M'Barek
ESSATARA

Abdelrhafour
TANTAOUI ELARAKI

Alimentation - Nutrition

© Hassan II Academy Press

M'Barek
ESSATARA

Abdelrhafour
TANTAOUI ELARAKI

Alimentation – Nutrition

Préface du Dr M'hamed SEDRATI

Les opinions exprimées dans cette publication n'engagent que leurs auteurs et ne représentent pas nécessairement celles de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)
Rabat, Royaume du Maroc

© Hassan II Academy Press

Titre : **Alimentation - Nutrition**
Auteurs : **M'Barek ESSATARA & Abdelrhafour TANTAOUI ELARAKI**

Dépôt Légal : 2021MO3331
ISBN : 978-9920-9056-2-6

Réalisation : **AGRI-BYS** S.A.R.L.

Achevé d'imprimer : juillet 2021
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

Sommaire

Remerciements 4

Préface 7

Avant-propos 11

Introduction générale 13

1- Concepts généraux 17

Première Partie : Energie et nutriments 25

2- Eau et électrolytes 27

3- Energie 36

4- Glucides 46

5- Protides et autres matières azotées 59

6- Lipides et matières grasses 74

7- Vitamines 92

8- Minéraux et électrolytes 118

Deuxième Partie : Aliments, ration alimentaire 157

9- Aliments 159

10- Physiologie de la nutrition 204

11- Effets des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle et sanitaire des aliments 224

Troisième Partie : Troubles sanitaires liés aux aliments 253

12- Approches nutritionnelles de la prise en charge de certaines maladies 255

13- Troubles sanitaires liés aux microbes des aliments 287

Conclusion générale 309

Références 313

Liste des abréviations 317

Table des matières 319

Remerciements

Les auteurs voudraient exprimer leur profonde reconnaissance à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, et tout particulièrement à Monsieur le Secrétaire Perpétuel Professeur Omar Fassi-Fehri, pour la faveur qu'elle nous a faite en acceptant de publier cet ouvrage sous son égide.

Nous sommes aussi particulièrement reconnaissants au Dr M'hamed Sedrati pour l'honneur qu'il nous a fait de rédiger la préface de cet ouvrage et pour toutes ses remarques et suggestions très pertinentes sans lesquelles ce travail ne serait pas ce qu'il est.

Nous voulons également remercier très vivement les docteurs Mohamed Ridaï et Hassan Elkabli, professeurs au Centre Hospitalier Universitaire Ibn Rochd de Casablanca et, respectivement, chefs de service de Chirurgie Thoracique et de Médecine Interne, pour avoir aimablement accepté de procéder à la révision du chapitre «Approches nutritionnelles de la prise en charge de certaines maladies».

M'Barek ESSATARA
Abdelrhafour TANTAOUI ELARAKI

﴿وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا﴾ (سورة الأعراف، 31)

﴿*Et mangez et buvez, mais sans abuser*﴾
(Coran, sourate : «Les murailles», 31)

Préface

«Pourquoi ce livre?»

«Quel intérêt de s'investir dans un projet d'ouvrage aussi prenant en temps et en efforts?»

Deux questions préliminaires, placées aux premières lignes de l'avant-propos par les auteurs de l'ouvrage «Alimentation - Nutrition».

Que veut dire, à ce stade, cette question «Pourquoi ce livre?» Il me semble que le débat de savoir pourquoi les deux auteurs avaient décidé d'écrire ce livre est révolu.

Est-ce un appel qu'il faut déchiffrer?

Cinq années après sa conception, et probablement après avoir vécu quelques péripéties et franchi quelques obstacles, l'ouvrage est là dans l'une des librairies où vous l'avez acquis, ou dans une bibliothèque où vous l'avez emprunté.

Lorsque vous l'aurez lu, vous comprendrez qu'il répond, par ses apports, à la connaissance scientifique de ce domaine de l'alimentation - nutrition, à la première question «Pourquoi ce livre?».

L'affaire est close, et n'a plus de raison d'être.

Les deux enseignants-chercheurs à l'IAV Hassan II, le Professeur Abdelrhafour Tantaoui Elaraki et le Professeur M'Barek Essatara, tous deux titulaires du Doctorat ès Sciences et du grade de Professeur de l'Enseignement Supérieur, auteurs de cet ouvrage, ont évoqué dans l'avant-propos leur dilemme face à la question du public cible et, partant, du choix du niveau de son contenu scientifique.

Le livre qu'ils ont produit est en lui-même la réponse à ce dilemme par son contenu scientifique, ouvert à plusieurs publics, mais plus spécialement aux étudiants de différents niveaux, notamment dans les études d'ingénieurs en agronomie et agroalimentaire, en médecine humaine et vétérinaire, en sciences biologiques et dans les filières de nutrition et diététique.

Il n'empêche que «Alimentation - Nutrition» peut aussi attirer d'autres lecteurs, désireux d'acquérir des connaissances dans ce domaine, pour leurs propres besoins de compréhension des processus nutritionnels, et d'acquérir une certaine culture dans ce domaine.

Quant à la seconde question «Quel intérêt de s'investir dans un projet d'ouvrage aussi prenant en temps et en efforts?», elle me semble complexe.

Ses mots ne reflètent en rien l'esprit des deux auteurs. Le regret, qu'ils semblent exprimer alors que l'ouvrage est entre nos mains, n'est pas une attitude conforme à leur engagement moral et éthique, ni à leurs compétences et leur expertise, dans ces domaines de l'alimentation et de la nutrition.

Mais au-delà de ce dilemme, leur questionnement n'aurait-il pas un sens beaucoup plus profond? Tant d'efforts et d'années pour l'écrire et ne pas pouvoir toucher les couches sociales les plus vulnérables, celles qui souffrent de malnutrition, de carences et de maladies infectieuses, mais qui, en même temps, se trouvent en état de surpoids, voire d'obésité! J'imagine leur frustration de ne pouvoir contribuer à l'éducation alimentaire et nutritionnelle des plus démunis, pour cause d'analphabétisme, et les laisser à la merci d'un charlatanisme débridé, colporté par tant de sites et de réseaux sociaux?

Faut-il finalement ignorer cette question qui intrigue et appelle une réponse?

Dans l'immédiat, ouvrons cet ouvrage volumineux, riche de son contenu scientifique. Chapitre après chapitre, il chemine dans un ordre pédagogique, pertinent et clair dans son expression, et dans sa cohérence.

En le lisant patiemment, avec une ferme volonté de comprendre ce domaine de l'alimentation-nutrition, de vouloir aller au-delà de nos connaissances traditionnelles, acquises au milieu de nos familles, c'est ainsi que chaque lecteur pourra en apprécier les mots et les concepts qu'il développe au sein de ses chapitres.

«Alimentation - Nutrition» nous met d'emblée dans le bain et nous donne une envie pressante de découvrir ce domaine qui fait la vie, construit corps et organes, les entretient, les répare et les protège.

Tous les groupes d'aliments, désignés par le nom générique de leur groupe respectif, sont passés en revue. Leurs définitions sont présentées, leurs formules chimiques parfois commentées. Quel est leur rôle? Quelles sont leurs sources? Quels sont nos besoins, en quantité et qualité des nutriments?

Issus de ce qui reste des processus de la digestion des aliments, les nutriments absorbés au niveau de l'intestin, sont transportés par le sang et la lymphe et livrés aux différents organes du corps.

Les résidus des processus de digestion et d'absorption seront triés et éliminés.

Prenons un exemple d'informations scientifiques que vous trouverez dans cet ouvrage, pour illustrer la nutrition du cerveau, qui n'utilise que le glucose pour l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Je vous présente un aperçu succinct rédigé par moi-même. Le cerveau doit être approvisionné, 24 heures sur 24 et sept jours sur sept. La régularité de la glycémie et sa régulation continue doivent être assurées sans faille. En cas d'insuffisance d'apport d'aliments glucidiques, le manque de glucose sera compensé par la dégradation des réserves glucidiques ou par le glucose

nouvellement formé. C'est un aperçu d'un texte beaucoup plus étoffé, qui présente le groupe des glucides, leurs rôles au niveau d'un certain nombre d'organes, et met à la disposition des lecteurs les informations scientifiques nécessaires pour suivre et comprendre les divers processus mis en œuvre.

C'est dans cet esprit que l'ouvrage «Alimentation - Nutrition» est conçu, pour servir ses lecteurs et faire progresser la culture alimentaire et nutritionnelle, et développer les aptitudes de celles et ceux qui se consacreront à l'enseignement et à la recherche.

L'alimentation-nutrition a toujours été la préoccupation de tout être vivant sur Terre, depuis sa naissance, et au cours de toutes les étapes de sa vie. Aujourd'hui, et depuis des décennies, elle demeure la première préoccupation de l'Humanité pour répondre aux besoins d'une sécurité alimentaire, en quantité et en qualité sanitaire et nutritionnelle.

Elle fait l'objet de décisions, de programmes et de projets divers, dans les débats des réunions des Chefs d'Etat et de Gouvernement, dans les réunions des divers Comités et Commissions d'experts, de tous les grands organismes internationaux de l'ONU et des ONG.

Les médias nationaux et internationaux n'ont pas manqué de rendre compte de ces réunions, de leurs débats, des résolutions adoptées, à mettre en œuvre par les Etats. C'est ainsi que l'on pourrait admettre, admettre provisoirement, que l'analphabétisme n'a pas été un obstacle à un minimum d'information, et d'une prise de conscience des couches sociales vulnérables, des populations des pays membres de ces Organisations internationales.

L'Objectif du Développement Durable N° 2 préconise d'éliminer la faim, d'assurer la sécurité alimentaire et sanitaire, d'améliorer la nutrition et de promouvoir l'agriculture durable. C'est dire que l'alimentation, la nutrition et l'agriculture durable connaissent un regain d'importance de par le monde.

L'ouvrage «Alimentation - Nutrition» est arrivé au bon moment d'un regain certain, pour la formation de cadres pour la recherche, pour l'enseignement, pour le développement. Il faudra lui accorder un plan d'actions pour le présenter à qui de droit, et le vulgariser auprès de nos institutions.

Avant de clore cette préface, j'aimerais féliciter les auteurs pour ce travail – oserai-je le qualifier de colossal – pour nous fournir un livre à jour des connaissances les plus récentes dans la nutrition et l'alimentation.

Dr M'hamed Sedrati *

---

* *Docteur vétérinaire de formation, Dr M'hamed Sedrati a occupé plusieurs fonctions, dont notamment Directeur de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et Directeur de l'Institut National de Recherche Halieutique. Il a été aussi membre fondateur et président de plusieurs associations, en particulier l'Association Nationale des Vétérinaires du Maroc, l'Association Nationale de la Production Animale, la Société Marocaine de Nutrition, et l'Association Expertise et Développement Durable.*

Avant-propos

Pourquoi ce livre?

De nos jours, serait-on tenté de dire, au moment où l'information est à portée de clics, quel intérêt de s'investir dans un projet aussi prenant en temps et en efforts?

Oui, l'information est disponible, mais quelle information? Les média et les réseaux sociaux en tous genres offrent un espace illimité où tout le monde peut s'exprimer. Et voilà que tout le monde s'improvise nutritionniste ! Et l'on entend de tout et de rien, à longueur de journée. Le pauvre citoyen qui essaie de tirer profit de ces «conseils» se trouve complètement déboussolé, désemparé. En effet, le même support médiatique peut vous dire une chose aujourd'hui et son contraire le lendemain. Parfois, le même «expert» se contredit en l'espace de quelques secondes. La polémique créée ces dernières années autour du lait et des produits laitiers est un excellent exemple de cette véritable cacophonie.

Quand on s'alimente, c'est pour satisfaire des besoins fondamentaux, certes. Mais manger et boire doivent aussi rester un plaisir. Or, bien souvent, ces gens-là sacrifient allégrement l'aspect hédonique (le plaisir) de l'alimentation au profit de la recherche acharnée d'un effet thérapeutique. Entre celui qui préconise de manger la grenade tout entière avec son écorce pour mieux bénéficier de ses tannins antioxydants, celui qui conseille d'avaler le citron avec sa peau et de croquer ses pépins amers parce que riches en flavonoïdes et celle qui affirme qu'il faut absolument boire trois litres d'eau par jour, en insistant bien que le café et le thé ne sont pas une source alimentaire d'eau, la science s'est perdue pour laisser la place à du populisme scientifique.

La nutrition est une science, faut-il le rappeler? Et elle a ses principes, qui évoluent d'ailleurs chaque jour du fait des progrès scientifiques et technologiques. Notre propos dans cet ouvrage est tout simplement de rappeler ces principes, le but ultime étant d'éveiller le consommateur.

Cet ouvrage se veut essentiellement un outil de travail pour les enseignants-chercheurs et les étudiants dans divers domaines de spécialité. Cependant, les informations y sont généralement présentées de manière assez simplifiée pour être également à la portée du lecteur non initié.

Les données et informations rapportées dans le présent ouvrage proviennent de différentes sources qu'il ne nous a pas semblé judicieux de mentionner systématiquement dans la mesure où l'objectif était davantage de mettre ces informations à la portée du public le plus large plutôt que de réaliser un travail académique.

Par ailleurs, les informations contenues dans cet ouvrage sont universelles, bien qu'elles soient toujours sujettes à modification suite à l'avancement de la science. Elles peuvent intéresser le consommateur où qu'il soit. Cependant, chaque fois que cela sera possible, mention sera faite particulièrement des traditions alimentaires et culinaires marocaines pour préciser certaines données ou prodiguer des conseils et montrer les effets positifs ou négatifs de telles pratiques.

Les lectrices/lecteurs remarqueront en parcourant la table des matières, que la numérotation des 13 chapitres successifs se poursuit indépendamment de la position de ces chapitres dans les 3 parties de l'ouvrage. Ainsi par exemple, la première partie se termine par le chapitre 8 et la deuxième commence par le chapitre 9.

Pour ce qui est de l'identification des tableaux et des figures, un numéro d'ordre précédé par le numéro du paragraphe correspondant a été adopté; par exemple le tableau 6.5.1 est le premier du paragraphe 6.5 et la figure 10.2.2 est la deuxième du paragraphe 10.2.

Introduction Générale

La Terre reçoit constamment de l'énergie sous forme de photons en provenance du Soleil. Grâce à la chlorophylle, les plantes captent ces photons et réalisent la *photosynthèse*, une réaction chimique particulière, sans doute la plus importante pour la vie sur *Terre*. Grâce à cette réaction, en effet, les plantes synthétisent du glucose ($C_6H_{12}O_6$) à partir de l'eau (H_2O) et du gaz carbonique ou dioxyde carbone de l'air (CO_2), tout en libérant de l'oxygène (O_2).

$$\underset{\text{gaz carbonique}}{6CO_2} + \underset{\text{eau}}{6H_2O} \xrightarrow{\text{Energie solaire}} \underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{oxygène}}{6O_2}$$

Ainsi, non seulement la photosynthèse permet-elle aux végétaux de mettre l'énergie des photons en réserve sous forme de glucose, mais en outre, elle libère de l'oxygène qui permet aux êtres vivants de respirer, y compris les végétaux eux-mêmes.

Donc, si les animaux et les végétaux dépendent les uns des autres, il n'en reste pas moins que les végétaux pourraient se passer des animaux, mais non l'inverse.

Les végétaux chlorophylliens (plantes vertes en milieu terrestre, algues dans les milieux aquatiques) jouent donc le rôle de *producteurs* car ils utilisent l'énergie solaire et la transforment en matières biologiques complexes à partir de gaz carbonique, d'eau et de sels minéraux. En revanche, les animaux sont des *consommateurs* car ils ont besoin, pour se nourrir, de matières organiques complexes (glucides, protides, lipides). De ce fait, ils sont entièrement tributaires des producteurs qui recèlent les seules sources d'énergie qu'ils peuvent utiliser, soit de façon directe pour les herbivores, soit indirectement pour les carnivores (consommateurs de second ou de troisième ordre). L'Homme, quant à lui, peut être un consommateur primaire lorsqu'il consomme des végétaux, de deuxième ordre lorsqu'il mange de la viande ou des œufs, et de troisième ordre lorsqu'il se nourrit d'un poisson carnivore comme le brochet. Il s'agit donc d'un être vivant omnivore.

L'Homme a de tout temps intuitivement intégré le rôle de l'aliment dans sa constitution physique, chimique et mentale. L'alimentation est fondamentalement la source du développement humain. Plus que jamais, les prochaines décennies seront celles de l'alimentation et de la nutrition.

On pourrait définir l'aliment comme étant toute substance utilisée par l'Homme pour se nourrir et apaiser sa faim et sa soif. L'aliment a cependant trois fonctions :

- une fonction biologique : le caractère universel des aliments est d'être nourrissants, donc d'apporter de l'énergie et des *nutriments*;
- une fonction hédonique : on se fait plaisir par le sentiment de satiété, on se rassure et on apprécie le plaisir sensoriel (apparence et esthétique, goût, odeur, acoustique, etc.);
- une fonction identitaire et culturelle : l'alimentation permet de se distinguer, de se rapprocher, de se fondre dans un groupe ou d'appartenir à une communauté.

Un aliment accepté en tant que tel est consommé selon un rituel propre à chaque groupe de personnes, à chaque population et même à chaque individu. On parle d'*habitudes alimentaires*, tout comme il existe des interdits et des tabous alimentaires.

L'Homme primitif était herbivore, vivant essentiellement de la cueillette, avant d'apprendre à cultiver les plantes. Ce n'est qu'après la découverte et la maîtrise du feu qu'il s'est mis à diversifier son alimentation en introduisant, à travers la chasse et la pêche, la viande et d'autres produits d'origine animale.

La diététique représentait déjà, pour les médecins de l'Antiquité, une partie intégrante de la thérapeutique, des traitements et des soins. Mais ce n'est que vers le XVIII^{ème} siècle que l'on s'est proposé de savoir ce qu'est un aliment. L'aliment a ainsi été défini comme «tout ce qui est capable de réparer les pertes des parties solides et liquides de l'organisme», auxquelles il faut ajouter les gaz qui se dégagent, notamment par la respiration (vapeur d'eau, gaz carbonique, etc.).

Cependant, cette définition laisse croire qu'une substance naturelle prise en quantité suffisante et adéquate permet de couvrir les besoins nutritionnels de l'organisme et d'entretenir la vie. Autrement dit, elle laisse entendre l'existence d'aliments complets et équilibrés. En fait, il n'existe pas d'aliment complet et l'alimentation ne vaut que par la diversité et la complémentarité des éléments qui la composent.

La fonction primaire de l'aliment est de nourrir, donc d'avoir une valeur nutritive, c'est-à-dire de fournir l'énergie et les nutriments nécessaires pour construire le corps, maintenir sa composition, régler ses processus métaboliques et permettre son adaptation dans l'environnement où il vit et évolue.

Donc, la plupart des aliments apportent de l'énergie et un ou plusieurs nutriments dans des proportions variables. De même qu'il n'y a pas d'aliment complet, il n'y a pas non plus d'aliment «vide», sans utilité.

L'aliment éveille aussi certaines sensations physiologiques et psychologiques. Parmi les sensations physiologiques liées aux aliments, on peut citer les sensations de mal-être ou de faim ou, au contraire, de bien-être ou de satiété.

Par ailleurs, les facteurs émotionnels lient l'acte alimentaire à l'expérience du passé. C'est le désir de manger des plats et des mets appétissants qui fait saliver préalablement à la prise alimentaire (réflexe de Pavlov). Le sentiment qu'on a eu en prenant un aliment à l'occasion d'une fête, d'une cérémonie heureuse ou malheureuse, ou à un moment donné de la vie, marque pour toujours. L'adulte aime retrouver l'aliment qu'il appréciait quand il était enfant. De même, le plaisir que l'on a eu à consommer tel ou tel aliment en raison de circonstances précises reste longtemps gravé dans la mémoire. Un excellent exemple en est fourni par la fameuse «madeleine de Proust»[1].

Il est possible que ces facteurs émotionnels expliquent que les immigrants conservent longtemps les habitudes alimentaires de leurs pays d'origine. Il s'agit d'une forme de communion. Ainsi, la mobilité des humains depuis les temps les plus reculés a entrainé un brassage des cultures impactant justement les habitudes alimentaires. C'est un des aspects marquants du concept de mondialisation et d'uniformisation qui prend de plus en plus d'ampleur.

L'aliment peut aussi être lié à des croyances diverses. En effet, dans toutes les religions, il existe des restrictions et des interdits et/ou des indications positives concernant les aliments.

Dans un contexte socio-culturel donné, les aliments ont souvent aussi une valeur symbolique. Ainsi, le couscous est lié, dans les habitudes de la plupart des familles marocaines, au vendredi, jour sacré pour les musulmans, ou à diverses circonstances, heureuses ou malheureuses. Chez les chrétiens, la consommation de la dinde est liée à Noël et à «*Thanksgiving*».

Par ailleurs, l'offrande de nourriture est un symbole de fraternité et d'hospitalité. C'est le cas du verre de thé pris ensemble chez les marocains comme dans d'autres pays arabes (الشاي). C'est aussi le cas du morceau de pain mangé ensemble, du repas partagé, du sel partagé. Le mot copain ne signifie-t-il pas, étymologiquement, «celui avec qui on a partagé du pain» (co-pain)? Mais si, en général, un repas pris ensemble est un signe d'amitié, il peut être aussi l'occasion où se traitent toutes sortes d'affaires, sociales, commerciales, politiques, etc.

Au Maroc, le blé que l'on offre aux invités dans une région où l'on consomme habituellement de l'orge ou du maïs a une valeur de prestige. Le sucre blanc, généralement sous la forme de «pain de sucre», lui, peut symboliser le souhait d'un avenir meilleur.

1- *Dans «Du côté de chez Swann», roman de Marcel Proust, celui-ci évoque une importante remontée de souvenirs. En effet, sa mère lui fait manger une madeleine et le goût de celle-ci trempée dans le thé provoque en lui une sensation intense qui, après une remise en ordre de ses souvenirs, le fera remonter à une époque ancienne où, lorsqu'il vivait à Combray, sa tante lui faisait goûter un morceau de madeleine trempé dans une infusion.*

Dans toutes les civilisations, le choix des aliments et leur abondance pour les fêtes familiales ou religieuses, pour des réceptions ou pour certains événements, peut témoigner de la richesse et du rang social des donateurs.

Donc, si on veut améliorer le niveau nutritionnel dans une région donnée ou dans un groupe social donné, il importe de connaître les pratiques alimentaires et leurs fondements et d'en tenir compte. On ne substitue pas à la sauvette aux fondements socio-culturels d'un régime alimentaire d'autres fondements liés à des données rationnelles et scientifiques. L'Homme n'est pas uniquement un transformateur et un *convertisseur* d'aliments comme le sont les animaux d'élevage (même si les animaux doivent être traités dignement). Plutôt que d'essayer d'imposer de nouvelles pratiques alimentaires, il s'agit de valoriser des pratiques anciennes, car l'Homme est fier de ce qu'il est.

1- Concepts généraux

1.1- Introduction

La fonction essentielle de l'alimentation/nutrition est d'assurer et de maintenir la vie de l'organisme. En effet, contrairement aux plantes qui peuvent synthétiser les substances organiques dont elles ont besoin, notamment à partir du gaz carbonique (CO_2) de l'air, des sels et des ions dissous dans l'eau (en particulier l'ion nitrate NO_3^- et l'ion ammonium NH_4^+), l'Homme et les animaux doivent trouver dans leur alimentation, à côté des éléments minéraux, des substances organiques déjà synthétisées pour assurer leur survie et subvenir aux besoins qu'imposent leurs diverses activités. Les ruminants sont cependant capables, au moyen de la microflore de leur tube digestif, de synthétiser des vitamines et des acides aminés (AA) qui entrent dans la construction des protéines.

En plus de l'eau, les substances minérales et organiques indispensables à la vie sont ce qu'on appelle les *nutriments*. Et c'est le processus de digestion/absorption qui permet de transformer *les aliments* consommés en *nutriments* que l'organisme peut utiliser directement. Un aliment peut donc être défini comme un produit qu'on consomme en vue de satisfaire des besoins nutritionnels.

Les apports alimentaires doivent être suffisamment diversifiés pour assurer une alimentation adéquate et équilibrée et, ainsi, apporter l'eau et tous les éléments nutritifs nécessaires à une vie saine, active et productive.

1.2- Composition du corps humain

La composition du corps humain permet, dans une première approche, d'appréhender la nature des besoins de l'Homme et le fonctionnement de son organisme.

Composition élémentaire

Quatre éléments chimiques représentent à eux seuls 96% du corps humain : l'oxygène O (65%), le carbone C (18%), l'hydrogène H (10%) et l'azote N (3%). Il s'agit des éléments constitutifs de l'eau (O et H), des protéines (C, O, N et H), des

lipides et des glucides (C, H et O)[1]. On retrouve ces quatre éléments également dans les vitamines, les hormones, et d'autres molécules fonctionnelles.

Tout organisme, tout aliment, après calcination, laisse derrière lui des cendres constituées de sels minéraux. Les cendres ou sels minéraux représentent environ 4 à 6% de l'organisme humain, c'est à dire du poids corporel.

Ces cendres correspondent aux minéraux[2] comme le calcium et le phosphore (2,3 à 3,4% du poids corporel), le potassium, le soufre, le chlore, le sodium et le magnésium (0,95%) le fer (0,004%), le manganèse (0,0003%), le cuivre (0,00015%), l'iode (0,00004%), etc.

Les sels minéraux accomplissent des fonctions essentielles. En effet ils contrôlent l'équilibre hydrique, règlent l'équilibre acido-basique, font partie de certaines structures comme les os et les dents, entrent dans la composition des enzymes et hormones et catalysent de nombreuses réactions.

Composition moléculaire

Le corps humain se compose principalement des substances suivantes : eau, protéines, lipides, minéraux et glucides. Ainsi, pour un homme de 65 kg, par exemple, ces constituants représentent, respectivement, 40 kg (soit 61,6% du poids total), 11 kg (17%), 9 kg (13,8%), 4 kg (6,1%) et 1 kg (1,5%). Ces valeurs dépendent de l'âge, du sexe et de l'état physiologique et nutritionnel de l'organisme

Au sein de chacune de ces classes, on définit des *composés constitutifs*, qui participent à la structure des tissus de l'organisme, des *composés de réserve,* plus ou moins labiles, et des *substances de régulation*. La part respective de chacune de ces catégories est variable selon la nature de ces substances et l'état nutritionnel et physiologique de l'individu.

Ainsi, la fraction constitutive représente la majeure partie des composés, à l'exception des lipides. En effet, la partie constitutive s'élève à 90% pour l'eau, 82% pour les protéines, 80% pour les glucides totaux et 70% pour les minéraux. En revanche, pour les lipides, seuls 10% sont fonctionnels, les 90% restants constituant principalement des réserves que l'organisme peut utiliser en cas de besoin. Notons que la proportion de ces réserves lipidiques peut considérablement augmenter jusqu'à atteindre 70% du poids corporel chez l'individu obèse. Dans ce cas, il s'agit de réserves plutôt néfastes.

1- *Les glucides, les lipides et les protides sont les principales matières organiques du corps humain, mais aussi des aliments. De façon générale, la matière organique est une matière carbonée produite par les êtres vivants, microorganismes, végétaux et animaux. Elle est essentiellement constituée de carbone et d'hydrogène, mais avec de l'oxygène (glucides et lipides) ou de l'oxygène et de l'azote (protides), à côté d'autres éléments éventuels en quantités généralement plus faibles (phosphore, soufre, fer, etc.). Les vitamines, les hormones et de nombreux autres composés structurels ou fonctionnels des organismes vivants en font également partie.*

2- *Les minéraux sont des substances inorganiques. Dans les organismes vivants, ils se trouvent souvent sous forme de sels. Ces composés chimiques entrent donc naturellement dans la composition des produits d'origine végétale et animale. Dans les aliments, ils se présentent la plupart du temps sous forme ionique, c'est-à-dire dissociés en anions (ions chargés négativement) et cations (ions chargés positivement).*

Par ailleurs, l'importance d'une classe de constituant n'est pas en rapport direct avec la part qu'elle occupe dans le poids corporel. Ainsi, bien que les glucides ne représentent que 1,5% du poids corporel, ils n'en sont pas moins importants puisque, d'une part, ils doivent assurer un taux de glycémie (taux de glucose dans le sang) adéquat et, d'autre part, ils participent à la constitution de certaines substances des tissus de soutien (glucosaminoglycanes et glycoprotéines). En cas d'insuffisance des apports glucidiques (jeûne par exemple), l'organisme se trouve contraint de dégrader le glycogène qui est la forme de réserve du glucose, surtout le glycogène du foie (glycogénolyse hépatique) et de reformer du glucose à partir de ses réserves protéiques, azotées ou lipidiques (néoglucogenèse ou gluconéogenèse, qui est un phénomène continu).

Notons que la dégradation du glycogène hépatique en glucose sert à maintenir constante la glycémie, alors que la dégradation du glycogène musculaire sert, le cas échéant, à assurer le travail du muscle (glycogénolyse musculaire).

1.3- Rôles des nutriments

Les rôles des nutriments apportés par l'alimentation (figure 1.3.1) sont de fournir :

- l'énergie nécessaire à la vie : elle assure le maintien des équilibres indispensables à l'ordre biologique, les synthèses cellulaires, le maintien d'une température constante du corps, le travail ininterrompu des systèmes respiratoire, circulatoire, hormonal, digestif et nerveux, l'activité physique, etc.;
- les éléments constitutifs de l'organisme permettant la conservation de la matière vivante qui se renouvelle sans cesse (les tissus ou leurs constituants chimiques); ceci s'accompagne du rejet des substances catabolisées à travers les excrétions et les éliminations.

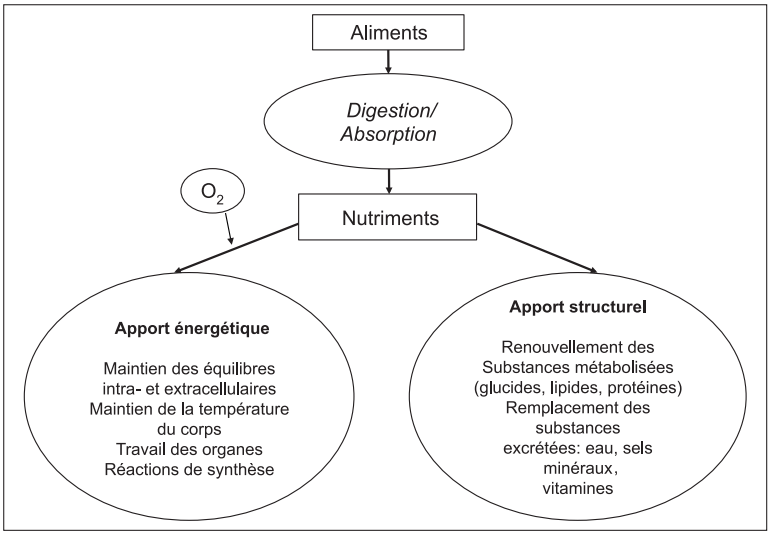


Figure 1.3.1- Rôle des aliments dans la satisfaction des besoins de l'organisme

La figure 1.3.2 schématise le métabolisme des nutriments et la figure 1.3.3 présente les chaînes métaboliques de dégradation des principaux constituants des aliments que sont les glucides, les lipides et les protides.

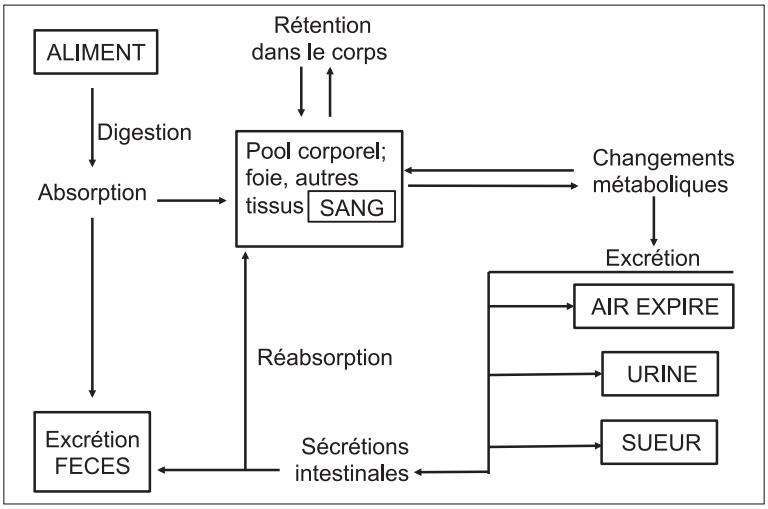


Figure 1.3.2- Schéma résumé du métabolisme des nutriments

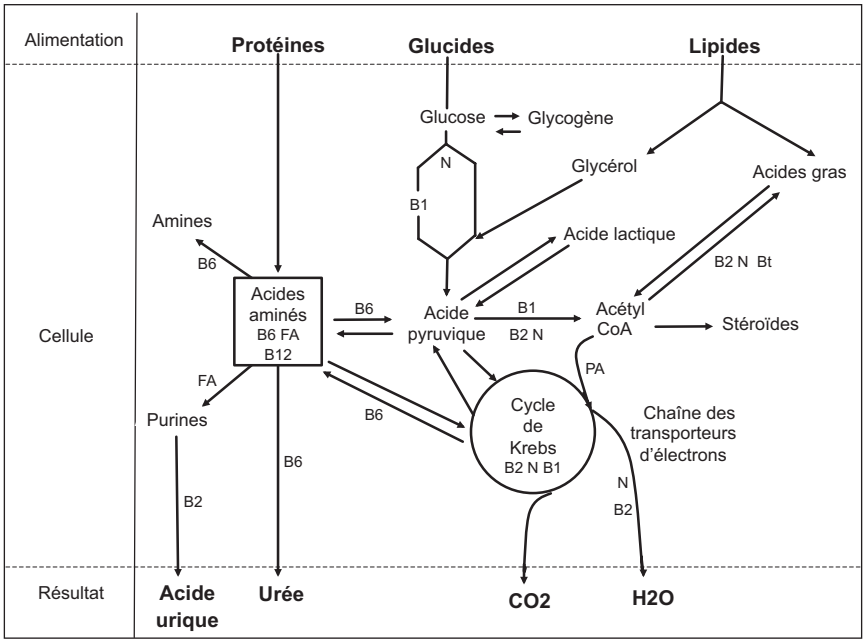


Figure 1.3.3- Chaînes métaboliques de dégradation des principaux constituants alimentaires (protides, glucides et lipides)

(B1 : thiamine; B2 : riboflavine; B6 : pyridoxine; B12 : cobalamine; Bt : biotine; FA : acide folique; N : nicotinamide; PA : acide pantothénique)

1.4- Contribution de l'organisme

En plus de l'apport alimentaire exogène, certains nutriments indispensables peuvent être synthétisés au sein de l'organisme, soit complètement soit partiellement, ou obtenus à partir de précurseurs disponibles dans les produits alimentaires. Ainsi :

- la vitamine A est obtenue à partir des carotènes et des pigments caroténoïdes;
- la vitamine D est synthétisée à partir du cholestérol;
- la vitamine B12 est synthétisée par la flore intestinale (surtout chez les animaux, en particulier les ruminants);
- la vitamine PP peut provenir du tryptophane, un des acides aminés essentiels [voir *Vitamine PP (niacine),* p. 104].

Par ailleurs, le microbiote intestinal (flore ou microflore intestinale)[3] participe notamment à la digestion des aliments grâce à ses enzymes et fournit aussi des vitamines, notamment celles du groupe B, dont l'organisme peut bénéficier.

1.5- Alimentation équilibrée

L'alimentation équilibrée doit obligatoirement apporter, en plus de l'énergie nécessaire, les éléments suivants dans des proportions adéquates :

- l'eau : elle est apportée par les boissons (eau, jus, thé, café, tisanes, boissons gazeuses, etc.), mais aussi par les aliments solides ou liquides non considérés comme des boissons (lait et dérivés, fruits et légumes, viandes) et la plupart des autres aliments qui en apportent des quantités variables, y compris les céréales et les légumineuses; l'eau est aussi libérée dans l'organisme au cours des processus métaboliques des aliments (eau métabolique ou endogène); ainsi, la consommation de 100 g de protides fournit en moyenne 40 g d'eau métabolique alors que la même quantité de glucides ou de lipides apporte respectivement 60 et 107 g d'eau (voir *Eau endogène ou métabolique,* p. 33);

3- *Le Microbiote est l'ensemble des microorganismes qui vivent dans l'organisme humain et en bonne harmonie avec lui. Il est principalement représenté par l'écosystème microbien du tube digestif, qui est responsable de l'homéostasie (équilibre entre ce qui entre dans l'organisme et ce qui en sort en situation normale) et participe au maintien de la santé de l'hôte. Complexe et diversifiée, la composition du microbiote se stabilise tôt dans la vie, à l'âge de deux ans environ. Elle peut évoluer cependant en fonction de l'environnement et de l'alimentation. Chaque personne a son propre microbiote. Chez l'individu sain, le microbiote, une fois stabilisé, ne subira plus que des changements ponctuels, provoqués notamment par la prise d'antibiotiques ou un changement d'alimentation ou de lieu (séjour dans un endroit inhabituel). Toutefois, les personnes subissant une vie trop stressante, trépidante, une malbouffe, une alimentation désorganisée à grands désordres nutritionnels, sont exposées à la désorganisation de leur microbiote avec de lourdes conséquences sur leur santé.*

- les protéines, sources d'acides aminés (AA), notamment les acides aminés indispensables ou essentiels (AAI); les AA apportent l'azote à l'organisme; les protéines apportent également de l'énergie en cas de besoin;
- les lipides, sources d'énergie, d'acides gras (AG), notamment les acides gras essentiels (AGE) (voir *Apport d'acides gras essentiels*, p. 77) et de composés jouant un rôle fondamental sur les plans structurel et fonctionnel;
- les glucides, essentiellement sources d'énergie et de composés fondamentaux pour la structure et le fonctionnement des cellules;
- les vitamines (voir *Vitamines,* p. 92);
- les minéraux (voir *Minéraux et électrolytes,* p. 118);
- les fibres alimentaires (voir *Cellulose et fibres*, p. 55).

Les besoins journaliers des personnes normales et en bonne santé en énergie, en protéines, en certains minéraux et en vitamines sont donnés dans les chapitres qui leur sont consacrés, notamment dans les tableaux 3.4.3 (p. 44), 5.3.1 (p. 64), 7.3.1 (p. 95), 7.3.2 (p. 96), 8.3.2 (p. 128), 8.3.5 (p. 132), 8.4.1 (p. 138) et 8.4.2 (p. 142)[4].

Il est conseillé de varier les apports alimentaires, non seulement pour satisfaire les besoins nutritionnels recommandés, mais aussi pour apporter également d'autres nutriments pour lesquels les besoins ne sont pas encore bien connus ou restent à découvrir.

