



Déclic

# MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE

Nutrition · Réserves · Adaptation

PARCOURS : Préparation EIDE

AUTEUR : Anaïs - Daranjo - IDE

DATE : Juin 2026

### 1. Objectifs du chapitre

À la fin de ce chapitre, tu dois être capable de :

- définir les besoins énergétiques de l'organisme ;
- comprendre le métabolisme basal ;
- expliquer la dépense énergétique totale ;
- comprendre la thermogenèse ;
- expliquer le rôle de l'activité physique dans la dépense énergétique ;
- comprendre le métabolisme des glucides ;
- expliquer la glycémie, la glycogénogenèse, la glycogénolyse et la néoglucogenèse ;
- comprendre le rôle de l'insuline et du glucagon ;
- expliquer le métabolisme des lipides ;
- différencier triglycérides, cholestérol, lipolyse, lipogenèse et corps cétoniques ;
- comprendre le métabolisme des protéines ;
- expliquer le rôle des acides aminés, de la synthèse protéique, du catabolisme protéique et de l'urée ;
- différencier l'état nourri, l'état entre les repas et le jeûne prolongé ;
- comprendre l'adaptation métabolique selon les apports, les réserves et les besoins énergétiques ;
- faire le lien entre nutrition, foie, pancréas, tissu adipeux, muscles, reins, hormones et cerveau.

### Introduction générale

Le métabolisme énergétique correspond à l'ensemble des mécanismes qui permettent au corps de produire, stocker, utiliser et adapter l'énergie.

Le corps humain a besoin d'énergie en permanence, même au repos.

Cette énergie sert à :

- maintenir la température corporelle ;
- faire battre le cœur ;
- assurer la respiration ;
- faire fonctionner le cerveau ;
- maintenir les gradients ioniques ;
- produire des protéines ;
- renouveler les cellules ;
- digérer ;
- bouger ;
- réparer les tissus ;
- maintenir l'immunité ;
- assurer la croissance ;
- permettre la reproduction ;
- maintenir l'homéostasie.

Les nutriments énergétiques principaux sont :

- glucides ;
- lipides ;
- protéines.

Chaque famille a un rôle particulier.

Les glucides sont une source d'énergie rapide et importante pour certains tissus.

Les lipides sont une grande réserve énergétique.

Les protéines servent surtout à construire et réparer, mais peuvent aussi être utilisées comme source d'énergie dans certaines situations.

Le corps doit constamment équilibrer :

- les apports alimentaires ;
- les besoins énergétiques ;
- les réserves ;
- les dépenses ;
- les hormones ;
- l'activité physique ;
- le jeûne ;
- le stress ;

- les maladies ;
- la croissance ou la réparation.

Le métabolisme énergétique est donc une physiologie d'adaptation.

Après un repas, le corps stocke.

Entre les repas, il mobilise.

En jeûne prolongé, il économise le glucose et utilise davantage les graisses.

En stress ou maladie, il peut devenir plus catabolique.

Les organes clés du métabolisme énergétique sont :

- foie ;
- pancréas endocrine ;
- tissu adipeux ;
- muscles ;
- cerveau ;
- intestin ;
- reins ;
- tissu hormonal et système nerveux autonome.

## 16.1. Besoins énergétiques

### 2. Définition des besoins énergétiques

Les besoins énergétiques correspondent à la quantité d'énergie nécessaire pour couvrir les dépenses de l'organisme.

Cette énergie est apportée par les aliments.

Elle est exprimée en kilocalories ou en kilojoules.

Les macronutriments apportent une quantité d'énergie différente.

Nutriment	Apport énergétique approximatif
Glucides	4 kcal/g
Protéines	4 kcal/g
Lipides	9 kcal/g
Alcool	7 kcal/g

Les lipides sont donc les nutriments les plus denses énergétiquement.

Les besoins varient selon :

- âge ;
- sexe biologique ;
- taille ;
- poids ;
- masse musculaire ;
- masse grasse ;
- activité physique ;
- température extérieure ;
- grossesse ;
- allaitement ;
- croissance ;
- fièvre ;
- infection ;
- stress ;
- traumatisme ;
- chirurgie ;
- pathologies ;
- état hormonal.

### 3. Équilibre énergétique

L'équilibre énergétique correspond à la relation entre les apports et les dépenses.

Situation	Conséquence générale
Apports = dépenses	poids et réserves globalement stables
Apports > dépenses	stockage énergétique
Apports < dépenses	mobilisation des réserves

Cet équilibre ne se résume pas à une simple addition mécanique.

Il est influencé par :

- hormones ;
- faim ;
- satiété ;
- activité physique ;
- sommeil ;
- stress ;
- composition corporelle ;
- microbiote ;
- maladies ;
- médicaments ;
- régulation neurologique ;
- état psychologique ;
- disponibilité alimentaire.

Mais le principe fondamental reste que l'énergie doit venir de quelque part et être utilisée ou stockée.

## Métabolisme basal

### 4. Définition

Le métabolisme basal correspond à la dépense énergétique minimale nécessaire au maintien des fonctions vitales au repos.

Il correspond à l'énergie utilisée par le corps pour survivre dans des conditions de repos complet, à température neutre, à jeun et sans activité physique.

Il permet de faire fonctionner :

- cerveau ;
- cœur ;
- foie ;
- reins ;
- muscles au repos ;
- respiration ;
- circulation ;
- maintien de la température ;
- pompes ioniques ;
- renouvellement cellulaire ;
- synthèse moléculaire de base.

Le métabolisme basal représente généralement la plus grande part de la dépense énergétique quotidienne.

### 5. Organes très consommateurs d'énergie

Certains organes consomment beaucoup d'énergie, même au repos.

Organe	Raison de la consommation énergétique
Cerveau	activité électrique, neurotransmission, maintien ionique
Foie	métabolisme, synthèse, détoxification
Cœur	contraction continue
Reins	filtration, réabsorption active, pompes ioniques
Muscles	masse importante, tonus, renouvellement

Le cerveau représente une part importante de la dépense énergétique au repos, même s'il ne représente qu'une petite partie du poids corporel.

### 6. Facteurs qui influencent le métabolisme basal

Le métabolisme basal dépend de plusieurs facteurs.

