

Introduction au métabolisme

I) Introduction

A) Petit point définitions :

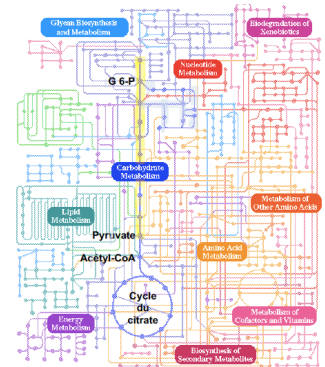
Dans l'organisme, de **nombreuses réactions** se déroulent : on reçoit de la matière et de l'énergie, principalement par **l'alimentation**, mais aussi de notre propre organisme

Le corps doit être capable de **transformer et d'utiliser** cette énergie chimique selon nos besoins mais aussi de le stocker pour l'utiliser ultérieurement.

♥ Le **métabolisme** comprend :

▽ Le **catabolisme** = dégradation de molécules complexes pour produire de l'énergie

▽ Le **anabolisme** = synthèse de molécules complexes en utilisant l'énergie libérée par le catabolisme



♥ Les **enzymes** vont réguler, contrôler les réactions du métabolisme et permettre qu'elles soient fonctionnelles quand il faut.

↳ la **capacité métabolique** d'une cellule dépend de son équipement enzymatique.

♥ Les **voies métaboliques** sont des **suites ordonnées de réaction chimiques** catalysées par des enzymes avec échange d'énergie et **régulées par le système hormonal** (=endocrinien) et **nerveux**.

♥ Les **carrefours métaboliques** sont des molécules communes à plusieurs voies et permettent de passer d'une voie à l'autre en fonction des besoins : **Glucose 6-P**, **Acétyl CoA**, **Pyruvate**

♥ Dans les **cycles métaboliques** la molécule initiale est re-synthétisée en fin de cycle : **cycle de krebs**

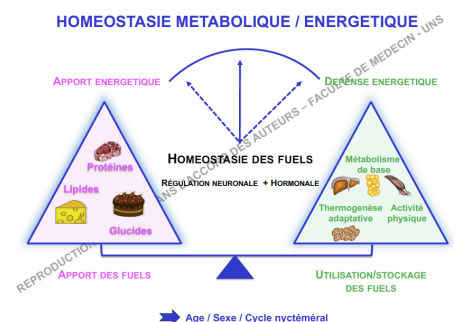
B) Homéostasie métabolique

♥ **L'homéostasie** correspond à l'état physiologique où les **concentrations des métabolites sont maintenues constantes** en fonction des différents types de dépenses énergétiques.

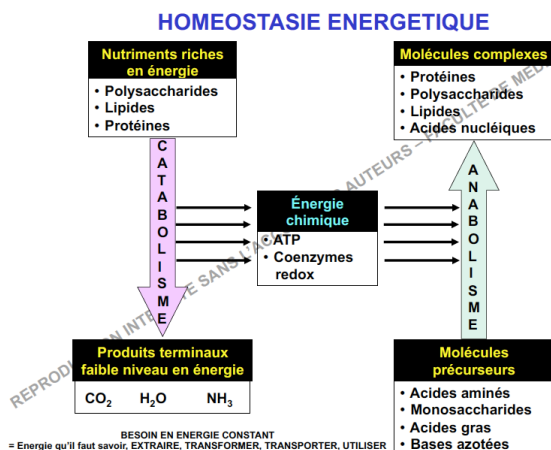
♥ On peut représenter l'homéostasie par une **balance énergétique** avec d'un côté les apports et de l'autre les dépenses.

♥ On note 3 types de métabolisme : **de base** (=repos), **post prandial** (=après avoir mangé) et **de l'exercice**.

♥ Il faut un **équilibre permanent entre apport (alimentation) et dépense énergétique** pour avoir un poids constant → cet équilibre dépend de l'**âge**, du **sexe**, et du **cycle nyctéméral**.



B) Homéostasie énergétique



♥ Les **glucides**, **lipides**, et **protéines** que nous ingérons **ne peuvent PAS** être utilisés tels quels par notre organisme.

♥ Ces molécules complexes doivent être dégradées (**CATABOLISME**) en molécules simples : des *précurseurs* ou des *molécules intermédiaires* qui vont être utilisées pour recréer d'autres molécules complexes (**ANABOLISME**).

