

BIOCHIMIE METABOLIQUE ET BESOINS NUTRITIONNELS.

MASTER 1 . BIOCHIMIE .

Plan du cours

1/ Rappels sur la biochimie structurale,

- Définitions,
- Structures des glucides, des lipides, et des protéines

2/ Rappels sur biochimie métabolique des macromolécules.

Métabolisme des glucides

Métabolisme des lipides

Métabolisme des protéines

3/ La nutrition

4/ La digestion

5/ Les équilibres alimentaires

6/ Les besoins nutritionnels

7/ Les carences nutritionnels.

8/ Les acides gras et maladies cardiovasculaires

9/ Phytostérols et régulation de la cholestérolémie.

10/ Polyphénols et santé

Ce cours est destiné aux étudiants de Biochimie. Il est conçu de telle façon que l'apprenant ayant des connaissances en Biochimie générale commence à s'imprégner des molécules biochimiques et en même temps de leur origine qui est principalement l'origine végétale. En effet ce sont les plantes qui constituent la base de notre alimentation. Afin de comprendre les équilibres alimentaires et les besoins nutritionnels et énergétiques, il devra faire appel aux équations équilibrées afin de déterminer la quantité de nutriments nécessaires pour couvrir les besoins tant nutritionnels qu'énergétiques.

Prof MERGHEM R.

Chapitre 1. RAPPELS SUR LA BIOCHIMIE STRUCTURALE.

Définition de la biochimie :

La biochimie est la science qui étudie la composition et les réactions chimiques de la matière vivante et des substances qui en sont issues. La biochimie c'est la chimie du vivant. La biochimie structurale étudie les structures des molécules et la biochimie métabolique étudie les métabolismes biochimiques.

Chapitre 1. BIOCHIMIE STRUCTURALE :

Nous aborderons cette partie en faisant des rappels surtout sur les principales molécules que nous trouverons dans notre alimentation (surtout végétale) et nous familiariser avec les molécules et leur origine.

1. LES GLUCIDES

1.2. - Définition et divers types des glucides végétaux :

Les glucides peuvent être définis comme des structures aldéhydriques ou cétoniques poly hydroxylées, ayant une formule générale $(CH_2O)_n$ d'où leur nom d'hydrates de carbone. Elaborés par photosynthèse au départ, les glucides constituent l'apport énergétique essentiel chez les êtres vivants (animaux, végétaux, microorganismes).

Les glucides sont classiquement subdivisés en osides simples et osides complexes.

1/ Oses Simples : Monosaccharides possédant 3 à 7 atomes de carbone.

Ils interviennent dans la photosynthèse (Cycle de Calvin), mais aussi dans le cycle des pentoses, la glycolyse, la synthèse des nucléotides et sont, commun à tous les êtres vivants. Exemples : D glycéraldéhyde, D xylose, D glucose, D. fructose, D lévulose, D mannose, D. galactose. Le D sédoheptulose, sucre en C7.

Les végétaux se différencient des animaux par la présence de très nombreuses variétés d'oses caractérisant certaines espèces. Citons l'apiose, sucre en C4 que l'on trouve chez le persil (tétrose, hydroxyméthyl tétrose). Parmi les pentoses, le xylose et l'arabinose constituant des xylanes et arabanes.

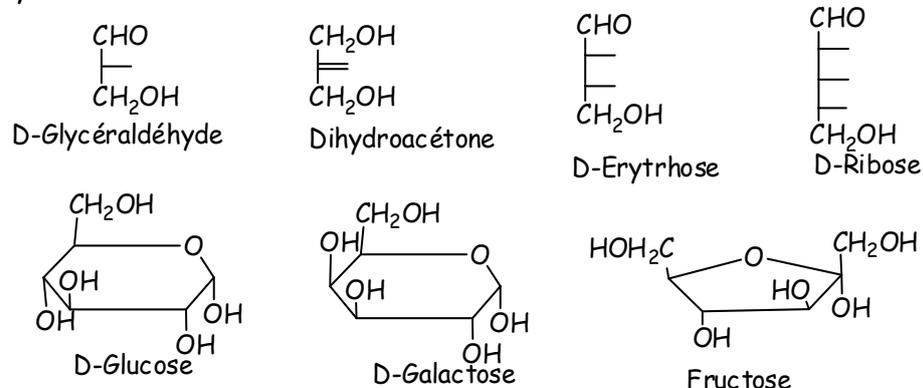


Figure 1 : formules d'oses simples

2/ Les osides :

Les osides sont formés par l'union de plusieurs oses (di, triosides ou polysaccharides)

1. Formation des osides :

L'addition d'un nouveau glucosyl a lieu sur l'extrémité non réductrice de la chaîne en croissance, chaque accrochage est catalysé par une *glucosyl transférase* (enzyme).

2. Les diosides :

Le saccharose est un glucide de transport d'énergie, présente la forme dominante ou exclusive de transport des glucides.

Sa structure est sous forme de α D-glycopyrannosyl (1-2)- β -D fructofurannose.

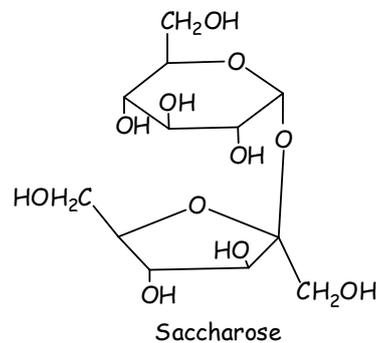


Figure 2 : structure du saccharose

3. Origines du saccharose : Le saccharose s'accumule dans un nombre restreint de plantes comme :

- La betterave sucrière, *Betta vulgaris* (Chenopodiacées)
- La canne à sucre ou *Saccharum officinalis*,
- Les fruits sucrés : les dattes, banane, pêche, abricot, pomme, fraise.

Les autres diholosides du règne végétal ne sont pas naturels mais obtenus après hydrolyse de polysaccharides comme c'est le cas pour le maltose ou la cellobiose.

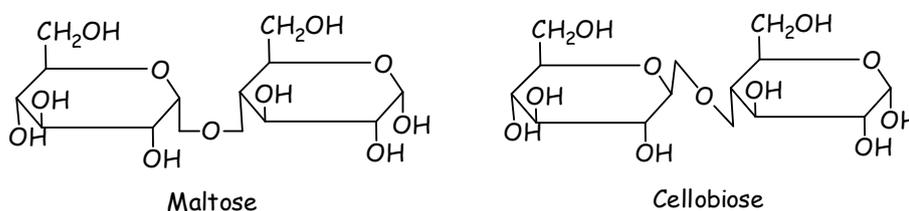


Figure 3 : structures du maltose et de la cellobiose.

Autre diholoside : le lactose. (écrire sa formule).

3/ Les polysaccharides des végétaux supérieurs :

Les polysaccharides homogènes : Ils constituent des sucres de réserve.

1/ Amidon :

a) Composition chimique : l'amidon est un glucosane dissociable en 2 éléments : amylose (15-30 %) et amylopectine (70 % à 85).

a.1- Amylose : La structure essentiellement linéaire, est constituée d'unités D- Glucose liées en $\alpha 1 \rightarrow 4$.

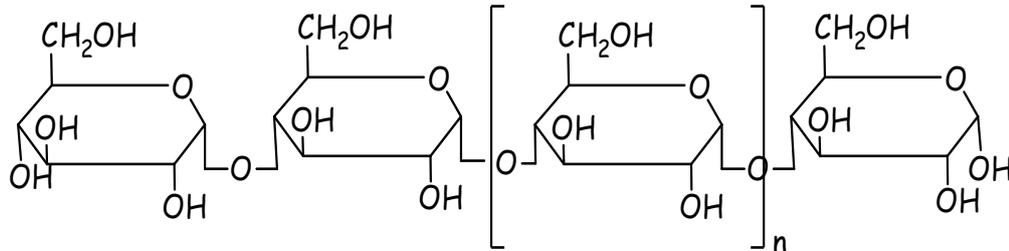


Figure 4 : structure de l'amylose

a.2- Amylopectine : l'amylopectine est un des plus gros polymères naturels qui peut atteindre 3000 unités, possède une structure ramifiée, constitué des chaînes de quelques dizaines d'unités de glucose, liées en $\alpha(1-4)$ et sont reliés entre elles par des ponts (1-6). La structure de l'amidon rappelle celle du glycogène des animaux.

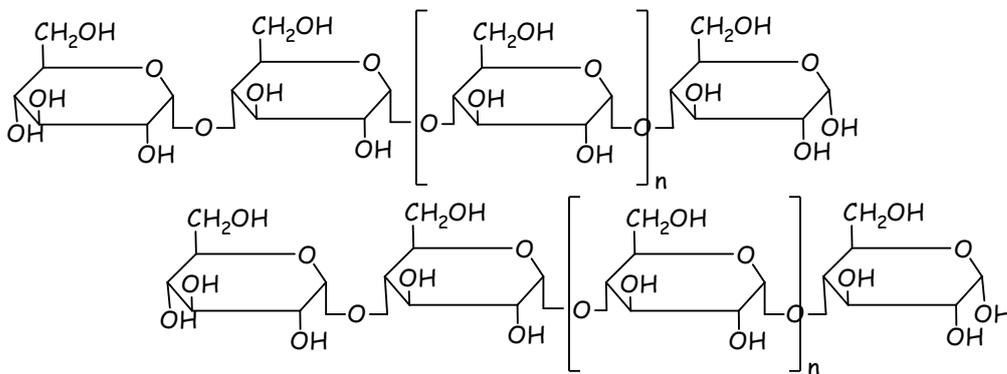


Figure 5 : structure de l'amylopectine

b) Principales sources d'amidon :

Les céréales sont des graminées dont le fruit est utilisable dans l'alimentation humaine (80% des calories alimentaires sont produites par les céréales).

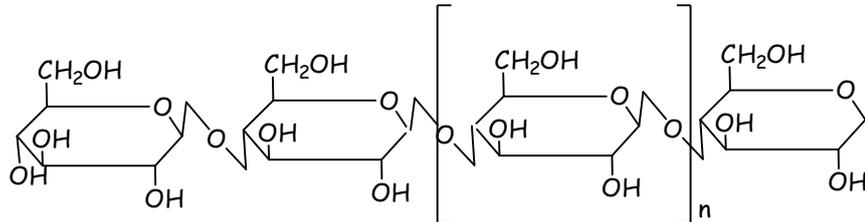
Parmi ces céréales on peut citer : le blé (*Triticum sp*), blé dur (*Triticum durum*), blé tendre (*Triticum aestivum*) ; le riz (*Oryzae sativa*) ; le maïs (*Zea maïs*). l'orge (*Hordeum vulgare*).

Les graines, essentiellement les graines de légumineuses telles que les graines du petit pois (*Pisum sativum*), le pois-chiche (*Cicer arietinum*), la fève (*Vicia faba*), la lentille (*Lens culnaris*) et le haricot (*Phaseolus vulgaris*) sont riches en amidon.

2. La cellulose :

a) Structure moléculaire de la cellulose :

La molécule de cellulose est formée d'une chaîne linéaire de plusieurs milliers (10 à 15000) unités de D-glucose liées en $\beta(1 \rightarrow 4)$.



Cellulose

Figure 6 : Structure de la cellulose

Autres structures de glucides :

Acides Uroniques	Hexoses	Desoxy 6 Hexoses	Pentoses
 Acide α D galacturonique	 α D-Galactose	 α D-fucose	 α D- arabinose
 Acide α D glucuronique	 α D-Glucose	 α D - Rhamnose	 α D- xylose
	 α D mannose		

2/ LES LIPIDES

Introduction et rappels :

Les lipides ou corps gras ou matière grasse sont des dérivés d'acides gras et d'un alcool. Ce sont des molécules non volatiles, hydrophobes ou amphiphiles et donc solubles dans des solvants organiques non ou peu polaires. Ils représentent des substances de réserve, source d'énergie pour la cellule.

Aussi, contrairement aux glucides et protéines, chimiquement définis, les lipides, présentent des structures très diverses caractérisées par un squelette fondamentalement hydrocarboné expliquant leur hydrophobicité.

Classification

1/ Les lipides simples :

Ils sont formés par l'association d'acides gras estérifiant un alcool : ils ne contiennent que du carbone (C), de l'hydrogène (H₂), et de l'oxygène (O₂).

