



Lycée François-René de CHATEAUBRIAND  
 136 BOULEVARD DE VITRÉ, CS 10637  
 35706 RENNES CEDEX 7  
**CLASSE PRÉPARATOIRE BCPST 1**  
 Biologie Chimie Physique Sciences de la Terre

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)  
 °° SCIENCES DE LA VIE °°  
 >> Cours <<

Chapitre 10

Métabolisme 2

Le devenir de la matière organique

PROPOSITION DE FICHE À COMPLÉTER

Objectifs : extraits du programme

Savoirs visés	Capacités exigibles
<b>SV-E-2 Le devenir de la matière organique</b>	
<p>Dans les cellules, aussi bien autotrophes qu'hétérotrophes, la matière organique a trois devenirs : elle peut (1) être stockée ou exportée, (2) servir à la biosynthèse de nouvelles molécules organiques, ou (3) entrer dans les voies cataboliques fournissant son énergie à la cellule.</p> <p>(1) Le stockage de la matière organique permet de constituer des réserves.</p> <p>Chez les Chlorophytes, les trioses phosphates produits par le cycle de Calvin sont stockés transitoirement sous forme d'amidon dans le stroma chloroplastique ou sont convertis en glucides exportables vers d'autres cellules.</p> <p>Le glucose absorbé par une cellule hétérotrophe animale peut être stocké sous forme de glycogène dans le cytosol. Le stockage ou le déstockage des réserves glucidiques dépend de l'activité d'enzymes.</p>	<p>- Réaliser des colorations de tissus afin d'identifier différentes réserves cellulaires au microscope optique.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>                  Pour le stockage et le déstockage, on se limite à l'exemple de la glycogène synthase et de la glycogène phosphorylase. Aucun détail sur les enzymes et leur contrôle, autres que ceux présentés sur la glycogène phosphorylase dans le cours d'enzymologie, n'est attendu. Le détail des mécanismes catalytiques des réactions en jeu est hors programme.</p>	
<p>(2) La matière organique permet de synthétiser de nouvelles molécules : c'est l'anabolisme. Les principales molécules du vivant ont un squelette carboné qui dérive d'intermédiaires de voies du métabolisme.</p> <p>Des interconversions entre familles de molécules sont possibles, elles aboutissent à la biosynthèse des principales molécules à rôle structural, métabolique ou informationnel à partir de carrefours métaboliques.</p>	<p>- Illustrer la notion de carrefour métabolique à partir de l'exemple de l'acétyl Coenzyme A</p>

<p><b>Précisions et limites :</b>                  Le panorama se limite aux points suivants :                  - localisation cellulaire de la biosynthèse des principales molécules ;                  - voie d'acheminement des molécules vers leur localisation fonctionnelle, en se limitant au cas de l'adressage des protéines.                  La présentation des interconversions se limite aux exemples suivants, sans détail des réactions chimiques et des différentes étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• synthèse d'acides gras et lipides à partir d'acétyl coenzyme A ;</li> <li>• synthèse de polysides à partir de glucose-1-phosphate ou de glucose-6-phosphate (végétaux) ;</li> <li>• synthèse d'acides aminés (alanine) à partir de pyruvate.</li> </ul>	
<p>(3) La matière organique absorbée ou stockée peut entrer dans les voies cataboliques desquelles la cellule tire son énergie. Le catabolisme peut être oxydatif aérobie (respiration) ou non (fermentation).</p>	
<p>La glycolyse est une voie métabolique permettant la biosynthèse d'ATP (par transphosphorylation ou phosphorylation liée au substrat), de coenzymes réduits et de pyruvate par une chaîne de réactions partant du glucose. L'oxydation du glyceraldéhyde-3-P dans le cytosol en est une réaction clef.</p> <p>La glycolyse est l'objet d'un contrôle cellulaire. Il participe à l'ajustement de la production d'ATP aux besoins de la cellule.</p> <p>Dans le cas de la fermentation, la glycolyse est la seule voie de production d'ATP. Des réactions biochimiques spécifiques de chaque voie fermentaire oxydent les coenzymes réduits, les rendant à nouveau disponibles pour la glycolyse.</p>	<p>- Construire un bilan de matière et d'énergie de la glycolyse.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>                  Le bilan énergétique de la glycolyse est à connaître.                  Seules les fermentations lactique et alcoolique sont à connaître.                  Le contrôle de la glycolyse se limite au cas de la phosphofructokinase 1 (PFK1).</p>	
<p>Le cycle de Krebs est une voie de convergence du catabolisme utilisant l'acétyl-CoA chez toutes les cellules à catabolisme aérobie. Il réalise la décarboxylation oxydative totale des composés, couplée à la production de nucléotides énergétiques et la réduction de coenzymes.</p>	<p>- Construire un bilan de matière et d'énergie du cycle de Krebs.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>                  En dehors de l'équation bilan du cycle de Krebs, seules les réactions suivantes sont attendues :                  - entrée de l'acétyl-coA dans le cycle de Krebs                  - réactions conduisant de l'alpha-cétoglutarate au succinate en montrant les couplages entre réaction d'oxydo-réduction et transphosphorylation.</p>	
<p>La chaîne respiratoire est une chaîne de transfert d'électrons issus de coenzymes réduits vers un accepteur final minéral à plus fort potentiel d'oxydoréduction. Ce transfert est associé à des conversions chimio-osmotiques (via la chaîne respiratoire) et osmo-chimiques (via l'ATP synthase) qui permettent la production d'ATP. L'ATP est donc synthétisée en quantité variable selon le métabolite initial et la voie métabolique.</p>	<p>- Schématiser l'organisation fonctionnelle de la chaîne respiratoire.                  - Expliquer le modèle de la chaîne respiratoire en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction (<math>\Delta E'</math>) et d'enthalpie libre de réaction (<math>\Delta rG'</math>).                  - Comparer les chaînes de transfert d'électrons des chloroplastes et des mitochondries.                  - Comparer le bilan énergétique de la respiration cellulaire avec pour substrat initial le glucose et un acide gras.                  - Comparer le bilan de production d'ATP de la fermentation et de la respiration</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>                  Les acquis de spécialité de terminale sont remobilisés. Le fonctionnement des translocateurs de protons de la chaîne respiratoire n'est pas attendu.                  La liste des transporteurs d'électrons n'est pas exigible.</p>	
<p><b>Liens :</b>                  Nutrition d'un organisme végétal (SV-B-2)                  Rôle énergétique des biomolécules (SV-D-2)                  Enzymes et couplages (SV-E-3)                  Expression génétique, traduction, adressage (SV-F-2)</p>	

## Introduction

Devenirs de la matière organique :

### - catabolisme :

Réactions souvent **oxydatives** et **exergoniques** (libératrices d'énergie)

- 
- 

### - anabolisme :

Réactions souvent **réductrices** et **endergoniques** (consommatrices d'énergie)  
⇒ **couplées** à des **travaux exergoniques**

- 
- 

### - réserves (production / mobilisation) :

(!) Possibilité d'**exporter** de la **matière organique**

Comment la matière organique est-elle utilisée dans les cellules (surtout eucaryotes) ?

Bilan (adapté du programme)

✓ Dans les **cellules**, aussi bien **autotrophes** qu'**hétérotrophes**, la **matière organique** a **trois devenir** : elle peut (1) être **stockée** ou **exportée**, (2) servir à la **biosynthèse** de **nouvelles molécules organiques**, ou (3) entrer dans les **voies cataboliques** fournissant son **énergie** à la cellule.

## I. Une matière organique qui peut être oxydée lors de la production d'ATP : le catabolisme oxydatif

**Hydrolyse d'ATP** : principale réaction **exergonique** source d'énergie de la cellule.  
ATP = présente en **faible concentration** dans les **cellules** (de l'ordre de  $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

mais cette **concentration instantanée** ne saurait masquer un **renouvellement constant** par le **catabolisme**  
Chez un homme adulte de **70 kg**, il y aurait en moyenne plus de **40 kg d'ATP consommés et régénérés** chaque jour.

### A. Le catabolisme oxydatif : une vue d'ensemble

#### 1. La notion de respiration cellulaire : une oxydation complète de la matière organique

Respiration cellulaire :

Contours définitionnels variables !

- s. strict : = **mécanismes mitochondriaux**
- s. large 1 : = **catabolisme oxydatif aérobie (tous composés)**
- s. large 2 : = **catabolisme oxydatif du glucose**

#### 2. L'exemple du catabolisme du glucose : une vision globale

##### a. Équation-bilan de la respiration cellulaire (sens large)

→ Suppose **EGR** (échanges gazeux respiratoires) :

Respiration (échelle de l'organisme) :

Ne pas confondre « **respiration** » tout court et « **respiration cellulaire** »

##### b. Trois étapes principales

Glycolyse (voie d'EMBDEN-MEYERHOF) :

Équation :

- **Hyaloplasmique**
- Pas d'intervention de gaz respiratoires
- **Production** de (pour 1 molécule de glucose) :
  - > **2 ATP** (4 ATP en réalité, mais 2 consommés) [*phosphorylation au niveau du substrat*]
  - > pouvoir réducteur : **2 NADH, H<sup>+</sup>**
- Que des **couplages chimio-chimiques**

## β. Le cycle de KREBS au niveau de la matrice mitochondriale

Cycle de KREBS (= cycle des acides tricarboxyliques = cycle de l'acide citrique) :

Équation :

- Mitochondrial (matrice)
- Production de  $\text{CO}_2$  [oxydation de matière organique par décarboxylation]
- Production de (pour 1 molécule de glucose initiale) :
  - > 2 ATP [[phosphorylation au niveau du substrat](#)]
  - > pouvoir réducteur : 8  $\text{NADH, H}^+$  + 2  $\text{FADH}_2$
- Que des couplages chimio-chimiques

## γ. La chaîne respiratoire et la phosphorylation oxydative au niveau de l'espace intermembranaire

Chaîne respiratoire :

-  
-  
-

ATP synthase (membrane interne) → production d'environ 34 ATP (pour 1 molécule initiale de glucose)

[Phosphorylation oxydative](#)  
[couplage globalement chimio-chimique]

▲ FIGURE 1. Vue d'ensemble de la respiration cellulaire au sens large. D'après MARIEB (2005)

On notera la production d'ATP à toutes les étapes.

On notera la production de pouvoir réducteur ( $\text{NADH, H}^+$  +  $\text{FADH}_2$ ) lors de la glycolyse et du cycle de KREBS puis sa consommation par oxydation lors de la phosphorylation oxydative.

## c. L'existence d'oxydations incomplètes et anaérobies de matière organique : les fermentations

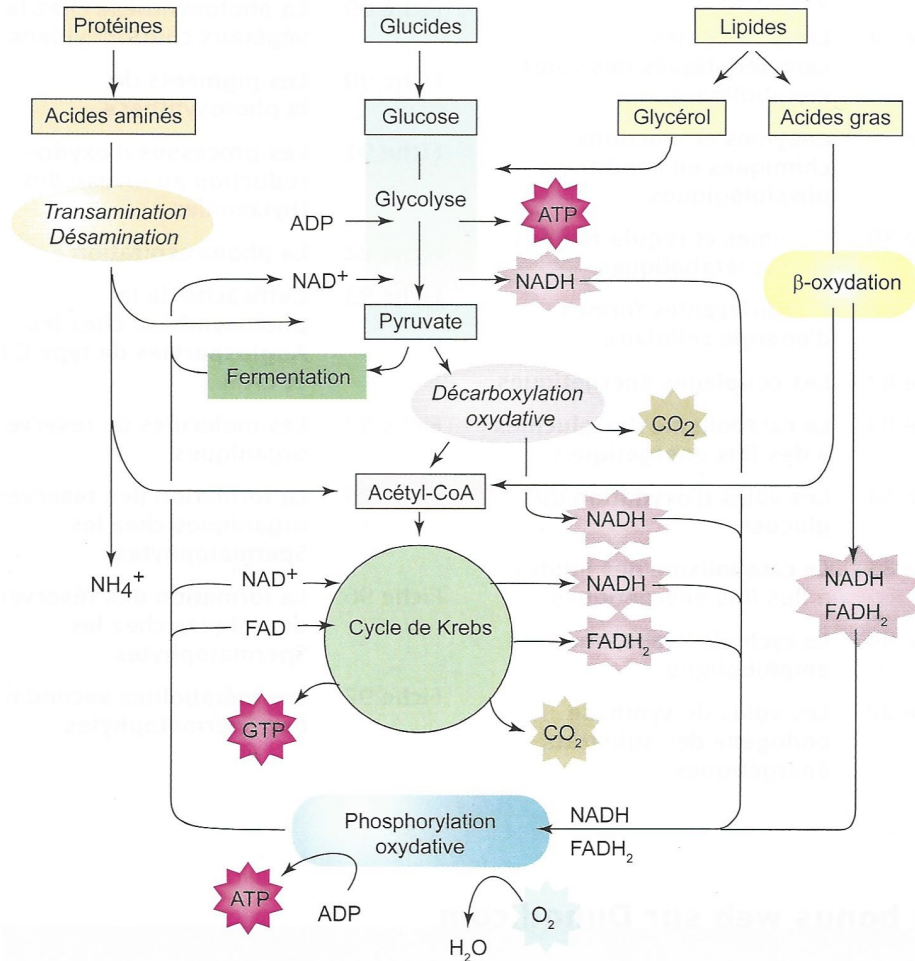
Fermentation :

Bilan : 2 ATP produites  
Anaérobie *pour les [exemples au programme](#)*

### 3. L'existence d'autres voies d'entrée dans le catabolisme oxydatif : autres oses, glycérol, acides gras, acides aminés

a. Les polymères, dimères, etc. (peptidiques, glucidiques...) : une préalable dépolymérisation

b. Les oses, des substrats pouvant entrer dans la glycolyse (ou la voie des pentoses phosphates)



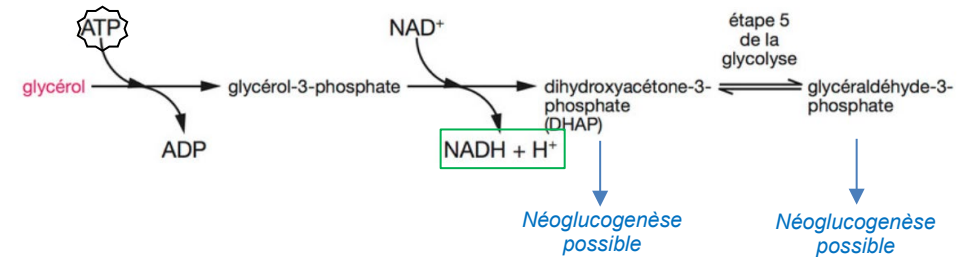
▲ FIGURE 3. Principales voies du catabolisme oxydatif des cellules eucaryotes. D'après RICHARD *et al.* (2015)

- Chez les **Mammifères**, seuls les **hépatocytes** peuvent métaboliser le fructose ; on y trouve une **fructokinase** capable de **phosphoryler** (à partir d'ATP) le **fructose**.
- Chez les **Mammifères**, la plupart des **tissus** peuvent métaboliser le **galactose** (grâce à une **galactokinase** initiant la **voie de LELoir**).

#### Voie des pentoses phosphates :

Il s'agit d'une **voie majeure**, mais elle est **hors programme**.

#### c. Le glycérol, un substrat pouvant entrer dans la glycolyse



▲ FIGURE 4. **Entrée du glycérol dans la glycolyse [pour information]**. Document G. CHABOT, dans MAHEU (2014)

#### d. Les acides gras, substrats possibles de la β-oxydation (= hélice de LYNEN)

#### e. Les acides aminés, substrats possibles de transaminations et désaminations

#### f. Et les nucléotides ? Des substrats rarement catabolisés

### B. La glycolyse, une oxydation partielle du glucose en pyruvate

#### 1. Une dizaine de réactions que l'on peut diviser en deux phases clés : investissement puis remboursement d'énergie

Deux parties (décrire les points essentiels) :

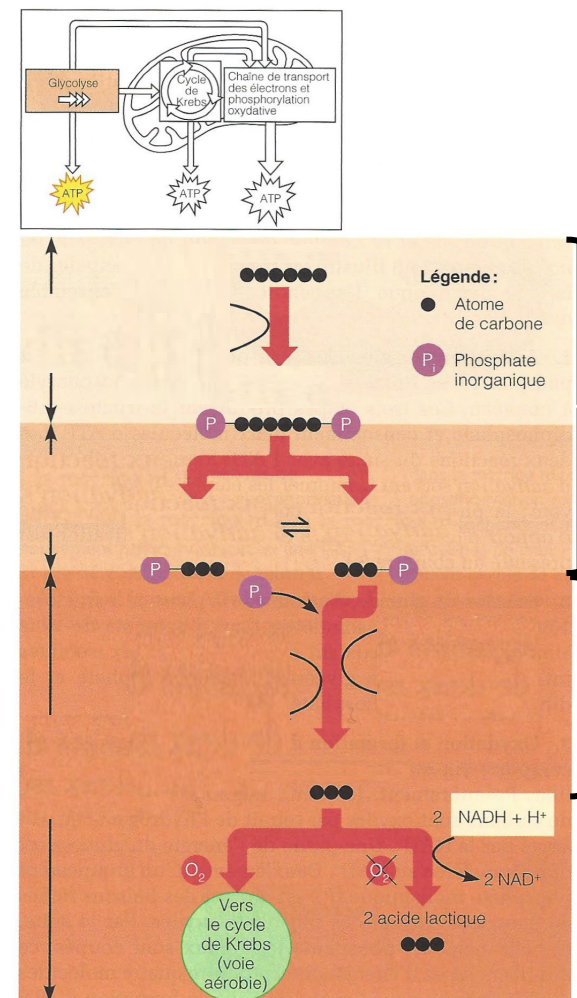
- Phase d'investissement de l'énergie :

Remarques :

- Enzyme 1 :
- Enzyme 3 :
- Production de **2 trioses phosphates** (PGAL) à l'arrivée [*plus faciles à oxyder que les hexoses où le groupement carbonyle est souvent masqué par la cyclisation*]
- **Phase de remboursement (= récupération) de l'énergie :**

Remarques :

- Production de **4 ATP** mais, comme la phase 1 a consommé 2 ATP, **seuls 2 ATP** sont produits en **net**
- Production de **pouvoir réducteur (2 NADH, H<sup>+</sup>)**
- Production de **2 pyruvates**



**Les trois principales phases de la glycolyse.**

Au cours de la phase 1, le glucose est activé par phosphorylation et converti en fructose-1,6-diphosphate. À la phase 2, le fructose-1,6-diphosphate est scindé en deux fragments de trois atomes de carbone (isomères interconvertibles). Au cours de la phase 3, les fragments à trois atomes de carbone sont oxydés (par retrait d'hydrogène) et quatre molécules d'ATP sont ainsi formées. La destinée de l'acide pyruvique dépend de la présence ou de l'absence d'O<sub>2</sub> moléculaire.

**▲ FIGURE 6. Une vision complète mais simple de la glycolyse.**

D'après RICHARD *et al.* (2015), adapté  
Les réactions (1), (3) et (10) sont irréversibles.

**▲ FIGURE 8. Une autre vision de la glycolyse.** D'après MARIEB (2005)

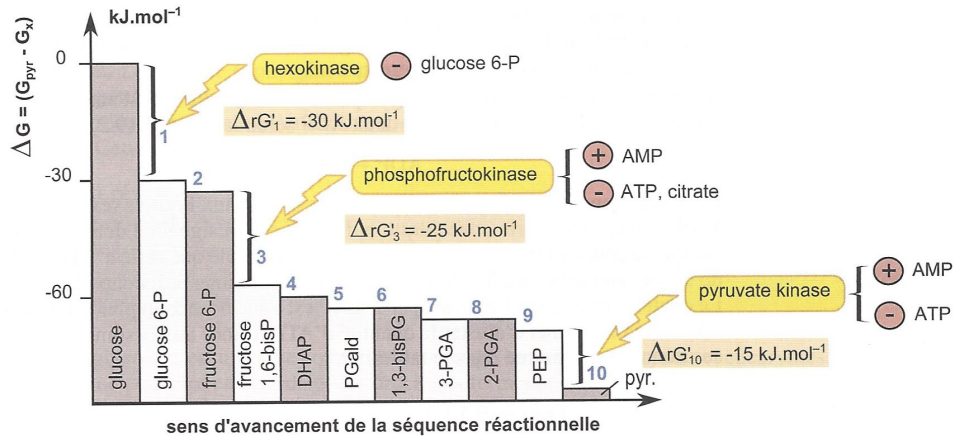
On notera que **certains auteurs** divisent la **glycolyse** en **3 phases** plutôt que 2 (la scission de F-1,6-BisP constitue pour eux une **phase supplémentaire**)

### Bilan énergétique de la glycolyse

- Notons que, comme la première phase a consommé 2 ATP, la production nette de la glycolyse est donc de 2 ATP seulement (figure 9).
- 2 pouvoirs réducteurs (NADH,H<sup>+</sup>) ont aussi été produits.
- Enfin, 2 pyruvates ont été générés.

