

Figure 1 : appareil circulatoire de la vache

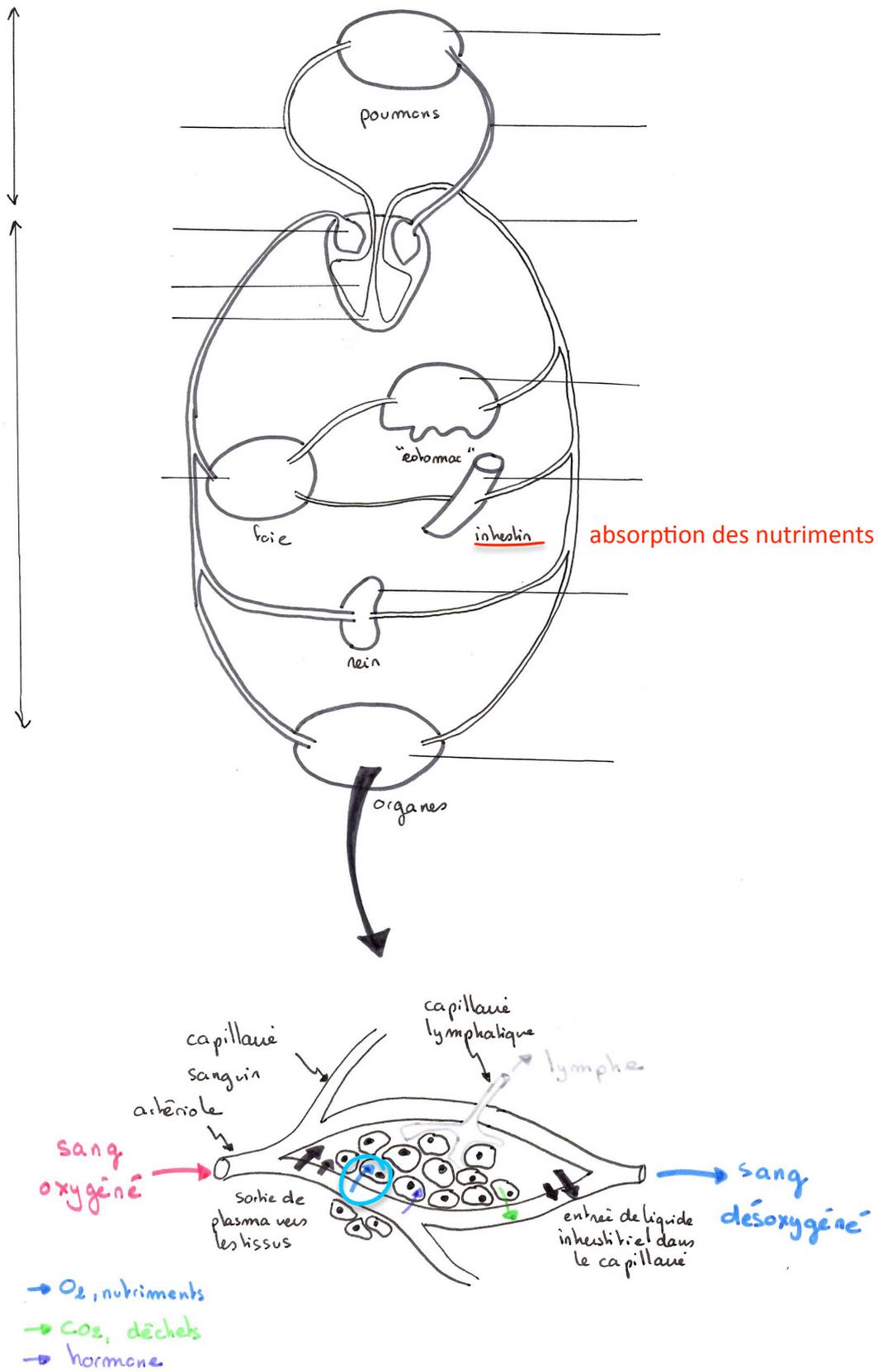


Figure 2 : transport du glucose dans l'entérocyte

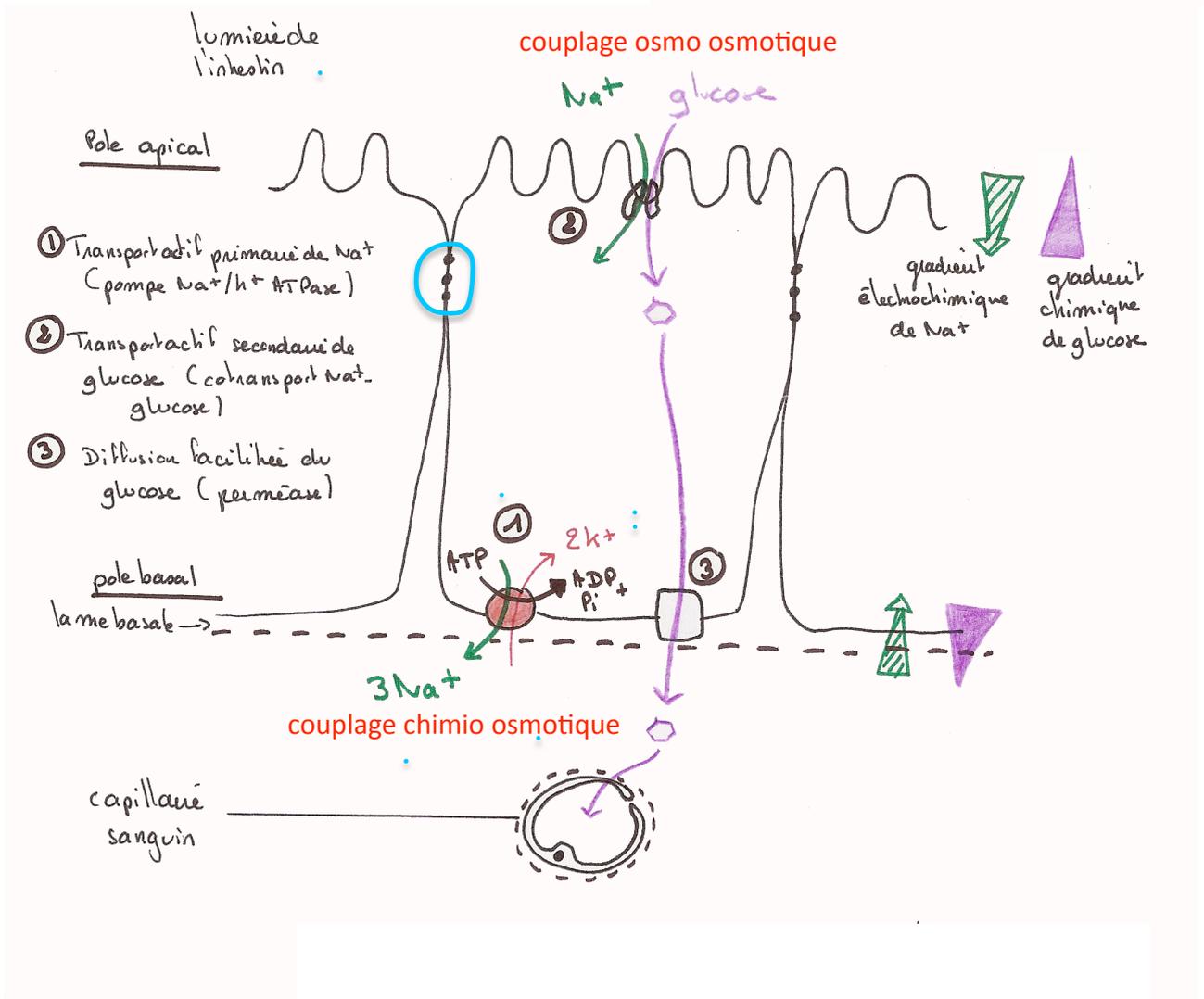
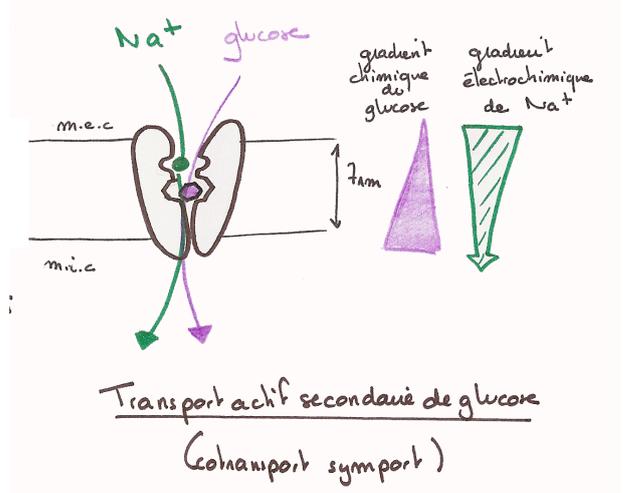


Figure 3 : Voies catabolique principales et produits du catabolisme
(in Segarra et al., à paraître)

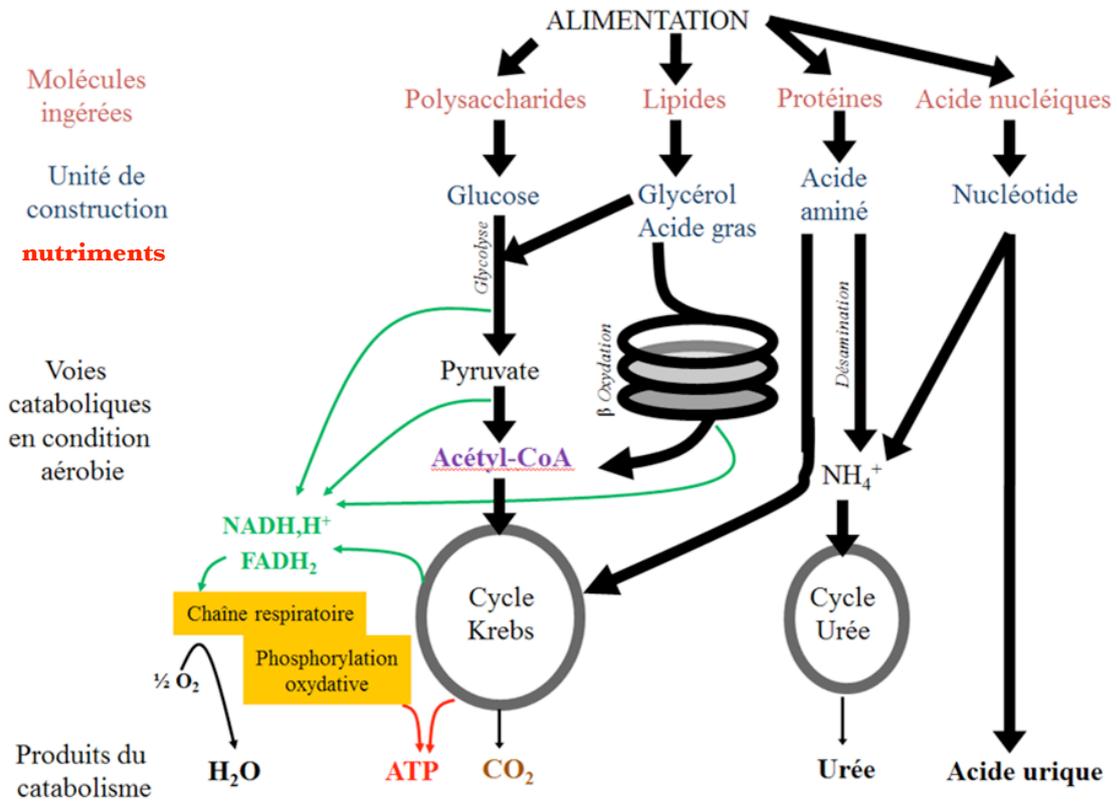


Figure 4 : schéma bilan de la glycolyse

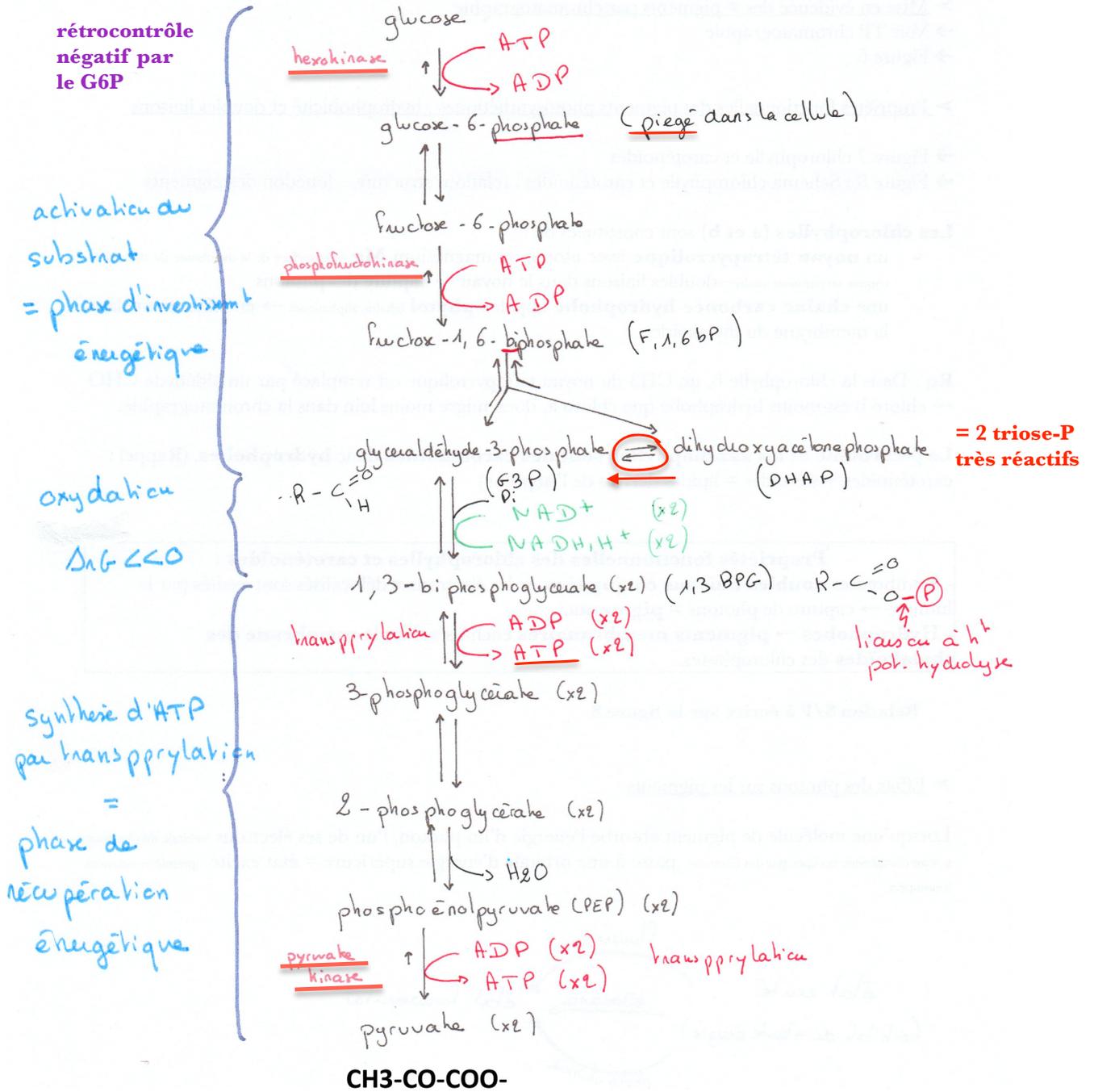


Figure 5 : vue d'ensemble de la glycolyse
(in Guilloton et Quintard, Dunod 1999)

