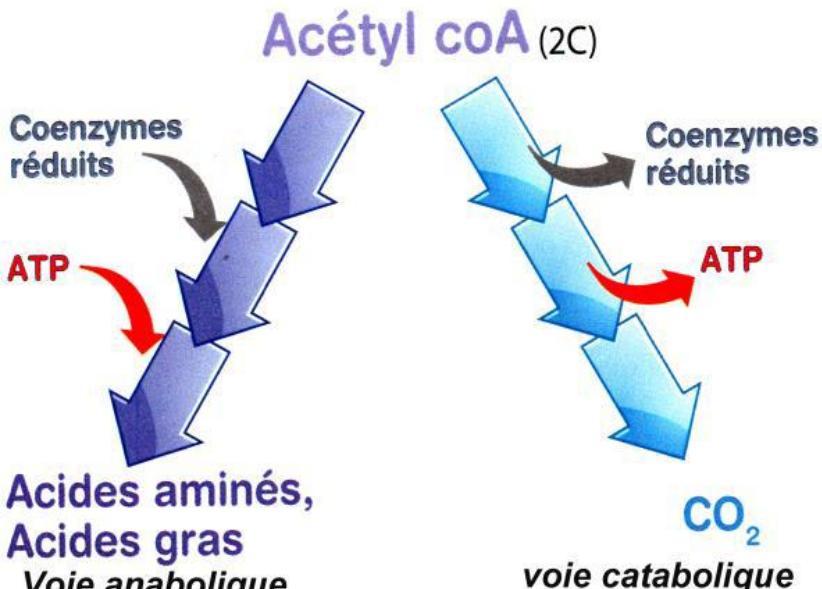
Légende : **Enzymes**  
**Catalyseurs chimiques**

Remarque : Seuls les composés principaux et les catalyseurs sont indiqués.

Delagrange, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 1 p.56.

1. Comparer les deux voies de synthèse de l'adrénaline.
  - a. Proposer une définition au terme « voie de synthèse »
  - b. Comparer et identifier ce qui distingue une voie métabolique d'une voie chimique.

### DOCUMENT 2 Utilisation et synthèse de l'acétylcoenzyme A



Delagrange, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 2 p.57.

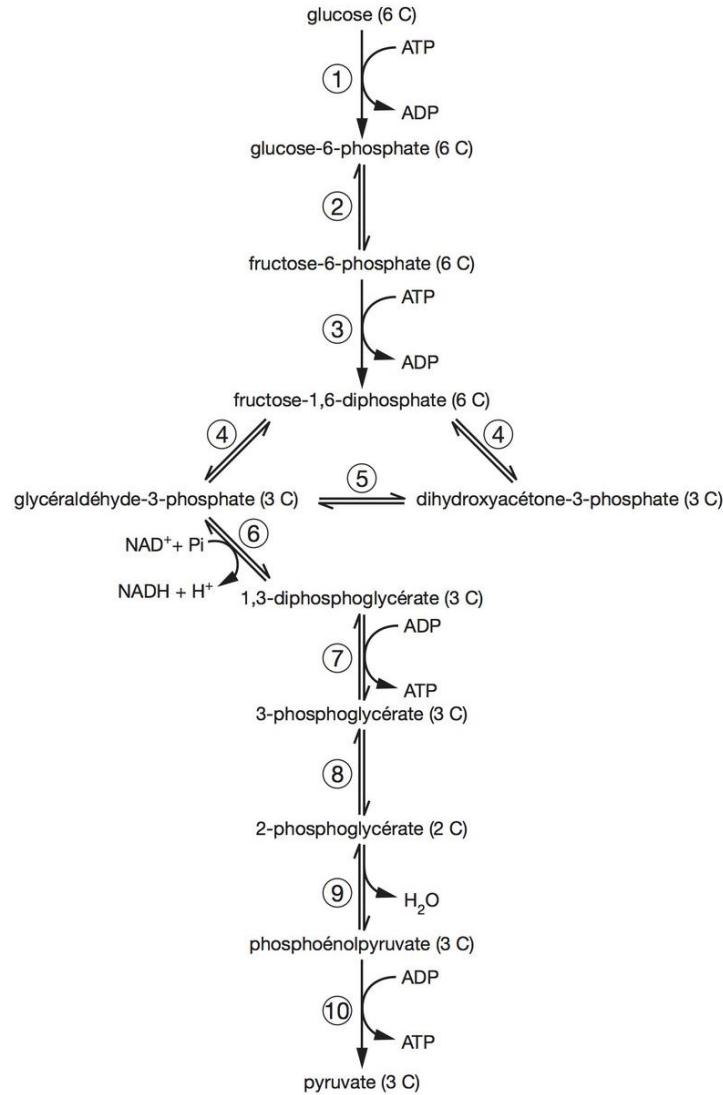
2. Etablir un classement des molécules présentes sur la figure du document 2 par nombre croissant de liaisons C-C présentes dans chaque molécule.
3. Déduire de la réponse précédente et du document 2 une proposition de définition de voie catabolique et de voie anabolique.

