

1- La Mitochondrie

2- respiration aérobie

**3-La Respiration
anaérobie**

CHAPITRE VII
La
respiration
cellulaire

L'**oxygène** sur la planète terre

1^{ère} vie sur terre
(2 milliards d'années)



Atmosphère chargée de :
l'hydrogène moléculaire
(H₂), amoniac (NH₂) , H₂O



Organismes vivants en **anaérobie** , tel que
la glycolyse et la fermentation



En l'absence d'**oxygène** , les organismes utilisaient
une quantité limitée de l' **énergie** des substances
comestibles , ils n' étaient pas capables de
métaboliser les produits excrétés; comme l'acide
lactique et l' ethanol .



INTRODUCTION

Apparurent les
cyanobactéries



Les océans , lacs
et l'Atmosphère ,
se chargent de :
l'**O₂**



Organismes effectuant la
photosynthèse , avec clivage
des molécules d'eau et
libération d'**O₂**



Les organismes arrivent a incorporer l'**O₂** dans leur
métabolisme et deviennent capables d'oxyder les composés
organiques en CO₂ et H₂O



Se sont les 1ers aérobies terrestres ,
ancêtres de tous les procaryotes et
eucaryotes oxygène -dépendants



(E) Conservée ,
et convertie
augmente



La cellule eucaryote utilise de l'**oxygène** pour extraire
de l' **énergie** dans la mitochondrie

**1-1 Origine endo symbiotique
des mitochondries**

**1-2 caractéristiques
morphologiques et fonctionnels**

1-3 Ultrastructure

1-Mitochondrie

1-1 Origine endosymbiotique des mitochondries

théorie endosymbiotique ?



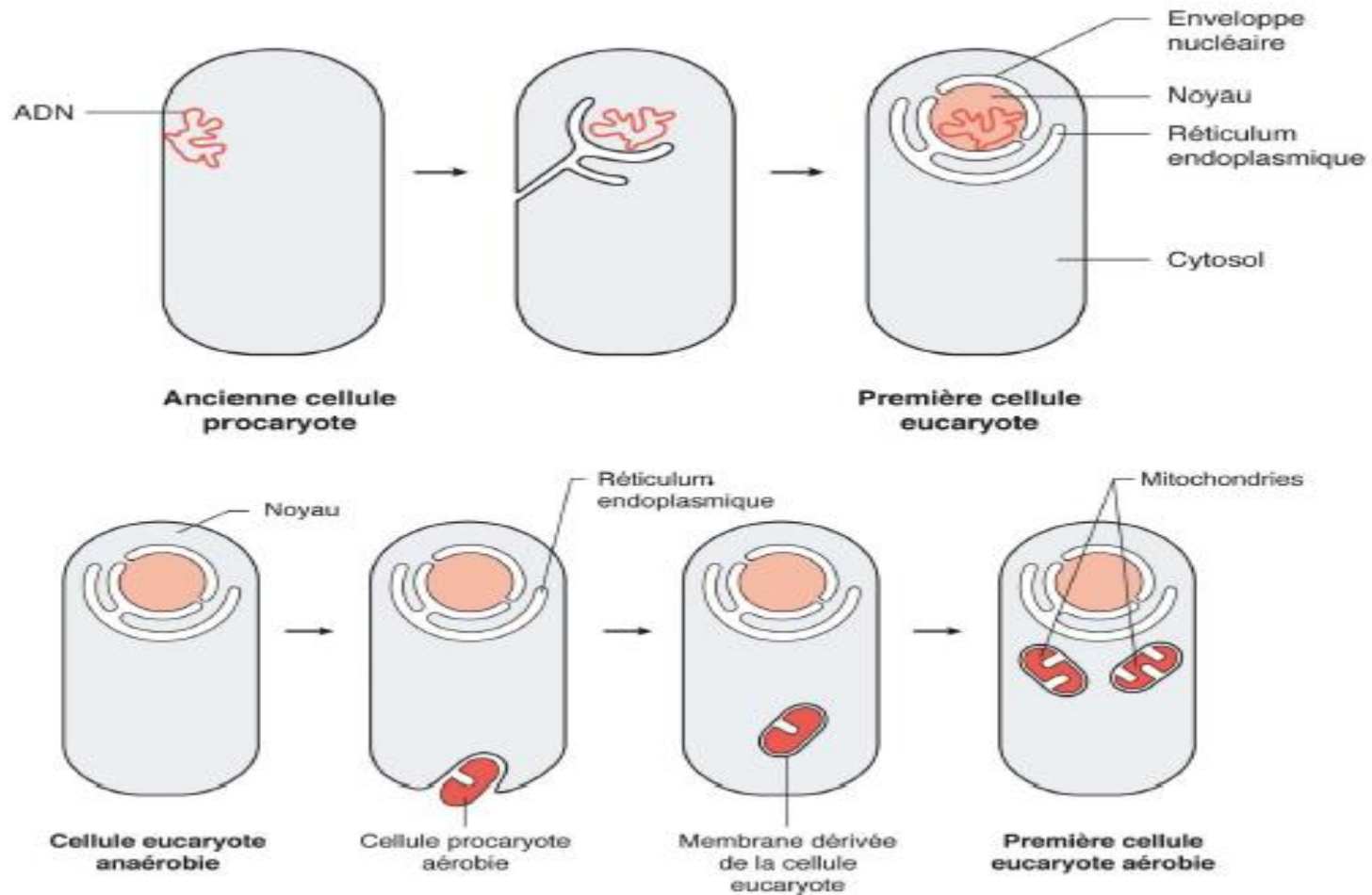
*les mitochondries sont d'anciennes cellules eubactériennes (proches des Protéobactéries) **internalisées** par endocytose qui sont devenues ensuite des structures cellulaires à part entière,*

Arguments ?

LES ARGUMENTS :

- **génom**e de ces organites de type **procaryote** : **ribosomes** et **gènes** permettent une activité propre de **synthèse protéique** ;
- Division de ces organites par **scissiparité**
- Nombreux **gènes en commun** avec des Eubactéries ;
- **Phylogénies moléculaires** (ARNr et autres) attestant l'origine eubactérienne ;
- Présence de **composés bactériens** au niveau de l'**enveloppe des mitochondries** (exemple de la **cardiolipine** dans la membrane interne qui assure l'étanchéité aux protons et se retrouve chez les Eubactéries).

1-1 La mitochondrie



Endosymbiose mitochondriale : un scénario. D'après SEGARRA et al. (2014)

Donc d'après cette théorie a permis de considérer
Les mitochondries des organites

semi-autonomes:



*Sont limités par une **enveloppe**,
possèdent leur propre **ADN** et dérivant
d'anciennes cellules procaryotes,*

*Les **polypeptides mitochondriaux** sont codés par
le **génomme nucléaire** mais elles sont tout de même
capables de synthèse protéique
et possèdent ainsi des **ribosomes**.*

1-La mitochondrie

1-2-1 taille , forme et distribution

1 -2-2 Mouvements

1-2-3 fonction

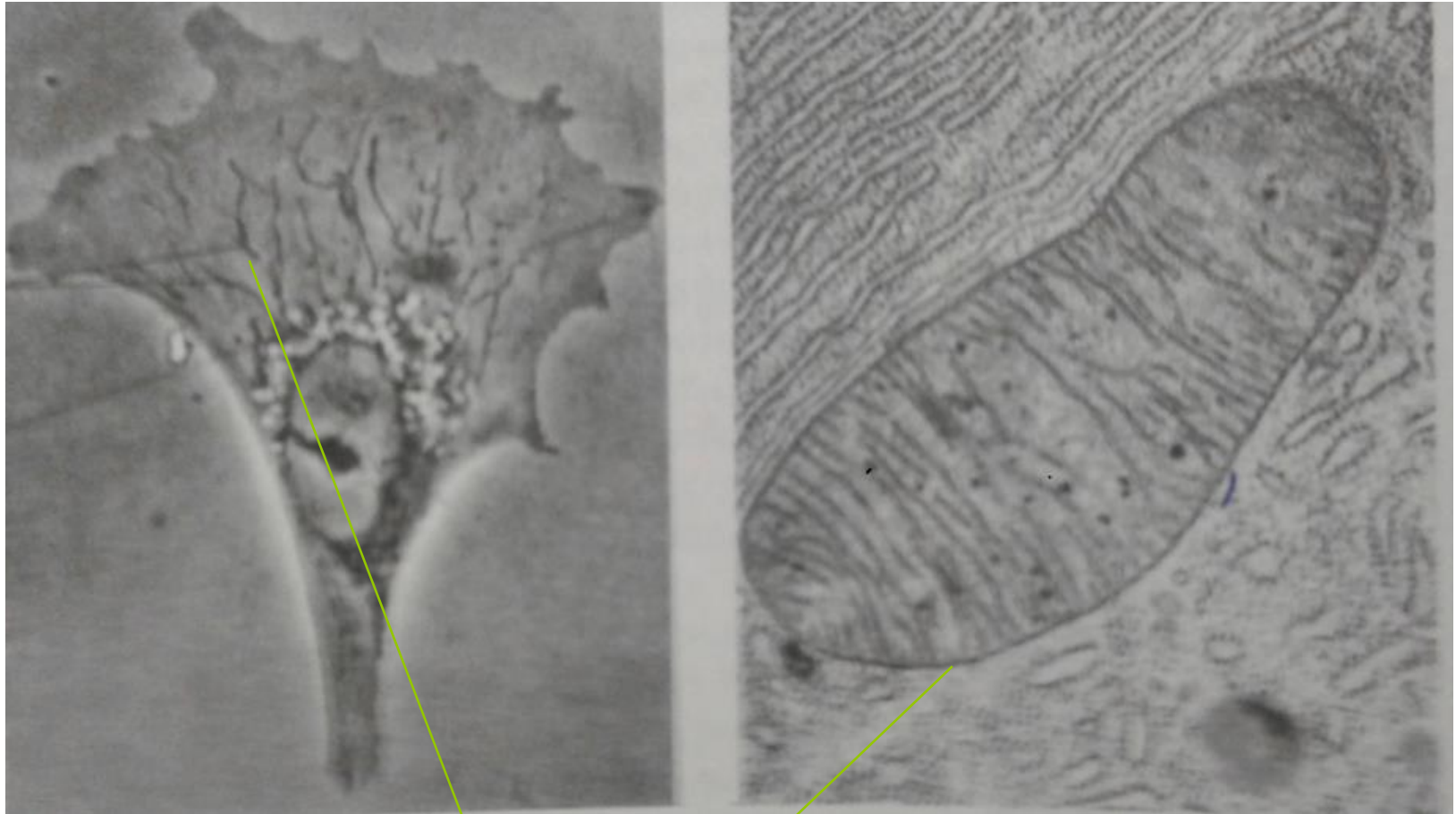
1-2 caractéristiques morphologiques et fonctionnels

1-2-1 taille , forme et distribution

De formes diverses :