♥ Si on a une dégradation complète des nutriments, on obtient des **produits terminaux** : **CO₂**, **H₂O** et **NH₃**

♥ **L'énergie chimique** (ATP, coenzymes rédox) générés par le catabolisme va être utilisée par l'anabolisme
→ notion de **couplage énergétique** +++

C) Comparaison Catabolisme / Anabolisme

	CATABOLISME	ANABOLISME
OBJECTIFS	Production d'énergie (utilise les réserves)	Synthèse (reconstitue les réserves)
Types de réactions	Oxydations (donneur d'électrons)	Réductions (besoin d'électrons)
Bilan énergétique	Production	Consommation
Matériel de départ	Molécules haut PM Complexes, variables	Molécules simples Peu nombreuses
Matériel d'arrivée	Molécules simples Peu nombreuses	Molécules haut PM Complexes, variables
Coenzymes / Énergie	ADP → ATP FAD → FADH ₂ NAD ⁺ → NADH	ATP → ADP / AMP NADPH → NADP ⁺

II) Concepts généraux

A) Types de réactions

Réaction	Description
OXYDO-RÉDUCTION	Composante essentielle des voies métaboliques On donne ou récupère des électrons selon le sens de la réaction
LIGATION	Formation de liaisons en utilisant l'énergie libre produite par clivage d'ATP
ISOMÉRISATION	Réarrangement d'atomes au sein d'une molécule Consomme <u>très peu d'énergie</u>
TRANSFERT DE GROUPE	
HYDROLYSE	Clivage de liaisons par addition d'H₂O
GROUPE FONCTIONNELS	Ajoutés sur des doubles liaisons pour former des simples liaisons Éliminés de liaisons simples formant des liaisons doubles

B) Quelques mots sur la bioénergétique

En Biochimie, on a 3 types de réactions en fonction de l'état énergétique :

- ♥ **ENDERGONIQUE** ($\Delta > 0$) : la réaction **ne peut pas** se produire spontanément
- ♥ **À L'ÉQUILIBRE** ($\Delta = 0$)
- ♥ **EXERGONIQUE** ($\Delta < 0$) : la réaction a lieu **spontanément**

Ainsi les enzymes peuvent avoir **besoin de plus ou moins d'énergie** : pour les réactions **thermodynamiquement défavorables**, un **apport d'énergie** est nécessaire pour la rendre thermodynamiquement favorable : c'est le **COUPLAGE ÉNERGÉTIQUE**.

C) Les molécules clés du métabolisme

L'ATP

- ♥ Source **universelle** d'énergie
- ♥ **Relie les voies** libérant de l'énergie à celles en requérant
- ♥ Générée par **oxydation de substrats métaboliques au niveau de la CRM**

NADP⁺/NADPH+H⁺

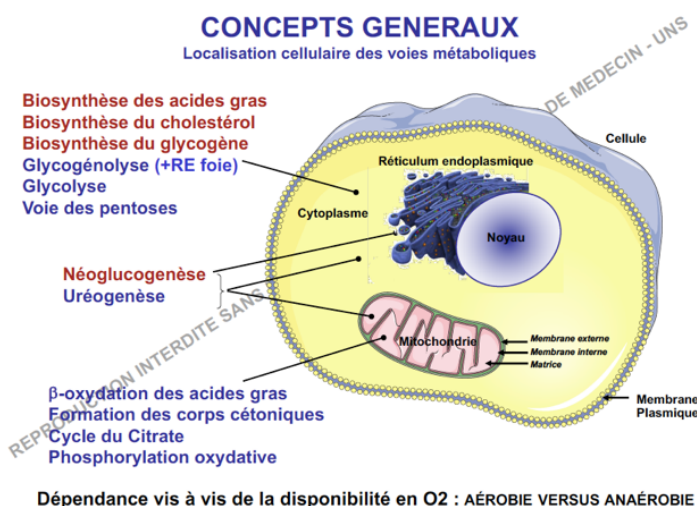
- ♥ Cofacteur essentiel des réactions **anaboliques** (biosynthèse des AG/ cholestérol)
- ♥ Intervient dans les réactions de **réduction** de substrat

NAD⁺/NADH+H⁺

- ♥ Cofacteur essentiel des réactions **cataboliques**
- ♥ Intervient dans les réactions **d'oxydation**