Par ailleurs, un état physiologique particulier (grossesse, allaitement, âge avancé, etc.) ou des conditions d'environnement inhabituelles peuvent exiger un apport supplémentaire en énergie et en nutriments par rapport aux besoins normaux.

1.6- Nutrition et Santé

Des relations directes sont établies entre alimentation et nutrition, d'une part, et santé et bien-être physique et mental, d'autre part. En effet, l'organisme humain a besoin d'un apport quotidien, suffisant et régulier, en eau et en nutriments pour croître, se développer, exercer des activités aussi bien physiques que mentales et renouveler les cellules et les tissus et les réparer. Une nutrition adéquate est donc un besoin fondamental et un prérequis à la santé.

Les relations entre alimentation et santé sont à considérer dans les deux sens :

- l'effet bénéfique d'une bonne nutrition sur la santé physique et mentale de l'organisme, en général, et sur l'esthétique du corps (silhouette, peau, cheveux, etc.);

4- *Pour de telles données, plusieurs sources sont disponibles, notamment les références internationales de la FAO/OMS, ainsi que les recommandations européennes ou américaines. Les données que nous avons retenues à titre indicatif sont généralement celles du Conseil National de la Recherche* (National Research Council) *de l'Académie Nationale des Sciences* (National Academy of Science) *des USA*.

- l'effet contraire d'une alimentation insuffisante (sous-alimentation) ou déséquilibrée (malnutrition). Ainsi, une sous-alimentation due à un apport énergétique global insuffisant ou une malnutrition due à un apport protéique insuffisant associé à un apport énergétique réduit et/ou un apport en vitamines et minéraux limité conduisent à des désordres nutritionnels importants, respectivement le marasme et la kwashiorkor, particulièrement chez les enfants.
- à l'inverse, une alimentation excessive peut entrainer des troubles nutritionnels et sanitaires dangereux. C'est le cas de l'obésité, des maladies cardiovasculaires, du diabète, de l'hypertension, etc.

Par ailleurs, l'aliment peut aussi être source de désagréments ou de troubles pour le consommateur en servant de vecteur pour des micro-organismes néfastes ou en apportant des anti-nutriments, des substances toxiques variées ou des allergènes.

D'autre part, il faut noter des cas spécifiques tels que l'intolérance à certains constituants des aliments comme le lactose, le gluten (maladie cœliaque), etc.

Par ailleurs, afin de préserver sa santé, en plus d'une bonne alimentation, il est très important de s'imposer une bonne hygiène de vie :

- exercer une activité physique, notamment la marche, le sport, le jardinage, etc.;
- respecter la durée et la qualité du sommeil;
- éviter le tabagisme;
- éviter la consommation d'alcool, ou ne pas en abuser (surtout les alcools forts);
- rechercher la tranquillité d'esprit.

Ces relations entre alimentation - nutrition et santé seront détaillées, notamment dans les chapitres 12 et 13.

PREMIERE PARTIE :
ENERGIE ET NUTRIMENTS

2- Eau et électrolytes

2.1- Généralités

Sur le plan chimique, la molécule d'eau est constituée de deux atomes d'hydrogène (H) liés à un atome d'oxygène (O), répondant donc à la formule H_2O (qui est un assemblage de deux ions : H^+ et OH^-).

L'eau peut exister sous trois états physiques différents :

- l'état liquide pour les températures comprises entre 0 °C et 100 °C sous des conditions normales de pression;
- l'état solide (neige, glace) pour les températures inférieures à 0 °C;
- l'état gazeux (vapeur) pour les températures supérieures à 100 °C.

L'eau est une ressource essentielle. Son usage à des fins de productions alimentaires, nutritionnels, hygiéniques ou récréatives nécessite un haut niveau de qualité physico-chimique, chimique et microbiologique. Dans le domaine alimentaire, l'eau est aujourd'hui la denrée la plus réglementée.

Par ailleurs, l'eau est le constituant le plus important en proportion dans les êtres vivants, en général, et dans le corps des animaux en particulier. Chez l'Homme adulte, cette teneur s'élève à environ 60% du poids vif en moyenne pour le sexe masculin et 50% pour le sexe féminin (tableau 2.1.1). L'eau représente 70% du poids du corps délipidé (*Lean Body Mass*).

Tableau 2.1.1- Teneur moyenne en eau dans le corps humain (% du poids)

	Teneur en eau	**Observations**
A la naissance	75-80	-
Adulte de sexe féminin	50	La différence est due à la teneur en graisse, en général plus élevée chez l'individu de sexe féminin.
Adulte de sexe masculin	60	

A partir de l'enfance, la proportion d'eau dans l'organisme se stabilise et reste constante. Cependant, on observe une légère baisse chez la personne âgée suite au desséchement des cellules et à la diminution de la quantité d'eau extracellulaire.

L'eau est de loin l'élément le plus critique de tous les nutriments. Le maintien de la teneur hydrique de l'organisme est absolument essentiel à la vie. On peut mourir beaucoup plus rapidement de soif que de faim. En effet, on peut survivre plusieurs semaines sans manger, mais pas plus de quelques jours sans boire. Les réserves corporelles en glycogène (glucides), en graisses et en protéines peuvent subir des chutes drastiques sans pour autant menacer définitivement la vie. Mais une perte de 10% de l'eau corporelle entraine une grande fatigabilité et une diminution de l'efficacité des mouvements. Une perte de 20 à 22% de l'eau est carrément fatale.

L'eau de l'organisme est distribuée de façon inégale. Elle représente, en poids, 83% du sang, 80% du cerveau, 75% des muscles, 70% de la peau, 30% des os et 10% du tissu adipeux.

On ne peut parler de l'eau et des fluides des organismes vivants sans parler des sels qui y sont dissous. Les sels contenus dans les liquides de l'organisme sont connus sous le nom d'*électrolytes*.

Dans l'eau, les sels se scindent en éléments chargés électriquement qu'on appelle des ions : cations s'ils sont chargés positivement (sodium Na^+, potassium K^+, calcium Ca^{2+}, magnésium Mg^{2+}, etc.), anions s'ils sont chargés négativement (chlorure Cl^-, sulfate SO_4^{2-}, carbonate HCO_3^-, phosphate HPO_4^{2-}, etc.). Par exemple, le sel de cuisine (chlorure de sodium NaCl), une fois dissous dans l'eau, s'ionise en libérant un cation sodium Na^+ et un anion chlorure Cl^-.

Les électrolytes jouent des rôles essentiels dans le fonctionnement des cellules et de l'organisme. Ils assurent les équilibres osmotique et acidobasique, permettent le transport actif des oses et des acides aminés (absorption et réabsorption), contribuent à la bonne transmission de l'influx nerveux et interviennent dans la contraction et le relâchement musculaires.

Ils interviennent également dans l'absorption des nutriments et, donc, dans la libération de l'énergie et les synthèses moléculaires (voir *Minéraux et électrolytes,* p. 118).

2.2- Rôle de l'eau

L'eau est le constituant essentiel de la cellule, structure de base des êtres vivants. Son importance réside dans ses propriétés uniques qui en font un milieu adéquat pour toutes les réactions et les transformations biochimiques qui se passent au sein des cellules vivantes. En particulier, il s'agit d'un très bon solvant pour de nombreuses substances, ce qui lui permet d'approvisionner les cellules en nutriments et de les débarrasser de leurs déchets. A l'échelle du corps, son rôle d'élimination des déchets métaboliques et des toxines s'exerce principalement par l'intermédiaire de l'urine, mais aussi de la sueur, de la salive et des larmes.

L'eau assure également la stabilité et la régularité de la température du corps grâce à ses propriétés physiques, notamment sa chaleur spécifique et sa conductivité thermique[1].

1- *La conductivité (ou conductibilité) thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Elle représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 kelvin ou 1 degré Celsius par mètre.*

Non seulement l'eau permet-elle une distribution homogène de la température dans l'ensemble de l'organisme, mais elle évacue aussi, par évaporation, l'excès de chaleur libérée par les réactions métaboliques dans les cellules. Toute variation soudaine et brutale de température (fièvre, hypothermie) pourrait avoir des conséquences indésirables sur l'organisme. En particulier, la machinerie enzymatique peut être perturbée. Cependant, grâce à sa chaleur spécifique et à la grande valeur de sa chaleur latente d'évaporation[2], l'eau peut s'y opposer efficacement.

Par ailleurs, toute perte excessive d'eau par sudation profuse, diarrhée, périodes prolongées de vomissement, etc., peut entraîner une déshydratation de l'organisme et une perte d'électrolytes. En revanche, un apport excessif d'eau sans un apport concomitant d'électrolytes débouche sur le risque d'intoxication hydrique dont l'une des principales manifestations est l'éclatement des globules rouges du sang.

L'eau totale de l'organisme adulte, formant 60% du poids corporel, se répartit en deux compartiments essentiels: le liquide intracellulaire (LIC) formant les 2/3 de l'eau totale et représentant 40% du poids corporel et le liquide extracellulaire (LEC) formant le 1/3 de l'eau totale et représentant 20% du poids corporel. Le ratio LIC/LEC est approximativement de 2/1.

L'eau extracellulaire (20% du poids corporel) est constitué de plasma (5% du poids corporel) et du liquide interstitiel (15% du poids corporel). L'osmolarité de ces liquides est de 300 mOsm/l d'eau[3].

L'eau se distribue de façon inégale dans les différents tissus de l'organisme humain. Ainsi, les muscles et la peau totalisent 70% de l'eau de l'organisme, avec plus de 50% du LIC dans les muscles et près du tiers du LEC dans la peau (tableau 2.2.1).

Tableau 2.2.1- Distribution anatomique de l'eau dans l'organisme humain

	% poids corporel	Espace (%)	
		Extracellulaire	Intracellulaire
Muscles	50	28	62
Peau	20	33	12
Muscles + peau	70	61	74

2- *La chaleur latente d'une substance est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de masse de la substance considérée pour la faire passer de l'état solide à l'état liquide (chaleur latente de fusion) ou de l'état liquide à l'état vapeur (chaleur latente de vaporisation). La chaleur spécifique (ou chaleur massique ou encore capacité thermique massique) reflète la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique, pour une masse donnée, quand sa température augmente.*

3- *L'osmolarité est définie comme le nombre de particules osmotiquement actives par litre de solution, c'est-à-dire, plus exactement, le nombre de moles en solution qui interviennent dans la pression osmotique s'exerçant sur une membrane lorsque le phénomène d'osmose se produit.*

2.3- Besoins en eau

Les besoins en eau totale pour un individu moyen de 65 kg dans les conditions normales sont de 2 à 2,5 litres par jour. Cependant, à côté de l'eau apportée par les boissons et les aliments liquides et solides, l'eau métabolique, qui se forme au sein de l'organisme suite au métabolisme cellulaire des nutriments, assure à elle seule environ 15% de cet apport. Un bilan hydrique journalier est donné à titre indicatif au tableau 2.3.1.

Tableau 2.3.1- Bilan hydrique journalier moyen dans des conditions normales

Apports en eau (g)		**Dépenses en eau (g)**	
Eau de boisson	400-500	Par la peau	500
Autres boissons	500	Eau expirée	350
Eau des aliments solides	720	Urine	1100
Eau métabolique	320	Fèces	150
Total	**2020-2120**	**Total**	**2100**

Il est bien entendu que le besoin en eau (et aussi en électrolytes) peut être augmenté dans des conditions particulières, notamment en cas de chaleur ou de sudation excessives.

Les apports en eau sont détaillés plus bas (*Sources en eau,* p. 31). Il faut préciser que certains documents relatifs à ce sujet invitent avec insistance à respecter un apport de 2, voire 3 litres d'eau en laissant supposer qu'il s'agit de boire toute cette quantité d'eau. En fait, la quantité nécessaire de 2020 à 2120 g (soit environ de 2 à 2,1 litre), comme le montre le tableau 2.3.1, inclut toutes les formes d'apport, y compris l'eau des aliments solides et l'eau métabolique (voir *Sources en eau*, p. 31). N'oublions pas qu'un apport excessif en eau pourrait avoir des conséquences néfastes sur la santé.

Pour ce qui est des dépenses, il y a lieu de distinguer, d'une part, les quantités pouvant être perçues par les organes des sens (forme liquide) et, d'autre part, *l'eau insensible* qui correspond aux quantités non apparentes aux sens ordinaires (eau évaporée). L'estimation de la quantité d'eau perdue par évaporation se fait sur la base suivante : la chaleur latente d'évaporation de l'eau est de 0,58 kcal/ml[4]. Dans les conditions normales, l'eau insensible représente environ 25% de la perte de chaleur par l'organisme. Avec un métabolisme de 2000 kcal, la quantité d'eau insensible est donc estimée à (2000 x 0,25)/0,58, c'est-à-dire de l'ordre de 850 ml.

Il faut préciser que cette eau insensible, qui s'évacue à travers la peau et les poumons, est particulièrement dépourvue de solutés (électrolytes) contrairement à l'eau perdue dans les urines, les fèces et la sueur, qui contient des électrolytes à des concentrations différentes de celles du plasma.

4- *kcal : voir définition dans chapitre 3 (Définitions et mesure, p. 36).*

Par ailleurs, le besoin en eau peut être estimé en relation avec la valeur énergétique de la ration. Ainsi, il est nécessaire d'apporter 1,5 ml d'eau par kilocalorie chez le jeune enfant et 1 ml/kcal chez l'adulte.

Une attention particulière doit être prêtée, en ce qui concerne le besoin hydrique, aux enfants consommant des régimes hyperprotéiques (très riches en protéines), aux patients en état comateux ou ayant de la fièvre, à ceux en état de polyurie (excès d'urine) ou ayant de la diarrhée ou de fréquents vomissements ou encore à ceux vivant dans un environnement chaud.

L'eau ne pouvant être dissociée des électrolytes qui l'accompagnent, nous donnons dans le tableau 2.3.2 les besoins en certains électrolytes pour l'être humain en fonction de l'âge. Ces valeurs sont cependant approximatives. Elles varient selon les individus, le milieu et le type d'activités.

Tableau 2.3.2- Besoins approximatifs en certains électrolytes (mg/jour)

	Age (ans)	**Sodium Na^+**	**Potassium K^+**	**Chlorure Cl^-**
Nourrisson	0-0,5	115-350	350-925	275-700
	0,5-1,0	250-750	425-1275	400-1200
Enfants/ adolescents	1-3	325-975	550-1050	500-1500
	4-6	450-1350	775-2325	700-2100
	7-10	600-1800	1000-3000	925-2775
	+11	900-2700	1525-4575	1400-4200
Adultes	-	1100-3300	1875-5625	1700-5100

2.4- Sources en eau

L'eau dont l'organisme humain peut bénéficier inclut, comme le montre le tableau 2.3.1 ci-dessus, l'eau ingérée ou exogène et l'eau métabolique ou endogène.

Eau ingérée ou exogène

Elle est présente dans les eaux de boisson, les autres boissons (jus de fruits, boissons gazeuses, thé, café, etc.) ainsi que dans les aliments liquides (soupes, lait, etc.) et solides (même le pain frais contient 35% d'eau).

Les différentes catégories d'eaux de boisson se distinguent par certaines caractéristiques.

Les eaux des puits, des rivières et des sources non contrôlées peuvent présenter des compositions très variées d'un gisement à l'autre, particulièrement liées à la nature des sols et de la roche mère. Il est conseillé de procéder à des analyses chimiques et microbiologiques précises pour s'assurer de leur potabilité.

L'eau du robinet, généralement distribuée par une agence mandatée à cet effet, est soumise, en principe, à des contrôles drastiques pour en garantir la salubrité. Sa composition peut cependant être très variable d'une agglomération à l'autre, voire d'un quartier à l'autre au sein d'une même ville.

Les eaux des types cités ci-dessus, y compris l'eau du robinet, peuvent être bouillies au niveau des ménages, puis refroidies et conservées, de préférence dans des bouteilles en verre. On peut aussi y ajouter un zest de citron ou de la menthe pour améliorer leur goût.

Les eaux commercialisées en bouteilles ou en bidons subissent également, de leur côté, les tests de laboratoire imposés, notamment pour s'assurer de leur qualité hygiénique. Elles se classent en 3 catégories principales :

- *les eaux minérales naturelles* qui se caractérisent par une composition constante et peuvent présenter des propriétés favorables à la santé; les différentes eaux minérales ne sont cependant pas de qualité identique; la qualité de chacune d'elles dépend de la nature des sols dans lesquels elle a voyagé; on peut donc dire qu'il existe autant d'eaux minérales qu'il y a de sources;
- *les eaux de source* sont des eaux d'origine souterraine microbiologiquement saines et protégées contre les risques de pollution; elles se distinguent des eaux minérales naturelles par le fait qu'il n'est pas nécessaire qu'elles aient une composition minérale constante et caractéristique et qu'elles ne peuvent prétendre avoir des effets bénéfiques pour la santé;
- *les eaux de table* sont des eaux rendues potables par traitement et embouteillées pour la commercialisation.

Ces eaux peuvent être plates (sans gaz) ou gazeuses (pétillantes). Ces dernières comportent une proportion variable de gaz carbonique, naturellement présent ou incorporé. Le CO_2 naturellement présent peut être retiré de l'eau afin de permettre la réalisation des différents traitements, puis réincorporé au moment de l'embouteillage.

Le tableau 2.4.1 donne les valeurs moyennes des teneurs en eau de différents types de produits alimentaires liquides et solides. Il est bien évident que la teneur en eau d'un produit donné peut varier avec de nombreux paramètres. Ces variations concernent surtout les produits alimentaires qui résultent d'une transformation (pain, fromages, etc.) vu la grande diversité des procédés de fabrication.

Tableau 2.4.1- Teneurs approximatives en eau de différents aliments liquides et solides (% en poids)

Aliments d'origine végétale		Aliments d'origine animale	
Aliment	**Teneur en eau**	**Aliment**	**Teneur en eau**
Tomate	94	Lait	90
Epinards	93	Blanc d'œuf	87
Pastèque	88-92	Viandes	62-75
Figue de Barbarie	85-92	Poissons	28-96
Piment	85-91	Jaune d'œuf	50
Oignon	85-90	Fromages	43[1]
Carotte	87	Beurre	16
Artichaut	86		
Pomme	85		
Figue fraîche	79-81		
Raisin	80		
Pomme de terre	78		
Citron, orange	70-85		
Pain frais	35		
Huiles	0		
Sucre	0		

[1] : Valeur moyenne, les valeurs étant extrêmement variables entre les fromages frais très riches en eau et les fromages à pâte pressée et cuite relativement pauvres en eau.

Eau endogène ou métabolique

Elle est formée dans les cellules à la suite de l'oxydation des nutriments. On l'appelle aussi *eau d'oxydation*. Ainsi, une mole de glucose, soit 180 g, apporte, après combustion totale, 6 moles d'eau, soit 108 g.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O$$

Le ratio de la quantité d'eau formée par rapport à la quantité de nutriment oxydé est donc de 60% pour les glucides (108x100/180). Ce ratio n'est que de 40% pour les protides mais il s'élève à 107% pour les lipides. Autrement dit, la consommation de 100 g de lipides équivaut à un apport indirect de 107 g d'eau. La quantité d'eau ainsi formée à partir d'une ration alimentaire quotidienne normale peut s'élever, en moyenne, à 300-400 g.

On peut calculer la quantité d'eau métabolique en se référant à la valeur énergétique des aliments absorbés. Ainsi, 180 g de glucose apportent 108 g d'eau et fournissent environ 700 kcal, soit un ratio eau/kcal de 0,15 (tableau 2.4.2). Ce ratio est de 0,12 pour les lipides et de 0,10 pour les protéines. C'est pourquoi on adopte un ratio moyen de 0,12 pour une ration alimentaire équilibrée dans laquelle glucides, lipides et protides sont représentés dans des proportions adéquates. Autrement dit, on considère que chaque kilocalorie de la ration alimentaire correspond à un apport de 0,12 ml d'eau métabolique, soit, pour une ration journalière moyenne de 2700 kcal, un apport en eau métabolique de 324 ml.

Tableau 2.4.2- Apport en eau métabolique des différentes catégories de nutriments (glucides, lipides et protides)

	Apport en eau métabolique (g pour 100 g de nutriment)	Énergie (kcal)	Ratio eau (g)/kcal
Glucides	60	400	0,15
Lipides	107	900	0,12
Protides	40	400	0,10

2.5- Déséquilibres hydriques

Déshydratation/diarrhée

Le volume normal des selles est de 100 à 200 ml par jour. La diarrhée se caractérise par un excès d'eau dans les matières fécales. La diarrhée (mais aussi le vomissement et la sudation excessive) est l'une des principales causes de déshydratation.

Il existe plusieurs types de diarrhées :

- *diarrhée osmotique*, liée à la consommation de sel cathartique ($MgSO_4$) ou à une malabsorption;
- *diarrhée due à une interférence avec le processus d'absorption active de fluides*;
- *diarrhée sécrétoire* : suite à des gastro-entérites infectieuses;
- *diarrhées dues à une mobilité intestinale anormale* (mobilité accrue ou diminuée).

L'eau des matières fécales est normalement en équilibre osmotique avec le plasma. Avec la diarrhée et l'augmentation du volume des matières fécales, la concentration en ions K^+ a tendance à baisser et celle des ions Na^+ à augmenter dans les tissus de l'organisme.

La diarrhée aiguë se caractérise par des selles de consistance souvent liquide avec un volume plutôt important et une fréquence généralement supérieure à 3 fois par jour. La diarrhée est considérée comme aiguë si elle dure depuis moins de 2 semaines. Elle peut survenir lors d'un stress ou d'un effet secondaire médicamenteux. Elle peut également résulter d'une infection alimentaire d'origine virale ou bactérienne. Elle s'accompagne alors de symptômes tels que nausées, vomissements, douleurs abdominales et fièvre (voir notamment *Infections alimentaires bactériennes,* p. 290, *Toxi-infections alimentaires*, p. 292 et *Intoxications alimentaires d'origine bactérienne*, p. 295).

Le risque majeur en cas de diarrhée est lié à la déshydratation suite aux pertes d'eau et de cations. Il est donc conseillé, en cas de diarrhée, de boire de l'eau contenant du sel (contrairement à certaines croyances), ou de recourir aux solutés, ou solutions ou sels de réhydrataion orale (SRO) composés selon l'OMS pour 1l d'eau de 2,6 g de chlorure de sodium, de 1,5 g de chlorure de potassium, de 2,9 g de citrate trisodique et de 13,5 g de glucose permettant une réabsorption maximale. Pour se réhydrater correctement en cas de diarrhée aiguë, il est recommandé :

- d'adopter un régime alimentaire à base de féculents riches en amidon (comme le riz) et salés pour compenser les pertes sodiques;
- d'éviter de consommer des légumes (sauf les carottes) et les fruits (sauf les pommes et les bananes);
- d'éviter de consommer des produits laitiers;
- de se laver fréquemment les mains pour éviter les contaminations.

En cas d'exposition à un environnement excessivement chaud, l'attitude à prendre varie selon qu'il s'agit d'une chaleur sèche ou humide.

En effet, la chaleur sèche conduit à des pertes d'eau importantes et généralement non apparentes, par simple évaporation, et à des pertes de sels minéraux relativement minimes. Il en résulte une hypernatrémie (excès de sodium dans le sang), une déshydratation cellulaire et des troubles nerveux de type agitation. L'essentiel ici est d'apporter plus d'eau que de sel.

En revanche, la chaleur humide entraine la sudation, qui entraine à son tour des pertes d'eau évidentes et des pertes de sel dont l'importance varie avec l'acclimatation de l'individu. Il en résulte une déshydratation extracellulaire, généralement isotonique. Les apports d'eau et de sel sont alors essentiels, l'apport d'eau seule pouvant conduire à l'hypotonie et à des diarrhées.

Excès

On effectue souvent des apports excessifs en eau en vue de remplacer les quantités perdues à l'occasion de diarrhées sévères. Ces apports d'eau non accompagnés d'apports en électrolytes peuvent conduire à la baisse de la pression osmotique dans le sang, d'où l'éclatement des globules rouges.

3- Energie

3.1- Définitions et mesure

Deux types d'unités sont utilisés pour quantifier l'énergie : le joule et la calorie.

Le joule (J) est une unité de travail correspondant au déplacement d'une force de 1 Newton (N) sur une distance de 1 mètre et 1 kilojoule (1 kJ) = 1000 joules (J).

La calorie est une unité de chaleur. Elle correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour élever, sous pression atmosphérique normale, la température de 1 ml d'eau pure de 1 °C (précisément entre 14,5 et 15,5 °C); une kilocalorie (1 Calorie) = 1000 calories (quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kg d'eau pure de 1 °C entre 14,5 et 15,5 °C sous pression atmosphérique normale). Un litre (1 l) d'eau pure a une masse d'un kilogramme (1 kg).

Une calorie (1 cal) = 4,18 joules (4,18 J)
Une Calorie (1 Cal) = 1000 calories = 1 kilocalorie (1 kcal)
Un kilojoule (kJ) = 1000 joules (1000 J)
1 kcal = 4,18 kJ

3.2- Rôle

L'énergie est nécessaire pour :

- maintenir les conditions de la vie en assurant les fonctions vitales de l'organisme (battements du cœur, respiration, fonctionnement des reins, tonus musculaire, etc.); c'est ce qu'on appelle le *métabolisme de base* ou le *coût énergétique de la vie* qui dépend notamment de l'âge, du poids et des conditions physiologiques et environnementales;
- assurer les activités physiques : tout effort physique fourni par l'organisme nécessite de l'énergie;
- assurer les productions (au sens large) et le maintien de ce qui est produit (fœtus, lait, différents tissus), y compris les besoins pour la croissance et le développement;
- assurer l'adaptation aux conditions de l'environnement : lutte contre le froid et le chaud.

En cas de dérèglement hormonal, il peut y avoir perturbation du métabolisme, ce qui peut engendrer des besoins inhabituels en énergie. Ainsi, l'effet émotionnel peut, à travers le métabolisme endocrinien, modifier la consommation alimentaire d'une façon ou d'une autre (anorexie, boulimie, etc.).

3.3- Sources

L'énergie est apportée par les aliments glucidiques, lipidiques et protidiques. Ces aliments se décomposent dans l'organisme en nutriments en produisant de l'énergie.

On appelle densité énergétique la quantité d'énergie apportée par unité de masse (généralement 1 g) d'un nutriment. On distingue :

- *l'énergie brute* : celle contenue dans 1g de glucide, de lipide ou de protide alimentaires;
- *l'énergie digestible* : ce qui reste après digestion de 1g de produit (la différence par rapport à l'énergie brute est ce qui est éliminé par les matières fécales);
- *l'énergie métabolique* : énergie qui reste après absorption (passage dans le sang). C'est l'énergie vraiment exploitée par l'organisme, la différence par rapport à l'énergie digestible étant ce qui est perdu à travers les urines; cette différence est surtout importante pour les protides (tableau 3.3.1).

Tableau 3.3.1- Densités énergétiques des glucides, lipides et protides (en kcal/g)

	Énergie brute	**Énergie digestible**	**Énergie métabolique**
Glucides	4,15	4,00	4,00
Lipides	9,40	9,00	9,00
Protides	5,65	5,20	4,00

Les principaux glucides sont les amidons, le sucre de table (saccharose) et tous les sucres apportés par les fruits, le miel, etc. Les principaux protides sont les protéines animales (viandes rouges et blanches, abats, poisson, œuf, protéines du lait et des produits laitiers, etc.) et végétales (surtout légumineuses en sec et céréales) et les substances azotées non protéiques. Les principaux lipides sont les huiles végétales, les graisses animales, le beurre, la margarine, etc.

Par ailleurs, on définit la notion de disponibilité de l'énergie en relation avec la rapidité de l'utilisation (mobilisation). Exemples :

- parmi les glucides, on distingue les sucres rapides ou sucres à effet immédiat (glucose, galactose, fructose et saccharose par exemple) et les sucres lents (amidon);
- les lipides nécessitent en moyenne 8 heures pour être métabolisés (c'est-à-dire pour que leurs acides gras passent dans le sang), mais le rendement énergétique est très élevé; il s'agit d'une forme d'énergie très concentrée;
- le rendement énergétique des protides est comparativement plus faible que pour les glucides et les lipides du fait d'une élimination significative de déchets azotés dans les urines (tableau 3.3.1 ci-dessus).

L'éthanol (alcool éthylique) C_2H_5OH, est un liquide incolore, volatil et très énergétique. Il apporte 7 kcal/g d'alcool pur. Sa masse volumique à 20° C est de 0,791 g/ml. On parle de «calories vides» de l'alcool car, en tant que tel, il n'apporte ni vitamines ni minéraux, ni autres nutriments. Son métabolisme est assuré principalement par le foie (voir p. 279 et p. 280).

3.4- Besoins

Les besoins énergétiques peuvent être définis comme étant la quantité d'énergie nécessaire à un individu normal[5] en bonne santé, pour mener une vie active et saine.

Si les végétaux sont capables d'utiliser l'énergie solaire pour assurer la synthèse de leurs substances organiques à partir du gaz carbonique, de l'eau et de l'azote, les animaux doivent décomposer les substances organiques d'origine végétale ou animale qu'ils consomment pour produire l'énergie dont ils ont besoin.

C'est la «combustion» des glucides, des lipides et des protides en présence d'oxygène qui fournira l'énergie indispensable à la conservation de la matière, au maintien de la température et au travail.

Aliments = Matière vivante + Chaleur + Travail

Afin d'établir les besoins, on procède au calcul de la dépense quotidienne d'énergie nécessaire à la satisfaction des demandes de l'individu. Cette demande est très variable : à une dépense de fond (métabolisme de base), s'ajoutent des dépenses correspondant au travail musculaire, à la thermogenèse pour le réchauffement de l'organisme, à l'action spécifique des aliments appelée action dynamique spécifique (ADS) ou extra-chaleur (p. 41), à la suralimentation, à la croissance, sans compter les besoins supplémentaires dus à la grossesse et à l'allaitement.

Métabolisme de base

Pour estimer la dépense d'énergie correspondant au métabolisme de base d'un individu moyen appartenant à une population donnée, on peut utiliser la formule suivante :

$E = a\ P^{0,73}$

E : dépense énergétique de base (en kcal); a = 92 pour l'homme et 82,5 pour la femme;
P : poids corporel (kg); $P^{0,73}$: poids actif .

Pour comparer les dépenses de base d'individus de constitutions différentes, incluant des personnes obèses et d'autres maigres, les références au poids ou à la surface du corps ne sont plus valables, la référence est plutôt le poids actif mesuré par la technique du potassium échangeable.

5- *Il ne s'agit pas du besoin moyen d'un individu appartenant à une population donnée. La détermination d'un tel besoin moyen nécessite la connaissance des besoins spécifiques de chaque tranche d'âge, la connaissance de la structure de la population (pyramide des âges, états physiologiques tels que grossesse et allaitement, activités physiques, etc.). La connaissance de ces besoins moyens au sein d'une population est indispensable à des fins de planification alimentaire.*

Thermogenèse

Il est admis que le besoin énergétique varie de 3% en hausse ou en baisse quand la température moyenne annuelle varie de 10 °C par rapport à la température moyenne du pays de référence définie comme étant la moyenne des 12 moyennes mensuelles obtenues à partir des maxima et des minima quotidiens. Cependant, la notion de température moyenne n'a de sens que si les variations journalières ou saisonnières de la température ne sont pas trop élevées.

On peut aussi remarquer que la vie moderne fait que l'Homme est devenu un homéotherme «imparfait» dans la mesure où ses vêtements chauds et le confort de son environnement immédiat relèguent au second rang les processus physiologiques de régulation de la température corporelle.

Travail

La dépense énergétique due au travail d'un individu est une fonction linéaire du poids de celui-ci :

$E = 152\ P^{0,73}$ pour les hommes*

$E = 123,4\ P^{0,73}$ pour les femmes

E : dépense énergétique due au travail (kcal)

P : Poids (kg)

* Formule établie en supposant que l'Homme de référence (65 kg) a une activité correspondant à 3000 kcal.

Il faut cependant remarquer qu'avec l'expérience, on parvient souvent à réaliser le même travail en fournissant moins d'effort. De même, pour effectuer un travail donné, par exemple monter un escalier avec une charge de 50 kg, il peut être plus économique pour un individu de monter 2 fois 25 kg et pour une autre de monter les 50 kg en une seule fois. Par ailleurs, certaines personnes naturellement agitées et tendues se dépensent davantage au travail que leurs collègues placides, si bien que les temps de travail efficace varient de 30 à 70% des heures de travail selon les cas.

Ajoutons que le développement de la mécanisation (techniques agricoles et industrielles, moyens de déplacement) a fortement réduit les besoins énergétiques liés au travail, si bien que la pratique du sport engendre souvent l'activité physique la plus importante pour beaucoup d'individus dans les pays développés.

Le tableau 3.4.1 donne les besoins complémentaires moyens en énergie par heure de travail selon la pénibilité du travail accompli.

Il y a lieu de préciser, à travers des exemples, les notions d'activité légère, moyenne, forte ou exceptionnellement forte :

Tableau 3.4.1- Besoins en apports énergétiques horaires selon la pénibilité de l'activité

Type de travail	Homme		Femme	
	kcal	MJ[1]	kcal	MJ[1]
Léger	140	0,58	100	0,41
Moyen	175	0,73	125	0,51
De force	240	1,0	175	0,74
Exceptionnellement fort	300	1,25	225	0,94

[1] : MJ : Mégajoule = 1000 kJ

- *activités légères* : employés de bureau, membres des professions libérales (avocats, médecins, architectes, comptables), enseignants, employés de commerce, personnes exerçant des activités domestiques au moyen d'appareillage mécanique et électrique, sans emploi, etc.;

- *activités moyennes* : la plupart des ouvriers et ouvrières dans l'industrie légère, étudiants, travailleurs du bâtiment (sauf les travailleurs de force), agriculteurs (surtout dans l'agriculture traditionnelle), vendeurs des magasins, militaires (sauf de service en campagne), personnes exerçant des activités domestiques sans équipements mécaniques ou électriques, etc.;

- *activités fortes* : certains ouvriers agricoles, manœuvres, forestiers, militaires en période d'entrainement ou en service en campagne, mineurs, ouvriers de l'industrie lourde, athlètes, danseurs, etc.;

- *activités exceptionnellement fortes* : bûcherons, forgerons, tireurs de pousse-pousse, ouvriers du bâtiment, etc.

La distinction du travail selon le sexe n'est actuellement pas assez nette. Certaines activités autrefois exercées uniquement par les hommes sont aujourd'hui pratiquées aussi par les femmes. Par ailleurs, comme nous l'avons évoqué plus haut, la notion de pénibilité du travail a beaucoup évolué du fait du développement technologique.

Besoin d'entretien

La notion de métabolisme de base est artificielle, elle ne correspond pas à un état normal de l'individu. Même dans une existence sédentaire, il y a des besoins contingents suite aux actes courants de la vie. Le simple fait de se lever et de s'asseoir, de se déplacer ou de s'habiller entraine des dépenses d'énergie.

Par ailleurs, on définit la notion d'action dynamique spécifique des aliments (ADS) ou extra-chaleur comme étant la capacité qu'ont les aliments d'augmenter la dépense énergétique de fond (métabolisme de base) de l'organisme du simple fait de leur ingestion. Ainsi, pour pouvoir bénéficier de 100 kcal, il faut l'équivalent de 130 kcal en protéines, 114 kcal en lipides ou 105 kcal en glucides. On dit alors que l'ADS des protides est de 30%, celle des lipides de 14% et celle des glucides de 5%. Il s'agit d'une extra-chaleur. Elle mesure l'action dynamique des aliments à l'intérieur des tissus. Cette ADS se mesure donc par la différence du métabolisme de base d'un sujet avant et après un repas.

Les besoins d'entretien pour un adulte normal sédentaire n'effectuant aucun travail musculaire particulier et n'ayant qu'une faible régulation thermique à assurer sont estimés entre 2000 à 2100 kcal/jour.

Besoin de fonctionnement

Il s'agit des dépenses de l'individu menant une vie plus ou moins active. Des niveaux très divergents – certains résultant d'une expérimentation directe, d'autres étant des moyennes de taux réellement consommés – ont été proposés par différents spécialistes, allant de 2000-2200 jusqu'à 3119 kcal/jour.

Besoin de croissance

La période de croissance exige de l'énergie non seulement pour la synthèse de matériaux de construction mais aussi pour leur édification. La détermination du rendement énergétique de la croissance (REC) permet d'avoir une idée du besoin spécifique de croissance :

REC = EFO/(EA - ER - EE)

REC : rendement énergétique de la croissance
EFO : énergie fixée par l'organisme
EA : énergie des aliments
ER : énergie des résidus
EE : énergie d'entretien

Le REC réel se situerait entre 60 et 80%, le coût énergétique des synthèses nécessaires à la croissance étant la différence entre l'énergie fournie et celle retrouvée dans l'organisme.

Il est assez ardu d'estimer avec précision le besoin global du jeune en croissance car on doit tenir compte de deux paramètres évoluant en sens inverses : le besoin d'entretien qui augmente avec l'avancement de l'âge, et le besoin de croissance qui diminue. Les taux recommandés pour les individus de 1 à 19 ans se basent sur les consommations de fait de personnes en bonne santé.

Par ailleurs, la consommation énergétique peut s'éloigner plus ou moins des moyennes (jusqu'à 30%) selon l'activité physique. Si la dépense des jeunes sportifs est parfois très élevée, les enfants apathiques dépensent très peu d'énergie et peuvent devenir obèses avec des consommations inférieures aux niveaux recommandés.

Effet du sexe

On considère que le métabolisme de l'homme est supérieur de 20% à celui de la femme, toutes conditions étant identiques par ailleurs. Cependant, les dépenses énergétiques des deux sexes peuvent se rapprocher dans certaines sociétés si l'on tient compte du fait que, après son travail, l'homme se repose alors que la femme doit encore effectuer des tâches ménagères.

Certains spécialistes estiment que les besoins des garçons de 10 à 12 ans sont supérieurs à ceux des filles de même âge, alors que pour la FAO, le facteur sexe n'intervient qu'au-delà de 13 ans. Ainsi, les taux quotidiens recommandés sont de 2.400 et 3.600 kcal pour les filles et les garçons, respectivement. Le métabolisme de base et les différences d'activité, de poids corporel et de taux de croissance expliquent cet écart entre les deux sexes.

Effet de l'âge

On considère dans les standards officiels que l'âge adulte correspond à la tranche 24-60 ans. En fait, avec l'âge, le besoin de fonctionnement a tendance à chuter pour plusieurs raisons : baisse du métabolisme de base, plus grande habitude des gestes professionnels, diminution de la pratique sportive. Le tableau 3.4.2 précise les variations des besoins énergétiques selon l'âge à partir de 20 ans.

Tableau 3.4.2- Variations des besoins énergétiques en fonction de l'âge au-delà de 20 ans

Âge (ans)	Coefficient de variation
20-21	1,10-1,20
22-25	1,05
25-35	1[1]
35	0,95
40	0,90
60-70	0,70
>70	0,60

[1] : Le coefficient 1 est conventionnellement affecté à la dépense de l'homme de 25 à 35 ans

Besoin de grossesse

Une double dépense énergétique est engendrée par la grossesse, la première correspondant au dépôt intra-utérin d'«énergie matérielle», la seconde étant liée au métabolisme propre au fœtus.

