

I. Les aliments sont souvent le parent pauvre de la connaissance médicale en matière de nutrition. Et pourtant nous mangeons des aliments et non pas des nutriments. C'est pour quoi les conseils *diététiques* (*la science de l'alimentation équilibrée: ensemble des règles à suivre pour un régime équilibré*) qui sont prodigués aux patients doivent s'exprimer en aliments, pour qu'ils soient compréhensibles et accessibles. La diététique étant l'art de concilier la préparation des plats et des aliments, et la satisfaction des besoins alimentaires du bien portant ou de sujet malade, la connaissance des aliments est indispensable. Ces besoins alimentaires sont eux-mêmes triples : besoins nutritionnels et énergétiques, besoins psycho-affectifs et hédoniques, besoins symboliques et relationnels.

Cependant, alors qu'il existe des apports nutritionnels conseillés (ANC), il n'existe pas d'apports alimentaires conseillés (AAC). Mais il ya des limites aux repères qui sont donnés pour une population: celles liées aux habitudes alimentaires données dans un pays ou une région, ce qui explique le caractère arbitraire de ces repères. Il n'y a pas d'aliment indispensable.

En effet seuls les nutriments sont indispensables : c'est pourquoi plusieurs moyens existent pour atteindre les apports nutritionnels conseillés qui sont, eux, quasi universels. La diversité des aliments comestibles est telle qu'il faut effectivement considérer ceux qui nous sont coutumiers. Ainsi la définition de l'aliment qui suit trouve tout son sens : « *Un aliment est une denrée alimentaire comestible(...) à la fois nourrissante, appétence et coutumière.* » car non seulement il n'y a pas d'aliment indispensable, mais il faut, pour comprendre la nature et la complexité de l'alimentation, y rajouter deux autres *axiomes (certitudes)* : il n'y a pas d'aliment parfait (sauf le lait maternel), et donc la diversité et la variété en sont la conséquence ; il n'y a pas de mauvais aliment (seuls les excès le sont), et donc la modération en est la conséquence.

À côté de cette complexité naturelle se rajoute une autre complexité, celle des variations liées à la production (culture, élevage...), mais aussi à la transformation industrielle (processus) et ménagère (préparation, cuisson, cuisine) dont l'importance est grande en termes de qualité alimentaire. Bien qu'il n'y ait pas d'aliment indispensable, il existe cependant, du fait de la diversité, des différences et des ressemblances entre aliments. C'est la notion de classe ou de groupes d'aliments qui a conduit à la nécessité de les regrouper et donc à une classification. Cependant, même si toute classification a une justification chimique (nutritionnelle), elle a aussi une vocation pédagogique. C'est pourquoi il existe plusieurs classifications, toutes étant imparfaites, mais chacune pouvant avoir son intérêt (et ses limites éducatives) selon les objectifs. Ainsi l'éducation nutritionnelle en milieu défavorisé ou en pays en voie de

développement repose sur une classification en trois groupes proposée par l'OMS par exemple, *les aliments bâtisseurs* (ceux qui fournissent les protéines, regroupent par exemple viandes [et apparentés] et légumes secs) ; *les aliments énergétiques* (ils comportent les féculents et les corps gras) ; et *les aliments protecteurs* (riches en micronutriments tels que les fruits et les légumes).

Un plan éducatif a été mis avec succès, une classification en neuf groupes :

- Viande, charcuterie, œuf et fromages fermentés pour insister sur une communauté en termes d'acides gras saturés ;
- Poisson et produits de la pêche pour insister sur leur contenu spécifique en acides gras oméga 3 à longue chaîne ;
- Fruits et légumes y compris pommes de terre pour insister sur une ressemblance en termes de phyto-micro-constituants, micronutriments et fibres ;
- Céréales, pain et légumineuses pour mettre en valeur leur richesse en protéines végétales ;
- Lait et laitages (yaourt, fromage blanc, fromage frais ; sauf fromages fermentés) ;
- Corps gras végétaux et beurre ;
- Fruits oléagineux (les noix par exemple), bien à part ;
- Aliments et boissons sucrés pour insister sur une teneur élevée en sucres simples ;
- Boissons alcooliques et alcoolisées pour mettre en évidence les spécificités de l'alcool.

Les classifications aboutiront donc, à travers des repères de fréquence et d'association, à des conseils afin d'arriver à ce que l'on appelle l'équilibre alimentaire, mot qui cache à la fois notre ignorance et une grande diversité de formules pour parvenir au même but. Enfin les limites de toutes ces approches seront également celles des tables de composition des aliments, elles-mêmes, qui ne sont que des moyennes à un moment donné, pour un aliment donné (même s'il y a plusieurs échantillons) d'une origine particulière (botanique par exemple) issu d'une transformation ou d'une conservation spécifique : le degré d'imprécision est grand, soyons-en conscients. Une micro-table est faite (encadré 2.1), sur la base de la classification pédagogique citée en neuf groupes. La science des aliments progresse également parce que les aliments évoluent.

L'alimentation est l'une des composantes facilement modifiables les plus importantes de notre mode de vie. *La fonction essentielle de l'alimentation est d'apporter à notre organisme des quantités suffisantes en macronutriments, vitamines, minéraux et oligoéléments* à partir desquels notre organisme se développe, se renouvelle et puise son énergie grâce à la bonne santé de toutes ses fonctions vitales. Ces aliments sont très diversifiés

et semblent très différents les uns des autres. Toutefois, si on étudie leur composition chimique, on se rend compte qu'il existe de grandes similitudes entre eux.

I.1. La composition des aliments : l'alimentation a pour but premier d'assurer la couverture des besoins énergétiques (macronutriments) et des besoins qualitatifs (micronutriments). La dépense énergétique totale (DET) qui correspond au coût de la vie active est satisfaite en puisant dans l'environnement. Les aliments apportent les substrats nécessaires à la production d'énergie (macronutriments riches en énergie et micronutriments pour le fonctionnement) ce qui se concrétise par la synthèse d'ATP (*adénosine triphosphate*). Chaque nutriment a la capacité de produire une certaine quantité d'ATP transformée secondairement en chaleur. La calorie est une unité de chaleur traduisant l'énergie obtenue par l'hydrolyse de l'ATP et la libération de *phosphore*. Les glucides fournissent approximativement 4kcal/g, tout comme les protéines, les lipides fournissent 9kcal/g et l'alcool 7kcal/g.

A. Hydrates de carbone (CHO): les CHO (glucides) ont en commun leur structure chimique associant des molécules de carbone et de l'eau dans un rapport 1/1 ($C_n ; H_{2n}O_n$). Leur intérêt énergétique est considérable puisqu'ils couvrent globalement 50 à 70 % des besoins énergétiques: 1g de glucides apporte 4kcal. La principale fonction métabolique des glucides est d'assurer *l'homéostasie glycémique (la régulation de la glycémie met en jeu le système hormonal, ainsi que plusieurs organes (pancréas, foie et rein principalement). Cette régulation fait partie des processus de maintien de l'homéostasie (l'homéostasie est un phénomène par lequel un facteur clé (par exemple, température) est maintenu autour d'une valeur bénéfique pour le système considéré, grâce à un processus de régulation) au sein de l'organisme)* moyennant un apport adéquat et la possibilité de stockage tissulaire sous la forme de glycogène (*le glycogène est un glucide complexe polymère du glucose. Il consiste en une chaîne de glucose lié en α et est branché en α tous les huit ou douze résidus. Il est utilisé par les animaux pour stocker de l'énergie chimique et permet de libérer rapidement du glucose au même titre que l'amidon chez les végétaux*) qui est au monde animal ce que l'amidon est au monde végétal. Le stockage du glycogène est limité à 300g, soit une réserve énergétique de 1200kcalories. Par leur pouvoir sucrant, les mono- et disaccharides contribuent à *la palatabilité (la palatabilité est la caractéristique de la texture des aliments agréables au palais ; elle intervient dans le plaisir alimentaire)* de l'alimentation et, donc, à son acceptabilité.