## 2. Le contrôle de la glycolyse

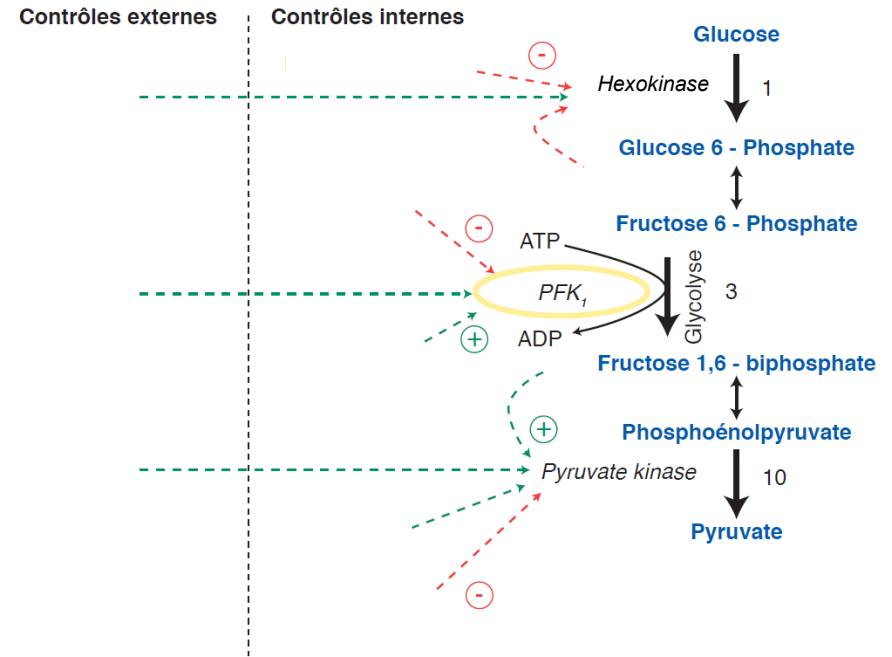
### a. Le rôle clef des trois réactions irréversibles [(1), (3), (10)] à forte variation d'enthalpie libre



▲ FIGURE 10. **Diagramme énergétique de la glycolyse.** D'après PEYCRU *et al.* (2013)  
Les réactions (1), (3) et (10) sont irréversibles et fortement exergoniques.

### b. Des enzymes (HK, PFK1, pyruvate kinase) rétroinhibées ou rétrostimulées par les métabolites de la glycolyse et de la respiration

= 3 points de contrôle :



▲ FIGURE 11. **Le contrôle de la glycolyse.** D'après SEGARRA *et al.* (2014)  
**À compléter en couleurs (vert / rouge)**

### c. Chez les Mammifères : un contrôle hormonal de la glycolyse (ex. insuline, glucagon)

## C. Le devenir du pyruvate

### 1. En conditions aérobies : entrée dans la mitochondrie et conversion en acétyl-CoA par décarboxylation oxydative avec production de pouvoir réducteur (NADH,H<sup>+</sup>)

▲ FIGURE 11bis. **Entrée du pyruvate dans la mitochondrie et conversion en acétyl-coenzyme A dans la matrice (pat le complexe pyruvate déshydrogénase).** D'après CAMPBELL & REECE (2004)

- Passage de la **membrane externe** par des **porines**.

**Porines :**

- Passage de la membrane interne par **perméase** (passif) ou **symport avec H<sup>+</sup>** (voire K<sup>+</sup> ?) (actif)  
- Pour **deux pyruvates**, **production de 2 acétyl-CoA** et **2 NADH,H<sup>+</sup>**  
[Et **2 CO<sub>2</sub>**, en lien avec la **décarboxylation** du pyruvate]

## 2. En conditions anaérobies\* chez certaines cellules : la fermentation qui ré-oxyle les coenzymes préalablement réduits par la glycolyse

\* Comme je l'ai dit **plus haut**, il existe des **fermentation aérobie**s (hors programme)

**Fermentation :**

### a. Deux types de fermentations en fonction du produit formé : la fermentation alcoolique et la fermentation lactique

Il en existe en fait bien d'autres...

**Fermentation alcoolique :**

**Fermentation lactique :**

### b. Intérêts biologiques de la fermentation

La fermentation présente de **nombreux intérêts et applications industriels** : voir **Biotechnologies**.

- **Faible production d'ATP** par rapport à la **respiration cellulaire complète**  
- **Intérêts** néanmoins :

>

>

>

Chez les **Mammifères**, le **lactate** est un **déchet** qui **s'accumule** dans le **sang** mais il est **détoxifié** et **reconverti** en **glucose** dans le **foie**.

## Rappel du chapitre 8

**Coenzyme A (CoA) :**



FERMENTATION ALCOOLIQUE

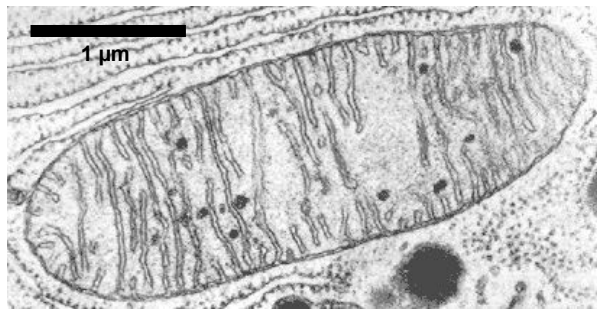
FERMENTATION LACTIQUE

▲ **FIGURE 13. Deux types de fermentations.** D'après CAMPBELL & REECE (2004)

## D. Dans les mitochondries : une oxydation complète des substrats organiques (respiration cellulaire au sens strict)

### 1. Rappels sur la structure des mitochondries

▲ FIGURE 45. Rappel de l'organisation des mitochondries. D'après ALBERTS *et al.* (2004)



▲ FIGURE 46. Rappel de l'ultrastructure (MET) des mitochondries.

<https://sites.google.com/site/testtpeilm/home/de-l-aliment-a-d-atp> (consultation mars 2016)

### 2. Le cycle de KREBS : un ensemble de réactions matricielles cycliques produisant une importante quantité de pouvoir réducteur

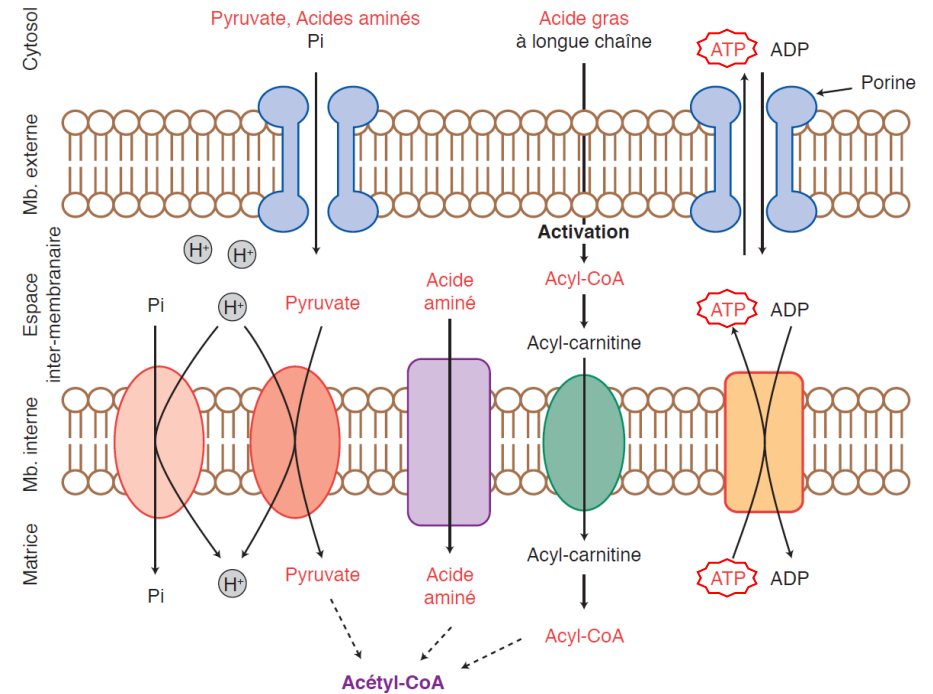
Cycle des KREBS = cycle de l'acide citrique = cycle des acides tricarboxyliques :

Intérêts :

-  
-  
-

S'ajoutant aux deux molécules de CO<sub>2</sub> produites lors de la conversion du pyruvate en acétyl-CoA, on arrive donc à **6 molécules de CO<sub>2</sub> au total produites par la respiration.**

### 3. Entrée des petits métabolites dans les mitochondries [pour information ?]



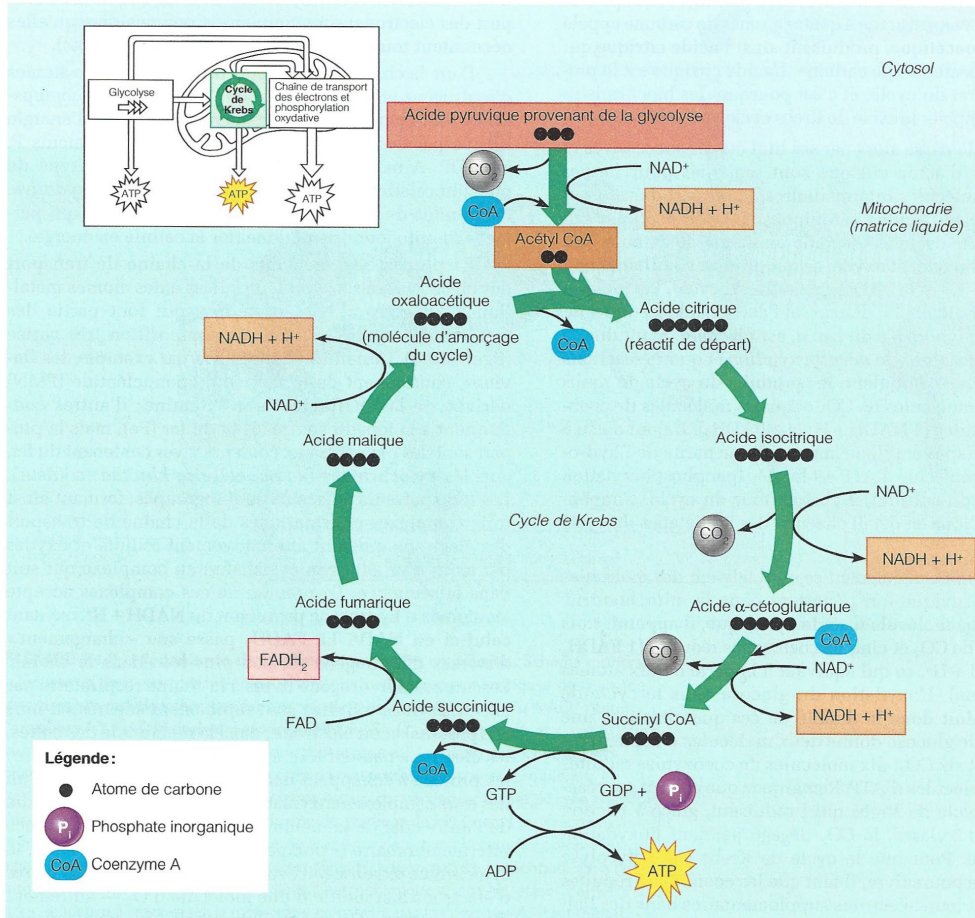
▲ FIGURE 17. Une illustration de la diversité des mécanismes d'entrée des métabolites dans la mitochondrie [pour information ?]. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

+ Existence de **navettes**

**Le NADH, H<sup>+</sup> n'entre pas vraiment dans la mitochondrie, de même que le NAD<sup>+</sup> n'en sort pas vraiment :** le NADH, H<sup>+</sup> réduit un composé cytosolique, par exemple l'oxaloacétate en malate qui, dans la matrice, réduit à son tour du NAD<sup>+</sup> en NADH, H<sup>+</sup> (encadré B) ; un système symétrique permet la « sortie » des coenzymes oxydés.

Certaines navettes à coenzymes consomment l'ATP produit par glycolyse. Les navettes sont tissu-spécifiques.





**Représentation simplifiée du cycle de Krebs.** À chaque tour du cycle, deux atomes de carbone sont retirés des substrats sous forme de CO<sub>2</sub> (réactions de décarboxylation); quatre réactions d'oxydation par perte d'atomes d'hydrogène se déroulent et donnent quatre molécules de coenzymes réduites (3 NADH + H<sup>+</sup> et 1 FADH<sub>2</sub>); une molécule d'ATP est synthétisée par phosphorylation au niveau du substrat. Une autre réaction de décarboxylation et une réaction d'oxydation convertissent l'acide pyruvique, qui est le produit de la glycolyse, en acétyl CoA, la molécule qui entre dans le cycle de Krebs.

▲ **FIGURE 19. Le cycle de KREBS complet.** D'après MARIÉB (2005)

▲ **FIGURE 21. Cycle de KREBS simplifié.** D'après CAMPBELL & REECE (2004)

**Figures 18-21 :** Pensez à **doubler les quantités** pour obtenir la **stœchiométrie** valable pour une **molécule de glucose** initiale !

**Équation-bilan du cycle de KREBS :**

Remarques :

- multiplier par 2 la stœchiométrie si l'on considère une molécule de glucose initiale
- comme la GTP sert in fine à produire de l'ATP, on peut aussi exprimer cette équation-bilan ainsi :

**Est-ce que retenir la figure 21 et l'équation bilan suffit ?**

C'est déjà un très bon début.

Le programme demande en outre de connaître (figure 22) :

- la réaction (1) d'entrée de l'acétylCoA dans le cycle avec transfert du groupement acétyle ; on notera que le composé accepteur possède 4 C (oxaloacétate) et que le composé formé après acétylation possède 6 C (citrate) ; la perte du coenzyme A (exergonique) fournit l'énergie nécessaire à l'acétylation (endergonique).

- les « réactions conduisant de l'alpha-cétoglutarate au succinate en montrant les couplages entre réaction d'oxydo-réduction et transphosphorylation » :

° Lors de la réaction (4), l'oxydation (exergonique) de l'alpha-cétoglutarate en succinyl-coenzyme A s'accompagne d'une décarboxylation (perte d'un CO<sub>2</sub>) et fournit l'énergie nécessaire à la fixation covalente du coenzyme A (endergonique) et à la réduction du NAD<sup>+</sup> en NADH, H<sup>+</sup> (endergonique).

° Lors de la réaction (5), la perte (exergonique) du coenzyme A fournit l'énergie nécessaire à la phosphorylation de la GDP en GTP (endergonique) Rappelons que cette GTP transfère ensuite un phosphate à l'ADP (phosphorylée en ATP).

**4. La conversion du pouvoir réducteur en une importante quantité d'ATP : chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative**

Phosphorylation oxydative :

**Couplage globalement chimio-chimique**

**a. L'établissement d'un gradient de protons dans l'espace intermembranaire : un couplage chimio-osmotique entre oxydation des coenzymes et flux de protons**

**a. Principe général**

Chaîne respiratoire :

Équation-bilan (en considérant le cas du NADH, H<sup>+</sup> comme pouvoir réducteur) :

Plus précisément :

-  
-  
-

**▲ FIGURE 22. Focus sur les réactions du cycle de KREBS à connaître.**  
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

**Bilan de matière et d'énergie du cycle de KREBS :**

**▼ TABLEAU I. Le cycle de KREBS : bilan.** D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)  
*Pensez à doubler les quantités pour obtenir la stœchiométrie valable pour une molécule de glucose initiale !*

Entre dans le cycle	Sort du cycle	Bilan
Acétyl-coA (C2) = C organique réduit	2 CO <sub>2</sub> = C minéral oxydé + 1 coenzyme A	Oxydation du C
3 NAD <sup>+</sup> + 1 FAD	3 NADH, H <sup>+</sup> + 1 FADH <sub>2</sub>	Réduction des coenzymes
1 GDP + Pi	1 GTP	Synthèse de GTP



**Relation structure-fonction**  
Notez bien que la  **finesse**  de l'espace intermembranaire en **réduit le volume**, ce qui facilite la possibilité d'y **concentrer les protons**.

β. Composition et fonctionnement de la chaîne respiratoire

δ. Comparaison entre deux chaînes de transfert d'électrons (CTE) : la chaîne photosynthétique et la chaîne respiratoire



Soyez vigilants face aux **différences** avec la phase photochimique de la photosynthèse et sa chaîne photosynthétique :

- Dans la chaîne photosynthétique, l'eau est le **donneur d'électrons** (elle est **oxydée en dioxygène**) ; ici, ce sont les **coenzymes réduits** qui sont **donneurs d'électrons**.
- Dans la chaîne photosynthétique, le **coenzyme oxydé** est l'**accepteur final d'électrons** et devient ainsi **réduit** ; ici, c'est le **dioxygène** qui est l'**accepteur final d'électrons** (il est **réduit en eau**).
- Dans la chaîne photosynthétique, l'**énergie nécessaire au fonctionnement de la chaîne** est fournie par l'**énergie lumineuse** ; ici, l'**énergie** est fournie par l'**oxydation des coenzymes réduits**.
- La **fonction de la chaîne photosynthétique** est de **produire à la fois de l'ATP et du pouvoir réducteur** qui seront **utilisés par la phase chimique** de la photosynthèse ; la **fonction de la chaîne respiratoire** est simplement de **produire de l'ATP**, le **pouvoir réducteur** étant au contraire la **source d'énergie et d'électrons**.

▼ TABLEAU II. Comparaison de deux CTE : la chaîne photosynthétique et la chaîne respiratoire.  
Original 2023.

Caractéristique	Chaîne photosynthétique (ex. Angiospermes)	Chaîne respiratoire (nombreux organismes)
Localisation de la CTE		
Lieu (faible volume) de concentration des protons		
Lieu des réactions couplées		
Donneur initial d'électrons = source d'électrons		
Accepteur primaire d'électrons		
Accepteur final d'électrons		
Source d'énergie		

▲ FIGURE AU CHOIX. La chaîne respiratoire.  
N'oubliez pas le **complexe II** et le rôle du **FADH<sub>2</sub>**

γ. Un transfert des électrons selon une suite de potentiels redox (E°') croissants (et un ΔrG°' de valeur absolue décroissante)

▲ FIGURE 28. Diagramme énergétique simplifié de la chaîne respiratoire figurant les potentiels redox standards. D'après SEGARRA *et al.* (2014) et PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)  
**Bien indiquer les deux axes**

**b. L'emploi du gradient de protons dans la phosphorylation d'ADP en ATP par l'ATP synthétase : un couplage osmochimique**

Revoir en détail ce qui a été vu dans le chapitre 9

**Relation structure-fonction**  
 La **membrane interne**, très riche en **ATP synthase**, comprend des **replis (crêtes mitochondriales)** qui **augmentent la surface** au niveau de laquelle l'ATP peut être **synthétisée**.

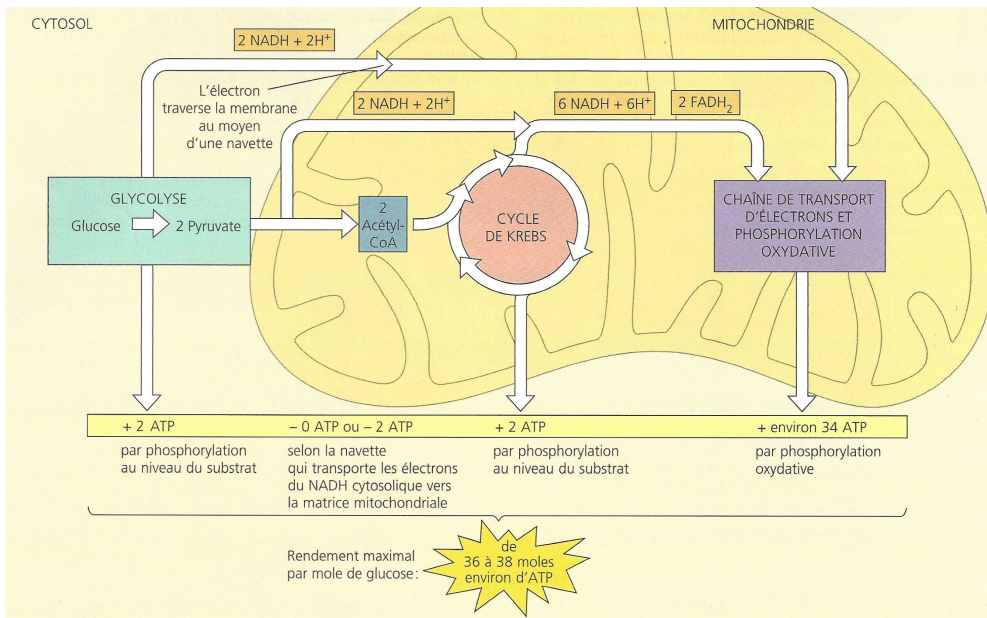
**E. Bilan énergétique comparé de la respiration cellulaire au sens large et de la fermentation dans le cas d'une molécule de glucose**

**1. Cas de la respiration cellulaire (sens large) : un rendement jusqu'à 40 %**

- 36 à 38 ATP
- récupération d'environ 40 % de l'énergie chimique du glucose

**Explication :**

- Dans une **molécule de glucose**, la **somme des énergies de liaisons des atomes** est de **2860 kJ • mol<sup>-1</sup>** (conditions standard)
- L'**énergie de liaison** entre le **3<sup>e</sup> phosphate** et l'**ADP** dans l'**ATP** vaut **30,5 kJ • mol<sup>-1</sup>** (conditions standards).
- La **respiration au sens large** produit **36 à 38 ATP**.
- Le **rendement énergétique maximal** est donc de  $38 \times 30,5 / 2860 = 41 \%$ .



