

SV-E-2 poly 01

Devenir de la matière organique

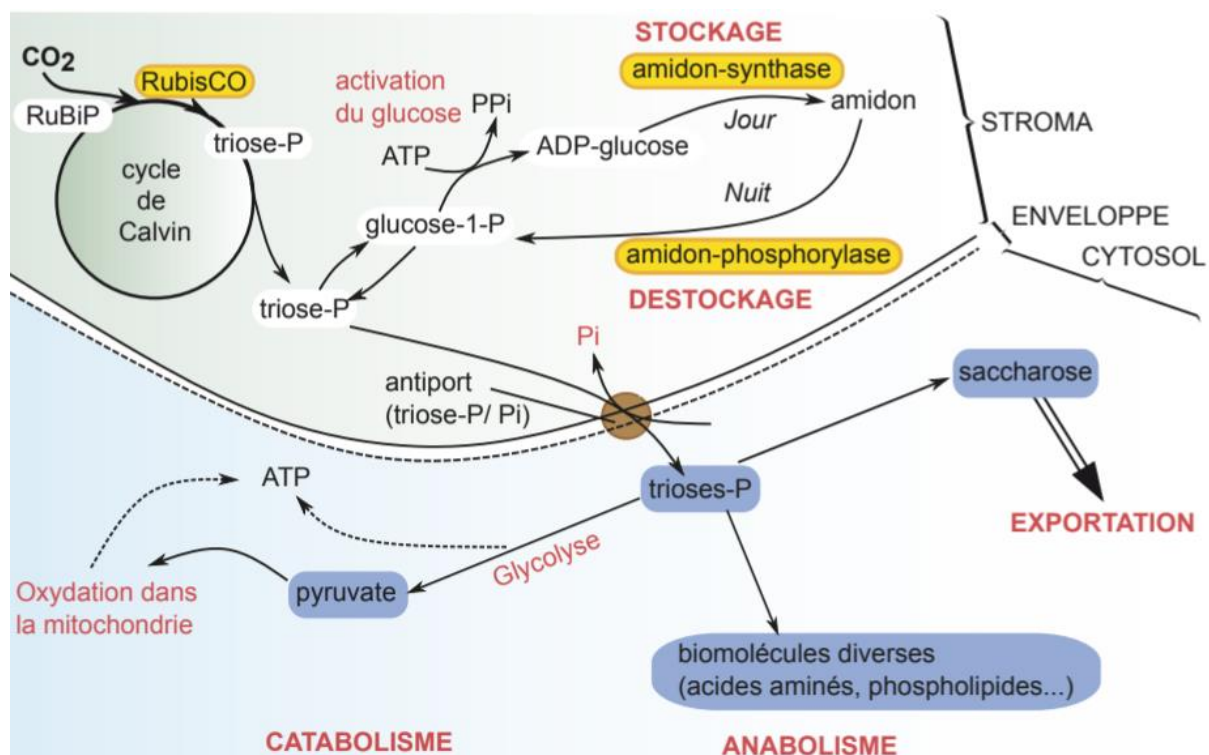


Fig. 1. Devenir des trioses-phosphate produits par la photosynthèse. ★★★ [2]

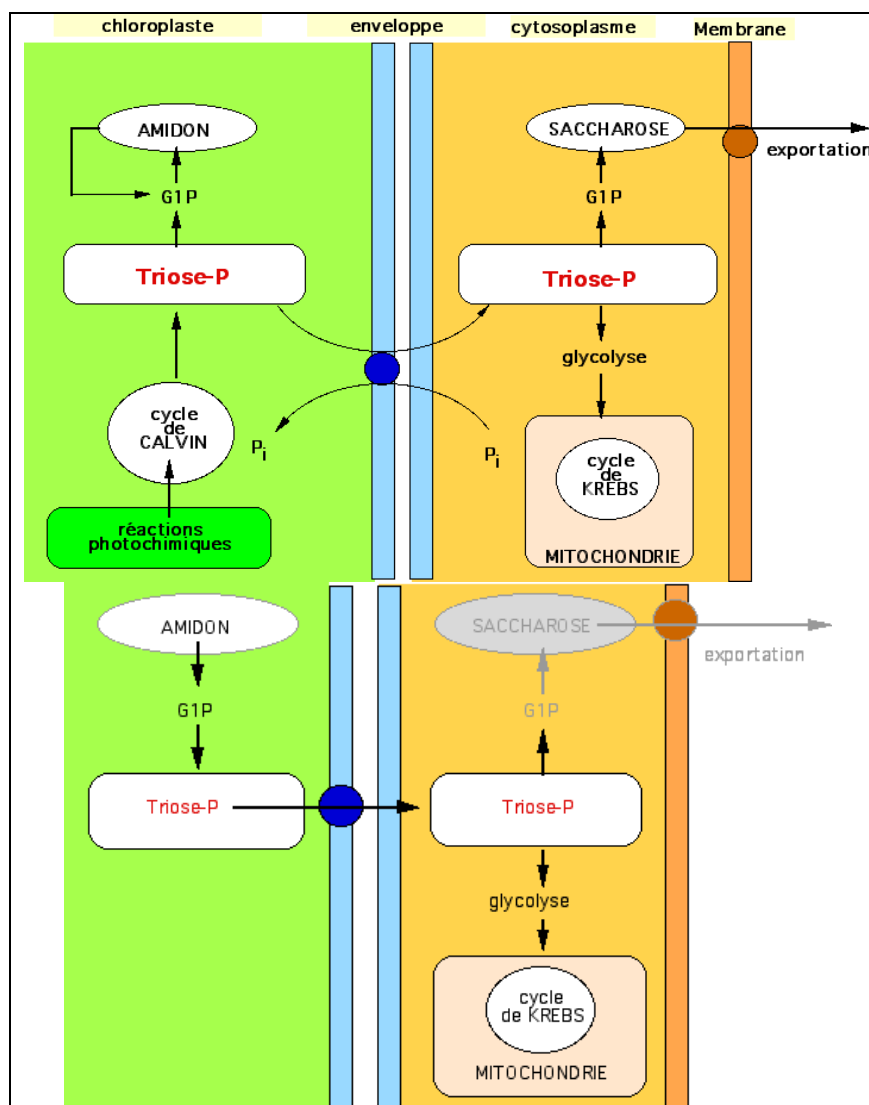
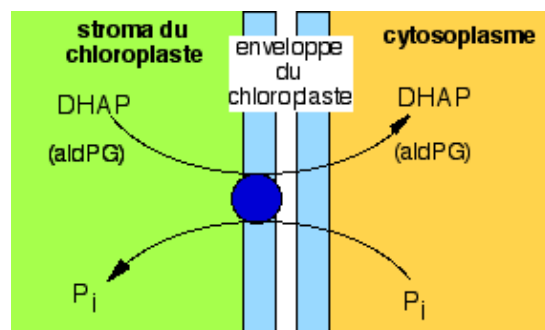


Fig. 2. Devenir des trioses-phosphate produits par la photosynthèse. ★★★

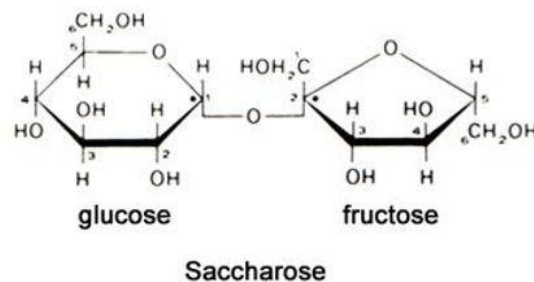
☞ **vue générale :** exportation, utilisation et stockage des trioses-P

☞ **fonctionnement pendant la nuit :** hydrolyse de l'amidon et exportation des trioses-P

↓ **sortie** des triose-P grâce à un co-transporteur par antiport



↓ **rappel de la structure du saccharose**



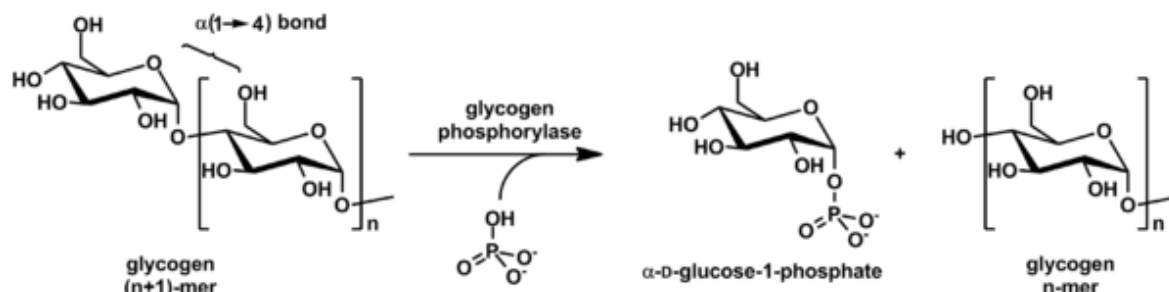


Fig. 3. Réaction catalysée par la glycogène phosphorylase. ★★★

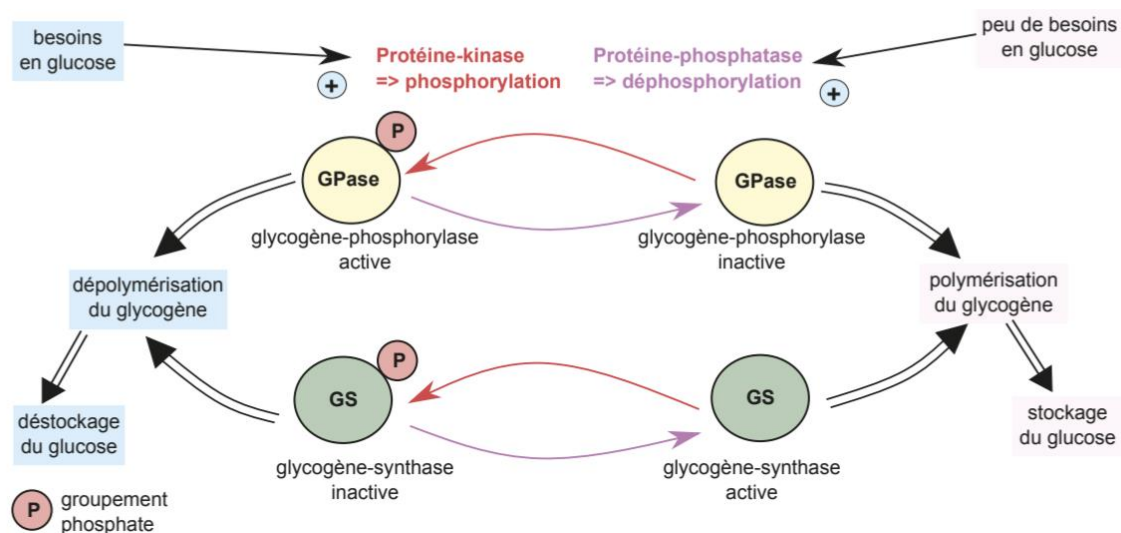


Fig. 4. Contrôle du métabolisme du glycogène selon l'activation de la glycogène phosphorylase et de la glycogène synthase. ★★★

