

SV-E – Le métabolisme cellulaire

Chapitre 3 – Le devenir de la matière organique



Source : <https://animauxinfo.com>

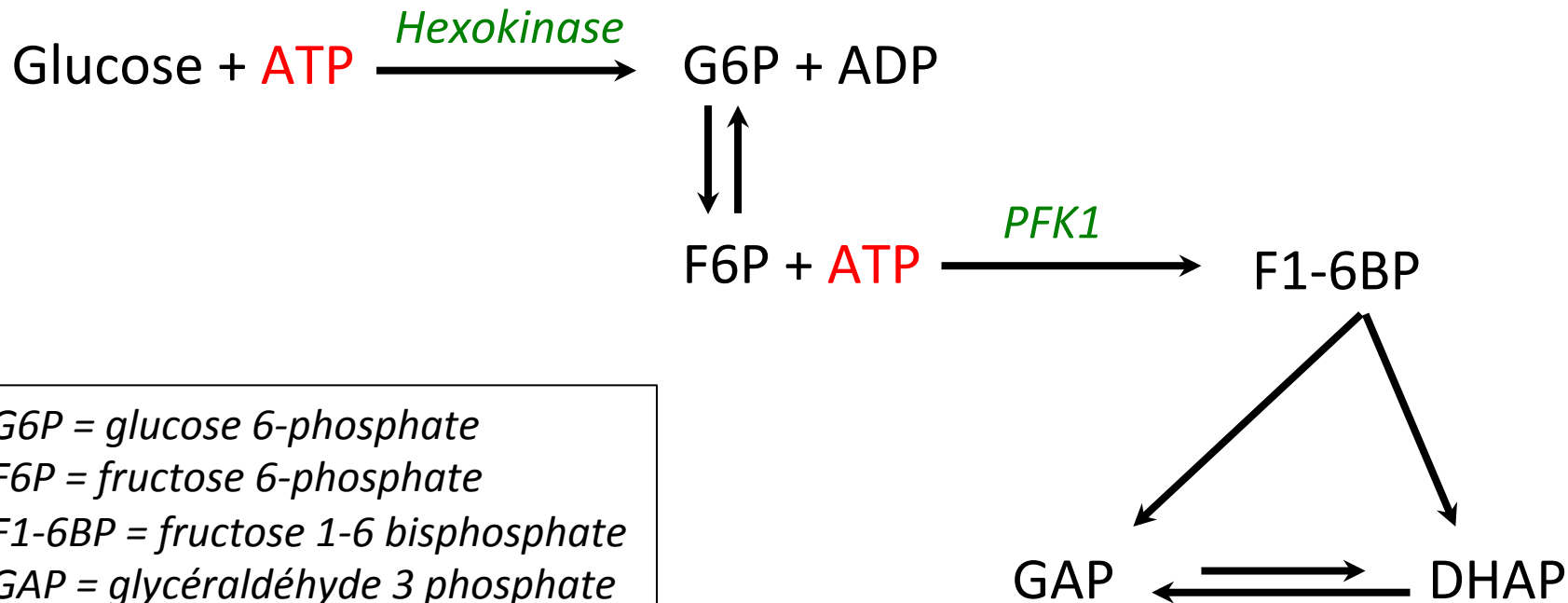
Les 3 devenir possibles de la matière organique

- l'exploitation de l'énergie chimique = **CATABOLISME**
- l'utilisation dans la synthèse de constituants = **ANABOLISME** qui assurent :
 - le maintien en vie des cellules par renouvellement des molécules usagées et la croissance
 - le stockage de réserves

1. Le catabolisme, exploitation de l'énergie chimique de la matière organique

1.1. La glycolyse, une voie universelle d'oxydation cytosolique

La glycolyse : phase d'investissement



G6P = glucose 6-phosphate
F6P = fructose 6-phosphate
F1-6BP = fructose 1-6 bisphosphate
GAP = glycéraldéhyde 3 phosphate
DHAP = dihydroacétone phosphate

Investissement de 2 ATP

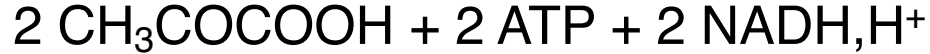
La glycolyse : phase de remboursement



*GAP = glycéraldéhyde 3 phosphate
1-3 BPG = 1-3 Bisphosphoglycérate
3-PG = 3 phosphoglycérate
2-PG = 2 phosphoglycérate
PEP = phosphoénolpyruvate*

Remboursement de 2 ATP et 1 NADH, H⁺ par GAP

Bilan

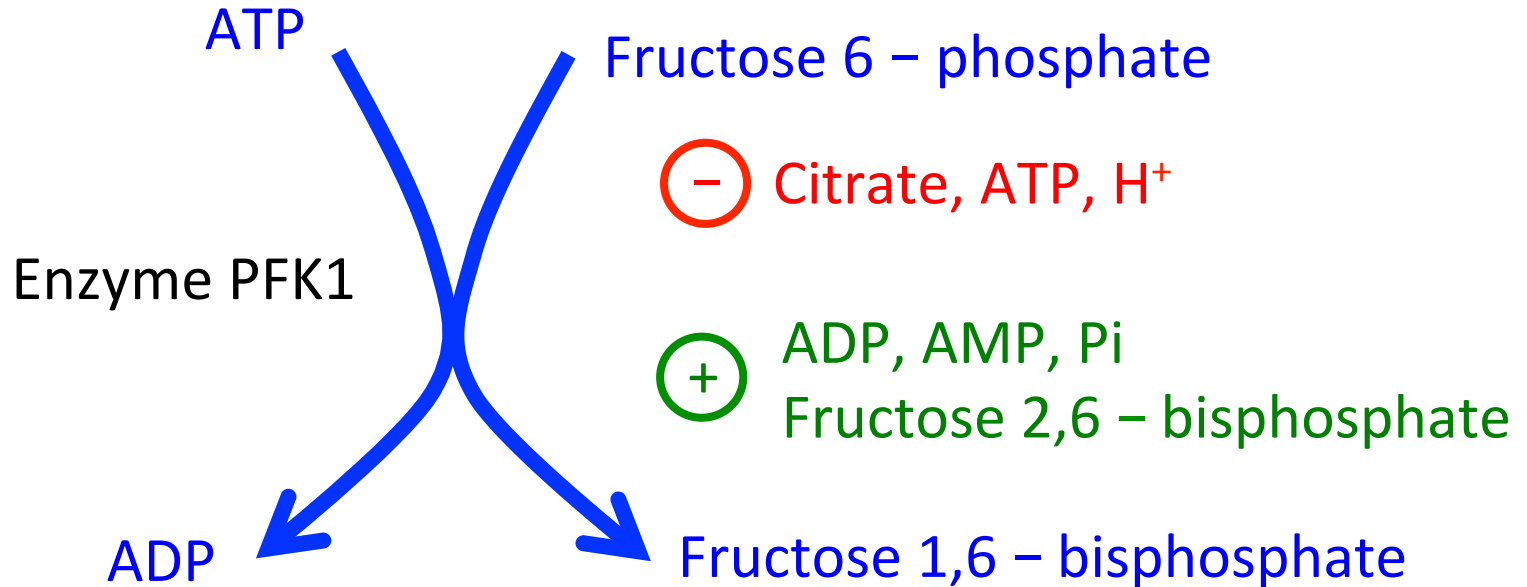


phase endergonique : 2 ATP utilisés

phase exergonique : 2 NADH, H⁺ et 2 x 2 = 4 ATP

bilan net par glucose : 2 NADH, H⁺ et 2 ATP

Les effecteurs de la PFK1



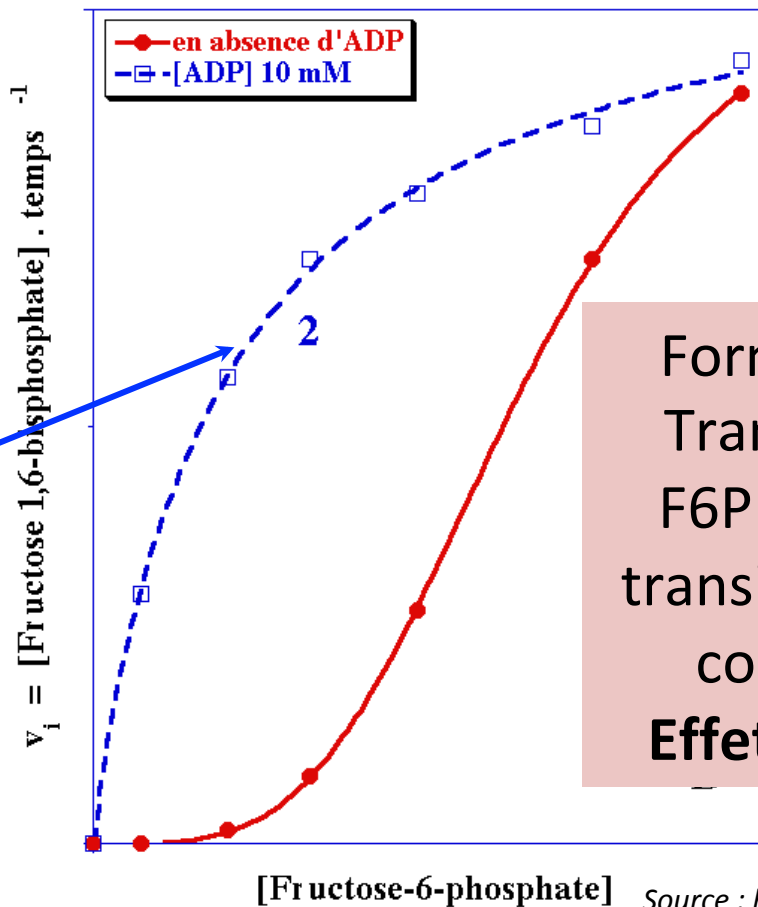
La PFK1, une enzyme allostérique

Fructose 6 P + ATP



Fructose 1,6 diP + ADP

Cinétique michaélienne :
l'ADP induit la transition
 $T \rightarrow R$ même sans substrat
Plus d'effet coopératif
visible



Forme sigmoïde
Transition $R \rightleftharpoons T$
F6P provoque la
transition $T \rightarrow R$ par
coopérativité
Effet homotrope

La PFK1, enzyme sous contrôle

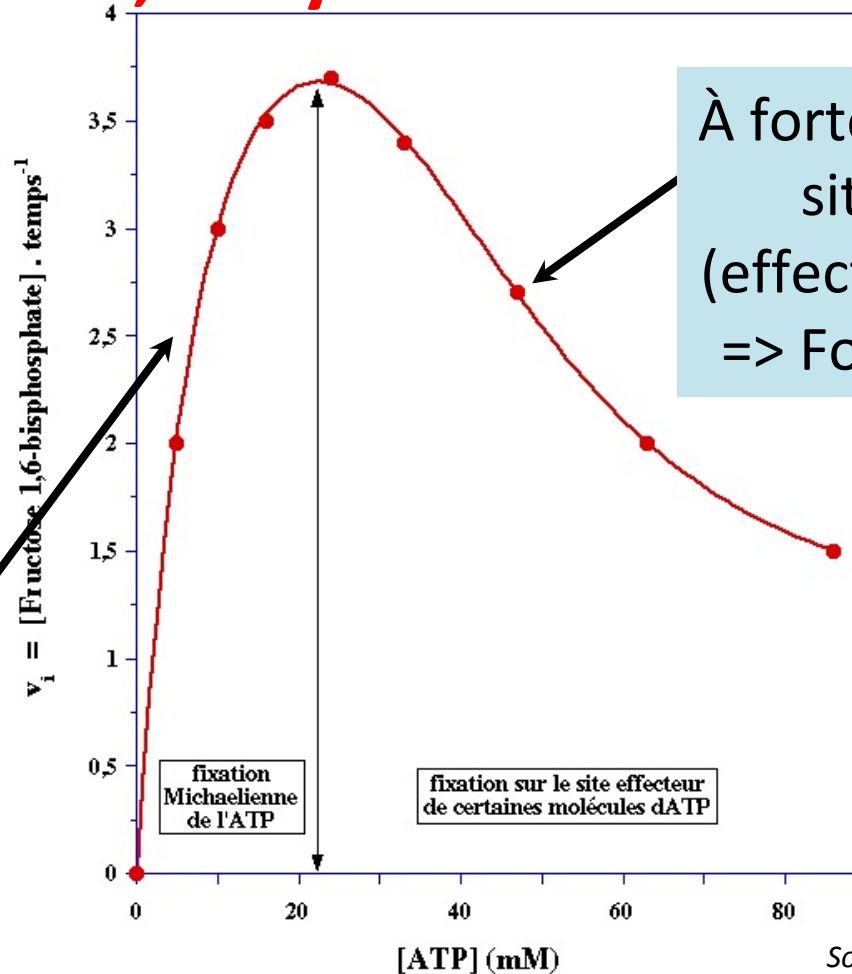
Fructose 6 P + ATP



Fructose 1,6 diP + ADP

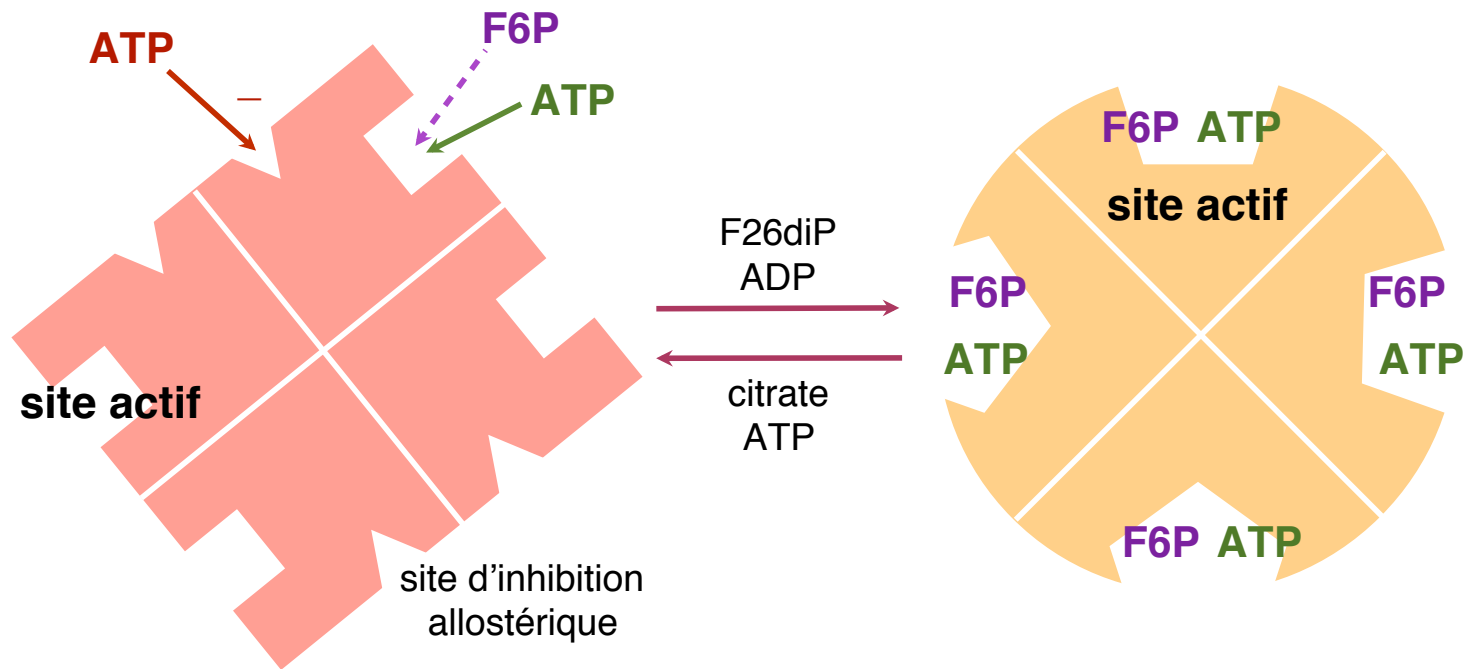
ATP = substrat **et**
effecteur

À faible [ATP], il
est un substrat se
liant au site actif



À forte [ATP], il se lie au
site allostérique
(effecteur **hétérotrope**)
=> Forme T peu active

La PFK1 possède deux formes

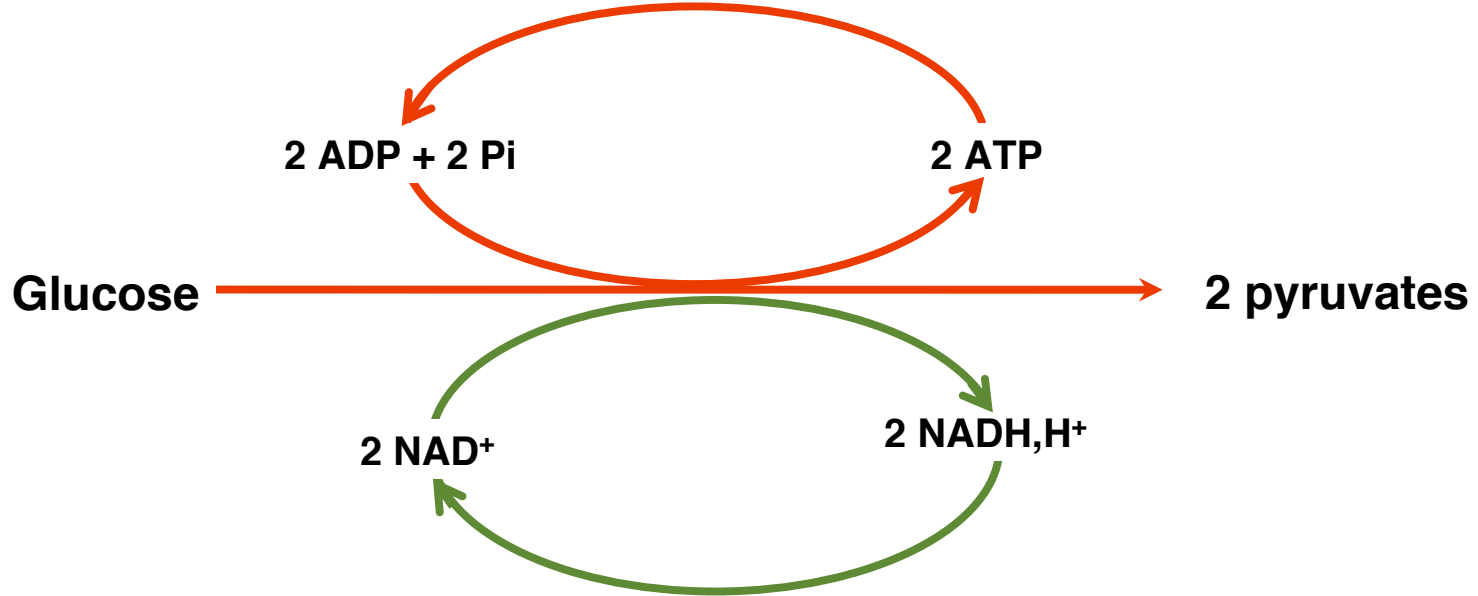


Forme T : l'ATP en forte concentration se fixe dans le site allostérique et limite l'accès du F6P au site actif.

