

# Chaîne respiratoire mitochondriale (CRM)

## I- Origine et transport des cofacteurs réduits

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser à la CRM, à son **fonctionnement** et à ses **régulations**. (promis c'est un cours super cool et facile à apprendre)

L'objectif de ce processus est de **réoxyder les molécules de cofacteurs réduits** à savoir **NADH, H+** et **FADH2**  
Ce processus à lieu au niveau de la **mitochondrie**, donc il faut que ces **coenzymes réduits** soient **disponibles** au niveau de la **mitochondrie**

### Origine des cofacteurs réduits NADH+H+ et FADH2

En fonction de la réaction qui a **génééré le NADH, H+ et le FADH2**, ces coenzymes peuvent se retrouver :

- Soit **directement dans la mitochondrie** → dans ce cas ils seront **directement réoxydés**
- Soit ils se retrouvent au niveau du **cytoplasme** et dans ce cas ils nécessitent un **système de navette** pour être **transporté dans la mitochondrie**.

Molécules énergétiques	GLUCIDES			LIPIDES	PROTEINES
Réaction	Glycolyse Glucose ↓ Pyruvate	Décarboxylation oxydative Pyruvate ↓ Acétyl CoA	Cycle de Krebs A partir de l'Acétyl CoA	β-oxydation des acides gras Acyl CoA ↓ Acétyl CoA	Acides aminés ↓ Intermédiaires du cycle de krebs → mitochondrie
Localisation	Cytoplasme	Mitochondrie	Mitochondrie	Mitochondrie	
Cofacteurs réduits produits	NADH+,H+	NADH+,H+	NADH+,H+ FADH2	NADH+,H+ FADH2	

↓  
Nécessite un transfert dans la mitochondrie

Produits *in situ* dans la mitochondrie directement utilisables pour la phosphorylation oxydative

Dans le **catabolisme des glucides**, on a la **glycolyse** qui permet la **transformation du glucose en pyruvate**, tout en générant du **NADH + H+**, tout ceci **dans le cytoplasme**

Ce **NADH, H+** aura donc besoin d'être **transféré au niveau de la mitochondrie** pour être ensuite être **réoxydé au niveau de la CRM**.  
En revanche, la **décarboxylation oxydative**, qui est opérée par la **PDH (= pyruvate déshydrogénase)** à partir du **pyruvate** pour générer de l'**acétyl-CoA** , a lieu au niveau de la **mitochondrie** et permet également la **génération du NADH, H+**

Comme vu précédemment, le **cycle de Krebs (CK)**, qui permet l'**oxydation de l'acétyl-CoA** et qui a lieu au niveau de la **mitochondrie** permet également la **génération des molécules de NADH, H+ et FADH2** qui sont également produites *in situ* au **niveau de la mitochondrie**.

Finalement, le **métabolisme lipidique** et plus particulièrement la **β-oxydation des Acides Gras (AG)** a également lieu dans la **mitochondrie** et permet la **génération de FADH2 et de NADH, H+** .

On va parler des **systèmes de transport** qui permettent aux **coenzymes réduits** qui se trouvent dans le cytoplasme d'être **transportés au niveau de la mitochondrie**. La **membrane interne de la mitochondrie est imperméable aux petites molécules** +++

De ce fait, elle présente de **nombreuses protéines de transport** qui permettent le **transport de ces molécules**.

Il y a 2 systèmes de transport :

- **Le système antiport** : les deux molécules sont échangées en directions **opposées**
- **Le système symport** : les deux molécules sont transportées dans la **même direction**

### Transporteurs des membranes mitochondriales

#### Antiports

Nom	Substrats	Sens	But
Antiport GLU / ASP	Glutamate Aspartate	Glu → Mit Asp → Cyt	} Navette malate / Aspartate
Antiport Malate/ α-cétoglutarate	α-cétoglutarate malate	α-CG → Cyt Malate → Mit	
Antiport ADP / ATP	ADP ATP	ADP → Mit ATP → Cyt	antiport ADP / ATP entrée ADP dans Mito

#### Symports

Phosphates	Pi et H <sup>+</sup>	Cyt → Mit	translocation de Pi
Pyruvate	Pyruvate + H <sup>+</sup>	Cyt → Mit	translocation Pyruvate

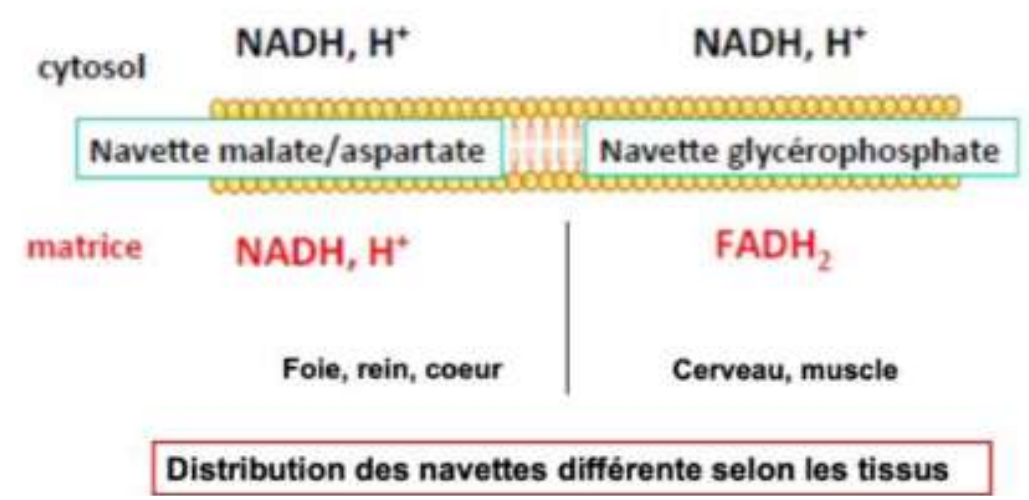
C'est le potentiel de membrane (gradient de protons) qui est la force motrice



Les systèmes d'antiports sont :

- La **navette malate-aspartate** qui va permettre :
  - Le passage du **glutamate vers la mitochondrie** contre l'**aspartate qui va dans le cytoplasme**
  - L'**antiport malate /  $\alpha$ -cétooglutarate** qui permet le passage de l' **$\alpha$ -cétooglutarate vers le cytosol** en échange du **malate qui va rentrer dans la mitochondrie**
- **Le transport de l'ADP / ATP :**
  - important pour la **disponibilité d'ADP au niveau de la mitochondrie pour la synthèse d'ATP**. Dans ce cas, l'**ADP rentre dans la mitochondrie** alors que l'**ATP qui a été généré dans la mitochondrie va la quitter pour aller dans le cytoplasme**.

## Transport du NADH, H<sup>+</sup> produit dans le cytosol vers la membrane interne de la mitochondrie



Concernant le système de symport, il y a :

- **Le symport Phosphate inorganique (Pi) et protons H<sup>+</sup>**
  - Les 2 sont transportés **du cytoplasme vers la mitochondrie**, il y a donc une **translocation des ions Pi** qui seront utilisés pour la **synthèse de l'ATP**
  - Le transport du **pyruvate** par la **pyruvate translocase** qui se fait par un **transport simultané avec des protons** et dans ce cas **le pyruvate** va passer du **cytoplasme vers la mitochondrie**. C'est le **potentiel de membrane** (c'est-à-dire le gradient de protons qui est généré à la fin de la CRM) qui constitue la **force motrice** et donc qui fournit l'**énergie nécessaire** à ce système de transport actif) *on revoit tout ça plus en détail dans la deuxième partie du cours, ne vous inquiétez pas*
  - Transport de **coenzymes réduits du cytoplasme vers la mitochondrie** pour être ensuite **réoxydés au niveau de la CRM**

L'organisme utilise des **systèmes de transport différents en fonction des tissus** :

La **navette malate / aspartate est abondante** dans :

- Le foie
- Le rein
- Le coeur

Elle permet le passage des éléments **NADH, H<sup>+</sup> réduits du cytoplasme vers la matrice mitochondriale**.

