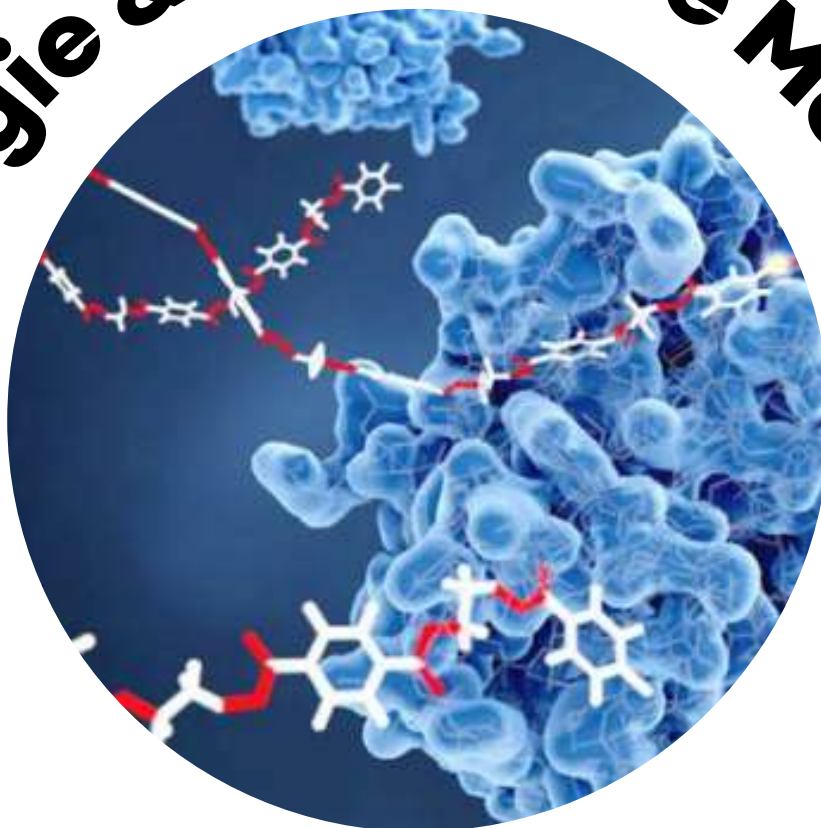


# Enzymologie & Biochimie Métabolique



SCIENCES DE LA  
VIE



## Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



## Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



## Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

# Cours 4 Bioénergétique

Module: Enzymologie , Biochimie métabolique

*Sciences de la vie S4*

Adnane Louajri  
[alouajri@uae.ac.ma](mailto:alouajri@uae.ac.ma)

# **Réactions oxydoréductions II**

Aspects métaboliques

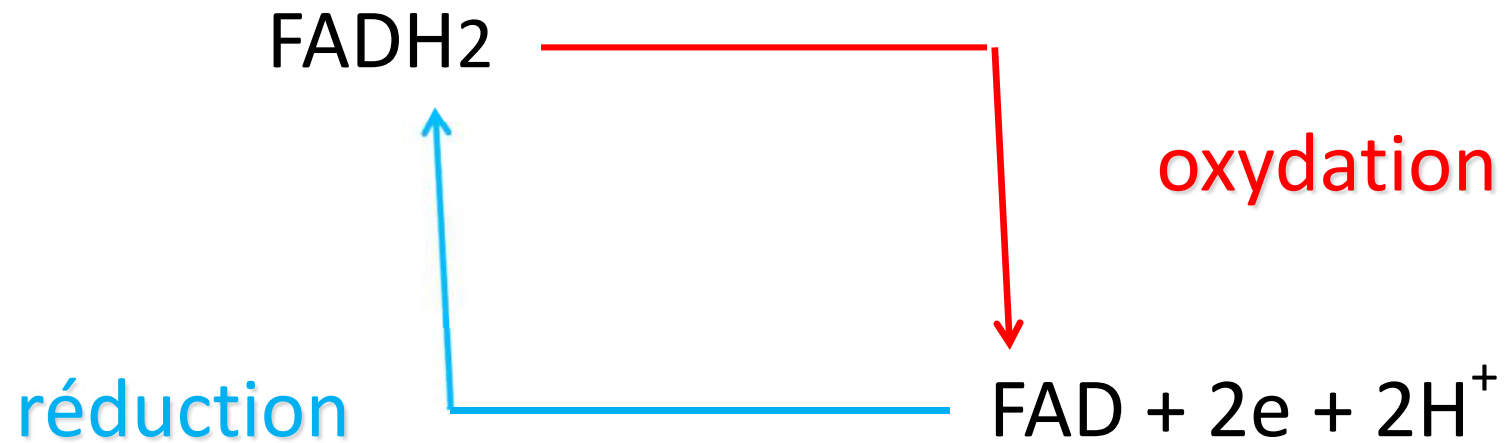
- **Rappels :**

- La plupart des réactions métaboliques sont des réactions d'oxydoréduction

- En Biochimie la perte d'électrons est associée à la perte d' $H^+$

- Oxydation est une deshydrogénation tandis qu'une réduction est une hydrogénation