Forme R : le site actif est très accessible pour F6P et ATP

Poursuite de la glycolyse

consommation de l'ATP par l'activité cellulaire



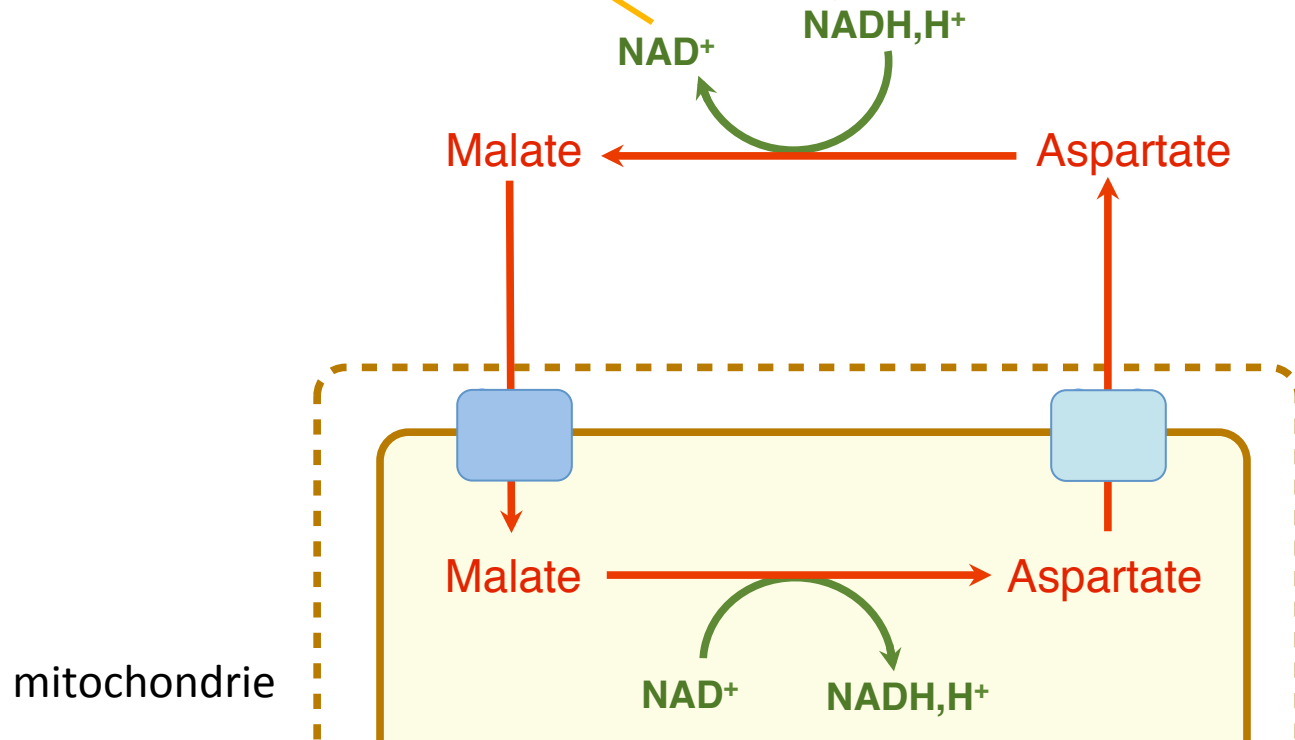
Régénération du NAD^+ par deux voies possibles :

- réoxydation au niveau de la mitochondrie si présence de dioxygène ;
- réoxydation par transferts des électrons vers le pyruvate = **fermentation**, en cas d'absence de dioxygène.

Régénérer le NAD^+ en aérobie

Système navette malate - aspartate

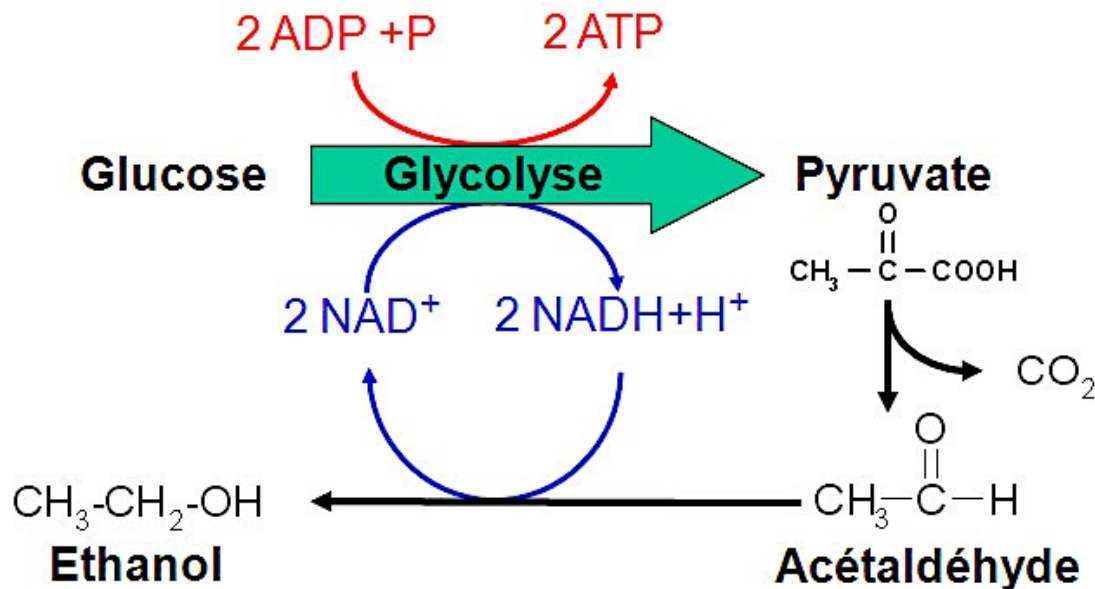
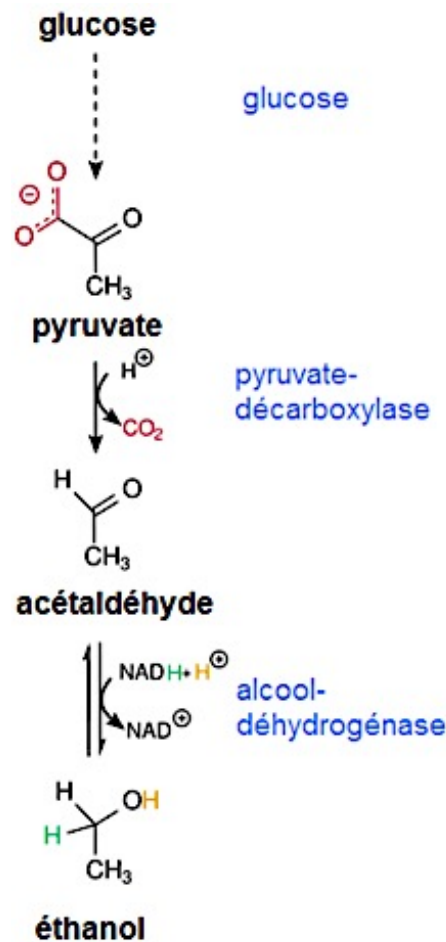
glycolyse



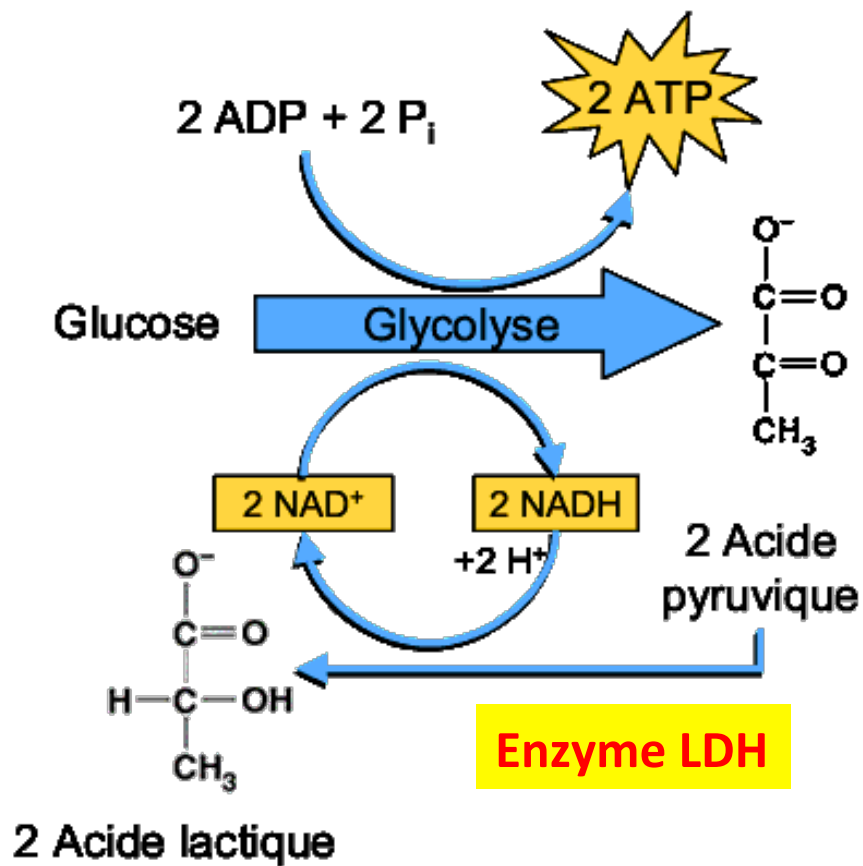
1. Le catabolisme, exploitation de l'énergie chimique de la matière organique

1.2. La fermentation : une poursuite de glycolyse sans libération d'énergie

La fermentation alcoolique



La fermentation lactique



Le rendement de la glycolyse + fermentation

Une mole de glucose représente 2860 kJ par son oxydation complète.

On ne récupère que 2 mol d'ATP = 61 kJ

soit 2 % de rendement !

Mais la glycolyse est rapide.

La diversité des fermentations

Fermentation	type d'aliment concerné	Micro-organisme mis en jeu
lactique	yaourt, choucroute, saucisson, levain, certains fromages	<i>Lactobacillus, Lactococcus, Streptococcus</i>
malolactique	travail du vin rouge	<i>Oenococcus</i>
alcoolique	boissons alcoolisées	<i>Saccharomyces cerevisiae, Candida utilis</i>
acétique	vinaigre	<i>Acetobacter</i>
propionique	fromages à pâte cuite	<i>Propionibacterium</i>
butyrique	odeur piquante des fromages	<i>Clostridium butyricum</i>

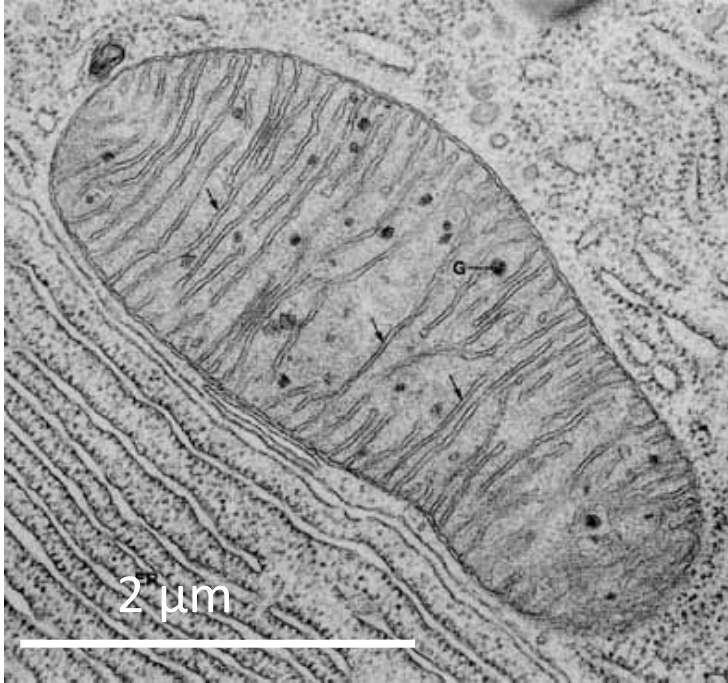
Les plantes possèdent rarement de glucose mais de l'amidon. Donc on utilise le malt = orge germé car l'amidon est hydrolysé en glucose au moment de la germination.

La fermentation acétique, découverte par Pasteur, nécessite du dioxygène.

1. Le catabolisme, exploitation de l'énergie chimique de la matière organique

1.3. Le métabolisme oxydatif de la mitochondrie

La mitochondrie, organe semi-autonome



MITOCHONDRIE

organe semi-autonome de 3 μm

division binaire

milieu réactionnel = **matrice**

ADN, ribosomes, enzymes

membrane externe perméable

membrane interne à replis (**crêtes**)

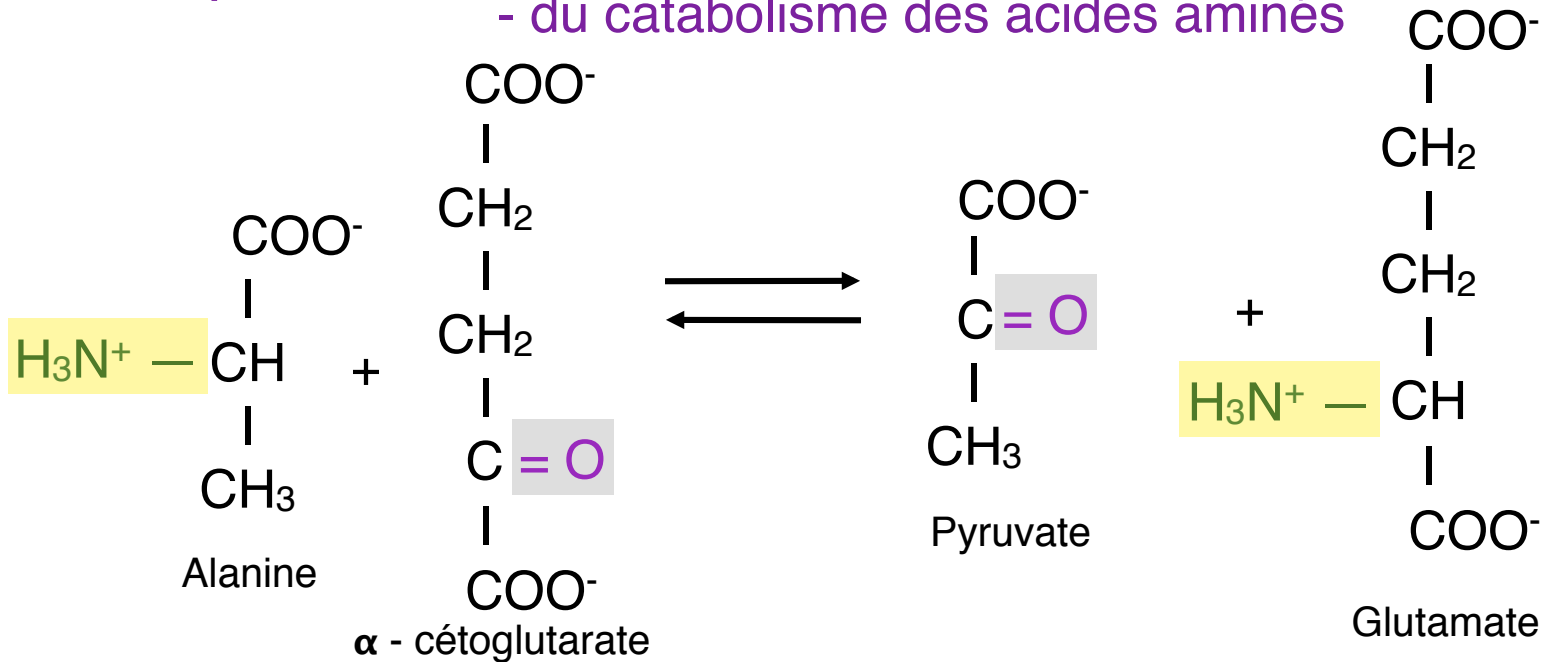
présence de transporteurs d'électrons
et d'ATP synthase

La formation d'acétyl coenzyme A...