- **Forme typique** : en **saucisse**, mesure 0,2 a 1,0 μm de diamètre en coupe transversale et 1 à 4 μm de long ,
- **Forme sphérique** : cellules embryonnaires
- **Forme en filaments** : fibroblastes

1-1La mitochondrie

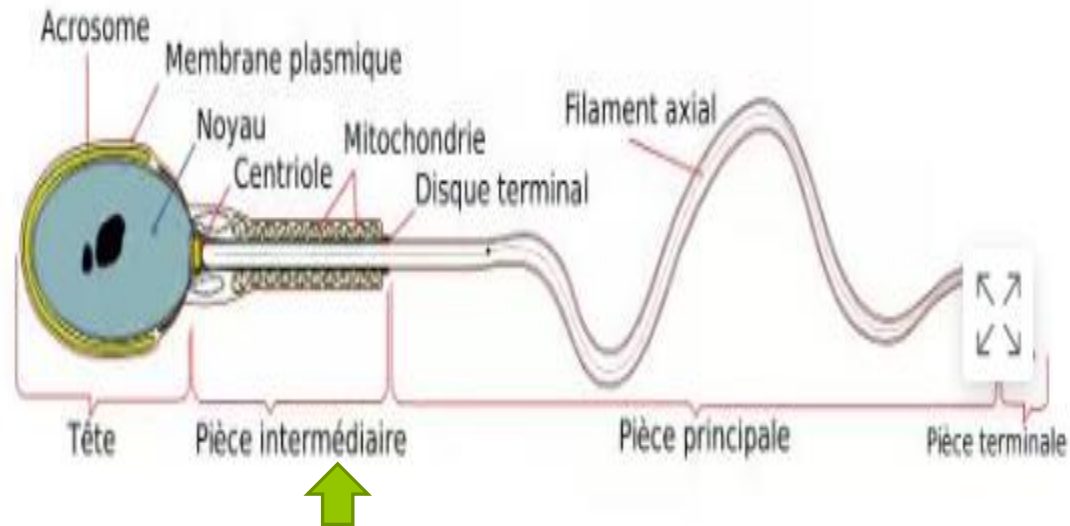


Fibroblaste

Hépatocyte

Mitochondrie

Dans la cellule d'un spermatozoïde, les mitochondries se concentrent dans la pièce intermédiaire de la cellule juste à l'arrière du noyau



**1-3-1 Membrane
externe**

**1-3-2 Membrane
interne**

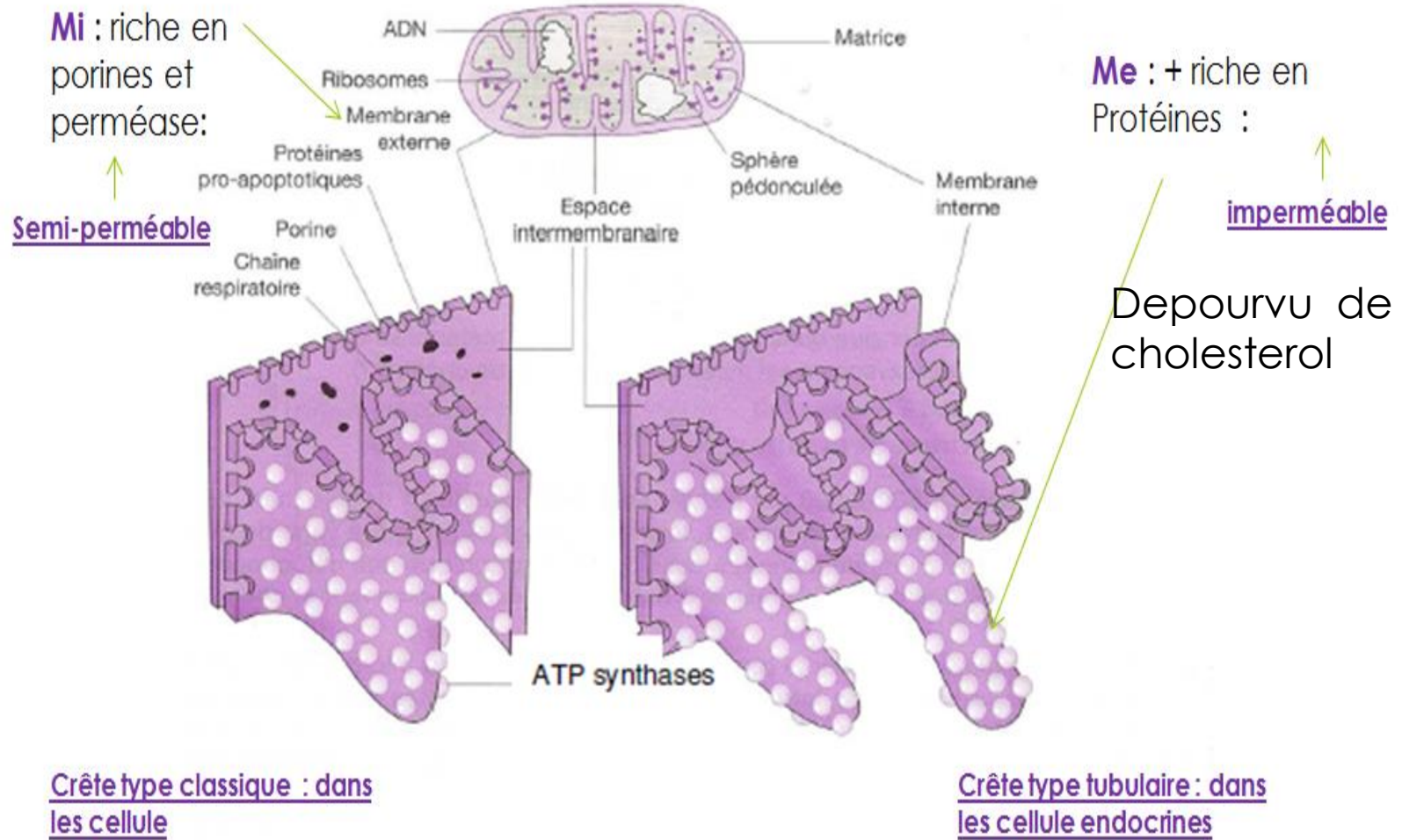
1-3-3 Matrice

1- La mitochondrie

1-3 ULTRASTRUCTURE

1- La mitochondrie

1-3 ultrastructure



Composition de la membrane externe

structure	fonction
<ul style="list-style-type: none">- protéines 60 %- lipides et cholestérol 40 -50 %-<u>transporteurs de protéines</u>- <u>Transporteurs de lipides</u>- <u>Pore de perméabilité</u>	<ul style="list-style-type: none">- Oxydation de l'<u>epinephrine</u> , dégradation du tryptophane, allongement des acides gras- TOM* : <u>translocase of the outer membrane</u> : transport des du cytosol vers la membrane interne ou matrice.- MAM** : transport des lipides du réticulum endoplasmique à la membrane.- Porines : VDAC*** : passage des anions et <u>cations</u> , pyruvate , acides gras et nucléotides.

TOM* : translocase of the outer membrane.

MAM** : mitochondria-associated membrane, zone de contact entre la mitochondrie et le réticulum.

VDAC*** : canaux voltages dépendants non spécifiques.

Composition de la membrane interne

- 20 % A 30 % de lipides.

70 % à 80 % de protéines

Transporteurs :

Transporteurs de protéines :

- Proviennent du réticulum.
- chaîne respiratoire
- H⁺/pyruvate translocase : symport du pyruvate et H⁺ à l'intérieur de la mitochondrie.
- ANT**** : antiport . (entrée de l'ADP et sortie de l'ATP)
- H⁺/H₂PO₄ : symport . (entrée du Pi)
- CACT***** : ; (transport d'acides gras)
- TIM : transport de protéines provenant de TOM qui sont dirigés vers la matrice ou la membrane interne.

ANT * : adénine nucléotide translocase

CACT** : carnitine –acylcarnitine translocase

TIM*** : translocase of the inner membrane.



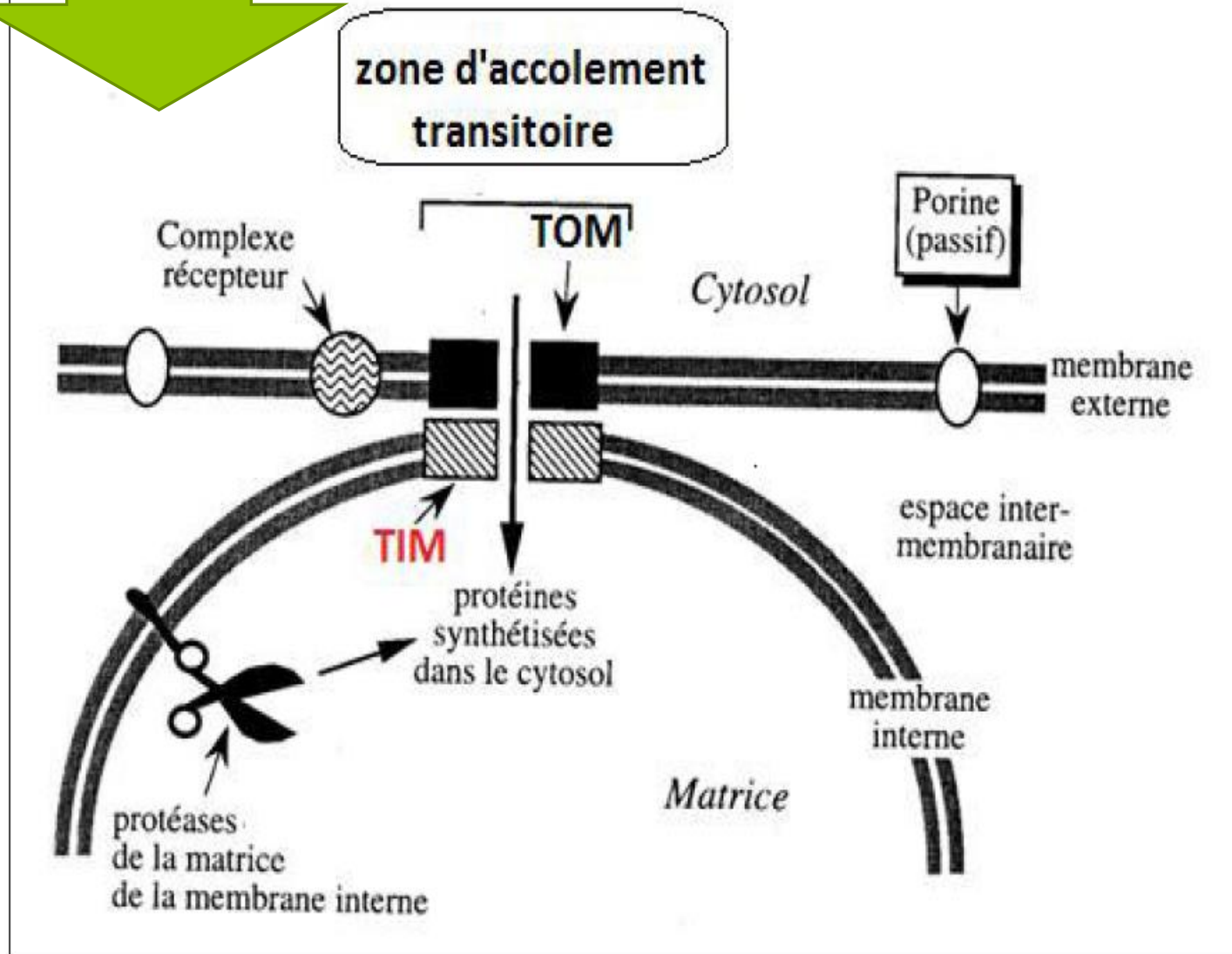


Fig.: localisation des transporteurs au niveau des membranes mitochondriales

2-1 Définition

**2-2 Devenir du sucre
dans l'organisme**

**2-3 Les précurseurs
énergétiques**

2-4 La glycolyse

**2-5 La chaîne
respiratoire**

La respiration cellulaire

**2- la respiration
aérobie**

2-1 Définition

La respiration **aérobie**, est une réaction chimique d'**oxydoréduction** qui fournit l'**énergie** vitale pour la cellule. Elle se fait par consommation d'**oxygène** par la cellule et rejet du **CO₂** . Dans l'organisme animale L'**oxygène** est introduit dans l'organisme par l'air puis extrait de la **ventilation pulmonaire**, c'est alors qu'il gagne la circulation **sanguine**, fixé sur l'**hémoglobine** des hématies (globules rouges) et atteint enfin la cellule. Le **carbone** provient essentiellement de la dégradation du glucose.

