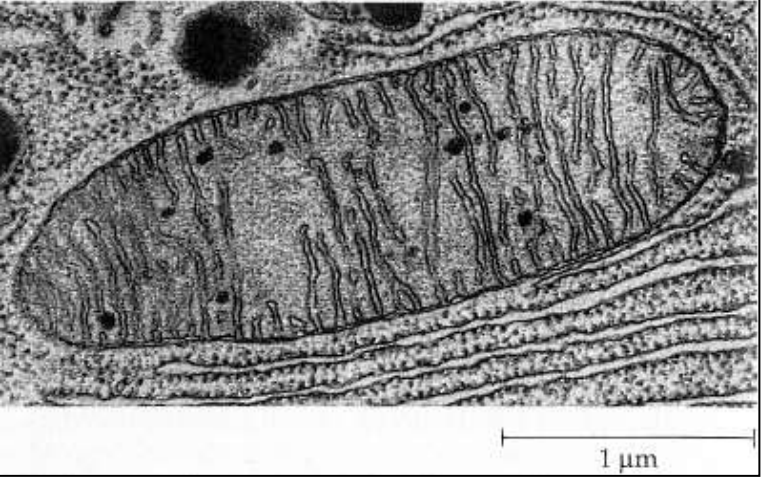
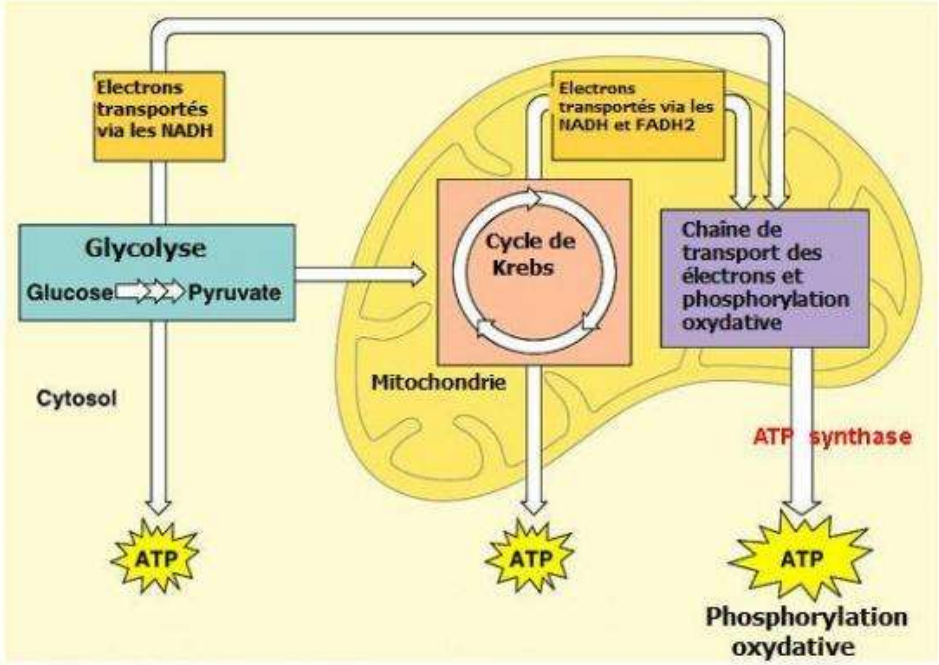
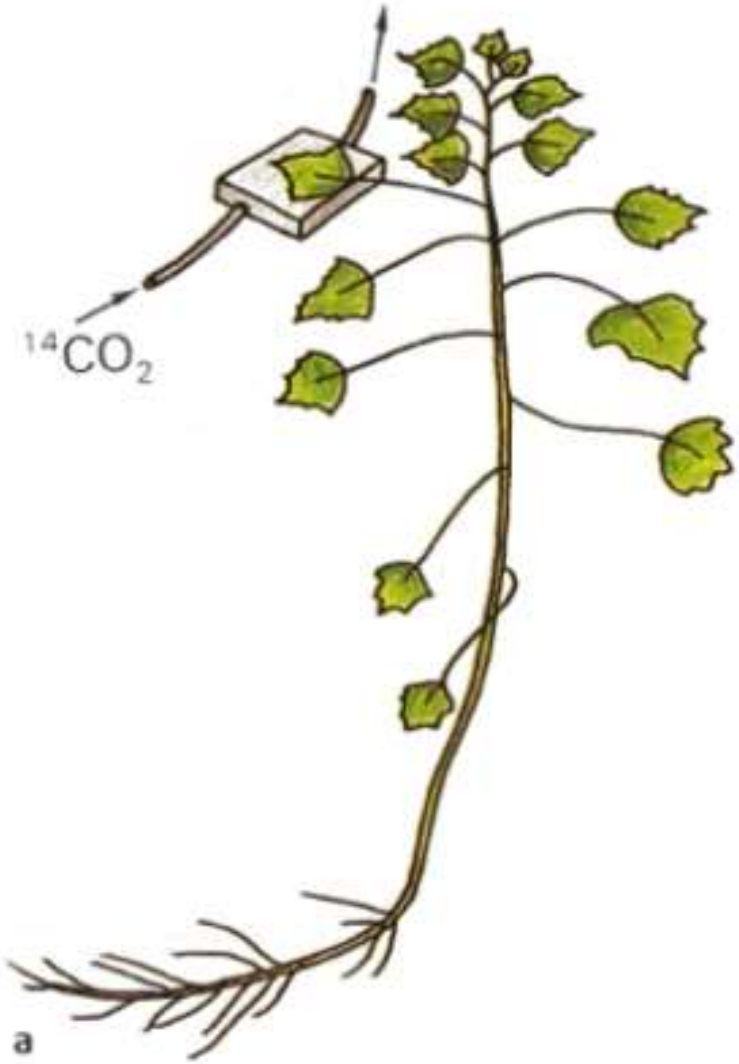


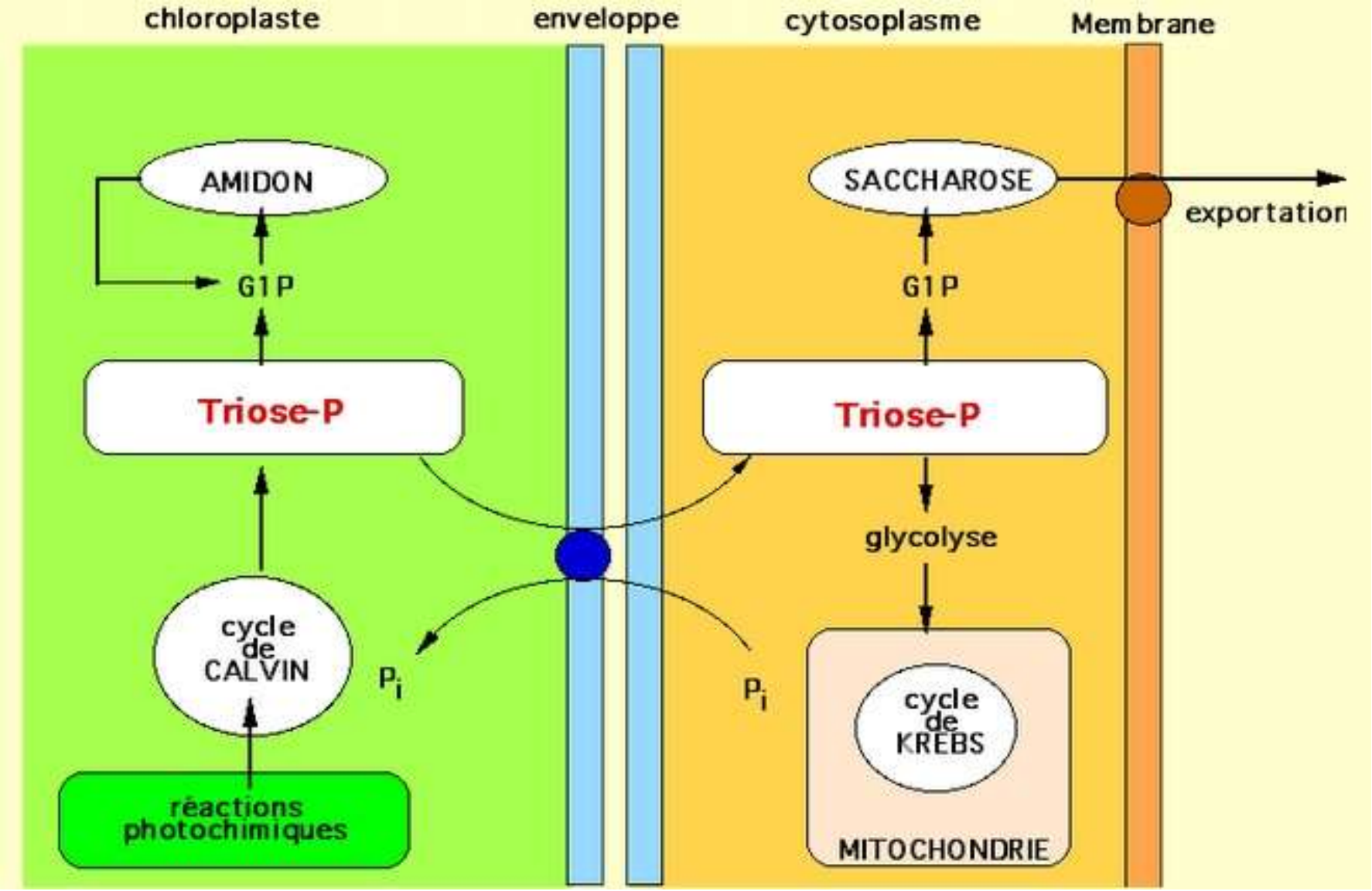


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Chapitre SV – E – 2 :
Le devenir de la matière organique

Mise en évidence de la distribution des photosynthétats





<u>Document 1.</u> Devenir des trioses phosphate produits par la photosynthèse.

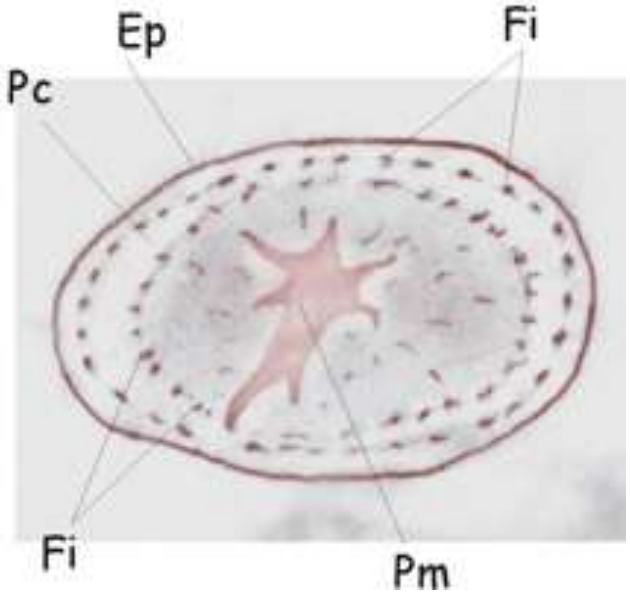
http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/20-cellule.htm

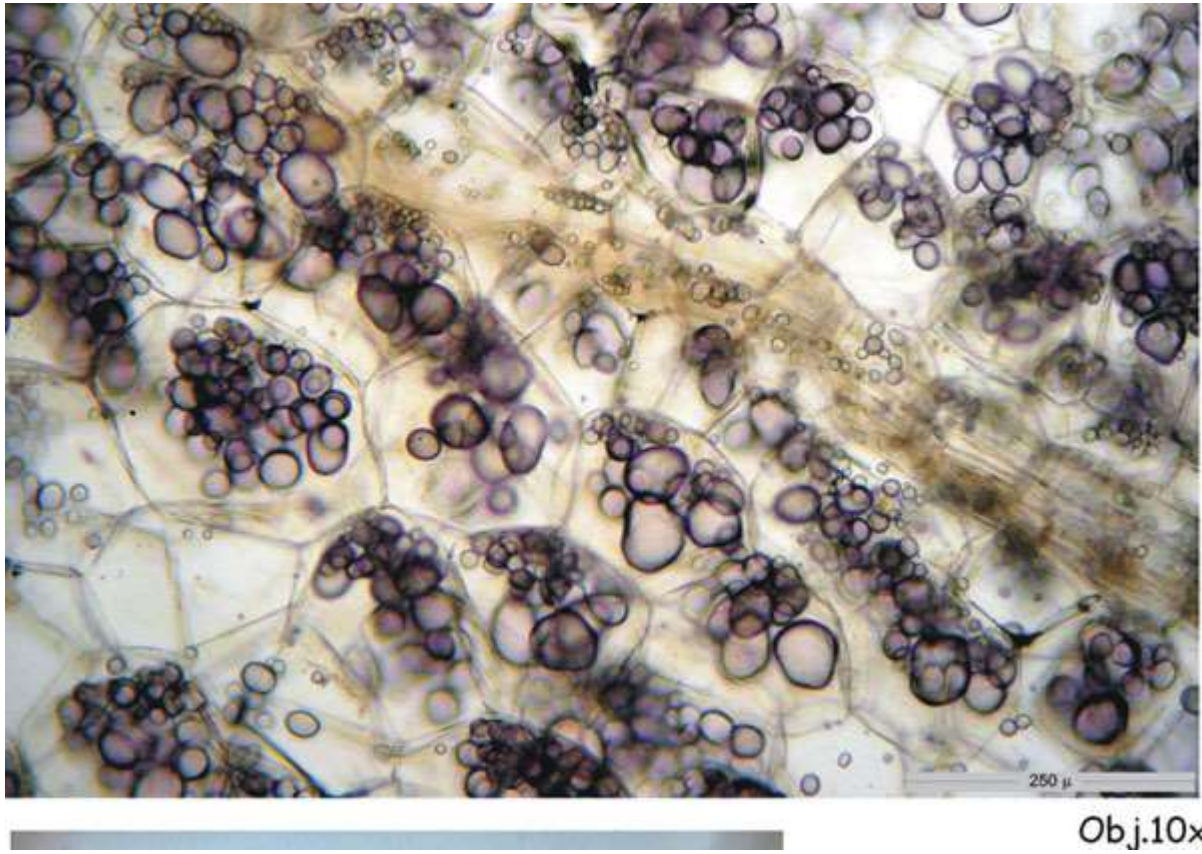
Moment de la journée	Synthèse cytosolique de saccharose	Synthèse d'amidon dans le stroma
Matin	Oui : à partir des trioses nouvellement synthétisés	Non
Journée ensoleillée	Oui : à partir des trioses nouvellement synthétisés	Oui : à partir des trioses nouvellement synthétisés
Soir et nuit : obscurité	Oui : à partir des trioses issus de la dégradation de l'amidon	Non

Document 2. Devenir des trioses en fonction du moment de la journée.

(PEYCRU P. et coll., « Biologie 1ère année BCPST », Dunod Ed., 2007).

Mise en évidence de l'amidon dans un tissu de réserve : Le parenchyme amylifère de la Pomme de Terre

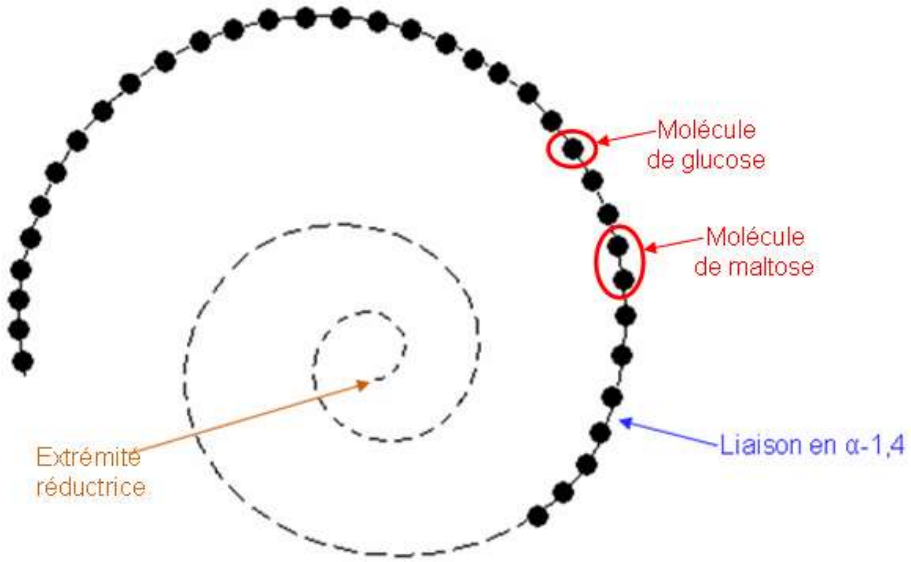




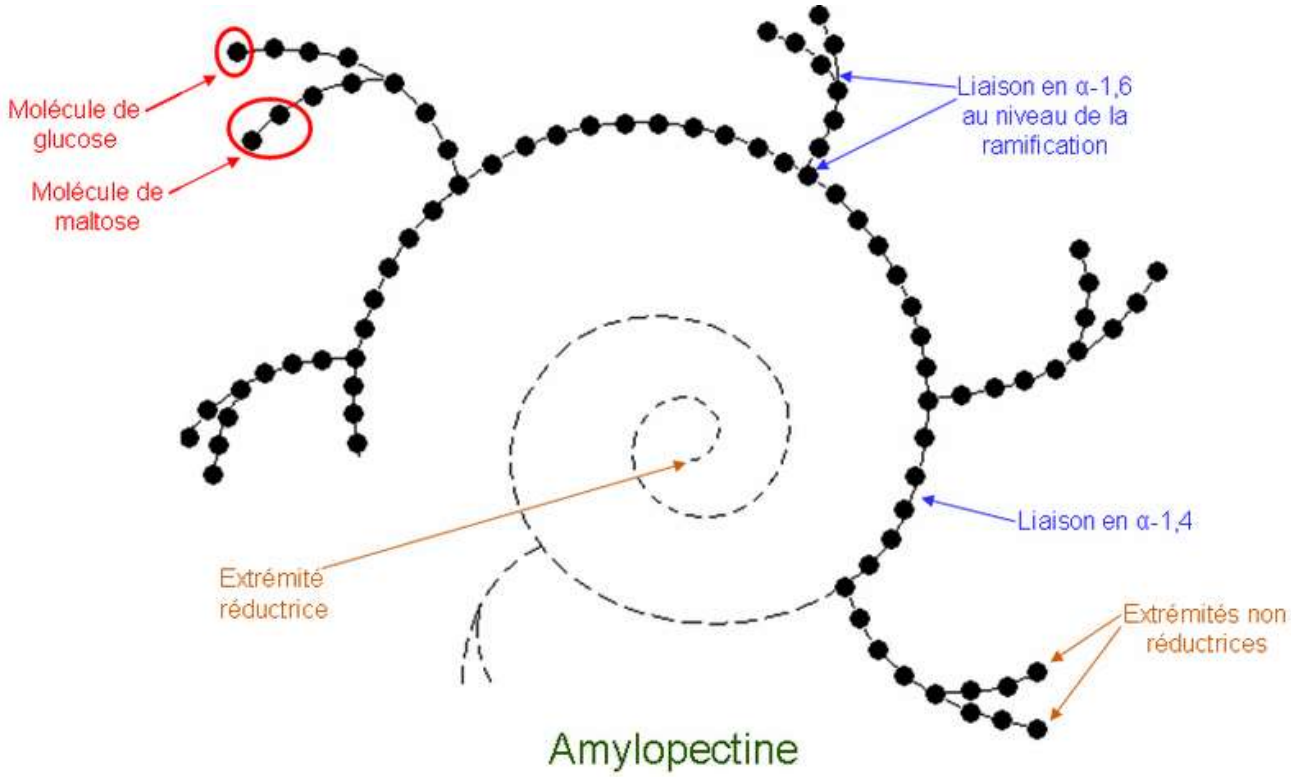
Ep épiderme ; Pc : parenchyme cortical ;
Pm : parenchyme médullaire ; Fi : fibres

http://www.microscopie.ch/articles/solanum_t/solanum5.jpg

L'amidon :
- 20 à 30 % d'amylose
- 70 à 80 % d'amylopectine



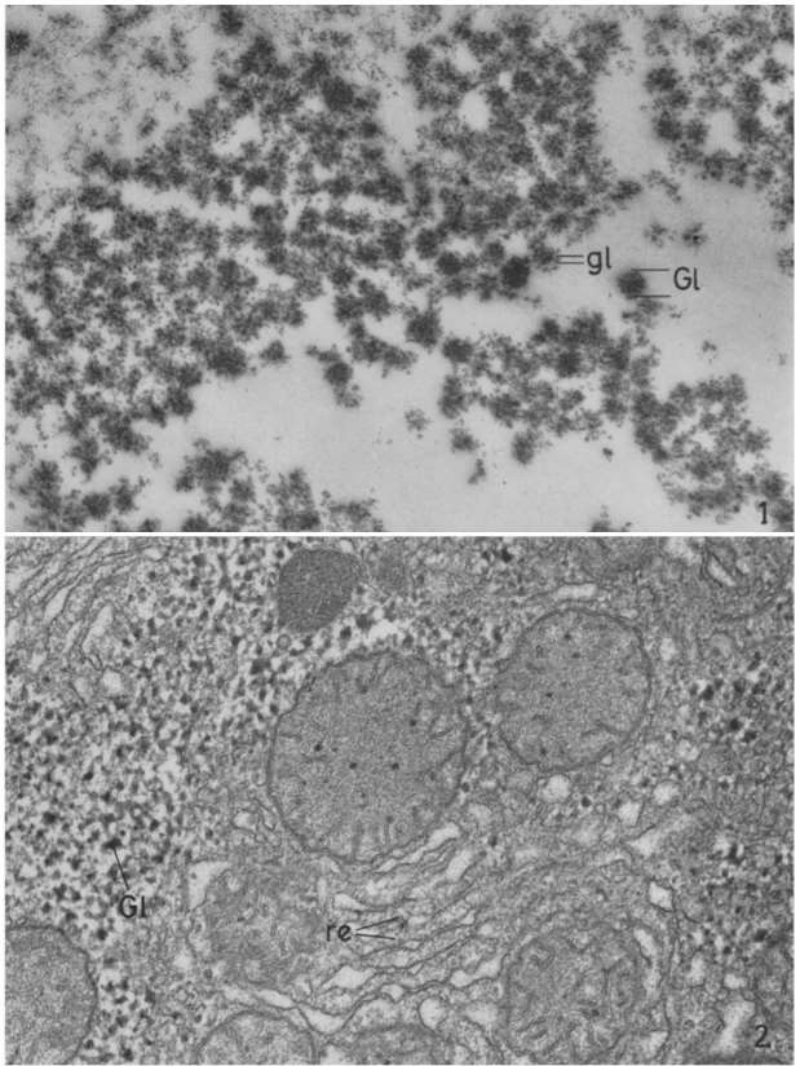
Amylose



Amylopectine

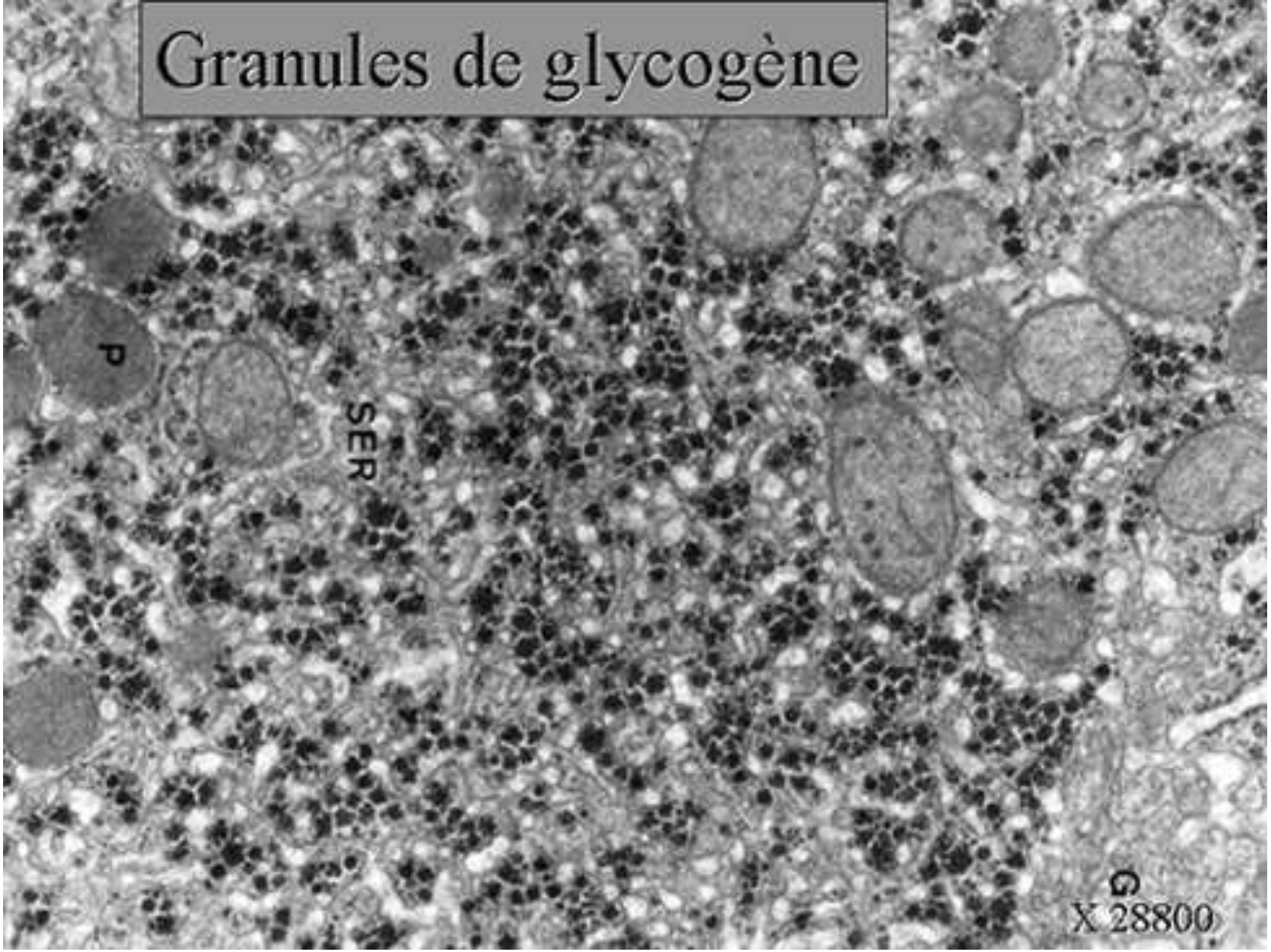
Le glycogène, polyoside de réserve des tissus animaux (et des champignons)

Cellules de foie de lapin
(MOx 1000, objectif à immersion ; zoom numérique x 2 ; coloration par le lugol).
https://planet-vie.ens.fr/thematiques/observer-des-hepatocytes

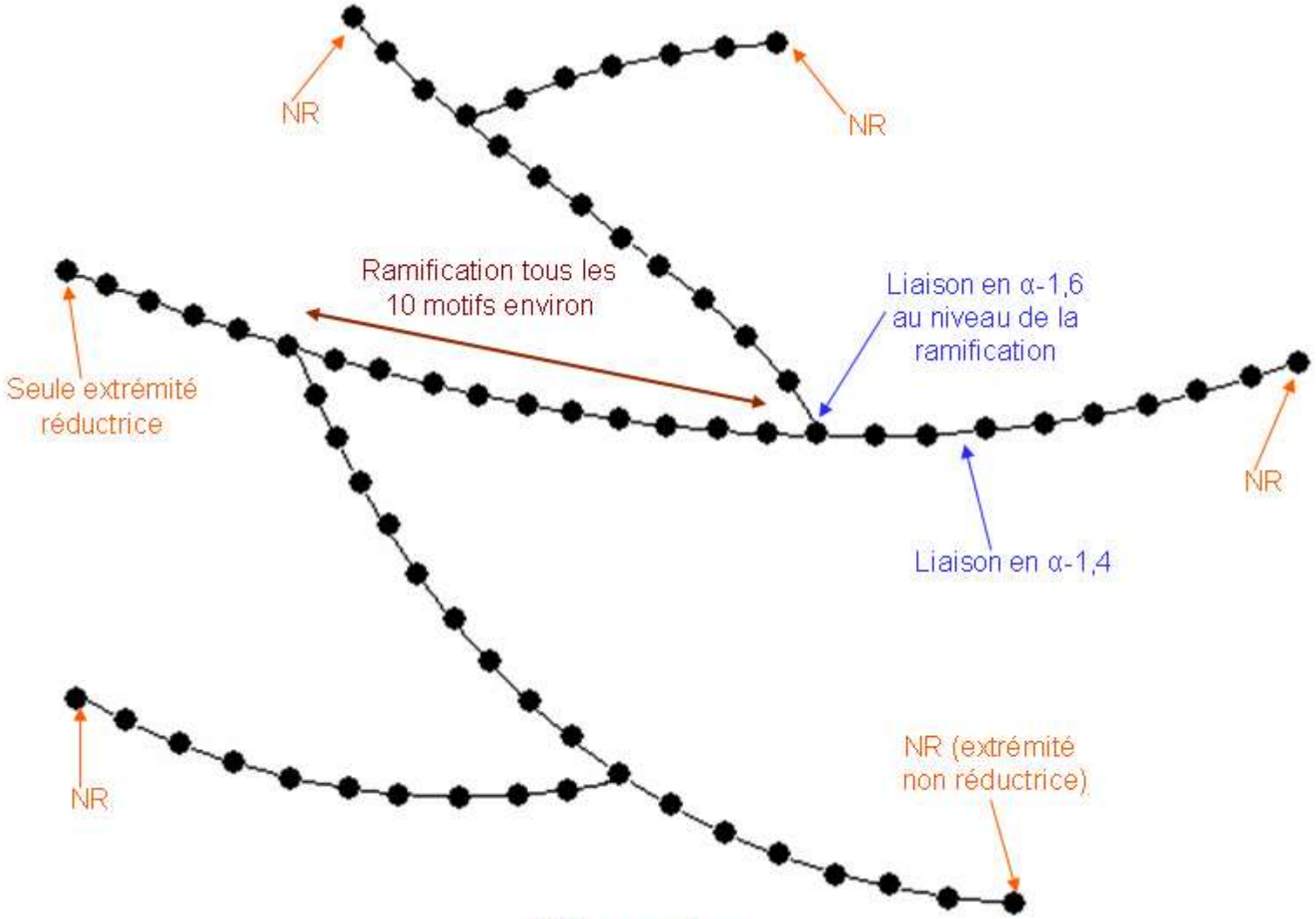


Cellules de foie de rat
(MET x 70 000)

« Mise en Évidence du Glycogène Dans la Cellule Hépatique par Microscopie Électronique » P. Drochmans The Journal of Biophysical and Biochemical Cytology Vol. 8, No. 2 (Oct., 1960), pp. 553-558
https://rupress.org/jcb/article-pdf/8/2/553/1075043/553.pdf

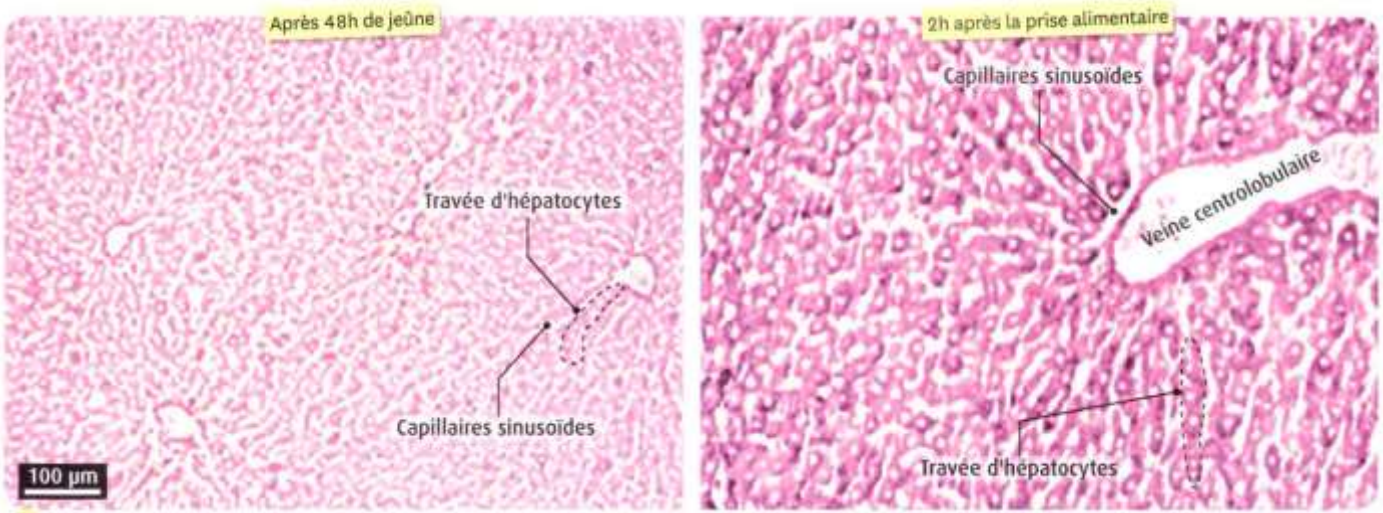


Les réserves de glycogène sont cytosoliques,
les granules peuvent atteindre 200 nm


NR
NR
Ramification tous les
10 motifs environ
Liaison en α-1,6
au niveau de la
ramification
Seule extrémité
réductrice
NR
Liaison en α-1,4
NR
NR (extrémité
non réductrice)

Glycogène

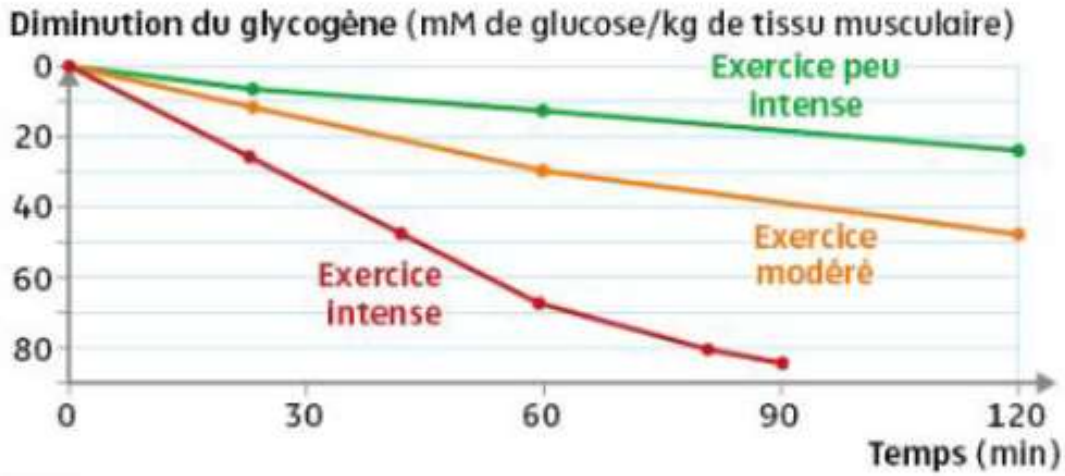
Le glycogène dans les tissus hépatique et musculaire



CT de foie de rat ayant jeûné pendant 48 h (à gauche) et deux heures après la prise alimentaire (à droite) observées en MO.