## AD n°2 : Etude de quelques voies métaboliques.

Pour les différentes voies métaboliques présentées, préciser s'il s'agit de voies cataboliques ou anaboliques. Justifier la réponse.

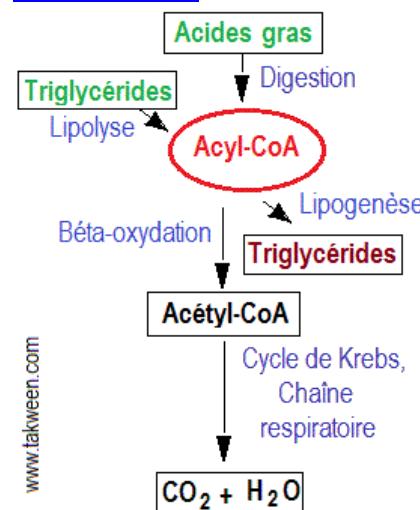
### Document 1 : La glycolyse.

<http://monde.ccdmd.ac.ca/ressource/?id=96402&demande=desc>



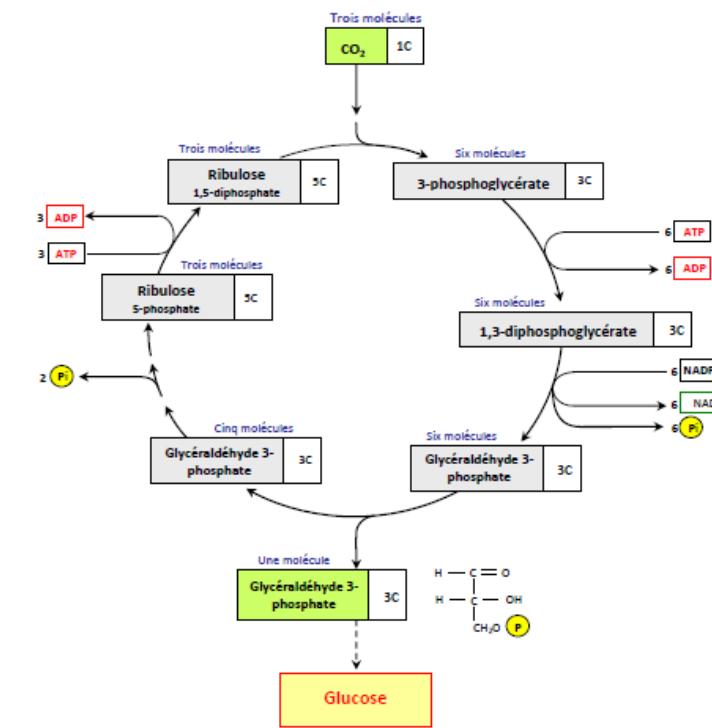
### Document 2 : La lipolyse.