Facteur	Effet général
Masse musculaire	augmente la dépense au repos
Taille et poids	influencent les besoins
Âge	tendance à diminuer avec l'âge
Hormones thyroïdiennes	augmentent ou diminuent fortement le métabolisme

Facteur	Effet général
Fièvre	augmente la dépense énergétique
Grossesse/allaitement	augmentent les besoins
Dénutrition prolongée	peut diminuer le métabolisme basal
Stress sévère/traumatisme	peut augmenter la dépense
Génétique	influence les variations individuelles

La masse maigre est un déterminant important du métabolisme basal.

Une personne avec plus de muscle dépense généralement plus d'énergie au repos qu'une personne ayant moins de masse musculaire, à poids égal.

## 7. Hormones thyroïdiennes et métabolisme basal

Les hormones thyroïdiennes T3 et T4 augmentent le métabolisme basal.

Elles stimulent :

- consommation d'oxygène ;
- activité mitochondriale ;
- production de chaleur ;
- utilisation des glucides ;
- utilisation des lipides ;
- renouvellement des protéines.

En hyperthyroïdie, le métabolisme augmente.

Cela peut provoquer :

- amaigrissement ;
- thermophobie ;
- tachycardie ;
- fatigue ;
- tremblements ;
- hypersudation.

En hypothyroïdie, le métabolisme ralentit.

Cela peut provoquer :

- fatigue ;
- frilosité ;
- ralentissement ;
- prise de poids modérée ;
- constipation ;
- peau sèche.

## Dépense énergétique

### 8. Définition

La dépense énergétique totale correspond à toute l'énergie dépensée par l'organisme sur une journée.

Elle comprend plusieurs composantes :

- métabolisme basal ;
- thermogénèse alimentaire ;
- activité physique ;
- activité spontanée non sportive ;
- adaptation aux conditions extérieures ;
- coût énergétique de la croissance, grossesse, maladie ou réparation.

### 9. Composantes principales

Composante	Description
Métabolisme basal	énergie minimale de survie au repos
Thermogénèse alimentaire	énergie dépensée pour digérer, absorber, métaboliser
Activité physique	mouvement volontaire, sport, marche, travail
Activité spontanée	gestes du quotidien, posture, agitation, déplacements
Thermorégulation	coût pour produire ou perdre de la chaleur

Composante	Description
Maladie/réparation	coût de l'inflammation, cicatrisation, fièvre

La dépense énergétique varie donc énormément selon les situations.

## 10. Activité spontanée

L'activité spontanée correspond aux mouvements non sportifs du quotidien.

### Exemples :

- marcher dans une pièce ;
- monter les escaliers ;
- faire le ménage ;
- rester debout ;
- gesticuler ;
- porter des objets ;
- se déplacer au travail ;
- changer de posture.

Cette activité peut représenter une part importante des dépenses.

Deux personnes ayant le même métabolisme basal peuvent avoir des dépenses très différentes selon leur niveau d'activité quotidienne.

## Thermogenèse

### 11. Définition

La thermogenèse correspond à la production de chaleur par l'organisme.

Elle est liée au métabolisme.

Une partie de l'énergie libérée par les réactions chimiques est transformée en chaleur.

La thermogenèse permet de maintenir la température corporelle.

### 12. Thermogenèse alimentaire

La thermogenèse alimentaire correspond à l'énergie dépensée pour digérer, absorber, transporter, transformer et stocker les nutriments.

Elle varie selon le type de nutriment.

Les protéines ont généralement un coût de transformation plus élevé que les glucides et les lipides.

Cela signifie que leur digestion et leur métabolisme demandent davantage d'énergie.

### 13. Thermogenèse musculaire

Les muscles produisent de la chaleur.

Pendant l'effort, la production de chaleur augmente.

En cas de froid, les frissons sont des contractions musculaires involontaires destinées à produire de la chaleur.

Le muscle est donc un organe majeur de thermogenèse.

### 14. Tissu adipeux brun

Le tissu adipeux brun est spécialisé dans la production de chaleur.

Il contient beaucoup de mitochondries.

**Il utilise un mécanisme qui permet de produire de la chaleur plutôt que de l'ATP.**

Il est particulièrement important chez le nouveau-né, mais existe aussi en quantité variable chez l'adulte.

## Activité physique

### 15. Définition

L'activité physique correspond à tout mouvement produit par les muscles squelettiques entraînant une dépense énergétique.

Elle comprend :

- sport ;
- marche ;
- travail physique ;

- déplacements ;
- tâches domestiques ;
- posture ;
- gestes quotidiens.

L'activité physique augmente la dépense énergétique.

Elle influence aussi :

- masse musculaire ;
- sensibilité à l'insuline ;
- santé cardiovasculaire ;
- densité osseuse ;
- humeur ;
- sommeil ;
- métabolisme lipidique ;
- fonction respiratoire ;
- autonomie.

## 16. Effort aérobie

L'effort aérobie utilise principalement l'oxygène.

Il repose sur les mitochondries.

Il est adapté aux efforts prolongés.

**Exemples :**

- marche rapide ;
- course d'endurance ;
- vélo modéré ;
- natation prolongée.

Il utilise surtout :

- glucides ;
- lipides ;
- oxygène.

## 17. Effort anaérobie

L'effort anaérobie fournit rapidement de l'énergie sans dépendre immédiatement de l'oxygène.

Il est utile pour les efforts courts et intenses.

**Exemples :**

- sprint ;
- charge lourde ;
- effort explosif ;
- montée très intense.

Il utilise notamment :

- phosphocréatine ;
- glycolyse anaérobie ;
- glycogène musculaire.

**Il produit peu d'ATP par molécule de glucose, mais rapidement.**

## 18. Activité physique et adaptation métabolique

L'entraînement régulier peut améliorer :

- capacité mitochondriale ;
- utilisation des acides gras ;
- stockage du glycogène ;
- sensibilité à l'insuline ;
- vascularisation musculaire ;
- capacité cardiorespiratoire ;
- récupération ;
- masse musculaire selon type d'entraînement.

Le muscle entraîné devient plus efficace pour produire et utiliser l'énergie.

## 19. Schéma à insérer

**Image conseillée :**

Schéma de la dépense énergétique totale : métabolisme basal + thermogenèse alimentaire + activité physique + thermorégulation + réparation/maladie.

## 16.2. Métabolisme des glucides

### 20. Définition

Le métabolisme des glucides correspond à l'ensemble des mécanismes permettant d'utiliser, stocker, libérer ou fabriquer du glucose.