★★ [2]

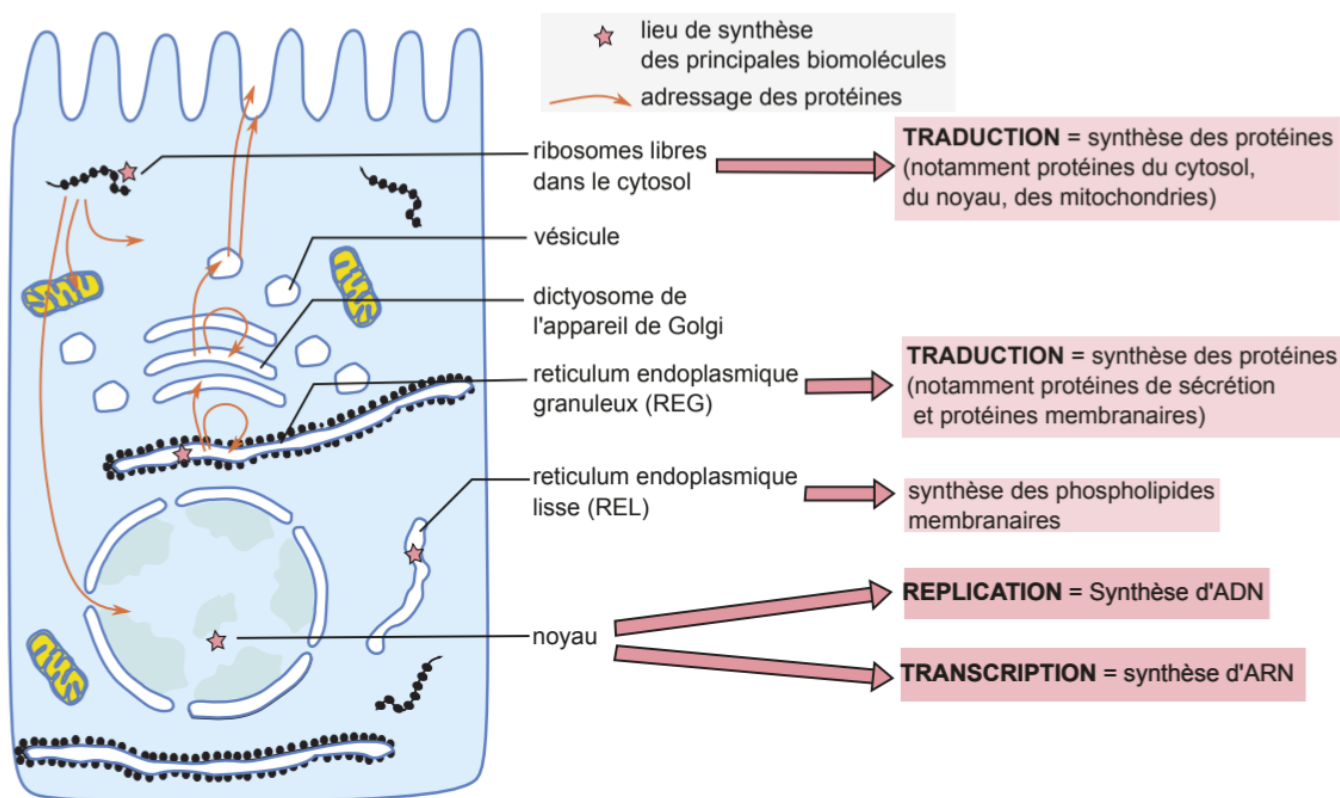


Fig. 5. Localisation des principales biosynthèses dans la cellule animale. ★★★ [2]

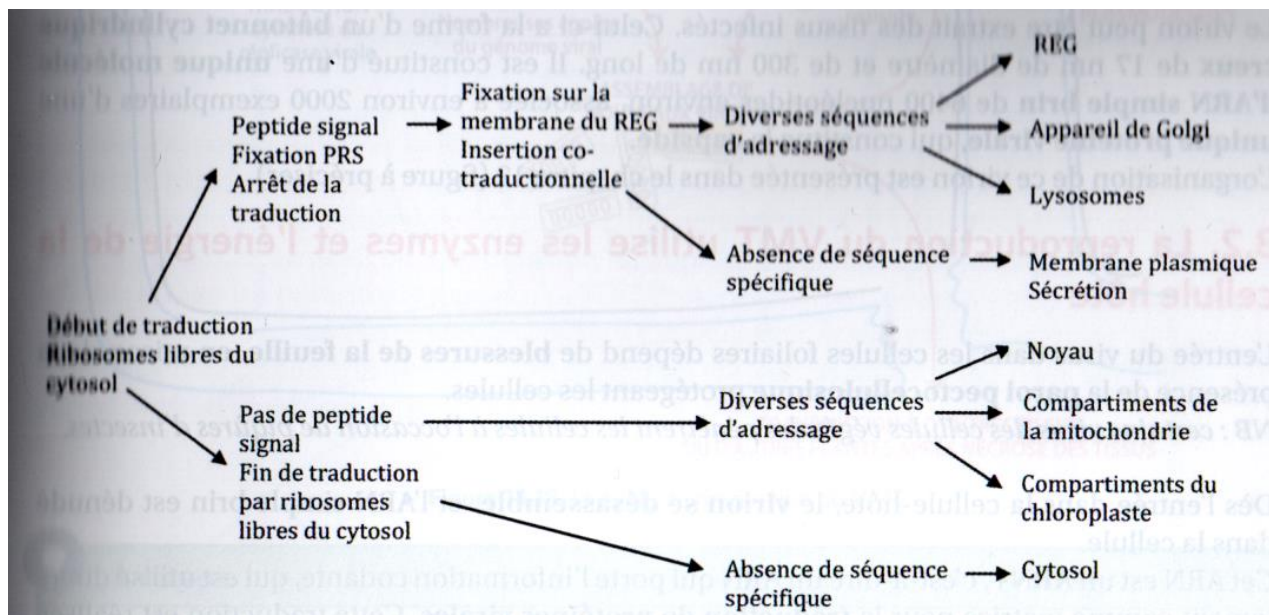


Fig. 6. Les grandes lignes de l'adressage protéique dans la cellule eucaryote. ★★★ [3]

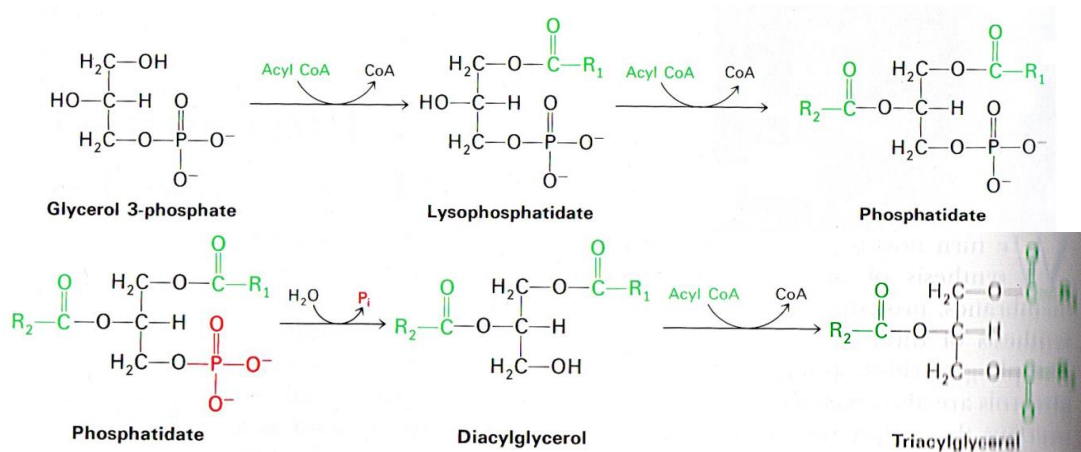


Fig. 7. Synthèse d'un triglycéride. ★★ [4]

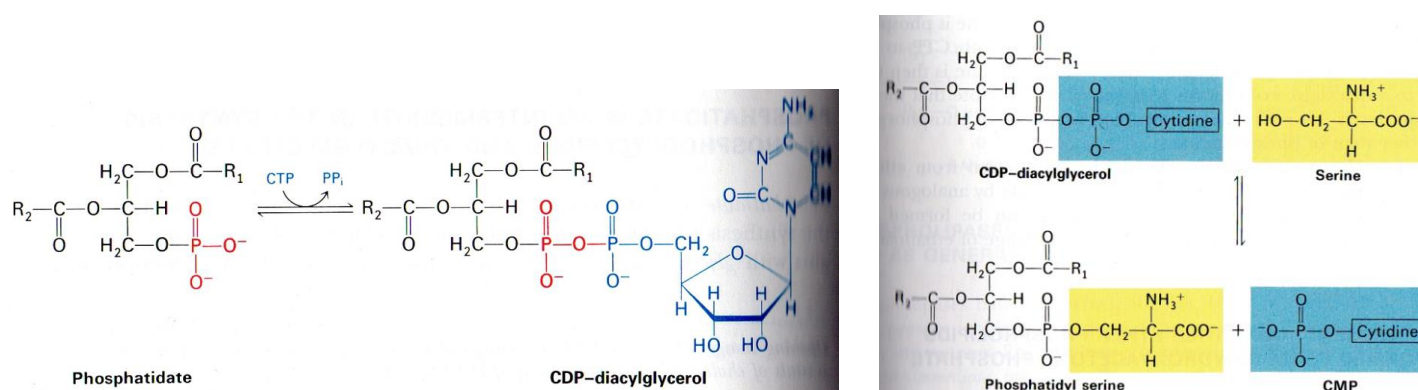


Fig. 8. Synthèse d'un phospholipide membranaire : la phosphatidylsérine. ★ [4]

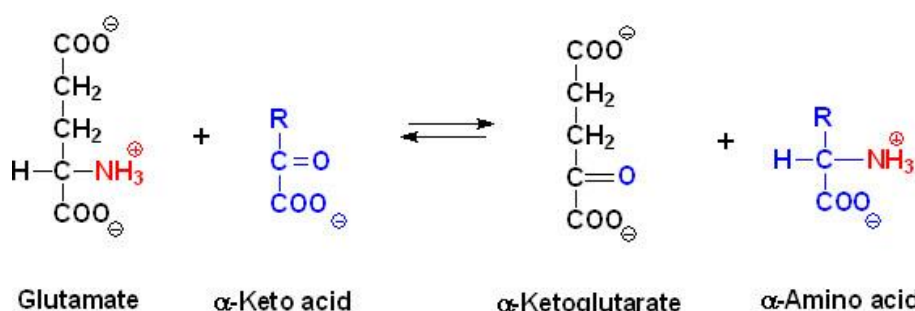


Fig. 9. Les amino-transférases permettent la synthèse d'acides aminés à partir d'acides alpha-cétoniques et de glutamate. ★