A.1. Glucides digestibles:

a. Classification : les CHO sont des nutriments énergétiques (macronutriments) très hétérogènes dont les classifications structurelles et fonctionnelles ne sont pas totalement concordantes. On distingue les *CHO non digestibles* et les *CHO digestibles* (les glucides à destinée métabolique). Parmi ces derniers doivent être distingués les mono- et disaccharides et les polysaccharides dont le processus de digestion et la destinée métabolique sont différents :

— Monosaccharides: les monosaccharides alimentaires regroupent les produits de l'hydrolyse de l'amidon qui produit du glucose, du fructose ou du galactose. *Le sorbitol est l'alcool du glucose (le sorbitol ou glucitol est un polyol naturel, au pouvoir sucrant deux fois plus faible que le saccharose. À la différence des oses, sa structure ne renferme aucune fonction cétone ou aldéhyde. Il est principalement utilisé comme édulcorant de masse pour remplacer le saccharose) et le xylitol (le xylitol est un polyol extrait de l'écorce de bouleau, considéré depuis une vingtaine d'années comme un remarquable substitut du sucre classique dans les pays nordiques) celui des xyloses ; ils n'ont d'intérêt que par leur pouvoir sucrant. Le ribose et le déoxyribose sont des pentoses de synthèse endogène dont la destinée est de produire des acides nucléiques.*

— Disaccharides: les disaccharides sont représentés par le saccharose (ou sucre de cuisine) qui a un pouvoir sucrant et le lactose. Mono- et disaccharides sont considérés comme des sucres «simples» mais leur absorption et leur destinée métabolique peuvent être très différentes les uns des autres. Seul le glucose et, à un moindre degré, le saccharose sont à considérer comme des sucres «rapides», ce qui sous-entend qu'ils entraînent une hyperglycémie précoce et importante.

— Polysaccharides: les polysaccharides, qui sont des glucides de structure complexe, ne sont pas tous digestibles par l'homme. Il en est ainsi de la cellulose alors que l'amidon, l'amylopectine et l'amylose, qui sont des polymères du glucose, sont digestibles après cuisson. Néanmoins, dans l'alimentation, 2 à 5 % des amidons s'avèrent résistants aux enzymes digestives et sont un substrat de fermentation pour la microflore colique qui les transforme en acides gras à chaîne courte.

b. Digestion et absorption: les glucides ne sont absorbés que sous forme de monosaccharides obtenus par une hydrolyse qui débute dès l'ingestion sous l'effet de l'amylase salivaire qui rompt les liaisons α 1-4 qui unissent les radicaux glucoses de l'amylose (polymère du glucose à chaîne courte).

Les amylases salivaires et pancréatiques produisent du *maltose* et du *maltotriose* (le *maltotriose* est un triholoside constitué de trois D-glucoses liés par des liaisons osidiques de type α 1-4. Il partage la même structure que le maltose qui ne contient que deux unités

glucose) hydrolysés par l'isomaltase (une enzyme de type isomérase (en biochimie, une isomérase est une enzyme qui catalyse les changements au sein d'une molécule, souvent par réarrangement des groupements fonctionnels et conversion de la molécule en l'un de ses isomères) qui modifie la conformation du maltose pour donner un isomère de ce dernier) contenue dans la bordure en brosse intestinale (types d'organisation des microvillosités qui servent à absorber des substances) qui rompt aussi les liaisons α 1-6 de l'amylopectine (polymère du glucose à chaîne longue dont la structure est comparable à celle du glycogène). D'autres enzymes intestinales (disaccharidase, lactase) complètent la digestion des disaccharides formés.

La vitesse d'absorption des glucides sous forme de glucose dépend en principe de la complexité des hydrates de carbone ingérés. La conversion de l'amidon en glucose dépend de l'existence ou non d'une enveloppe protéique protégeant l'amidon, de l'enchevêtrement (ensemble de choses, d'éléments mêlés les uns aux autres d'une façon désordonnée) avec des fibres de structure ou de l'association à d'autres nutriments au sein d'un repas composé.

c. Métabolisme: les conséquences métaboliques de l'ingestion des glucides ne se limitent pas à une équation énergétique mais doivent prendre en compte l'importance de la charge glucosée qui parvient dans la circulation générale et la cinétique de l'hyperglycémie. Lors du premier passage hépatique du glucose intervient la glycogénogenèse (la glycogénogenèse est la voie métabolique qui permet, dans le foie et le muscle, la synthèse de glycogène à partir du glucose. Son but principal est la mise en réserve du glucose issu d'une alimentation riche en glucides) qui contribue à l'homéostasie glucosée en évitant une hyperglycémie post-absorptive excessive et en prévenant une hypoglycémie inter-prandiale (le syndrome d'hypoglycémie post-prandiale est dû à une baisse trop brusque du taux de sucre dans le sang après un repas. L'hypoglycémie post-prandiale est avérée chez certaines personnes dont l'estomac se vide trop rapidement dans l'intestin pendant la digestion) grâce à la glycolyse des réserves glycogéniques. La glycolyse, la phosphorylation oxydative (processus permettant la phosphorylation de l'ADP en ATP grâce à l'énergie libérée par l'oxydation de donneurs d'électrons par la chaîne respiratoire) et le cycle tricarboxylique de Krebs génèrent de l'ATP.

L'augmentation de l'ATP détermine une élévation de l'acide oxalo-acétique et de l'acetyl-CoA, ce qui stimule la synthèse d'acides gras. Ainsi l'excès d'apport glucidique aboutit à un stockage énergétique sous forme de matière grasse, évitant de la sorte l'apparition d'une hyperglycémie dès lors que les réserves glycogéniques sont saturées.

Le niveau des réserves énergétiques intracellulaires agit comme un signal de modulation du métabolisme. Un niveau élevé d'ATP freine le cycle de Krebs et inhibe la

glycolyse alors qu'une teneur élevée en ADP et AMP induit la glycolyse et la régénération d'ATP. Dans les muscles, le métabolisme anaérobie du glucose produit des pyruvates transformés *in situ* en CO₂ et transportés vers le foie. En cas d'effort très important, les pyruvates produisent des lactates dont l'accumulation peut provoquer des crampes musculaires.

d. Approche nutritionnelle des glucides: la définition fonctionnelle des glucides ne se superpose pas à la définition biochimique. Les glucides chimiquement complexes n'entraînent pas nécessairement une moindre élévation de la glycémie que certains glucides de structure plus simple. Ainsi, à quantité égale, le pain blanc (source importante d'amidon sans pouvoir sucrant) n'élève pas moins la glycémie que le sucre de cuisine qui est un disaccharide (glucose + fructose). Le fructose, monosaccharide a fort pouvoir sucrant, élève moins la glycémie que ne le fait l'amidon du pain blanc. En nutrition, le pouvoir hyperglycémiant, le destin métabolique et le pouvoir sucrant comptent davantage que la structure.

A.2. Glucides non digestibles ou fibres Alimentaires: les fibres alimentaires sont des hydrates de carbone non digestibles (**tableau 1.1**). Classées en fibres insolubles et solubles, elles n'apportent pas d'énergie et agissent sur la vidange gastrique, le transit intestinal, l'équilibre de la microflore intestinale qui peut les dégrader en partie. Elles sont associées à des aliments habituellement pauvres en lipides et interagissant avec l'absorption des glucides digestibles en réduisant leur *indice glycémique (IG)* (*l'indice glycémique est un critère de classement des aliments contenant des glucides, basé sur leurs effets sur la glycémie (taux de glucose dans le sang) durant les deux heures suivant leur ingestion. Il permet de comparer le pouvoir glycémiant de chaque aliment, mesuré directement lors de la digestion*). Les modèles alimentaires riches en fibres offrent des avantages confirmés par les méta-analyses (*une méta-analyse est une démarche scientifique systématique combinant les résultats d'une série d'études indépendantes sur un problème donné, selon un protocole reproductible. La méta-analyse permet une analyse plus précise des données par l'augmentation du nombre de cas étudiés et de tirer une conclusion globale*): diminution des maladies cardiovasculaires et métaboliques, meilleur contrôle pondéral et moindre prévalence de certains cancers. Il est recommandé de majorer la consommation de fibres solubles en privilégiant les apports sous forme naturelle : légumes, légumineuses, fruits, grains entiers.