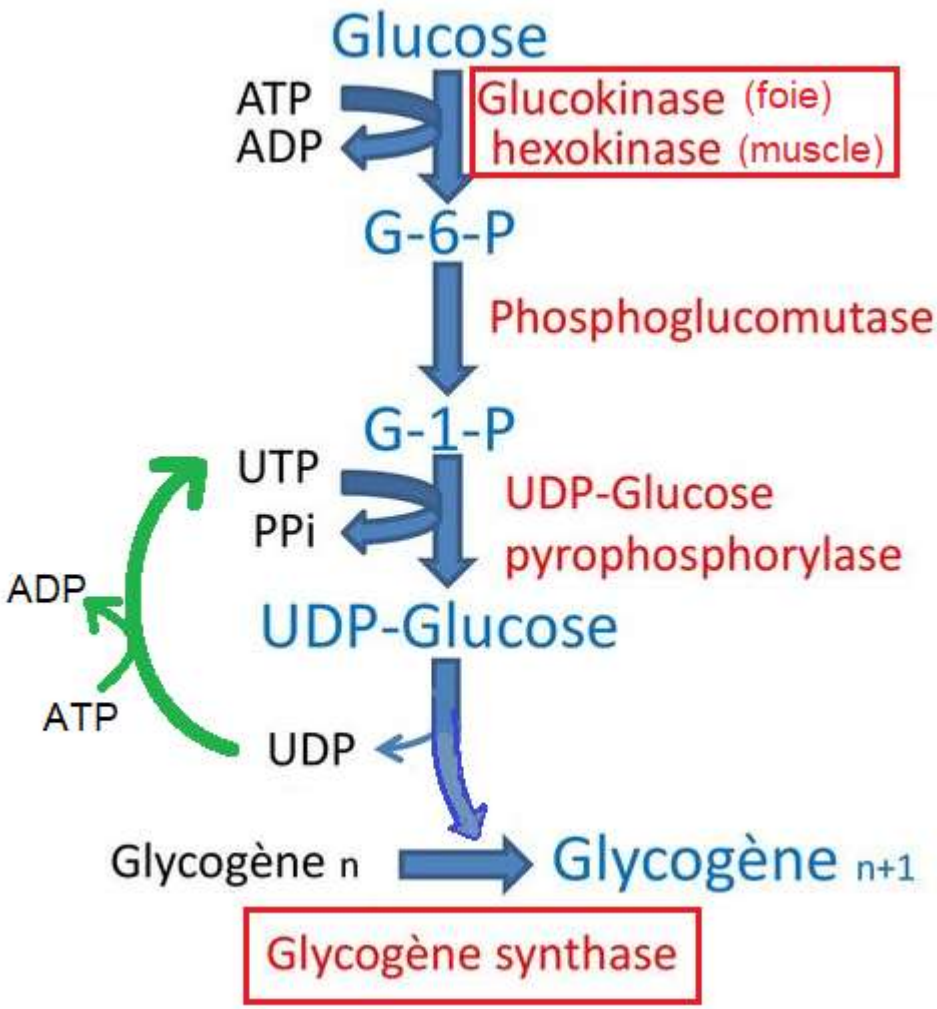
Le glycogène est mis en évidence par une coloration rose.

Manuel de spécialité SVT terminale S, Belin Ed.



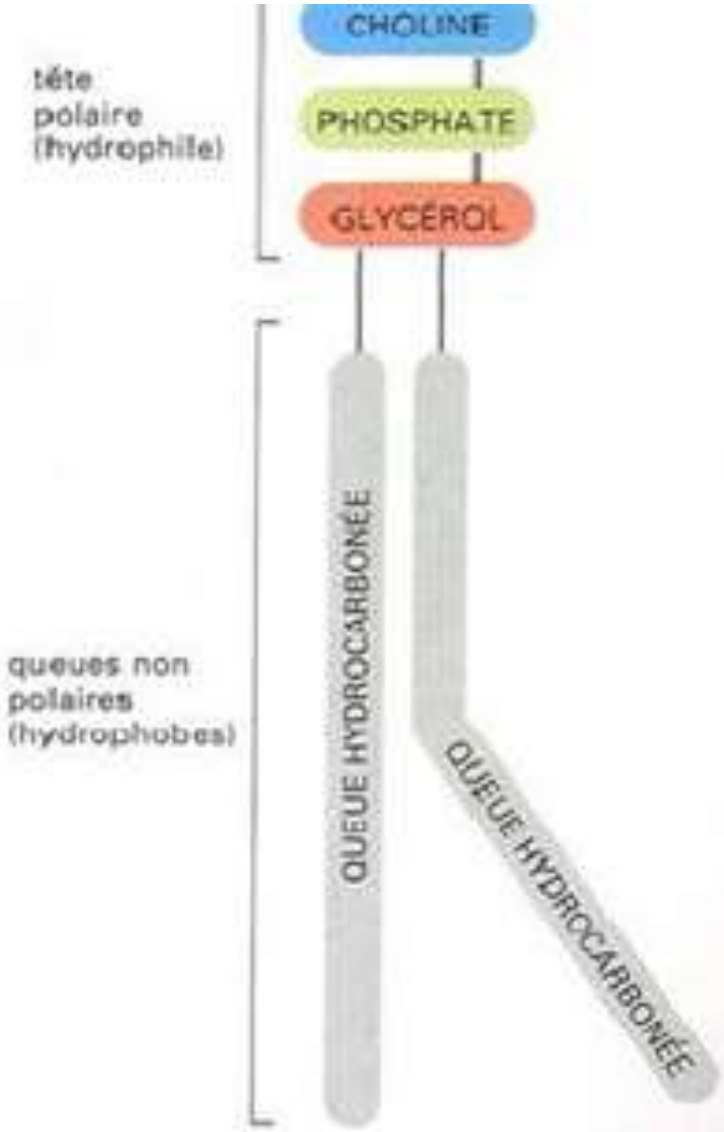
Teneur en glycogène de cellules musculaires lors d'efforts physiques d'intensité variable.

<u>Document 3</u>. Les étapes de la glycogénogenèse.



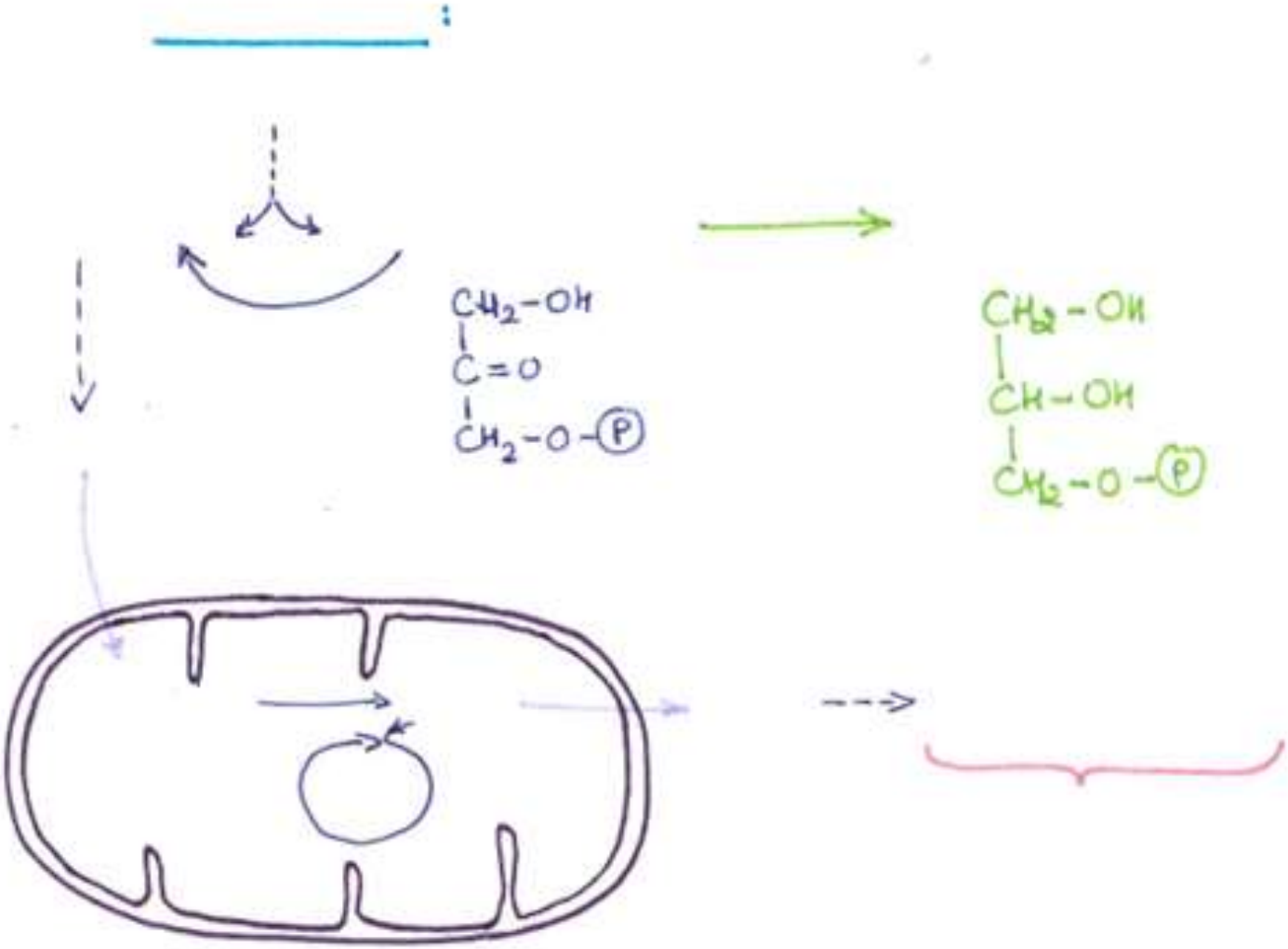
Biosynthèses de molécules à rôle structural : Ex. des glycérophospholipides membranaires

Localisation :
face cytosolique de la membrane du REL



Origine des précurseurs ?

Origine des précurseurs ?



GLYCOLYSE :

glucose

glycéraldéhyde 3 (P) ⇄ (P) dihydroxyacétone $\xrightarrow{\text{RÉDUCTION}}$ glycérol 3 (P)

dihydroxyacétone :

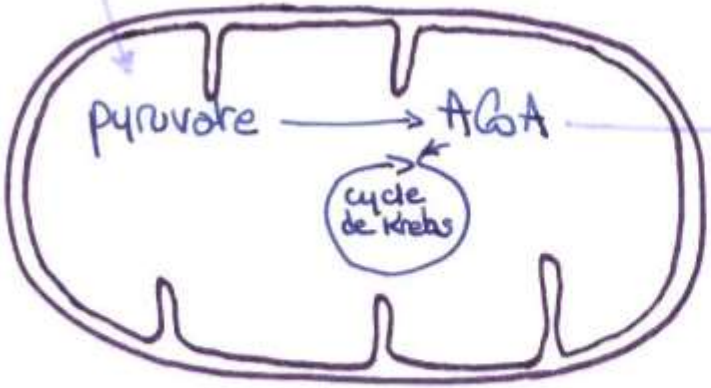
CH_2-OH
|
$C=O$
|
$CH_2-O-(P)$

glycérol 3 (P) :

CH_2-OH
|
$CH-OH$
|
$CH_2-O-(P)$

glycéraldéhyde 3 (P) → pyruvate

Mitochondrie

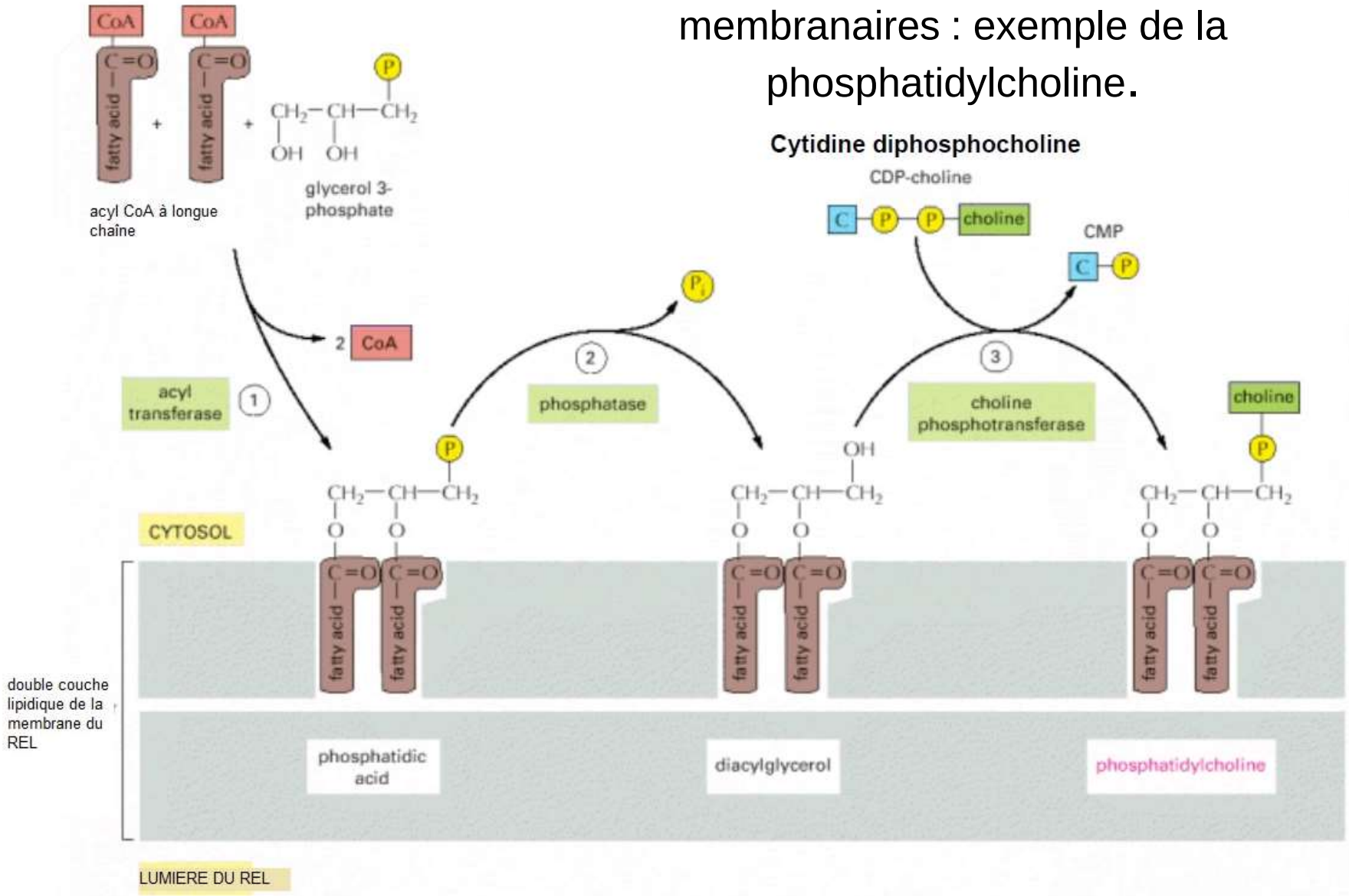


ACoA ---> Acyl-CoA

précurseurs de glycérophospholipides membranaires

Origine des précurseurs des glycérophospholipides membranaires

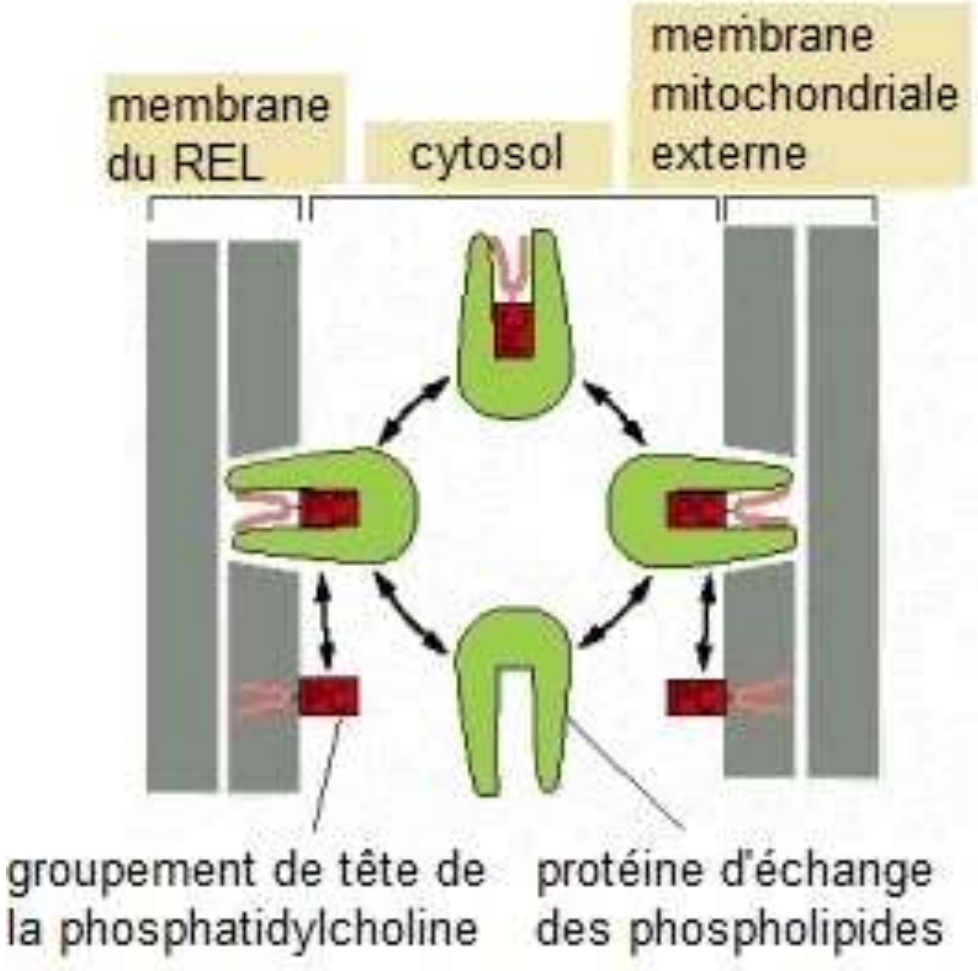
Document 4. Synthèse des phospholipides membranaires : exemple de la phosphatidylcholine.



- **La phosphatydilcholine = le principal phospholipide des cellules animales**
- **Toutes les enzymes intervenant dans la synthèse sont dans la membrane du REL, leur site actif tourné vers le cytosol**

ALBERTS B. et coll., “ Molecular Biology of the Cell ”, 4e edition

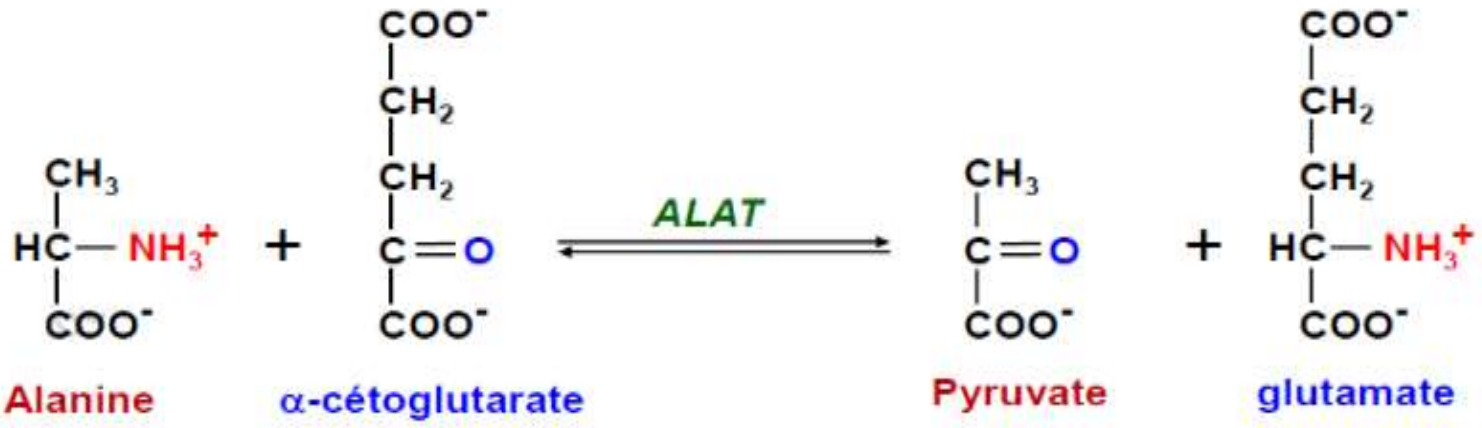
Transport de phospholipides membranaires par des protéines d'échange des phospholipides



→ Pour les mitochondries ou les peroxysomes

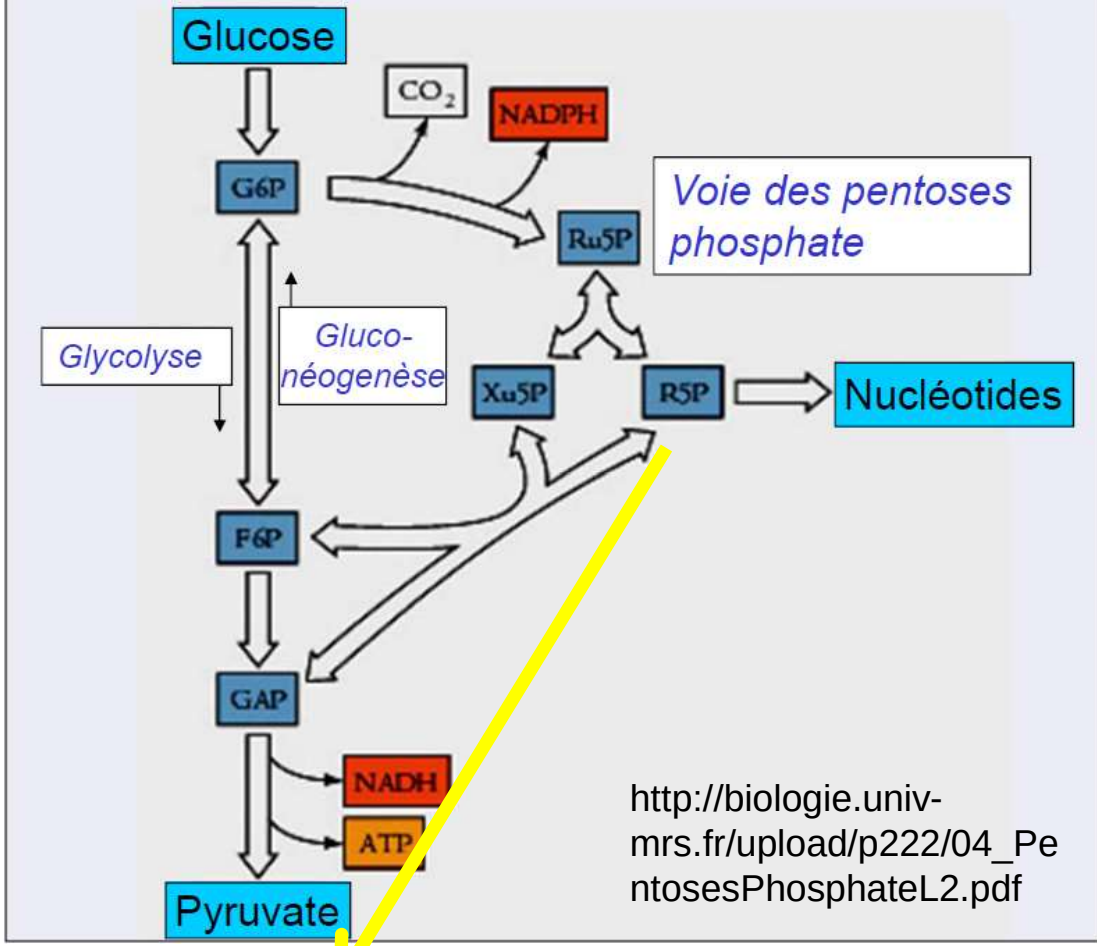
ALBERTS B. et coll., " Molecular Biology of the Cell ", 4e edition

<u>Document 5</u>. La synthèse d'alanine à partir du pyruvate.

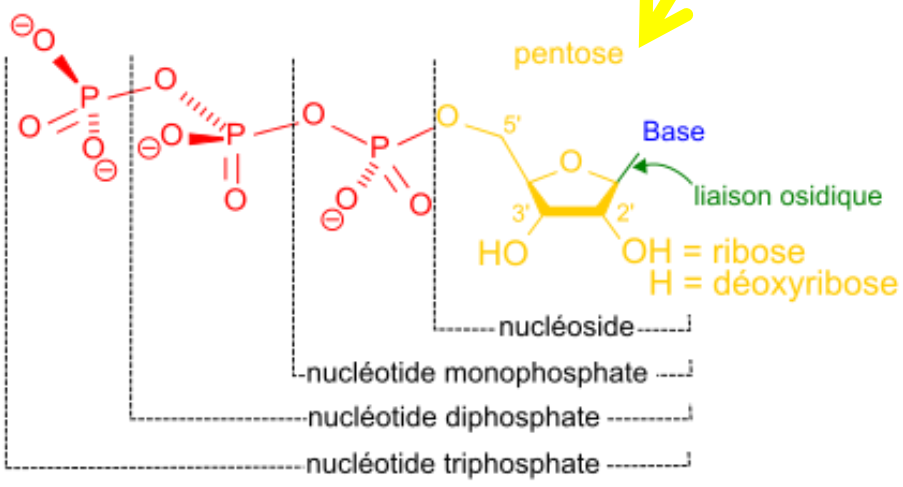


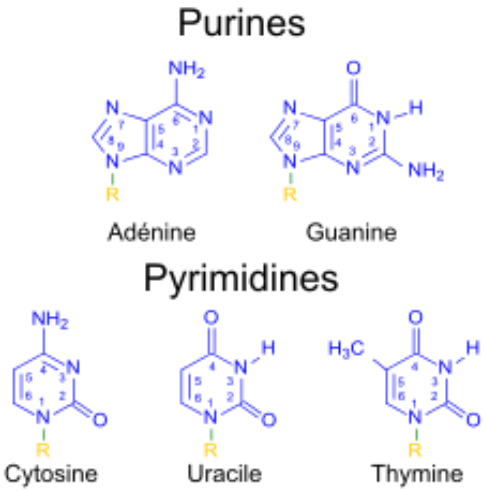
ALAT : ALanine AminoTransférase

La voie des pentoses phosphates : à l'origine du pentose des nucléotides

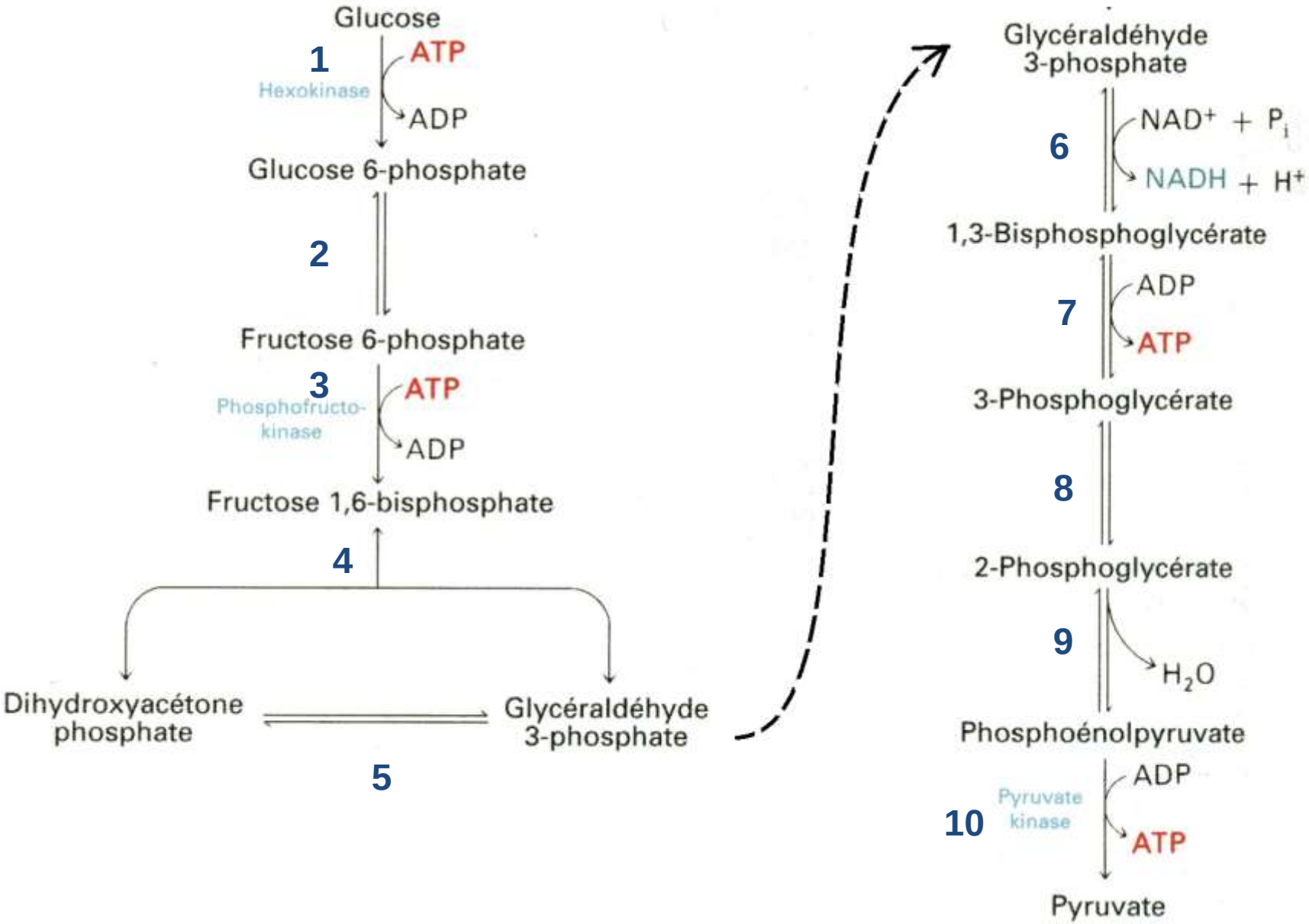


http://biologie.univ-mrs.fr/upload/p222/04_PentosesPhosphateL2.pdf

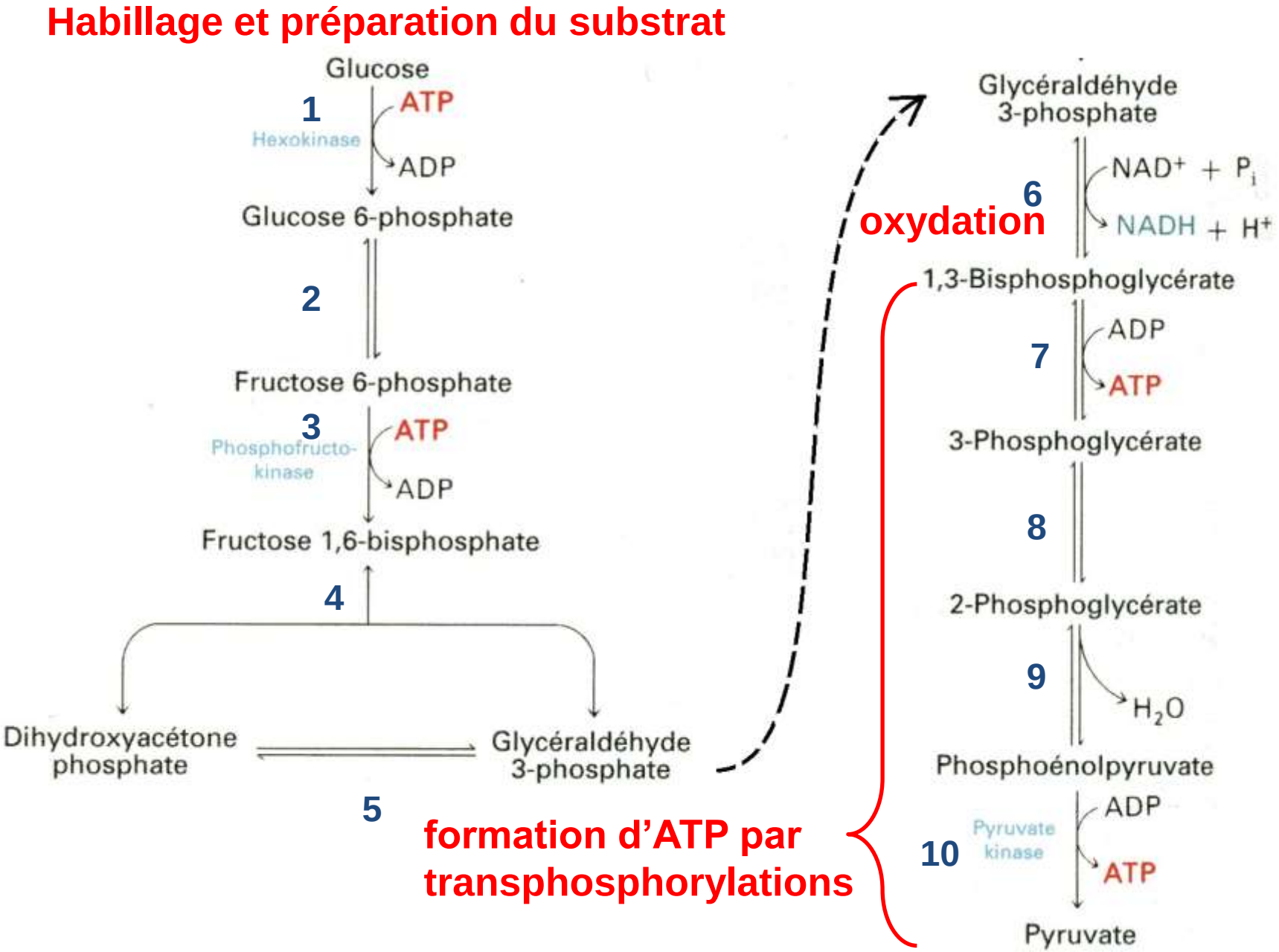




Document 6. Les étapes de la glycolyse.