... à partir du pyruvate

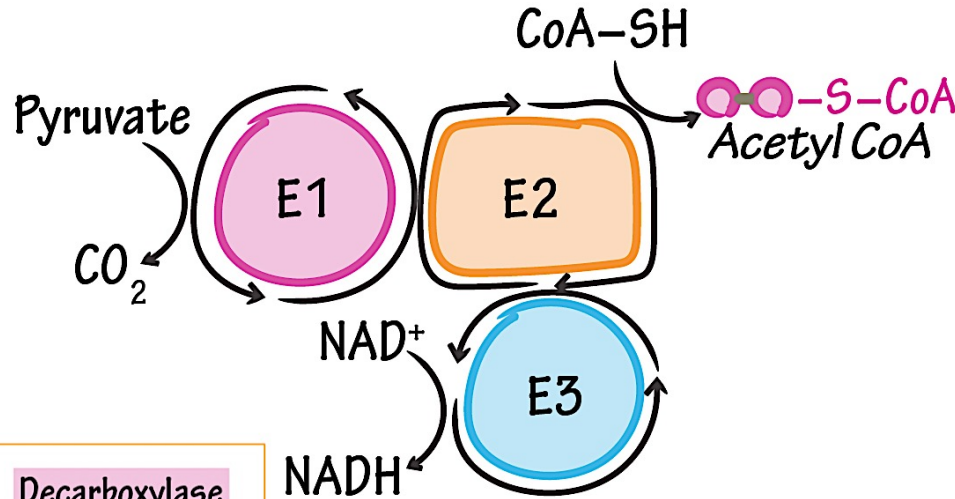
Le pyruvate provient

- de la glycolyse
- du catabolisme des acides aminés



possible avec Cystéine, Glycine, Sérine, Thréonine et Tryptophane

Du pyruvate à l'acétyl-coenzyme A



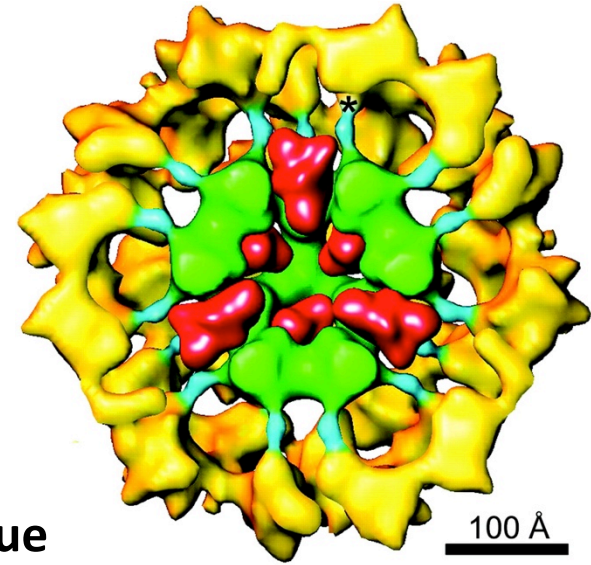
Decarboxylase

Transacetylase

Dehydrogenase

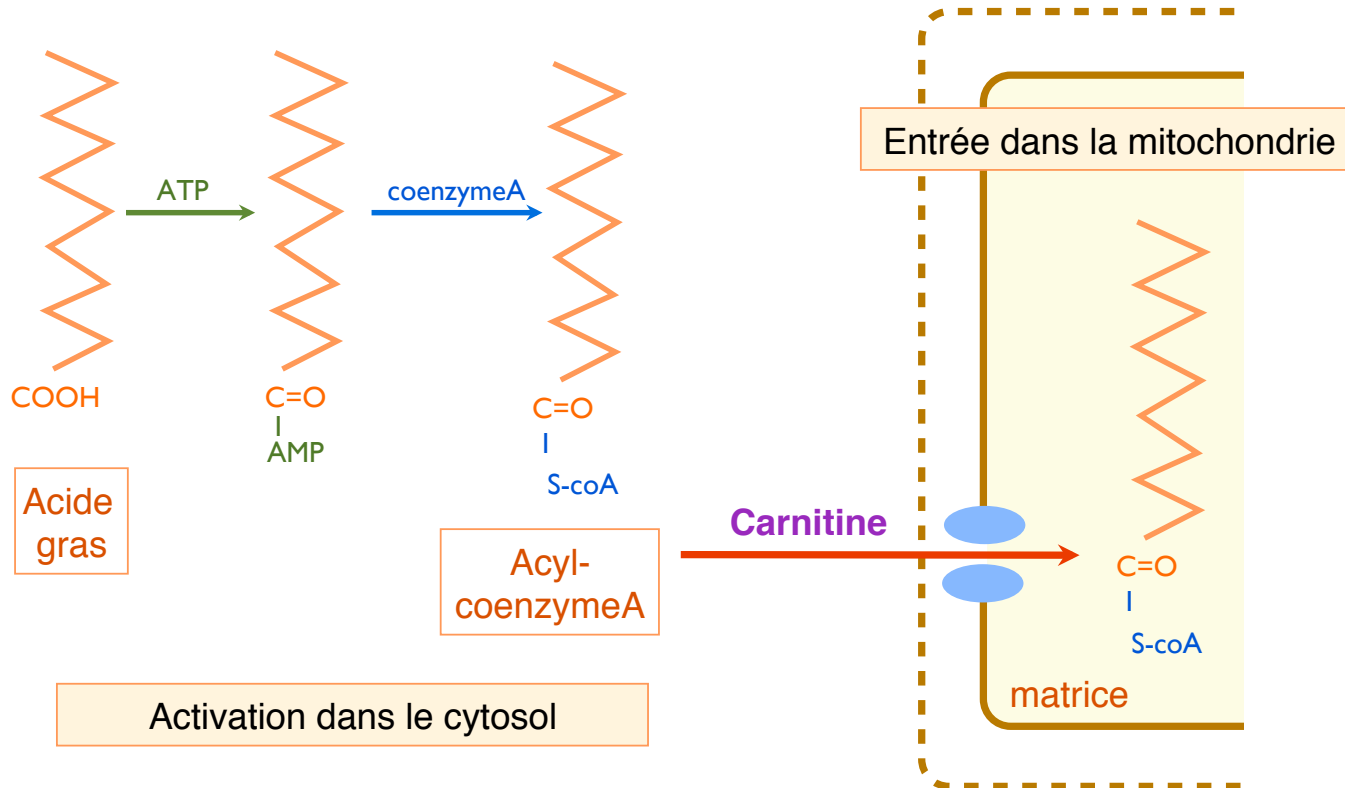
Un complexe multi-enzymatique

- Série de réactions en séquence
- Minimisation des réactions parasites
- Régulation coordonnée

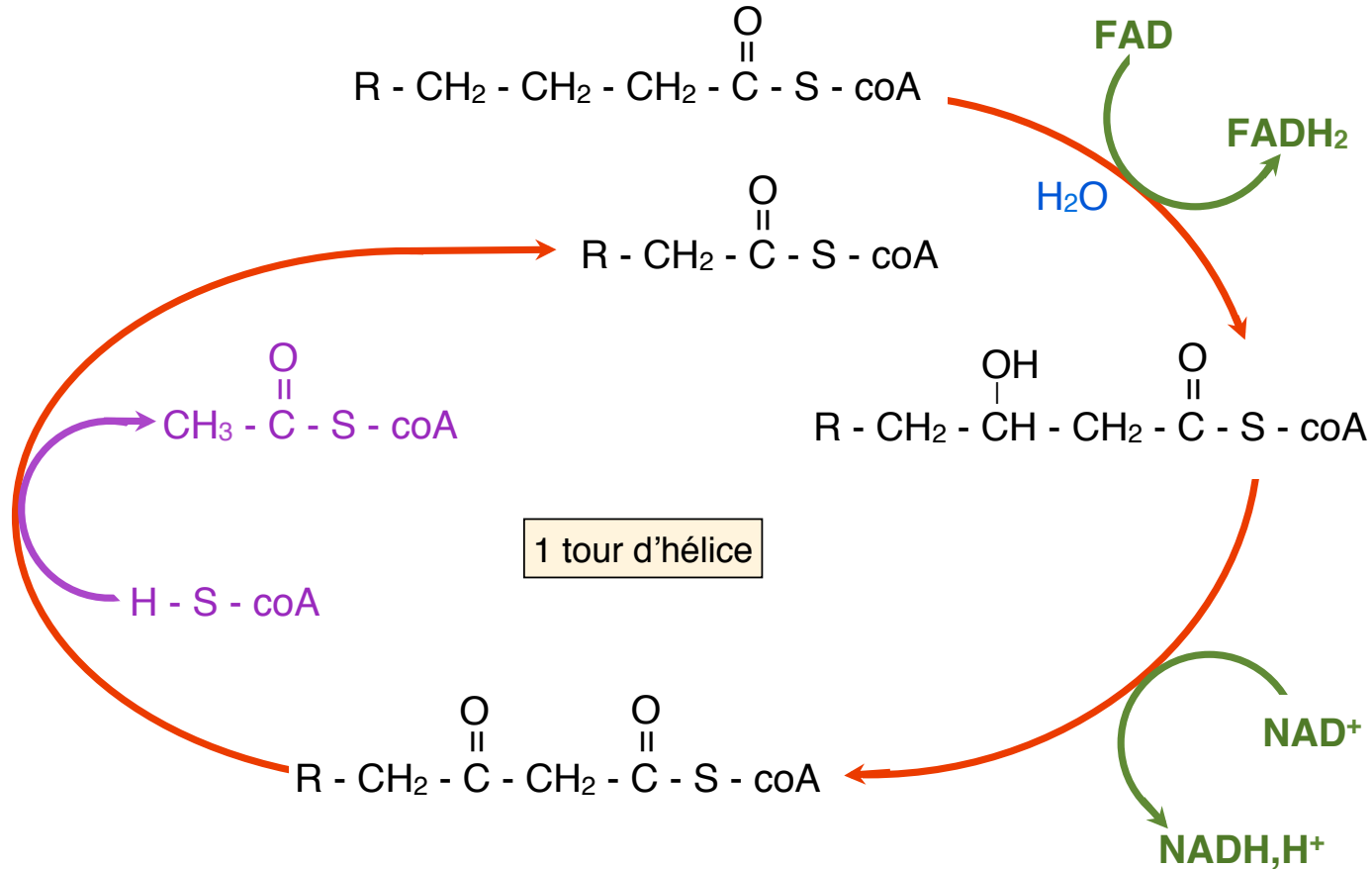


La formation d'acétyl coenzyme A...

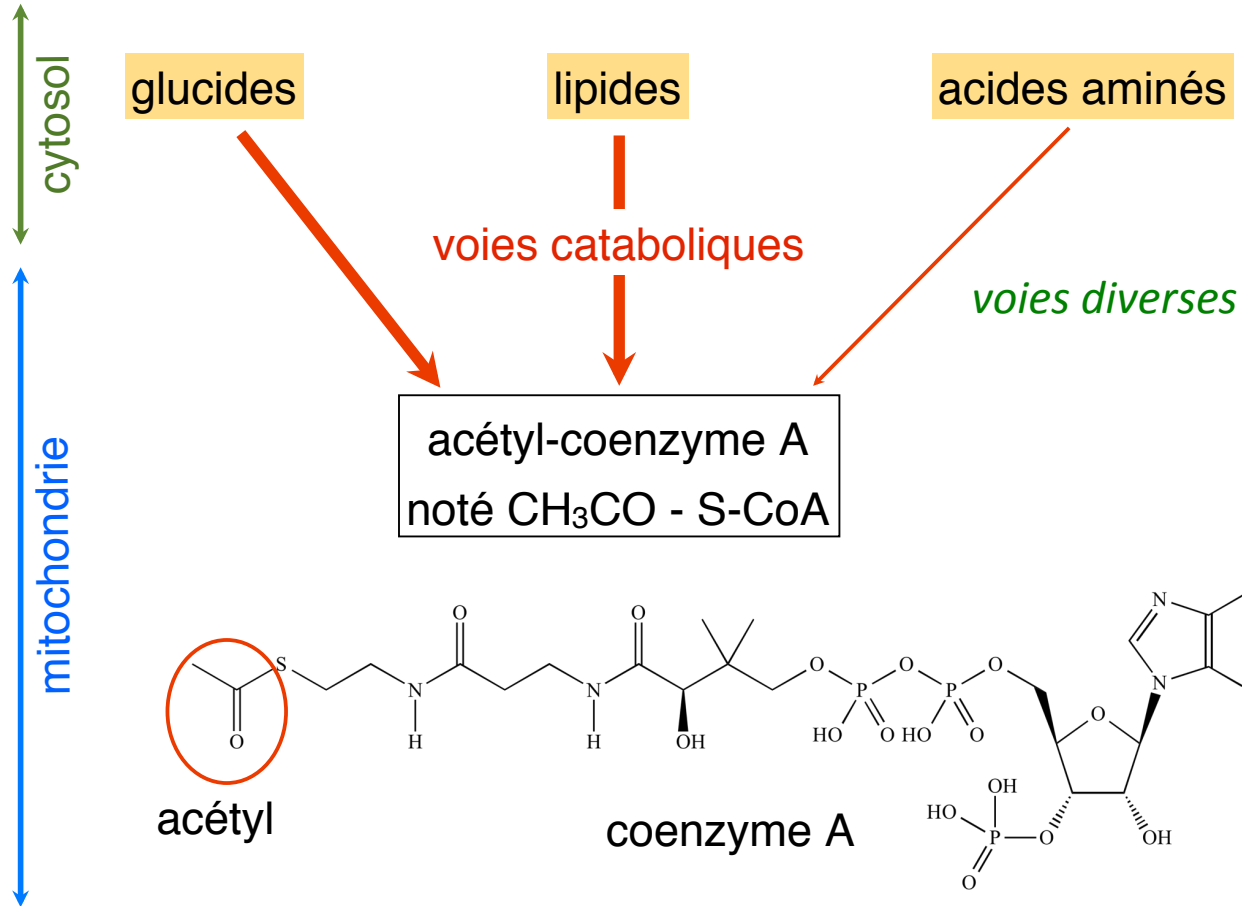
... à partir des acides gras



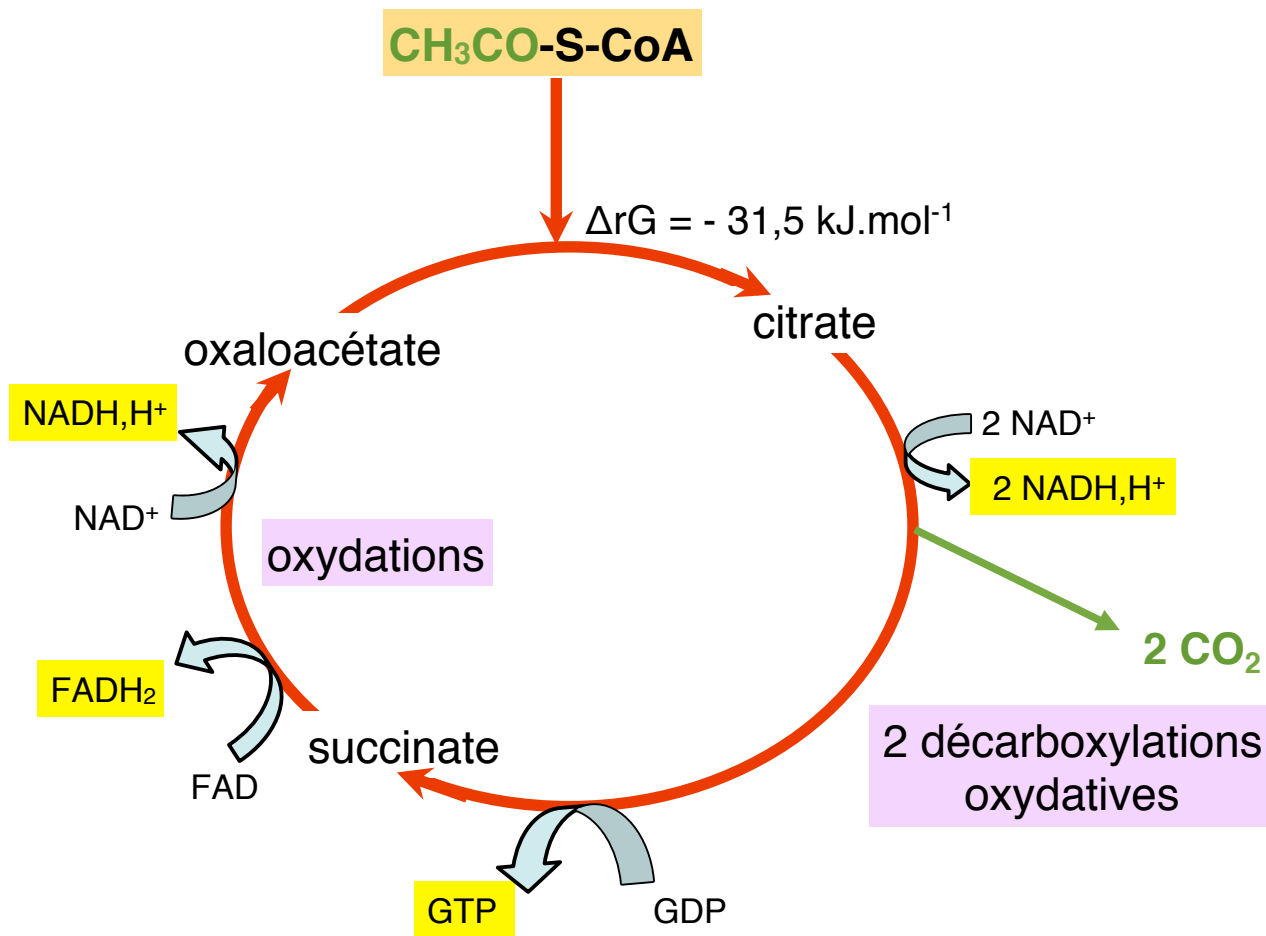
L'hélice de Lynen



BILAN

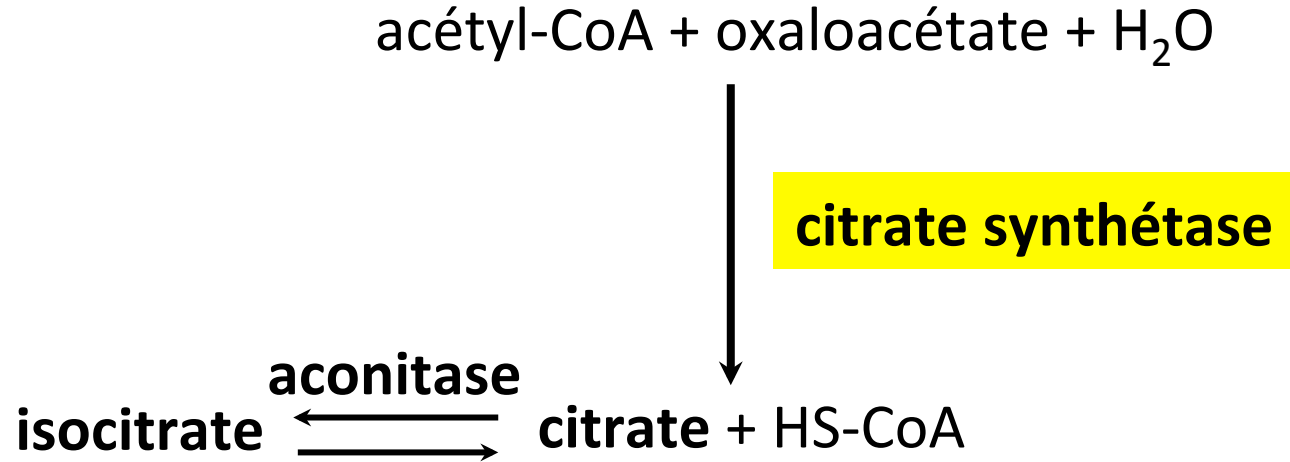


Version simplifiée



L'entrée dans le cycle de Krebs

Condensation de l'acétyl-coenzyme A et de l'oxalo-acétate en citrate



L'énergie nécessaire à la condensation est fournie par rupture de la liaison thioester de l'acétyl-CoA.