2-2 Devenir du sucre dans l'organisme

Le sucre le plus important au niveau cellulaire est le **D-glucose**,

Son hydrolyse progressive au sein des cellules permet de récupérer l'**énergie** contenue dans ses diverses liaisons, **énergie** chimique qui sera stockée dans la cellule sous forme d'**ATP**, ou adénosine triphosphate

2-2 Devenir du sucre dans l'organisme

L'**hydrolyse** du glucose étant intracellulaire, celui-ci doit nécessairement pénétrer à l'intérieur des cellules ; les différentes cellules de l'organisme se comportent différemment à ce propos :

Au niveau des **reins** et de l'**intestin** grêle le glucose pénètre dans les cellules sous forme d'un **transport actif**, Au niveau hépatique, il s'agit d'un transport **facilité** rapide. Au niveau des muscles et des adipocytes (ou cellules de graisse), on trouve un transport **facilité**, stimulé par l'**insuline** qui augmente l'affinité du transporteur pour le glucose.

2-3 Les précurseurs énergétiques

LE GLYCOGENE

Le glycogène = réserves glucidiques de la cellule.

LES ACIDES GRAS

Les acides gras sont apportés par l'alimentation ou proviennent des réserves du tissu adipeux sous-cutanées.

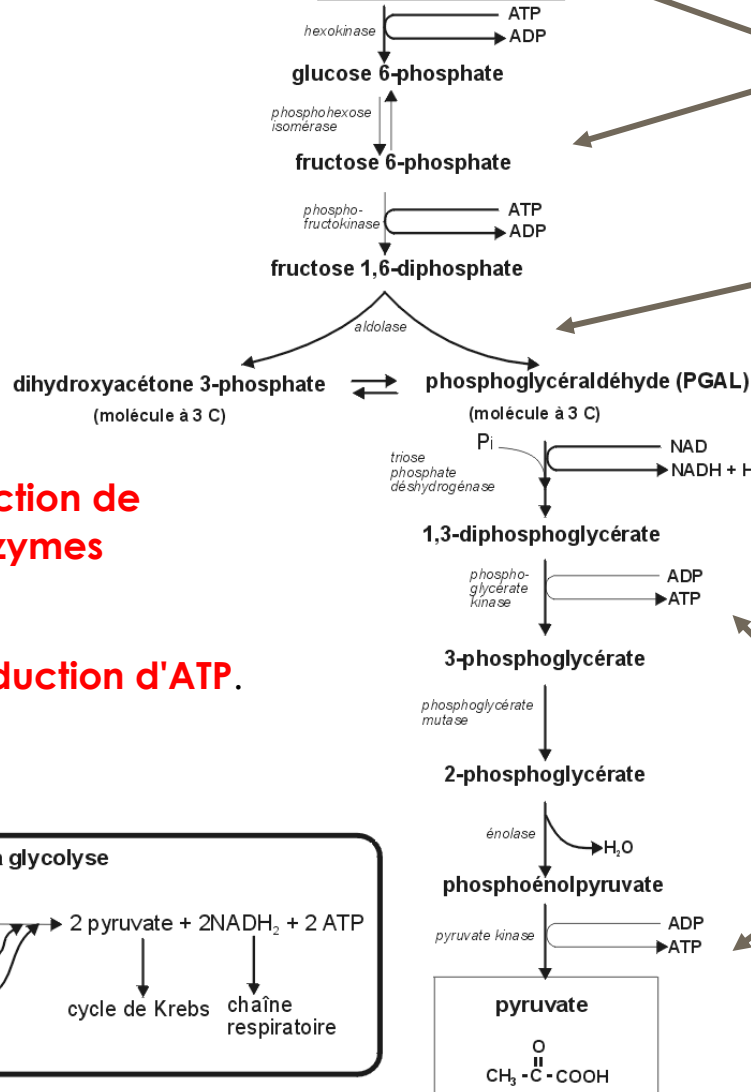
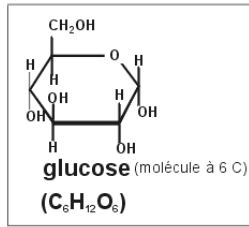
2- la respiration aérobie

2-4-1 Définition

2-4-2 Etapes de la glycolyse

2-4 La glycolyse

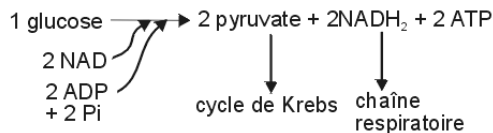
La glycolyse



réduction de
coenzymes

production d'ATP.

Bilan de la glycolyse



2 ATP consommés

Le glucose (C_6) est brisé en 2 molécules à 3C (PGAL)

2 H^+ et 2 électrons arrachés

4 ATP produits (2 pour chacun des 2 PGAL produits)

Le PGAL est transformé en pyruvate (C_3)

la respiration cellulaire = production de l'énergie par la mitochondrie

dans la mitochondrie, la transformation du **pyruvate** en présence de l'oxygène (O_2), va donner a la fin de :

- l' **énergie** sous forme de chaleur:
- de l'eau (H_2O),
- du **CO₂**
- et de l' **énergie** sous forme d'**ATP**

la chaleur sera évacuée par l'eau produite (liquide de refroidissement) = **sueur**

le **CO₂** est ramené aux poumons pour être évacué dans l'expiration

l'**ATP** sera produit est utilisé dans la cellule comme substrat énergétique

2- la respiration aérobie

2-5-1 Définition

2-5-2 Transfert d'électrons dans la chaîne respiratoire

2-5-3 Production de l'ATP par le complexe ATP SYNTHASE : ATPosome

2-5-3 Les Inhibiteurs de la chaîne respiratoire

2-5 La chaîne respiratoire

2-5-1 Définition

Système de transport d'électrons, au cours duquel les **couples d'électrons** sont liés et transférés par des transporteurs spécialisés (protéines membranaires). A fur et à mesure qu'ils sont transportés les **électrons** perdent leur énergie, au bout de la chaîne ils sont acceptés par l'**oxygène** (O_2) qui se combine avec les protons du milieu pour former l'eau. ($2H^+ + 2e + O_2 = H_2O$).

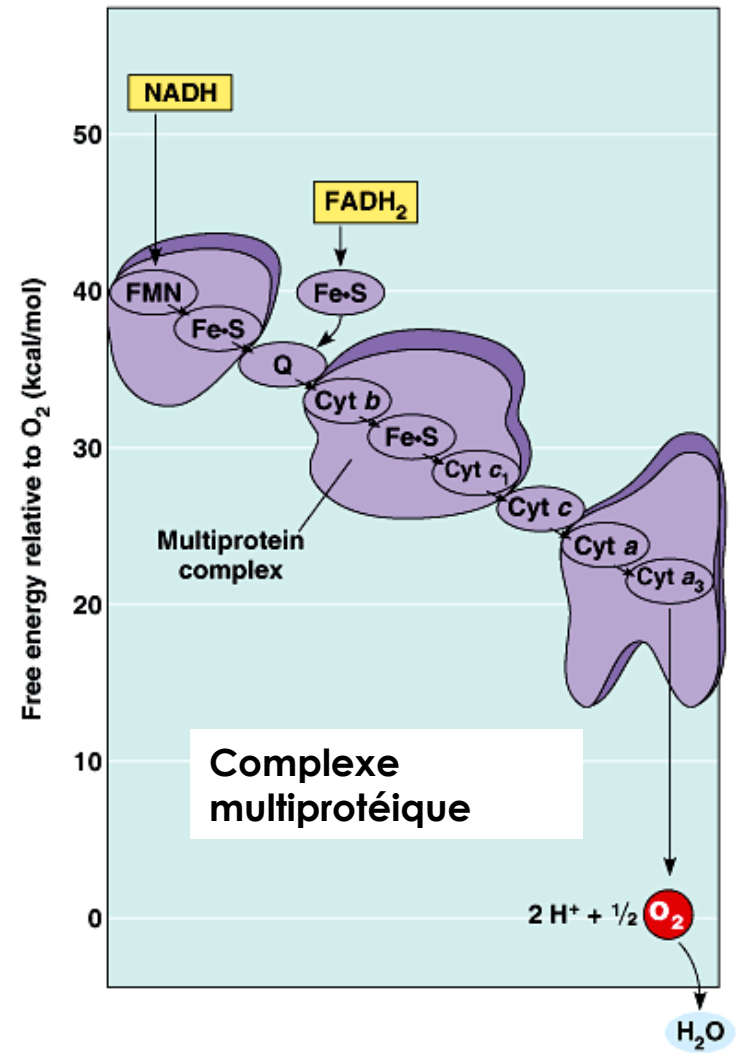
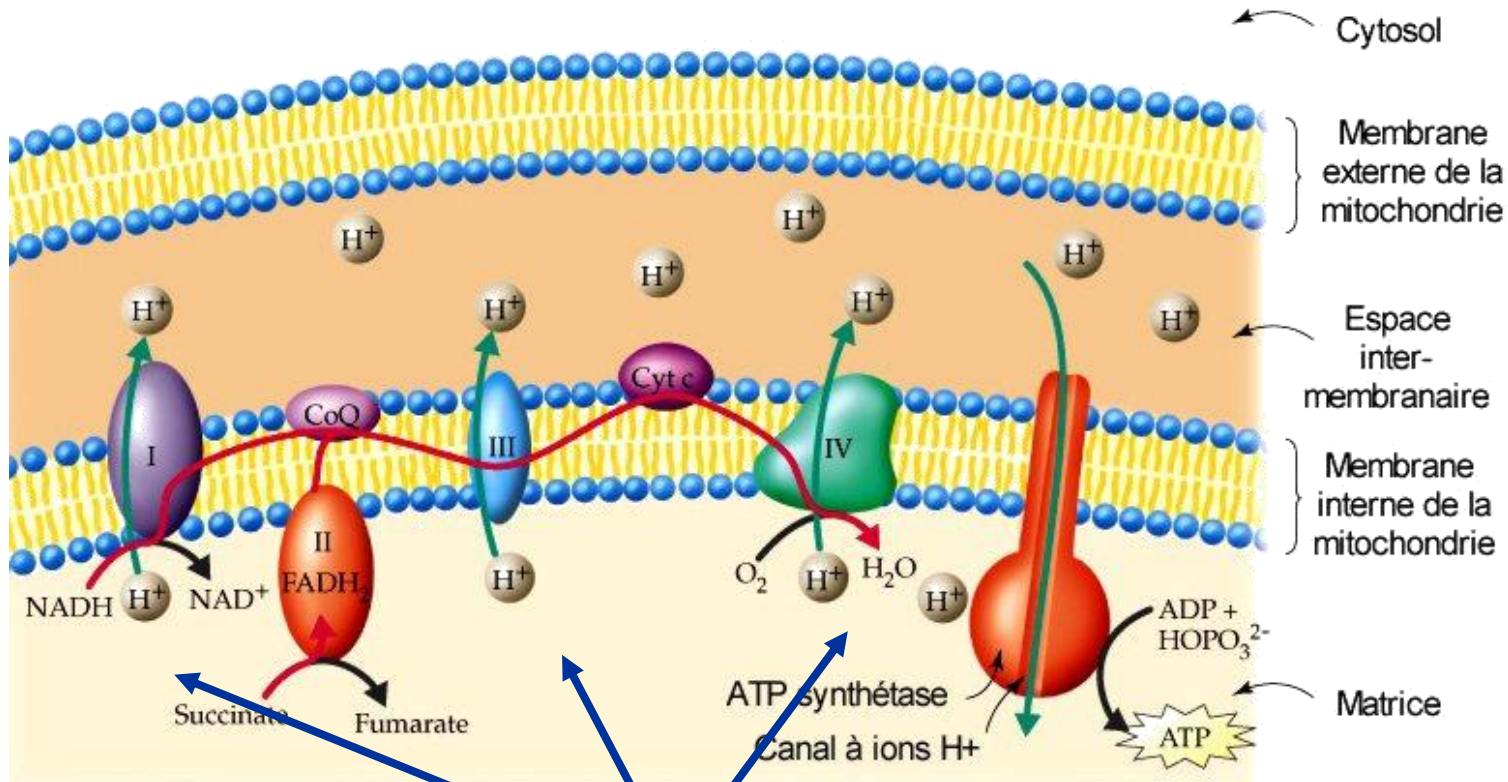