Tableau 1.1 Les fibres alimentaires

Fibres solubles	Fibres insolubles
Pectines Gommes Glucanes (avoine) Alginates (algues) Certaines hémicelluloses	Cellulose Lignines Certaines hémicelluloses

B. Protéines: les protéines alimentaires fournissent les acides aminés (AA) nécessaires à la couverture des besoins protéiques de l'organisme. Les fonctionnalités des protéines comportent la croissance, la fonction et l'entretien des tissus, des organes et du système de défense immunitaire. Elles apportent 4 kcal/g et ont le statut de macronutriment énergétique. Les AA sont les substrats de toute synthèse protéique endogène mais ont également un rôle métabolique complémentaire dans la mesure où les protéines constituent une réserve énergétique de nécessité importante et que certains AA contribuent à l'homéostasie glucosée en participant à la néoglucogenèse hépatique (*la néoglucogenèse est la synthèse du glucose à partir de composés non-glucidiques. C'est une voie métabolique anabolique qui se produit en permanence, afin de maintenir la glycémie constante, notamment lorsqu'il y a une diminution des apports en glucides. C'est pourquoi elle est très active durant le jeûne. On observe une synthèse de glucose dans le foie à partir du glycérol issu de l'hydrolyse des réserves lipidiques des tissus adipeux, ou encore à partir des acides aminés issus de l'hydrolyse des protéines (musculaires essentiellement), voire à la cétonogenèse (la cétonogenèse est une voie métabolique mise en œuvre dans des conditions nutritionnelles et hormonales particulières grâce à laquelle l'énergie des acides gras peut être transporté du foie vers certains tissus (notamment le cerveau). D'autres tissus utilisent les corps cétoniques comme source d'énergie secondaire comme le cœur, le cortex rénal le muscle squelettique).*

a. Digestion et absorption: chimiquement, les protéines sont définies comme des chaînes d'AA dont chacune porte un radical azoté. Les protéines ingérées sont digérées grâce à la pepsine gastrique et la trypsine pancréatique. Transformées en peptides de quelques AA, elles sont ensuite dégradées en AA et dipeptides par des protéases pancréatiques et intestinales. Les AA absorbés parviennent au foie qui est leur principal site de catabolisme.

b. Métabolisme: du flux d'AA dépendent d'une part, de la synthèse des protéines circulantes (*protéines à synthèse hépatique sous forme circulante dans le plasma et sous forme de récepteurs membranaires présents à la surface de nombreux types cellulaires*) et d'autre part la mise à disposition dans la circulation générale des AA destinés à satisfaire les besoins spécifiques des organes. La synthèse protéique hépatique est orientée en fonction de divers signaux métaboliques. En cas d'agression ou d'inflammation aiguë, les substrats aminés sont utilisés de façon préférentielle pour la synthèse des protéines de la phase aiguë au détriment d'autres protéines telles que l'albumine. En dehors des affections aiguës, les concentrations d'albumine et d'autres protéines dites de la « nutrition » traduisent l'état du

pool protéique (la synthèse protéique se fait à partir d'un pool (compartiment) d'acides aminés) et l'état nutritionnel. Le destin des AA est divers. A titre d'exemple, citons leur rôle dans la synthèse des bases nucléiques puriques et pyrimidiques.

Le catabolisme protéique fournit des radicaux aminés (NH_2) qui sont intégrés dans le foie dans le cycle de l'uréogénèse (l'uréogénèse est l'ensemble des réactions enzymatiques catalysées par les enzymes qui fixent l'Azote sous forme d'urée. La voie est exclusivement hépatocytaire (foie) car les hépatocytes sont les seules cellules à exprimer le gène de l'ornithine-carbamyl transférase, enzyme de l'uréogénèse), leur permettant d'être éliminés dans les urines. En cas d'uréogénèse insuffisante (déficit hépatocellulaire), les AA sont transformés en ammoniac (NH_3) qui a des effets neurotoxiques.

c. **Qualité biologique des protéines : les acides aminés essentiels** : les protéines ne sont pas toutes assimilées de façon égale selon la nature des AA qui les composent (**tableau 1.2**). On distingue les AA essentiels qui ne peuvent être synthétisés par voie endogène par l'homme.

Ils sont au nombre de neuf et doivent être présents pour permettre la synthèse d'autres peptides et protéines. C'est aux aliments d'assurer leur apport. La qualité d'une protéine dépend de sa composition en AA. La valeur biologique d'une protéine traduit la qualité de la protéine. La qualité d'une protéine est d'autant meilleure qu'elle comporte davantage d'AA essentiels. Les protéines d'origine animale satisfont ce critère. Au contraire, aucun aliment d'origine végétale n'assure l'apport de tous les AA essentiels ; une association de plusieurs aliments végétaux différents selon le principe de la complémentarité est nécessaire pour satisfaire les besoins.

Tous les AA essentiels doivent être présents pour la synthèse protéique mais ils peuvent être puisés, en cas de besoin, dans le pool protéique tissulaire. En revanche, tous les AA essentiels peuvent ne pas être contenus dans un même aliment protéique si celui-ci est associé à d'autres aliments compensant l'insuffisance d'un AA essentiel qui est dit « limitant » (le premier acide aminé dont l'absence interrompt la synthèse protéique). Les besoins d'un type de protéine sont d'autant plus importants que sa valeur biologique est moins bonne. La diversification alimentaire réduit ce risque.

Tableau 1.2 Les différents acides aminés

AA non essentiels	AA essentiels
Valine ⁽¹⁾ , histidine ⁽¹⁾ , leucine ⁽¹⁾ , isoleucine ⁽¹⁾ , lysine ⁽¹⁾ , méthionine ⁽¹⁾ , phénylalanine ⁽²⁾ , thréonine ⁽¹⁾ , tryptophane	Arginine, alanine, glutamine, aspartate, asparagine, glycolol, proline sérine Cystéine ⁽³⁾ , tyrosine ^(2, 3)
⁽¹⁾ AA dits branchés. ⁽²⁾ AA aromatiques. ⁽³⁾ Ces AA deviennent essentiels si leurs précurseurs (méthionine et phénylalanine) sont présents en quantité limitée.	

d. Balance azotée: l'élimination azotée liée au catabolisme protéique se fait par plusieurs voies : les urines sous forme de créatinine, d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque, les selles (protéines non absorbées ou provenant des sécrétions digestives), les épithéliums et la peau (desquamation et sécrétions muqueuses). Ces pertes doivent être compensées par un apport protéique adéquat sachant que les protéines contiennent environ 16 % d'azote, ce qui correspond à 1g d'azote pour 6,25g de protéine. La balance azotée doit être à l'équilibre et légèrement positive. La balance azotée est la différence entre les apports et la somme des dépenses azotées. Elle varie avec les apports énergétiques globaux. Un apport calorique excessif diminue les besoins azotés alors qu'un apport énergétique insuffisant les augmente, ce qui rend négative davantage encore la balance.

e. Besoins protéiques: ils sont estimés à partir des pertes. Celles-ci varient avec l'âge, le sexe, l'activité physique, l'état physiologique et l'état de santé. Les besoins protéiques font l'objet des ANC qui tiennent compte de ces particularités. Les besoins protéiques minimums sont ceux qui assurent une bonne santé chez l'adulte ou une croissance normale chez l'enfant. Les besoins azotés en cas d'alimentation dépourvue d'apport protéique peuvent être compensés par 55 mg/kg d'azote, soit 0,35 g/kg de protéine, d'où la notion que les besoins protéiques physiologiques minimaux ou indispensables sont de 0,35 g/kg. Ce chiffre est généralement fixe à 0,55 g/kg/j après application d'un coefficient de correction de sécurité ayant pour but de tenir compte des variations individuelles et du fait que les protéines sont moins bien utilisées lorsque les apports sont très proches des besoins minimaux.