La **navette glycérophosphate** se trouve elle dans :

- Le cerveau
- Les muscles

Elle va permettre le transfert d'**équivalents NADH, H<sup>+</sup> du cytosol vers la matrice mitochondriale** sous forme de molécules de **FADH<sub>2</sub>**.

## II - Principe général de la CRM et de la phosphorylat° oxydative

La CRM est la phosphorylation oxydative (= PO) ont comme **objectif final de permettre la réoxydation des coenzymes réduits** notamment **NADH, H<sup>+</sup> et FADH<sub>2</sub>**.

Ces coenzymes seront **réoxydés** et le **pouvoir réducteur** de ces coenzymes sera **utilisé pour générer de l'ATP**.

Ces processus ont lieu **tout le temps** dans les cellules de l'organisme qui contiennent des **mitochondries** parce qu'il s'agit de réactions mitochondriales

Ca concerne donc **toutes les cellules SAUF les érythrocytes** (= les globules rouges) qui n'ont **PAS de mitochondries** +++

C'est un processus qui se fait par **étapes**, par paliers au sein des **différents complexes de la CRM** et l'**étape finale** de ce processus est la **synthèse d'ATP** par une **enzyme appelée ATP synthase**.

L'énergie potentielle des **nutriments**, (= les AA, le glucose et les AG) et **transformé en énergie chimique sous forme d'ATP** utilisée par la cellule.

### BUT

Les réactions du catabolisme cellulaire produisent des éléments réducteurs, en particulier **NADH + H<sup>+</sup>** et **FADH<sub>2</sub>**

Le but de la CRM et de la Phosphorylation Oxydative est :

- Réoxydation de ces 2 coenzymes réduits
- Utilisation du pouvoir réducteur de ces coenzymes pour la synthèse d'ATP

### OÙ et QUAND ?

Toutes les cellules sauf érythrocytes → **DANS LA MITOCHONDRIE**

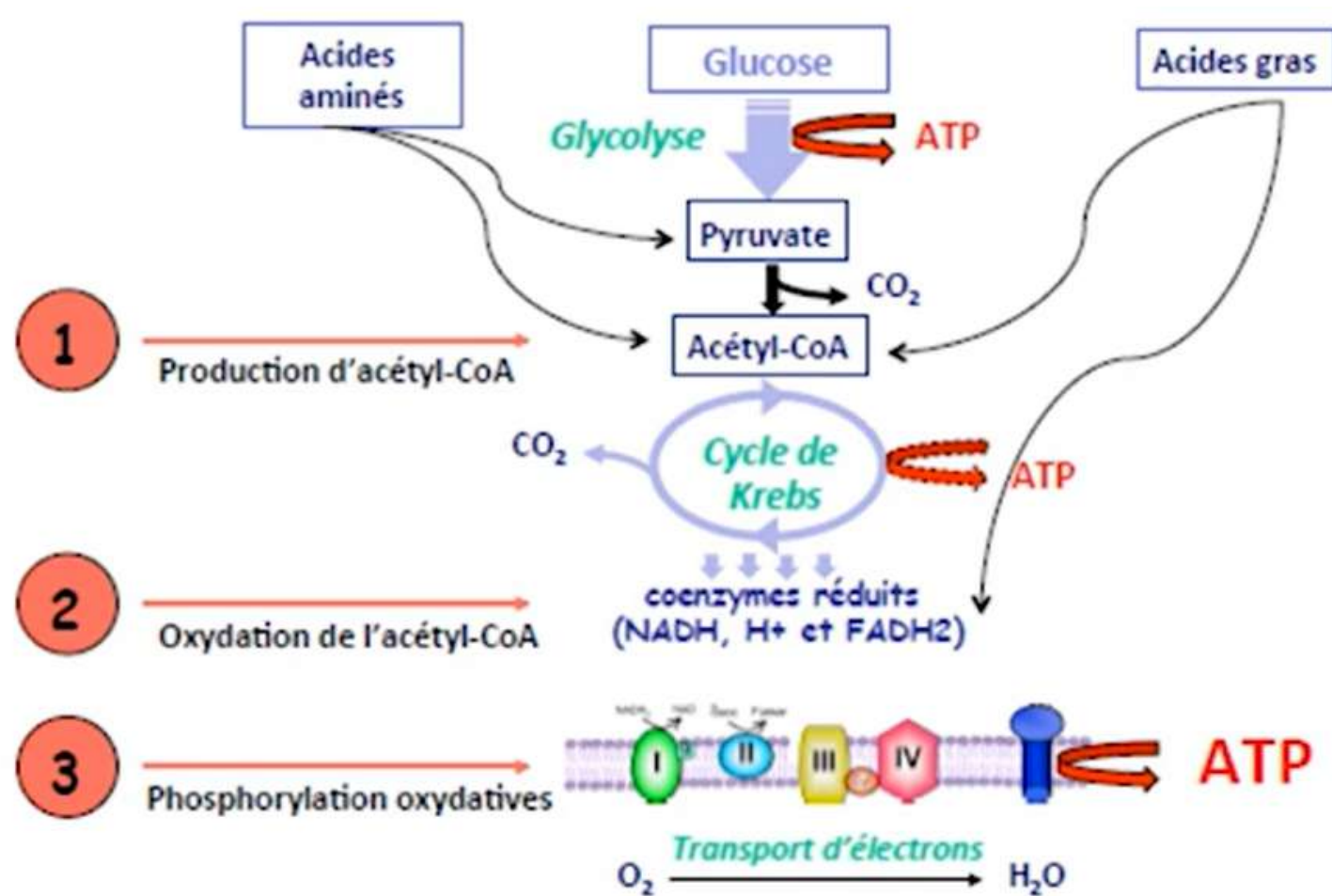
/ Tout le temps

### COMMENT ?

Par étapes, au sein des complexes de la CRM

Etape finale → synthèse de l'ATP par l'**ATP Synthase**





Nous avons vu que tout d'abord ces molécules sont dégradées en :

- **Pyruvate**
- **Acétyl-CoA** → ensuite **oxydé au niveau du cycle de Krebs** avec production d'un **équivalent ATP** dans une de ces réactions mais surtout la **production de coenzymes réduits :  $\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{FADH}_2$** .

Ces coenzymes vont être **réoxydés au niveau de la CRM** grâce au **transport d'électron**. L'énergie qui est libérée au cours de la **réoxydation de ces coenzymes réduits** va permettre la **synthèse ultime d'ATP**.

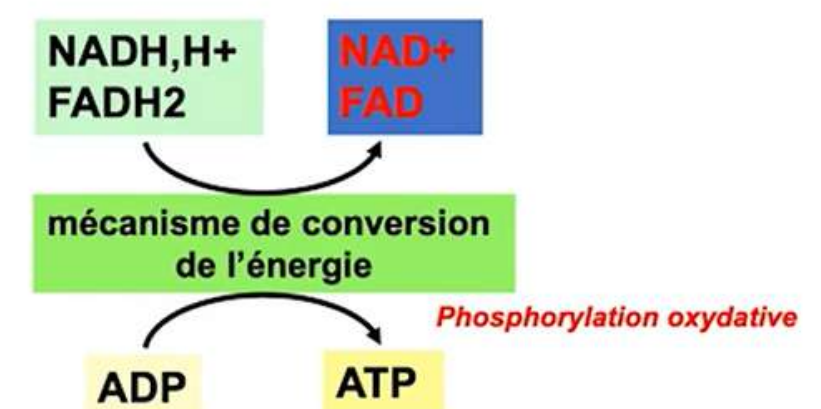
## PHOSPHORYLATION OXYDATIVE

**Définition:**

Processus couplant

- la **réoxydation** des cofacteurs réduits ( **$\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{FADH}_2$** ) produits lors du catabolisme des molécules énergétiques (glucides, lipides, ...)