Fig.5: ordre énergétique dans la chaîne respiratoire

2-5 La chaîne respiratoire

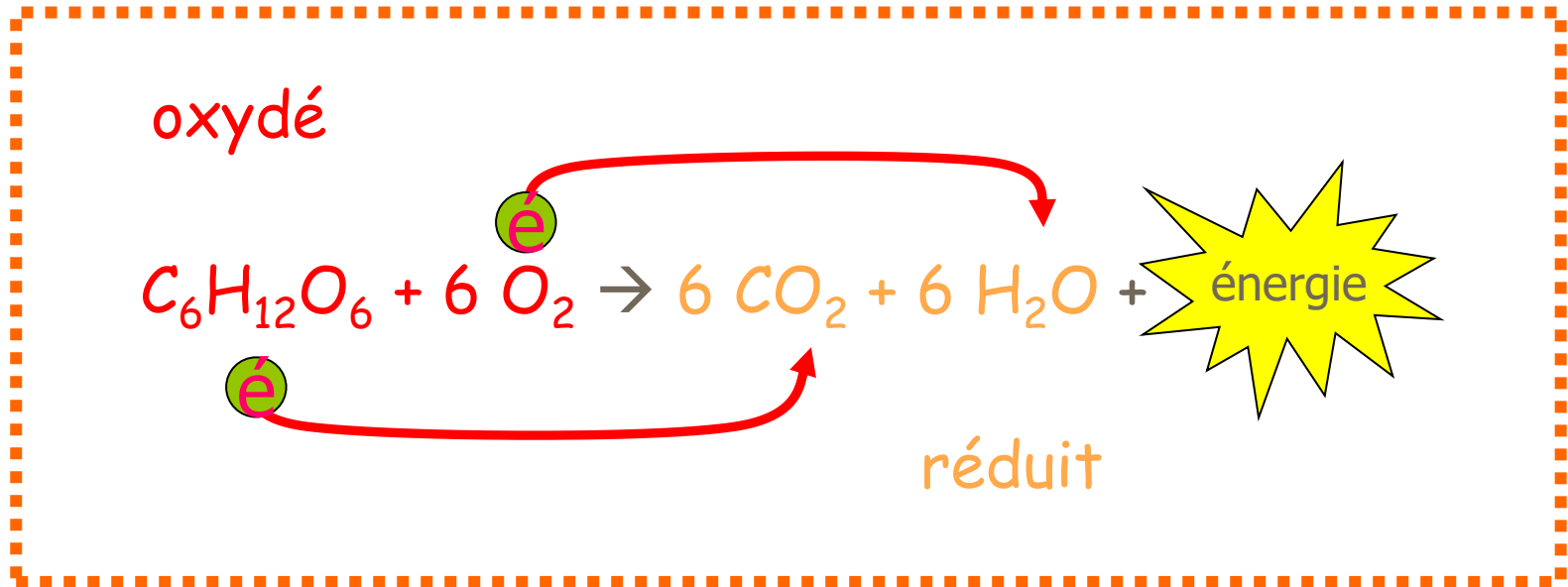


L'énergie provenant des **électrons** transférés sert à "pomper" des ions H^+ dans l'espace inter membranaire de la mitochondrie (entre la membrane externe et l'interne)

le transfert d'électrons se fait par des réactions d'oxydoréduction

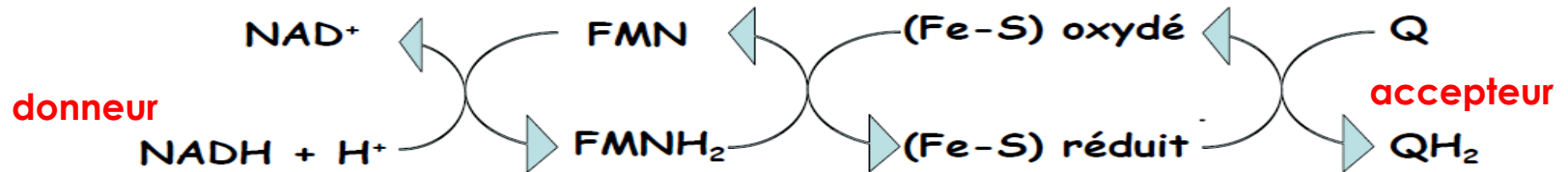
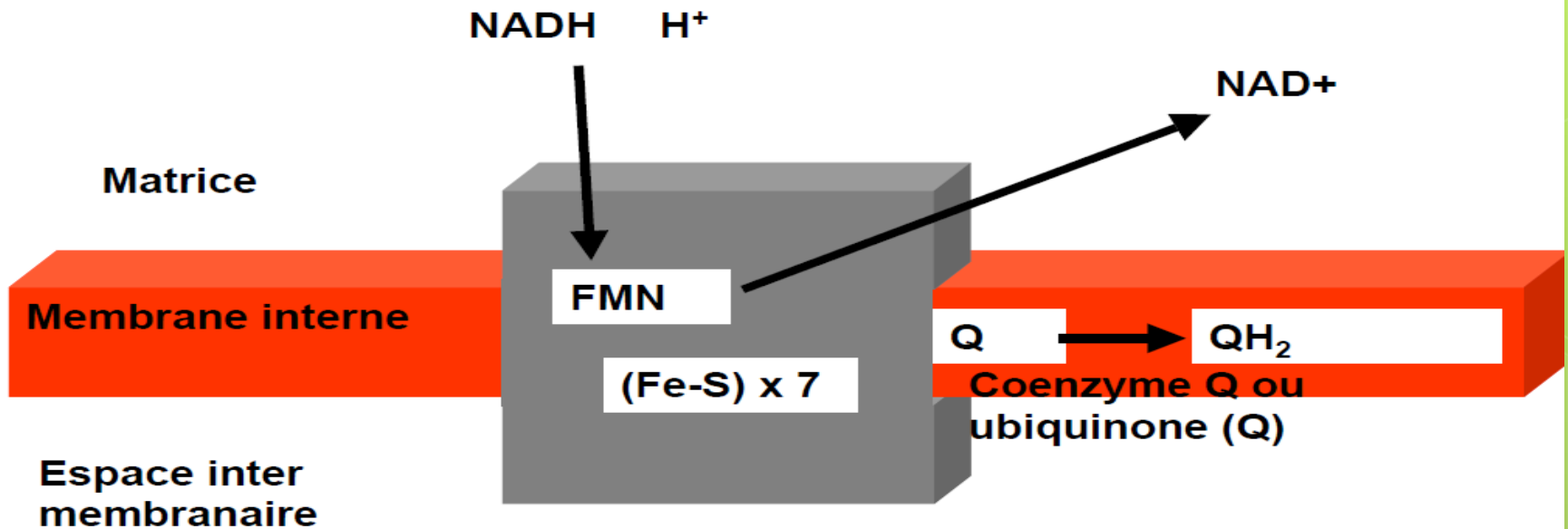
Réaction d'oxydoréduction

