

Quelques compléments au cours d'énergétique

En vrac, sur des points généralement importants mais qui posent problème de manière récurrente, et plutôt axé respiration cellulaire.

❖ La notion de force protomotrice

→ à bien comprendre, mémorisation complète en étoile (contrairement à ce qui est écrit, tout le cadre ci-dessous n'est plus à apprendre sauf la formule littérale de deltaG je dirais)

- de manière générale : les e⁻ sont mis en mouvement dans les chaînes redox par une force électro-motrice due à la ddp entre les deux couples extrêmes. Le gradient de protons qui s'instaure en parallèle grâce aux translocateurs membranaires, tendra à faire revenir les H⁺ vers le compartiment d'origine sous l'effet d'une différence d'enthalpie libre négative que l'on appelle par analogie avec les piles et leur fem une « force proto-motrice ». C'est simplement Δμ pour les H⁺. C'est la base de la théorie chimiosmotique de Mitchell pour l'origine de l'ATP cellulaire.
- mais attention : la fem est en volts, alors que ΔG est en J/mol, donc de manière rigoureuse, la force protomotrice est ΔG/ℱ. La formule inscrite manuscritement plus bas devient donc :

$$fpm = (2,3RT/\mathcal{F}) (pHi-pHe) + \Delta E \text{ ce qui donne en mV : } fpm = 59\Delta pH + \Delta E$$

- application numérique dans la mitochondrie : cf. ci-dessous dans le cadre ; c'est le gradient électrique qui est la composante principale, le gradient de ph est plus insignifiant ; fpm ≈ - 220 mV
- application numérique dans le thylakoïde : ΔE ≈ 0 mV et toute la fpm provient du gradient de pH qui est d'environ 3 unités (pH lumen acide à 5 et pH stroma à 8) ; d'où fpm = 59 ΔpH = 59.(-3) ≈ - 180 mV

la force protomotrice : c'est tout simplement la notion de potentiel électrochimique appliquée aux H⁺. d'expression du ΔG appliqué aux transferts à travers la membrane interne, de l'extérieur vers l'intérieur, donc :

Application à la mitochondrie

à apprendre

$$\Delta G = G_{int} - G_{ext} = RT \ln \frac{[H^+]_{int}}{[H^+]_{ext}} + 3\mathcal{F}(E_{int} - E_{ext})$$

en utilisant
 $pH = -\log [H^+]$
 et $\log a = \ln a \times \frac{1}{\ln 10}$
 on obtient $-RT(pHi - pHe)$
 ΔpH

donc $\Delta G = -2,3RT(pHi - pHe) + 3\mathcal{F}\Delta E$

on : ΔE = -140 mV ΔpH = 1,4 (14 et 14)
 $\Delta G = -8309 - 13510 \approx -21,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (37°C)
 (40°C) (60°C)

≈ -140 mV

❖ Autour de la chaîne respiratoire d'oxydoréduction mitochondriale

- Les grandes lignes et les détails du schéma de la chaîne respiratoire :

- o il existe presque autant de schémas que de livres sur le sujet, principalement parce que les simplifications sont plus ou moins poussées ; il faut donc s'attendre à des petites discordances en colles ou au concours, notamment sur les transferts de H⁺.
- o pour les transferts de H⁺ retenir 4-4-2 (comme au foot) qui sont les nombres de protons transférés par les complexes I, III et IV que l'on retrouve le plus souvent. Page suivant des exemples de schémas, dont un mémorisable possible (en manuscrit et assez détaillé) avec quelques explications associées
- o ne pas négliger l'existence du complexe II, siège de l'entrée des H⁺ et électrons en provenance du FADH₂, car on en a besoin pour établir les bilans précis et les rendements
- o quel schéma retenir ? Celui qui a été choisi pour vous par le prof de sup. Mais attention aux H⁺ : il y a une stoechiométrie à respecter entre ceux qui arrivent avec les deux types de TH₂, ceux qui sont transloqués, ceux qui sont captés par O₂... Même chose pour les électrons, on doit voir circuler tout ça dans de proportions non farfelues et rigoureuses

- des schémas variés et des remarques autour des H⁺ car il y avait eu à une époque des discordances selon les colleurs, en raison de variations dans les ouvrages utilisés

Complément +/- « étoile » (pas clair dans le programme)

☒ = simplification, les 2H⁺ venant de NADH, H⁺ ne sont pas transférés distinctement car les 1^{er} couple redox ne capture pas des électrons - Voir aussi plus juste ci-dessous pour information.

☒☒☒ Is autre pompes :

Complexe I : encore UQH₂ dans le complexe
Complexe II : encore d'1 étude

☒☒☒ Is pompes du complexe II se font via un cycle complexe de 3 UQ, où plusieurs molécules d'UQ intérieurement.