- à la **production d'ATP** (réaction de phosphorylation :  $\text{ADP} + \text{P}_i = \text{ATP}$ )

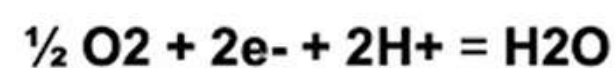


Ce processus permet donc la **génération des molécules des coenzymes oxydés  $\text{NAD}^+$  et  $\text{FAD}$**  et la **conversion d'énergie dans le processus de phosphorylation oxydative** à générer de l'**ATP**.

C'est un processus qui implique un **transport d'électrons de haute énergie** à partir de **molécules de  $\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{FADH}_2$**  vers l'**oxygène** qui est le **récepteur final de ces électrons ( $\text{e}^-$ )**.

A la fin des réactions, l'**oxygène sera réduit en molécules d'eau** +++

Implique un **transport des électrons de haute énergie** du  **$\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{FADH}_2$**  vers un **accepteur final = l'oxygène**, réduit en molécule  **$\text{H}_2\text{O}$**



La phosphorylation oxydative est **active UNIQUEMENT EN CONDITION AEROBIE** (donc pas quand on fait du sport) parce qu'on a **besoin d'oxygène** comme **accepteur d' $\text{e}^-$**  et on parle aussi de **respiration cellulaire**.

Le transport d' **$\text{e}^-$**  du  **$\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et du  $\text{FADH}_2$**  vers l'**oxygène** est un processus qui se fait **par étape par des échanges successifs** entre **différents couples redox**.

Ces réactions ont lieu au sein des **complexes de la membrane mitochondriale interne** et ces complexes **composent la CRM**.

En effet, **l'énergie portée par ces  $\text{e}^-$**  serait tellement importante si elle dégagée dans un **transfert unique** que **la cellule ne serait pas capable de la gérer**.

Ce **transfert d' $\text{e}^-$**  est couplé à un transfert de  **$\text{H}^+$**  à travers la **membrane interne de la mitochondrie**.

→ Ces protons vont **s'accumuler au niveau de l'espace intermembranaire** et ceci va générer un **gradient électrochimique** qui sera **exploité par la cellule pour produire de l'ATP**.

Le **transport des électrons** du  **$\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{FADH}_2$**  vers l'**oxygène**,

- Se fait par des échanges successifs entre différents couples redox réalisés au sein des **COMPLEXES** de la membrane mitochondriale interne

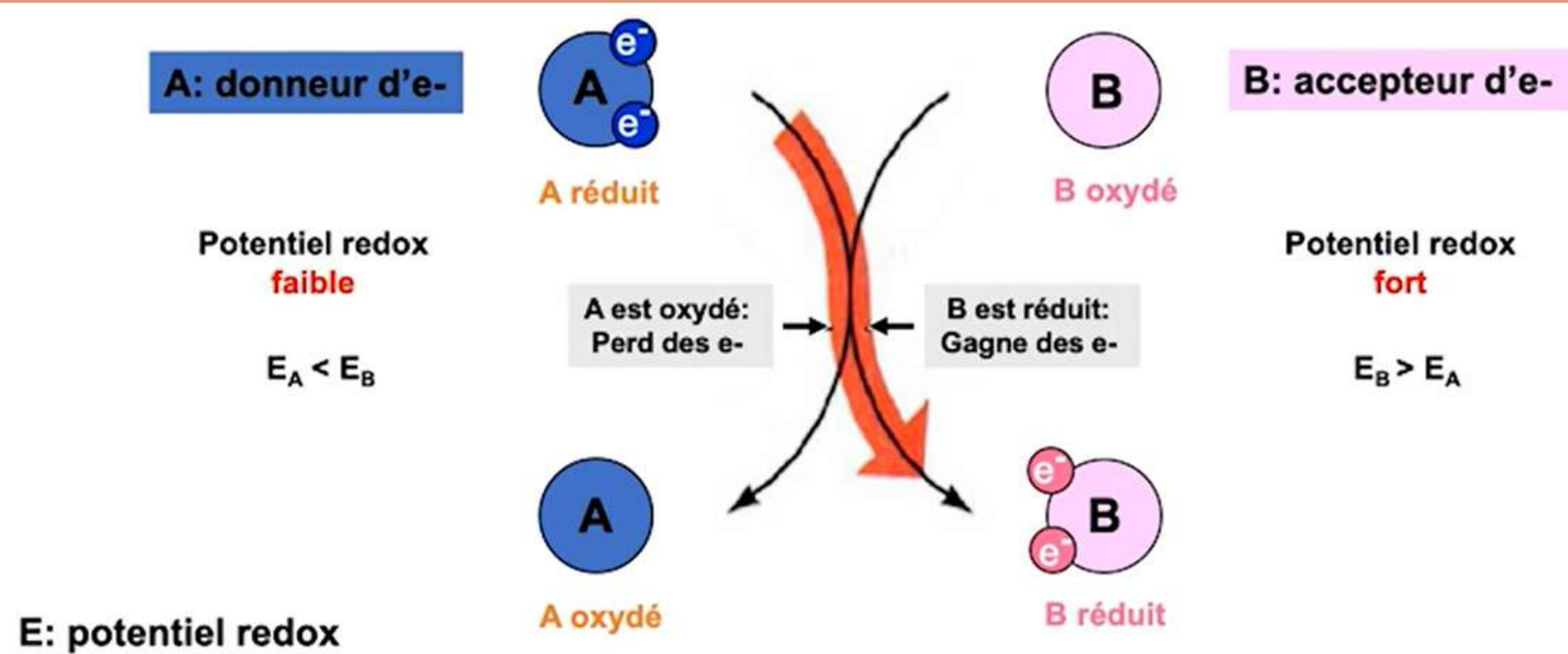
➡ **Chaîne respiratoire mitochondriale**

- Est couplé à un transfert de protons ( $\text{H}^+$ ) à travers la membrane interne

matrice ➡ espace intermembranaire

Génération d'un gradient électrochimique exploité pour la production d'ATP





→ La **chaîne de transport des e-** qui caractérise la CRM est une **succession de couples redox** qui s'échangent les électrons par des **réactions d'oxydoréductions**.

Au cours de ces réactions, **les e- vont passer d'un composé A réduit** qui va perdre ses e- **en faveur d'un composé B**