- Oxydation: perte d'é
- Réduction: gain d'é



2-5 La chaîne respiratoire

COMPLEXE I: NADH-coenzyme Q réductase

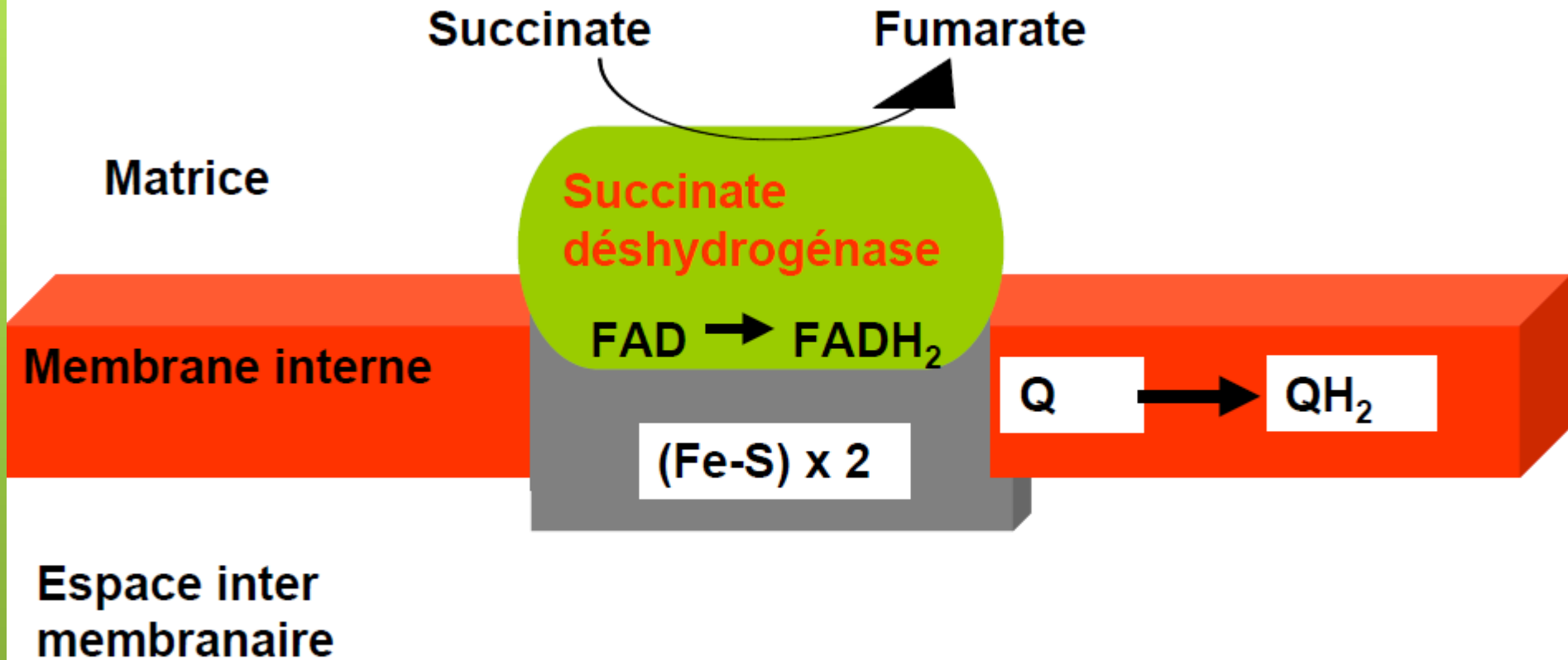


Fe 3+ est réduite en Fe2+

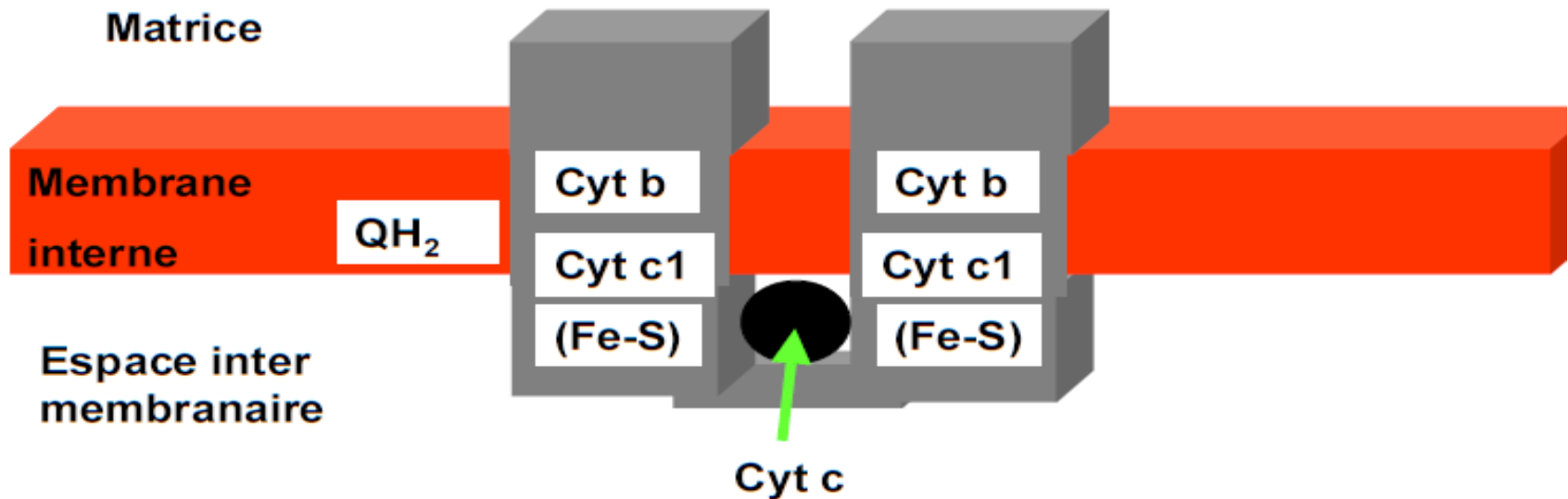
transfert de **2 électrons** entraîne le transfert de **4 H⁺** vers l'espace inter membranaire

$$\Delta G_0' = -16,6 \text{ Kcal/molle}$$

COMPLEXE II: succinate-coenzyme Q réductase



COMPLEXE III: coenzyme Q- cytochrome C réductase



transfert de **2 électrons** entraîne le transfert de **4 H⁺** vers l'espace inter membranaire

$$\Delta G_0' = -8,5 \text{ Kcal/molCytbH}$$

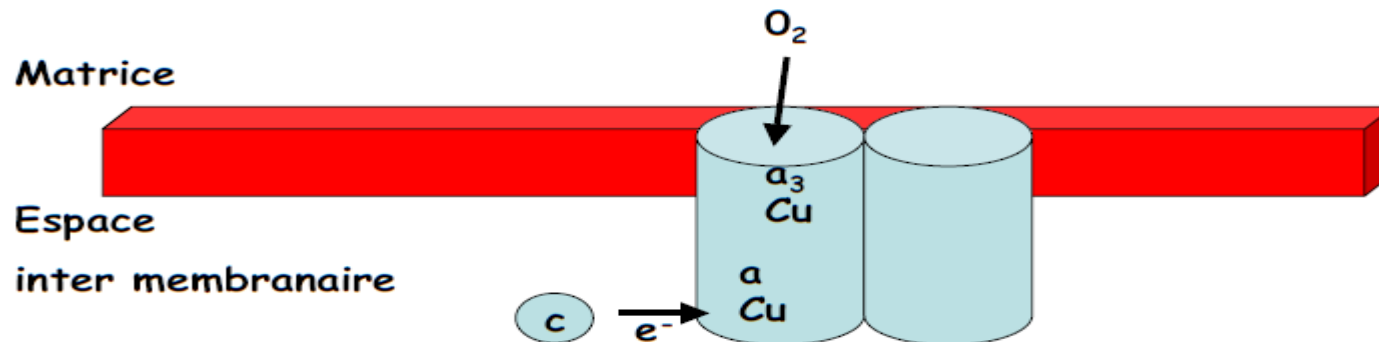
2-5 La chaîne respiratoire

La cytochrome oxydase ou complexe IV

Le dernier complexe de la chaîne respiratoire mitochondriale
2 moitiés identiques

Dans chaque moitié, 2 cytochromes a et a₃ contenant chacun un atome de cuivre

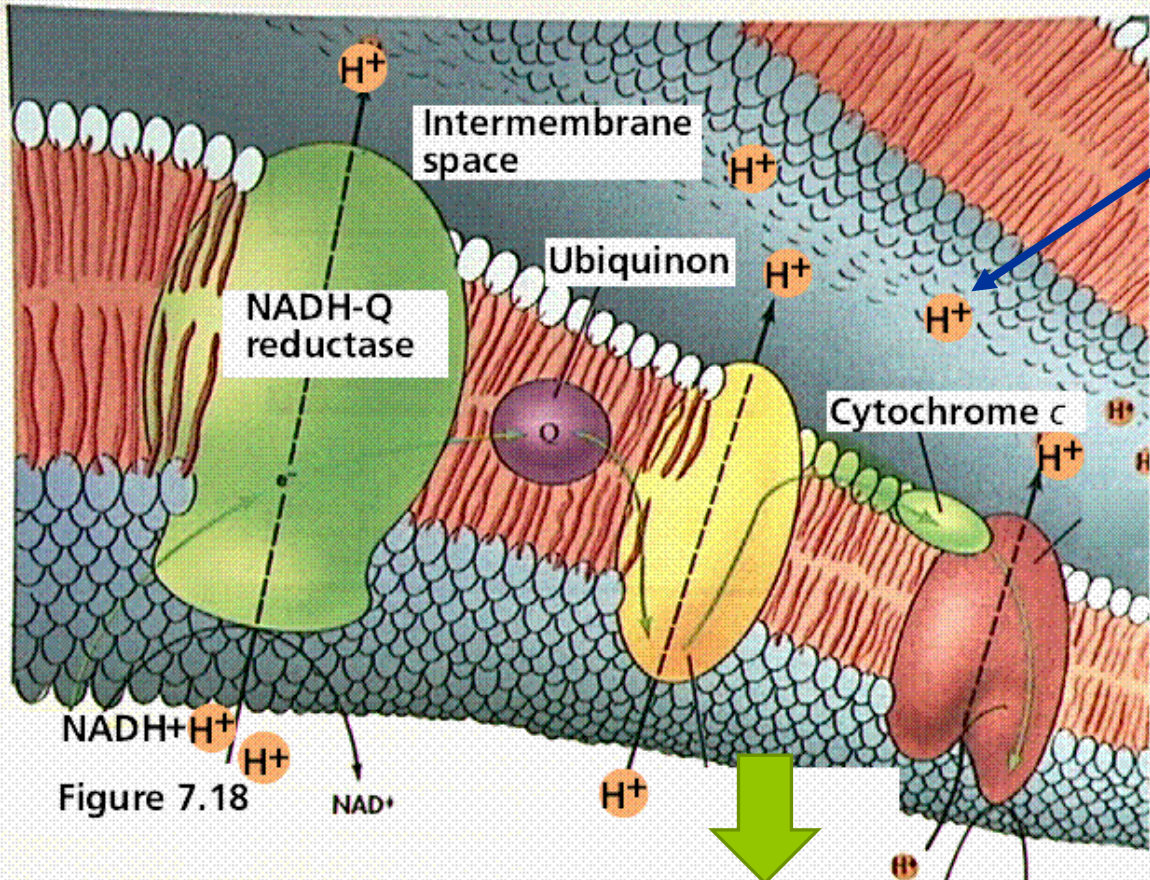
Sert au transfert des électrons du cytochrome c à l'oxygène ayant diffusé dans la matrice



Le transfert de 2 **électrons** entraîne le transfert de 4 **protons** vers l'espace inter membranaire , dont 2 sont utilisés pour la formation d'une molécule d'eau .