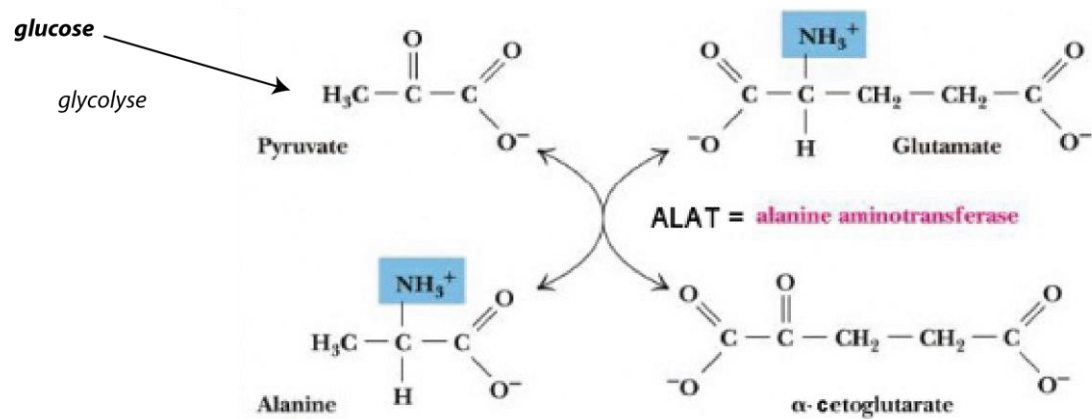


Fig. 10. Formation de l'Alanine à partir du pyruvate. ★★★

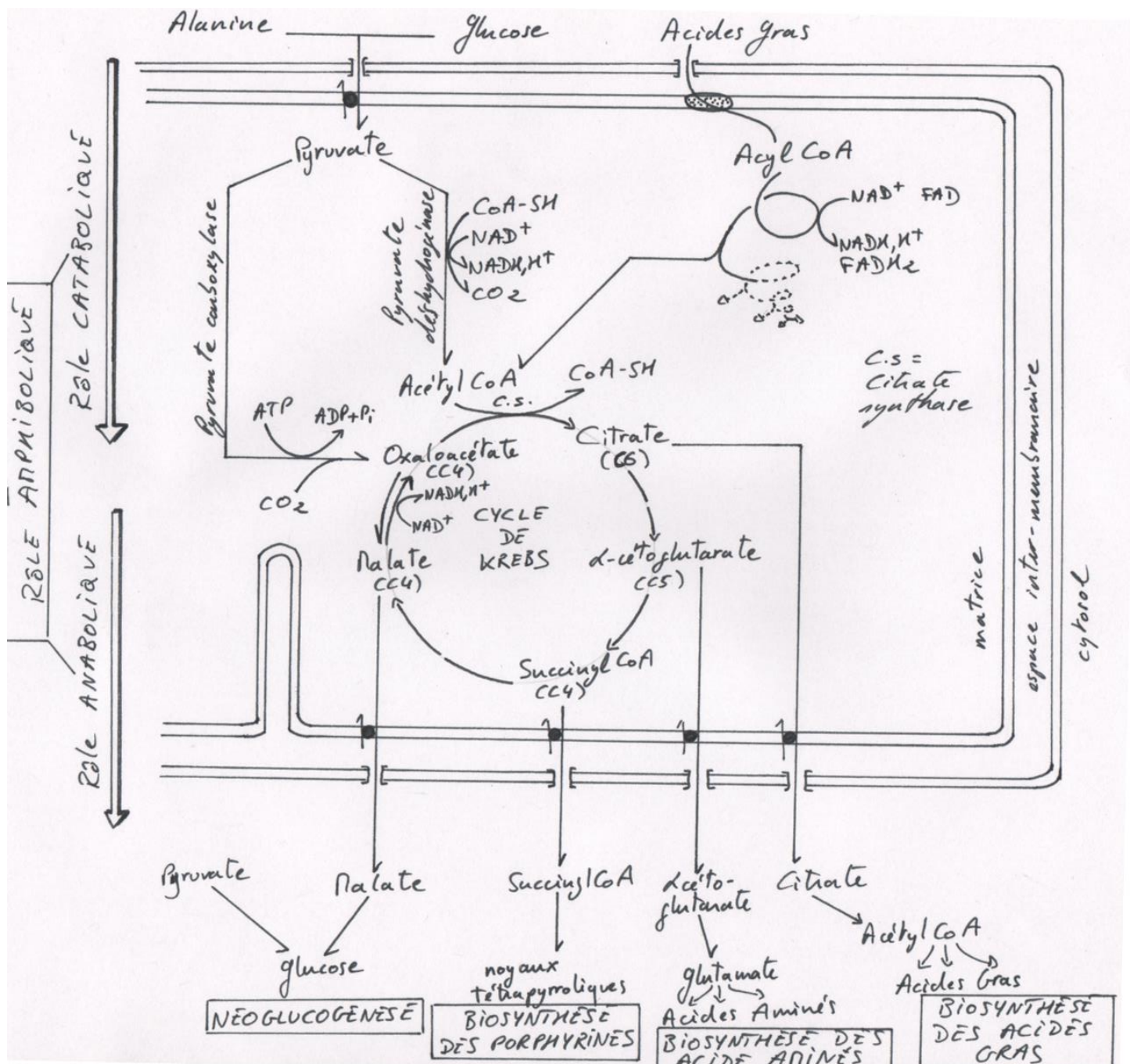
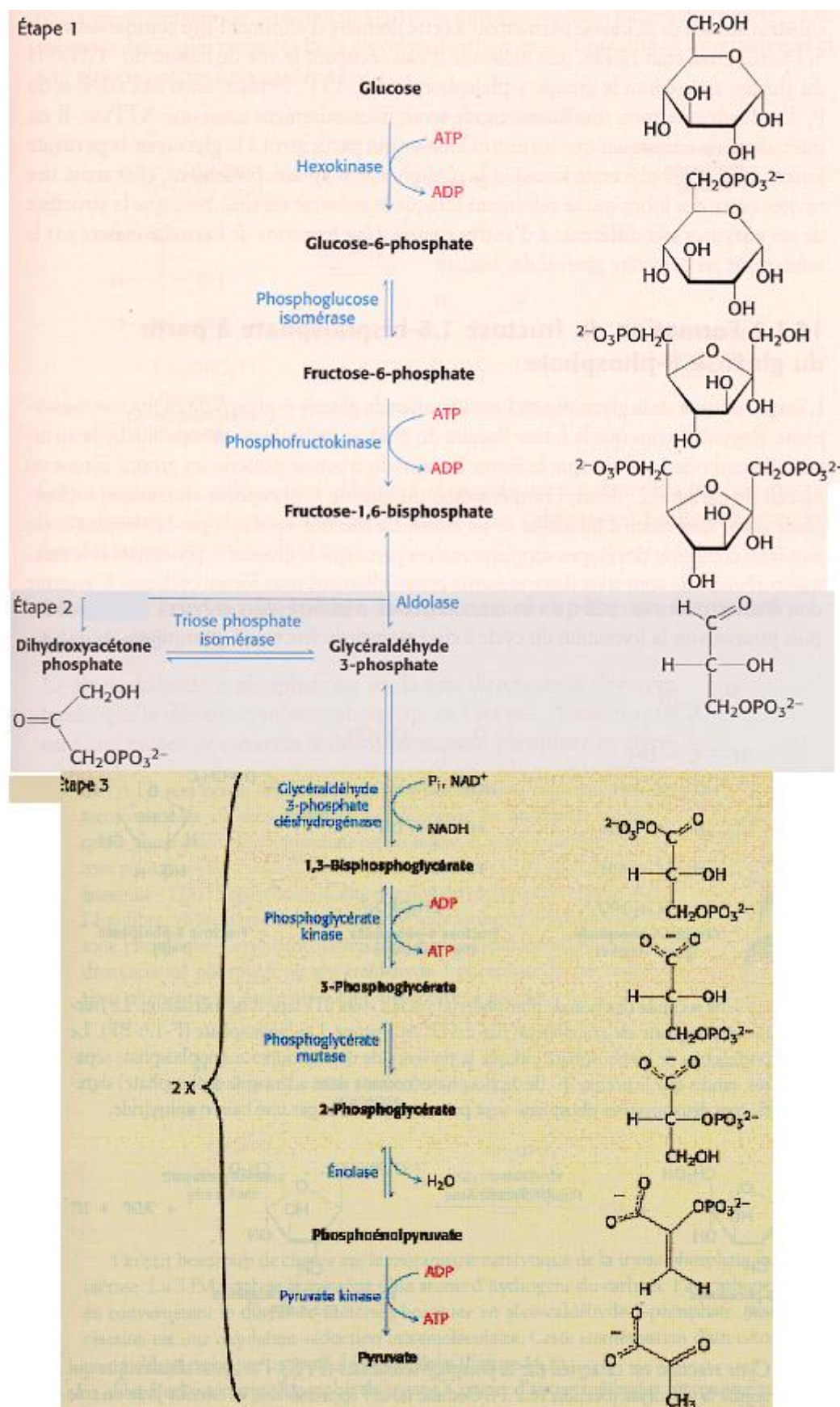


Fig. 11. Le cycle de Krebs, un carrefour du métabolisme, entre catabolisme et anabolisme. ★

Figure 12. Les réactions de la glycolyse. ★★

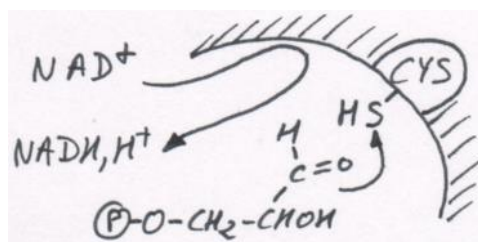
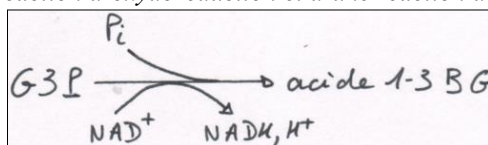
Savoir décrire et expliquer les réactions affectant tous ces oses.