<http://www.takween.com/metabolisme/lipides-metabolisme.html>



### Document 3 : Le cycle de Calvin (au cours de la photosynthèse).

<http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1209>



### AD n°3 : Définition de l'état standard.

#### Document 1 : Définition de l'état standard.

Les grandeurs énergétiques varient selon les conditions dans lesquelles se trouve le système. Afin de pouvoir établir des comparaisons, il a été défini un état standard, servant de référence. En chimie, cet état standard est noté  $^\circ$  et se définit :

- A une température donnée, constante, le plus souvent  $T=298\text{ K}$
- A une pression définie :  $P=1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}$
- Pour une concentration égale à  $1\text{ mol.L}^{-1}$  de tous les solutés présents.

Pour les réactions biochimiques, se déroulant dans des systèmes vivants, a été défini un état standard apparent noté  $^\circ\text{o}$  :

- A une température donnée, constante, le plus souvent  $T=298\text{ K}$  ou  $T=310\text{ K}$
- A une pression définie :  $P=1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}$
- Pour une concentration égale à  $1\text{ mol.L}^{-1}$  de tous les solutés présents.

1. Comparer la définition de l'état standard et de l'état standard apparent. Expliquer pourquoi l'état standard utilisé en chimie n'est pas une référence significative dans un système vivant.

#### Document 2 : La notion d'état stationnaire.

La notion d'état stationnaire (*steady state*), ou d'équilibre dynamique, est absolument essentielle. Un exemple simple peut fixer les idées. Soient les deux plateaux d'une balance : sur un plateau on met une tare constante, et sur l'autre un bocal d'eau tel que l'équilibre est obtenu. Si l'on munit le bocal d'un orifice par où il se vide, alors qu'on le remplit à la partie supérieure, on peut réaliser le même équilibre ; mais il est alors « dynamique », parce qu'il résulte du régime stable qui balance entrées et sorties de liquide dans le bocal. Ainsi, un état stationnaire n'implique nullement l'équilibre chimique ou thermodynamique (sauf si le système est fermé ; mais la plupart des systèmes biologiques sont ouverts). »

Extrait de l'encyclopédie Universalis.



Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 3 p.33.

#### Document 3 : Répartition des principaux ions de part et d'autre de la membrane d'une cellule de mammifère (en $\text{mmol.L}^{-1}$ )

	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	(Autres ions) $^\circ$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
Milieu intracellulaire	139	12	4	12	138	0,8	< 0,0002
Milieu extracellulaire	4	145	116	29	9	1,5	1,8

Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 4 p.33.

2. A l'aide de l'ensemble des documents, montrer que les concentrations des solutés rencontrées dans une cellule ne correspondront pas aux conditions standards apparentes.

### AD n°3 : Définition de l'état standard.

#### Document 1 : Définition de l'état standard.

Les grandeurs énergétiques varient selon les conditions dans lesquelles se trouve le système. Afin de pouvoir établir des comparaisons, il a été défini un état standard, servant de référence. En chimie, cet état standard est noté  $^\circ$  et se définit :

- A une température donnée, constante, le plus souvent  $T=298\text{ K}$
- A une pression définie :  $P=1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}$
- Pour une concentration égale à  $1\text{ mol.L}^{-1}$  de tous les solutés présents.

Pour les réactions biochimiques, se déroulant dans des systèmes vivants, a été défini un état standard apparent noté  $^\circ\text{o}$  :

- A une température donnée, constante, le plus souvent  $T=298\text{ K}$  ou  $T=310\text{ K}$
- A une pression définie :  $P=1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}$
- Pour une concentration égale à  $1\text{ mol.L}^{-1}$  de tous les solutés présents.

1. Comparer la définition de l'état standard et de l'état standard apparent. Expliquer pourquoi l'état standard utilisé en chimie n'est pas une référence significative dans un système vivant.