D) Localisation intracellulaire des voies

- ♥ L'anabolisme et le catabolisme **ont souvent différentes** localisations cellulaires (compartimentation) +++
- ♥ D'une cellule à l'autre elles n'ont **pas le même bagage enzymatique**.
→ Et si les enzymes sont dans la même cellule elles ne sont **pas forcément dans le même compartiment**.
- ♥ D'un compartiment à l'autre : **enzymes différentes** donc **régulations différentes**



Cytoplasme

Voies de **biosynthèse** mais aussi une partie de la **dégradation du glycogène**

Mitochondrie

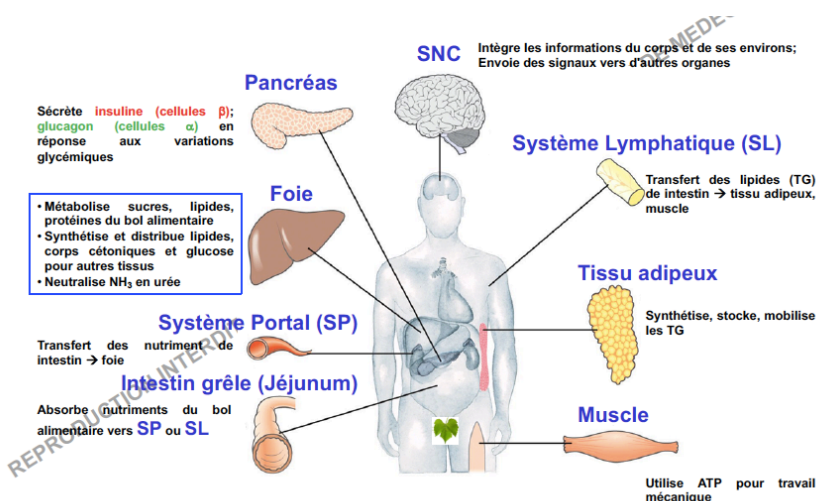
Production de la **majorité de l'énergie** sous forme **d'ATP** :
Forme les **corps cétoniques**, **oxydation des AG**, cycle de Krebs et la **phosphorylation oxydative**

Mixtes

Néoglucogenèse et uréogénèse
→ Ont besoin de plusieurs compartiments

B) Fonctions métaboliques des différents organes

LE CERVEAU	* Glucodépendant * Intègre les informations du corps et de l'environnement * Envoie des signaux vers les autres organes
L'INTESTIN GRÊLE	* Au cours d'un repas : - il redistribue le contenu du bol alimentaire dans le système porte ou lymphatique - il absorbe les nutriments
LE SYSTÈME PORTE	* Transfert des nutriments vers le foie
LE SYSTÈME LYMPHATIQUE	* Transfert des lipides de l'intestin au TA et muscles
LE PANCRÉAS	* Sécrétion des 2 hormones ++ : insuline et glucagon → qui régulent la glycémie
LE FOIE	* Métabolise les nutriments, les synthétise * Distribue le glucose aux autres tissus * Neutralise l'ammoniac NH_3 en urée → C'est LE tissu du métabolisme ++ : il s'adapte à toutes les situations en excès (et a une position anatomique parfaite)
LE TISSU ADIPEUX	Stockage et mobilisation des TG
LE MUSCLE	* Utilisation de l'énergie pour un travail physique * Ne participe PAS à l'homéostasie glucidique +++ → Il capte le glucose QUE pour ses propres réserves = organe égoïste



DONC ++ le **foie** et le **muscle** sont capables de **stocker du glycogène** mais celui-ci n'aura la même fonction :

♥ Dans le **muscle** : stocks uniquement **pour lui** (utilisés lors d'un travail mécanique)

♥ Dans le **foie** : utilise les réserves pour **maintenir l'homéostasie** et pour le redistribuer en cas de besoin

III) Régulation enzymatique et hormonale

A) Régulation enzymatique

Il existe 2 types d'enzymes :

♥ Les **enzymes uniques** = simples

♥ Les **complexes enzymatiques** → qui ont, au sein d'une même protéine, **plusieurs sous-unités dissociables** ou de **multiples domaines**. Ils peuvent être associés à une membrane ou être soluble.
→ Cela permet que la réaction se passe rapidement.

Ces enzymes vont être régulées soit au niveau de leur activité soit au niveau de leur synthèse.

