

## 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  $\Delta G$  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  $\Delta\mu$  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  $\Delta G$  est en J/mol, donc de manière rigoureuse, la force protomotrice est  $\Delta G/\mathcal{F}$ . La formule inscrite manuscritement plus bas devient donc :

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

- 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 ;  $fpm \approx -220$  mV
- application numérique dans le thylakoïde :  $\Delta E \approx 0$  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  $fpm = 59 \Delta pH = 59 \cdot (-3) \approx -180$  mV

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

Application à la mitochondrie

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

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

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

on :  $\Delta E = -140$  mV  $\Delta pH = 1,4$  (14 et 14)

$$\Delta G = -8309 - 13510 \approx -21,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ (37°C)}$$

(40°C) (60°C)

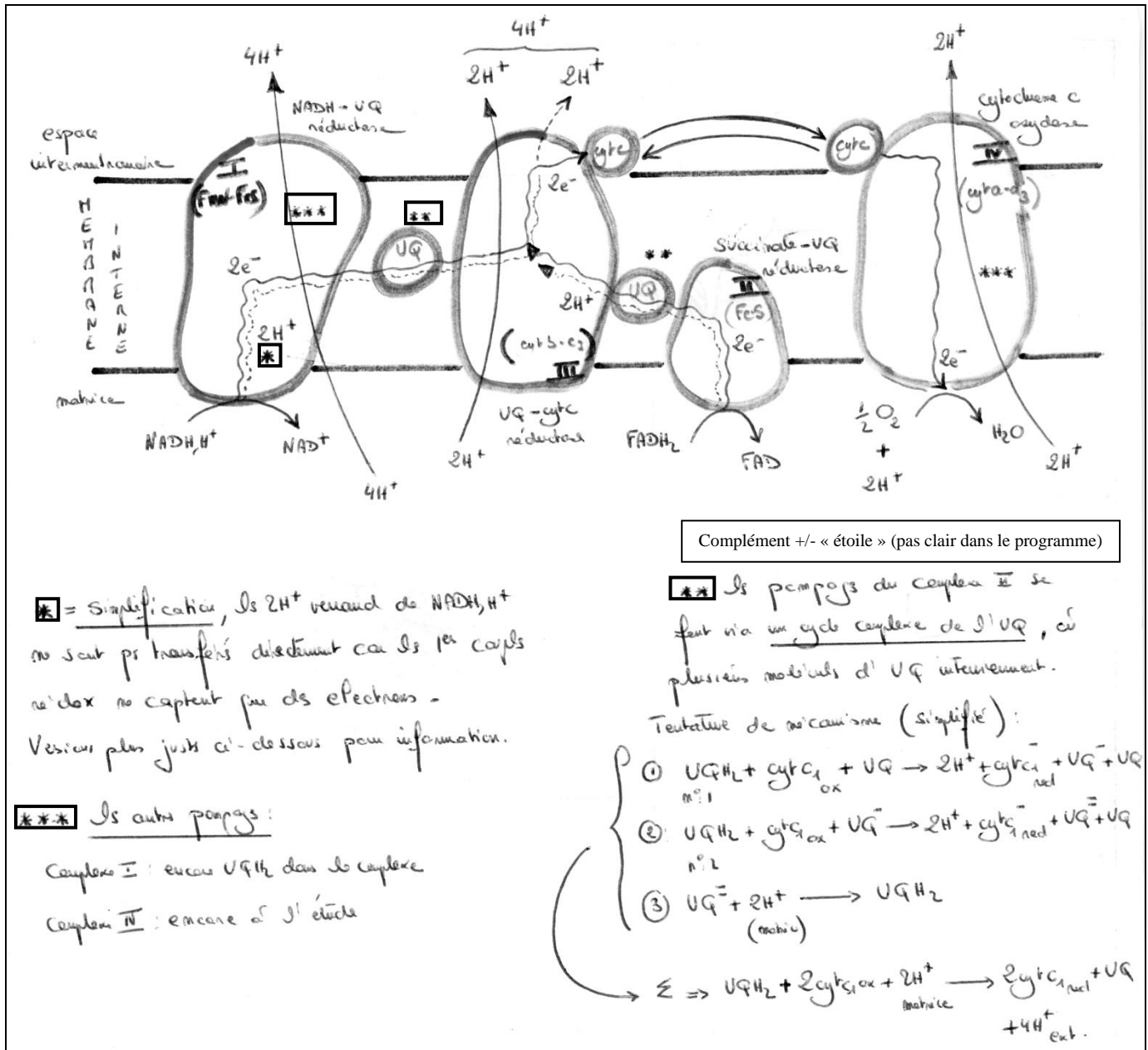
à apprendre

### ❖ 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  $FADH_2$ , 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  $TH_2$ , ceux qui sont transloqués, ceux qui sont captés par  $O_2$ ... Même chose pour les électrons, on doit voir circuler tout ça dans de proportions non farfelues et rigoureuses