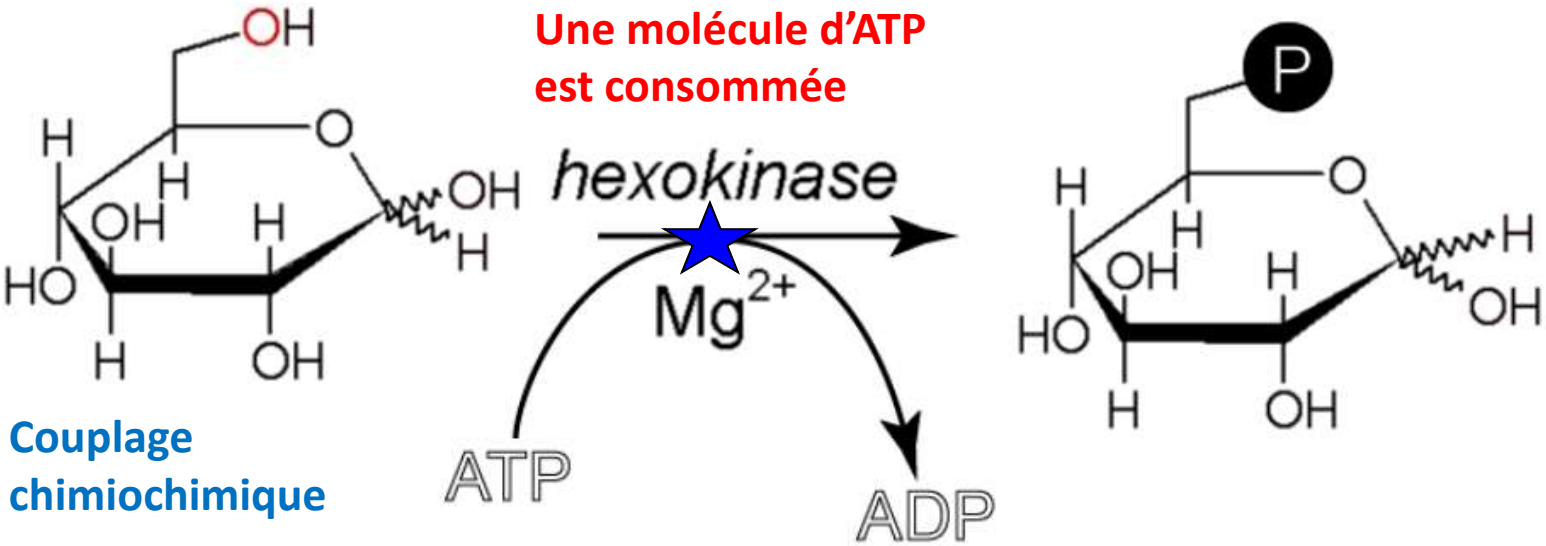


Document 6. Les étapes de la glycolyse.



Phase 1 : habillage et préparation du substrat

Réaction 1 : phosphorylation du glucose en glucose 6P

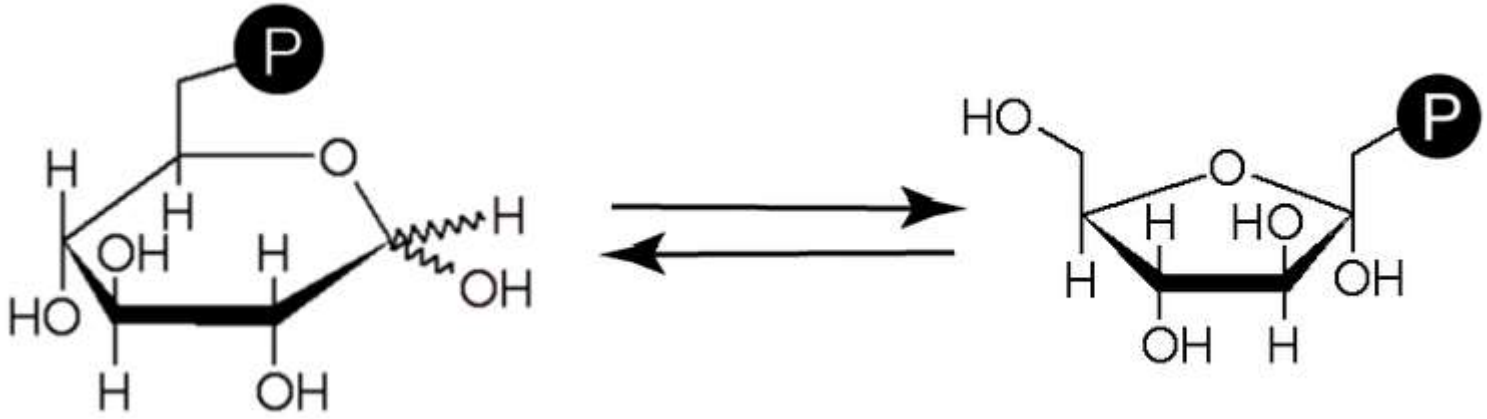


Couplage chimiochimique

- Le glucose 6P est chargé → il ne peut plus quitter la cellule
- Le glucose 6P est plus réactif

Phase 1 : habillage et préparation du substrat

Réaction 2 : isomérisation du glucose 6P en fructose 6P

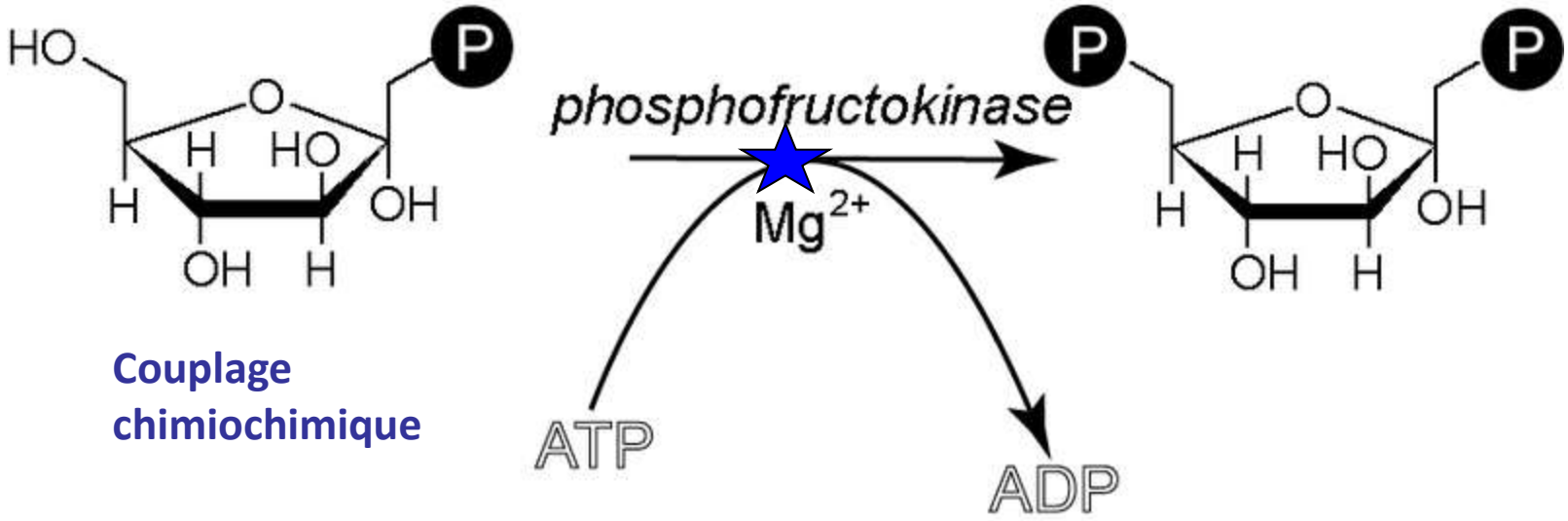


- Le groupement OH porté par le carbone 1 est « sorti du cycle »
- Prépare la réaction suivante

Phase 1 : habillage et préparation du substrat

Réaction 3 : phosphorylation du fructose 6P en fructose 1,6 diP

Une 2e molécule d'ATP est consommée

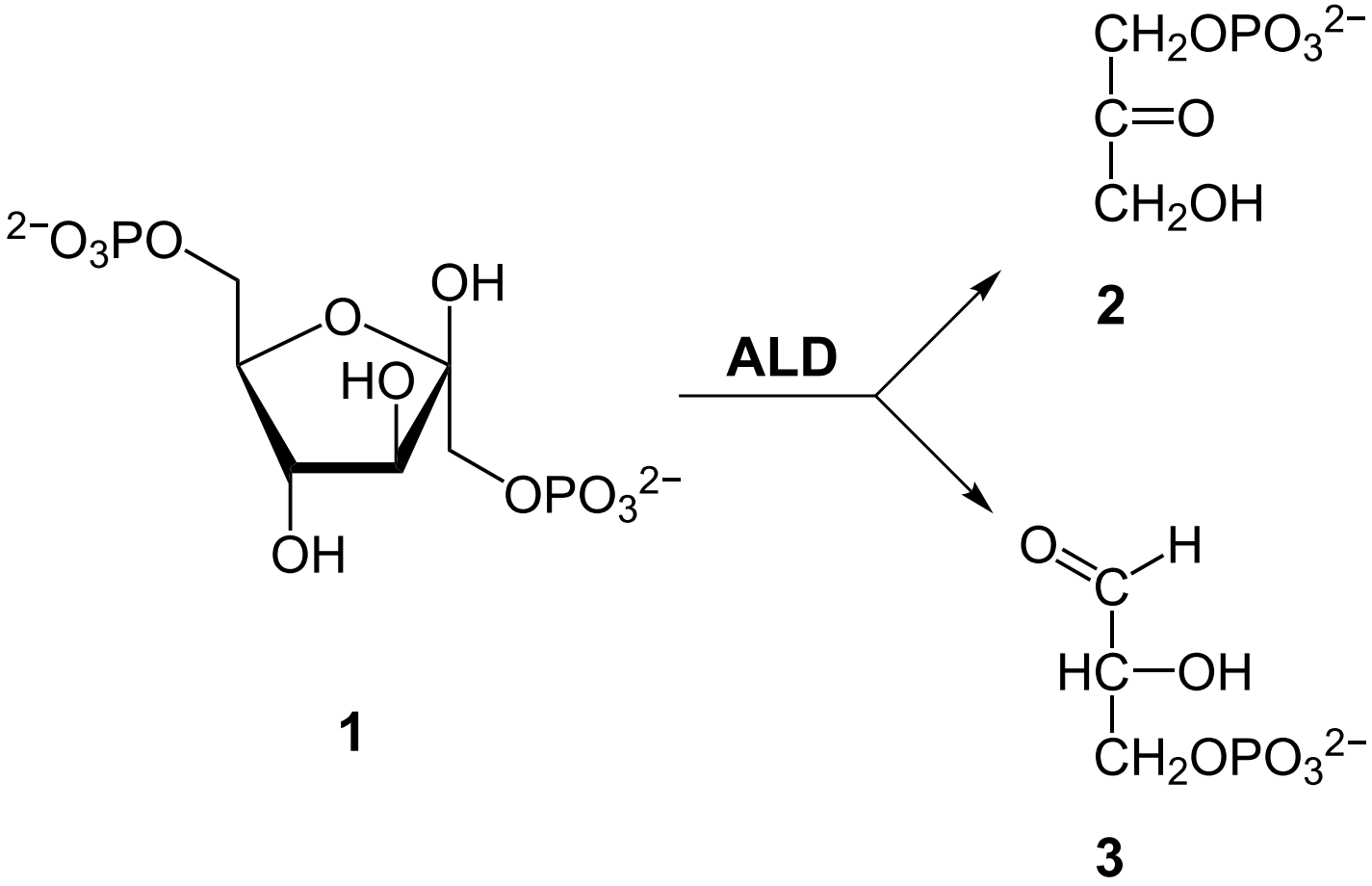


Couplage chimiochimique

- **Le fructose 1,6 diP est doublement chargé → très réactif !**
- **Réaction très exergonique, irréversible dans les conditions cellulaires**

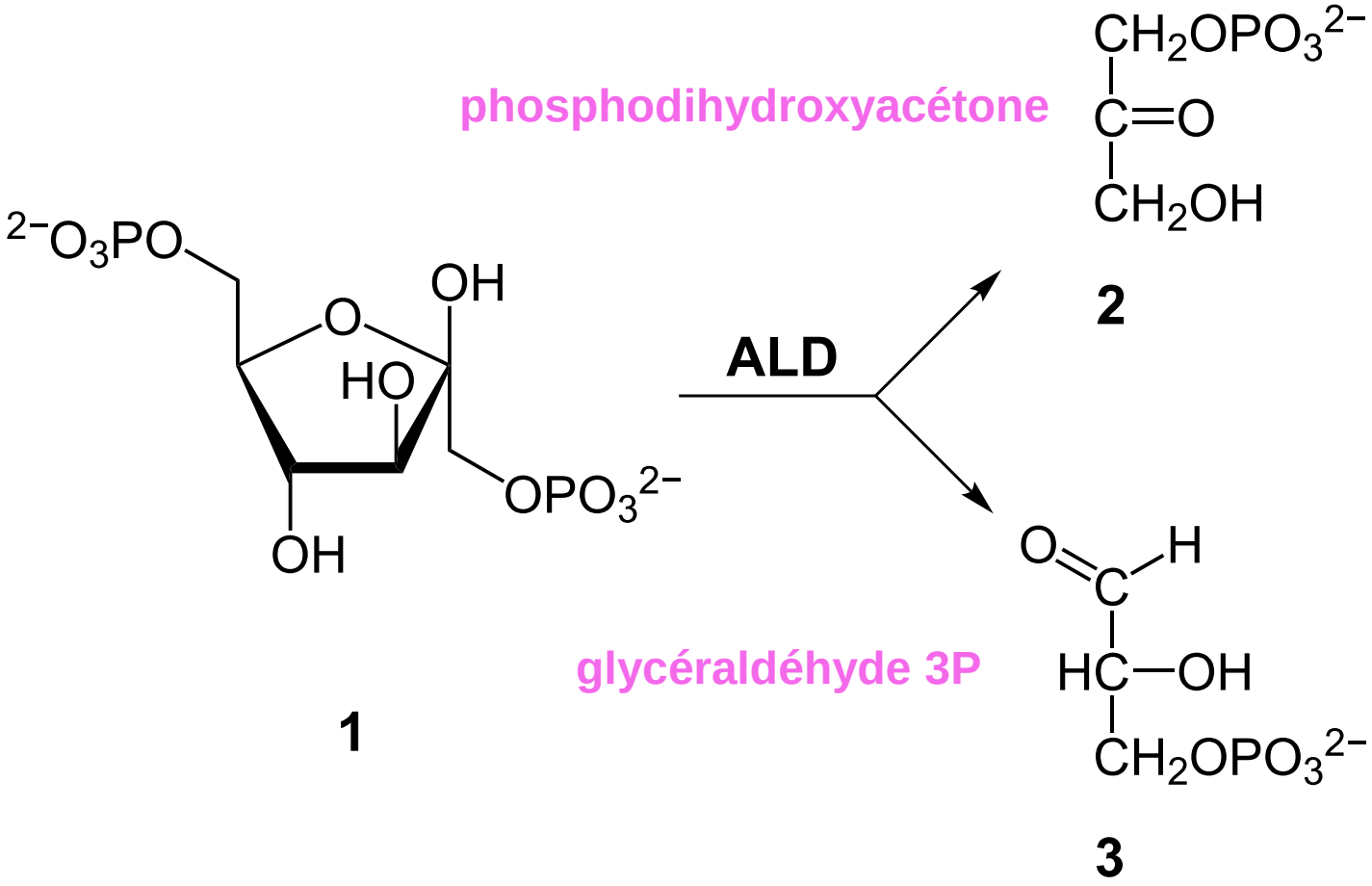
Phase 1 : habillage et préparation du substrat

Réaction 4 : scission du fructose 1,6 diP en deux trioses P



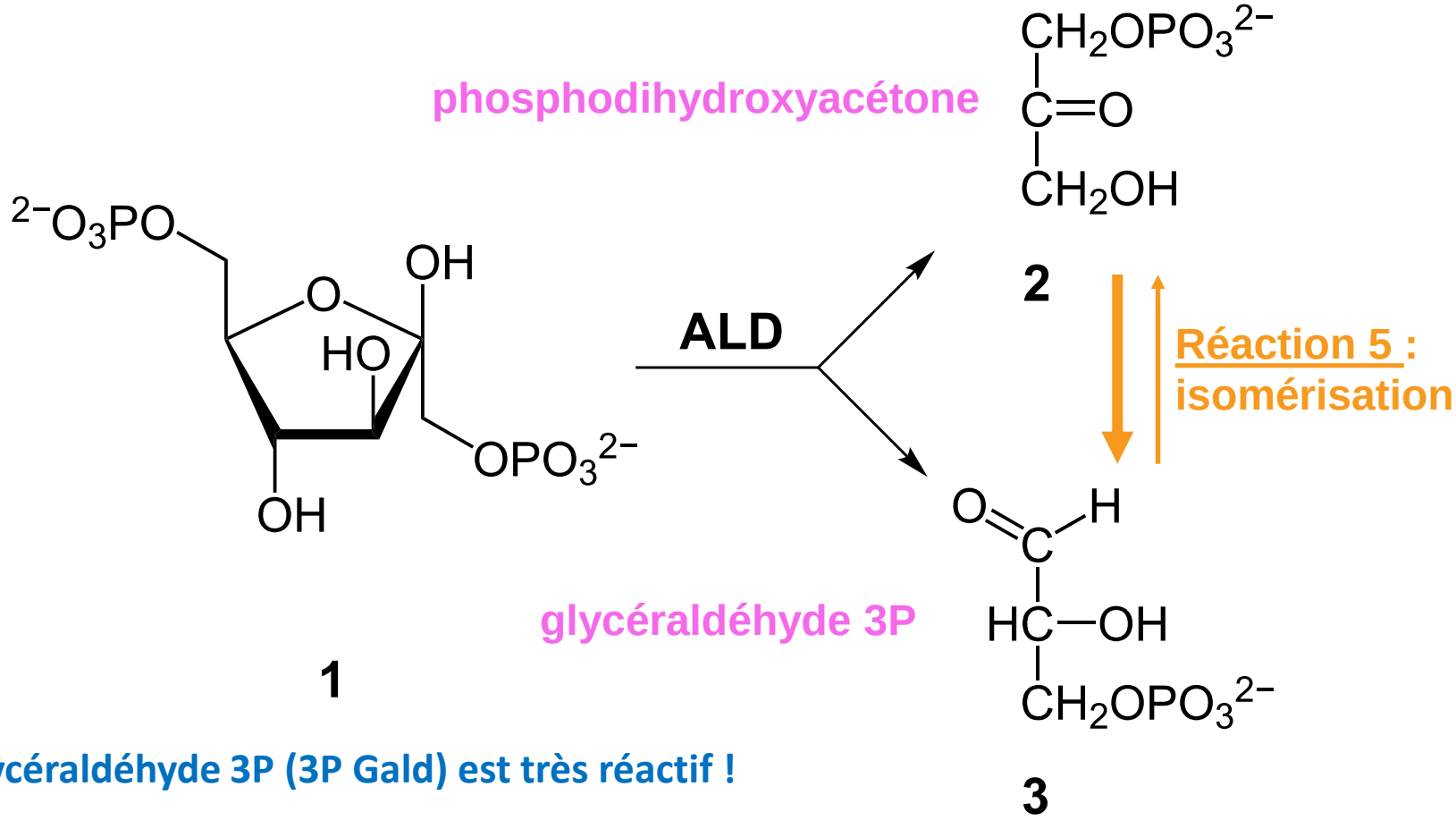
Phase 1 : habillage et préparation du substrat

Réaction 4 : scission du fructose 1,6 diP en deux trioses P



Phase 1 : habillage et préparation du substrat

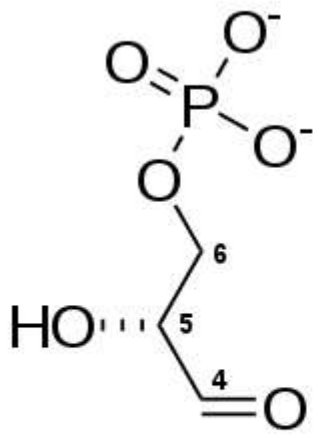
Réaction 4 : scission du fructose 1,6 diP en deux trioses P



- Le glycéraldéhyde 3P (3P Gald) est très réactif !
- Il est consommé en permanence dans la suite de la glycolyse
- La réaction d'isomérisation (réaction 5) est déplacée vers la production de 3P Gald

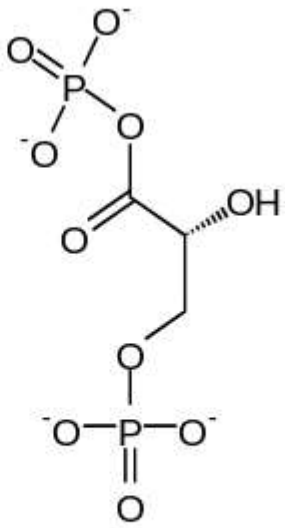
Phase 2 : oxydation

Réaction 6 : oxydation du glycéraldéhyde 3P



Glycéraldéhyde-3-phosphate

+ NAD^+ + Pi ⇌

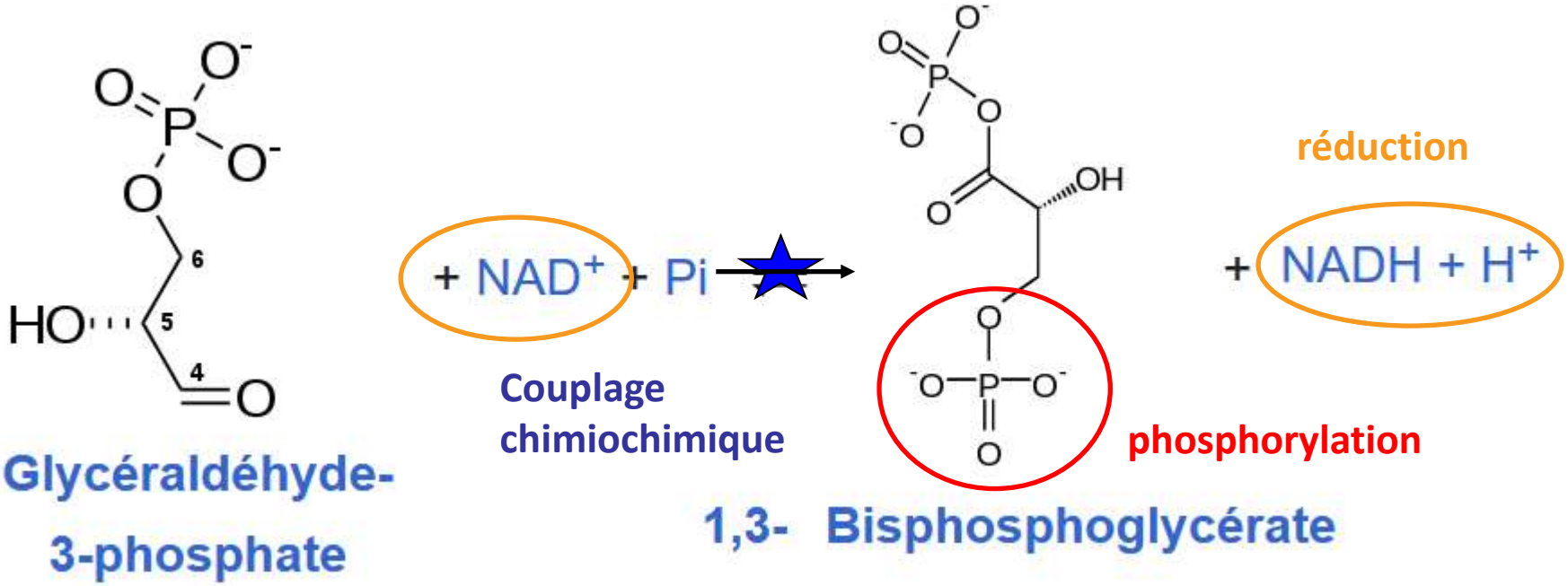


1,3- Bisphosphoglycérate

+ $NADH + H^+$

Phase 2 : oxydation

Réaction 6 : oxydation du glycéraldéhyde 3P



- **Réaction couplée à la réduction du NAD^+ en NADH**

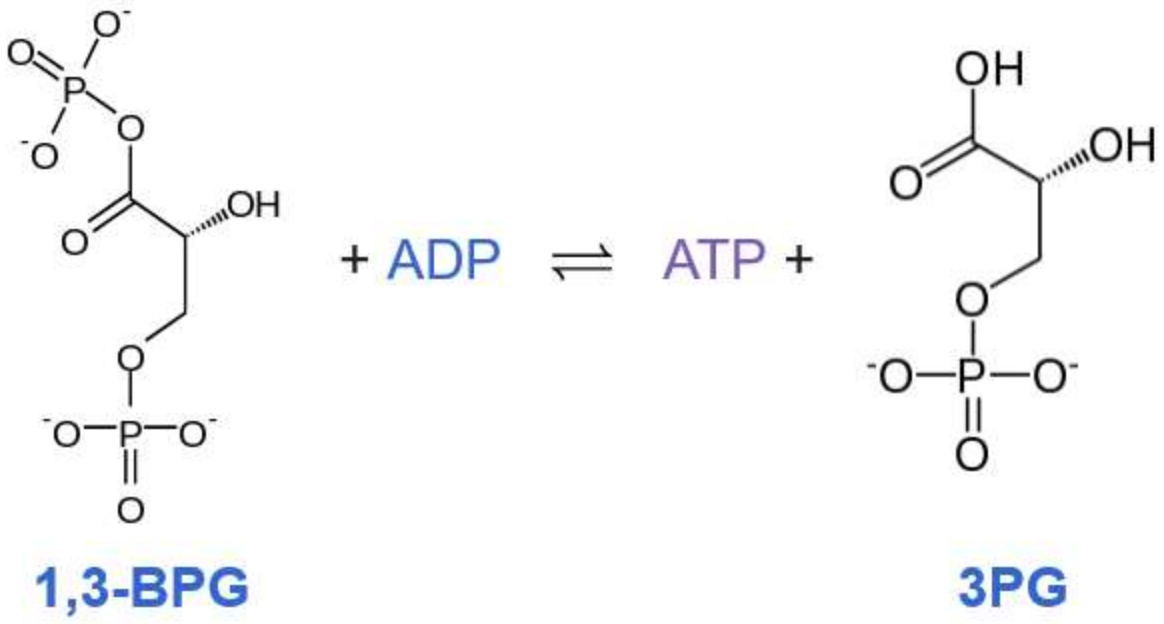
  → récupération d'énergie chimique !

- **Réaction fortement exergonique : $\Delta rG°' = -43\ kJ.mol^{-1}$**

  → Permet une phosphorylation par Pi

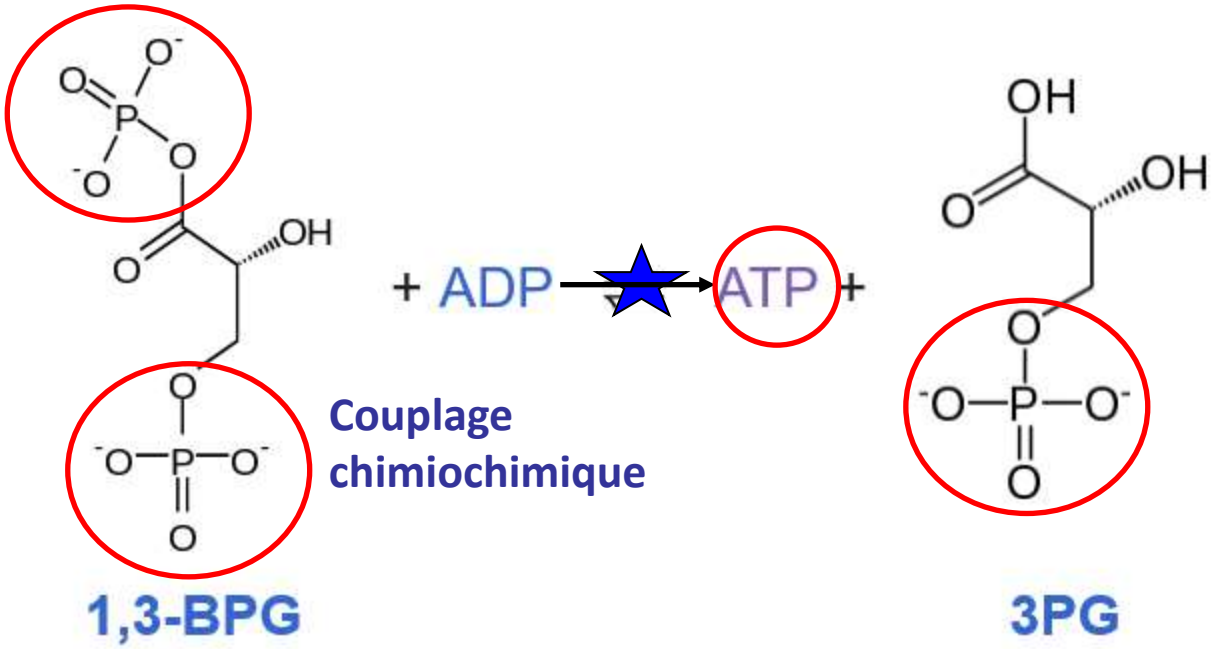
Phase 3 : récupération de l'énergie investie dans les phosphorylations

Réaction 7 : 1ère formation d'ATP par transphosphorylation



Phase 3 : récupération de l'énergie investie dans les phosphorylations

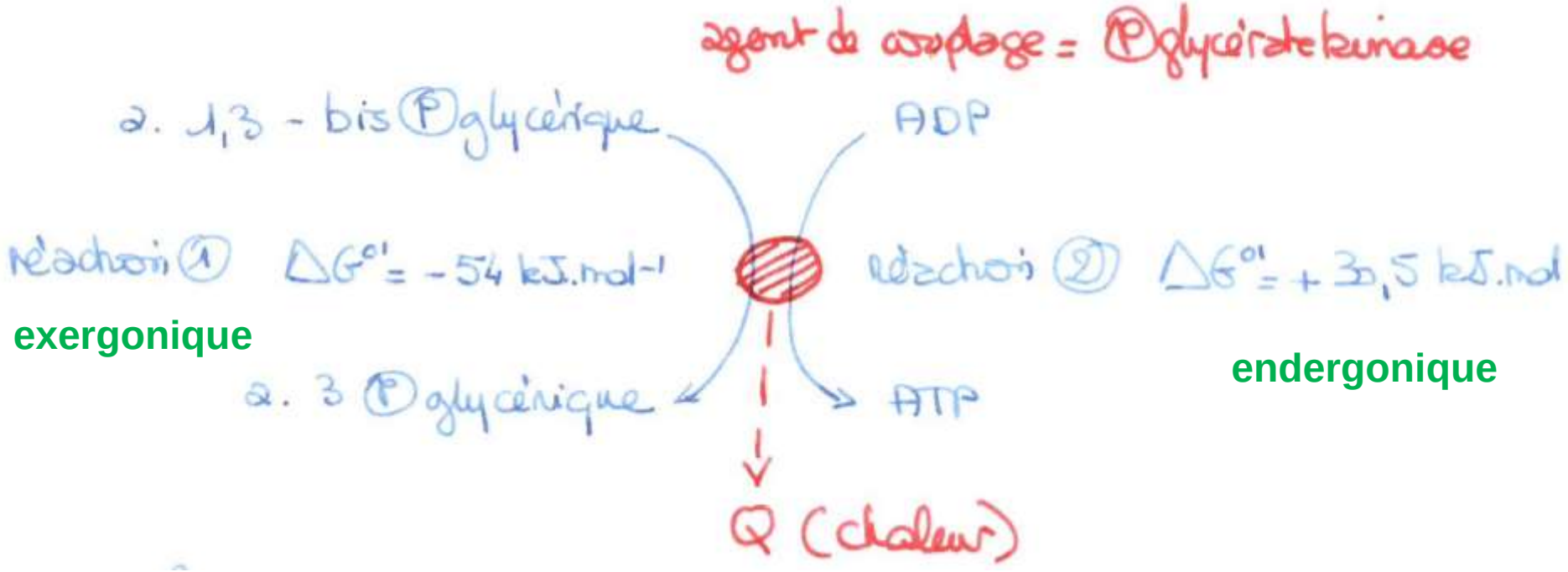
Réaction 7 : 1ère formation d'ATP par transphosphorylation



Le haut potentiel de transfert du 1,3-BPG permet de transférer un groupement phosphoryle sur de l'ADP pour former de l'ATP

→ récupération d'énergie chimique !