Le glucose est un carburant majeur.

Il est particulièrement important pour :

- cerveau ;
- globules rouges ;
- muscles ;
- reins ;
- tissus en effort ;
- certaines cellules immunitaires.

Les globules rouges dépendent totalement du glucose, car ils n'ont pas de mitochondries.

Le cerveau utilise surtout le glucose en situation habituelle, même s'il peut utiliser des corps cétoniques en jeûne prolongé.

## Glycémie

### 21. Définition

La glycémie correspond à la concentration de glucose dans le sang.

Elle doit être maintenue dans une zone compatible avec le fonctionnement des cellules.

Une glycémie trop basse peut provoquer une souffrance cérébrale.

Une glycémie trop élevée de manière chronique peut abîmer les vaisseaux, les nerfs, les reins, les yeux et d'autres tissus.

La régulation de la glycémie dépend principalement :

- du foie ;
- du pancréas endocrine ;
- des muscles ;
- du tissu adipeux ;
- de l'intestin ;
- des hormones ;
- de l'activité physique ;
- des apports alimentaires.

### 22. Après un repas

Après un repas riche en glucides :

1. les glucides sont digérés en monosaccharides ;
2. le glucose est absorbé par l'intestin ;
3. la glycémie augmente ;
4. le pancréas sécrète de l'insuline ;
5. le glucose entre dans certaines cellules ;
6. le foie et les muscles stockent du glycogène ;
7. le tissu adipeux peut participer au stockage énergétique ;
8. la glycémie redescend progressivement.

### 23. Entre les repas

Entre les repas :

1. les apports de glucose diminuent ;
2. la glycémie tend à baisser ;
3. l'insuline diminue ;
4. le glucagon augmente ;
5. le foie libère du glucose ;
6. la glycémie est maintenue.

Le foie est l'organe principal qui maintient la glycémie entre les repas.



## Glycogénogenèse

### 24. Définition

La glycogénogenèse est la synthèse de glycogène à partir du glucose.

Le glycogène est une forme de stockage du glucose.

Il est stocké principalement dans :

- foie ;
- muscles.

La glycogénogenèse est favorisée après les repas, sous l'effet de l'insuline.

### 25. Glycogène hépatique

Le glycogène du foie sert surtout à maintenir la glycémie.

Quand le corps a besoin de glucose, le foie peut dégrader son glycogène et libérer du glucose dans le sang.

Le foie agit donc comme un régulateur de glycémie.

### 26. Glycogène musculaire

Le glycogène musculaire sert surtout au muscle lui-même.

**Lors d'un effort, le muscle dégrade son glycogène pour produire de l'ATP.**

Contrairement au foie, le muscle ne libère pas directement beaucoup de glucose libre dans le sang.

Il utilise son glycogène pour ses propres besoins.

## Glycogénolyse

### 27. Définition

La glycogénolyse est la dégradation du glycogène en glucose ou en intermédiaires utilisables.

Elle permet de mobiliser rapidement une réserve glucidique.

Elle se produit surtout dans :

- foie ;
- muscles.

### 28. Glycogénolyse hépatique

Dans le foie, la glycogénolyse permet de libérer du glucose dans le sang.

Elle est stimulée par :

- glucagon ;
- adrénaline ;
- baisse de glycémie ;
- jeûne court ;
- stress aigu.

Elle permet de maintenir la glycémie entre les repas.

### 29. Glycogénolyse musculaire

Dans le muscle, la glycogénolyse permet de fournir du glucose au muscle lui-même.

Elle est stimulée par :

- contraction musculaire ;
- adrénaline ;
- effort ;
- besoins en ATP.

Elle permet une production rapide d'énergie pendant l'effort.

## Néoglucogenèse

### 30. Définition

La néoglucogenèse est la fabrication de glucose à partir de molécules non glucidiques.

Elle se déroule principalement dans le foie, et aussi dans le rein lors de certaines situations.

Elle devient importante lorsque les réserves de glycogène diminuent.

### 31. Substrats de la néoglucogenèse

Les principaux substrats sont :

- lactate ;
- glycérol ;
- certains acides aminés ;
- pyruvate ;
- alanine.

Le lactate peut venir du muscle ou des globules rouges.

Le glycérol vient de la dégradation des triglycérides.

Les acides aminés peuvent venir du catabolisme protéique.

### 32. Rôle physiologique

La néoglucogenèse est essentielle pendant :

- jeûne prolongé ;
- exercice prolongé ;
- restriction glucidique ;
- stress métabolique ;
- situations où le cerveau et les globules rouges ont besoin de glucose.

Elle permet de maintenir la glycémie quand l'alimentation ne fournit plus assez de glucose.

### 33. Coût énergétique

La néoglucogenèse consomme de l'énergie.

#### Fabriquer du glucose demande de l'ATP.

Le corps l'utilise donc lorsque cela est nécessaire, notamment pour protéger les organes dépendants du glucose.

## Insuline

### 34. Définition

L'insuline est une hormone produite par les cellules bêta du pancréas endocrine.

Elle est sécrétée surtout lorsque la glycémie augmente.

Son rôle global est de faire entrer, utiliser et stocker les nutriments.

Elle est l'hormone dominante de l'état nourri.

### 35. Effets de l'insuline

L'insuline favorise :

- entrée du glucose dans le muscle et le tissu adipeux ;
- glycogénogenèse ;
- lipogenèse ;
- synthèse protéique ;
- stockage énergétique ;
- entrée du potassium dans les cellules ;
- inhibition de la glycogénolyse ;
- inhibition de la néoglucogenèse ;
- inhibition de la lipolyse.

Elle fait donc baisser la glycémie et favorise le stockage.

### 36. Insuline et GLUT4

Dans le muscle et le tissu adipeux, l'insuline favorise l'insertion de transporteurs GLUT4 dans la membrane.

Ces transporteurs permettent au glucose d'entrer dans la cellule.

L'activité physique peut aussi favoriser l'entrée du glucose dans les muscles, même avec moins d'insuline, grâce à d'autres voies liées à la contraction.

C'est une des raisons pour lesquelles l'activité musculaire améliore la sensibilité à l'insuline.

## Glucagon

### 37. Définition

Le glucagon est une hormone produite par les cellules alpha du pancréas endocrine.