- **Exemple** Flavine Adénine Dinucléotide

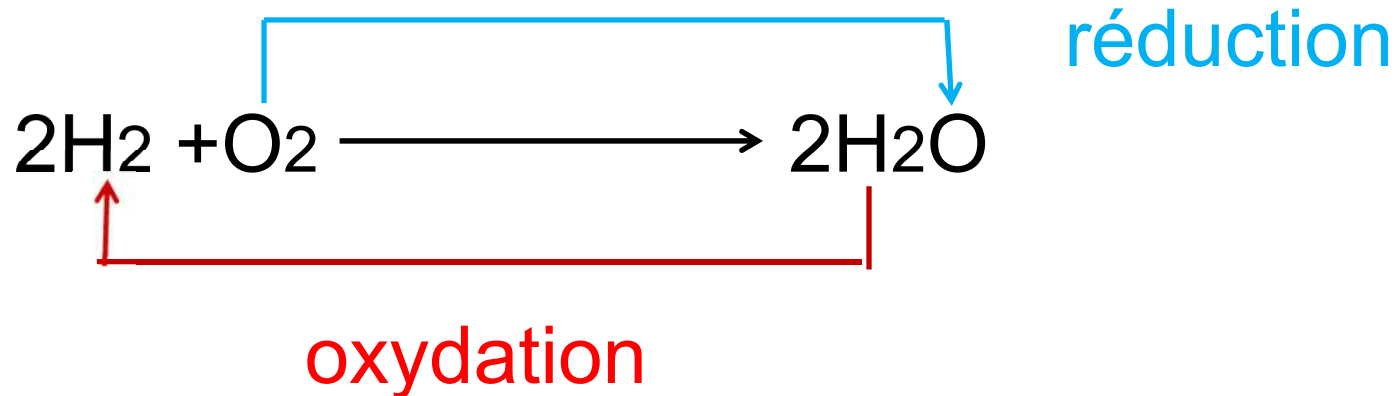


- L'oxygénation est une oxydation



O<sub>2</sub> accepteur d'e et R-CH<sub>3</sub> donneur

- Oxydation de l'hydrogène

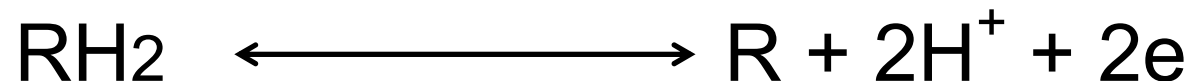


- **Quatre types de transfert d'électrons**

- 1- Transfert direct sous forme d'électrons

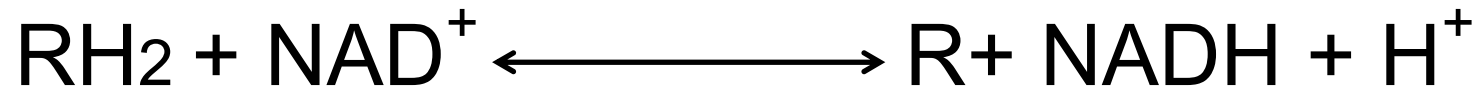
*Exemple:* le couple rédox  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  peut transférer un e au couple  $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$

- 2- Transfert sous forme d'atome d'hydrogène  
Hydrogène : un proton et un électron



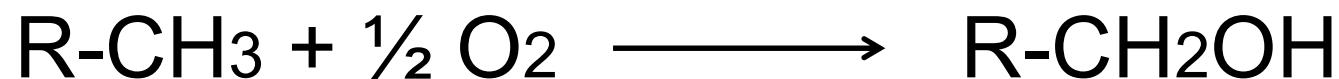
### 3- Transfert sous forme d'ions hydrures (NADH)