Révision : rendement en ATP de chaque mole de glucose oxydée pendant la respiration cellulaire aérobie. Le rendement maximal de la respiration cellulaire aérobie est de 36 à 38 moles d'ATP par mole de glucose. Nous expliquons dans le texte pourquoi ce nombre constitue une estimation générale.

**▲ FIGURE 31. Rendement énergétique de l'oxydation complète d'une molécule de glucose.**  
 D'après CAMPBELL & REECE (2004)

**▼ TABLEAU III. Bilan énergétique de l'oxydation complète d'une molécule de glucose.**  
 D'après SEGARRA et al. (2014)

Voie	ATP formés	Pouvoir réducteur formé	ATP produit après oxydation du pouvoir réducteur par la chaîne respiratoire
Glycolyse (net)			
Décarboxylation oxydative du pyruvate			
Cycle de KREBS			
<b>Bilan partiel</b>			
<b>Bilan total</b>			

**2. Cas des fermentations : un rendement de 2 %**

- 2 ATP par la glycolyse = 18 à 19 fois moins que l'oxydation complète par respiration du glucose [Rendement énergétique 2 %]

**F. D'autres origines possibles du pouvoir réducteur ou des substrats respiratoires : l'exemple des acides aminés et des acides gras**

**1. Les cas de l'oxydation cataboliques des acides aminés : de nombreuses réactions cytosoliques (limite programme ?)**

- 
- 
- 
- 
- 
- (!) Noter :
- o
- =
- =

- **Mammifères** : évacuation dans le sang et conversion en urée par le foie (→ excrétion azotée)  
 - **Angiospermes** : → biosynthèses d'acides aminés

(!) Le **pouvoir réducteur** permet ensuite de faire fonctionner les **ATP synthétases mitochondriales** (il y a donc utilisation de **dioxygène** – le processus est **aérobie**) et l'**acétyl-CoA** subit le cycle de **KREBS** (il y a donc **production de CO<sub>2</sub>**).

## b. Les modalités de l'oxydation mitochondriale (ou péroxysomique) des acides gras : mécanismes de la $\beta$ -oxydation ou hélice de LYNEN

- **Péroxysomique** chez les **Angiospermes** (exactement **glyoxysomique**)
- Souvent **mitochondriale** chez les **Mammifères** (parfois **péroxysomique**)

### Oxydation progressive d'une acide gras « activé » :

- **Activation de l'AG en acyl-coenzyme A** (acyl-CoA) [cytosolique, consommateur d'ATP]
- Dans la **matrice** : **formation d'acétyl-coenzyme A** et de **pouvoir réducteur (FADH<sub>2</sub>, NADH, H<sup>+</sup>)** par **double décarboxylation** (perte de 2 C) de l'acide gras activé [répétition *n* fois]

### Résultat :

- Production de **pouvoir réducteur** (NADH, H<sup>+</sup> ; FADH<sub>2</sub>)
- Utilisation par la **chaîne respiratoire**
- Production d'**ATP**

▲ **FIGURE 32. Désamination du glutamate.** D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021), adapté

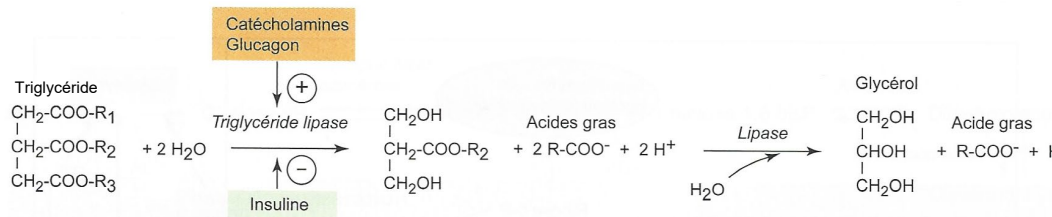
## 2. Le cas de l'oxydation catabolique des acides gras (AG)

- Le programme invite ici à examiner l'exemple du **catabolisme des acides gras**.

### a. Une vue d'ensemble du catabolisme lipidique

Il est intéressant de donner une **vue d'ensemble du catabolisme lipidique** en lien par exemple avec la **régulation de la glycémie** abordée dans le **chapitre sur la Vache (chapitre 1)** où les **lipides** sont évoqués.

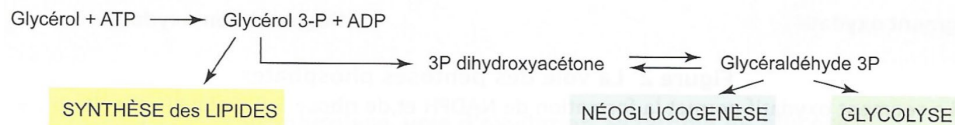
- **Lipolyse :**



Les étapes de la lipolyse dans les adipocytes

▲ **FIGURE 33. La lipolyse dans les adipocytes.** D'après RICHARD *et al.* (2015)

- Engagement du **glycérol** dans la **glycolyse** (cellules hépatiques, cellules végétales)



Le devenir du glycérol issu de la lipolyse

▲ **FIGURE 34. Engagement du glycérol dans la glycolyse.** D'après RICHARD *et al.* (2015)

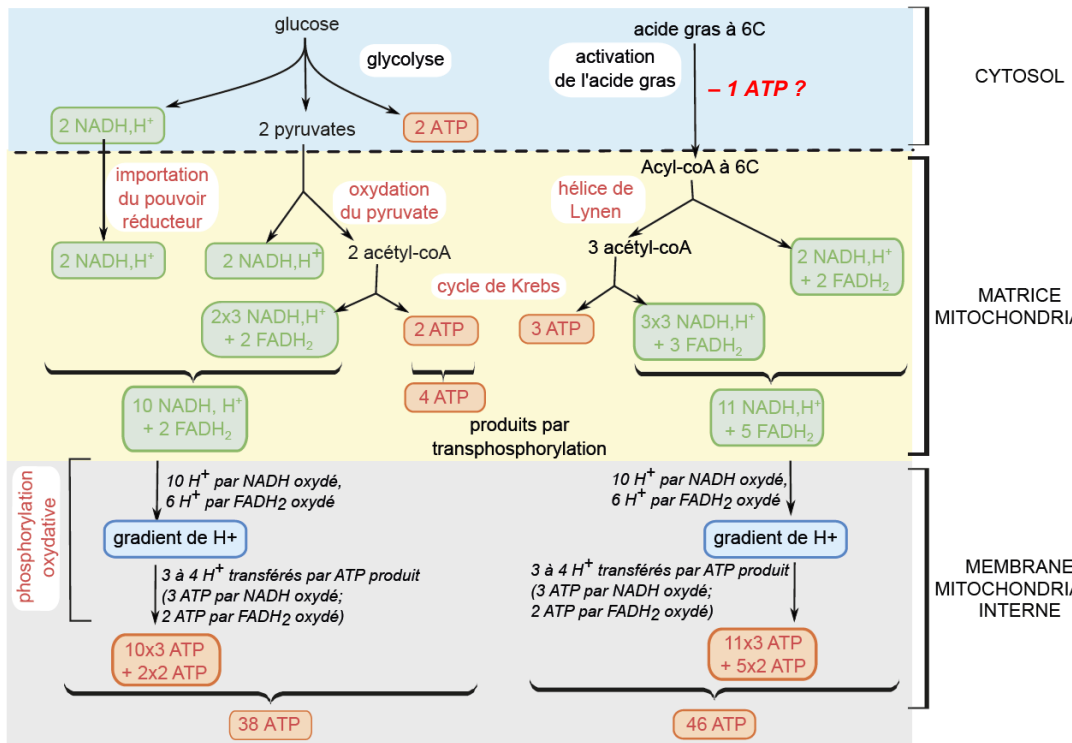
-  **$\beta$ -oxydation des AG = hélice de LYNEN :**

▲ **FIGURE 38. Activation d'un AG et hélice de LYNEN : ce qu'il faut retenir.**  
Original 2021.

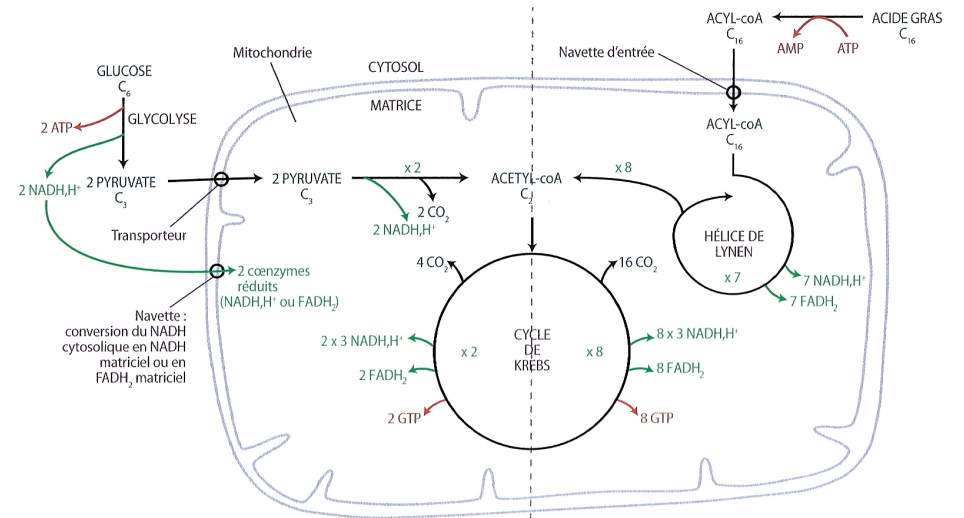
### c. Le bilan énergétique du catabolisme complet d'un acide gras (à 6 C et à 16 C) et sa comparaison au catabolisme complet d'un glucose

Comme l'acide gras est à l'état **plus réduit** que le glucose :

En clair : avec un AG, on récupère :  
 - plus d'énergie par atome de carbone initialement investi (d'où plus d'ATP produite) par rapport au glucose  
 - la même proportion énergie contenue dans l'ATP produite / énergie contenue dans la molécule catabolisée (= même rendement énergétique) : env. 40 %.



▲ FIGURE 39. **Bilan du catabolisme par oxydation complète du glucose et d'un acide gras à 6 atomes de carbone.** D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)



#### OXYDATION COMPLÈTE D'UN GLUCOSE

→ 4 ATP  
 → 8 à 10 NADH, H+  
 2 à 4 FADH<sub>2</sub> } CHAÎNE RESPIROATOIRE → 24 à 30 ATP  
 4 à 8 ATP  
 32 à 34 ATP  
 TOTAL = 36 à 38 ATP  
 Rendement =  $\frac{\text{énergie disponible dans 38 ATP}}{\text{énergie potentielle du glucose}} = \frac{1\ 159}{2\ 800} \approx 41\ %$

#### OXYDATION COMPLÈTE D'UN ACIDE GRAS À 16 CARBONES

→ 8 - 1 = 7 ATP  
 → 31 NADH, H+  
 15 FADH<sub>2</sub> } CHAÎNE RESPIROATOIRE → 93 ATP  
 30 ATP  
 123 ATP  
 TOTAL = 130 ATP  
 Rendement =  $\frac{\text{énergie disponible dans 130 ATP}}{\text{énergie potentielle de l'acide gras}} = \frac{3\ 965}{10\ 000} \approx 40\ %$

Le rendement du catabolisme oxydatif aérobie du glucose et d'un acide gras à 16 carbones, l'acide palmitique.

Voie	ATP formé directement	Pouvoir réducteur formé	ATP produit après oxydation du pouvoir réducteur par la chaîne respiratoire
β-oxydation	-2 équivalent ATP (phase activation)	7 × NADH, H+ 7 × FADH <sub>2</sub>	7 × 3 = 21 ATP 7 × 2 = 14 ATP
Cycle de Krebs alimenté par 8 acétyl-CoA	8 ATP	8 × 3 NADH, H+ 8 × 1 FADH <sub>2</sub>	24 × 3 = 72 ATP 8 × 2 = 16 ATP
<b>Bilan partiel</b>	<b>6 ATP</b>		<b>123 ATP</b>
<b>Bilan total</b>			<b>129 ATP formés par palmitate oxydé</b>

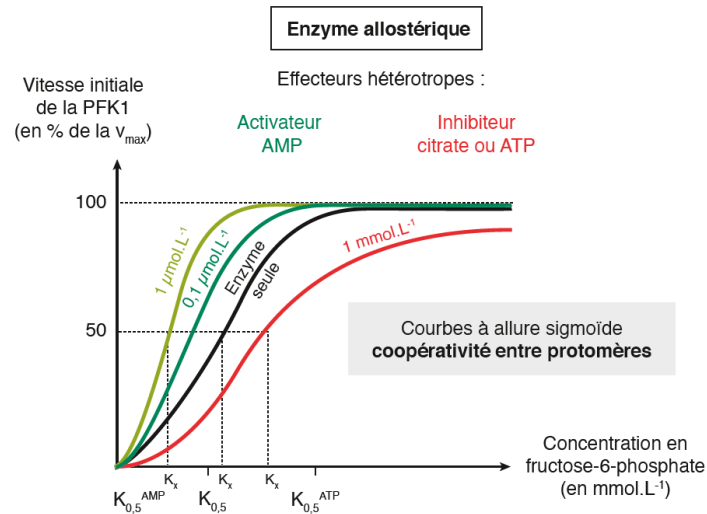
▲ FIGURE 40. **Une autre comparaison énergétique avec, cette fois-ci, un AG à 16 atomes de carbone.** D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021) et SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023)

## G. Quelques données expérimentales

Annotez les documents autant que nécessaire pour les comprendre...

### 1. Étude *in vitro* de la vitesse initiale de la PFK1 en fonction de la présence d'effecteurs allostériques

- Voir figure 42 ; revoir le chapitre 11 pour plus de précisions.

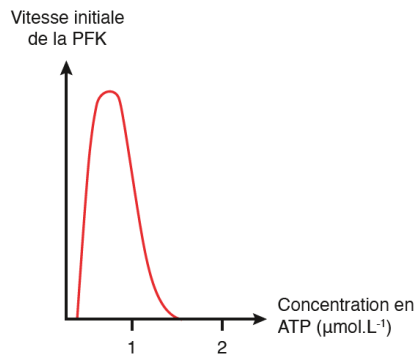


▲ FIGURE 42. Effet hétérotrope sur la PFK1. D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023)

Revoir le contrôle de l'activité enzymatique et le contrôle de la glycolyse dans le chapitre 11.

### 2. Effet de l'ATP sur la vitesse initiale de la PFK1

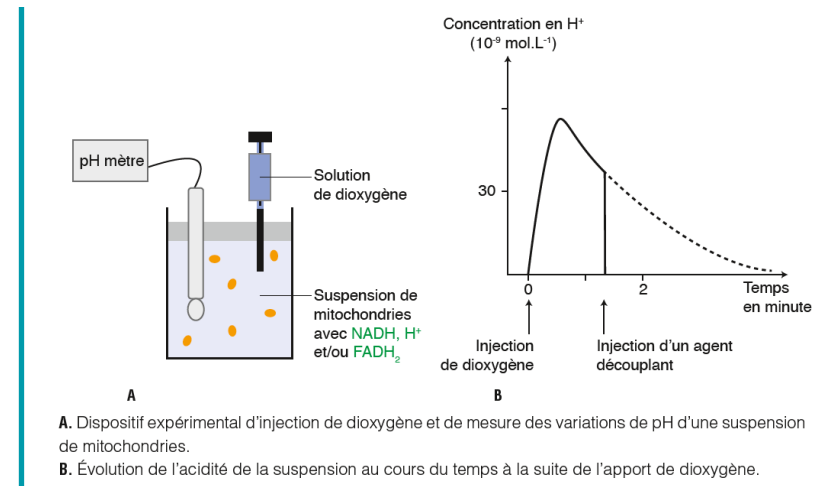
- Voir figure 43.



▲ FIGURE 43. Effet de l'ATP sur la PFK1. D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023)

### 3. Mise en évidence du rôle des coenzymes réduits dans le transfert de protons et la réduction du dioxygène

- Cette expérience (figure 44) montre que l'oxydation d'un coenzyme réduit (avec pour accepteur d'électrons le dioxygène) est indispensable à l'établissement d'un gradient de protons au niveau extramatriciel de la mitochondrie.



▲ FIGURE 44. Mise en évidence du rôle des coenzymes réduits et du dioxygène comme accepteur d'électrons dans l'établissement d'un gradient de protons extramatriciel. D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023)

### 4. Mise en évidence du rôle du gradient de protons dans la régénération d'ATP au niveau de la membrane interne mitochondriale

- Voir figure 45.



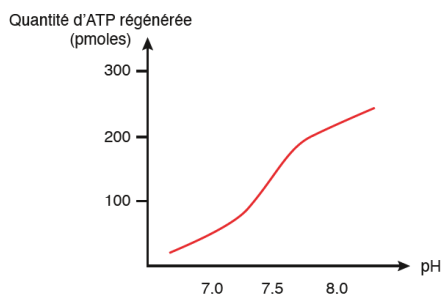
Encart

#### Mise en évidence expérimentale de l'importance du gradient électrochimique de protons à travers la membrane interne mitochondriale dans la régénération de l'ATP

Les chercheurs essaient d'établir un lien entre gradient de protons et régénération d'ATP.

- Protocole

Après avoir isolé des mitochondries et éliminé leur membrane externe, il est réalisé une sonication aux ultrasons qui fragmente la membrane interne mitochondriale. Spontanément des particules submitochondriales de 100 nm de diamètre se forment, présentant leurs sphères pédonculées vers l'extérieur. Ces vésicules sont ensuite incubées dans une solution à pH = 4, ce qui acidifie leur contenu puis elles sont transférées dans une solution alcaline en présence de phosphate radioactif ( $^{32}P_i$ ) et d'ADP. L'expérience est reconduite pour différents pH et l'on mesure la quantité d'ATP régénérée.



• Résultats-interprétation

Plus l'écart de pH entre l'intérieur des vésicules (acide) et la solution (alcaline) est fort plus la quantité d'ATP régénérée est conséquente. Ceci suggère un lien direct entre le fonctionnement des ATP synthases et l'importance du gradient électrochimique de protons établi de part et d'autre de la membrane interne mitochondriale.

▲ FIGURE 45. Rôle de l'acidité extramitochondriale dans la régénération d'ATP sur des vésicules mitochondriales débarrassées de la membrane externe.

D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023)

## 5. Expérience de CHANCE & WILLIAMS (1955) : mise en évidence de réactions successives d'oxydoréduction mitochondriales

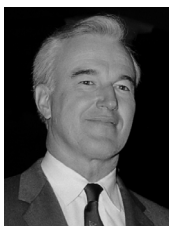
- Voir figure 46. Ces expériences sont dues aux Américains Britton CHANCE (1913-2010), grand biophysicien également athlète olympique, et G. R. WILLIAMS (pas d'informations biographiques disponibles, pas même son prénom).



Encart

### Mise en évidence expérimentale d'une séquence ordonnée de transporteurs d'électrons dans la membrane interne mitochondriale

B. Chance, faisant l'hypothèse que les électrons suivent un chemin bien précis entre le NADH, H<sup>+</sup> et le dioxygène, régi par les règles d'oxydoréduction (les électrons circulent spontanément d'un réducteur à bas potentiel rédox (donneur) vers un oxydant à haut potentiel (accepteur)), il utilise des **inhibiteurs spécifiques qui bloquent le transfert d'électrons en des sites spécifiques du trajet**. L'identification des composants oxydés ou réduits obtenus permet alors de déterminer la séquence des transporteurs.

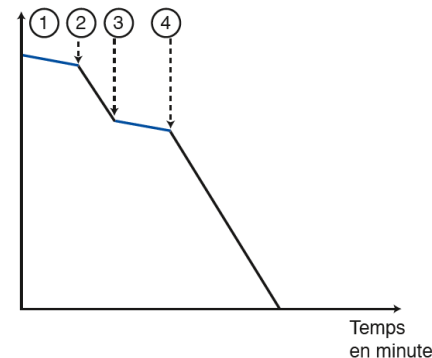


B. CHANCE  
Wikipédia

• Protocole

Des substrats et un inhibiteur sont ajoutés à un moment précis à une suspension de mitochondries. Le chercheur évalue l'intensité respiratoire en mesurant la consommation de dioxygène via une électrode à oxygène. Toute diminution de la concentration en dioxygène suggère que ce dernier est réduit en eau (H<sub>2</sub>O).