Le métabolisme de base augmente chez la femme enceinte et, vers la fin de la grossesse, cette hausse atteint 20%. Par ailleurs, le coût de l'activité physique s'accroît du fait

de l'augmentation du poids. Les dépenses énergétiques totales pour toute la période de gestation sont estimées à 80.000 kcal, dont 40.000 kcal représentent le supplément occasionné par la grossesse. Partant de là, on recommande pour la femme enceinte un apport de 2.400 kcal/jour.

Il a été établi qu'une femme en bonne santé avec un poids normal avant grossesse et bénéficiant d'un régime correct au plan de l'énergie doit prendre 8 à 12 kg au cours de la grossesse (métabolisme gravidique). Un gain de poids plus faible dénote d'un état de sous-nutrition.

Par ailleurs, une partie de l'énergie emmagasinée pendant la grossesse peut être mobilisée au cours de la lactation ou carrément perdue par des activités physiques.

Besoin d'allaitement

L'énergie exigée par la lactation peut provenir directement de l'alimentation de la femme allaitante ou du catabolisme de ses réserves. On propose l'équation suivante pour son calcul, dans laquelle seuls les paramètres L et D sont mesurables directement :

$$L = e\,(D + S - M)$$

L : énergie exportée par le lait
D : énergie métabolisable de la ration
S : énergie des réserves maternelles
M : coût de l'entretien
e : facteur de rendement de la lactation

En réalité, il n'est pas aisé de chiffrer le rendement énergétique de la lactation. La production du lait maternel d'une femme allaitante au cours de la lactation est estimé à 850 ml/ jour. La densité énergétique du lait maternel est de l'ordre de 67 à 77 kcal/100 ml. L'efficacité énergétique de la conversion de l'énergie maternelle en énergie du lait est de 80 à 90%.

Donc l'énergie demandée pour la production de 850 ml/jour du lait maternel est de :

$$\frac{67 \text{ à } 77 \text{ kcal/100 ml} \times 850 \text{ ml/j}}{80 \text{ à } 90\%} \quad \text{soit 750 kcal/jour}$$

Parmi les réserves tissulaires accumulées par une femme au cours de la grossesse estimées de 8 à 12 kg, les lipides corporels représentent 2 à 4 kg. Ceux-ci peuvent être mobilisés pour répondre en partie à l'énergie nécessaire à la production du lait maternel. Cette participation peut fournir 200 à 300 kcal/j pour une durée de lactation de 3 mois, ou au 1/3 du coût énergétique de la production du lait au cours de cette période.

Un complément énergétique de 500 kcal/j $\left(750 - (200 \text{ à } 300)\right)$ doit être donc fourni à la mère allaitante au cours des 3 premiers mois de la lactation.

Il n'est pas aisé de chiffrer le rendement énergétique de la lactation maternelle.

En effet la production journalière de 850 ml de lait maternel pourrait demander selon une certaines sources une dépense énergétique de 1.000 kcal/j. Cependant il est très difficile de faire admettre à une femme même en période d'allaitement

d'augmenter sa consommation journalière de 1.000 kcal. C'est pourquoi la FAO a réduit cet apport supplémentaire à 800 kcal/j et que certains standards l'ont même abaissé à 600 voir 500 kcal/j, ce qui est compatible avec l'approche précédente.

Tenant compte de tout ce qui vient d'être dit, et malgré les difficultés rencontrées dans la quantification des besoins, on peut proposer un tableau des apports énergétiques recommandés selon l'âge, le sexe et les états particuliers de grossesse et d'allaitement (tableau 3.4.3).

Tableau 3.4.3- Apports énergétiques recommandés selon l'âge, le poids et la taille des individus

Catégorie	Âge (ans)	Poids (kg)	Taille (m)	Besoins en énergie (kcal)	
				Moyenne	Fourchette
Nourrisson	0,0-0,5	6	0,60	kg.115	kg.(95-145)
	0,5-1,0	9	0,71	kg.105	kg.(80-135)
Enfant	1-3	13	0,90	1.300	900-1800
	4-6	20	1,12	1.700	1.300-2.300
	7-10	28	1,32	2.400	1.650-3.300
Adulte de sexe masculin	11-14	45	1,57	2.700	2.000-3.700
	15-18	66	1,76	2.800	2.100-3.900
	19-22	70	1,77	2.900	2.500-3.300
	23-50	70	1,78	2.700	2.300-3.100
	51-75	70	1,78	2.400	2.000-2.800
	76	70	1,78	2.050	1.650-2.450
Adulte de sexe féminin	11-14	46	1,57	2.200	1.500-3.000
	15-18	55	1,63	2.100	1200-3.000
	19-22	55	1,63	2.100	1.700-2.500
	23-50	55	1,63	2.000	1.600-2.400
	51-75	55	1,63	1.800	1.400-2.200
	76	55	1,63	1.600	1.200-2.000
F. enceinte	-	-	-	Plus 300	-
F. allaitante	-	-	-	Plus 500	-

3.5- Problèmes liés aux apports en énergie

Parmi les troubles nutritionnels liés à l'énergie, on définit le *marasme*, maladie liée à des carences alimentaires, notamment une déficience en apport énergétique ou dénutrition. On définit également la *kwashiorkor.*

Le marasme (*marasmus*) est un terme désignant la condition des nourrissons et des enfants souffrant essentiellement d'une dénutrition totale, due à un apport énergétique drastiquement réduit. Il s'agit d'une dénutrition carentielle en général, et en énergie particulièrement. Le tableau du marasme est donc celui d'une maigreur extrême. Il est caractérisé par l'absence pratiquement complète de tissu cellulaire sous-cutané et de masse musculaire.

Quant au kwashiorkor, il s'agit d'une maladie infantile correspondant plutôt à une malnutrition, surtout protéique et/ou en d'autres nutriments (minéraux et vitamines) qui peut être associée également à une carence en énergie (kwashiorkor marasmique). Dans ce cas, on parle de malnutrition protéino-énergétique ou énergético-protéique. Il faut cependant noter que la kwashiorkor survient même en cas d'apport suffisant en énergie totale (sous forme de farine de céréales et de féculents par exemple) si le régime est carencé en protéines et micronutriments. Ce syndrome consiste en œdèmes (principalement aux mains et aux pieds), diarrhée, irritabilité, plaies (principalement sur les muqueuses). Il s'agit d'une pathogénie générale, extrêmement complexe et souvent confuse.

Les œdèmes sont des gonflements des tissus mous dus à une accumulation du liquide interstitiel. Celui-ci fait partie du liquide extra-cellulaire et remplit normalement l'espace entre les capillaires sanguins et les cellules, facilitant ainsi les échanges des nutriments et des déchets entre eux (voir chapitre 5, p. 72).

Marasme et kwashiorkor ont été observés et intensivement étudiés à partir de la seconde guerre mondiale, particulièrement dans les pays en voie de développement où sévissaient des disettes et où les productions agricoles et alimentaires étaient très réduites. Malheureusement, ces deux désordres continuent à sévir de nos jours dans les régions où les pénuries alimentaires sont toujours à l'ordre du jour pour diverses raisons (catastrophes naturelles, conflits locaux ou régionaux, etc.).

D'autre part, l'excès d'énergie provoque des maladies de surcharge (surpoids, obésité) et conduit à des troubles cardiovasculaires, à l'hypertension, au diabète, etc.

Afin d'apprécier l'état nutritionnel d'un individu, on définit l'indice de Quetelet ou Indice de Masse Corporelle (IMC) ou *Body Mass Index* (*BMI*). L'IMC est une grandeur qui permet d'estimer la corpulence d'une personne. Conçu au départ pour les adultes de 18 à 65 ans, l'IMC est actuellement applicable même aux enfants et adolescents de 0 à 18 ans. Cet indice est calculé en divisant la masse corporelle (en kilogramme) par le carré de la taille (en mètre).

$$\text{IMC} = \text{Masse (kg)}/\left[\text{Taille (m)}\right]^2$$

Le tableau 3.5.1 donne les valeurs de l'IMC pour différentes états de corpulence (voir aussi *Obésité*, p 261).

Tableau 3.5.1- Valeurs de l'IMC pour différents états de corpulence

Valeur de l'IMC	Situation de l'intéressé
< 16,5	Dénutrition ou famine
16,5-18,5	Maigreur
18,5-25	Corpulence normale
25-30	Surpoids
30-35	Obésité modérée
35-40	Obésité sévère
> 40	Obésité morbide ou massive

4- Glucides

4.1- Introduction

Constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène (C, H, O), les glucides sont des carbohydrates (ou hydrates de carbone), encore appelés saccharides. Ils sont importants pour l'organisme, bien qu'ils aient la mauvaise réputation d'être la cause du diabète, de l'obésité, des troubles cardiovasculaires et des caries dentaires. Ils constituent la plus grande portion des régimes alimentaires normaux, principalement sous forme d'amidon et plus particulièrement chez les populations à niveau de vie bas. De façon générale, la plus grande part de l'énergie alimentaire est apportée par les glucides qui, à l'exception du lactose et du glycogène, sont d'origine végétale.

Les glucides ont un rôle vital tant dans la structure des cellules que dans le métabolisme des êtres vivants. Ils sont très répandus, et particulièrement dans le monde végétal. Dans les fruits et légumes, leur teneur peut être très élevée, dépassant parfois 20% du poids, comme par exemple dans la partie comestible de la banane. Les principaux saccharides de faible poids moléculaire représentés dans les fruits et légumes sont le saccharose, le glucose et le fructose. Comme glucides complexes, on trouve essentiellement l'amidon et la cellulose chez les végétaux et le glycogène chez l'Homme et les animaux.

4.2- Besoins

Il ne semble pas exister de besoins spécifiques et clairement définis chez l'Homme en ce qui concerne les glucides. On estime cependant que, pour un besoin quotidien de 2700 kcal par jour, l'apport énergétique glucidique alimentaire doit être en moyenne de 1600 kcal (soit 55 à 63% de l'apport énergétique total) et ne doit pas, en tout cas, descendre en dessous de 500 à 600 kcal, soit environ 125 grammes de glucides. A titre indicatif, ces 125 g de glucides correspondant à 200 g de pain frais (l'équivalent au Maroc d'un pain rond standard ou d'une baguette).

Les glucides sont des sources de glucose et d'énergie. La teneur en glucose du sang (glycémie) doit être normale pour fournir le glucose nécessaire aux tissus de l'organisme : l'homéostasie glucidique doit être respectée. La glycémie doit être régulée pour éviter sa baisse excessive (hypoglycémie) ou son élévation exagérée (hyperglycémie). Ces fortes variations étant préjudiciables à la santé, le maintien d'une glycémie normale (entre 0,70 et 1,10 g/l chez l'adulte) est primordial.

Certains tissus ne peuvent fonctionner normalement qu'avec le glucose comme source d'énergie (cerveau et tissu nerveux, globules rouges et globules blancs, os, etc.). A défaut, ils utilisent d'autres sources énergétiques telles que les acides gras et les corps cétoniques qui en résultent, ce qui conduit à une intoxication de ces tissus.

L'apport quotidien total en glucose pour assurer ces besoins doit être de 300 g/j. Les sources possibles sont l'alimentation (le glycogène étant la forme de stockage des glucides principalement par le foie et accessoirement par le muscle, suite à une alimentation riche et particulièrement en glucides), la dégradation des réserves glucidiques ou glycogénolyse et le glucose néoformé (gluconéogenèse ou néoglucogenèse) à partir de divers substrats (figure 4.2.1).

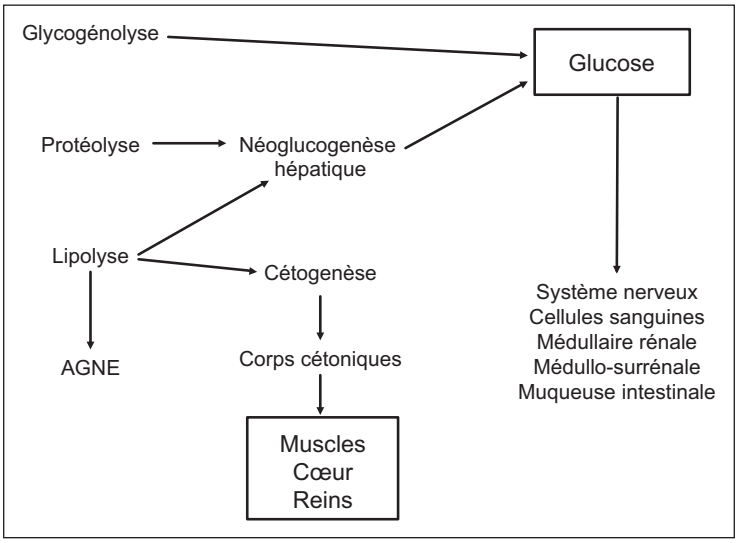


Figure 4.2.1- Différentes sources de glucose d'origine endogène pour l'organisme

(AGNE : acides gras non essentiels)

La gluconéogenèse est la synthèse de glucose à partir de produits non glucidiques : lactate, pyruvate, glycérol et certains acides aminés. Il s'agit d'un phénomène continu qui opère 24 heures sur 24 et fournit à l'organisme une partie du glucose dont il a besoin. Ce processus est contrôlé par l'état nutritionnel et hormonal de l'organisme. En particulier, en cas de régime riche en protéines et lipides et pauvre en glucose, ou en cas de faim prolongée, la néoglucogenèse est activée pour fournir du glucose. Le foie et les reins (cortex) sont les tissus les plus glucogéniques, mais d'autres tissus peuvent participer à ce phénomène.

Comme le montre la figure 4.2.1 ci-dessus, les lipides peuvent donner naissance, à travers la cétogenèse, à des corps cétoniques qui pourront éventuellement être utilisés comme sources d'énergie par les muscles, le cœur et les reins en cas de manque de glucides.

Par ailleurs, les acides aminés sont potentiellement sources de glucose, sauf la leucine. Un cycle alanine a été particulièrement identifié, impliquant la conversion de l'alanine en glucose et la reconversion de ce dernier en alanine (figure 4.2.2). Dans ce mécanisme, le pyruvate dérivant de l'oxydation du glucose dans le muscle est transaminé[6], formant l'alanine, qui est transportée au foie où son squelette carboné est reconverti en glucose. Ce cycle est important dans la gluconéogenèse quand l'apport exogène en glucose est faible et les demandes métaboliques des substrats oxydables sont élevées comme c'est le cas dans les exercices physiques intenses.

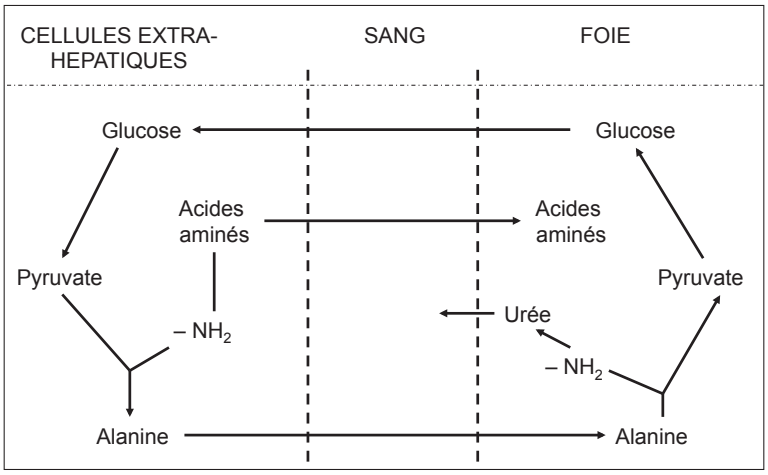


Figure 4.2.2- Reconversion de l'alanine en glucose selon le cycle alanine

Ce cycle est aussi important dans le métabolisme de l'azote. En transférant les groupes amines du muscle au foie, l'alanine joue un rôle alternatif non toxique à l'ammoniac NH_4^+.

Le glycogène hépatique, sous contrôle de l'hormone glucagon, peut fournir environ 80 g de glucose par jour après biodégradation ou glycogénolyse (figure 4.2.3). Immédiatement utilisable, le glycogène hépatique peut maintenir une glycémie normale pendant environ 12 heures. Quant au glycogène d'origine musculaire, il ne participe pas au maintien de la glycémie, mais plutôt au travail des muscles.

La néoglucogenèse est un phénomène qui opère de façon ininterrompue, 24 heures sur 24, afin d'assurer le maintien d'une glycémie normale (figure 4.2.4). Pendant les premiers jours de privation alimentaire, la néoglucogenèse est essentiellement hépatique. Les substrats utilisés sont l'alanine provenant de la dégradation des protéines (60% du pool), le lactate (30%) et le glycérol (10%)[7].

6- *La transamination est le transfert d'une fonction amine d'un radical à un autre.*

7- *L'alanine provient de la protéolyse musculaire. Le pyruvate résultant de la dégradation du glycogène ou du glucose dans le muscle est transaminé principalement par les acides aminés ramifiés comme la valine, la leucine ou l'isoleucine pour donner l'alanine.*

Le lactate est d'origine glucogénolytique et glycolytique et provient principalement du muscle, des cellules sanguines et de la muqueuse intestinale. Le lactate est transformé en glucose par le foie.

Le glycérol provient de la lipolyse des triglycérides du tissu adipeux sous contrôle hormonal (insuline, glucagon et cathécolamines) activant ainsi la lipolyse à travers la glycéride-lipase.

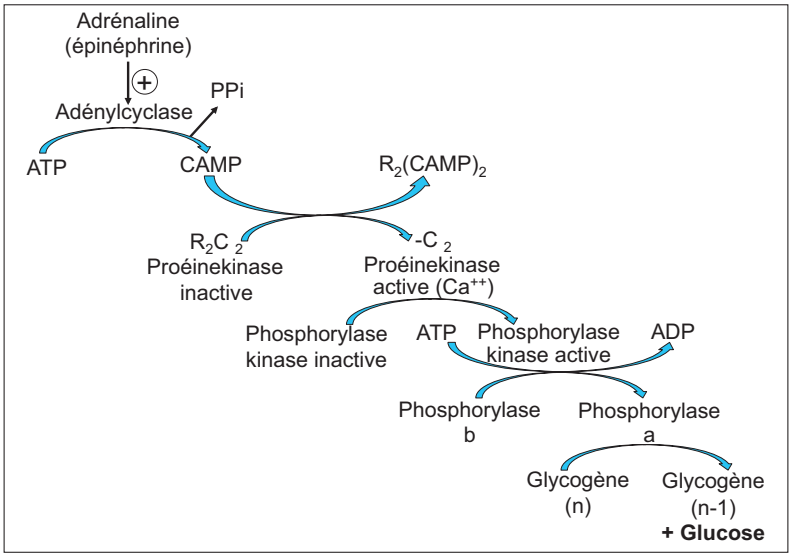


Figure 4.2.3- Schéma de la glycogénolyse

(+ : activation; ADP : Adénosine Di Phosphate; ATP : Adénosine Tri Phosphate; CAMP : Adénosine Mono Phosphate Cyclique; R_2C_2 : Protéine kinase inactive; C_2 : Protéine kinase active, l'ion Ca^{2+} étant nécessaire pour son activité)

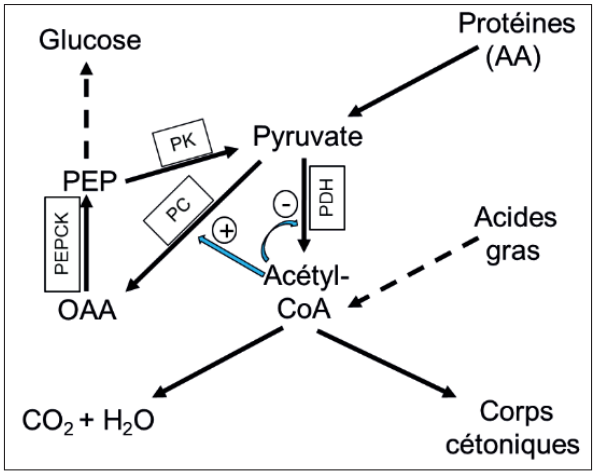


Figure 4.2.4- Schéma de la gluconéogenèse

(+ : activation; - : inhibition; AA : acides aminés; OAA : Acide oxaloacétique; PC : Pyruvate carboxylase; PDH : Pyruvate déhydrogénase; PEP : Acide phospho énol pyruvique; PEPCK : Phospho énol pyruvate carboxy kinase; PK : Pyruvate kinase)

Le glucose obtenu par voie glucogénolytique puis néoglycogénolytique (180 g par jour) est produit dans les conditions d'insulinémie basse. Ce glucose sert de façon privilégiée aux tissus capables de l'utiliser en l'absence d'insuline. C'est essentiellement le cas du système nerveux (144 g par jour), mais aussi des cellules sanguines, de la muqueuse intestinale et de la médullaire rénale et médullorénale.

Le cerveau et l'ensemble du système nerveux se caractérisent par :

- une consommation très élevée de glucose;
- une consommation très élevée d'oxygène O_2, plus importante que dans tout autre tissu de l'organisme; 25% du volume d'O_2 utilisé par l'organisme humain adulte (50% chez l'enfant jusqu'à 4 ans) sont consommés par le cerveau et le système nerveux;
- une production de gaz carbonique CO_2 telle que le quotient respiratoire (rapport du volume de CO_2 produit sur celui d'O_2 consommé) est égal à 1;
- une excellente corrélation, donc, entre la consommation de glucose et celle d'O_2 et la production de CO_2.

On estime que 90% du glucose qui entre dans le cerveau et le système nerveux se retrouvent sous forme de CO_2 et d'eau H_2O, une petite proportion étant convertie en pyruvate et lactate. Le cerveau et le système nerveux sont très étroitement dépendants du glucose. Quand le taux de glucose dans le sang diminue chez l'individu normal, la consommation d'O_2 par le cerveau et le système nerveux baisse et peut aller jusqu'à cesser, ce qui conduit à une défaillance cérébrale. Le glucose semble le seul hexose doté de cette faculté. Contrairement aux tissus nerveux, d'autres tissus comme les muscles ou les reins continuent à consommer de l'oxygène même en cas de niveau bas de glycémie.

La phase initiale du métabolisme des glucides ou glycolyse se fait en aérobiose suivant plusieurs étapes et aboutit à l'acide pyruvique. Celui-ci peut, en cas d'anaérobiose (manque d'oxygène) être converti en acide lactique (figure 4.2.5), phénomène qui se produit notamment dans le muscle soumis à un effort intense.

Le glycogène est un polymère du glucose. Il constitue la forme de réserve des glucides dans l'organisme animal et humain. Sa formation, ou glycogenèse, implique l'addition d'une unité glucose à la chaîne de glycogène déjà formée (figure 4.2.6). Etant donné que la molécule de glycogène n'est pas stable puisqu'elle est en constante modification, soit par ajout d'une unité glucose soit son enlèvement, le glycogène est désigné comme étant formé de n molécules de glucose.

4.3- Différentes catégories de glucides et sources

Dans un régime alimentaire normal, la plupart des glucides sont fournis par des produits à base de céréales (blé, orge, riz, maïs, sorgho, etc.), de légumineuses en sec (pois chiche, fève, haricot, lentille, etc...) ou de tubercules et racines (pomme-de-terre, patate douce, manioc, igname, etc...). Au Maroc, par exemple les céréales, et plus particulièrement le blé et l'orge, représentent environ 60% de l'apport énergétique (et 70% de l'apport protéique). Les fruits frais (agrumes, fruits à pépins, fruits rouges, etc...) ou fruits séchés (abricots, pruneaux, figues, dattes, raisins, kiwi, etc...) sont une autre bonne source de glucides, ainsi que certains légumes.

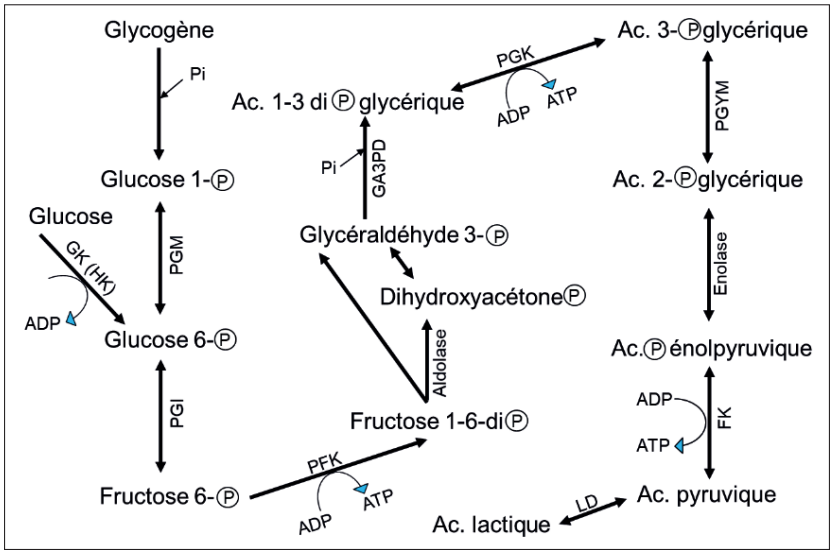


Figure 4.2.5- Schéma de la glycolyse

(Ac. : Acide; ADP : Adénosine Di Phosphate; ATP : Adénosine Tri Phosphate;
FK : Fructo kinase; GK (HK) : Gluco kinase (ou Hexo kinase);
GA3PD : Glycéraldéhyde 3 Phospho déhydrogénase; LD : Lactico déshydrogénase;
PFK : Phospho fructo kinase; PGI : Phospho gluco isomérase; PGK : Phospho glycéryl kinase;
PGM : Phospho gluco mutase; PGYM : Phospho glycéryl mutase)

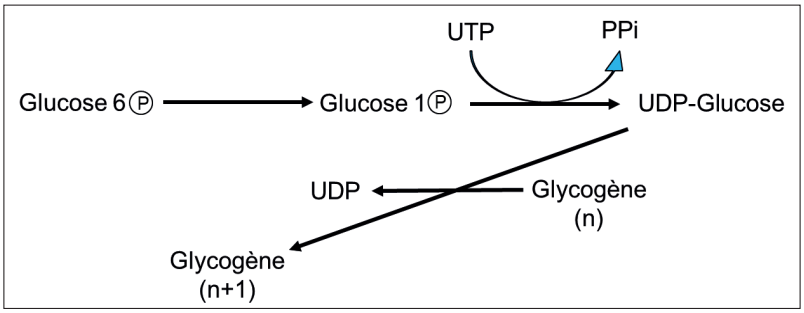


Figure 4.2.6- Schéma de la glycogenèse

(UDP : Uridine Diphosphate; UTP : Uridine Triphosphate)

Glucides simples (monoholosides)

Parmi les glucides simples, on trouve essentiellement le glucose, le fructose et le galactose.

Glucose

Il est le plus important physiologiquement. Il est présent en tant que tel dans certains aliments (tableau 4.3.1), mais il est surtout libéré au cours de la digestion à partir de l'amidon et du glycogène (glucides complexes), ou du saccharose et du lactose (diholosides).

Galactose

Sa source unique est le lactose du lait. Il entre dans la composition de glycoprotéines, importantes dans les structures membranaires.

Fructose

Il est présent à l'état libre dans les fruits (tableau 4.3.1) ou associé au glucose pour former du saccharose, notamment dans les plantes sucrières (canne et betterave). Le fructose est reconverti en glucose dans l'organisme du consommateur. Il est intéressant en cas de diabète, car la quantité de fructose convertie en glucose est seulement de 43%.

La figure 4.3.1 donne les structures de ces 3 hexoses.

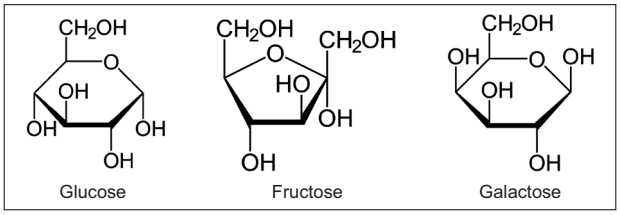


Figure 4.3.1- Structure cyclique du glucose, du fructose et du galactose

Diholosides

Les principaux diholosides sont le lactose, le saccharose et le maltose (figure 4.3.2).

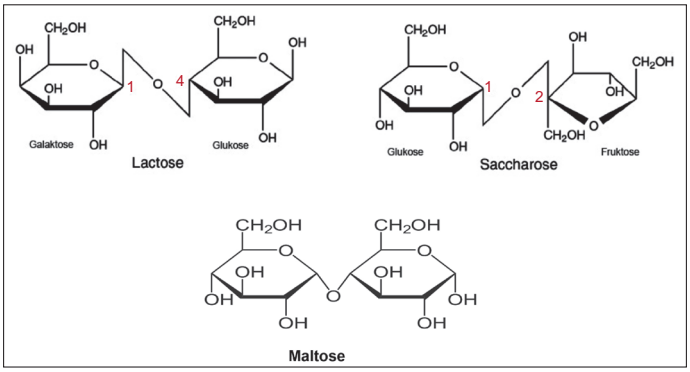


Figure 4.3.2- Structure des diholosides lactose, saccharose et maltose

Lactose

Il fournit le glucose et le galactose. Ce dernier est mieux absorbé que le glucose, avec un taux d'absorption de 110% (celui du glucose étant conventionnellement de 100%). Il est important pour les nourrissons. Notons que certaines personnes, présentant une intolérance au lactose, ne peuvent consommer le lait ou les produits laitiers non fermentés (voir *Intolérance au lactose*, p. 255).

Saccharose

C'est un diholoside constitué d'un glucose et d'un fructose. Il se trouve dans de nombreux fruits (tableau 4.3.1), mais surtout dans les plantes sucrières (betterave et canne à sucre) dont il est extrait dans les sucreries industrielles.

Tableau 4.3.1- Richesse de divers fruits, légumes et céréales en glucose, fructose et saccharose (g pour 100 g)

	Glucose	**Fructose**	**Saccharose**
Pomme	1,17	6,04	3,78
Raisin	6,86	7,84	2,25
Pêche	0,91	1,18	6,92
Poire	0,95	6,77	1,61
Cerise	6,49	7,38	0,22
Fraise	2,09	2,40	1,03
Betterave	0,18	0,16	6,11
Brocoli	0,73	0,67	0,42
Carotte	0,85	0,85	4,24
Concombre	0,86	0,86	0,06
Endive	0,07	0,16	0,07
Oignon	2,07	1,09	0,89
Epinard	0,09	0,04	0,06
Patate douce	0,33	0,30	3,37
Tomate	1,12	1,34	0,01
Pois	0,32	0,23	5,27
Maïs sucré	0,34	0,31	3,03
Grain de maïs	0,2-0,5	0,1-0,4	1-2
Grain de blé	< 0,1	0,1	1

Certains produits manufacturés peuvent contenir des teneurs très élevées en saccharose (tableau 4.3.2).

Tableau 4.3.2- Richesse en saccharose de produits manufacturés (g pour 100 g)

Produits alimentaires	Teneur en saccharose
Jus d'orange	10
Biscuits	12
Crème glacée	18
Gâteaux	36
Confitures	50-80

Maltose

Le maltose est un diholoside formé de 2 molécules de glucose. Il est libéré lors de la digestion de l'amidon après l'action des enzymes dites amylases ou ptyalines. C'est un sucre qui donne au malt son goût et sa consistance collante, le malt étant le produit obtenu par germination puis séchage de l'orge comme première étape de l'élaboration de la bière.

Les amylases sont présentes dans les 3 sucs digestifs : la salive au niveau de la bouche, le jus pancréatique dans l'intestin grêle et le jus intestinal ou les parois intestinales. L'amylase salivaire, mixée avec les aliments dans la bouche, agit sur l'amidon dans un milieu plutôt alcalin, transformant l'amidon en carbohydrates plus simples connus sous le nom de dextrines. Si l'amidon séjourne dans la bouche suffisamment longtemps avant d'être attaqué par l'acide chlorhydrique dans l'estomac, il est transformé en maltose. La transformation de l'amidon en dextrines peut s'opérer également sous l'effet de la chaleur. Cette dextrinisation, résultant de pratiques culinaires ou de traitements industriels, rend l'amidon plus digeste. L'amidon donne alors des disaccharides (maltose) digestes et des trisaccharides (indigestes).

Glucides complexes

Les glucides complexes des produits végétaux sont variés : on trouve l'amidon (constitué d'amylose et d'amylopectines), puis les dextrines, la cellulose, l'hémicellulose, la pectine et l'inuline. Dans les produits d'origine animale, on trouve le glycogène, appelé parfois l'amidon animal.

Amidon

L'amidon couvre près de 80% des besoins de l'humanité en matière d'énergie alimentaire. Il se trouve dans les tubercules (pomme-de-terre, patate douce, manioc, igname, etc.), les céréales et les légumineuses. C'est un sucre lent, la fourniture d'énergie étant étalée dans le temps (digestion lente). L'amidon est indigeste à l'état cru, surtout celui des tubercules. Sa cuisson (à l'état sec ou humide) le décompose en dextrines digestibles.

L'amidon est formé le plus souvent de deux constituants (figuré 4.3.3) :

- l'amylose, un polyholoside à chaînes linéaires, formées d'unités de D glucose, liées par des liaisons α 1 → 4 glucosidiques comme dans le maltose. Ces chaînes de longueurs variables peuvent s'associer par le jeu des liaisons hydrogène formant ainsi des structures compactes;
- l'amylopectine ou isoamylose, un polyoside formé de chaînes principales identiques à celles de l'amylose (liaison α 1 → 4 glucosidique) mais sur lesquelles viennent s'attacher, par des liaisons α 1 → 6 glucosidiques, des chaînes latérales ayant la même structure que les chaînes principales.

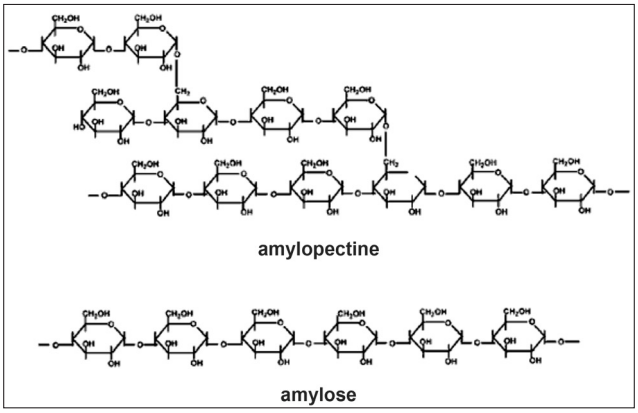


Figure 4.3.3- Structure de l'amylose et de l'amylopectine

Cellulose et fibres

On distingue :

- les fibres brutes (*Crude fiber*) formées essentiellement de cellulose et de lignine;
- les fibres alimentaires (*Dietary fiber*) comprenant l'hémicellulose, la cellulose, la lignine, les pectines et les algalpolysaccharides.

Précisons que :

- la cellulose est un polymère de 1,4 β D-glucose non branché, avec des propriétés hydrolytiques. La cellulose est donc un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D glucose. Il s'agit d'un biopolymère, constituant principal de la paroi des cellules végétales et également du bois;
- l'hémicellulose est un polymère de pentoses (sucres à 5 carbones) ou d'hexoses (sucres à 6 carbones) souvent ramifié lié avec des ions;
- la lignine est un phénylpropane, non carbohydrate, ayant des capacités de liaison;
- Les pectines constituent un ensemble complexe de macromolécules. Les pectines sont des polysaccharides caractérisés principalement par un squelette d'acide α D galacturonique et de faible quantité de α L rahmnose (6-désoxyhexose)

plus ou moins ramifiés. Les polymères d'acide (α) D galacturonique sont liés en (1→4). Les pectines sont constitués de chaînes principales et de chaînes branchées. Les monomères sont donc variés ainsi que les types de branchements. Les pectines ont des propriétés de formation de gel;

- les algalpolysaccharides ont également des caractéristiques de formation de gel.

Le taux de fibres dans les farines varie inversement avec le taux d'extraction (quantité, en g, de farine obtenue à partir de 100 g de blé entier). En effet, le son, qui représente 15 à 20% du grain entier, est la fraction la plus concentrée en fibres.

Le tableau 4.3.3 donne les teneurs en carbohydrates totaux et en fibres dans différents aliments.

Tableau 4.3.3- Richesse de différents aliments en carbohydrates totaux et en fibres (g pour 100g)

Aliment	Carbohydrates totaux	Fibres
Sucre granulé	99,5	0
Sucre roux	96,4	0
Amidon de maïs	87,6	0,1
Raisins secs	77,4	0,9
Farine (tout usage)	76,1	0,3
Pâtes alimentaires (sec)	75,2	0,3
Fondant au chocolat	75,0	0,2
Sirop d'érable	65,0	-
Pain blanc enrichi	50,5	0,2
Pain de blé entier	47,7	1,6
Muffins	42,3	0,1
Riz entier	24,2	0,1
Pâtes alimentaires cuites	23,0	0,1
Bananes	22,2	0,5
Pommes de terre cuites	21,1	0,6
Crème glacée	20,6	0,8
Haricots de Lima cuits	19,8	1,8
Maïs cuit	18,8	0,7
Raisins	15,7	0,6
Pommes (non épluchées)	14,5	1,0
Soda au gingembre	8,0	-
Haricots verts	7,1	1,0
Chou	5,4	0,8
Foie de bœuf	5,3	0
Lait entier	4,9	0
Huîtres crues	3,4	0
Poires cuites	2,0	0,6

Glycogène

Le glycogène est un polymère du glucose de structure arborescente. Il se présente sous la forme d'une chaîne de molécules de glucose liées en α 1-4 et est comme l'amylopectine ou branché en α 1-6 tous les huit ou douze résidus. Le glycogène est souvent très ramifié et comporte davantage de liaison α 1 → 6 glycosidiques. Il est utilisé par les animaux pour stocker du glucose et de l'énergie chimique dans le foie et les muscles. Il permet de libérer rapidement en cas de besoin du glucose au même titre que l'amidon chez les végétaux.

Inuline

L'inuline est un glucofructane (polymère de fructose avec du glucose) avec un poids moléculaire de 5000 à 5400. Elle est présente dans de nombreuses plantes, notamment dans les tubercules du topinambour et les racines de chicorée, mais aussi dans le cardon, l'artichaut et les céréales, de même que dans certains légumes et fruits (oignon, laitue, asperge, banane). Elle est également produite par des variétés transgéniques de pomme de terre et de betterave à sucre, ce qui permettrait d'augmenter sa disponibilité pour l'usage en tant que prébiotique.

Notons qu'il existe des substances nommées glycoprotéines qui résultent de la combinaison de glucides avec des protéines, et qui participent notamment à la construction des membranes cellulaires. Les galacto-protéines (avec le galactose comme glucide), en particulier, jouent un rôle protecteur, par exemple en cas de piqûre d'abeille.