Hydrure = un proton et deux électrons



### 4- Transfert sous forme d'incorporation d'O<sub>2</sub>

*Exemple* : oxydation d'un glucide pour donner un alcool





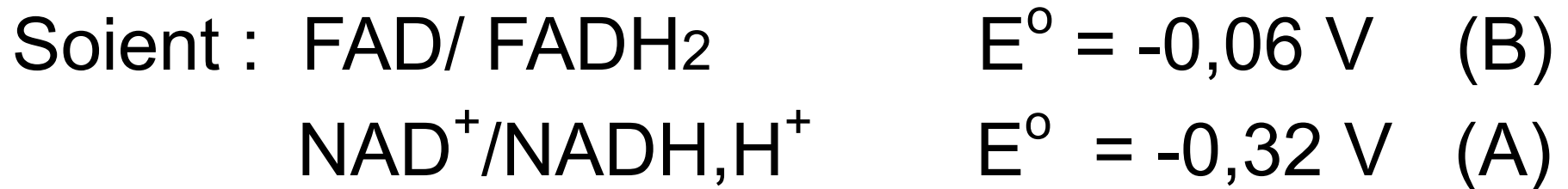
- **Exemples de couples rédox en Biochimie**

<b>Forme oxydée</b>	<b>Forme réduite</b>
$2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$\text{H}_2$
$\text{NAD}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}$	$\text{NADH} + \text{H}^+$
$\text{Q} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$\text{QH}_2$
$\text{FAD} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$\text{FADH}_2$
$\text{Fumarate} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$\text{Succinate}$
$\text{Pyruvate} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$\text{Lactate}$

- **Couples rédox et potentiel  $E^{\circ}$  (pH=7, T 25°C)**

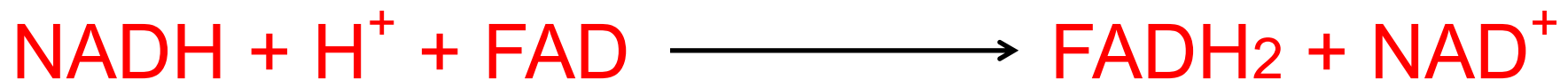
Composant	$E^{\circ}$ (V)
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$	- 0,41
$NAD^+ + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons NADH + H^+$	- 0,32
$FAD + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons FADH_2$	- 0,22
$FMN + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons FMNH_2$	- 0,19
Protéines FS (ox) $\rightleftharpoons$ Protéine FS (red)	
$Q + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons QH_2$	+ 0,04
$2Cytb (Fe^{3+}) + 2e \rightleftharpoons 2Cytb (Fe^{2+})$	+ 0,07
$2 Cyt c (Fe^{3+}) + 2e \rightleftharpoons 2 Cyt c (Fe^{2+})$	+ 0,25
$2Cyta(Fe^{3+}) + 2e \rightleftharpoons 2 Cyta (Fe^{2+})$	+ 0,29
$2Cyta_3 (Cu^{2+}) + 2e \rightleftharpoons 2 Cyt a_3(Cu)$	+ 0,55
$\frac{1}{2} O_2 + 2e + 2H^+ \rightleftharpoons H_2O$	+ 0,82

- Exemple concret de transfert entre deux couples rédox ou équivalents réducteurs en fonction des  $E^{\circ}$



$$E^{\circ}_A < E^{\circ}_B$$

le couple  $\text{NAD}^+/\text{NADH},\text{H}^+$  cède  $\text{H}^+$  et e au couple  $\text{FAD/ FADH}_2$



Dans la majorité des réactions d'oxydoréductions du métabolisme cellulaire les transferts se font par des coenzymes (NAD, NADP, FAD...)