- si l'alcool est le glycérol son estérification par des acides gras conduira aux glycérides mono, di et triglycérides (appelés esters de glycérol et d'acides gras) ou triacyl glycérol.
- si l'alcool est un alcool à longue chaîne (ester d'acides gras et d'alcool autre que glycérol) il y aura formation des cérides.

2/ Les lipides complexes :

Ils contiennent du phosphore P et de l'azote N en plus de carbone, de l'hydrogène H₂ et de l'oxygène O₂. Ils libèrent, à l'hydrolyse, du phosphate et souvent en plus des sucres, des amines. Ces phospholipides comprennent :

- les glycérophospholipides : phosphatidyl-éthanolamines (céphalines),
- phosphatidylsérines, phosphatidylcholines (lécithines).

Ils interviennent comme constituants fondamentaux des biomembranes. A de rares exceptions près, ils n'ont pas d'application pratique.

3/ Les lipides de réserve : les triglycérides

Les lipides de réserve forment, dans les cellules, des inclusions huileuses entourées d'une membrane ; il s'agit d'oléosomes. Les triglycérides sont des triesters d'un triol, le glycérol et d'acides gras

3.1 - Acides gras saturés : Formule générale : CH₃-(CH₂)_n-COOH

Tableau 1 : Principaux acides gras rencontrés chez les plantes supérieures

Nom	Formules	Localisation
Acide caproïque	C ₅ H ₁₄ -COOH	Palmiers
Acide caprylique	C ₇ H ₁₅ -COOH	Palmiers
Acide caprique	C ₉ H ₁₉ -COOH	Palmiers
Acide laurique	C ₁₁ H ₂₃ -COOH	Lauracées
Acide myristique	C ₁₃ H ₂₇ -COOH	Myristicacées
Acide palmitique	C ₁₅ H ₃₁ -COOH	Huiles végétales
Acide stéarique	C ₁₇ H ₃₅ -COOH	Huiles végétales

Acide arachidique	C ₁₉ H ₃₉ -COOH	Arachide
Acide béhémique	C ₂₁ H ₄₃ -COOH	Légumineuses

3.2- Acides gras insaturés :

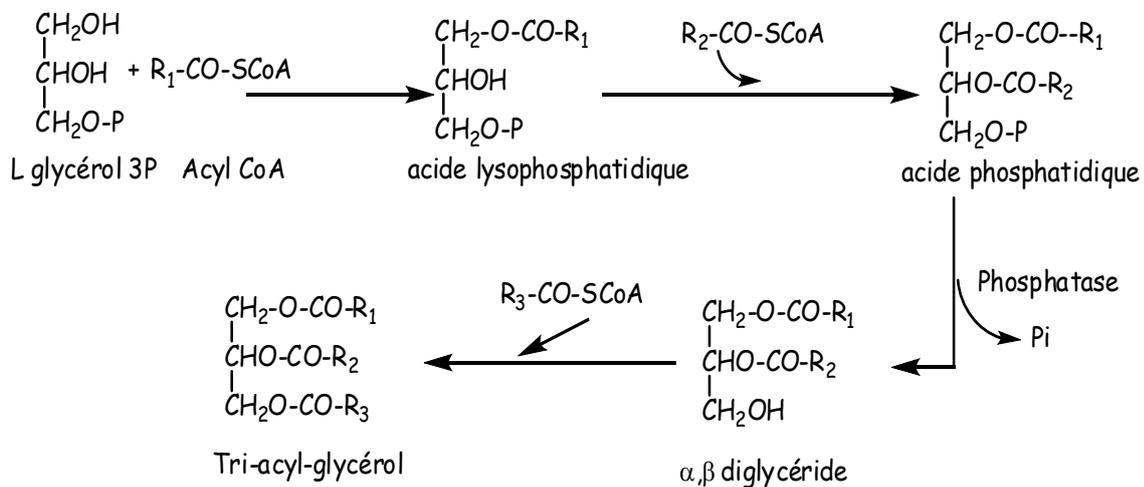
Les acides gras en C16 et C18 sont les plus fréquemment rencontrés : acide palmitoléique C16 : Δ⁹ ; acide oléique C18:Δ¹ cis 9 ; acide linoléique C18:Δ² cis, cis 9, 12 ; acide α Linoléique C18: Δ³ all cis 9, 12, 15 ; acide α linoléique C18: Δ³ all cis 6, 9, 12 et enfin l'acide arachidonique : C20: Δ⁴ all cis 5,8, 11, 14.

Tableau 2 : Principaux acides gras insaturés rencontrés chez les plantes supérieures.

Nom	Formules	Localisation
Acide palmitoléique	CH ₃ -(CH ₂) ₅ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Huiles
Acide Oléique	CH ₃ -(CH ₂) ₇ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Huiles végétales
Acide linoléique	CH ₃ - (CH ₂) ₄ -CH=CH-(CH ₂)-CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Lin

3.3- Les triglycérides naturels :

Ils sont le plus souvent hétérogènes : les fonctions alcools primaires α et α' et alcool secondaire β étant estérifiées par divers acides gras. Par hydrolyse ménagée on obtient des glycérides α et α' ou β ou des mono glycérides α et β. Les acides gras saturés se trouvent de préférence sur les fonctions α, les acides gras insaturés en position β.



III- Origine des huiles végétales :

- Huile d'olive: *Olea oleaster*, *Olea europaea* (Oléacées).
- Huile d'amande : *Prunus dulcis*
- Huile de colza : *Brassica napus* (Crucifères)
- Huile d'arachide : *Arachis hypogea* (Légumineuses)
- Huile de tournesol : *Helianthus annuus* (Astracées).

3 . LES ACIDES AMINES ET PROTEINES DES VEGETAUX

Généralités :

Le terme de protéines désigne tous les composés (protides, protéides, polypeptides) donnant par hydrolyse des acides aminés, unité de base des protéines.

On distingue: les peptides issus de la condensation de 2 ou plusieurs acides aminés par une liaison peptidique et les protéines issus de la condensation de très nombreux acides aminés par des liaisons peptidiques et reliés entre eux par des liaisons de types divers (liaisons hydrogènes, ioniques, sulfures etc.

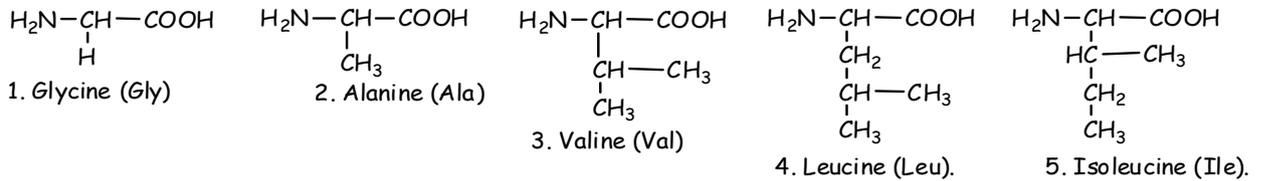
1/ Les acides aminés :

Les acides aminés rencontrés chez les végétaux peuvent être classés en 3 groupes :

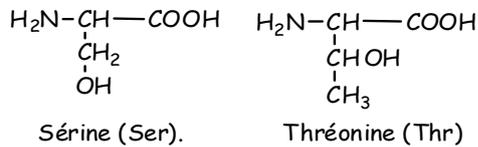
- **Ceux qui** entrent dans la composition des protéines, tant animales que végétales, et qui sont en nombre de vingt- parmi eux les acides aminés essentiels pour l'homme : Leucine, thréonine, lysine, tryptophane, phénylalanine, valine, méthionine, isoleucine.
- **Ceux qui**, sans être incorporés dans les protéines, jouent un rôle dans certains processus métaboliques. Citons la citrulline et l'ornithine qui interviennent dans le cycle de l'urée.
- **Ceux**, très nombreux, n'entrant pas dans les deux premières catégories. Ces acides aminés spéciaux, chacun étant généralement spécifique d'un petit nombre d'espèces, sont propres aux végétaux.

Classification des aminoacides.

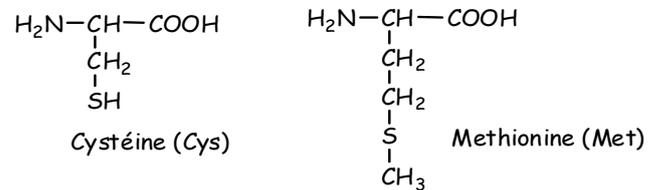
A. Aminoacides aliphatiques à chaîne hydrocarbonée.



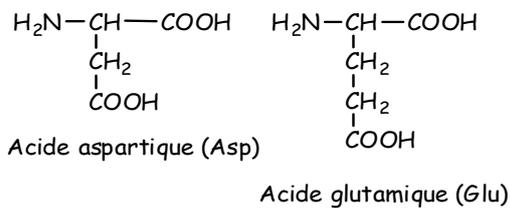
B. Aminoacides hydroxylés.



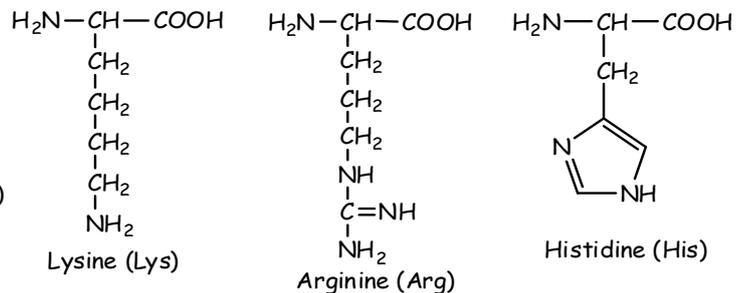
C. Aminoacides soufrés.



D. Aminoacides dicarboxyliques .

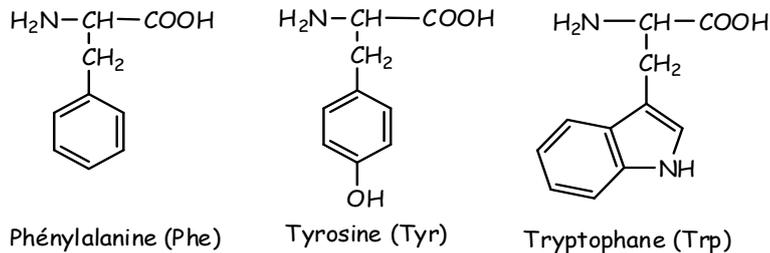


E. Aminoacides basiques



Arginine (Arg)

F. Aminoacides aromatiques cycliques



G. Aminoacides hétérocycliques.

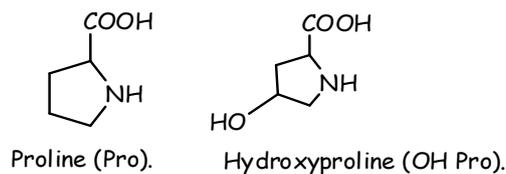


Figure 1 : formules des acides aminés. MERGHEM R. Biochimie

2/ Protéines de structure

Les protéines constituent la trame même de la matière vivante. Les tissus végétaux sont des protéines, les agents du métabolisme, les enzymes, sont également des protéines. Les protéines de structure ont été principalement étudiées chez les végétaux dans les feuilles d'où l'on peut en extraire d'assez grandes quantités.

3/ Les protéines de réserve :

a) dans les graines, dans les bulbes, dans les feuilles et dans les racines.

Dans les graines, la plupart des réserves protidiques sont sous forme des protéines ou polypeptides. Ces composés s'accumulent dans les vacuoles.

Les graines des graminées sont particulièrement riches en prolamines (protéines végétales dont le PM est peu élevé (de l'ordre 30.000) : gliadine du blé, hordéine de l'orge, zéine du maïs associés à une petite quantité de globulines et d'albumines ; ces protides constituent le gluten de la farine des céréales.

Tableau 1 : réserves protéiques, glucidiques et lipidiques des quelques graines.