Tentative de mécanisme (simplifié) :

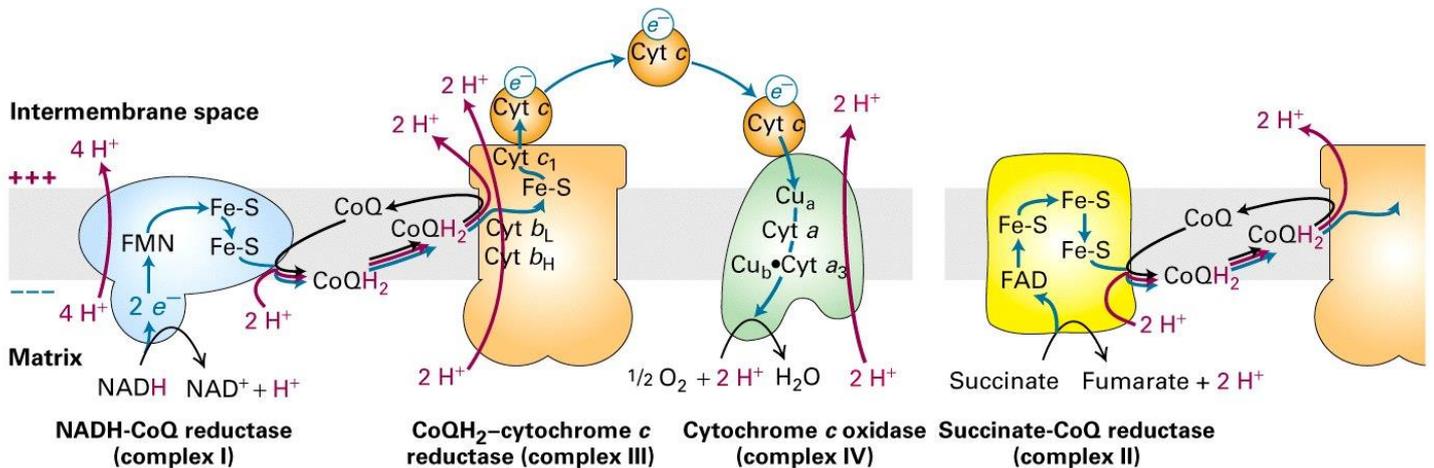
- ① $UQH_2 + cyt\ c_1^{ox} + UQ \rightarrow 2H^+ + cyt\ c_1^{red} + UQ^- + UQ$ (n°1)
- ② $UQH_2 + cyt\ c_1^{ox} + UQ^- \rightarrow 2H^+ + cyt\ c_1^{red} + UQ + UQ$ (n°2)
- ③ $UQ^- + 2H^+ \rightarrow UQH_2$ (matrix)

$\Sigma \Rightarrow UQH_2 + 2 cyt\ c_1^{ox} + 2H^+ \rightarrow 2 cyt\ c_1^{red} + UQ + 4H^+_{ext.}$

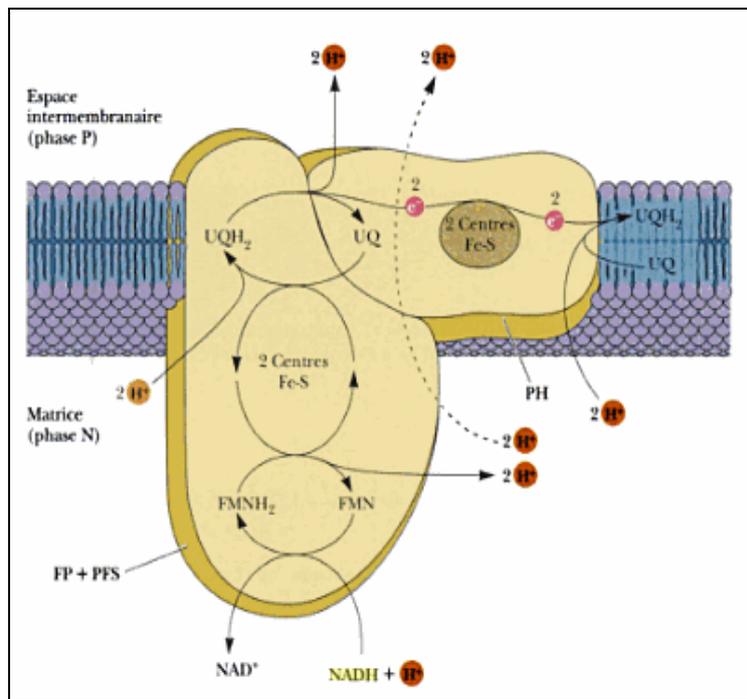
pour comparaison, des modélisations plus complexes de la chaîne d'oxydoréduction, non mémorisables, qui montrent la diversité bibliographique et qui permettent de voir ce qu'il y a derrière la simplification du cours :

o un premier exemple :