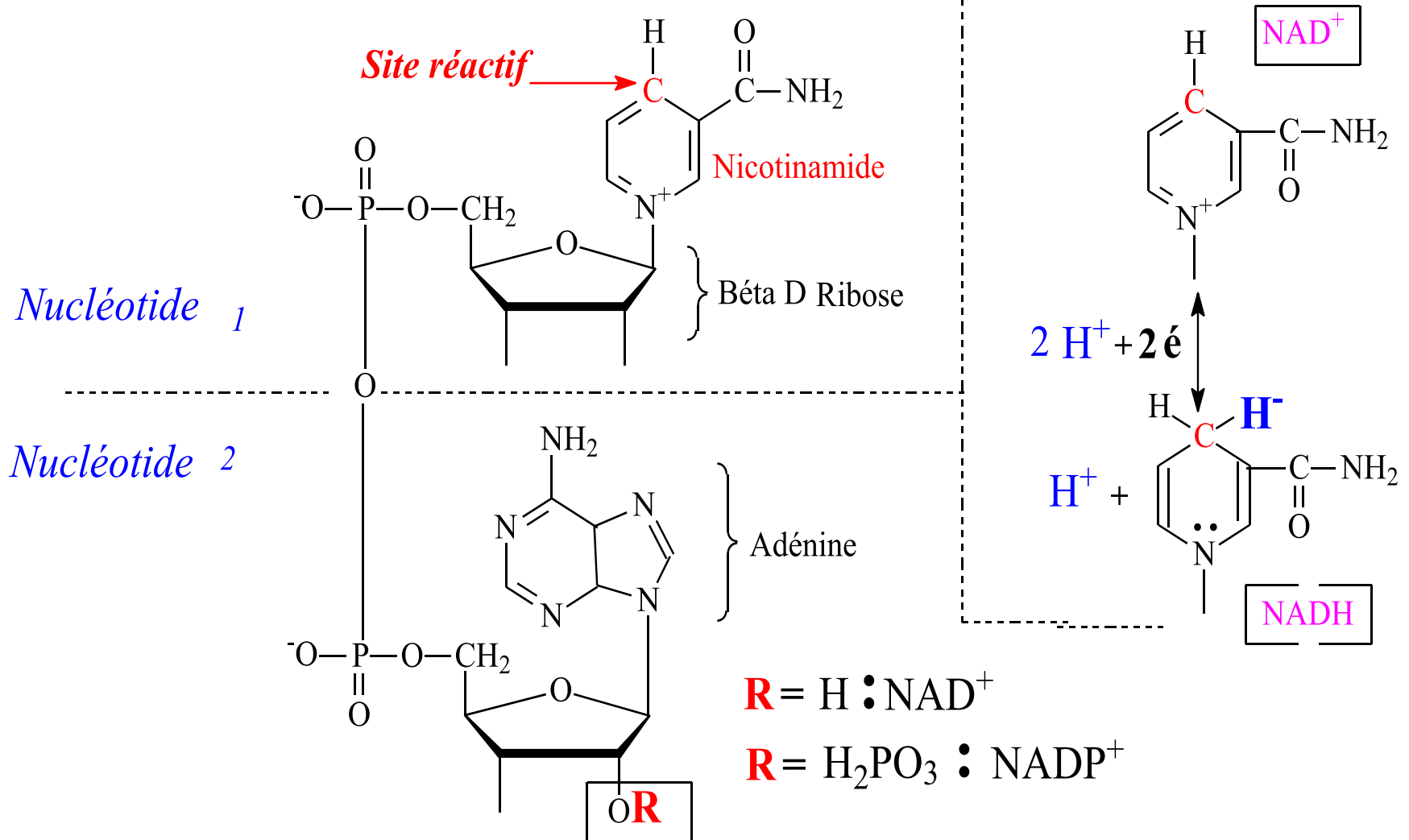
Ces coenzymes sont dits équivalents réducteurs ou transporteurs d'électrons.

# **Transfert sous forme d'ion hydrure par le NAD**

Structure du nicotinamide adénine dinucleotide:

- Deux nucleotides : le premier avec noyau nicotinamide et l'autre avec adénine.
- Les deux nucléotides liés par une liaison phosphoanhydride
- Site réactif au niveau du noyau nicotinamide

**NAD<sup>+</sup> (nicotinamide adénine dinucléotide) et **NADP<sup>+</sup>**  
(nicotinamide adénine dinucléotide phosphate )**