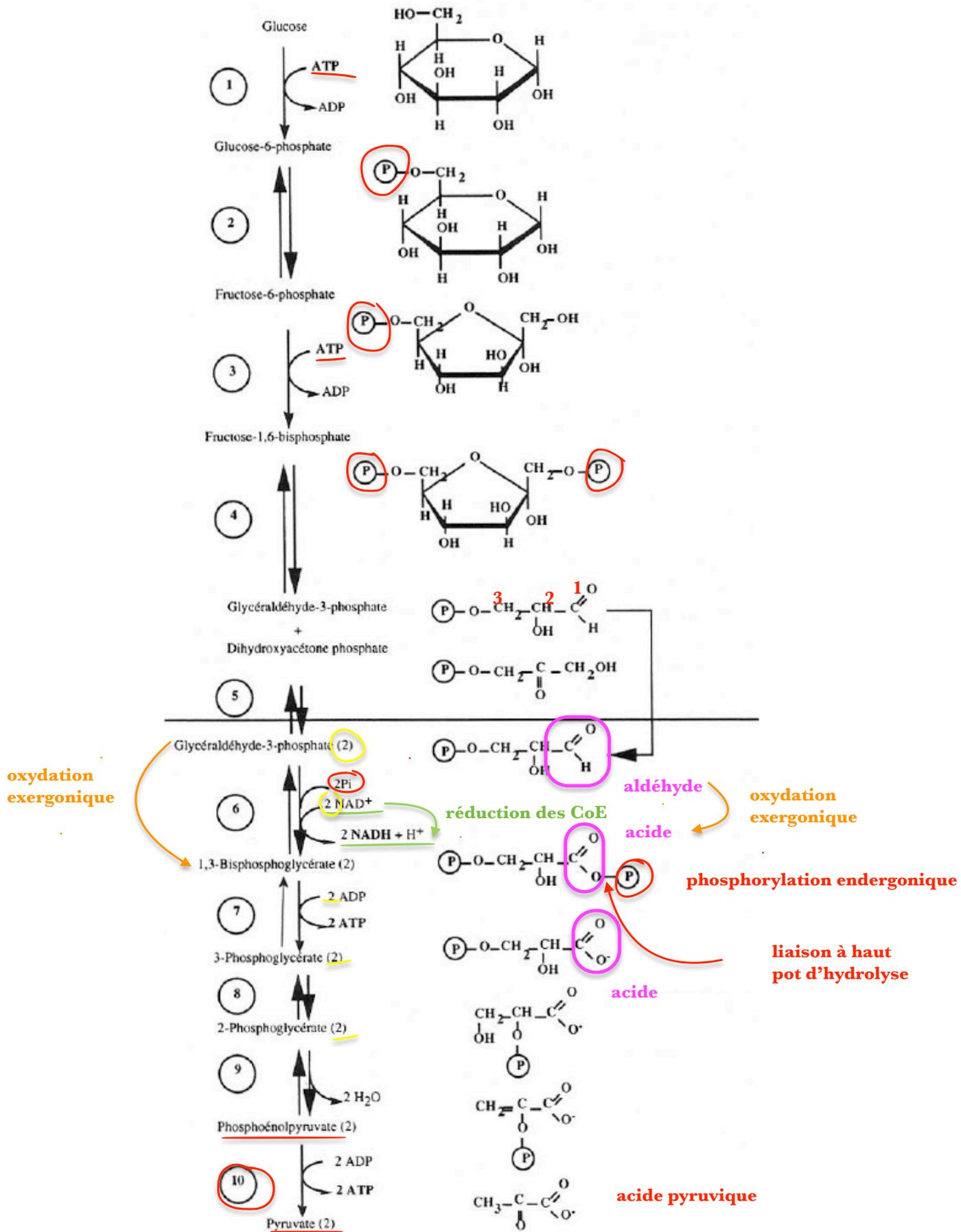


Figure 6 : Bilan de la glycolyse : énergie et matière

	Bilan d'énergie	Bilan de matière (carbones)
Étape 1 d'activation :	- 2 ATP (consommation)	Glucose → 2 glycéraldéhyde-3-P
Étape 2.1 d'oxydation :	+ 2 NADH, H+	→ 2 BPG
Étape 2.2 de transphosphorylation :	+ 4 ATP	→ 2 pyruvate
Bilan :	+ 2 ATP + 2 NADH, H+	1 Glucose (hexose) → 2 pyruvate (trioses)

Figure 7 : valeurs d'enthalpie libre pour chaque réaction de la glycolyse

Etapes de la glycolyse	Enzyme	$\Delta G^{0'}$ en kJ/mol	$\Delta Gr'$ en kJ/mol	Type de réaction
Etape 1	Hexokinase	-16,7	-33	Irréversible
Etape 2	Glucose 6-phosphate isomérase	+1,7	-2	Réversible
Etape 3	Phosphofructokinase 1	-14	-26	Irréversible
Etape 4	Aldolase	+23,9	-1	Réversible
Etape 5	Triose-phosphate isomérase	+7,6	-1	Réversible
Etape 6	Glyceraldéhyde 3-phosphate déshydrogénase	+6,7	-1	Réversible
Etape 7	Phosphoglycérate kinase	-18,8	-1	Réversible
Etape 8	Phosphoglycérate mutase	+4,4	-3	Réversible
Etape 9	Enolase	+1,8	-3	Réversible
Etape 10	Pyruvate kinase	-31,4	-14	Irréversible

On a rassemblé dans le tableau, pour chaque réaction de la glycolyse, les valeurs d'enthalpie libre standard ($\Delta G^{0'}$) et les valeurs d'enthalpie libre ($\Delta Gr'$) dans les conditions cellulaires d'un globule rouge. On rappelle que la variation d'enthalpie libre d'une réaction dépend de sa $\Delta G^{0'}$ ainsi que de la concentration des réactifs et des substrats. Les valeurs données par $\Delta G^{0'}$ servent d'indicateurs mais donnent peu d'informations sur la variation d'enthalpie libre dans les conditions cellulaires.

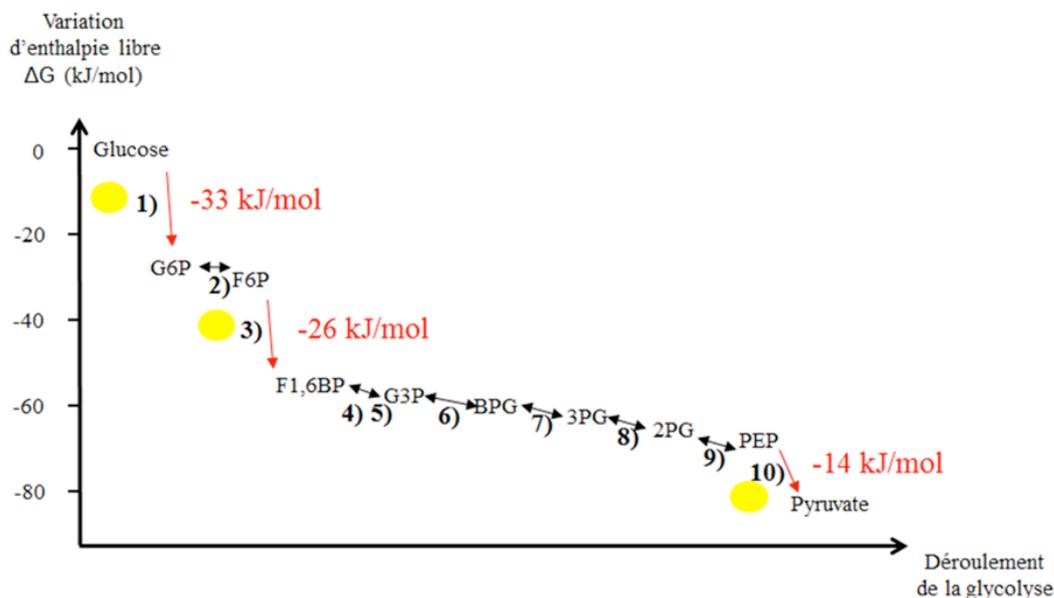


Figure 9 : fermentations éthanolique et lactique

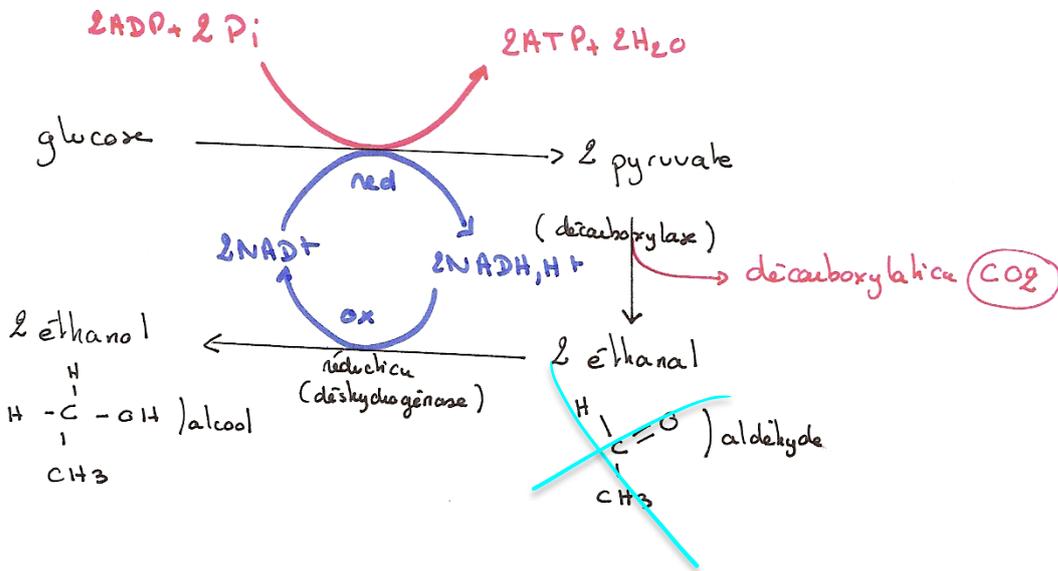
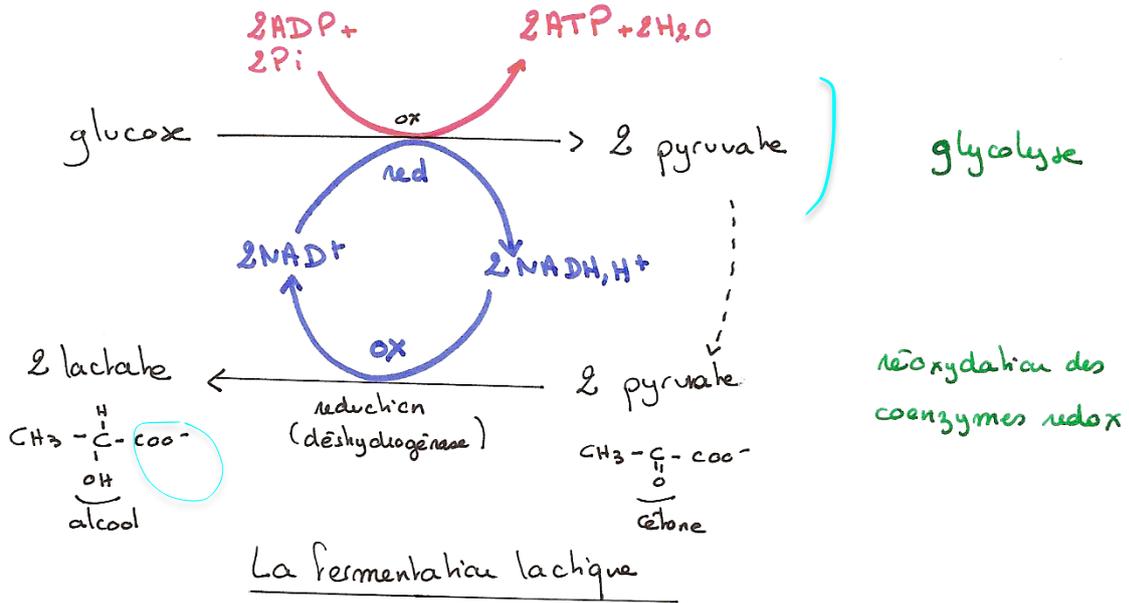


Figure 10 : structure de la PFK1 (phosphofructokinase)

La phosphofructokinase-1 de Escherichia coli est un homotétramère (4 sous-unités identiques) de 320 acides aminés

fructose-1,6-bisphosphate
et ADP

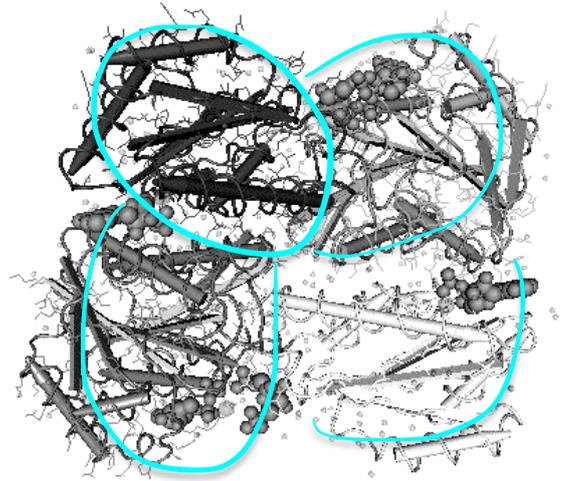


Figure 11 : inhibition allostérique de la PFK1 par l'ATP

Etude de la courbe $v_i = f([ATP])$

(d'après ead.univ-angers.fr)