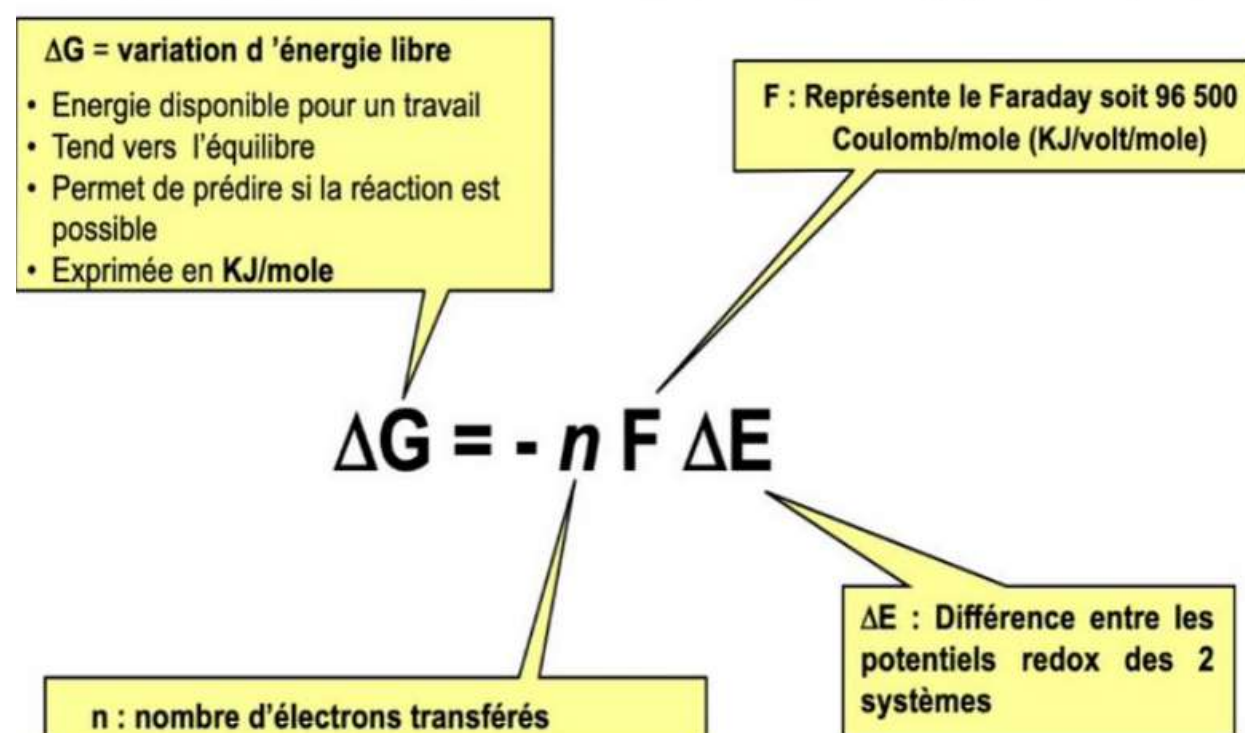
Lors de ce passage d'e-, **la molécule A** qui a perdu ses e- va se retrouver dans un **état oxydé**. En revanche, la **molécule B** qui a gagné ses électrons va passer d'un état oxydé à un état réduit et **les e- vont circuler** de la molécule qui a le **potentiel rédox le plus faible** vers la **molécule acceptrice** qui a le **potentiel redox le plus élevé**.

Dans le cas de la CRM, ce transport d'e- se fait **des molécules de NADH, H+ et FADH2 vers l'oxygène** qui est l'accepteur final

- Le **NADH, H+ et FADH2** sont des **donneurs d'e-** de haut niveau d'énergie.
- Ils ont un **potentiel redox négatif**, ce sont donc des **donneurs d'e-** car ils ont une **faible affinité pour les e-**.
- En revanche, le **potentiel rédox de l'O** étant très positif, il est un **bon accepteur d'e-** et a une **forte affinité pour les e-**.

La **différence des potentiels** entre NADH, H+ et FADH2 et l'O est très **importante**. La **réaction directe** est très favorable et l'énergie formée est **énorme**. Pour cela, le **passage d'e-** du NADH, H+ et FADH2 vers l'O ne se fait **pas en une seule étape** mais par une **séquence d'intermédiaires**.

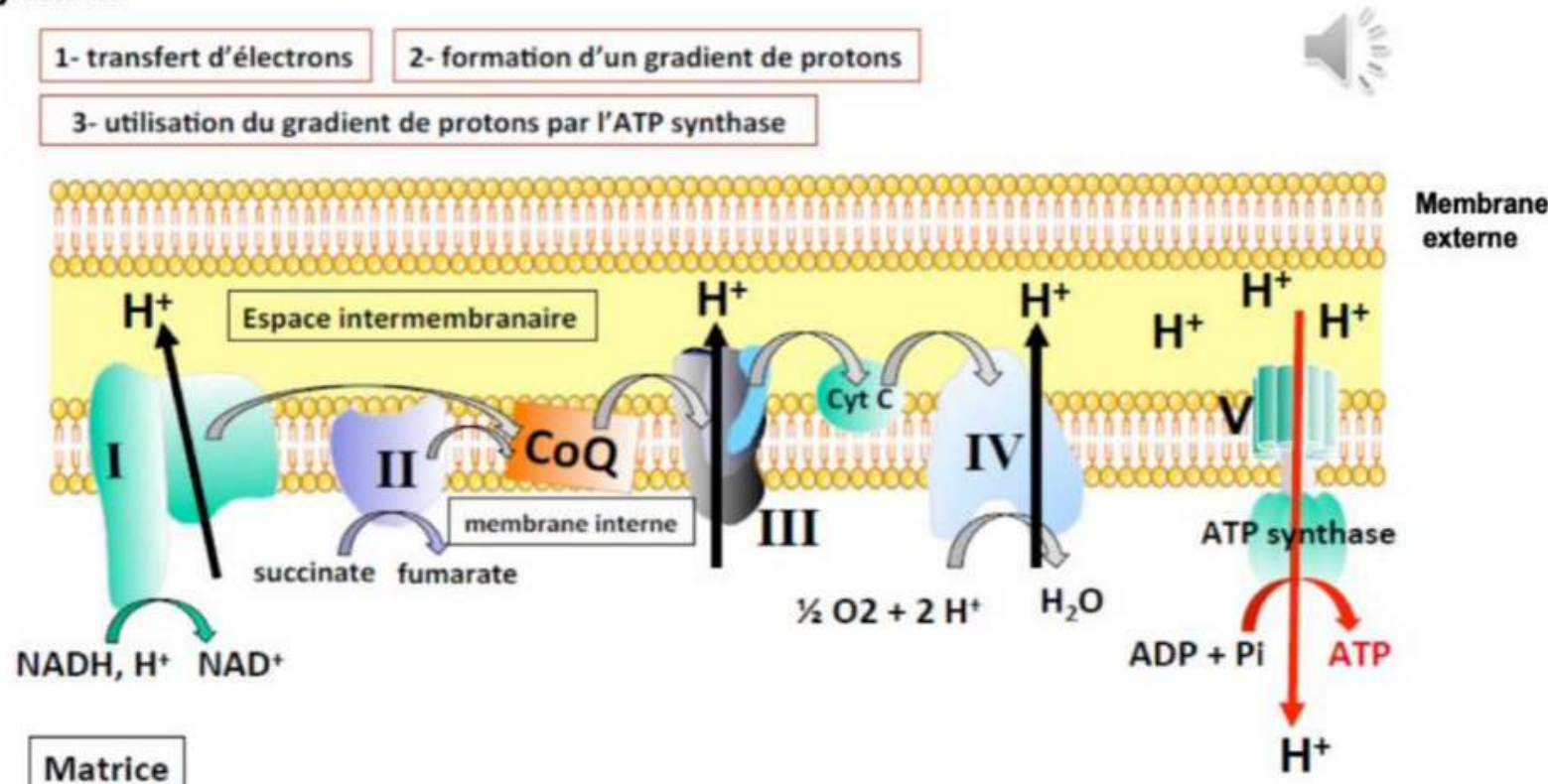
Le transfert d'électrons est associé à un transfert d'énergie, selon l'équation:



Lors d'une réaction redox, le **transfert d'électron est associé à un transfert d'énergie** selon l'équation suivante et va donc dépendre :

- Du **nombre d'e- transférés**
- D'une **constante de Faraday**
- De la différence entre le **potentiel redox des 2 systèmes** entre les donneurs d'e- et accepteurs d'e-
  - Dans le cas de la CRM, les **donneurs sont NADH, H+ / FADH2** et l'**accepteur est la molécule d'oxygène**

**Formée de 4 complexe membranaires de transporteurs d'électrons ordonnés séquentiellement et reliés par 2 transporteurs mobiles d'électrons (le Coenzyme Q et le Cytochrome c)**  
**+ ATP synthase**



La CRM à lieu dans la **membrane mitochondriale interne**.