$$\Delta G_0' = -26,7 \text{ Kcal/mol}$$

Formation d'un gradient électrochimique au cours du transfert d' e^-



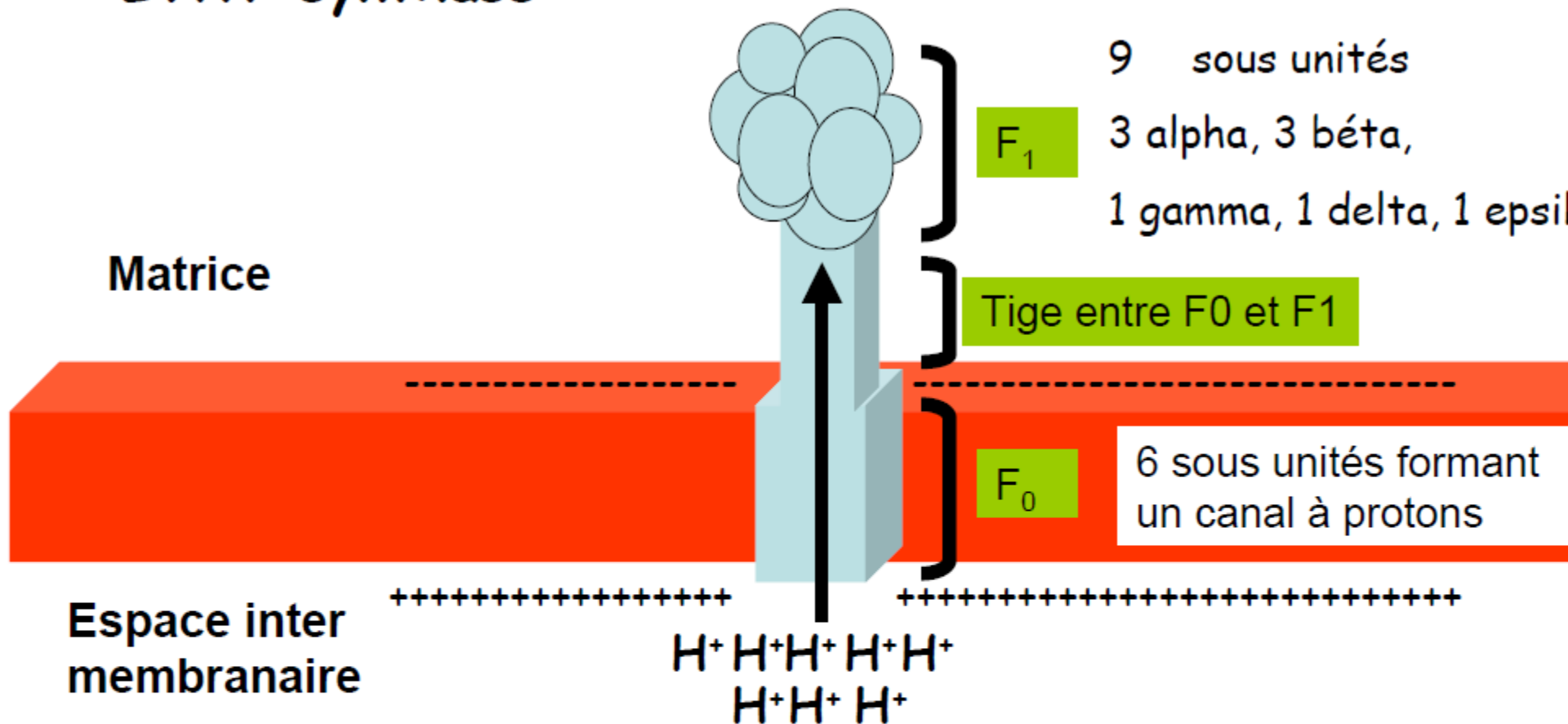
Accumulation de H^+ dans l'espace intermembranaire

Gradient de concentration de H^+ (plus acide).
 ΔpH de -1,4 unité (entre matrice et espace intermembranaire)

Création d'une DDP

Gradient électrique : un côté de la membrane devient positif (accumulation d'ions +) et l'autre, négatif (déficit en ions + par rapport aux ions -).

L'ATP synthase



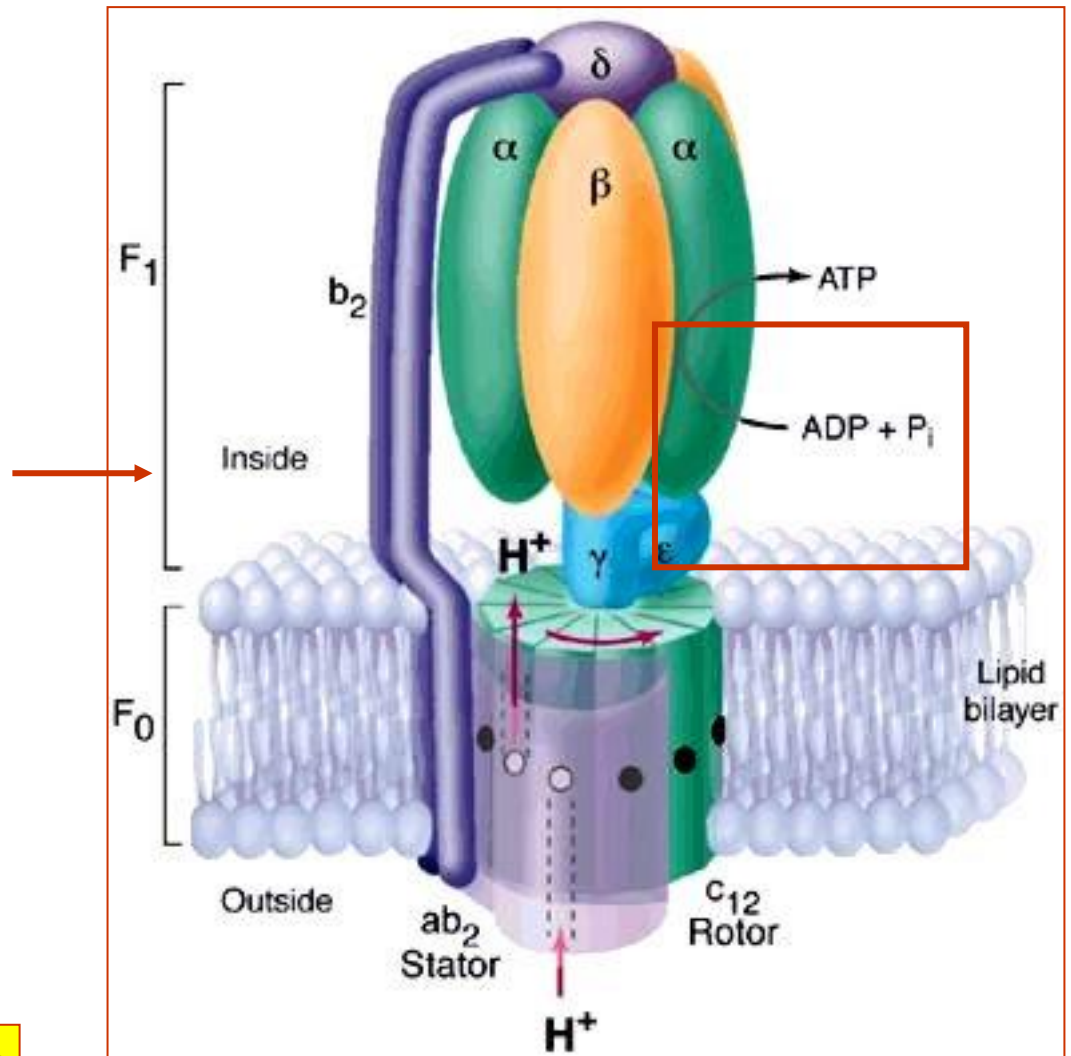
L'ATP synthase ou ATPase sert à synthétiser l'ATP

Elle est constituée de 2 parties: F₀ et F₁, d'où son nom de F₀-F₁ ATPase

Le potentiel de membrane positif conduit à une concentration locale élevée de protons au niveau du canal F₀

Complexe ATPsynthase

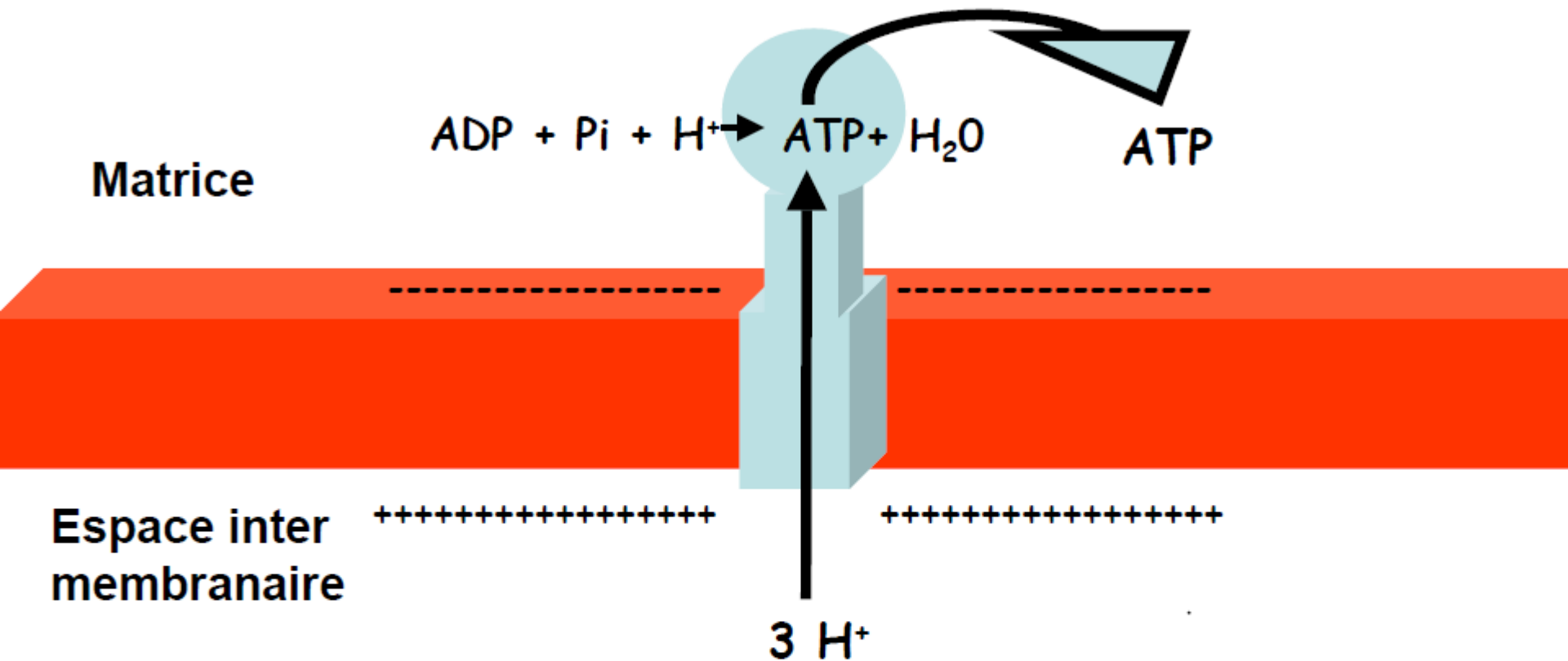
Matrice



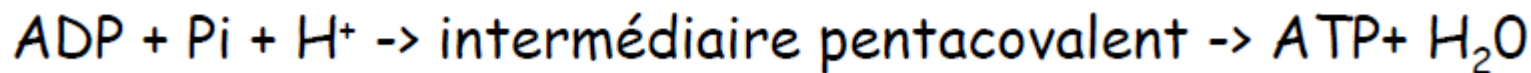
Espace intermembranaire

Fig.6: structure du complexe ATPsynthase

Comment l'ATP est synthétisé?