Afin de mieux tenir compte des besoins globaux d'une population générale, les apports recommandés sont fixes à 0,8 g/kg/j chez l'adulte.

f. Effets de la cuisson sur les protéines : certaines protéines peuvent être dénaturées et perdre en valeur biologique lorsqu'elles sont soumises à une température élevée. La chaleur diminue la disponibilité de la lysine. Elle inactive l'inhibiteur de la trypsine contenue dans le soja. Le phénomène de brunissement (*le brunissement enzymatique est un processus chimique, impliquant des polyphénoloxydases telles que tyrosinase et catéchol-oxydase et d'autres enzymes qui créent des mélanines et des benzoquinones, donnant une couleur brune. Le brunissement enzymatique nécessite une exposition à l'oxygène, ce qui se produit par exemple quand une pomme est coupée ou même simplement blessée.*) de la viande est la conséquence d'une réaction de Maillard (*la réaction de Maillard — brunissement non enzymatique — est une réaction chimique que l'on peut observer lors de la cuisson d'un aliment ; elle correspond à l'action des sucres sur les protéines, et contribue notamment au goût des viandes rôties*) avec glycation des protéines (*la réaction de Maillard, connue dans le*

monde médical sous le nom de «glycation non enzymatique des protéines», a d'abord été étudiée dans le cadre du diabète sucré grâce à l'hémoglobine glyquée. La glycation est une réaction naturelle qui a lieu notamment lors d'une hyperglycémie) et production de produits terminaux de la glycation (AGE —advanced glycation endproducts) qui sont associés au risque cardiovasculaire.

g. Protéines et santé: un apport protéique de bonne valeur biologique couvrant les besoins est considéré comme un prérequis pour un état de santé optimal. La carence protéique chronique a des conséquences redoutables : troubles de la croissance chez l'enfant, fragilité cutanée avec retard de cicatrisation, altération des défenses immunitaires avec un risque accru d'infection, catabolisme protéiques avec sarcopénie (*la sarcopénie (dystrophie-un trouble de la nutrition d'un organe et donc de sa croissance-musculaire liée) à l'âge résulte d'une perte progressive et élevée de la masse, de la force et de la fonction musculaires au cours du vieillissement*) et ostéopénie (*une baisse de la densité de l'os. Il s'agit d'un état physiologique, précurseur de l'ostéoporose*). Elle est particulièrement redoutée aux âges extrêmes de la vie.

Pour autant, un excès d'apport protéiques n'est pas souhaitable, d'abord parce qu'il se fait le plus souvent au détriment des apports glucidiques qui constituent la source énergétique préférentielle, ensuite parce que les aliments protéiques sont le plus souvent associés à des graisses constitutionnelles où dominent les acides gras saturés. Par ailleurs, il existe des arguments épidémiologiques et expérimentaux montrant qu'un régime hyperprotéidique augmente la pression de perfusion glomérulaire (*la filtration glomérulaire est la filtration du sang par le glomérule du rein, menant à la formation d'urine primitive*), ce qui prédispose à l'insuffisance rénale chronique et a un effet lithogène urinaire (*c'est la formation de calculs (du latin calculus, caillou), c'est-à-dire des accrétions cristallines qui se forment dans les voies urinaires (cavités rénales (calices et bassinet), uretères et vessie) à partir de minéraux dissous dans l'urine*).

C. Lipides: les lipides alimentaires sont multiples. Ce sont des sources importantes d'énergie (9kcal pour 1g) qui améliorent la palatabilité des aliments (onctuosité), et des mets (*plat préparé*). Ils ont un rôle structural (constituants des membranes cellulaires et de la myéline (*une substance qui sert à isoler et à protéger les fibres nerveuses*)) et métabolique (précurseurs des hormones stéroïdes et des eicosanoïdes (*une vaste famille de dérivés d'oxydation d'acides gras polyinsaturés*)). La nomenclature d'usage distingue les graisses saturées, mono-insaturées et polyinsaturées. La notion de saturation fait référence à la présence ou non de doubles liaisons entre les atomes de carbone qui constituent le squelette des acides gras (AG). Ceux-ci sont caractérisés par la longueur de la chaîne (nombre d'atomes de carbone), par le nombre de doubles liaisons et par la configuration isométrique *Cis* «*du même côté*» (habituelle) ou *Trans* «*de l'autre côté* ». La nature des AG ingérés a des répercussions cliniques.

a. Digestion et absorption des lipides : les lipides hydrophobes en phase aqueuse subissent une digestion mécanique et partiellement chimique (lipase gastrique) dans l'estomac ou ils sont émulsifiés (*une émulsion est un mélange hétérogène de deux substances liquides non miscibles, l'une étant dispersée sous forme de petites gouttelettes dans l'autre*) en fines gouttelettes lipidiques. Cette miscellisation est maintenue grâce aux sels biliaires (*les acides biliaires sont formés par des dérivés du cholestérol et par des stéroïdes acides sécrétés par le foie et se trouvent principalement dans la bile (est un liquide biologique jaune-verdâtre, basique (pH compris entre 7,6 et 8,6) qui favorise la digestion, plus spécifiquement celle des lipides)*). Ils permettent la fragmentation des gros globules de lipides alimentaires, conduisant ainsi à la formation de microgouttelettes. Cette émulsion facilite alors la digestion des lipides par la lipase pancréatique). La lipase pancréatique clive les triglycérides en AG et en monoglycérides qui sont absorbés dans la partie proximale (*le segment le plus proche de la bouche*) du jéjunum (*le jéjunum est la partie centrale de l'intestin grêle, en aval du duodénum et en amont de l'iléon*).

Les AG à chaîne courte pénètrent dans le sang portal (*un système porte désigne, en anatomie, une partie d'un système circulatoire sanguin qui relie deux réseaux capillaires de même type - soit veineux / veineux, soit artériel / artériel. Le système porte est donc branché à ses deux extrémités sur un système ramifié connecté à des capillaires sanguins, alors que le schéma normal de la circulation sanguine passe des artères vers un réseau capillaire, puis vers des systèmes veineux qui se terminent tous dans le cœur. Le système porte, contribue, dans certains cas à une plus grande absorption de nutriments due à une surface de contact plus*

grande causée par un plus grand nombre de capillaires), ou ils se lient à l'albumine pour parvenir au foie. Les AG à chaîne longue sont reestérifiés (*l'estérification est une réaction au cours de laquelle un acide carboxylique (R-COOH, R représentant une chaîne carbonée) et un alcool (R-OH) sont transformés en un ester (R-COO-R) et en eau (H₂O)*) en triglycérides dans l'entérocyte (*les entérocytes sont un type de cellules de l'épithélium intestinal, au sein de la muqueuse intestinale. ils sécrètent la $\beta(1\rightarrow4)$ D-galactosidase, ou lactase*) puis transportés dans la lymphe (*la lymphe est un liquide biologique blanchâtre qui elle contient des globules blancs, notamment des lymphocytes; dépourvue de globules rouges, elle baigne les organes ; elle est plus pauvre en nutriments que le sang, plus riche en déchets*) sous forme de chylomicrons (*les chylomicrons sont des lipoprotéines qui se forment en période de digestion. Elles sont responsables du transport des lipides exogènes de l'intestin grêle vers les tissus adipeux périphériques où ils sont retraités*).

L'absorption des AG et des mono-glycérides est quasi complète. L'absorption est d'autant plus retardée que la chaîne des AG est plus longue. Les triglycérides à chaîne moyenne sont absorbés rapidement du fait d'une émulsification plus efficace et d'une plus grande solubilité. Ils sont en grande partie absorbés directement dans le sang portal sans subir de reesterification et sont intéressants dans les situations de malabsorption des graisses.

Les AG à chaîne longue de type Omega 3 (n-3) sont absorbés plus rapidement que les autres AG à chaîne longue. Le cholestérol est absorbé par un processus actif à un taux de 30 à 70 % pour partie sous forme de cholestérol alimentaire et pour partie sous forme de cholestérol contenu dans la bile. Le reste, séquestré par les acides biliaires, est éliminé dans les selles au même titre que les phytostérols (*les phytostérols sont un groupe de stérols naturellement présents dans les plantes. Les phytostérols sont présents en petite quantité dans les huiles végétales*) et les stanols (*les stanols végétaux font partie d'un grand groupe de substances, appelées phytostérols. Ce sont des blocs de construction essentiels de toutes les cellules végétales, jouant le même rôle chez les plantes que le cholestérol chez les animaux et les êtres humains*). L'élimination fécale des graisses ne dépasse pas 4 à 6 g/j quelle que soit la quantité de lipides ingérés. La capacité d'absorption diminue cependant avec l'âge. Elle est réduite par une gastrectomie (*la gastrectomie est l'ablation chirurgicale totale ou partielle de l'estomac*) partielle et par une insuffisance pancréatique.

b. Métabolisme : les AG des triglycérides sont une source d'énergie utilisable par la plupart des organes à l'exception du cerveau, soit directement, soit après stockage dans le tissu adipeux. Le cholestérol et les phospholipides sont surtout des constituants des membranes. Les AG proviennent soit des chylomicrons (à la phase postprandiale *(le moment qui se produit*

après le repas est la période post prandiale, qui se caractérise par une stimulation de la sécrétion d'insuline qui va permettre d'orienter l'excès de substrats énergétiques vers le stockage) et d'autres lipoparticules, soit des réserves adipeuses (jeune) sous l'action d'une lipoprotéine lipase stimulée notamment par l'insuline.