Réaction 6 : oxydation et phosphorylation du G3P Carbone 1 oxydé à nouveau : $\text{C}=\text{O} \rightarrow \text{COOH}$ Carbone 1 phosphorylé : $\text{COOH} \rightarrow \text{C}-\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$	
Réaction 7 : phosphorylation de l'ADP (1) Carbone 1 déphosphorylé : $\text{C}-\text{O}-\text{PO}_3^{2-} \rightarrow \text{COOH}$	
Réaction 8 : isomérisation Carbone 3 déphosphorylé : $\text{C}-\text{O}-\text{PO}_3^{2-} \rightarrow \text{C}-\text{OH}$ Carbone 2 phosphorylé : $\text{C}-\text{OH} \rightarrow \text{C}-\text{O}-\text{P}$	
Réaction 9 : énoélisation Déshydratation $\rightarrow$ formation d'un énol	
Réaction 10 : phosphorylation de l'ADP (2) Carbone 1 réduit : $\text{H}_2\text{C}=\rightarrow \text{H}_3\text{C}-$ Carbone 2 déphosphorylé et oxydé : $\text{C}-\text{P} \rightarrow \text{C}=\text{O}$	
Réaction 1 : phosphorylation du glucose Carbone 6 : $\text{C}-\text{OH} \xrightarrow{\text{Phosphorylation}} \text{C}-\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$	
Réaction 2 : isomérisation du G6P en F6P Carbone 1 : réduit $\text{C}=\text{O} \rightarrow \text{C}-\text{OH}$ // Carbone 2 : oxydé $\text{C}-\text{OH} \rightarrow \text{C}=\text{O}$	
Réaction 3 : Phosphorylation du fructose Carbone 1 : $\text{C}-\text{OH} \xrightarrow{\text{Phosphorylation}} \text{C}-\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$	
Réactions 4 et 5 : formation et isomérisation des trioses-P Clivage liaison C-C entre les carbones 3 et 4 + ouverture du cycle entre les carbones 2 (C=O) et 5 (C-OH) Carbone 1 oxydé $\text{C}-\text{OH} \rightarrow \text{C}=\text{O}$ Carbone 2 réduit $\text{C}=\text{O} \rightarrow \text{C}-\text{OH}$	

Fig. 13. Mécanisme très simplifié de la Glycéraldéhyde-3-phosphate déshydrogénase (étape 6) ★★★

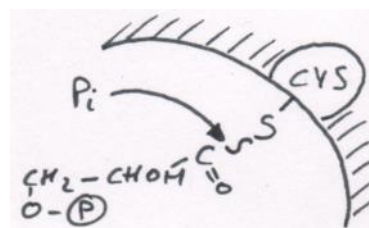
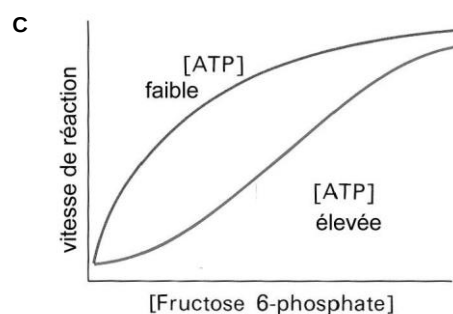
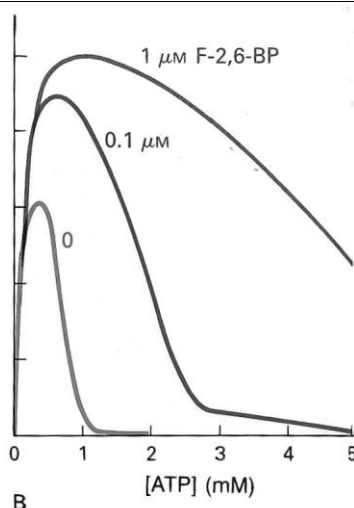
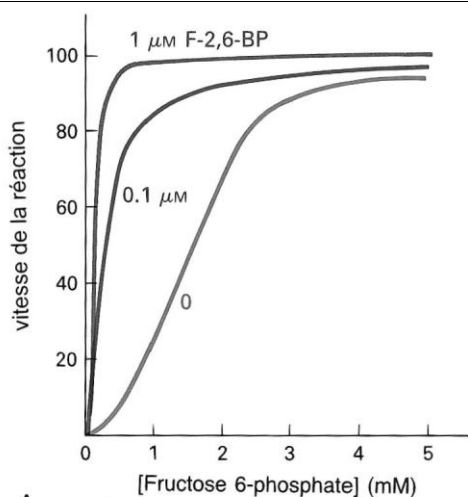
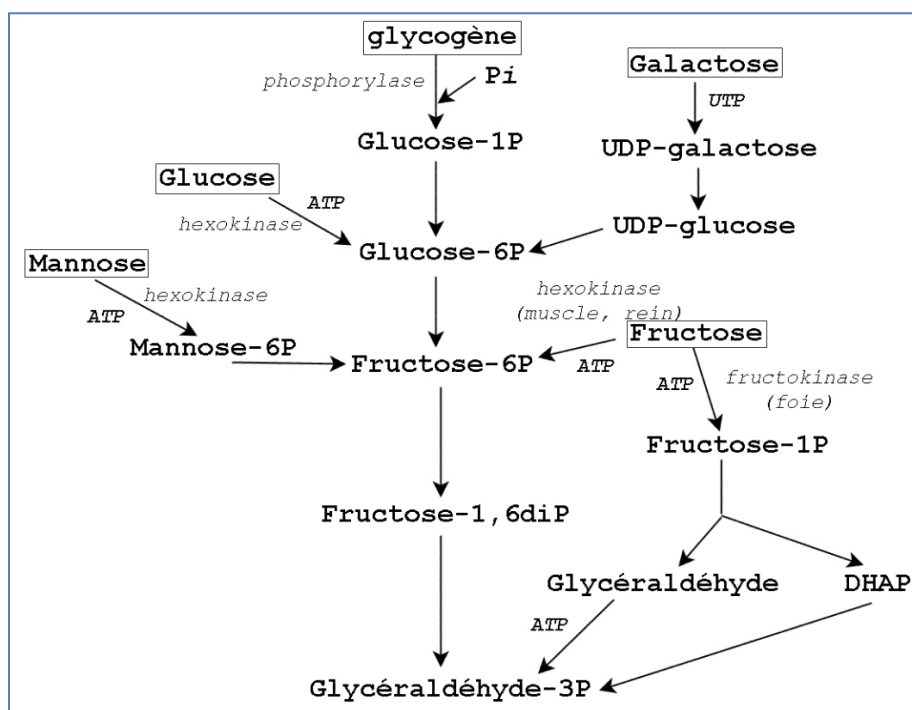
Couplage d'une réaction d'oxydoréduction et d'une réaction de phosphorylation.

**1^{ère} étape : réaction d'oxydoréduction.**

Le site actif de l'enzyme comporte un acide aminé **Cystéine** : il réagit en **oxydant le G3P**. Cette oxydation d'un aldose (réaction thermodynamiquement favorable) est couplée la **réduction de NAD⁺**, et conduit à une fixation du triose sur l'enzyme par une **liaison covalente thioester**.

2^{ème} étape : phosphorylation.

La liaison thioester est une liaison 'riche en énergie' (= son hydrolyse est très exergonique). L'hydrolyse de cette liaison est couplée avec la phosphorylation du triose par un phosphate HPO₄²⁻. Cette réaction libère de l'acide 1-3-bisphosphoglycérique (= glycérate avec deux groupements phosphates, sur les carbones 1 et 3).

**Fig. 14. Les voies d'entrée dans la glycolyse. ★****Fig. 15. Mise en évidence expérimentale d'effecteurs de la Phosphofructokinase (PFK). ★★★**

A et B. Effet du fructose-2,6-bisphosphate. C. Effet de l'ATP.

★★ Fig. 16. Deux effecteurs négatifs de la PFK :

le citrate (=composé du cycle de Krebs)

et le NADH, H^+ .

Leur présence correspond à une charge énergétique forte.

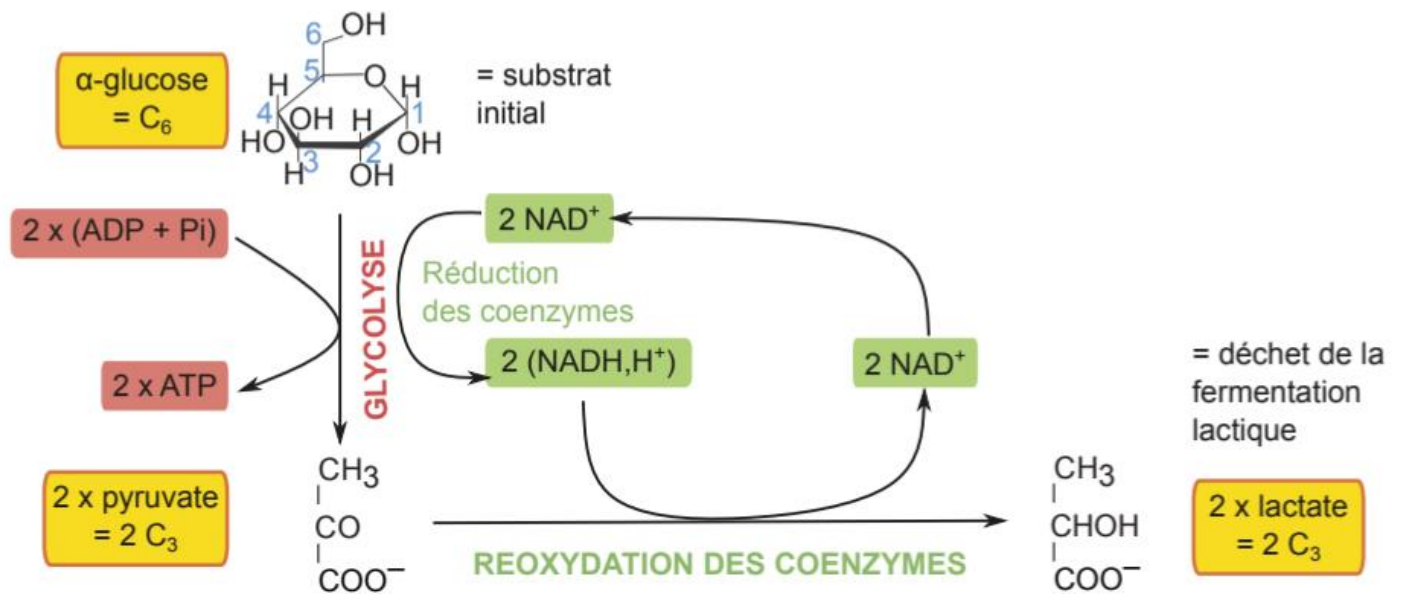
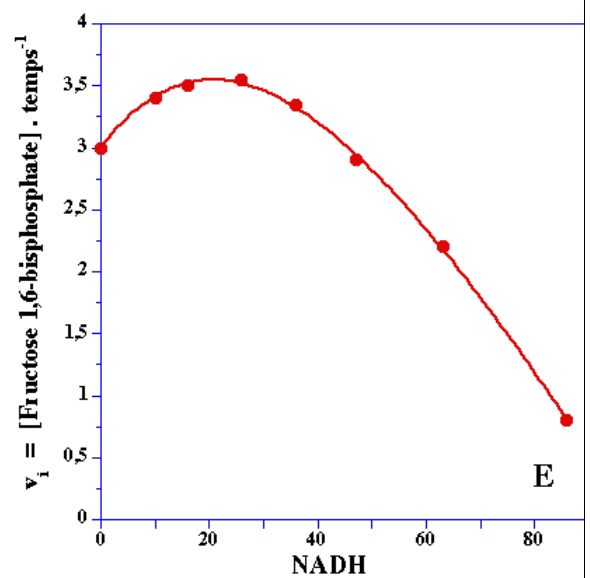
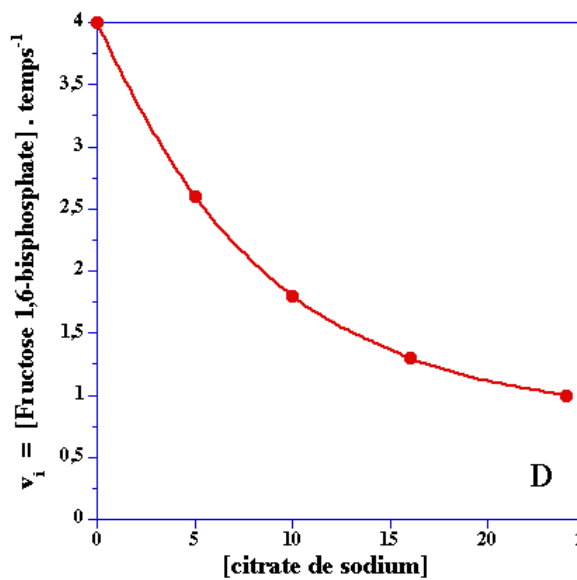