	Protéines	Glucides	lipides
Haricot	35 à 40 %	25 à 28 %	3 à 6 %
Fève	25 à 35 %	25 à 28 %	2 %
Blé	9 à 14 %	68 à 72 %	1 à 2%
Colza	17 à 20%	14 à 22 %	36 à 45%

Certaines céréales, n'ont qu'une très faible teneur en acides aminés indispensables (par exemple le maïs est pauvre en lysine et en tryptophane) sont à l'origine des carences alimentaires chez les populations pratiquant la culture d'une espèce vivrière unique. Les céréales (blé, orge) sont déficientes en acides aminés tel que **la lysine et le tryptophane** et bien pourvues en acides aminés soufrés tandis que les légumineuses (pois, fève, haricot, lupin) **sont riches en lysine**, acide aminé indispensable à l'équilibre protéique. (Notion de supplémentation).

Chapitre 2. RAPPELS SUR LA BIOCHIMIE METABOLIQUE.

- 1- METABOLISME DES GLUCIDES,
- 2- METABOLISME DES LIPIDES
- 3- METABOLISME PROTEINES

- Métabolismes : anabolisme et catabolisme
- Les différents cycles biochimiques : le cycle de Calvin, la glycolyse, la bêta oxydation, le cycle Krebs et la chaîne d'oxydoréduction phosphorylante ou CORP ou CR.
- Les équations équilibrées.

Nous allons aborder la partie métabolique qui constitue une partie très importante pour pouvoir comprendre les points suivants :

- Comprendre comment est fabriquée l'énergie nécessaire à la vie ; Les ATP.
- Par quelle étape passe les différents nutriments et molécules pour produire de l'énergie
- Comprendre ce que veut dire anabolisme (synthèse de molécules)
- Comprendre ce que veut dire catabolisme (dégradation des molécules)
- Pouvoir suivre le devenir des différentes molécules - glucides, lipides, protéines.
- Pouvoir écrire les équations équilibrées pour pouvoir estimer les besoins énergétiques
- Pouvoir estimer les besoins énergétiques pour estimer les besoins nutritionnels.

Nous aborderons successivement le métabolisme des glucides, suivit du métabolisme des lipides et enfin celui des protéines.

Définition de l'anabolisme : synthèse des molécules (nécessite de l'énergie)

Définition du catabolisme : dégradation des molécules (producteur d'énergie)

1- METABOLIMSE DES GLUCIDES :

Nous prenons comme exemple le glucose qui constitue l'élément de base ou le carburant essentiel pour produire de l'énergie et des molécules intermédiaires.

La dégradation du glucose se réalise par la voie de la glycolyse

La dégradation partielle du glucose jusqu'au stade pyruvate s'appelle la glycolyse.

Pour la dégradation complète du glucose en CO_2 et H_2O un autre cycle est nécessaire c'est le cycle de Krebs couplé à la chaîne d'oxydo-réduction phosphorylante ou CR.

LA GLYCOLYSE

Définition :

La glycolyse est aussi appelée voir d'Emben meyerhoff. Elle dégrade le glucose en pyruvate, elle est à localisation cytosolique (cytoplasmique).

Intérêt : source d'énergie et précurseur de molécules d'intérêt biologiques (molécules intermédiaires).

Source d'énergie :

En aérobiose : la dégradation complète d'une molécule de glucose fournit 38 ATP (bon rendement énergétique). La dégradation complète veut dire passage par la glycolyse, le cycle de Krebs et la chaîne d'oxydoréduction phosphorylante ou CR.

Précurseurs de molécules d'intérêt biologiques :

- Donne le glycérol 3-P (lipides)
- intermédiaires du cycle de KREBS, les acides organiques (précurseur d'acides aminés)

Entrée du glucose dans la cellule :

Origine : Exogène (alimentaire) ou endogène (métabolique, sous forme de réserve : le glycogène).

Exogène : le glucose provient des aliments et de la dégradation des poly et disaccharides.

Endogène : métabolique (en période de jeûne) : endogène Glucose fabriqué à partir de composés non glucidiques (néoglucogénèse hépatique), ou le G.6.P est libéré après la dégradation du glycogène tissulaire (glycogénolyse hépatique et musculaire)

LES ETAPES DE LA GLYCOLYSE :

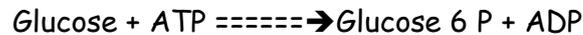
La glycolyse est une série de 10 réactions catalysées par 10 enzymes localisées dans le cytosol. Tous les intermédiaires de la glycolyse sont phosphorylés.

A/ Phosphorylation du glucose par l'ATP :

Pour entrer dans la voie de la glycolyse, le glucose doit être phosphorylé en glucose 6 phosphate. Cette réaction est catalysée par une hexokinase.

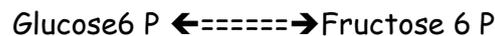
C'est la première grande étape. Elle est consommatrice d'une molécule d'ATP (ou d'une liaison phosphate riche en énergie). La réaction est irréversible. Comme dans toutes les phosphorylations le Mg^{++} est indispensable à la réaction.

La réaction catalysée est la suivante :



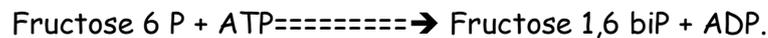
B/ Isomérisation du glucose 6P en fructose 6P :

C'est une réaction d'isomérisation, réversible, catalysée par la phosphoglucose isomérase (PGI).



C/ Phosphorylation du fructose 6P en fructose 1,6 biP :

La réaction est assurée par la phosphofructokinase 1 (PFK1) comme suit :

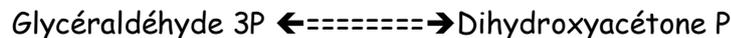


La phosphofructokinase est une enzyme allostérique dont l'activité joue un rôle important dans la régulation du taux de la glycémie.

D/ Scission du fructose 1,6 biP et interconversion des trioses phosphates :

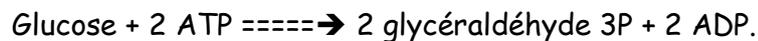


Ces 2 molécules peuvent s'isomériser :



Lors du clivage de fructose 1,6 biP, la réaction réversible est catalysée par une aldolase (fructose 1,6 biphosphate aldolase).

A la fin de cette phase la réaction globale est la suivante :



La suite des réactions est caractérisée par une production d'ATP et de pyruvate

E/ Formation d'ATP et oxydation du glycéraldéhyde 3P :

L'enzyme qui catalyse la réaction est la 3 phosphoglycéraldéhyde déshydrogénase. Elle exige la présence du phosphate minéral. Le groupe carboxyle issu de l'oxydation de la fonction aldéhyde est lié par une liaison riche en énergie au phosphate.

Le produit obtenu est le 1,3 biphosphoglycérate. Les électrons libérés sont pris en charge par le NAD^+ . La réaction est réversible.



F/ Transfert du phosphate sur l'ADP et synthèse de l'ATP :

Il est catalysé par la 3 phosphoglycérate kinase (phosphotransférase).

La réaction est réversible.



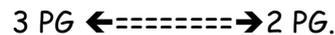
En résumé, par l'intermédiaire des deux enzymes (complexe multienzymatique de la glyceraldéhyde 3 phosphate déshydrogénase), on a la réaction suivante qui conduit à la formation d'ATP.



G/ Isomérisation du 3 phosphoglycérate en 2 phosphoglycérate :

Le phosphate est déplacé de la position 3 à la position 2.

La réaction est catalysée par la phosphoglycérate mutase.



La phosphoglycérate mutase lie le 3 phosphoglycérate et le phosphoryle transitoirement en 2,3 biphosphoglycérate qui est rapidement converti en 2 phosphoglycérate.



H/ Déshydratation du 2 phosphoglycérate en phosphoénolpyruvate :

C'est la seconde réaction qui va donner naissance à la formation d'une liaison phosphate riche en énergie. Le phosphate en position 2 devient riche en énergie et il y a formation du phosphoénolpyruvate



I/ Transfert du phosphate du phosphoénolpyruvate sur l'ADP :

Le phosphate à haute énergie du phosphoénolpyruvate est transféré sur l'ADP par une pyruvate kinase (pour générer 2 molécules d'ATP par molécule de glucose oxydé).

La formation du pyruvate termine la séquence des réactions de la glycolyse.



Bilan énergétique de la glycolyse :

Pour chaque glucose il y a eu :

- consommation de 2 ATP lors de la formation du G6P et du F1,6 biP.
- chaque molécule de glucose donne 2 glyceraldéhyde 3P.

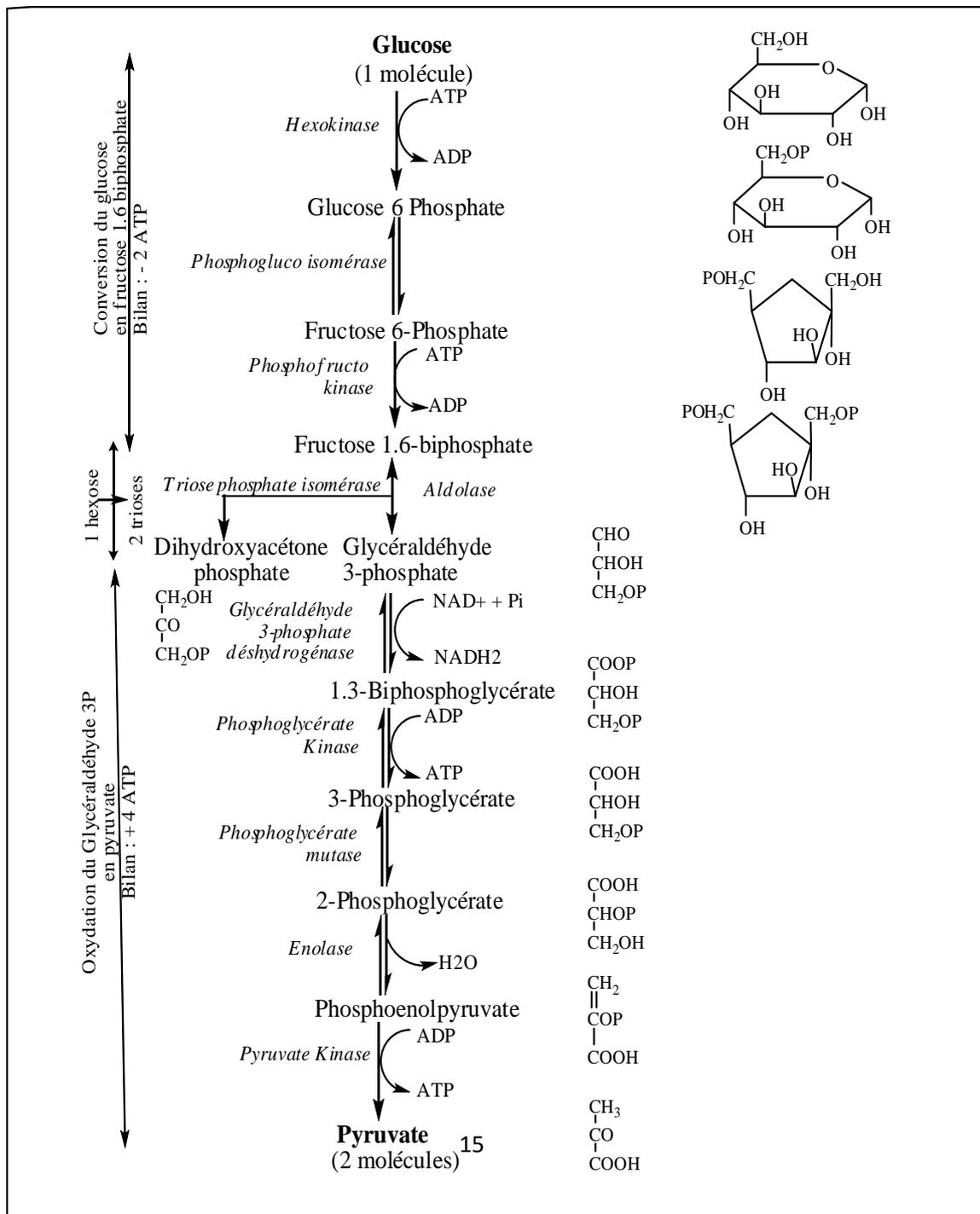
Au niveau de chaque triose phosphate, il y a formation d'un NADH, H⁺, de 2 ATP et d'un pyruvate. Le bilan final conduit à la formation de 4 ATP et consommation de 2 ATP.