1) Régulation au niveau de leur activité

Cette régulation s'effectue par :

♥ La **concentration** du **substrat**, **produit** ou **cofacteur**

♥ Les **effecteurs allostériques**

♥ Les **modifications covalentes** : **post-traductionnelles** en rajoutant des groupements sur l'enzyme par **phosphorylation**

♥ La **localisation de l'enzyme** :

- Si on ne veut pas activer la voie, on **séquestre** une des enzymes clés dans un **autre compartiment** que celui où elle est fonctionnelle
- À l'inverse on peut **délocaliser** l'enzyme de son compartiment de séquestration pour permettre à la voie de **refonctionner**

!! C'est n'est pas parce que une enzyme est phosphorylée qu'elle est active !!

2) Régulation au niveau de la synthèse

Les signaux extracellulaires proviennent du système nerveux ou endocrinien.

Point définition :

Qu'est-ce que le système endocrinien ?

Synthèse et sécrétion d'hormones endocrines qui seront **déversées dans le sang** pour porter une action sur le **tissu cible à distance**. Les hormones agissent sur des **récepteurs membranaires ou intracellulaires** et ne peuvent agir que sur des cellules qui possèdent des **récepteurs particuliers**.

♥ Cela induit un **signal à l'intérieur de la cellule** pour venir **réguler** directement **l'expression de la synthèse** des enzymes en jouant soit :

→ Sur la **transcription**

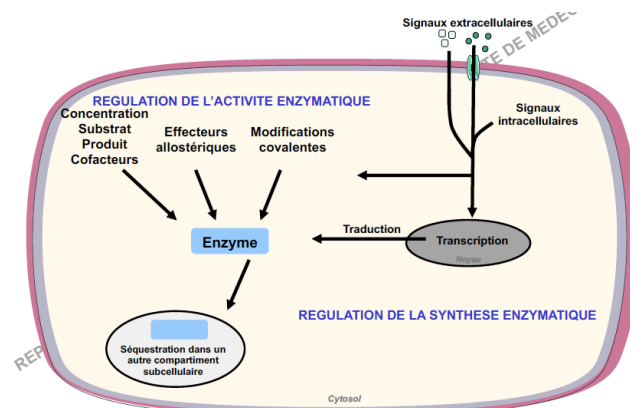
→ Sur la **traduction**

♥ Il existe plusieurs types d'hormones :

- * **Peptidiques** ou **polypeptidiques** (**insuline**, **glucagon**)
- * **Monoaminées** (**adrénaline**)
- * **Stéroïdiennes** (**hormones sexuelles**)

Attention !

Toutes les enzymes ne sont pas régulées, et si elles le sont, elles ne posséderont pas toutes les manières de se faire réguler.



B) Régulation hormonale

Pour comprendre la suite :

- La **GlycoGénoGénèse (GGG)** = synthèse de **glycogène** à partir de **Glucose**.
- La **GlycoGénoLyse (GGL)** = dégradation du **glycogène** pour obtenir du **Glucose**.
- La **GlycoLyse (GL)** = dégradation du **Glucose** en **Pyruvate** pour fournir de l'**énergie**.
- La **NéoGlucoGénèse (NGG)** = synthèse de **Glucose** (*de novo*).



- La **Lipogénèse** = synthèse d'**AG** (qui seront stockés dans le TA sous forme de **TG**).
- La **Lipolyse** = dégradation des **TG** puis des **AG** pour fournir de l'**énergie**.

Le **pancréas** (glande mixte accolée au pancréas) possède **2 fonctions** :

♥ **Exocrine** : sécrétion des **amylases pancréatiques** pour la digestion → dégrade les molécules complexes en molécules simples

♥ **Endocrine** : représenté par les **îlots pancréatiques de Langerhans** (qui ne représentent que 2% du pancréas). Ces îlots synthétisent 2 hormones régulant la glycémie : l'**INSULINE** et le **GLUCAGON**

Type d'hormone	Définition	Lieu d'action	Rôle
INSULINE	* Hormone polypeptidique synthétisée et sécrétée par les cellules B des îlots de Langerhans du pancréas endocrine * C'est la SEULE hormone HYPOGLYCÉMIANTE	* Récepteur membranaire, exprimé dans un grand nombre de cellules mais +++ dans les tissus insulino-sensibles : cellules hépatiques, musculaires, adipocytaires	* Stimule les voies métaboliques de stockage d'énergie * Stimule la glycolyse, glycogénogénèse, lipogénèse * Inhibe la glycogénolyse, néoglucogénèse, lipolyse

♦ Mécanisme d'action de l'insuline :