Elle se compose de **4 complexes membranaires de transports d'e-**

Elle est liée par **2 transporteurs mobiles d'e-** :

- Le coenzyme Q
- Le cytochrome C

Cette chaîne permet le **transfert d'e- par des échanges successifs** entre **différents couples redox** qui sont réalisés au **sein des complexes** de cette CRM à partir d'un **donneur vers une accepteur**.

Ce **transfert d'e-** à travers les éléments de la CRM va entraîner la **formation d'un gradient de protons** à travers la **membrane interne de la matrice mitochondriale** vers l'**espace intermembranaire**.



C'est ce **gradient de protons qui s'accumule dans l'espace intermembranaire** qui est **utilisé en dernier pour la synthèse de l'ATP** par l'**ATP synthase**.

- La synthèse d'ATP est un système qui **fonctionne à flux tendu** (quasi pas de stock)
- L'ATP est très **peu stockée** dans la cellule mais **synthétisée continuellement en fonction des besoins cellulaires**.
- Ceci explique la **nécessité d'un système continu** et d'une **régulation fine** de la **phosphorylation oxydative** adaptée à chaque type cellulaire.

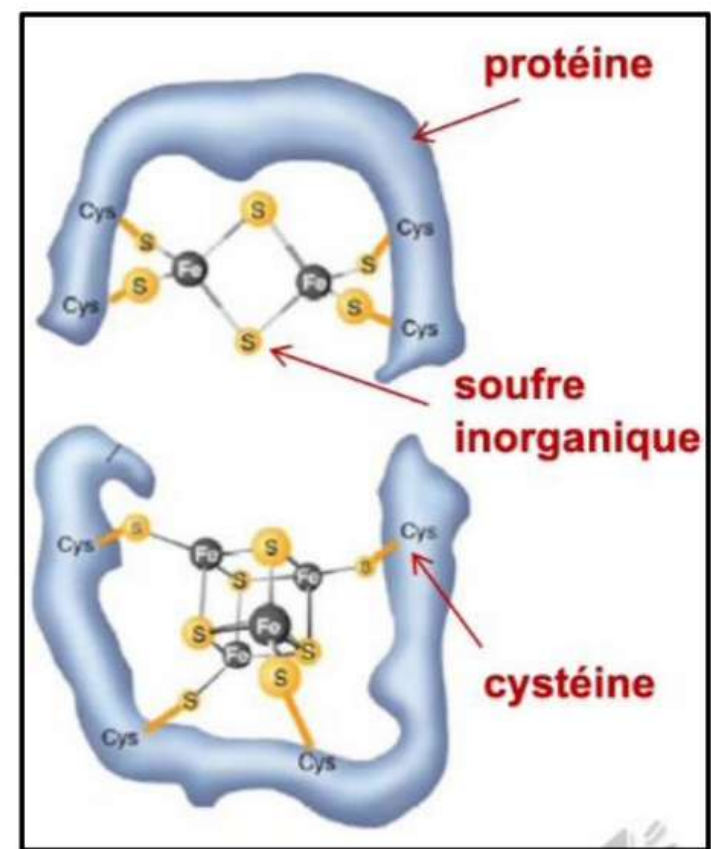
### III - Les protéines Fer-Soufre

Avant de parler des complexes de la CRM, on va tout d'abord parler des **protéines fer-soufre (= Fe-S)**.

Ce sont des groupements **prosthétiques** contenant des **atomes de  $\text{Fe}^{3+}$**  qui vont **acquérir un e- et passer à la forme de fer ferreux  $\text{Fe}^{2+}$**  .

Ces atomes de Fe sont liés à :

- Des atomes de **soufre élémentaires inorganiques**
- Des atomes de **soufre**
- Des **résidus de cystéines** des protéines auxquels ils appartiennent (*logique, la cystéine possède un atome de soufre*)



Il s'agit de **protéines non hémiques** car **le Fe n'est pas inclus** dans une structure de **type hème**  
Ces protéines sont des **intermédiaires** et permettent le **transfert d'e- depuis les complexes I et II** de la CRM **vers le coenzyme Q**

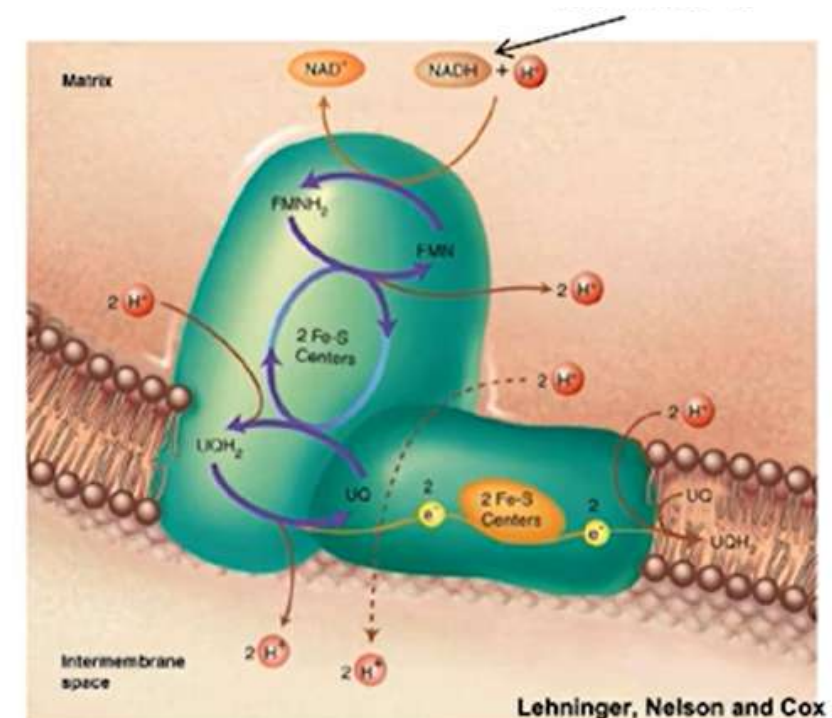
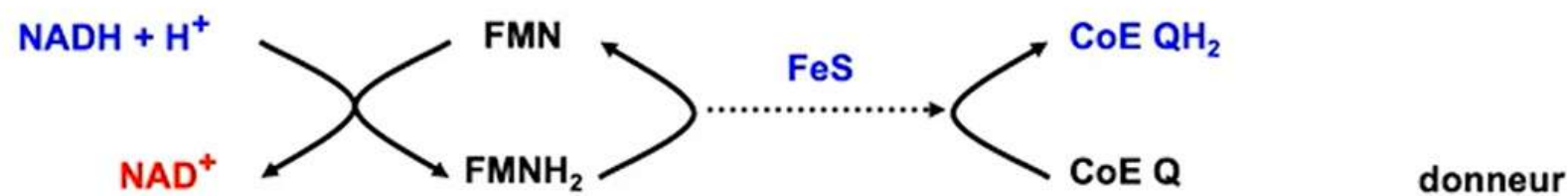
Il y a **autant d'atomes de Fe que d'atomes de S.**

Le soufre a pour fonction de **stabiliser le Fe par des liaisons de coordination** et le **transfert d'e-** se fait **grâce aux atomes de Fe** qui vont passer d'un **état ferrique Fe<sup>3+</sup> à un état ferreux Fe<sup>2+</sup>** (*Mémo : ferreux rime avec deux*)

## IV - Les complexes de la CRM

## COMPLEXE I : NADH UBIQUINONE RÉDUCTASE

**Catalyse le transfert des électrons du  $\text{NADH} + \text{H}^+$  à l'ubiquinone**



## 1 - Le complexe 1 - NADH ubiquinone réductase/déshydrogénase

Le premier complexe de la CRM permet la **réoxydation d'une molécule de NADH, H<sup>+</sup> en NAD<sup>+</sup>**.