Les maladies liées aux glucides alimentaires (intolérances, malabsorption, etc.) seront traitées plus loin (voir *Désordres sanitaires liés aux glucides*, p. 255).

La figure 4.3.4 donne un aperçu sur les diverses voies de digestion des glucides ou carbohydrates.

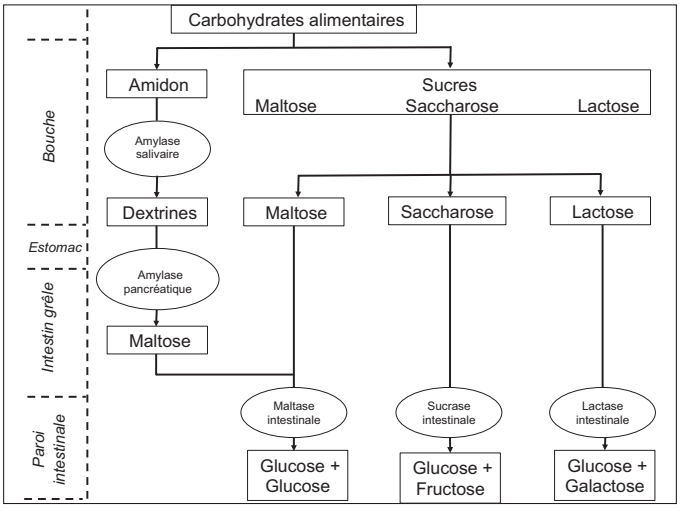


Figure 4.3.4- Schéma des différentes voies de digestion des glucides

4.4- Glucides sources d'énergie

La production d'énergie sous forme d'ATP se produit au cours de la glycolyse et à travers le cycle de Krebs (voir figure 1.3.3, p. 20).

En aérobiose, la combustion totale du glucose est une oxydation complète selon la réaction suivante :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686 \text{ kcal}$$

En réalité, l'oxydation complète d'une molécule de glucose ne fournit que 38 ATP. Comme chaque ATP correspond à 8 à 10 kcal, cela ne représente que 304 à 380 kcal, soit une efficience énergétique de 45 à 57% par rapport aux 686 kcal produites après combustion totale, le reste (343 kcal) étant libéré sous forme de chaleur (figure 4.4.1).

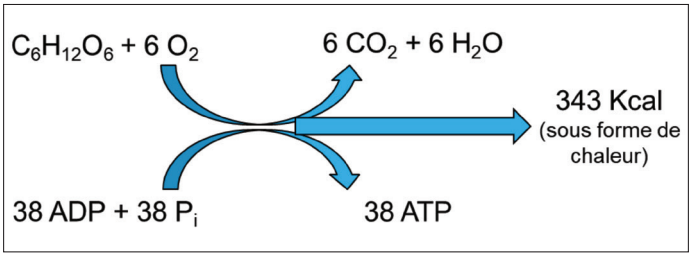


Figure 4.4.1- Bilan énergétique de la combustion aérobie du glucose

Le total de 38 ATP produits en aérobiose reste cependant considérable par rapport au métabolisme anaérobie qui ne fournit que deux ATP par molécule de glucose.

Ainsi, lorsque l'oxygène est disponible, l'oxydation peut se poursuivre à travers le cycle de Krebs et le gain d'énergie sous forme d'ATP est très important. Seules quelques espèces de microorganismes peuvent se contenter de la dégradation du glucose en milieu anaérobie pour satisfaire leurs besoins en énergie. Chez l'animal comme chez l'Homme, ce système ne fonctionne que pendant un temps très limité, le temps que l'oxygénation soit rétablie. De là l'on comprend bien le rôle et l'importance de l'oxygène.

Par ailleurs, les produits finaux de la glycolyse en anaérobiose, à savoir l'acide lactique et l'éthanol (alcool éthylique) sont relativement toxiques. Si leurs concentrations dépassent un certain seuil, il se produit l'arrêt du métabolisme dans les cellules concernées, particulièrement dans le cerveau, le système nerveux, les globules blancs et rouges, les os, etc.

Le muscle peut se contracter en anaérobiose et ceci demande de l'énergie. Dans ces conditions, il y a production d'acide lactique en plus grandes quantités que si le muscle travaille en aérobiose, jusqu'à la fatigue et l'épuisement de l'activité musculaire (voir *Nutrition et Sport*, p. 197). Si l'oxygène est à nouveau fourni au muscle, l'acide lactique disparaît et l'activité musculaire redevient normale.

5- Protides et autres matières azotées

5.1- Généralités

Les principales matières azotées des aliments sont les protides[8]. Les protides sont un ensemble de composés azotés comprenant les acides aminés (AA) et toutes les substances qui, par hydrolyse, libèrent des AA. Il s'agit des dipeptides (2 AA), des oligopeptides (3 à 10 AA), des polypeptides (10 à 100 AA) et des protéines (plus de 100 AA).

Pour être complète et équilibrée, l'alimentation humaine doit contenir des quantités bien déterminées d'énergie sous forme de lipides, de glucides et de protides, ainsi que des vitamines et des minéraux. L'importance des protides réside cependant davantage dans la fourniture des acides aminés pour la synthèse des protéines de l'organisme, ainsi que d'autres composés azotés d'intérêt physiologique.

Parmi tous les éléments cités ci-dessus, les protides, sous forme de protéines, sont certainement les plus difficiles à se procurer tant en quantité qu'en qualité, et cela pour plusieurs raisons :

- les protéines les mieux équilibrées du point de vue de leur composition en acides aminés essentiels sont celles d'origine animale, mais elles sont les plus coûteuses; il faut 8 à 10 kg d'aliments d'origine végétale (souvent comestibles par l'Homme) pour produire 1 kg de viande bovine;
- les protéines végétales, souvent apportées par les céréales (mais aussi par les légumineuses en sec où elles sont relativement bien équilibrées) constituent la base de l'alimentation d'une population très nombreuse à travers le Monde; les protéines des céréales sont moins équilibrées à cause de la déficience d'un ou plusieurs acides aminés essentiels [voir *Acide aminé banal et acide aminé essentiel (ou indispensable),* p. 64], bien qu'il n'y ait jamais manque total; cependant, une bonne combinaison de ces protéines végétales (légumineuses et céréales par exemple) peut être aussi efficace que les protéines animales;

8- *Bien que moins importants que les protides dans l'alimentation, les acides nucléiques doivent être mentionnés comme substances azotées d'intérêt biologique et physiologique (voir Acides nucléiques, p. 72).*

- des populations refusent parfois de consommer d'excellentes protéines disponibles pour diverses raisons : la viande de porc dans les pays musulmans car interdite par l'Islam, la viande bovine et les poissons en Inde et dans d'autres pays asiatiques, également pour des motifs religieux ou culturels, ou les œufs ailleurs, car considérés comme responsables de la stérilité des femmes ou de les rendre trop amoureuses;
- enfin, les facteurs économiques jouent un rôle très important, les aliments riches en protéines de bonne qualité sont souvent considérés comme des produits de luxe à cause de leur prix élevé.

La consommation des protéines est vitale durant toutes les périodes de la vie. Non seulement elles ont un rôle dans la croissance et le développement des organes, mais elles entrent aussi dans la composition des enzymes qui catalysent toutes les réactions métaboliques. Elles interviennent également dans la synthèse des hormones et contribuent chez l'enfant au développement des organes immunitaires (thymus, tissu lymphatique, rate, etc.) sièges de la fabrication des anticorps. La carence protéique chez l'enfant le rend inapte à lutter contre les infections de toutes natures, surtout dans les régions tropicales et subtropicales où l'on rencontre la dénutrition et la malnutrition sous leurs formes les plus sévères (marasme et kwashiorkor).

5.2- Rôle des protides

Les protides constituent des sources d'azote pour l'organisme. Ils comprennent les protéines, qui sont constituées d'acides aminés, et d'autres substances azotées non protéiques.

Les protéines jouent un rôle structurel et un autre fonctionnel :

- rôle structurel : édification des tissus corporels, notamment les tissus de soutien (muscles, squelette avec la matrice osseuse faite de collagène, etc.), formation des cellules (notamment les membranes lipo-protéiques) et entretien de ces tissus;
- rôle fonctionnel : synthèse d'enzymes, d'hormones, d'anticorps, de neurotransmetteurs (ex. : dopamine et sérotonine synthétisées à partir de deux acides aminés résultant de la décomposition des protéines, tyrosine et tryptophane, respectivement), régulation (pression osmotique, équilibre acido-basique, équilibre hydrique);
- apport d'énergie [voir *Sources (d'énergie)*, p. 37].

5.3- Composition des protéines

L'accumulation des protéines au cours de la croissance et du développement de l'organisme, de même que l'entretien de ses différentes protéines tissulaires et fonctionnelles à l'âge adulte, constituent des objectifs fondamentaux pour son bien-être nutritionnel et sanitaire.

De ce fait, la connaissance de la composition des protéines alimentaires et leurs valeurs nutritionnelles est fondamentale à cet égard.

Dans les protéines, en plus des liaisons peptidiques unissant les acides aminés, d'autres types d'interactions interviennent pour leur conférer une structure tridimensionnelle.

Ces liaisons sont au nombre de quatre: la liaison disulfure (ou pont disulfure), la liaison ionique (ou liaison saline), la liaison hydrogène et la liaison hydrophobe.

Les protéines sont donc formées de longues chaînés polypeptidiques, ce qui constitue leur structure primaire. Mais l'existence des autres types de liaisons, en plus des liaisons peptidiques, leur confère des structures secondaire (état étiré ou en feuillets plissés), tertiaire (protéines globulaires, constituant la plupart des protéines biologiquement actives) et même quaternaire (plusieurs chaînes polypeptidiques ou sous-unités, protéiques ou non, pouvant alors s'associer de manière spécifique).

Les protéines sont, en général, de grosses molécules constituées d'unités simples appelées acides aminés (AA). La molécule de tout acide aminé contient au moins une fonction acide (acide carboxylique –COOH) et une fonction amine ($–NH_2$). Les AA sont liés entre eux au sein de la protéine par des liaisons dites peptidiques (CO–NH–), formant ainsi une longue chaîne.

Sur le plan biochimique, les AA sont groupés en plusieurs classes. Comme leur nom l'indique, tous les AA comportent une fonction acide et une fonction amine primaire, en position α par rapport au carboxyle (figure 5.3.1) (sauf la proline et l'hydroxyproline).

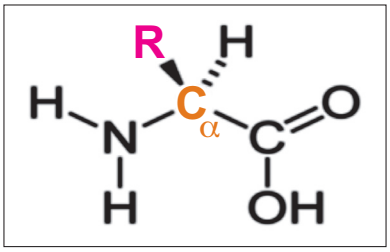


Figure 5.3.1- Structure générale d'un acide aminé

On trouve dans les protéines, quelle que soit leur origine, une vingtaine d'AA qui diffèrent entre eux notamment par la nature du radical R (figure 5.3.2). Ils sont groupés en plusieurs classes.

Acides aminés aliphatiques

Acides aminés à chaîne hydrocarbonée

- Glycine ou Glycocolle (Gly) : c'est l'AA le plus simple (le radical R est un H); elle est très répandue dans les protéines, particulièrement la gélatine; elle entre également dans la composition des acides biliaires et participe au processus de détoxification au niveau du foie;

- Alanine (Ala) : c'est l'homologue supérieur de la glycine (R étant le radical méthyl CH_3); la β-Alanine est un isomère de l'alanine.

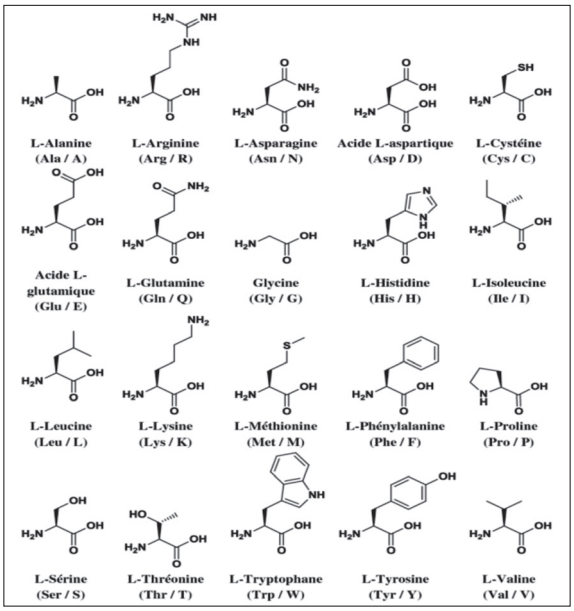


Figure 5.3.2- Structure chimique des 20 principaux acides aminés

La structure des autres AA dérive de celle de l'alanine par substitution de divers groupements à un H du radical méthyl :

- Valine (Val) : acide α-amino-isovalérique;
- Leucine (Leu) : acide α-amino-isocaproïque;
- Isoleucine (Ile) : acide α-amino-β-méthylvalérique.

L'Homme et la plupart des animaux ne peuvent pas synthétiser ces 3 AA, de sorte que ceux-ci doivent être apportés par l'alimentation. Ils font partie du groupe des AA *indispensables* ou *essentiels*.

Acides aminés hydroxylés

- Sérine (Ser) : l'hydroxyle (OH) de la sérine peut être estérifié par l'acide phosphorique; on obtient alors la phosphosérine, caractéristique des phosphoprotéines telles que la vitelline du jaune d'œuf;
- Thréonine (Thr) : homologue supérieur de la Sérine (elle est indispensable à l'Homme).

Acides aminés soufrés

- Cystéine (Cys) : elle diffère de la sérine par un SH à la place d'un OH; ce groupement SH (thiol) a un rôle important dans certaines enzymes qui perdent

leur activité quand le SH se trouve bloqué ou même lorsqu'il est simplement oxydé avec formation d'un pont disulfure $–CH_2–S–S–CH_2–$; deux molécules de cystéine liées par un pont disulfure donnent la Cystine;

- Méthionine (Met) : c'est un AA indispensable à l'Homme, présent dans de nombreuses protéines, quoique parfois en faibles quantités.

Acides aminés dicarboxyliques et leurs amides

Les AA dicarboxyliques ont deux fonctions acides. Les amides sont des composés organiques dérivés des acides carboxyliques. Un amide possède un atome d'azote lié à son groupe carbonyle.

- Acide aspartique (Asp) et son amide l'asparagine (Asn);
- Acide glutamique (Glu) et son amide la glutamine (Gln).

Les acides aspartique et glutamique sont très répandus dans les protéines. Ils jouent un rôle important dans les processus de transamination (transfert de la fonction amine d'une molécule à une autre). Les deux amides se trouvent également dans les protéines et jouent un rôle important dans le transport et la mise en réserve de l'azote aminé chez les végétaux (asparagine) et les animaux (glutamine).

Acides aminés basiques

- Lysine (Lys) : elle a un deuxième radical $–NH_2$ dans sa partie terminale. C'est un AA indispensable; dans certaines protéines comme le collagène et la gélatine, on trouve l'hydroxylysine;
- Arginine (Arg) : cet AA est abondant dans les protéines basiques des noyaux cellulaires, les histones et les protamines; il joue un rôle très important dans le cycle de l'uréogenèse; en outre, l'arginine-phosphate joue un rôle important dans la mise en réserve de l'énergie chez les invertébrés; il s'agit du même rôle que joue la créatine-phosphate chez les vertébrés;
- Histidine (His) : ce n'est pas un AA aliphatique car il comporte un noyau imidazole; cependant, il a les caractéristiques d'un AA basique; on peut le grouper avec le tryptophane et la proline qui sont des AA hétérocycliques; l'histidine est très répandue, notamment dans les globines (hémoglobine du sang et myoglobine des muscles).

Acides aminés cycliques

Acides aminés aromatiques

- Phénylalanine (Phe) : acide α-amino-β-phényl-propionique, indispensable à l'Homme;
- Tyrosine (Tyr) : acide α-amino-β-(para-hydroxy-phényl)-propionique; la tyrosine dérive de la phénylalanine par hydroxylation du groupement phénolique, lui

conférant un caractère d'acide faible; le métabolisme de la tyrosine conduit à divers composés importants tels que des hormones (adrénaline, thyroxine) et des pigments (mélanines);

- Tryptophane (Trp) : acide α-amino-β-indole-propionique ou β-indole-alanine, indispensable à l'Homme.

Acides aminés hétérocycliques

- Proline (Pro) et son dérivé l'Hydroxyproline : la proline est très répandue; l'hydroxyproline l'est moins, mais on la trouve en quantité non négligeable dans le collagène.

A côté de ces AA constitutifs des protéines, on peut rencontrer certains AA plus rares. En particulier, l'Ornithine et la Citrulline sont deux AA qui jouent un rôle important dans l'uréogenèse.

Acide aminé banal et acide aminé essentiel (ou indispensable)

Sur la vingtaine d'AA généralement représentés dans les protéines naturelles, 8 à 10 doivent absolument être apportés par l'alimentation, ce sont les AA essentiels. Un AA essentiel est soit non synthétisé par l'organisme soit synthétisé de façon insuffisante et trop lente. Les tableaux 5.3.1 et 5.3.2 précisent la nature de ces AA essentiels et les besoins correspondants pour l'adulte de sexes féminin et masculin, d'une part, et pour les nourrissons et les enfants, d'autre part.

Tableau 5.3.1- Besoins quotidiens en acides aminés essentiels et en protéines (g/jour) pour l'adulte

Acides aminés	Besoins quotidiens	
	Adulte de sexe féminin	Adulte de sexe masculin
Isoleucine	0,45	0,70
Leucine	0,62	1,10
Lysine	0,50	0,80
Méthionine + Cystine	0,55	1,10
Phénylalanine + Tyrosine	1,12	1,10
Thréonine	0,31	0,50
Tryptophane	0,16	0,25
Valine	0,65	0,80
Protéines	56	44

Tableau 5.3.2- Besoins quotidiens en protéines et en acides aminés essentiels pour les nourrissons et les enfants (en mg/kg de poids corporel/jour)

Acides aminés	Nourrissons	Enfants de 2 ans	Enfants de 10 à 12 ans
Histidine	28	-	-
Isoleucine	70	31	30
Leucine	161	73	45
Lysine	103	64	60
Méthionine + Cystine	58	27	27
Phénylalanine + Tyrosine	125	69	27
Thréonine	87	37	35
Tryptophane	17	13	4
Valine	93	38	33
Protéines	1800	1390	950

Les autres AA, dits banals, peuvent être synthétisés par l'organisme à partir d'autres sources d'azote et d'une chaîne carbonée.

5.4- Valeur nutritionnelle des protéines

Les protéines sont des sources d'azote sous forme d'AA. Chaque protéine est décomposée au cours de la digestion en AA libres ou en peptides (chaîne d'acides aminés) courts à partir desquels l'organisme synthétise ses propres protéines selon ses besoins.

La valeur nutritionnelle d'une protéine dépend du processus de digestion, d'absorption et d'assimilation. On définit donc différentes notions.

Coefficient d'Utilisation Digestive (CUD)

Il est exprimé en pourcent. On définit le CUD brut et le CUD réel.

CUD brut (%) = [(I - F) / I] x 100
CUD réel (%) = [[I - (F - Fm)] / I] x 100

Avec I : azote ingéré; F : azote rejeté dans les matières fécales;
Fm : azote métabolique (d'origine endogène)

Le tableau 5.4.1 donne les CUD des protéines de différents types de produits alimentaires.

Tableau 5.4.1- Coefficient d'utilisation digestive (CUD) des protéines de différents types de produits alimentaires

Sources de protéines	CUD		RD[1]
	Chez l'enfant	Chez l'adulte	
Œuf	0,92-0,97	0,97	1,00
Lait	0,90-0,93	0,97	1,00
Maïs	0,82	0,76	0,82
Riz poli	0,85	0,84	0,90
Blé entier	-	0,79	0,93
Farine blanche	0,93	0,89	0,96
Soja	-	0,78	0,82
Protéine de soja isolée	0,92-0,98	-	0,97
Mélanges d'aliments végétaux			
Maïs + fève	0,78		0,82
Blé + protéine de soja	0,83		0,87
Mouture de maïs et soja	0,87		0,92
Préparation indienne à base de riz	0,77		0,81
Mélanges d'aliments végétaux et animaux			
Maïs, fèves, lait	0,84		0,90
Maïs, soja, lait	0,94		1,00
Préparation indienne à base de riz + lait	0,87		0,92
Farine de poisson, millet, farine d'arachide	0,83		0,87

[1] : RD : Ratio de digestibilité par rapport aux protéines de l'œuf ou du lait

Le fait de mélanger des produits alimentaires de différentes origines permet d'améliorer la digestibilité des protéines. Cette digestibilité passe en effet de 0,77 pour la préparation indienne à base de riz à 0,87 lorsque le lait est additionné à cette préparation (tableau 5.4.1). Il est fort probable qu'il en soit de même pour le *Saïkouk* marocain préparé avec de la semoule de céréale (blé ou orge) et du *lben* (lait fermenté traditionnel).

Le déficit du CUD par rapport à 100% est dû à plusieurs facteurs :

- la nature de la protéine : certaines substances sont rebelles à l'action du suc digestif (exemple : le blanc d'œuf cru);
- le traitement thermique subi par l'aliment : un chauffage contrôlé a un effet positif, alors qu'un chauffage excessif provoque la réaction de Maillard entre les glucides et les acides aminés avec des effets négatifs (voir *Réaction de Maillard*, p. 224);

- la présence d'indigestible glucidique (cellulose et fibres brutes) en grande quantité réduit la digestibilité des protéines; cependant, les fibres alimentaires en quantité adéquate sont indispensables à la motilité et au péristaltisme de l'intestin.

L'efficacité protéique dépend de facteurs intrinsèques et de facteurs extrinsèques.

Facteurs intrinsèques

L'efficacité protéique est liée à la présence de tous les AA indispensables en proportion adéquate. On peut observer des déséquilibres aussi bien en cas de manque d'AA qu'en cas d'excès (*imbalance*). En cas de déficience d'un AA essentiel donné, les autres AA seront partiellement inutilisables pour la synthèse protéique et seront dès lors soit utilisés à des fins énergétiques soit excrétés en nature. De même, tout excès d'un AA donné provoque un déséquilibre entre les AA et peut entraîner un gaspillage dans leur utilisation.

La protéinogenèse est un phénomène continu. A tout moment il faut fournir à l'organisme un certain quantum d'AA, mais pas plus que nécessaire. L'efficacité d'une protéine repose donc sur la simultanéité de l'apport et de la résorption au niveau des reins. C'est ainsi que l'on explique l'efficacité de la viande qui est liée, d'une part, à sa bonne composition en AA et, d'autre part, à une simultanéité de libération des AA qui la composent. C'est ainsi que l'on peut également expliquer l'amélioration de la valeur biologique du soja par les traitements thermiques : il y a libération simultanée de tous les AA alors que dans le soja cru la libération de la méthionine s'effectue tardivement par rapport aux autres AA.

Notons qu'avec les produits alimentaires contenant des sucres réducteurs (glucose par exemple), le chauffage non contrôllé a pour effet de réduire la biodisponibilité des AA présents (exemple : la lysine), diminuant ainsi l'efficacité protéique.

Facteurs extrinsèques

- taux azoté : on considère comme optimal un apport en énergie par les protides correspondant environ à 12 à 15% de l'énergie totale;
- apport énergétique : un régime hypoénergétique entraîne une moins bonne utilisation protéique;
- les glucides exercent un effet d'épargne azotée; ceci serait lié à une action hormonale;
- le potassium, élément intracellulaire, est indispensable à la reconstitution de la masse protéique; le phosphore doit, lui aussi, être présent;
- la carence en vitamine PP détourne le tryptophane de son utilisation dans les synthèses protéiques;

- de nombreuses vitamines sont impliquées dans le métabolisme azoté et leur carence inhibe les processus métaboliques; il ne s'agit là que d'un effet secondaire et non d'un effet immédiat.

Valeur biologique (VB)

La valeur biologique exprime le pourcentage d'azote effectivement disponible pour les cellules de l'organisme par rapport à l'azote absorbé au niveau de la paroi intestinale.

VB brute (%) = [(I - F - U) / (I - F)] x 100
VB réelle (%) = [I - (F - Fm) - (U - Um)] / [I - (F - Fm)] x 100

I : azote ingéré;
F : azote rejeté dans les matières fécales;
U : azote rejeté avec les urines;
Fm : azote fécal métabolique;
Um : azote urinaire métabolique.

Le tableau 5.4.2 donne les valeurs biologiques de quelques protéines alimentaires.

Tableau 5.4.2- Valeur biologique de quelques protéines alimentaires (en %)

Origine de la protéine	Valeur biologique
Protéines du lactosérum (en poudre)[1]	104-110
Œuf entier	100
Lait de vache	91
Blanc d'œuf	88
Poisson	83
Viande de bœuf	80
Viande de poulet	79
Caséine du lait	77
Soja	74
Riz	59

[1] Lactosérum : liquide résultant de l'égouttage des laits caillés lors de la fabrication des fromages

Utilisation Protéique Nette (UPN)

L'utilisation protéique nette exprime le pourcentage d'azote disponible pour les cellules de l'organisme par rapport à l'azote ingéré.

UPN (%) = [(I - F - U) / I] x 100

I : azote ingéré;
F : azote rejeté dans les matières fécales;
U : azote rejeté avec les urines

En fait, l'UPN rend compte à la fois de la digestibilité et de la valeur biologique :

$$UPN = CUD \times VB$$

Quand le régime fournit suffisamment d'énergie, l'UPN est dite standard. Dans les conditions réelles de consommation, l'UPN est dite UPN opérationnelle (UPN_{op}). La valeur nette des protéines alimentaires (VN_{pa}) s'exprime donc ainsi :

$$VN_{pa} = UPN_{op} \times \text{teneur en protéines}$$

Notion de protéine de référence

Il s'agit d'une protéine théorique équilibrée supposée apporter tous les AA essentiels nécessaires, simultanément et dans les proportions correspondant strictement aux besoins de l'organisme. Les proportions des AA doivent être respectées : 1 AA faiblement représenté peut ne pas être bien utilisé en présence d'un autre présent en grande quantité si les 2 ont le même transporteur lors de la synthèse de la protéine.

Les protéines de l'œuf et celles du lait de vache sont les plus proches de la protéine de référence. Cependant, il faut souligner que le lait maternel convient le mieux pour couvrir les besoins protéiques du nourrisson du moins durant les 4 à 6 premiers mois de la vie.

5.5- Besoins en protéines et en acides aminés

Le besoin en protéines est un besoin à la fois quantitatif, dans la mesure où on doit assurer un apport minimal en azote total, et qualitatif dans la mesure où l'on doit assurer un apport adéquat en AA essentiels. L'azote qui pénètre dans l'organisme n'est donc pas entièrement utilisé à des fins anaboliques. Les protéines se distinguent entre elles par leur qualité : digestibilité, composition en AA essentiels et simultanéité avec laquelle les AA sont mis à la disposition de l'organisme.

Les besoins en protéines varient avec l'âge et le sexe, de même qu'avec l'état physiologique. Des besoins supplémentaires sont définis, en particulier, pour la femme enceinte et la femme allaitante (tableau 5.5.1).

Tableau 5.5.1- Besoins journaliers en protéines

	Âge (années)	Poids (kg)	Taille (m)	Protéines (g)
Nourrissons	0,0-0,5	6	0,60	kg x 2,2[1]
	0,5-1,0	9	0,71	kg x 2,0[1]
Enfant	1-3	13	0,90	23
	4-6	20	1,12	30
	7-10	28	1,32	34
Sexe masculin	11-14	45	1,57	45
	15-18	66	1,76	56
	19-22	70	1,77	56
	23-50	70	1,78	56
	51+	70	1,78	56
Sexe féminin	11-14	46	1,57	46
	15-18	55	1,63	46
	19-22	55	1,63	44
	23-50	55	1,63	44
	51+	55	1,63	44
Fem. enceinte				+ 30
Fem. allaitante				+ 20

[1] : Poids corporel (en kg), multiplié par 2,2 ou 2,0 selon les cas.

Rappelons que 100 g de protéines apportent en moyenne 16 g d'azote. Autrement dit, 1g d'azote correspond à 6,25 g de protéine (100/16 = 6,25). Ce ratio varie cependant avec la nature des protéines alimentaires (tableau 5.5.2).

Durant la croissance, le besoin en protéines correspond à la fois à la croissance proprement dite et à l'augmentation de la teneur en protéines dans les tissus. Il s'agit de la maturation chimique. Le besoin global en protéines est la résultante de deux grandeurs évoluant en sens inverses. En effet, le besoin d'entretien s'accroît alors que le besoin de croissance diminue.

La grossesse, elle, est toujours une période anabolique. D'une part, la formation du fœtus et de ses annexes demande un apport en protéines et, d'autre part, la mère stocke des réserves protéiques qui seront éventuellement mobilisées au cours de l'allaitement. C'est dans les quatre à cinq premiers mois de grossesse que les besoins supplémentaires sont les plus importants.

Tableau 5.5.2- Coefficient de conversion de la teneur en Azote en teneur en Protéines

Aliments	CC[1]	FC[2]
Céréales		
Blé (dur, moyen ou tendre)		
entier	5,83	1,07
farine[3]	5,70	1,10
macaroni, spaghetti, pâtes	5,70	1,10
son	6,31	0,99
Riz (toutes variétés)	5,95	1,05
Seigle, orge, avoine	5,83	1,07
Légumineuses, fruits secs, graines		
arachides	5,46	1,14
soja	5,71	1,09
amandes	5,18	1,21
noix du Brésil	5,46	1,14
noix de coco	5,30	1,18
châtaignes	5,30	1,18
graines de sésame, de tournesol, de carthame	5,30	1,18
Lait (toutes espèces) et fromage	6,38	0,98
Moyenne tous aliments	6,25	1,00

[1] : Coefficient de conversion; [2] : Facteur de Correction par rapport à la moyenne;
[3] : Taux d'extraction moyen ou faible.

Durant les premiers jours de l'allaitement, le nourrisson reçoit le colostrum[9] qui lui garantit une certaine immunité. Le lait qu'il tète par la suite contient des protéines de très haute valeur biologique et mieux adaptées à ses besoins que celles du lait de vache, bien que les teneurs en protéines soient, respectivement, de 1,2 et 3,2 g/100 ml. Il convient de signaler également que les protéines du lait maternel sont très digestibles. Par ailleurs, la composition des protéines du lait demeure inchangée tant en quantité qu'en qualité même quand les protéines sont d'un bas niveau dans le régime de la femme allaitante.

9- *Le colostrum est une substance épaisse de couleur jaune-orangée sécrétée par la glande mammaire de tous les mammifères femelles.*

Il s'agit d'un lait sécrété par la mère (10 à 100 ml) tout au début de la lactation. Il est donc le premier lait consommé par le nouveau-né après l'accouchement. De composition particulière, le colostrum est riche en protéines, vitamines et minéraux et a donc une valeur nutritionnelle élevée quoique pauvre en sucres et est donc moins énergétique que le lait maternel normal.

Le colostrum est particulièrement riche en immunoglobulines (IgG, IgM, IgA, IgE). La teneur de celles-ci est 100 fois plus élevée dans le colostrum que dans le lait maternel ordinaire. Cette teneur est encore plus élevée dans le colostrum des mères ayant accouché prématurément.

Le colostrum, fournit au nouveau-né les anticorps de sa mère qui vont tapisser son estomac et ses intestins et le protéger contre les infections virales et bactériennes.

D'autres facteurs peuvent modifier les besoins en protéines. Il s'agit notamment du climat, des états fébriles, des traumatismes, des troubles gastro-intestinaux, des états exsudatifs et de la protéinurie (présence de protéines dans les urines).

Les AA aminés dits banaux, non indispensables, participent aussi à la couverture du besoin azoté et leur présence exerce un effet d'épargne vis-à-vis des AA essentiels par la fourniture du groupement $-NH_2$ susceptible de participer à des réactions de transamination.

Cependant, si l'énergie n'est pas apportée en quantité suffisante par ailleurs, les protéines et les AA sont utilisés pour remédier à ce manque.

La carence en protéines, associée ou non à la carence en énergie chez le jeune enfant est un syndrome très complexe. Le terme de kwashiorkor a été utilisé pour désigner ce type de malnutrition par carence en protéines.

Le kwashiorkor (p. 45) signifie kwashi (enfant) orkor (rouge) dans le langage des Ashanti au Ghana. La peau des enfants touchés par ce trouble devient rouge. Ce sont les enfants âgés de 6 mois à 3 ans qui sont les plus atteints. A la naissance d'un second enfant, ces enfants étaient brutalement sevrés du lait maternel et passaient à une alimentation trop pauvre en protéines. Les signes cliniques de ce syndrome sont une hypoalbuminémie (diminution du taux d'albuminé dans le sang) responsable des œdèmes particulièrement au niveau des membres inférieurs, une hépatomégalie (hypertrophie du foie) et une fonte musculaire.

Le kwashiokor pouvait être responsable dans les pays défavorisés du décès de 30% des enfants âgés de moins de 5 ans.

5.6- Acides nucléiques

Les acides nucléiques sont des macromolécules azotées présentes dans toutes les cellules vivantes, soit à l'état libre, soit combinées à des protéines pour former des nucléoprotéines. Ils ont une importance fondamentale car ils sont soit le support de l'information génétique (ADN : Acide Désoxyribonucléique), soit les agents permettant l'expression de cette information (ARN : Acide Ribonucléique).

Les composés fondamentaux des acides nucléiques sont des bases hétérocycliques azotées au nombre de quatre, pour chacun des acides nucléiques, un pentose et un acide phosphorique.

Pour l'ADN les bases sont les bases pyrimidiques thymine (T) et cytosine (C) et les bases puriques adénine (A) et guanine (G). Le pentose est le désoxyribose.

Pour l'ARN, les bases sont les bases pyrimidiques uracile (U) et cytosine (C) et les bases puriques adénine (A) et guanine (G), le pentose étant le ribose.

Les nucléosides sont formés par l'association d'une base et d'un pentose. Les nucléotides sont formés par l'association d'un nucléoside et d'un acide phosphorique, c'est à dire une base, un pentose et un acide phosphorique.

Les bases appariées sont A-T et C-G pour l'ADN et A-U et C-G pour l'ARN.

Chaque acide nucléique contient quatre bases. Trois d'entre elles (adénine, cytosine et guanine) sont communes aussi bien à l'ADN qu'à l'ARN, la quatrième diffère (thymine et uracile).

Les acides nucléiques sont donc constitués d'unités, les nucléotides.

Les nucléotides sont non seulement des composés dont la polymérisation conduit aux acides nucléiques, mais également des substances susceptibles de jouer un rôle important dans le métabolisme intermédiaire, par exemple le stockage de l'énergie sous forme d'ATP (Adénosine Tri Phosphate) ou en tant que coenzymes telles que la Nucléotide Adénosine Di Phosphate (NADP).

Les ADN se trouvent essentiellement dans le noyau cellulaire au niveau des chromosomes. On les trouve également dans les mitochondries des cellules végétales et animales et dans les chloroplastes des organismes photosynthétiques.

Quant aux ARN, on les trouve essentiellement dans le cytoplasme des cellules. On distingue 3 types d'ARN : les ARN ribosomiques (ARNr), les ARN de transfert (ARNt) et les ARN messagers (ARNm) qui jouent tous un rôle dans l'expression de l'information génétique.

La relation entre les bases nucléiques dans l'alimentation et la santé sera traitée ultérieurement (voir *Goutte et nutrition*, p. 282), la goutte étant un trouble sanitaire associé particulièrement à la surconsommation de viandes rouges et d'alcool.

6- Lipides et matières grasses

6.1- Généralités

Les lipides sont des substances insolubles dans l'eau, mais solubles dans les solvants organiques comme l'éther, le chloroforme et le benzène. Contrairement aux glucides qui constituent une famille de composés relativement homogène, les lipides constituent un groupe assez hétérogène de substances à structures très différentes. En effet, les lipides contiennent les huiles, les graisses, les cires, les stéroïdes et les substances assimilées comme les savons et les substances pétrochimiques.

Au niveau des ménages, les lipides alimentaires sont divisés en deux groupes selon leur point de fusion, les graisses et les huiles : les graisses sont solides à température ambiante car leur point de fusion est relativement élevé, alors que les huiles sont liquides car leur point de fusion est bas. Aussi bien les produits végétaux qu'animaux peuvent contenir ces deux catégories, mais les graisses sont surtout d'origine animale. Il y a cependant des exceptions telles que l'huile de palme, solide à basse température et liquide à température moyenne ou élevée.

Les graisses des viandes et des produits laitiers (lait, crème, beurre, fromage) sont des exemples communs. Les huiles sont usuellement d'origine végétale (tournesol, soja, colza, arachide, maïs, olive, argan, coton, lin, coco, etc.). On trouve aussi des lipides dans le jaune d'œuf, le chocolat, l'avocat et certains fruits secs (amande, noix, noisette, etc.).

Certaines graisses et huiles des produits alimentaires sont facilement reconnaissables car visibles, mais environ 60% des lipides consommés ne le sont pas. Ces lipides cachés influencent néanmoins la texture et le goût des produits grâce aux substances de flaveur qui y sont dissoutes.

Rares sont les produits alimentaires (comme l'eau de boisson ou le sucre) qui sont complètement dépourvus de lipides. Le tableau 6.1.1 montre que la teneur en lipides dans les aliments varie de 100% (cas des huiles) à des traces (cas du lait écrémé).

On distingue les lipides simples, les lipides composés et les lipides dérivés.

Tableau 6.1.1- Teneur en lipides de différents aliments (g pour 100g)

Aliments	Teneur en lipides
Huiles	100
Beurre	82
Margarine	82[1]
Mayonnaise	80
Chips	40
Fromage (Cheddar)	32,2
Œuf	11,5
Foie de bœuf (frit)	10,6
Lait entier	3,6[2]
Yaourt	1,7[3]
Pain blanc	0,2
Lait écrémé	0,1
Sucre (blanc)	0

[1] : 82% généralement adopté pour imiter le beurre, mais ce taux varie largement; [2] : Varie selon la législation de chaque pays (au Maroc, 3%); [3] : peut être très variable également.

Dans l'organisme humain, les lipides se trouvent dans plusieurs endroits et jouent de nombreux rôles. Les membranes cellulaires et les structures subcellulaires sont constituées de complexes lipoprotéiques, le tissu du cerveau est formé à hauteur de 10% de lipides, de même que la myéline (substance complexe qui forme la gaine de certaines fibres nerveuses). Les hormones sexuelles sont des stéroïdes, des complexes moléculaires lipidiques. Les lipides se trouvent également dans les muscles où ils constituent une source d'énergie lorsque les réserves de glycogène se raréfient.

Cependant, le tissu qui est lipidique de nature est le tissu adipeux formé de cellules lipidiques ou *adipocytes*. Le tissu adipeux constitue une réserve d'énergie. Néanmoins, en cas d'excès, les lipides représentent un danger pour la santé (surpoids, obésité, maladies cardiovasculaires).