Les chylomicrons qui assurent l'essentiel du transport des triglycérides reestérifiés dans l'entérocyte contiennent une apoprotéine (B48) (les apolipoprotéines sont des protéines constitutives des lipoprotéines, structures chargées de transporter des molécules hydrophobes (triglycérides, cholestérol) dans le sang, milieu aqueux. Elles assurent la cohésion et la solubilisation des lipoprotéines dans le sang. Elles ont aussi un rôle dans la régulation métabolique (activateur/inhibiteur d'enzymes plasmatiques ou ligands des récepteurs membranaires — L'apolipoprotéine B-48 (Apo B-48) se trouve à la surface des chylomicrons), et interagissent avec les lipoparticules HDL cholestérol produites dans le foie dont l'apoprotéine C [(à la surface des chylomicrons, des HDL et des VLDL (Very Low Density Lipoprotein ou en français lipoprotéine de très basse densité)] active la lipoprotéine lipase et dont l'apoprotéine E (à la surface des chylomicrons, des HDL, des IDL et des VLD, et qui se lie spécifiquement à des récepteurs spécifiques sur les hépatocytes et les cellules périphériques. Elle est essentielle au catabolisme (la destruction métabolique normale) des constituants des lipoprotéines riches en triglycérides) facilite la capture des remnants (lipoprotéine dérivant du métabolisme des chylomicrons) de chylomicrons par le foie.

Les AG libérés dits «libres» pénètrent dans les mitochondries (par l'intermédiaire de la carnitine transférase (cette enzyme permet de transférer le groupe acyle entre une coenzyme A du cytosol (la phase liquide dans laquelle baignent les organites cytoplasmiques, présents à l'intérieur des cellules) et une autre coenzyme A située dans la matrice mitochondriale sous forme d'acylcarnitine (l'acylcarnitine est un ester d'acide gras — formant le résidu acyle — et de carnitine, qui se compose d'un ammonium quaternaire, une fonction alcool et un carboxyle. Sa fonction première est de permettre aux acides gras de franchir les membranes mitochondriales pour être dégradés par β -oxydation) à travers une porine (des protéines membranaires formant des canaux permettant la diffusion de petites molécules hydrophiles à travers la membrane des cellules) de la membrane externe puis à travers une translocase (une protéine qui aide à déplacer une autre molécule, généralement à travers une membrane cellulaire) de la membrane interne de la mitochondrie) pour les AG à chaîne longue) pour produire de l'ATP dans le muscle et le tissu adipeux.

Les AG non utilisés à des fins énergétiques sont reestérifiés en triglycérides sous l'effet d'une glycerol-3-phosphatase, la synthèse nécessitant du glucose et de l'insuline. Une alimentation riche en glucides a tendance à diminuer le taux des AGL et à favoriser la synthèse des triglycérides de réserve en cas d'apport énergétique excessif. La mise en réserve des AGL non utilisés se fait sous la forme de triglycérides riches en acide palmitique (saturé) et oléique (mono-insaturé).

Elle permet de constituer des réserves à hauteur de 120 000 kcal utilisables après la lipolyse favorisée par l'insulinopénie (*quantité d'insuline produite par le pancréas inférieure à la normale*) lors des états de jeûne ou l'insulinopénie relative des états d'insulinorésistance (*c'est l'insensibilisation des récepteurs cellulaires membranaires à l'insuline — c'est une réduction de l'action de l'insuline sur ses tissus cibles*). Les AG circulants captés par le foie sont incorporés dans les lipoparticules VLDL qui constituent l'essentiel des hypertriglycéridémies observées en pathologie, notamment dans les situations d'insulinorésistance. Les AG provenant des chylomicrons et des VLDL sont utilisables à des fins énergétiques par les muscles (notamment en cas d'effort prolongé), le cœur, le rein et les plaquettes. La nature des lipides alimentaires influence la composition des graisses de réserve du tissu adipeux et la composition des VLDL.

c. Acides gras: (tableau 1.3)

☞ **AG saturés:** les AG saturés (AGS) ont la réputation d'être associés au risque cardiovasculaire accru, alors que les AG monoinsaturés (AGMIS) et polyinsaturés (AGPIS) sont neutres ou bénéfiques. En réalité, les AGS ne sont pas tous délétères et il en est certains qui sont probablement neutres voire bénéfiques (certains AGS à chaîne courte des produits laitiers et l'acide stéarique C18). En pratique, ils sont reconnaissables parce qu'ils sont solides à température ambiante.

☞ **Acide oléique:** l'acide oléique (C18 : 1/18:1 pour indiquer qu'il possède 18 atomes de carbone et une liaison éthylénique) n-9 (pour indiquer la position de la double liaison, on préfère indiquer le nombre de carbones entre le dernier carbone (n° 18) et le carbone où commence la double liaison (n° 9), d'où 18 - 9, qu'on écrit n - 9, en désignant par n le nombre de carbones de la chaîne) est le représentant emblématique des AGMIS et est associé au régime méditerranéen.

☞ **AGPIS:** les AGPIS sont très différents les uns des autres. Certains sont indispensables comme l'acide linoléique (C18 : 2 n-6) ou l'acide alpha-linoléique (C18 : 3 n-3). Ces AG qui ne peuvent être synthétisés par voie endogène ont des effets spécifiques. Les AG essentiels sont

des substrats de l'activité de la lipoxigénase (un type de protéine enzymatique qui catalyse l'oxydation des acides gras) et de la cyclo-oxygénase (c'est une enzyme qui permet la formation de prostaglandines (sont des métabolites de l'acide arachidonique, obtenues à partir de phospholipides membranaires par action de phospholipases. Molécules liposolubles destinées à la sécrétion dans le milieu extracellulaire, ce sont des cytokines qui jouent des rôles importants dans les organismes vivants. Ce sont des médiateurs chimiques qui possèdent divers effets physiologiques, contribuant notamment au développement de plusieurs manifestations inflammatoires) à partir de l'acide arachidonique (un acide gras 20:4(ω-6), polyinsaturé, présent dans les phospholipides constituant les membranes cellulaires de l'organisme. Il est abondant dans le cerveau, les muscles et le foie.). Son action est inhibée par les anti-inflammatoires non stéroïdiens comme l'aspirine) qui produisent des eicosanoïdes (du grec ancien signifiant «vingt» ou icosanoïdes constituent une vaste famille de dérivés d'oxydation d'acides gras polyinsaturés à 20 atomes de carbone, ils dérivent d'acides gras polyinsaturés (AGPI) à 20 atomes de carbone. L'acide arachidonique est le principal précurseur) aux fonctions parfois opposées selon qu'ils proviennent des AGPI n-3 ou n-6.

**AG essentiels n-3 (oméga-3): les AG essentiels n-3 sont préférentiellement incorporés dans le cerveau et dans la rétine. Il existe une compétition enzymatique entre les deux substrats. Il est souhaitable que le rapport des AG n-6/AG n-3 soit de l'ordre de 1 à 5 et non supérieur à 10 comme il l'est dans l'alimentation occidentale. Les dérivés n-3 ont globalement des effets favorables pour la santé avec des propriétés fibrinolytiques (la fibrinolyse est un processus physiologique complexe de dissolution des caillots sanguins (constitués de fibrine) par la plasmine. Ce processus clôt la coagulation sanguine afin de re-perméabiliser les vaisseaux sanguins réparés et sert à empêcher la formation de thromboses) et anti-inflammatoires.