Concentration en dioxygène



• Résultat-interprétation selon les conditions expérimentales

1. Les mitochondries sont placées dans une solution tampon avec de l'ADP et du Pi en excès, la consommation du dioxygène est minimale. Les mitochondries réalisent une respiration basale.
2. Addition de  $\beta$ -hydroxybutyrate, un substrat mitochondrial. Dès l'ajout du substrat, la concentration en dioxygène dans la suspension chute. La consommation du dioxygène renseigne d'une réduction de ce dernier en eau. L'ajout du substrat active les mitochondries qui oxydent le substrat organique et produisent du NADH, H<sup>+</sup>. Celui-ci est oxydé dans la chaîne respiratoire. B. Chance fait l'hypothèse d'un premier point d'entrée des électrons provenant du coenzyme réduit.
3. Addition de roténone (toxine végétale) Dès l'ajout de l'inhibiteur, la consommation de dioxygène redevient minimale. L'inhibiteur bloque l'oxydation du NADH, H<sup>+</sup>.
4. Addition d'un nouveau substrat, intermédiaire métabolique du cycle de Krebs : le succinate.

Le succinate, permet de relancer la consommation de dioxygène. L'oxydation du succinate dans le cycle de Krebs produit du FADH<sub>2</sub> qui semble à son tour oxydé dans la chaîne respiratoire même en présence de roténone. Ceci suggère que les électrons de FADH<sub>2</sub> arrivent dans la chaîne de transfert d'électrons sur un second site d'entrée placé après le site d'inhibition de la roténone.

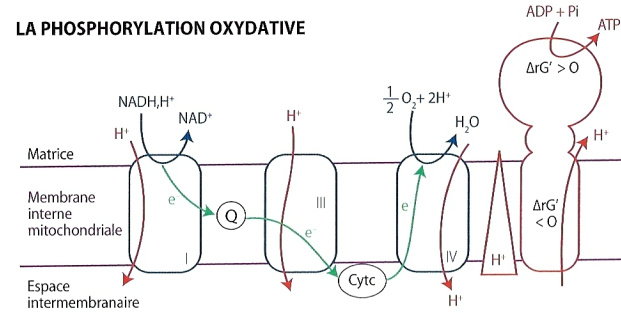
▲ FIGURE 46. Expérience de CHANCE & WILLIAMS (1955).  
D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023)



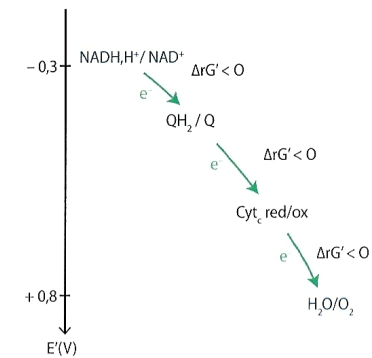
## H. Bilan

- Quelques **schémas bilan** et/ou **simplifiés** sont ici **proposés**, y compris dans une perspective d'**élargissement du chapitre** aux aspects traités dans le **chapitre 9** ou le **chapitre 11**.

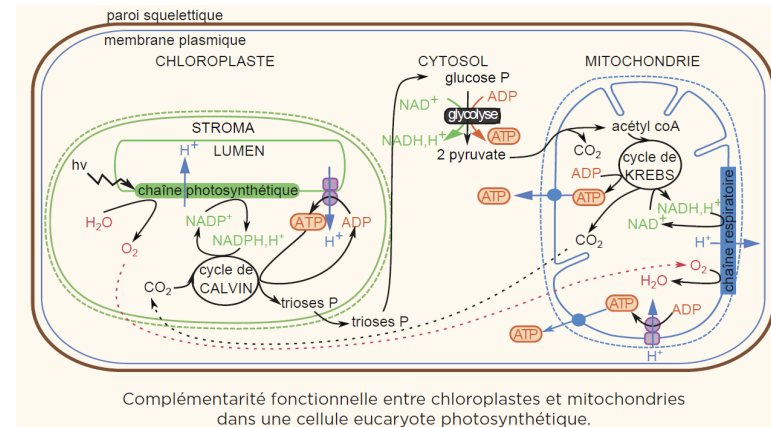
### LA PHOSPHORYLATION OXYDATIVE



### CHAÎNE RESPIRATOIRE ET POTENTIELS REDOX



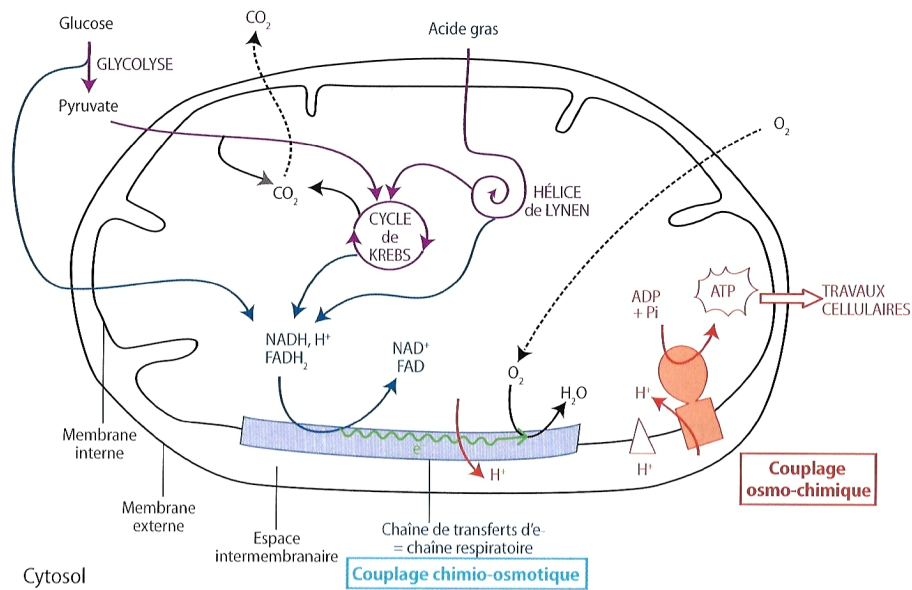
▲ FIGURE 47. **Chaîne respiratoire et diagramme énergétique simplifiés. Le complexe II et le (la ?) FADH<sub>2</sub> n'apparaissent pas.** D'après DAUTEL *et al.* (2021)



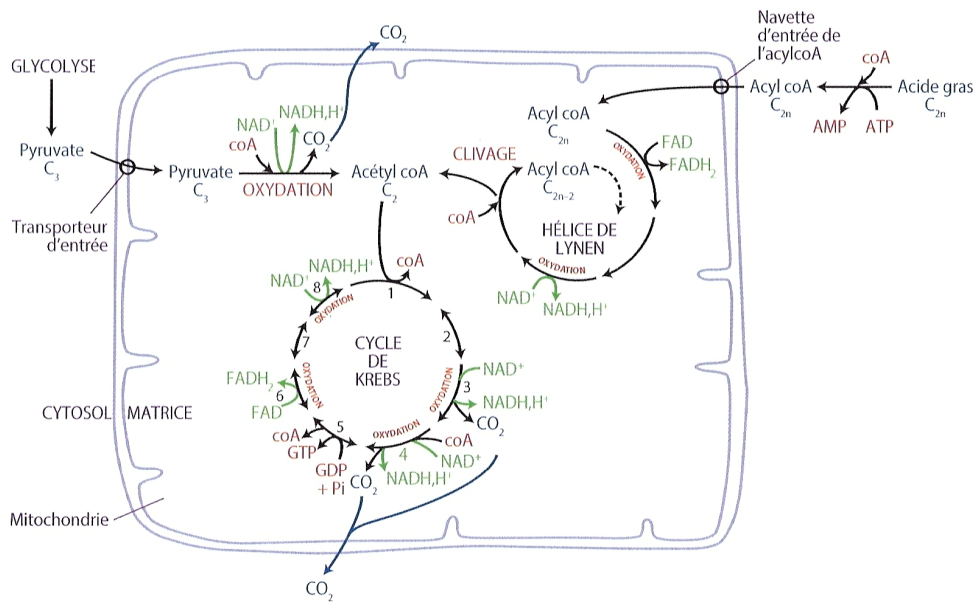
▲ FIGURE 48. **Complémentarité fonctionnelle entre chloroplaste et mitochondrie dans une cellule végétale.** D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

### Bilan (adapté du programme)

- ✓ (3) La **matière organique absorbée** ou **stockée** peut entrer dans les **voies cataboliques** desquelles la cellule tire son **énergie**. Le **catabolisme** peut être **oxydatif aérobie (respiration)** ou **non (fermentation)**.
- ✓ La **glycolyse** est une **voie métabolique** permettant la **biosynthèse d'ATP** (par **transphosphorylation** ou **phosphorylation** liée au **substrat**), de **coenzymes réduits** et de **pyruvate** par une chaîne de réactions partant du **glucose**. L'**oxydation** du **glycéraldéhyde-3-P** dans le **cytosol** en est une **réaction clef**.
- ✓ La **glycolyse** est l'objet d'un **contrôle cellulaire**. Il participe à l'**ajustement** de la **production d'ATP** aux **besoins** de la cellule.
- ✓ Dans le cas de la **fermentation**, la **glycolyse** est la **seule voie de production d'ATP**. Des **réactions biochimiques spécifiques** de chaque **voie fermentaire oxydent** les **coenzymes réduits**, les rendant à nouveau disponibles pour la **glycolyse**.
- ✓ Le **cycle de KREBS** est une voie de **convergence** du **catabolisme** utilisant l'**acétyl-CoA** chez **toutes les cellules à catabolisme aérobie**. Il réalise la **décarboxylation oxydative** totale des **composés**, couplée à la production de **nucléotides énergétiques** et la **réduction** de **coenzymes**.
- ✓ La **chaîne respiratoire** est une **chaîne de transfert d'électrons** issus de **coenzymes réduits** vers un **accepteur final minéral** à plus fort **potentiel d'oxydoréduction**. Ce transfert est **associé** à des **conversions chimio-osmotiques** (via la **chaîne respiratoire**) et **osmo-chimiques** (via l'**ATP synthase**) qui permettent la **production d'ATP**.
- ✓ L'**ATP** est donc **synthétisée** en quantité variable selon le **métabolite initial** et la **voie métabolique**.

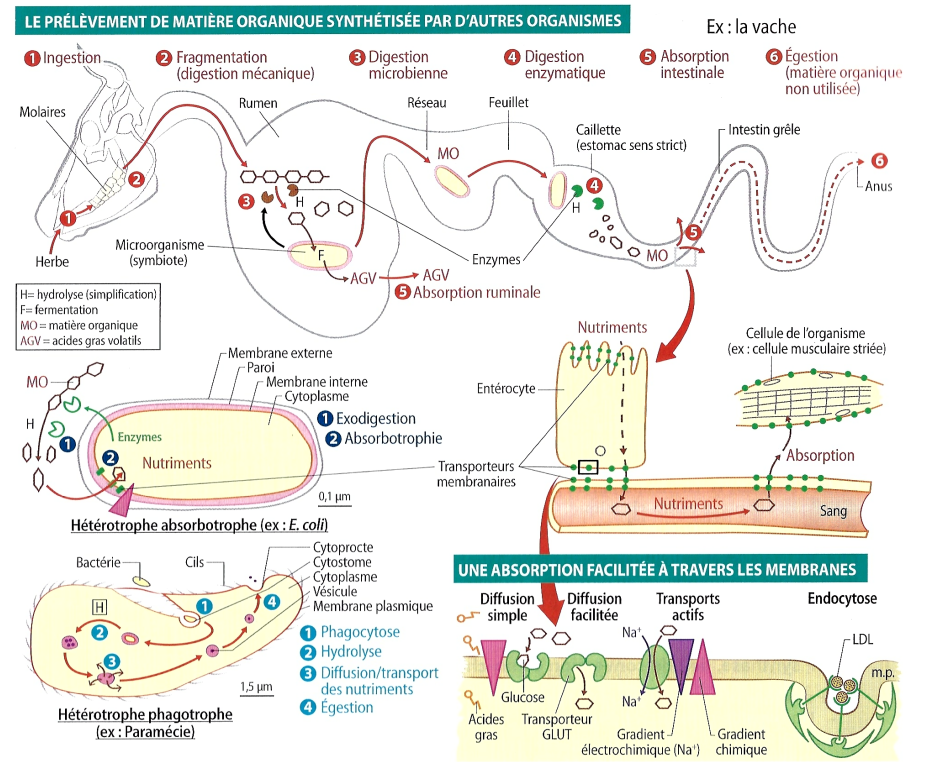


Une vue d'ensemble des voies du catabolisme oxydatif des cellules eucaryotes.

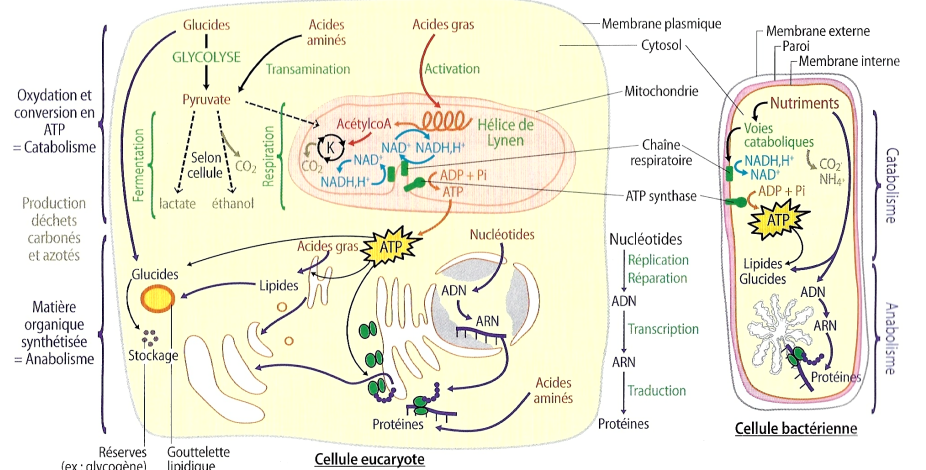


Les voies du catabolisme oxydatif du glucose ou d'un acide gras.

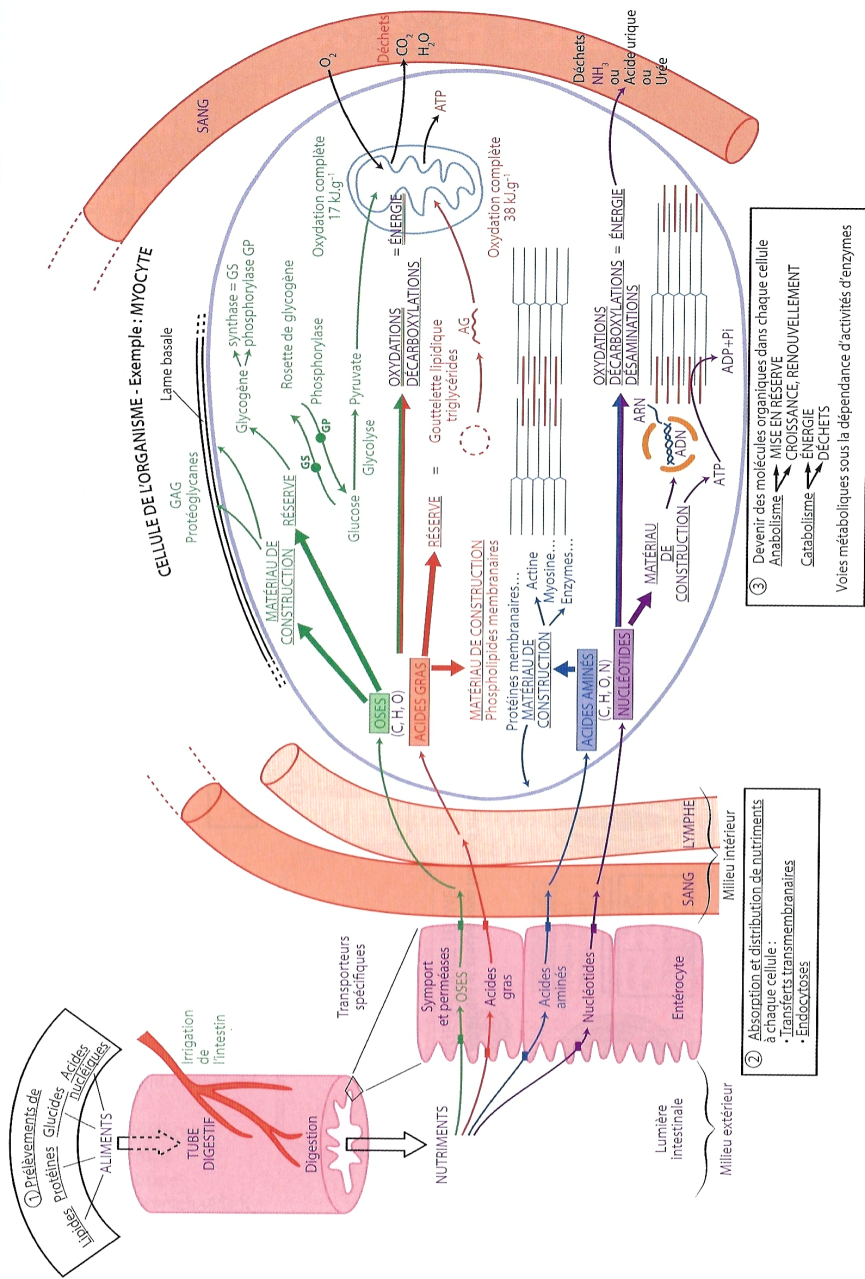
▲ FIGURE 49. **Catabolisme oxydatif (très) simplifié.** D'après DAUTEL *et al.* (2021)



**L'UTILISATION DES NUTRIMENTS ABSORBÉS : CATABOLISME, ANABOLISME, STOCKAGE**

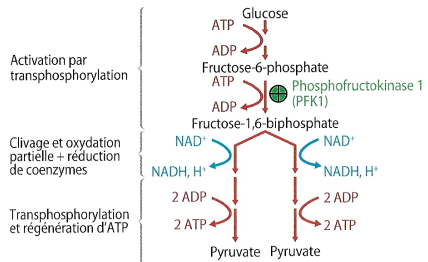


▲ FIGURE 50. **Les fondements de l'hétérotrophie.** D'après SAINTPIERRE, BORDI *et al.* (2021)



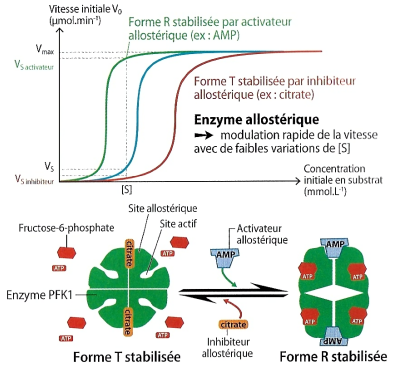
▲ FIGURE 50bis. Les bases cellulaires de l'hétérotrophie. D'après DAUTEL et al. (2021)

**UNE VOIE COMMUNE D'OXYDATION DES GLUCIDES : LA GLYCOLYSE**

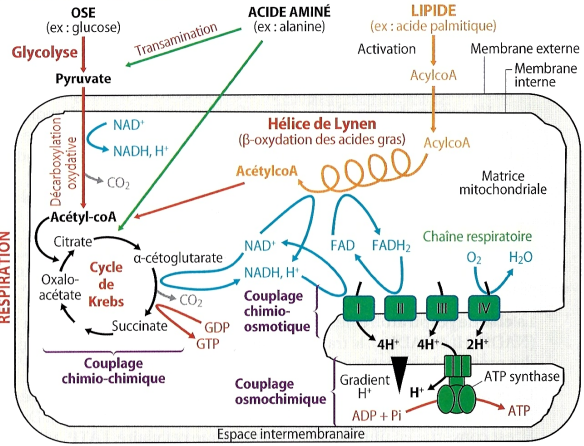
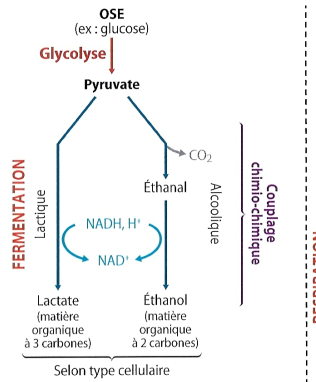


**Bilan glycolyse :** Glucose + 2 ADP + 2 Pi + 2 NAD<sup>+</sup> → 2 pyruvates + 2 ATP + 2 NADH, H<sup>+</sup>

**DES VOIES MÉTABOLIQUES CONTRÔLÉES**



**UNE OXYDATION PARTIELLE OU TOTALE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE**



**Bilan hélice de Lypen :** Acyl-coA(C16) + 7 NAD<sup>+</sup> + 7 FAD → 8 Acétyl-coA + 7 NADH, H<sup>+</sup> + 7 FADH<sub>2</sub>

**Bilan cycle de Krebs (voie de convergence) :** Acétyl-coA + 1 GDP + Pi + 3 NAD<sup>+</sup> + FAD → 3 CO<sub>2</sub> + CoA + 1 GTP + 3 NADH, H<sup>+</sup> + FADH<sub>2</sub>

**Bilan respiration mitochondriale :** Pyruvate + NADH, H<sup>+</sup> (glycolyse) + 16 ADP + 16 Pi + 3 O<sub>2</sub> → 3 CO<sub>2</sub> + NAD<sup>+</sup> + 16 ATP + 3 H<sub>2</sub>O

**DES RENDEMENTS ÉNERGÉTIQUES DIFFÉRENTS**

	Fermentation	Respiration	
	Glucide	Glucide	Acide gras
Oxydation partielle	4 NADH, H <sup>+</sup> , 2 ATP	4 NADH, H <sup>+</sup> , 2 ATP	21 NADH, H <sup>+</sup> , 21 FADH <sub>2</sub>
Cycle de Krebs		6 NADH, H <sup>+</sup> , 2 FADH <sub>2</sub> , 2 GTP	72 NADH, H <sup>+</sup> , 24 FADH <sub>2</sub> , 24 GTP
Chaîne respiratoire + ATP synthase		32 ATP environ	390 ATP environ
Énergie potentielle (basée sur ΔG°)	61 kJ.mol <sup>-1</sup>	1 098 kJ.mol <sup>-1</sup>	11 895 kJ.mol <sup>-1</sup>
Rendement énergétique par mole oxydée	2,1 %	31 %	39,5 %
Nombre d'ATP produit pour 6 carbones	2 ATP	36 ATP	51 ATP

▲ FIGURE 51. Comparaison respiration-fermentation (avec une vue d'ensemble du catabolisme oxydatif). D'après SAINTPIERRE, BORDI et al. (2021)

## II. Une matière organique qui peut servir d'emploi à la synthèse de nouvelles biomolécules : l'anabolisme

### A. Les cellules eucaryotes, des entités dont les constituants ont une durée de vie limitée et sont renouvelés par des biosynthèses

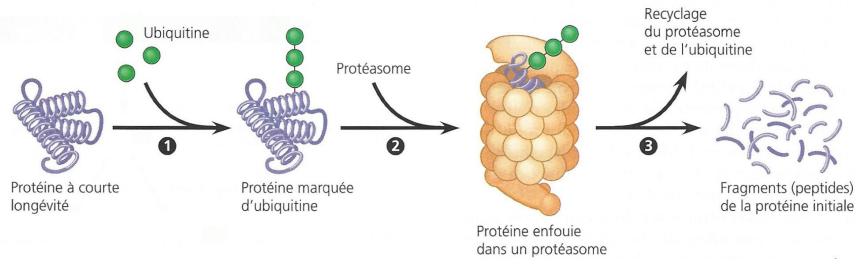
#### 1. Des constituants complexes et altérables, à durée de vie limitée

Demi-vie :

#### a. Une altération spontanée ou due à des mécanismes de dégradation enzymatique

Voies d'altération :

- « spontanée » :
- > environnement
- > instabilité réactionnelle ou structurale
- enzymatique.