La dégradation d'une molécule de glucose dans la glycolyse conduit donc à la synthèse de 2 ATP et à la formation de 2 NADH,H⁺ et de 2 pyruvates, d'où la réaction globale :



Dans les cellules aérobies, les hydrogènes et électrons du NADH,H⁺ sont transportés dans les mitochondries par des systèmes navettes pour être oxydés par la chaîne respiratoire. (NADH₂ = 3ATP et FADH₂ + 2ATP).

La Glycolyse



LA NEOGLUCOGENESE

Définition : c'est la formation de sucres nouveaux dans l'organisme (surtout glucides) à partir de molécules non glucidiques (90% dans le foie).

Toujours active. Lactate musculaire est le principal précurseur de la néoglucogénèse.

Intérêt : Glucose est une source d'énergie indispensables aux tissus glucodépendants (neurones, ...) et comme précurseurs de certaines molécules biologiques.

Besoins en glucose sont couverts par 3 voies : alimentation, glycogénolyse hépatique, et la néoglucogénèse.

Les réactions enzymatiques de la néoglucogénèse : elle utilise le sens inverse des réactions de la glycolyse (du pyruvate au glucose), sauf pour les 3 Réactions irréversibles (Réaction 1 : glucokinase (réaction 1 de la glycolyse) Réaction 2 : Phosphofructokinase (réaction 3 de la glycolyse). Réaction 3 : pyruvate kinase (réaction 10 de la glycolyse) donc il faut contourner ces voies.

3 portes d'entrée pour la néoglucogénèse :

- Pyruvate (alanine, lactate, AA glucoformateurs)
- Phosphoénolpyruvate
- DHAP : (glycérol)

***Glycogénolyse** à préparer par l'étudiant ?.

LE CYCLE DE KREBS.

1. Définition :

Il est aussi appelé cycle du citrate. C'est une voie strictement anaérobie et mitochondriale. Elle permet l'oxydation de l'**Acétyl-CoA** qui provient du pyruvate (glycolyse) ou des acides gras (β oxydation) ou de certains acides aminés.

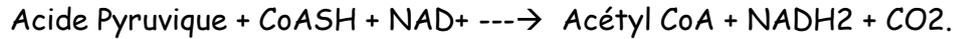
Voie commune aux 3 principaux métabolismes (métabolisme des glucides, métabolisme des lipides, métabolisme des protéines).

2. Rôle :

Production d'énergie (+ de 90%), en relation avec chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative. Produit aussi des intermédiaires pour les biosynthèses.

2.1. Décarboxylation oxydative du Pyruvate en Acétyl CoA :

C'est la réaction préliminaire du cycle de Krebs.



Bilan énergétique : Formation d'un NADH₂ = 3 ATP

3. Les étapes enzymatiques du cycle de Krebs :

3.1. Synthèse du citrate : Condensation entre acétyl CoA (C₂) et Acide Oxalo Acétique (C₄) pour former du Citrate (C₆) : Enzyme : Citrate synthase. Etape Régulatrice.

3.2. Déshydratation du citrate : Perte d'eau. Enzyme : Cis-aconitase.

3.3. Hydratation du Cis-aconitate : même enzyme. Addition d'eau et produit de l'Isocitrate.

3.4. Oxydation de l'Isocitrate : Déshydrogénation à NAD⁺. Enzyme : Isocitrate déshydrogénase.

3.5. Décarboxylation de l'oxalo-succinate. Enzyme : Isocitrate déshydrogénase. Départ de CO₂ (de C₆ à C₅).

3.6. Décarboxylation oxydative de l'α Cétoglutarate : α Cétoglutarate déshydrogénase.

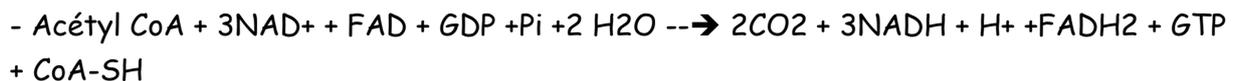
3.7. Formation de succinate : coupure de CoA et formation de GTP. Succinate thiokinase.

3.8. Oxydation du succinate : déshydrogénation à FAD. Succinate déshydrogénase.

3.9. Hydratation du fumarate : addition d'H₂O, fumarase (lyase).

3.10. Oxydation du malate en oxalo-acétate : fermeture du cycle ; déshydrogénation à NAD. Malate déshydrogénase.

4. Equation équilibrée et Bilan énergétique du cycle (Voir cycle ci-après).



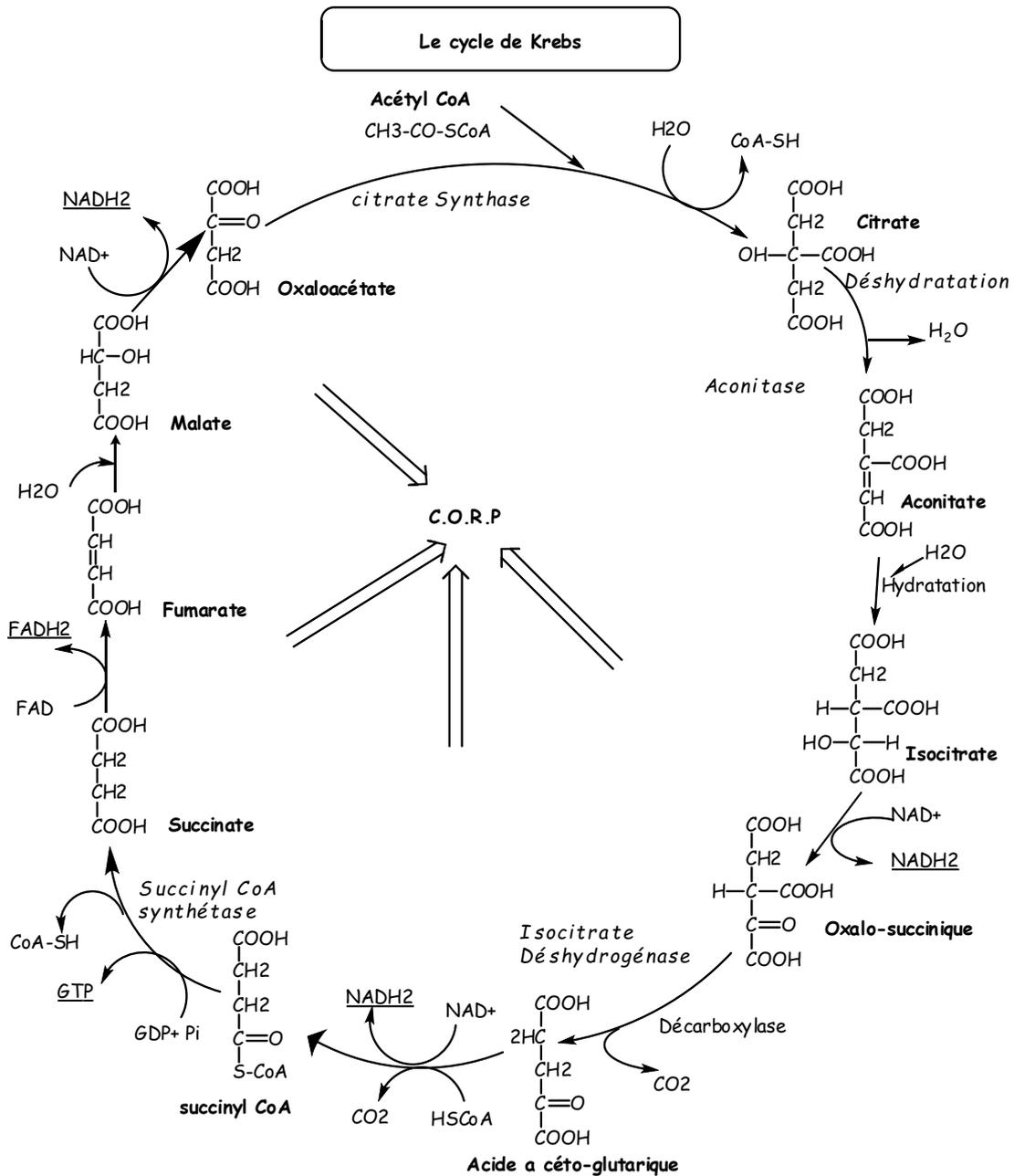
1GTP= 1 ATP,

3 NADH + H⁺ = 3 x 3ATP (à travers la chaîne respiratoire) = 9 ATP

FADH₂ = 2 ATP (à travers la chaîne respiratoire) = 2 ATP

TOTAL D'UN CYCLE = 12 ATP

Pour une molécule de glucose, 2 Acétyl CoA donc $12 \times 2 = 24$ ATP.



2- METABOLISME DES LIPIDES

Introduction et généralités :

I. Digestion des lipides d'origine alimentaire et mobilisation des lipides de réserves

Surtout constitués de triglycérides, phospholipides et stérols.

La digestion des lipides dépend de l'action des enzymes pancréatiques dans l'intestin grêle (**lipases** et **phospholipases**) et des **sels biliaires**.

Les sels biliaires émulsionnent les lipides sous forme de micelles.

La triglycéride lipase donne **2 AG + monoacylglycérol**.

Une fois la barrière intestinale passée, ils peuvent se recombinaison en triglycérides. Les **Lipoprotéines** sont la forme de transport des graisses hydrophobes.

Les principales sont :

- 1)-Les chylomicrons (fabriquée par la cellule intestinale),
- 2)-Les VLDL (Very Low Density Lipoprotein)
- 3)-Les LDL (Low Density Lipoprotein)
- 4)-Les HDL (High Density lipoprotein) synthétisés dans le sang.

Les lipides sont transportés vers le tissu adipeux sous forme de TG (triglycérides).

Les acides gras et les monoglycérides entrent dans les cellules adjacentes musculaire ou adipeuses pour :

Soit être utilisés à travers la β oxydation

Soit être retransformés en Triglycérides (triacylglycérol) pour être stockés.

Les Triacylglycérol de réserve : source énergétique pour toutes les cellules en absence de glucose. Sont utilisés lors : -diète prolongée (jeun) - exercices physiques - Stress.

L'hydrolyse des TG fournit sous l'action de diverses substances (glucagon, adrénaline ,corticoïdes,...) **2 AG + monoacylglycérol**.

METABOLISME DES ACIDES GRAS

1. Lipolyse :

Dégradation des lipides par la β Oxydation

1-Définition : Elle permet l'oxydation des acyls-CoA. La β oxydation a lieu dans la matrice mitochondriale. Elle coupe l'AG au niveau du carbone bêta (β) en libérant un acétyl CoA ; Le processus est répétitif jusqu'à épuisement de la chaîne carbonée.

1.1. Activation des acides gras :

Cette étape a lieu dans le cytoplasme

1.2. Entrée dans la mitochondrie : rôle de la carnitine (protéine de transport).

Les acyls CoA ne peuvent entrer dans la mitochondrie, il leur faut un transporteur (la carnitine)



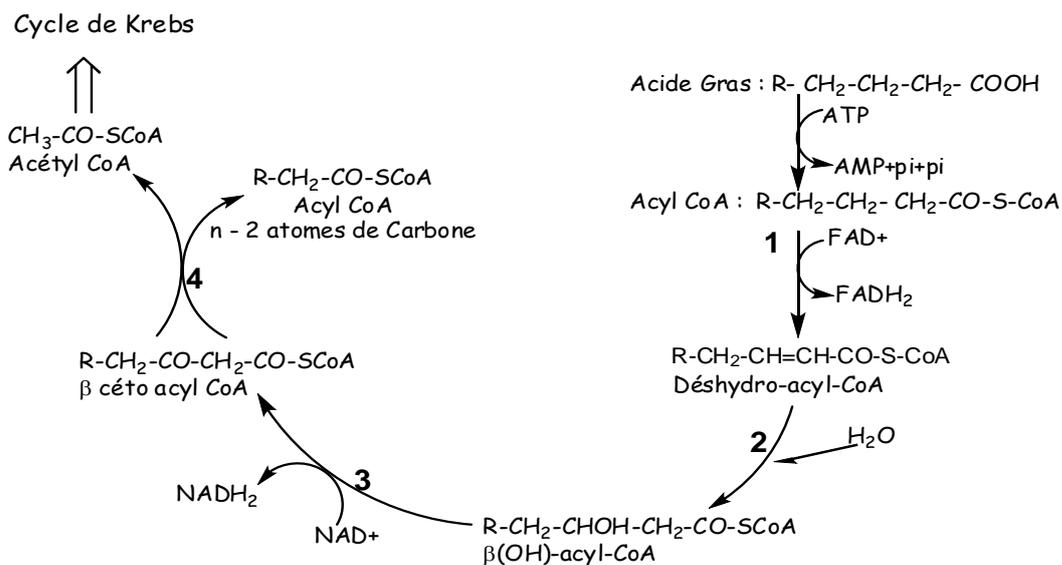
1.2. Etapes de la β -oxydation des acides gras saturés

4 étapes : appelées tour ou cycle. Pour un AG à 2n Carbones, (n-1) tours sont nécessaires pour son oxydation complète en n acétyl CoA.

