**Métabolisme**

Le **métabolisme** est l'ensemble des [réactions chimiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_chimique) qui se déroulent au sein d'un [être vivant](https://fr.wikipedia.org/wiki/Organisme_%28physiologie%29) pour lui permettre notamment de se maintenir en vie, de se [reproduire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Reproduction_%28biologie%29), de se [développer](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biologie_du_d%C3%A9veloppement) et de répondre aux [stimuli](https://fr.wikipedia.org/wiki/Stimuli) de son environnement. Certaines de ces [réactions chimiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_chimique) se déroulent en dehors des [cellules](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_%28biologie%29) de l'organisme, comme la [digestion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Digestion) ou le transport de substances entre cellules. Cependant, la plupart de ces réactions ont lieu dans les cellules elles-mêmes et constituent le *métabolisme intermédiaire*.

La [biochimie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biochimie) cellulaire repose sur des réactions chimiques [catalysées](https://fr.wikipedia.org/wiki/Catalyse) par des [enzymes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Enzyme), c'est-à-dire des [protéines](https://fr.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%A9ine) possédant chacune la faculté de faciliter une réaction chimique spécifique. Ces réactions sont régies par les [principes de la thermodynamique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Principes_de_la_thermodynamique) et s'organisent en [voies métaboliques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Voie_m%C3%A9tabolique). Ces dernières sont constituées d'un ensemble de transformations permettant de convertir un [composé chimique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Compos%C3%A9_chimique) en un autre à travers des transformations successives, parallèles ou cycliques, catalysées par des enzymes. Certaines de ces enzymes sont soumises à une régulation par des [métabolites](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tabolite) cellulaires ou par des [signaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Signalisation_cellulaire) extracellulaires. Ces facteurs de régulation modifient la [cinétique enzymatique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cin%C3%A9tique_enzymatique), accélérant ou ralentissant certaines réactions déterminantes, et aboutissant à l'[autorégulation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Autor%C3%A9gulation) du système par l'ouverture et la fermeture des différentes voies métaboliques selon les circonstances.

Dans l'ensemble des réactions constituant le métabolisme, on distingue d'une part l'[**anabolisme**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Anabolisme), qui représente l'ensemble des voies de [biosynthèse](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biosynth%C3%A8se) des constituants cellulaires, et d'autre part le [**catabolisme**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Catabolisme), qui représente l'ensemble des voies de dégradation de ces constituants cellulaires en [petites molécules](https://fr.wikipedia.org/wiki/Petite_mol%C3%A9cule) pour en libérer l'énergie par [oxydation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Oxydation) ou pour rebâtir d'autres constituants cellulaires. Les réactions de l'anabolisme et du catabolisme sont interconnectées à travers des molécules spécialisées jouant le rôle de [cofacteurs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cofacteur_%28biochimie%29) enzymatiques. C'est par exemple le cas de l'[adénosine triphosphate](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ad%C3%A9nosine_triphosphate) (ATP), dont l'[hydrolyse](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrolyse) en [adénosine diphosphate](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ad%C3%A9nosine_diphosphate) (ADP) et en [phosphate inorganique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphate_inorganique) (Pi) est souvent couplée aux réactions d'anabolisme pour les rendre thermodynamiquement favorables. Le [nicotinamide adénine dinucléotide](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicotinamide_ad%C3%A9nine_dinucl%C3%A9otide) (NAD+ à l'état oxydé) et le [nicotinamide adénine dinucléotide phosphate](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicotinamide_ad%C3%A9nine_dinucl%C3%A9otide_phosphate) (NADPH à l'état réduit), quant à eux, sont des transporteurs d'[électrons](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectron) utilisés dans les [réactions d'oxydoréduction](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_d%27oxydo-r%C3%A9duction) cellulaires, le NAD+ plutôt dans le catabolisme et le NADPH dans l'anabolisme. Des [coenzymes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coenzyme) permettent également d'échanger de la matière entre les différentes voies métaboliques. Ainsi, la [coenzyme A](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coenzyme_A) permet d'activer des [groupes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Groupe_fonctionnel) [acyle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acyle) pour former une [acyl-CoA](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acyl-coenzyme_A), dont la plus importante est l'[acétyl-CoA](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ac%C3%A9tyl-coenzyme_A) : cette dernière se trouve au carrefour de plusieurs voies métaboliques majeures, telles que la dégradation des [glucides](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glucide) et des [lipides](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lipide), la production d'énergie métabolique, ou encore la [biosynthèse des acides gras](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biosynth%C3%A8se_des_acides_gras) et des [oses](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ose).