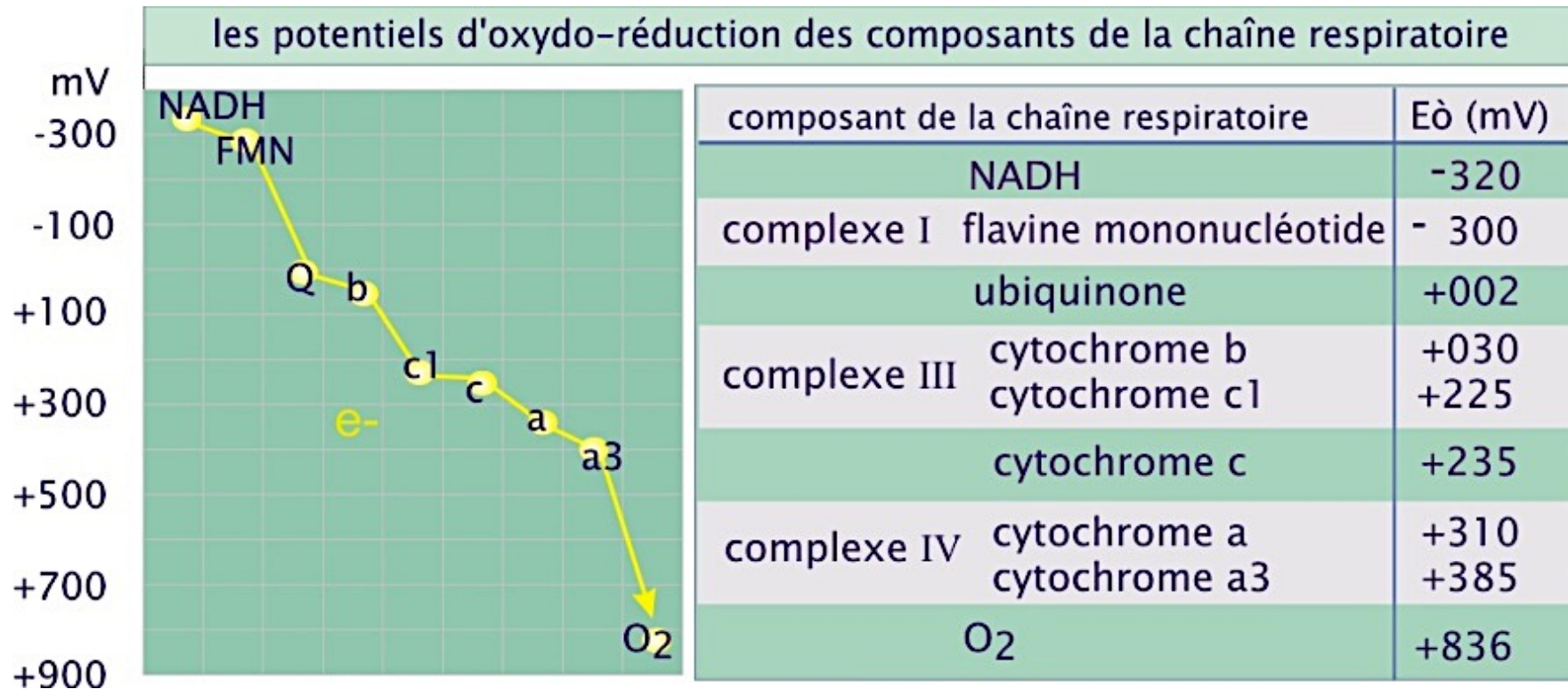
$$\Delta_r G = - 31,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

BILAN

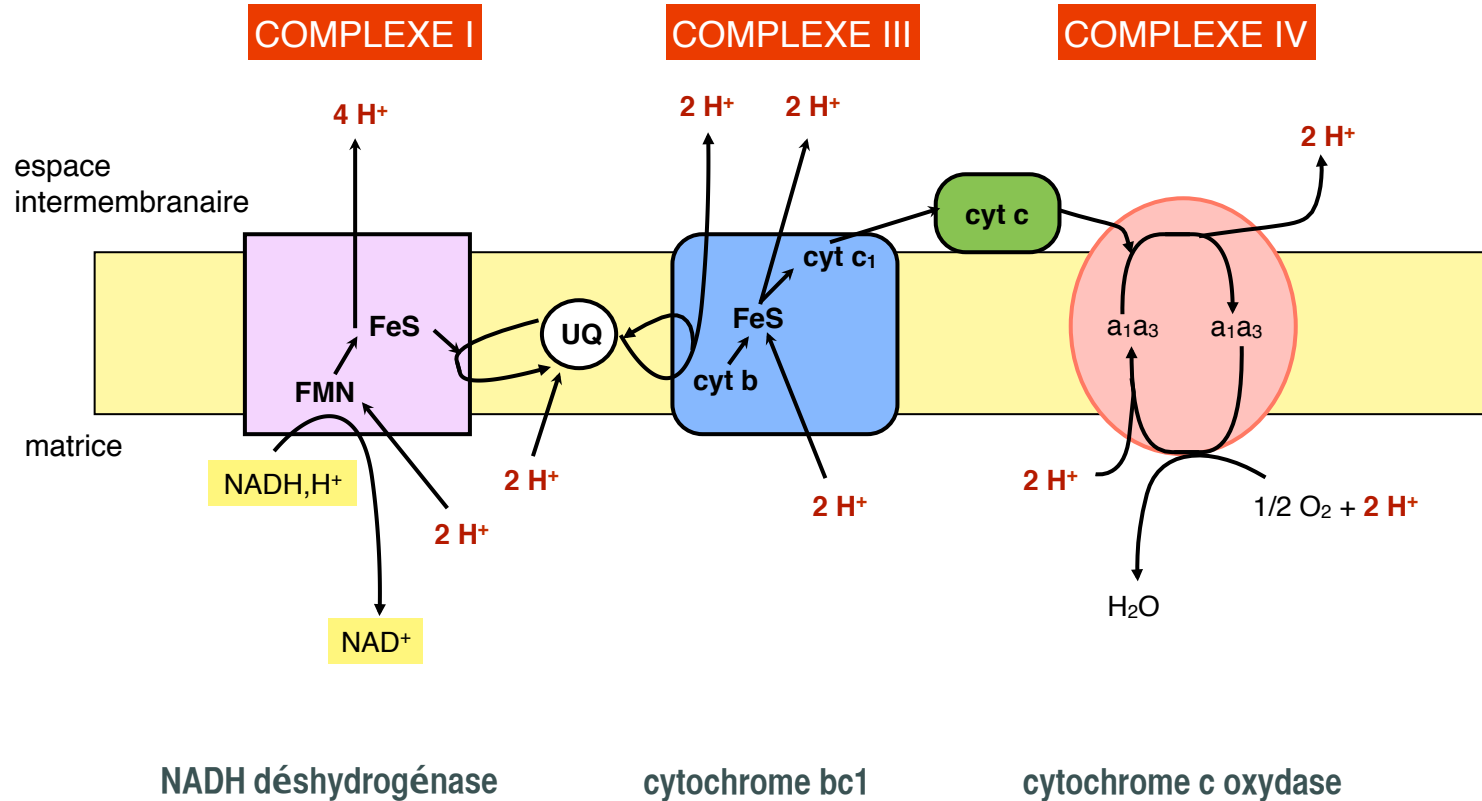


Nombreux couplages chimio-chimiques basés sur le coenzyme A

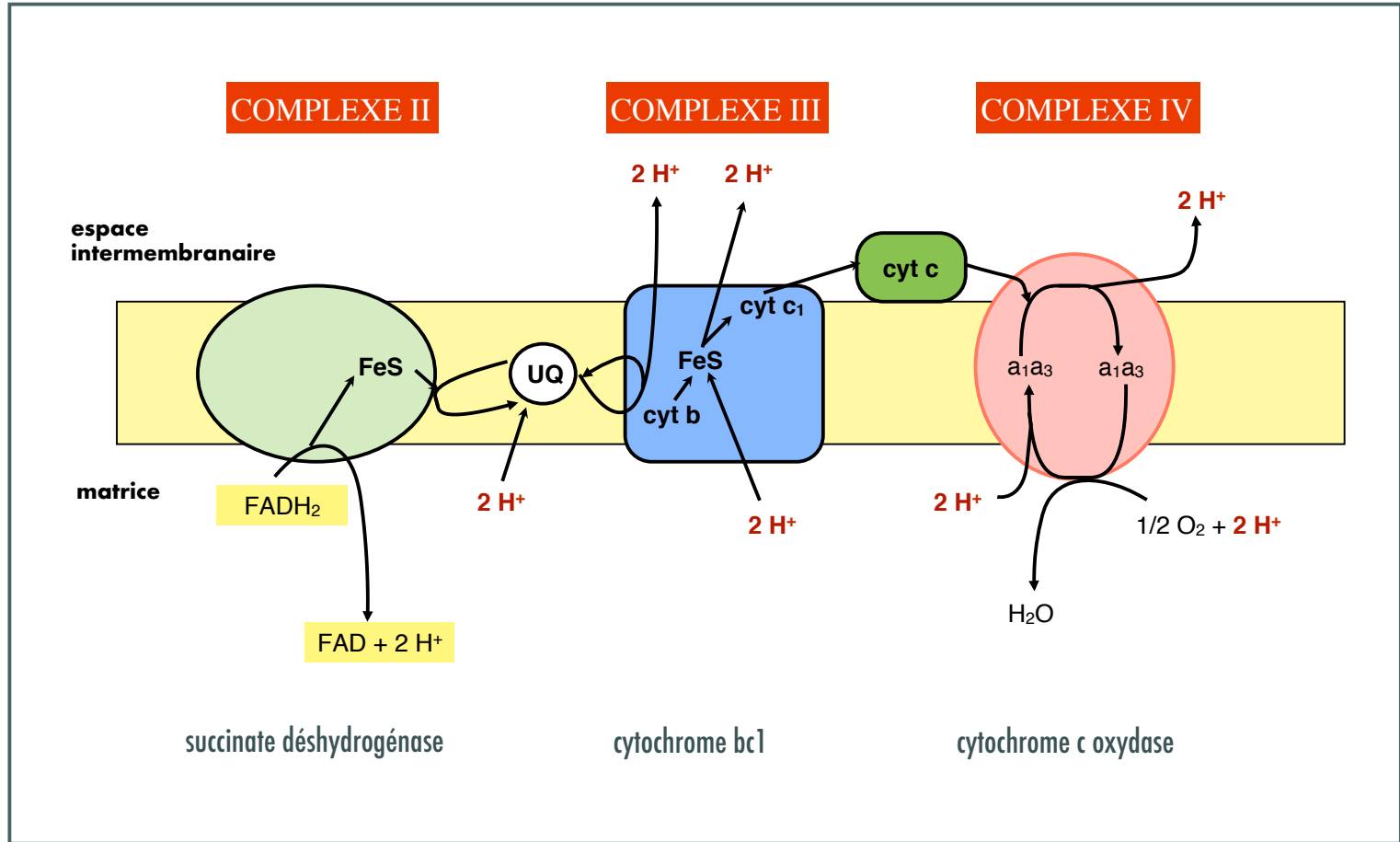
Les potentiels rédox associés



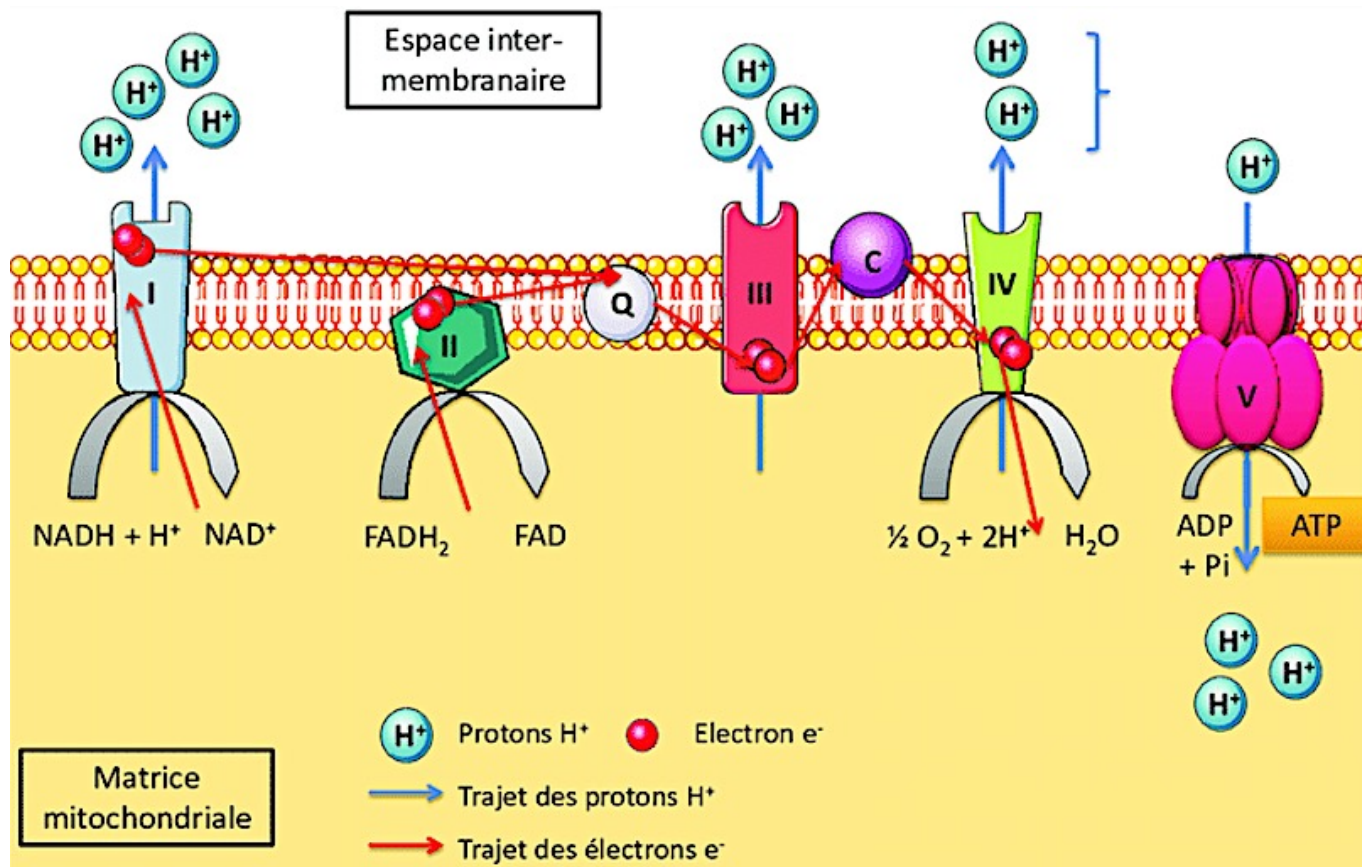
Le NADH, H⁺ s'oxyde sur la membrane



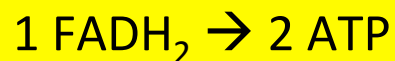
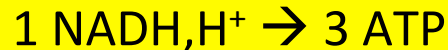
Le FADH_2 s'oxyde sur la membrane



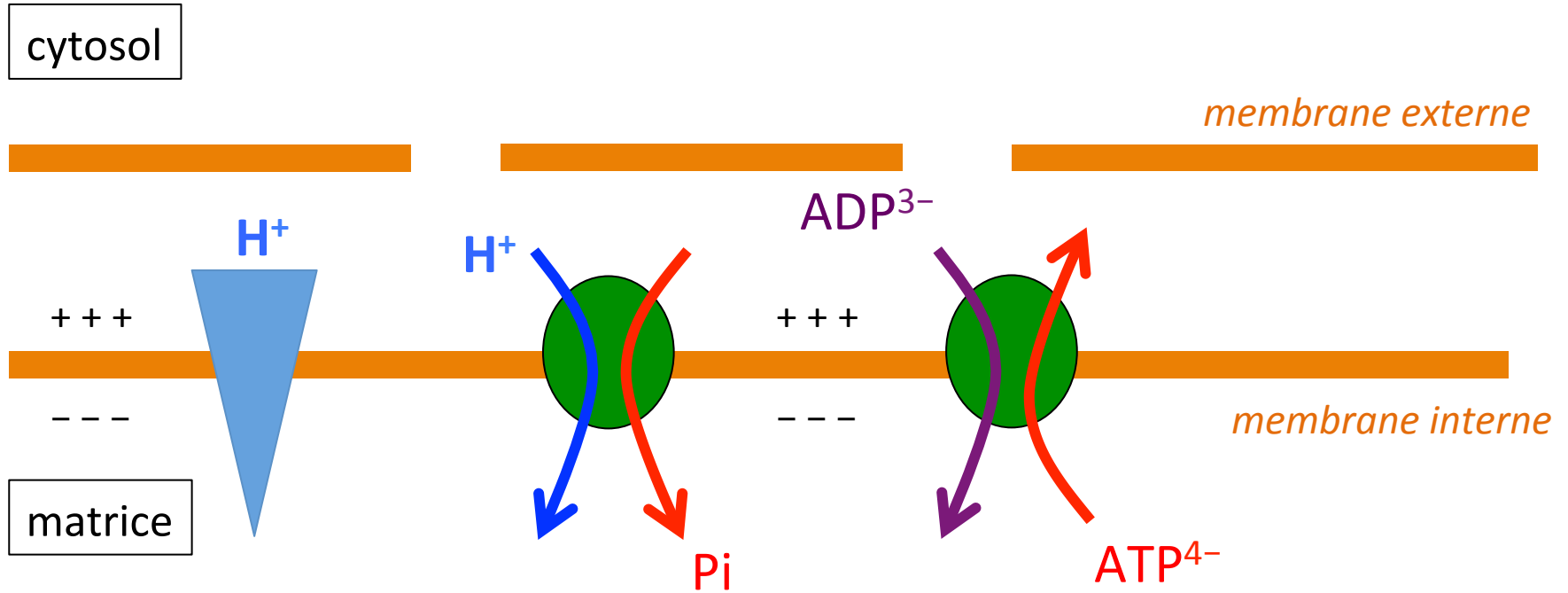
Un gradient de protons exploitable en découle