**Dégradation d'une protéine par un protéasome.** Un protéasome est un énorme complexe protéique dont la forme rappelle celle d'un tonneau. Sa fonction est de découper les protéines inutiles qui se trouvent dans la cellule. Dans la plupart des cas, il attaque les protéines marquées de courtes chaînes d'ubiquitine (une petite protéine) ❶ Des enzymes du cytosol

ajoutent des molécules d'ubiquitine à une protéine. (On ignore comment celle-ci est choisie.) ❷ Un protéasome reconnaît la protéine ainsi marquée ; il la déploie et l'enfouit dans sa cavité centrale. ❸ Les enzymes du protéasome découpent la protéine en de petits peptides pouvant être dégradés ultérieurement par les enzymes du cytosol. Les étapes 1 et 3 nécessitent la présence

d'ATP. Les protéasomes des cellules eucaryotes sont aussi massifs que les sous-unités ribosomiques et ils sont dispersés dans l'ensemble de la cellule.

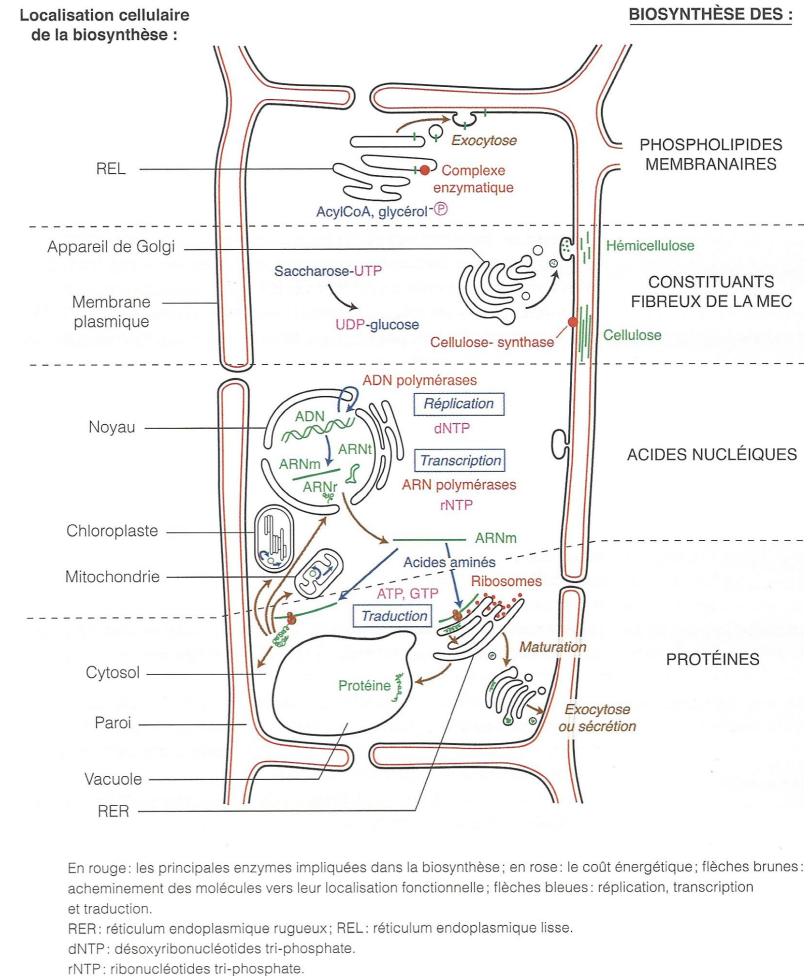
▲ FIGURE 3. **Le fonctionnement du protéasome.** D'après CAMPBELL & REECE (2004).

#### 2. Un turn-over moléculaire entretenu par des biosynthèses (constituant l'anabolisme)

Turn-over moléculaire :

## B. L'anabolisme, un processus localisé et conditionné

### 1. Un processus qui prend appui sur la spécialisation et la coopération des compartiments cellulaires : panorama des principales biosynthèses dans une cellule eucaryote



En rouge : les principales enzymes impliquées dans la biosynthèse ; en rose : le coût énergétique ; flèches brunes : acheminement des molécules vers leur localisation fonctionnelle ; flèches bleues : réplication, transcription et traduction.

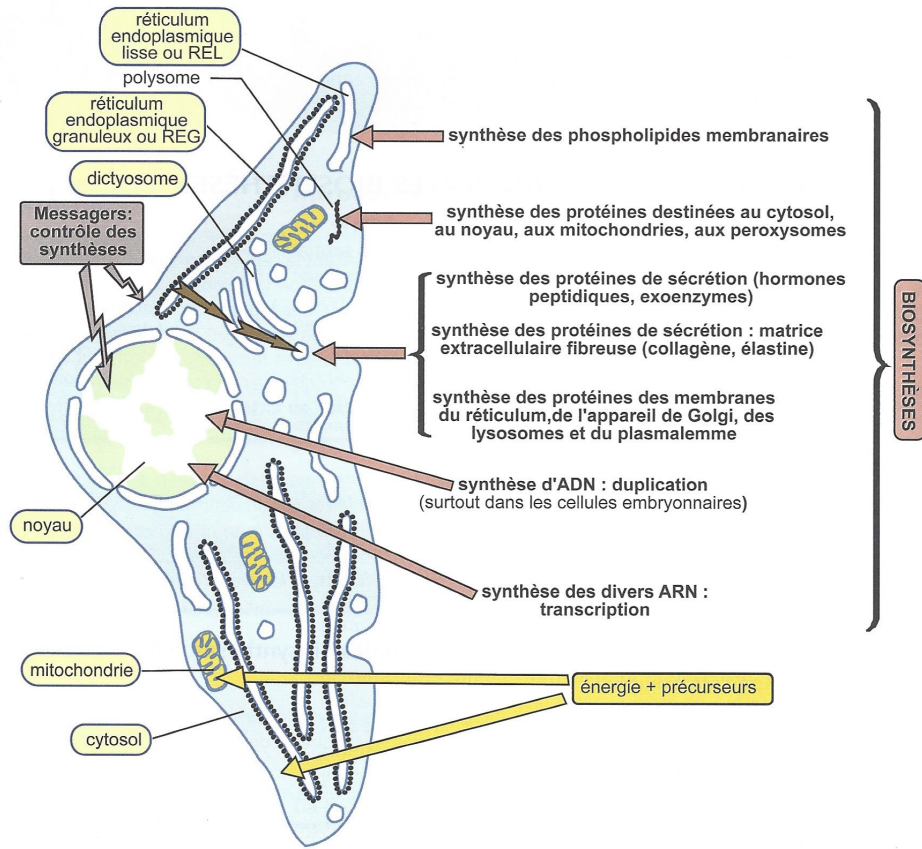
RER : réticulum endoplasmique rugueux ; REL : réticulum endoplasmique lisse.

dNTP : désoxyribonucléotides tri-phosphate.

rNTP : ribonucléotides tri-phosphate.

▲ FIGURE 53. **Localisation de quelques réactions de synthèse dans une cellule végétale.** D'après SEGARRA *et al.* (2014)

*Notez que les synthèses glucidiques (et notamment le rôle de la photosynthèse) ne sont pas représentées.*



Panorama des principales biosynthèses cellulaires d'une cellule animale.

▲ FIGURE 54. Localisation de quelques réactions de synthèse dans une cellule animale : exemple d'un fibroblaste. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

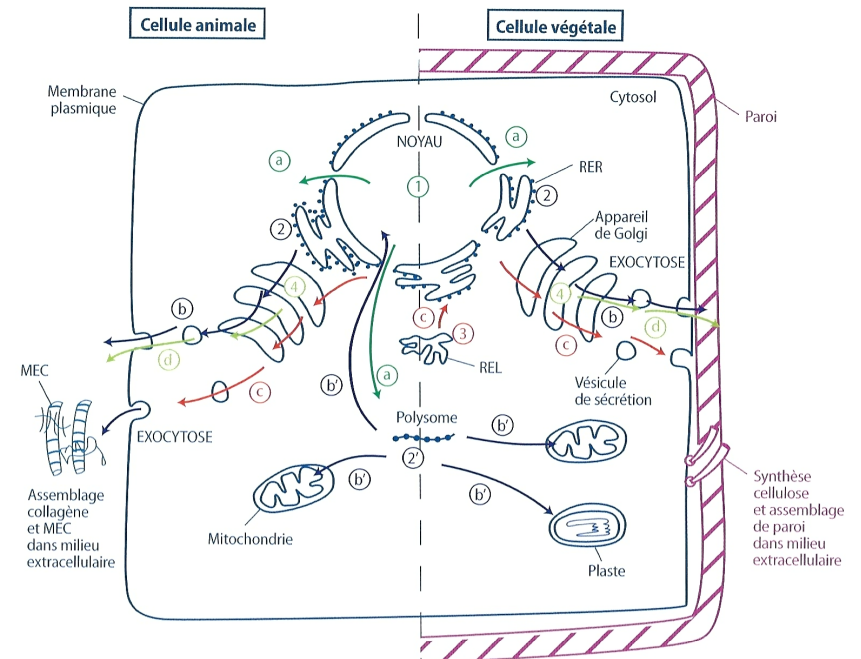
- Cytosol :
- REG, appareil de GOLGI :
- REL :
- Noyau :
- Chloroplaste :
- Membrane plasmique :

2. Un processus requérant de la matière, de l'énergie, un catalyseur et de l'information

3. Un processus endergonique dont l'énergie est fournie par un couplage à un travail exergonique (notion de couplage énergétique)

Revoir le chapitre 9 et le chapitre 11

C. Un acheminement possible des produits de l'anabolisme



- |   |  |
|---|--|
| ① Synthèse ADN et ARN   | ➔ (a) Sortie des ARN du noyau  |
| ② Synthèse des protéines destinées au RE, au Golgi, à la sécrétion, à la membrane plasmique | ➔ (b) Trajet des protéines sécrétées et des protéines de la membrane plasmique |
| ②' Synthèse des protéines destinées au cytosol, au noyau, aux organites semi-autonomes      | ➔ (b') Trajet des protéines adressées au noyau, aux organites semi-autonomes   |
| ③ Synthèse des phospholipides membranaires  | ➔ (c) Transport des lipides membranaires par fluidité et transport vésiculaire |
| ④ Synthèse des polysides sécrétés (GAG, pectines...)  | ➔ (d) Transport des polysides sécrétés   |

Le panorama des biosynthèses dans une cellule eucaryote.

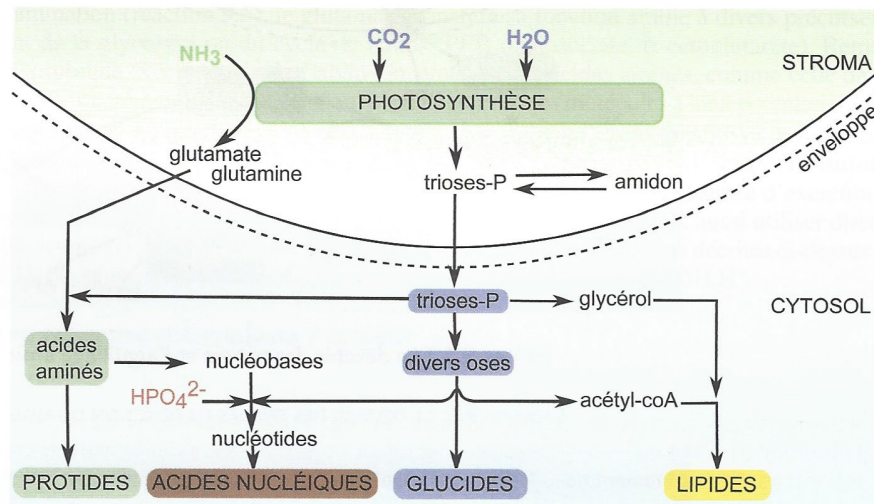
▲ FIGURE 56. Exemple de biosynthèses et d'acheminement de métabolites consécutifs. D'après DAUTEL *et al.* (2021)

Permis par :

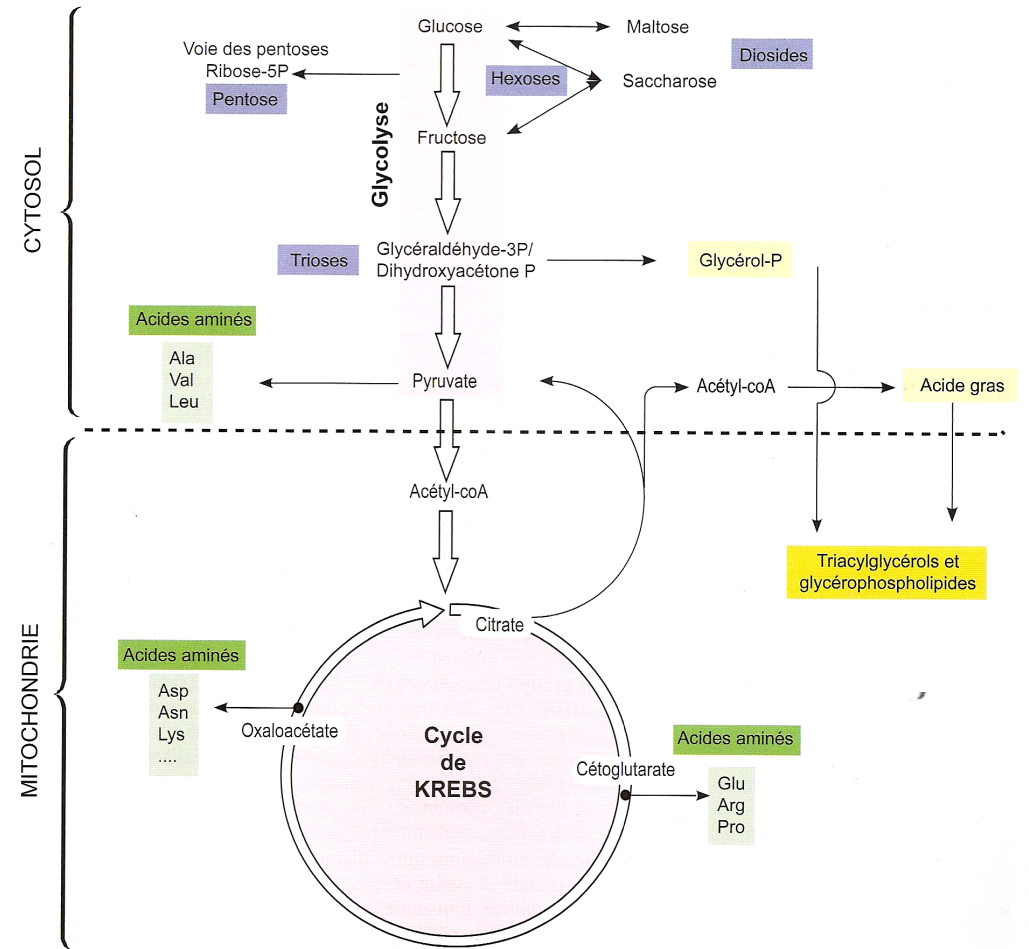
## D. Un processus qui repose sur des interconversions entre familles de molécules

### 1. Panorama des interconversions entre famille de molécules

Interconversions entre famille de biomolécules :



▲ FIGURE 57. Vers la synthèse de toutes les molécules organiques à partir des trioses phosphates (et des glutamate / glutamine) formés dans le chloroplaste. D'après PEYCRU *et al.* (2013)



▲ FIGURE 58. Illustration de parentés biochimiques existant entre petites molécules organiques (pour information). D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

### 2. L'importance de molécules au confluent de plusieurs voies anaboliques et/ou cataboliques : les carrefours métaboliques (ex. pyruvate, acétylCoA)

Carrefours métaboliques = molécules carrefours :

## E. Focus sur trois exemples de voies anaboliques sur lesquelles insiste le programme

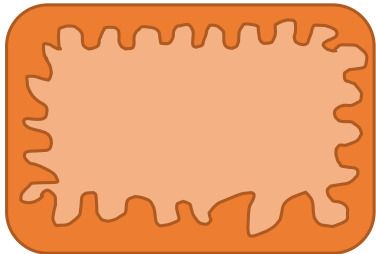
### 1. La synthèse d'acides gras et de lipides à partir d'acétylcoenzyme A

Lipogenèse :
Lipogenèse <i>de novo</i> :

Ce **métabolisme** est souvent **cytosolique** et/ou **plastidial** chez les 'plantes' ; il est très présent dans les **cellules de nombreux organismes** (ex. 'plantes') mais est **restreint à quelques types cellulaires** chez les **Métazoaires** et notamment les **Mammifères** (foie, tissu adipeux).

Chez les Mammifères :

- 
- 
- 



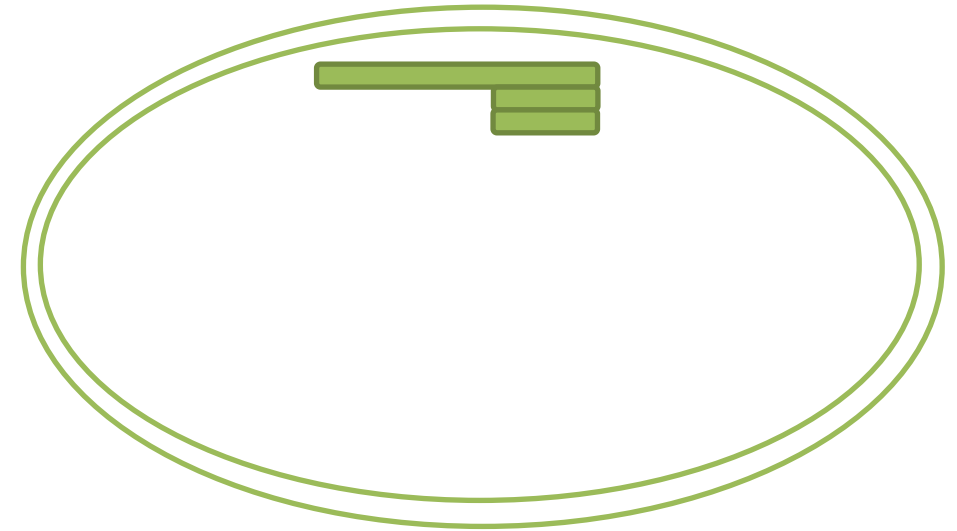
▲ FIGURE 60. **Biosynthèse d'acides gras dans un hépatocyte mammalien.** Original 2023

### 2. La synthèse cytosolique d'acides aminés à partir de pyruvate : l'exemple de l'alanine (par transamination)

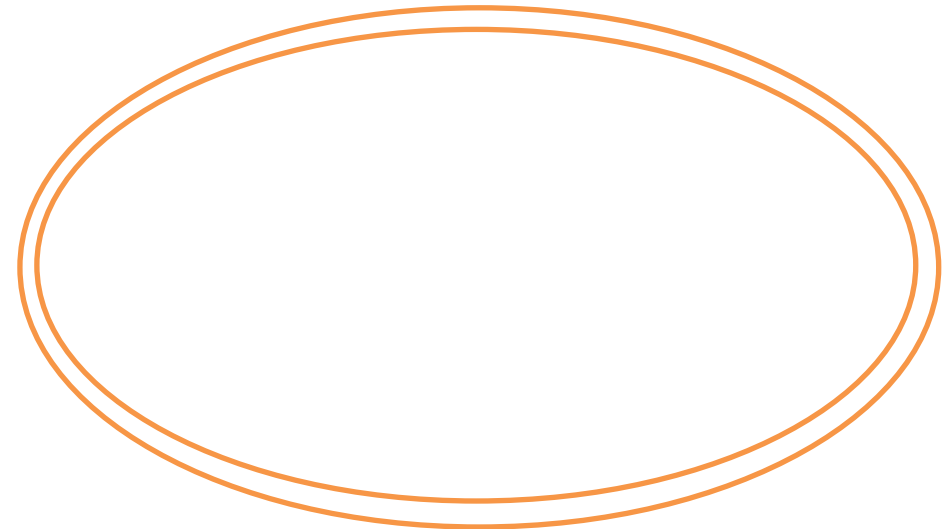
▲ FIGURE 61. **Biosynthèse cytosolique d'alanine à partir de pyruvate par transamination.**  
Adapté de VOET & VOET (2005)

### 3. La synthèse de polysides à partir de glucose phosphorylé

#### a. La synthèse plastidiale (chloroplastique ou amyloplastique) des composés de l'amidon (amylose et amylopectine) chez les Chlorophytes



▲ FIGURE 62. **Biosynthèse d'amidon dans un chloroplaste.** Schéma original 2015.