La β oxydation consiste en un "découpage" de l'acide gras qui s'effectue par oxydation du carbone β (par rapport au COOH) et libération d'un maillon bicarboné (Acétyl-CoA)

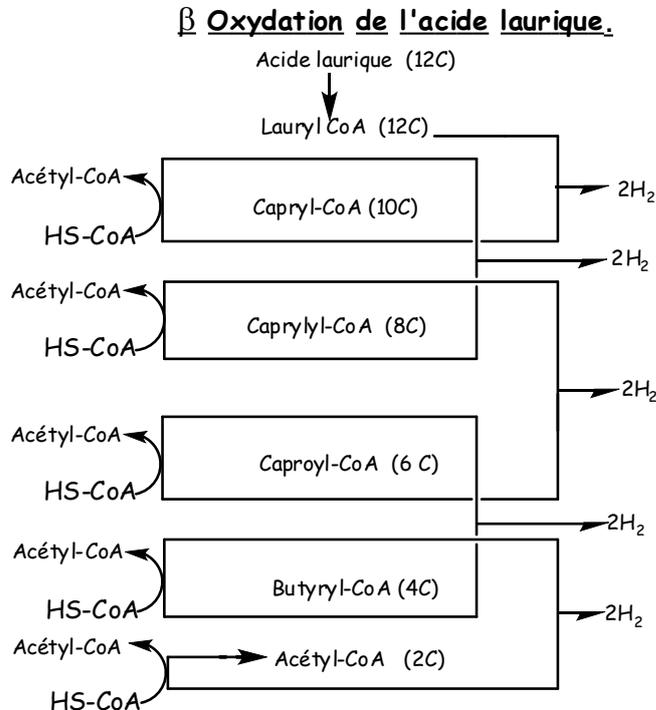
Les acides gras ne peuvent être dégradés que s'ils sont activés, c'est à dire combinés à un Coenzyme A par une liaison thyo-ester (SH) riche en énergie formant un Acyl-CoA; Lynen a décrit et schématisé le cycle de réaction de la β oxydation par une figure dite "hélice de Lynen" dont chaque tour de spire représente la perte d'un acétyl-CoA et de 4 hydrogènes.

La β Oxydation des Acides Gras.



Les 4 réactions constituent un tour de la β oxydation des acides gras. Hélice de Lynen.
 Enzymes : 1 = Acyl Co déshydrogénase. 2 = Enol-CoA hydratase. 3 = β (OH) acyl CoA déshydrogénase.
 4 = β Céto-thylolase

Exemple 1 : dégradation de l'acide laurique 12 C.



C12 acide laurique est activé par 2ATP en lauryl CoA.

Après 5 tours, donnent 6 Acétyl CoA = 6x 12 ATP = 72 ATP dans le cycle de Krebs.

La β oxydation bilan : 5 FADH₂ = 5x2 = 10 ATP ; 5 NADH₂ = 5x3 = 15 ATP.

Exercice 1. Ecrire l'équation équilibrée de la transformation de l'acide laurique en CO₂ et H₂O. Calculer le bilan énergétique en Kcal.

Réponse :

Exemple 2 :

C18 : 0 (acide stéarique est activé contre 2 ATP en stéaryl CoA)

Après 8 tours d'hélice donne 9 acétyl CoA. 9 Acétyl CoA = 9 x 12 ATP = 108 ATP (dans le cycle de KREBS) ;

La β oxydation donne 8 FADH₂ = 8 x 2 ATP = 16 ATP ; 8 NADH+H = 8 x 3 ATP = 24 ATP.

Exercice 2. Ecrire l'équation équilibrée de la transformation de l'acide stéarique en CO₂ et H₂O. Calculer le bilan énergétique en Kcal.

Réponse :

3- METABOLISME DES PROTEINES VEGETALES

Introduction :

- 1- Mode de formation des acides aminés
- 2- Biosynthèse de quelques acides aminés
- 3- Catabolisme des protéines
- 4- Rôle des acides aminés

Introduction :

Toute une partie du métabolisme des protéines chez les végétaux leur est spécifique.

La synthèse de l'ensemble des acides aminés nécessaires aux êtres vivants s'effectue à partir des composés azotés minéraux du sol.

On sait que les hommes sont obligés de trouver dans leur alimentation un certain nombre d'acides aminés dont ils ne peuvent assurer la synthèse.

Ces acides aminés dits essentiels (ou indispensables) sont en nombre de 8 ou 10 selon les espèces. Chez l'homme les acides aminés indispensables sont :

Leu, Ile, Val, Lys, Thr, Met, Phe, Trp. (His)

Nous allons indiquer le mode de synthèse de quelques acides aminés.

1- Mode de formation des acides aminés :

3 modes de formation sont envisagés : l'assimilation du NH_3 , le transfert du groupement aminé sur un céto acide, et les réactions de conversion.

a) Assimilation de l'ammoniaque :

L'assimilation du NH_4^+ , absorbé directement par les racines ou provenant de la réduction des NO_3 de sol se fait avant tout par l'amination réductrice de l'acide α -céto-glutarique, métabolite du cycle de Krebs. Ce n'est qu'en cas d'apport massif de ces éléments que se produit l'amination réductrice.

L'hydrogène est fourni par un réducteur comme le NADPH_2 en présence de la déshydrogénase glutamique ; La réaction se fait en 2 étapes par l'intermédiaire de l'imine correspondante au niveau des mitochondries.

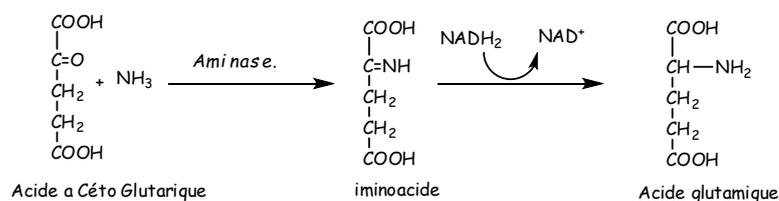


Figure 1 : assimilation de l'azote.

b) Transfert du groupement aminé sur les α céto acides :

Le mécanisme de la transamination (transfert réversible du groupement aminé d'un amino acide à un α céto acide) est commun à tous les organismes. Il a lieu dans les mitochondries et permet notamment la formation des amino acides à partir des α céto acides correspondants.

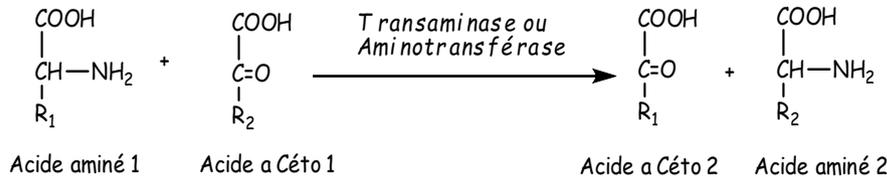


Figure 2 : la transamination

L'acide glutamique (glutamine) sera le principal donneur des groupements aminés. Les acides cétoniques qui interviennent dans la réaction sont soit des acides de métabolisme intermédiaire, soit des acides plus particuliers résultant de synthèses spécifiques.

Ceux qui font partie des premiers :

- L'acide glyoxylique : $\text{CHO}-\text{COOH}$ (qui par transamination, donne le glycolle), acide aminé formé lors de la photosynthèse.
- l'acide pyruvique : $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{COOH}$ (conduit à la formation de l'alanine), métabolite terminal de la glycolyse.
- l'acide oxaloacétique : $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{COOH}$ (qui donne naissance à l'acide aspartique) métabolite du cycle de Krebs.
- l'acide préphénique et ses précurseurs (à l'origine de la phénylalanine, tyrosine et du tryptophane).

Autres exemples :

- l'acide pyruvique pour la valine, leucine, et isoleucine.
- l'acide oxaloacétique pour la méthionine, cystéine, sérine, thréonine
- l'acide pyruvique et l'acide oxaloacétique pour la lysine,
- l'acide céto-glutarique : pour l'ornithine, citrulline, asparagine et la proline.

La plus grande partie des voies de biosynthèse des acides aminés se trouvent sous régulation allostérique. (voir définition)

2- Biosynthèse de quelques acides aminés :

L'incorporation de l'azote dans la molécule des acides aminés se produit en fin de chaîne par transamination de l' α -céto acide correspondant. Ce processus général concerne la majorité des acides aminés. Seulement un nombre restreint d'acides aminés sont issus d'autres acides aminés par des réactions appelées réaction de conversion : c'est le cas de la conversion de la glycine en sérine, du glutamate en proline et l'ornithine- citrulline à l'origine de l'arginine. Nous illustrerons cette biosynthèse par quelques exemples :

a) Synthèse de la proline :

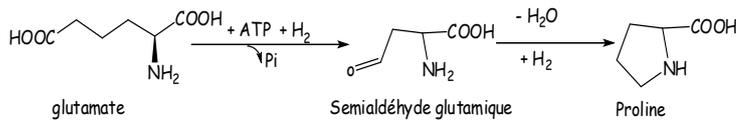


Figure 3 : synthèse de la proline

b) Arginine :

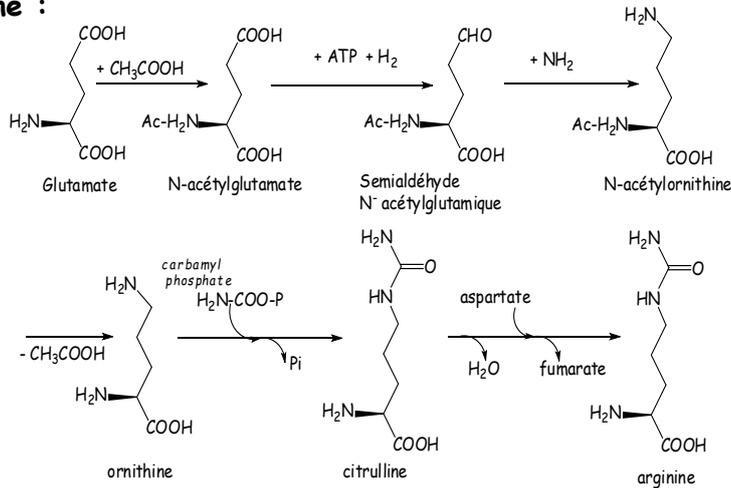


Figure 4 : synthèse de l'arginine.

c) Acides aminés aromatiques

La biosynthèse des acides aminés aromatiques est longue et complexe et demande au moins 10 étapes pour la phénylalanine, tyrosine et 12 étapes pour le tryptophane.

Cette voie débute par la condensation de l'acide phospho-énoyl-pyruvique (PEP) avec l'érythrose-4-phosphate, réaction comparable à celle de la phospho-dihydroxyacétone (DHAP) avec l'érythrose phosphate, lors de la photosynthèse (Cycle de Calvin). Les réactions suivantes conduisent à la formation, en 5 étapes de l'acide shikimique, puis après condensation avec une nouvelle molécule de PEP, de l'acide préphénique.