BILAN



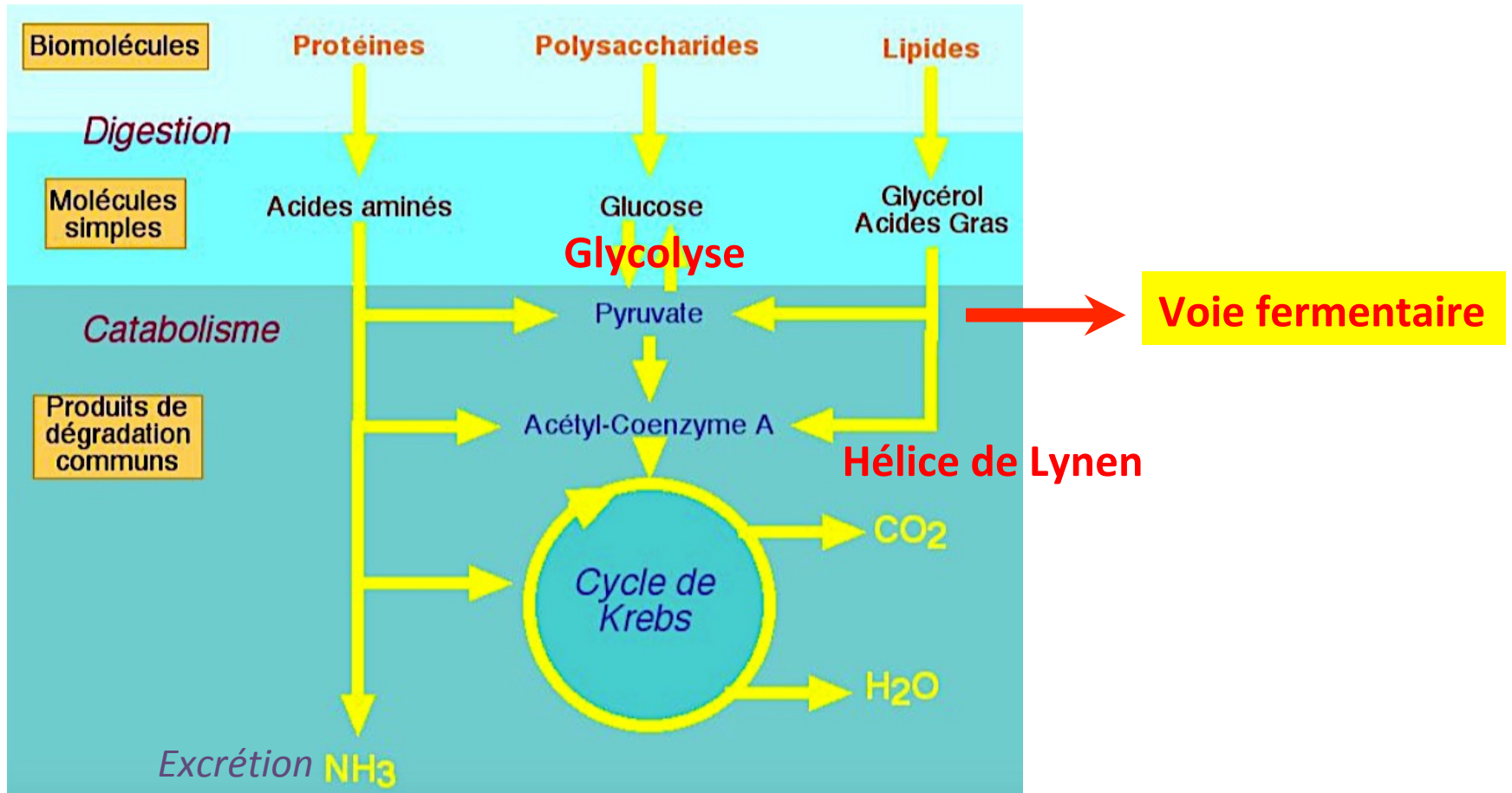
Exportation de l'ATP formé



1. Le catabolisme, exploitation de l'énergie chimique de la matière organique

1.4. Bilan : rendements des voies

Diverses voies possibles...



Avec des rendements différents

Calculer le rendement des voies suivantes

➤ Glycolyse + fermentation

- 2 ATP produits soit 2 % de l'énergie du glucose (61 kJ.mol^{-1} pour un glucose de 2860 kJ.mol^{-1})

➤ Glycolyse + respiration mitochondriale

➤ Voie des acides gras (à partir d'un acide gras à 6 C)

- **Glycolyse + cycle de Krebs**

glycolyse 2 ATP + 2 NADH, H⁺ réoxydés sur la membrane mitochondriale

formation de 2 acétyl-coenzyme A : 2 NADH, H⁺ soit 6 ATP

cycle de Krebs x 2 : 6 NADH, H⁺ soit 18 ATP

2 FADH₂ soit 4 ATP

2 ATP

total : **38 ATP soit 38 % de l'énergie du glucose**

- **Oxydation d'un acide gras à 6 carbones**

consommation d'un ATP pour activer l'acide gras dans le cytosol

formation de 3 acétyl-coenzyme A en 2 tours d'hélice : 2 NADH, H⁺ soit 12

ATP et 2 FADH₂ soit 4 ATP

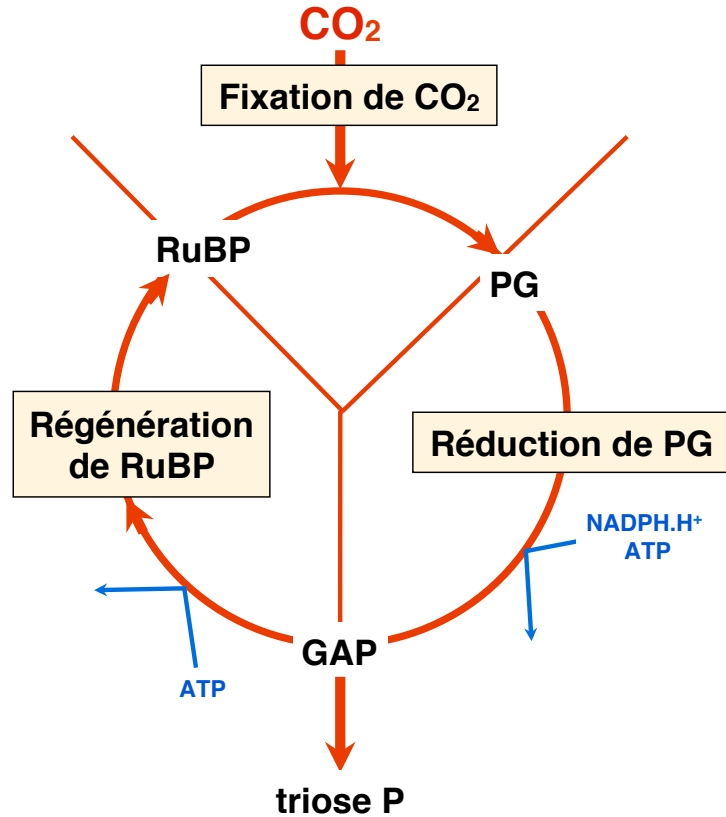
cycle de Krebs x 3 : 9 NADH, H⁺ soit 27 ATP

3 FADH₂ soit 6 ATP

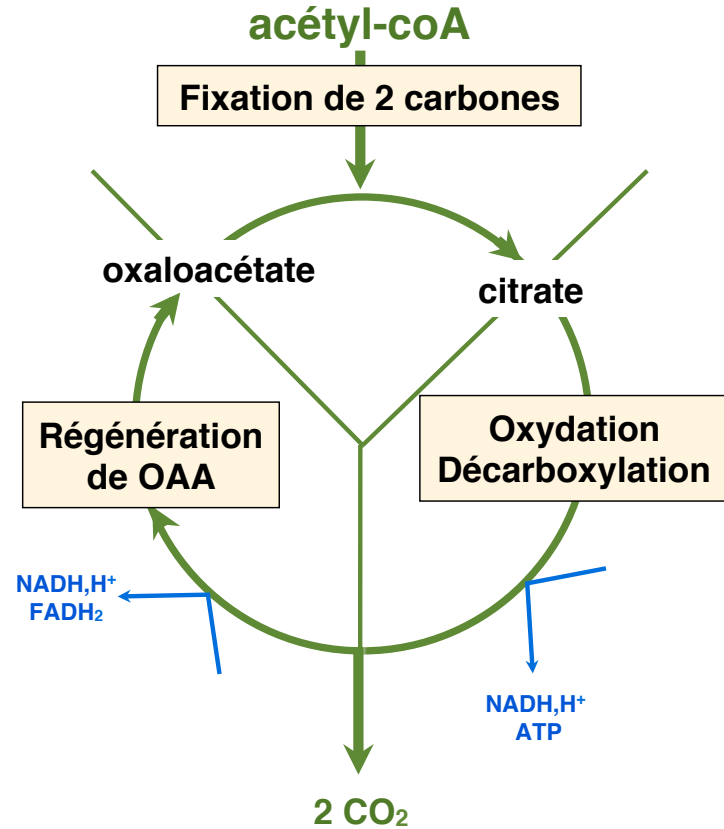
3 ATP

total : **45 ATP**

Bilan



Cycle de Benson et Calvin

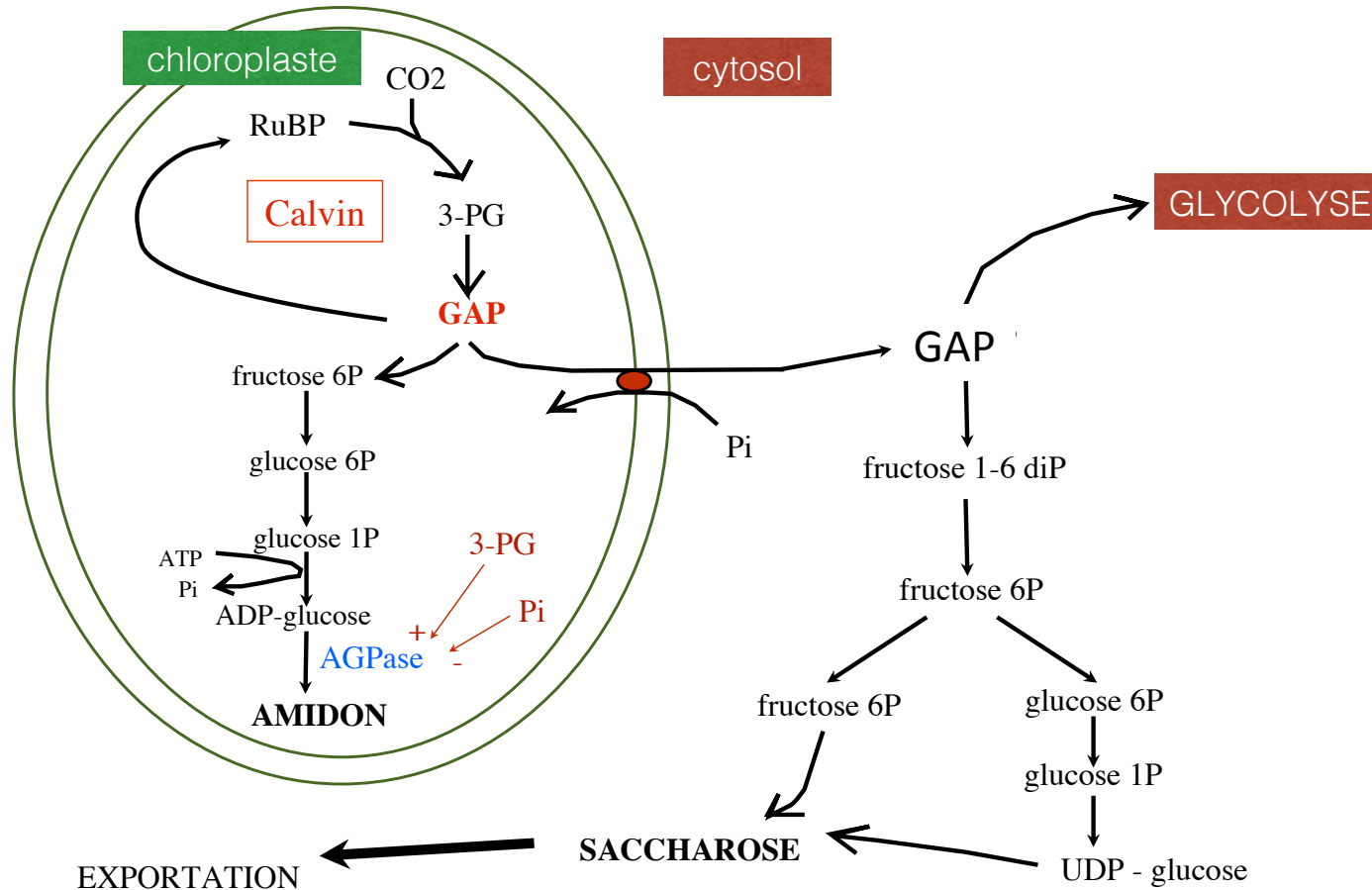


Cycle de Krebs

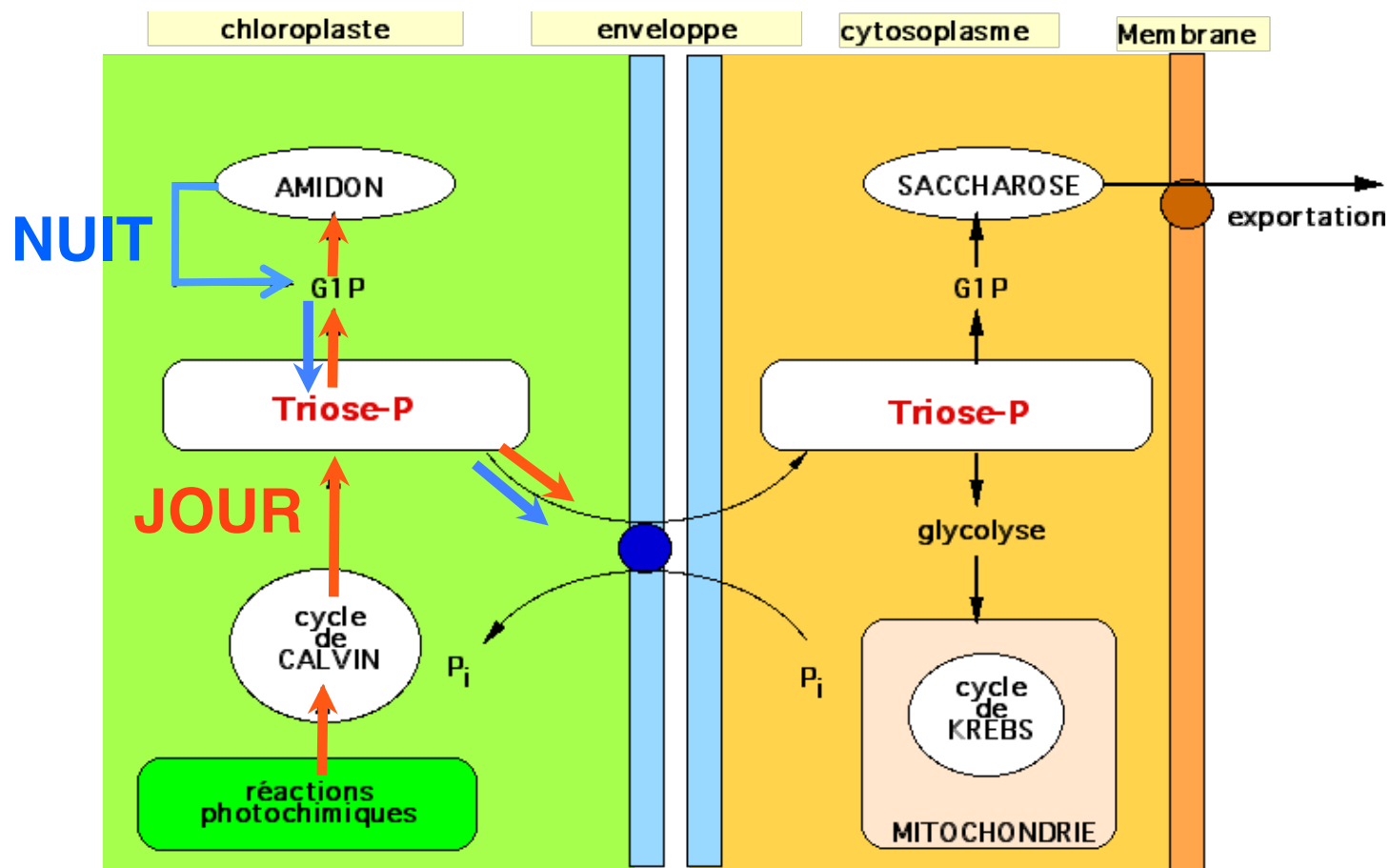
2. La distribution et le stockage de la matière organique