- 1- **Repas** : taux de glucose ↑ : le pancréas capte ce changement et sécrète l'**insuline**. Le but est de **bloquer les voies de production** et de **stimuler les voies de consommation** de glucose.
- 2- L'**insuline se fixe à son récepteur** (à 1 seul domaine transmembranaire)
- 3- Induction d'un **message secondaire** dans la cellule (souvent cascade de phosphorylation)
- 4- Ces signaux vont **réguler des réponses biologiques** de la cellule : c'est la **signalisation cellulaire**

Type d'hormone	Définition	Lieu d'action	Rôle
GLUCAGON	* Hormone polypeptidique synthétisée et sécrétée par les cellules α des îlots * hormone HYPERGLYCÉMIANTE	* Agit principalement sur les cellules hépatiques +++	* Stimule la glycogénolyse, néoglucogénèse * Inhibe la glycolyse, glycogénogénèse

Type d'hormone	Définition	Lieu d'action	Rôle
ADRÉNALINE	* Hormone dérivée d'amine synthétisée et sécrétée par les neurones et la médullo-surrénale * hormone HYPERGLYCÉMIANTE	* Agit principalement sur les muscles et du tissu adipeux	* Stimule la glycogénolyse, lipolyse * Inhibe la glycogénogénèse

♦ Mécanisme d'action de l'**adrénaline** et du **glucagon** :

Ils exercent leurs actions cellulaires via une augmentation **d'AMP cyclique** et l'activation de la **Protéine Kinase A (PKA)** qui est composée de :

- 2 sous-unités **régulatrices**
- 2 sous-unités **catalytiques**.

→ Les 2 hormones ont leurs récepteurs propres mais la **voie intracellulaire est similaire**.

♦ On s'éloigne des repas → **glycémie trop basse**, le pancréas le détecte et sécrète le **glucagon**

♦ Le **glucagon** et l'**adrénaline** vont se fixer à leurs **récepteurs membranaires** spécifiques (à **7 domaines transmembranaires**, avec un coté extracellulaire reconnaissant l'hormone et un coté intracellulaire qui va induire le signal)

♦ Le signal intracellulaire va activer **l'Adénylate cyclase** → **augmentation du taux d'AMPc**

♦ L'**AMPc** va se fixer aux **2 sous-unités régulatrices** de la **PKA** pour **libérer ses 2 sous-unités catalytiques**

♦ La **PKA** est donc active, et va permettre la **dégradation du glycogène** en induisant la **phosphorylation** de molécules (enzymes).

♥ Récap régulation hormonale ♥

♦ Glycémie trop basse

Les **cellules α** des îlots de Langerhans sécrètent le **GLUCAGON** qui :

- Induit la **Glycogénolyse**, la **Néoglucogénèse**
- Inhibe la **Glycogénogénèse**, la **Glycolyse** et la **Lipogénèse**

♦ Glycémie trop haute

Les **cellules β** des îlots pancréatiques sécrètent l'**INSULINE** :

- Au niveau du **foie** → elle favorise le stockage du glucose (**Glycogénogénèse**)
- Au niveau du **TA** → elle favorise le stockage sous forme de TG (**Lipogénèse**)
- Au niveau du **muscle** → elle favorise la **Glycogénogénèse** (stockage)

IV) Molécules énergétiques

Le **cœur**, le **cerveau**, les **reins** et le **foie** nécessitent **60% de l'énergie** pour être fonctionnels.

A) Substrats énergétiques apportés par l'alimentation

On n'a **pas les mêmes besoin énergétiques** en fonction de notre **âge** et notre **sexe**.

→ Le but est **d'apporter en continu du sucre au cerveau**.

▶ GLUCIDES :	16,7 kJoules/g (4 kcal/g)	
▶ LIPIDES :	37,6 kJoules/g (9 kcal/g)	
▶ PROTÉINES :	16,7 kJoules/g (4 kcal/g)	

B) Réserves énergétiques

♦ Les glucides = le glycogène

Toutes les cellules sont capables de stocker du glycogène mais les 2 tissus majoritaires sont :

- **Foie** : pour pallier aux fluctuations de **variation de glucose** dans le sang, fonctionne avec les autres tissus (épuisé en 24h de jeune).
- **Muscle** : fait ses stocks pour lui-même pour pallier à un **exercice physique** (épuisé en 30min).

