

## CATABOLISME OXYDATIF : BILANS ENERGETIQUES

### ❖ Calcul des nombres d'ATP produits et des rendements : (détails cf. prise de note éventuelle en cours)

- Glycolyse seule dans le cas des fermentations : 2 ATP, rendement de 2% par mole de glucose (ou 3,5% si on prend un  $\Delta G$  cellulaire de -50 kJ/mol pour l'hydrolyse de l'ATP ce qui correspond mieux aux concentrations biologiques que le -30,5 kJ/mol habituel)
- Respiration d'un acide gras : acide palmitique en C16 → on trouve 106 ATP ; rendement de 33% par mole d'acide palmitique (ou 54,1%) ; =  $106 \times \Delta G_{ATP} / 9793$  ; détail du calcul du nombre d'ATP (voir également le complément  $\beta$ -oxydation) :
  - activation en acylCoA : 2 ATP consommés
  - 7 tours d'hélice de Lypen : 7 NADH, H<sup>+</sup> + 7 FADH<sub>2</sub> + 8 acétyl-CoA
  - 8 acétyl-CoA entrant dans le cycle de Krebs :  $8 \times (3\text{NADH, H}^+ + 1\text{ FADH}_2 + 1\text{ATP})$
  - $(31\text{ NADH, H}^+ \times 10\text{H}^+) + (15\text{FADH}_2 \times 6\text{H}^+) = 310 + 90 = 400\text{H}^+$  (rappel : 1 NADH, H<sup>+</sup> → 10 H<sup>+</sup> et 1 FADH<sub>2</sub> → 6 H<sup>+</sup>)
  - 4H<sup>+</sup> par ATP car 3H<sup>+</sup> pour faire fonctionner l'ATP synthase et un H<sup>+</sup> consommé pour importer le phosphate (symport Pi/H<sup>+</sup>)
  - Donc  $100 + 8 - 2 = 106\text{ ATP}$
- Respiration d'un glucose : les valeurs de 36 ou 38 ATP ont été revues et ne sont plus retenues
  - bilan en ATP par couplage direct : 2glycolyse + 2 Krebs
  - bilan en ATP grâce à NADH, H<sup>+</sup> :  $2 + (2 \times 4) = 10\text{ NADH, H}^+ \times 10\text{ H}^+ = 100\text{H}^+ / 4 = 25\text{ ATP}$
  - bilan en ATP grâce à FADH<sub>2</sub> :  $2 \times 6\text{H}^+ = 12\text{H}^+ / 4 = 3\text{ ATP}$
  - bilan total en ATP : estimations actuelles consensuelles de  $2+2+25+3 = 32\text{ ATP}$  ou 30 ATP (*explication plus loin*) ; rendement de 34% par mole de glucose (ou 55,7% si -50 kJ)
  - pour information les anciennes estimations des ouvrages étaient de 38 ATP (ou 36 ATP)

### ❖ Comparaison du rendement énergétique des glucides et des acides gras (données chiffrées : **tableau I**)

- par mole de substrat, les rendements sont  $\approx$  équivalents
- **Mais** si on calcule par gramme, ce qui est plus logique par rapport au potentiel de mise en réserve d'une  $\phi$  ou d'un organisme, on obtient :  $(32 \times 30,5) / 180 = 5,4\text{ kJ/g}$  pour le glucose et  $(106 \times 30,5) / 256 = 12,6\text{ kJ/g}$  pour l'acide palmitique → **le rendement énergétique est meilleur lors de la respiration des lipides, plus de deux fois supérieur (important pour les colles lipides).**

Remarques :

- l'énergie potentielle de l'acide palmitique par gramme était déjà supérieure à celle du glucose (38 kJ/g contre 16 kJ/g) et on retrouve à peu près le même rapport pour la récupération d'ATP
- on peut aussi faire le calcul en le rapportant à un atome de carbone : glucose 162 kJ/carbone et ac. palmitique 202 kJ/C (ou encore : si 16C de glucose, on aurait  $32 \times (16/6) = 85\text{ ATP}$  au lieu de 106, soit 80%)