Il est sécrété surtout lorsque la glycémie baisse.

Son rôle global est d'augmenter la disponibilité du glucose.

Il est l'hormone dominante entre les repas et en début de jeûne.

### 38. Effets du glucagon

Le glucagon agit surtout sur le foie.

Il stimule :

- glycogénolyse ;
- néoglucogenèse ;
- libération de glucose dans le sang ;
- mobilisation énergétique.

Il freine les voies de stockage.

Il permet de maintenir la glycémie entre les repas.

### 39. Insuline et glucagon : opposition fonctionnelle

Situation	Hormone dominante	Effet global
Après repas	insuline	stockage, baisse glycémie
Entre repas	glucagon	mobilisation, maintien glycémie
Jeûne	glucagon + autres hormones	production de glucose, mobilisation des réserves

L'équilibre insuline/glucagon est central dans le métabolisme énergétique.

### 40. Schéma à insérer

**Image conseillée :**

Schéma glycémie : repas glucose insuline stockage ; jeûne glucose glucagon libération de glucose.

## 16.3. Métabolisme des lipides

### 41. Définition

Le métabolisme des lipides correspond à l'ensemble des mécanismes permettant de digérer, transporter, stocker, mobiliser et utiliser les graisses.

Les lipides sont essentiels.

Ils servent à :

- réserve énergétique ;
- structure des membranes ;
- synthèse d'hormones stéroïdes ;
- absorption des vitamines A, D, E, K ;
- production de bile ;
- protection mécanique ;
- isolation thermique ;
- signalisation cellulaire ;
- production de corps cétoniques en jeûne.

Les lipides sont particulièrement efficaces comme réserve énergétique car ils contiennent beaucoup d'énergie par gramme.

## Triglycérides

### 42. Définition

Les triglycérides sont la principale forme de stockage des lipides.

Ils sont composés :

- d'un glycérol ;
- de trois acides gras.

Ils sont stockés surtout dans le tissu adipeux.

### 43. Rôle énergétique

Les triglycérides constituent une grande réserve énergétique.

Quand l'organisme a besoin d'énergie, ils peuvent être dégradés en :

- acides gras ;
- glycérol.

**Les acides gras peuvent être utilisés par de nombreux tissus pour produire de l'ATP.**

Le glycérol peut être utilisé par le foie pour la néoglucogenèse.

### 44. Stockage dans les adipocytes

Les adipocytes stockent les triglycérides.

Après un repas, sous l'effet de l'insuline, le stockage lipidique est favorisé.

En période de jeûne ou d'effort prolongé, les triglycérides sont mobilisés.

Le tissu adipeux est donc un réservoir dynamique.

## Cholestérol

### 45. Définition

Le cholestérol est un lipide essentiel.

Il ne sert pas principalement de carburant énergétique.

Il est important pour :

- membranes cellulaires ;
- synthèse des hormones stéroïdes ;
- synthèse des acides biliaires ;
- synthèse de vitamine D ;
- structure des cellules.

Le cholestérol peut venir de l'alimentation, mais il est aussi fabriqué par l'organisme, surtout par le foie.

### 46. Cholestérol et lipoprotéines

Le cholestérol circule dans le sang grâce à des lipoprotéines.

Les principales sont :

- chylomicrons ;
- VLDL ;
- LDL ;
- HDL.

Lipoprotéine	Rôle simplifié
Chylomicrons	transport des lipides alimentaires depuis l'intestin
VLDL	transport des triglycérides produits par le foie
LDL	transport du cholestérol vers les tissus
HDL	retour du cholestérol vers le foie

Les LDL et HDL ne sont pas "bons" ou "mauvais" en eux-mêmes.

Mais un excès de LDL, dans certains contextes, favorise l'athérosclérose.

### 47. Cholestérol et bile

Le foie utilise le cholestérol pour produire les acides biliaires.

Les acides biliaires participent à la digestion des lipides.

Le cholestérol peut aussi être éliminé partiellement par la bile.

Un déséquilibre de la composition biliaire peut favoriser certains calculs biliaires.

## Lipolyse

### 48. Définition

La lipolyse est la dégradation des triglycérides stockés en acides gras et glycérol.

Elle se déroule surtout dans le tissu adipeux.

Elle permet de libérer de l'énergie lorsque les apports alimentaires diminuent ou que les besoins augmentent.

#### 49. Stimulation de la lipolyse

La lipolyse est favorisée par :

- jeûne ;
- exercice prolongé ;
- adrénaline ;
- noradrénaline ;
- glucagon selon contexte ;
- cortisol dans certaines situations ;
- baisse de l'insuline.

L'insuline freine la lipolyse.

Quand l'insuline baisse, le tissu adipeux libère plus facilement des acides gras.

#### 50. Utilisation des acides gras

Les acides gras libérés circulent dans le sang liés à l'albumine.

Ils peuvent être utilisés par :

- muscles ;
- cœur ;
- foie ;
- autres tissus selon besoins.

Ils sont dégradés par bêta-oxydation dans les mitochondries.

Cette dégradation produit de l'acétyl-CoA, qui peut entrer dans le cycle de Krebs ou servir à produire des corps cétoniques dans le foie.

## Lipogenèse

#### 51. Définition

La lipogenèse est la synthèse de lipides à partir de substrats énergétiques.

Elle permet de stocker l'excès d'énergie sous forme de triglycérides.

Elle se produit surtout dans :

- foie ;
- tissu adipeux.

Elle est favorisée par l'insuline et l'état nourri.

#### 52. Quand la lipogenèse augmente

La lipogenèse augmente lorsque :

- les apports énergétiques dépassent les besoins ;
- les réserves de glycogène sont suffisantes ;
- l'insuline est élevée ;
- les glucides sont disponibles ;
- le corps est en situation de stockage.

Le glucose peut être transformé en acides gras dans certaines conditions.

Ces acides gras sont ensuite stockés sous forme de triglycérides.

## Corps cétoniques

#### 53. Définition

Les corps cétoniques sont des molécules produites par le foie à partir des acides gras.

Ils deviennent importants lorsque le glucose disponible diminue et que la lipolyse augmente.

Les principaux corps cétoniques sont :

- acétoacétate ;
- bêta-hydroxybutyrate ;
- acétone.

Ils peuvent servir de carburant alternatif pour certains tissus.