#### Document 2 : La notion d'état stationnaire.

La notion d'état stationnaire (*steady state*), ou d'équilibre dynamique, est absolument essentielle. Un exemple simple peut fixer les idées. Soient les deux plateaux d'une balance : sur un plateau on met une tare constante, et sur l'autre un bocal d'eau tel que l'équilibre est obtenu. Si l'on munit le bocal d'un orifice par où il se vide, alors qu'on le remplit à la partie supérieure, on peut réaliser le même équilibre ; mais il est alors « dynamique », parce qu'il résulte du régime stable qui balance entrées et sorties de liquide dans le bocal. Ainsi, un état stationnaire n'implique nullement l'équilibre chimique ou thermodynamique (sauf si le système est fermé ; mais la plupart des systèmes biologiques sont ouverts). »

Extrait de l'encyclopédie Universalis.



Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 3 p.33.

#### Document 3 : Répartition des principaux ions de part et d'autre de la membrane d'une cellule de mammifère (en $\text{mmol.L}^{-1}$ )

	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	(Autres ions) $^\circ$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
Milieu intracellulaire	139	12	4	12	138	0,8	< 0,0002
Milieu extracellulaire	4	145	116	29	9	1,5	1,8

Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 4 p.33.

2. A l'aide de l'ensemble des documents, montrer que les concentrations des solutés rencontrées dans une cellule ne correspondront pas aux conditions standards apparentes.

#### AD n°4 : L'intérêt des couplages chimio-chimiques.

**Document 1 :** Quelques molécules phosphorylées et le  $\Delta_rG^\circ$  de la réaction d'hydrolyse de la liaison phosphate. Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 1 p.43.

Le  $\Delta_rG^\circ$  indiqué correspond à la variation d'enthalpie libre standard de la réaction dans le sens présenté dans le tableau.

Réaction de déphosphorylation par hydrolyse	$\Delta_rG^\circ$ en $\text{kJ.mol}^{-1}$
Phosphoénol pyruvate $\rightarrow$ pyruvate + Pi	-62
Glucose 6 phosphate $\rightarrow$ glucose + Pi	-14
Créatine-phosphate $\rightarrow$ créatine + Pi	-43
Fructose 1,6 biphosphate $\rightarrow$ fructose 6 phosphate + Pi	-16
1,3 biphosphoglycérate $\rightarrow$ 3 phosphoglycérate + Pi	-49
Glycérol 3 phosphate $\rightarrow$ glycérol + Pi	-9
ATP $\rightarrow$ ADP + Pi	-30

**Document 2 :** Loi d'additivité de  $\Delta_rG$ .

$G$  est une variable d'état, elle décrit l'état d'un système mais ne dépend pas du chemin parcouru pour aller d'un état initial à un état final.

Soit les deux réactions et leur variation d'enthalpie libre associée :  $A \rightarrow B \Delta_rG_{AB}$  ;  $C \rightarrow D \Delta_rG_{CD}$ .

Soit la réaction R :  $A + C \rightarrow B + D$ .

On démontre que :

$$\Delta_rG_R = \Delta_rG_{AB} + \Delta_rG_{CD}$$

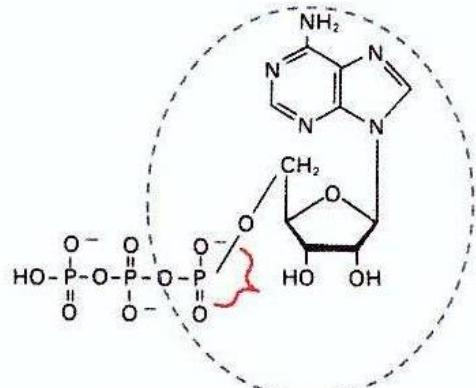
Remarque : Cette loi d'additivité s'applique aussi à  $\Delta_rG^\circ$ .