2.1. Des molécules distribuées et stockées dans le végétal

Le chloroplaste stocke ou exporte

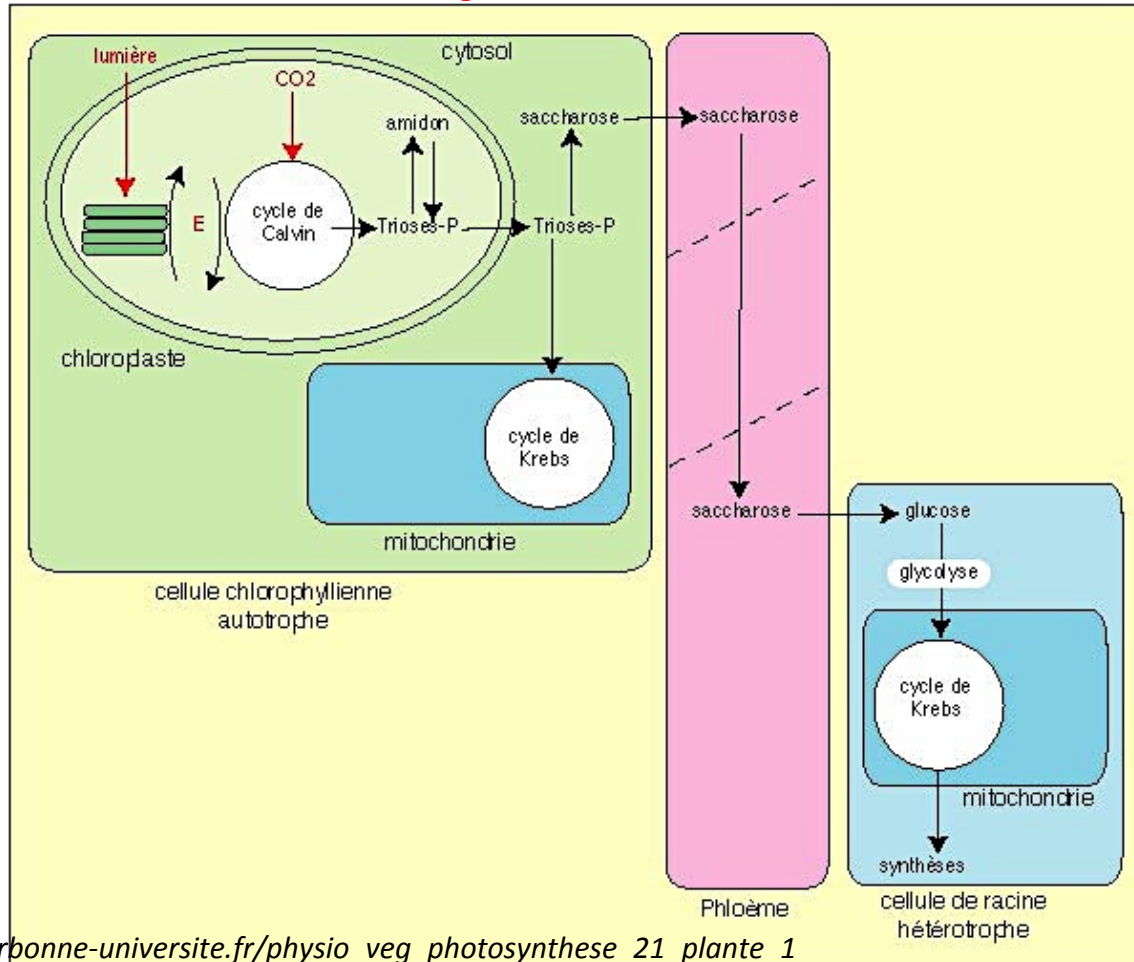


Une régulation jour-nuit



De la cellule autotrophe à la cellule hétérotrophe

Cellule source



Cellule puits

Stockage et déstockage de l'amidon

L'amidon est produit en 2 ou 3 étapes :

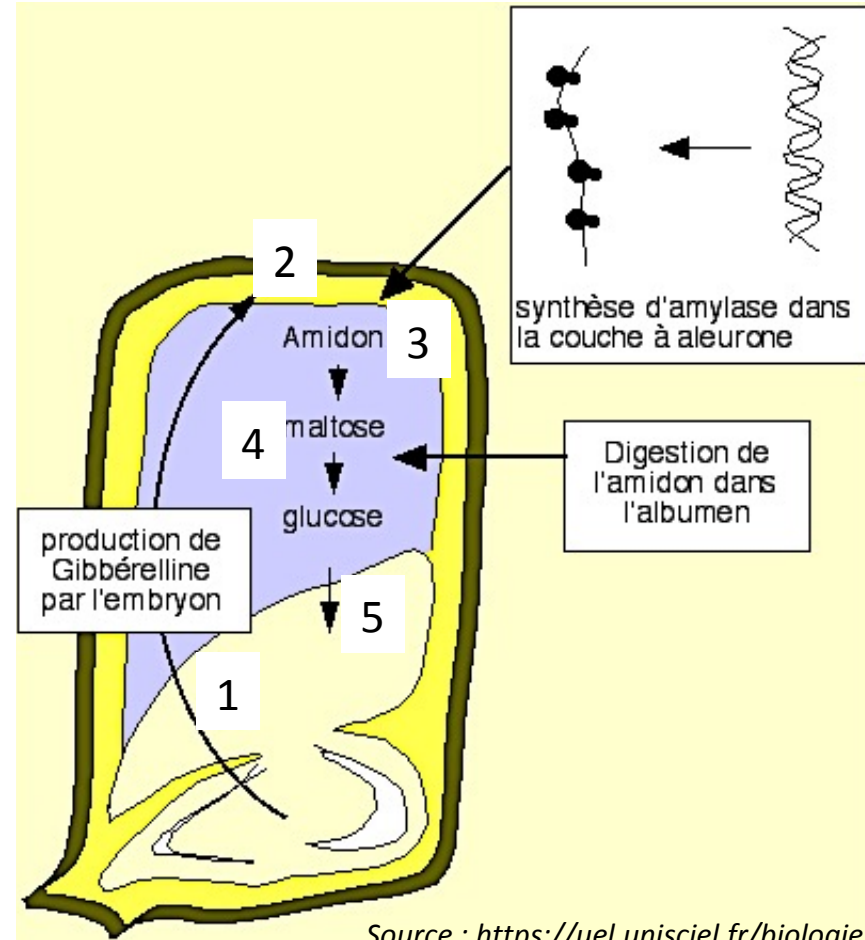


Ramification éventuelle pour l'amylopectine sur le carbone 6 par l'enzyme de branchement.

Le déstockage met en jeu deux enzymes : α -amylase et maltase.

Le déstockage se fait à la germination

- 1) Libération de gibbérellines par l'embryon
- 2) Action des gibbérellines sur la couche de réserve protéique qui synthétise amylase et maltase
- 3) Diffusion de l'amylase et la maltase vers l'albumen, réserve d'amidon
- 4) Hydrolyse de l'amidon
- 5) Diffusion des glucoses libérés vers l'embryon en croissance



2. La distribution et le stockage de la matière organique

2.2. Des molécules distribuées et stockées chez un animal

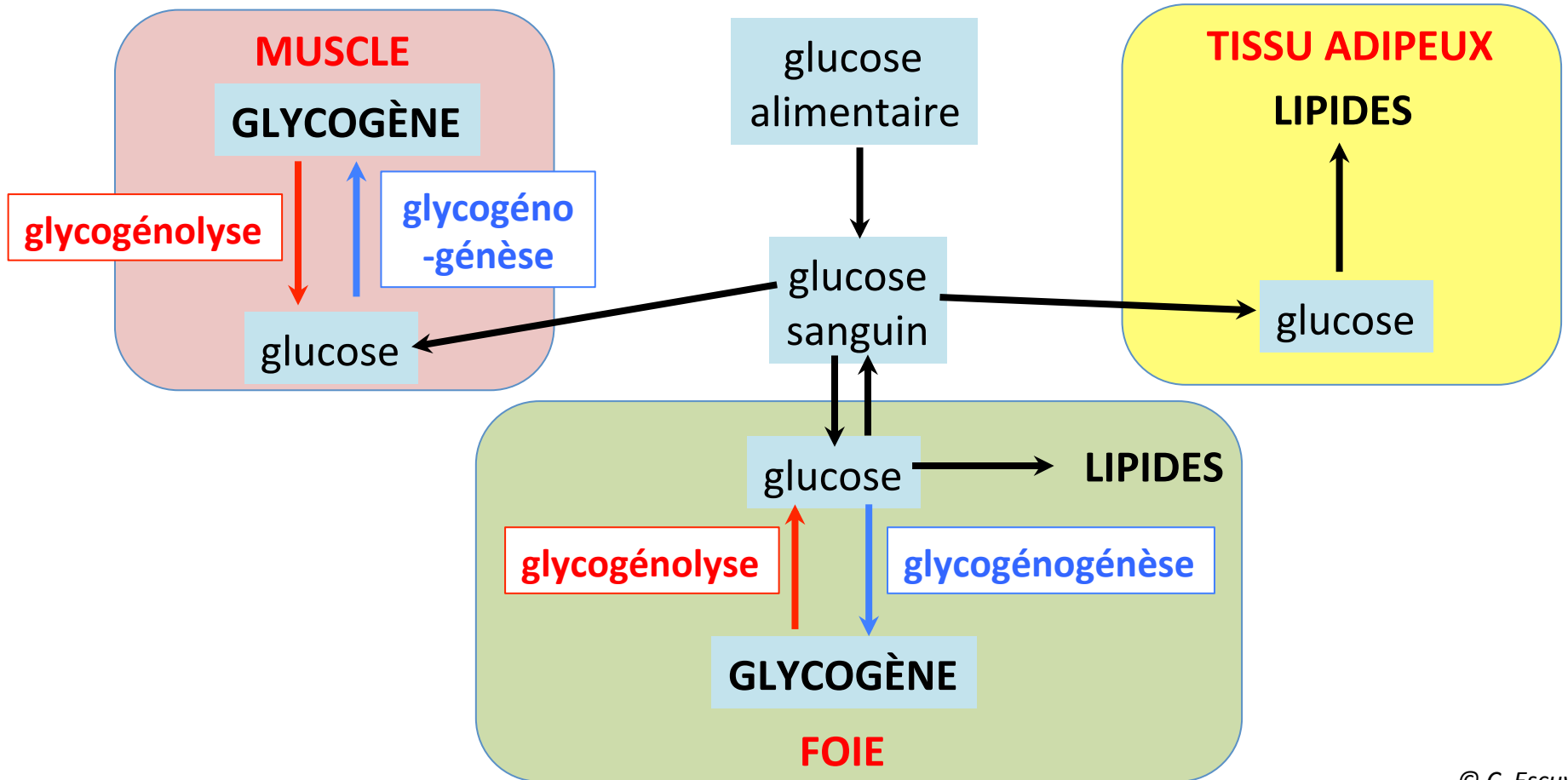
Le sang véhicule les nutriments

Constituant	Concentration en g.L ⁻¹
Eau	910
Protéines	69
Lipides	5
Glucose	1
NaCl	7
Urée	0,3
Phosphates, HCO ₃ ⁻ ...	1

Quel stock de glucose dans le sang ?

Quel stock de lipides dans le sang ?

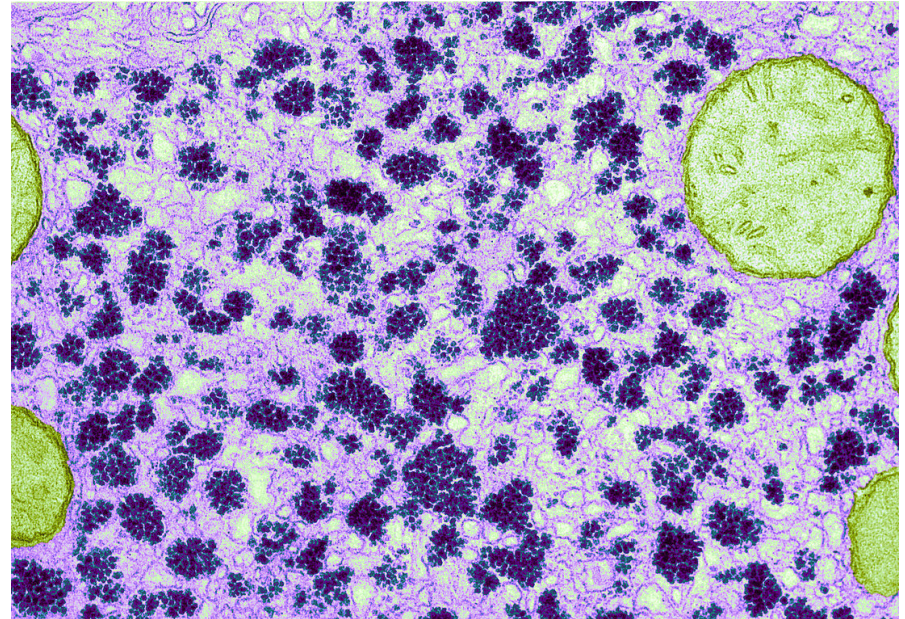
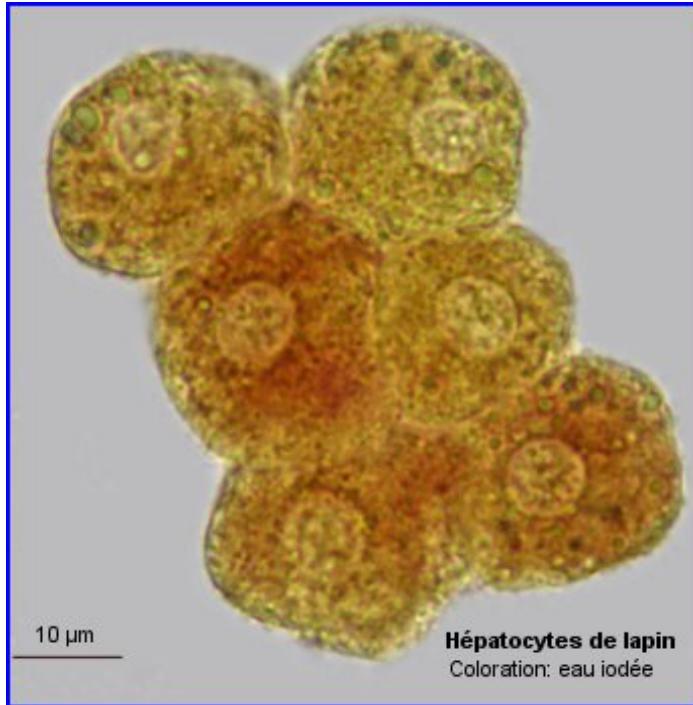
Le stockage chez un animal



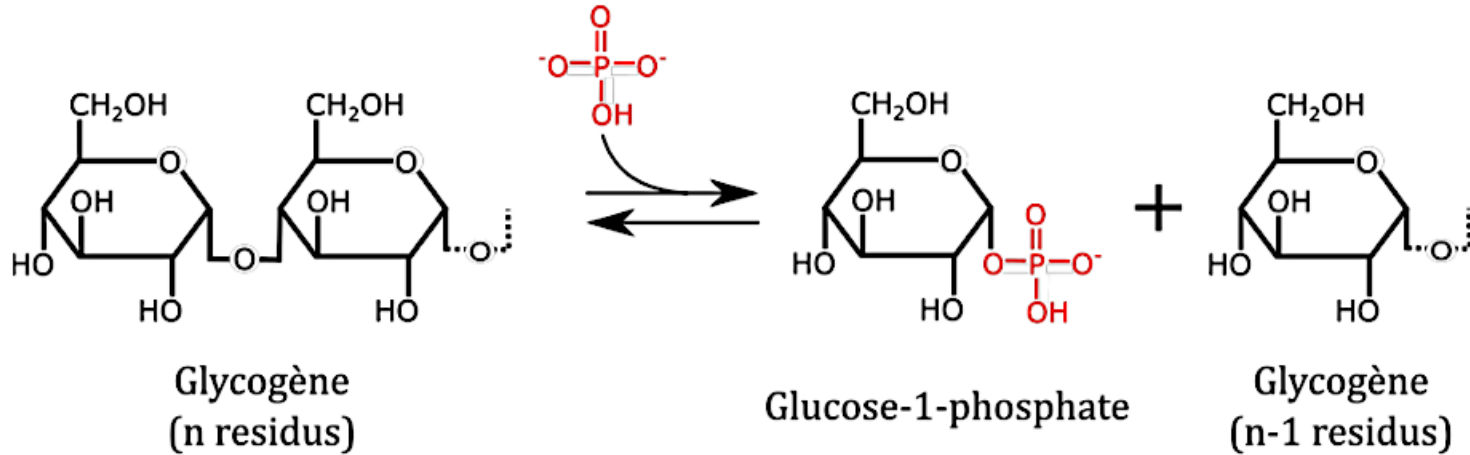
Le glycogène est produit dans le cytosol

Cellules hépatiques
Cellules musculaires

La **glycogène synthase** catalyse la formation des liaisons $\alpha 1-4$ et l'**enzyme branchante** les liaisons $\alpha 1-6$



Le déstockage par la glycogène phosphorylase

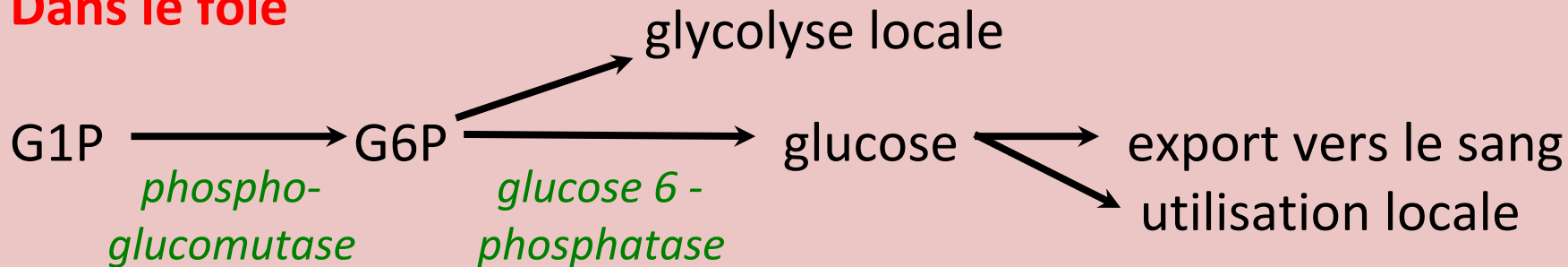


Glycogène phosphorylase GPase : enzyme qui hydrolyse le glycogène

3 isoformes : GPm (muscle) – GPh (foie) – GPc (cerveau)