## 54. Production en jeûne

Pendant le jeûne prolongé :

1. l'insuline baisse ;
2. le glucagon augmente ;
3. la lipolyse augmente ;
4. les acides gras arrivent au foie ;
5. le foie produit des corps cétoniques ;
6. certains tissus les utilisent pour produire de l'ATP.

Le cerveau peut progressivement utiliser davantage de corps cétoniques, ce qui économise le glucose et limite le catabolisme protéique.

## 55. Corps cétoniques et acidocétose

Les corps cétoniques sont acides.

En production excessive, ils peuvent contribuer à une acidose.

Dans le diabète de type 1 non contrôlé, le manque d'insuline peut entraîner :

- lipolyse massive ;
- production importante de corps cétoniques ;
- hyperglycémie ;
- déshydratation ;
- acidocétose diabétique.

Il faut donc distinguer la cétose physiologique modérée du jeûne et l'acidocétose pathologique.

## 56. Schéma à insérer

**Image conseillée :**

Schéma lipides : repas insuline lipogenèse/stockage ; jeûne lipolyse acides gras énergie ou corps cétoniques.

## 16.4. Métabolisme des protéines

### 57. Définition

Le métabolisme des protéines correspond à l'ensemble des mécanismes permettant d'utiliser les acides aminés pour construire, renouveler ou dégrader des protéines.

Les protéines sont essentielles.

Elles servent à fabriquer :

- enzymes ;
- transporteurs ;
- récepteurs ;
- hormones peptidiques ;
- anticorps ;
- protéines musculaires ;
- protéines de coagulation ;
- albumine ;
- protéines membranaires ;
- protéines du cytosquelette ;
- protéines de réparation.

Les protéines sont donc d'abord des matériaux fonctionnels et structuraux.

Elles ne sont pas la réserve énergétique préférée du corps.

## Acides aminés

### 58. Définition

Les acides aminés sont les unités de base des protéines.

Les protéines alimentaires sont digérées en acides aminés, dipeptides et tripeptides.

Ces molécules sont absorbées dans l'intestin puis transportées vers le foie par la veine porte.

### 59. Acides aminés essentiels et non essentiels

On distingue :

- acides aminés essentiels ;
- acides aminés non essentiels ;
- acides aminés conditionnellement essentiels.

Les acides aminés essentiels doivent être apportés par l'alimentation, car le corps ne peut pas les fabriquer en quantité suffisante.

Les acides aminés non essentiels peuvent être synthétisés par l'organisme.

Certains deviennent conditionnellement essentiels dans des situations particulières : croissance, maladie, traumatisme, stress métabolique.

## 60. Pool d'acides aminés

Le corps ne stocke pas les acides aminés sous forme de grande réserve spécialisée.

Il existe un pool d'acides aminés circulants et intracellulaires.

Ce pool sert à :

- synthèse protéique ;
- production d'énergie si besoin ;
- néoglucogenèse ;
- synthèse de molécules azotées ;
- réparation tissulaire ;
- immunité.

Si les apports sont insuffisants, le corps peut dégrader ses propres protéines, notamment musculaires, pour fournir des acides aminés.

## Synthèse protéique

### 61. Définition

La synthèse protéique est la fabrication de protéines à partir des acides aminés.

Elle se déroule dans les cellules grâce aux ribosomes.

Elle nécessite :

- ADN ;
- ARN messager ;
- ribosomes ;
- acides aminés ;
- ATP ;
- enzymes ;
- signaux hormonaux ;
- état nutritionnel suffisant.

### 62. Rôles de la synthèse protéique

La synthèse protéique permet :

- croissance ;
- réparation ;
- cicatrisation ;
- renouvellement cellulaire ;
- production d'enzymes ;
- production d'anticorps ;
- fabrication de protéines musculaires ;
- production d'albumine ;
- production de facteurs de coagulation ;
- adaptation à l'entraînement.

Elle est donc indispensable à la vie.

### 63. Hormones favorisant la synthèse protéique

La synthèse protéique est favorisée par :

- insuline ;
- hormone de croissance ;
- IGF-1 ;
- testostérone ;

- apport suffisant en acides aminés ;
- entraînement musculaire ;
- récupération ;
- sommeil.

Elle est freinée par :

- jeûne prolongé ;
- inflammation sévère ;
- cortisol élevé de manière prolongée ;
- dénutrition ;
- immobilisation ;
- maladie chronique ;
- insuffisance d'apport protéique.

## **Catabolisme protéique**

### **64. Définition**

Le catabolisme protéique est la dégradation des protéines en acides aminés.

Il peut être physiologique ou pathologique.

Il permet :

- renouvellement des protéines anciennes ;
- élimination des protéines abîmées ;
- fourniture d'acides aminés ;
- production d'énergie en cas de besoin ;
- néoglucogenèse en période de jeûne ;
- adaptation au stress.

### **65. Catabolisme musculaire**

Le muscle représente une grande réserve de protéines corporelles.

En cas de jeûne, maladie, inflammation ou stress prolongé, le corps peut dégrader des protéines musculaires.

Les acides aminés libérés peuvent être utilisés par le foie pour fabriquer du glucose.

Cela permet de maintenir la glycémie, mais au prix d'une perte de masse musculaire.

### **66. Catabolisme protéique et maladie**

Le catabolisme protéique augmente dans certaines situations :

- infection sévère ;
- brûlure ;
- traumatisme ;
- chirurgie ;
- cancer ;
- inflammation chronique ;
- corticothérapie prolongée ;
- immobilisation ;
- jeûne prolongé ;
- insuffisance d'apports.

Conséquences possibles :

- fonte musculaire ;
- faiblesse ;
- retard de cicatrisation ;
- immunité diminuée ;
- hypoalbuminémie ;
- risque d'escarres ;
- récupération plus lente.

## **Urée**

### **67. Définition**

L'urée est un déchet azoté produit par le foie lors du catabolisme des acides aminés.



Quand un acide aminé est dégradé, son groupement azoté doit être éliminé.

L'ammoniac produit est toxique.

Le foie transforme l'ammoniac en urée grâce au cycle de l'urée.

L'urée est ensuite éliminée par les reins dans l'urine.

## 68. Cycle de l'urée

Le cycle de l'urée permet de rendre l'azote éliminable de manière moins toxique.

**Schéma simplifié :**

**catabolisme des acides aminés ammoniac foie urée rein urine**

Ce lien montre la coopération entre foie et reins.