Fig. 17. La fermentation lactique. ★★★ [2]

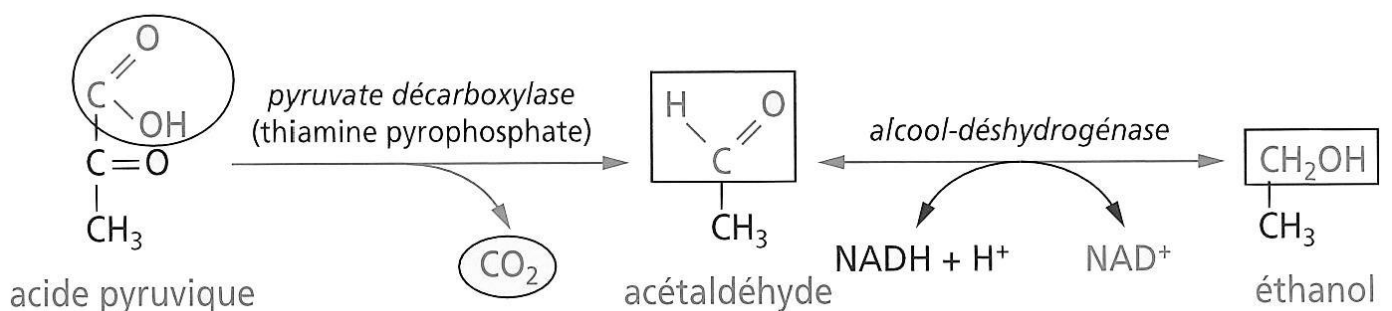


Fig. 18. La fermentation éthanolique. ★★★

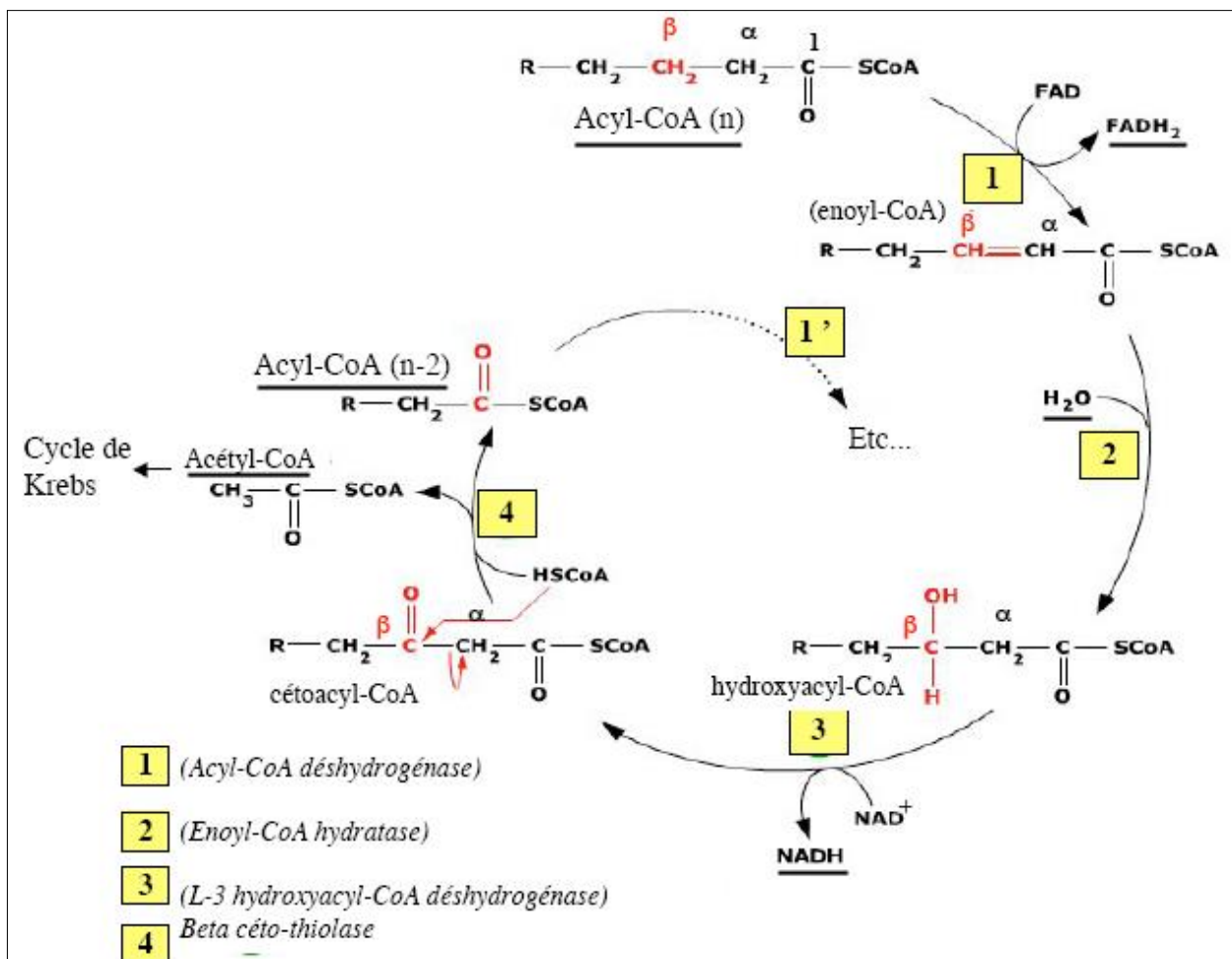


Fig. 19. La bêta-oxydation des acides gras = hélice de Lynen. ★★

Fig. 20. Quelques transporteurs de la membrane interne mitochondriale ★★★

Remarques : (1) équilibre des flux entre ATP et ADP. (2) utilisation du gradient de protons pour l'entrée du phosphate et du pyruvate.

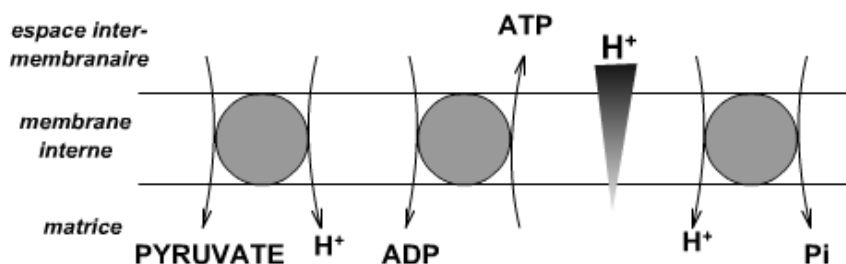
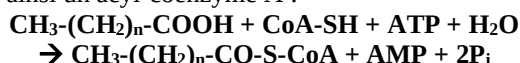
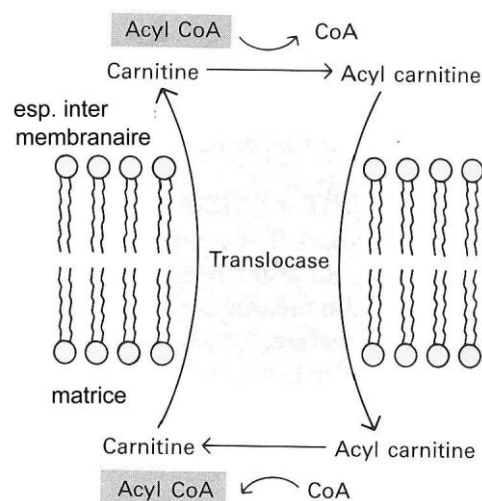


Fig. 21. La navette carnitine – acyl-carnitine : entrée des acides gras dans la mitochondrie ★★

Dans le cytosol, un acide gras est additionné à un coenzyme A, formant ainsi un acyl-coenzyme A :



Cet acyl-CoA ne peut pas pénétrer directement dans la matrice mitochondriale : le groupement acyle est transféré en utilisant une **navette carnitine** : dans l'espace intermembranaire, la carnitine [$\text{NH}_3^+\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_3\text{COO}^-$] reçoit le groupement acyle à transférer ; l'acyl-carnitine ainsi formé peut passer la membrane interne grâce à un cotransport avec la carnitine seule (antiport) ; dans la matrice, l'acyl-CoA est reformé et la carnitine régénérée (elle peut alors retourner dans l'espace intermembranaire).