6.2- Composition des matières grasses

Les lipides sont essentiellement constitués d'acides gras (AG) et d'alcools associés sous forme d'esters. Ainsi, les matières grasses alimentaires se composent en majorité de glycérides, qui résultent de l'estérification du glycérol par des AG. Lorsque les trois fonctions alcool du glycérol sont estérifiées par des acides gras, on obtient un triglycéride (figure 6.2.1).

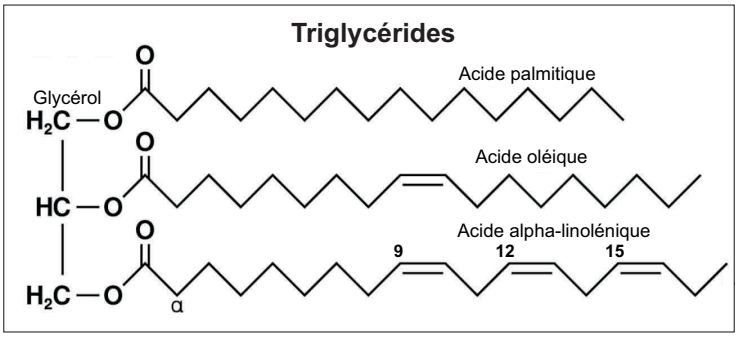


Figure 6.2.1- Schéma d'un triglycéride

Les acides gras

On trouve les AG en petite quantité à l'état libre dans les matières grasses, mais en grandes quantités engagés dans des liaisons ester et parfois amide. Un amide est un composé organique dérivé d'un acide carboxylique possèdant un atome d'azote lié à son groupe carbonyl. En général, les AG sont monocarboxyliques (une seule fonction acide), à chaîne linéaire non branchée comprenant un nombre d'atomes de carbone compris entre 4 et 30. Ils peuvent être saturés ou insaturés, parfois hydroxylés.

Acides gras saturés

Ils ont pour formule générale $CH_3–(CH_2)_n–COOH$

Les principaux sont :

- l'acide butyrique formé d'une chaîne à 4 carbones (C4);
- l'acide laurique (C12);
- l'acide myristique (C14);
- l'acide palmitique (C16);
- l'acide stéarique (C18).

Acides gras insaturés

Une insaturation signifie que deux atomes de carbone successifs ne sont pas liés à deux hydrogènes chacun mais seulement à un seul. Cela se traduit par une double liaison entre ces deux carbones. Un AG peut avoir plusieurs doubles liaisons.

La double liaison est mentionnée par le symbole «Δ» précédé par le nombre de carbone, le nombre des doubles liaisons et suivi d'un exposant indiquant la position de la double liaison ou des doubles liaisons à partir du C carboxylique -COOH, numéroté 1.

La figure 6.2.1 ci-dessus présente la structure d'un triglycéride avec l'acide oléique ayant une seule double liaison et l'acide alpha-linolénique (α linolénique) ayant 3 doubles liaisons.

Voici quelques exemples d'AG insaturés :

- l'acide oléique : 18 carbones avec une seule double liaison (C18 :1) ou $C_{18}\ 1\Delta^{9}$;
- l'acide linoléique : 18 carbones avec 2 doubles liaisons (C18 :2) ou $C_{18}\ 2\Delta^{9,12}$;
- l'acide linolénique : 18 carbones avec 3 doubles liaisons (C18 :3) ou $C_{18}\ 3\Delta^{9,12,15}$;
- l'acide arachidonique : 20 carbones avec 4 doubles liaisons (C20 :4) ou $C_{20}\ 4\Delta^{5,8,11,14}$.

Oméga 3 et oméga 6

Les acides gras insaturés oméga 9 (ω9), oméga 6 (ω6) et oméga 3 (ω3).

On classe aussi les acides gras insaturés selon la position de la première double liaison en partant non pas du groupement carboxylique -COOH mais du radical méthyl -CH3.

On distingue ainsi trois grandes familles:

1) la famille oméga 9 (ω9): il s'agit des acides gras monoinsaturés possédant une double liaison en 9ème position à partir du radical méthyl -CH3. Le principal acide gras de cette famille est l'acide oléique $C_{18}\ 1\omega^{9}$ ($C_{18}\ 1\Delta^{9}$). Il faudrait signaler que l'organisme peut fabriquer les acides ω9, comme il peut également les utiliser à partir d'aliments comme l'olive et l'huile d'olive. Des régimes riches en ω9 auraient tendance à réduire l'incidence des maladies cardiovasculaires;
2) la famille oméga 6 (ω6) : dans cette famille la première double liaison se trouve en 6ème position en partant du radical méthyl -CH3.

Cette famille contient:

- l'acide linoléique $C_{18}\ 2\omega^{6}$ ($C_{18}\ 2\Delta^{9,12}$)
- l'acide dihomo-gamma-linolénique DGLA $C_{20}\ 3\omega^{6}$ ($C_{20}\ 3\Delta^{8,11,14}$)
- l'acide arachidonique $C_{20}\ 4\omega^{6}$ ($C_{20}\ 4\Delta^{5,8,11,14}$)

3) la famille oméga 3 (ω3) dans laquelle la première double liaison se trouve en troisième position en partant du radical méthyl -CH3.

Cette famille contient l'acide alpha-linolénique (α linolénique) $C_{18}\ 3\omega^{3}$ ($C_{18}\ 3\Delta^{9,12,15}$).

Les acides linoléique et α linolénique sont essentiels.

L'acide arachidonique n'est pas un acide gras essentiel au sens strict car il peut être synthétisé à partir de l'acide linoléique. Cependant une carence en acide linoléique ou la capacité insuffisante à convertir l'acide linoléique en arachidonique peuvent le rendre essentiel.

L'acide arachidonique est un précurseur des prostaglandines.

Le tableau 6.2.1 donne quelques caractéristiques pour les principaux acides gras alimentaires.

Tableau 6.2.1- Caractéristiques des principaux acides gras alimentaires

Longueur de chaîne	Acides gras	Nombre de carbones	Type	Principales Sources
Courte	Acétique	2	Saturé	Vinaigre
	Butyrique	4	Saturé	Beurre
	Caproïque	6	Saturé	Beurre
Moyenne	Caprylique	8	Saturé	Noix de coco
Longue	Myristique	14	Saturé	Muscade
	Palmitique	16	Saturé	Huile de palme
	Stéarique	18	Saturé	Graisse animale
	Oléique	18	Mono-insaturé	Huiles d'olive et d'argan
	Linoléique	18	Poly-insaturé	Huiles de maïs, d'argan et de pépins de raisins

Le tableau 6.2.2 présente les proportions en acides gras saturés et insaturés dans différents types d'aliments.

Tableau 6.2.2- Proportions des acides gras saturés et insaturés dans différents types de matières grasses alimentaires

Types de corps gras	Richesse en MG[1] (%)	% dans les graisses totales		
		Saturés	Oléique	Linoléique
MG[1] animales				
Bœuf	5-37	43-48	43	0,5-3
Beurre	82	57	33	3
Œuf	11,5	35	44	8,7
Thon	4,1	24,4	24,4	0,5
Lait entier	3,6[2]	57	33	3
MG[1] végétales				
Huile d'olive	100	7,5-20	55-83	3,5-21
Huile de maïs	100	10	28	53
Margarine (courante)	82	22,2	58	17,3
Huile d'arachide	100	18	47	29
Huile de soja	100	15	20	52
Huile de tournesol	100	9-11	26-32	64-66
Huile de colza	100	7,5-8	61-63	19-20
H. de pépins de raisins	100	10	18	72
Huile d'argan	100	13-17	45-48	31-35
Huile de lin	100	6-18	10-21	12-24

[1] : Matières grasses; [2] : varie selon la législation de chaque pays

Acides gras Trans

Un acide gras insaturé donné peut prendre deux formes géométriquement différentes selon la position des atomes d'hydrogène attachés aux atomes de carbone joints par la double liaison. Si les atomes d'hydrogène sont du même côté de la chaîne carbonée (arrangement *Cis*), la chaîne carbonée de l'acide gras est plutôt courbée. Si les deux atomes d'hydrogène sont de part et d'autre de la chaîne (arrangement *Trans*), la chaîne carbonée est plutôt droite (figure 6.2.2).

Ces deux formes d'un même AG sont des isomères composés des mêmes atomes, mais ils ont des propriétés différentes et une métabolisation distincte.

Les AG insaturés *Trans* sont beaucoup moins fréquents à l'état naturel que leurs homologues *Cis*. Cependant, certains traitements technologiques, tels que l'hydrogénation industrielle des huiles végétales, transforment les AG *Cis* en AG *Trans*. La configuration géométrique plutôt droite des AG *Trans* les rend moins fluides que les AG *Cis* à chaînes courbées et leur confère une température de fusion plus élevée. Ils sont donc plus solides à température ambiante, propriété recherchée dans certaines industries, notamment dans la préparation des margarines (voir *Hydrogénation des huiles*, p. 244).

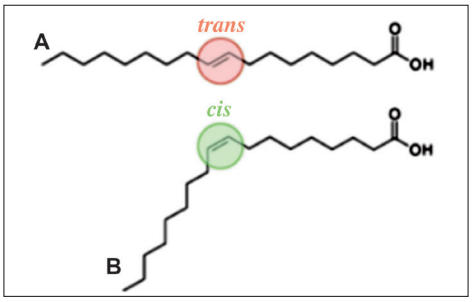


Figure 6.2.2- Configurations Cis et Trans pour un acide gras insaturé

Les AG *Trans* des aliments ont trois origines :

- la transformation bactérienne des AG insaturés *Cis* dans le rumen des ruminants en formes *Trans* qui peuvent se retrouver dans le lait, la crème, le beurre, les fromages et les viandes de bœuf et de mouton;
- l'exposition des huiles au chauffage intense (friture) ou même modéré (cas de l'huile de lin);
- l'hydrogénation catalytique partielle et la désodorisation des huiles végétales insaturées ou des huiles de poisson riches en AG poly-insaturés (huiles raffinées)[10].

10- *Le but de l'hydrogénation est de transformer les doubles liaisons –C=C– en liaisons simples –C– C– et les AG insaturés deviennent ainsi saturés, ce qui donne aux huiles une consistance solide à température ambiante. En plus, les corps gras deviennent moins sensibles à l'oxydation (rancissement ou peroxydation). Ces AG partiellement hydrogénés sont employés dans l'industrie comme agents de texture, conservateurs et désodorisants. On les trouve notamment dans les margarines.*

Les AG Trans sont considérés comme des impuretés du processus d'hydrogénation partielle.

La consommation d'AG *Trans* n'est ni bénéfique ni nécessaire à la santé, contrairement à celle des autres AG naturels, saturés ou insaturés. Bien au contraire, des études épidémiologiques ont montré une relation certaine entre la consommation régulière d'AG *Trans*, même à faible dose, et les maladies cardiovasculaires, mais ce seraient seulement les AG *Trans* des huiles partiellement hydrogénées et non ceux naturellement présents dans les productions des ruminants. Par ailleurs, ces AG *Trans* augmenteraient le risque de cancer du sein. C'est pourquoi l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a lancé en mai 2018 un programme visant à éliminer complètement les AG *Trans* de l'alimentation à l'horizon 2023.

Acides gras hydroxylés

Ce sont des AG comportant un groupement –OH. C'est le cas de l'acide ricinoléique.

Acides gras et état physique des lipides

Dans les huiles et les graisses alimentaires, les AG sont généralement et usuellement de 16 à 18 carbones et peuvent être saturés, insaturés ou polyinsaturés. L'état physique des triglycérides dépend de la longueur de la chaîne carbonée et du degré d'insaturation des AG qui les composent. Plus les AG sont de courte chaîne et insaturés, plus les lipides correspondants sont liquides car leur point de fusion est bas. Inversement, plus les AG sont longs et saturés, plus les lipides correspondants sont solides, car leur point de fusion est élevé.

Glycérolipides

Glycérides

Ce sont les composés résultant de l'estérification des fonctions alcool du glycérol par des AG. On distingue les monoglycérides, les diglycérides et les triglycérides selon qu'une, deux ou trois fonctions alcool sont estérifiées, respectivement. Les triglycérides représentent environ 90% des lipides en général. Les glycérides diffèrent par la nature et la position des AG estérifiés, avec la présence éventuelle de carbone asymétrique.

Les glycérides se trouvent dans divers tissus, mais sont particulièrement abondants dans le tissu adipeux où ils peuvent représenter plus de 90% et causer ainsi des problèmes de santé quand ils sont présents en grande quantité.

Glycérophospholipides (phosphatides)

Un glycérophospholipide est un glycéride dont deux fonctions alcool sont estérifiées par des acides gras et la troisième par un acide phosphorique lié ou non à d'autres molécules. Les glycérophospholipides sont de bons agents émulsifiants qui jouent un rôle important dans la digestion des lipides. On les trouve en concentration relativement importante dans les membranes cellulaires et les structures subcellulaires comme les mitochondries. Quatre catégories ont été définies : les acides phosphatidiques, les lécithines ou phosphatidylcholines, les céphalines et les plasmogènes/plasmalogènes.

Les acides phosphatidiques résultent de l'estérification du glycérol par l'acide phosphorique, en plus d'un ou deux acides gras. Ils jouent un rôle important dans la biosynthèse des autres catégories de glycérophospholipides (lécithines, plasmogènes, céphalines).

Les lécithines comportent une molécule de choline (composé à ammonium quaternaire). Une carence en choline empêche la synthèse des lécithines impliquées dans le transport et l'utilisation des lipides dans le foie, ce qui induit une accumulation importante de lipides au niveau de cet organe.

Les céphalines sont des composés voisins des lécithines dans lesquelles la choline est remplacée par l'éthanolamine ou la sérine. Elles se trouvent dans le cerveau et le foie et sont utilisées dans le phénomène de la coagulation du sang. Le temps de céphaline activée est un test sanguin permettant d'évaluer le temps de coagulation du sang.

Les plasmalogènes/plasmogènes constituent une classe particulière de glycérophospholipides membranaires abondants dans le cerveau et le cœur. Ils semblent jouer un rôle important dans la lutte contre les oxydants et l'autorégulation des fonctions thyroïdiennes devant un excès d'iodures.

Sphingolipides

Dans les sphingolipides, l'alcool n'est pas le glycérol, mais la sphingosine, qui est un amino-alcool. Parmi les sphingolipides, on trouve les cérébrosides du cerveau qui contiennent une molécule de galactose. C'est pourquoi on les nomme aussi galactosides. On peut citer également les gangliosides qui comportent une ou plusieurs molécules de galactose et de glucose.

Cérides

Ce sont des constituants des cires (cires végétales, cires d'insectes, blanc de baleine) formés par l'union d'AG de longue chaîne avec des alcools de longue chaîne.

Hydrocarbures

Ils se trouvent généralement en faible concentration dans les tissus des organismes vivants, à l'exception du caoutchouc. La plupart des hydrocarbures sont formés par la polymérisation d'unités isoprènes comme le squalène, intermédiaire de la biosynthèse des stérols et des carotènes (précurseurs de la vitamine A).

Lipides isoprèniques

Ce groupe de produits comprend les stéroïdes, les caroténoïdes et les quinones.

Stéroïdes

Les stéroïdes sont des composés possédant un noyau polycyclique. Parmi les stéroïdes, on trouve :

- le cholestérol, d'origine strictement animale (voir *Cholestérol*, p. 86) et l'ergostérol, d'origine végétale;
- des dérivés des stérols comme les acides biliaires;
- les hormones stéroïdes, notamment les hormones testiculaires ou hormones mâles (testostérone et androstérone);
- les hormones ovariennes et placentaires ou hormones femelles (hormones œstrogènes, hormone lutéale comme la progestérone);
- les hormones corticosurrénales : corticostérone, cortisol et aldostérone;
- la vitamines D, nécessaire à la bonne formation des os et des dents et au métabolisme phosphocalcique;
- d'autres hétérosides stéroïdiques à activité pharmacodynamique.

Caroténoïdes

Dans ce groupe, on trouve les carotènes, les xanthophylles et la vitamine A.

Les carotènes sont des composés ayant une coloration pouvant aller du jaune au rouge. Les carotènes α et β sont cyclés aux deux extrémités, alors que le γ carotène n'a qu'un seul cycle et que le lycopène (pigment de la tomate) n'est pas cyclé du tout. Les xanthophylles sont des pigments qui dérivent des carotènes.

Les composés doués d'activité vitaminique A dérivent aussi des carotènes. L'organisme animal transforme les carotènes en vitamine A. La vitamine A joue un rôle important dans le processus de la vision et dans la croissance des animaux.

Les quinones à chaîne isoprénique

Ce groupe comprend la vitamine E, la vitamine K, les ubiquinones et les plastoquinones.

- la vitamine E est douée de pouvoir antioxydant, empêchant en particulier l'oxydation des AG; la vitamine E (ou α-tocophérol) – et ses dérivés – est dite vitamine de fertilité;
- la vitamine K (ou phylloquinone) est un produit naturel isolé des végétaux; la ménadione est un produit de synthèse ayant également une activité vitaminique K; la vitamine K permet la synthèse de la prothrombine nécessaire à la coagulation du sang et joue ainsi un rôle antihémorragique;
- les ubiquinones sont universellement répandues; on les trouve surtout dans les mitochondries animales et végétales; elles jouent un rôle important dans le système transporteur d'électrons et dans la production de l'énergie.

Prostaglandines

Les prostaglandines sont des composés affiliés aux lipides. Elles sont synthétisées à partir des AG essentiels, notamment l'acide linoléique et l'acide arachidonique.

Il existe 4 séries de prostaglandines naturelles désignées E, F, A et B. Les prostaglandines jouent notamment un rôle dans les systèmes de reproduction des animaux, dans la contraction des muscles lisses, dans la diminution de la pression artérielle, affectant les battements cardiaques. Elles jouent en fait des rôles ambivalents, certaines étant des vasodilatateurs, d'autres des vasodépresseurs. Elles interviennent également dans le fonctionnement et l'agrégation des plaquettes sanguines. De ce fait, elles pourraient jouer un rôle dans le traitement des maladies cardiovasculaires.

Les prostaglandines sont des constituants normaux du cerveau chez beaucoup d'espèces animales et jouent probablement le rôle de neurotransmetteurs au niveau des synapses des cellules nerveuses.

Elles interfèrent également dans le métabolisme des lipides et celui des glucides. D'une part, elles interviennent dans la lipolyse et l'obésité métabolique. D'autre part, elles miment le rôle de l'insuline.

Chylomicrons et lipoprotéines

Les lipides sont des composés essentiels des cellules et des tissus. Mais du fait qu'ils ne sont pas suffisamment polaires pour circuler librement dans un milieu aqueux comme le plasma, ils doivent, pour leur mobilité, se combiner avec des transporteurs protéiniques pour former des lipoprotéines.

Ainsi, la majeure partie des lipides alimentaires consommés est délivrée dans le sang veineux sous forme de chylomicrons et est transportée par la lymphe. Les chylomicrons se forment au niveau du réticulum endoplasmique lisse des cellules de la muqueuse intestinale. Ce sont en fait des formes de transition, leur temps de demi-vie étant de l'ordre de quelques minutes chez le rat et de moins de 1 heure chez l'Homme dans des conditions normales.

Les chylomicrons sont composés (en poids) d'environ 87% de triglycérides, 9% de phospholipides, 1,5% de cholestérol, 1,5% de cholesteryl ester et 1,5% de protéines. Notons que les proportions de ces différents constituants ne sont pas les mêmes dans les chylomicrons et les autres lipoprotéines, notamment la VLDL, la IDL, la LDL et la HDL (voir plus bas).

Les protéines sont des composés fondamentaux des chylomicrons et des lipoprotéines. C'est pourquoi l'inhibition de la synthèse des protéines interfère avec la formation des chylomicrons et, donc, avec le mouvement de passage des triglycérides dans le système lymphatique. Par ailleurs, la présence de grandes quantités de chylomicrons dans le sang conduit à un plasma lipémique, gras en apparence.

La classification des lipoprotéines est basée sur la méthode de séparation : ultracentrifugation (facteur de Svedberg Sf) ou électrophorèse (charge électrique). On distingue :

- les chylomicrons;
- les *Very Low Density Lipoproteins* (VLDL), qui sont identiques à la fraction pré-β dont la densité varie entre 0,95 et 1,006 g/ml;
- les *Low Density Lipoproteins* (LDL), qui correspondent à la fraction β dont la densité varie de 1,006 à 1,063 g/ml;
- les *High Density Lipoproteins* (HDL), qui correspondent à la fraction α dont la densité varie de 1,063 à 1,21 g/ml.

Une autre fraction a été identifiée, les *Intermediate Density Lipoproteins* (IDL) ou *Broad β-Lipoproteins.*

La figure 6.2.3 présente la composition des quatre principales catégories de lipoprotéines.

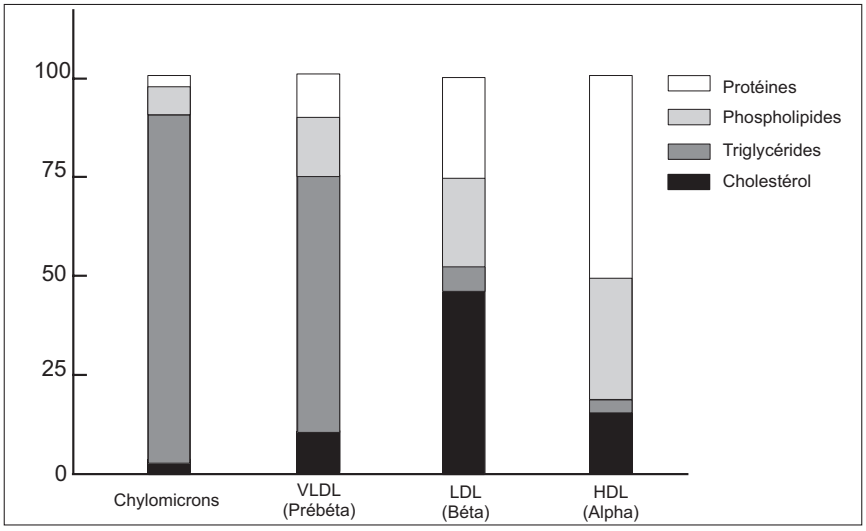


Fig. 6.2.3- Composition approximative des quatre principales familles de lipoprotéines (en %)

(VLDL : Very Low Density Lipoproteins; LDL : Low Density Lipoproteins; HDL : High Density Lipoproteins)

Les LDL et les HDL sont pauvres en triglycérides (TG) et plus riches en protéines. En revanche, les VLDL et les chylomicrons sont plus riches en lipides et pauvres en protéines. De ce fait, les chylomicrons ont une faible densité et ont tendance à flotter.

Les VLDL sont généralement considérés d'origine hépatique. Cependant, une bonne partie des VLDL endogènes plasmatiques pourrait être d'origine intestinale.

Les VLDL transportent les TG endogènes et alimentaires aux muscles et aux tissus adipeux (adipocytes). Par ailleurs, la fraction VLDL est considérée comme la plus importante – sinon l'unique – source des LDL. Cette conversion des VLDL en LDL implique la perte de TG.

Le cholestérol est principalement transporté par les LDL et les HDL (voir aussi *Cholestérol*, p 86).

6.3- Intérêt nutritionnel des lipides

L'intérêt nutritionnel des lipides est triple. Ils apportent de l'énergie, fournissent les acides gras essentiels et sont accompagnés des vitamines liposolubles.

Apport énergétique

Les triglycérides apportent de l'énergie métabolique à raison de 9 kcal/g [voir *Sources d'énergie*, p. 37 et *Lipides sources d'énergie*, p. 91].

Apport d'acides gras essentiels

Les acides gras polyinsaturés (AGPI) doivent représenter plus de 3% de l'apport énergétique quotidien total.

Les acides gras essentiels (AGE) sont indispensables à notre organisme car il ne peut les synthétiser. Ils doivent donc être fournis par l'alimentation. Comme nous l'avons vu plus haut, on y distingue les AGE de la famille ω6 (acide linoléique et acide arachidonique) et ceux de la famille ω3 (acide alpha-linolénique).

Les aliments riches en ω3 sont l'huile de foie de morue, les graines de lin, l'huile de colza, le maquereau, le saumon, les fruits à coque (noix, noisettes, noix de cajou, pistaches), les œufs et les graines de chia[11].

Les viandes et les œufs ne sont intéressants que quand les animaux sont élevés en plein air et que leur alimentation contient des sources d'oméga 3 comme le lin et la luzerne. Les légumes verts ne sont pas à négliger, même s'ils possèdent une faible teneur en ω3 comme les épinards, les laitues, l'avocat, le cœur de palmier, etc.

Les huiles de pépins de raisin et de tournesol sont les produits d'origine végétale les plus riches en ω6. Les huiles de soja, de germe de blé et de maïs sont également très intéressantes à cet égard. On peut y ajouter les huiles de carthame et de noix, les graines de citrouille et de courge, le beurre et l'huile de sésame et l'huile d'arachide. On trouve également une bonne quantité d'oméga 6 dans les viandes de porc et les volailles nourris au maïs ou au soja.

Il faut noter que l'huile d'olive n'est pas la meilleure huile pour un apport significatif en oméga 3. Quant à la composition de l'huile d'argan, elle se rapproche de celle de l'huile d'arachide, principalement mono-insaturée, avec une forte teneur en oméga 6, mais dépourvue d'oméga 3.

11-*Il s'agit de petites graines originaires du Mexique. Cet aliment de base des Aztèques est réputé posséder de nombreuses vertus permettant au consommateur de rester en bonne santé.*

Un équilibre entre ω3 et ω6 est essentiel dans l'alimentation, ce qui n'est souvent pas assuré, notamment avec les régimes alimentaires des pays occidentaux où l'on trouve jusqu'à 20 fois plus de ω6 que de ω3, alors qu'un maximum de 4 fois plus de ω6 que de ω3 est recommandé $\left(\frac{\omega 3}{\omega 6} = \frac{1}{4} \text{ au maximum} \right)$ pour y parvenir, il faut consommer davantage d'aliments riches en ω3. En effet, une trop forte consommation de ω6 rend le sang moins fluide, ce qui risque d'entrainer des problèmes inflammatoires et des risques de cancer et d'infarctus. Il faut cependant éviter également une consommation excessive de ω3 qui, au contraire, rend le sang plus fluide et risque de provoquer des accidents vasculaires cérébraux hémorragiques. On estime que les ω3 devraient représenter 1,4 à 1,8% des apports énergétiques journaliers, contre 3 à 5% pour les ω6.

Apport des vitamines liposolubles

Il s'agit des vitamines A, D, E et K (voir *Vitamines liposolubles*, p. 97)

L'apport excessif en lipides entraine des troubles comme l'obésité et les maladies cardiovasculaires.

6.4- Cholestérol

Généralités

Le cholestérol est une substance naturelle complexe produite par toutes les cellules de l'organisme animal, sauf celles du cerveau. Le cerveau est pourtant l'organe le plus riche en cholestérol, suivi par les reins. Le foie est le plus grand producteur de cholestérol et c'est aussi le seul organe capable de l'emmagasiner et de le libérer en cas de besoin. Le corps humain fabrique le cholestérol dont il a besoin à partir des glucides, des protéines et des lipides. Si nous produisons cette substance, c'est qu'elle est indispensable à la vie.

Alors que tous les animaux fabriquent du cholestérol, il est notoire que les végétaux en sont absolument incapables, car ils sont dépourvus des enzymes nécessaires à sa synthèse.

Fonctions

Le cholestérol est un composé d'intérêt physiologique. Il agit comme un élément structural des membranes cellulaires et comme précurseur dans la synthèse de plusieurs stéroïdes et hormones physiologiquement actifs dans l'organisme.

En effet, le cholestérol est un précurseur des hormones sexuelles, notamment les hormones femelles œstrogènes et progestérone et l'hormone mâle testostérone. Il est aussi à l'origine des hormones surrénales corticostéroïdes. L'une de ces hormones (aldostérone) joue un rôle dans l'équilibre hydrique tandis que la cortisone prépare le corps au stress et supprime la réaction inflammatoire.

Le cholestérol est indispensable à la fabrication de la vitamine D qui, rappelons-le, intervient dans le métabolisme du calcium et du phosphore.

Par ailleurs, le cholestérol contribue à la production de la bile qui joue un rôle important dans la digestion et l'absorption des graisses, des huiles et des vitamines liposolubles (A, D, E et K). L'excès de cholestérol du corps peut être évacué dans la bile.

Le cholestérol est aussi présent dans la peau, participant à sa protection contre la déshydratation et favorisant la guérison des tissus et la prévention des infections.

Comme on l'a vu plus haut, on a l'habitude dans la vie quotidienne de faire une association entre le cholestérol et les différentes catégories de lipoprotéines du sang. En fait, on assimile les VLDL (*Very Low Density Lipoproteins*) et les LDL (*Low Density Lipoproteins*) à du «mauvais cholestérol», et les HDL (*High Density Lipoproteins*) à du «bon cholestérol», qui assure la protection contre le mauvais cholestérol.

Teneur en cholestérol dans les aliments

Les graisses animales contiennent du cholestérol soit à l'état libre, soit associé à un acide gras sous forme de cholestérol ester. Le tableau 6.4.1 donne la teneur de divers aliments d'origine animale en cholestérol.

Tableau 6.4.1- Teneur en cholestérol de divers aliments (mg pour 100g)

Produit alimentaire	Teneur en cholestérol
Cervelle	1.800-3.100
Rognon	375-500
Foie de veau	330-460
Ris de veau	280-400
Foie gras	360-900
Pâté de foie	420
Pâté	180-300
Langue de bœuf	140
Saucisson, saucisse	100
Jambon cuit	90
Lapin	90
Volaille	70-90
Viande	70-90
Fromage	70-100[1]
Beurre	250
Crabe	75
Crevettes	105-150
Coquillages	50-75
Poisson gras	60-350
Œufs	450

[1] : Variable selon taux de matière grasse dans le fromage

Comme nous l'avons vu plus haut, les produits d'origine végétale sont dépourvus de cholestérol. En plus, les huiles végétales renferment des stéroïdes qui, du fait de leur absorption faible et inefficiente par l'organisme, réduisent l'absorption du cholestérol (phénomène de compétition).

Taux de cholestérol sanguin et influence de l'alimentation

Les niveaux de cholestérol dans le sang ont beaucoup attiré l'attention du fait de leur relation avec les maladies cardiovasculaires et l'athérosclérose.

Le cholestérol sérique total normal chez l'Homme adulte varie de 140 à 260 mg/100 ml. Ce taux varie cependant avec l'âge, le sexe, le régime alimentaire et est probablement sous contrôle génétique. Une proportion de 70% de ce cholestérol est estérifiée par des AG.

Les HDL facilitent la prise en charge du cholestérol des tissus périphériques et aident à son transport vers le foie où il est catabolisé et excrété. Ainsi, des niveaux élevés des HDL plasmatiques exercent des effets protecteurs contre les maladies cardiovasculaires et l'athérosclérose.

En revanche, l'excès d'énergie et la consommation d'acides gras saturés et de produits alimentaires riches en cholestérol provoquent l'élévation de la cholestérolémie (figure 6.4.1). La consommation d'alcool a également tendance à entrainer une augmentation du taux de cholestérol sanguin, alors qu'un régime riche en fibres le fait baisser, suite à son élimination avec les fèces.

Composants alimentaires		AGS	AGMI	ω6	ω3	Chole-stérol	Fibres alim.	Alcool	Energie
Cholestérol sérique	Total	⇧	⇩	⇩	±⇩	±⇧	⇩	⇧	⇧
	LDL	⇧	⇩	⇩	±⇧	±⇧	⇩	-	±⇧
	HDL	±⇧	±⇧	±⇩	±⇩	±⇧	-	⇧	±⇩
Triglycérides		-	-	-	⇩	-	-	±⇧	⇧

⇧ : hausse ; ⇩ : baisse ; ± : plus ou moins ; ω3: acides gras oméga 3; ω6: acides gras oméga 6

AGS: acides gras saturés ; AGMI: acides gras mono-insaturés ; HDL: High Density Lipoproteins ; LDL: Low Density Lipoproteins

Figure 6.4.1- Influence d'un certain nombre de nutriments et de composants alimentaires sur le taux de cholestérol sanguin

6.5- Instabilité des lipides

Les lipides alimentaires sont sujets à deux types de réactions chimiques ou biochimiques qui en font des substances relativement peu stables : la lipolyse (hydrolyse des lipides) et l'oxydation.

Lipolyse

L'hydrolyse des lipides (lipolyse) consiste en la décomposition des triglycérides par des enzymes spécifiques (lipases) en glycérol et acides gras libres. Les lipases sont soit d'origine endogène (propres à l'aliment), soit d'origine microbienne. Les espèces microbiennes les plus impliquées dans la lipolyse dans les aliments appartiennent aux groupes des bactéries et des moisissures.

Il faut rappeler ici [pour mémoire] l'effet de la lipase pancréatique qui a lieu au cours de la digestion / absorption des aliments.

La principale conséquence de la lipolyse est le développement de l'acidité des matières grasses suite à la libération des AG. Il apparaît également d'autres goûts anormaux et une odeur indésirable dus aux AG de faible poids moléculaire qui sont volatils. C'est le phénomène de *rancissement lipolytique*, qui ne présente cependant aucun danger pour la santé du consommateur.

L'huile d'olive commerciale est classée selon son acidité. Elle est considérée comme extra vierge si son acidité n'excède pas à 0,8% (en g d'acide oléique pour 100 g d'huile). Jusqu'à 2% d'acidité, elle est classée comme vierge. Le tableau 6.5.1 précise la classification des huiles d'olive commerciales selon la législation marocaine.

Tableau 6.5.1- Acidité et indice de peroxyde des huiles d'olive selon leur dénomination commerciale, d'après la législation marocaine (arrêté n° 293-16 du 2 février 2016)

Type commercial de l'huile	Acidité[1]	Indice de peroxyde[2]
Huile d'olive extra-vierge	≤ 0,8	≤ 20
Huile d'olive vierge	≤ 2,0	≤ 20
Huile d'olive vierge courante	≤ 3,3	≤ 20
Huile d'olive vierge lampante	> 3,3	Non limité
Huile d'olive raffinée	≤ 0,3	≤ 5
Huile d'olive	≤ 1,0	≤ 15
Huile de grignon d'olive brute	Non limitée	Non limité
Huile de grignon d'olive raffinée	≤ 0,3	≤ 5
Huile de grignon d'olive	≤ 1,0	≤ 15

[1] : en g d'acide oléique pour 100 g d'huile;
[2] : en milliéquivalents (mEq) d'oxygène des peroxydes par kg d'huile
mEquivalent/litre = molarité x valence des particules chargées négativement ou positivement

Un équivalent d'une substance est égal à son poids moléculaire ou atomique divisé par sa valence. La transformation de milligrammes en milliéquivalents s'effectue en divisant par le poids atomique et en multipliant par la valence.

Une acidité élevée est généralement le signe d'une altération de l'olive avant extraction de l'huile. Comme les moisissures sont souvent impliquées dans la lipolyse qui est à l'origine de cette forte acidité, on peut craindre que celle-ci soit accompagnée de la contamination de l'huile par les mycotoxines, métabolites toxiques secrétés par ces moisissures (voir *Moisissures toxinogènes et mycotoxines*, p. 304). On doit donc attirer l'attention des consommateurs sur les risques sanitaires représentés par les huiles d'olive très acides, parfois préférées pour leur goût fort caractéristique.

Oxydation

L'oxydation des lipides concerne essentiellement les AG libres et, en particulier, les AG insaturés. C'est pourquoi la lipolyse préalable des lipides favorise leur oxydation. En effet, l'exposition des lipides insaturés à l'oxygène atmosphérique, très réactif, provoque la détérioration de leur nature chimique, avec souvent des effets indésirables. Dans les aliments, ce phénomène conduit à la *rancidité oxydative*, avec des goûts et des odeurs indésirables beaucoup plus prononcés que ceux dus au rancissement lipolytique.

On exprime le degré d'oxydation d'une huile par l'indice de peroxyde, défini comme étant le nombre de milliéquivalents d'oxygène des peroxydes par kg d'huile. Le tableau 6.5.1 ci-dessus donne, à titre d'exemple, l'indice de peroxyde des huiles d'olive selon leur catégorie commerciale dans la législation marocaine.

Les huiles de poissons sont très riches en AG polyinsaturés dont certains, peu communs, possèdent 4 ou 5 doubles liaisons. Cette sensibilité à l'oxygène contribue, entre autres phénomènes, à la détérioration rapide de la flaveur des poissons, donc de leur qualité commerciale.

Des antioxydants comme les vitamines E et C sont souvent ajoutés aux aliments manufacturés pour éviter l'apparition de ces flaveurs indésirables. La vitamine E, en particulier, est un antioxydant naturel, ce qui explique pourquoi elle est présente en grandes quantités dans les lipides insaturés d'origine végétale. Dans cet ordre d'idée, le rôle physiologique principal de la vitamine E chez l'Homme est un rôle d'antioxydant dans la protection des AG polyinsaturés des tissus corporels.

Les traitements thermiques des produits alimentaires peuvent accentuer l'oxydation des lipides qu'ils contiennent (voir *Effet de la chaleur sur les lipides*, p. 228).

La lipolyse et/ou l'oxydation des matières grasses peuvent être recherchées dans certains produits tels que le *smen* (sorte de beurre salé rance marocain), le suif, certains fromages affinés, etc. Ces phénomènes biochimiques contribuent largement au développement des caractéristiques organoleptiques pour lesquelles ces produits sont appréciés.

6.6- Lipides sources d'énergie

Les acides gras entrant dans la composition des lipides sont divers. Outre leurs rôles physiologiques et métaboliques, les AG constituent une forme d'énergie très concentrée après leur dégradation.

Tous les types d'AG subissent le phénomène de la β-oxydation (hélice de Lynen) soit directement en ce qui concerne les AG linéaires saturés à nombre pair de carbones, soit après un réaménagement pour les autres catégories d'AG (AG saturés à nombre impair de Carbones, AG insaturés et AG ramifiés).

Au cours de la β-oxydation, chaque tour de l'hélice de Lynen concerne une tranche formée de 2 carbones (figure 6.6.1). Chacune de ces tranches aboutit à la formation d'une molécule d'Acétyl-CoA. Les molécules d'Acétyl-CoA seront ensuite soit oxydées à travers le cycle de Krebs (voir figure 1.3.3, p. 20), soit engagées dans d'autres processus métaboliques comme la biosynthèse des AG et des lipides isopréniques ou encore dans la cétogenèse (formation de corps cétoniques).