Le foie transforme.

Le rein élimine.

## 69. Ammoniac

L'ammoniac est toxique, surtout pour le cerveau.

Si le foie ne fonctionne pas correctement, l'ammoniac peut s'accumuler.

Cela peut participer à une encéphalopathie hépatique.

C'est un exemple majeur du rôle du foie dans la détoxification azotée.

## 70. Protéines et équilibre nutritionnel

Les protéines alimentaires sont nécessaires pour :

- masse musculaire ;
- cicatrisation ;
- immunité ;
- enzymes ;
- hormones ;
- transporteurs ;
- albumine ;
- coagulation.

Un déficit protéique prolongé peut provoquer :

- fonte musculaire ;
- fatigue ;
- œdèmes par hypoalbuminémie ;
- infections ;
- mauvaise cicatrisation ;
- fragilité cutanée ;
- perte d'autonomie.

## 71. Schéma à insérer

**Image conseillée :**

Schéma protéines : protéines alimentaires acides aminés synthèse protéique ou catabolisme ammoniac urée rein urine.

## 16.5. État nourri et état de jeûne

## 72. Définition générale

Le métabolisme change selon le moment par rapport aux repas.

On distingue :

- état nourri ;
- état post-absorptif, entre les repas ;
- jeûne court ;
- jeûne prolongé.

Le corps alterne en permanence entre stockage et mobilisation.

L'insuline domine après un repas.

Le glucagon et les hormones de mobilisation dominent entre les repas et pendant le jeûne.

## **Après un repas**

### **73. État nourri**

L'état nourri correspond à la période qui suit l'ingestion et l'absorption des nutriments.

Le sang reçoit :

- glucose ;
- acides aminés ;
- lipides ;
- vitamines ;
- électrolytes.

La glycémie augmente.

Les acides aminés augmentent.

Les lipides alimentaires sont transportés sous forme de chylomicrons.

Le pancréas sécrète de l'insuline.

Le corps passe en mode stockage et utilisation des nutriments entrants.

### **74. Rôle de l'insuline après repas**

L'insuline favorise :

- entrée du glucose dans les muscles et le tissu adipeux ;
- stockage du glycogène dans le foie et le muscle ;
- synthèse des lipides ;
- stockage des triglycérides ;
- synthèse protéique ;
- inhibition de la lipolyse ;
- inhibition de la néoglucogenèse ;
- inhibition de la glycogénolyse hépatique.

L'objectif est clair :

utiliser ce qui est nécessaire maintenant et stocker l'excédent pour plus tard.

### **75. Foie après repas**

Après un repas, le foie :

- capte une partie du glucose ;
- produit du glycogène ;
- transforme certains excès en lipides ;
- utilise des acides aminés ;
- synthétise des protéines ;
- traite les nutriments venant de l'intestin.

Il agit comme un centre de tri métabolique.

### **76. Muscle après repas**

Le muscle :

- capte du glucose sous l'effet de l'insuline ;
- refait ses réserves de glycogène ;
- utilise des acides aminés pour la synthèse protéique ;
- récupère après les efforts précédents ;
- stocke de l'énergie utilisable pour les efforts futurs.

L'activité physique augmente la capacité du muscle à capter le glucose.

### **77. Tissu adipeux après repas**

Le tissu adipeux :

- capte des acides gras ;
- stocke des triglycérides ;
- capte du glucose ;
- freine la lipolyse.

Il constitue la réserve énergétique principale à long terme.

## Entre les repas

### **78. État post-absorptif**

Entre les repas, l'absorption digestive diminue.

Il faut maintenir la glycémie sans apport immédiat.

L'insuline diminue.

Le glucagon augmente.

Le corps commence à mobiliser ses réserves.

### **79. Maintien de la glycémie**

Entre les repas, le foie maintient la glycémie grâce à :

- glycogénolyse ;
- début de néoglucogenèse.

La glycogénolyse hépatique est la première réponse.

Si le jeûne se prolonge, la néoglucogenèse devient plus importante.

### **80. Utilisation des lipides**

Quand l'insuline baisse, la lipolyse augmente progressivement.

Le tissu adipeux libère des acides gras.

Les muscles et d'autres tissus peuvent utiliser davantage les acides gras.

Cela permet d'économiser le glucose.

### **81. Cerveau et glucose**

Le cerveau continue d'utiliser principalement du glucose entre les repas.

Il ne peut pas utiliser directement les acides gras à longue chaîne comme carburant principal.

Il dépend donc du maintien de la glycémie.

C'est pourquoi le foie est essentiel pendant les périodes sans apport alimentaire.

## Jeûne prolongé

### **82. Définition**

Le jeûne prolongé correspond à une période où les apports énergétiques sont insuffisants pendant une durée plus longue.

Le corps doit s'adapter pour maintenir les fonctions vitales.

Les réserves de glycogène hépatique diminuent progressivement.

La néoglucogenèse augmente.

La lipolyse augmente fortement.

Les corps cétoniques deviennent progressivement plus importants.

### **83. Première phase du jeûne**

Au début du jeûne :

- insuline diminue ;
- glucagon augmente ;
- glycogénolyse hépatique augmente ;
- lipolyse commence à augmenter ;
- néoglucogenèse commence.

Le but est de maintenir la glycémie.

### **84. Après épuisement progressif du glycogène**

Quand les réserves de glycogène hépatique deviennent insuffisantes, le foie doit fabriquer du glucose.

La néoglucogenèse utilise :

- lactate ;
- glycérol ;
- acides aminés.

Les acides aminés peuvent venir du muscle.

Le corps doit donc limiter progressivement la destruction musculaire.

## 85. Adaptation par les corps cétoniques

Avec le jeûne prolongé :

- la lipolyse augmente ;
- les acides gras arrivent au foie ;
- le foie produit des corps cétoniques ;
- le cerveau commence à utiliser davantage les corps cétoniques ;
- le besoin en glucose diminue partiellement ;
- le catabolisme protéique peut être limité.

C'est une adaptation de survie.

Les corps cétoniques permettent d'économiser les protéines musculaires.

## 86. Jeûne prolongé et protéines

Même si le corps utilise davantage les lipides et les corps cétoniques, il continue d'avoir besoin d'un minimum de glucose.

Les globules rouges dépendent totalement du glucose.