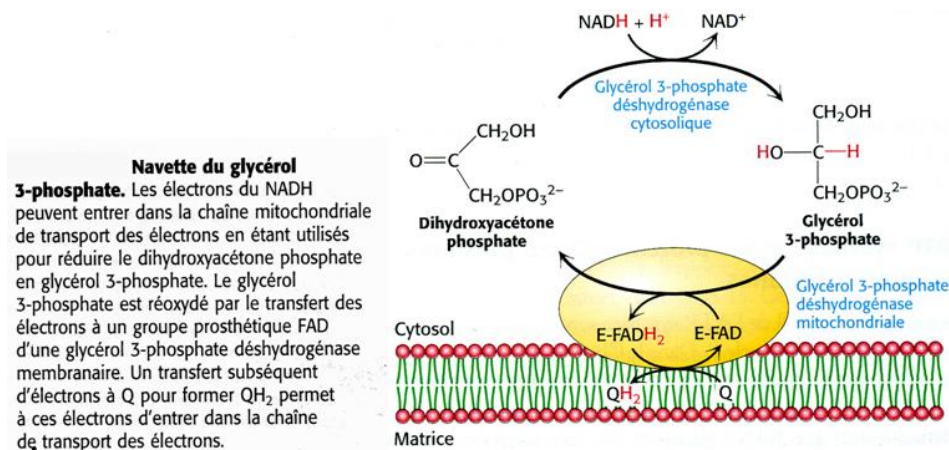
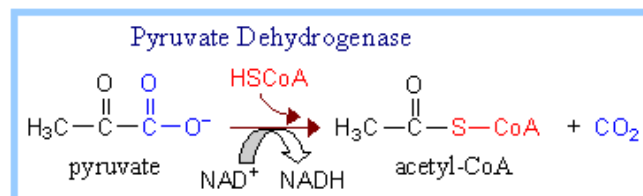


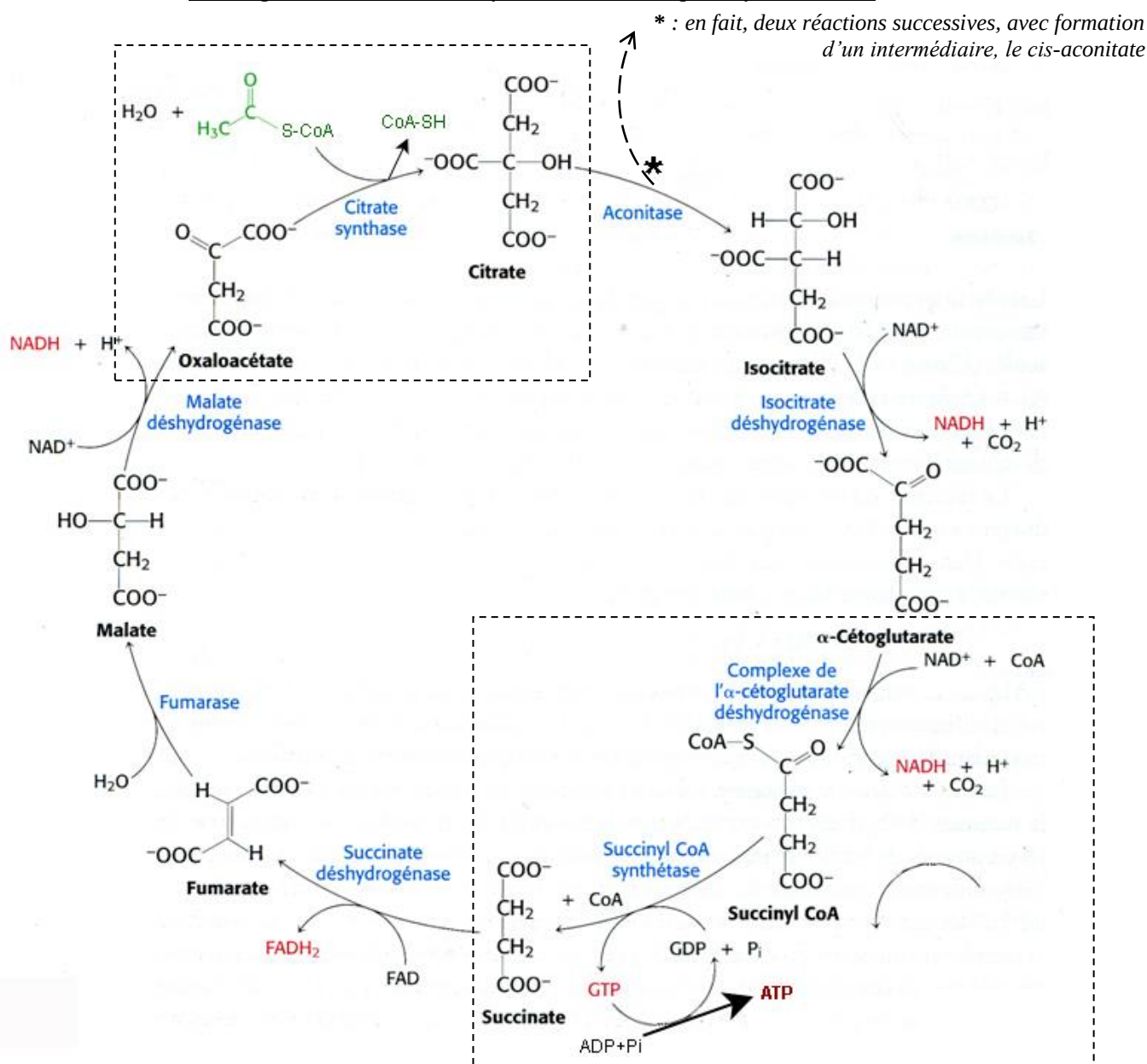
Fig. 22. Une voie d'entrée dans la chaîne respiratoire du pouvoir réducteur produit dans le cytosol. ★★

Fig. 23. Décarboxylation oxydative du pyruvate. ★★★

Cette réaction est catalysée par un complexe enzymatique de grande taille de la matrice : la Pyruvate Déshydrogénase. (en réalité, la réaction présentée ici correspond au bilan de plusieurs réactions se produisant au sein du complexe enzymatique).



★★ Fig. 24. Les réactions du cycle de l'acide citrique = cycle de Krebs



Etape	Reaction	Enzyme	cofacteur	(kJ/mol) $\Delta G^{\circ'}$
1	Acetyl CoA + oxaloacetate + H ₂ O $\longrightarrow$ citrate + CoA + H ⁺	Citrate synthase		-31.4
2	Citrate $\rightleftharpoons$ <i>cis</i> -aconitate + H ₂ O	Aconitase	Fe-S	+8.4
3	<i>cis</i> -Aconitate + H ₂ O $\rightleftharpoons$ isocitrate	Aconitase	Fe-S	-2.1
4	Isocitrate + NAD ⁺ $\rightleftharpoons$ α -cétoglutarate + CO ₂ + NADH	Isocitrate déshydrogénase		-8.4
5	α -Cétoglutarate + NAD ⁺ + CoA $\rightleftharpoons$ succinyl CoA + CO ₂ + NADH	α -Cétoglutarate déshydrogénase complexe	Lipoic acid FAD TPP	-30.1
6	Succinyl CoA + P _i + GDP $\rightleftharpoons$ succinate + GTP + CoA	Succinyl CoA synthetase		-3.3
7	Succinate + FAD (enzyme-bound) $\rightleftharpoons$ fumarate + FADH ₂ (enzyme-bound)	Succinate déshydrogénase	FAD Fe-S	0
8	Fumarate + H ₂ O $\rightleftharpoons$ L-malate	Fumarase		-3.8
9	L-Malate + NAD ⁺ $\rightleftharpoons$ oxaloacetate + NADH + H ⁺	Malate déshydrogénase		+29.8

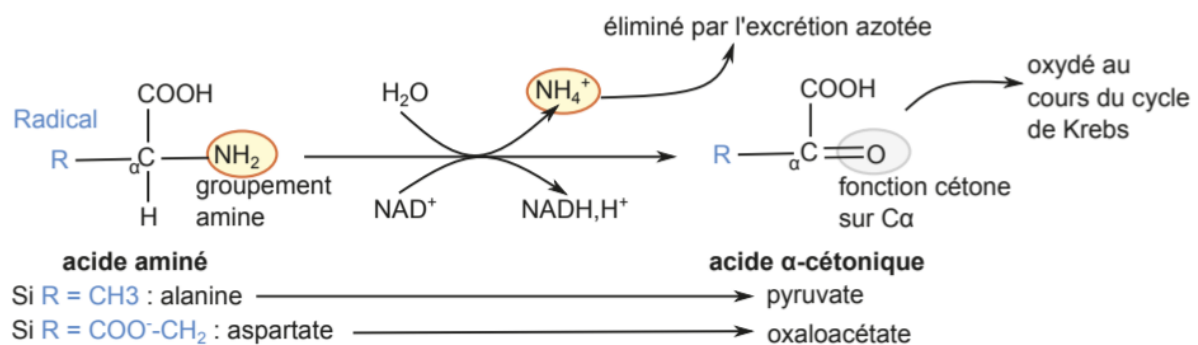
Fig. 25. $\Delta G^{\circ'}$ et réactions du cycle de Krebs. ★

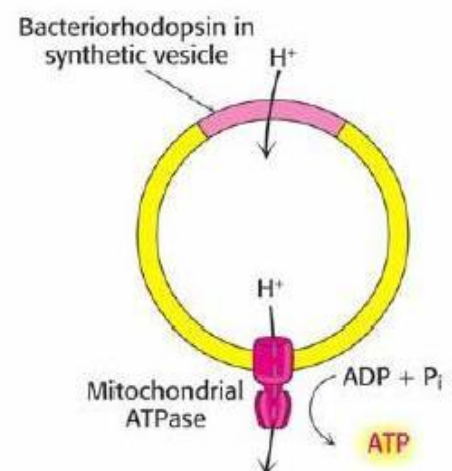
Fig. 26. Catabolisme des acides aminés. ★★

Fig. 27. Etudes expérimentales de la production d'ATP par conversion d'une force proton-motrice. ★

Expérience 1 : mise en évidence d'un couplage entre gradient de protons et synthèse d'ATP grâce à l'ATP synthase.

La bactériorhodopsine est une protéine bactérienne qui transporte les protons contre leur gradient de concentration grâce à l'énergie lumineuse. En absence de lumière (donc sans gradient de H⁺) on n'observe pas de synthèse d'ATP. L'ajout de lumière suffit à déclencher la synthèse d'ATP.

Oxydation et phosphorylation sont couplées par une force proton-motrice



Expérience 2 : expérience de Jagendorf

Des thylakoïdes isolés à partir de chloroplastes de cellules végétales sont incubés dans un milieu acide (à pH = 4,0). Ceci permet, après équilibration, d'acidifier le lumen de ces thylakoïdes.

Le transfert dans un milieu à pH = 6,0 permet de créer un gradient de protons orienté vers l'extérieur des thylakoïdes. En présence d'ADP et de P_i, on observe une production d'ATP.