▲ FIGURE 63. **Biosynthèse d'amidon dans un amyloplaste.** Schéma original 2015.

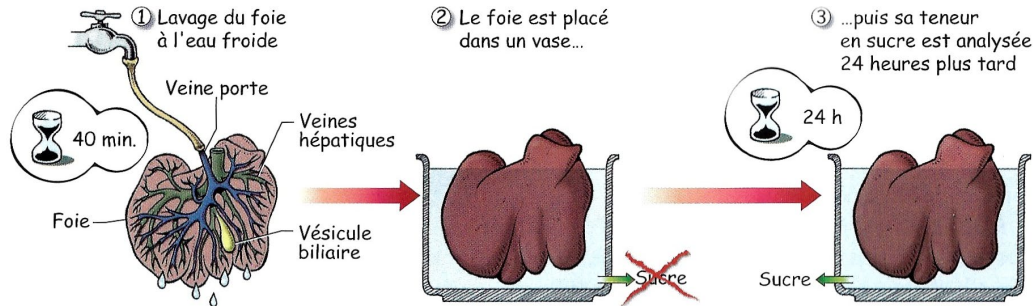
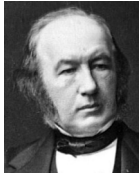
## b. La synthèse cytosolique (hépatique ou musculaire) du glycogène chez les Métazoaires (exemple des Mammifères) : la glycogénogenèse

### Glycogénogenèse :

Elle se déroule dans les **cellules** de tous les **muscles** (y compris **cardiomyocytes** et **cellules cardionectrices**) et les **cellules hépatiques**.

### α. Mise en expérience historique de la glycogénogenèse : l'expérience du foie lavé de Cl. BERNARD (vers 1860)

- Il sacrifie un chien dont il prélève le foie qu'il lave abondamment pendant 40 min ;
- Il constate que l'eau de lavage contient **au tout début** du « sucre » (du glucose) (par la liqueur de FEHLING) puis **n'en contient plus** en fin de lavage ;
- Après avoir laissé **reposer le foie 24 h** dans de l'eau, il constate que **cette eau** contient à **nouveau du glucose**.



▲ FIGURE 64. L'expérience du foie lavé de Claude BERNARD. D'après CADET (2008)

### β. Modalités de la glycogénogenèse

#### Bilan (adapté du programme)

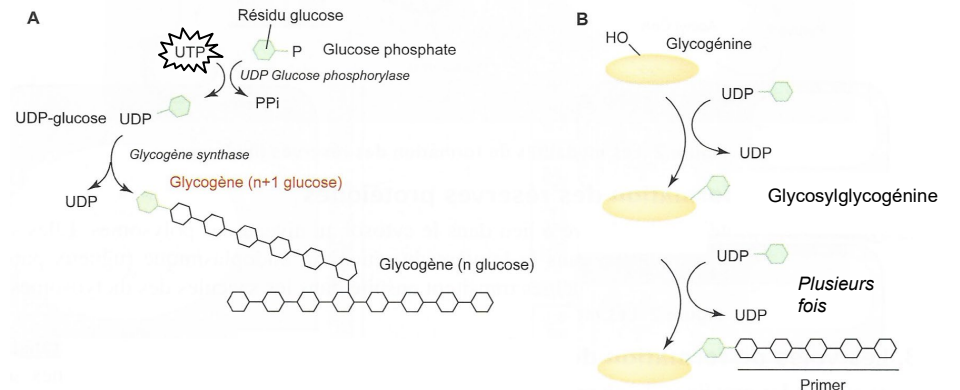
- ✓ (2) La **matière organique** permet de **synthétiser** de **nouvelles molécules** : c'est l'**anabolisme**.
- ✓ Les **principales molécules** du vivant ont un **squelette carboné** qui dérive d'**intermédiaires** de **voies du métabolisme**.
- ✓ Des **interconversions** entre familles de **molécules** sont possibles, elles aboutissent à la **biosynthèse** des principales **molécules** à rôle **structural, métabolique** ou **informationnel** à partir de **carrefours métaboliques**.

### A/ INITIATION à partir de la glycogénine

### B/ ÉLONGATION à partir d'une chaîne existante (au moins 4 résidus)

### C/ RAMIFICATION à partir d'une chaîne existante : découpe de tronçons de chaîne glucidique et adjonction des tronçons en α1-6

▲ FIGURE 65. **Biosynthèse du glycogène : glycogénogenèse**. Schéma original. Certains auteurs semblent affirmer que la glycogénine peut être dissociée du glycogène après un certain nombre d'ajouts de glucose... Il semble pourtant que la glycogénine demeure souvent au centre du complexe.



#### Les étapes de la glycogénogenèse

- A : Synthèse de glycogène par allongement d'une molécule de glycogène existante ;
- B : Synthèse d'une nouvelle molécule de glycogène à partir de la glycogénine

▲ FIGURE 66. **Une vision simplifiée de la glycogénogenèse**. D'après RICHARD *et al.* (2015), modifié.



### III. Une matière organique qui peut être stockée ou déstockée avant utilisation et/ou exportation : le métabolisme des réserves

#### A. La diversité des réserves existantes

Revoir le chapitre 8

##### 1. Le stockage des polysaccharides (exemples : amidon, glycogène)

###### **Rappel sur un autre glucide de réserve : le saccharose**

- Le **stockage vacuolaire** de **saccharose** (disaccharide) est **primordial** dans **toutes les cellules** en journée.
- Le **saccharose vacuolaire** est aussi une **réserve fréquente** dans les **parenchymes ligneux** des **organes tubérisés** (carotte, radis...) ou encore des **semences**.

##### a. L'amidon chez les Angiospermes et le glycogène chez les Mammifères : des polymères de glucose permettant son stockage

Ces trois molécules sont des **molécules de stockage (relations structure-fonction)** :

° **L'amylose et l'amylopectine constituent, dans des proportions variables selon les organismes (10 à 30 % pour l'amylose), l'amidon** qui est la **principale forme de stockage du glucose** chez les **Embryophytes** et plus généralement les **Chlorophytes**. L'amidon se trouve dans les **chloroplastes** sous forme de **granules** dans le **stroma** mais est surtout stocké en grandes quantités dans les **amyloplastes** (des organes-puits) sous forme **paracristalline** constituée de **couches concentriques** (voir TP B8).

° Le **glycogène** est la **principale forme de stockage du glucose (foie, muscles)** chez de **nombreux Métazoaires**. Il est stocké en **granules** ayant une forme en **rosette** dans le **cytosol**.

**Points communs expliquant cette adaptation au stockage (relation structure-fonction) :**

° La **polymérisation réduit la pression osmotique des molécules (des oses isolés présentent une pression osmotique beaucoup plus forte qu'un polymère avec le même nombre d'oses)**, ce qui en fait des **molécules très peu solubles qui ne font presque pas varier le potentiel osmotique** de la solution qui les abrite. Pour autant, les **groupements hydrophiles libres peuvent former des liaisons H avec les molécules d'eau** ; ces polymères sont donc des **hydrocolloïdes (macromolécules fixant l'eau mais en gênant sa mobilité, induisant une gélification)**

° Les **liaisons alpha** induisent une **légère rotation de la chaîne à chaque résidu**. La **conformation spatiale** de ces polymères (**enroulée pour l'amylose, ramifiée pour l'amylopectine et le glycogène**) favorise la **condensation des molécules sur elles-mêmes** et donc leur **stockage**.

° Les **extrémités de chaînes** sont **non-réductrices** ; ces molécules sont donc **peu réactives**.

° On trouve des **liaisons H entre oses** qui **stabilisent l'édifice**, réduisant d'autant le nombre de groupements disponibles pour former des liaisons H avec l'eau.

##### b. Amidon et glycogène, des composés à localisation particulière

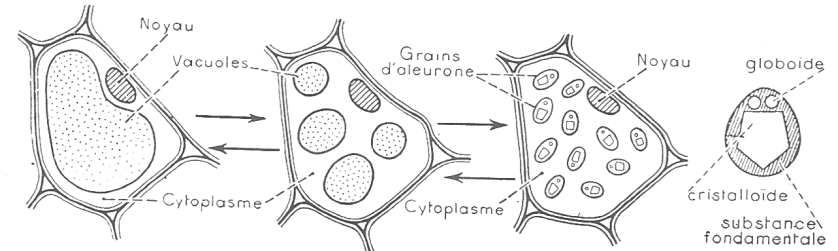
a. **Localisations possibles de l'amidon (Angiospermes) : chloroplastes ou amyloplastes**

β. **Localisation du glycogène (Mammifères) : le cytosol (foie, muscles)**

#### 2. Le stockage des protéines : l'exemple du gluten (Angiospermes Poacées)

##### a. Les grains d'aleurone, grains vacuolaires desséchés de protéines à fonction de réserve

Aleurone :



Formation des grains d'aleurone à partir des vacuoles, pendant la maturation de la graine (en allant de la gauche vers la droite). Hydratation des grains d'aleurone pendant la germination de la graine (en allant de la droite vers la gauche).

▲ FIGURE 69. Grains d'aleurone dans la graine de Ricin. D'après CAMEFORT & BOUÉ (1980).

##### b. Le gluten, une partie de la fraction protéique de l'albumen des Poacées

Gluten :

- Le **gluten** est donc initialement une **notion agro-alimentaire** davantage que biologique...
- Les **gliadines** sont très **extensibles** et confèrent à la **pâte à pain** son **élasticité** ; lorsque la pâte **lève** (production aérobie de **bulles de CO<sub>2</sub>** par les levures), les **bulles** se retrouvent **piégées** dans le **réseau de gliadines**, la **cuisson** « figeant » l'édifice.
- De nombreuses personnes présentent une **intolérance** voire des **allergies** au gluten.

#### 3. Le stockage des lipides : l'exemple des triglycérides (Angiospermes et Mammifères)

##### a. Nature biochimique et formation

##### b. Des molécules hydrophobes à rôle de réserve et à localisation cytosolique (ou plastidiale)

▼ TABLEAU V. **Bilan sur les principales réserves et lien avec les TP.**  
D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023).

Famille chimique	Molécule de réserve	Organe, tissus de réserve	Colorant	Observation microscopique
Glucide	Amidon	Tubercule de pomme de terre Parenchyme	Eau iodée (Lugol)	
	Glycogène	Foie de Mammifère	Test positif : couleur brune-violette	
Lipide	Triglycéride	Graine de ricin Albumen	Rouge soudan III Test positif : gouttelettes rouge-orangé	
Protide	Protéine	Caryopse de maïs Couche de cellules à grains d'aleurone	Bleu de toluidine Test positif : couleur bleu-vert	

## B. Le devenir des trioses phosphates et les conséquences de l'alternance jour-nuit dans les cellules chlorophylliennes

### 1. En journée (à la lumière) : la production de glucides variés stockés ou exportés

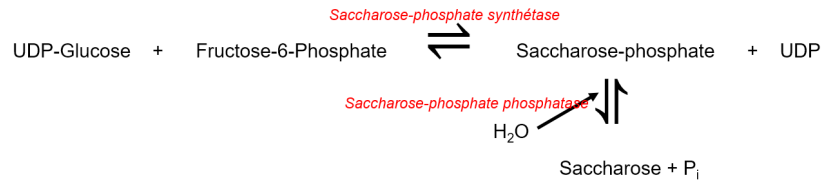
#### a. Le devenir des trioses phosphates : des glucides variés (une vue d'ensemble)

▲ FIGURE 75. **Devenir des trioses phosphates : une vision simplifiée.**  
D'après DAUTEL *et al.* (2021)

#### b. Le saccharose, molécule stockée dans la vacuole et/ou exportée vers le phloème

▲ FIGURE 76. **Le saccharose.** D'après SEGARRA *et al.* (2014)

(!) La réaction de condensation ici représentée n'est **pas** le mécanisme de formation du saccharose !



▲ FIGURE 77. **Formation cytosolique du saccharose.** Original 2015.

**Saccharose :**

Deux modes de formation :

-

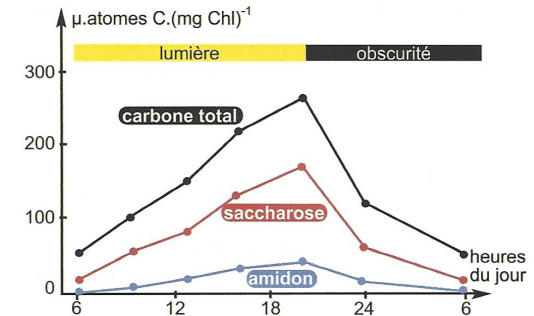
-

**c. L'amidon, polymère glucidique mis en réserve dans le chloroplaste en journée**

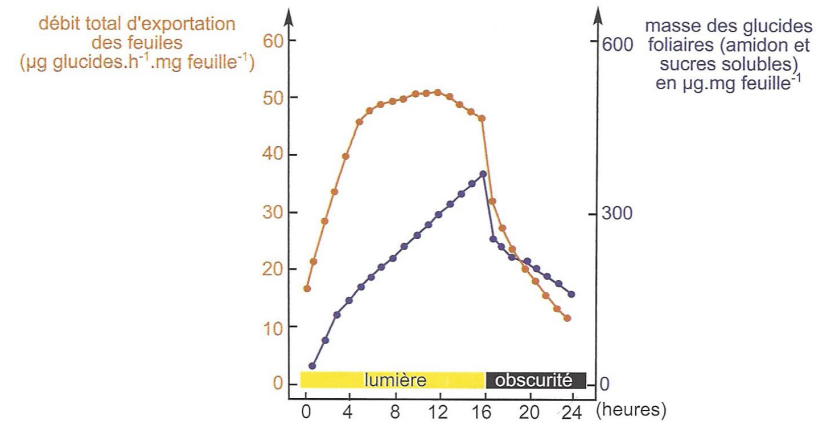
Revoir ce qui a été dit dans le II sur les modalités de mise en réserve de l'amidon.

**2. La nuit (à l'obscurité) : une mobilisation des réserves (notamment l'amidon chloroplastique) assurant la continuité de l'approvisionnement trophique du végétal**

**a. Mise en évidence d'une variabilité nyctémérale du transport glucidique et des réserves amyliques foliaires**



▲ FIGURE 78. **Évolution de la quantité de photoassimilats lors d'un cycle journalier (C organique total, saccharose, amidon) chez l'Orge (Poacées).** D'après PEYCRU *et al.* (2014).



Fluctuations journalières des glucides foliaires et du débit d'exportation des feuilles chez la vesce (D'après J. Pearson, 1974).

▲ FIGURE 79. **Évolution de la quantité de glucides exportés et de glucides foliaires totaux lors d'un cycle journalier chez la Vesce (Fabacées).** D'après PEYCRU *et al.* (2014).

**b. Les mécanismes de dégradation de l'amidon : une vision d'ensemble**

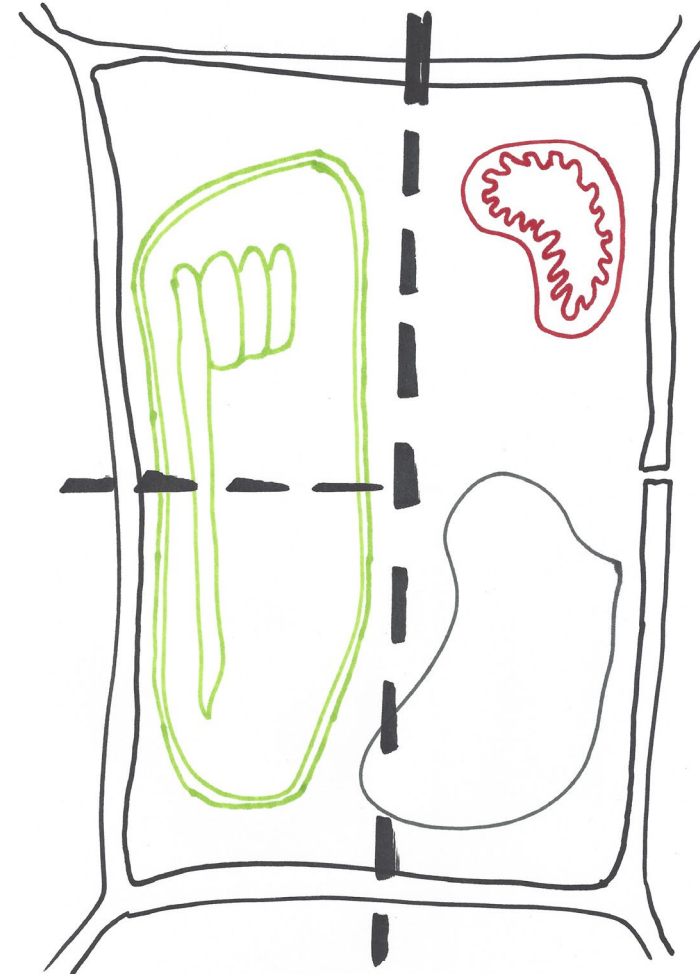
▲ FIGURE 80. Principe général de mobilisation des réserves d'amidon. Schéma original.

**3. Remarque : de jour comme de nuit, l'existence d'une activité respiratoire mitochondriale et d'activités de synthèses variées**

Photosynthèse brute PB :
Respiration cellulaire R :
Photosynthèse nette PN :

$$\text{Photosynthèse nette} = \text{Photosynthèse brute} - \text{Respiration}$$
$$\text{PN} = \text{PB} - \text{R}$$

**4. Bilan : une vue d'ensemble comparative du métabolisme selon les conditions d'éclairage**



▲ FIGURE 82. Métabolisme d'une cellule végétale chlorophyllienne : vue d'ensemble en lien avec les cycles jour-nuit. Schéma original.

## C. Le stockage et le déstockage du glucose chez les Mammifères

### 1. Un stockage par glycogénogenèse dans le foie et les tissus musculaires

#### a. La production de glycogène dans les cellules hépatiques et musculaires : la glycogénogenèse

#### b. Régulation enzymatique de la glycogénogenèse : zoom sur l'hexokinase et la glucokinase

Ces points sont également traités dans le chapitre 11 sur les enzymes

#### Glucokinase et hexokinase

Ces deux enzymes permettent l'entrée du glucose, mais fonctionnent différemment.

La **glucokinase** est une enzyme (foie et pancréas) de faible affinité pour le glucose ( $K_m$  élevé). Elle s'adapte à la quantité de glucose du sang. Elle n'est pas inhibée par le produit de la réaction catalysée ( $G_6P$ ).

L'**hexokinase** est une enzyme (toutes les cellules) de forte affinité pour le glucose. Elle ne s'adapte pas à la quantité de glucose sanguin. Elle est inhibée par le  $G_6P$ .

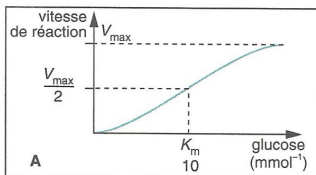


Fig. A – Vitesse de réaction de la glucokinase.

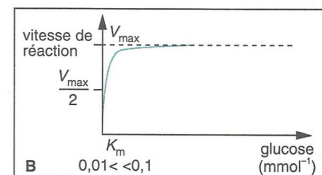


Fig. B – Vitesse de réaction de l'hexokinase.

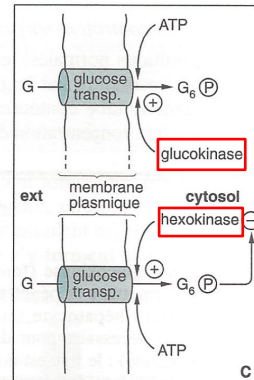


Fig. C – Comparaison de l'action des deux enzymes.