### ❖ Nombre d'ATP produits par la respiration : affiner le calcul

- Le problème des navettes (doc IIA et IIB) : les deux NADH, H<sup>+</sup> de la glycolyse ne pénètrent pas tels quels dans la mitochondrie qui leur est imperméable. C'est leur pouvoir réducteur qui est importé par un système de « navette » (les navettes sont très nombreuses dans les  $\phi$  ; ce sont des systèmes de réactions chimiques inversées, se produisant dans deux compartiments différents et associées à des transporteurs membranaires, aboutissant au transfert de certains groupements ou certaines molécules).
  - La navette du glycérol 3P : ( $\phi$  des muscles et du cerveau) elle utilise la porine ; les e<sup>-</sup> et H<sup>+</sup> sont transférés au FADH<sub>2</sub> ⇒ perte de 4 H<sup>+</sup> potentiels dans le gradient de protons pour chaque NADH, H<sup>+</sup>, donc perte de 2 ATP en tout
  - La navette malate-aspartate : ( $\phi$  du foie, des reins, du cœur) pas de perte, on retrouve NADH, H<sup>+</sup> de l'autre côté

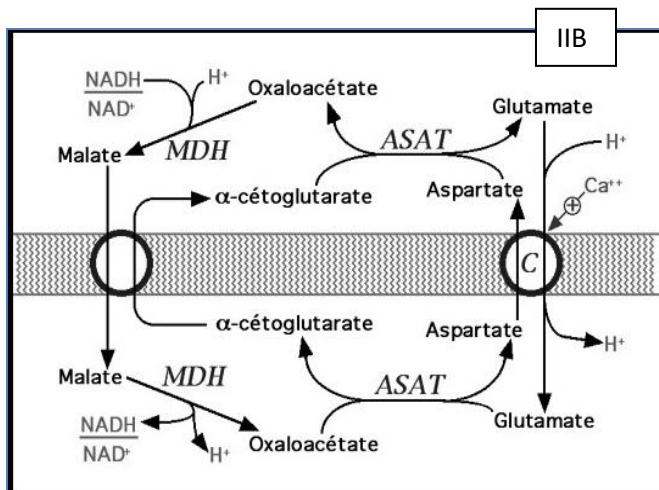
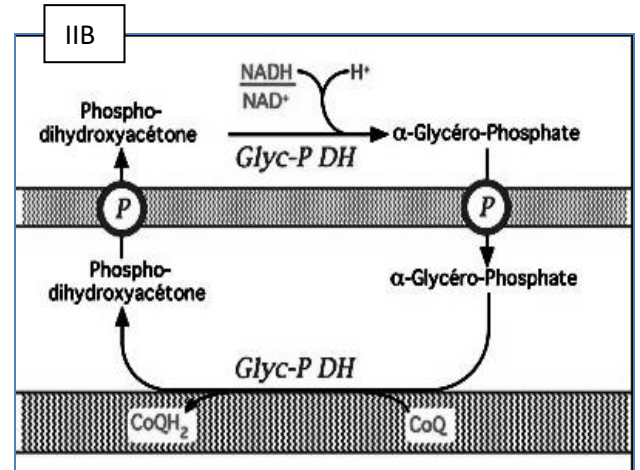
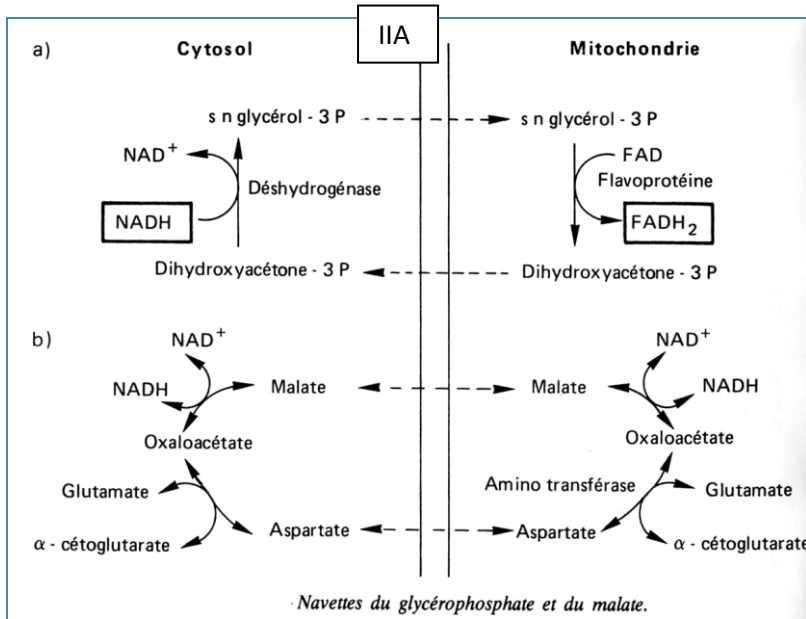
⇒ les variations en fonction du type de navette expliquent que l'on donne toujours les bilans à 2 ATP près ; donc **on retient 30 ou 32 ATP par glucose = valeur mémorisable à savoir redémontrer**