Le métabolisme d'un être vivant définit les types de [substances chimiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Substance_chimique) qui sont des [nutriments](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nutriment) pour cet organisme et lesquels sont au contraire des [poisons](https://fr.wikipedia.org/wiki/Poison) : ainsi, le [sulfure d'hydrogène](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sulfure_d%27hydrog%C3%A8ne) H2S est indispensable au développement de certains [procaryotes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Procaryote), alors que ce gaz est [toxique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Toxique) pour les [animaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Animal). L'intensité du [métabolisme de base](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tabolisme_de_base) détermine également la quantité de nourriture nécessaire à l'organisme.

Il est frappant d'observer la similitude des voies métaboliques fondamentales et des composés biochimiques à travers les organismes les plus divers. Ainsi, les [acides carboxyliques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acide_carboxylique) constituant les intermédiaires du [cycle de Krebs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_de_Krebs) se retrouvent chez tous les êtres vivants connus, allant d'un [procaryote](https://fr.wikipedia.org/wiki/Procaryote) tel qu'[*E. coli*](https://fr.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli) jusqu'à un [métazoaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tazoaire) tel que l'[éléphant](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89l%C3%A9phant). Ces similitudes remarquables sont très certainement dues à l'apparition précoce de ces voies métaboliques au cours de l'[évolution](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89volution_%28biologie%29) des formes de vie sur Terre et à leur conservation en raison de leur efficacité

**Métabolisme de base**

Le **métabolisme de base** (MB), ou **métabolisme basal**, correspond aux besoins énergétiques « incompressibles » de l'[organisme](https://fr.wikipedia.org/wiki/Organisme_%28physiologie%29), c’est-à-dire la dépense d'[énergie](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie) minimum quotidienne permettant à l'organisme de survivre ; au repos, l’organisme consomme de l’énergie pour maintenir en activité ses fonctions ([cœur](https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C5%93ur), [cerveau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cerveau), [respiration](https://fr.wikipedia.org/wiki/Respiration), [digestion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Digestion), maintien de la [température du corps](https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature_corporelle)), avec des [réactions biochimiques](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9action_biochimique&action=edit&redlink=1) (en utilisant l'[ATP](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ad%C3%A9nosine_triphosphate)). Il est exprimé sur la base d'une journée, et donc en [joules](https://fr.wikipedia.org/wiki/Joule) ou en [calories](https://fr.wikipedia.org/wiki/Calorie) par jour. L'[alimentation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Alimentation) permet de subvenir à ces besoins, en apportant les calories nécessaires.

Il dépend de la taille, du poids, de l’âge, du sexe et de l’activité [thyroïdienne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thyro%C3%AFde). La température extérieure et les conditions climatiques modifient sensiblement le MB. Le métabolisme de base pour un homme de 20 ans, mesurant 1,80 m et pesant 70 kg est d'environ 6300 kJ (1510 kilocalories). Celui d'une femme de 20 ans, mesurant 1,65 m et pesant 60 kg est d'environ 5500 kJ (1320 kilocalories). Le métabolisme basal diminue avec l'âge. On remarque une diminution de métabolisme basal de 2 % à 3 % par décennie après l'âge adulte. Les enfants ont par contre un métabolisme basal deux fois plus élevé que celui des adultes.

**Régulation et contrôle du métabolisme**

Les êtres vivants étant soumis à de constants changements de leur environnement, leur métabolisme doit être continuellement adapté pour maintenir leurs constantes physiologiques comme la température et la concentration intracellulaire des différentes espèces chimiques dans un intervalle de valeurs normales, ce qu’on appelle **l’homéostasie.**

**Contrôle des voies métaboliques**

Il y a deux sortes de contrôle métabolique :

* 1. **1)** Contrôle intrinsèque (ou interne) qui implique la régulation de l'activité enzymatique par des concentrations des métabolites (allostérie). Ceci représente la forme de contrôle la plus souvent rencontrée chez les procaryotes

Dans les organismes multicellulaires, le métabolisme doit répondre à des besoins de l'organisme entier et donc un niveau de contrôle supplémentaire doit être ajouté

* 1. **2)** Contrôle extrinsèque à travers des hormones et stimulation nerveuse. Ces types de signaux agissent généralement par des seconds messagers pour cibler les activités des enzymes AMPc, Ca2+, inositol 1,4,5-P, diacylglycerol.

Un exemple de contrôle extrinsèque très bien compris est la régulation du métabolisme du glucose par l’insuline. L’insuline est produite en réponse à l’augmentation de la glycémie, c’est-à-dire du taux de glucose dans le sang. La liaison de cette hormone à ses récepteurs cellulaires active ne cascade de protéine kinase qui conduisent les cellules à absorber du glucose et à le convertir en molécules de stockage telles que des acides gras et du glycogène. Le métabolisme du glycogène est contrôlé par l’activité de la glycogène phosphorylase, qui dégrade le glycogène et de la glycogène synthase qui le produit. Ces enzymes font l’objet d’une régulation symétrique, la phosphorylation activant la glycogène phosphorylase mais inhibant la glycogène synthase. L’insuline favorise la production de glycogène en activant des phosphatases qui réactivent la glycogène synthase et désactivent la glycogène phosphorylase en réduisant leur phosphorylation.