L'acide alpha-linolénique contenu en abondance dans l'huile de colza, les noix et le soja et les acides eicosapentaénoïque (C20 : 5 n-3) (EPA) et docosahexaénoïque (C22 : 6 n-3) (DHA) apportés par les produits marins (saumon, maquereaux, sardines) sont des AG n-3 qui sont à l'origine de leucotriènes (sont des lipides, appartenant à la famille des eicosanoïdes. Ils sont le produit de l'action de lipoxigénases sur l'acide arachidonique, ou autre. Ils augmentent de la perméabilité vasculaire, de contraction des fibres musculaires lisses (bronches). Inhibiteurs de la 5-lipoxigénase : traitement de l'asthme) et de thromboxanes (sont des cytokines à effet vasoconstricteur. Elles engendrent une augmentation de la pression artérielle. Elles activent aussi l'agrégation des plaquettes et aident à la coagulation sanguine et à la formation du thrombus ou caillot sanguin, d'où elles tirent leur appellation) aux effets

favorables. Ils semblent même de réduire le risque de mort subite et auraient un effet favorable sur les processus de cancérogenèse, d'athérogènes et de vieillissement. Une supplémentation en AG n-3 permet de limiter la compétition avec les AG n-6 qui sont métabolisés par les mêmes enzymes qui produisent alors des composés moins favorables pour la santé.

**AGPIS non essentiels n-6: les AGPIS non essentiels n-6 sont des composants importants des membranes. En apport excessif, les AGPIS n-6 sont fragilisés par l'oxydation, ce qui rend athérogènes (le terme athérogène est intimement lié avec la production d'athérome, des plaques de lipides, de glucides, de sang et de dépôts calcaires qui se fixent dans les artères. Ces plaques sont en général formées à cause d'une hypercholestérolémie et peuvent entraîner de graves complications. On parle de régime athérogène pour désigner un régime alimentaire riche en graisses. Le régime occidental est un régime athérogène) les lipoparticules qui en sont riches.

Classification de l'Anses (Agence nationale française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail): la classification biochimique des AGS, AGMIS et AGPIS est remise en cause au profit d'une distinction binaire entre AG indispensables et AG non indispensables (**tableau 1.4**).

AG indispensables :

✚ L'acide linoléique, précurseur de la famille des AG n-6 est limité à 4 % afin de respecter un apport linoléique/alpha-linolénique inférieur à 5 souhaitable pour la prévention des maladies cardiovasculaires et de l'inflammation.

✚ L'acide alpha-linolénique, précurseur de la famille des AG n-3 dont l'apport est fixé à 1 %.

✚ Le DHA (l'acide docosahexaénoïque), du fait de la faible conversion de l'acide alpha-linolénique dont l'apport devrait être de 250 mg/j.

AG non indispensables:

✚ L'acide oléique, représentant emblématique des AGMIS dont la part a été augmentée de 15 à 20%.

✚ L'EPA (l'acide eicosapentaénoïque), dont les apports ont été fixés à 250 mg/j.

✚ Les autres AG parmi lesquels figurent, notamment, l'acide arachidonique précurseur des composés eicosanoïdes, certains AG conjugués (acide ruménique (c'est un acide gras polyinsaturé possédant un système conjugué de deux doubles liaisons. Il s'agit de l'acide gras *cis,trans-Δ9,11 18:2*, présent dans la graisse des ruminants et dans les produits laitiers)) ou les acides gras trans. Il est admis que la ration lipidique alimentaire devrait représenter 35 à 40

% de la ration énergétique avec une répartition théorique d'environ 12 % pour les AGS, 15 à 20 % pour les AGMIS et 6 à 8 % pour les AGPIS. L'apport lipidique global minimum est fixé à 20 ou 25 g/j mais l'apport en AGPIS n-3 devrait être d'au moins 2 g/j. Dans les situations où l'apport glucidique doit être réduit (hyper-tri-glycémie), la part des lipides est proportionnellement augmentée au bénéfice des AGMIS (20 %).

Lipides particuliers : acides gras trans et conjugués de l'acide linoléique (CLA) : le métabolisme et l'impact sur la santé des AG dépendent aussi de leur configuration dans l'espace. La majorité des AG sont de configuration isométrique « cis » ce qui génère une courbure dans la structure spatiale de la molécule. Certains AG sont de configuration « trans ». Il s'agit le plus souvent d'AGMIS. Les AG trans naturels sont présents dans les produits issus des ruminants (lait et dérivés, viande).

Ils ne présentent pas d'effets délétères en termes de risque cardiovasculaire. En revanche, les AG trans issus d'une hydrogénation catalytique partielle (*l'hydrogénation est une réaction chimique qui consiste en l'addition d'une molécule de dihydrogène (H₂) à un autre composé. Cette réaction est habituellement employée pour réduire ou saturer des composés organiques. Elle nécessite en général une catalyse, les réactions sans catalyse nécessitant de très hautes températures — ce type de procédé permet de faire passer des graisses de l'état liquide à l'état solide, ce qui facilite leur utilisation et leur stockage et les rend moins sensibles à l'oxydation*) utilisée dans l'industrie agroalimentaire (viennoiseries, barres chocolatées...) sont délétères et une action est entreprise pour limiter leur présence dans ces produits manufacturés. La différence entre les AG trans naturels et artificiels tient à leur composition en isomères ce qui permet aux premiers d'être métabolisés (Les études épidémiologiques ont montré qu'une consommation excessive d'acides gras trans (**des apports supérieurs à 2% de l'apport énergétique total*) est associée à une augmentation du risque cardiovasculaire. Ces effets néfastes passent par une augmentation du "mauvais" cholestérol (LDL) et une baisse du "bon" cholestérol (HDL)).

L'acide vaccénique (*c'est un acide gras insaturé 18:1 n-7. Il est présent naturellement dans la graisse des ruminants et dans les produits laitiers tels que le lait. C'est le principal acide gras trans constituant le lait humain*) peut être converti en acide ruménique, conjugué de l'acide linoléique (CLA) qui a des propriétés anti-carcinogènes et protectrices vis-à-vis du risque cardiovasculaire. En revanche, l'ingestion d'AG trans par hydrogénation industrielle est associée à une augmentation du LDL-cholestérol et une diminution du HDL-cholestérol avec une augmentation du risque cardiovasculaire d'environ 25 % pour une augmentation des AG trans de 2 %. Les AG trans sont également associées à certains cancers (sein, prostate).

L'Afssa (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) a proposé de limiter les AG trans à moins de 2 % de l'apport énergétique. Il reste à utiliser des alternatives à l'hydrogénation industrielle.

Cholestérol : le cholestérol n'est contenu que dans les aliments d'origine animale. Les stérols et stanols du règne végétal interfèrent avec l'absorption du cholestérol et peuvent réduire son taux. Néanmoins, l'essentiel du cholestérol circulant provient de la synthèse endogène par la voie de l'HMG-CoA réductase (l'hydroxyméthylglutaryl-CoA réductase est une oxydoréductase intervenant dans la voie du mévalonate, dont elle régule l'intensité. La voie du mévalonate est une voie métabolique importante chez les eucaryotes supérieurs et certaines bactéries car elle produit les précurseurs du cholestérol et d'autres terpénoïdes) de telle sorte que l'homéostasie intracellulaire soit maintenue. L'enrichissement en phytostérol est associé à une diminution de la cholestérolémie.

Tableau 1.3 Apport lipidique : les différents acides gras

AG	Saturés	Mono-insaturés	Poly-insaturés
Chaînes courtes	C4-C8		
Chaînes moyennes	C10-C12		
Chaînes longues : - acide palmitique - acide stéarique	C14-C18 C16 C18		
Acide oléique		C18 : 1	
Acide linoléique			C18 : 2 n-6*
Acide alpha-linolénique			C18 : 3 n-3*
Acide arachidonique			C20 : 4 n-6
Acide eicosapentaénoïque (EPA)			C20 : 5 n-3
Acide docosahexaénoïque (DHA)			C22 : 6 n-3
* AG essentiels.			