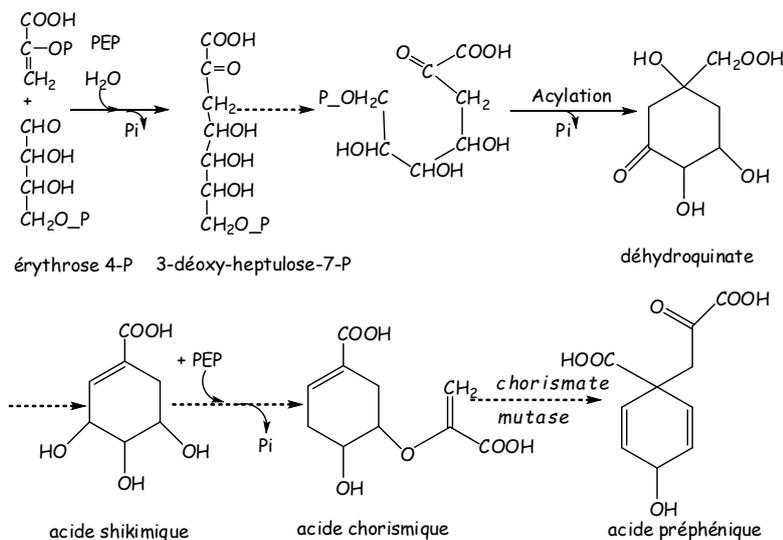


Figure 5 : a) synthèse de préphénate

L'acide préphénique par décarboxylation et déshydratation est à l'origine de l'acide phénylpyruvique. Ainsi, il ne se forme pas uniquement un noyau aromatique, celui-ci s'accompagnant d'une chaîne latérale en C₃.

Le mode de formation de la tyrosine et de la phénylalanine à partir du préphénate varie en fonction des espèces et des groupes de végétaux et fait appel à la transamination.

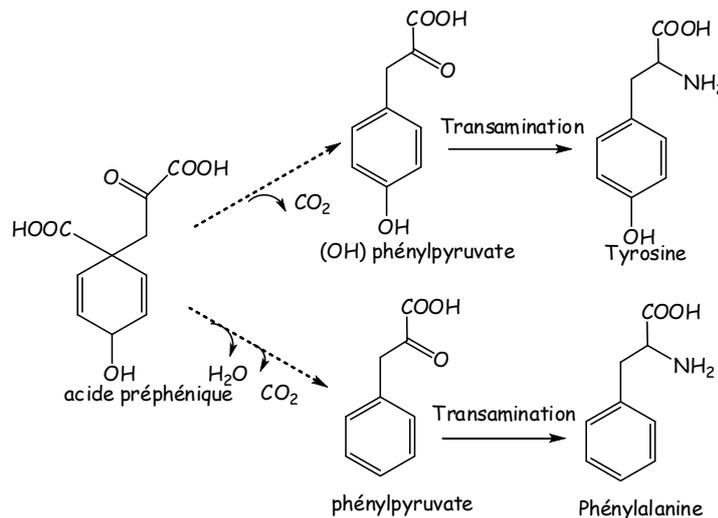


Figure 5 : b) synthèse de la tyrosine et de la phénylalanine.

3- Catabolisme des protéines :

La dégradation des acides aminés se fait selon 3 modes : hydrolyse des protéines, dégradation des amides et dégradation des amino acides.

a) Hydrolyse des protéines : les protéases assurent l'hydrolyse des protéines.

b) Dégradation des amides : la glutaminase hydrolyse la glutamine en acide glutamique et NH₄⁺, ce qui libère, d'une part, de l'ammoniaque utilisé dans la synthèse des acides aminés, et d'autre part, de l'acide glutamique servant aux transaminations.

c) Dégradation des acides aminés : Chez les plantes, les acides aminés libérés par hydrolyse des protéines sont généralement "intégrés à d'autres synthèses protéiques.

Les acides aminés, exception faite de quelques cas particuliers ne s'accumulent pas, ils sont immédiatement métabolisés pour donner des métabolites primaires ou secondaires.

Chapitre 3. LA NUTRITION

Définition et Généralités sur la nutrition :

La **nutrition** est une **fonction** assurant l'entretien de l'organisme, son maintien en vie et sa croissance en lui **fournissant** les **matières indispensables** ainsi que **l'énergie** dont il a besoin.

Elle englobe : → La **digestion** et l'absorption de nourriture. → La **transformation** des aliments. → **L'assimilation** des nutriments, leur utilisation (croissance, entretien, fonctionnement, production de chaleur et d'énergie). → L'excrétion.

Les **aliments ingérés** libèrent des nutriments nécessaires au fonctionnement des cellules. Celles-ci ont besoin d'une **diversité** de **nutriments** et d'**apports** **quantitativement équilibrés**.

1/ Les aliments :

Définition : Les aliments (viandes, céréales, légumes, fruits etc ...) sont des substances complexes qui renferment des éléments de base appelés Nutriments.

Ces substances ingérées sont nécessaires au développement, au fonctionnement, à la construction des réserves et à la réparation de l'être humain.

On distingue trois grands rôles des **nutriments** contenus dans les aliments.

→ Nutriments bâtisseurs : sont incorporés à l'architecture des cellules et leur apportent leur matière.

→ Nutriments énergétiques : leur dégradation dans les cellules libère l'énergie nécessaire à leur fonctionnement.

→ Nutriments fonctionnels : n'apportent ni matière ni énergie mais sont indispensables dans la réalisation de fonctions vitales.

A/ Les constituants organiques : ou macromolécules :

1/ **Les glucides** : ensemble des molécules qui contiennent des oses.

- **Rôle : énergétique** - rapidement disponible (oses = sucres rapides, molécules de base) ou lentement disponible (polyosides = sucres lents, grosses molécules : par ex. l'amidon).
- Le glucose est un ose. Il peut être directement et rapidement absorbable au niveau de l'intestin grêle car il n'a pas besoin d'être simplifié (c'est déjà un nutriment).

- Remarque : la cellulose est un glucide non digestible qui correspond aux fibres alimentaires. Les fibres n'ont pas de valeur nutritive mais facilitent le transit du bol alimentaire dans l'intestin.

2/ Les lipides : ensemble des molécules qui contiennent les acides gras et du glycérol.

- Rôle : principalement **énergétique**, mais aussi bâtisseur (entre dans la composition des membranes cellulaires). Ils sont essentiels à l'organisme et insolubles dans l'eau. Les animaux ont la capacité de synthétiser la plupart des acides gras, sauf ceux dits essentiels. Les AGE.
- Les acides gras sont saturés ou insaturés ces derniers jouent un rôle primordial dans le bon fonctionnement des cellules.

3/ Les protéines : ensemble des molécules qui contiennent les acides aminés.

- Rôle : principalement **bâtisseur** (composant majeur de l'architecture des cellules \ environ 50% du poids sec de la plupart d'entre elles + rôle de soutien comme pour les muscles par ex.), mais aussi **fonctionnel** (les **anticorps** assurent la défense, les **enzymes** ont une fonction de catalyse et leur présence dans l'hémoglobine assure le transport des substances).
- Quand les chaînes sont formées de plus de 50 acides aminés, on parle de protéines.

4/ Les vitamines : nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme à faible dose et devant être fournies par l'alimentation.

- Rôle : **fonctionnel** (régulatrices des réactions enzymatiques).

On distingue :

- Une famille soluble dans l'eau : B1, B2, B3... B12, C, PP...
- Une famille soluble dans les graisses : A, D, E, K...

B/ Les constituants minéraux.

Définition : Substances non synthétisées par les êtres vivants mais dont ils ont besoin.

- **Les sels minéraux** nécessaires en assez grande quantité (calcium (Ca) : (formation du squelette), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na), chlorures (Cl), phosphates.
- **Les sels minéraux** ou **oligo-éléments** nécessaires en faible quantité ayant un rôle fonctionnel (iode : pour la thyroïde, cuivre (Cu), fer (Fe) : pour la molécule d'hémoglobine...). Le fluor contre la carie dentaire.

Ces éléments sont éliminés régulièrement au niveau des reins et notre alimentation doit en apporter chaque jour des quantités suffisantes.

- **L'eau** : Substance minérale, élément indispensable à notre organisme, peut être riche en minéraux : eaux minérales.

C/ Les Phytonutriments : ce sont des micromolécules d'origine végétale nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. Ils sont doués de propriétés biologiques découvertes récemment. Ce sont des antioxydants, et exercent plusieurs activités biologiques importantes... (caroténoïdes, polyphénols, flavonoïdes ...)

II. Classification :

On peut classer les aliments en 7 groupes ou catégories :

GROUPE	Apports principaux	Exemple	Rôle principale
1/Produits laitiers	Calcium, Protéines animales, Lipides, Glucides, Vitamines B	Lait, fromage, yaourt	Bâtisseur
2 / Viandes, poissons, œuf (protéines animales)	Protéines animales, Lipides animales (+/- selon le produit), Glucides, Vitamines A, B, D, fer.	Viandes rouges ou blanches, charcuterie, abats, poissons, crustacés, œufs.	Bâtisseur
3/Fruits et légumes (fibres)	Sucres simples, Vitamines C et A, Fibres, Sels minéraux, Eau	Poire, cerise, melon, banane, pomme...	Fonctionnel (+ énergétique)
4/ Féculents (glucides)	Glucides complexes (amidon), Fibres, Vitamines B, Calcium, phosphore.	Pain, farine, pâtes, riz, céréales, légumes secs, pomme de terre	Énergétique (+ fonctionnel)
5/Corps gras (lipides)	Lipides végétales, Vitamines A/D.	Beurre, huile, fruits gras, charcuterie.	Énergétique (+ fonctionnel)
6/ Sucres et produits sucrés	Glucides simples, rapides	Pâtisseries, bonbons	Energétique
7/ Eau	Eau, sels minéraux	Eau, eau minérale	Fonctionnel

3/ Conclusion.

L'alimentation doit être équilibrée, c'est-à-dire apporter tous les éléments nécessaires à notre organisme afin : d'assurer une bonne croissance pendant l'enfance et l'adolescence, d'assurer les besoins énergétiques journaliers, de prévenir certaines maladies (cardio-vasculaire, obésité...), de lutter contre les carences responsables de maladies nutritionnelles, de se sentir en forme grâce au bon fonctionnement de l'organisme.

Les conditions du maintien du corps en bonne santé doivent être respectées :

- Équilibre alimentaire (faire attention aux excès et aux carences, manger varié).
- Avoir un temps de sommeil suffisant.
- Ne pas consommer d'alcool, tabac... (et dangers de la drogue).
- Avoir une activité physique régulière (par ex. 30mn de marche/jour...).

Chapitre 4. LA DIGESTION

A/ La digestion :

Définition : c'est la transformation des aliments en nutriments assimilables par l'organisme. Dans le tube digestif, les aliments subissent une série de dégradations mécaniques et chimiques qui découpent les éléments nutritifs.

Les nutriments résultant de la digestion sont suffisamment petits pour traverser la paroi poreuse de l'intestin. Ils passent dans le sang et dans la lymphe : c'est l'**absorption**.

Le sang apporte les nutriments à tous les organes du corps. Ils pénètrent dans les cellules où ils sont utilisés comme éléments de construction ou comme source d'énergie.

En fonction de la nature des aliments consommés, le processus de digestion dure entre 24 et 72 heures.

Le cheminement des aliments dans notre organisme permet de passer en revue les différents organes de l'appareil digestif et les glandes annexes qui s'y rattachent.

1/ La bouche :

En suivant le parcours qui commence par la bouche, notre nourriture est soumise à deux processus :

- Les aliments commencent à subir une transformation mécanique au niveau de la bouche et de l'estomac. Ils sont réduits en bouillie par mastication, broyage et malaxage. « Le bol alimentaire ».
- La seconde transformation est surtout chimique et se déroule au niveau de l'estomac puis des intestins.

Les sucs digestifs constitués d'acide et d'enzymes jouent le rôle de ciseaux moléculaires pour produire des nutriments.

2/ L'œsophage :

C'est un tube creux qui relie la bouche à l'estomac.

3/ L'estomac :

L'estomac est une poche entourée de muscles épais et puissants. Dans ce réservoir, le bol alimentaire est brassé pendant 3 ou 4 heures.

Les cellules qui tapissent la paroi interne de l'estomac, sécrètent les sucs gastriques (acide chlorhydrique et enzymes). Ces sécrétions pouvant atteindre 2 litres par 24

heures provoquent une dégradation chimique du bol alimentaire dans un milieu très acide.

4/ L'intestin grêle.

L'intestin est un tube replié qui mesure environ six mètres à 7 mètres de long chez un adulte.