Les **glucides** et leur métabolites **circulent librement** sous les formes suivantes :

♥ Glucose : provient de **l'alimentation**, **glycogénolyse**, **NGG**

Il faut maintenir une glycémie à 5.5mM (1g/L) (sinon conséquences néfastes sur l'organisme)

♥ Lactate : provient du **métabolisme du glucose en anaérobie dans le muscle**, et du glucose dans les **globules rouges**

→ Oxydé dans le **cœur** et converti en **glucose** dans le **foie**

♥ Glycérol : libéré à partir des **TG** au niveau des **adipocytes**

→ Converti en **glucose** ou en **TG** dans le **foie**

♦ Les lipides = triglycérides

Stockés dans le **tissu adipeux**, représente la **majorité de l'énergie stockée**.

Environnement non aqueux = **hydrophobe**, plus difficile à mobiliser

Les **lipides** et leur dérivés circulent sous différentes formes :

♥ Acides gras : hydrophobes, circulent **liés à l'albumine** mais **rentrent directement** dans la cellule à travers la membrane plasmique.

♥ Corps cétoniques : formés par le **foie** à partir des **AG** lors d'un **jeune prolongé**.

♥ Triglycérides : transportés par

- Les **chylomicrons** formés dans **l'intestin** en **post prandial**
- Les **lipoprotéines** (VLDL) produites au niveau du **foie**

♦ Les protéines musculaires

Rôle **structurel**, participent aux fonctions enzymatiques, immunitaires, **non stockées** mais utilisées pour l'**exercice physique**.

→ Les protéines absorbées circulent sous la forme **d'Acides aminés**.

CERVEAU	MUSCLE STRIÉ SQUELETTIQUE	MUSCLE STRIÉ CARDIAQUE
♥ GLUCODÉPENDANT ♥ N'a AUCUNE forme de stockage et consomme environ 120g de glucose par jour (5~6g/heure). ♥ Peut utiliser les corps cétoniques en période de jeûne mais pas les acides gras (<i>ils ne peuvent pas traverser la barrière hémato-encéphalique</i>). ♥ C'est le premier organe desservi en nutriments. ♥ <u>Tous les tissus peuvent fonctionner pour donner du sucre au cerveau</u>	♥ Sont de motricité volontaire et possèdent des réserves de glucides, lipides, et protéines. ♥ INSULINODÉPENDANTS ♥ Il consomme : - du glucose (dépendant de l'action de l'insuline) - des AG au repos - Il peut aussi utiliser les corps cétoniques en période de jeûne.	♥ Il utilise préférentiellement les AG, du Lactate (avec la LDH H4). ♥ Il peut aussi consommer des corps cétoniques en période de jeûne.

Voilà, c'est la fin de la 1^{ère} partie de ce cours (*et oui il y a une suite, respire, ça va bien se passer*).

Bon du coup j'en profite pour me présenter je m'appelle Sarah (*Sarahbi pour les intimes*), dit Blass sur le fofo, je suis l'une de vos trois tutrices (*du love*) de Bioch (*aka la meilleure matière*), et je m'occuperai d'une bonne partie du programme de métabo.

Pour ce qui est dédicaces, interventions etc, ce sera la seule que vous verrez sur l'une de mes fiches, tout simplement parce que je préfère que ça reste propre et neutre mais je me rattraperai sur les DM tout ça.

C'est ma toute première fiche donc j'espère qu'elle vous plaira et que vous apprécierez travailler dessus, je l'ai faite pour la tut rentrée mais elle est très complète avec ronéo de l'an passé + diapo prof + d'anciennes fiches tuteurs, donc si vous préférez ça aux ronéos vous pouvez totalement travailler dessus tout le semestre.

Si vous avez des questions → go fofo

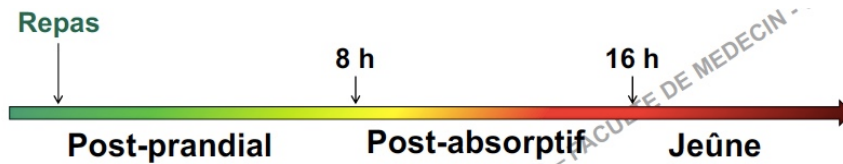
Si vous avez des remarques (constructives) sur le support, des suggestions, compliments (c'est cool ça), etc idem → go fofo ou sur messenger si vous préférez (mais les questions de cours ça reste que fofo please)

Allez courage il reste une toute petite partie et c'est fini, en plus ce sont des cours très intéressants qui rentrent très bien.

Métabolisme glucidique

L'objectif est de **maintenir un apport de glucose constant et suffisant aux tissus dépendants de ce sucre** (cerveau, GR) au sein de l'organisme, en fonction des tissus.