Les e- sont **transférés de la molécule de NADH, H+** vers l'accepteur final qui est l'**ubiquinone (= coenzyme Q)** qui se retrouvera dans sa forme **réduite d'ubiquinol**.

Ce **passage n'est pas direct** : les e- sont d'abord transférés **sur une molécule de FMN** qui se retrouvera dans sa **forme réduite FMNH2** et ils seront ensuite transférés grâce à une **protéine Fe-S sur le coenzyme Q**

Structure protéine :	16 à 25 chaînes
Couple redox	→ FMN FeS
donneur e <sup>-</sup>	→ NADH + H <sup>+</sup>
accepteur e <sup>-</sup>	→ CoE Q (Ubiquinone)
fonction	→ Réductase
autre nom	→ NADH déshydrogénase

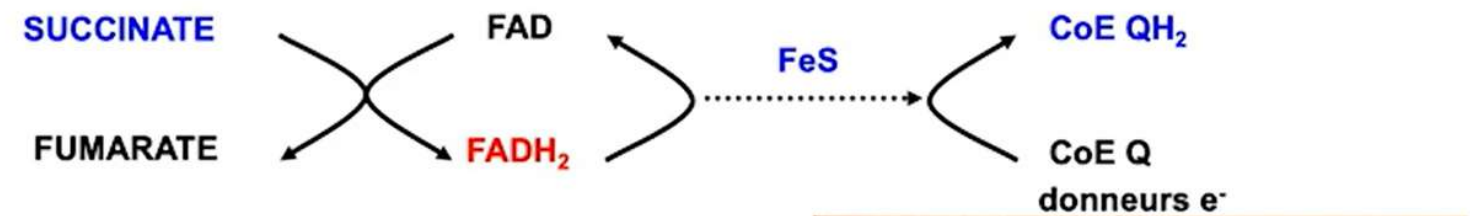
C'est une structure protéique qui comprend entre **16 et 25 chaînes**, ayant une **forme de L** avec une partie localisée dans la **MIM** (= membrane interne mitochondriale) et une partie qui se trouve **dans la matrice mitochondriale**

→ L'énergie qui est dégagée lors du **transfert d'e-** au niveau de ce complexe I de la CRM permet à **4 protons (H<sup>+</sup>) de s'accumuler dans l'espace intermembranaire**



COMPLEXE II : SUCCINATE UBIQUINONE RÉDUCTASE

Catalyse l'oxydation du succinate en fumarate



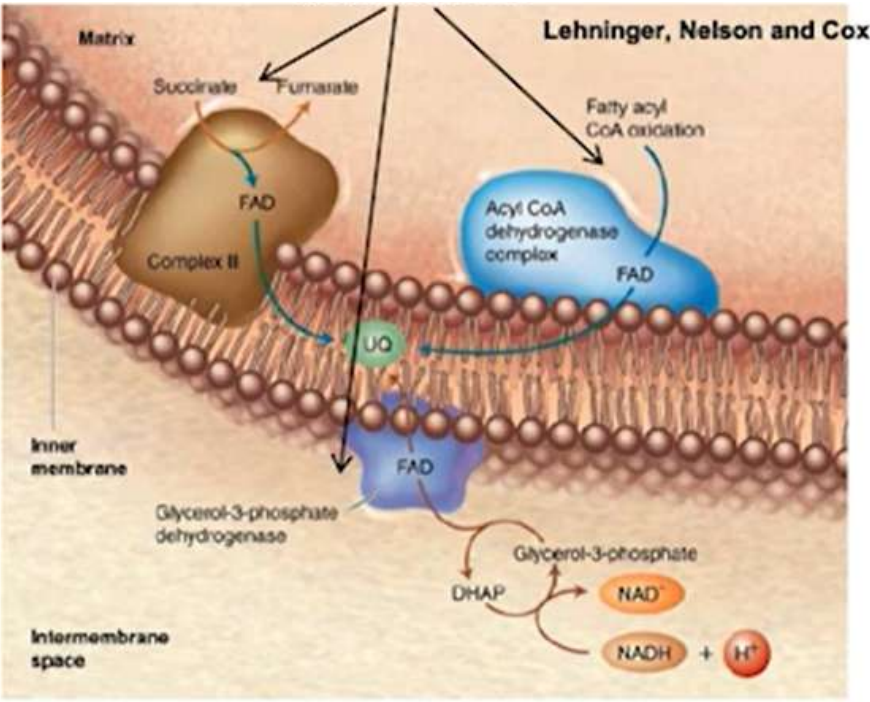
2 - Le complexe 2 - Succinate ubiquinone réductase

Le **complexe II** de la CRM catalyse l'**oxydation de succinate en fumarate**. Il s'agit donc de la **réaction qui appartient au cycle de Krebs** et qui est catalysée par la **succinate déshydrogénase (DH)**

C'est un **complexe protéique formé de 4 chaînes** qui fait intervenir le **FAD** comme **coenzyme** qui est **réduit dans un premier temps en FADH<sub>2</sub>**.

Il va ensuite transférer les e<sup>-</sup> sur des **protéines Fe-S** qui vont par la suite transférer les e<sup>-</sup> sur des molécules de **coenzyme Q** qui va se retrouver dans son état réduit **d'ubiquinol** (même accepteur d'e<sup>-</sup> que pour le complexe I)

→ Au niveau de ce complexe II, l'**énergie qui est dégagée** lors de ce transfert qui est donc catalysée par la **succinate ubiquinone réductase** (= succinate déshydrogénase) **NE PERMET PAS l'accumulation de protons au niveau de l'espace intermembranaire**. +++



Structure protéine : 4 chaînes

Couple redox	→	FAD / FeS
donneur e <sup>-</sup>	→	Succinate
accepteur e <sup>-</sup>	→	CoE Q (Ubiquinone)
fonction	→	Réductase
autre nom	→	Succinate déshydrogénase

Le **coenzymes Q réduit** qui a récupéré les e<sup>-</sup> en provenance du complexe I et II de la CRM peuvent diffuser à travers la membrane et amener ces **e<sup>-</sup> vers le complexe III**.