**Principales glandes endocrines**

Une **glande endocrine** est une [glande](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glande) interne qui sécrète des [hormones](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hormone) dans la [circulation sanguine](https://fr.wikipedia.org/wiki/Circulation_sanguine) directement, plutôt que *via* un canal comme une [glande exocrine](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glande_exocrine). Ces hormones exercent alors leur action spécifique sur des organes cellules ou [récepteur](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9cepteur_%28biochimie%29) distants. On trouve des glandes endocrines chez la plupart des animaux, y compris chez les [invertébrés](https://fr.wikipedia.org/wiki/Invert%C3%A9br%C3%A9s).

Les hormones agissent comme des sortes de messagers [biochimiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biochimie), régulant de nombreuses fonctions de l'organisme telles que la [croissance](https://fr.wikipedia.org/wiki/Croissance_biologique) et le [développement](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement_de_l%27enfant), la [différenciation sexuelle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diff%C3%A9renciation_sexuelle), la [reproduction](https://fr.wikipedia.org/wiki/Reproduction_%28biologie%29), le [métabolisme](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tabolisme), la [pression artérielle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression_art%C3%A9rielle) et la [glycémie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glyc%C3%A9mie).

## Fonctionnement du système endocrinien

Les animaux possèdent, en plus du système immunitaire, deux grands réseaux de communications internes : le [système nerveux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_nerveux) et le [système endocrinien](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_endocrinien). L'appareil endocrinien transmet ses messages grâce à la sécrétion des hormones, généralement des [peptides](https://fr.wikipedia.org/wiki/Peptide) ou des [protéines](https://fr.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%A9ine), tandis que le système nerveux utilise les [neurones](https://fr.wikipedia.org/wiki/Neurone) (cellule nerveuse), qui libèrent des [neurotransmetteurs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Neurotransmetteur) dans les [synapses](https://fr.wikipedia.org/wiki/Synapse) pour transmettre l'influx nerveux à d'autres neurones. Mais ces deux systèmes ont des inter-relations profondes, puisque certains neurones synthétisent également des peptides, appelés *neuropeptides*, qui sont alors libérés dans la circulation sanguine.

Les [épithéliums](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89pith%C3%A9lium) glandulaires endocrines peuvent être sous forme :

* de glandes endocrines bien individualisées (ex: [thyroïde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thyro%C3%AFde), [hypophyse](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypophyse), [testicules](https://fr.wikipedia.org/wiki/Testicule), [ovaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ovaire_%28anatomie%29)…)
* d'amas de cellules endocrines (ex : [îlots de Langerhans](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%8Elots_de_Langerhans) du [pancreas](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pancreas), [cellules de Leydig](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellules_de_Leydig) des testicules)
* dispersée, diffuse, au sein d'autres organes (ex: cellules endocrines du tube digestif, comme les cellules à gastrine de l'[estomac](https://fr.wikipedia.org/wiki/Estomac), les cellules à sécrétine du [duodénum](https://fr.wikipedia.org/wiki/Duod%C3%A9num), ou les cellules à glicentine du [côlon](https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%B4lon)).

Certaines glandes sont amphicrines, c'est-à-dire qu'elles sont à la fois endocrines et [exocrines](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glande_exocrine), comme les [gonades](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gonades) (testicules et ovaires) ou le [pancréas](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pancr%C3%A9as), sécrétant vers le milieu extérieur, généralement par l'intermédiaire de canaux excréteurs.

Chez les mammifères, les glandes endocrines pures sont la [thyroïde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thyro%C3%AFde), les [parathyroïdes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Parathyro%C3%AFde), les [surrénales](https://fr.wikipedia.org/wiki/Surr%C3%A9nale), l'[hypophyse](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypophyse), la [glande pinéale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glande_pin%C3%A9ale) (ou épiphyse).

Enfin, d'autres organes peuvent également jouer un certain rôle endocrine : par exemple, les ovaires et les testicules produisent naturellement les gamètes, mais ils ont également une fonction endocrine.

## Liste des principales glandes endocrines chez les vertébrés

* [Hypothalamus](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypothalamus)
* [Hypophyse](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypophyse)
* [Surrénale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Surr%C3%A9nale)
* [Thyroïde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thyro%C3%AFde)
* [Ovaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ovaire_%28anatomie%29) ou [testicule](https://fr.wikipedia.org/wiki/Testicule)
* [Parathyroïde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Parathyro%C3%AFde)
* [Thymus](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thymus_%28anatomie%29)

**Classification chimique des hormones**

⇨Les hormones peptidiques : Elles sont donc de nature protidique, et sont donc hydrosolubles dans le plasma, elles sont donc à l’état libre dans le sang (FSH, LH, Insuline,..).