Les différentes périodes à connaître :



- ♥ **Post-prandial** = absorptif : dans les 5 à 8h qui suivent la prise alimentaire
- ♥ **Post-absorptif** : dans les 8 à 16h qui suivent la prise alimentaire
- ♥ **Jeûne** : au-delà de 16-18h après le dernier repas

I) Consommation du glucose au cours du temps :

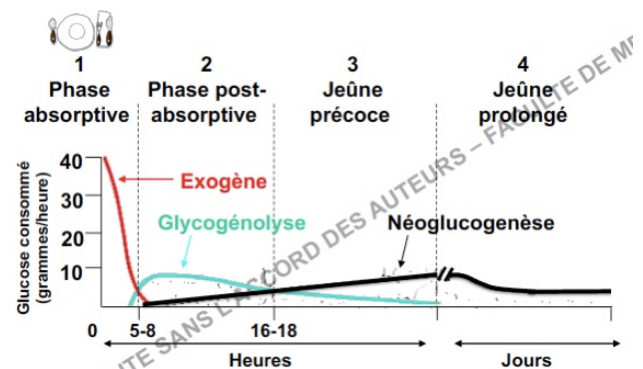
1 → Phase absorptive : Taux élevé de glucose d'origine exogène. Ce glucose va être absorbé, consommé et stocké grâce à la **Glycogénogenèse** et à la **Lipogenèse**.

→ L'organisme **reconstitue ses réserves** et la **glycémie ↓**

2 → Phase post-absorptive : On puise dans le stock de glycogène (réserve mobilisable rapidement) grâce à la **Glycogénolyse**.

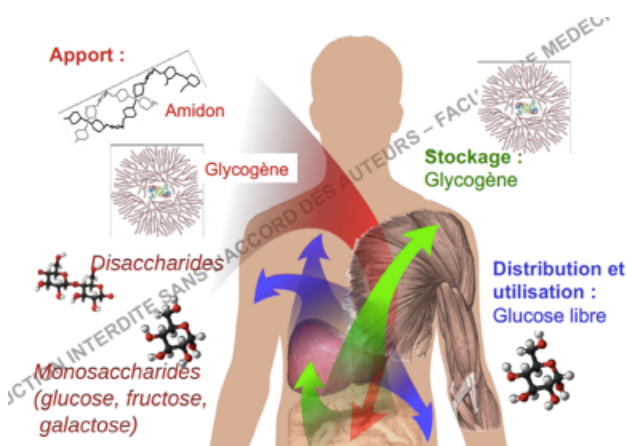
3 → Jeûne précoce : Les réserves de glycogène s'épuisent au fil des heures, la **Néoglucogenèse** prend le relais pour stabiliser la glycémie à **1g/L = 5 mM**

4 → Jeûne prolongé : On épargne le Glucose en utilisant des **substrats de remplacement** : la **Cétogenèse** prend le relais pour produire les **corps cétoniques**.



I) Digestion et absorption des glucides

A) Digestion

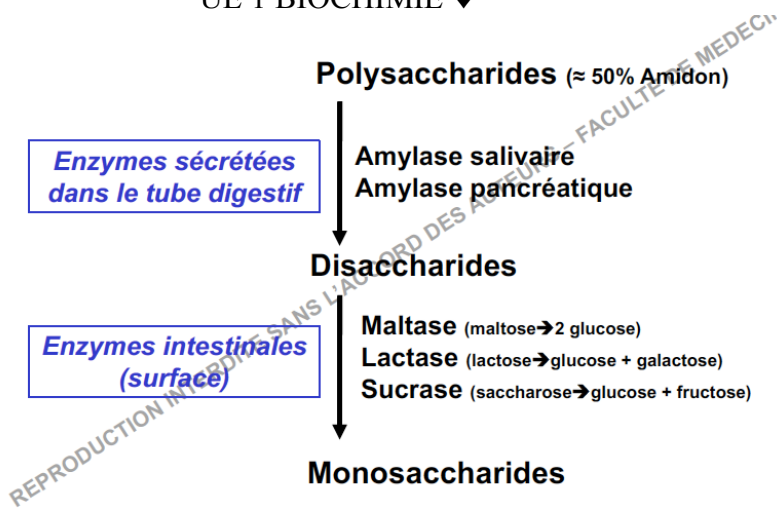


♥ Les glucides sont principalement apportés sous forme **d'amidon** dans l'alimentation.