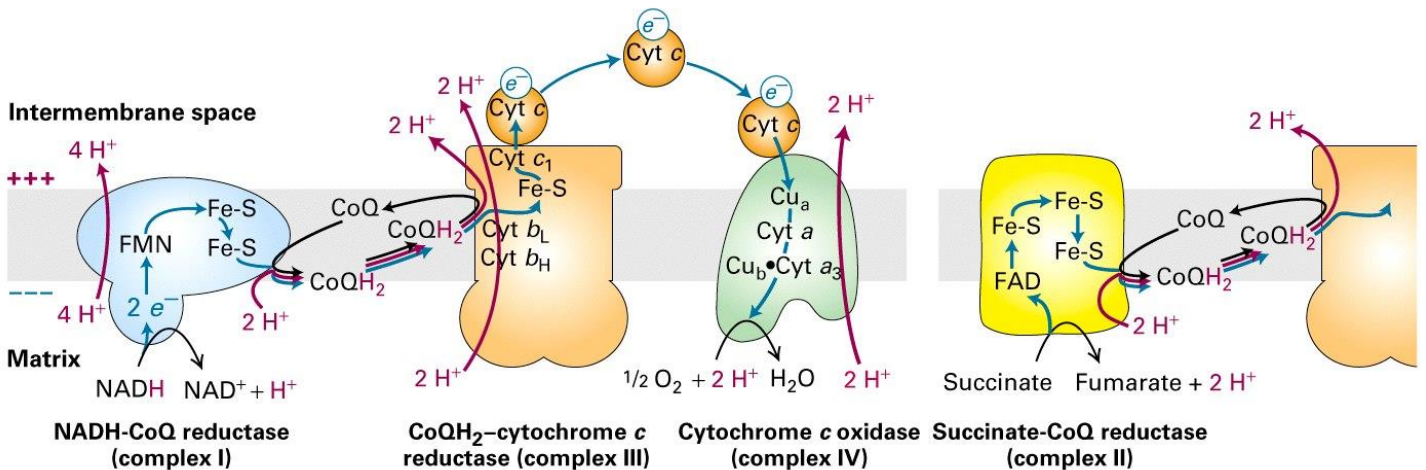
- des schémas variés et des remarques autour des H+ car il y avait eu à une époque des discordances selon les colleurs, en raison de variations dans les ouvrages utilisés



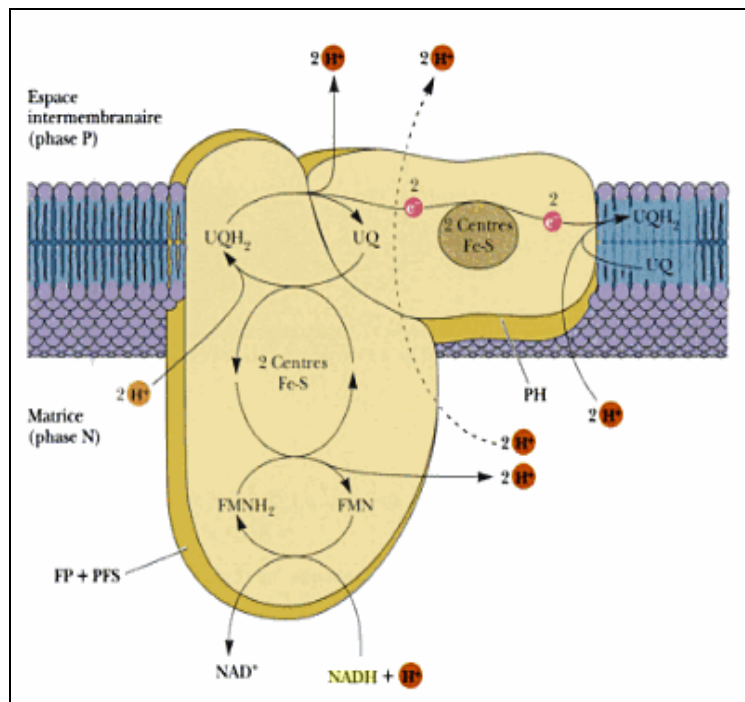
pour comparaison, des modélisations plus complexes de la chaîne d'oxydoréduction, non mémoriables, qui montrent la diversité bibliographique et qui permettent de voir ce qu'il y a derrière la simplification du cours :

o un premier exemple :