Interpréter les deux parties de la courbe

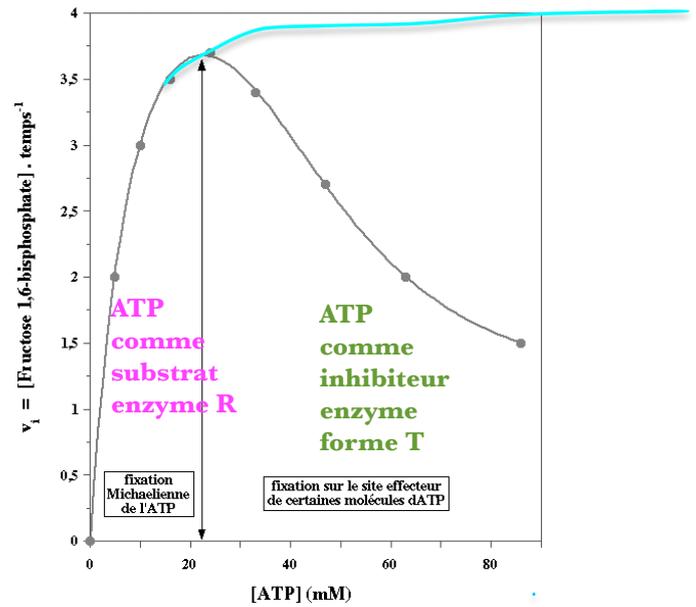


Figure 12 : inhibition allostérique de la PFK1 par l'ATP

Etude de la courbe $v_i = f([F6P])$ avec différentes $[ATP]$

ATP faible : cinétique michaelienne, forme relâchée

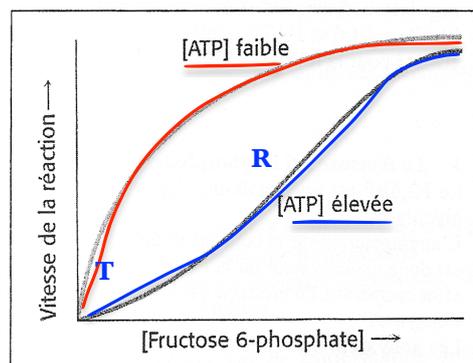
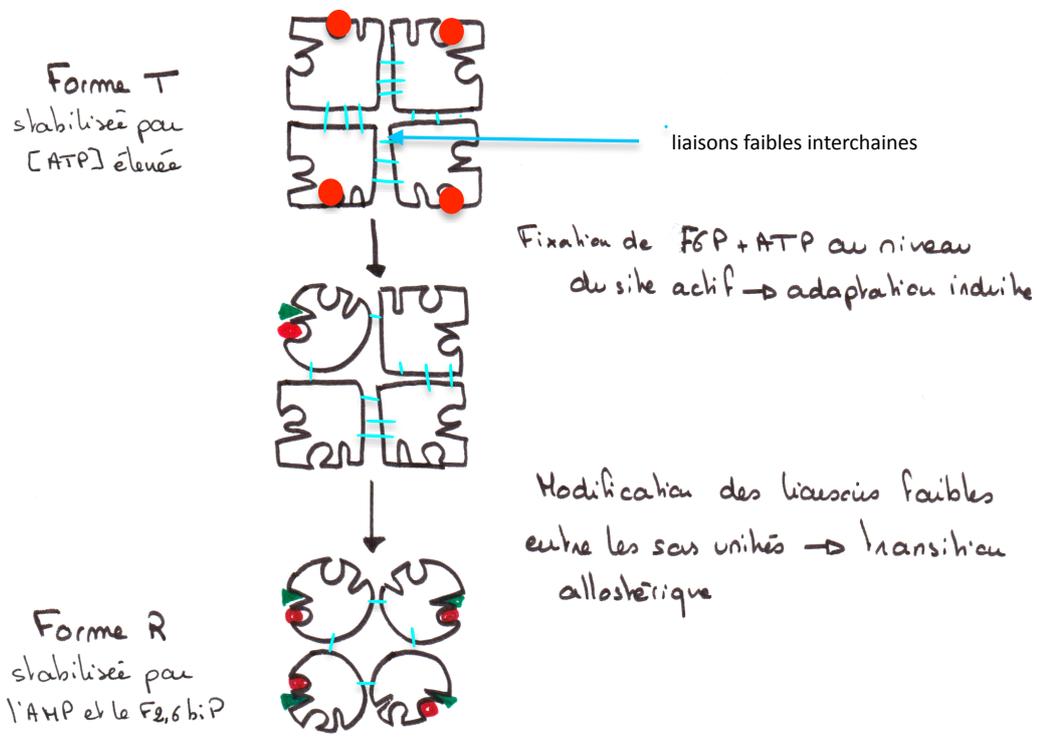
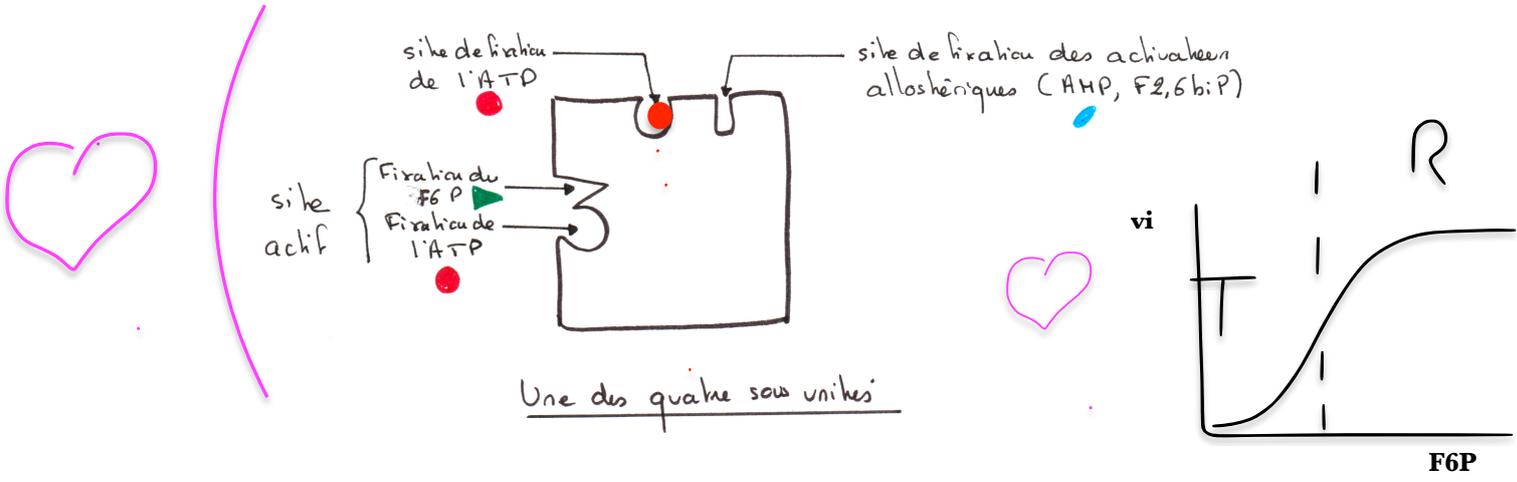


Figure 13 : transition allostérique de la PFK1 (phosphofructokinase)



Passage de la forme T à la forme R de la PFK1

Figure 14 : activation allostérique de la PFK1 par le F2,6BP

Interpréter les courbes

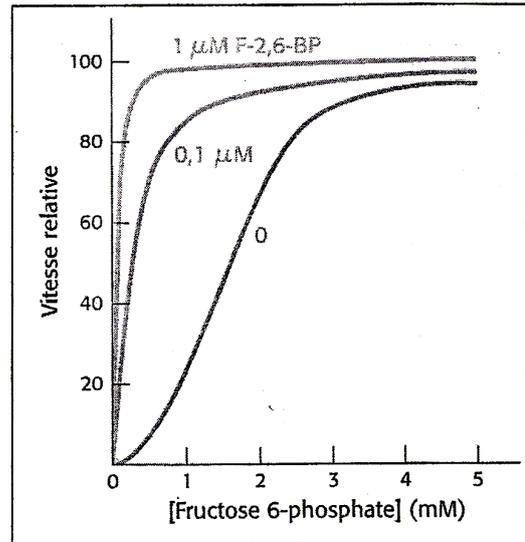


Figure 15 : schéma bilan : contrôle de la glycolyse

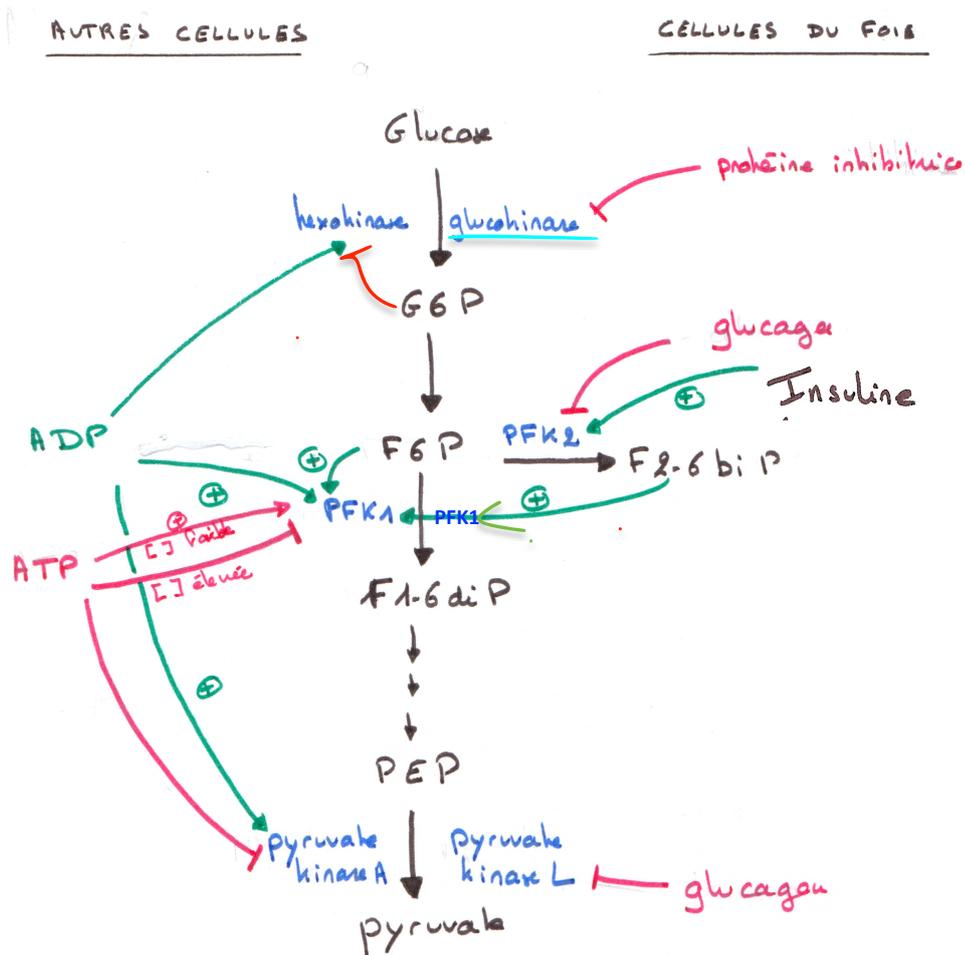


Figure 16 : les différentes origines du pyruvate

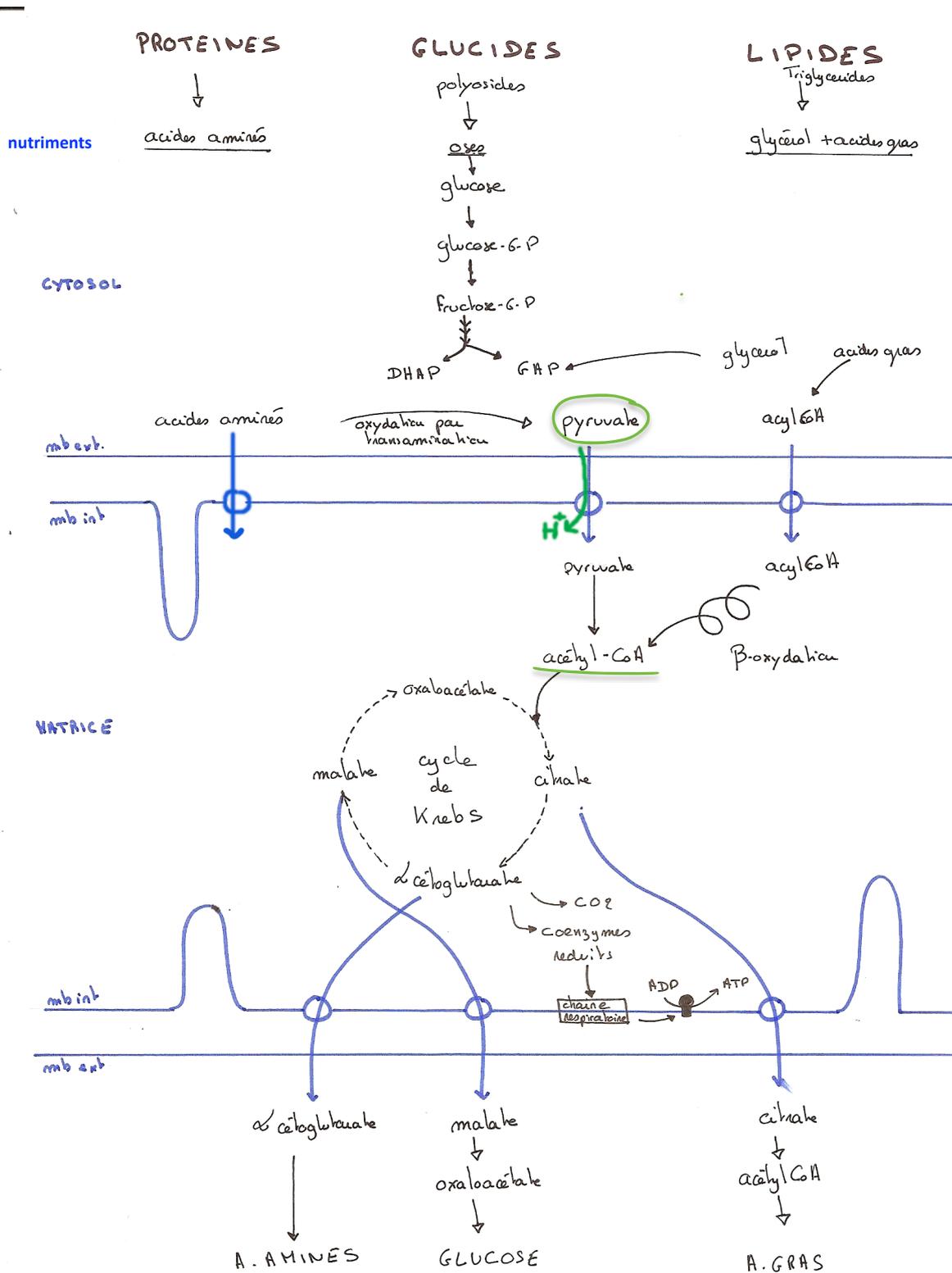


Figure 17a : la β -oxydation des acides gras dans l'hélice de Lynen (matrice mitochondriale)

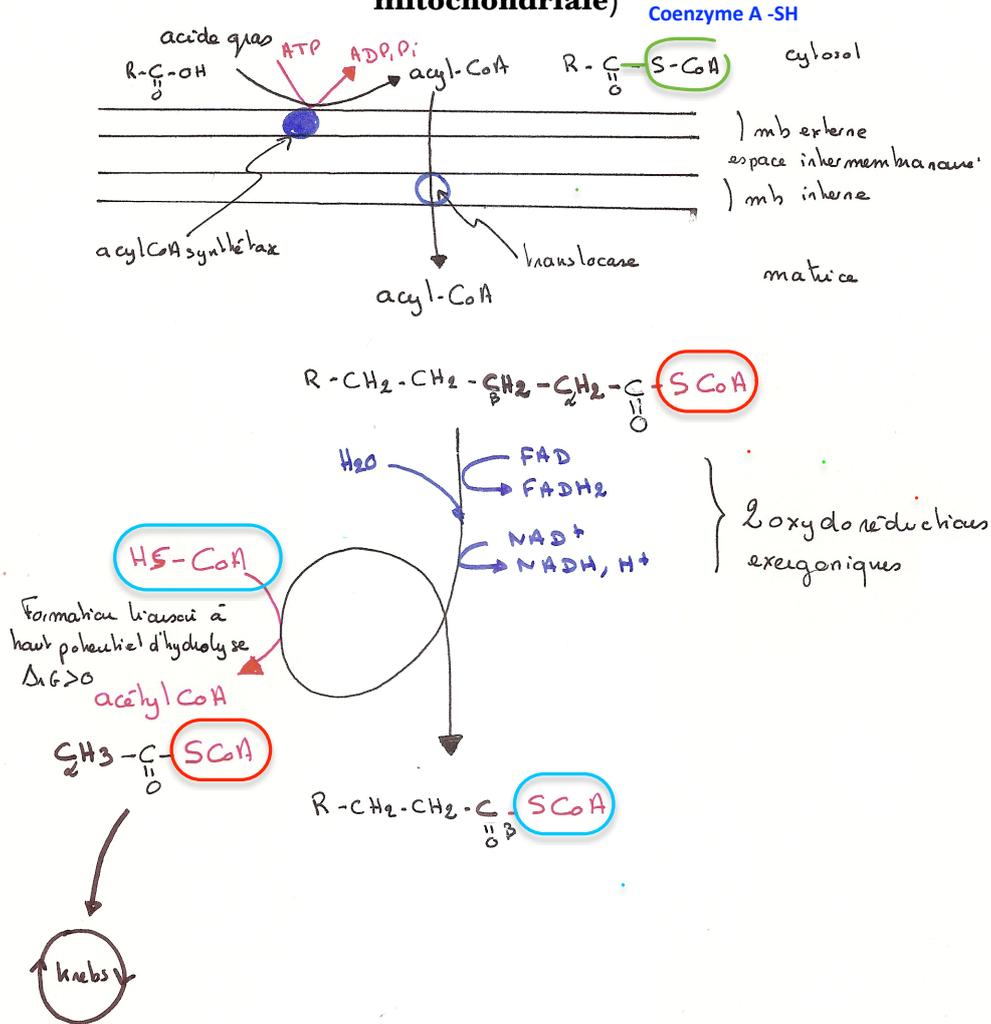


Figure 17b : la décarboxylation oxydative du pyruvate en acétyl-CoA

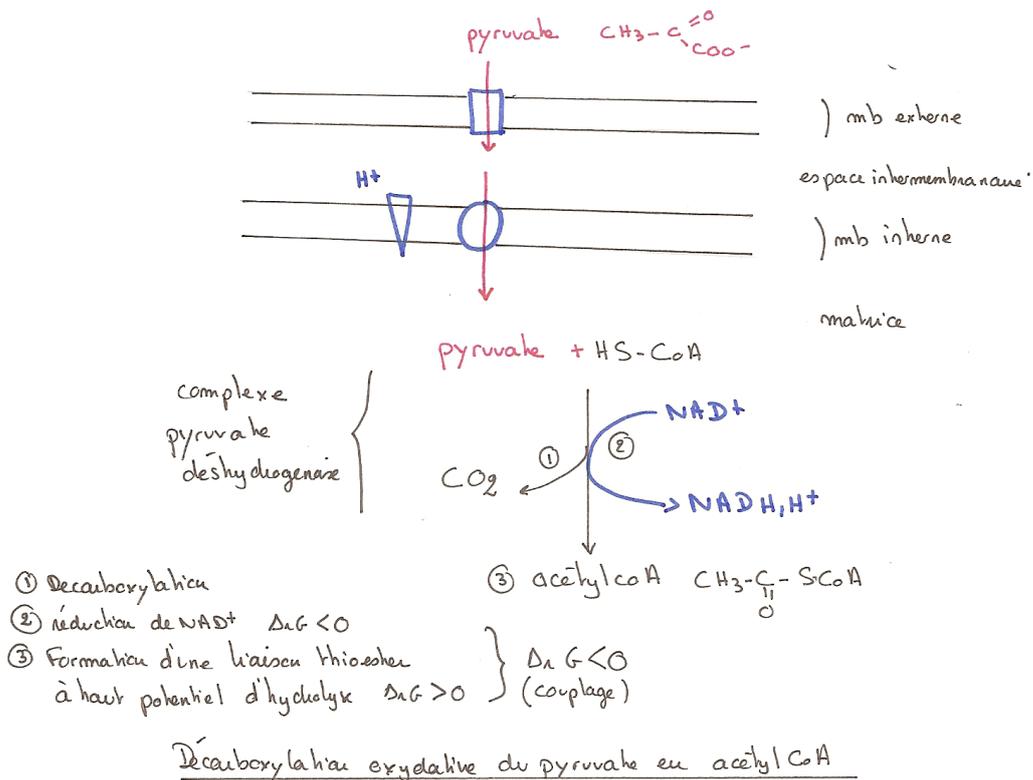


Figure 17c : la β -oxydation des acides gras (document)