♥ Ils arrivent sous forme de **polysaccharides**, et doivent donc être dégradés sous forme de **disaccharides** par les **amylases salivaires et pancréatiques** (sécrétées par le pancréas exocrine).

♥ Les **disaccharides** vont être à nouveau digérés par des **enzymes intestinales** (la **Maltase**, la **Lactase** et la **Sucrase**) qui donneront des **monosaccharides**.

Les glucides ne sont absorbés que sous forme de monosaccharides.



B) Absorption

Les monosaccharides vont **circuler librement** dans l'organisme mais ils ont **besoin de transporteurs pour rentrer dans les cellules**, ils sont de **2 types** :

♥ **SGLT** (sodium dépendant-glucose transporter)

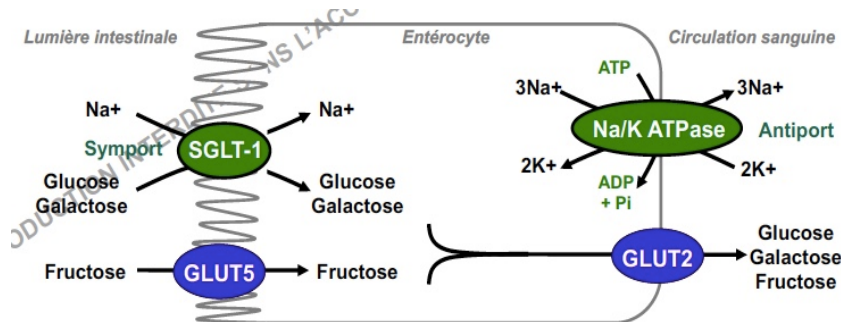
* Transport actif → il nécessite de l'**ATP**, **couplé au sodium**

* 2 formes → SGLT1 (intestins) // SGLT2 (rein).

♥ **GLUT** (glucose transporteur)

* Transport facilité → il ne nécessite **PAS d'ATP**, il est possible grâce à un **gradient de concentration** entre la **circulation sanguine** (concentration élevée) et la **cellule** (concentration plus faible)

* Nombreux **isoformes** numérotés de 1 à 5.



♥ Le **glucose (ou galactose)** entre dans l'entérocyte avec un **symport SGLT1**, accompagné d'un **sodium**. Ce passage de sodium est équilibré grâce à la **pompe Na/K ATPase** de l'autre côté de l'entérocyte (sortie de sodium + entrée de potassium).

La pompe Na/K ATPase est un **antiport** qui nécessite de l'**énergie** car il fonctionne à l'**inverse du gradient cellulaire** (normalement forte [Na⁺] extracellulaire et forte [K⁺] intracellulaire).

⇒ On a donc un **transport couplé**, sous la dépendance du sodium et de l'apport en énergie

♥ Le fructose rentre dans la cellule grâce au transporteur **GLUT 5** (PAS de consommation d'ATP). Pour ressortir dans le sang il utilise **GLUT 2**.

→ Ce transporteur est capable de faire sortir le **glucose, le galactose et le fructose**.

♦ Les différents isoformes de GLUT

Organe	Type	Km	Propriétés
Ubiquitaire	GLUT1	1 mM	{ haute affinité faible capacité
Intestin	GLUT2	60 mM	{ faible affinité haute capacité
Foie, Cellules β	GLUT2	60 mM	{ faible affinité haute capacité
Tissu adipeux, Muscle	GLUT4	5 mM	{ haute affinité faible capacité Régulé par l'insuline
Cerveau/ Erythrocytes	GLUT3 / GLUT1	1 mM	{ haute affinité faible capacité

GLUT2

- ♥ **Fort Km = faible affinité et haute capacité** de captation pour le glucose.
- ♥ **Peut faire rentrer beaucoup de glucose** avant d'être saturé, donc ils peuvent tout de suite **répondre à une forte concentration de glucose**
- ♥ Il est toujours présent à la membrane donc il n'est **pas régulé par l'insuline**

GLUT4

- ♥ **Faible Km = haute affinité et une faible capacité.**
- ♥ Fait **rentrer uniquement ce dont a besoin la cellule** (on n'ira pas au-delà des capacités de stockage de la cellule en temps normal).
- ♥ Il est **régulé par l'insuline**, il n'est donc **pas toujours présent à la membrane**.
Pas d'insuline = pas de transporteur.