Devenir du glucose G1P issu de glycogénolyse

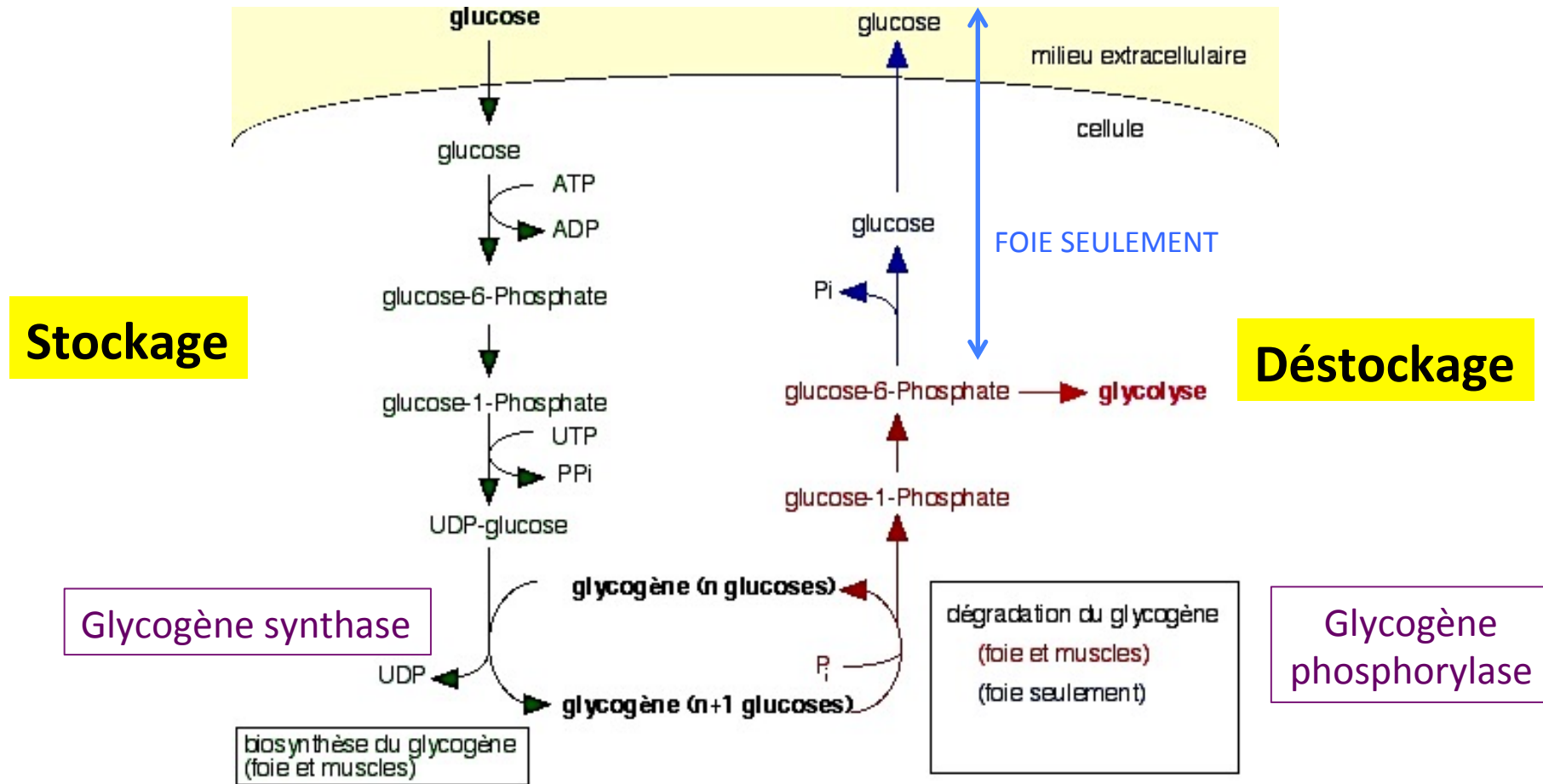
Dans le foie



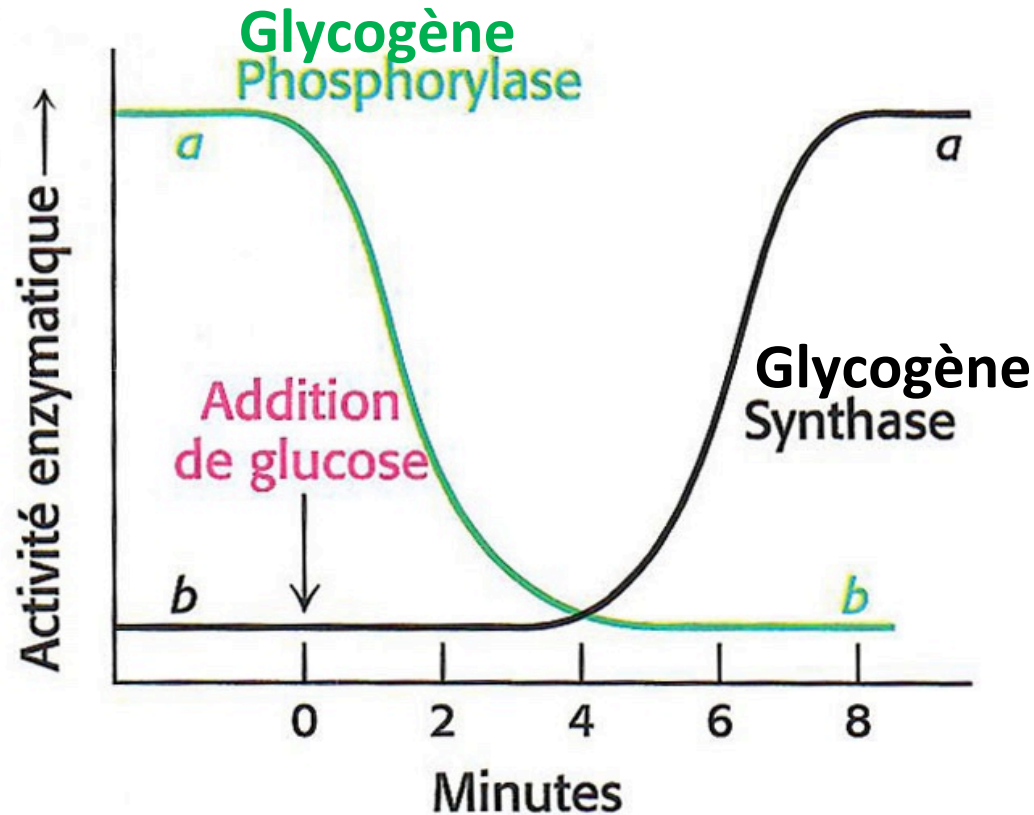
Dans le muscle



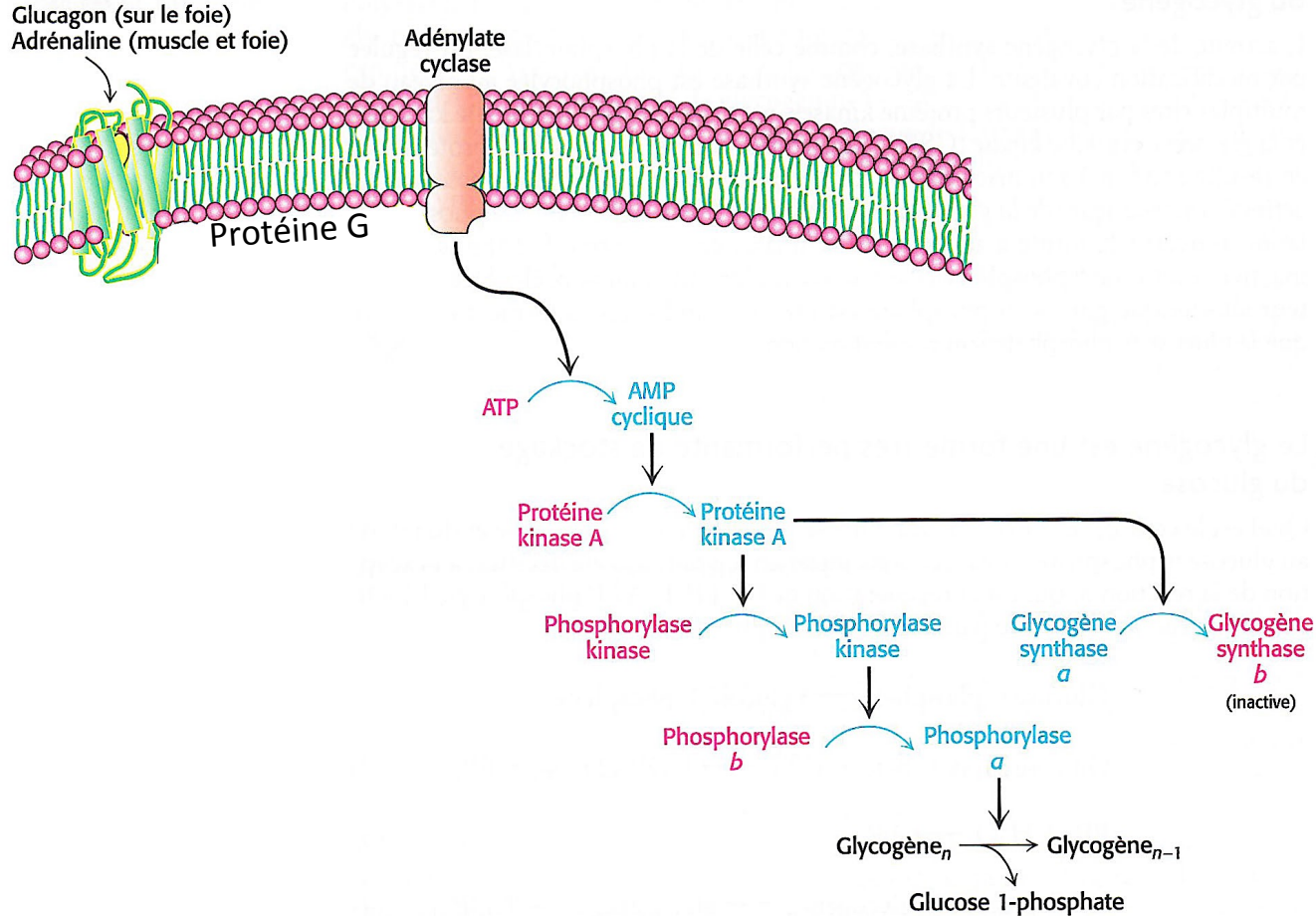
Du glucose au glucose



L'activité des enzymes dépend de la glycémie



Le contrôle de la glycogène phosphorylase

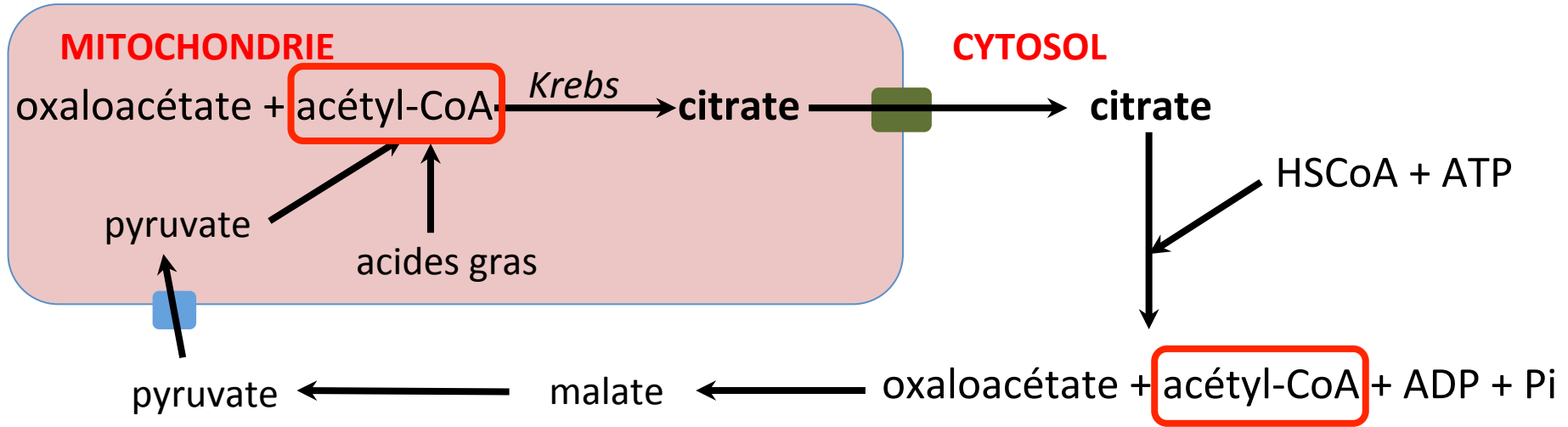


3. L'anabolisme, des synthèses et conversions de molécules

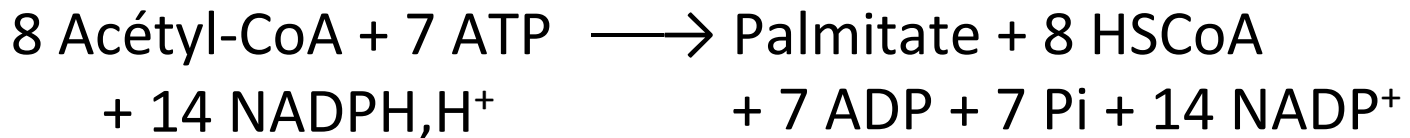
3.1. Les interconversions entre familles de molécules

La synthèse des acides gras

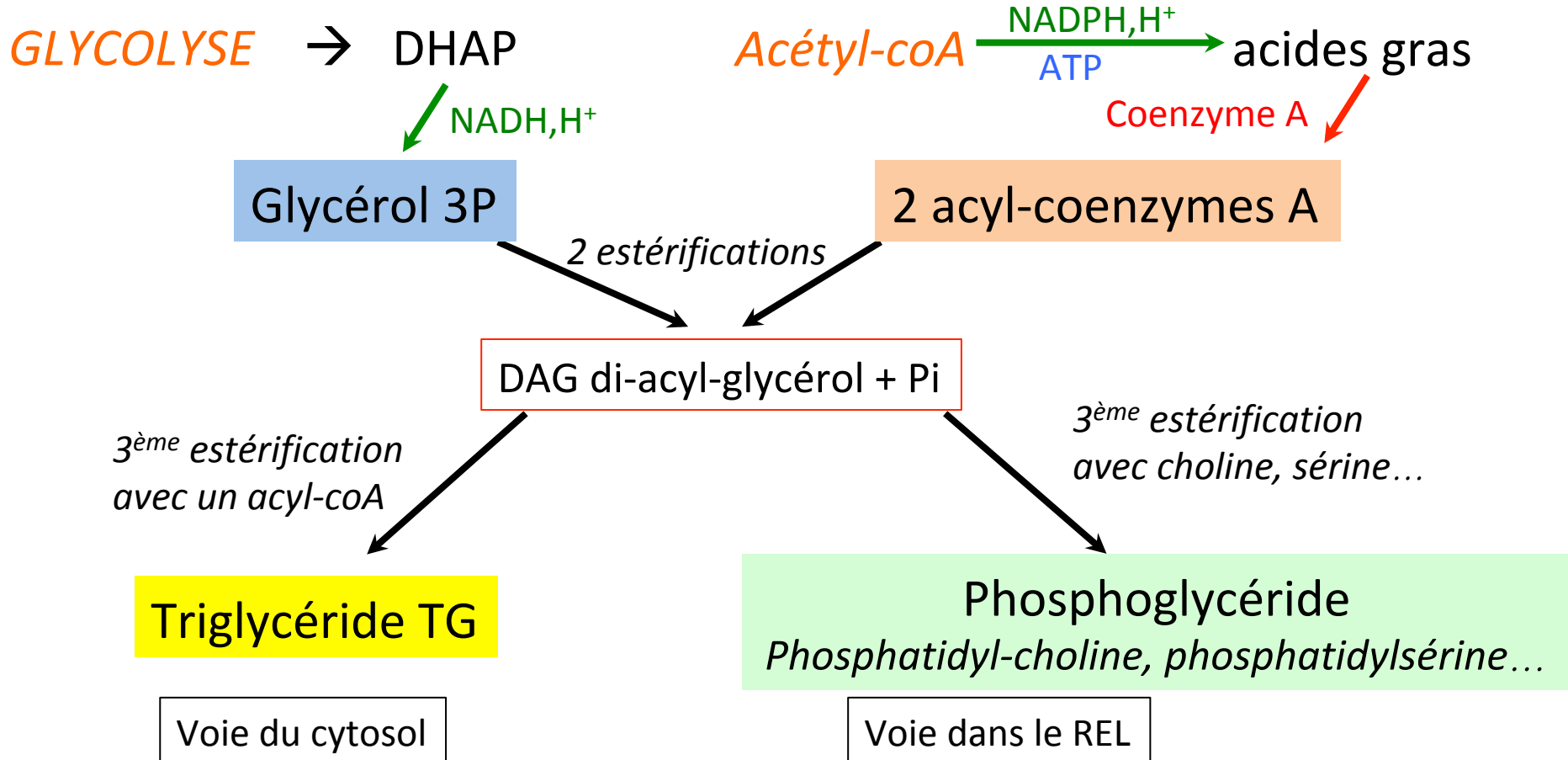
1) Exportation de l'acétyl coenzyme A hors de la mitochondrie



2) Condensations successives de molécules d'acétyl-coA



La synthèse des lipides membranaires



La synthèse de polysides

Synthèse d'amidon

Glucose 6 P $\rightarrow$ Glucose 1 P

Glucose 1 P + ATP $\rightarrow$ ADP-glucose + Pi

ADP-glucose + amidon (n) $\rightarrow$ amidon (n+1)