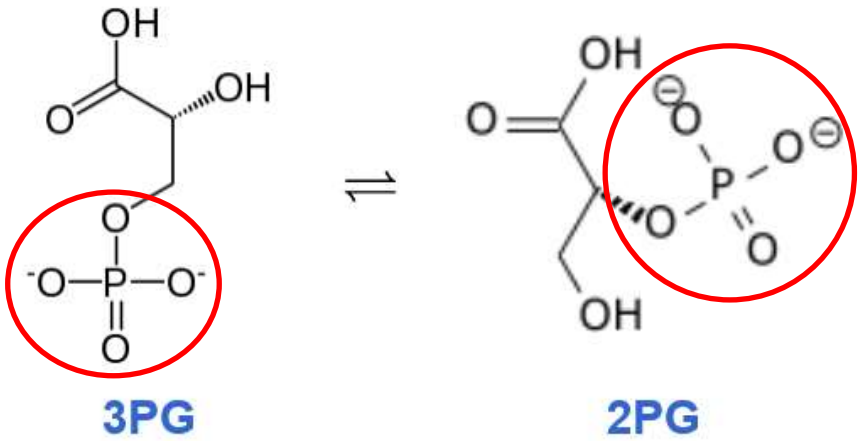
Couplage chimio-chimique permettant la synthèse d'ATP par transphosphorylation



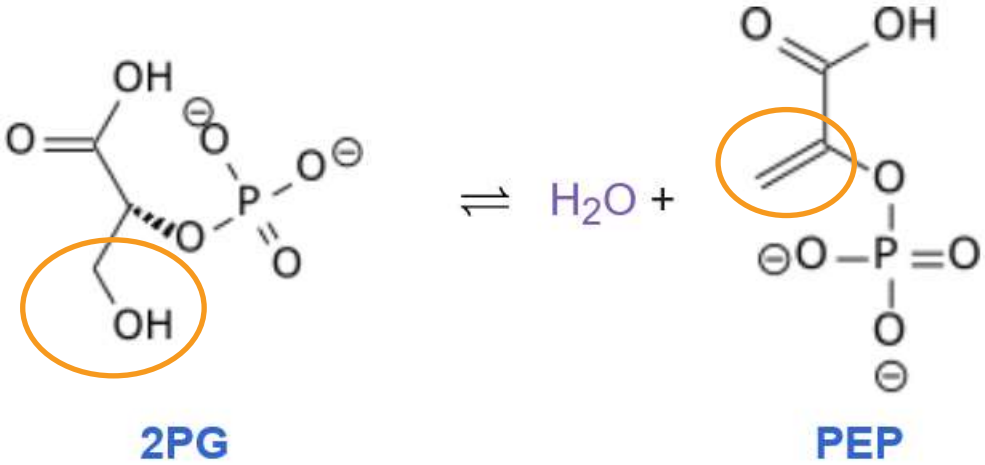
Phase 3 : récupération de l'énergie investie dans les phosphorylations

Réactions 8 et 9 : formation du PEP (phosphoénolpyruvate), composé à haut potentiel de transfert

Réaction 8 :
isomérisation du
3 phosphoglycérate en
2 phosphoglycérate



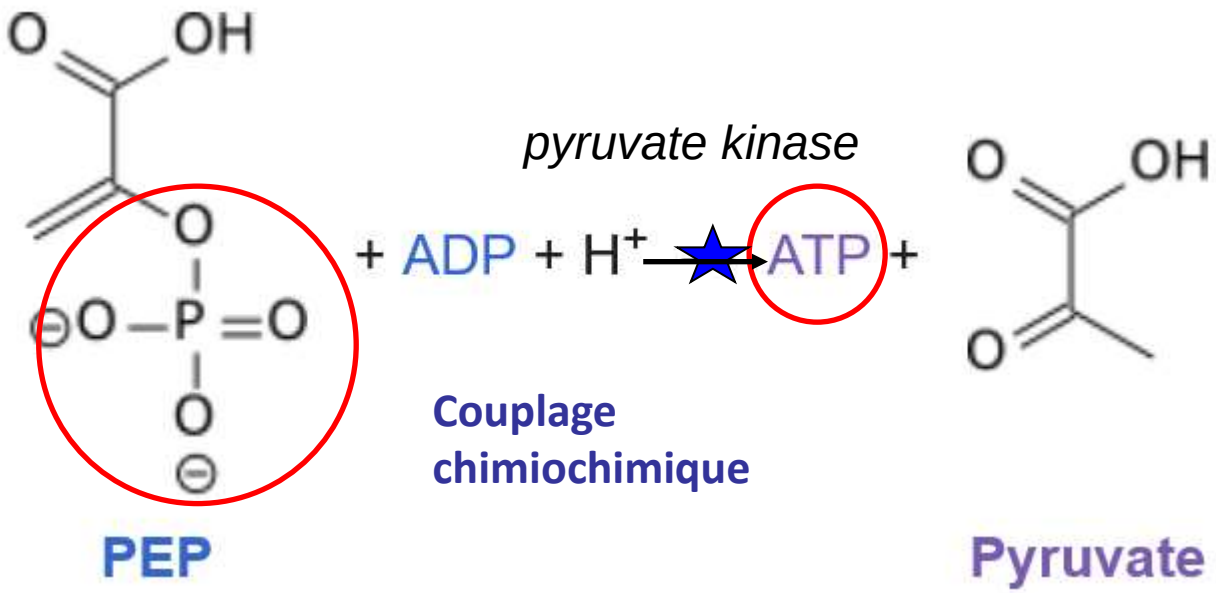
Réaction 9 :
conversion du
2 phosphoglycérate
en phosphoénolpyruvate
par élimination d'une
molécule d'eau



→ PEP, molécule à haut potentiel de transfert de groupement phosphate

Phase 3 : récupération de l'énergie investie dans les phosphorylations

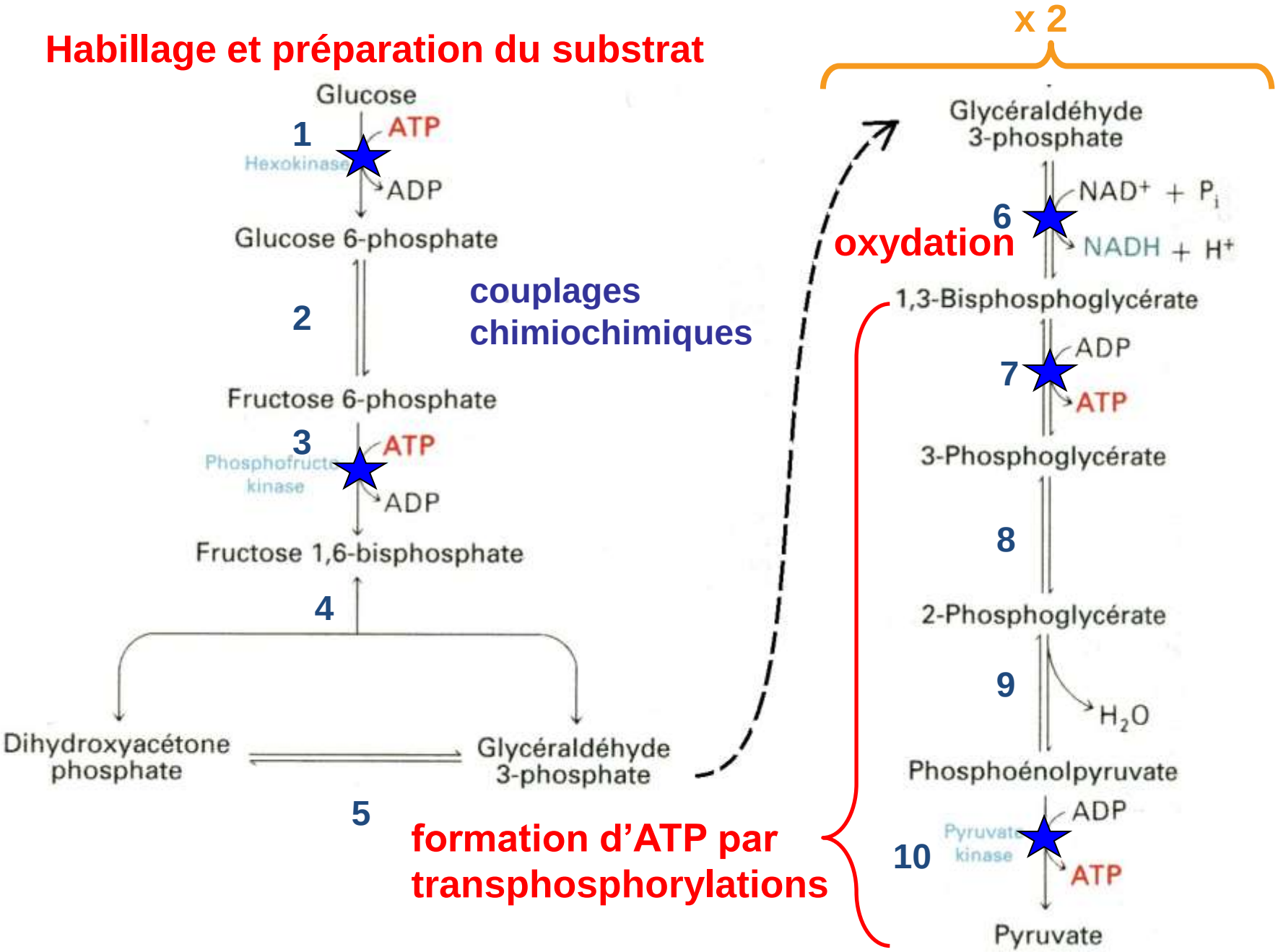
Réaction 10 : 2e formation d'ATP par transphosphorylation



Le haut potentiel de transfert du PEP permet de transférer un groupement phosphoryle sur de l'ADP pour former de l'ATP

→ récupération d'énergie chimique !

Document 6. Les étapes de la glycolyse.



Bilan de la glycolyse

pour une molécule de glucose engagée:

Première phase : deux ATP consommées

Deuxième phase : deux NADH,H+ formées

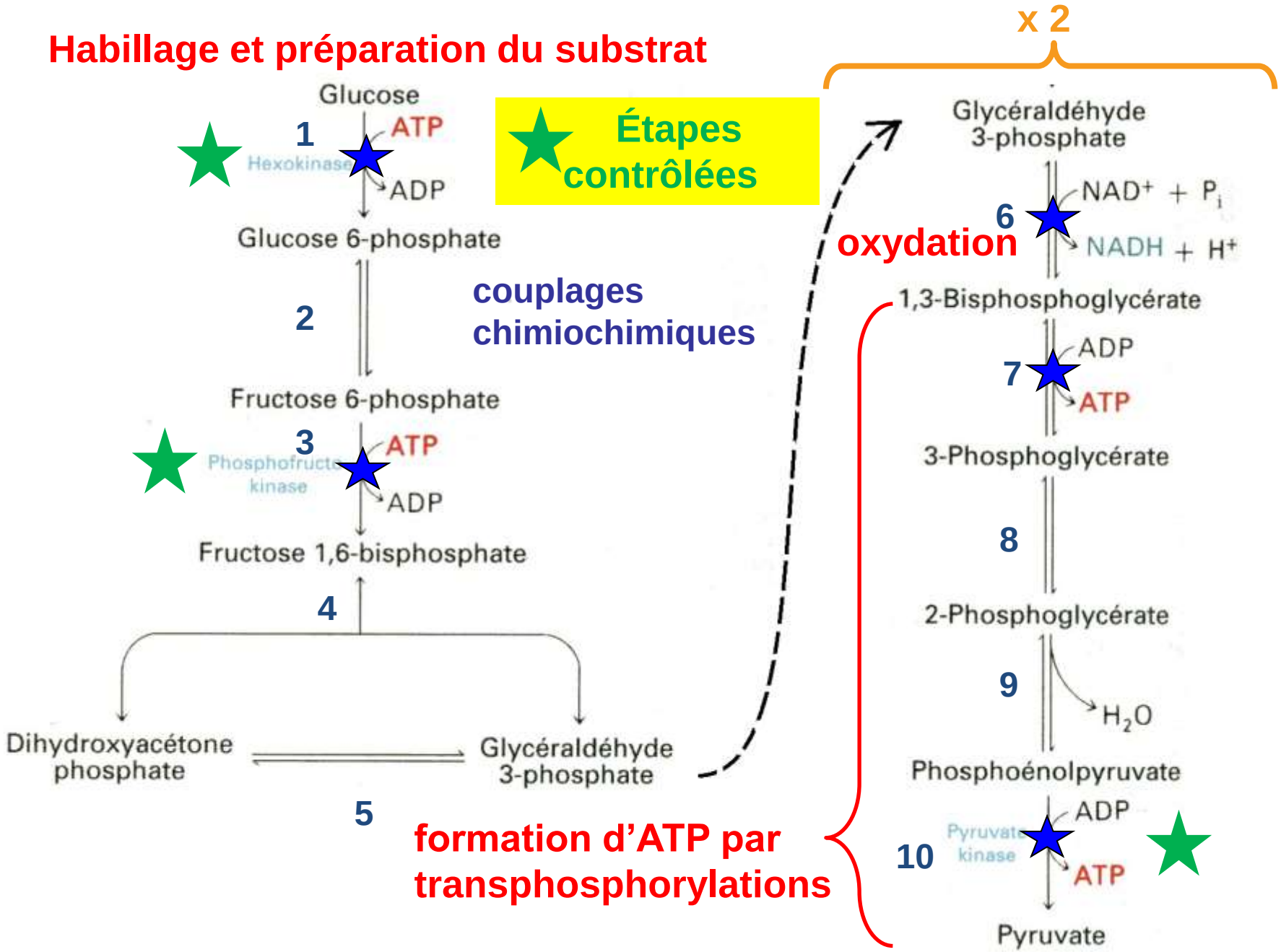
Troisième phase : quatre ATP formées
deux pyruvates formés

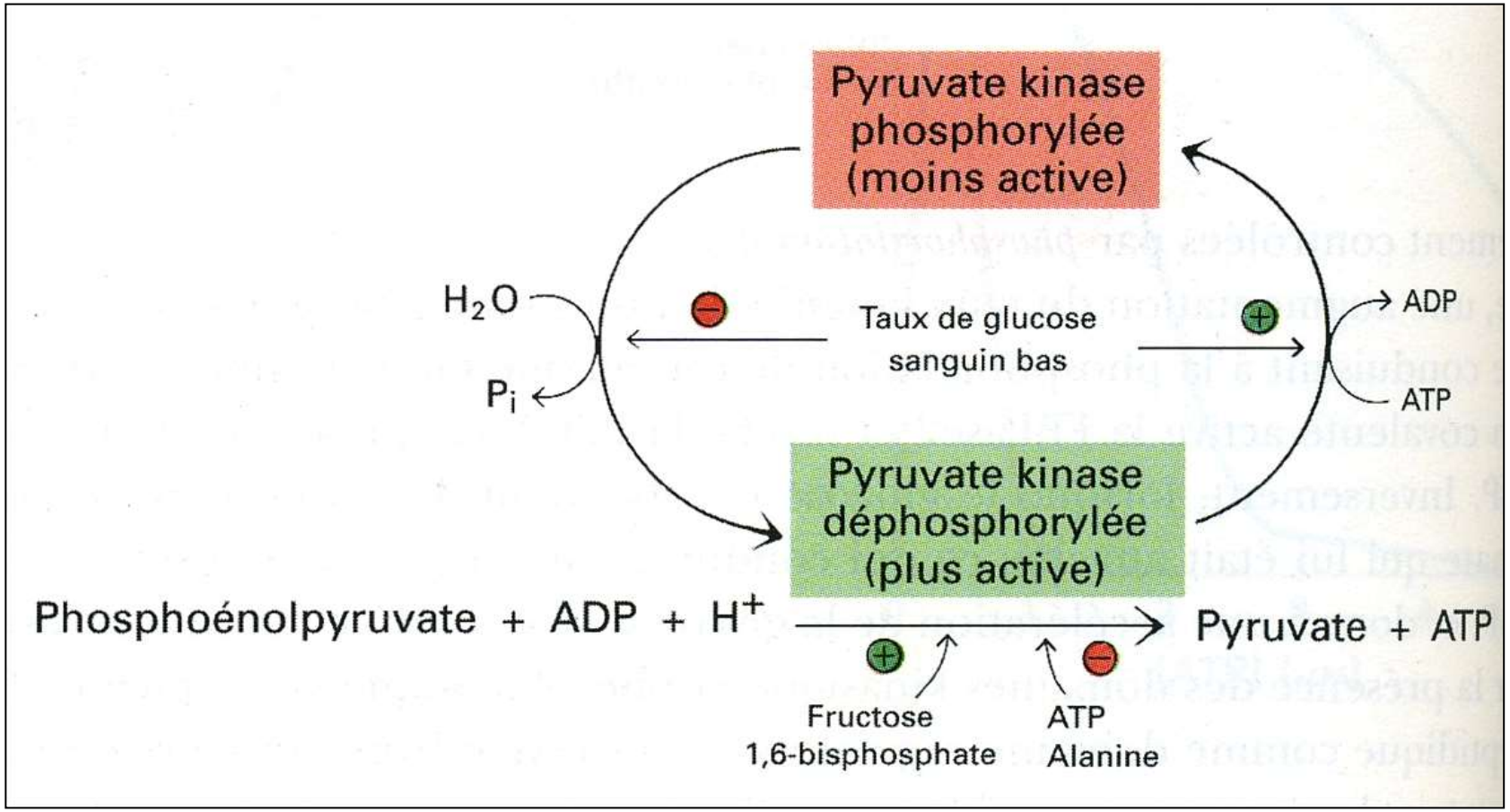
Glucose + 2 Pi + 2 ADP + 2 NAD^+ →
2 pyruvate + 2 ATP + 2 NADH, H^+ + 2 H_2O

Soit un bilan net de 2 ATP, 2 NADH,H^+

Mais
le pyruvate possède encore de l'énergie potentielle, du pouvoir réducteur!

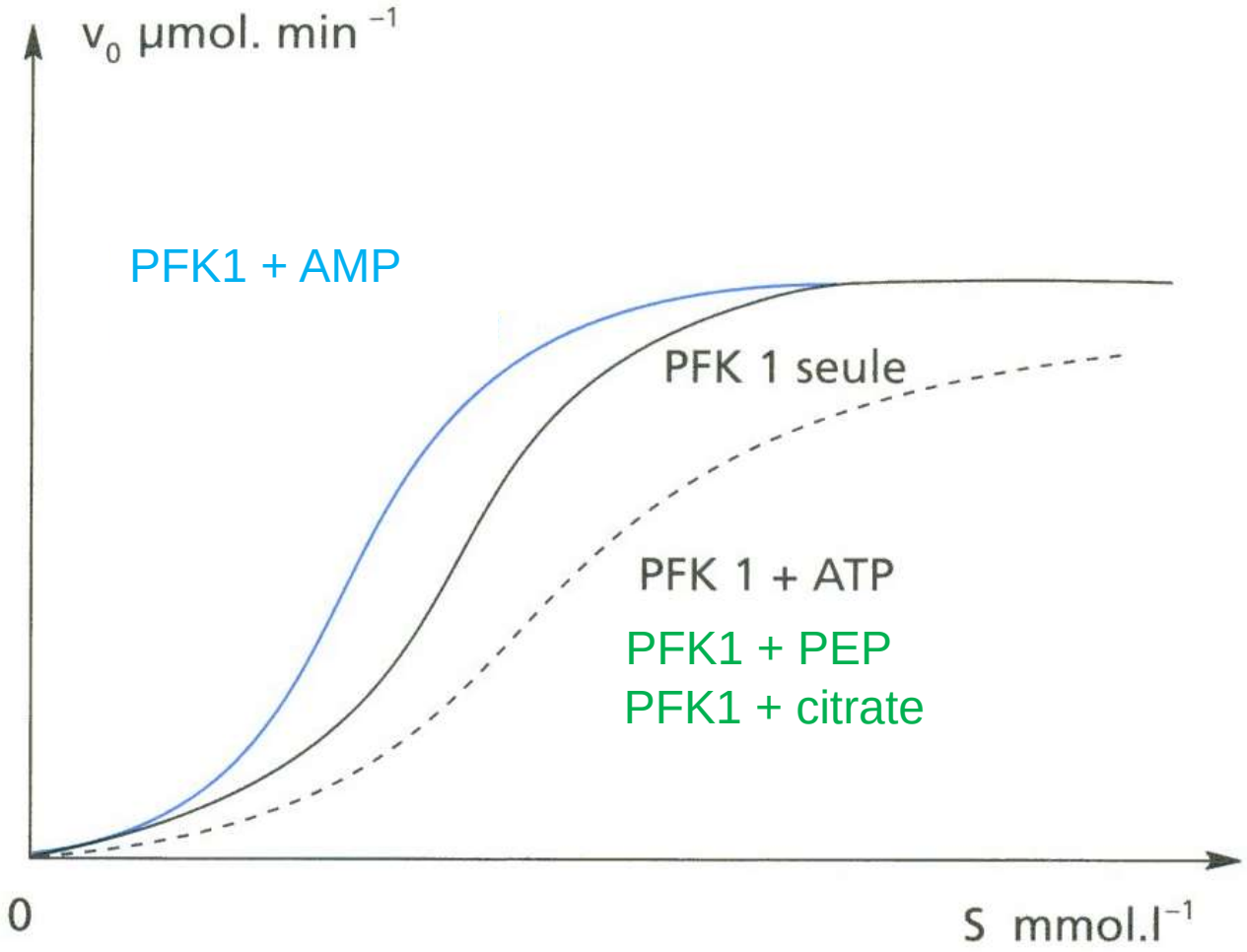
Document 6. Les étapes de la glycolyse.





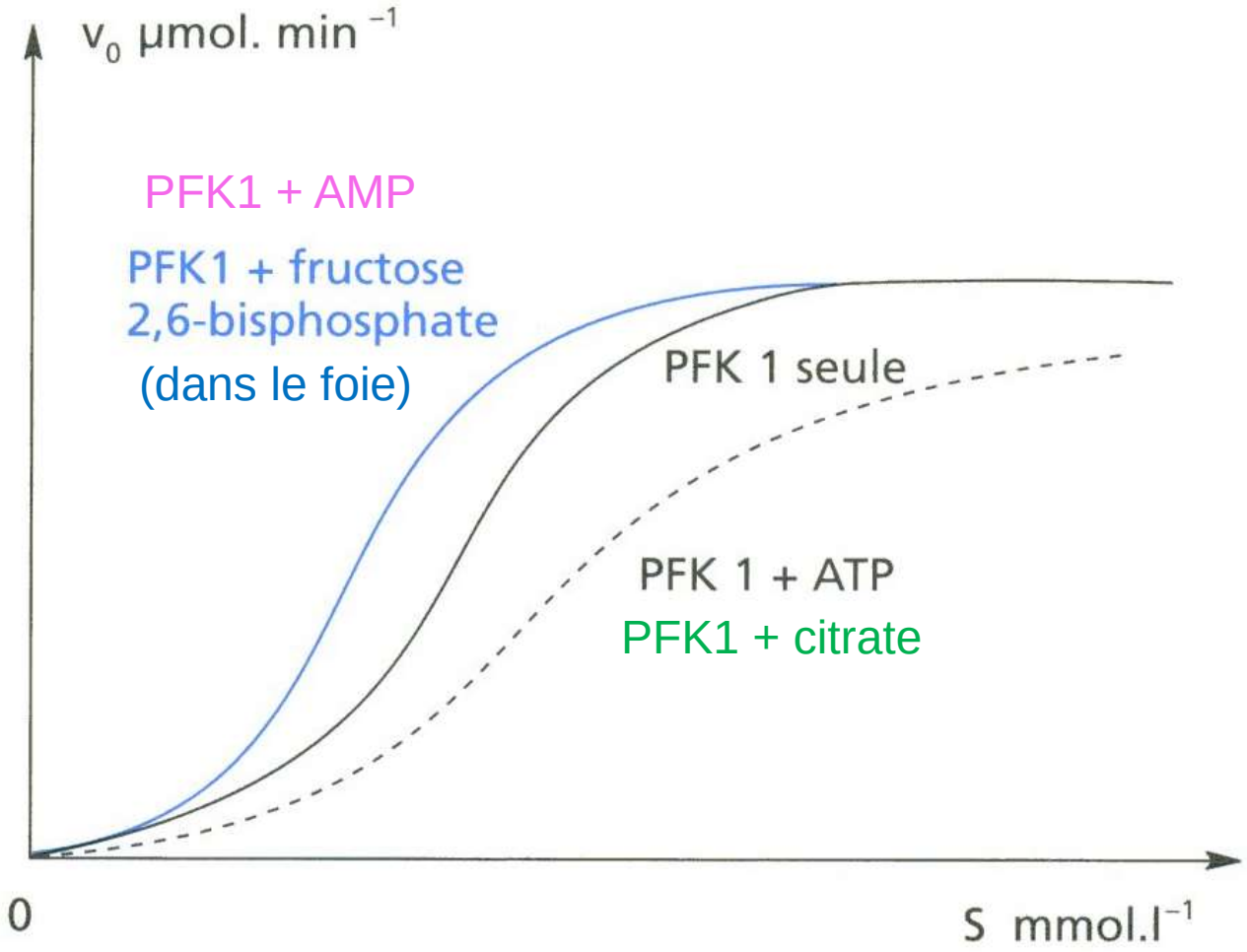
<u>Document 7.</u> Contrôle de l'activité catalytique de la pyruvate kinase du foie.

(STRYER L., « La biochimie » Flammarion Médecine – Sciences Ed. ; 1997).



<u>Document 8.</u> Activité de la PFK1, seule (témoin) et en présence d'effecteurs allostériques.

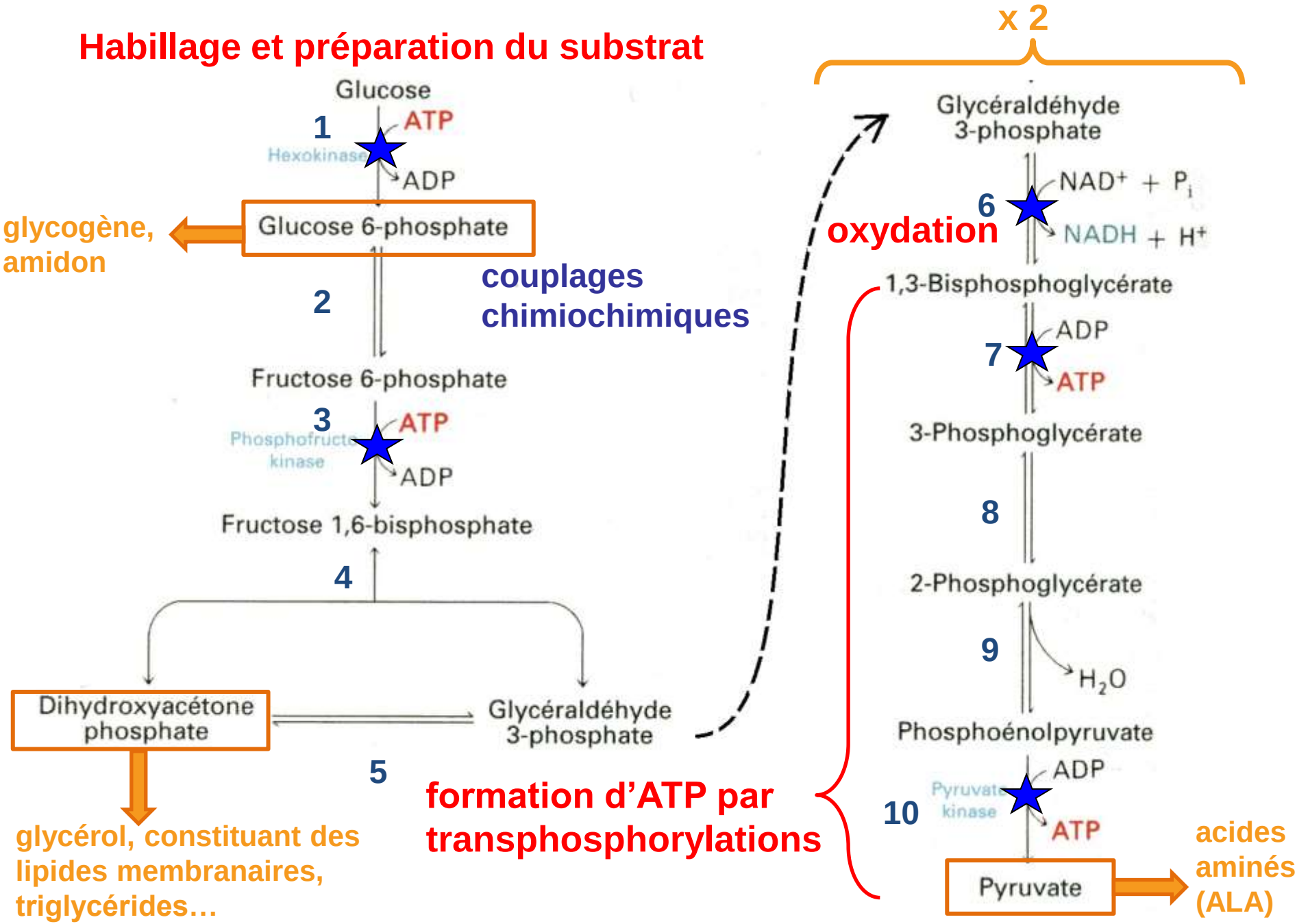
(D'après PEYCRU P. et coll., " Biologie 1ère année BCPST ", Dunod Ed., 2007).



<u>Document 8.</u> Activité de la PFK1, seule (témoin) et en présence d'effecteurs allostériques.

(PEYCRU P. et coll., " Biologie 1ère année BCPST ", Dunod Ed., 2007).

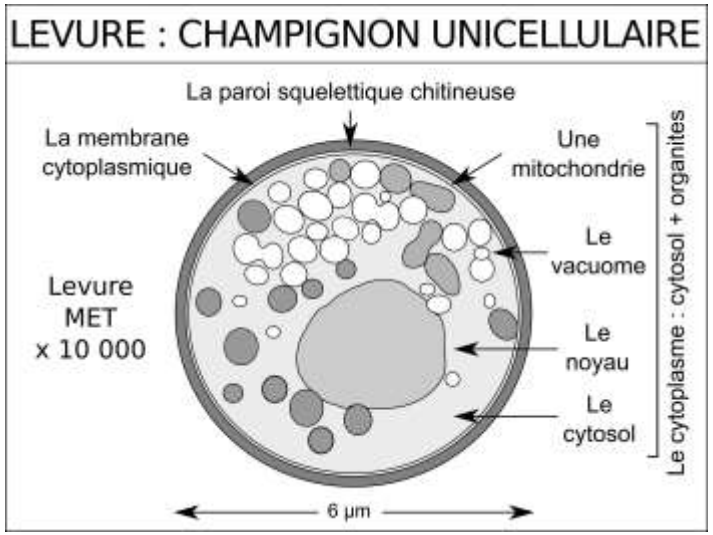
Document 6. Les étapes de la glycolyse.