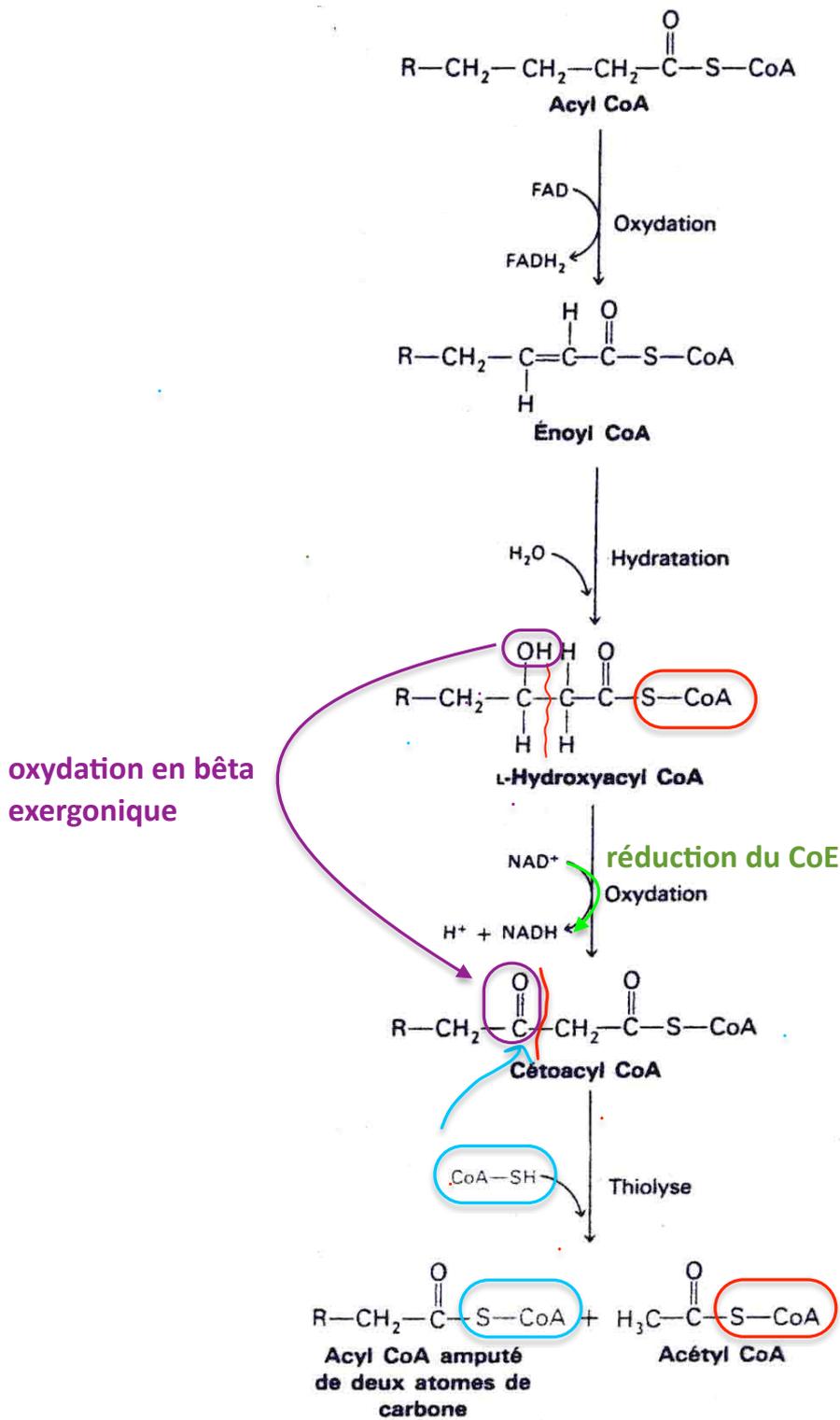


Figure 18 : oxydation de l'alanine (a. aminé) en pyruvate par l'alanine transférase

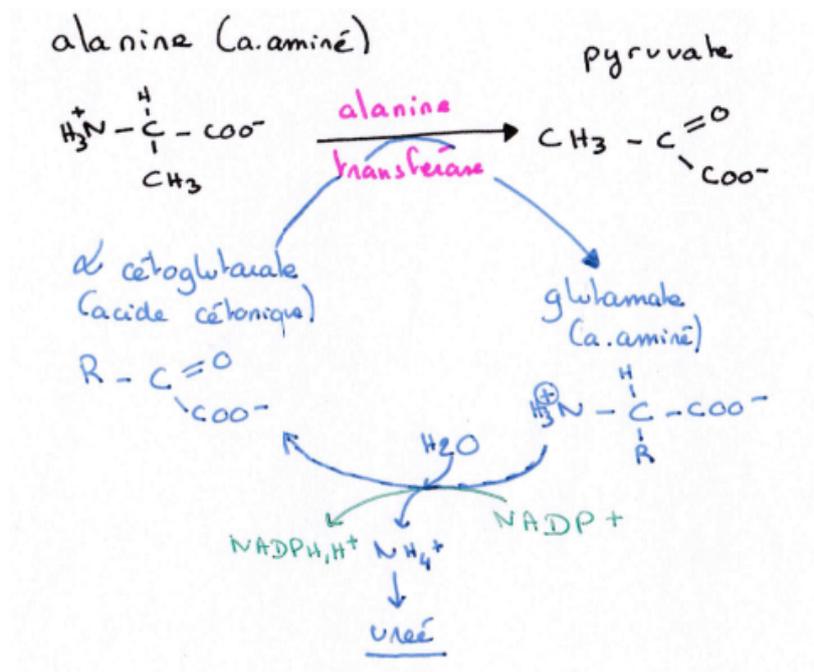


Figure 19a : Cycle de Krebs = cycle de l'acide citrique avec nom des enzymes et formules

(hors programme mais vous aide à comprendre les différentes réactions)

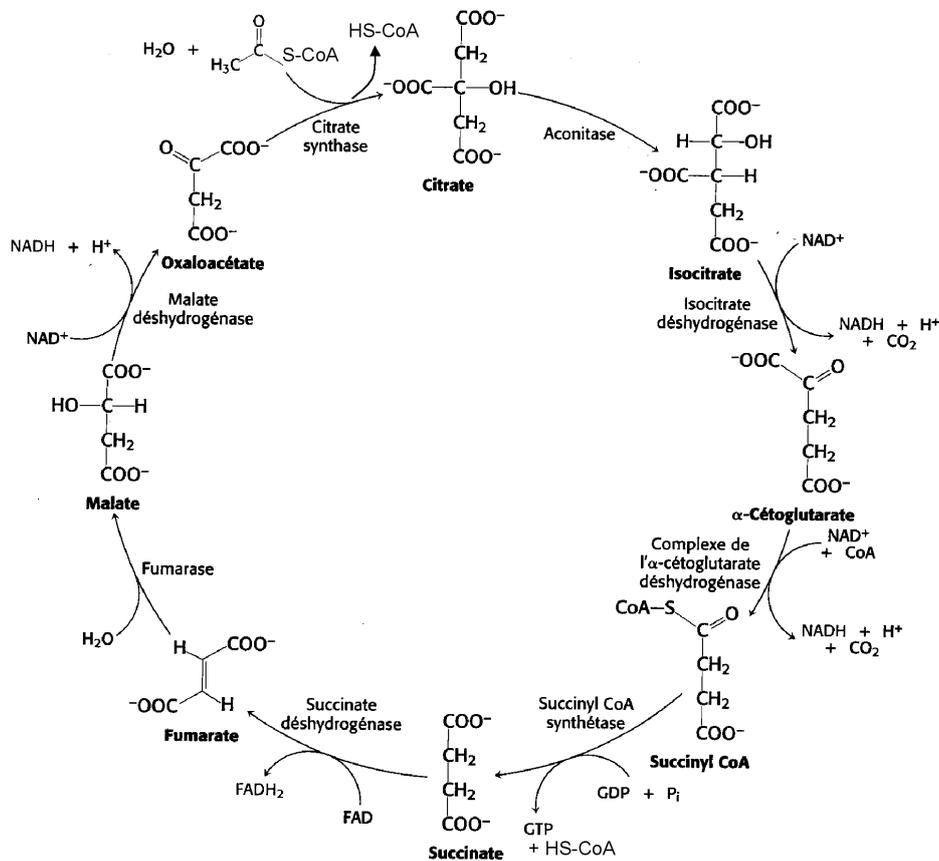
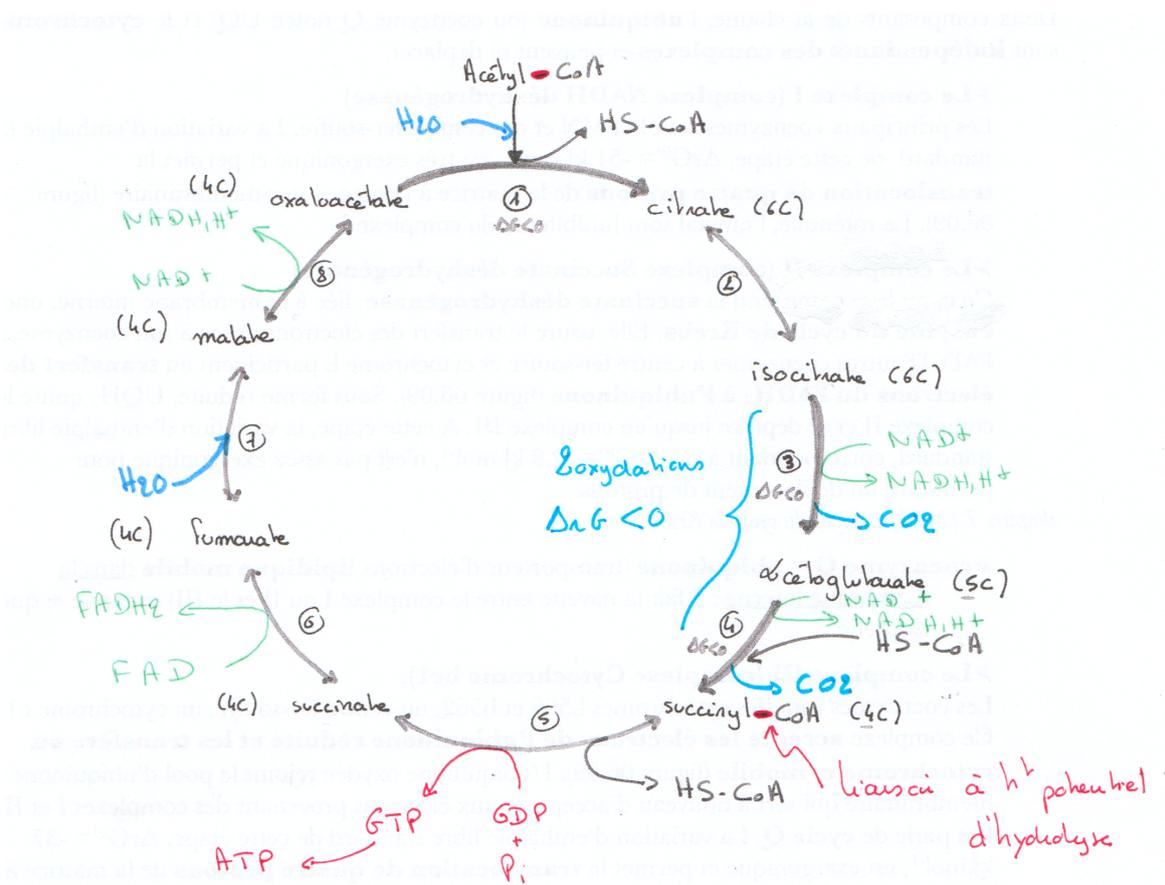


Figure 19b : Le cycle de Krebs



- ③ et ④ : 2 décarboxylations oxydatives
- ②, ⑥ et ⑧ : oxydations
- ⑤ : Formation de GTP couplée à l'hydrolyse du succinyl-CoA
- ①, ③ et ④ : 3 réactions irréversibles catalysées par des enzymes contrôlées

Figure 20 : Cycle de Krebs et anabolisme

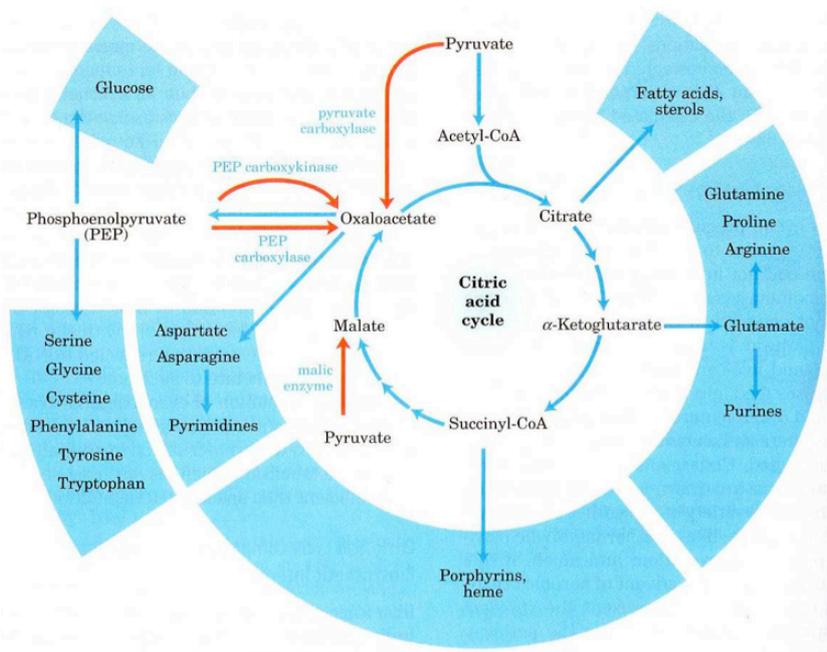


Figure 21 : Bilan énergétique de l'oxydation complète du glucose (respiration en aérobiose)