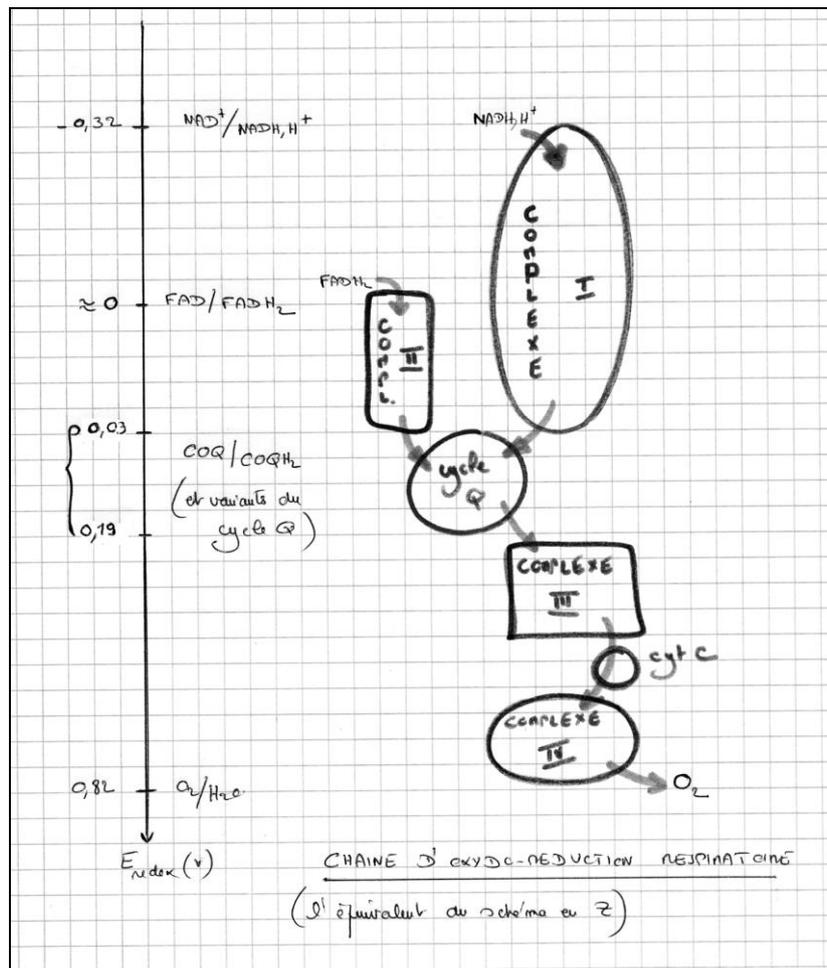
(à gauche l'entrée des électrons venant de Krebs par le complexe I, à droite par le complexe II)



- **un deuxième exemple** : le plus précis pour les H⁺ et limité au complexe I



- **chaîne respiratoire et schéma « pas en Z »** : pour alimenter la réflexion voici l'équivalent du schéma en Z thermodynamique de la photosynthèse mais pour la chaîne respiratoire. Une représentation qu'on ne voit pas souvent car le phénomène étant exergonique et dans le sens des potentiels croissants elle est moins indispensable.



❖ **Les bilans en ATP** (voir aussi le complément plus détaillé mis en ligne)

- **pour la respiration** : tout d'abord, les anciens bilans où l'on donnait 36 ou 38 ATP formés par glucose sont désormais abandonnés, attention.
 - glycolyse : 2 ATP et 2 NADH,H⁺
 - oxydation mitochondriale de 2 pyruvates (Krebs + étape initiale) : $2 \times [4\text{NADH,H} + 1\text{FADH}_2 + 1\text{GTP}] = 8\text{NADH,H} + 2\text{FADH}_2 + 2\text{ATP}$
 - nombre d'H⁺ dispos pour l'ATP synthase : $1\text{NADH,H} \rightarrow 10\text{H}^+$; $1\text{FADH}_2 \rightarrow 6\text{H}^+$
 - Si les TH2 de la glycolyse sont importés sans pertes (navette malate / aspartate) : $8 \times 10 + 2 \times 6 + 2 \times 10 = 112\text{H}^+$
 - Si les TH2 de la glycolyse sont importés avec transformation en FADH₂ (navette du glycérophosphate) : $8 \times 10 + 2 \times 6 + 2 \times 6 = 104\text{H}^+$
 - Consommation de l'ATP synthase : on s'accorde généralement sur 3H⁺/1ATP
 - Coût de l'importation de l'ADP : antiport ATP⁴⁻ / ADP³⁻ ⇒ le déséquilibre de charge coûte 1 H⁺ par ADP importé**donc finalement 4H⁺ pour 1 ATP**
 - Bilan $112/4 = 28\text{ATP} + 2 + 2 = 32\text{ATP} / \text{glucose}$ ou $104/4 + 2 + 2 = 30\text{ATP} / \text{glucose}$
 - Rendement : avec 32 ATP et les concentrations biologiques $(32 \times 50)/2937 = 54,5\%$
- **pour la photosynthèse** : voir autre document sur la chaîne photosynthétique