Synthèse de cellulose

Rosette membranaire de
cellulose synthase

Saccharose clivé en glucose et fructose

Utilisation du glucose lié en β 1-4

Synthèse de glycogène

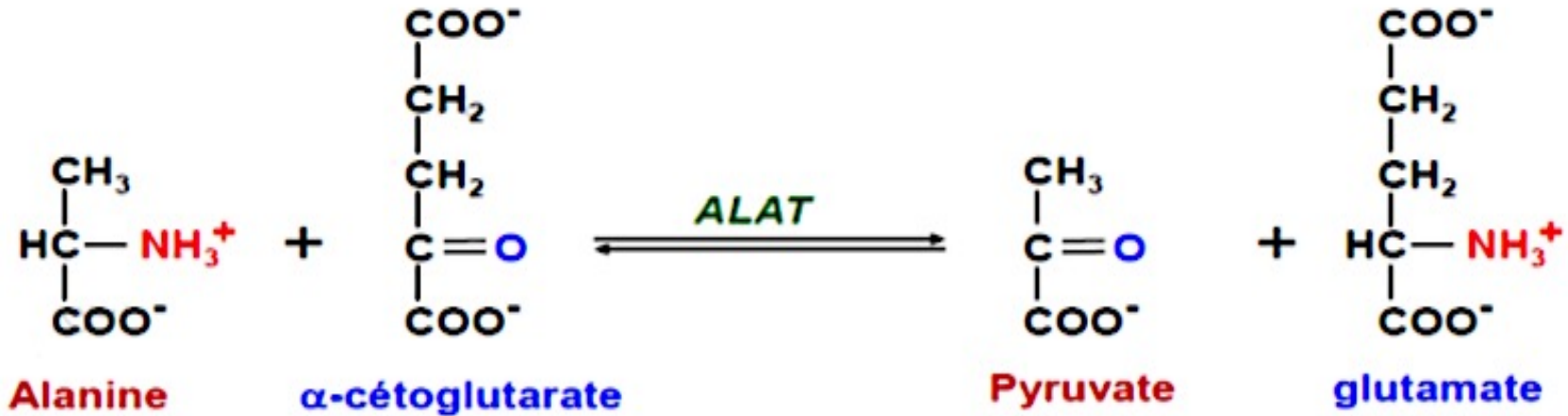
La protéine glycogénine
sert d'amorce

Glucose 6 P $\rightarrow$ Glucose 1 P

Glucose 1 P + UTP $\rightarrow$ UDP-glucose + Pi

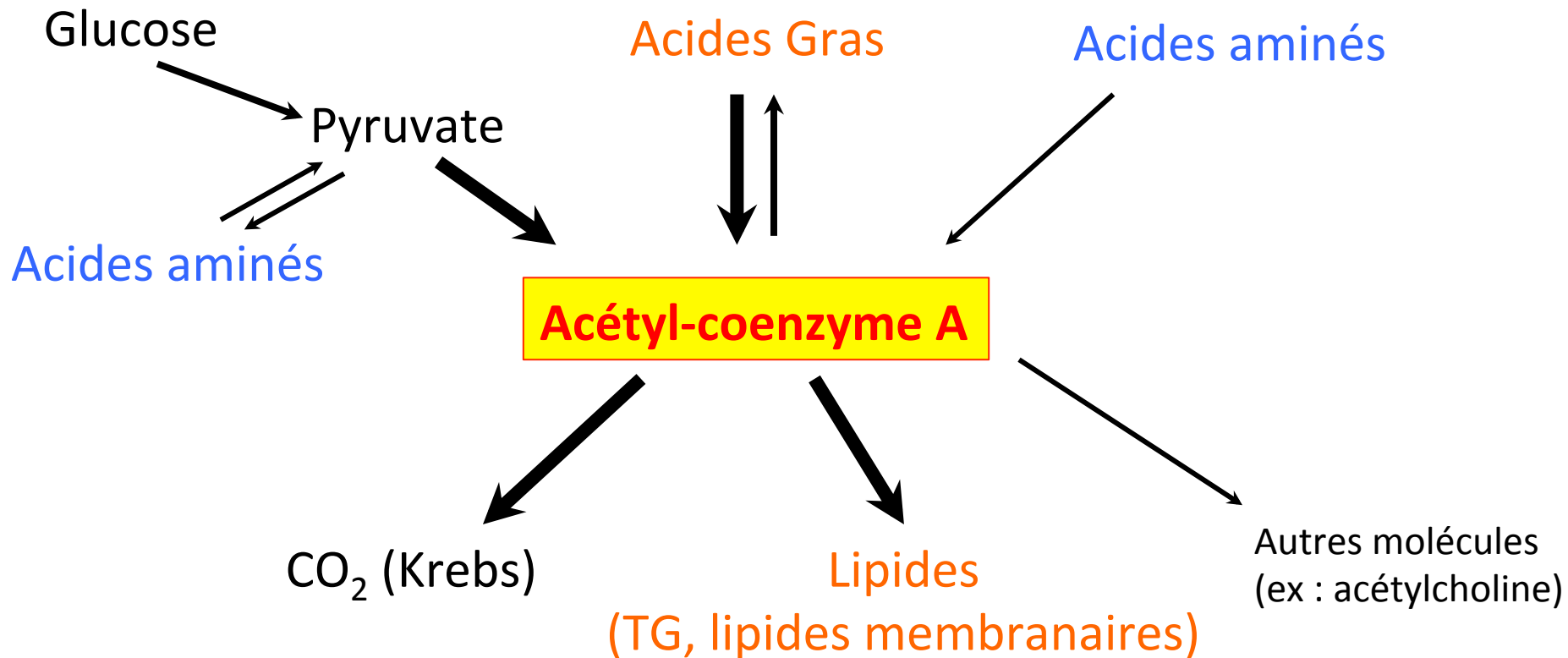
UDP-glucose + glycogène(n) $\rightarrow$ glycogène(n+1)

La synthèse d'alanine à partir de pyruvate



ALAT : ALanine AminoTransférase

L'acétyl coenzyme A, molécule carrefour



3. L'anabolisme, des synthèses et conversions de molécules

3.2. Un panorama des synthèses

Localisation des synthèses

ADN et ARN : dans le noyau

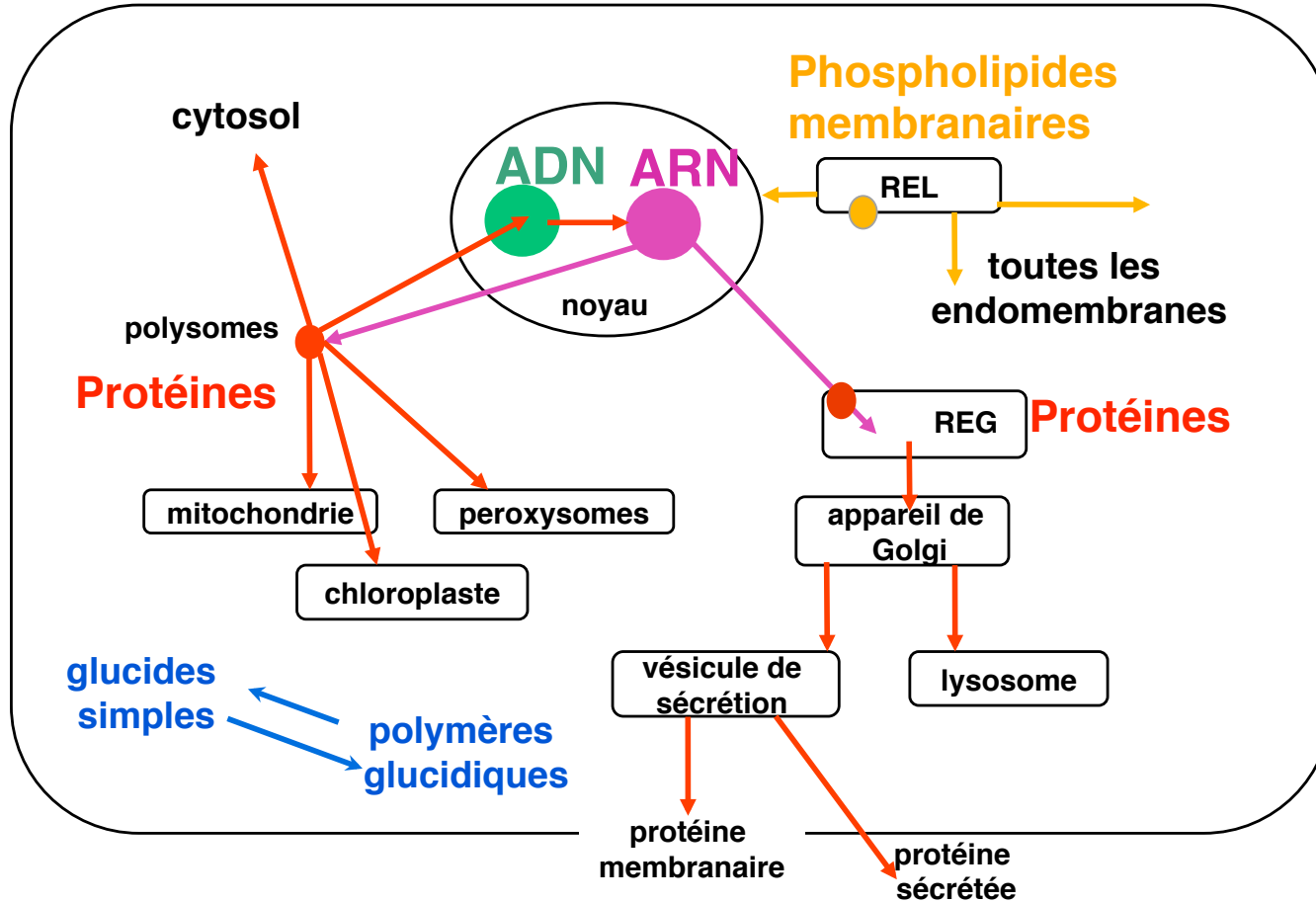
Lipides :

- acides gras et TG dans le cytosol
- phospholipides dans le REL

Oses et polysides

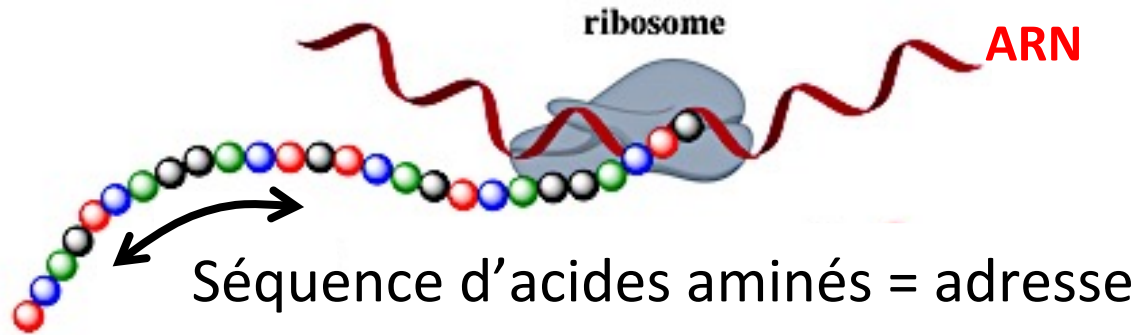
- dans le cytosol pour le saccharose, les oses, le glycogène
- dans les plastes pour l'amidon
- dans la matrice extracellulaire pour la cellulose

Panorama des synthèses



Les protéines et l'adressage

La traduction de l'ARN par le ribosome dans le cytosol fait apparaître une chaîne d'acides aminés.



Pas de séquence spéciale => protéine cytosolique

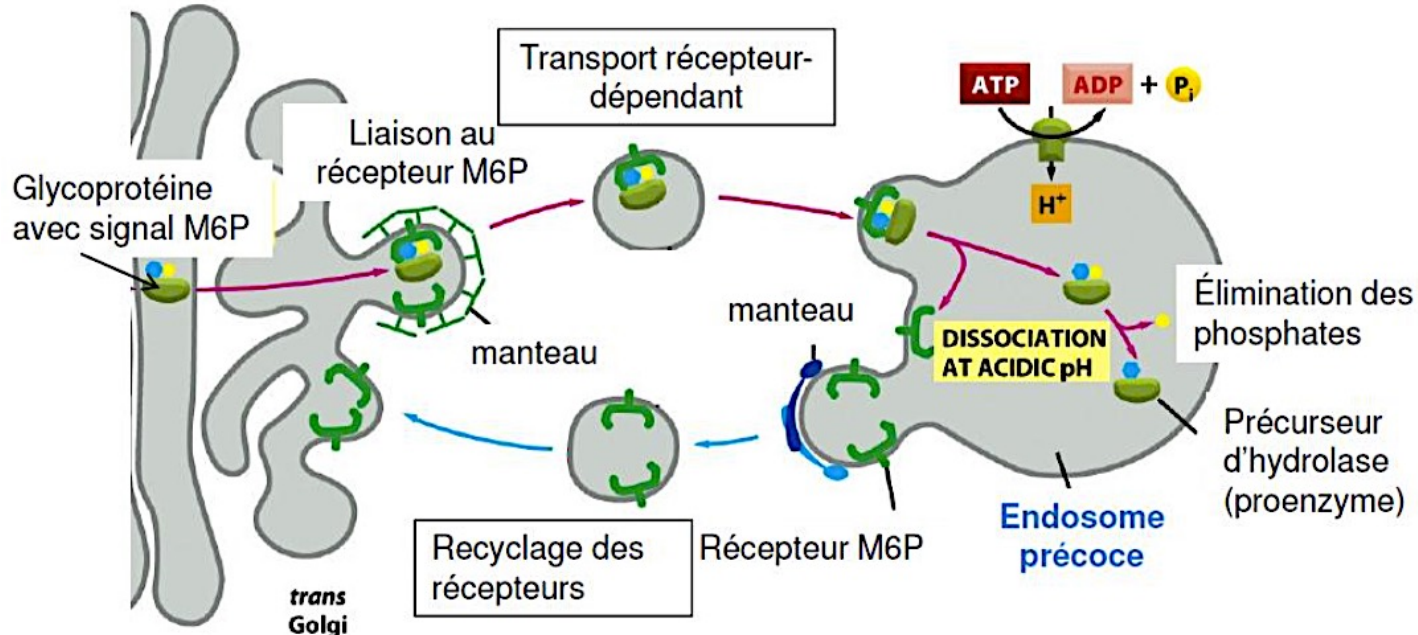
Les adresses en séquences d'acides aminés

- Signal de localisation nucléaire = SLN
- Signal d'adressage pour les mitochondries et chloroplastes = peptide de destination
- Peptide signal pour le REG : protéines membranaires, sécrétées et destinées aux lysosomes, vacuole, péroxysomes...

Lien vers la BCPST2

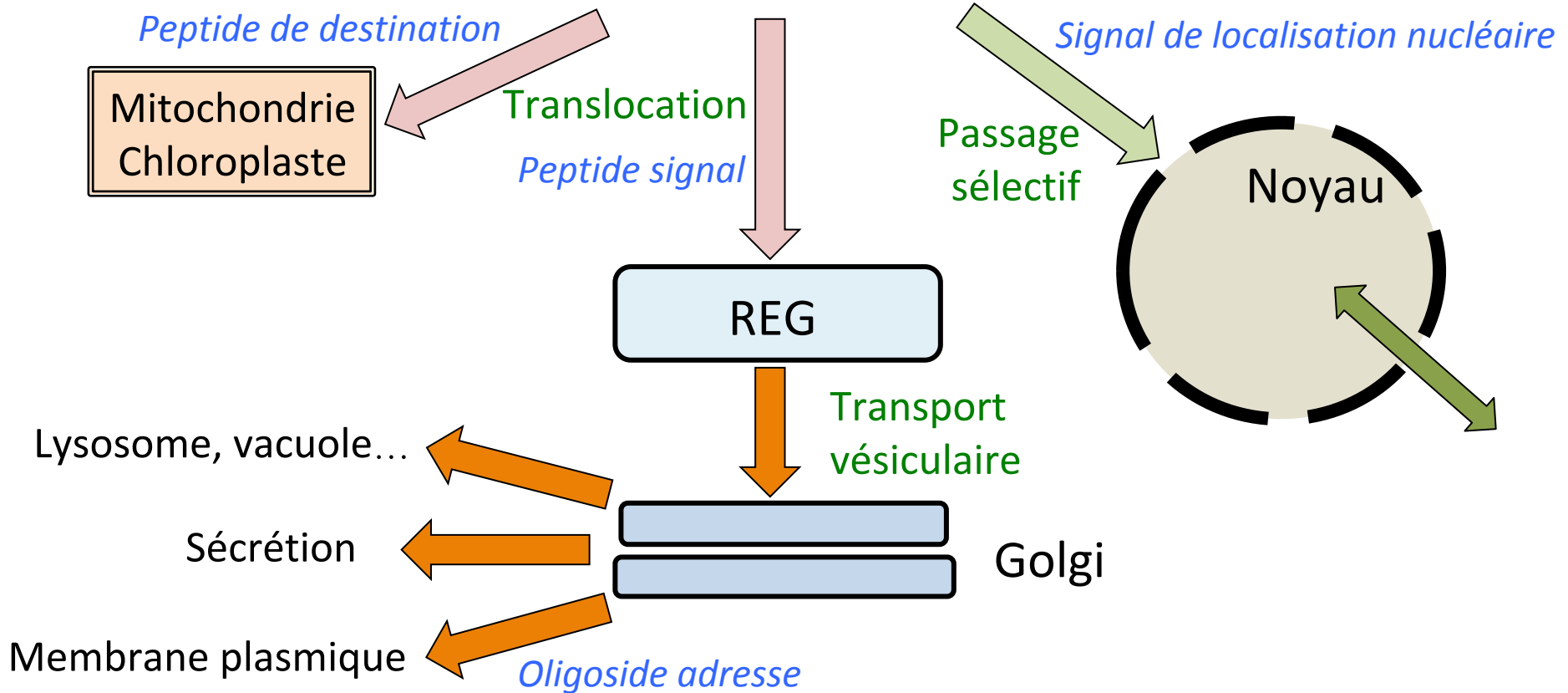
Les adresses sous forme de chaînes de sucres

Le REG et les dictyosomes glycosylent de façon spécifique des séquences d'acides aminés. La chaîne osidique est une adresse.
Exemple : mannose 6P pour le lysosome



Bilan : l'adressage des protéines

Traduction dans le cytosol



CONCLUSION

Importance des enzymes dont la présence et l'activité conditionnent les réactions de la cellule.

Les enzymes proviennent de l'expression génétique.