Glycolyse : oxydation du glucose en 2 pyruvates (cytosol)	
Phosphorylation du glucose	- ATP
Phosphorylation du fructose-6-P	- ATP
Oxydation du glycéraldéhyde-3-P	2x NADH
Formation d'ATP par transphosphorylation à partir du 1,3-BPG	2x ATP
Formation d'ATP par transphosphorylation à partir du PEP	2x ATP
Bilan de la glycolyse :	2 NADH, 2 ATP
Décarboxylation des 2 pyruvates en 2 acétyl-CoenzymeA (mitochondrie)	
	2x NADH
Oxydation des 2 acétyl-CoA par le cycle de Krebs (mitochondrie)	
Deux décarboxylations oxydatives	2x 2 NADH
Formation de GTP couplée à l'hydrolyse de succinlyl-CoA	2x GTP
Deux oxydations : oxydation du succinate et du malate	2x NADH, 2x FADH ₂
Bilan du cycle de Krebs : (tourne 2 fois)	6 NADH, 2 FADH₂, 2 GTP
Phosphorylation oxydative (mitochondrie)	
<u>Selon la navette utilisée</u> : conversion des 2 NADH de la glycolyse en 2 FADH ₂ (navette à glycérol-phosphate) x 1,5 ATP	
	3 ATP
ou en 2 NADH (navette malate-aspartate) x 2,5 ATP	
	ou 5 ATP
2 NADH formés par décarboxylation oxydative des deux pyruvates x 2,5	5 ATP
6 NADH formés par le cycle de Krebs x 2,5 ATP	15 ATP
2 FADH ₂ formés par le cycle de Krebs x 1,5 ATP	3 ATP
Bilan de la phosphorylation oxydative	26 (ou 28) ATP
Nombre total d'ATP produits :	30 (ou 32) ATP

Figure 22 : Bilan énergétique de l'oxydation complète d'un acide gras (respiration en aérobiose)

Activation de l'acide gras en acyl-CoA (cytosol)	
Activation endergonique, couplée à l'hydrolyse d'ATP en AMP + PPi → 2 Pi	équivalent de - 2 ATP
β-oxydation (mitochondrie)	
$C_{18} \rightarrow C_{16} \rightarrow \dots \rightarrow C_6 \rightarrow C_4 \rightarrow 2 C_2$ Cycle 1 2 6 7 8 ⇒ 8 cycles d'oxydation	8 x (NADH + FADH₂)
Oxydation des 9 acétyl-CoA par le cycle de Krebs (mitochondrie)	
Bilan de 9 tours de cycle de Krebs :	9 x (1 GTP, 3 NADH, 1 FADH₂)
Phosphorylation oxydative (mitochondrie)	
Oxydation des NADH : $8 + 3 \times 9 = 35 \text{ NADH} \rightarrow \times 2,5 \text{ ATP}$	87,5 ATP (105)
Oxydation des FADH ₂ : $8 + 9 = 17 \text{ FADH}_2 \rightarrow \times 1,5 \text{ ATP}$	25,5 ATP (34)
Nombre total d'ATP produits :	120 ATP (146)

Figure 23 : Schéma général de la modification des acides aminés par transamination et désamination
(in Segarra et al., à paraître)

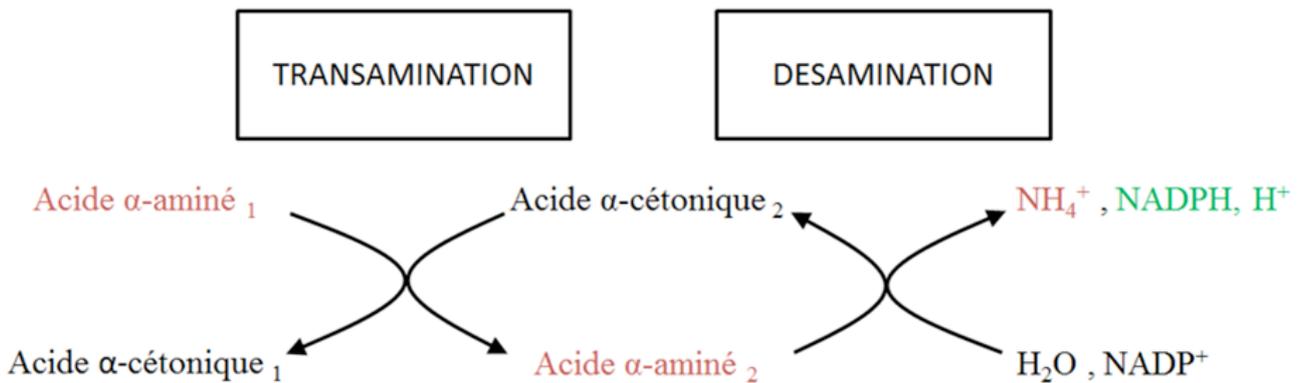


Figure 24 : Transamination du glutamate en aspartate
(in Segarra et al., à paraître)

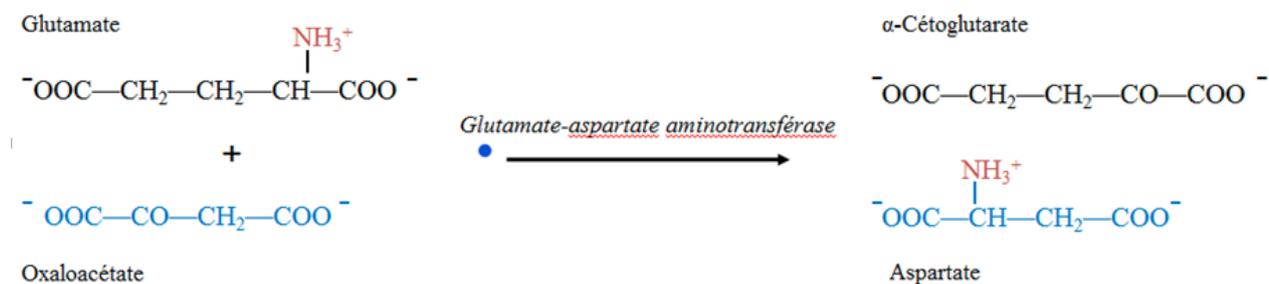


Figure 25 : Principaux déchets du catabolisme azoté
(in Segarra et al., à paraître)

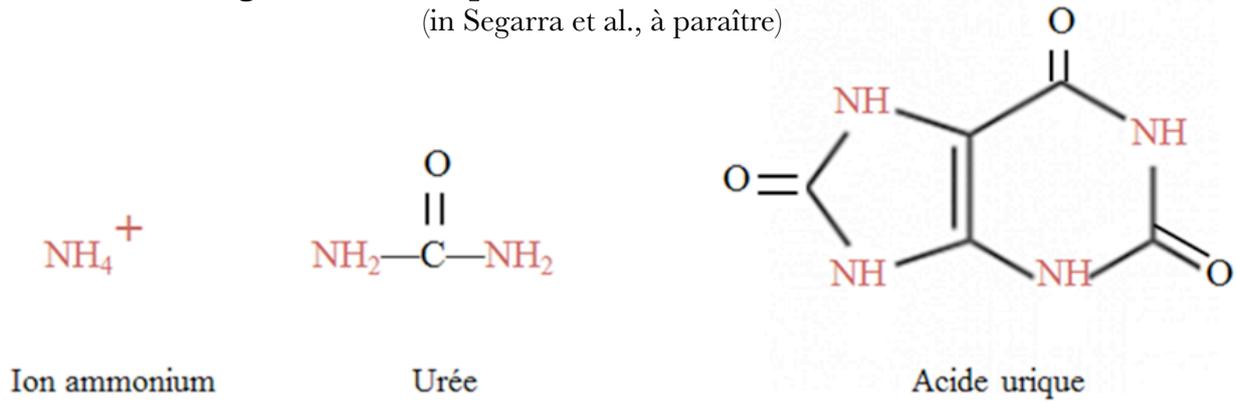


Figure 26 : Photosynthèse à l'échelle de l'organisme

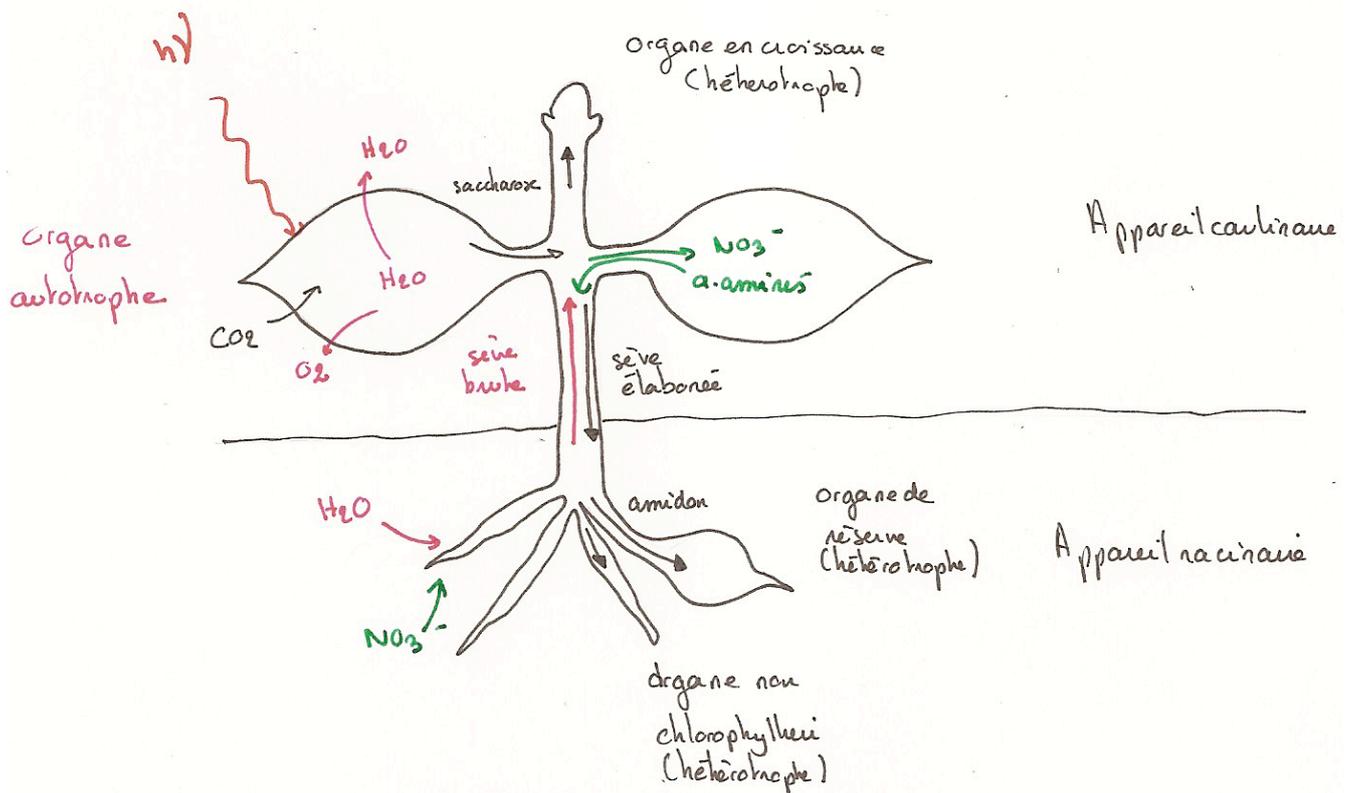
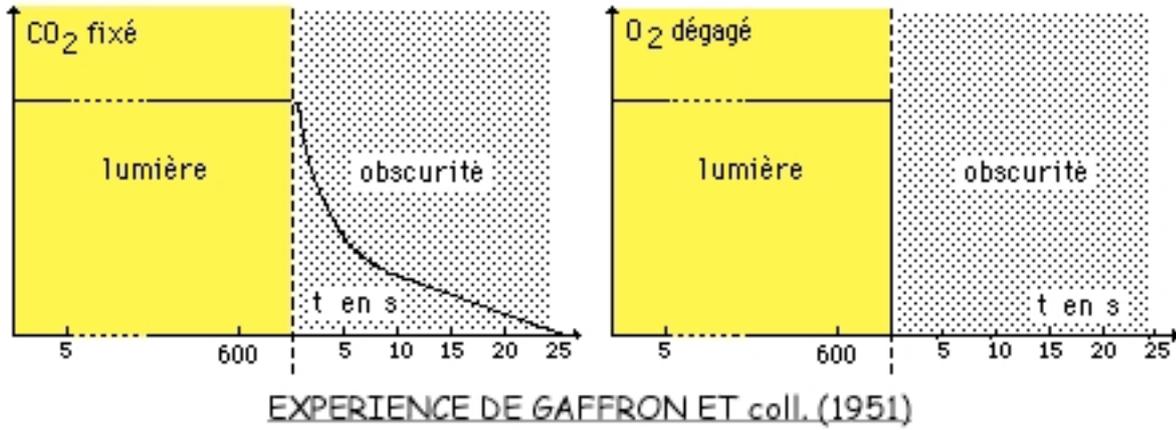


Figure 27 : mise en évidence de deux phases au cours de la photosynthèse

Protocole : du dioxyde de carbone radioactif ($^{14}\text{CO}_2$) est fourni à une suspension d'algues unicellulaires (chlorelles) fortement éclairée. Dans un premier temps on dose le $^{14}\text{CO}_2$ fixé (graphe de gauche), dans un second temps on dose le dioxygène dégagé (graphe de droite).

Résultats :



**Figure 29 : Deuxième expérience de Calvin
Mise en évidence d'un cycle de carboxylation**

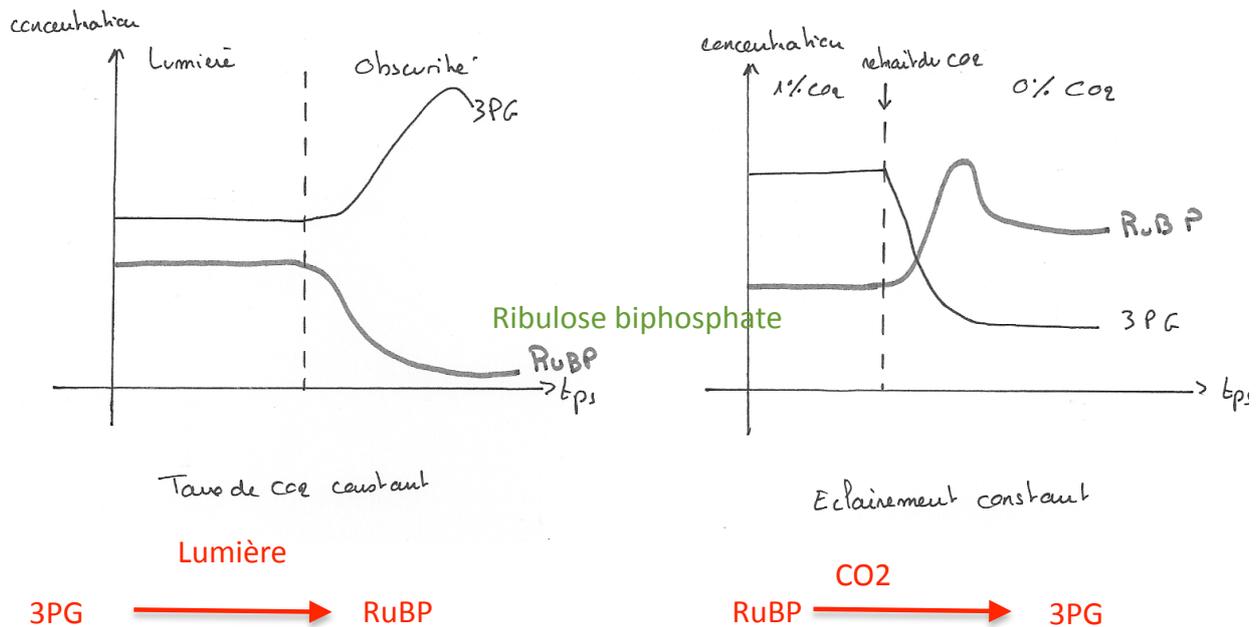
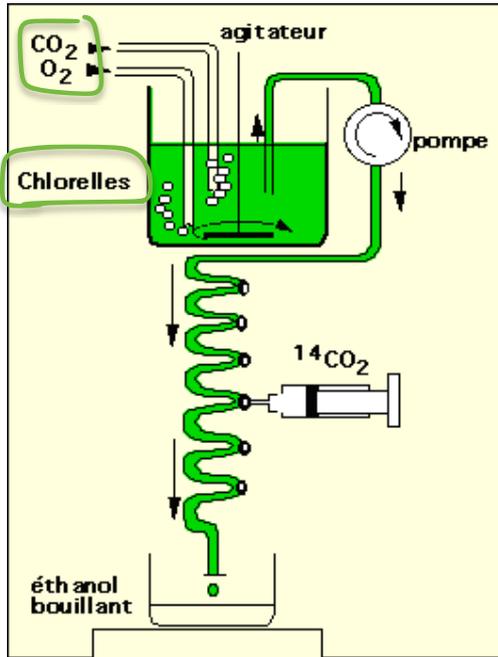


Figure 28 : 1^{ère} expérience de Calvin à connaître !!
Molécules formées par les réactions de la phase chimiochimique

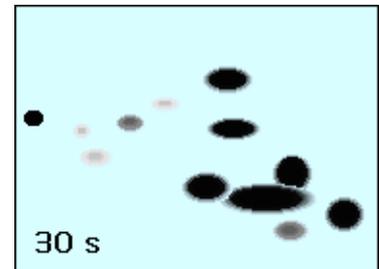
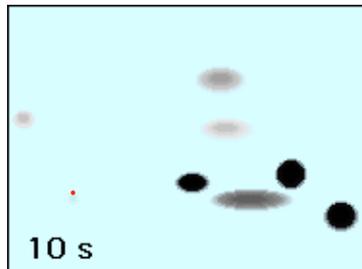
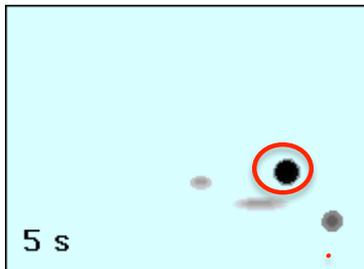


Dans une suspension de chlorelles barbote de l'air enrichi en CO₂. Les chlorelles sont refoulées par une pompe dans une tubulure transparente. Du ¹⁴CO₂ radioactif est injecté en un point variable du serpentin, les chlorelles sont donc incubées durant un temps variable avec le ¹⁴CO₂ marqué. Puis les chlorelles sont tuées dans l'alcool bouillant qui bloque instantanément les réactions chimiques.