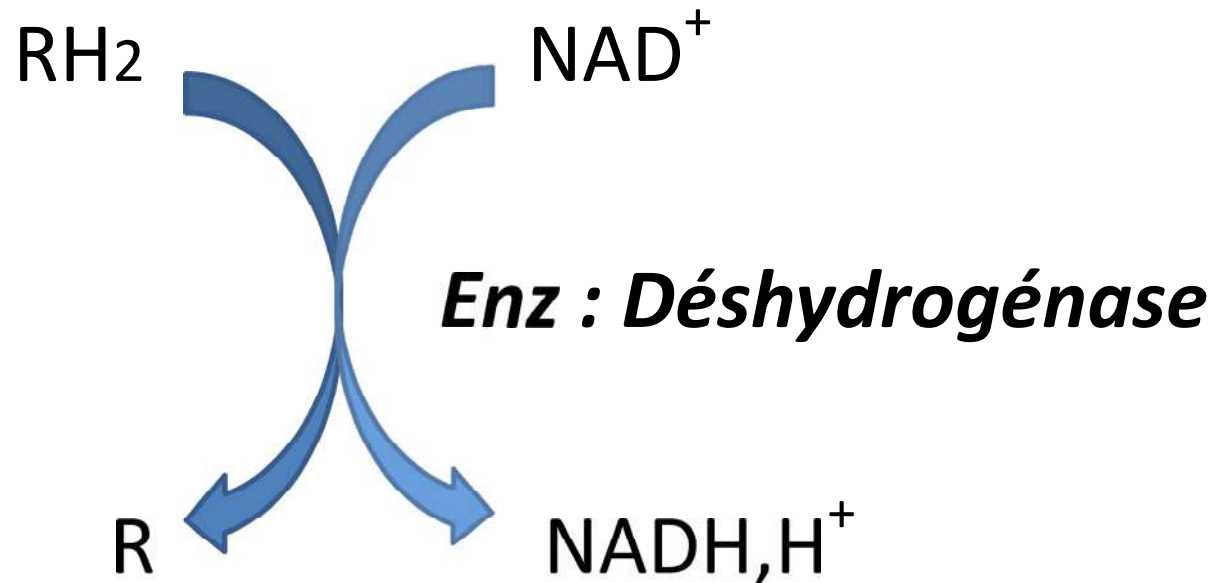


Abdali Abdeslam  
**FIGURE A**

- NAD et NADP : transfert sous forme d'ion hydrure (un proton et deux électrons) à partir d'un substrat (RH<sub>2</sub>).
- Enzymes : Déshydrogénases.
- **Réaction :**



- Schéma:



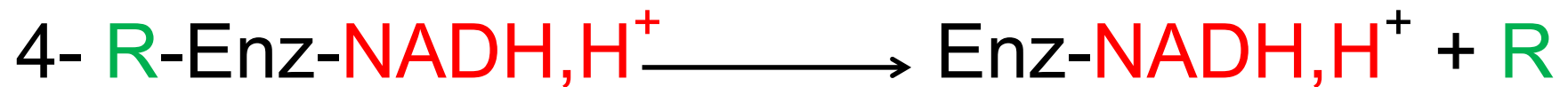
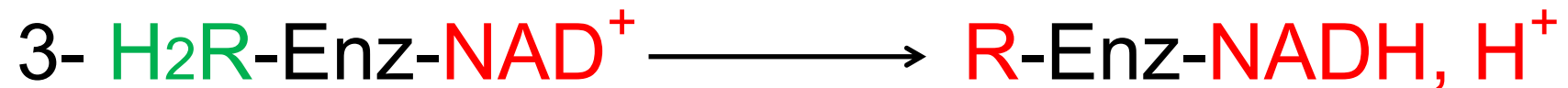
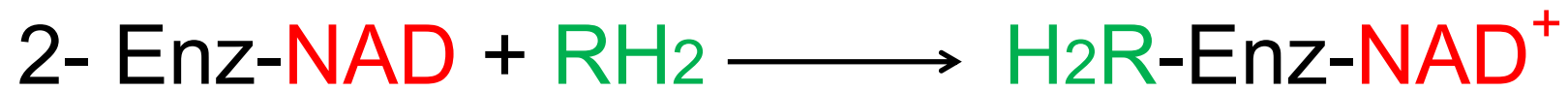
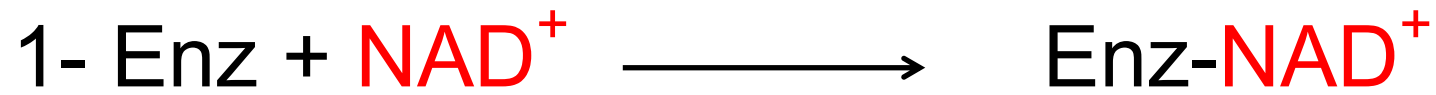
RH<sub>2</sub> est oxydé et NAD<sup>+</sup> est réduit

NAD accepte un ion hydrure (un proton et 2 électrons), deuxième H<sup>+</sup> dissous dans milieu





- *Cinq étapes :*



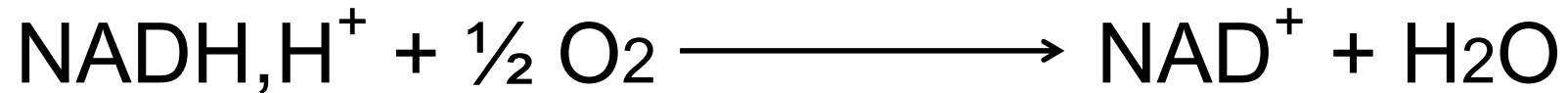
- Différence entre **NAD** (nicotinamide adénine et **NADP** (nicotinamide adénine phosphate)
  - Dans NADP un groupe phosphoryle supplémentaire substitue l'hydrogène de l'hydroxyle situé en position 2' du ribose lié à l'adénine
  - Différence structure / Différences rôles

- **Rôle biologique des formes réduites NADH et NADPH:**

→ NADH, produit des réactions d'oxydations cataboliques est reoxydé en  $\text{NAD}^+$  dans conditions aérobies avec production concomittante d'ATP (chaîne de phosphorylation oxydative)