On distingue plusieurs segments dans ce long tube : **le duodénum** (50 cm), **le jéjunum** (5m) et **l'iléon** (1m).

C'est dans l'intestin grêle que se déroule la partie la plus importante de la **digestion**.

A la sortie de l'estomac, les cellules de l'intestin sécrètent le suc intestinal et le duodénum reçoit les sucs digestifs provenant du **pancréas** et de la **vésicule biliaire**.

Les réactions chimiques de ces enzymes produisent les nutriments.

Ces éléments passent dans le sang : c'est le phénomène **d'absorption**.

5/ Le gros intestin. Le gros intestin mesure 1,5 mètre de long. Il fait suite à l'intestin grêle. Ce qui n'a pas été absorbé parvient dans le colon qui renferme des milliards de bactéries. Cette **flore intestinale** permet la fermentation des aliments non digérables.

Les transformations chimiques des aliments lors de la **digestion** sont les suivantes :

- Les protides ou protéines (polypeptides) sont fragmentés en acides aminés.
- Les lipides ou graisses (glycérol + acide gras) sont émulsionnés et convertis en acides gras.
- Les glucides ou sucres (polysaccharides) sont transformés en sucres simples assimilables comme le glucose (monosaccharides).

B/ Les sucs digestifs et leurs enzymes.

Une enzyme est une protéine capable de déclencher une réaction chimique sans modifier les produits finaux. Ce sont des catalyseurs biologiques fabriqués par les êtres vivants.

Une enzyme est spécifique d'une réaction chimique déterminée et elle n'agit que sur un type de substrat.

Le rôle des enzymes digestives est de découper les aliments en substances de plus en plus petites : elles favorisent une hydrolyse c'est-à-dire, une décomposition sous l'action de l'eau.

Les enzymes digestives sont donc des hydrolases.

La salive Dans la bouche, la salive provenant des glandes est mélangée aux aliments.

Chez l'homme, la salive contient une enzyme appelée amylase. Elle a une action chimique sur l'amidon (polysaccharide) qu'elle scinde en deux sucres plus simples. (dextrine et maltose.)

Les sucs gastriques

La présence de nourriture dans l'estomac déclenche la sécrétion du suc gastrique et du mucus qui se mélangent au bol alimentaire.

Le suc gastrique est fortement acide ($\text{pH} = 1$) contenant de l'eau, de l'acide chlorhydrique et des enzymes qui décomposent les aliments :

- la lipase gastrique agit sur les graisses (agrégation des gouttes),
- la pepsine découpe les grosses protéines comme l'albumine,
- la présure fait coaguler les protéines du lait.

La pepsine et la présure deviennent actives en milieu acide.

Les sucs intestinaux.

Dans le duodénum, la partie supérieure de l'intestin grêle, les éléments prédigérés déversés par l'estomac, subissent l'action de trois sucs digestifs puissants :

- le suc **pancréatique**, le suc **intestinal** et la **bile**.

C'est dans cette partie du tube digestif que se déroule l'étape la plus importante de la digestion chimique et l'**hydrolyse complète** de la plupart des aliments.

Le suc intestinal renferme de l'entérokinase qui active des enzymes : des saccharases, des maltases, des lactases et des peptidases.

La première enzyme duodénale, la **sécrétine** neutralise l'acidité gastrique qui permet l'action digestive du suc pancréatique.

Le suc pancréatique arrive à l'intestin grêle par différents canaux.

La sécrétion est stimulée par la consommation de protéines et de graisses.

Le pancréas est une glande annexe de l'appareil digestif qui produit environ 2 litres de suc par jour. Ce liquide incolore au pH neutre est le plus important pour la digestion.

Il contient plusieurs enzymes : deux protéinases (la **trypsine** et la **chymotrypsine**) **découpent** les protéines, une **lipase** décompose les **graisses**, l'**amylase** achève l'hydrolyse de l'**amidon** en **maltose** qui sera ensuite transformé en sucres simples assimilables (**glucose** et **fructose**).

La **bile** est **synthétisée** par le **foie** et **stockée** dans la **vésicule biliaire**.

La présence de graisse dans l'estomac et dans le duodénum **provoque** la sécrétion de bile dans l'intestin grêle. Les sels biliaires jouent un rôle important dans la digestion et l'absorption des graisses.

La flore bactérienne.

Le gros intestin ne produit pas d'enzymes mais renferme une flore bactérienne très importante et variée qui participe à la digestion. Ces bactéries transforment l'urée en ammoniac et participent à la fermentation des glucides non absorbés au niveau de l'intestin grêle.

La digestion des glucides.

La digestion des glucides commence dans la bouche et se poursuit dans l'intestin. L'amidon, le composant principal des féculents, est une molécule de réserve énergétique. Ce glucide complexe est une macro molécule formée de molécules plus petites (plusieurs centaines de molécules de glucose). L'amidon insoluble dans l'eau est découpé par l'amylase salivaire puis par l'amylase pancréatique pour produire des disaccharides (maltose.) Ces sucres sont encore dégradés dans l'intestin pour former du glucose soluble. (mono-saccharide) Il est absorbé par les cellules intestinales et passe directement dans la circulation sanguine.

D'autres sucres comme le lactose et le saccharose, présents dans notre alimentation, sont dégradés au cours de la digestion.

Les fibres alimentaires sont aussi constituées de sucres complexes. Le principal constituant est la cellulose mais l'homme ne possède pas l'enzyme, la cellulase, pour la dégrader.

La digestion des protéines.

La dégradation chimique des protéines commence par l'action de la pepsine, une enzyme protéase, qui coupe les grosses molécules protéiques en peptides.

En sortant de l'estomac, ces peptides sont hydrolysés dans le duodénum par les enzymes du suc pancréatique :

- les peptidases ou protéases découpent les peptides en acides aminés ou peptides plus petits : la trypsine, la pepsine et la chymotrypsine. Les peptides sont à leur tour hydrolysés en acides aminés par les peptidases.
-

La digestion des lipides.

Les lipides de l'alimentation humaine sont en grande partie constitués de triglycérides, de phospholipides et de stérols. Leur absorption au niveau de la

barrière intestinale est résolue de manière particulière : ils doivent être émulsionnés comme les gouttes d'huile pour être assimilées par l'organisme dans le duodénum

Les sels biliaires assurent la formation complète des micelles de triglycérides. Les lipases et les phospholipases produites par le pancréas hydrolysent les lipides.

La réaction catalysée par la lipase se fait par étapes :

Triglycéride + eau ----→ diglycéride + acide gras

Diglycéride + eau -----→ monoglycéride + 2 acides gras

Les monoglycérides, sous l'action de la lipase, se décomposent en glycérol et en acide gras.

L'intestin grêle est l'organe principal de l'absorption des nutriments.

Le sang draine tous les nutriments solubles dans l'eau comme les minéraux, les vitamines, les sucres simples, les acides aminés, le glycérol, les acides gras à chaîne courte vers le **foie**.

Chapitre 5. LES EQUILIBRES ALIMENTAIRES

LA RATION ALIMENTAIRE

Introductions et généralités :

Une bonne alimentation est un facteur de bonne santé.

En matière d'alimentation, les excès sont aussi néfastes que les privations et la quantité doit s'allier à la qualité.

Les repas doivent être variés et toutes les catégories d'aliments représentées.

L'étude des liens entre alimentation et santé a montré que les deux plus grandes causes de décès dans le monde - maladies cardiovasculaires et cancers - sont liées à notre alimentation.

Les règles de l'équilibre alimentaire.

Equilibre, Variété et Modération.

Une bonne alimentation repose sur ces trois notions simples qui relèvent du bon sens. Pour rester en bonne santé, le corps a besoin d'une certaine proportion de glucides, de lipides et de protéines mais aussi de vitamines et de minéraux. Aucun aliment ne contient à lui seul tous les nutriments qui nous sont nécessaires.

Pour l'**équilibre alimentaire**, il faut prendre chaque jour des aliments de chaque famille en fonction des apports conseillés.

La **pyramide alimentaire** nous aide à visualiser la part que chaque famille d'aliments doit représenter dans les apports d'une journée.

Les équilibres essentiels :

Chaque individu a des besoins alimentaires qui dépendent de son sexe, de son mode de vie, de son activité physique, de son âge...

L'alimentation qui a pour but de couvrir des besoins nutritionnels qui évoluent au cours de la vie.

Pour avoir une alimentation équilibrée, il faut apporter trois types d'aliments :

Les **aliments bâtisseurs** nécessaires à la formation de la masse musculaire et de l'ossature de notre corps. On y trouve deux sous-groupes : les aliments riches en protéides d'origine animale (viande, œufs, poissons) et les aliments riches en calcium (lait, fromages).

Les **aliments énergétiques** qui fournissent non seulement l'énergie nécessaire au fonctionnement des cellules du corps, mais aussi les substances de réserve. On y trouve deux sous-groupes : les aliments riches en matières grasses (beurre, huile, noix, charcuterie) et les aliments riches en amidon ou en sucre (pain, pâtes, pommes de terre, riz, sucre, confiture).

Les **aliments fonctionnels** qui apportent les **phytonutriments**^o, les fibres, les vitamines et les sels minéraux indispensables au métabolisme cellulaire : (légumes, fruits, légumes).

La pyramide alimentaire.

L'intérêt de la pyramide alimentaire tient au fait qu'elle **représente** un modèle d'alimentation saine. Elle permet de visualiser les différentes familles d'aliments et de montrer les proportions relatives de chacune d'elles :

Les aliments figurant de la base sont quantitativement les plus représentés, les quantités diminuant au fur et à mesure que l'on monte. (du groupe 1 au groupe 7).

Pour atteindre la bonne répartition en nutriments, il faut manger varié car aucun aliment n'est équilibré en soi.

Chaque grande famille d'aliments doit être représentée au moins une fois par jour.

Les grandes familles d'aliments.

Les aliments qui constituent l'alimentation de l'Homme peuvent être classés en 7 groupes selon leur composition chimique.

Groupe 1 : L'eau, les liquides et les boissons. :

Toutes les boissons apportent l'eau, les ions minéraux et les oligo-éléments nécessaires au fonctionnement des cellules.

Le corps humain est constitué de plus de 60 % d'eau. Il faut boire plusieurs fois par jour et en fonction des pertes liées au climat et de l'activité physique. Environ 1 à 2 litres par jour.

Il faut veiller à ne pas consommer trop de boissons sucrées.

Groupe 2 : Les fruits et les légumes frais.

Ces aliments frais sont riches en eau, en minéraux et oligo-éléments, en vitamines et en fibres alimentaires. Ils sont riches en **phytonutriments**. La vitamine C est un antioxydant qui permet de lutter contre le vieillissement cellulaire. Ils ont une assez faible valeur énergétique : pauvres en graisses, leur teneur en sucres est variable. En raison de leurs qualités nutritionnelles, ils doivent être présents à chaque repas et il est conseillé de les diversifier au maximum

Groupe 3 : Les pains, les céréales, les féculents, les légumes secs.

Appartiennent à ce groupe les pains, les céréales, les féculents (pommes de terre, riz, pâtes, semoules...) et les légumes secs (pois, haricots, lentilles...).

Ces aliments riches en **sucres lents** ont une bonne valeur énergétique avec l'amidon et contribuent aussi aux apports en fibres alimentaires, en vitamines B, en minéraux (fer et magnésium.)

Ils doivent être présents à tous les repas en quantité suffisante car ils assurent la couverture des besoins énergétiques sur le long terme.

Groupe 4 : Le lait et les produits laitiers :

Ce groupe englobe tous les produits lactés comme le lait, la crème et les yaourts ainsi que les fromages.

Ces aliments apportent des **protéines essentielles**, des graisses animales, du calcium, du phosphore, des vitamines liposolubles.

Ces aliments doivent être présents à chaque repas notamment pour les enfants en pleine croissance et les personnes âgées.

Groupe 5 : Les viandes, les poissons, les œufs.

Les aliments de ce groupe sont principalement riches en protéines animales et en **acides aminés essentiels**. Ils fournissent aussi du fer indispensable à la synthèse de l'hémoglobine et à l'intégrité du système immunitaire, de la vitamine B12 et des oligo-éléments.

Il ne faut **pas** en consommer **trop** car ils contiennent aussi des graisses, susceptibles d'augmenter les risques d'apparition de **maladies cardio-vasculaires**.