- b. Justifier que cette réaction est thermodynamiquement défavorable dans les conditions standards apparentes.
3. Ecrire l'équation bilan de la réaction de phosphorylation de l'ADP par le phosphoénolpyruvate.
4. A l'aide des documents 1 et 2, calculer  $\Delta_rG^\circ$  correspondant. Indiquer si la réaction est thermodynamiquement favorable dans les conditions standards apparentes.
5. On dit que les deux réactions sont couplées. Proposer une définition du couplage.
6. Ecrire l'équation de la réaction couplant l'hydrolyse de l'ATP à la synthèse de glucose 6 P. Calculer le  $\Delta_rG^\circ$  de cette réaction. Justifier l'intérêt du couplage.

1. Soit la réaction de déphosphorylation du phosphoénolpyruvate.
  - a. Ecrire l'équation de cette réaction et le  $\Delta_rG^\circ$ .
  - b. Justifier que cette réaction est thermodynamiquement favorable dans les conditions standards apparentes.
2. Soit la réaction de phosphorylation de l'ADP :
  - a. Ecrire l'équation de cette réaction et le  $\Delta_rG^\circ$ .

**AD n°5:** La molécule d'ATP : une molécule possédant une liaison à haut potentiel énergétique.

**Document 1:** Formule semi-développée de l'adénosine triphosphate.  
Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 1 p.42.



1. Rappeler dans quelle macromolécule biologique se rencontre l'élément entouré en pointillé.
2. Rappeler le nom de la liaison identifiée par l'accolade et identifier deux autres liaisons de même nature dans la molécule présentée.
3. A l'aide des réponses précédentes, proposer une schématisation de la molécule d'ATP faisant apparaître ces liaisons.

Cette molécule peut subir une hydrolyse qui conduit à la libération d'une molécule d'acide phosphorique sous forme dibasique  $\text{HPO}_4^{2-}$  au pH cellulaire.

4. Ecrire cette réaction.

Dans les réactions biochimiques cellulaires, l'acide phosphorique  $\text{HPO}_4^{2-}$  est souvent noté Pi pour « phosphate inorganique ».

5. Proposer une explication à cette appellation.
6. Par similitude avec l'appellation « ATP », proposer un symbole et un nom pour l'autre produit de la réaction.

Le  $\Delta_rG^\circ$  de la réaction d'hydrolyse de l'ATP est de  $-30 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

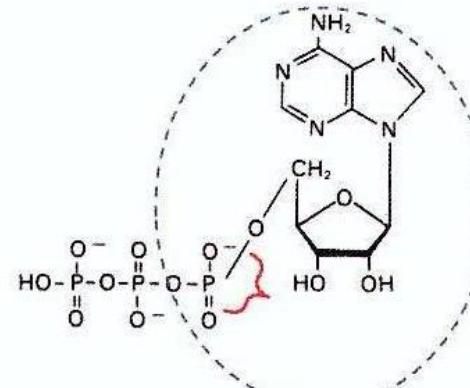
7. Déduire de cette donnée le caractère exergonique ou endergonique de la réaction. Calculer le  $\Delta_rG^\circ$  de cette réaction à  $37^\circ\text{C}$ .

La liaison rompue lors de l'hydrolyse de la molécule est qualifiée de liaison à haut potentiel d'hydrolyse ou liaison « riche en énergie ».

8. A l'aide des réponses précédentes, proposer une définition de liaison à haut potentiel d'hydrolyse.

**AD n°5:** La molécule d'ATP : une molécule possédant une liaison à haut potentiel énergétique.

**Document 1:** Formule semi-développée de l'adénosine triphosphate.  
Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 1 p.42.



1. Rappeler dans quelle macromolécule biologique se rencontre l'élément entouré en pointillé.
2. Rappeler le nom de la liaison identifiée par l'accolade et identifier deux autres liaisons de même nature dans la molécule présentée.
3. A l'aide des réponses précédentes, proposer une schématisation de la molécule d'ATP faisant apparaître ces liaisons.

Cette molécule peut subir une hydrolyse qui conduit à la libération d'une molécule d'acide phosphorique sous forme dibasique  $\text{HPO}_4^{2-}$  au pH cellulaire.