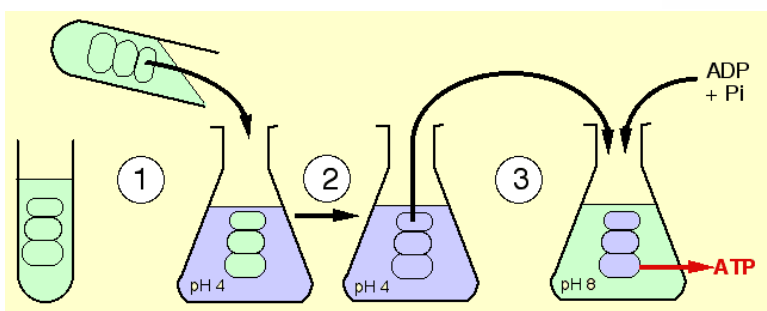
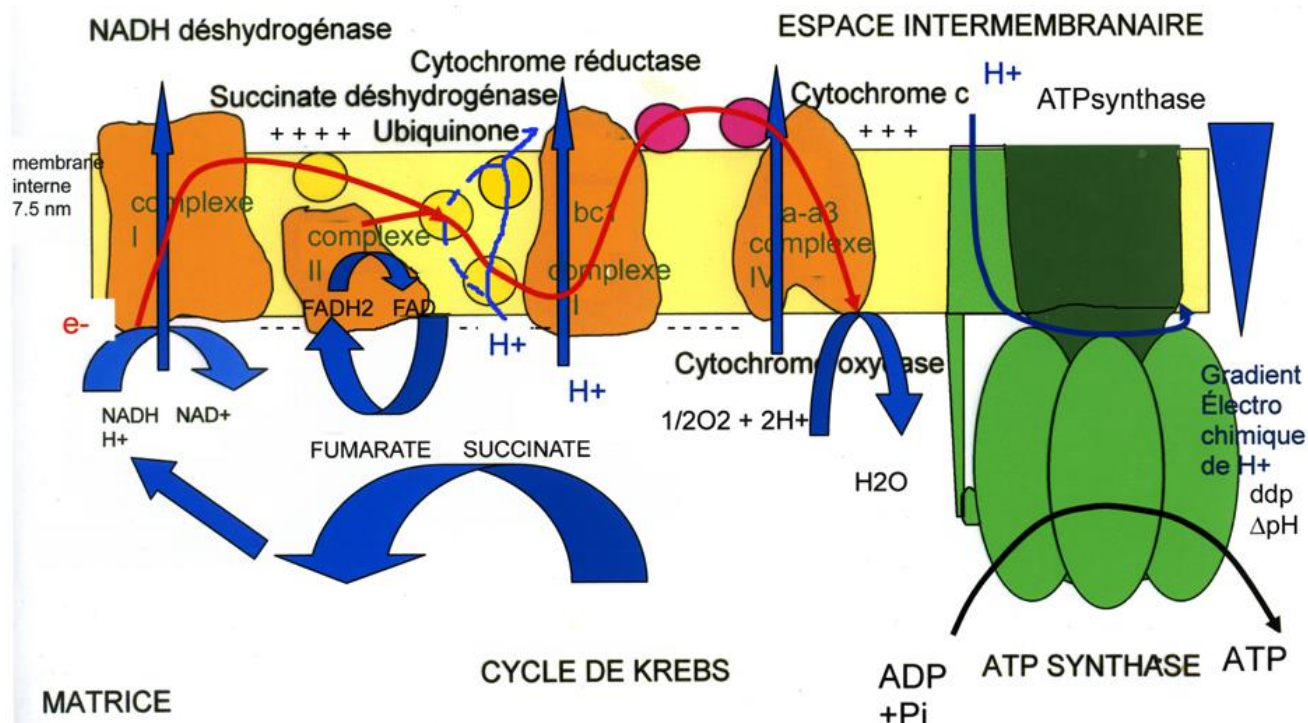


Fig. 28. Chaîne respiratoire et ATP synthase de la membrane mitochondriale interne.



★★★

Fig. 29. Le fonctionnement de la chaîne respiratoire. ★

Complexe I : NADH-Q réductase :

Le NADH, H⁺ cède ses électrons au niveau du complexe NADH Q réductase. Il s'agit d'un très gros complexe enzymatique, transmembranaire. Sa masse moléculaire vaut environ 850kD et le complexe comporte 25 chaînes polypeptidiques. Plusieurs réactions d'oxydoréductions se déroulent au niveau de ce complexe.

Au sein du complexe, les électrons sont transférés du NADH, H⁺ à un coenzyme FMN (FMN → FMNH₂) lié, puis à une série de groupements Fer-Soufre (Fe³⁺ → Fe²⁺). Le complexe I cède ces électrons à une quinone, l'ubiquinone.

4 ions H⁺ sont transférés de la matrice vers l'espace intermembranaire.

Complexe II : succinate-Q réductase :

FADH₂ (lié de façon covalente à l'enzyme) cède ses électrons à un complexe fer-soufre. Fe-S les transfère ensuite à la quinone. Les FADH₂ formés lors de la β-oxydation (cf. II.C.2) cèdent leurs électrons directement à l'ubiquinone.

Ces réactions sont spontanées : les électrons se déplacent bien des potentiels redox bas vers les potentiels redox élevés. Mais la libération d'énergie n'est pas suffisante pour transférer des protons dans l'espace intermembranaire. En d'autres termes, le FADH₂ a moins d'énergie potentielle que le NADH, H⁺.

L'ubiquinone :

C'est un groupement hydrophobe qui s'insère dans la bicouche lipidique de la membrane interne. C'est une molécule stable et mobile dans la membrane interne : elle peut se déplacer d'un complexe à l'autre.

Elle peut capter deux électrons, passant ainsi de sa forme oxydée (Q) à sa forme réduite (QH₂), mais en passant par un état intermédiaire : semiquinone qui est un radical libre (QH•).

Complexe III : Cytochrome réductase = Cytochrome b/c1 :

Les cytochromes sont une famille de protéines possédant un groupement prosthétique hème, avec un atome de Fer. Ce Fer peut être sous deux états : Fe³⁺ (oxydé) et Fe²⁺ réduits. Les hèmes des cytochromes de type c sont liés de façon covalente à la chaîne peptidique, via 2 cystéines.

Le complexe cytochrome c réductase est aussi appelé complexe b-c1, car il est composé d'un cytochrome b et d'un cytochrome c1 mais aussi d'une protéine fer soufre. Il est constitué au total de 4 sous unités.

Le transfert général d'électrons est le suivant : la QH₂ cède ses électrons au complexe fixe cytochrome c réductase. A son tour il les cède à un cytochrome mobile dans la membrane.

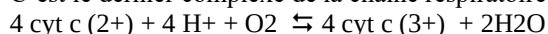
Le complexe III permet la libération de 4 ions H⁺ dans l'espace intermembranaire.

Le cytochrome c mobile :

C'est une petite protéine, avec un domaine hydrophile et un domaine hydrophobe. Elle est située en périphérie de la membrane du côté espace intermembranaire. Elle est aussi mobile : elle se déplace entre les 2 complexes, cytochrome c réductase et cytochrome c oxydase. Les interactions avec les complexes se font grâce à des interactions ioniques. En effet, le cytochrome c possède un domaine riche en lysines (chargées +) qui interagit avec les complexes chargées négativement.

Complexe IV : Cytochrome oxydase = Cytochrome a/a3 :

C'est le dernier complexe de la chaîne respiratoire : il transfère les électrons du cytochrome c mobile au dioxygène. Soit :



Le complexe cytochrome c oxydase possède 8 sous unités (dont 3 ont la particularité d'être codé par le génome mitochondrial). Il permet le transfert de 2 ions H⁺ de la matrice vers l'espace intermembranaire.

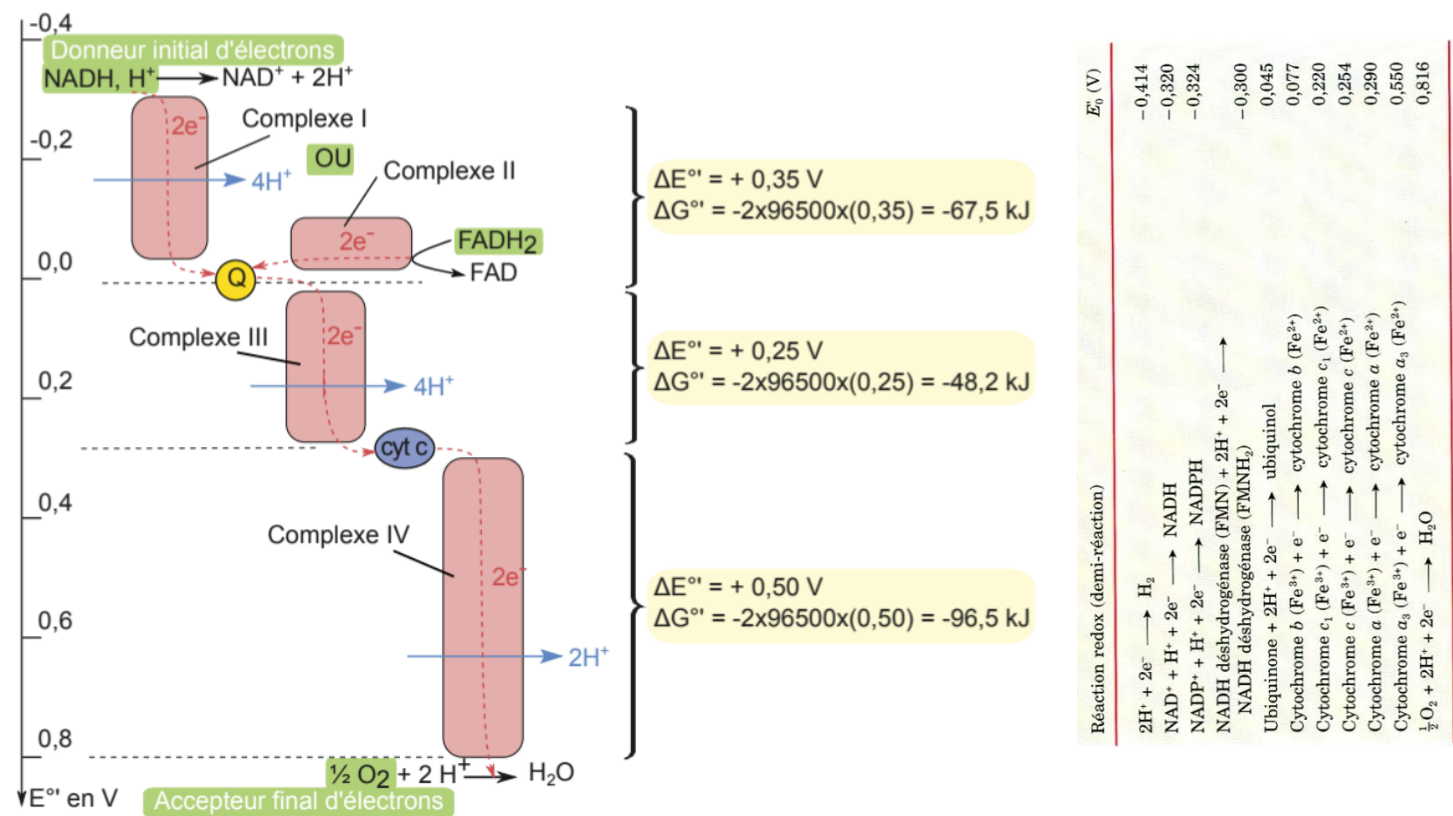


Fig. 30. Chaîne respiratoire et potentiels rédox. ★★ [2][1]