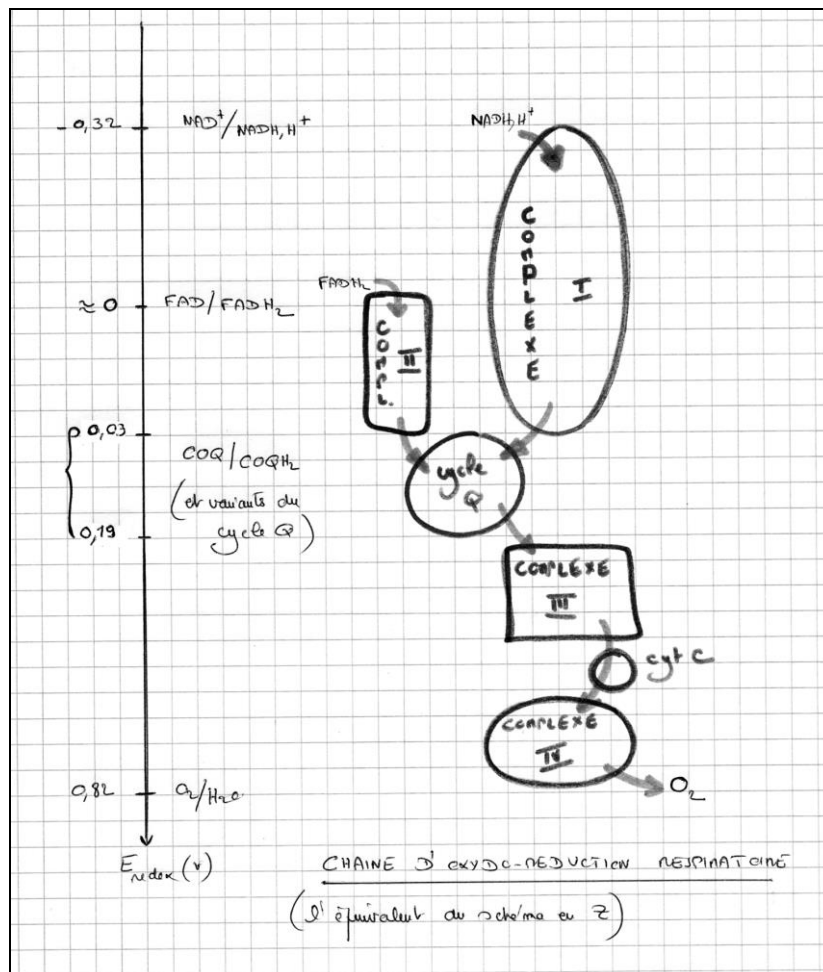
(à gauche l'entrée des électrons venant de Krebs par le complexe I, à droite par le complexe II)



o un deuxième exemple : le plus précis pour les H<sup>+</sup> 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.
    - o glycolyse : 2 ATP et 2 NADH,H+
    - o oxydation mitochondriale de 2 pyruvates (Krebs + étape initiale) :  $2 \times [4\text{NADH,H} + 1\text{FADH}_2 + 1 \text{ GTP}] = 8\text{NADH,H} + 2\text{FADH}_2 + 2 \text{ ATP}$
    - o 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) :  $8 \times 10 + 2 \times 6 + 2 \times 6 = 104\text{H}^+$
    - o Consommation de l'ATP synthase : on s'accorde généralement sur  $3\text{H}^+/1\text{ATP}$
    - o Coût de l'importation de l'ADP : antiport ATP<sup>4-</sup> / ADP<sup>3-</sup>  $\Rightarrow$  le déséquilibre de charge coûte 1 H+ par ADP importé
  - o **donc finalement 4H+ pour 1 ATP**
  - o Bilan  $112/4 = 28 \text{ ATP} + 2 + 2 = \mathbf{32 \text{ ATP / glucose}}$  ou  $104/4 + 2 + 2 = 30 \text{ ATP / glucose}$
  - o Rendement : avec 32 ATP et les concentrations biologiques  $(32 \times 50)/2937 = 54,5\%$
- **pour la photosynthèse** : voir autre document sur la chaîne photosynthétique