→ NADPH lié aux réactions anaboliques de biosynthèse (acides gras- acides aminés). Important également dans la photosynthèse

- L'oxydation de  $\text{NADH}, \text{H}^+$  par  $\text{O}_2$  gazeux est une réaction très exergonique

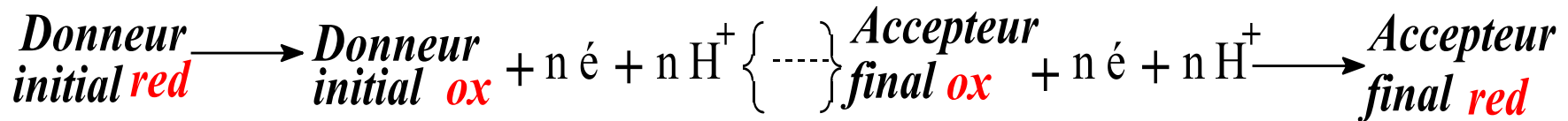
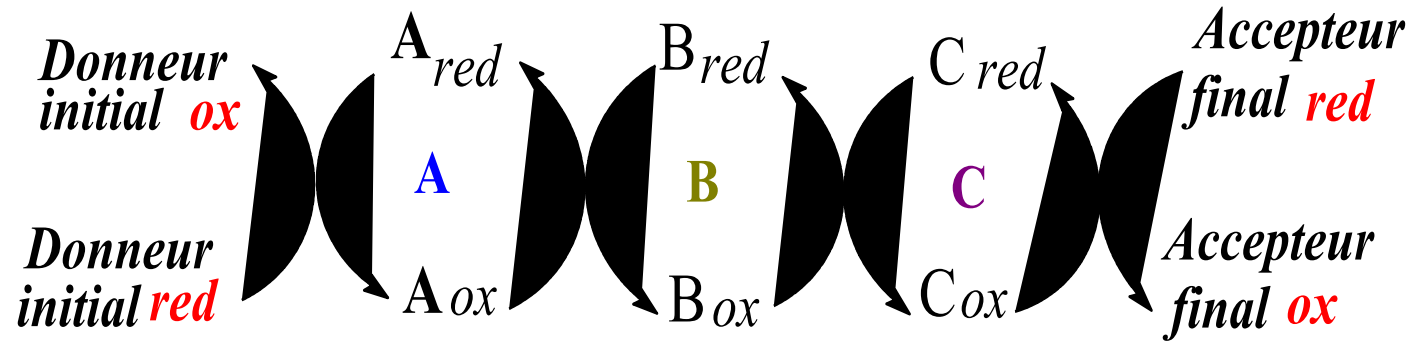


$$\Delta G^\circ = -219 \text{ kJ/mol}$$

- L'oxydation totale du **NADH** (produit par le catabolisme) par l'O<sub>2</sub> a lieu dans la mitochondrie grâce à la chaîne respiratoire avec production d'**ATP**

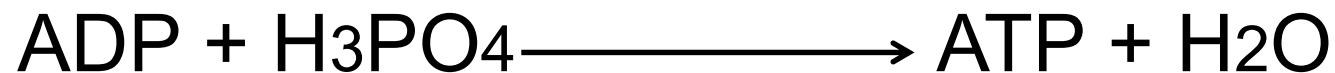
## **Phosphorylation oxydative**

# Schéma général de transfert d' électrons phosphorylations oxydative



# Réactions oxydoréductions et formation de liaison phosphate

- Catabolisme : création de liaisons riches en énergie
- Énergie enmagasinée dans ATP
- Synthèse d' ATP : Processus endergonique