4. Ecrire cette réaction.

Dans les réactions biochimiques cellulaires, l'acide phosphorique  $\text{HPO}_4^{2-}$  est souvent noté Pi pour « phosphate inorganique ».

5. Proposer une explication à cette appellation.
6. Par similitude avec l'appellation « ATP », proposer un symbole et un nom pour l'autre produit de la réaction.

Le  $\Delta_rG^\circ$  de la réaction d'hydrolyse de l'ATP est de  $-30 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

7. Déduire de cette donnée le caractère exergonique ou endergonique de la réaction. Calculer le  $\Delta_rG^\circ$  de cette réaction à  $37^\circ\text{C}$ .

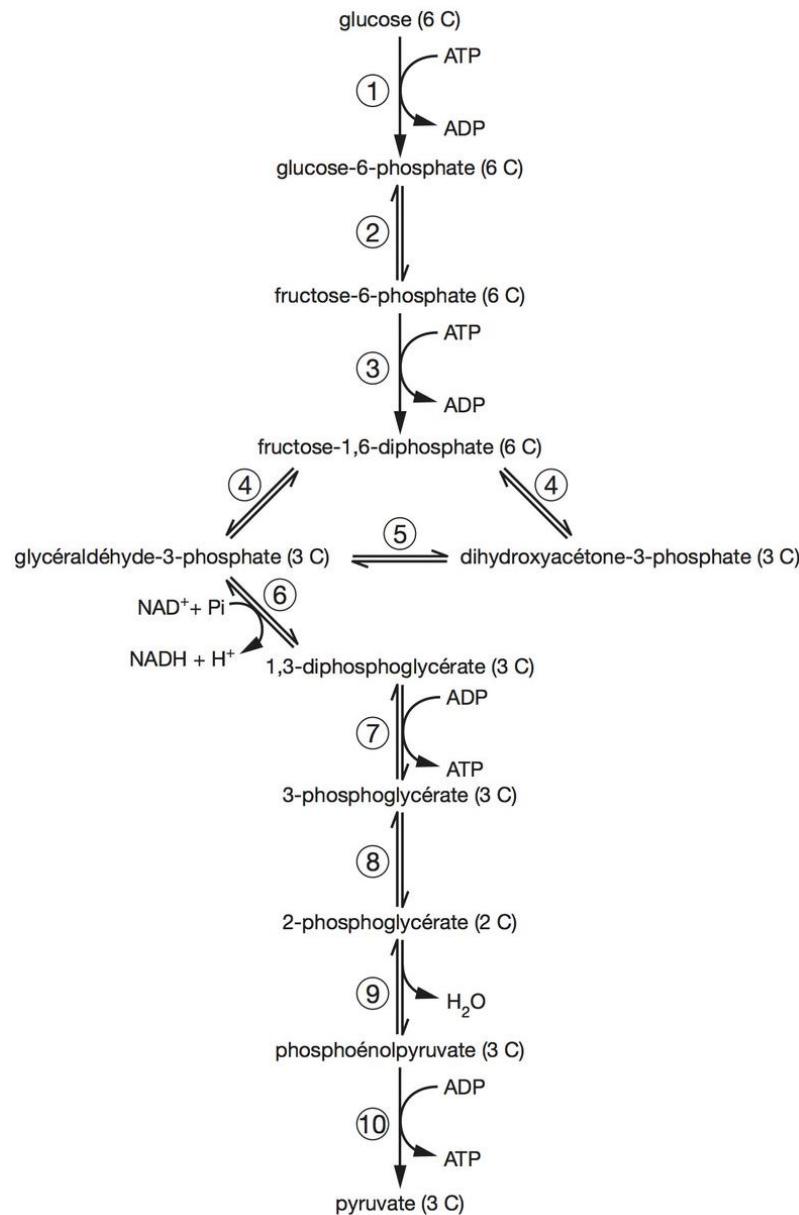
La liaison rompue lors de l'hydrolyse de la molécule est qualifiée de liaison à haut potentiel d'hydrolyse ou liaison « riche en énergie ».