Certaines parties du rein, du cerveau et d'autres tissus en utilisent aussi.

Si le jeûne dure trop longtemps ou si les apports protéiques sont insuffisants, la masse musculaire diminue.

## 87. Risques du jeûne prolongé ou de la dénutrition

Un jeûne prolongé ou une dénutrition peut provoquer :

- perte de masse musculaire ;
- fatigue ;
- hypotension ;
- hypothermie ;
- baisse de l'immunité ;
- troubles de cicatrisation ;
- carences ;
- troubles électrolytiques ;
- aménorrhée selon contexte ;
- fonte cardiaque dans les cas sévères ;
- œdèmes par hypoalbuminémie ;
- risque de syndrome de renutrition inappropriée si réalimentation brutale après dénutrition sévère.

Le métabolisme d'adaptation permet de survivre, mais il a des limites.

# Adaptation métabolique

## 88. Définition

L'adaptation métabolique correspond à la capacité du corps à modifier l'utilisation des substrats énergétiques selon les conditions.

Le corps peut utiliser :

- glucose ;
- glycogène ;
- acides gras ;
- corps cétoniques ;
- acides aminés.

L'objectif est de préserver les fonctions vitales.

## 89. Priorités métaboliques

Le corps établit des priorités.

Situation	Priorité
Après repas	utiliser et stocker les nutriments
Entre repas	maintenir la glycémie
Effort	fournir rapidement de l'ATP aux muscles
Jeûne	préserver le glucose et mobiliser les graisses

Situation	Priorité
Jeûne prolongé	utiliser les corps cétoniques et économiser les protéines
Maladie sévère	répondre au stress, parfois au prix du catabolisme

## 90. Hormones de l'adaptation

Plusieurs hormones participent à l'adaptation métabolique.

Hormone	Effet métabolique général
Insuline	stockage, anabolisme
Glucagon	mobilisation du glucose
Adrénaline	énergie rapide, glycogénolyse, lipolyse
Cortisol	néoglucogénèse, catabolisme protéique selon contexte
Hormones thyroïdiennes	métabolisme basal
GH	croissance, mobilisation lipidique, synthèse protéique selon contexte
Leptine	signal des réserves adipocytaires
Ghréline	signal de faim

Le métabolisme énergétique est donc régulé par un réseau hormonal, pas par une seule hormone.

## 91. Métabolisme en situation de stress

En stress aigu ou maladie :

- adrénaline augmente ;
- cortisol augmente ;
- glucagon augmente ;
- insuline peut être moins efficace ;
- glycémie peut augmenter ;
- lipolyse augmente ;
- protéolyse peut augmenter ;
- besoins énergétiques peuvent augmenter.

Ce mécanisme aide à fournir de l'énergie aux organes prioritaires.

Mais s'il dure trop longtemps, il favorise la fonte musculaire, l'hyperglycémie, la fatigue et la dénutrition.

## 92. Métabolisme et inflammation

L'inflammation modifie le métabolisme.

Elle peut augmenter :

- dépense énergétique ;
- catabolisme protéique ;
- résistance à l'insuline ;
- besoins en acides aminés ;
- besoins de réparation ;
- production hépatique de protéines inflammatoires.

En maladie chronique ou infection sévère, le corps peut perdre du muscle même si les apports semblent corrects.

C'est une logique de catabolisme inflammatoire.

## 93. Syndrome de renutrition inappropriée

Après une dénutrition sévère ou un jeûne prolongé, une réalimentation trop rapide peut être dangereuse.

L'arrivée de glucides stimule fortement l'insuline.

L'insuline fait entrer dans les cellules :

- glucose ;
- potassium ;
- phosphate ;
- magnésium.

Cela peut provoquer des troubles électrolytiques sévères, notamment une hypophosphatémie.

Le syndrome de renutrition inappropriée peut entraîner des complications cardiaques, neurologiques, respiratoires et métaboliques.

C'est pourquoi la réalimentation d'une personne sévèrement dénutrie doit être progressive et surveillée.

## 94. Tableau récapitulatif état nourri / jeûne

Situation	Hormone dominante	Substrat principal	Objectif
Après repas	insuline	glucose alimentaire	utiliser et stocker
Entre repas	glucagon	glycogène hépatique	maintenir glycémie
Jeûne court	glucagon, adrénaline	glycogène + néoglucogenèse	maintenir glucose
Jeûne prolongé	glucagon, cortisol, lipolyse	acides gras + corps cétoniques	préserver glucose et protéines
Effort intense	adrénaline	glycogène, glucose, phosphocréatine	ATP rapide
Effort prolongé	lipolyse + aérobie	acides gras + glucose	ATP durable

## 95. Schéma à insérer

Images conseillées :

**Schéma état nourri : repas insuline foie/muscle/tissu adipeux stockage.**

Schéma jeûne : insuline , glucagon foie libère glucose, tissu adipeux libère acides gras, foie produit corps cétoniques.

**Frise métabolique : après repas entre repas jeûne court jeûne prolongé.**

## Synthèse du chapitre

Le métabolisme énergétique permet au corps de produire, utiliser, stocker et adapter l'énergie selon les besoins.

Les besoins énergétiques comprennent le métabolisme basal, la thermogenèse, l'activité physique, la thermorégulation et les besoins liés à la croissance, la réparation ou la maladie.

Le métabolisme basal représente l'énergie minimale nécessaire au fonctionnement vital au repos. Il dépend surtout de la masse maigre, de l'âge, des hormones thyroïdiennes, de la température, de l'état nutritionnel et de l'état de santé.

Les glucides sont une source majeure d'énergie rapide. La glycémie est régulée par l'insuline et le glucagon. Après un repas, l'insuline favorise l'entrée du glucose dans les cellules et son stockage sous forme de glycogène. Entre les repas, le glucagon stimule la glycogénolyse et la néoglucogenèse pour maintenir la glycémie.

Les lipides sont la principale réserve énergétique à long terme. Les triglycérides sont stockés dans le tissu adipeux. La lipogenèse permet de stocker l'excès d'énergie. La lipolyse libère des acides gras en période de jeûne ou d'effort. Le foie peut produire des corps cétoniques lors du jeûne prolongé.