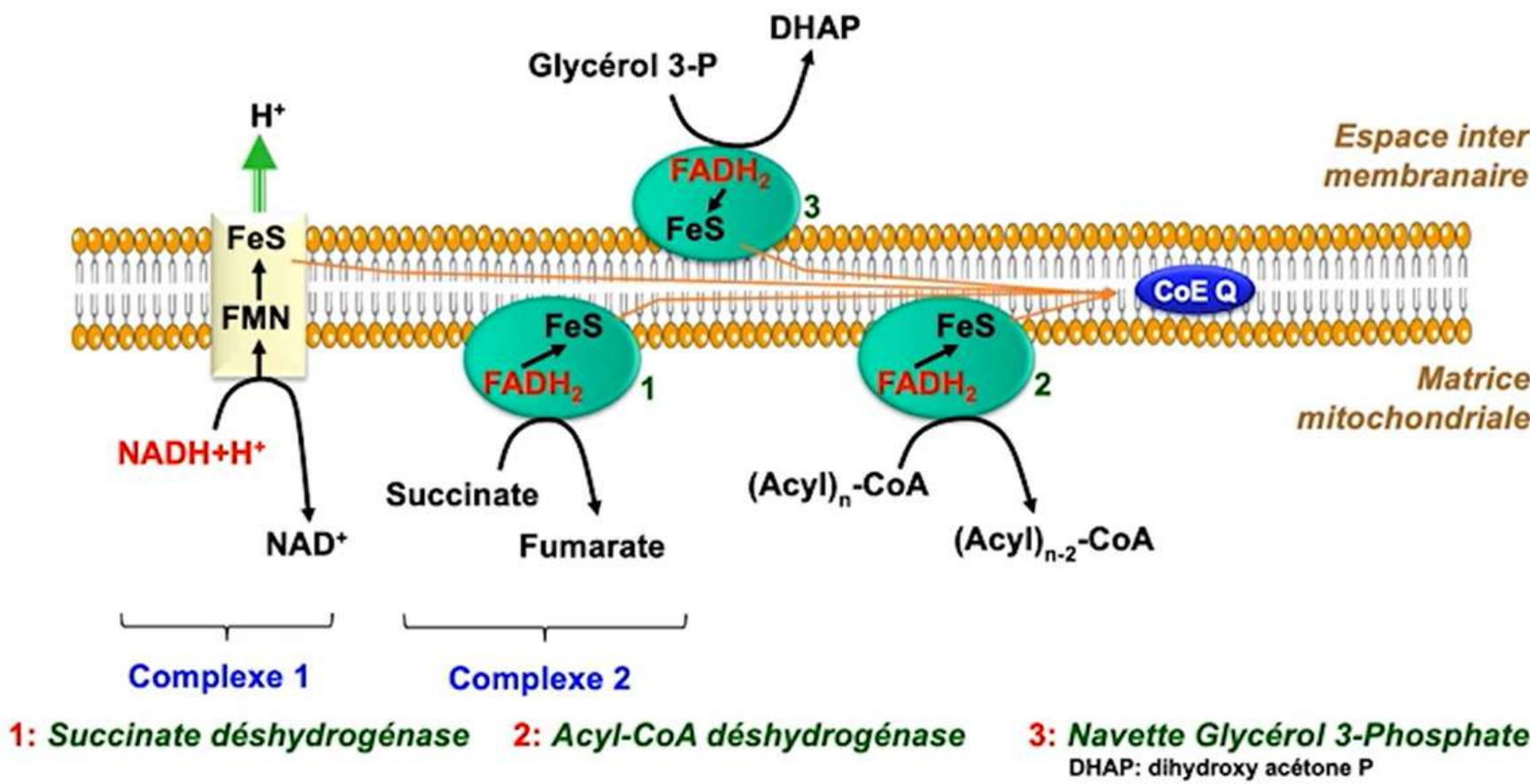
Le **coenzyme Q ubiquinone du complexe II** est également un **point d'entrée** d'éléments réduits tel que le **FADH<sub>2</sub>** et donc **des e<sup>-</sup>** au niveau de la CRM mais **sans passer par le complexe II**

→ En effet, la **1ère étape de la β-oxydation des AG** est catalysé par l'**acyl-CoA déshydrogénase** qui va **générer du FADH<sub>2</sub>** avec **transfert d'e<sup>-</sup> vers les centres Fe-S**.

→ Il y a aussi le **glycérol-3-P** formé dans la glycolyse ou par **hydrolyse des triglycérides** qui va **céder ses e<sup>-</sup> après transformation en DHAP** (= dihydroxyacétone-phosphate) par la **glycérol phosphate déshydrogénase** qui fonctionne aussi comme **transporteur du NADH, H<sup>+</sup>**.

Tout cela ainsi que **les e<sup>-</sup> qui proviennent du complexe I** vont arriver sur le **coenzyme Q** qui va se retrouver dans sa **forme réduite**, qui va **flotter sur la couche lipidique de la membrane mitochondriale** et qui va donc **permettre le passage d'e<sup>-</sup> au niveau du complexe III** et au niveau de ce complexe, il sera **réoxydé**. +++

Entrées dans la CRM





COMPLEXE III : UBIQUINONE CYTOCHROME C RÉDUCTASE

Catalyse le transfert des électrons au cytochrome C



3 - Le complexe 3 - Ubiquinone cytochrome C réductase

Au niveau du **complexe III** de la CRM, il y a le **transfert d'e-** à partir **d'ubiquinol** (= ubiquinone réduite) qui a récupéré les e- à partir du complexe I et du complexe II **vers le cytochrome C**.

Ce complexe est une **ubiquinone cytochrome C réductase** composé de **8 chaînes protéiques** et qui contient :

- Un cytochrome b
- Un cytochrome c1

Au niveau de ce complexe, les e- sont transférés **de l'ubiquinol** vers le **cytochrome C**. **L'ubiquinol** va retrouver sa forme **oxydée d'ubiquinone** et le **cytochrome C** va **récupérer des e-**

**L'ubiquinol** va pouvoir **transférer 2 e-**, alors que le cytochrome C peut acquérir **un seul e- à la fois**. Dans ce cas, il y a **un premier e-** qui est **transféré sur le cytochrome C1** et ensuite **sur le cytochrome C**. En attendant, **le 2ème e-** est transféré sur le **cytochrome b** et ensuite lorsque le **1er e-** aura rejoint le **cytochrome C**, le second e- passera sur le **cytochrome C1** puis sur le **cytochrome C**.

Le **cytochrome C** étant **mobile**, il pourra **transférer les e-** vers le **complexe IV** de la CRM  
→ Au niveau de ce complexe, le **gradient énergétique** qui se dégage par le transfert d'e- permet le **transfert des 2 protons au niveau de l'espace intermembranaire**. +++

COMPLEXE IV : CYTOCHROME C OXYDASE

Catalyse la réduction de O<sub>2</sub> par 4 électrons



4 - Le complexe 4 - cytochrome C oxydase

Dans le dernier complexe de la CRM, on a le **transfert d'e- sur l'O** : les e- qui proviennent du cytochrome C. Il s'agit d'une **cytochrome oxydase** dans laquelle **une molécule d'O est réduite avec 4 e-** pour **former 2 molécules d'H2O**. Ce complexe **contient des cytochromes a et a3** et des **atomes de cuivre**