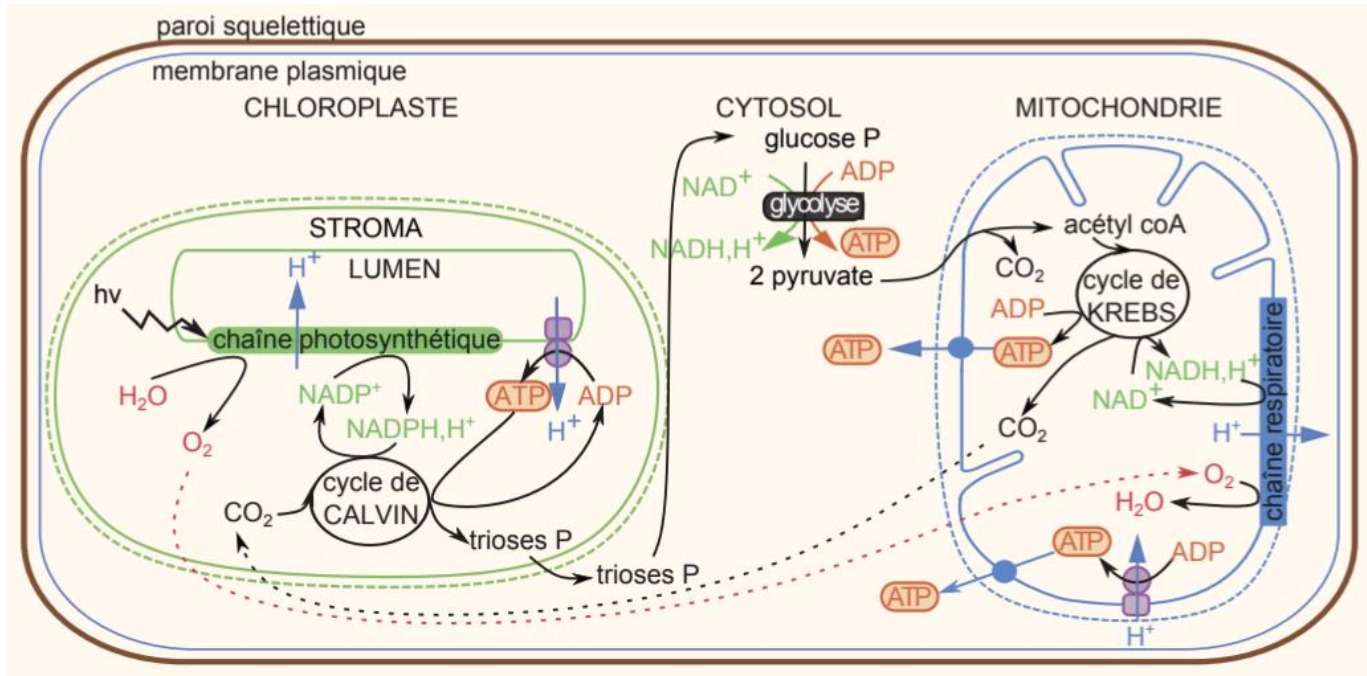


Fig. 31. Complémentarité fonctionnelle entre la mitochondrie et le chloroplaste. ★★★ [2]

Références	[1] ou absence de numéro : Ouvrage ou page Internet non précisé
	[2] C. Perrier <i>et al.</i> Biologie BCPST1 tout-en-un. Dunod
	[3] O. Dautel <i>et al.</i> Biologie Géologie BCPST1. Vuibert
	[4] C. Perrier <i>et al.</i> Biologie BCPST1 tout-en-un, édition 2013. Dunod

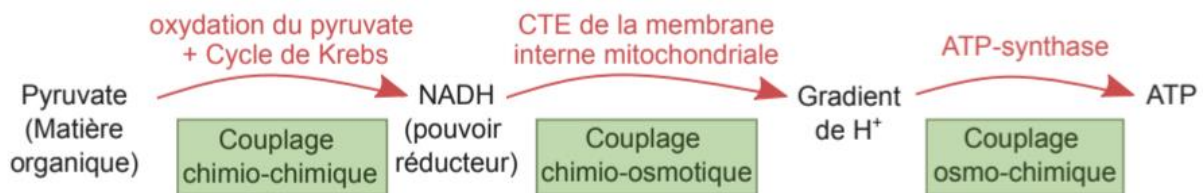


Fig. 32. Respiration cellulaire et couplages. ★★★ [2]

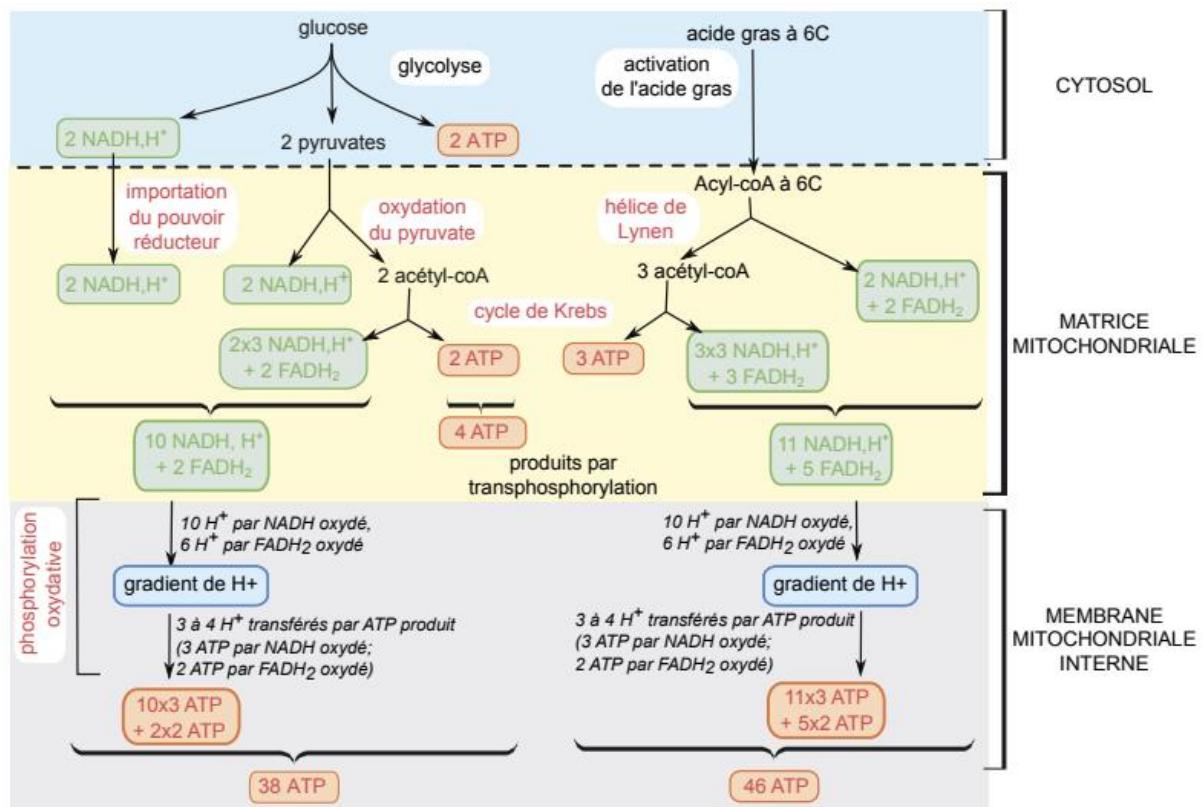
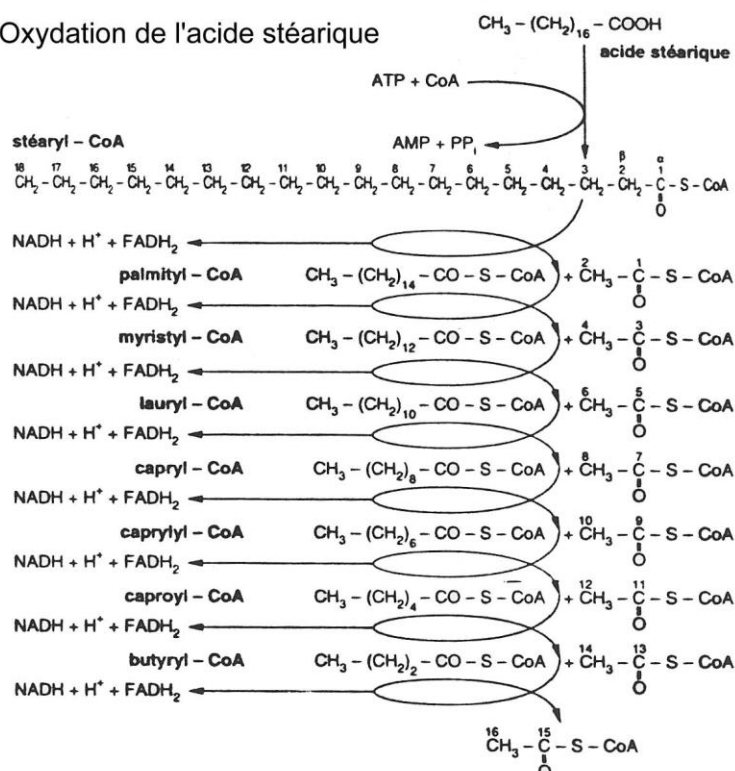


Fig. 33. Comparaison de l'oxydation d'un glucose et d'un acide gras à 6 carbones. ★★★ [2]

Oxydation de l'acide stéarique



★★★ Fig. 34. Un exemple de bilan énergétique : la bêta-oxydation de l'acide stéarique

L'acide stéarique est un acide gras saturé à 18 carbones (n=18). Sa dégradation complète par l'hélice de Lynen nécessite 8 tours d'hélice (n/2 - 1), et produit au final :

- 8 FADH₂ (1/tour)
- 8 NADH,H⁺ (1/tour)
- 9 acétylCoA (1/tour + 1)

Sachant qu'un FADH₂ permet la production de 2 ATP, qu'un NADH,H⁺ la production de 3 ATP, qu'un acétylCoA la production de 12 ATP, et que 2 ATP (environ) ont été commencés pour la formation du stéaryl-CoA, on peut estimer la production totale d'ATP à partir de la décarboxylation oxydative complète de l'acide stéarique à 147 ATP.

Remarque : on a donc une production moyenne de 8,16 ATP par atome de carbone pour cet acide gras, à comparer avec le glucose (36-38 ATP pour 6 carbones) qui ne produit que 6 à 6,33 ATP par atome de carbone. On visualise ainsi bien que les acides gras sont plus énergétiques que les glucides (environ 30% de plus dans cet exemple théorique de calcul).