8. A l'aide des réponses précédentes, proposer une définition de liaison à haut potentiel d'hydrolyse.

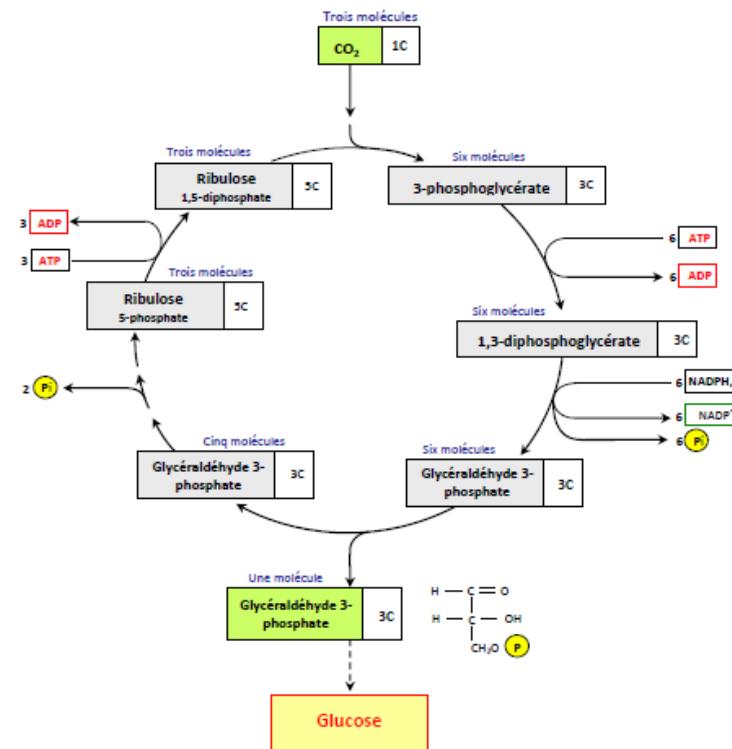
**AD n°6 :** Les couplages dans les réactions métaboliques.

**Document 1 :** La glycolyse.

<http://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=96402&demande=desc>



**Document 2 :** Le cycle de Calvin (au cours de la photosynthèse). <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1209>



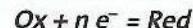
1. Déterminer les réactions couplées dans les documents 1 & 2.
2. La glycolyse, voie universelle utilisée par les cellules pour dégrader le glucose, met en jeu plusieurs couplages énergétiques (doc.1). Au cours de la première étape, le glucose est phosphorylé en glucose-6-phosphate, dont le  $\Delta rG^\circ$  est de  $+14 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .
  - a. Déterminer le caractère exergonique ou endergonique de cette réaction.
  - b. Cette réaction est couplée à l'hydrolyse de l'ATP dont le  $\Delta rG^\circ$  est de  $-30 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . Ecrire la réaction finale des deux réactions.
  - c. Calculer l'enthalpie libre de la première étape de la glycolyse.
  - d. Quel est l'intérêt de ce couplage ?
  - e. Toutes les étapes de la glycolyse sont-elles endergoniques ? Justifier la réponse à l'aide des connaissances acquises.

**AD n°7:** Les réactions d'oxydoréduction sont suffisamment exergoniques pour permettre la synthèse de molécules à haut potentiel énergétique.

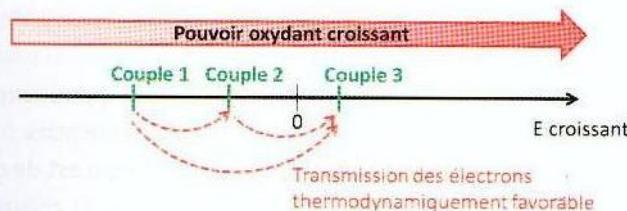
**Document 1:** Rappels sur les réactions d'oxydoréduction. Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 1 p.44.

Une réaction d'oxydoréduction est un échange d'électron ( $e^-$ ) entre deux molécules. Dans les réactions biochimiques, bien souvent, cet échange d'électrons s'accompagne d'un échange de protons  $H^+$ .