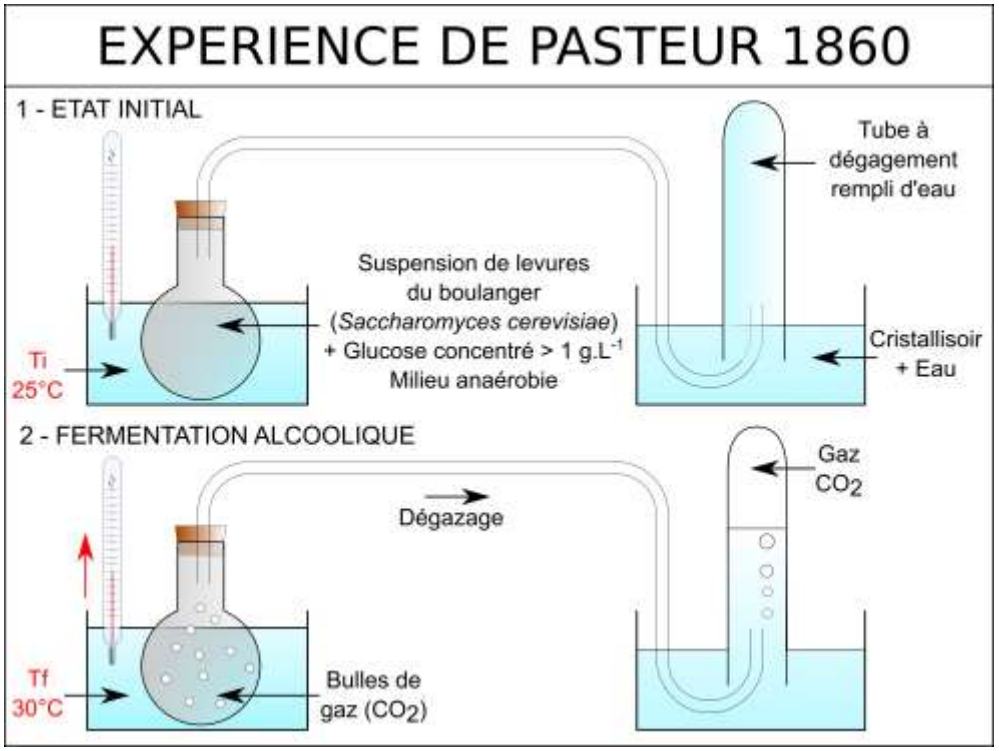
Travaux de Pasteur sur les fermentations (1857 – 1867)

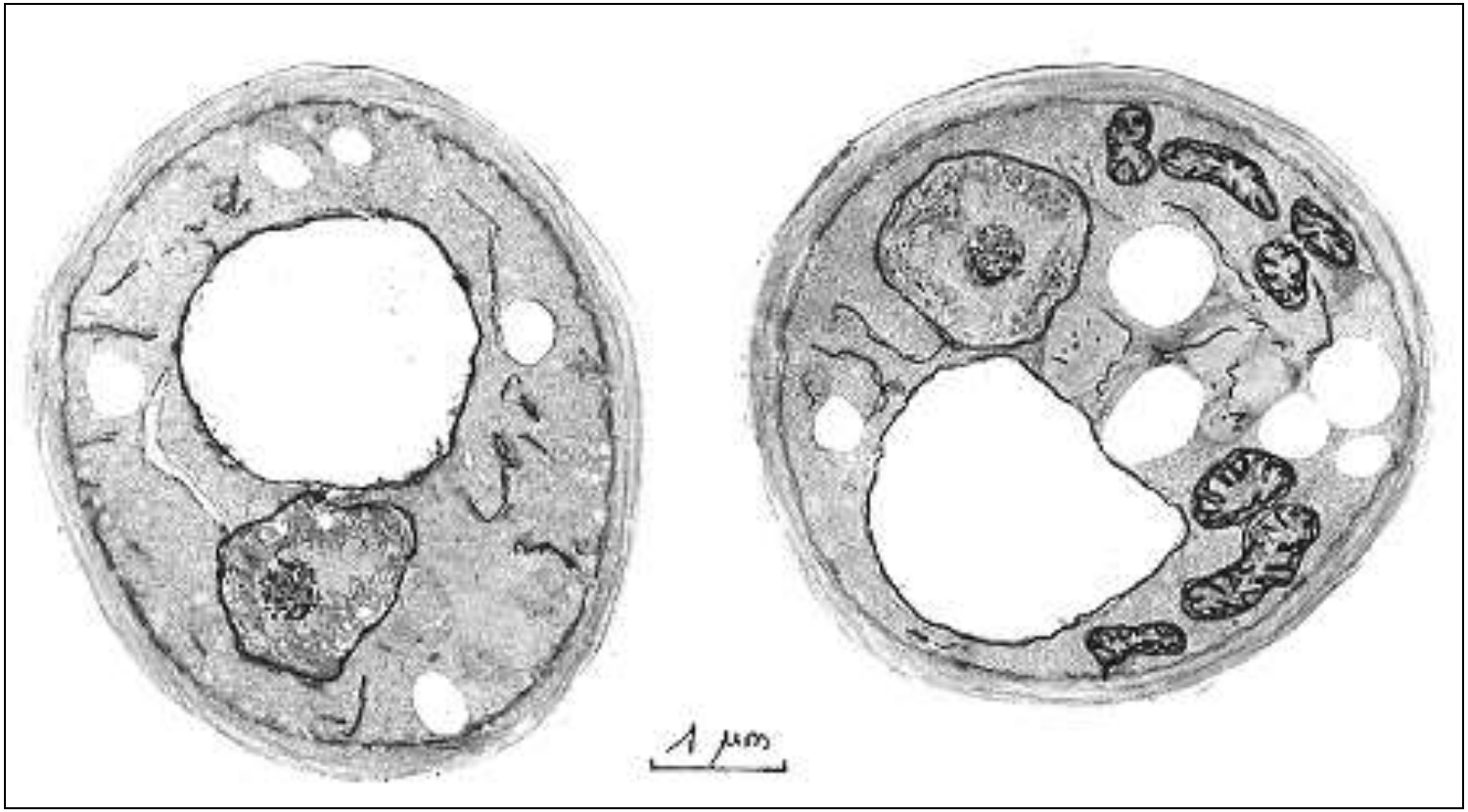
Saccharomyces cerevisiae

https://en.wikipedia.org/wiki/Saccharomyces#/media/File:20100911_232323_Yeast_Live.jpg



https://www.svt-lycee-elorn.ovh/respiration_fermentation.php

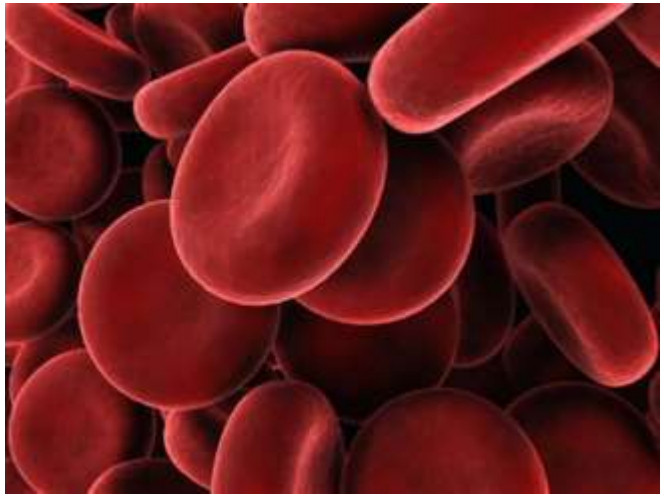


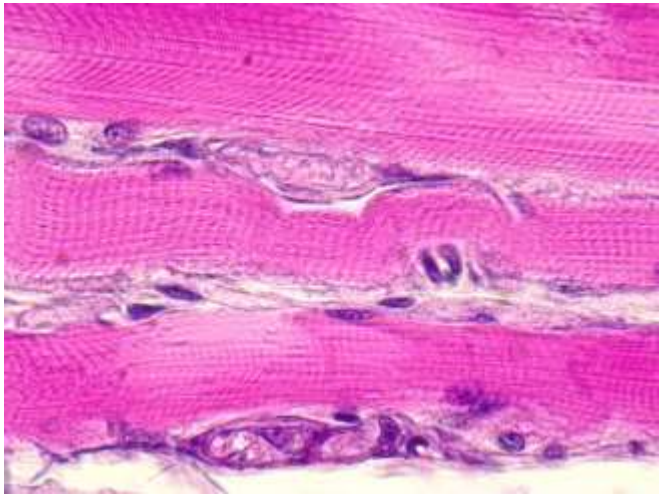


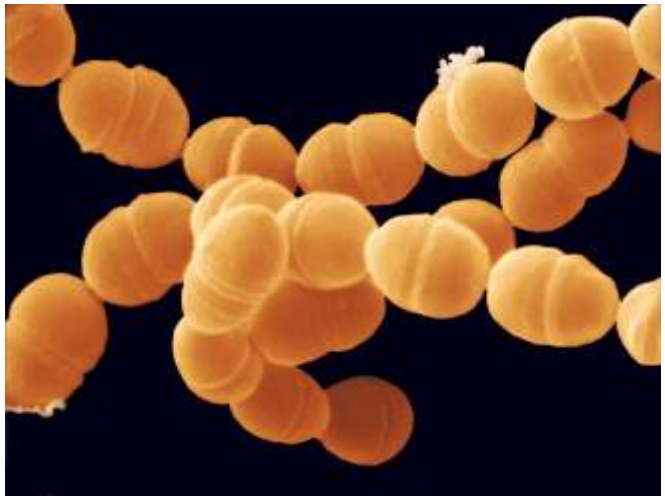
Cellules de levures placées en anaérobiose (à gauche) et en aérobiose (à droite). MET.

(D'après sujet du baccalauréat Antilles-Guyane 2001).

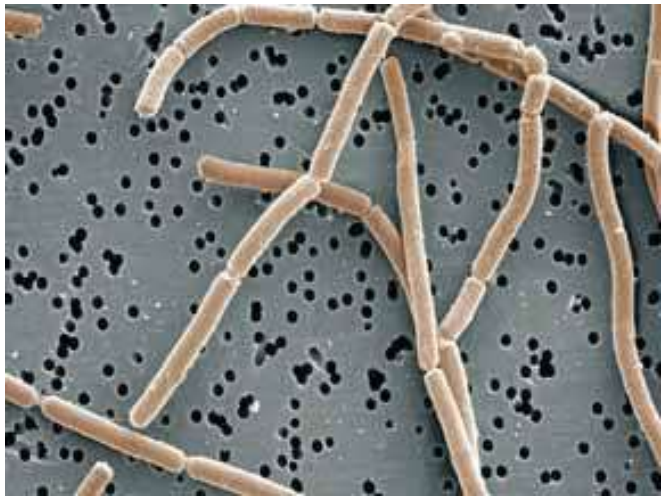
Des cellules qui réalisent la fermentation lactique





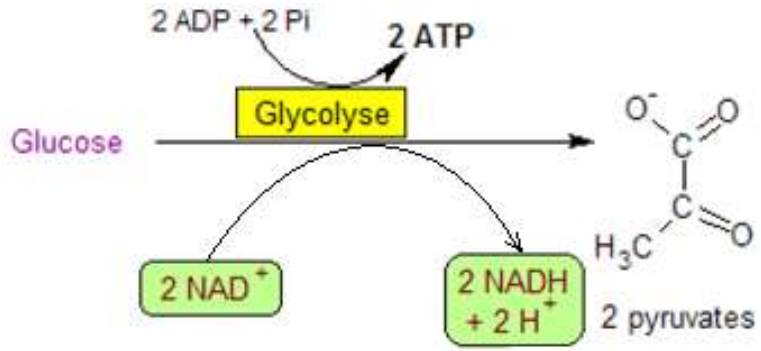


Streptococcus thermophilus

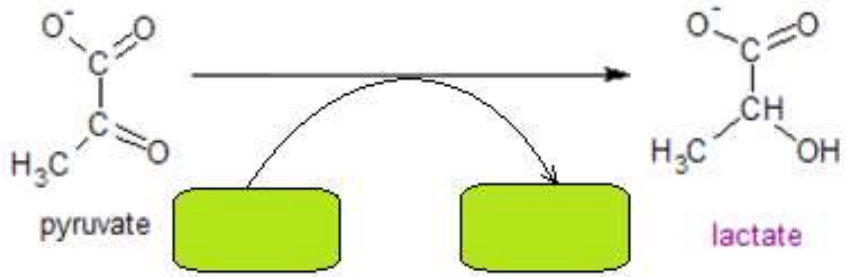


Lactobacillus bulgaricus

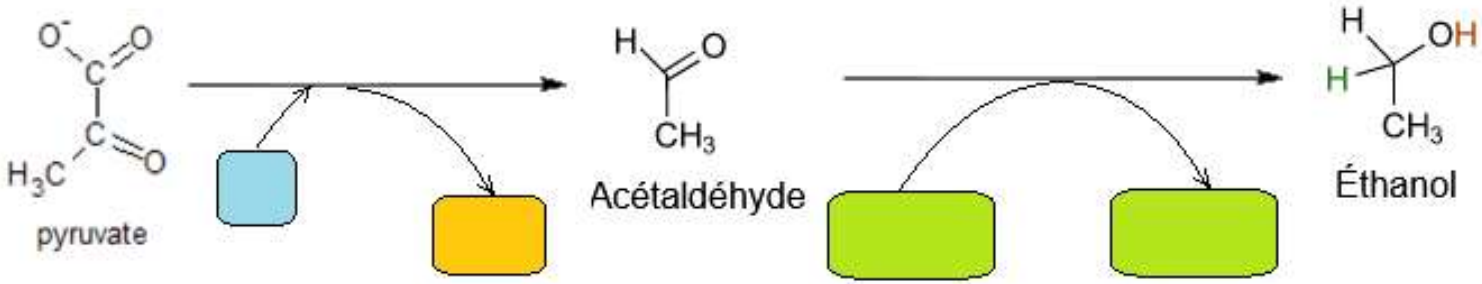
<u>Document 9.</u> Les fermentations lactique et alcoolique (= éthanolique).



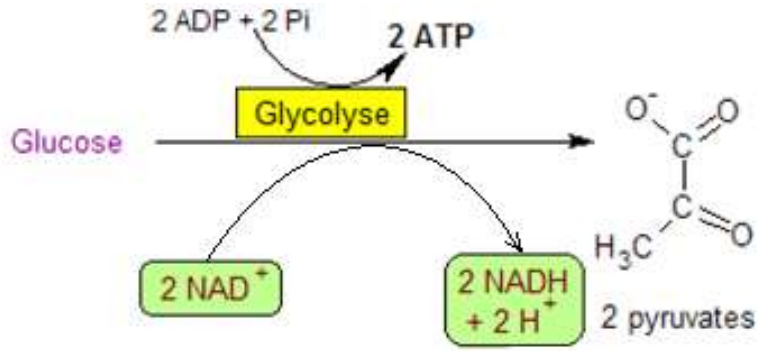
Dans les hématies, les cellules musculaires...



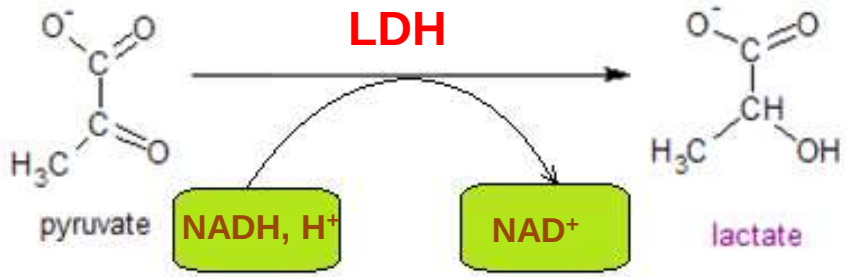
Dans les levures de bière...



<u>Document 9.</u> Les fermentations lactique et alcoolique (= éthanolique).



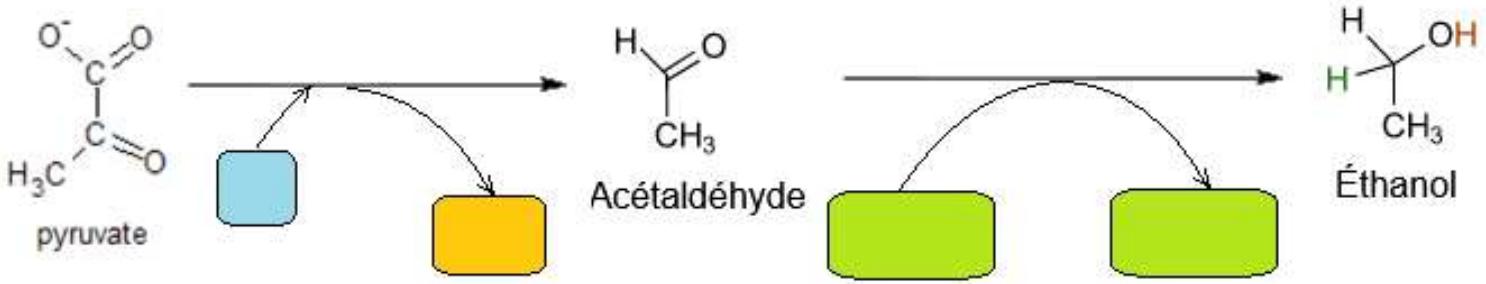
Dans les hématies, les cellules musculaires...



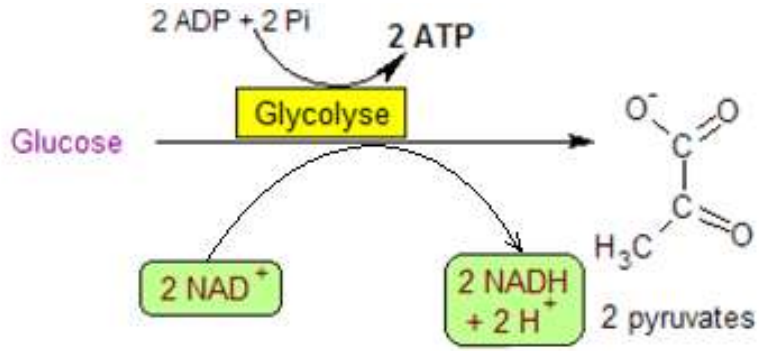
Fermentation lactique

Réduction du pyruvate en lactate
Oxydation du NADH, H^+ en NAD^+

Dans les levures de bière...

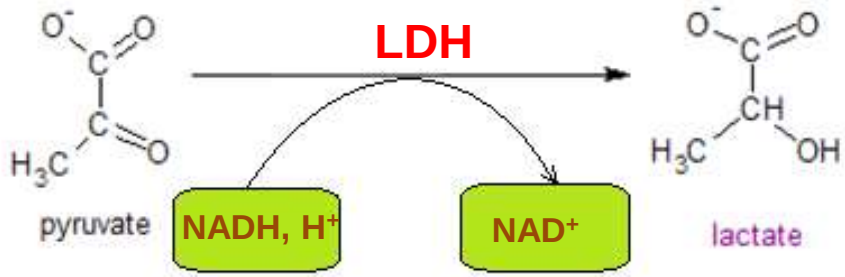


<u>Document 9.</u> Les fermentations lactique et alcoolique (= éthanolique).



Dans les hématies, les cellules musculaires...

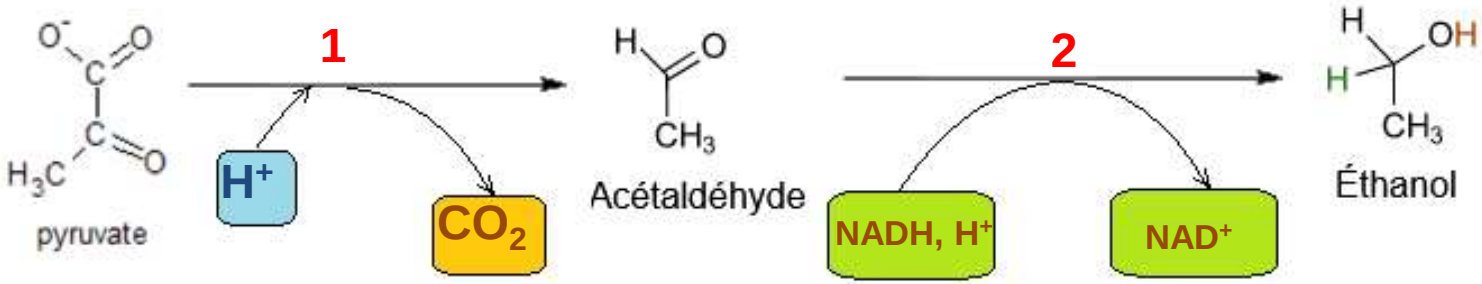
Fermentation lactique



Réduction du pyruvate en lactate
Oxydation du NADH, H^+ en NAD^+

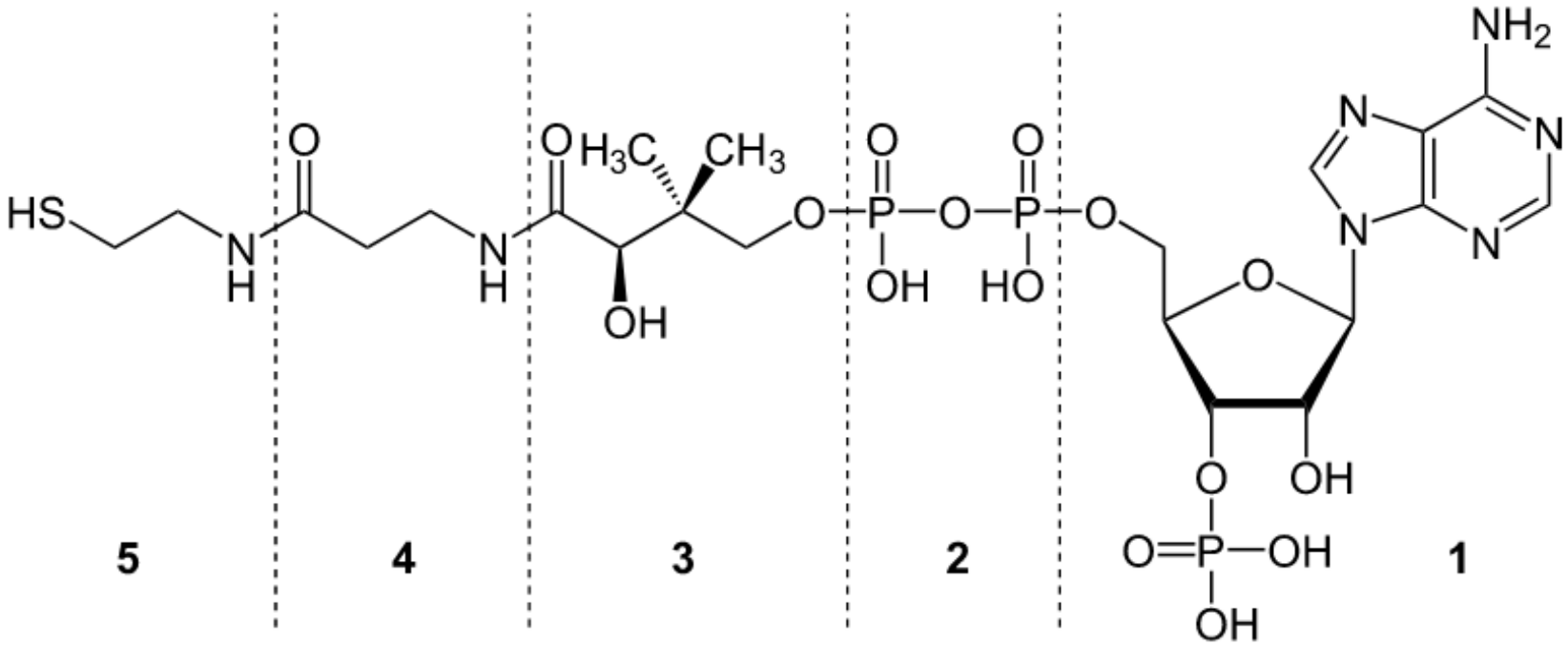
Dans les levures de bière...

Fermentation alcoolique

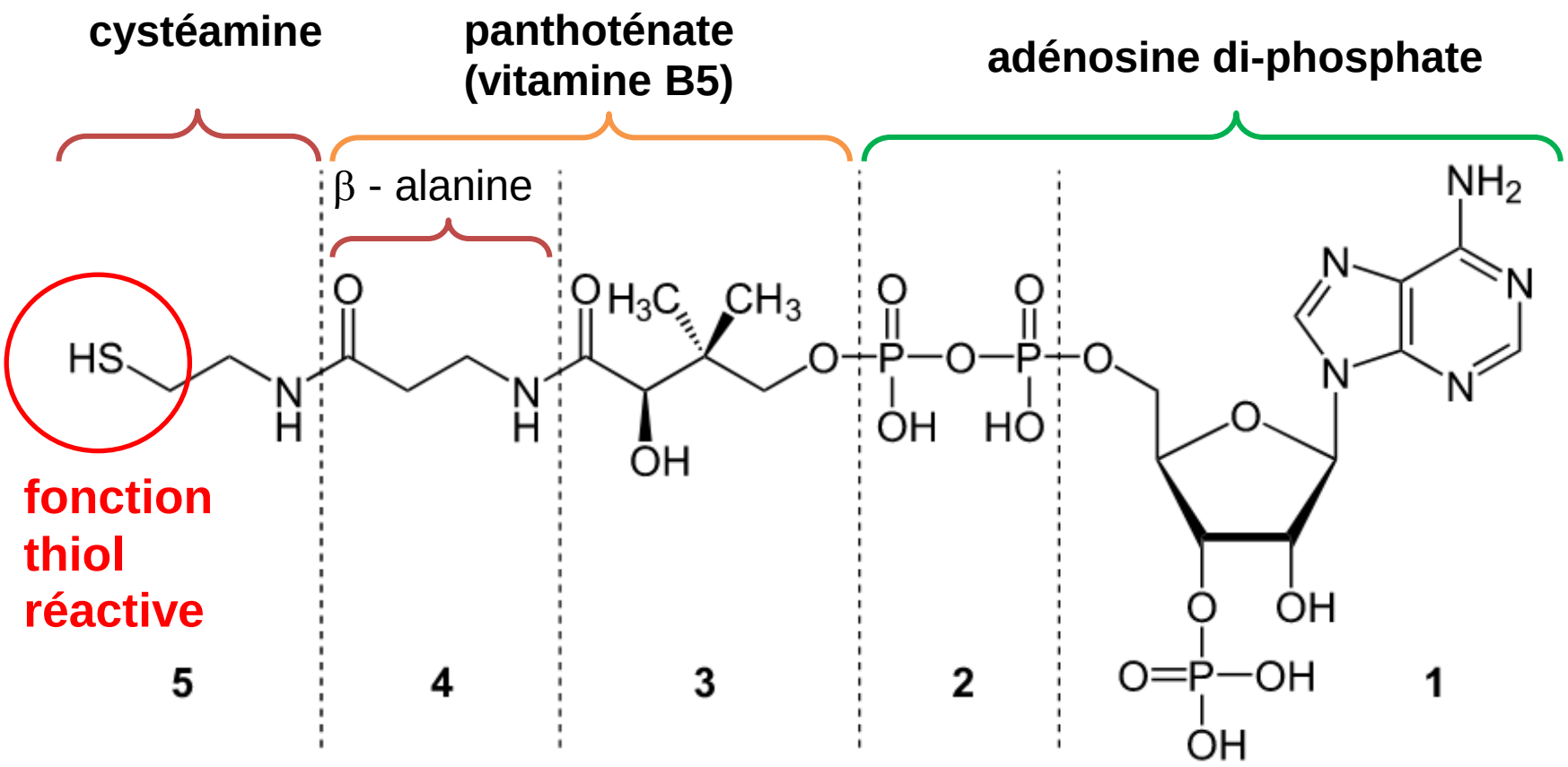


1 - Décarboxylation du pyruvate en acétaldéhyde
2 - Réduction de l'acétaldéhyde en éthanol et oxydation du NADH, H^+ en NAD^+

La coenzyme A, coenzyme de transfert de groupements acyle



La coenzyme A, coenzyme de transfert de groupements acyle

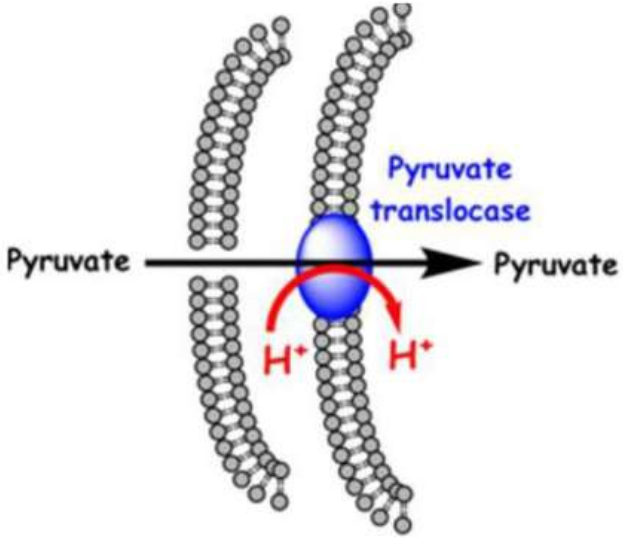


formation d'un thioester :

CoA – SH + R – COOH → CoA – S — CO – R (+ H_2O)

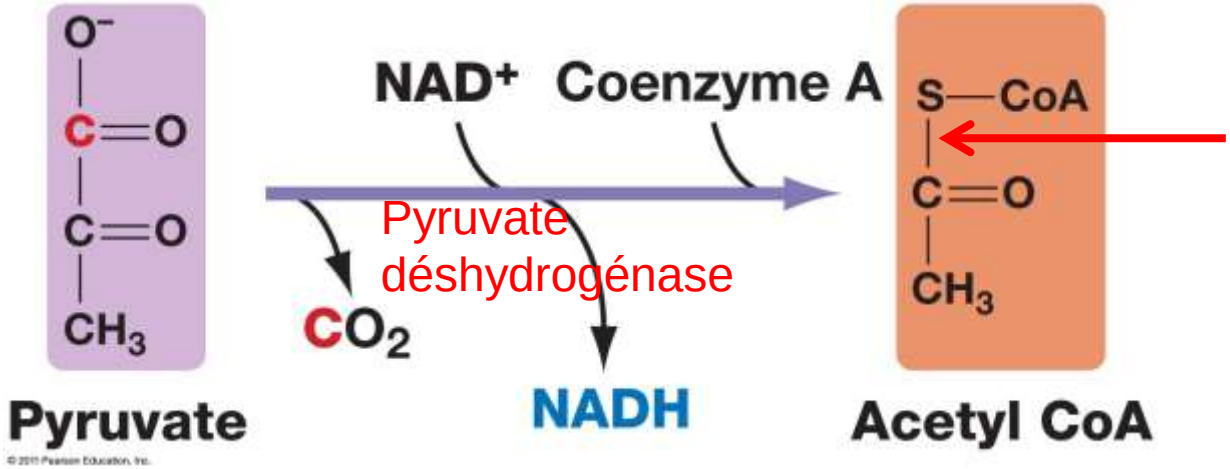
groupement acyle activé

Liaison thioester riche en énergie



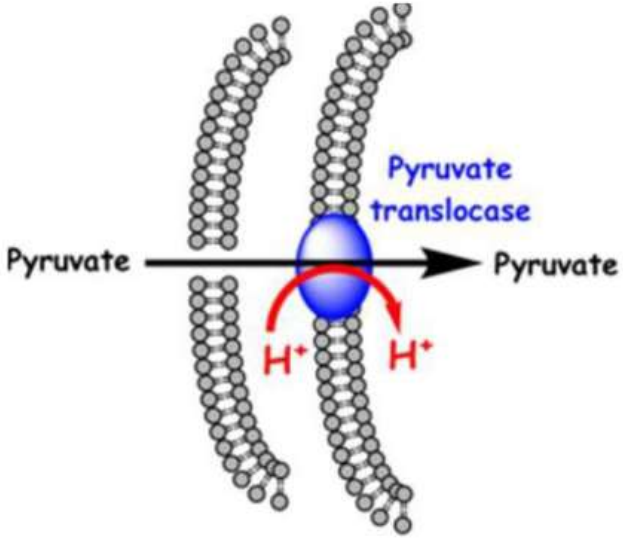
Document 10. Obtention de l'acétylcoenzyme A à partir du pyruvate.