⇨Les hormones stéroïdes : Elles sont de nature lipidique (synthétisées à partir du cholestérol) et sont lipophiles, elles doivent donc pour circuler dans le sang être transportées à des protéines plasmatiques. (Oestrogènes, progestérone, testostérone).
⇨Les hormones monoaminées: Elles sont également de nature protidique mais elles sont plus ou moins polaire ce qui fait qu’elles sont plus ou moins soluble dans l’eau donc le plasma.
-         l’adrénaline et la noradrénaline sont appelées les catécholamines, elles sont **solubles dans l’eau car riche en groupement hydroxyl (OH) donc polaire**
-          les hormones thyroïdiennes (T3 et T4) sont apolaires donc **insolubles dans l’eau car présence de cycle apolaire et quasi absence d’OH**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Hormones peptidiques** **(polymères d’acides aminés)**  | **Hormones aminés** **(dérivés de la tyrosine)**  | **Hormones stéroïdes** **(dérivés du cholestérol)**  |
| Insuline, glucagonHormones hypothalamo-hypophysaires | Catécholamines (adrénaline, noradrénaline) | Hormones thyroïdienne | TestostéroneProgestéronecortisol |
| Solubles dans l’eau | insoluble dans l’eau |
| Transport en solution dans le plasma | Transport lié à une protéine plasmatique |
| Ne pénètre pas dans le cytoplasme | Pénètre dans le cytoplasme |
| Récepteur membranaire | Récepteur intracellulaire (cytosolique ou nucléaire) |
|   |   |   |   |

**Séquence des différentes périodes à l’issue d’un repas**

On peut distinguer trois périodes : période post prandiale ou absorptive, période

post absorptive et enfin période de jeûne.

**2.1 - Période absorptive ou post prandiale**

La période post prandiale ou absorptive est celle pendant laquelle l’organisme se trouve à l’état post prandial ou absorptif. Elle couvre les quatre premières heures après un repas. On assiste à un accroissement transitoire du glucose, acides aminés et des lipides (sous forme de chylomicrons) dans le plasma sanguin. Les nutriments affluent au niveau des tissus. L’organisme y répond au niveau du pancréas par une sécrétion importante de l’insuline alors que celle du glucagon est inhibée. Le métabolisme est orienté vers des synthèses en vue de stockage notamment des glucides et des lipides. Compte tenu de la disponibilité du glucose tous les tissus peuvent l’utiliser comme source d’énergie.

**2.2 - Période post absorptive**

La période post absorptive (état post absorptif) se situe entre 4 et 12 heures après un repas. Le rapport Insuline/Glucagon décroît et s’inverse. Elle est considérée comme une période catabolique caractérisée par la phosphorolyse du glycogène, la dégradation des lipides de réserves et la dégradation des protéines. Des mobilisations des substrats énergétiques ont lieu dans le foie, les adipocytes et les muscles. Le foie traite, élabore et distribue glucose, acides gras aux autres tissus.

Chez les organismes bien nourris on ne rencontre pratiquement que ces deux périodes compte tenu de la prise des repas à intervalles réguliers.

**2.3 - Période de jeune**

De 12 à 24 heures et au-delà après un repas, s’installe la période de jeûne. Les

causes peuvent être nombreuses: pénurie alimentaire, cure d’amaigrissement, maladie, etc. A la 25e heure, les ressources énergétiques disponibles chez un adulte de 70 kg sont : 0.2 kg de glycogène hépatique, 15 kg de triacylglycérols, 6 kg de protéines. L’action du glucagon sera renforcée par celle de l’adrénaline et de la noradrénaline pour résoudre les deux problèmes vitaux suivants : assurer le maintien de la glycémie et la fourniture du glucose au cerveau d’une part, fournir les substrats énergétiques alternatifs aux autres tissus.

La période post prandiale se caractérise par une stimulation de la sécrétion d’insuline qui va permettre d’orienter l’excès de substrats énergétiques vers le stockage. L’insuline a 5 actions principales dans le métabolisme énergétique :

* Elle inhibe la lipolyse (libération des AG du tissu adipeux).
* Elle stimule la synthèse du glycogène.
* Elle stimule le transport du glucose dans le muscle et dans le tissu adipeux.
* Elle favorise la synthèse des triglycérides et le captage des triglycérides par le tissu adipeux.
* Elle inhibe la néoglucogénèse et la glycogénolyse.