Les protéines servent surtout à construire et réparer. Les acides aminés permettent la synthèse des protéines, enzymes, anticorps, transporteurs et tissus. En cas de besoin énergétique ou de jeûne prolongé, les protéines peuvent être dégradées. Leur catabolisme produit de l'ammoniac, transformé en urée par le foie puis éliminé par les reins.

L'état nourri est dominé par l'insuline et le stockage. L'état entre les repas est dominé par la mobilisation du glucose hépatique. Le jeûne prolongé augmente la lipolyse, la néoglucogenèse et la production de corps cétoniques. Ces adaptations permettent de préserver la glycémie et les fonctions vitales.

Le métabolisme énergétique est donc un équilibre permanent entre apports, dépenses, réserves, hormones, activité physique, organes métaboliques et état de santé.

## À retenir absolument

Notion	Définition courte
Métabolisme énergétique	production, utilisation et stockage de l'énergie
Besoins énergétiques	énergie nécessaire au fonctionnement du corps
Métabolisme basal	dépense minimale de survie au repos
Dépense énergétique	énergie totale utilisée par l'organisme
Thermogenèse	production de chaleur
Activité physique	dépense liée aux mouvements musculaires
Glycémie	concentration de glucose sanguin
Glycogénogenèse	stockage du glucose en glycogène
Glycogénolyse	dégradation du glycogène
Néoglucogenèse	fabrication de glucose hors glucides
Insuline	hormone du stockage et de l'état nourri
Glucagon	hormone de mobilisation du glucose
Triglycérides	forme principale de stockage lipidique
Cholestérol	lipide structural et précurseur hormonal/biliaire
Lipolyse	dégradation des triglycérides

Notion	Définition courte
Lipogenèse	synthèse et stockage des lipides
Corps cétoniques	carburants produits par le foie en jeûne prolongé
Acides aminés	unités de base des protéines
Synthèse protéique	fabrication de protéines
Catabolisme protéique	dégradation des protéines
Urée	déchets azotés produits par le foie
État nourri	période post-repas dominée par l'insuline
Jeûne court	mobilisation du glycogène et néoglucogenèse
Jeûne prolongé	lipolyse, corps cétoniques, économie du glucose
Adaptation métabolique	ajustement des carburants selon les besoins

## Mini-évaluation

Réponds aux questions suivantes :

1. Qu'est-ce que le métabolisme énergétique ?
2. Quels sont les trois grands macronutriments énergétiques ?
3. Combien de kcal apportent environ les glucides, les lipides et les protéines ?
4. Qu'est-ce que le métabolisme basal ?
5. Quels organes consomment beaucoup d'énergie au repos ?
6. Quels facteurs influencent le métabolisme basal ?
7. Quel est le rôle des hormones thyroïdiennes dans le métabolisme basal ?
8. Qu'est-ce que la dépense énergétique totale ?
9. Qu'est-ce que la thermogenèse alimentaire ?
10. Comment l'activité physique influence-t-elle la dépense énergétique ?
11. Quelle est la différence entre effort aérobie et effort anaérobie ?
12. Qu'est-ce que la glycémie ?
13. Pourquoi la glycémie doit-elle être régulée ?
14. Que se passe-t-il après un repas riche en glucides ?
15. Qu'est-ce que la glycogénogenèse ?
16. Où est stocké le glycogène ?
17. Quelle est la différence entre glycogène hépatique et glycogène musculaire ?
18. Qu'est-ce que la glycogénolyse ?
19. Quel est le rôle de la glycogénolyse hépatique ?
20. Qu'est-ce que la néoglucogenèse ?
21. Quels sont les principaux substrats de la néoglucogenèse ?
22. Quelle hormone domine après un repas ?
23. Quels sont les effets principaux de l'insuline ?
24. Quel est le rôle de GLUT4 ?
25. Quelle hormone domine entre les repas ?
26. Quels sont les effets principaux du glucagon ?
27. Pourquoi l'équilibre insuline/glucagon est-il important ?
28. Quels sont les grands rôles des lipides ?
29. Qu'est-ce qu'un triglycéride ?
30. Où sont stockés les triglycérides ?
31. Qu'est-ce que le cholestérol ?
32. À quoi sert le cholestérol dans l'organisme ?
33. Qu'est-ce qu'une lipoprotéine ?
34. Quelle est la différence générale entre LDL et HDL ?
35. Qu'est-ce que la lipolyse ?
36. Quelles hormones ou situations favorisent la lipolyse ?
37. Qu'est-ce que la lipogenèse ?
38. Dans quelles situations la lipogenèse augmente-t-elle ?
39. Que sont les corps cétoniques ?
40. Quand les corps cétoniques deviennent-ils importants ?
41. Quelle est la différence entre cétose physiologique et acidocétose ?
42. À quoi servent principalement les protéines ?
43. Qu'est-ce qu'un acide aminé essentiel ?

44. Pourquoi le corps ne stocke-t-il pas les acides aminés comme les lipides ?
45. Qu'est-ce que la synthèse protéique ?
46. Quelles hormones favorisent la synthèse protéique ?
47. Qu'est-ce que le catabolisme protéique ?
48. Dans quelles situations le catabolisme protéique augmente-t-il ?
49. Pourquoi une maladie chronique peut-elle provoquer une fonte musculaire ?
50. Qu'est-ce que l'urée ?
51. Pourquoi le foie transforme-t-il l'ammoniac en urée ?
52. Quel organe élimine l'urée ?
53. Qu'est-ce que l'état nourri ?
54. Que fait le foie après un repas ?
55. Que fait le muscle après un repas ?
56. Que fait le tissu adipeux après un repas ?
57. Que se passe-t-il entre les repas ?
58. Comment le foie maintient-il la glycémie entre les repas ?
59. Que se passe-t-il lors d'un jeûne prolongé ?
60. Pourquoi le corps produit-il des corps cétoniques en jeûne prolongé ?
61. Pourquoi les corps cétoniques économisent-ils les protéines musculaires ?
62. Quels sont les risques d'un jeûne prolongé ou d'une dénutrition ?
63. Qu'est-ce que l'adaptation métabolique ?
64. Quelles hormones participent à l'adaptation métabolique ?
65. Comment le stress modifie-t-il le métabolisme ?
66. Comment l'inflammation modifie-t-elle le métabolisme ?
67. Qu'est-ce que le syndrome de renutrition inappropriée ?
68. Pourquoi la réalimentation doit-elle être surveillée après une dénutrition sévère ?