Grâce au débit de la pompe, on calcule très précisément le temps pendant lequel les chlorelles situées dans le serpentin ont été en contact avec le ¹⁴CO₂ radioactif avant d'être fixées par le méthanol bouillant.

L'expérience est réalisée pour **différents points d'injection du ¹⁴CO₂ radiomarqué** dans la tubulure, donc **différents temps d'incubation avec le ¹⁴CO₂ radiomarqué**.

Pour chaque expérience, on sépare les composés formés par **chromatographie bidimensionnelle** à l'aide de deux solvants successifs (1 = mélange eau/phénol puis 2 = mélange butanol/acide propionique). Puis **les chromatogrammes sont révélés par autoradiographie**. Trois autoradiographies de chromatogrammes sont réalisées sur des extraits de chlorelles mises en contact avec le ¹⁴CO₂ radioactif pendant 5 secondes, 10 secondes et 30 secondes



Chromatographies bidimensionnelles des molécules formées : révélation par autoradiographie

Pour identifier les composés formés, on réalise en parallèle un chromatogramme révélé par différents colorants spécifiques. On compare alors les chromatogrammes révélés par autoradiographie aux chromatogrammes colorés.

Chromatographie bidimensionnelle des molécules formées, révélation par des colorants spécifiques

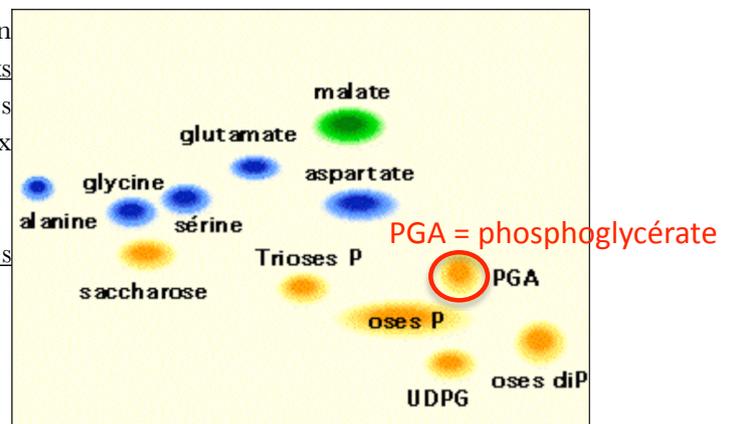
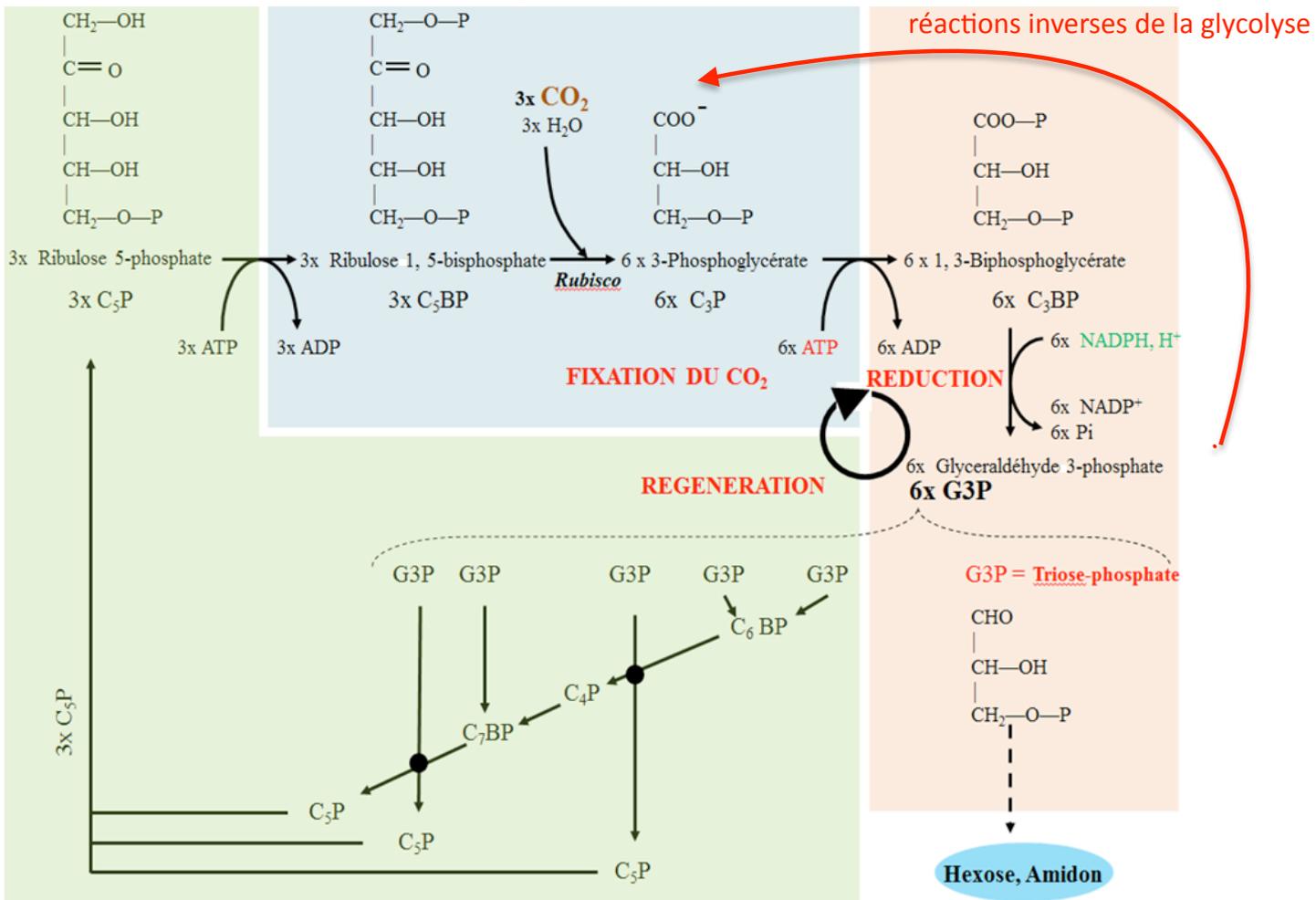
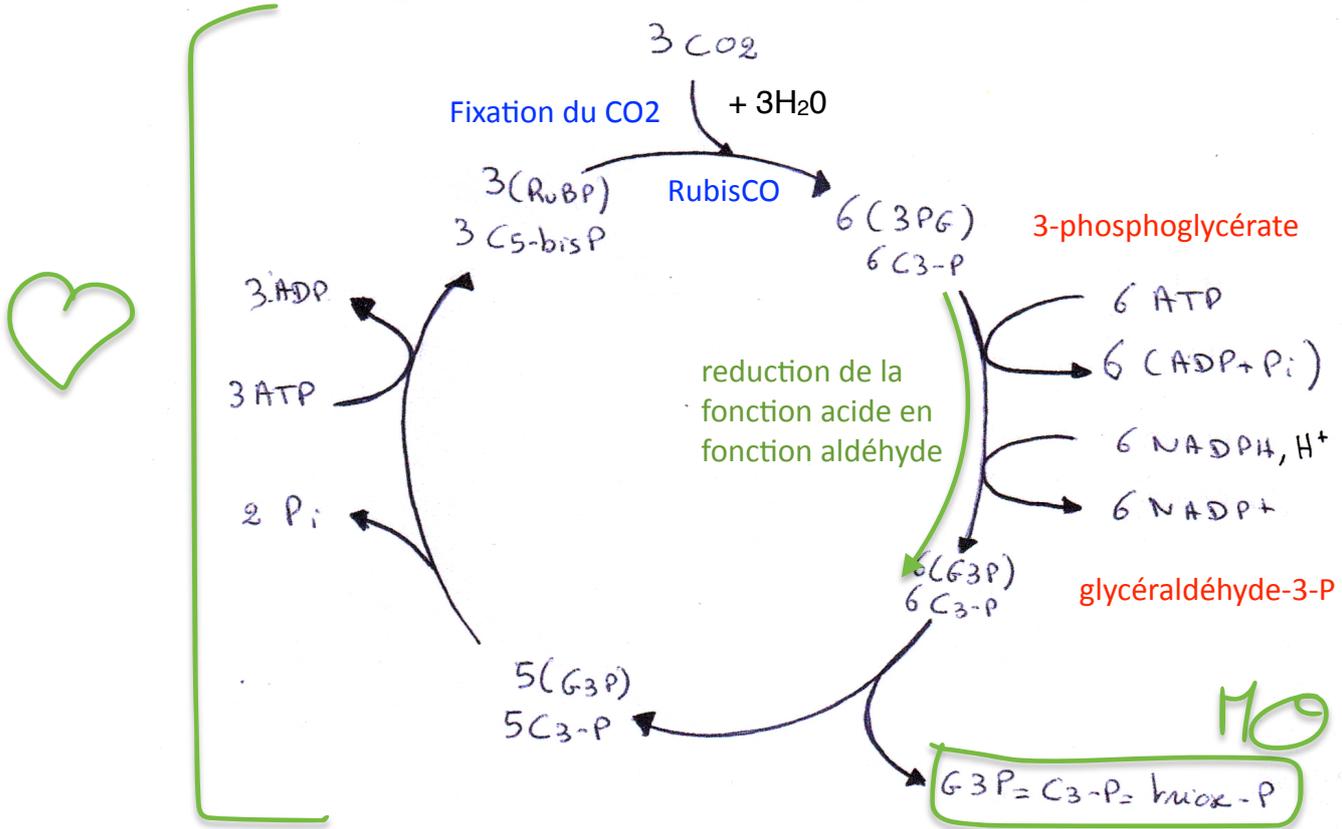


Figure 30 : le cycle de Calvin simplifié (à savoir par coeur!!!)