4 étapes sont nécessaires,
la pyruvate déshydrogénase est
un complexe multienzymatique



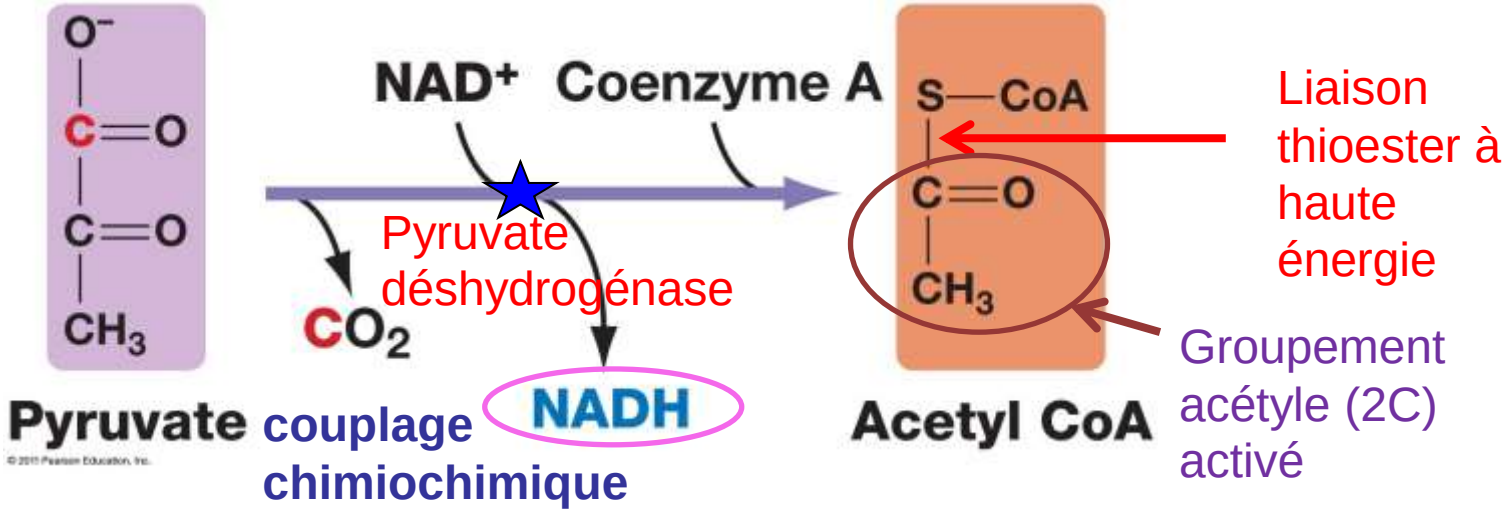
Liaison thioester à haute énergie

Avantage des complexes multienzymatiques:
-Une série des réactions en séquence est accélérée
-Minimisation des réactions collatérales
-Régulation coordonnée



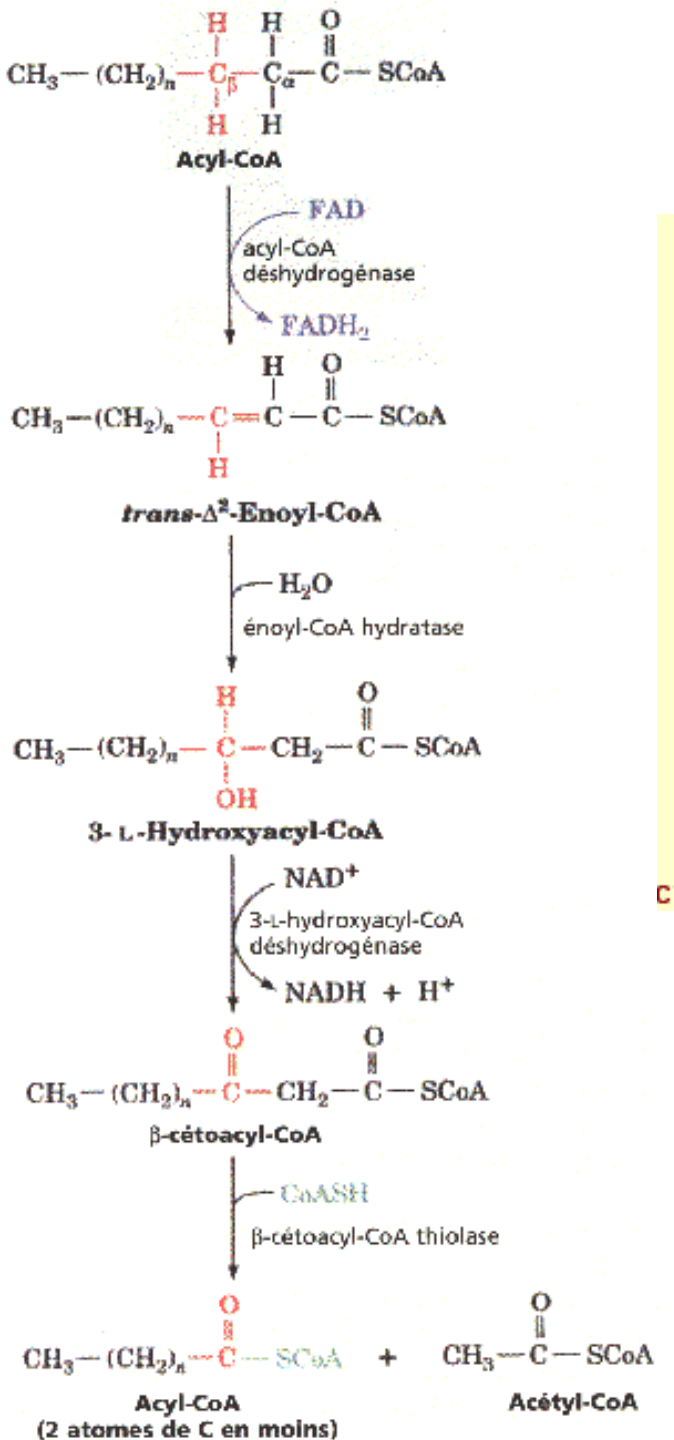
Document 10. Obtention de l'acétylcoenzyme A à partir du pyruvate.

4 étapes sont nécessaires,
la pyruvate déshydrogénase est un complexe multienzymatique

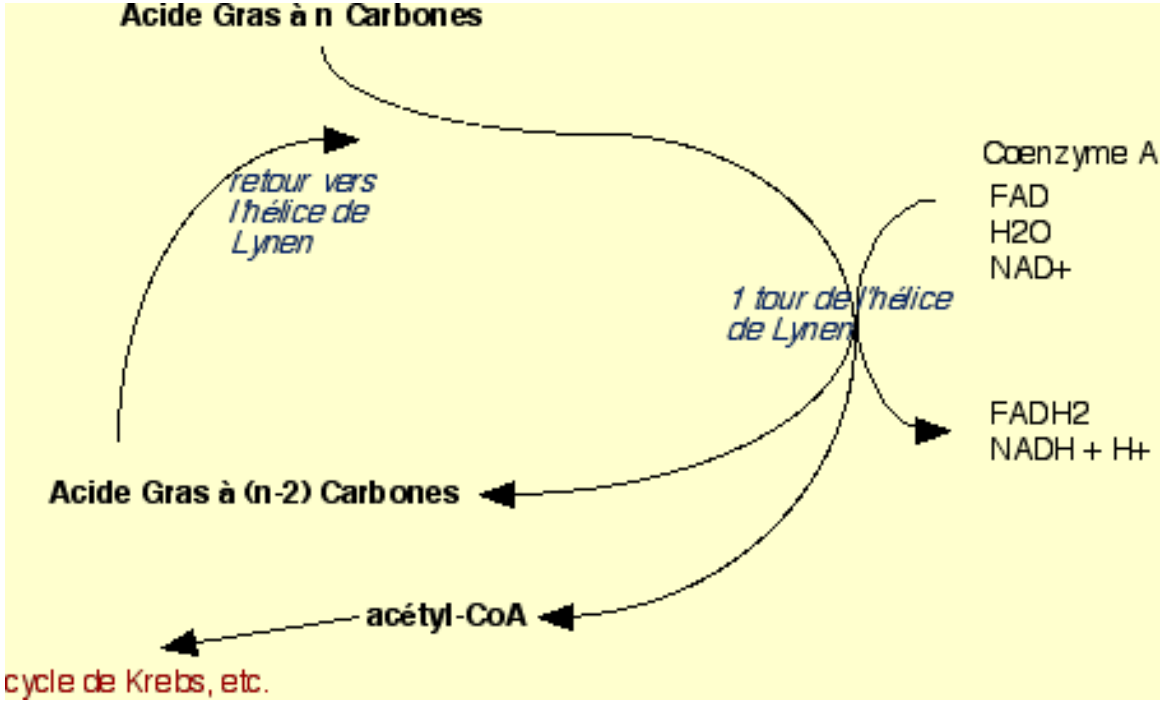


→ **récupération d'énergie chimique !**

Avantage des complexes multienzymatiques:
-Une série des réactions en séquence est accélérée
-Minimisation des réactions collatérales
-Régulation coordonnée



Document 11. Hélice de Lynen



Bilan pour un tour d'hélice

$$\text{Acyl-CoA} + NAD^+ + FAD + H_2O + CoASH \longrightarrow$$

$$\text{Acyl}_{(n-2)}\text{-CoA} + NADH,H^+ + FADH_2 + \text{acétyl-CoA}$$

http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/glucose-lipides/gluclip.htm

Mise en évidence d'un cycle de réactions :

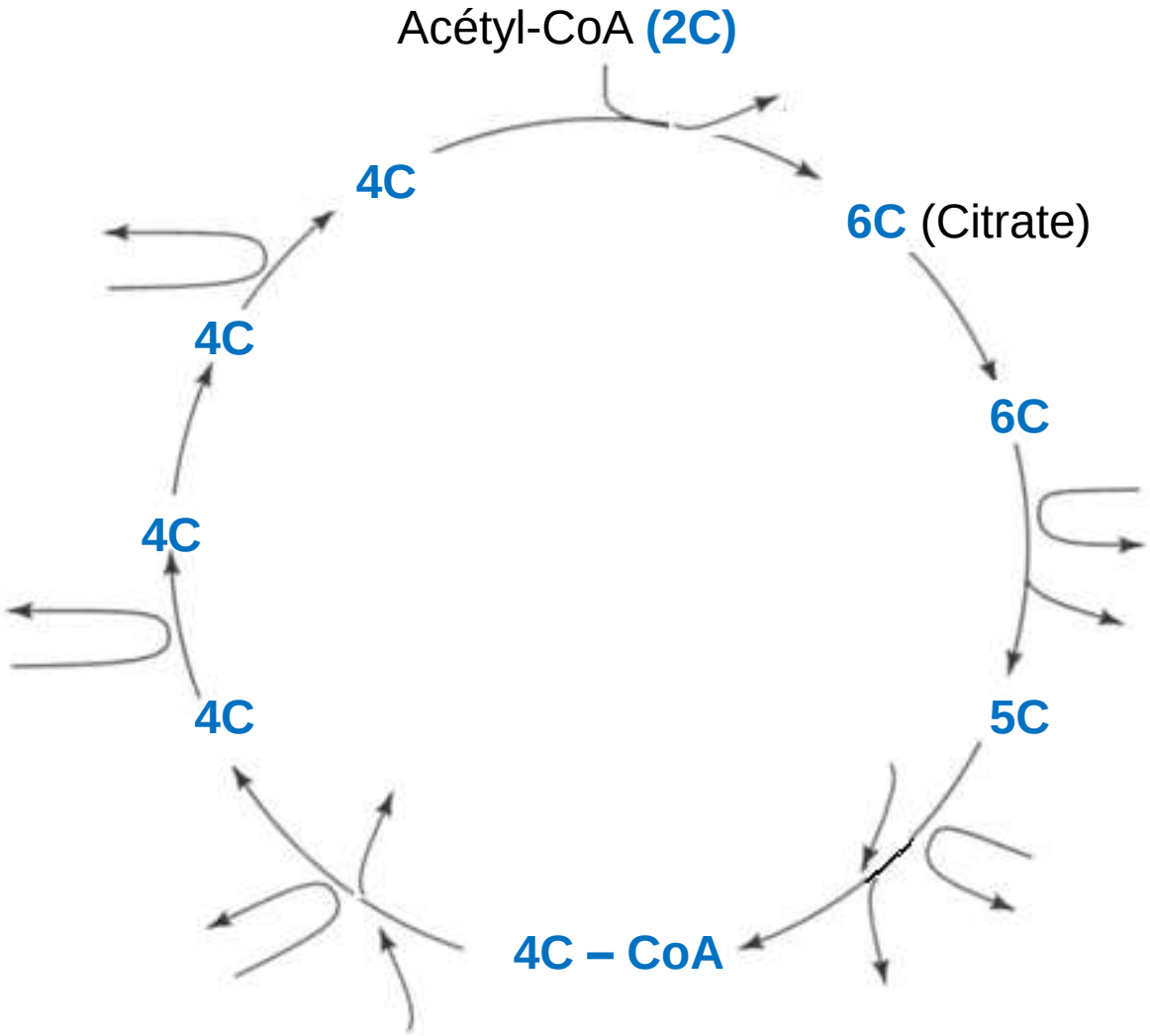
On étudie l'effet de l'ajout de composés normalement présents dans la matrice mitochondriale :

- ajout de citrate → augmentation de la respiration (consommation d'O_2 et production de CO_2)

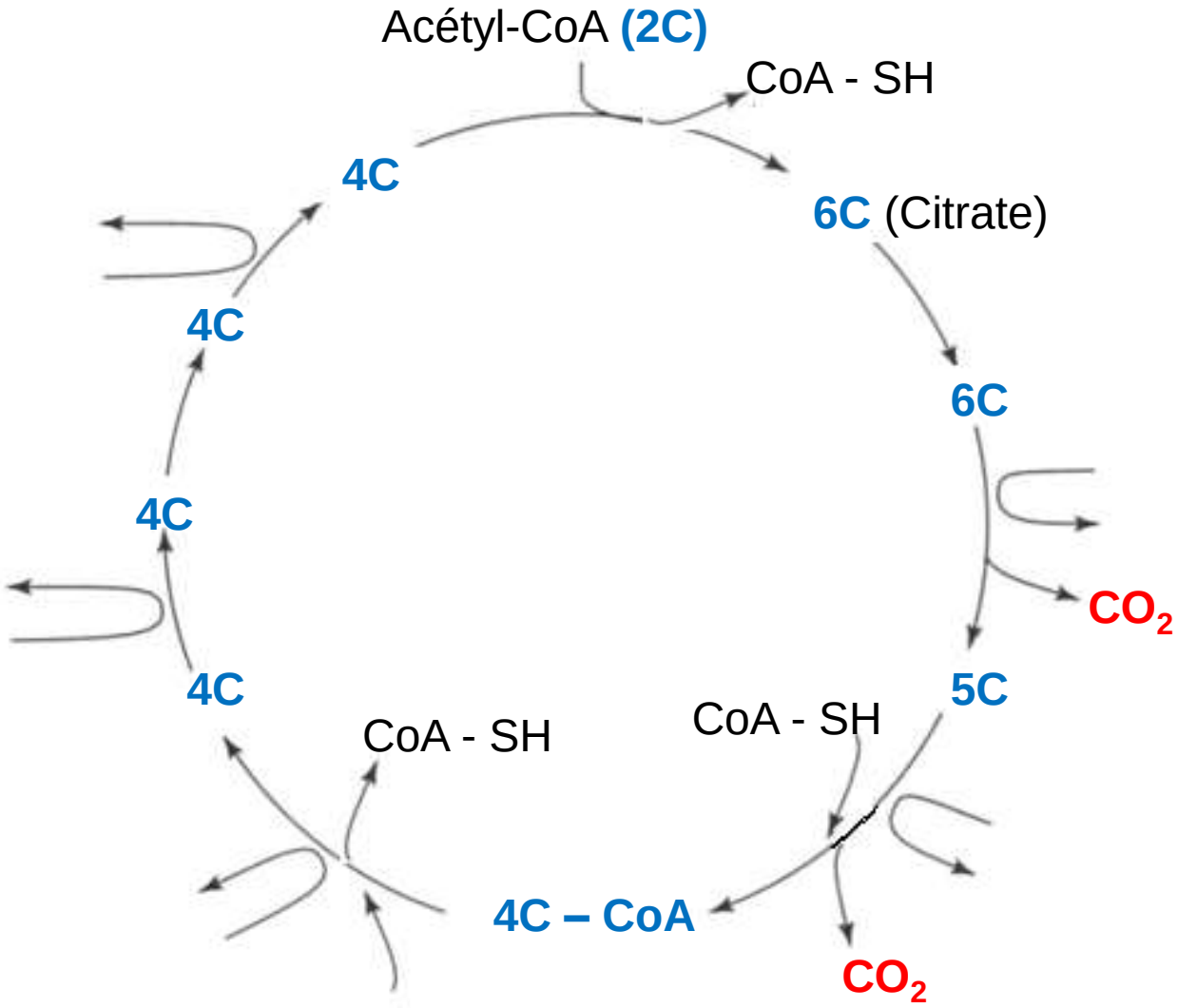
- pourtant **le citrate ne disparaît pas**

- **ajout d'oxalo-acétate → formation de citrate**

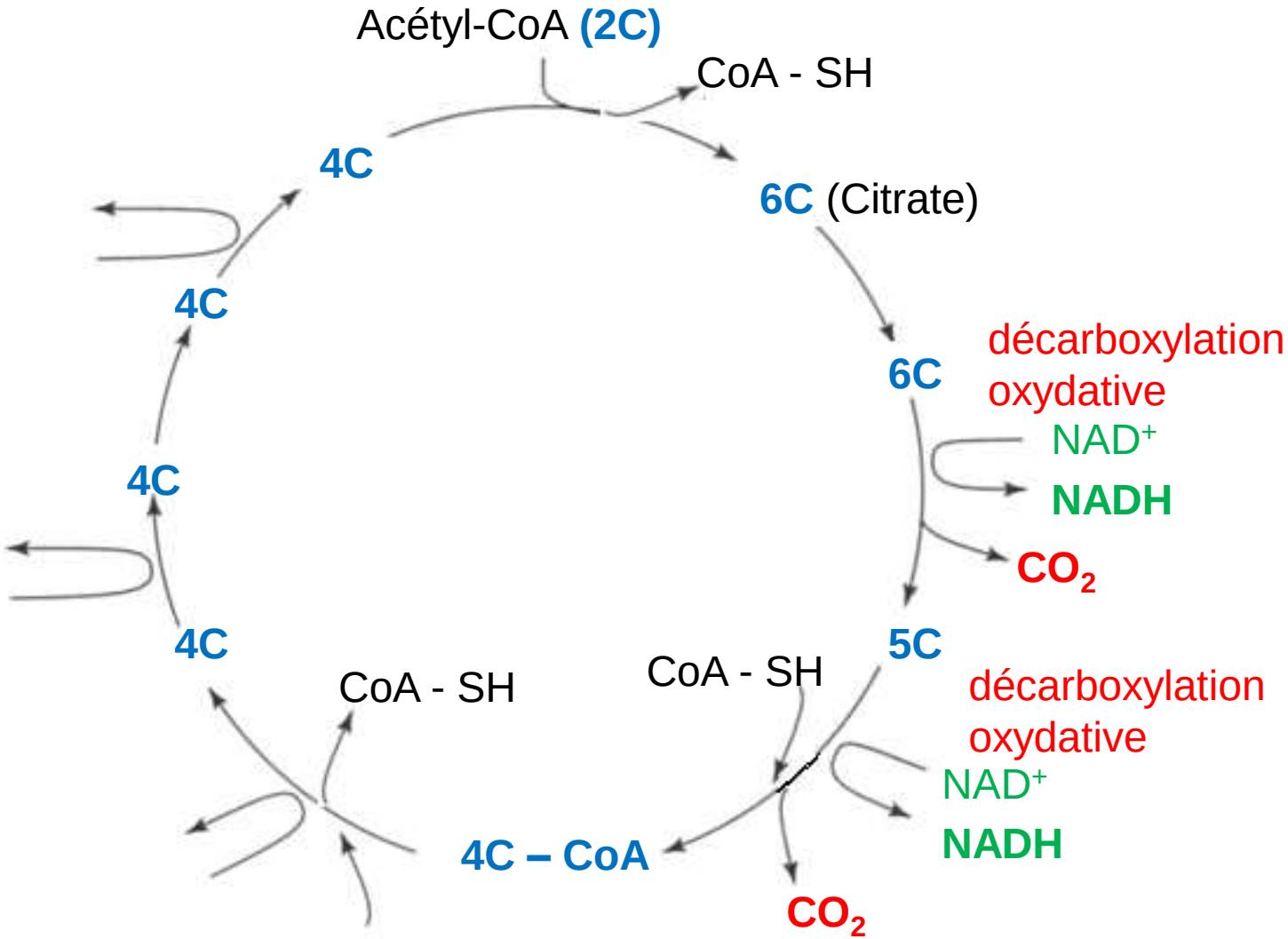
<u>Document 12.</u> Les étapes du cycle de Krebs.



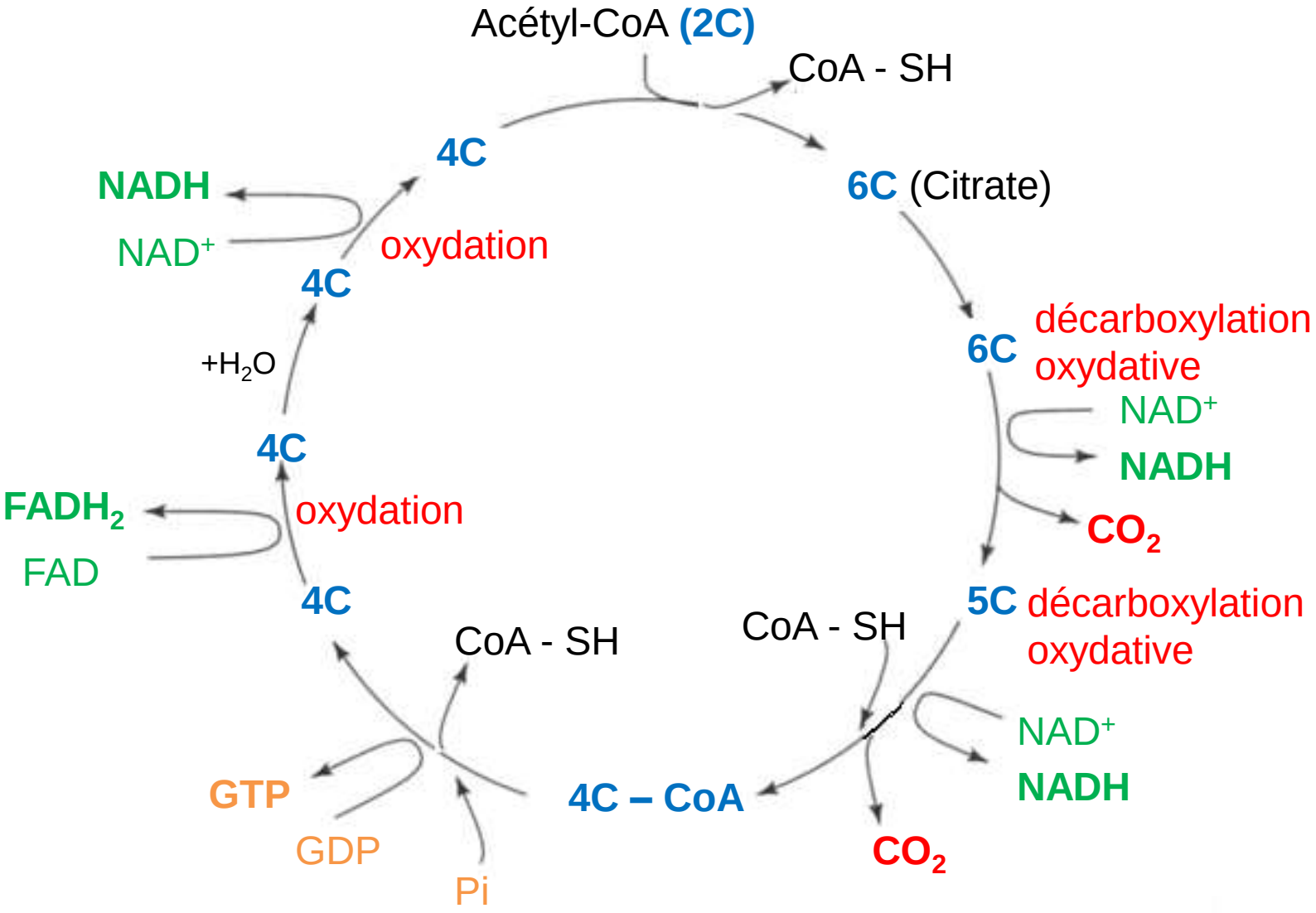
Document 20. Les étapes du cycle de Krebs.



Document 20. Les étapes du cycle de Krebs.

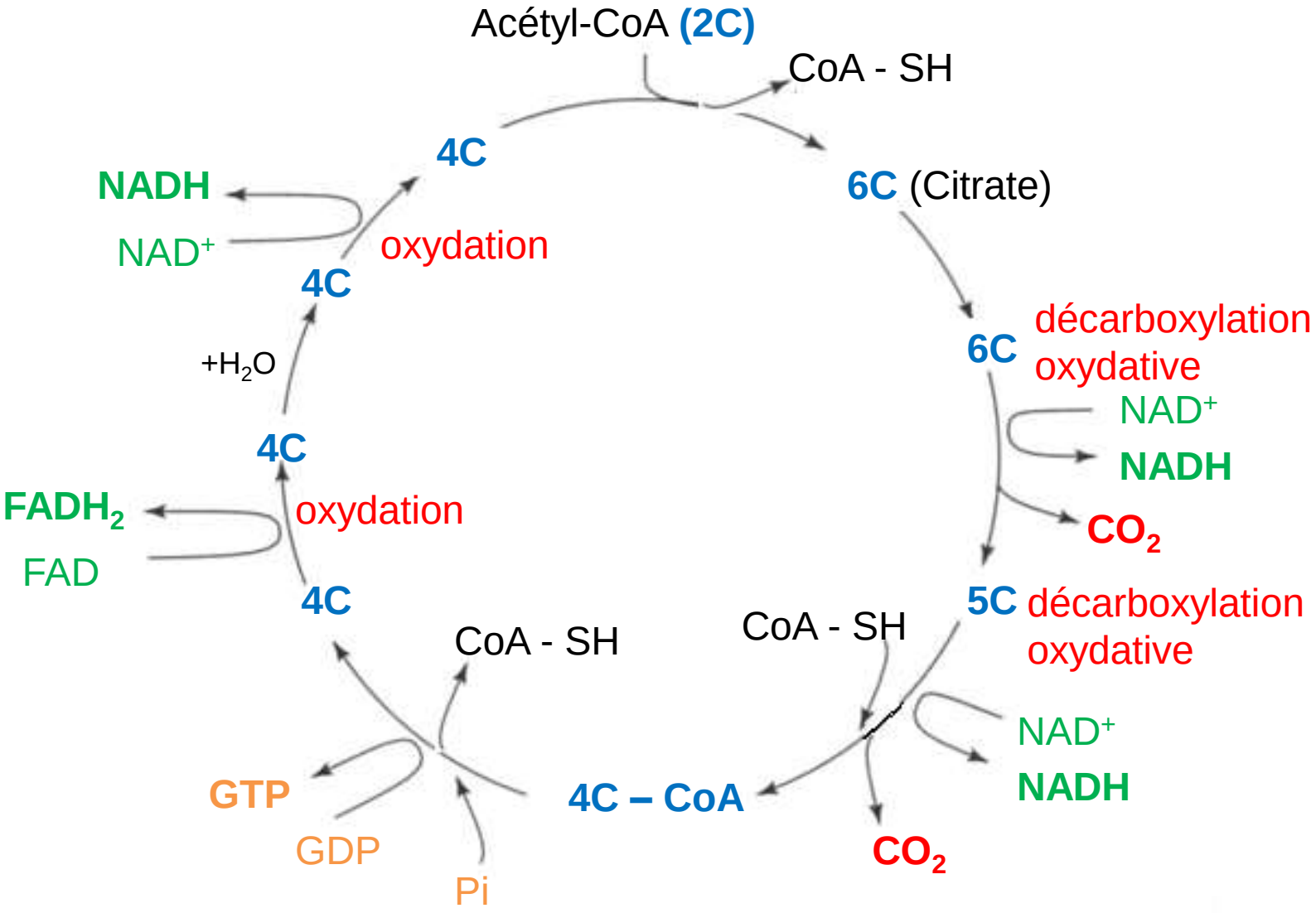


Document 20. Les étapes du cycle de Krebs.

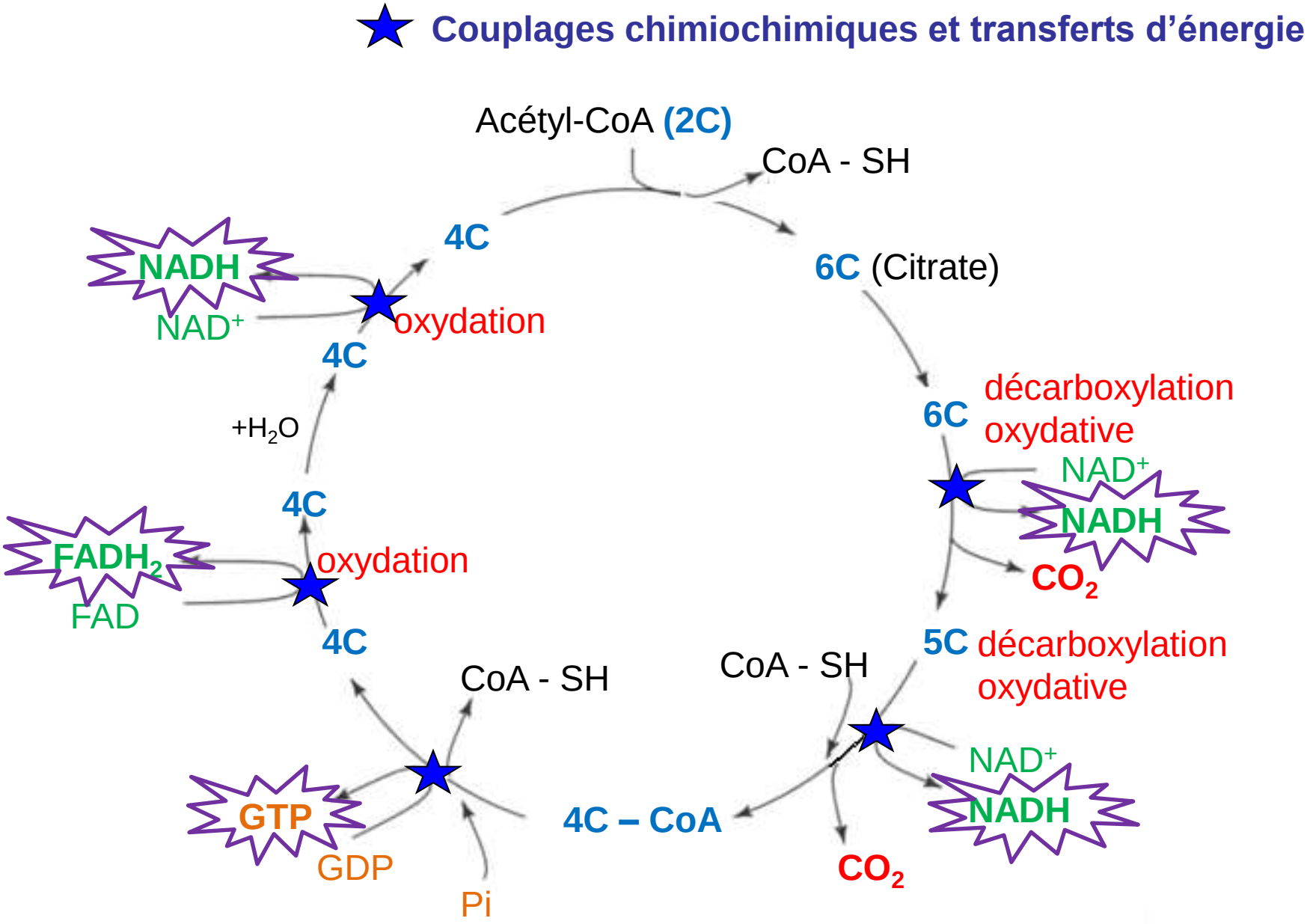


Document 20. Les étapes du cycle de Krebs.

★ **Couplages chimiochimiques et transferts d'énergie**



Document 20. Les étapes du cycle de Krebs.