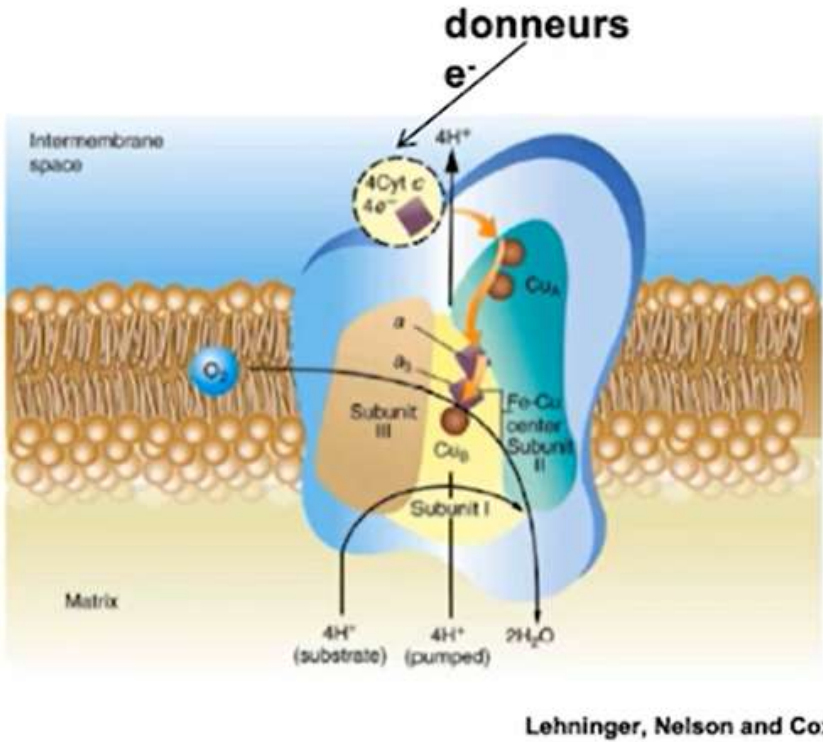
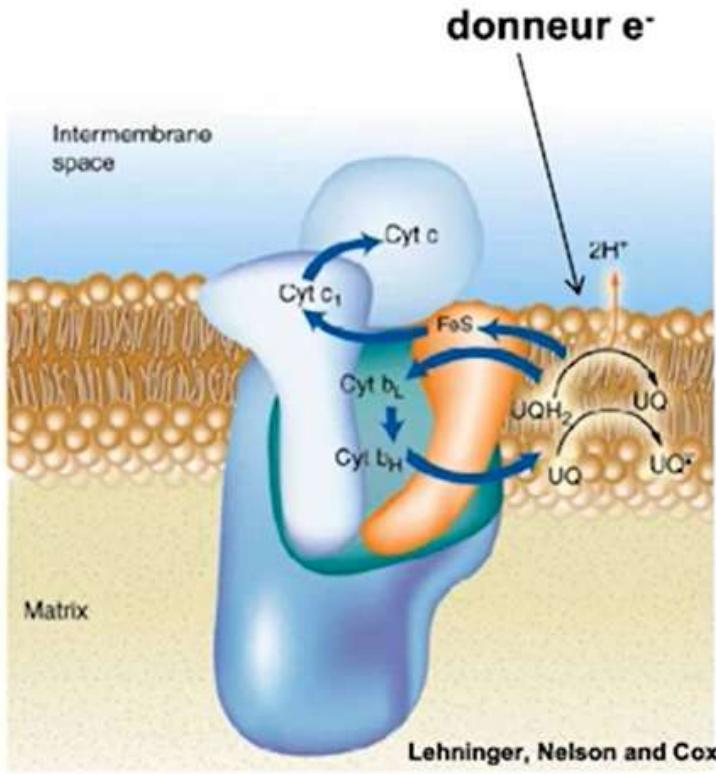
Les atomes passent **du Cu au cytochrome A** puis au **cytochrome a3** et enfin sur **l'Oxygène**. Lors de ce transfert d'e-, il y a également **4H+ qui vont être transférés** de la **matrice vers l'espace intermembranaire**.

Les e- se déplacent du système ayant **le potentiel le + négatif** (= le système le + réducteur) vers le système ayant **le potentiel le + positif** (dont le système le + oxydant).

**Les H+ eux traversent le MIM** et donc **s'accumulent dans l'espace intermembranaire** dans le **complexe I, III et IV** et vont donc entraîner une **différence chimique et électrique** entre les compartiments et c'est cette différence qui sera **utilisée pour la synthèse de l'ATP**.

Structure protéine : 7 chaînes

Couple redox	→	Cytochromes a, a3 et 2 Cu <sup>++</sup>
donneur e <sup>-</sup>	→	Cytochrome C
accepteur e <sup>-</sup>	→	Oxygène moléculaire
fonction	→	Oxydase
autre nom	→	Cytochrome oxydase





- Régulation de la CRM -

Il existe des **inhibiteurs qui bloquent la CRM** à différents niveaux et qui **empêchent le passage d’e-** vers les accepteurs successifs.  
Ces **inhibiteurs** sont utilisés dans des expériences pour comprendre **quel complexe est impliqué** par exemple dans une observation expérimentale donnée

- **Complexe I** :bloquée par la **roténone**
- **Complexe II** : **pas d’inhibiteur** spécifique
- **Complexe III** : bloqué par l’**antimycine A**
- **Complexe IV** (= cytochrome C oxydase) : peut être inhibé
- par le **cyanure** et le **monoxyde de carbone (CO)**

Complexes	Composants			Énergie	Inhibiteurs
	Complexes	Fe-S	Cytochromes		
C I	NADH déshydrogénase	oui	--	oui	roténone
C II	Succinate déshydrogénase	oui	--	non	--
C III	Ubiquinone cytochrome C réductase	oui	b ; c <sub>1</sub>	oui	Antimycine A
C IV	Cytochrome C oxydase	non	a ; a <sub>3</sub>	oui	CN ; CO

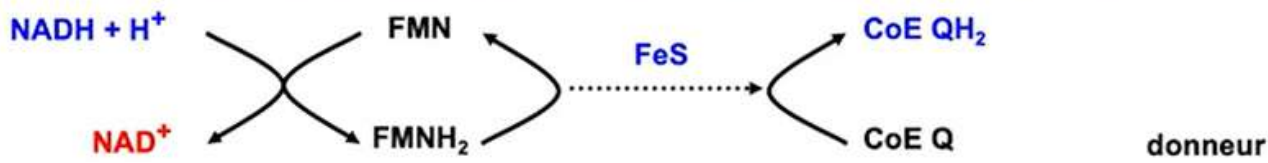
- Conclusion -

- Les réactions du **catabolisme cellulaire et le Cycle de Krebs** produisent des **éléments réducteurs** en particulier **NADH, H+ et FADH2**
- Le but de la CRM est la **réoxydation de ces 2 coenzymes réduits**
- Le transport des électrons du NADH, H+ et FADH2 **vers l’oxygène** (= accepteur **final**) se fait par des **échanges successifs entre différents couples rédox** réalisés au sein de **4 complexes de la MIM**.
- La CRM est couplée à un **transfert de protons H+** à travers la MIM (de la matrice vers l’EIM) qui va générer un **gradient de charges** et une **différence de pH** qui sera exploité pour la **synthèse d’ATP par l’ATP synthase**

- Récap -

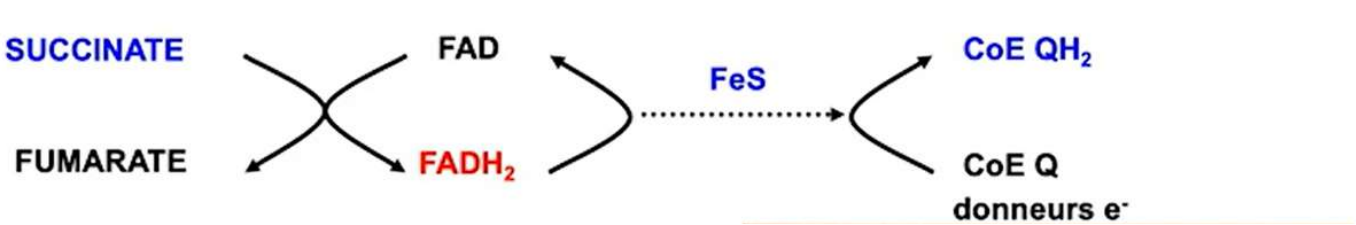
COMPLEXE I : NADH UBIQUINONE RÉDUCTASE

Catalyse le transfert des électrons du NADH + H<sup>+</sup> à l’ubiquinone



COMPLEXE II : SUCCINATE UBIQUINONE RÉDUCTASE

Catalyse l’oxydation du succinate en fumarate



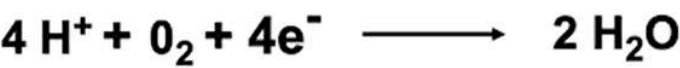
COMPLEXE III : UBIQUINONE CYTOCHROME C RÉDUCTASE

Catalyse le transfert des électrons au cytochrome C



COMPLEXE IV : CYTOCHROME C OXYDASE

Catalyse la réduction de O<sub>2</sub> par 4 électrons



Voilà, l'un des cours des plus sympa de la métabo, encore une fois complète sur les vidéos du prof.  
Faites plein de QCM pour vous entraîner, gros bisous, n'hésitez pas à venir me voir si vous avez un soucis