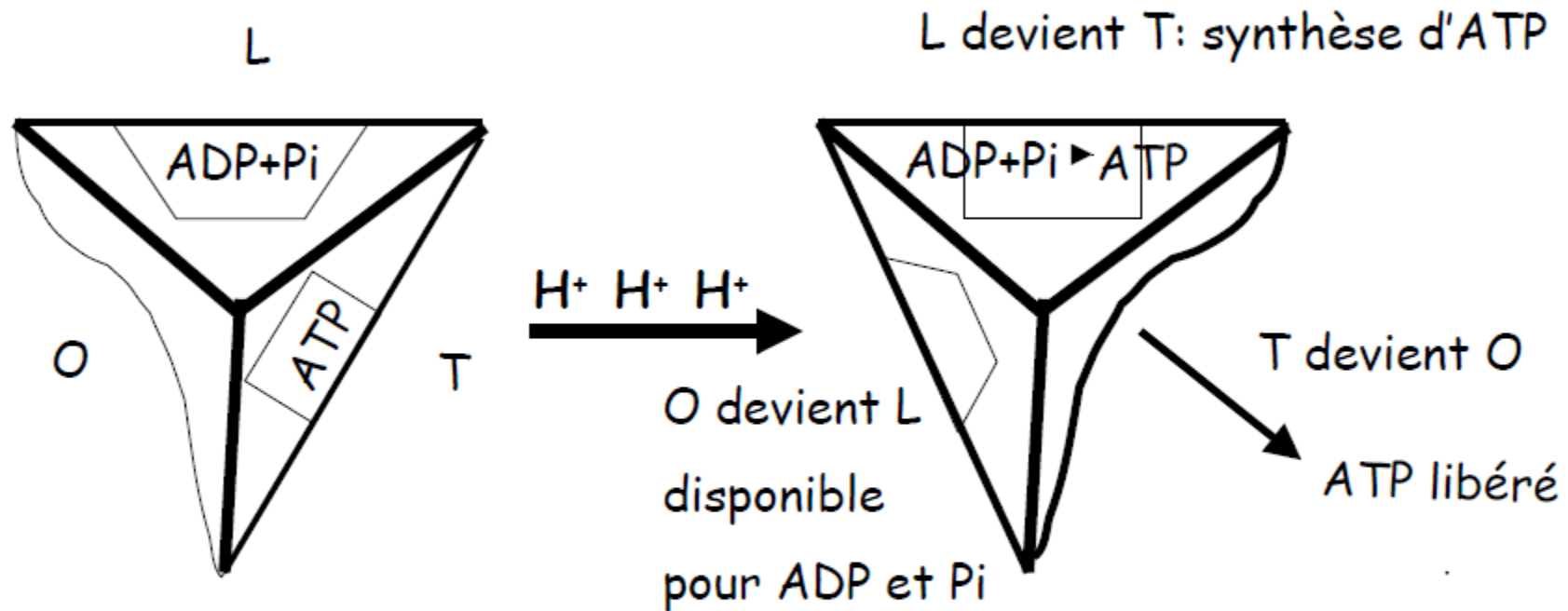


Les sous-unités béta de F₁ synthétisent l'ATP:



Le flux de protons libère l'ATP de la synthase : 3 H⁺ pour libérer un ATP

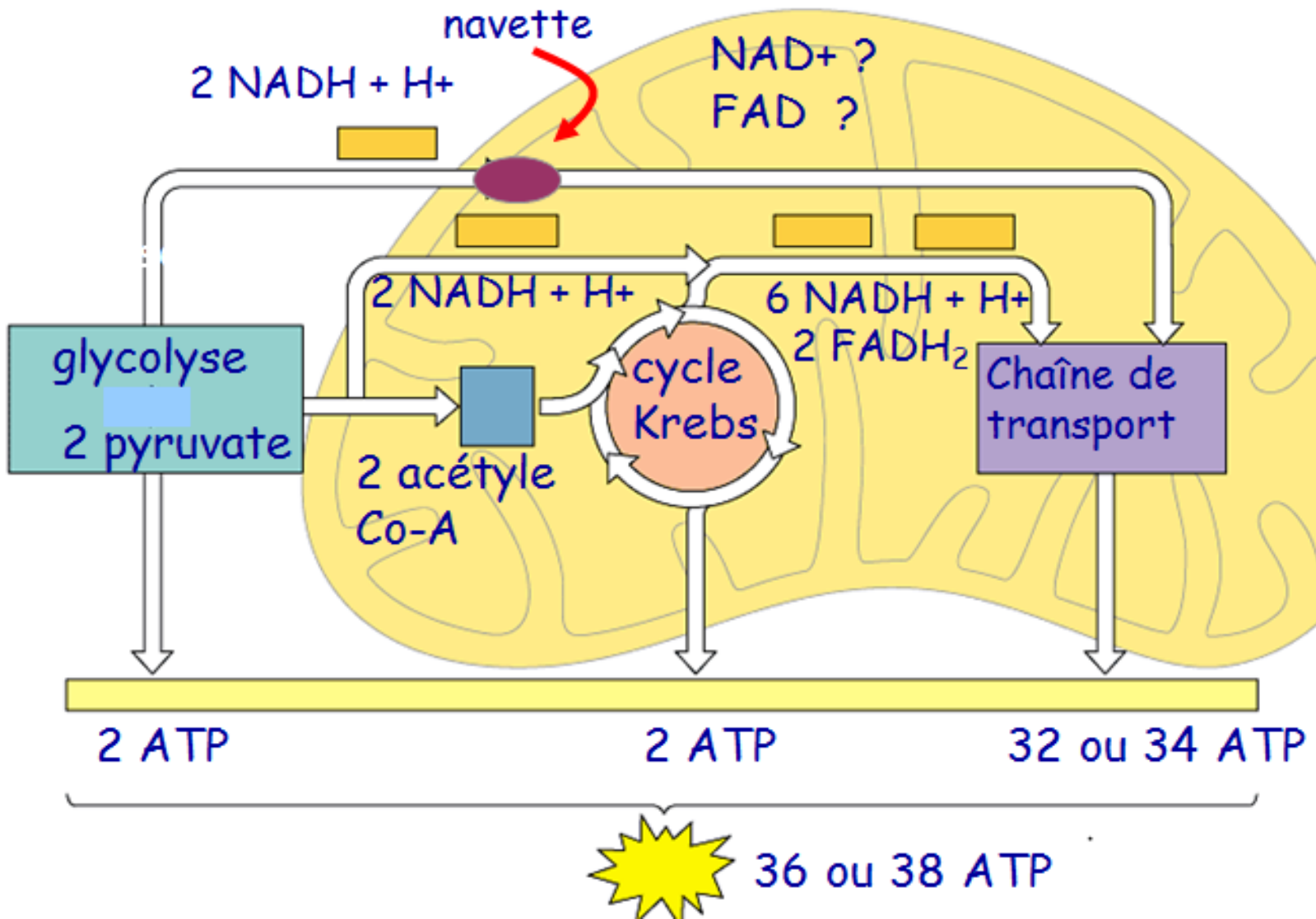
Mécanisme de la libération de l'ATP par la synthase



Les 3 sous-unités bêta ont des conformations différentes

L'énergie fournie par le flux de protons convertit les 3 sous-unités bêta : T en O, O en L, L en T

BILAN DE LA R. A EROBIE



**INHIBITEURS DE LA CYTOCHROME
OXYDASE (COMPLEXE IV)**

**INHIBITEURS DE LA
PHOSPHORYLATION**

HOMEOSTASIE THERMIQUE

2-5 La chaine respiratoire

2-5-3 Les Inhibiteurs de la chaine respiratoire

INHIBITEURS DE LA CYTOCHROME OXYDASE (COMPLEXE IV)

Inhibiteurs se fixant sur le Fe²⁺ :

- Le monoxyde de carbone (CO) qui inhibe la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine , Il possède une affinité 250 fois plus grande que l'oxygène sur l'hémoglobine (inhibiteur compétitif) et 40 fois plus grande pour la cytochrome oxydase que l'oxygène .
- Le SH₂ (hydrogène sulfuré) .

Inhibiteurs se fixant sur le Fe³⁺ :

- Le cyanure : bloque le passage des électrons du cytochrome a₃ (un des transporteurs d'électrons de la membrane) à l'oxygène.

INHIBITEURS DE LA PHOSPHORYLATION

Ce sont des agents **découplant**, ils permettent l'oxydoréduction mais pas la synthèse d'ATP, car ils agissent sur **l'ATP synthase** :