Bilan du cycle de Krebs :

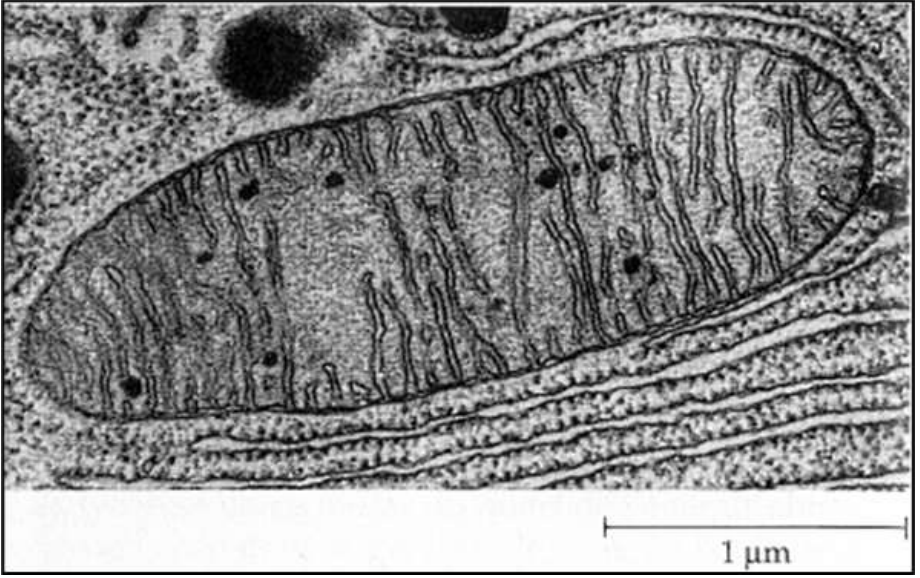
Pour une molécule d'acétyl-coenzyme A :

(donc x 2 pour un glucose)

- 2 CO_2 libérés → **la MO est entièrement oxydée**
- 3 $NADH,H^+$ produits
- 1$FADH_2$ produit
- 1 GTP (eq ATP)

} **pouvoir réducteur**

ACoA + $3NAD^+$ + P_i + GDP + FAD +H_2O → CoA + $2CO_2$ + **3NADH, H^+ + GTP + $FADH_2$**

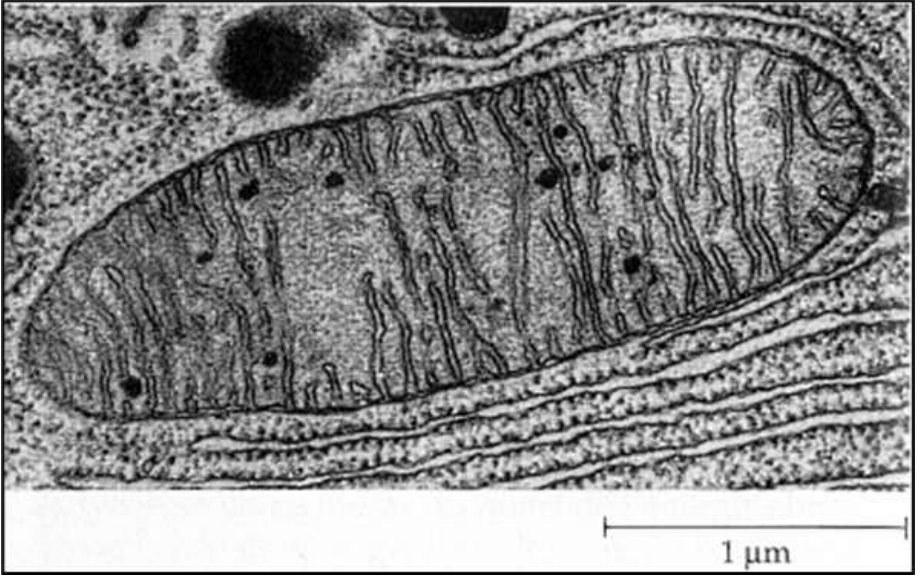


Equation bilan de la respiration cellulaire :

$C_6H_{12}O_6$ + 6 O_2 → 6 CO_2 + 6 H_2O + énergie directement utilisable par la cellule (ATP) + chaleur

Décarboxylation oxydative du pyruvate puis cycle de Krebs dans la matrice mitochondriale :

→ Glucose entièrement oxydé
→ 2 x 3 C libérés sous forme de CO_2
→ De nombreux CoE réduits produits
… mais pas beaucoup d'ATP
et pas d'O_2 consommé



Equation bilan de la respiration cellulaire :

$C_6H_{12}O_6$ + 6 O_2 → 6 CO + 6 H_2O + énergie directement utilisable par la cellule (ATP) + chaleur

<u>Rappel :</u>

$$\Delta r\mathbf{G}^{0'} = -\, n\boldsymbol{F}\Delta\mathbf{E}^{0'}$$

n : nombre d'électrons mis en jeu
F : constante de Faraday
$\Delta E^{0'}$: potentiel de demi-réaction mesuré dans les conditions standards

Les électrons circulent spontanément dans le sens <u>croissant</u> des potentiels redox

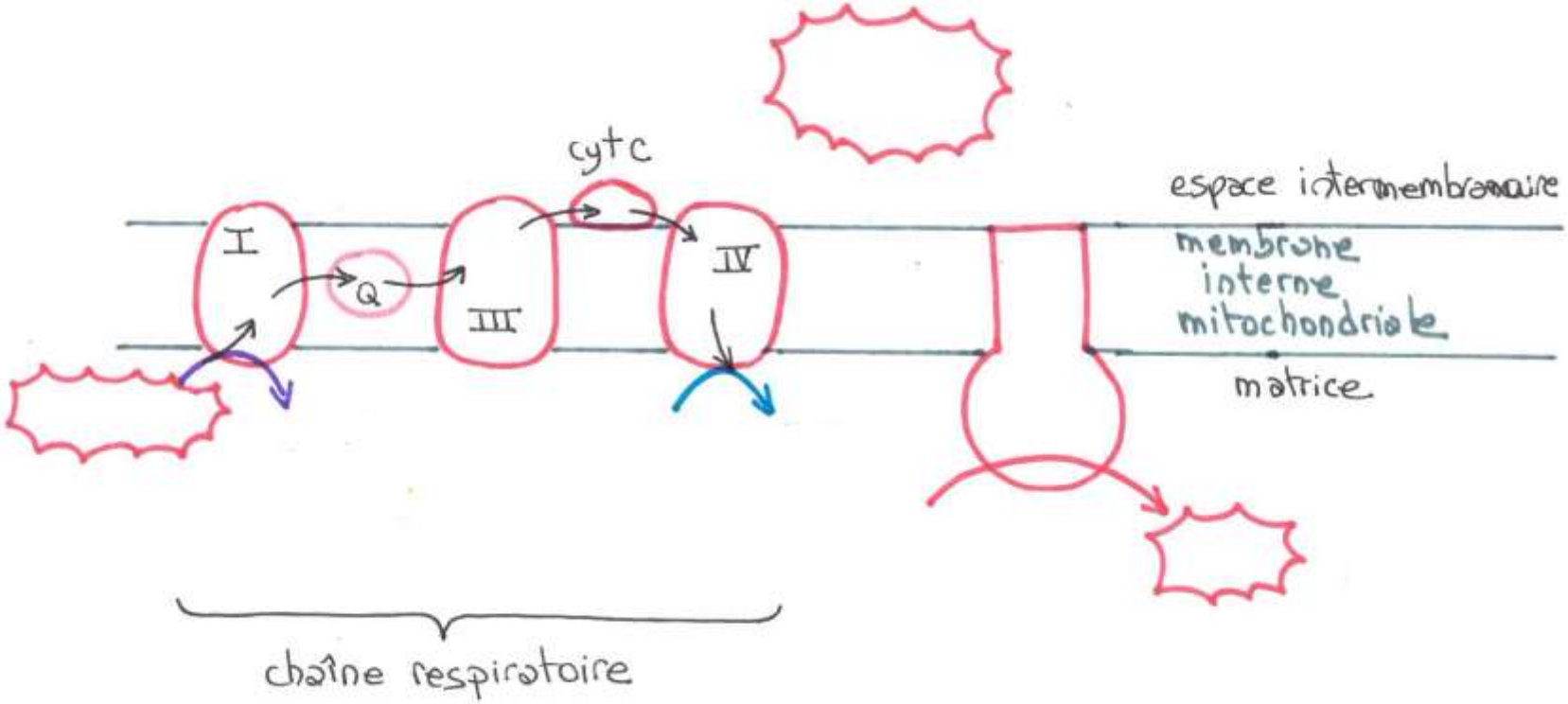
<u>Document 13.</u> Les couples redox de la membrane mitochondriale interne.

Composant	Nomenclature	Composition	$E^{0'}$ (V)
Complexe I	NADH déshydrogénase	44 sous-unités dont 8 protéines fer-soufre + FMN (groupement prosthétique)	- 0,12
Ubiquinone ou coenzyme Q	Ubiquinone ou coenzyme Q	Polyisoprène : lipide au sens large présentant une forme réduite et une forme oxydée	- 0,02
Complexe III	Q-cytochrome c réductase	8 sous-unités dont une protéine fer-soufre et des cytochromes (b et c1)	b : 0,04 c1 : 0,22
Cytochrome C	Cytochrome C	cytochrome	0,25
Complexe IV	Cytochrome C oxydase	13 sous-unités dont des cytochromes (a et a3)	a : 0,29 a3 :0,30

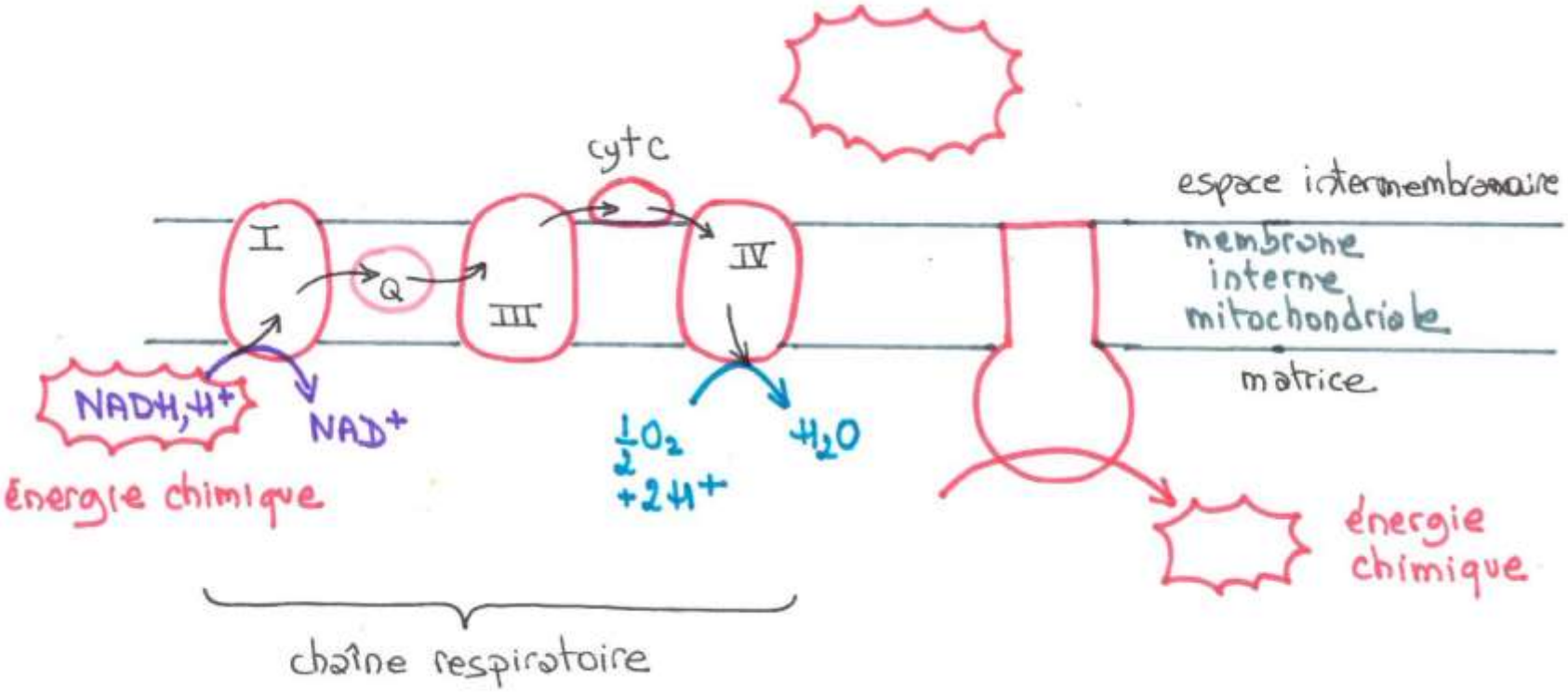
<u>Protéines fer-soufre :</u> possèdent Fe et S qui peuvent changer de valence → **transporteurs d'électrons.**

<u>Cytochromes :</u> protéines avec groupement prosthétique (=non protéique) à Fe ou Cu, qui peuvent changer de valence → **transporteurs d'électrons.**

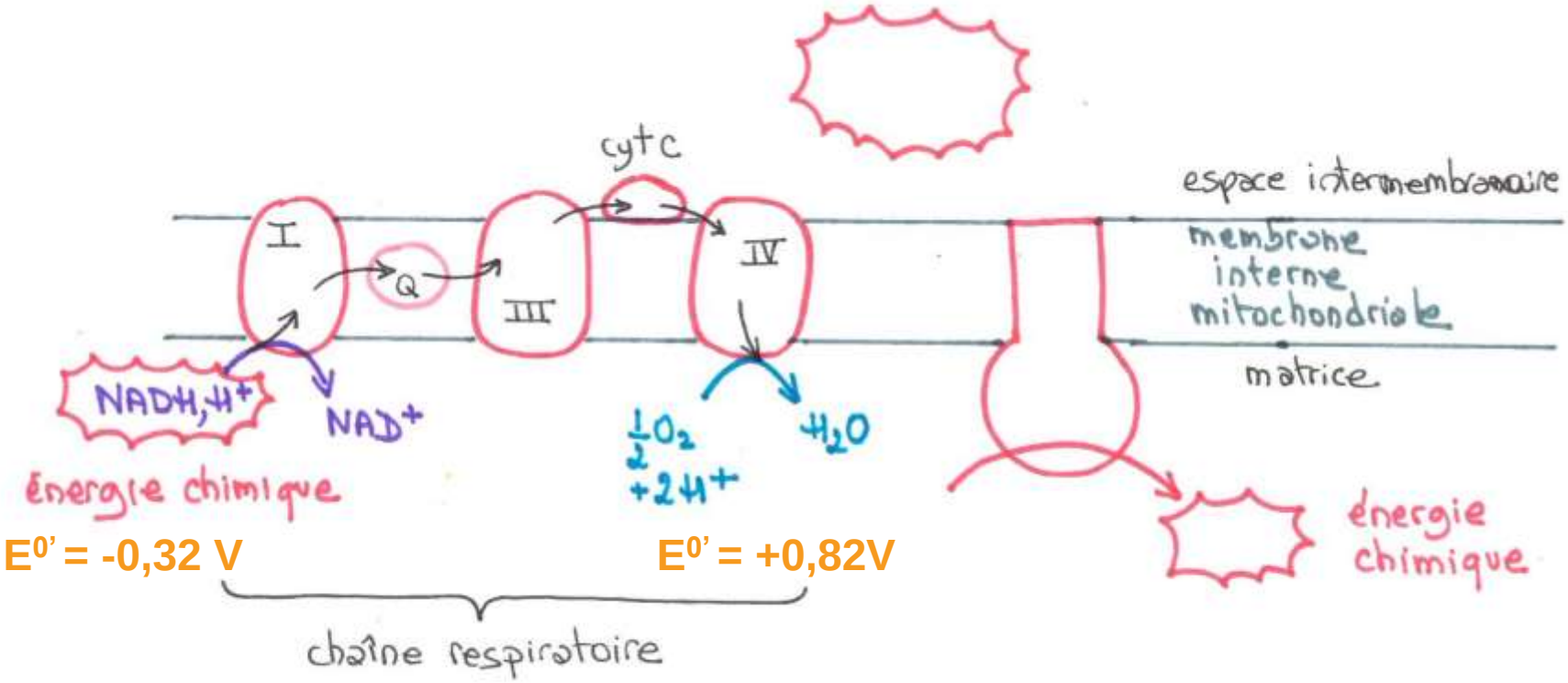
La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP



La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP

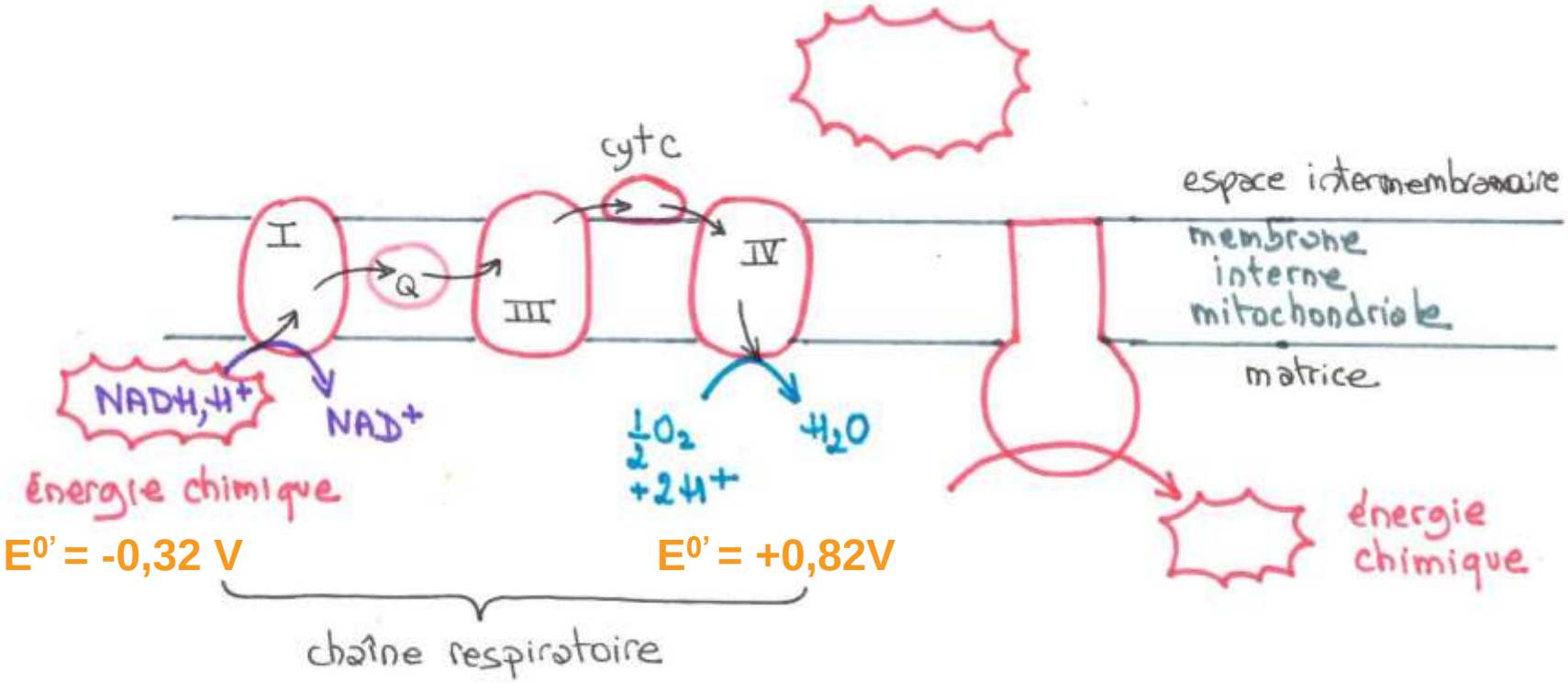


La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP



$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ exergonique

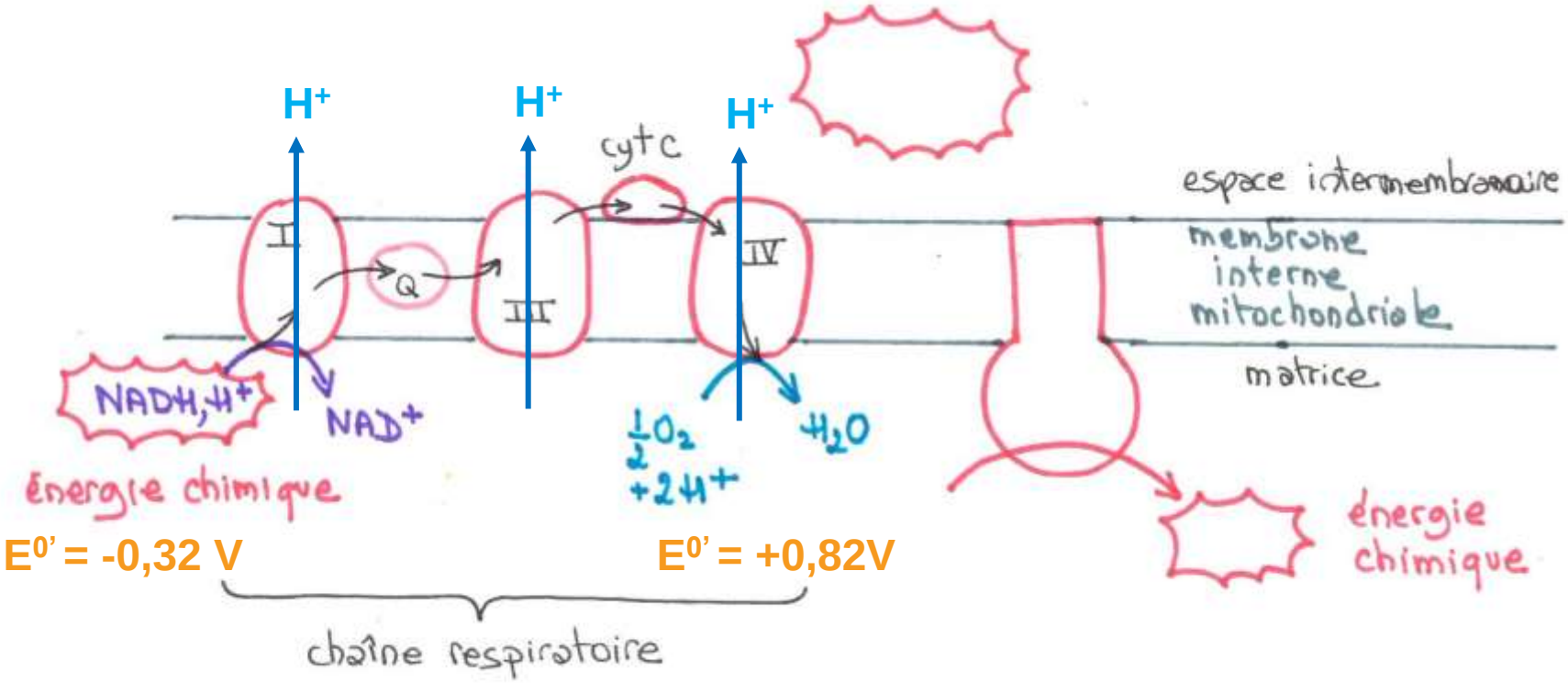
La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP



$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ **exergonique**

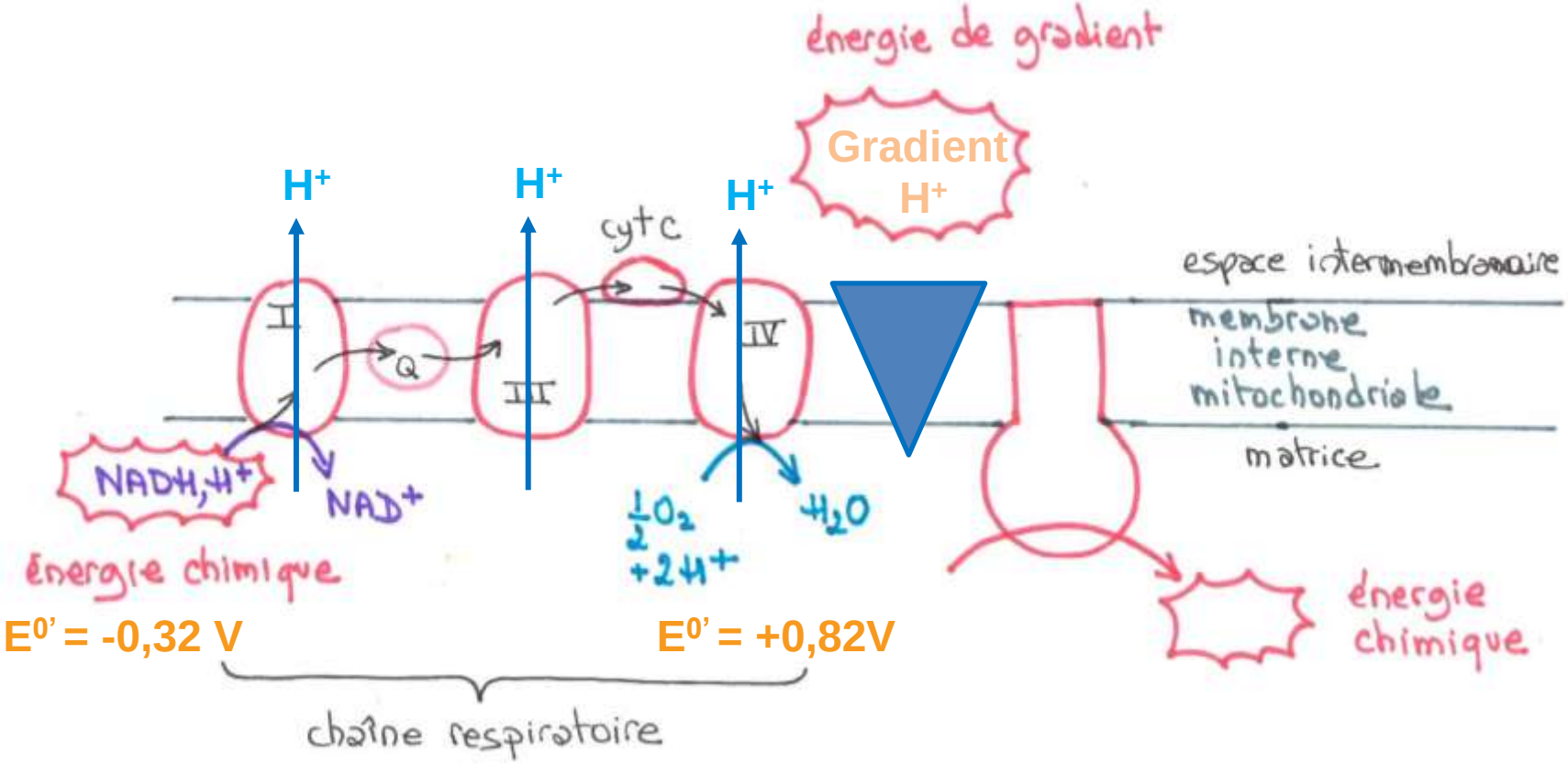
$\Delta rG^{0'} =$ - 2 x 96 500 x 1,13 = **- 220 kJ/mol**

La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP

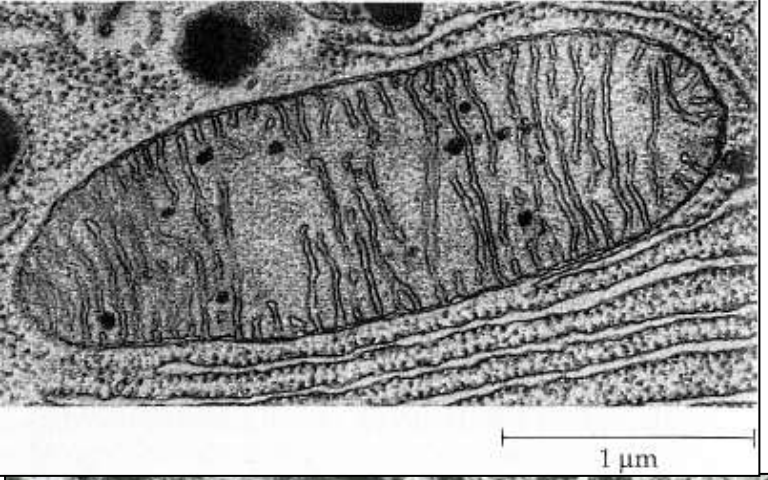


$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ exergonique

La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP



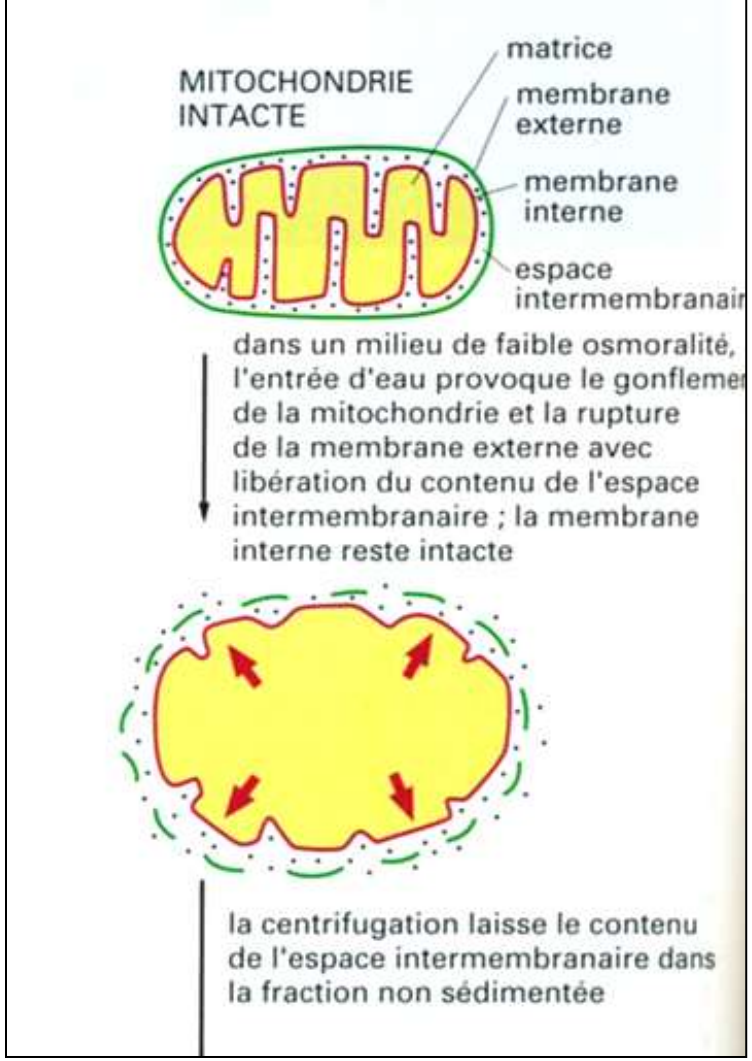
$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ exergonique

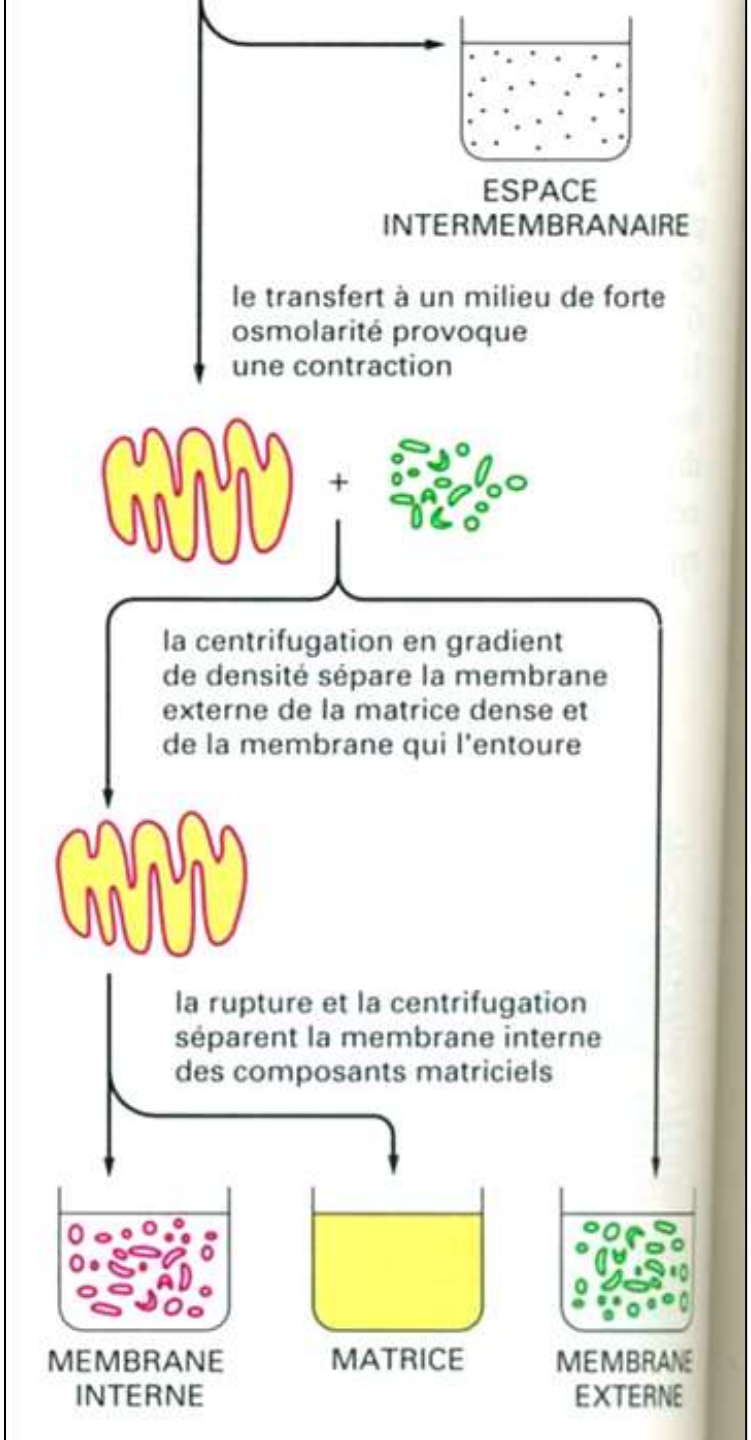


<u>Document 14.</u> Mise en évidence des « sphères pédonculées » dans la membrane interne des mitochondries.

A gauche : mitochondrie entière en MET.
("Biologie" Campbell 1995 Ed. DeBoeck Universités).

Ci-contre : les membranes ont été isolées sous forme de lambeaux (MET x 200 000).
(ROLAND J.-C. et coll., « Biologie cellulaire », Dunod ed., 2001).





<u>Document 15.</u>

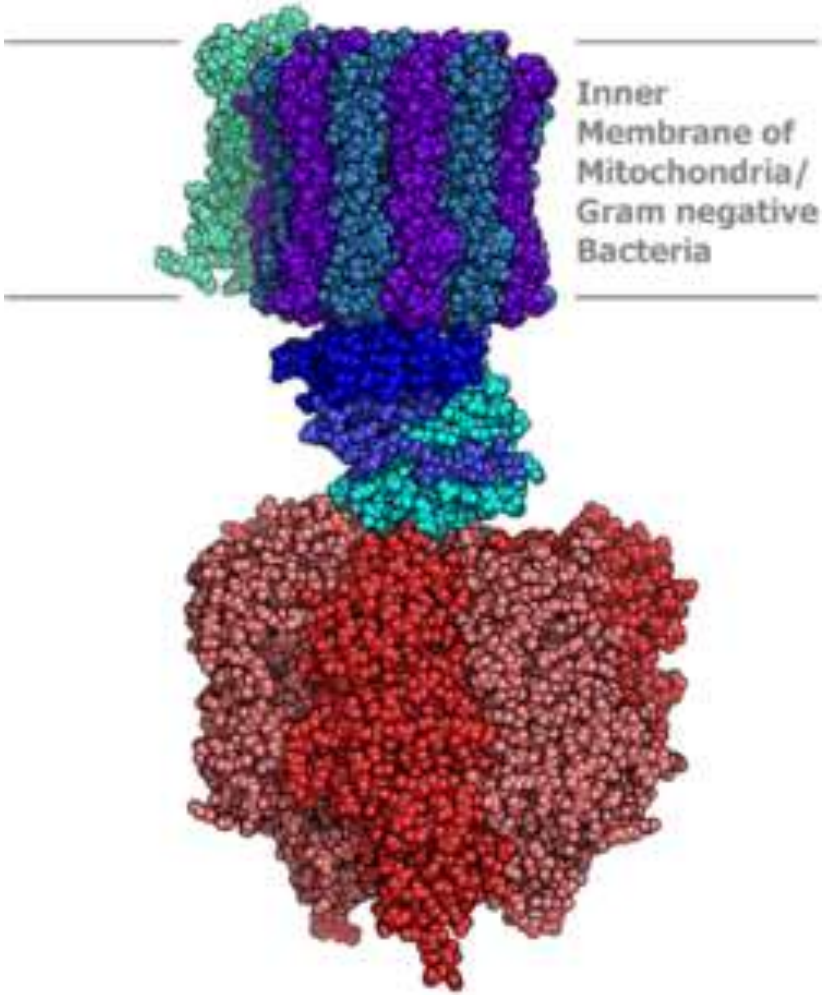
Fractionnement des mitochondries purifiées en composants séparés.