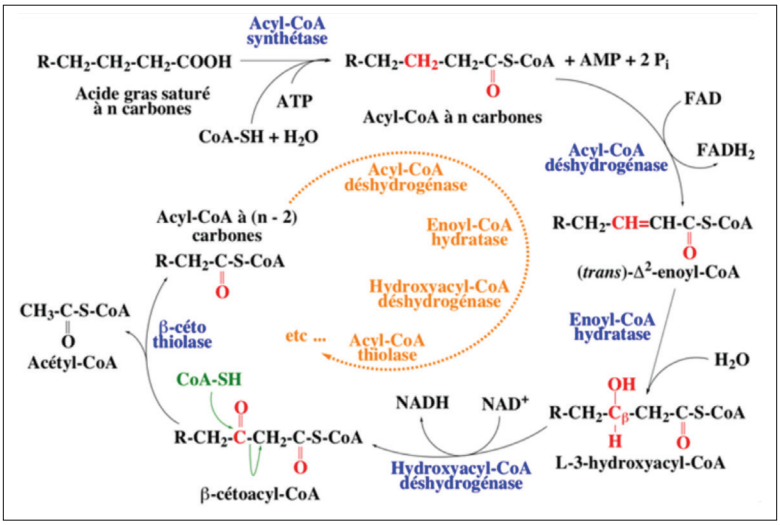


Figure 6.6.1- Mécanisme de la β-oxydation des acides gras saturés

Dans le cas des AG linéaires saturés à nombre pair de carbone, l'oxydation de chaque maillon de 2 carbones produit 5 molécules d'ATP au niveau de l'hélice de Lynen et 12 dans le cycle de Krebs, soit 17 au total. Par atome de carbone, cela fait plus de 8 ATP, alors que la combustion du glucose, en comparaison, ne fournit que 6 ATP par atome de carbone.

En outre, les lipides, notamment les triglycérides, comportent bien plus d'atomes de carbone par unité de poids que les glucides, de sorte qu'ils constituent des réserves énergétiques beaucoup plus importantes avec un poids bien moindre, c'est-à-dire que la densité énergétique est nettement plus élevée.

7- Vitamines

On a longtemps ignoré l'existence des vitamines car elles sont généralement apportées, à quelques exceptions près, par l'alimentation de l'Homme en quantité suffisante pour éviter toute carence. En effet, la plupart des aliments représentent naturellement une source intéressante de telles ou telles vitamines, si bien que les teneurs en celles-ci des différents composants d'un régime alimentaire normal se complètent. Il a fallu que surviennent des circonstances particulières (famines, guerres, expéditions marines prolongées) pour que se manifestent des carences vitaminiques se traduisant par des ravages spectaculaires.

De légères carences en certaines vitamines ont été aussi décelées avec la généralisation de la consommation de produits raffinés (sucre, farine blanche, etc.) ou ayant subi d'autres traitements technologiques. Pour cela, certains pays ont carrément prohibé la commercialisation des produits à base de farines raffinées. La fortification des aliments par ajout de vitamines est cependant de plus en plus pratiquée pour compenser les pertes dues à ces traitements.

7.1- Définition et classification

Définitions

Les vitamines sont des substances organiques nécessaires en petites quantités pour assurer une bonne croissance et le maintien de la vie et permettre les capacités de reproduction chez l'Homme et les animaux supérieurs.

De structure chimique très hétérogène, les vitamines sont des composés sans valeur énergétique propre et que l'organisme ne peut généralement pas synthétiser lui-même, d'où la nécessité de les fournir par le régime alimentaire. Cependant, certaines d'entre elles peuvent, dans des conditions particulières, être synthétisées par les bactéries intestinales en quantité suffisante pour couvrir les besoins (vitamines B12 et K).

Les vitamines font partie des micronutriments. En effet, les besoins de l'Homme sont très faibles (de l'ordre de 1 à 100 mg/jour selon les vitamines, ou même moins de 1 mg/j) comparativement aux autres éléments nutritifs (protéines, lipides, glucides, sels minéraux majeurs).

On distingue les vitamines des autres micronutriments tels que le fer, l'iode, le manganèse ou le zinc, tout aussi indispensables à faible dose (c'est pourquoi on les appelle les oligo-éléments), mais qui sont de nature minérale. On exclut également des vitamines les acides gras insaturés (oméga-3, oméga-6, etc.) du fait qu'ils existent en quantités relativement importantes dans le régime alimentaire.

Classification

Tenant compte de leur solubilité dans l'eau ou dans les lipides, on classe les vitamines en deux grandes catégories :

- les vitamines hydrosolubles (solubles dans l'eau), qui englobent notamment la vitamine C et les vitamines du groupe B;
- les vitamines liposolubles (solubles dans les lipides), qui sont les vitamines A, D, E et K (tableau 7.1.1).

Tableau 7.1.1- Classification des vitamines

Vitamines	Substances les plus importantes du groupe
Vitamines liposolubles	
Vitamine A	Vitam. A1 (rétinol), vitam. A2 (déhydro-3-rétinol)
Vitamine D	Vitam. D2 (ergocalciférol; forme végétale), vitam. D3 (cholécalciférol; forme animale)
Vitamine E	Tocophérols, tocotriénols
Vitamine K	Vitam. K1, vitam. K2, vitam. K3 (ménadione)[1]
Vitamines hydrosolubles	
Vitamine C	Acide ascorbique, acide déhydroascorbique
Vitamine B1	Thiamine (aneurine)
Vitamine B2	Riboflavine (lactoflavine)
Vitamine B6	Pyridoxine (pyridoxol, pyridoxal, pyridoxamine)
Vitamine B12	Cyanocobalamines, méthylcobalamines
Vitamine PP	Amide de l'acide nicotinique (nicotinamide, niacinamide), acide nicotinique (niacine)
Ac. pantothénique	Acide pantothénique
Biotine	d-Biotine
Acide folique	Acide folique (acide ptéroylglutamique), formes conjuguées de l'acide folique

[1] : La ménadione est une forme hydrosoluble de vitamine K. Elle est convertie en vitamine K2 dans l'organisme et a une activité biologique supérieure de 2 à 3 fois aux vitamines K1 et K2.

7.2- Rôles

De façon générale, les vitamines du groupe B jouent des rôles de transporteurs d'électrons dans les processus de production d'énergie dans les cellules. De nombreuses vitamines interviennent comme coenzymes dans les réactions du métabolisme cellulaire (figure 7.2.1).

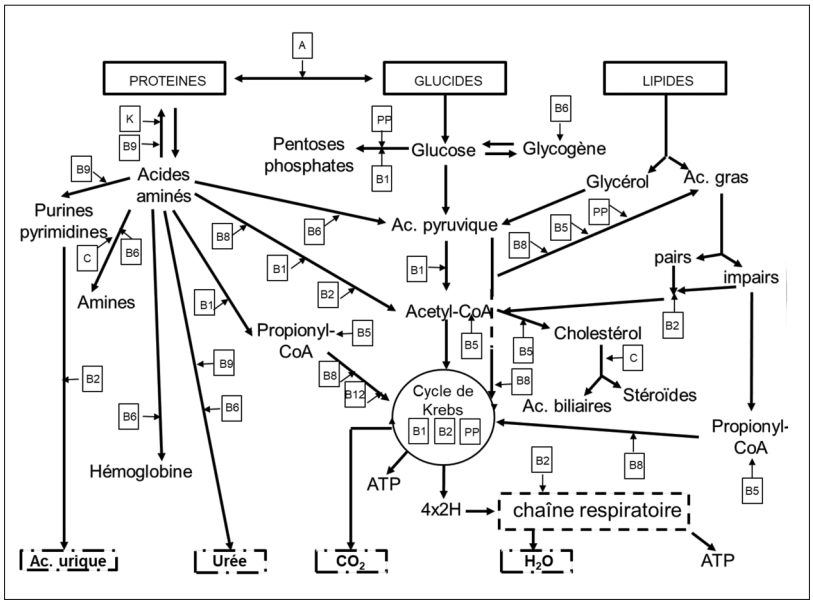


Figure 7.2.1- Vitamines jouant un rôle de coenzymes dans les réactions du métabolisme cellulaire

A : vitamine A; Ac. : acide; ATP : Adénosine Tri Phosphate; B1 : vitamine B1 (thiamine); B2 : vitamine B2 (riboflavine); B5 : vitamine B5 (acide pantothénique); B6 : vitamine B6 (pyridoxine); B8 : vitamine B8 (biotine); B9 : vitamine B9 (acide folique); B12 : vitamine B12 (cobalamine); C : vitamine C (acide ascorbique); CoA : Coenzyme A; K : vitamine K; PP : vitamine PP (niacine)

Par ailleurs, la vitamine B12 et l'acide folique empêchent l'anémie mégaloblastique et pernicieuse (voir *Carences*, p. 112). La vitamine C, elle, intervient dans les processus d'oxydo-réduction (par exemple réduction des ions ferriques Fe^{3+} en ions ferreux Fe^{2+} qui sont mieux absorbés) et assure l'intégrité des membranes cellulaires.

Quant aux fonctions des vitamines liposolubles, elles peuvent se résumer comme suit :

- vitamine A : processus de la vision, maintien de l'intégrité des épithéliums de la peau;
- vitamine D : régulation du métabolisme phosphocalcique;
- vitamine E : antioxydant, rôle dans la fertilité, antivieillesse;
- vitamine K : coagulation du sang.

7.3- Besoins

Les besoins quotidiens en vitamines sont exprimés en mg ou en µg (1 µg = un millième de mg) ou encore en Unités Internationales (UI).

En pharmacologie, l'unité internationale (UI) est une unité de mesure d'une substance, basée sur l'activité biologique mesurée. En général l'UI est utilisée pour les vitamines, mais aussi pour les hormones, beaucoup de médicaments, des vaccins et d'autres substances actives biologiques.

Le tableau 7.3.1 donne la valeur de ces besoins pour les vitamines liposolubles A, D et E.

Tableau 7.3.1- Besoins journaliers en vitamines A, D et E

	Âge (années)	Poids (kg)	Vit. A[1] µgRE	Vit. D[2] µg	Vit. E[3] mg α-TE
Nourrisson	0,0-0,5	6	420	10	3
	0,5-1,0	9	400	10	4
Enfant	1-3	13	400	10	5
	4-6	20	500	10	6
	7-10	28	700	10	7
Sexe masculin	11-14	45	1.000	10	8
	15-18	66	1.000	10	10
	19-22	70	1.000	7,5	10
	23-50	70	1.000	5	10
	51+	70	1.000	5	10
Sexe féminin	11-14	46	800	10	8
	15-18	55	800	10	8
	19-22	55	800	7,5	8
	23-50	55	800	5	8
	51+	55	800	5	8
Grossesse			+200	+5	+2
Allaitement			+400	+5	+3

[1] : vitamine A : 1 équivalent rétinol = 1 µg rétinol (RE) = 6 µg β carotène = 12 µg autres provitamines A, caroténoide = 3,33 UI d'activité pour le rétinol = 10 UI d'activité pour le β carotène

[2] : vitamine D : 1 UI d'activité vitamine D = 0,025 µg vitamine D, sous forme de cholécalciférol c'est à dire 10 µg vitamine D correspond à 400 UI d'activité vitamine D

[3] : vitamine E : L'activité vitaminique E totale dans un régime alimentaire provient des tocophérols et des tocotrienols. Elle peut être exprimée en mg d-α tocophérol équivalent (TE) ou en UI. 1UI correspond soit à 1mg d'acétate de dl-α tocophérol qui est la forme la plus stable, soit 0,97 mg de dl-α tocophérol ou 0,73 mg de d-α tocophérol qui est la forme la plus active.

Pour la vitamine K, vue la difficulté de définir les apports alimentaires, d'une part, et la synthèse de cette vitamine par les bactéries de l'intestin, d'autre part, il est difficile de déterminer les besoins précis. Cependant, on estime qu'un nourrisson devrait en recevoir 15 µg/j, quantité normalement présente dans un litre de lait maternel. Par ailleurs, l'enfant devrait recevoir 10 µg/j de vitamine K et, sur la base des études sur le rat, on estime qu'un homme adulte a besoin d'un apport minimal de 45 à 50 µg/j.

Le tableau 7.3.2 regroupe les besoins journaliers pour les principales vitamines hydrosolubles.

Tableau 7.3.2- Besoins journaliers pour les principales vitamines hydrosolubles

Âge (années)	Poids (kg)	Vit. C (mg)	Ac. Folique (µg)	Vit. PP[1] (mg)	Riboflavine (mg)	Thiamine (mg)	Vit. B6 (mg)	Vit. B12 (µg)
Nourrisson								
0,0-0,5	6	35	30	6	0,4	0,3	0,3	0,5
0,5-1,0	9	35	45	8	0,6	0,5	0,6	1,5
Enfant								
1-3	13	45	100	9	0,8	0,7	0,9	2,0
4-6	20	45	200	11	1,0	0,9	1,3	2,5
7-10	28	45	300	16	1,4	1,2	1,6	3,0
Sexe masculin								
11-14	45	50	400	18	1,6	1,4	1,8	3,0
15-18	66	60	400	18	1,7	1,4	2,0	3,0
19-22	70	60	400	19	1,7	1,5	2,2	3,0
23-50	70	60	400	18	1,6	1,4	2,2	3,0
51+	70	60	400	16	1,4	1,2	2,2	3,0
Sexe feminin								
11-14	46	50	400	15	1,3	1,1	1,8	3,0
15-18	55	60	400	14	1,3	1,1	2,0	3,0
19-22	55	60	400	14	1,4	1,1	2,0	3,0
23-50	55	60	400	13	1,2	1,0	2,0	3,0
51+	55	60	400	13	1,2	1,0	2,0	3,0
Grossesse		+20	+400	+2	+0,3	+0,4	+0,6	+1,0
Allaitement		+40	+100	+5	+0,5	+0,5	+0,5	+1,0

[1] : Apports exprimés sous forme de nicotinamide; 1 mg de nicotinamide (ou 1 équivalent niacine) correspond à 60 mg de tryptophane.

Les besoins en acide pantothénique, l'un des composants essentiels du coenzyme A, indispensable à toute vie cellulaire, sont estimés entre 5 et 10 mg/j.

Les besoins en biotine sont difficiles à évaluer, cependant un apport de 100 à 300 µg/j peut faire disparaître les signes cliniques de carence.

7.4- Sources

Les végétaux synthétisent les vitamines directement à partir des éléments simples que sont le CO_2, l'eau, les sels minéraux et l'azote. C'est pourquoi les produits végétaux sont les sources naturelles les plus importantes de vitamines en général.

C'est dans les feuilles et les autres parties vertes des plantes (tiges par exemple) que s'opère la synthèse des vitamines, d'où la très forte richesse de ces organes en ces micronutriments. Les graines (légumineuses en sec, fruits secs tels que les amandes et les noix, céréales entières, etc.) sont également assez riches en vitamines. Quant aux racines et aux fruits, ils sont moins pourvus, en général, bien qu'il y ait des exceptions telles que les agrumes et le kiwi en ce qui concerne la vitamine C.

Il faut cependant signaler que la distribution des vitamines dans les fruits et les légumes est très inégale. De plus, leur teneur peut varier avec de nombreux paramètres tels que la nature du sol où ils sont cultivés, le degré de maturation au moment de la cueillette, les conditions de stockage et les traitements subis (cuisson par exemple) (voir *Stabilité et effets des traitements technologiques*, p. 115).

Parmi les produits animaux, le foie et les rognons sont riches en vitamines hydrosolubles (à l'exception toutefois de la vitamine C), de même que la viande maigre, à un moindre degré.

Certains animaux concentrent assez efficacement les vitamines dans des produits fort prisés par le consommateur humain. Il s'agit des ruminants femelles qui les déposent dans le lait et des volailles qui les accumulent dans les œufs. De même, les poissons retiennent particulièrement les vitamines liposolubles A et D dans leur foie qui, de ce fait, constitue la source naturelle la plus riche en ces vitamines.

Les tableaux 7.4.1 à 7.4.14 donnent les principales sources naturelles pour les vitamines les plus importantes.

Vitamines liposolubles

Vitamine A

Pour la vitamine A, les sources les plus riches sont les huiles de foie de poissons (flétan, morue), ainsi que le foie des animaux de boucherie, le beurre et les œufs (tableau 7.4.1). Les foies des animaux âgés sont plus fournis en vitamine A, ainsi que ceux des animaux nourris à l'herbe fraîche. Par ailleurs, le beurre des femelles laitières ayant brouté de l'herbe verte est plus jaune et plus riche en vitamine A et en carotènes (précurseurs de la vitamine A) que celui des animaux ayant reçu des fourrages secs. Il n'y a cependant pas de corrélation entre la couleur intense du beurre ou du jaune d'œuf et leur richesse en vitamine A, cette couleur étant due aux carotènes, qui sont des précurseurs de la vitamine A, et non à la vitamine A proprement dite, qui est incolore.

Tableau 7.4.1- Principales sources de vitamine A et de β-carotène

Sources	Vitamine A (UI/100g)[1]	β-carotène (mg/100g)[2]
Huile de foie de flétan	2.000.000-40.000.000	-
Huile de foie de morue	50.000-400.000	-
Huile de foie de morue (officinale)	60.000	-
Foie de poisson	10.000-1.000.000	-
Foie d'animaux de boucherie	10.000-40.000	-
Beurre	1.500-4.000	0,3-1
Œuf	1.000-2.000	-
Lait	100-400	-
Carottes	-	3-12
Cresson, laitue, chou, épinards	-	2,5-8,5
Abricot	-	1-4
Mûres, myrtilles	-	0,05-0,2

[1] : 1 équivalent rétinol =1 µg de rétinol = 3,33 UI pour le rétinol (1µg = un millième de mg);
[2] : 1 équivalent rétinol = 6 µg de β-carotène = 10 UI pour le β-carotène

La margarine est souvent enrichie en vitamines A et D afin d'en faire un substitut acceptable du beurre. L'huile d'argan apporte également de la vitamine A. Les légumes jaunes ou verts sont de bonnes sources en cette vitamine, sous forme de provitamine. Dans ces produits, l'intensité de la couleur verte ou jaune est un indicateur fiable de la valeur vitaminique A. Les feuilles extérieures des choux ou des laitues, plus vertes, sont plus intéressantes à cet égard que les feuilles de couleur claire de l'intérieur. Certains légumes (carotte, cresson, épinards) et fruits (abricot) apportent le β-carotène.

Pour calculer la quantité d'équivalents rétinol dans un produit alimentaire ou un régime alimentaire, on doit procéder ainsi :

Si le rétinol et le β carotène sont donnés en µg, alors:

$$\mu g \text{ rétinol} + \frac{\mu g \ \beta \text{ carotène}}{6} = \text{équivalents rétinol}$$

Si les deux sont donnés en UI, alors :

$$\frac{\text{UI rétinol}}{3{,}33} + \frac{\text{UI } \beta \text{ carotène}}{10} = \text{équivalents rétinol}$$

Si le β carotène et les autres caroténoïdes provitamines A sont donnés en µg, alors :

$$\frac{\mu g \ \beta \text{ carotène}}{6} + \frac{\mu g \text{ autres carotenoides}}{12} = \text{équivalents rétinol}$$

Vitamine D

Peu distribuée dans les aliments, la vitamine D est essentiellement fournie par l'action du soleil (rayons UV) sur notre peau et celle (non couverte) des animaux par la conversion du cholestérol en vitamine D3 (cholécalciférol). Chez les végétaux, on trouve la forme D2 (ergocalciférol). Les huiles de foie de poissons sont de très bonnes sources de vitamine D (tableau 7.4.2). Le foie des animaux de boucherie, quelques espèces de poissons (poissons gras), ainsi que le jaune d'œuf, le beurre et le lait irradié peuvent apporter également de la vitamine D.

Tableau 7.4.2- Principales sources de vitamine D (UI/100g)[1]

Sources		Vitamine D
Huile de foie	Flétan	2.000.000-4.000.000
	Thon	200.000-600.000
	Morue	10.000-30.000
	Morue (officinale)	8.500
Poissons	Maquereau, sardine fumée, …	300-5.000
	Hareng, thon	300-1.000
Œuf	Jaune	160-400
Lait et dérivés	Lait irradié	120
	Beurre	20-80
	Fromage	10-20
	Lait de vache	4-20
	Lait de femme	2-6

[1] : 1 UI de vitamine D = 0,025 µg

Le lait maternel contient très peu de vitamine D. Sa teneur se situant entre 2 et 7 UI /100ml, soit 0,05 à 0,175 µg/100 ml, dépend de l'alimentation de la mère allaitante.

Sur la base d'une production laitière journalière de 850 ml, la quantité totale de vitamine D disponible au nourrisson est de:

$$\frac{0{,}05 \text{ à } 0{,}175 \text{ µg}}{100} \times 850 = 0{,}425 \text{ à } 1{,}488 \text{ µg/j}$$

La conversion du supplément vitaminique D au cours de la lactation (estimé à 5 µg/j) en vitamine D dans le lait (0,425 à 1,488 µg/j) est inefficace. Elle n'est que de 0,425/5 à 1,488/5 pour cent c'est à dire 8,50 à 29,76%.

La quantité journalière de vitamine D apportée par la lactation (0,425 à 1,488 µg) ne couvre qu'une partie infime du besoin du nourrisson (400 UI ou 10 µg/j) c'est à dire 4,25 à 14,88%.

Les enfants nourris au sein auront donc besoin soit d'une large exposition à la lumière UV, mais limitée dans le temps, soit d'un supplément en vitamine D.

Vitamine E

L'activité de la vitamine E est due à plusieurs produits d'origine végétale: les tocophérols et les tocotrienols. Les tocotrienols se distinguent des tocophérols par leur chaîne latérale triplement instaurée. Il existe plusieurs dérivés des tocophérols et des tocotrienols, alpha (α), bêta (β), gamma (γ) et delta (δ) qui sont tous doués jusqu'à un certain niveau, d'activité vitaminique E.

La vitamine E se trouve surtout dans les huiles végétales et le germe de blé et, accessoirement, dans le beurre et quelques légumes (tableau 7.4.3). Dans beaucoup de régimes alimentaires, la vitamine E est surtout apportée par les huiles à salades, les margarines et les graisses, de façon plus générale. Les graines entières, le foie, les haricots, certains fruits et légumes peuvent aussi en apporter de façon significative. L'huile de germe de blé reste l'une des sources naturelles les plus riches.

Pour le calcul de l'activité vitaminique E totale d'un régime alimentaire mixte exprimée en mg, il faut tenir compte de toutes les formes de la vitamine E:

mg alpha tocophérol + mg bêta tocophérol x 0,5 + mg gamma tocophérol x 0,1 + mg alpha tocotriénol x 0,3.

Cette somme donne la quantité exprimée en mg d'alpha tocophérol équivalent.

Si on ne donne que la quantité d'alpha tocophérol, l'apport total en vitamine E est majoré de 20%, donc multiplié par 1,20 pour tenir compte des autres formes.

Tableau 7.4.3- Principales sources de vitamine E (mg/100g)

Sources		Vitamine E
Huiles alimentaires	Huile de germe de blé	150-500
	Huile de soja	140
	Huile d'argan	70
	Huile d'arachide	15-30
	Huile d'olive	10-20
Autres produits végétaux	Germe de blé	14-16
	Chou	2,5
	Epinard	2
	Banane	0,5
	Salades	0,3-2
Lait et produits laitiers	Beurre	2-3
	Lait de femme	0,7
	Lait de vache	0,1
Œuf	Œuf de poule	1,2
Viande et abats	Foie de veau	1,4
	Muscle de bœuf	0,4

Le trolox est un analogue hydrophile de la vitamine E. Il s'agit d'un anti-oxydant utilisé pour limiter les dommages dus au stress-oxydant.

Le besoin en vitamine E est associé à la quantité d'acides gras polyinsaturés (AGPI) dans le régime alimentaire, tel que:

$$\frac{\text{mg alpha tocophérol équivalent}}{\text{g AGPI}} = 0{,}4$$

L'énergie apportée par les AGPI doit être supérieur à 3% de l'énergie totale.

Vitamine K (phylloquinone)

Les apports en vitamine K sont surtout d'origine végétale, sous forme de phylloquinones. Les principales sources sont les légumes verts. En particulier, les épinards, le chou vert, le cresson, la laitue et le brocoli renferment jusqu'à 1000 µg/100g. Il en est de même pour les huiles de soja et de colza. Les haricots verts, le concombre, les poireaux, les pois et l'huile d'olive en contiennent jusqu'à 100 µg/100g. On en trouve aussi dans la tomate et la fraise (tableau 7.4.5), ainsi que dans certains produits d'origine animale (jaune d'œuf, foie de veau, de bœuf ou de porc, produits laitiers). Par ailleurs, le thé vert, riche en vitamine K, peut être consommé régulièrement mais avec modération, et en dehors des repas afin de ne pas nuire à la biodisponibilité du fer alimentaire d'origine végétale. La plupart des céréales ne contiennent pratiquement pas de vitamine K.

Tableau 7.4.5- Principales sources de vitamine K (mg/100g)

Sources		**Vitamine K**
Légumes	Épinards	0,6
	Cresson	0,54
	Choux verts	0,4
	Tomate	0,4
	Laitue	0,25
	Brocoli	0,14
	Pomme-de-terre	0,08
	Pois	0,01-0,03
	Carotte	0,01
Fruits	Fraises, etc.	0,3
Foie	Bœuf	0,1-0,2
Muscles	Bœuf, mouton, porc	0,1-0,2
Lait	De femme	0,02
	De vache	0,002
Œuf	Entier	0,02

Vitamines hydrosolubles

Vitamine B1 (thiamine)

La thiamine (vitamine B1) est particulièrement concentrée dans les enveloppes des céréales (riz par exemple). Cela explique la meilleure richesse des grains entiers par rapport aux grains polis. C'est aussi la raison pour laquelle les farines de céréales au taux d'extraction le plus élevé, c'est-à-dire celles qui contiennent la plus grande proportion de son, sont les plus riches (tableau 7.4.6). La levure, certains légumes, la viande de bœuf et le lait sont des sources non négligeables en cette vitamine. Notons qu'il s'agit d'une vitamine thermolabile, détruite par la chaleur (voir § *Stabilité et effets des traitements technologiques*, p. 115).

Tableau 7.4.6- Principales sources de Thiamine (mg/100g)

Sources		Thiamine
Céréales	Pellicule de riz	2,3
	Riz grain entier	0,5
	Riz grain poli	0,03
	Farine de blé	0,36-0,5
	Farine TDE 85%[1]	0,3-0,4
	Farine TDE 73%[1]	0,07-0,1
Légumes et fruits	Pois	0,36
	Pomme-de-terre	0,08-0,1
	Autres légumes	0,4-0,6
	Pomme, poire, prune, abricot, pêche, banane	0,01-0,05
Levure	Extrait de levure	1-2
	Levure sèche	2,5-10
Viande	Bœuf	jusqu'à 6
	Agneau	0,1-0,2
	Volaille	0,1
Œuf	Jaune d'œuf	0,3-0,5
Lait	De vache	0,04
	De chèvre	0,04
	De femme	0,02

[1] : TDE : Taux d'extraction

Vitamine B2 (riboflavine)

La riboflavine (vitamine B2) est très largement distribuée dans les aliments, à l'exception du sucre raffiné et des graisses. Elle est cependant particulièrement présente dans la levure et les abats (foie, cœur) des ruminants (tableau 7.4.7), à côté d'autres sources moins riches (œufs, lait, légumes verts, viande et légumineuses).

Tableau 7.4.7- Principales sources de Riboflavine (mg/100g)

Sources		Riboflavine
Levure	Levure sèche	15
	De boulangerie	2,5-3
Viande et abats	Foie (bœuf, mouton)	1,7-3,2
	Rognon	2
	Cœur (bœuf)	0,9
	Muscle (bœuf, mouton)	0,1-0,4
Poissons	Hareng, sardine, maquereau	0,3-0,6
	Laitance	0,4-0,7 et plus
Œuf	Entier	0,3
	En poudre	1,2
Blé	Grain	0,1-0,8
	Germe	0,5-4
	Farine de blé	0,1-0,2
	Farine TDE 85%[1]	0,15
	Farine TDE 73%[1]	0,08
Légumes	Haricots	0,1-0,2
	Graines de soja	0,1-0,4
	Epinards	0,2-0,4
Fruits	Abricots	0,1-0,15
	Prune, poire	0,03-0,10
Lait	De vache	0,15
	De femme	0,04
Fromage	-	0,3-0,7

[1] : TDE : Taux d'extraction

Vitamine PP (niacine)

Le tableau 7.4.8 révèle que la levure est une excellente source de vitamine PP (niacine), de même que les grains de céréales (riz, blé), en particulier leurs enveloppes. Là aussi, on voit que plus le taux d'extraction est bas, plus la farine obtenue est pauvre en cette vitamine. La viande et les abats, ainsi que certains poissons, peuvent constituer un apport intéressant, à côté de certains fruits séchés (figues, pruneaux, dattes) et des légumineuses (pois, lentilles, graines de soja).

La vitamine PP (sous forme de niacine) peut être synthétisée dans l'organisme humain à partir du tryptophane. En conséquence, à côté de la quantité de niacine déjà présente dans les aliments, il convient de tenir compte des équivalents niacine pouvant être fournis par les protéines riches en tryptophane. Plusieurs voies biochimiques peuvent être empruntées pour passer du tryptophane à la niacine. Dans la voie de la cynurénine, par exemple, 90% du tryptophane alimentaire sont engagés dans la synthèse des protéines et 2% pour l'obtention de la sérotonine, laissant 8% pour la transformation en vitamine PP (figure 7.4.1).

Par ailleurs, il est établi que 1mg de niacine peut être obtenu à partir de 60 mg de tryptophane. On parle alors d'équivalent niacine. Dans un litre de lait, par exemple, on n'a que 1 mg de niacine, mais on a 480 mg de tryptophane, ce qui équivaut à 8 mg de niacine (480/60), soit un total de 9 mg d'équivalents niacine.

Tableau 7.4.8- Principales sources naturelles de Vitamine PP (mg/100g)

Sources		Vitamine PP
Levure	Sèche	50-60
	De boulangerie	10-40
Céréales	Son de riz	28-140
	Son de blé	14-40
	Farine de blé	4,8-5,5
	Farine taux d'extraction 80%	0,9-1,1
	Farine taux d'extraction 70%	0,7-0,8
	Grains (seigle, orge, blé, riz)	1,5-5
Viande et abats	Foie (veau)	9-25
	Foie (mouton, lapin)	5-12
	Rein (bœuf, mouton)	5-8
	Muscles (bœuf, lapin, poule)	6-12
Poissons	Morue, cabillaud, saumon, maquereau, thon	2-10
Légumes	Pois, lentille, graine de soja	2,3-5
	Tomate, oignon, épinard, haricot	0,5-1
	Chou, carotte, chou-rave	0,2-0,9
Fruits	Secs (figue, pruneau, datte)	2-5
	Frais (poire, pomme, abricot, citron, prune, pêche)	0,1-0,9
Lait	De vache (pasteurisé)	0,9
	Maternel	0,5
Fromages	-	1-2

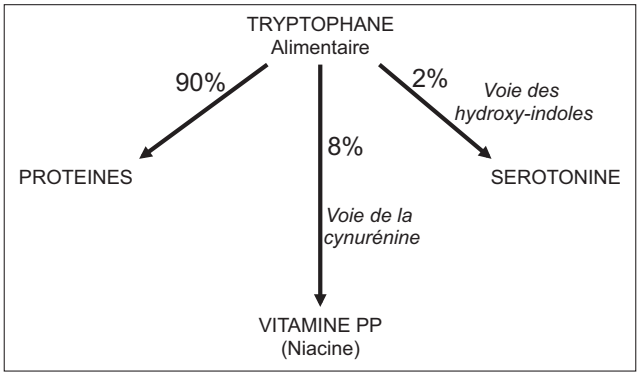


Figure 7.4.1- Devenir du tryptophane alimentaire

Acide pantothénique (vitamine B5)

La levure est la source la plus riche en acide pantothénique, suivie du jaune d'œuf et des abats des ruminants (tableau 7.4.9). Les sons de blé et de riz sont assez intéressants à cet égard. Des légumes comme la pomme-de-terre, le chou, le chou-fleur et les pois en apportent également des quantités non négligeables. Le lait, la viande et la volaille en sont des sources modérées.

Tableau 7.4.9- Principales sources naturelles d'acide pantothénique (mg/100g)

Sources		Acide pantothénique
Levure	Boulangère, sèche	14-20
Œuf	Jaune (poule)	6-7
Viande et abats	Foie (veau, bœuf)	4-7,5
	Rein (bœuf)	2,5-3,6
	Muscles (veau, mouton)	0,2-1,6
Céréales	Son de blé	2,5
	Son de riz	1,5-2,7
	Blé (grain, germe)	0,5-1,5
	Farine de blé	0,5
	Farine taux d'extraction 75%	0,23
Légumes	Pomme-de-terre	0,23-0,65
	Chou, chou-fleur, pois	0,2-1,4
	Tomate	0,1-0,2
Fruits	-	0,03-0,3
Lait	De vache	0,1-0,4
	De femme	0,25

Vitamine B6 (pyridoxine)

La vitamine B6 (pyridoxine) répond au schéma général de distribution des vitamines hydrosolubles. Elle est assez concentrée dans la levure boulangère, notamment sous sa forme sèche (tableau 7.4.10). La viande de poulet et le foie des ruminants (mouton, veau) en constituent d'assez bonnes sources également, ainsi que les grains de céréales, comme le maïs, l'orge et l'avoine, et surtout le germe (blé, maïs). Certains légumes tels que la pomme-de-terre constituent un apport non négligeable.

Tableau 7.4.10- Principales sources naturelles de vitamine B6 (mg/100g)

Sources		Vitamine B6
Levure	Sèche	4-10
	Boulangère	4-8
Céréales	Germe (blé, maïs)	1-5
	Grains (maïs, orge, avoine)	0,7-4
	Grains (blé, riz)	0,3-0,6
	Farine de blé	0,4-0,7
	Farine taux d'extraction 80%	0,1-0,3
	Farine taux d'extraction 70%	0,08-0,16
Viandes et abats	Muscles (poule)	2,5
	Muscles (mouton, bœuf, veau)	0,3-0,7
	Foie (mouton, veau)	1-2,5
Légumes	Chou, pomme-de-terre, pois, salade, haricot, épinards	0,1-0,5
Fruits	Orange, poire, banane	0,1-0,5
Jaune d'œuf	Poule	0,18
Lait	De vache	0,05-0,3
	De femme	0,01

Biotine (vitamine B8 ou vitamine H)

la biotine est une vitamine hydrosoluble contenant du soufre et est largement distribuée dans la nature aussi bien dans le règne végétal, qu'animal. Elle entre dans la constitution des enzymes intervenant dans le transport des radicaux CO_2 et est l'agent fondamental des réactions de carboxylation et de transcarboxylation, jouant ainsi un rôle important dans les métabolismes des glucides et des lipides et en assure un rôle de régulation.

La biotine est inactivée par l'avidine, protéine du blanc d'œuf avec laquelle elle a une grande affinité, formant ainsi un complexe irréversible et résistant à l'action des sucs digestifs. L'avidine est toutefois détruite par la chaleur. Une consommation élevée d'œufs crus peut provoquer une carence en biotine. Un apport quotidien de 0,15 à 0,30 mg est suffisant pour couvrir les besoins de l'Homme en cette vitamine.

Il n'existe pas de carence spontanée en biotine chez l'Homme. Cependant un déficit en cette vitamine a été observé chez des sportifs pratiquant le bodybuilding et consommant beaucoup de blanc d'œufs cru (syndrome du "*egg white injury*", en italique). Une carence expérimentale induite par la consommation d'un régime alimentaire carencé en biotine et contenant de fortes quantités d'avidine sous forme d'œufs crus se traduit par de la dermatite squameuse (en forme d'écailles), la sécheresse de la peau, l'atrophie des glandes cébacées, en plus de l'anorexie, de la lassitude, des nausées et d'un syndrome neurologique.

Il faudrait donc éviter de consommer des œufs crus surtout en grande quantité.

La biotine est très concentrée dans la levure boulangère (tableau 7.4.11). Cependant, le chocolat en est assez pourvu, de même que beaucoup de légumes. Parmi les produits alimentaires d'origine animale, l'œuf curieusement et les viandes (poulet, agneau, bœuf et veau) sont des sources intéressantes. Les céréales (blé et riz en particulier) en apportent aussi des quantités non négligeables.

Tableau 7.4.11- Principales sources naturelles de Biotine (mg/100g)

Sources		Biotine
Levure	Boulangère	90
Chocolat	-	32
Légumes	Chou-fleur, champignons	20
	Haricot, pois secs	10-18
	Carotte, tomate, épinards	3-7
Œuf entier	-	12-15
Viandes	Poulet	10
	Agneau	5,9
	Bœuf	2,6-3,4
	Veau	2
Céréales et dérivés	Farine de blé	7-12
	Farine taux d'extraction 80%	1,4-3
	Riz poli	4-6
Fromages	-	1,8
Poissons de mer	-	0,1-3
Fruits et dérivés	Pomme	0,9
	Jus d'orange	0,5-1,5

Il faut cependant signaler que les microorganismes de l'intestin humain synthétisent normalement de la biotine en quantité suffisante pour couvrir les besoins.

Acide folique (vitamine B9)

Ce sont les levures, le foie des ruminants et les légumes feuillus qui représentent les sources les plus riches en acide folique (tableau 7.4.12). D'ailleurs, c'est parce qu'elle a été extraite pour la première fois des feuilles végétales que cette vitamine a été baptisée «acide folique». L'œuf de poule, la viande bovine et les rognons, ainsi que d'autres légumes (carotte, chou, haricot vert, pomme-de-terre) en sont également assez bien pourvus. On peut ajouter à ces sources les légumineuses en sec, d'autres légumes verts (laitues, brocoli), des fruits secs (noix, amandes), les oranges et les céréales.

Tableau 7.4.12- Principales sources naturelles d'acide folique (µg/100g)

Sources		Acide folique
Levure	Boulangère	2000
Céréales	Germes de riz	430
	Germes de blé	300
Légumes	Asperges, épinards	100-150
	Carotte, chou, haricot vert	10-40
	Pomme-de-terre	5-10
Viandes et abats	Foie (bœuf)	300
	Foie (agneau)	275
	Reins	10-30
	Muscles (Bœuf, veau)	10-50
Chocolat	-	100
Œuf	-	10-90

Vitamine B12 (cobalamines)

Pour ce qui est de la vitamine B12 (cobalamines), ce sont les abats (foie, rognons) qui constituent les sources les plus riches, suivis de quelques espèces de poissons (hareng, maquereau) et de la viande de bœuf, des œufs (tableau 7.4.13) et des coquillages. Le lait de vache en apporte aussi des quantités appréciables, ainsi que la plupart des produits laitiers, à l'exception du beurre.

Tableau 7.4.13- Principales sources naturelles de Vitamine B12 (µg/100g)

Sources		Vitamine B12
Viandes et abats	Foie de bœuf	20-60
	Rein de bœuf	10-30
	Viande de bœuf	2-3
Poissons	Hareng	14
	Maquereau	5
Lait	De vache	1-4
Fromages	-	0,2-2
Œuf	Entier	0,4

Vitamine C (acide ascorbique)

Ce sont les fruits qui représentent les meilleures sources de vitamine C, notamment le cynorrhodon (fruit de l'églantinier *Rosa canina*), le kiwi et les agrumes (orange, citron, pamplemousse).