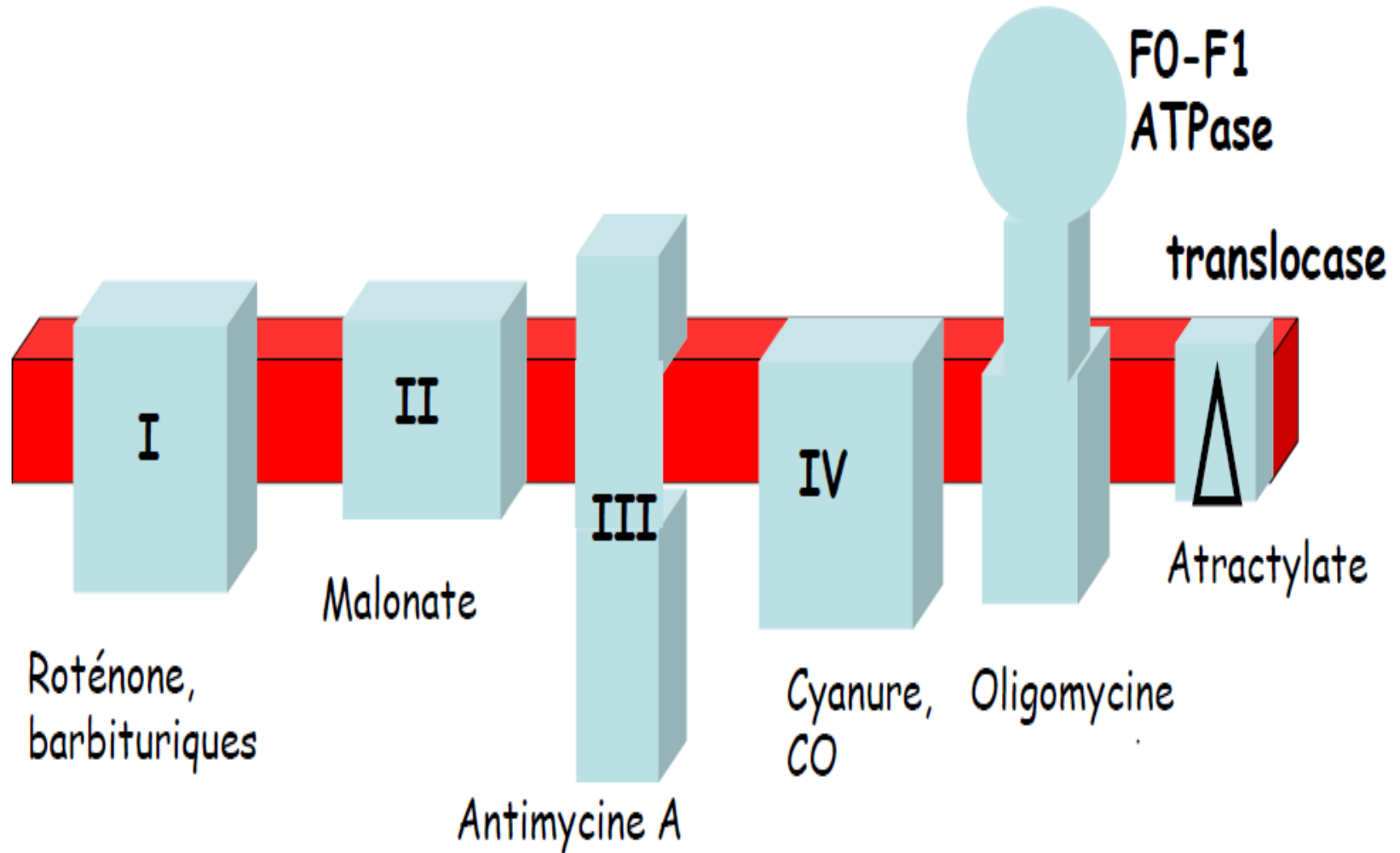
Le **2,4-dinitrophénol** : c' est une molécule lipophile qui va diffuser dans la membrane mitochondriale interne et qui va fixer les protons. Les protons sont ramenés de l'espace inter membranaire vers la matrice sans passer par l'ATP synthase, donc il n'y aura **pas de synthèse d'ATP**. L'énergie est alors libérée sous forme de chaleur.

HOMEOSTASIE THERMIQUE : présence de la graisse brune

La graisse brune présente chez les animaux qui hibernent et les nouveau-nés, elle est très **riche en mitochondries**.

Une protéine de découplage a été mise en évidence dans ce tissu appelée l'UCP1 ou **thermogénine** située dans la membrane mitochondriale interne. Elle permet au proton de regagner la matrice sans passer par l'ATP synthase, et donc **plus de synthèse d'ATP**, l'énergie est convertie en chaleur ce qui permet le maintien de la température corporelle.

autres inhibiteurs



Régulation de la phosphorylation oxydative

Elle dépend de l'apport en NADH, en oxygène et surtout en ADP et P_i

Au repos: rapport $[ATP]/[ADP][P_i]$ élevé
=> la phosphorylation tourne au ralenti

A l'effort: rapport $[ATP]/[ADP][P_i]$ s'abaisse du fait de la consommation d'ATP
=> la vitesse de la phosphorylation s'accélère

**La fermentation
éthylque**

**La fermentation
lactique**

La respiration cellulaire

**3-La Respiration
anaérobie**

- Dégradation du glucose **sans O_2** , se sont des **déshydrogénations**, elles nécessitent des **NAD^+** qui reçoit les électrons et protons (**H^+**) arrachés au substrat.
- L'**efficacité respiratoire** (énergétique) est moins importante
↓
que celle de la respiration aérobie .

1 mole glucose :

2 ATP

2 pyruvate

2 $NADH + H^+$

- **L'efficacité respiratoire** = quantité d'ATP produite

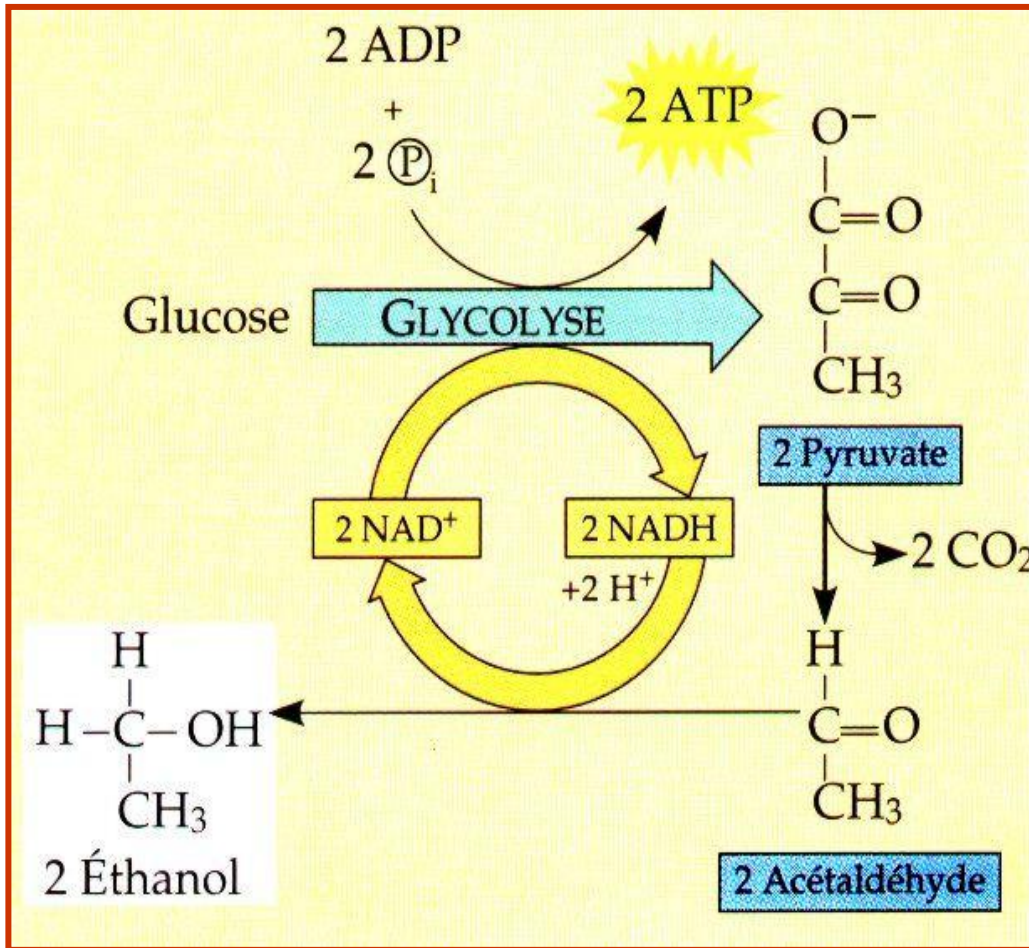
Elle se mesure par le rapport :

Energie d' une molécule d'ATP X Nombre d'ATP produits

Energie d'une molécule de glucose X 100

Soit **ATP = 50kj** d' énergie . Pour le bilan final de la respiration aérobie , combien

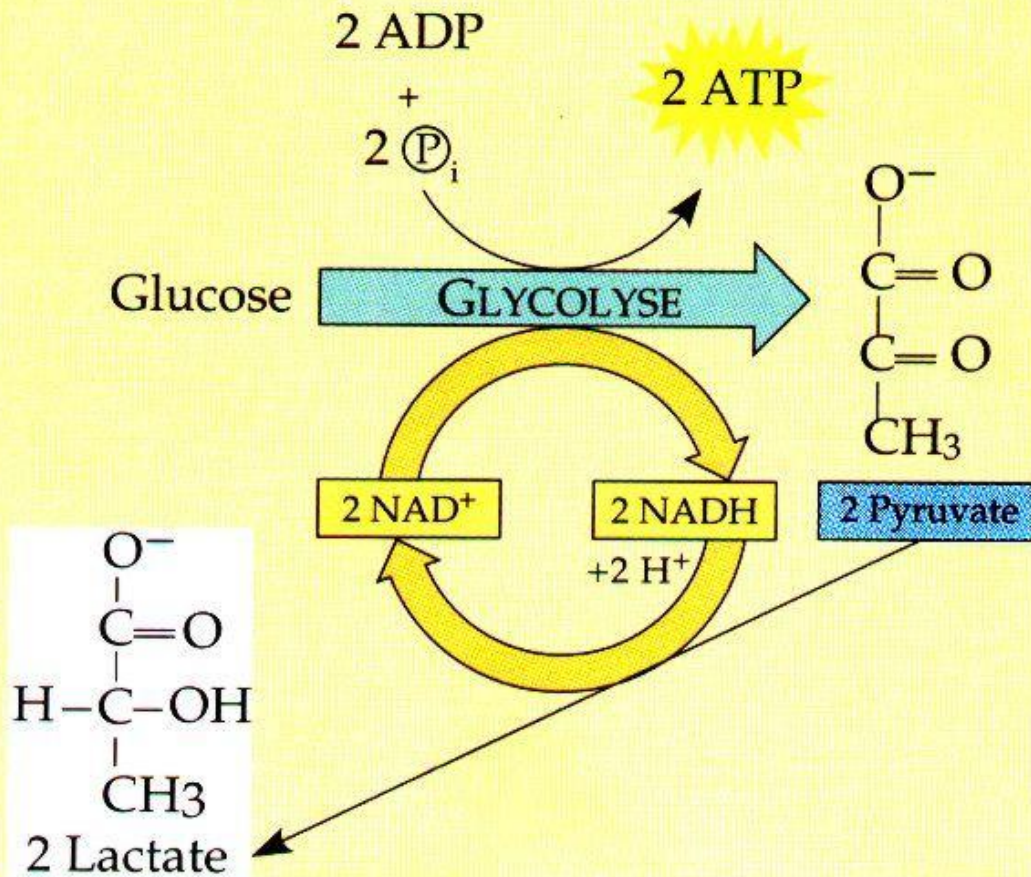
Fermentation alcoolique



**Respiration
des bactéries
et levures**

La transformation du pyruvate en acétaldéhyde puis en alcool permet de redonner du NAD⁺ à partir du NADH

Fermentation lactique



Les muscles font de la fermentation lactique s'il n'y a pas assez d'oxygène.

Le lactate produit peut être converti dans le foie en pyruvate qui peut ensuite être respiré.

Aussi utilisé en industrie du lait : fermentation des bactéries du lait pour produire du fromage

Le NAD⁺ est recyclé par la transformation du pyruvate en lactate (acide lactique)