Tableau 1.4 Apport lipidique : classification et recommandations pour un adulte consommant 2000 kcal en % de l'apport énergétique total (Anses 2010)

Acides gras indispensables				Acides gras non indispensables			
Linoléique	α-linolénique	DHA	EPA	Laurique (C12) Myristique (C14) Palmitique (C16)	AGS	Oléique	Autres
C12 : 2 n-6	C18 : 3 n-3	C22 : 6 n-3	C20 : 5 n-3			C18 : 1 n-9	
4 %	1 %			≤ 8 %	≤ 12 %	15-20 %	< 2 %
		250 mg	250 mg				

D. Micronutriments : diverses substances apportées par l'alimentation sont nécessaires en faible quantité (mg ou µg) au bon fonctionnement des processus qui assurent un état de santé optimal. Il s'agit des vitamines, des minéraux, d'oligoéléments et d'autres composés micro-constituants. Leur apport énergétique est nul ou négligeable et leur rôle est principalement qualitatif. Leur carence totale ou partielle a des répercussions de gravité inégale, en principe réversibles.

a. Composés organiques:

☞ Vitamines: les vitamines regroupent des composés « essentiels » très hétérogènes par leur nature chimique et leur fonction. Elles sont nécessaires à la mise en œuvre de nombreux processus enzymatiques et de synthèses. Leur synthèse endogène est ou absente ou insuffisante (vitamine D), ou nécessite un précurseur (caroténoïdes pour la vitamine A). Leur carence peut être à l'origine d'une maladie spécifique. On distingue les vitamines selon leurs fonctions et selon leur hydro-solubilité ou leur lipo-solubilité. Les vitamines liposolubles (A, D, E, K) sont absorbées avec les autres graisses et sont stockées dans l'organisme. Leur accumulation dans l'organisme à la suite d'un surdosage peut être toxique (vit. A et D). Les vitamines hydrosolubles (vitamines du complexe B et vitamine C) sont absorbées plus facilement et éliminées dans les urines lorsque leur concentration plasmatique s'élève. Leur stockage est réduit (sauf la vit. B12) et elles sont réputées non toxiques (sauf peut-être la vit. B6).

☞ Substances vitamine-like: certaines substances ont un rôle qualitatif intéressant quoique souvent mal défini. Leur synthèse endogène est possible mais une supplémentation améliore certains processus biologiques. La **choline** est un acide amine considéré comme un constituant clé de la sphingomyéline (*la sphingomyéline est un lipide très important dans la constitution des membranes cellulaires ainsi que de la gaine de myéline des cellules nerveuses*) et de la lécithine (*la phosphatidylcholine*), lipides qui concourent à la structure des membranes cellulaires et des lipoparticules. Sa synthèse endogène à partir de la méthionine et de la serine en présence de vitamine B12 et de folates ne satisfait pas totalement les besoins. La **taurine** impliquée notamment dans la neuromodulation (*c'est le processus par lequel plusieurs classes de neurotransmetteurs du système nerveux régulent plusieurs populations de neurones*) est aussi nécessaire pour la production de sels biliaires. Elle joue un rôle dans la croissance et il pourrait être intéressant de compléter sa synthèse endogène à partir de la cystéine et de la méthionine. Elle est fréquemment contenue dans les boissons dites énergisantes. La **carnithine** est une substance azotée synthétisée à partir de la lysine et de la méthionine qui intervient dans les réactions de transesterification (*il s'agit de la réaction d'un*

ester sur un alcool pour donner un autre ester: C'est une réaction réversible, catalysée par un acide ou une base) et dans le transport des AG à chaîne longue vers la mitochondrie.

Sa synthèse endogène est globalement insuffisante chez l'enfant en bas âge. Réputée pour accroître la performance musculaire, elle est apportée en abondance par les produits carnés et laitiers. L'**acide lipoïque**, liposoluble, est une coenzyme des réactions d'acétylation comme certaines vitamines B. La **coenzyme Q** (ubiquinone), apparentée par sa structure à la vitamine E, intervient comme antioxydant et dans le transfert des électrons dans la mitochondrie. Elle a des effets potentiels sur le travail musculaire et prévient des myalgies (la myalgie est le terme couramment utilisé pour caractériser des douleurs musculaires — les causes de la myalgie sont nombreuses peuvent être le résultat d'une sollicitation excessive du système musculaire (effort physique intense causant, courbatures à la suite d'une activité sportive, etc.) induites par les statines (les statines forment une classe d'hypolipémiants (un médicament dont l'action thérapeutique vise à diminuer les lipides (triglycérides et/ou cholestérol) circulant dans le sang), utilisés comme médicaments pour baisser la cholestérolémie, notamment en maladie cardiovasculaire à cause de leur hypercholestérolémie).

☞ **Micro-constituants**: les bio-flavonoïdes ou polyphénols regroupent un grand nombre de molécules censées avoir des effets biologiques favorables pour la santé en agissant sur la fonction endothéliale (La fonction la plus évidente de l'endothélium est de contenir le sang à l'intérieur des vaisseaux sanguins, tout en autorisant l'échange des substances nutritives avec le milieu intérieur. Dans cette fonction, les cellules endothéliales et la lame basale coopèrent en agissant comme un filtre moléculaire. Une autre fonction est le contrôle de la coagulation sanguine. Les cellules épithéliales inhibent cette coagulation alors que la lame basale favorise l'agrégation des thrombocytes. Une rupture de l'endothélium est donc aussitôt colmatée et limite les hémorragies) et en ayant des propriétés antioxydantes, anti-thrombogènes et anti-tumorales. Les fruits et légumes en général, le vin rouge, le thé vert, le chocolat en sont particulièrement riches. Leur rôle exact et les apports conseillés sont encore mal connus chez l'homme mais on ne leur connaît pas de toxicité.

Parmi des centaines de molécules identifiées, certaines comme le resvératrol (c'est un polyphénol présent dans certains fruits comme les raisins, les mûres ou les cacahuètes. On le retrouve en quantité notable dans le raisin, et donc dans le jus de raisin et le vin qui en est issu) ont acquis une notoriété grâce à des propriétés spécifiques remarquables démontrées expérimentalement.

b. Oligoéléments et minéraux : ces éléments dont les besoins sont extrêmement variables, de l'état de trace (éléments-trace) à plusieurs centaines de milligrammes (macro-minéraux), ont en commun d'être non organiques. Leur teneur dans les tissus ou ils sont stockés est à l'avenant des besoins. Un excès d'apport ou de stockage entraîne une toxicité.

☞ Oligoéléments: les oligoéléments interviennent dans de nombreux processus biologiques et enzymatiques. Les plus remarquables sont : le fer (besoins journaliers de 20 mg pour un stock de 4 g) dont on connaît le rôle essentiel dans le transport de l'oxygène par l'hémoglobine, le cuivre, le zinc, l'iode, le fluor, le cobalt, le sélénium, le manganèse, le molybdène, le chrome, le nickel, le bore, l'arsenic, le vanadium et bien d'autres... Chacun a une ou plusieurs fonction(s) plus ou moins définie(s) dont la carence aboutit le plus souvent à une maladie caractérisée, sauf peut-être pour l'arsenic et le vanadium pour lesquels il n'a pas été décrit de déficit chez l'homme.

☞ Macro-minéraux:

— *Calcium :* le calcium a un rôle biologique considérable parce qu'il est un composant essentiel du squelette (1 kg de calcium dans l'organisme) et qu'il est nécessaire à la contraction musculaire et à bien d'autres fonctions dont la coagulation. Les produits laitiers sont les meilleurs pourvoyeurs de calcium.

— *Phosphore :* intimement lié au calcium osseux sous la forme d'hydroxyapatites, le phosphore intervient également comme substrat de la synthèse des acides nucléiques, des phospholipides et dans la formation de l'ATP. Le déficit en phosphore est rare (en dehors de l'acidocétose diabétique *(est une complication potentiellement mortelle qui se produit généralement chez les personnes atteintes du diabète de type 1 (ou insulinodépendant). Elle consiste en une accumulation de substances toxiques, appelées corps cétoniques, qui rendent le sang trop acide.)* et de l'alcoolisme chronique). Les aliments riches en protéines (produits carnés et laitiers) en sont une excellente source.