Beaucoup de légumes constituent de très bons apports également, notamment le chou de Bruxelles, les épinards, le chou, le chou-fleur, la tomate, etc. (tableau 7.4.14). Dans certains pays, la pomme-de-terre constitue un aliment de base et représente, de ce fait, une source essentielle de vitamine C et ce, pour trois raisons : ce légume est consommé presque quotidiennement; les quantités consommées sont beaucoup plus grandes que celles des autres aliments plus riches en acide ascorbique; les pertes occasionnées par la cuisson sont moindres que celles subies dans les autres légumes.

Parmi les produits d'origine animale, ce sont surtout les abats (foie et rognon) qui sont intéressants à signaler comme sources de vitamine C.

Dans le calcul des apports en vitamine C, il convient de tenir compte du fait que, en solution aqueuse, cette vitamine s'altère très rapidement au contact de l'oxygène, en particulier sous l'effet de la chaleur et en présence des alcalis et des ions métalliques. De même, les modes de préparation, de cuisson et de conservation des produits alimentaires pourraient conduire à des pertes importantes en cette vitamine (voir *Stabilité et effets des traitements technologiques*, p. 115).

Tableau 7.4.14- Principales sources naturelles de Vitamine C (mg/100g)

Sources		Vitamine C
Fruits	Cynorrhodon[1]	500-1.000
	Kiwi	85-160
	Kaki	66
	Orange, citron	50
	Pamplemousse	40
	Pêche	5-25
Légumes	Choux de Bruxelles	90-150
	Epinards	90
	Choux	30-90
	Chou-fleur	50
	Tomate	20-33
	Pois	14-32
	Pomme-de-terre	10-30
	Haricot	10-20
	Carotte	9
Viandes et abats	Foie, rein	10-40
	Viande (bœuf)	jusqu'à 2
Lait	Vache	1-2

[1] : fruit de l'églantinier

Choline/Bétaïne

La choline (qui signifie «bile» en grec) est un alcool aminé source de groupements méthyl. Il s'agit d'un nutriment essentiel classé dans le groupe des vitamines B. Elle a été reconnue par la *National Academy of Science* (USA) comme un micronutriment indispensable. Elle peut être synthétisée par le foie, quoiqu'en quantité insuffisante.

La choline est présente en grande partie sous forme de phosphatidyl-choline ou lécithine, un des phospholipides garantissant l'intégrité des membranes cellulaires. L'acétylcholine, un neurotransmetteur notamment impliqué dans le système nerveux central, résulte de la liaison ester entre la choline et l'acide acétique.

La choline joue un rôle fondamental dans le métabolisme :

- elle est impliquée dans la production des composés messagers cellulaires;
- elle est nécessaire pour la synthèse des lipides qui soutiennent l'intégrité structurelle des membranes cellulaires;
- la disponibilité de la choline a un impact sur la fonction hépatique; en effet, elle est impliquée dans le transport et le métabolisme des lipides et le transport du cholestérol du foie, si bien qu'un niveau inadéquat de choline peut conduire à l'accumulation des lipides et du cholestérol dans le foie;
- avec la vitamine B12 et l'acide folique, la choline aide dans le processus de synthèse de l'ADN;
- à travers l'acétylcholine, neurotransmetteur important, la choline est impliquée dans la mémoire, le mouvement musculaire et la régulation du rythme cardiaque. La stimulation de l'acétylcholine dans le cerveau pourrait ralentir la maladie d'Alzheimer.

La choline se transforme en bétaïne par oxydation. Cette dernière a été extraite de la betterave rouge. Elle est considérée comme une source de groupements méthyl. Elle aurait la propriété d'aider à digérer les lipides et, donc, de lutter contre l'accumulation des graisses dans le foie.

Les besoins en choline ne sont pas très bien établis. On parle plutôt d'apports suffisants (tableau 7.4.15).

Tableau 7.4.15- Apports quotidiens en choline considérés comme suffisants

	Choline (mg/j)
Nourrisson	
0-6 mois	125
7-12 mois	150
Enfant	
1-3 ans	200
4-8 ans	250
9-13 ans	375
14-18 ans	
féminin	400
masculin	550
Adulte	
Femme	425
Homme	550
Grossesse	450
Allaitement	550

Les personnes à risque sont :

- les gens pratiquant des sports d'endurance;
- les gros consommateurs d'alcool;
- les femmes ménopausées; en effet, l'œstrogène aide à la production de choline; or, durant la ménopause, les niveaux d'œstrogène baissent, de là le risque de carence en choline;
- les femmes enceintes; en effet, l'enfant à naître devrait avoir ses besoins en choline satisfaits pour son développement.

Les sources de choline sont variées. Elle est largement présente dans l'alimentation, soit sous forme libre, soit sous forme de phosphatidylcholine ou de sphingomyéline. On la trouve essentiellement dans les œufs (250 mg/100 g, soit 125 mg dans un œuf moyen de 50 g). On la trouve également dans le foie des animaux (~ 300 mg/100 g), la viande et les poissons (70-100 mg/100 g), les légumineuses, les noix et les amandes (~ 40 mg/100 g), dans le chou-fleur, le chou, le chou de Bruxelles, les artichauts, le brocoli, le germe et le son de blé et le son d'avoine.

La choline peut aussi être synthétisée par voie endogène à partir de la glycine.

"Vitamine" B17 (amygdaline ou amygdaloside)

La "vitamine" B17 ou amygdaline ou amygdaloside doit son nom à l'amande, particulièrement l'amande amère. L'appellation de vitamine, vitamine B17 ou laetrile, n'a jamais été reconnue officiellement.

La laetrile est une molécule synthétique que l'on peut aussi obtenir en métabolisant l'amygdaline.

L'amygdaline est un composé aromatique appartenant à la classe des hétérosides cyanogènes. Elle est toxique car elle a la capacité de libérer du cyanure une fois consommée. Elle se transforme en cyanure d'hydrogène (HCN) après ingestion sous l'action de la bêta glucosidase, enzyme du système digestif. La bêta glucosidase est une glycoside hydrolase qui agit sur les liaisons osidiques dans lesquelles le glucose est engagé dans une liaison bêta. L'hydrolyse de l'amygdale par cette enzyme donne le gensiobiose (diholoside formé de deux unités D glucose liées par une liaison β 1→6), l'acide cyanhydrique et le benzaldéhyde, responsable de l'odeur de l'amande amère.

Il faut rappeler que le cyanure est un produit toxique. La solution aqueuse de cyanure d'hydrogène (acide cyanhydrique) est extrêmement toxique et peut être mortelle. L'amygdaline se montre toxique à des doses très faibles, à partir de 0,5mg/kg de poids corporel.

On trouve l'amygdaline dans plus de 800 plantes, notamment dans les noyaux amandes amères, des cerises, des pêches, des prunes, et dans les pépins de pomme et de raisin. Il est conseillé de ne consommer que deux noyaux amers par jour si besoin était, voire d'y renoncer.

On attribuerait à l'amygdaline des propriétés anti-cancéreuses, anti-inflammatoires et anti-douleur. Elle stimulerait la neurogenèse et pourrait donc être utilisée dans le traitement des maladies neuro-dégénératives.

Il n'existe pas d'indication quant au dosage quotidien recommandé. L'automédication est déconseillée.

7.5- Carences et excès

Carences

Pour chaque vitamine, la carence se traduit par un ensemble de symptômes, mais ces signes cliniques sont souvent non spécifiques**.** Le tableau 7.5.1 présente de manière succincte les principaux signes cliniques associés aux carences vitaminiques.

Tableau 7.5.1- Sources et principaux signes de carences en vitamines

Vitamines	Principales sources	Carences
Vitamine B1 (thiamine)	Abats, céréales entières, légumineuses	Béribéri, polynévrite, dépression
Vitamine B2 (riboflavine)	Largement distribuée	Lésions dermatologiques et oculaires
Vitamine PP (Niacine)	Foie, viande maigre, graines, légumineuses	Pellagre, DDD (Dermatite, Diarrhée, Démence)
Vitamine B6 (pyridoxine)	Viande, légumes, céréales entières	Irritabilité, convulsions, dermatites
Acide pantothénique	Largement distribué	Fatigue, sommeil, nausées (rare chez l'Homme)
Acide folique	Légumineuses, légumes verts, blé entier	Anémie, troubles gastro-intestinaux, diarrhée, anomalie de fermeture du tube neural chez le fœtus (*spina bifida*)[1]
Vitamine B12	Viande, œufs, produits laitiers	Anémie pernicieuse, troubles neurologiques
Biotine	Légumineuses, légumes, viande	Fatigue, dépression, nausées, dermatites, douleurs musculaires
Vitamine C	Agrumes, kiwi, tomate, salades, pomme-de-terre	Scorbut (dégénérescence de la peau, des vaisseaux sanguins, hémorragies sous-cutanées)
Vitamine A	Provitamine A (fruits et légumes); rétinol (lait, beurre, fromages)	Cécité nocturne, kératinisation, xérophtalmie
Vitamine D	Huile de foie de morue, œufs, produits laitiers, margarine enrichie	Rachitisme (enfant), ostéomalacie (adulte)
Vitamine E	Germes de blé, légumes verts, corps gras	Anémie possible, troubles de la fertilité
Vitamine K	Légumes verts, œufs, foie	Saignements, hémorragies internes[2]

[1] : *Spina bifida* (anencéphalie) : anomalie du tube neural touchant le cerveau et la moelle épinière du nouveau-né; [2] : Cas de nutrition parentérale prolongée et non supplémentée et cas du nourrisson ayant une réserve faible en vitamine K à la naissance et ne pouvant pas la synthétiser, l'intestin étant stérile à la naissance.

Excès

Pour les vitamines du groupe B, on considère en général que le dépassement des doses recommandées ne peut pas être nuisible étant donné que tout excès est éliminé par les urines.

Avec la vitamine C, en revanche, il ne faut pas négliger la possibilité d'effet toxique à dose excessive. D'une part, des expérimentations ont révélé une action hémolytique de cette vitamine chez la souris. D'autre part, un essai sur des individus humains volontaires sans aucune histoire hémolytique a montré que l'administration de 5 g de vitamine C par jour augmentait le pourcentage de lyse des cellules sanguines de 3% avant l'expérience à 9% après, mais aucun des 14 sujets soumis au test n'a présenté d'hémolyse *in vivo*. On pense malgré tout que cette vitamine pourrait augmenter le

risque d'hémolyse chez certains malades ayant une déficience en glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PDH), enzyme importante des globules rouges. Par ailleurs, on a signalé la mort d'un homme de 60 ans qui souffrait d'une déficience rénale aiguë et qui avait reçu 80 g d'acide ascorbique par voie intraveineuse pendant deux jours pour des brûlures du second degré. Avant ce traitement, les urines étaient normales, de même que le taux d'hémoglobine. Le troisième jour, les urines devinrent rares et foncées et le sérum, rouge. Les analyses révélèrent une déficience en G6PDH. Le malade fut dialysé, en vain. Le statut neurologique se détériora et la mort survint après trois semaines.

Cela dit, les cas d'hypervitaminoses sont rares et sont surtout observées avec les vitamines liposolubles, en particulier les vitamines A et D.

Pour la vitamine A, tout apport excessif est stocké dans l'organisme et on voit alors surgir des symptômes de toxicité après un certain temps : manque d'appétit, démangeaisons, gonflement douloureux des bras et des jambes. Cette intoxication est souvent provoquée par les parents qui croient bien faire en augmentant les doses prescrites pour leurs enfants : 2 cuillères à café d'huile de foie de flétan (1.000.000 µg de rétinol) au lieu des deux gouttes recommandées (500 µg de rétinol). On a également décrit des cas d'hypervitaminose chez les explorateurs de l'Arctique avec maux de tête, vomissements et démangeaisons suite à la consommation immodérée de foie d'ours polaire qui s'est avéré contenir jusqu'à 600.000 µg de rétinol par 100 g.

Dans le cas de la vitamine D, l'attention des parents est, là encore, attirée sur le risque lié à l'usage de préparations hautement vitaminées. En effet, certains enfants, particulièrement sensibles à l'action toxique de cette vitamine, peuvent être affectés par des doses de l'ordre de 100 µg (4.000 UI). Il faut rappeler que le besoin de l'enfant est de 10µg/j (400UI/j). Plus généralement, des symptômes toxiques sérieux (vomissements, diarrhées, perte de poids, atteintes rénales) peuvent apparaître chez l'enfant à des doses de 500 à 1.000 µg et avec des doses de 1 800 à 2.500 µg chez l'adulte sachant que le besoin normal de l'adulte est de moins de 10µg/j (400UI/j). De plus, le taux de calcium sérique s'élève à tel point qu'on assiste à des dépôts de calcium dans les organes.

Chez les adultes, des manifestations semblables à l'arthrite (inflammation aiguë ou chronique des articulations) peuvent être provoquées par l'excès de vitamine D. Chez les personnes âgées, même un surdosage modéré est à éviter du fait que la vitamine D s'accumule dans les organes.

Par conséquent, que ce soit pour la vitamine A ou pour la vitamine D, les préparations concentrées ne doivent être utilisées que sur prescription médicale.

En revanche, la toxicité de la vitamine E est négligeable, même en cas d'ingestion de quantités élevées. C'est la raison pour laquelle cette vitamine est souvent employée comme antioxydant dans l'industrie alimentaire.

7.6- Stabilité et effets des traitements technologiques

De nombreux produits alimentaires sont exposés à des traitements, soit au niveau des unités industrielles (entreposage et transformation), soit au niveau des ménages (préparations culinaires et conservation).

Cas de la vitamine C

C'est certainement l'acide ascorbique (vitamine C) qui a fait l'objet des études les plus poussées à cet égard, du fait que c'est la plus instable des vitamines connues.

D'abord, la vitamine C est très rapidement oxydée, se transformant ainsi en substances sans activité vitaminique. De ce fait, les teneurs en cette vitamine peuvent largement varier dans les fruits et légumes en relation avec l'état de fraîcheur ou le mode de conservation. En conséquence, il est préférable de les consommer à l'état frais, crus ou après congélation. Une fois séchés, des produits comme les haricots, les pois et les fruits n'en contiennent pratiquement plus.

La faible quantité de vitamine C qui se trouve naturellement dans le lait cru de vache disparaît souvent suite à un traitement quelconque (pasteurisation, condensation, séchage).

Comme nous l'avons vu plus haut, la vitamine C des pommes-de-terre, qui constituent dans certaines régions du monde une source essentielle en cette vitamine, est relativement plus stable aux traitements que dans d'autres légumes. On estime que les pertes en acide ascorbique sont de 15% si les pommes-de-terre sont bouillies dans leur pelure, de 20% si elles sont rôties dans leur pelure, de 30% si elles sont frites, de 50% si elles sont bouillies sans leur pelure. Ecrasées en purée, elles perdent rapidement leur vitamine C à cause de l'exposition accrue à l'oxydation. La vitamine C est presque entièrement détruite lors de la fabrication de pommes-de-terre déshydratées.

De façon générale, la vitamine C étant très soluble dans l'eau, elle passe en abondance dans les eaux de cuisson des légumes verts qui en contiennent, ce qui entraîne des pertes importantes. En revanche, la cuisson à la vapeur préserve mieux l'acide ascorbique, et ce d'autant plus que le traitement est bref.

Par ailleurs, la rapidité avec laquelle les légumes sont portés au point d'ébullition est un paramètre très important pour le maintien de la vitamine C. Le fait de jeter les légumes dans l'eau bouillante (blanchiment) provoque instantanément la destruction des enzymes qui interviennent normalement dans la dégradation de l'acide ascorbique. En revanche, si les légumes sont placés dans l'eau froide et, ensuite, amenés lentement au point d'ébullition, les enzymes ont le temps de détruire la vitamine.

Les effets des traitements technologiques industriels sur la vitamine C dans les petits pois peuvent se résumer comme suit. La congélation à -18°C préserve 70% de l'acide ascorbique alors qu'à -12°C, seuls 20% de la vitamine persistent. Et s'il reste 60% de la vitamine C au moment de la mise en boîte, le chauffage qui va suivre va détruire encore une partie supplémentaire, si bien que la proportion de vitamine qui restera à la fin sera comparable à celle que l'on trouve dans ce légume après cuisson.

Etant donnée l'instabilité de la vitamine C, il est recommandé de prendre quelques précautions afin d'en minimiser la destruction dans les aliments :

- acheter des quantités modérées de fruits et légumes afin de ne pas être obligé de les garder longtemps; s'ils ne sont pas consommés rapidement, les conserver si possible au réfrigérateur;
- préparer les fruits et légumes juste avant l'emploi; ne pas les exposer à la lumière ou les tremper dans l'eau;
- en cas de cuisson des fruits et légumes, y procéder avec très peu d'eau et le plus brièvement possible tout en veillant à couvrir l'ustensile de cuisson; le recours à la vapeur est préférable;
- éviter les ustensiles en cuivre; le cuivre joue le rôle de catalyseur de la réaction de dégradation de la vitamine C;
- servir les légumes rapidement après cuisson; éviter de les maintenir au chaud;
- préparer les jus de fruits juste avant de les servir; les jus acides (agrumes, tomates, etc.) peuvent cependant être gardés plusieurs jours au réfrigérateur dans un récipient en verre couvert sans craindre une perte notable en vitamine C.

Cas des autres vitamines

La thiamine est une vitamine thermolabile souvent partiellement détruite par la cuisson ou les transformations industrielles du fait de sa solubilité dans l'eau et sa sensibilité aux traitements alcalins. Sa destruction résulte de la rupture du pont méthylène – CH_2 – liant ses deux parties: le noyau pyrimidique et les noyau thiazole.

La riboflavine, en revanche, est très stable à la chaleur sauf dans les conditions alcalines. En revanche, elle est sensible à la lumière, d'où l'intérêt de ne pas exposer des produits comme le lait à la lumière du soleil.

La niacine est aussi une vitamine qui résiste fort bien aux procédés de cuisson.

Pour ce qui est de *la vitamine B6*, on pointe du doigt le raffinage des farines, responsable de 75% de pertes environ par rapport à la farine brute. De façon générale, les produits raffinés ou ayant subi un traitement technologique gardent moins de la moitié de la vitamine B6 des aliments originels, si bien que les farines raffinées, le pain blanc, le riz précuit et les pâtes sont pauvres en vitamine B6 et pourraient être responsables de carence si le régime n'est pas assez varié et diversifié.

Quant à *l'acide pantothénique*, il est très stable. Il faut de très longues périodes de chauffage, de deux à six jours – soit beaucoup plus que nécessaire dans la préparation des aliments – pour en provoquer la destruction. En revanche, cette vitamine peut être détruite jusqu'à hauteur de 50% et plus par la congélation des légumes et des viandes. Pour de nombreux autres produits en boîte, on note des pertes similaires. Par ailleurs, les populations japonaises qui consomment surtout du riz lavé présentent des taux faibles d'acide pantothénique associés à d'autres carences. On a également noté des pertes considérables suite au raffinage des aliments et à la mouture des céréales.

La biotine est stable à la chaleur et pendant le stockage.

L'acide folique des légumes verts conservés à température ambiante est détruit à raison de 70% en trois jours. Cette vitamine est également sensible à la chaleur en milieu acide. Les températures de cuisson de 110 à 120 °C pendant 10 mn peuvent entraîner jusqu'à 65% de pertes. Cependant, elle est relativement stable en solutions neutres ou alcalines, surtout à l'abri de l'air.

Quant à *la vitamine B12*, elle est assez sensible à la chaleur et à la lumière. La pasteurisation du lait lui fait perdre 10% de cette vitamine et son séchage en détruit 40 à 90%.

La vitamine A se maintient bien dans la plupart des aliments lors de la cuisson et des traitements technologiques sauf s'ils sont exposés à l'air. Le séchage est à l'origine de pertes importantes, qu'il soit réalisé à l'air, au soleil ou à température élevée. En revanche, la pasteurisation du lait, son évaporation ou son irradiation n'ont que des effets limités sur sa teneur en vitamine A.

Quant à *la vitamine D*, très stable, elle résiste à la chaleur et à l'oxydation, de même qu'aux acides et aux alcalis. Outre sa stabilité à la chaleur, son insolubilité dans l'eau fait qu'elle se maintient bien à la cuisson des aliments. Elle est cependant sensible à la lumière, particulièrement aux rayons UV.

Il en est de même pour *la vitamine E*, qui résiste généralement aux températures de cuisson. Des pertes peuvent cependant se produire lors de la congélation des aliments. De plus, cette vitamine est sensible à l'oxydation et aux UV.

Enfin, *la vitamine K* est stable à la chaleur, à l'air et à l'humidité, mais non à la lumière.

8- Minéraux et électrolytes

8.1- Définition, fonctions et classification

Définition

La calcination de tout produit alimentaire entraîne la disparition de tous ses constituants à l'exception des cendres, seul résidu, constituées par les sels minéraux. Ces minéraux sont indispensables à la vie des êtres vivants et doivent être fournis par l'alimentation.

Les quantités en minéraux nécessaires à l'Homme et aux animaux sont cependant plus faibles que celles des protides, lipides ou glucides. A l'instar des vitamines, les besoins quotidiens en certains minéraux dans la ration alimentaire s'expriment en milligrammes, voire parfois en microgrammes.

Fonctions

Dans la composition du corps humain, les minéraux entrent pour seulement 4%, le reste (96%) regroupe l'eau, les protéines, les lipides et les glucides (tableau 8.1.1). Cependant, les minéraux sont loin de jouer un rôle marginal dans la construction et le fonctionnement harmonieux de l'organisme. En effet, ils assurent les principales fonctions suivantes :

- participation à l'édification de certaines structures, notamment les os et les dents;
- régulation de l'équilibre acido-basique;
- contribution à la composition et la structure d'enzymes, d'hormones et de vitamines;
- catalyse de nombreuses réactions biochimiques.

Le rôle des minéraux dans les différents équilibres physiologiques de l'organisme sera traité dans le paragraphe suivant (*Equilibres physiologiques de l'organisme et rôle des minéraux,* p. 120).

Quant à leur importance pour les hormones, les enzymes et les vitamines, elle peut être illustrée par quelques exemples :

- le zinc est indispensable à la synthèse de l'insuline et aux synthèses protéiques, alors que l'iode entre dans la composition des hormones thyroïdiennes;

- la thiamine (vitamine B1) contient du soufre, et le cobalt fait partie de la vitamine B12 (cobalamines);
- de nombreuses enzymes contiennent des minéraux (le zinc dans l'anhydrase carbonique, le molybdène dans la xanthine oxydase, etc.) ou en exigent pour leur fonctionnement (le fer et le cuivre pour l'activité du système enzymatique des cytochromes, enzymes nécessaires au processus respiratoire);
- le fer intervient dans le transport de l'oxygène par l'hémoglobine du sang, dont il fait partie;
- le chlore est un élément de base de l'acide chlorhydrique de l'estomac dont nul n'ignore le rôle indispensable dans la digestion.

Tableau 8.1.1- Composition de l'organisme humain et teneur des différents minéraux (%)

Composition globale moyenne du corps humain		**Teneur des différents minéraux dans le corps humain**	
Oxygène	65	***Macroéléments***	
Carbone	18	Calcium + Phosphore	2,3-3,4
Hydrogène	10	Potassium + Soufre + Chlore + Sodium + Magnésium	0,95
Azote	3	***Oligoéléments***	
Minéraux	4	Fer	0,004
		Manganèse	0,0003
		Cuivre	0,00015
		Iode	0,00004
		Autres	Traces

Classification

On distingue essentiellement deux groupes de minéraux dans l'alimentation :

- *les macroéléments*, qu'on appelle parfois *éléments majeurs*, exigés par l'organisme en quantités relativement importantes : calcium, phosphore, chlore, magnésium, potassium, sodium, soufre;
- *les oligoéléments*, encore appelés *éléments mineurs*, dont les besoins quantitatifs sont moindres, mais qui jouent néanmoins un rôle primordial : fer, zinc, cuivre, chrome, cobalt, fluor, iode, etc. Avec les vitamines, les oligoéléments constituent ce qu'on appelle les *micro-nutriments* du fait que les besoins quotidiens de l'Homme sont généralement de l'ordre du microgramme.

A ces deux catégories d'éléments minéraux dont les fonctions et l'importance dans l'organisme sont relativement bien définies, d'autres sont présents dans nos tissus sans que l'on puisse leur attribuer un rôle physiologique déterminé. On connaît plutôt leurs effets néfastes : ils peuvent être toxiques, même à faible dose. Il s'agit du plomb, du mercure, du cadmium et de l'or, par exemple, qui sont des métaux lourds. On se

préoccupe de plus en plus de ces éléments du fait de la pollution accrue de l'environnement naturel et agro-industriel, et de leur présence tout au long de la chaîne alimentaire. L'Homme étant situé au sommet de cette chaîne, il court donc plus de risques.

8.2- Equilibres physiologiques de l'organisme et rôle des minéraux

Equilibre hydrique

L'eau du corps humain se répartit sur deux compartiments : le liquide extracellulaire (LEC) et le liquide intracellulaire (LIC) (voir *Rôle de l'eau*, p. 28).

Avec une concentration en chlorure de sodium (sel) de 0,9%, le LEC est surtout riche en chlore et en en sodium, à côté de quantités plus faibles d'autres minéraux (potassium, calcium, magnésium, phosphore, soufre, etc.). Le LEC contient aussi de l'anhydride carbonique (CO_2) dissous, des protéines, des acides organiques et d'autres substances organiques (tableau 8.2.1).

Quant au LIC, il est surtout riche en potassium et en phosphore et contient davantage de magnésium, de soufre et de protéines que le LEC. En revanche, il contient moins de CO_2 et beaucoup moins de sodium.

Cette différence de composition entre le LEC et le LIC s'explique par la semi-perméabilité des membranes cellulaires à travers lesquelles l'eau et les petites molécules (minérales) passent librement alors que les grosses molécules (celles des protéines par exemple) sont retenues. Ainsi, la teneur en sels dans le LIC et le LEC détermine les mouvements de l'eau de part et d'autre des membranes cellulaires.

Tableau 8.2.1- Composition en cations, anions et autres substances chargées électriquement, des liquides corporels (mEq/l)[1]

	Liquide intracellulaire	Liquide extracellulaire
Cations		
Na^+	10	145
K^+	150	5
Ca^{2+}	2	2
Mg^{2+}	15	2
Anions		
Cl^-	10	100
HCO_3^-	10	27
SO_4^{2-}	15	1
HPO_4^{2-}	90	2
Acides organiques	-	5
Protéines	52	19
Charge électrique (potentiel)	0	-90 mV (négative à l'intérieur)

[1] : mEq/l: milliéquivalent par litre = molarité x valence de l'ion

La perturbation de l'équilibre hydrique dans l'organisme est souvent associée à la perturbation de l'équilibre électrolytique[12].

Equilibre osmotique

Si l'on interpose une membrane semi-perméable entre deux solutions salines de concentrations différentes, l'eau va diffuser de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée, alors que le soluté va migrer dans le sens contraire : c'est le phénomène d'osmose. Lorsque les deux concentrations s'égalisent, on parle d'équilibre osmotique, et les deux solutions sont alors dites isotoniques.

La pression osmotique d'un milieu est donc directement proportionnelle à la concentration des molécules en solution dans ce milieu.

Le mouvement des substances dissoutes entre le sang et le LEC, d'une part, et entre le LEC et les cellules, d'autre part, est sous l'influence de la pression osmotique qui est essentiellement liée à la concentration en sels minéraux. Ce mécanisme est indispensable à l'absorption du glucose, du galactose et des acides aminés et aussi à leur réabsorption au niveau de l'intestin et du rein.

Comme vu auparavant, les deux cations potassium K^+ et sodium Na^+, en particulier, sont susceptibles de diffuser à travers la membrane. Cependant, le sodium semble systématiquement rejeté par le biais d'un mécanisme qui le fait migrer contre le gradient de concentration; c'est ce qu'on appelle *la pompe à sodium* ou pompe sodique. De ce fait, le sodium s'accumule à l'extérieur de la membrane cellulaire, moyennant une dépense d'énergie sous forme d'ATP en faisant intervenir l'enzyme ATPase.

C'est grâce aux variations de pression osmotique que les liquides peuvent se déplacer dans les deux sens entre l'intérieur et l'extérieur des cellules, leur apportant ainsi les éléments nutritifs et l'oxygène et les débarrassant de leurs déchets et des autres substances qu'elles fabriquent. Il est établi que les quantités relatives de sels minéraux situés de part et d'autre de la membrane influent grandement sur ces échanges d'eau. On peut citer les exemples suivants : absorption et réabsorption de l'eau à travers la membrane qui tapisse l'intestin; passage de l'eau, avec les éléments en solution, du sang dans les tissus, et inversement; excrétion de l'eau dans les tubes rénaux et sa partielle réabsorption dans le flux sanguin.

12-*Au niveau de la membrane cellulaire chez les mammifères, le système de transport actif le plus important est le système Na^+, K^+. C'est un transport actif demandant de l'énergie sous forme d'ATP (Adénosine Tri Phosphate) et faisant intervenir l'enzyme ATPase, qui permet de dégrader l'ATP en ADP (Adénosine Di Phosphate), fournissant l'énergie nécessaire au transport du glucose et des acides aminés, entre autre. Ce système est appelé la pompe Na^+/K^+ ou pompe sodique. De même, il existe une pompe calcique intervenant dans le cas du Ca^{2+}. Il s'agit d'un système universel.*

Par ailleurs, toute perte d'eau s'accompagne d'une perte de sels minéraux, mais ces pertes ne sont pas toujours proportionnelles. Il existe, en effet, un mécanisme actif de réabsorption au niveau des reins. Conséquemment à des troubles hormonaux ou à des dysfonctionnements rénaux ou hépatiques, les sels minéraux peuvent donc être retenus à l'excès, entraînant une rétention d'eau. L'augmentation du volume extracellulaire qui s'en suit est à l'origine des tissus œdémateux caractéristiques de la rétention d'eau bien connue chez les cardiaques et les femmes enceintes, ainsi que chez les nourrissons souffrant de malnutrition protéique (kwashiorkor).

Influx nerveux et contraction musculaire

Il est nécessaire que des flux nerveux soient transmis du/au cerveau pour qu'il y ait mouvement ou pensée. Physiquement, il s'agit d'un petit courant électrique qui passe le long des fibres nerveuses et des neurones. Cela s'explique par une augmentation de la perméabilité de la membrane du nerf lorsque celui-ci est stimulé, ce qui se traduit par la migration momentanée des ions sodium de l'extérieur à l'intérieur de la membrane, pendant que les ions potassium empruntent le chemin inverse. Il en résulte l'excitation de la membrane de proche en proche et, ainsi, l'excitation passe.

Pour ce qui est du fonctionnement des tissus musculaires, ce sont les ions calcium, potassium, magnésium et sodium qui interviennent, le premier étant essentiel pour la contraction des muscles, les trois autres pour leur relâchement, le tout sous contrôle hormonal.

Equilibre acido-basique

L'acidité ou l'alcalinité d'un milieu est exprimée en unités pH (potentiel d'Hydrogène) dans une échelle qui varie de 0 à 7 pour les milieux acides et de 7 à 14 pour les milieux basiques (alcalins), le pH 7 étant celui de la neutralité, c'est-à-dire celui de l'eau pure (figure 8.2.1).

On définit le pH d'un milieu par la relation suivante :

$$pH = - \log [H_3O^+] = \log 1/[H_3O^+]$$

ou encore :

$$pH = - \log [H^+] = \log 1/[H^+]$$

Le pH du sang et des tissus du corps humain est très légèrement alcalin, maintenu strictement entre 7,2 et 7,4 (figure 8.2.1). Toute variation à l'extérieur de cette fourchette peut avoir de graves conséquences, c'est pourquoi l'organisme dispose de différents mécanismes de régulation dans lesquels les minéraux jouent un rôle essentiel.

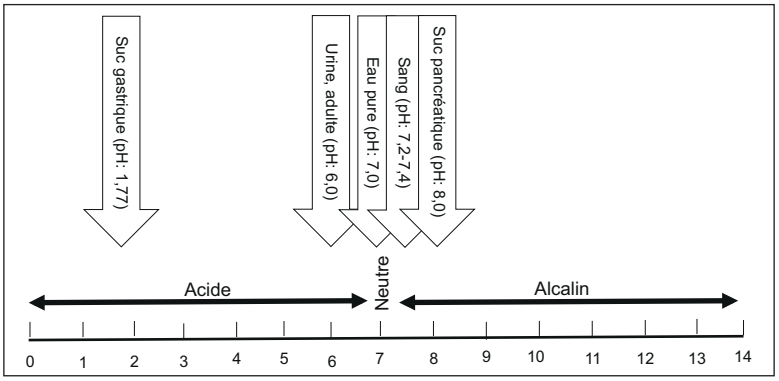


Figure 8.2.1- pH de l'eau pure et de différents liquides physiologiques

Ceux qui favorisent l'acidification sont curieusement les chlorures, le soufre et le phosphore organique (phosphoprotéines des viandes et du lait par exemple), entraînant la formation des acides chlorhydrique, sulfurique et phosphorique, respectivement. Ces minéraux sont surtout apportés par les graines, les produits céréaliers, la viande, la volaille, le poisson et les œufs (tableau 8.2.1).

Tableau 8.2.1- Substances qui forment des acides ou des bases dans le corps humain

	Acides	**Bases**
Minéraux	Chlore Soufre Phosphate (organique)	Calcium Fer Magnésium Potassium Phosphate (inorganique) Sodium
Aliments	Céréales Viande Œufs Volaille Poisson	Fruits Légumes Lait

Les minéraux qui contribuent à développer, au contraire, un milieu plus basique sont, tout aussi curieusement le calcium, le fer, le magnésium, le potassium, le sodium et le phosphore et les phosphates inorganiques.

Les fruits et légumes sont les principaux produits alimentaires qui donnent des réactions alcalines. Aussi étonnant que cela puisse paraître, même le citron donne une réaction basique du fait que, après la métabolisation des acides qu'il apporte, il ne reste que du sodium et du potassium.

Il faut cependant signaler des exceptions :

- certains produits apportent des acides non métabolisables qui contribuent donc directement à l'acidification (épinards, rhubarbe, chocolat, café, thé, etc.);

- le lait et dérivés contiennent à la fois des substances génératrices de réactions acides (protéines) et d'autres donnant des réactions basiques (calcium et phosphate inorganique), ces dernières étant dominantes.

L'organisme humain est doté de moyens de régulation pour corriger les variations du pH. Ce sont les systèmes tampon. Les protéines en constituent un bon exemple. Elles sont amphotères : en présence d'un excès d'acide, elles réagissent comme des bases, et inversement. L'acide carbonique et l'ion carbonate forment un autre système tampon : l'organisme est capable de transformer le CO_2 métabolique en acide carbonique à même de neutraliser les bases. Les phosphates inorganiques et l'hémoglobine ont aussi une activité tampon.

Enfin, en produisant des urines plus ou moins acides selon les circonstances, les reins participent à leur tour au maintien du pH au niveau désiré.

8.3- Principaux macroéléments

Calcium

Représentant environ 2% du poids de l'organisme humain, le calcium (Ca) en est l'élément minéral le plus abondant. Essentiellement concentré dans les os et les dents, sous forme d'hydroxyapatite[13], le Ca se trouve aussi en très faible quantité (1% du calcium total) dans les muscles et le liquide extracellulaire, où il joue un rôle métabolique. Le Ca remplit de nombreuses fonctions essentielles.

Il est indispensable pour une ossification optimale du squelette de l'enfant en croissance. Le dépôt de Ca sous forme d'hydroxyapatite renforce le réseau de collagène qui forme la substance fondamentale de l'os (matrice osseuse). En rendant l'os plus rigide, cette calcification lui permet de supporter le poids du corps, notamment au moment où l'enfant commence à se tenir sur ses jambes. Pendant la phase de croissance, l'allongement des os, à lui seul, exige un apport suffisant en calcium et phosphore, de l'ordre de 165 mg/j pour le Ca, bien que la croissance ne se fasse pas de façon uniforme et linéaire mais plutôt par paliers.

Les os représentent un réservoir où l'organisme peut puiser des quantités de Ca en cas de carence alimentaire. La calcémie (taux de calcium dans le sang) est maintenue très stable grâce à l'intervention d'un certain nombre d'hormones. La figure 8.3.1 donne le schéma de la régulation de la calcémie à l'état stable, c'est à dire un état dynamique et stationnaire (chez l'adulte par exemple). Ainsi, la parathormone (PTH) se charge d'activer la mobilisation du Ca à partir des os alors que, au contraire, la calcitonine a pour rôle de réduire cette mobilisation, tout cela sous le contrôle de la vitamine D. Le Ca des dents n'est généralement pas sollicité pour ce genre d'échanges, sauf dans des circonstances particulières (grossesse). En cas d'excès, le Ca est rejeté sous forme de sels solubles à travers les urines, mais aussi dans les fèces et la sueur.

13-*L'hydroxyapatite est constituée essentiellement de phosphate de calcium de formule* $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. *En poids, le calcium (Ca) y représente environ 40% et le phosphore (P) 18,5%, soit un rapport Ca/P de 2,5/1. Ce rapport est de 1,67/1 en termes de moles. L'hydroxyapatite contient également du magnésium et du sodium (0,5% chacun) et des traces de zinc, de strontium et de plomb.*

La fonction la plus spectaculaire du Ca est incontestablement son rôle dans le maintien du rythme cardiaque. Le Ca du fluide extracellulaire favorise la contraction des muscles, dont le muscle cardiaque en particulier, alors que le sodium, le potassium et le magnésium interviennent dans la relaxation. Des spasmes incontrôlés (tétanie) sont provoqués par une teneur trop faible de calcium dans le sang, accompagnée d'un taux insuffisant de calcium ionisé dans les cellules musculaires.

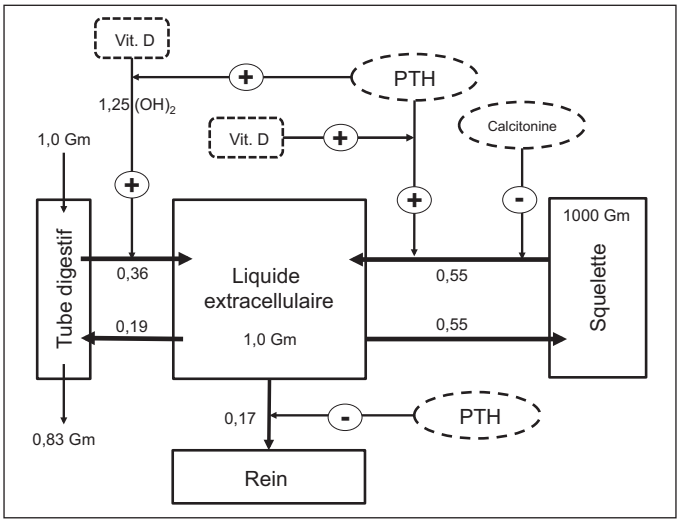


Figure 8.3.1- Schéma de la régulation de la calcémie

(+ : activation; - : inhibition; PTH : Parathormone; Vit. D : vitamine D)

Le Ca joue également un rôle très important dans la coagulation du sang par l'intermédiaire des hormones thrombine et prothrombine, en relation avec l'intervention de la vitamine K.