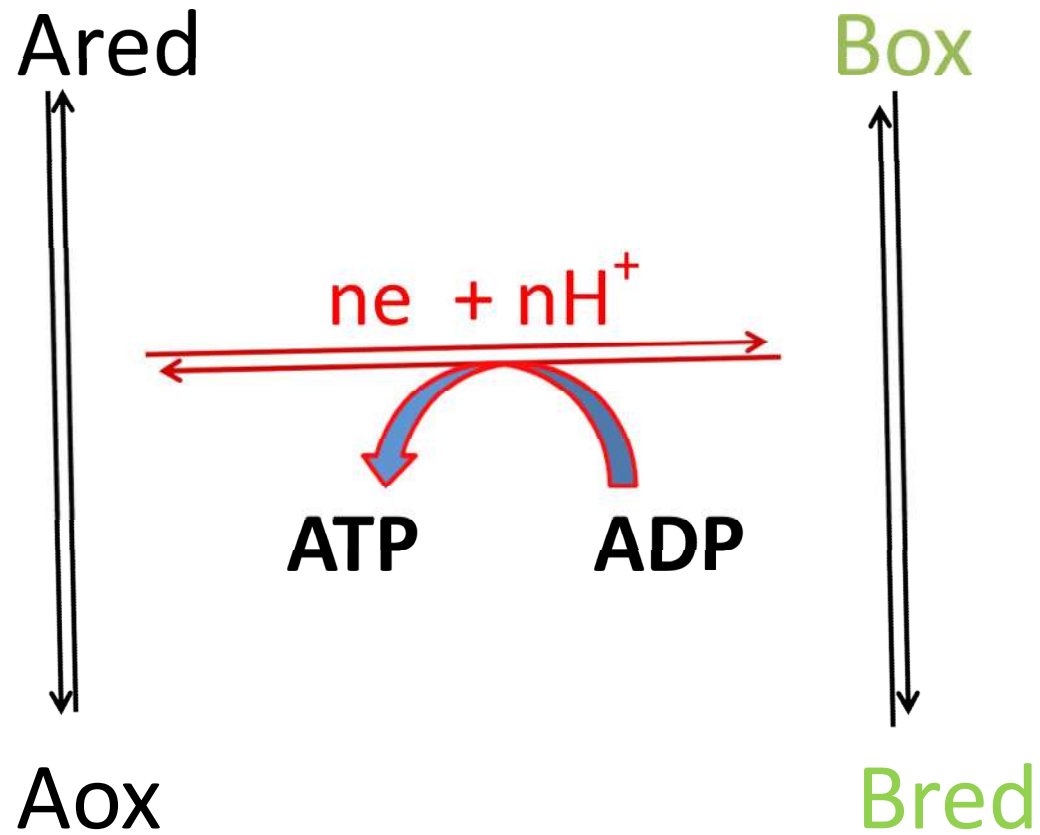
$$\Delta G^\circ = +7 \text{ à } +8 \text{ Kcal/mole}$$


- **Remarques :**

→ Phosphorylation d'ADP ne peut se produire que couplée à une réaction exergonique au cours de laquelle intervient des transferts d'électrons



- Schéma général



- Lors du transfert de  $n$  électrons d'un couple rédox à un autre si la  $\Delta G^\circ$  est de  $-7$  à  $-8$  kcal/mole , l'énergie est suffisante pour production d'ATP
- $\Delta G^\circ \ll 0$    $\Delta G^\circ$  phosphorylation

- La formation de l'**ATP** se fait selon deux mécanismes :
  - Phosphorylation au niveau du substrat
  - Phosphorylations couplées aux transferts d'électrons le long d'une chaîne de transporteurs d'électrons.

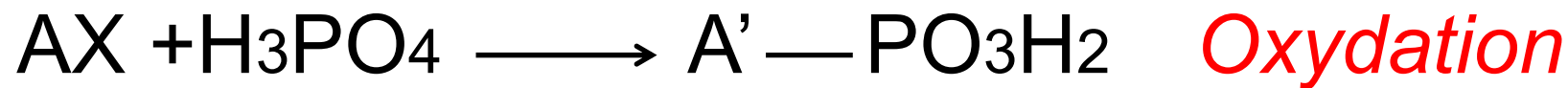
- **Phosphorylation au niveau du substrat :**

Substrat : Intermédiaire métabolique formé lors du catabolisme des glucides, acides gras ou acides aminés

Production d'ATP en deux étapes :

- Substrat se lie à un groupement phosphate liaison de forme  $\sim P$
- Substrat ainsi phosphorylé transfère le groupe phosphate sur ADP