(ALBERTS B.. et coll., “ Biologie moléculaire de la cellule”, Flammarion Médecine – Sciences Ed. ; 1995).

Membrane externe	Protéines (62 %) et lipides (38 %) de nature proche de celles de la membrane plasmique.
Membrane interne et crêtes	Protéines (80 %) et lipides (20 %) de natures très différentes de celles de la membrane plasmique (enzymes participant à des réactions d'oxydo-réduction, ATPsynthase).
Matrice	– Petites molécules carbonées (pyruvate, acides aminés, acides gras…) – Nombreuses enzymes (deshydrogénases, décarboxylases, cytochrome-oxydase intervenant dans la réaction $1/2\ O_2 + 2\ H^+ \rightarrow H_2O$) – Transporteurs réduits ou oxydés (T, TH_2) – ATP, ADP, Pi

<u>Document 16.</u> Analyse biochimique des différentes structures mitochondriales.

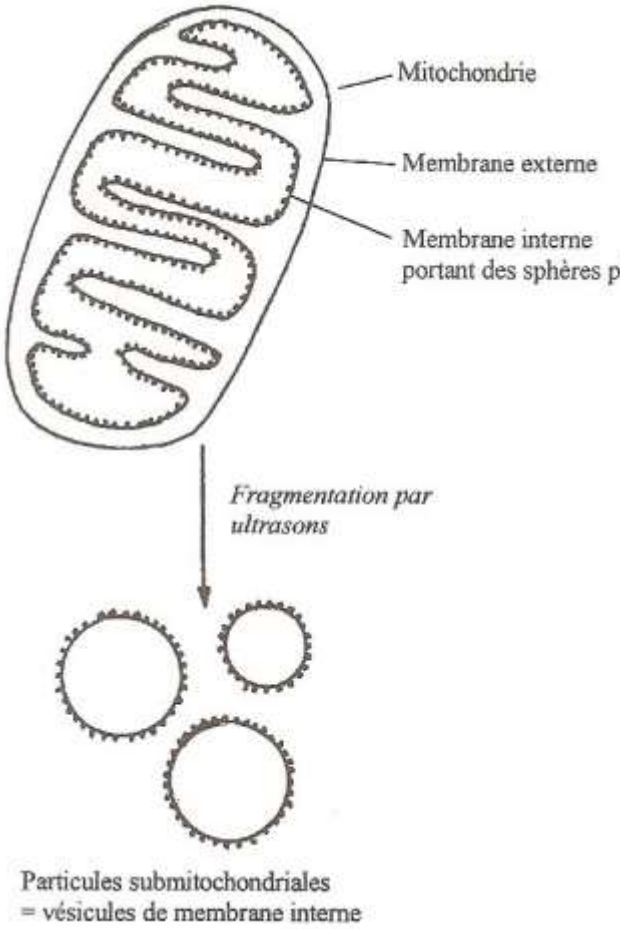
(« SVT T°S spécialité », Nathan Ed., 2002).

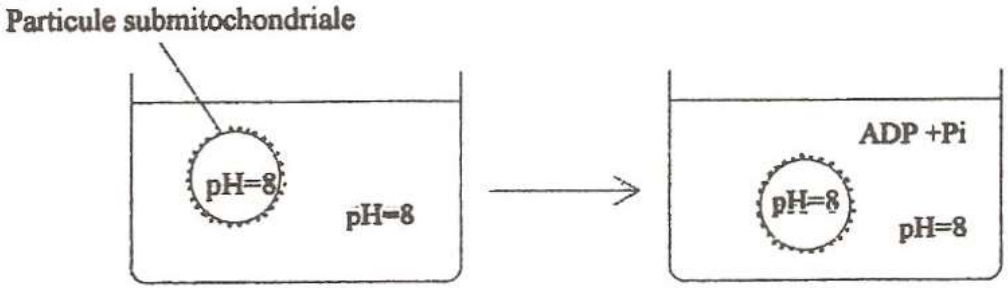


<u>Structure des « sphères pédonculées déterminées par diffraction aux RX</u> (stator non représenté)

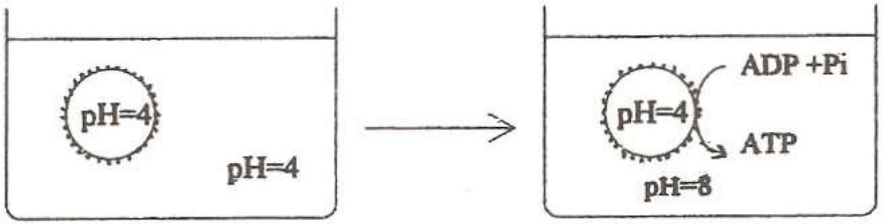
https://en.wikipedia.org/wiki/ATP_synthase

Mise en évidence de l'utilisation d'un gradient protonique pour la synthèse d'ATP à l'aide de particules submitochondriales





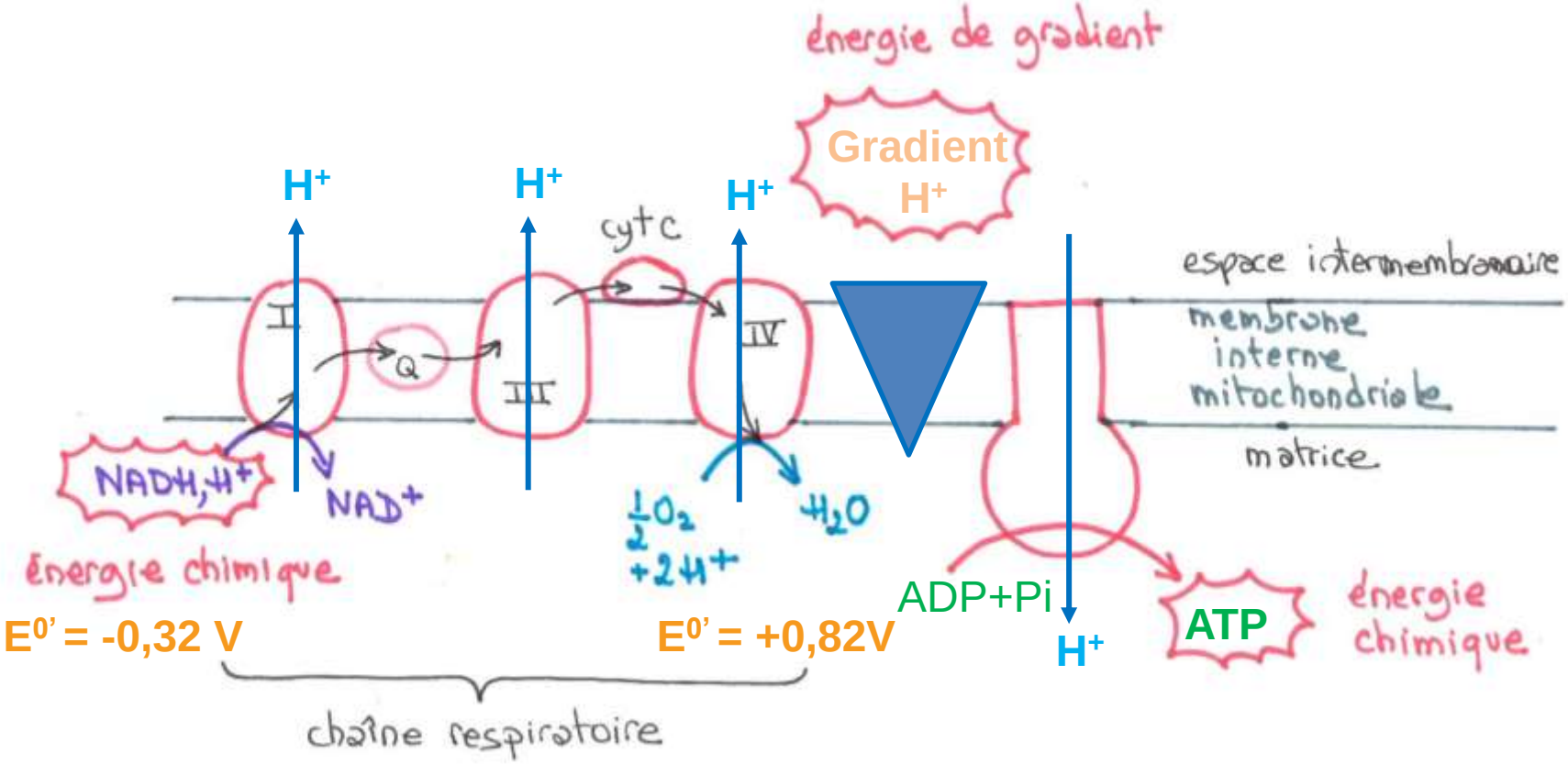
a/ Lorsque le pH de la vésicule interne est égal ou supérieure à celui du milieu extravésiculaire il n'y a pas formation d'ATP



b/ Lorsque le pH de la vésicule interne est inférieur à celui du milieu extravésiculaire on constate la synthèse d'ATP

(JJ BERNARD « Bioénergétique cellulaire » Ellipses 2002

La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP

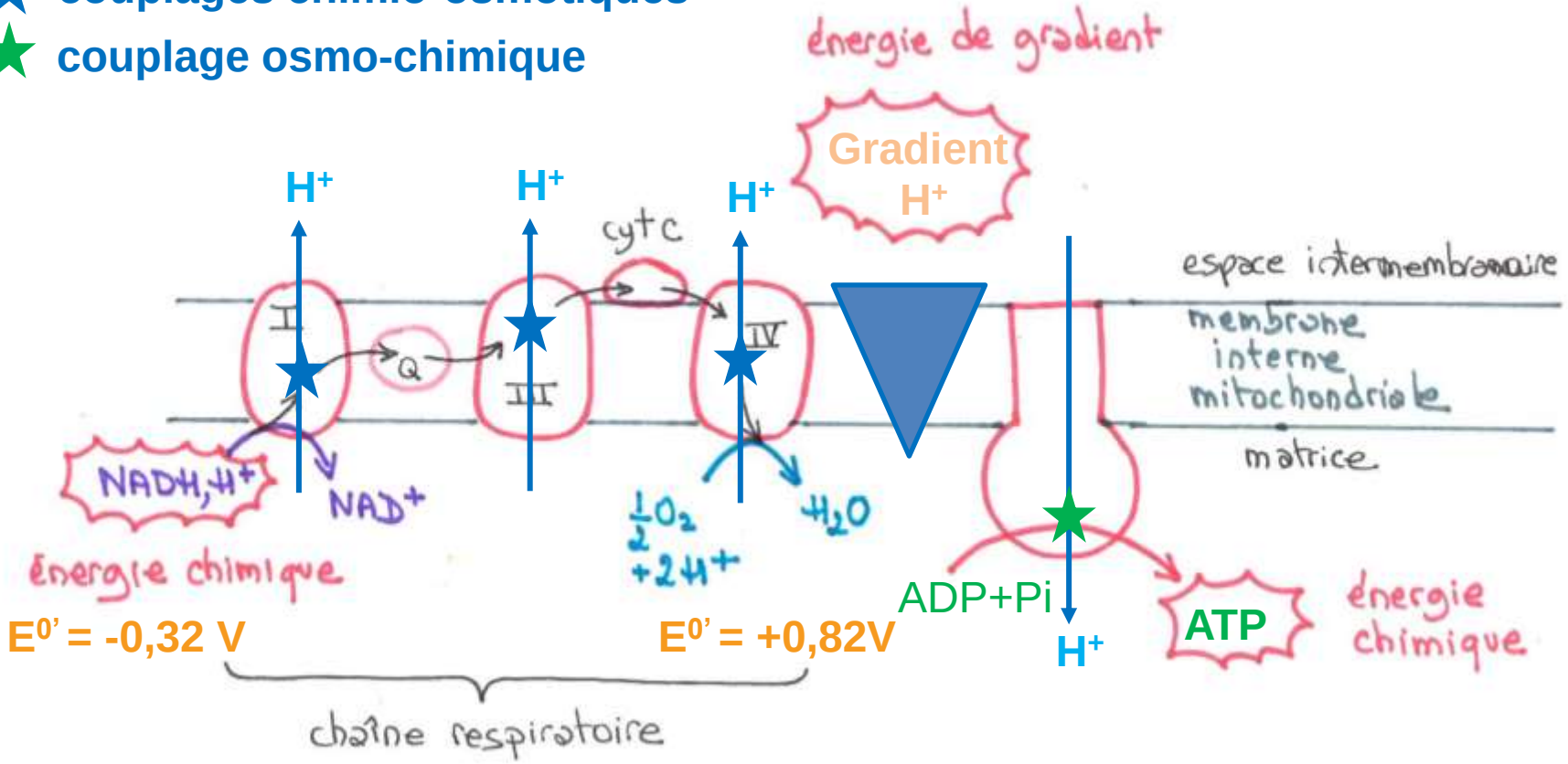


$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ exergonique

La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP

★ couplages chimio-osmotiques

★ couplage osmo-chimique

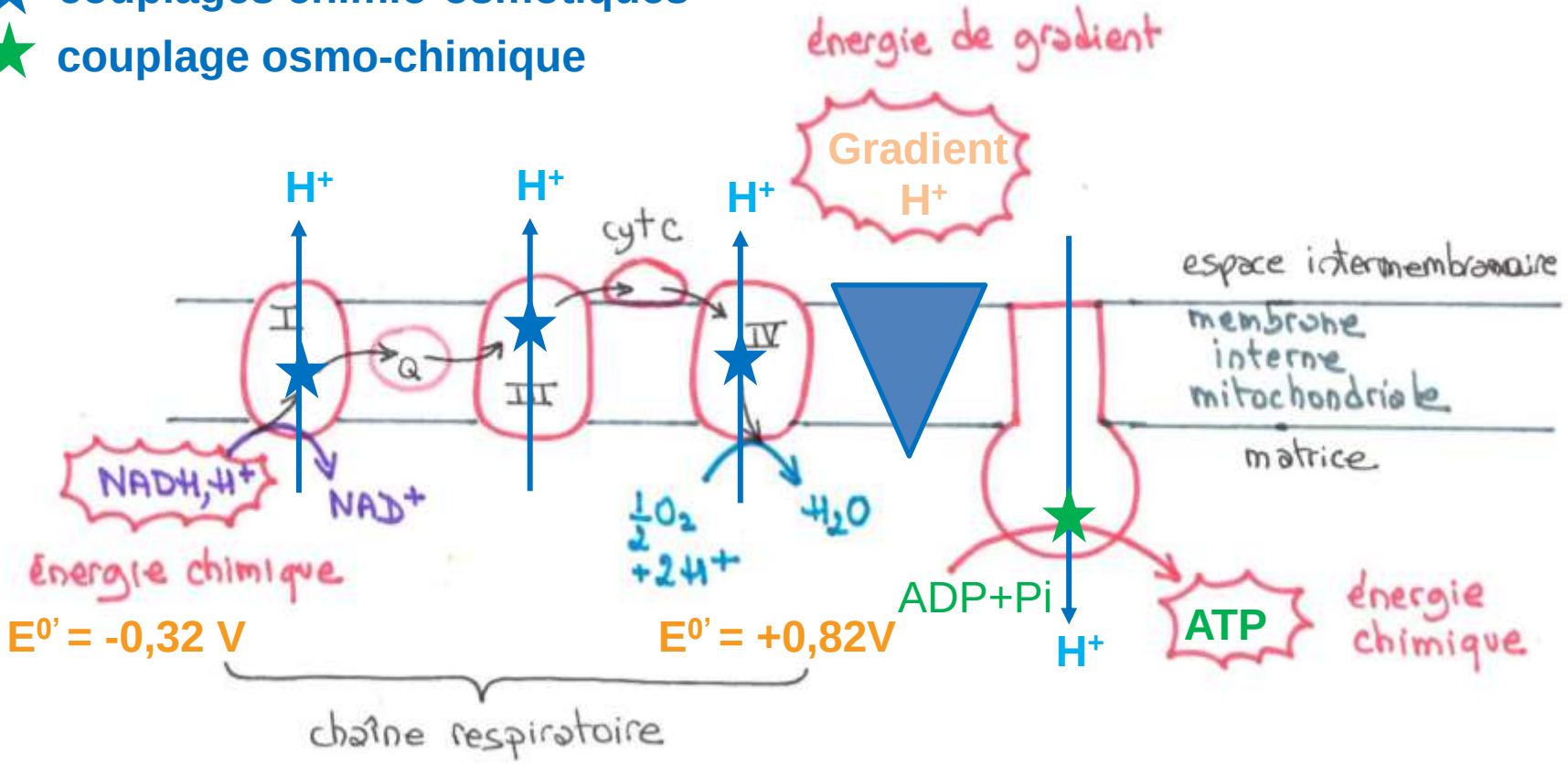


$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ exergonique

La chaîne respiratoire et la synthèse d'ATP

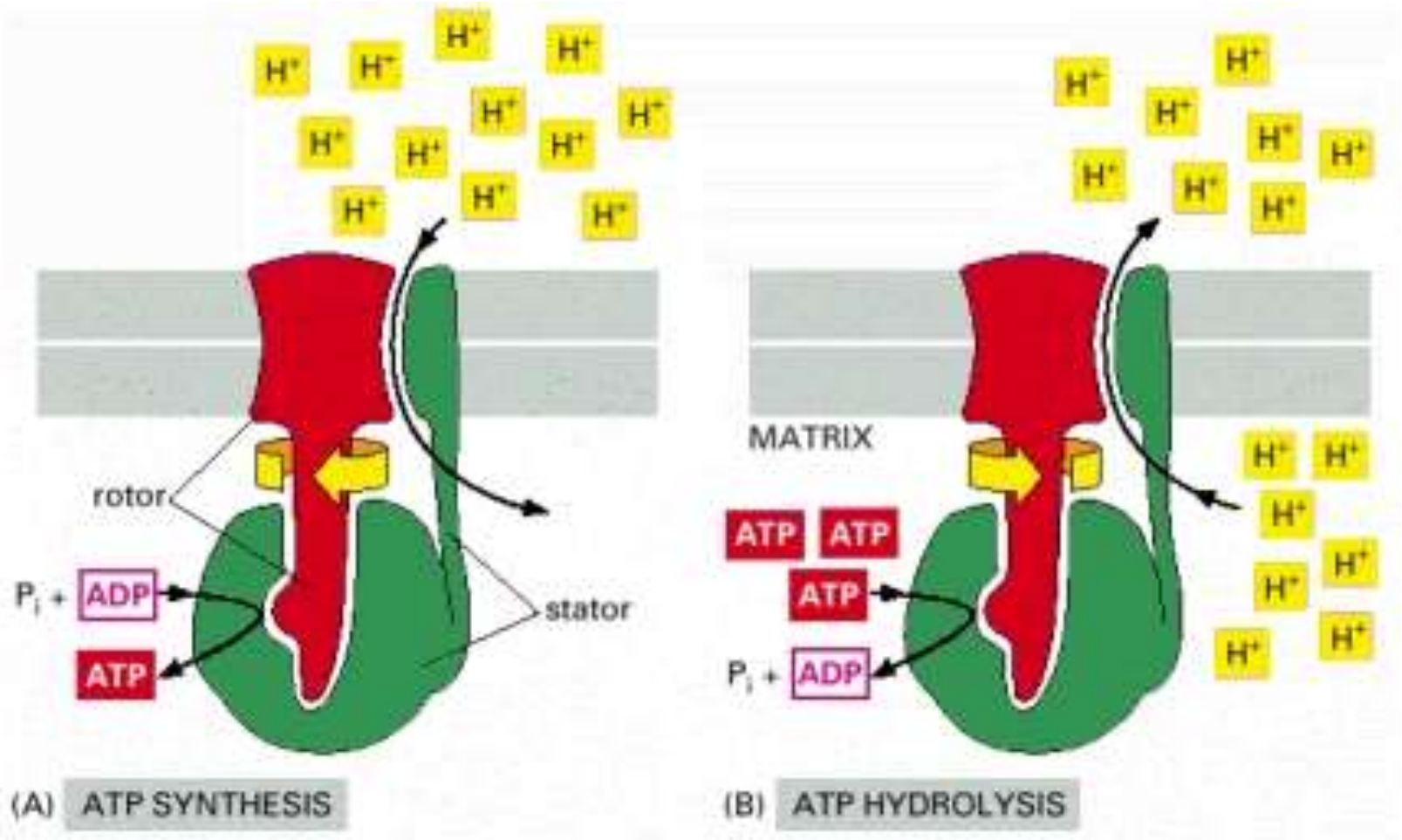
★ couplages chimio-osmotiques

★ couplage osmo-chimique



$\Delta rG^{0'} = - nF\Delta E^{0'} < 0$ exergonique

3 ATP formés par NADH oxydé / 2 ATP formés par $FADH_2$ oxydé



Le fonctionnement de l'ATP synthase est réversible : l'hydrolyse d'ATP peut financer un transport de protons.

Molecular Biology of the Cell. 4th edition. Alberts B, Johnson A, Lewis J, et al. New York: Garland Science; 2002.

<u>Document 17.</u> Bilan de l'oxydation complète d'une molécule de glucose par la respiration cellulaire.

- **Glycolyse :**
- **…. ATP**
- **….. NADH**
- (+ 2 pyruvates)

dans le cytosol

- **Décarboxylation oxydative du pyruvate :**
- **….. NADH**
- (+ 2 ACoA + **… CO_2**)

- **Cycle de Krebs:**
- **….. NADH**
- **…... $FADH_2$**
- **…. GTP (équivalent ATP)**
- (+ **… CO_2**)

dans la matrice mitochondriale

TOTAL 1 = ……

Document 17. Bilan de l'oxydation complète d'une molécule de glucose par la respiration cellulaire.

- **Glycolyse :**
- 2 ATP
- 2 NADH
- (+ 2 pyruvates)

dans le cytosol

- **Décarboxylation oxydative du pyruvate :**
- 2 NADH
- (+ 2 ACoA + 2 CO_2)

- **Cycle de Krebs :**
- 2 x 3 NADH
- 2 x 1 $FADH_2$
- 2 x 1 GTP (équivalent ATP)
- (+ 2 x 2 CO_2)

dans la matrice mitochondriale

TOTAL 1 = ...

- **Respiration cellulaire :**

… x [NADH réoxydé – – → … ATP]
… x [$FADH_2$ réoxydé – – → … ATP]
(+ … O_2 consommés)

dans la membrane interne de la mitochondrie

TOTAL 2 = ...

(+ coenzymes réoxydés)

BILAN = ...

Document 17. Bilan de l'oxydation complète d'une molécule de glucose par la respiration cellulaire.

- **Glycolyse :**
- 2 ATP
- 2 NADH
- (+ 2 pyruvates)

dans le cytosol

- **Décarboxylation oxydative du pyruvate :**
- 2 NADH
- (+ 2 ACoA + 2 CO_2)

- **Cycle de Krebs:**
- 2 x 3 NADH
- 2 x 1 $FADH_2$
- 2 x 1 GTP (équivalent ATP)
- (+ 2 x 2 CO_2)

dans la matrice mitochondriale

TOTAL 1 = 4 ATP + 10 NADH + 2 $FADH_2$

- **Respiration cellulaire :**

… x [NADH réoxydé – – → … ATP]
… x [$FADH_2$ réoxydé – – → … ATP]
(+ … O_2 consommés)

dans la membrane interne de la mitochondrie

TOTAL 2 = …….

(+ coenzymes réoxydés)

BILAN = ……..

Document 17. Bilan de l'oxydation complète d'une molécule de glucose par la respiration cellulaire.

- **Glycolyse :**
- 2 ATP
- 2 NADH
- (+ 2 pyruvates)

dans le cytosol

- **Décarboxylation oxydative du pyruvate :**
- 2 NADH
- (+ 2 ACoA + 2 CO_2)

- **Cycle de Krebs:**
- 2 x 3 NADH
- 2 x 1 $FADH_2$
- 2 x 1 GTP (équivalent ATP)
- (+ 2 x 2 CO_2)

dans la matrice mitochondriale

TOTAL 1 = 4 ATP + 10 NADH + 2 $FADH_2$

- **Respiration cellulaire :**

10 x [NADH réoxydé – – → 3 ATP]
2 x [$FADH_2$ réoxydé – – → 2 ATP]
(+ 6 O_2 consommés)

dans la membrane interne de la mitochondrie

TOTAL 2 = 34 ATP

(+ coenzymes réoxydés)

BILAN = ...

Document 17. Bilan de l'oxydation complète d'une molécule de glucose par la respiration cellulaire.

- **Glycolyse :**
- 2 ATP
- 2 NADH
- (+ 2 pyruvates)

dans le cytosol

- **Décarboxylation oxydative du pyruvate :**
- 2 NADH
- (+ 2 ACoA + 2 CO_2)

- **Cycle de Krebs:**
- 2 x 3 NADH
- 2 x 1 $FADH_2$
- 2 x 1 GTP (équivalent ATP)
- (+ 2 x 2 CO_2)

dans la matrice mitochondriale

TOTAL 1 = 4 ATP + 10 NADH + 2 $FADH_2$

- **Respiration cellulaire :**

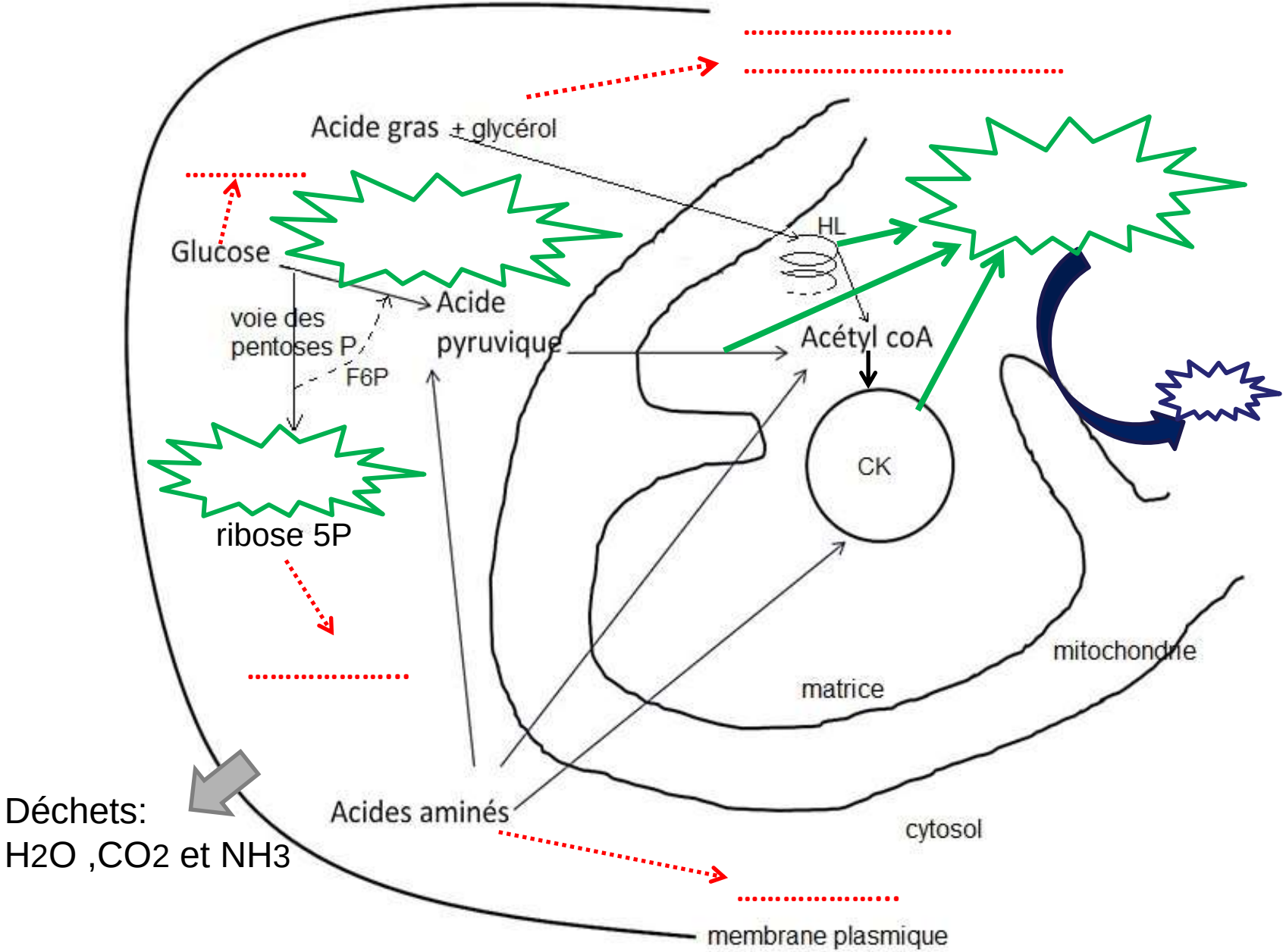
10 x [NADH réoxydé – – → 3 ATP]
2 x [$FADH_2$ réoxydé – – → 2 ATP]
(+ 6 O_2 consommés)

dans la membrane interne de la mitochondrie

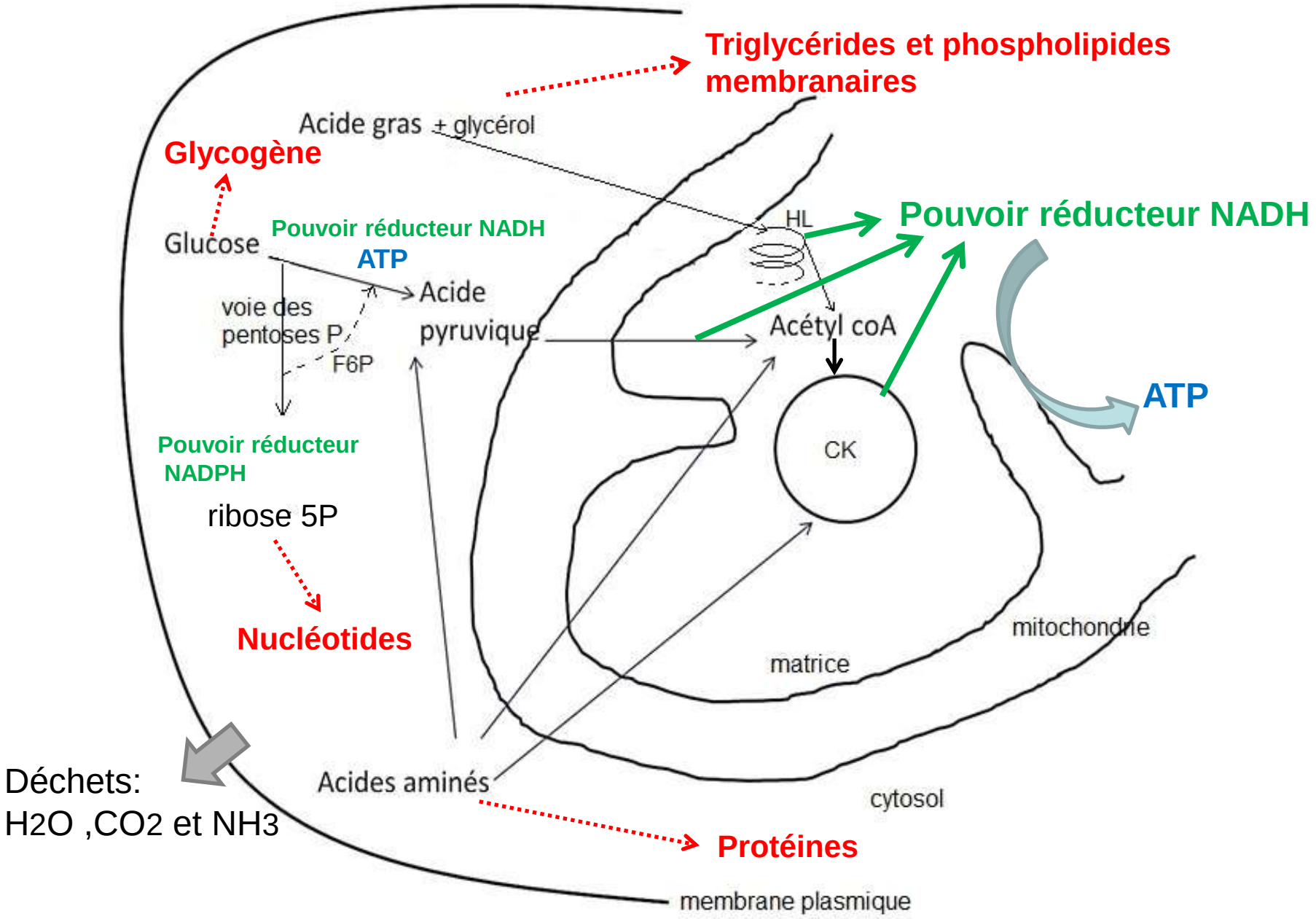
TOTAL 2 = 34 ATP

(+ coenzymes réoxydés)

BILAN = 38 ATP



Panorama simplifié des transformations subies par les molécules organiques dans le cas du métabolisme d'une cellule animale



Panorama simplifié des transformations subies par les molécules organiques dans le cas du métabolisme d'une cellule animale