▲ FIGURE 83. **Glucokinase vs. hexokinase.** D'après BAL *et al.* (1992). C : enzymes encadrées.

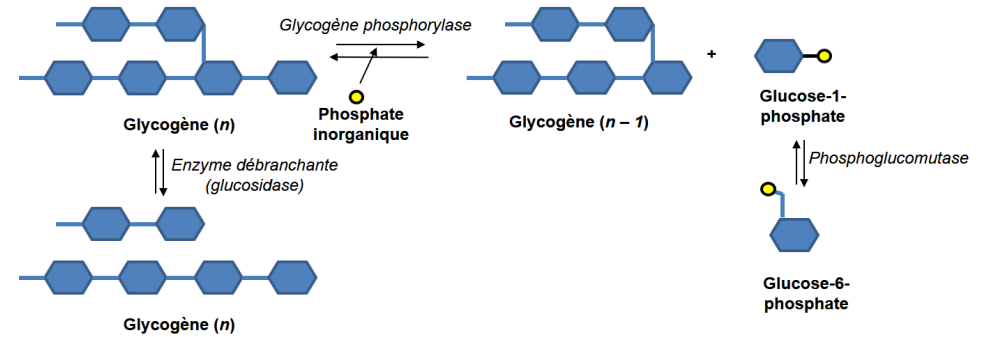
### 2. Un déstockage par glycogénolyse dans les cellules hépatiques (et musculaires à l'effort)

#### a. La mobilisation de glycogène dans les cellules hépatiques et musculaires : la glycogénolyse

#### Glycogénolyse :

Dans les muscles, **G-6-P** et **G-1-P** sont directement incorporés à la glycolyse. Une partie de ces sucres phosphorylés subit d'ailleurs le même sort dans le foie, utilisé par les cellules hépatiques dans leur propre catabolisme.

#### A/ DANS LES CELLULES MUSCULAIRES ET HÉPATIQUES



#### B/ EN PLUS : SEULEMENT DANS LES CELLULES HÉPATIQUES



▲ FIGURE 84. **La glycogénolyse.** Schéma original 2015.

Le contrôle de l'activité de cette enzyme est abordé dans le chapitre 11

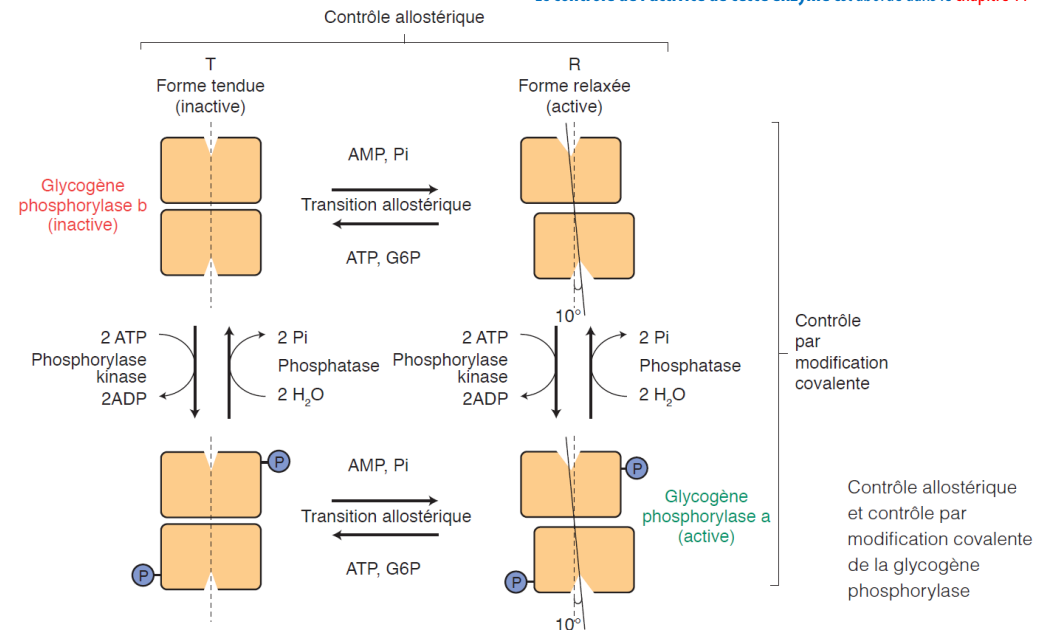
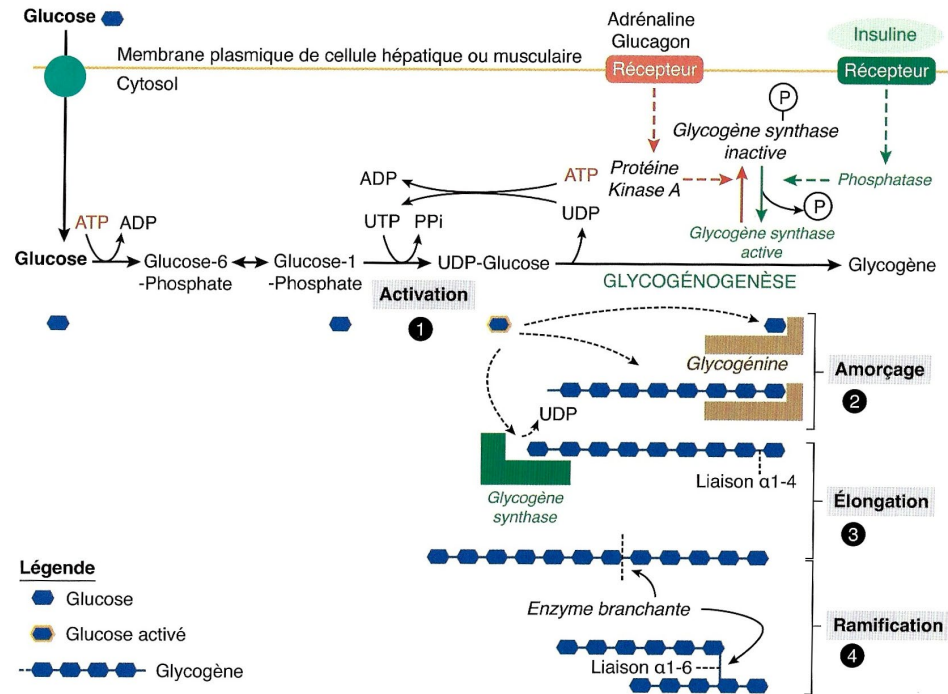


FIGURE 85. **Le double contrôle – allostérique + par phosphorylation-déphosphorylation – de l'activité de la glycogène phosphorylase.** D'après SEGARRA *et al.* (2014).

### 3. Pour information : la production possible de glucose néoformé dans le foie à partir de substrats non glucidiques (néoglucogenèse)

Néoglucogenèse :

### 4. Des processus contrôlés hormonalement dans le cadre de la régulation de la glycémie



#### Réaction globale de la glycogénogenèse

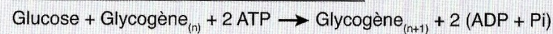
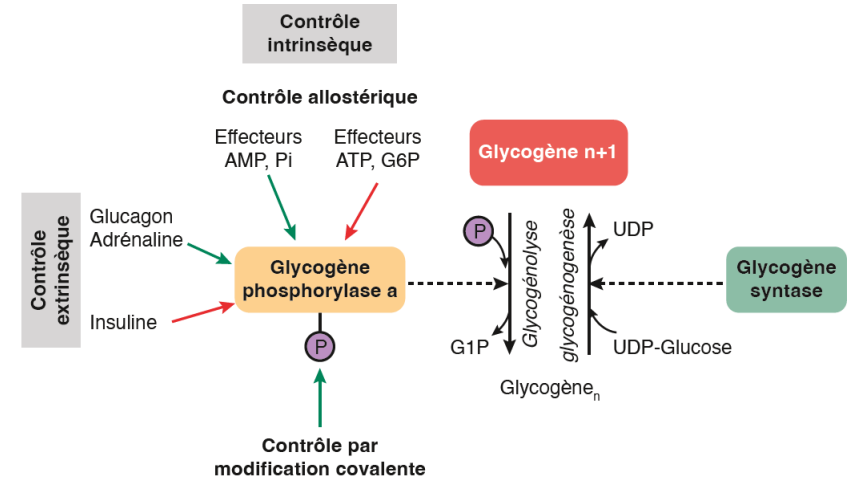


FIGURE 86. La glycogénogenèse et son contrôle. D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023). Les mécanismes de transduction des signaux hormonaux ne sont pas précisés.



En condition d'hypoglycémie, la glycogène phosphorylase est active tandis que la glycogène synthase est inactive. Flèche verte : activation ; flèche rouge : inhibition ; P<sub>circulé</sub> : phosphate.

FIGURE 86. Contrôles multiples de la glycogénolyse via la glycogène phosphorylase. D'après SEGARRA, PIÈTRE *et al.* (2023).

#### Bilan (adapté du programme)

- ✓ (1) Le **stockage** de la **matière organique** permet de constituer des **réserves**.
- ✓ Chez les **Chlorophytes**, les **trioses phosphates** produits par le **cycle de Calvin** sont **stockés** transitoirement sous forme d'**amidon** dans le **stroma chloroplastique** ou sont convertis en **glucides exportables** vers d'autres cellules.
- ✓ Le **glucose absorbé** par une **cellule hétérotrophe animale** peut être stocké sous forme de **glycogène** dans le **cytosol**. Le **stockage** ou le **déstocage** des **réserves glucidiques** dépend de l'activité d'**enzymes**.

## Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le plan ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un outil d'apprentissage et de structuration des concepts importants. Vous pouvez en recopier les grandes lignes ou annexer le plan du polycopié directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

*Liste indicative.*

- **Catabolisme oxydatif**
- ° **Vue d'ensemble**
- ° **Glycolyse**
- ° **Contrôle de la glycolyse** [revoir PFK1]
- ° **Décarboxylation oxydative du pyruvate** et entrée dans la **mitochondrie**
- ° **Acétyl-coenzyme A** (simplifié)
- ° **Fermentations** alcoolique et lactique
- ° **Mitochondrie**
- ° Cycle de **KREBS simplifié** + les **étapes** demandées par le **programme**
- ° **Chaîne respiratoire**
- ° **Diagramme énergétique** de la chaîne respiratoire
- ° **Comparaison des CTE** de la **mitochondrie** et du **chloroplaste**
- ° **Bilan énergétique**
- [° **Désamination du glutamate**]
- ° **Béta-oxydation des acides gras** [y compris **activation** de l'AG + **localisation**]
- ° **Bilan énergétique**
- ° Quelques **expériences** ?
- (!) Connaître les **équation bilans** !
  
- **Anabolisme (biosynthèses)**
- ° **Localisation des principales biosynthèses**
- ° **Biosynthèse d'un acide gras** (à partir d'**acétyl-CoA**)
- ° **Biosynthèse d'alanine** par **transamination** à partir de **pyruvate**
- ° **Biosynthèse d'amidon** : chloroplaste / amyloplaste
- [° Expérience du **foie lavé** ?]
- ° **Glycogénogenèse**
  
- **Réserves**
- ° Les **molécules de réserves** → **chapitre 8**
- ° Devenir des **trioses phosphates**
- [° Mesures de **photoassimilation**]
- ° **Mobilisation des réserves d'amidon**
- ° **Glycogénolyse**
- (!) Revoir **HK / GK** et **glycogène phosphorylase** → **chapitre 11**

## Références

- ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1<sup>re</sup> édition française).
- AUGÈRE, B. (2001). *Les enzymes, biocatalyseurs protéiques*. Ellipses, Paris.
- BAL, A., C. CALAMAND, C. COTTON, G. GOHAU, M. LE BELLEGARD, C. MARCONIS, D. RICHARD, M. SEBBAH & C. TORTORA (1992). *Régulation. La régulation des fonctions*. Hachette, Paris.
- BAYNES, J. W. & M. H. DOMINICZAK (dir.) (2019). *Medical Biochemistry*. 5<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1999). Elsevier, Amsterdam.
- BERGERON, J. (dir.), P. BEAUJARD, B. DAVID, A. HYON, I. BEDNAREK-MÂITREPIERRE, D. MARGERIE, M. MARGERIE & O. MOUTAUX (2001). *Sciences de la Vie et de la Terre Première S*. Hatier, Paris.
- BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).
- BOUJARD, D. (dir.). B. ANSELME, C. CULLIN & C. RAGUÈNES-NICOL (2015). *Biologie cellulaire et moléculaire. Tout le cours en fiches. Licence. PACES. CAPES. 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2012)*. Dunod, Paris.
- BOUTIN, V., L. GERAY (dir.), H. CLAUCHE, A. DENIS, A. PROUST & C. VILBERT (2022). *La Biologie en 2200 schémas*. De Boeck, Louvain-la-Neuve (B).
- BERG, I. A. (2011). Ecological Aspects of the Distribution of Different Autotrophic CO2 Fixation Pathways. *Applied and Environmental Microbiology*, 77: 1925-1936. <https://doi.org/10.1128/AEM.02473-10>
- BERNARD, J.-J. (2002). *Bioénergétique cellulaire*. Ellipses, Paris.
- BREUIL, M. (2007). *Biologie 1<sup>re</sup> année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- BREUIL, M. (2009). *Biologie 2<sup>e</sup> année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- BUCHANAN, B. B., W. GRUISSEM & R. L. JONES (dir.) (2015). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Wiley, New York, USA – Blackwell, Oxford, UK, 2e édition (1e édition 2002).
- CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1995).
- [CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERMAN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie. Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE*. Pearson, Paris (4e édition).
- DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1<sup>re</sup> année*. Vuibert, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), C. BORDI, F. SAINTPIERRE, M. ALGRAIN-PITAVY, M. QUERTINIEZ, A. PROUST, M. VABRE A. HELME-GUIZON & B. MOLLIER (2019). *Biologie Géologie BCPST 2<sup>e</sup> année*. Vuibert, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, B. MOLLIER, A. PROUST, M. QUERTINIEZ, F. SAINTPIERRE & M. VABRE (2021). *Prépas scientifiques BCPST 1<sup>re</sup> année. Biologie Géologie. Tout-en-un*. Vuibert, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, B. MOLLIER, A. PROUST, F. SAINTPIERRE & M. VABRE (2022). *Prépas scientifiques BCPST 2<sup>e</sup> année. Biologie Géologie. Tout-en-un*. Vuibert, Paris.
- DELAIRE-ÉCHARD, S. & J.-M. BELLAMY (dir.), G. CAMUS, M. CHAIZE, C. CROQUELOIS, S. DE SINGLY, S. GASNE, C. HELMSTETTER, A. HERMIER, A.-S. HODOT, S. HURTREZ, C. LEGENT, M. MAINTIGNIEUX, A.-C. MARTIN, C. MEILLAUD, C. NUSS, C. PALMIER, F. THIERRY, S. TRUFFAUT, A. YVET, C. CAUSSE & Y. KRAUSS (2019). *Sciences de la Vie et de la Terre. Planète SVT 1<sup>re</sup> Spécialité. Programme 2019*. Hachette, Paris.
- DENÈUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2<sup>e</sup> année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DENÈUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1<sup>re</sup> année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DENÈUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2<sup>e</sup> année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DUCO, A. (dir.), C. BONNET, P. BRINGER, C. BUSSIÈRE, F. CARIOU, M. CHARLES, A. CLAMENS, J.-P. ESTEBAN, M. GALLIZIA, D. GRANDOUILLET, S. KROGMANN, C. LENNE, J.-F. MOYEN, C. MULNET, D. MULNET, M. NAESSENS & F. SCHMITT, 2001. *SVT Sciences de la Vie et de la Terre Première S*. Belin, Paris.
- FUJIL, J. (2019). Chapter 6. Catalytic Proteins – Enzymes, pages 61-74. In BAYNES, J. W. & M. H. DOMINICZAK (dir.). *Medical Biochemistry*. 5<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1999). Elsevier, Amsterdam.
- GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1<sup>re</sup> année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse*. Ellipses, Paris.
- LATRUFFE, N. (dir.), F. BLEICHER-BARDETTI, B. DUCLOS & J. VAMECQ (2014). *Biochimie. Tout le cours en fiches. Licence. PACES-UE1. CAPES*. Dunod, Paris.
- LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), C. BRUNET, B. FORESTIER, E. FRANÇOIS, Y. JUSSERAND, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE (2011). *Sciences de la Vie et de la Terre 1<sup>re</sup> S*. Bordas, Paris.
- MADIGAN, M. & J. MARTINKO (2007). *BROCK. Biologie des micro-organismes*. Pearson Education France, Paris, 11<sup>e</sup> édition américaine (2006) traduite sous la dir. de D. PRIEUR.
- MARCONIS, C., P. MARTY, D. RICHARD & M. SEBBAH (1990). *Neurobiologie. 1. Le système nerveux : système de communication*. Hachette, Paris.
- MARIEB, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines*. Renouveau pédagogique, Saint-Laurent (Québec, Canada), Diffusion Pearson Education France, Paris, 6<sup>e</sup> édition américaine (2004) adaptée par R. LACHAÎNE.
- MARIEB, E. N. & K. HOEHN (2015). *Anatomie et physiologie humaines*. Pearson, Montréal (Québec, Canada), 9<sup>e</sup> édition américaine adaptée par L. MOUSSAKOVA & R. LACHAÎNE.
- MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales*. Maloine, Paris, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2004).
- MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2019). *Botanique. Biologie et physiologie végétales*. Maloine, Paris, 3<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2004).
- MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et collaborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie*. Frison-Roche, Paris.
- MOROT-GAUDRY, J.-F. (dir.) (1997). *Assimilation de l'azote chez les plantes*. INRA, Versailles.
- MOROT-GAUDRY, J.-F. (dir.), F. MOREAU, R. PRAT, C. MAUREL & H. SENTENAC (2009). *Biologie végétale. Nutrition et métabolisme*. Dunod, Paris.

MOUSSART, C. (2010). *Biochimie et biologie moléculaire*. De Boeck, Bruxelles (B).

PÉRILLEUX, É., D. RICHARD, B. ANSELME, J.-M. DEMONT & P. VALET (2002). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé*. Nathan, Paris, 2<sup>e</sup> édition.

PERRIER, C. & J.-F. BEAUX (dir.), A. BOUFFIER, L. BOUGEIS, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J. DÉMARET-NICOLAS, A. EMOND, S. MAURY, O. MONNIER, T. SOUBAYA, A. VERGNAUD & A. WOEHLÉ (2021). *Biologie-Géologie BCPST 1. Tout-en-un*. Dunod, Paris.

PERRIER, C. & J.-F. BEAUX (dir.), A. BOUFFIER, S. COCQ, T. DARRIBÈRE, E. DOUZERY, S. HURTREZ-BOUSSÈS, S. MAURY, O. MONNIER & T. SOUBAYA (2022). *Biologie-Géologie BCPST 2. Tout-en-un*. Dunod, Paris.

PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010a). *Biologie tout-en-un BCPST 1<sup>re</sup> année*. Dunod, Paris, 2<sup>e</sup> édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1<sup>re</sup> édition 2006).

PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010b). *Biologie tout-en-un BCPST 2<sup>e</sup> année*. Dunod, Paris, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2007).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1<sup>re</sup> année*. Dunod, Paris, 3<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2<sup>e</sup> année*. Dunod, Paris, 3<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2007).

RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007a). *Biologie*. De Boeck, Bruxelles, 1250 pages + xxiv + annexes.

RAVEN, P. H., R. F. EVERT & S. E. EICHHORN (2007b). *Biologie végétale*. De Boeck, Bruxelles. Traduction de la 7<sup>e</sup> édition américaine par J. Bouharmont, révision C. Evrard.

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2010).

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 3<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2010).

RIEUTORT, M. (1998). *Physiologie animale. 1. Les cellules dans l'organisme*. Mise à jour M. RIEUTORT & D. PICHARD (coll. M. RIEUTORT). Masson, Paris, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1982).

RIEUTORT, M. (1999). *Physiologie animale. 2. Les grandes fonctions*. Mise à jour D. PICHARD. Masson, Paris, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1982).

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> années*. Vuibert, Paris.

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, A. DENIS, L. GERAY & I. MOLLIÈRE (2021). *Mémento Biologie BCPST 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> années*. Vuibert, Paris, 2<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 2017).

SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1<sup>re</sup> année*. Ellipses, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2<sup>e</sup> année*. Ellipses, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), C. AHYERRE, G. BAILLY, É. CHAUVET, D. FAVRE, M. HUILLE, T. JEAN, F. METZ, C. PROCH & F. SONTONNAX (2023). *BCPST 1<sup>re</sup> année Biologie. 2<sup>e</sup> édition*. Ellipses, Paris.

SILVERTHORN, D. U., avec W. C. OBER, C. W. GARRISON, A. C. SILVERTHORN & B. R. JOHNSON (2007). *Physiologie humaine. Une approche intégrée*. Pearson Education France, Paris, 4<sup>e</sup> édition américaine traduite sous la dir. de J.-F. BRUN.