— *Magnésium:* élément de l'intégrité des mitochondries et cofacteur de plus de 300 enzymes, le magnésium est apporté par les légumes verts, les légumineuses, les céréales et les produits marins. Les réserves sont de l'ordre de 20 à 30 g pour des besoins journaliers supérieurs à 400 mg.

— *Potassium et sodium :* le potassium est le cation principal de l'espace intracellulaire. Outre ses fonctions sur la régulation osmotique, il joue un rôle essentiel dans la régulation acido-basique et la dépolarisation membranaire *(c'est une diminution de la différence de potentiel régnant entre l'extérieur d'une cellule et le milieu intracellulaire, de part et d'autre de la membrane plasmique, due le plus souvent à une entrée d'ions positifs*

(Na^+ , Ca^{++} , etc.) à l'intérieur de la cellule ou parfois due à la sortie d'ions chlorures, et intervenant dans les mécanismes de transmission de l'influx nerveux et de contraction musculaire), notamment au niveau du cardiomyocyte (cellules musculaires du cœur). Le potassium est contenu en abondance dans les légumes et les fruits (surtout les agrumes). Le sodium est le principal cation intracellulaire. Il joue un rôle majeur dans la régulation et la distribution hydrique et maintient le potentiel transmembranaire. Sa carence est responsable d'une déshydratation et d'une insuffisance rénale fonctionnelle. Son excès peut favoriser une hypertension artérielle chez les sujets dits « sensibles au sel ».

E. L'eau : c'est le constituant majeur des aliments, elle n'est pas uniquement apportée par les boissons. L'eau contenue dans les aliments constitue un apport quotidien non négligeable. En moyenne notre organisme élimine 2,5 Litres d'eau par jour. Ces pertes en eau sont en partie compensées par de l'eau produites par nos cellules, mais une absorption d'eau par notre alimentation est nécessaire.

L'ajustement quotidien des gains en eau sur les pertes en eau constitue la *balance hydrique* de notre organisme. Une perte de 15 % d'eau est mortelle pour notre organisme. Les besoins en eau varient en fonction de : l'âge, de l'activité physique, de la température. La teneur en eau d'un être humain diminue avec l'âge. L'eau représente également une source de minéraux (calcium, fluor, ...) indispensable à la vie.

❖ *Une alimentation variée :* les besoins du corps sont multiples, l'alimentation doit couvrir un certain nombre de besoins en énergie, protéines, lipides (graisses), glucides (sucres et féculents), sels minéraux, et vitamines. Il est nécessaire de puiser dans tous les groupes d'aliments pour obtenir une alimentation équilibrée :

1. un produit laitier par repas pour l'apport de calcium et un complément de protéines,
2. une part de viande (ou équivalent) à l'un des 2 repas principaux,
3. un légume ou un fruit à chaque repas (matin, midi, et soir) pour l'apport de fibres, sels minéraux et vitamines,
4. des légumes cuits, en alternance midi et soir, avec des féculents,
5. du pain à chaque repas (ou équivalents),
6. des matières grasses en quantités raisonnables, en les variant le plus possible,
7. de l'eau pendant et en dehors des repas

I.2. Les équivalences: il est important de ne pas vous lasser et de varier votre alimentation et de ne pas vous imposer d'interdits. Les tables d'équivalences vous aideront dans cette démarche.

Quelques exemples :

- ❖ **Produits laitiers :** 1 verre de lait $\frac{1}{2}$ écrémé (125ml) = 1 yaourt nature = 2 petits suisses à 20%
- ❖ **Matières grasses :** 15 g de beurre = 15 g de margarine = 60 g de crème fraîche à 15% = 10 g d'huile (1 cuillère à soupe)
- ❖ **Fruits :** 1 pomme = 1 poire = 1 orange = 1 pêche = 1 compote sans sucre ajouté (100g) = $\frac{1}{2}$ banane = $\frac{1}{4}$ d'ananas frais = $\frac{1}{2}$ pamplemousse = 1 verre de jus de fruit sans sucre (150ml) = 2 kiwis = 2 clémentines = 3 abricots = 2 à 4 prunes = 10-15 cerises = 10-15 grains de raisin
- ❖ **Pain :** 30 g de pain blanc (1 tranche) = 2 biscottes = 20 g de céréales (de type corn flakes)
- ❖ **Viande, poisson :** 100 g de viande = 100 g de poisson = 100 g de volaille = 2 œufs = 18 huîtres = 25-30 moules
- ❖ **Féculents :** 100 g de pommes de terre cuites = 100 g de riz, pâtes et semoule cuites = 100 g de légumes secs cuits (lentilles, haricots...) = 40 g de pain = 25 g de farine = 100 g de petits pois.

I.3. La physiologie de la digestion : comment passer d'un aliment à un nutriment?

Les organes n'utilisent pas directement les aliments que nous consommons. Ceux-ci doivent être transformés en nutriments avant d'être absorbés puis distribués par le sang à tous les organes. Et pour que les nutriments dans les aliments soient absorbés, ils doivent d'abord être divisés en particules suffisamment petites pour être transportées à travers les protéines transporteuses dans les cellules épithéliales qui forment la muqueuse du tube digestif. Ce processus de décomposition des aliments s'appelle la digestion et se produit principalement dans trois segments particuliers du tube digestif: la bouche, l'estomac et l'intestin grêle.

La digestion se produit par deux processus différents: *la digestion physique*, où de gros morceaux de nourriture sont broyés en minuscules particules et *une digestion chimique*, qui ce fait grâce à l'utilisation d'enzymes libérées dans le tube digestif, de grandes biomolécules sous forme polymérique sont divisées en monomères ou oligomères individuels

I.3.1. La transformation des aliments en nutriments, une double action mécanique et chimique : dans la bouche, les aliments mélangés à la salive qui contient une enzyme

salivaire, sont coupés et broyés par les dents, c'est la *mastication*. La mastication est essentielle, elle permet une bonne digestion. Déglutis, (avalés) les aliments passent dans l'œsophage, puis dans l'estomac.

Les puissantes contractions de la paroi de l'estomac brassent plusieurs heures les aliments imprégnés de sucs (liquide) gastriques qui contiennent eux une enzyme de l'estomac. Une partie des aliments devient soluble sous l'action conjuguée des sucs gastriques et du brassage. Evacués régulièrement de l'estomac, vers l'intestin grêle, les aliments continuent à être solubilisés par les enzymes pancréatiques et intestinales. Ils sont pour l'essentiel digérés. L'intestin grêle contient alors des substances solubles résultantes de cette digestion : *les nutriments*.

Conclusion : les aliments subissent lors de leur digestion une action mécanique (mastication et brassage) et une action chimique (salive, sucs digestifs qui contiennent des enzymes). Les aliments sont ainsi transformés, simplifiés en nutriments.

I.3.2. Le passage des nutriments dans le sang, l'absorption intestinale : au terme de la digestion, l'intestin grêle renferme un liquide contenant principalement des substances solubles : *les nutriments*.

Les nutriments franchissent la paroi de l'intestin grêle et passent dans le sang des très nombreux capillaires, c'est *l'absorption intestinale*. La paroi de l'intestin grêle forme de nombreux replis recouverts d'un grand nombre de villosités et de microvillosités qui assurent cette absorption intestinale. Cette paroi intestinale forme ainsi une grande surface de contact entre de très nombreux capillaires sanguins et les nutriments présents dans l'intestin grêle. La partie des aliments non digérés progresse dans l'intestin grêle et forme les matières fécales.

Conclusion : dans l'intestin grêle, les nutriments sont absorbés, c'est à dire qu'ils traversent la paroi de l'intestin grêle pour passer dans le sang. C'est l'absorption intestinale.

I.4. Des comportements alimentaires à contrôler : des habitudes alimentaires correctes, une alimentation équilibrée ainsi qu'une bonne hygiène bucco-dentaire permettent de préserver l'intégrité du système digestif, de la dentition et de prévenir les maladies dues à une alimentation déséquilibrée, tel que le diabète et l'obésité. Quatre repas, dont un petit déjeuner copieux, répartis régulièrement dans la journée permettent :

*Un apport permanent de nutriments aux organes, évitant les coups de fatigue en fin de journée.

*Une limitation efficace de l'acidité de la bouche diminuant ainsi les risques de caries.