### ❖ Pour aller un peu plus loin sur le bilan des ATP par molécule de glucose : HP, étoile, peut être sauté

- Les deux ATP du cycle de Krebs eux aussi consomment chacun un H<sup>+</sup> pour l'importation du Pi, donc perte de 0,5 ATP → 29,5 ou 31,5 ATP

(remarque : il y aussi des transporteurs de pyruvate et de phosphate qui fonctionnent en antiport avec OH-)

- La navette malate-aspartate, quand on regarde dans le détail (IIB), consomme un H<sup>+</sup> au niveau de l'antiport aspartate-glutamate, donc perte de 0,5 ATP → 29,5 ou 31 ATP
- Et l'antiport ADP/ATP, ne provoque-t-il pas lui aussi une atténuation du gradient de H<sup>+</sup> en exportant une charge négative ? En fait non puisqu'il fonctionne avec le transporteur à phosphate qui importe lui aussi une charge négative (Pi = H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), donc le bilan est nul pour les charges négatives et il ne reste que l'unique H<sup>+</sup> pris en compte pour établir le ratio 4H<sup>+</sup>/1ATP



	Glucose C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>		Ac. palmitique
	Aérobiose	Anaérobiose	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH
- Quantité de substance			
. en moles	1	1	1
. en grammes	180	180	256
- O <sub>2</sub> consommé en moles	6	0	23
- Produits finaux	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, lactates	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
- CO <sub>2</sub> produit en moles	6	0	16
- Quotient respiratoire $\dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_{O_2}$	1	-	0,7
- Énergie totale libérée ΔG en kJ	2 871	197	9 793
- ATP synthétisée en mole par mole	36	2	130
- Énergie transférée à l'ATP en kJ	1 100	61	3 972
- Rendement de la dégradation	0,38	0,31	0,41
- Équivalent énergétique			
ΔG par mole O <sub>2</sub>	479	-	426
ΔG par dm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> (STPD)	21,4	-	19
ΔG par g de substrat	16	1,1	38

Tableau 12.3 Données bioénergétiques du catabolisme cellulaire du glucose, de l'acide palmitique et de l'alanine.

### DOCUMENT III Annexe culturelle : la graisse brune ou tissu adipeux brun (mise un jour et laissée parce qu'il y avait de la place là)

- Le tissu adipeux « classique » de stockage de triglycérides est le tissu adipeux blanc, dont les cellules sont caractérisées par une énorme accumulation de lipides en une « goutte » lipidique unique qui repousse le cytoplasme en périphérie ; cellules très grosses de plus de 30 μm.
- Il existe aussi un tissu adipeux brun, présent notamment chez les rongeurs et les mammifères hibernants. Les cellules sont constituées de nombreuses gouttes de lipides et de très nombreuses mitochondries.
- Chez l'homme, le nouveau-né en possède (pas le prématuré qui donc est très sensible au froid) et il disparaît peu à peu mais des études récentes de 2009 prouvent son existence aussi chez l'adulte qui vit au froid. Localisation : entre les omoplates, autour des reins, du cœur, des gros vaisseaux du cou et des aisselles.
- Rôle : la thermogénèse ; les cellules de la graisse brune dégagent de la chaleur qui chauffe le sang à son contact ce qui permet ensuite de réchauffer tout l'organisme irrigué par le sang réchauffé
- **Mécanisme moléculaire** : des mitochondries qui possèdent une protéine particulière, la **thermogénine**, agissant comme un ionophore (= « qui fait des trous à ions dans les membranes ») naturel rendant perméable la membrane interne aux H<sup>+</sup> (on parle de découplage et la protéine s'appelle aussi UCP1 : « uncoupling protein 1). Le gradient de protons créé par la chaîne mitochondriale n'est pas utilisé pour produire de l'ATP mais est dissipé sous forme de chaleur quand les H<sup>+</sup> reviennent en passant par UCP1. La synthèse de thermogénine est sous contrôle hormonal.
- Remarque par rapport au sujet sur les conversions d'énergie, la thermogénèse n'est pas un exemple rigoureux de « travail » cellulaire, puisque on ne peut pas parler de « travail thermique » si l'on considère le travail comme un transfert ordonné d'énergie