Réduction du phosphoglycérate en glycéraldéhyde 3-phosphate

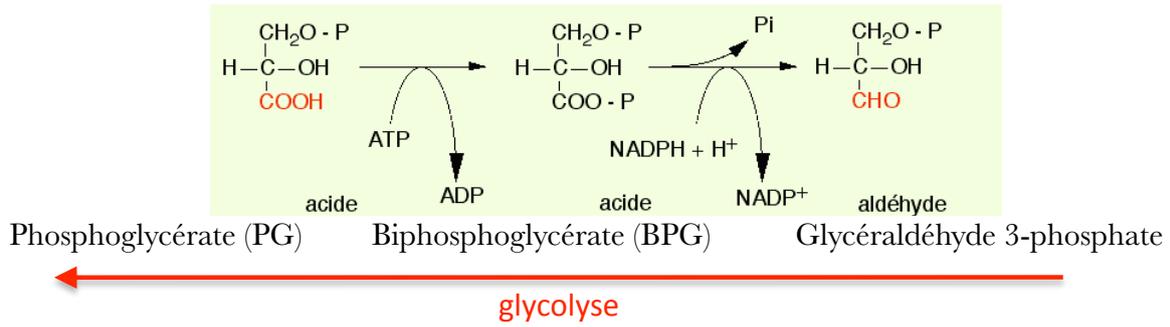


Figure 31a : cycle de l'azote

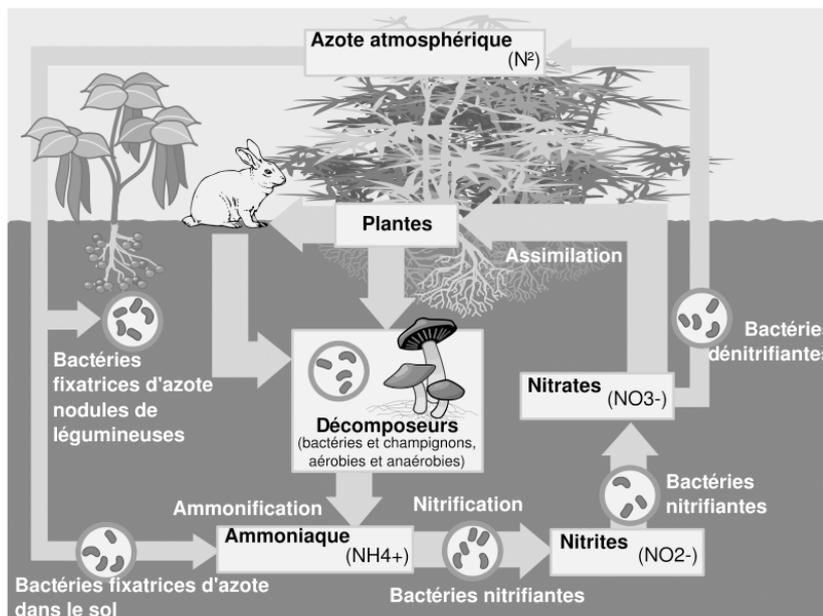
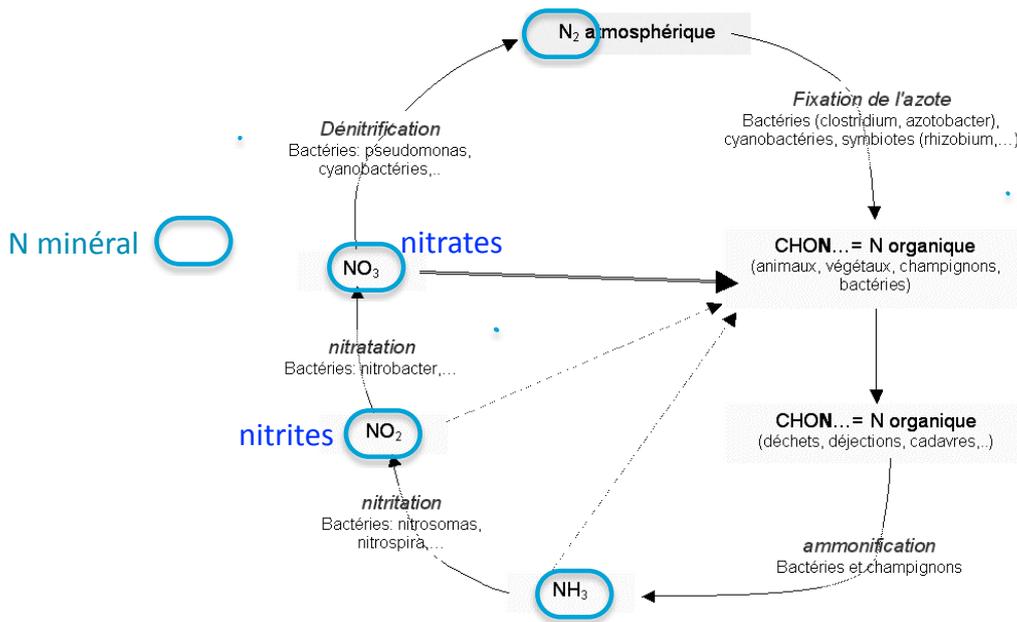
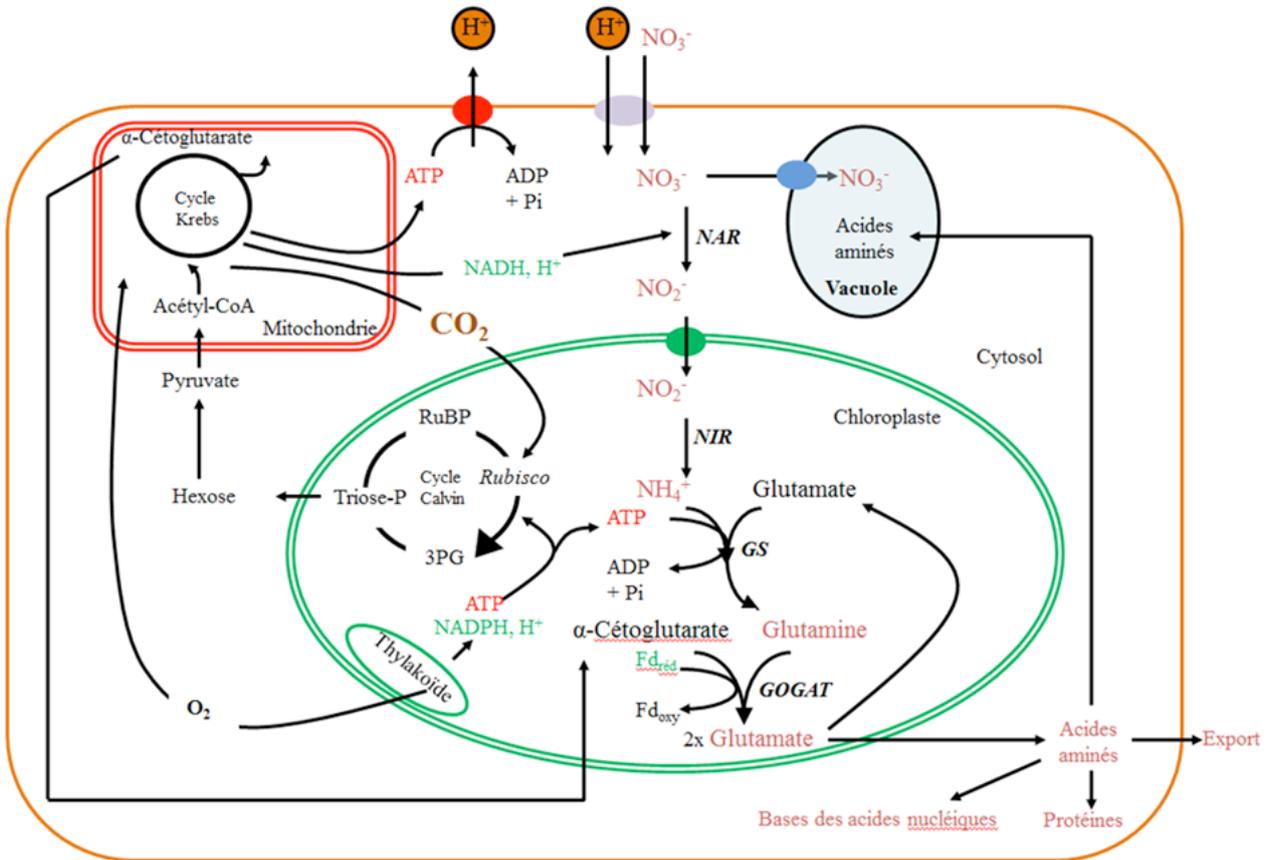


Figure 31b : Assimilation de l'azote et coopération inter-organites dans la cellule chlorophyllienne d'une herbacée

(in Segarra et al., à paraître)



GOGAT, glutamate syntase ; GS, glutamine syntase ; NAR, nitrate réductase ; NIR, nitrite réductase.

Figure 32 : Mise en évidence expérimentale de la photorespiration

(in Segarra et al., à paraître)

Dégagement de $^{14}\text{CO}_2$
(coups/min)



Des fragments de feuilles de tabac (plante en C_3) et de maïs (plantes en C_4) sont d'abord placés, sous éclairage, en présence de $^{14}\text{CO}_2$ pendant un certain temps. Le matériel biologique est ensuite transféré dans un environnement sans CO_2 , à la lumière puis à l'obscurité, l'on compare alors le rejet de $^{14}\text{CO}_2$.

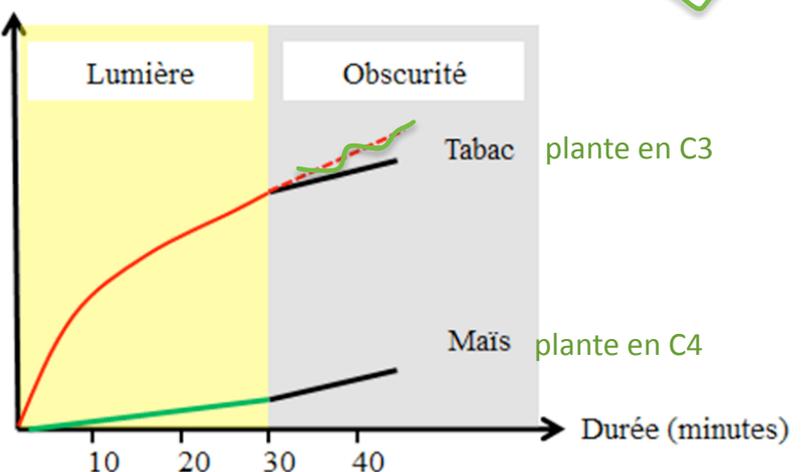


Figure 33 : La RubisCO catalyse 2 réactions : carboxylation et oxygénation

Teneur en gaz	Activité de la RubisCO	Réaction catalysée	⇒ Voie métabolique
P CO ₂ forte	Activité C arboxylase	Carboxylation : RuBP + CO ₂ → phosphoglycérate	⇒ Photosynthèse
P O ₂ forte	Activité O xygénase	Oxygénation : RuBP + O ₂ → phosphoglycérate + glycolate = molécule à 2 carbones + libération de CO ₂	⇒ Photorespiration

Figure 34 : Effet de O₂ sur l'activité carboxylase de la RubisCO

(Expérience de Ogren et Bowes, 1971, sur une préparation de RubisCO en présence de 0,1 mM de RuBP).

In : Farineau J. et Morot-Gaudry F., 2006, *La photosynthèse : Processus physiques, moléculaires et physiologiques.*

Représentation en double-inverse de Lineweaver Burk

→ De quel type d'inhibiteur s'agit-il ?

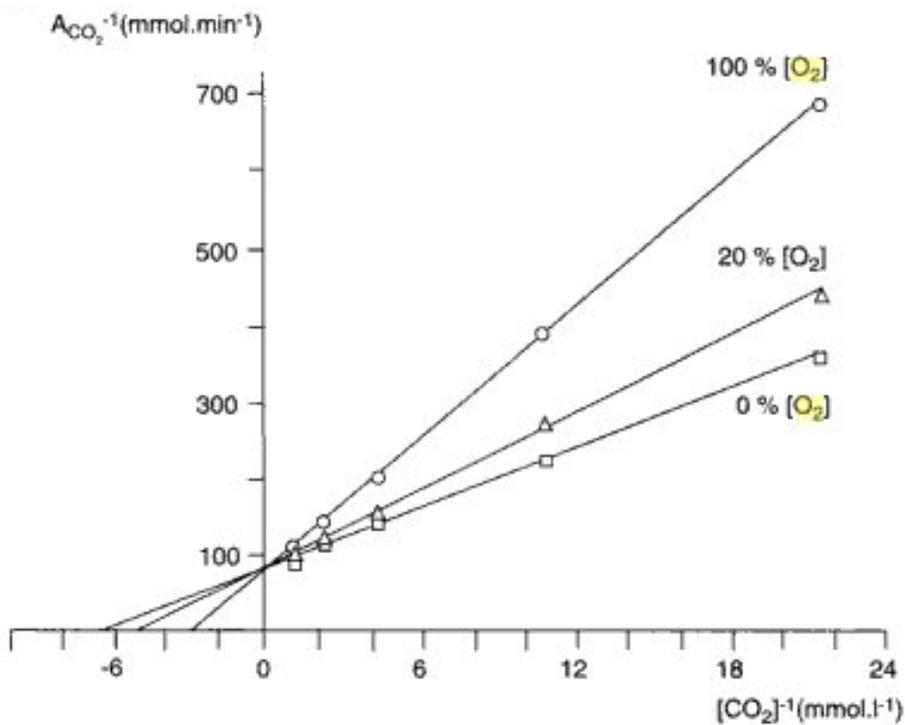


Figure 35 : effet de la PO_2 sur la photosynthèse nette

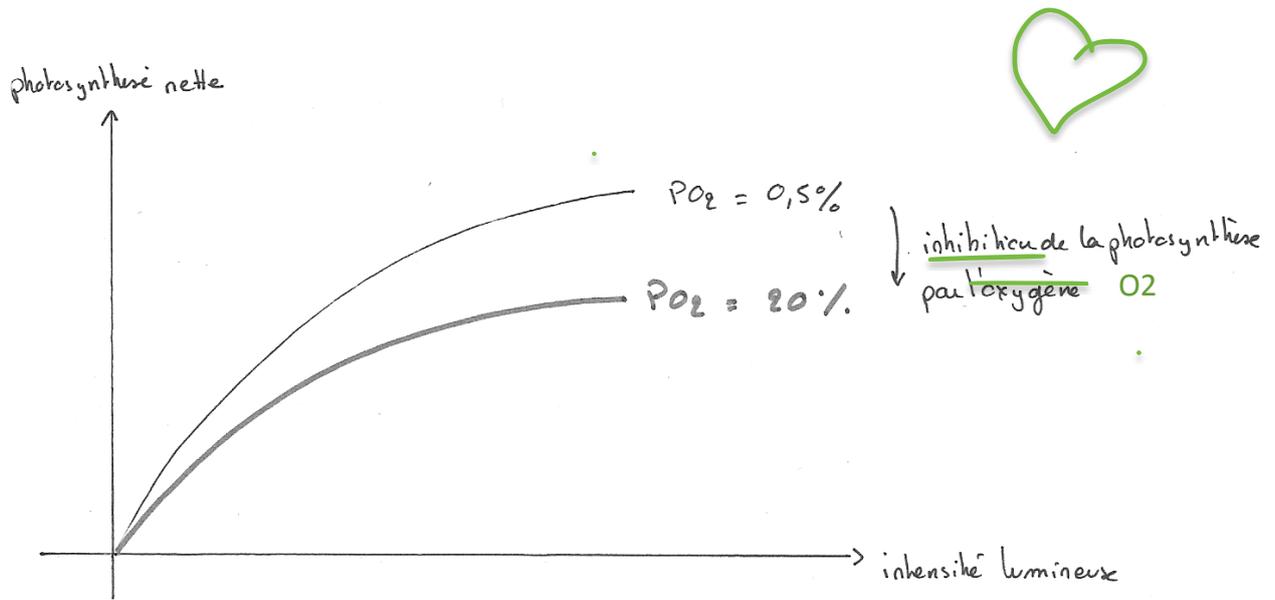
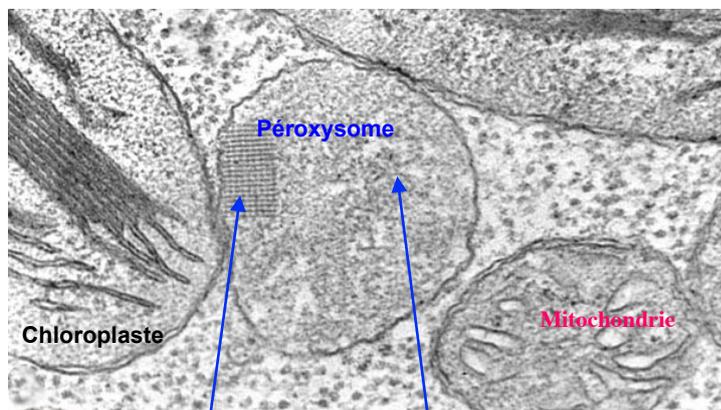
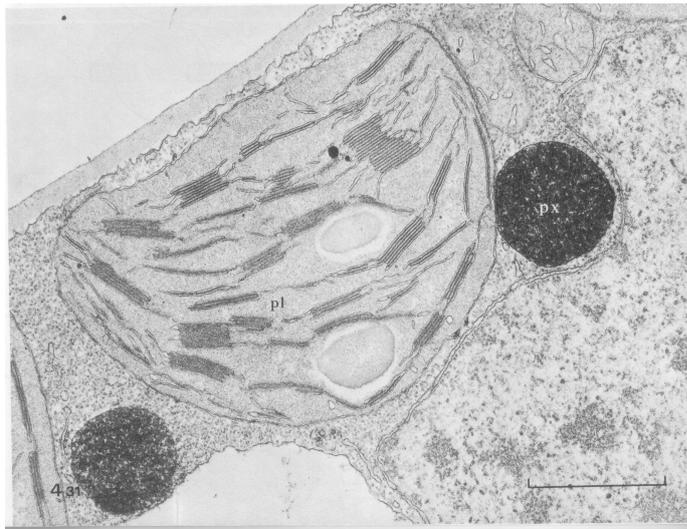


Figure 36 : Chloroplaste au MET



cristaux d'oxalate de Ca^{2+} catalase

Figure 37 : La photorespiration

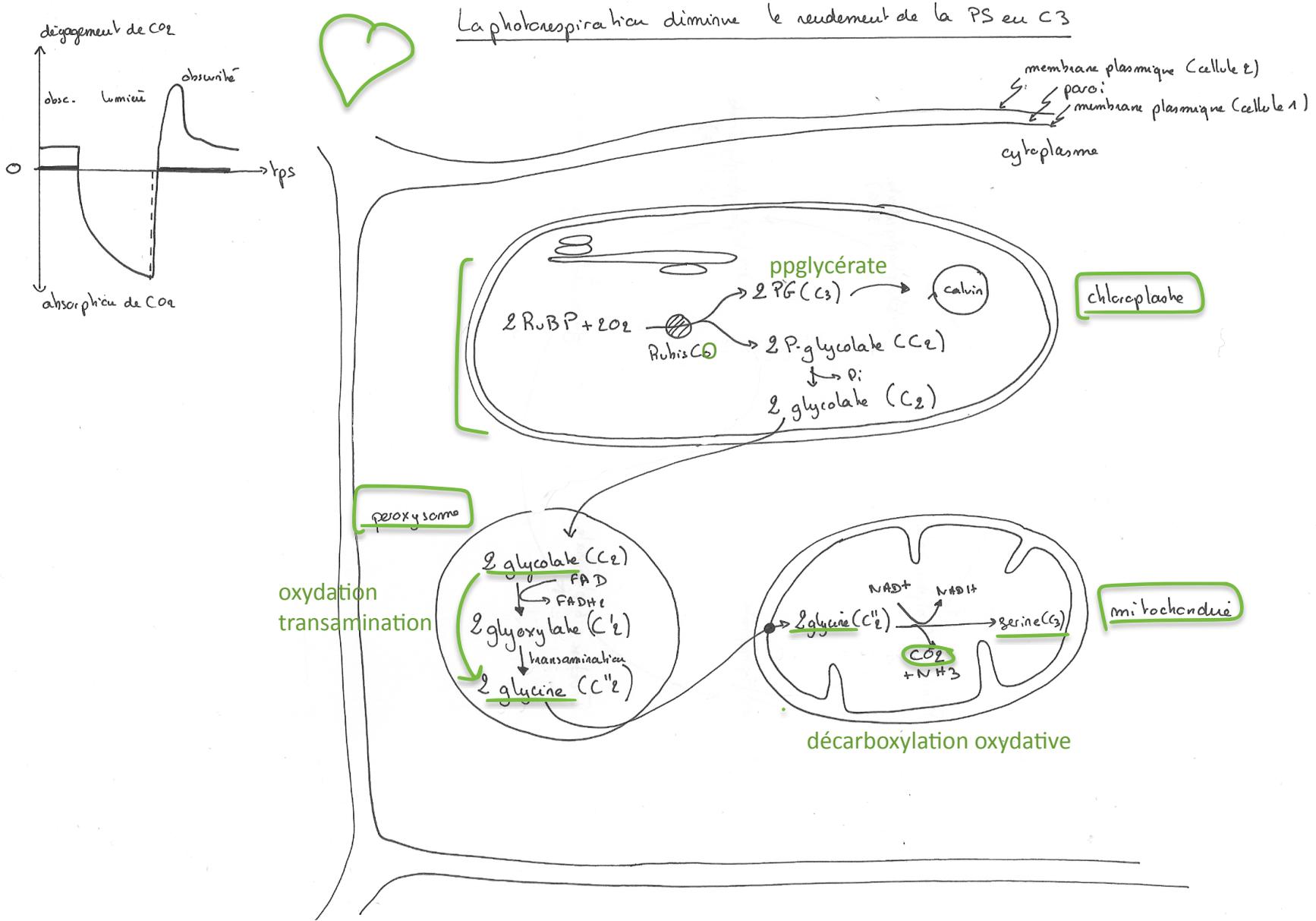


Figure 38 : Schéma de coupe transversale de feuille de deux Monocotylédones : une plante en C3 et une plante en C4