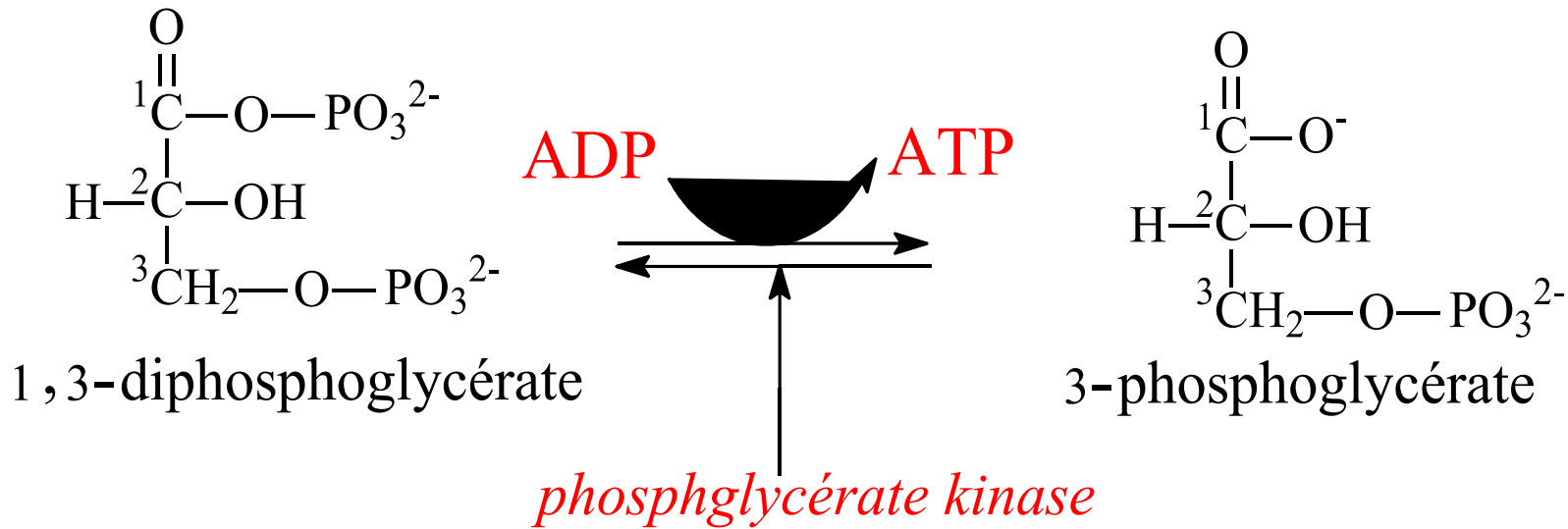
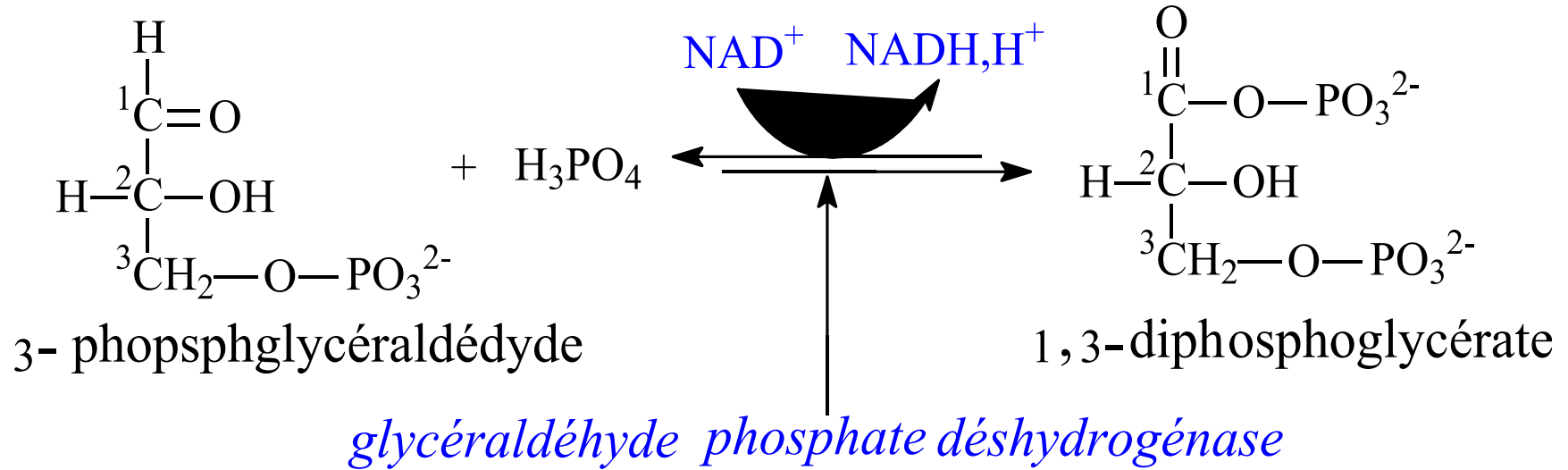
- **Réaction :**



Les deux réactions sont couplés et catalysées par un complexe enzymatique (NAD oxydoréductase) qui oxyde le substrat. Énergie d'oxydation stockée dans liaison phosphate

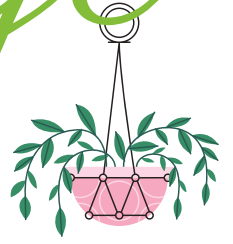
Substrat passe à un niveau énergétique élevé qui peut libérer de l'En au profit d'ADP.





Merci

# Bon courage



## LIENS UTILES 🙌

### Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