Groupe 6 Les matières grasses :

Dans ce groupe on classe les huiles, le beurre, les margarines, la crème.

Ce sont des aliments riches en énergie à gérer fournissent les lipides et les acides gras essentiels ainsi que les vitamines A, D, et E liposolubles indispensables au bon fonctionnement du système nerveux et au bon fonctionnement des cellules.

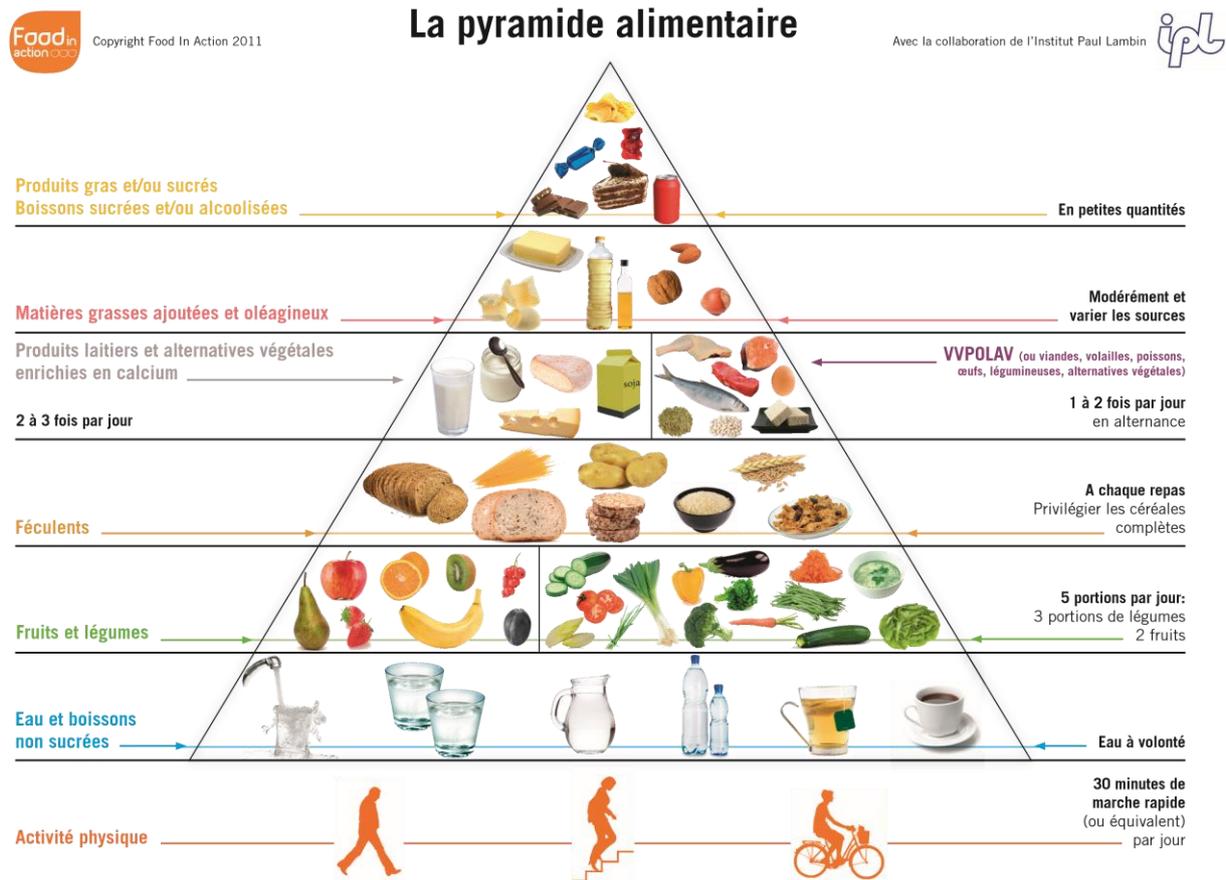
Il ne faut **pas abuser** des matières grasses en raison des risques de **maladies cardio-vasculaires**.

Groupe 7 : Les produits sucrés :

A la pointe de la pyramide on trouve des aliments non indispensables mais que l'on mange pour le plaisir.

Ce groupe comprend les boissons sucrées, Les pâtisseries, les biscuits, les bonbons, le miel, la confiture, le chocolat.

Tous ces aliments sont **très riches en calories** et contiennent des sucres rapides, qui fournissent à l'organisme de l'énergie rapidement disponible. Ils ne sont pas indispensables, même s'ils procurent beaucoup de plaisir aux gourmands.



LA RATION ALIMENTAIRE

La ration alimentaire doit respecter ces équilibres essentiels.

Il est conseillé de prendre **trois repas** par jour pour un apport énergétique repartit **ainsi : 20 à 25% au petit déjeuner, 40 à 45% au déjeuner, 25 à 30% au dîner.**

La ration alimentaire moyenne d'un homme adulte ayant une faible activité physique est environ 2400 Kcal/jour (\approx 10 000 Kjoules).

Qu'elle que soit la quantité des calories préconisées, on recommande d'apporter : **50 à 55 %** de l'énergie sous forme de **glucides** (1 g de glucides = 4 kcal), soit environ 250 à 300g par jour pour un adulte, dont 1/5 sous forme de sucres rapides (sucre) et le reste sous forme de sucres complexes (amidon).

30 à 35 % sous forme de **lipides** (1 g de lipides = 9 kcal) soit environ 70 à 100g par jour pour un adulte, avec une répartition entre les acides gras saturés (25%), mono-insaturés (50%) et polyinsaturés (25%).

10 à 15 % sous forme de **protéines** (1 g de protéines = 4 kcal), soit environ 60 à 80g par jour pour un adulte.

Cette ration doit apporter en quantité suffisante, de tous les groupes d'aliments. Les macronutriments : glucides, lipides et protides, sources de l'énergie nécessaires à l'entretien et au fonctionnement de l'organisme ; les acides aminés et les acides gras essentiels, les micronutriments et phytonutriments indispensables au fonctionnement cellulaire : ions minéraux, oligo-éléments et vitamines de l'eau et la cellulose.

Bilan de l'alimentation d'une journée :

Nutriments	Nutriments	Apports journaliers
Macronutriments	Glucides	300 à 400 g
	Lipides	60 à 90g
	Protéines	60 à 80g
Micronutriments	Na+	1 g
	K+	2g
	Ca+	1g
	Fe	2 à 20 mg
Vitamines	B1	1à 1,2 mg
	C	30 mg
Energie		2400 Kcal = 10000 kJ.

Besoins et apports énergétiques :

La ration alimentaire quotidienne d'une personne dépend de son métabolisme **de base**.

Définition du métabolisme de base :

C'est la dépense énergétique d'une personne quand elle est au repos complet, calme et éveillée, allongée et à jeun, à une température ambiante n'entraînant pas de dépense énergétique de thermorégulation.

Le métabolisme basal s'exprime en Calories, en kilojoules ou en watts par mètre carré de surface corporelle et par heure.

Le métabolisme basal d'un homme est estimé à 1778 Kcal/jour

Le métabolisme basal d'une femme à 1318 Kcal/jour.

Les dépenses énergétiques quotidiennes d'un sujet sont dues au métabolisme de base qui représentent 60 à 70% de la dépense énergétique totale, auquel s'ajoute la déperdition d'énergie liée au travail musculaire, à la digestion et au maintien de la température interne du corps à 36,5°C.

Calcul des besoins énergétiques :

Les besoins énergétiques moyens se calculent en multipliant la valeur du métabolisme de base (M.B.) par un coefficient approprié à l'activité de la personne.

M.B. 1778 Kcal/jour Hommes	M.B. 1318 Kcal/jour Femmes
Activité réduite. M.B. x 1,18 = 2100	M.B. x 1,36 = 1800
Activité habituelle. M.B. x 1,56 = 2700	M.B. x 1,56 = 2000
Activité importante. M.B. x 1,78 = 3000	M.B. x 1,64 = 2200
Activité très intense. M.B. x 2,10 = 3500	M.B. x 1,82 = 2400

Ce métabolisme basal est variable d'un individu à l'autre et dépend de l'âge, du sexe, du poids, de la taille, de l'état physiologique, de l'activité physique, du régime alimentaire.

Les variations en fonction du poids :

La masse corporelle est un facteur essentiel dans la détermination du métabolisme de base et donc de la ration alimentaire.

L'O.M.S. a proposé dans son rapport de 1986 des équations basées sur l'âge et le sexe : m représente la masse en kilos.

Avec ces formules du tableau ci-dessous, on obtient pour un homme de 35 ans, pesant 75 kilos, un métabolisme de base égal à : $11,6 \times 75 + 879 = 1749$ kcal par jour.

Pour une femme de 28 ans, pesant 55 kilos : $14,7 \times 55 + 496 = 1304$ kcal par jour.

Les variations en fonction de la taille.

L'O.M.S. a déterminé des équations prenant en compte la taille du sujet, en plus de son poids, de son âge et de son sexe.

Dans le tableau ci-dessous, m représente la masse en kilos et T représente la taille en mètres.

On obtient pour un homme de 35 ans, pesant 75 kilos et mesurant 1,85 m, un métabolisme de base égal à : $11,3 \times 75 + 16 \times 1,85 + 901 = 1778$ kcal par jour.

Les variations en fonction de l'activité physique.

Le travail musculaire est responsable d'une dépense énergétique importante qui est mesurée par la consommation d'oxygène. L'énergie dépensée correspond au travail mécanique mais aussi à l'adaptation de l'organisme à l'effort et à l'augmentation de la température corporelle. Lorsqu'on pratique une activité sportive importante plusieurs fois par semaine, le métabolisme de base augmente de 5 à 10%, à cause de l'accroissement de la masse musculaire. Par exemple, la dépense énergétique moyenne pour la course à pied est de 750 kcal / heure.

La composition d'une ration alimentaire

L'établissement d'une ration alimentaire équilibrée comporte 4 étapes successives :

Les apports en protéines animales : La ration alimentaire quotidienne doit apporter 60 à 80 g de protéines à partir des aliments du groupe 4 (lait et produits laitiers) et groupe 5 (viandes, poissons, œufs).

Sachant que 30 grammes de protéines animales sont équivalentes à : 800 g de lait, 110g de gruyère, 4 œufs, 200g de poissons, 180 g de volailles, 170 g de viande.

Les apports en matières grasses : La ration alimentaire doit apporter de 65 à 90 g de lipides. Les aliments du groupe 5 (viandes, poissons et œufs) fournissant de 20 à 30 g de lipides et ceux du groupe 2 (fruits et légumes frais) de 5 à 10 g, soit au total 25 à 40 g, c'est donc 40 à 50 g qui doivent être apportés par les aliments du groupe 6 (matières grasses.)

Sachant que : 10 g de matière grasse sont équivalents à : 100 g d'olives vertes, 50 g de noix noisettes ou amandes, 12,5 g de beurre, 12,5 g de margarine, 10 g d'huile d'olive ou d'arachide ou de tournesol.

Les apports en ions minéraux, en vitamines et en cellulose :

L'eau, les ions minéraux, les oligo-éléments, les vitamines et la cellulose sont apportés essentiellement par les aliments du groupe 2 (fruits et légumes frais.).

Les apports en complément énergétique :

Les trois premières étapes fournissent en moyenne **4000 kJ** ; il convient donc, pour compléter l'apport d'énergie, d'apporter les **6000 kJ** manquants à partir des aliments

des groupes 3 (pains, céréales, légumes secs, féculents) et 7 (produits sucrés) sous forme de pain, de pâtes, de pommes de terre, de confiture, de miel...

Sachant que : 100 Kjoules = 24 kcal équivalent à : 6 g de sucre , 10 g de confiture 10 g de pain, 30 g de pommes de terre, 7 g de légumes secs, 7 g de pâtes

Conclusion

La couverture de nos besoins énergétiques ne suffit pas à apporter à notre organisme tout ce dont il a besoin. Les besoins nutritionnels d'un être humain sont complexes et seule une alimentation diversifiée permet de les couvrir, en apportant d'autres substances. L'eau, les vitamines, les minéraux ne sont pas énergétiques mais ils sont indispensables au bon fonctionnement de notre organisme.