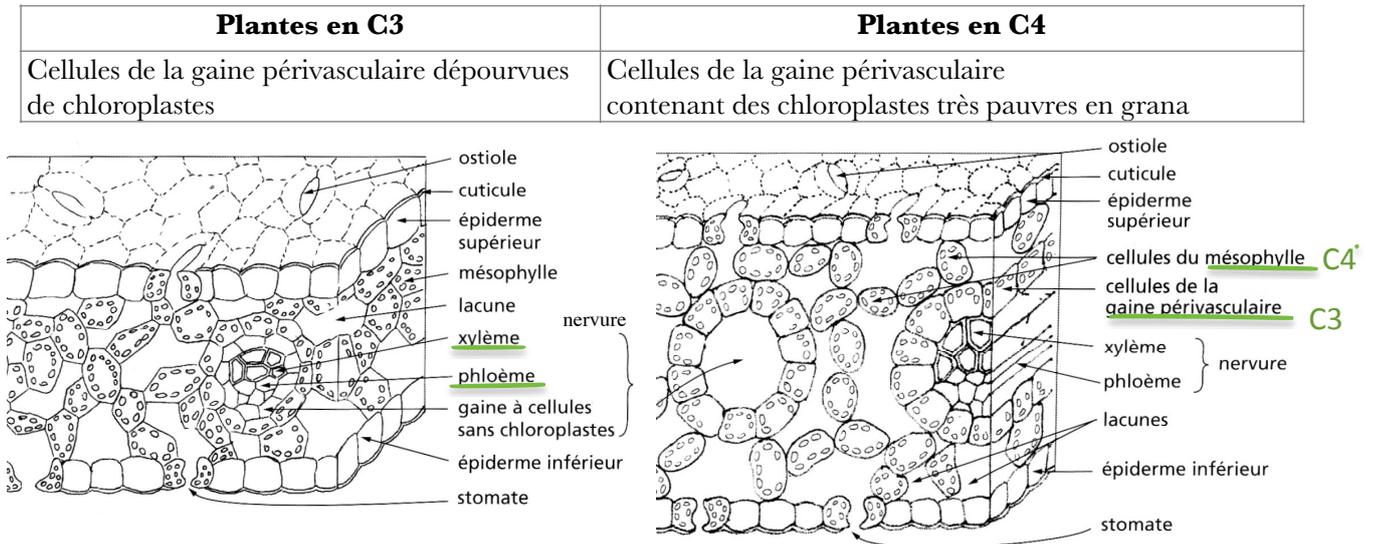


Figure 39 : Cellule du mésophylle et cellule de la gaine périvasculaire, chez une plante en C4 : comparer les chloroplastes et observer les plasmodesmes (MET)

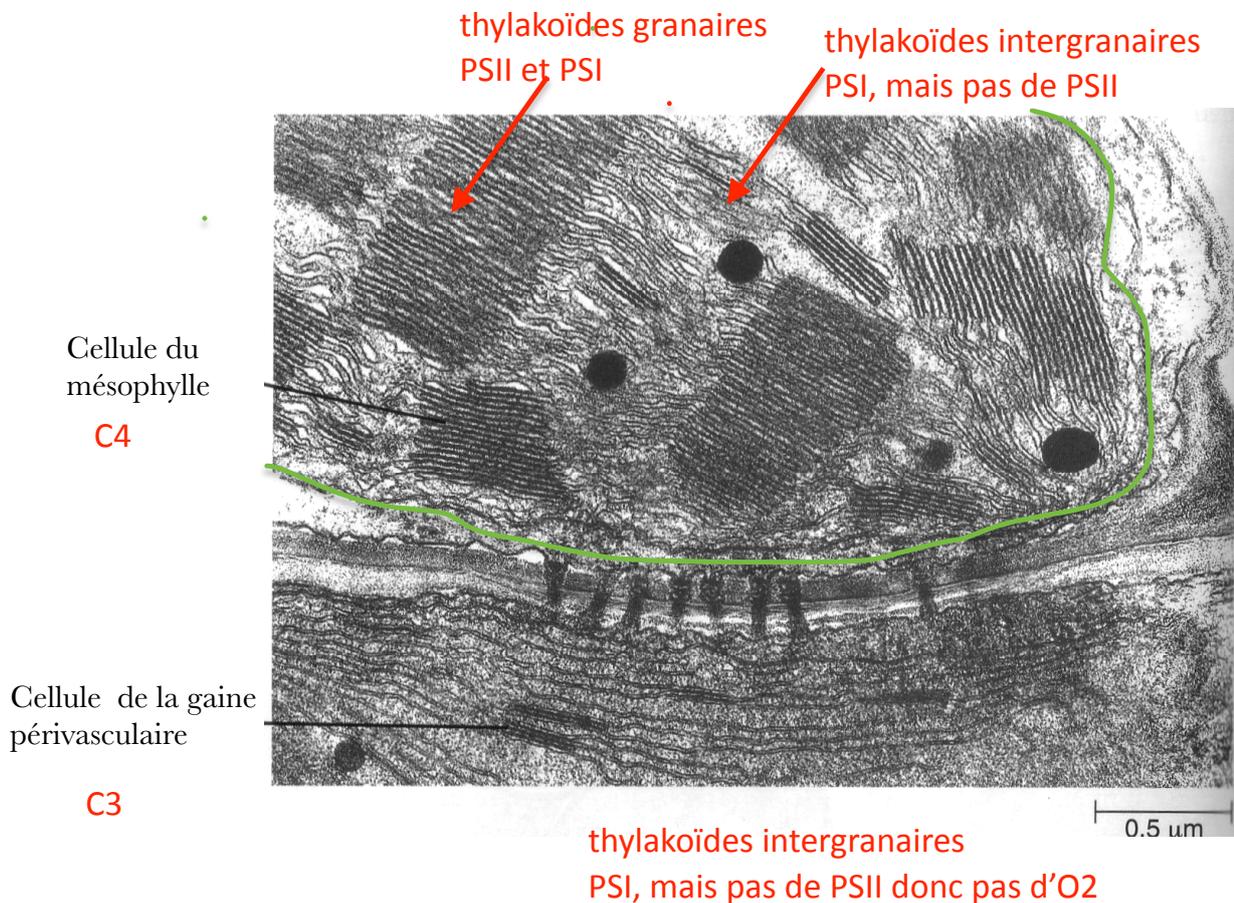


Figure 40 : Comparaison histologique et cytologique des cellules de mésophylle et des cellules de la gaine périvasculaire chez les plantes en C4

	Cellule du mésophylle	Cellule de la gaine périvasculaire (avec chloroplastes !)	Cellule du parenchyme chlorophyllien d'une plante en mésophylle
Enzymes présentes	Anhydrase carbonique et PEP carboxylase dans le cytosol (pas de RubisCO)	RubisCO (et autres enzymes du cycle de Calvin) dans le stroma (pas de PEP carboxylase)	RubisCO (et autres enzymes du cycle de Calvin) dans le stroma
Chloroplastes	granaires + agraires	agraires	Granaires et agraires
Photosystèmes et	PSII et PSI	PSI	PSII et PSI
Photophosphorylation	→ Cyclique et acyclique O2 produit	→ Cyclique pas de production d'O2	→ Cyclique et acyclique

Figure 41 : photosynthèse chez les plantes en C4 : coopération entre cellules du mésophylle et de la gaine périvasculaire

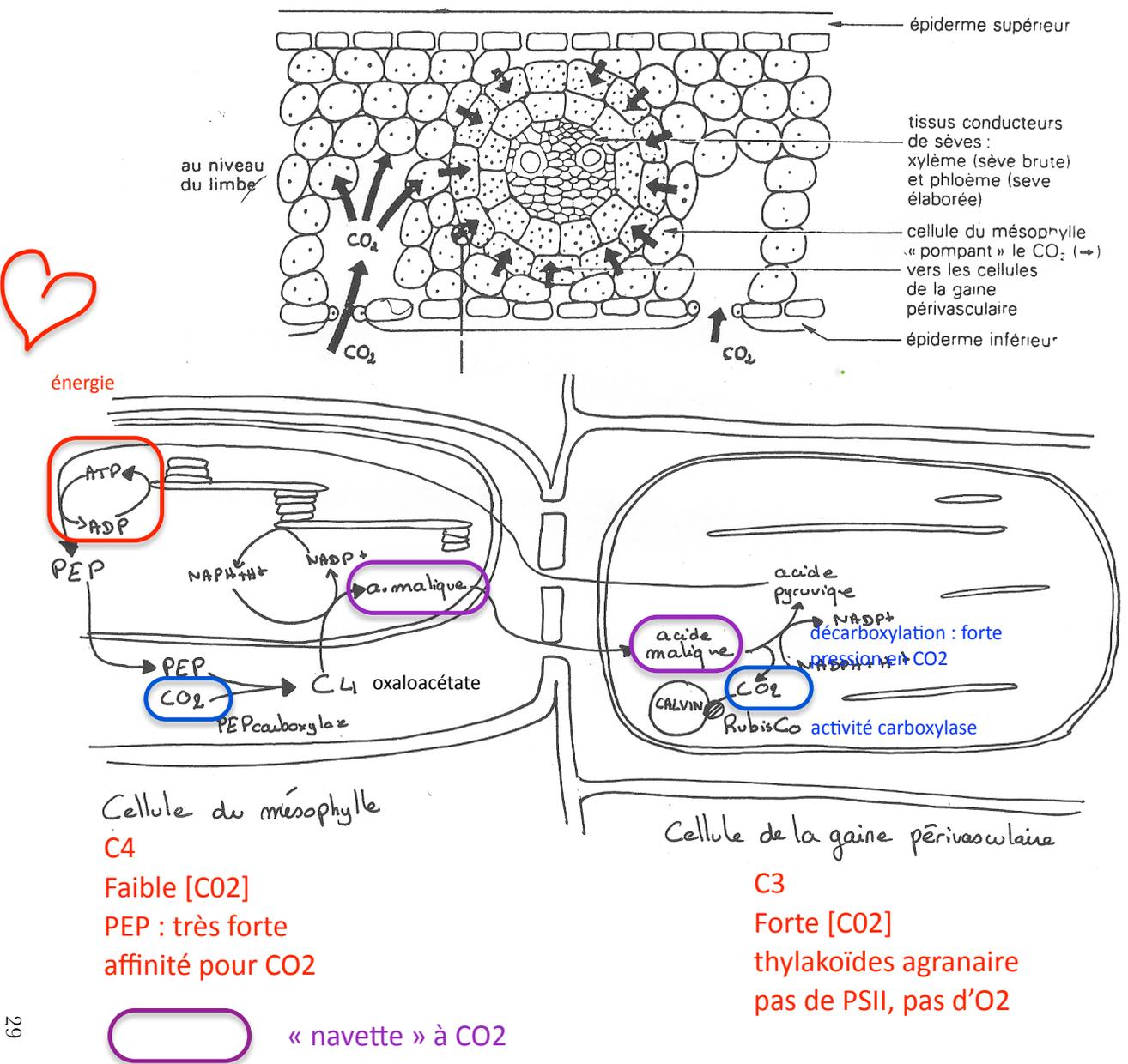


Figure 43 : Comparaison bactérie nitrifiante / chloroplaste
(in Segarra et al., Ellipses)



source énergie

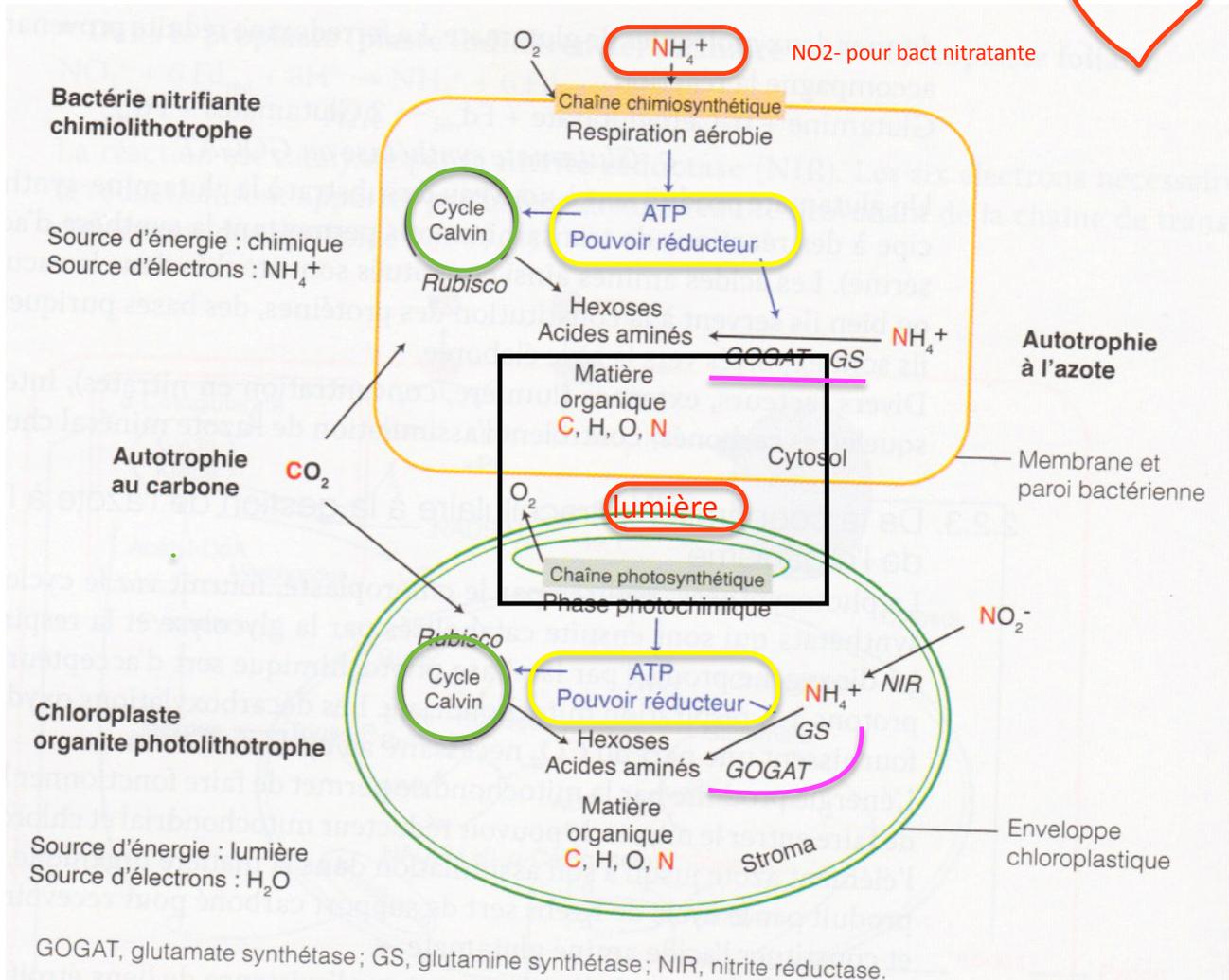


Figure 44 : Schéma bilan de la respiration cellulaire (chimiorganotrophie)