On appelle « couple oxydo/réducteur » ou « couple redox » l'ensemble formé par un oxydant et un réducteur qui se correspondent dans la même demi-équation redox, l'un étant issu de l'autre après intervention des électrons.



avec  $n$  = nombre d'électrons que peut fixer la forme oxydée de la molécule (appelée aussi « oxydant »).



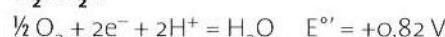
À chaque couple redox est associé un potentiel d'oxydoréduction  $E$ , exprimé en volt (V). Le potentiel d'oxydoréduction d'un couple redox mesure sa capacité à fixer un électron. Plus un couple a un potentiel redox bas, plus le réducteur de ce couple cède facilement ces électrons. On dit qu'il est « plus réducteur ». Inversement, plus le potentiel redox est élevé, plus l'oxydant du couple a tendance à fixer facilement des électrons, donc plus il est oxydant.

Soit la réaction d'oxydoréduction suivante :  $Ox_1 + Red_2 = Ox_2 + Red_1$ .

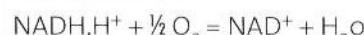
La différence de potentiel produite par cette réaction est égale à :

$$\Delta E = E_{(Ox_1/Red_1)} - E_{(Ox_2/Red_2)}$$

**Exemples de réaction d'oxydoréduction :**



**Réaction redox**



$$\Delta E^{\circ'} = E^{\circ'}_{(O_2/H_2O)} - E^{\circ'}_{(NAD^+/NADH, H^+)}$$

$$\Delta E^{\circ'} = 0,82 - (-0,32) = 0,114 \text{ V}$$

Le potentiel indiqué dans les tables correspond toujours à la demi-équation  $Ox + n e^- = Red$ , il peut être positif ou négatif.

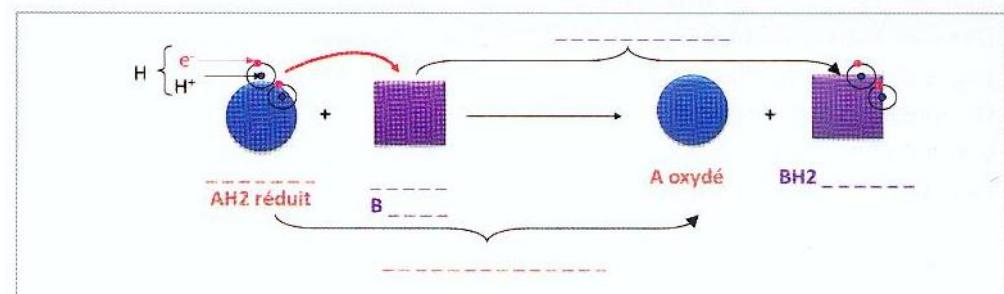
**Document 2:** Relation entre  $\Delta E$  et  $\Delta rG$ . Delagrave, CBSV, Terminale STL, 2017, doc 2 p.45.

L'enthalpie libre d'une réaction d'oxydoréduction  $\Delta_r G_{redox}$  est liée à la différence de potentiel entre les deux couples mis en jeu par la relation :

$$\Delta_r G = -nF\Delta E$$

avec  $n$  le nombre d'électrons échangés et  $F$  la constante de Faraday  $F = 96\ 500 \text{ J V}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

1. A l'aide des informations du document 1, compléter le schéma ci-dessous avec les termes suivants : réducteur, oxydant, oxydé, réduit, oxydation, réduction.



2. A l'aide des documents 1 et 2, relier le signe de  $\Delta E$  au sens thermodynamiquement favorable de la réaction d'oxydoréduction.
3. Utiliser la réponse précédente et les données du document 1 pour expliquer qu'un subterfuge mnémotechnique permettant d'identifier le sens thermodynamique favorable d'une réaction d'oxydoréduction est de dire que « les électrons remontent les potentiels ».