TAIZ, L. & E. ZEIGER (dir.) (2010). *Plant physiology*. Sinauer Associates, Sunderland (Massachusetts, USA), 5<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1991).

TORTORA, G. J. & B. DERRICKSON (2009). *Manuel d'anatomie et de physiologie humaines*. Adaptation française L. MARTIN & M. FOREST. De Boeck, Bruxelles, B.

[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme*. Maloine, Paris, 6<sup>e</sup> édition.

VOET, D. & J. G. VOET (2005). *Biochimie*. De Boeck, Bruxelles (B), 2<sup>e</sup> édition française [3<sup>e</sup> édition américaine, John Wiley and sons, New York, USA, 2004. Traduction G. ROUSSEAU & L. DOMENJOU].

WILLEY, J. M., L. M. SHERWOOD & C. J. WOOLVERTON (2018). *Microbiologie de PRESCOTT*. Traduction de la 10<sup>e</sup> édition américaine par J. COYETTE, J.-P. JOSELEAU & R. PERRAUD. De Boeck, Louvain-la-Neuve (Belgique), 5<sup>e</sup> édition (1<sup>re</sup> édition 1999).

## Plan du chapitre

<b>Objectifs : extraits du programme</b>	<b>1</b>
<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>I. Une matière organique qui peut être oxydée lors de la production d'ATP : le catabolisme oxydatif</b>	<b>2</b>
<b>A. Le catabolisme oxydatif : une vue d'ensemble</b>	<b>2</b>
1. La notion de respiration cellulaire : une oxydation complète de la matière organique	2
2. L'exemple du catabolisme du glucose : une vision globale	2
a. Équation-bilan de la respiration cellulaire (sens large)	2
b. Trois étapes principales	2
β. Le cycle de KREBS au niveau de la matrice mitochondriale	3
γ. La chaîne respiratoire et la phosphorylation oxydative au niveau de l'espace intermembranaire	3
c. L'existence d'oxydations incomplètes et anaérobies de matière organique : les fermentations	3
3. L'existence d'autres voies d'entrée dans le catabolisme oxydatif : autres oses, glycérol, acides gras, acides aminés	4
a. Les polymères, dimères, etc. (peptidiques, glucidiques...) : une préalable dépolymérisation	4
b. Les oses, des substrats pouvant entrer dans la glycolyse (ou la voie des pentoses phosphates)	4
c. Le glycérol, un substrat pouvant entrer dans la glycolyse	4
d. Les acides gras, substrats possibles de la β-oxydation (= hélice de LYNNEN)	4
e. Les acides aminés, substrats possibles de transaminations et désaminations	4
f. Et les nucléotides ? Des substrats rarement catabolisés	4
<b>B. La glycolyse, une oxydation partielle du glucose en pyruvate</b>	<b>4</b>
1. Une dizaine de réactions que l'on peut diviser en deux phases clefs : investissement puis remboursement d'énergie	4
2. Le contrôle de la glycolyse	6
a. Le rôle clef des trois réactions irréversibles [(1), (3), (10)] à forte variation d'enthalpie libre	6
b. Des enzymes (HK, PFK1, pyruvate kinase) rétroinhibées ou rétrostimulées par les métabolites de la glycolyse et de la respiration	6
c. Chez les Mammifères : un contrôle hormonal de la glycolyse (ex. insuline, glucagon)	6
<b>C. Le devenir du pyruvate</b>	<b>6</b>
1. En conditions aérobies : entrée dans la mitochondrie et conversion en acétyl-CoA par décarboxylation oxydative avec production de pouvoir réducteur (NADH,H <sup>+</sup> )	6
2. En conditions anaérobies* chez certaines cellules : la fermentation qui ré-oxyde les coenzymes préalablement réduits par la glycolyse	7
a. Deux types de fermentations en fonction du produit formé : la fermentation alcoolique et la fermentation lactique	7
b. Intérêts biologiques de la fermentation	7
<b>D. Dans les mitochondries : une oxydation complète des substrats organiques (respiration cellulaire au sens strict)</b>	<b>8</b>
1. Rappels sur la structure des mitochondries	8
2. Le cycle de KREBS : un ensemble de réactions matricielles cycliques produisant une importante quantité de pouvoir réducteur	8
3. Entrée des petits métabolites dans les mitochondries [pour information ?]	8
4. La conversion du pouvoir réducteur en une importante quantité d'ATP : chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative	10
a. L'établissement d'un gradient de protons dans l'espace intermembranaire : un couplage chimio-osmotique entre oxydation des coenzymes et flux de protons	10
α. Principe général	10
β. Composition et fonctionnement de la chaîne respiratoire	11
γ. Un transfert des électrons selon une suite de potentiels redox (E <sup>o</sup> ) croissants (et un ΔrG <sup>o</sup> de valeur absolue décroissante)	11
δ. Comparaison entre deux chaînes de transfert d'électrons (CTE) : la chaîne photosynthétique et la chaîne respiratoire	11
b. L'emploi du gradient de protons dans la phosphorylation d'ADP en ATP par l'ATP synthétase : un couplage osmochimique	12



<b>E. Bilan énergétique comparé de la respiration cellulaire au sens large et de la fermentation dans le cas d'une molécule de glucose</b>	<b>12</b>	<b>III. Une matière organique qui peut être stockée ou déstockée avant utilisation et/ou exportation : le métabolisme des réserves</b>	<b>25</b>
1. Cas de la respiration cellulaire (sens large) : un rendement jusqu'à 40 %	12	<b>A. La diversité des réserves existantes</b>	<b>25</b>
2. Cas des fermentations : un rendement de 2 %	12	1. Le stockage des polysaccharides (exemples : amidon, glycogène)	25
<b>F. D'autres origines possibles du pouvoir réducteur ou des substrats respiratoires : l'exemple des acides aminés et des acides gras</b>	<b>12</b>	a. L'amidon chez les Angiospermes et le glycogène chez les Mammifères : des polymères de glucose permettant son stockage	25
1. Les cas de l'oxydation cataboliques des acides aminés : de nombreuses réactions cytosoliques (limite programme ?)	12	b. Amidon et glycogène, des composés à localisation particulière	25
2. Le cas de l'oxydation catabolique des acides gras (AG)	13	α. Localisations possibles de l'amidon (Angiospermes) : chloroplastes ou amyloplast	25
a. Une vue d'ensemble du catabolisme lipidique	13	β. Localisation du glycogène (Mammifères) : le cytosol (foie, muscles)	25
b. Les modalités de l'oxydation mitochondriale (ou péroxysomique) des acides gras : mécanismes de la β-oxydation ou hélice de LYNEN	13	2. Le stockage des protéines : l'exemple du gluten (Angiospermes Poacées)	25
c. Le bilan énergétique du catabolisme complet d'un acide gras (à 6 C et à 16 C) et sa comparaison au catabolisme complet d'un glucose	14	a. Les grains d'aleurone, grains vacuolaires desséchés de protéines à fonction de réserve	25
<b>G. Quelques données expérimentales</b>	<b>15</b>	b. Le gluten, une partie de la fraction protéique de l'albumen des Poacées	25
1. Étude <i>in vitro</i> de la vitesse initiale de la PFK1 en fonction de la présence d'effecteurs allostériques	15	3. Le stockage des lipides : l'exemple des triglycérides (Angiospermes et Mammifères)	25
2. Effet de l'ATP sur la vitesse initiale de la PFK1	15	a. Nature biochimique et formation	25
3. Mise en évidence du rôle des coenzymes réduits dans le transfert de protons et la réduction du dioxygène	15	b. Des molécules hydrophobes à rôle de réserve et à localisation cytosolique (ou plastidiale)	25
4. Mise en évidence du rôle du gradient de protons dans la régénération d'ATP au niveau de la membrane interne mitochondriale	15	<b>B. Le devenir des trioses phosphates et les conséquences de l'alternance jour-nuit dans les cellules chlorophylliennes</b>	<b>26</b>
5. Expérience de CHANCE & WILLIAMS (1955) : mise en évidence de réactions successives d'oxydoréduction mitochondriales	16	1. En journée (à la lumière) : la production de glucides variés stockés ou exportés	26
<b>H. Bilan</b>	<b>17</b>	a. Le devenir des trioses phosphates : des glucides variés (une vue d'ensemble)	26
<b>II. Une matière organique qui peut servir d'emploi à la synthèse de nouvelles biomolécules : l'anabolisme</b>	<b>20</b>	b. Le saccharose, molécule stockée dans la vacuole et/ou exportée vers le phloème	26
<b>A. Les cellules eucaryotes, des entités dont les constituants ont une durée de vie limitée et sont renouvelés par des biosynthèses</b>	<b>20</b>	c. L'amidon, polymère glucidique mis en réserve dans le chloroplaste en journée	27
1. Des constituants complexes et altérables, à durée de vie limitée	20	2. La nuit (à l'obscurité) : une mobilisation des réserves (notamment l'amidon chloroplastique) assurant la continuité de l'approvisionnement trophique du végétal	27
a. Une altération spontanée ou due à des mécanismes de dégradation enzymatique	20	a. Mise en évidence d'une variabilité nyctémérale du transport glucidique et des réserves amylicées foliaires	27
2. Un <i>turn-over</i> moléculaire entretenu par des biosynthèses (constituant l'anabolisme)	20	b. Les mécanismes de dégradation de l'amidon : une vision d'ensemble	28
<b>B. L'anabolisme, un processus localisé et conditionné</b>	<b>20</b>	3. Remarque : de jour comme de nuit, l'existence d'une activité respiratoire mitochondriale et d'activités de synthèses variées	28
1. Un processus qui prend appui sur la spécialisation et la coopération des compartiments cellulaires : panorama des principales biosynthèses dans une cellule eucaryote	20	4. Bilan : une vue d'ensemble comparative du métabolisme selon les conditions d'éclairement	28
2. Un processus requérant de la matière, de l'énergie, un catalyseur et de l'information	21	<b>C. Le stockage et le déstockage du glucose chez les Mammifères</b>	<b>29</b>
3. Un processus endergonique dont l'énergie est fournie par un couplage à un travail exergonique (notion de couplage énergétique)	21	1. Un stockage par glycogénogenèse dans le foie et les tissus musculaires	29
<b>C. Un acheminement possible des produits de l'anabolisme</b>	<b>21</b>	a. La production de glycogène dans les cellules hépatiques et musculaires : la glycogénogenèse	29
<b>D. Un processus qui repose sur des interconversions entre familles de molécules</b>	<b>22</b>	b. Régulation enzymatique de la glycogénogenèse : zoom sur l'hexokinase et la glucokinase	29
1. Panorama des interconversions entre famille de molécules	22	2. Un déstockage par glycogénolyse dans les cellules hépatiques (et musculaires à l'effort)	29
2. L'importance de molécules au confluent de plusieurs voies anaboliques et/ou cataboliques : les carrefours métaboliques (ex. pyruvate, acétylCoA)	22	a. La mobilisation du glycogène dans les cellules hépatiques et musculaires : la glycogénolyse	29
<b>E. Focus sur trois exemples de voies anaboliques sur lesquelles insiste le programme</b>	<b>23</b>	3. Pour information : la production possible de glucose néoformé dans le foie à partir de substrats non glucidiques (néoglucogenèse)	30
1. La synthèse d'acides gras et de lipides à partir d'acétylcoenzyme A	23	4. Des processus contrôlés hormonalement dans le cadre de la régulation de la glycémie	30
2. La synthèse cytosolique d'acides aminés à partir de pyruvate : l'exemple de l'alanine (par transamination)	23	<b>Pour faire une fiche de révision : quelques pistes</b>	<b>31</b>
3. La synthèse de polyosides à partir de glucose phosphorylé	23	<b>Références</b>	<b>31</b>
a. La synthèse plastidiale (chloroplastique ou amyloplastique) des composés de l'amidon (amylose et amylopectine) chez les Chlorophytes	23	<b>Plan du chapitre</b>	<b>32</b>
b. La synthèse cytosolique (hépatique ou musculaire) du glycogène chez les Métazoaires (exemple des Mammifères) : la glycogénogenèse	24	<b>Plan simplifié du chapitre (3 niveaux de plan)</b>	<b>34</b>
α. Mise en expérience historique de la glycogénogenèse : l'expérience du foie lavé de C. BERNARD (vers 1860)	24	<b>Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux de plan)</b>	<b>35</b>
β. Modalités de la glycogénogenèse	24		

## Plan simplifié du chapitre (3 niveaux de plan)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
<b>I. Une matière organique qui peut être oxydée lors de la production d'ATP : le catabolisme oxydatif</b>	<b>2</b>
<b>A. Le catabolisme oxydatif : une vue d'ensemble</b>	<b>2</b>
1. La notion de respiration cellulaire : une oxydation complète de la matière organique	2
2. L'exemple du catabolisme du glucose : une vision globale	2
3. L'existence d'autres voies d'entrée dans le catabolisme oxydatif : autres oses, glycérol, acides gras, acides aminés	4
<b>B. La glycolyse, une oxydation partielle du glucose en pyruvate</b>	<b>4</b>
1. Une dizaine de réactions que l'on peut diviser en deux phases clefs : investissement puis remboursement d'énergie	4
2. Le contrôle de la glycolyse	6
<b>C. Le devenir du pyruvate</b>	<b>6</b>
1. En conditions aérobies : entrée dans la mitochondrie et conversion en acétyl-CoA par décarboxylation oxydative avec production de pouvoir réducteur (NADH, H <sup>+</sup> )	6
2. En conditions anaérobies* chez certaines cellules : la fermentation qui ré-oxyde les coenzymes préalablement réduits par la glycolyse	7
<b>D. Dans les mitochondries : une oxydation complète des substrats organiques (respiration cellulaire au sens strict)</b>	<b>8</b>
1. Rappels sur la structure des mitochondries	8
2. Le cycle de KREBS : un ensemble de réactions matricielles cycliques produisant une importante quantité de pouvoir réducteur	8
3. Entrée des petits métabolites dans les mitochondries [ <i>pour information ?</i> ]	8
4. La conversion du pouvoir réducteur en une importante quantité d'ATP : chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative	10
<b>E. Bilan énergétique comparé de la respiration cellulaire au sens large et de la fermentation dans le cas d'une molécule de glucose</b>	<b>12</b>
1. Cas de la respiration cellulaire (sens large) : un rendement jusqu'à 40 %	12
2. Cas des fermentations : un rendement de 2 %	12
<b>F. D'autres origines possibles du pouvoir réducteur ou des substrats respiratoires : l'exemple des acides aminés et des acides gras</b>	<b>12</b>
1. Les cas de l'oxydation cataboliques des acides aminés : de nombreuses réactions cytosoliques (limite programme ?)	12
2. Le cas de l'oxydation catabolique des acides gras (AG)	13
<b>G. Quelques données expérimentales</b>	<b>15</b>
1. Étude <i>in vitro</i> de la vitesse initiale de la PFK1 en fonction de la présence d'effecteurs allostériques	15
2. Effet de l'ATP sur la vitesse initiale de la PFK1	15
3. Mise en évidence du rôle des coenzymes réduits dans le transfert de protons et la réduction du dioxygène	15
4. Mise en évidence du rôle du gradient de protons dans la régénération d'ATP au niveau de la membrane interne mitochondriale	15
5. Expérience de CHANCE & WILLIAMS (1955) : mise en évidence de réactions successives d'oxydoréduction mitochondriales	16
<b>H. Bilan</b>	<b>17</b>

<b>II. Une matière organique qui peut servir d'emploi à la synthèse de nouvelles biomolécules : l'anabolisme</b>	<b>20</b>
<b>A. Les cellules eucaryotes, des entités dont les constituants ont une durée de vie limitée et sont renouvelés par des biosynthèses</b>	<b>20</b>
1. Des constituants complexes et altérables, à durée de vie limitée	20
2. Un <i>turn-over</i> moléculaire entretenu par des biosynthèses (constituant l'anabolisme)	20
<b>B. L'anabolisme, un processus localisé et conditionné</b>	<b>20</b>
1. Un processus qui prend appui sur la spécialisation et la coopération des compartiments cellulaires : panorama des principales biosynthèses dans une cellule eucaryote	20
2. Un processus requérant de la matière, de l'énergie, un catalyseur et de l'information	21
3. Un processus endergonique dont l'énergie est fournie par un couplage à un travail exergonique (notion de couplage énergétique)	21
<b>C. Un acheminement possible des produits de l'anabolisme</b>	<b>21</b>
<b>D. Un processus qui repose sur des interconversions entre familles de molécules</b>	<b>22</b>
1. Panorama des interconversions entre famille de molécules	22
2. L'importance de molécules au confluent de plusieurs voies anaboliques et/ou cataboliques : les carrefours métaboliques (ex. pyruvate, acétylCoA)	22
<b>E. Focus sur trois exemples de voies anaboliques sur lesquelles insiste le programme</b>	<b>23</b>
1. La synthèse d'acides gras et de lipides à partir d'acétylcoenzyme A	23
2. La synthèse cytosolique d'acides aminés à partir de pyruvate : l'exemple de l'alanine (par transamination)	23
3. La synthèse de polysides à partir de glucose phosphorylé	23
<b>III. Une matière organique qui peut être stockée ou déstockée avant utilisation et/ou exportation : le métabolisme des réserves</b>	<b>25</b>
<b>A. La diversité des réserves existantes</b>	<b>25</b>
1. Le stockage des polysaccharides (exemples : amidon, glycogène)	25
2. Le stockage des protéines : l'exemple du gluten (Angiospermes Poacées)	25
3. Le stockage des lipides : l'exemple des triglycérides (Angiospermes et Mammifères)	25
<b>B. Le devenir des trioses phosphates et les conséquences de l'alternance jour-nuit dans les cellules chlorophylliennes</b>	<b>26</b>
1. En journée (à la lumière) : la production de glucides variés stockés ou exportés	26
2. La nuit (à l'obscurité) : une mobilisation des réserves (notamment l'amidon chloroplastique) assurant la continuité de l'approvisionnement trophique du végétal	27
3. Remarque : de jour comme de nuit, l'existence d'une activité respiratoire mitochondriale et d'activités de synthèses variées	28
4. Bilan : une vue d'ensemble comparative du métabolisme selon les conditions d'éclairement	28
<b>C. Le stockage et le déstockage du glucose chez les Mammifères</b>	<b>29</b>
1. Un stockage par glycogénogenèse dans le foie et les tissus musculaires	29
2. Un déstockage par glycogénolyse dans les cellules hépatiques (et musculaires à l'effort)	29
3. Pour information : la production possible de glucose néoformé dans le foie à partir de substrats non glucidiques (néoglucogenèse)	30
4. Des processus contrôlés hormonalement dans le cadre de la régulation de la glycémie	30
<b>Pour faire une fiche de révision : quelques pistes</b>	<b>31</b>
<b>Références</b>	<b>31</b>
<b>Plan du chapitre</b>	<b>32</b>
<b>Plan simplifié du chapitre (3 niveaux de plan)</b>	<b>34</b>
<b>Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux de plan)</b>	<b>35</b>

## Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux de plan)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
<b>I. Une matière organique qui peut être oxydée lors de la production d'ATP : le catabolisme oxydatif</b>	<b>2</b>
A. Le catabolisme oxydatif : une vue d'ensemble	2
B. La glycolyse, une oxydation partielle du glucose en pyruvate	4
C. Le devenir du pyruvate	6
D. Dans les mitochondries : une oxydation complète des substrats organiques (respiration cellulaire au sens strict)	8
E. Bilan énergétique comparé de la respiration cellulaire au sens large et de la fermentation dans le cas d'une molécule de glucose	12
F. D'autres origines possibles du pouvoir réducteur ou des substrats respiratoires : l'exemple des acides aminés et des acides gras	12
G. Quelques données expérimentales	15
H. Bilan	17
<b>II. Une matière organique qui peut servir d'emploi à la synthèse de nouvelles biomolécules : l'anabolisme</b>	<b>20</b>
A. Les cellules eucaryotes, des entités dont les constituants ont une durée de vie limitée et sont renouvelés par des biosynthèses	20
B. L'anabolisme, un processus localisé et conditionné	20
C. Un acheminement possible des produits de l'anabolisme	21
D. Un processus qui repose sur des interconversions entre familles de molécules	22
E. Focus sur trois exemples de voies anaboliques sur lesquelles insiste le programme	23
<b>III. Une matière organique qui peut être stockée ou déstockée avant utilisation et/ou exportation : le métabolisme des réserves</b>	<b>25</b>
A. La diversité des réserves existantes	25
B. Le devenir des trioses phosphates et les conséquences de l'alternance jour-nuit dans les cellules chlorophylliennes	26
C. Le stockage et le déstockage du glucose chez les Mammifères	29
<b>Pour faire une fiche de révision : quelques pistes</b>	<b>31</b>
Références	31
Plan du chapitre	32
Plan simplifié du chapitre (3 niveaux de plan)	34
Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux de plan)	35

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.  
Document produit en avril 2023 (inspiré de supports antérieurs de TB et d'ATS Bio) • Dernière actualisation : avril 2024.

Contact : [Tanguy.Jean4@gmail.com](mailto:Tanguy.Jean4@gmail.com)

Adresse de téléchargement : <https://www.svt-tanguy-jean.com/>



Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.