L'intervention du Ca dans les phénomènes digestifs est également importante. D'une part, il active la lipase pancréatique qui libère les acides gras lors de la digestion des lipides. D'autre part, en se combinant avec la vitamine B12 dans l'intestin grêle, il en facilite l'absorption. De même, le Ca lié à la lécithine a une influence sur la perméabilité de la membrane cellulaire et, de ce fait, il intervient sur la composition des cellules.

Les troubles de croissance et de maintien du squelette osseux et des dents en relation avec le Ca seront traités plus loin (voir *Maladies de l'os*, p. 261).

Contrairement à ce qui est souvent colporté, la consommation de produits laitiers n'a aucune responsabilité dans l'élévation du niveau du Ca dans le sang ou les urines. Ces taux anormaux sont plutôt dus à des déficiences hormonales. Au contraire, les adultes doivent davantage craindre de ne pas consommer assez de Ca que d'en consommer à l'excès. Il est donc conseillé de veiller à prendre au quotidien un verre de lait ou son équivalent en fromage pour éviter tout manque éventuel de Ca chez l'individu normal.

L'absorption du Ca est sous l'influence de divers facteurs physiologiques et nutritionnels. Comme nous l'avons signalé plus haut, la vitamine D (figure 8.3.2), mais aussi la vitamine C, l'acide chlorhydrique et quelques acides aminés comme la lysine favorisent cette absorption. Le lactose du lait active également l'absorption du Ca chez l'individu normal ne souffrant pas d'une intolérance à ce sucre. Par ailleurs, une bonne absorption du Ca dépend de la quantité relative de phosphore présent. Un ratio phosphore/calcium de 2/1 améliore l'absorption du calcium, mais celle-ci reste très bonne lorsque ce ratio est de 1/1. En revanche, elle chute si la valeur de ce ratio est de 1/2. Autrement dit, le rapport optimal Ca/P est tel que $0,5 < Ca/P < 1,5$.

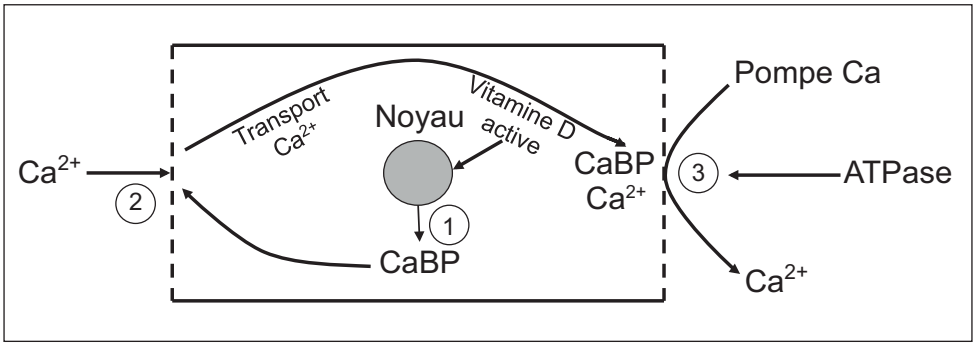


Figure 8.3.2- Rôle de la vitamine D dans l'absorption et la transmission du calcium

1 : Synthèse d'une protéine, la Calcium Binding Protein (CaBP);
2 : Absorption du calcium (Ca^{2+});
3 : Livraison du calcuim (Ca^{2+})

La consommation de grandes quantités de graisses semble s'opposer à une bonne absorption du Ca. Les acides gras réagissent en effet avec le Ca en formant des savons insolubles. Par ailleurs, l'acide phytique, notamment présent dans les enveloppes des grains de céréales, les légumineuses en sec et les grains de sésame, forme avec le Ca un complexe insoluble (phytate de calcium) qui n'est pas assimilé (voir *Acide phytique*, p. 174).

Le lait est incontestablement une très bonne source de Ca. De plus, à côté du Ca lui-même, le lait apporte des protéines, du lactose, des phosphates et souvent de la vitamine D, autant de substances qui favorisent l'utilisation du Ca. Le lait de vache est environ quatre fois plus riche en Ca que le lait humain (tableau 8.3.1). Mais si les nourrissons assimilent près des 2/3 du Ca du lait maternel, ils n'absorbent que 35 à 50% de celui présent dans le lait de vache[14]. A côté du lait et de ses dérivés (notamment les fromages), les levures, les petits poissons en frais ou en boîte (les arêtes étant dans ce cas consommées avec les muscles), les légumes verts et les eaux de boisson (dans certaines régions) constituent des apports intéressants.

14- *Le lait de brebis contient environ 50% de plus de Ca que le lait de vache.*

Tableau 8.3.1- Richesse en calcium de quelques aliments (mg/100g)

Aliments	Teneur en calcium
Levure sèche	1.900
Fromages	
Parmesan	1.140
Emmenthal	925
Cheddar	750
Camembert	105
Cottage	90
Lait	
Lait de vache condensé	262
Lait frais de vache	118
Lait de femme	32
Autres produits animaux	
Sardine	380
Œuf	54
Beurre	15-20
Maquereau	15
Viande	10
Morue	10
Produits végétaux	
Pain complet	150
Brocoli	103
Dattes	62
Orange	41
Pomme	29
Riz	24
Pomme-de-terre	8

Il n'est pas aisé de définir avec précision les besoins minimums en Ca étant donnée la capacité de l'organisme à s'adapter et les diverses relations qui existent entre le Ca et d'autres éléments de la ration. C'est la raison pour laquelle les chiffres varient selon les pays et leurs modes et habitudes alimentaires. Les données du tableau 8.3.2 sont celles du «*Food and Nutrition Board*» américain. Cependant, ces chiffres ont été majorés pour se donner une bonne marge de sécurité, si bien qu'on estime que la majorité des humains adultes dans un état physiologique normal peuvent se contenter d'un apport calcique quotidien de 500 à 800 mg.

Tableau 8.3.2- Quantités recommandées de calcium et de phosphore (mg/jour)

	Age (an)	Poids (kg)	Ca	P
Nourrisson	0,0-0,5	6	360	240
	0,5-1,0	9	540	360
Enfant	1-10	13-28	800	800
Masculin	11-18	45-66	1.200	1.200
	19->51	70	800	800
Féminin	11-18	46-55	1.200	1.200
	19->51	55	800	800
Grossesse			+ 400	+ 400
Allaitement			+ 400	+ 400

Phosphore

Le phosphore (P) représente 1% en poids de l'organisme humain. C'est un élément extrêmement important puisqu'il participe pratiquement à toutes les activités physiologiques.

Comme nous l'avons vu plus haut, le P se combine avec le Ca pour la formation et la rigidification des os et des dents.

Le P entre également dans la constitution des phospholipides qui, d'une part, représentent un composant essentiel des membranes cellulaires et, d'autre part, par leur pouvoir émulsifiant, facilitent la digestion et le transport des lipides et des acides gras.

Le rôle des phosphates est également primordial dans les phénomènes de production et de stockage de l'énergie. En effet, ils interviennent dans l'oxydation des glucides qui représente la plus importante voie de production de l'énergie, et entrent dans la composition de l'Adénosine Tri Phosphate (ATP) qui est la forme de mise en réserve de l'énergie dans la cellule. Les autres formes sont l'ADP (Adénosine Di Phosphate) et l'AMP (Adénosine Mono Phosphate). On note également l'UDP (Uridine Di Phosphate), la GDP (Guanidine Di Phosphate) et la CTP (Cytidine Di Phosphate). En cas de besoin (travail musculaire par exemple), l'énergie emmagasinée dans l'ATP est très rapidement libérée. L'ATP est également nécessaire dans de nombreuses réactions métaboliques.

Par ailleurs, les radicaux phosphate HPO_4^{-2} entrent dans la constitution des acides nucléiques (ADN : Acide désoxyribonucléique) et l'ARN (Acide ribonucléique) et des nucléoprotéines, jouant ainsi un rôle de premier ordre dans la division cellulaire et la synthèse des protéines ainsi que dans la reproduction et la transmission des caractères héréditaires.

D'autre part, en agissant comme des substances tampons, les phosphates inorganiques contribuent au maintien de l'équilibre acidobasique de l'organisme. Enfin, les phosphates sont des activateurs de nombreuses réactions enzymatiques.

Le P est largement distribué. A part les graisses et les sucres, tous les aliments usuels en contiennent. Cependant, ce sont surtout les aliments riches en protéines et les céréales qui en sont les plus fournis. Plus précisément, on cite les viandes et, surtout, les abats, ainsi que le lait et les fromages, le poisson, la volaille, les fruits secs (notamment noix et noisettes), les légumineuses en sec et les produits à base de céréales entières. Dans les céréales et les légumineuses en sec, le P est surtout présent sous forme de sel d'acide phytique (myoinositol-hexaphosphate) qui joue un rôle d'antinutriment, réduisant la biodisponibilité des minéraux (voir *Acide phytique*, p. 176).

Le tableau 8.3.3 donne une liste de produits considérés comme des sources intéressantes de phosphore. On répète souvent dans certaines cultures que, pour une bonne activité cérébrale, il faut manger du poisson à cause de sa forte teneur en phosphore. En réalité, bien d'autres aliments sont plus efficaces à cet égard : le lait, les fromages, les œufs, etc.

Tableau 8.3.3- Richesse en phosphore de quelques aliments (mg/100g)

Aliments	Phosphore
Levure sèche	2.900
Fromages	
Parmesan	780
Emmenthal	560
Cheddar	480
Camembert	185
Cottage	175
Lait	
Lait de vache condensé	200
Lait de vache frais	95
Lait de femme	13
Autres produits animaux	
Œuf	200
Viande (bœuf, agneau, etc.)	150-250
Sardine	490
Maquereau	280
Morue	190
Beurre	16
Produits végétaux	
Pain multicéréales	194
Biscuits secs	190
Farine de blé	190
Pain blanc	190
Riz	95
Brocoli	80
Dattes	75
Pomme-de-terre	50
Pomme	40
Orange	20

Les besoins en phosphore ont été présentés dans le tableau 8.3.2.

Un apport excessif en phosphore est à craindre en cas de consommation élevée de céréales et légumineuses en sec, car cela provoque un déséquilibre du rapport Ca/P et un apport élevé en phytates.

Magnésium

Le magnésium (Mg) est l'un des métaux les plus importants de la croûte terrestre où il représente 2,1%. Chez tous les êtres vivants, en général, le Mg remplit plusieurs fonctions. Chez les végétaux, en particulier, il entre dans la constitution de la chlorophylle, pigment vert indispensable à la photosynthèse, qui représente le point de départ de toute vie sur Terre.

Les vertus curatives des sels de magnésie sont connues depuis longtemps, mais ce n'est qu'en 1926 que le rôle du Mg en tant qu'élément essentiel pour l'organisme animal fut démontré par le français Leroy, qui travaillait sur la souris. Entre 1933 et 1944, d'autres travaux sont venus montrer que cet élément était également nécessaire à l'Homme.

Le squelette osseux de l'Homme contient près de 25 g de Mg et semble représenter un réservoir en cet élément au cas où l'organisme en manque. Les tissus mous en contiennent également des petites quantités. Par ailleurs, on trouve sept fois plus de magnésium dans les cellules que dans le sérum.

De nombreuses réactions métaboliques intervenant dans les transferts d'énergie sont catalysées par le Mg cellulaire. Par exemple, le Mg est nécessaire à la scission de l'ATP en un groupement phosphate et ADP, réaction qui s'accompagne d'une libération d'énergie, de même qu'à la réaction inverse qui consiste en la fixation d'un groupement phosphate sur l'ADP pour le transformer en ATP, forme de stockage d'énergie.

Le Mg joue aussi un rôle important dans la synthèse des protéines et dans l'intégrité de la structure des acides nucléiques ADN et ARN. Par ailleurs, c'est le Mg présent dans le liquide extracellulaire où baignent les cellules nerveuses qui leur permet de conduire l'influx nerveux nécessaire au relâchement des muscles après une contraction. En outre, le Mg favorise l'adaptation au froid, probablement en intervenant dans la libération de la thyroxine T4, hormone thyroïdienne.

L'absorption du Mg est relativement lente et ne se fait que dans l'intestin grêle du fait que les sels de Mg se solubilisent difficilement. Près du tiers du Mg ingéré est absorbé. C'est cette faible absorption du Mg qui fait que l'on emploie les sulfates de magnésium ($MgSO_4$) comme laxatifs. En restant accumulés dans l'intestin, ces sels cathartiques attirent beaucoup d'eau, selon la loi de l'osmose, et provoquent la diarrhée osmotique.

Par ailleurs, la voie empruntée par les sels de Mg pour l'absorption serait identique à celle du calcium. En conséquence, toute consommation excessive de l'un entraverait l'absorption de l'autre (phénomène de compétition).

De nombreux symptômes de carence en Mg ont été décrits chez l'animal : arrêt de croissance, faiblesse, irritation excessive des nerfs et des muscles, irrégularité des battements cardiaques, convulsions de type tétanique. Si un régime déficient en Mg se poursuit sur quelques semaines, la mort peut survenir.

Les cas de carence chez l'Homme sont rares et longs à se développer à cause des réserves corporelles. Ils sont essentiellement observés dans des cas d'alcoolisme chronique, de kwashiorkor ou de diabète. Ils se manifestent surtout par une excitabilité nerveuse et musculaire accrue, mais on peut aussi observer des troubles du comportement, la dépression, la faiblesse, des tremblements et même des convulsions similaires à celles associées au manque de calcium.

La distribution du Mg dans les aliments suit généralement celle des protéines et du phosphore. Les céréales entières, les noix, les noisettes et les légumes verts sont des sources intéressantes de Mg (tableau 8.3.4). La viande et le lait en apportent modérément.

Tableau 8.3.4- Teneur en magnésium de certains aliments (mg/100g)

Produit	Magnésium	Produit	Magnésium
Café instantané	456	Haricots blancs	37
Poudre de cacao	420	Pois	35
Son de blé	420	Bananes	33
Germes de blé	336	Riz brun	29
Soja	265	Carottes	23
Levure	231	Pain blanc	22
Chocolat au lait	107	Tomates	14
Epinards	88	Lait entier	13
Pain complet	78	Riz décortiqué	8
Dattes	60	Pommes crues	8

Certains traitements technologiques appliqués aux denrées alimentaires entrainent des pertes plus ou moins importantes en Mg. Il reste très peu de Mg dans le riz décortiqué et la farine blanche et pas du tout dans le sucre, les graisses et les huiles. De même, les légumes bouillis perdent des quantités importantes de Mg si l'eau de cuisson n'est pas récupérée.

Les besoins quotidiens en Mg sont donnés dans le tableau 8.3.5. Ces besoins sont naturellement plus élevés lors de la grossesse et pendant la lactation. Autrement, ils varient notamment avec la taille corporelle et la composition du régime.

Tableau 8.3.5- Besoins quotidiens en magnésium (mg/j)

	Age (ans)	Magnésium
Nourrison	0,0 - 0,5 0,5 - 1,0	50 70
Enfant	1 - 3 4 - 6 7 - 10	150 200 250
Sexe masculin	11 - 14 15 - 18 19 et plus	350 400 350
Sexe féminin	11 et plus	300
Grossesse	-	+150
Allaitement	-	+150

Sodium

Le sodium (Na) est un constituant du sel de cuisine utilisé depuis très longtemps pour l'assaisonnement des aliments. L'ajout de sel répond beaucoup plus à cette quête d'amélioration du goût – avec parfois aussi la recherche d'une meilleure conservation des produits – qu'à un besoin physiologique du consommateur.

Comme mentionné plus haut, le Na (avec le K) intervient dans le maintien des équilibres hydrique et acido-basique et dans la transmission de l'influx nerveux (voir *Equilibres physiologiques de l'organisme et rôle des minéraux*, p. 120). Il a aussi un rôle dans le transport actif du glucose et des acides aminés à l'intérieur des cellules (pompe sodique) et leur résorption au niveau des reins.

Il est difficile de fixer les besoins en Na du fait que l'organisme dispose de moyens de régulation, notamment sous contrôle hormonal, permettant de conserver le sodium lorsqu'il est plus rare dans la ration. On peut cependant évaluer ces besoins en déterminant les quantités éliminées par l'organisme sous des conditions normales. On estime ainsi qu'un apport moyen de 2,5 g de Na (et non de sel NaCl) doit être assuré pour ne pas obliger l'organisme à recourir à tous ses mécanismes d'épargne.

La sueur peut contenir jusqu'à 1 g de Na par litre. En conséquence, une transpiration excessive peut causer des pertes importantes de Na, exigeant alors la consommation de 10 à 15 g de sel NaCl par jour, correspondant à environ 5 g de Na. Pour les mêmes raisons, les personnes fournissant un effort physique important sous des climats chauds devraient absorber jusqu'à 7 g de Na par jour. Ces apports peuvent être assurés par la consommation de liquides légèrement salés (2 g/l).

Des quantités de sel comprises entre 10 et 15 g/j sont considérées comme excessives pour l'adulte dans un état physiologique normal. La consommation moyenne de sel au Maroc est d'environ 10 g/j, consommation qu'il faudrait abaisser à 3-5 g/j afin de réduire la prévalence de l'hypertension. Une question se pose, par ailleurs, quant à la consommation de sel iodé comme moyen de lutte contre la carence en iode (voir *Iode*, p. 248).

Le sel de cuisine est la source la plus évidente de Na dans l'alimentation. Néanmoins, des aliments sans sel ajouté peuvent en constituer des sources non négligeables, notamment les produits d'origine animale, plus riches que ceux d'origine végétale. Le lait, en particulier, est une bonne source (tableau 8.3.6).

Tableau 8.3.6- Richesse en sodium de quelques aliments (mg/100g)

Aliments		Sodium
Laits et dérivés	Beurre salé	990
	Fromage (Cheddar)	700
	Lait de vache entier	50
	Lait de femme	17
Pain		530
Œufs pochés		270
Fruits et légumes	Epinards	50
	Carotte	47
	Pommes-de-terre	6
	Banane, Orange, Pomme	1

Le taux de Na dans les compartiments hydriques de l'organisme humain est sous contrôle hormonal, si bien que tout excès est normalement rejeté par les urines. Si l'émission d'urine est diminuée suite à une baisse importante de la consommation de liquides, l'excès de Na ne peut plus être éliminé et les niveaux sodiques élevés dans le sang excitent alors les récepteurs de la soif. En buvant, on augmente le volume urinaire et l'équilibre se rétablit.

Cependant, ces mécanismes de régulation peuvent s'avérer insuffisants chez certains individus qui ingèrent régulièrement trop de Na, conduisant alors au développement de l'hypertension, bien que cela dépende d'autres paramètres (facteurs génétiques, hormone angiotensine, etc.). Par ailleurs, l'excès de Na est à l'origine de l'augmentation du volume extracellulaire suite à la rétention d'eau qu'il provoque.

Les diarrhées et les vomissements peuvent également occasionner de grandes pertes en Na. La baisse du niveau de Na sanguin qui s'ensuit provoque le passage du potassium du LIC au LEC. Il en résulte très vite une fatigue musculaire, des vertiges et des nausées. Il est alors nécessaire de boire de l'eau contenant du sel ou de recourir aux SRO pour un soulagement rapide (voir *Déshydratation/Diarrhée,* p. 34-35).

Potassium

Outre son rôle dans les équilibres hydrique et acido-basique décrits plus haut, le potassium (K) est un composant du tissu musculaire. On note une perte de K consécutive à chaque atteinte des muscles suite soit à un jeûne prolongé soit à une déficience protéinique ou à des blessures.

Une carence en K cause la faiblesse musculaire, voire la paralysie. Même le muscle intestinal peut être touché, si bien que le péristaltisme peut s'arrêter, aboutissant à un abdomen distendu et rempli de gaz. Si le manque de K est prolongé, l'arrêt cardiaque peut survenir. Par ailleurs, contrairement au sodium qui a un effet hypertenseur, le K exerce une protection contre l'hypertension. De ce fait, il est souhaitable de respecter un ratio sodium/potassium égal à 1 dans le régime.

Si le K est largement distribué dans l'alimentation, il n'en reste pas moins qu'une carence peut être observée chez les enfants atteints de kwashiorkor car ils sont exposés à la fois à un régime déficient en protéines et à des diarrhées fréquentes.

En se basant sur les quantités excrétées lors d'un régime pauvre en K, et qui sont de l'ordre de 1,5 g par jour, on a estimé le besoin minimal quotidien à 2,5 g.

Le tableau 8.3.7 donne les teneurs en potassium de différents aliments.

Tableau 8.3.7- Richesse en potassium de quelques aliments (mg/100g)

Aliments	Potassium
Fruits et légumes	
Pommes-de-terre	853
Dattes	680
Banane	400
Carotte	340
Kiwi	330
Epinards	325
Grenade	260
Orange	200
Pomme	110
Pain	275
Café	50
Œufs (pochés)	128
Lait et dérivés	
Lait de vache	145
Lait de femme	58
Fromage (Cheddar)	80
Beurre salé	23

Les fruits et légumes sont de très bonnes sources de cet élément, notamment les dattes, les pommes-de-terre, les bananes, les kiwis, les abricots, les agrumes et les tomates. Les viandes constituent également de bons apports, ainsi que le lait. Cependant, les fromages sont généralement pauvres du fait de l'élimination du K avec le lactosérum. Le café mérite également d'être cité. Avec des teneurs record de l'ordre de 1350 mg/100 g, certaines épices comme le cumin, le curry, le gingembre et le poivre moulu, ou encore le persil, sont parmi les sources intéressantes de K malgré les faibles quantités utilisées pour assaisonner les mets.

8.4- Principaux oligoéléments

On ne connaît pas encore toutes les propriétés des oligoéléments ni l'ensemble de leurs interactions et leurs teneurs précises dans l'alimentation humaine. Cependant, il est actuellement établi que certains d'entre eux sont essentiels pour la vie et la santé. C'est le cas du fer, de l'iode, du cuivre, du zinc, du manganèse, du cobalt, du fluor, du molybdène, du sélénium, du chrome et de l'étain. Pris ensemble, tous ces éléments représentent environ 8 à 10 g dans l'organisme humain.

Il n'existe aucune classification des oligoéléments tant ils diffèrent par leurs propriétés chimiques, leurs fonctions et leur distribution.

Fer

Le fer (Fe) est présent à raison de 3 à 5 g dans l'organisme humain où il est un composant important de l'hémoglobine, protéine fondamentale des globules rouges du sang, et de la myoglobine, protéine essentielle des muscles. Malgré une bonne connaissance du rôle physiologique du Fe depuis longtemps, on note plus de carences de cet élément que de n'importe quel autre minéral aussi bien dans les pays riches que dans les pays pauvres et tant dans les couches sociales aisées que dans les populations nécessiteuses, tellement les causes possibles sont variées.

Très économe en Fe, l'organisme le réutilise pourtant au maximum. Les petites quantités qui doivent être remplacées (0,5 à 2 mg/jour) sont celles perdues dans les urines, la sueur, les cheveux et les ongles, en plus de celles dues à la menstruation. Grâce à un système de régulation efficient, l'absorption du Fe est accentuée en cas de pertes importantes (saignements) et freinée en cas d'excès.

Le taux d'absorption du Fe alimentaire varie de moins de 1% à plus de 50%. Cependant, en situation normale, l'organisme absorbe en moyenne le dixième du Fe ingéré, si bien qu'on a besoin de consommer quotidiennement 10 à 15 mg de Fe pour remplacer ce qui est perdu.

La biodisponibilité (ou disponibilité biologique) du Fe est soumise à l'influence de nombreux paramètres, notamment la forme (organique ou inorganique) sous laquelle il se trouve dans l'aliment, son degré d'oxydation (ferreux Fe^{2+} ou ferrique Fe^{3+}), la composition de la ration, l'état de l'intestin, les besoins particuliers (grossesse), l'âge, le sexe, les facteurs hormonaux et la présence éventuelle d'infections parasitaires.

Ainsi, aussi bien les formes organiques qu'inorganiques du Fe sont utilisables par l'organisme. Le Fe apporté avec la myoglobine des viandes rouges et l'hémoglobine du sang peut être absorbé directement par l'intestin sous forme de Fe^{2+}. Même le Fe élémentaire (métal), ajouté dans le cadre des programmes de fortification ou issu des ustensiles de cuisine, est rendu disponible après son ionisation dans l'intestin.

La forme ferreuse Fe^{2+} (forme réduite) est plus facilement absorbée que la forme ferrique Fe^{3+} (forme oxydée). De ce fait, l'absorption est favorisée par l'acidité normale du suc gastrique et les substances réductrices telles que l'acide ascorbique (vitamine C) (figure 8.4.1).

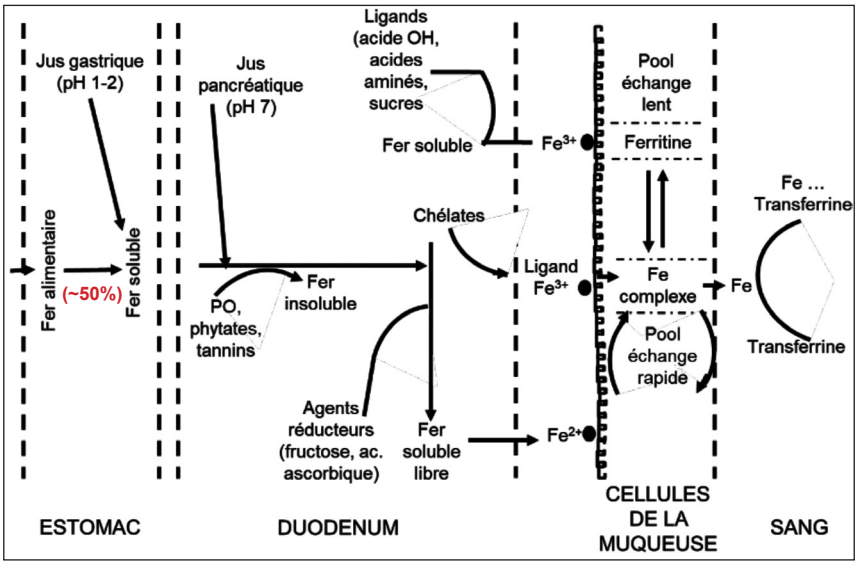


Figure 8.4.1- Schéma de l'absorption du fer

Par ailleurs, l'organisme tire davantage profit d'un régime alimentaire équilibré où une proportion importante du Fe est apportée par la viande ou les œufs que d'un régime à base de céréales, légumineuses et légumes fibreux dont le Fe n'est pas assez bien disponible. Par exemple, et contrairement à ce qui est souvent répété, les épinards ne constituent pas une excellente source de Fe malgré leur richesse en cet élément. C'est aussi pour cette raison que la biodisponibilité du Fe des céréales entières et des légumineuses, à l'exception du soja, n'est pas très bonne. Ceci est dû à la présence de facteurs antagonistes à son absorption (voir *Acide phytique*, p. 176).

Une fois le Fe dans les cellules muqueuses de la paroi intestinale, il va entrer dans la constitution de deux types de protéines, la transferrine, qui va par la suite le transporter dans les différents tissus de l'organisme, et la ferritine et sa forme complexe, l'hémosidérine, qui vont le garder stocké dans les cellules muqueuses (figure 8.4.1 ci-dessus). Une autre forme, le citrate de fer, contribue à la circulation du Fe dans le sérum sanguin.

L'hémoglobine du sang accapare 60 à 75% du Fe de l'organisme. A côté de la globine (protéine), la molécule d'hémoglobine comprend l'hème, une fraction non protéique contenant du Fe à l'état ferreux grâce à laquelle l'hémoglobine peut transporter l'oxygène pour la respiration des cellules. En effet, le Fe est capable de fixer l'oxygène, permettant ainsi à l'hémoglobine de se charger en cet élément dans les poumons pour le transporter à toutes les cellules, où il est utilisé pour la production d'énergie. En échange, l'hémoglobine se charge de CO_2 et le transporte dans le sang veineux, qui est de couleur foncée (du fait que l'hémoglobine est alors sous forme réduite). Retournant aux poumons, elle va libérer le CO_2 qui va être exhalé, et se charger à nouveau d'oxygène pour reprendre le cycle.

Une fraction importante du Fe, 20 à 30%, est stockée dans des protéines (notamment la ferritine et l'hémosidérine) qui se concentrent dans le foie, la rate et la moelle osseuse. D'autres tissus contiennent de faibles quantités de Fe qui y joue néanmoins un rôle important : réseau chromatique du noyau cellulaire, cytochromes (pigments respiratoires cellulaires), enzymes d'oxydoréduction (cytochromes-oxydases), myoglobine des muscles, chimiquement très voisine de l'hémoglobine (3% du fer total).

En plus, le Fe intervient dans le développement du pouvoir immunitaire des cellules et de tissus spécifiques et aussi dans la résistance aux infections, notamment celles dues aux Streptocoques et aux champignons microscopiques du genre *Candida*, ainsi qu'aux infections respiratoires chez les nourrissons.

De façon générale, la teneur en fer des aliments est variable au point qu'il faut considérer avec précaution les valeurs figurant dans les tables de composition des aliments. Le Fe est cependant plus abondant dans les aliments faiblement aqueux que dans les fruits et légumes qui sont riches en eau et en fibres. Par ailleurs, le lait est pauvre en Fe alors que la viande, certains abats (foie, rate) et la moelle osseuse présentent une richesse exceptionnelle en cet élément, de même que le sang pour les populations qui en consomment, notamment sous forme de boudin. Des sources intéressantes sont également représentées par les viandes maigres, les œufs, les fruits secs, les céréales, les légumes verts et les légumineuses en sec, notamment les lentilles. Il ne faut cependant pas surestimer la richesse des lentilles en fer comme il est souvent répété. En plus, la présence de l'acide phytique réduit la biodisponibilité de cet élément.

Le Fe des aliments est soit sous forme héminique soit sous forme non héminique. Le Fe héminique est celui apporté par l'hémoglobine et la myoglobine. Environ 40% du Fe des produits animaux est sous forme héminique. En revanche, tout le Fe des produits végétaux est sous forme non héminique. La différence est que la biodisponibilité du Fe héminique est totale alors que le Fe non héminique a une biodisponibilité réduite.

Les aliments enrichis en Fe peuvent être intégrés au système classique de distribution alimentaire susceptible d'atteindre une grande partie de la population. Ces aliments enrichis ont l'avantage de respecter les croyances et les habitudes alimentaires des populations. L'enrichissement des aliments constitue une opération intéressante si l'on opère un choix judicieux de la forme de fer et des produits à enrichir. Les groupes vulnérables ou la population toute entière peuvent être ciblés.

Une partie des 4,5 à 5 millions de globules rouges (hématies) que contient chaque centimètre cube de notre sang est détruite et remplacée en permanence. La durée de vie d'une hématie est estimée à 120 jours. C'est dans la rate que les globules rouges sont détruits et le Fe qu'ils contiennent est presque entièrement récupéré pour la formation de nouvelles hématies au niveau de la moelle osseuse. Le recyclage du Fe est un phénomène continu et efficient.

Etant données les nombreuses variables qui interviennent, il n'est pas aisé de donner avec précision les besoins en Fe de chaque catégorie de consommateur. Les chiffres du tableau 8.4.1 sont donc donnés à titre indicatif. Comme signalé plus haut, du fait de la faible absorption du Fe (taux d'absorption moyen 10%), on doit consommer une quantité dix fois plus élevée que celle perdue quotidiennement par l'organisme. Ainsi, la recommandation se situe, avant l'âge de 55 ans, autour de 10 mg/jour pour les hommes et de 18 mg/jour pour les femmes.

L'augmentation des besoins en Fe durant la grossesse peut ne pas être couverte par la teneur du Fe du régime alimentaire quotidien habituel ou par les réserves chez beaucoup de femmes enceintes. Il est donc recommandé de fournir 30 à 60 mg de Fe supplémentaire par jour (tableau 8.4.1). Le niveau exact doit être fixé par le médecin traitant.

Tableau 8.4.1- Quantités recommandées d'apport de fer (mg/jour)

Sexe et Age	Fer
Nourrisson	
0,0 - 0,5	10
0,5 - 1,0	15
Enfant	
1-3 ans	15
4-10 ans	10
Sexe masculin	
11-18 ans	18
19 ans et plus	10
Sexe féminin	
11-50 ans	18
51 ans et plus	10
Grossesse	30-60
Allaitement	30-60

Les besoins en Fe durant la lactation ne sont pas substantiellement différents des besoins des femmes non enceintes. Cependant, un apport en Fe pour la mère durant les 2 à 3 mois successifs à l'accouchement est à conseiller afin de remplacer les stocks en Fe utilisés au cours de la grossesse.

Comme signalé plus haut, on note plus de cas de carences en Fe qu'en n'importe quel autre minéral, et ce, aussi bien dans les pays riches que dans les pays pauvres et quelle que soit la couche sociale considérée. Dans les pays industrialisés, on impute ces carences à la généralisation du raffinage et des traitements technologiques des produits alimentaires, de même qu'à l'abandon des ustensiles en fer. Les groupes de population les plus exposés sont les nourrissons et les enfants, les femmes en âge de procréer et les personnes âgées.

La carence peut être due davantage à une faible biodisponibilité du Fe qu'à une faible richesse des aliments consommés. Les phytates, les fibres et les tannins, en particulier, réduisent la biodisponibilité de cet élément (voir *Anti-nutriments*, p. 176).

On peut recourir à l'enrichissement des aliments en Fe afin de palier à ce problème (voir *Fer*, p. 245).

Il est peu probable que, dans des conditions ordinaires, l'ingestion d'excès de Fe soit nuisible du fait que l'organisme n'absorbe que les quantités dont il a besoin, l'absorption du Fe étant fortement régulée. Une consommation quotidienne de 25 à 75 mg de Fe, qui serait nuisible pour la santé humaine, n'est pas commune chez les personnes normales. Il existe cependant des cas d'intoxication chez les jeunes enfants consommant des comprimés de Fe pour adultes. La dose létale de Fe sous forme de sulfate de Fe est de 3 g/j pour un enfant de 2 ans. Chez l'adulte, cette dose varie de 200 à 250 mg par kg de poids corporel et par jour, soit 13 à 16 g/j pour une personne de 65 kg.

Au sein de certaines populations qui ont l'habitude d'utiliser des ustensiles de cuisine en Fe, une personne peut ingérer quotidiennement jusqu'à une quantité de 200 mg de Fe ! Certaines populations africaines qui abusent de la consommation de boissons alcoolisées traditionnelles peuvent souffrir d'un apport excessif de Fe, en relation avec les ustensiles utilisés.

Le Fe excessif qui parvient à passer dans la circulation sanguine peut provoquer une cirrhose du foie. Il peut y avoir aussi sidérose, c'est-à-dire accumulation de Fe dans les tissus. La sidérose peut aussi résulter d'une destruction massive des globules rouges, indépendamment de l'apport nutritionnel du Fe. La transfusion sanguine des individus atteints de cette maladie peut être suivie d'une hémolyse se traduisant par la libération du Fe à partir de l'hémoglobine, ce qui va entraîner une surcharge des tissus en fer.

Iode

La quantité d'iode (I) dans l'organisme humain est de 15 à 30 mg. Environ les 3/5 de cette quantité sont concentrés dans la glande thyroïde, les 2/5 restants étant dans le sang.

La principale fonction de l'iode est de participer à la constitution des hormones thyroïdiennes : la Triiodothyronine (T3), forme active constituée de 2 molécules de thyrosine et de 3 atomes d'iode, et la Tétraiodothyronine (T4) ou thyroxine, forme de réserve, comprenant 2 molécules de thyrosine et 4 atomes d'iode. Ces hormones sont particulièrement actives dans la régulation du métabolisme de base. Elles ont également une influence sur la synthèse des protéines, la production du cholestérol au sein de l'organisme, la conversion du carotène en vitamine A et l'absorption des glucides.

On sait depuis 1820 que le goitre simple ou endémique est provoqué par un apport insuffisant en iode. Chez l'individu normal, en effet, la glande thyroïde est particulièrement riche en iode et l'hypertrophie de la glande thyroïde est une réponse au manque d'iode. Dans les régions proches des océans et des mers, et où le sol et les produits agricoles contiennent suffisamment d'iode, le goitre est très rarement observé, contrairement aux régions montagneuses où l'incidence de cette maladie est plus élevée, en liaison avec des taux très bas d'iode dans l'eau, le sol et les plantes.

En particulier, une insuffisance en iode chez la femme enceinte au cours des trois premiers mois de grossesse, ou même avant la conception, peut se répercuter sur ses enfants sous forme de crétinisme endémique, maladie caractérisée par un retard mental, un défaut de croissance (nanisme) et une thyroïde peu développée et peu fonctionnelle. De plus, les crétins goitreux sont souvent stériles. Les filles sont plus souvent touchées par cette affection que les garçons.

Un bon remède consiste en l'administration de petites doses d'iodure de sodium (NaI) ou d'iodure de potassium (KI), ou d'aliments enrichis en iode sous forme d'iodate de potassium (KIO_3) ou d'iodate de sodium ($NaIO_3$). Ces iodates seront par la suite convertis dans l'organisme en iodures. Ces produits sont donnés aux adolescents atteints de goitre. L'enrichissement du sel de cuisine en iode est une alternative. Selon les pays, cette pratique est obligatoire (Suisse) ou seulement recommandée (USA, Maroc) (voir *Iode*, p. 248).

Bien que les moyens de prévention du goitre endémique soient parfaitement bien connus, cette maladie continue à sévir. On compte plus de 200 millions de cas dans le Monde, sachant que les femmes sont plus sensibles que les hommes. Il faut préciser que, quand le goitre apparaît chez un adulte, la consommation d'iode n'a aucun effet curatif.

Certaines substances, dites goitrigènes, peuvent favoriser l'apparition du goitre. Elles miment les hormones thyroïdiennes et, ce faisant, réduisent l'eficacité de ces dernières.

Les aliments goitrigènes peuvent être de la famille des:

- Crucifères (*Brassicaceae*) comme le chou, le chou-fleur, le chou frisé, le chou de Bruxelles, le chou-rave, le brocoli, le navet, le radis, le raifort (racine), la moutarde, le colza, etc.
- *Amaryllidaceae* comme l'oignon, l'ail, etc.

Le lait de vache on d'autres animaux laitiers ayant brouté dans les champs dans lesquels poussent ces plantes, peut aussi avoir le même effet.

Ces produits sont riches en glucosinolates et glucosides cyanogénétiques qui seront transformés dans l'organisme en thiocyanates ou en contenant naturellement.

Certaines variétés de manioc[15] sont toxiques car elles contiennent du cyanure sous forme d'acide cyanhydrique qui est éliminé au cours de la cuisson.

Les thiocyanates sont capables d'empêcher l'iode de rentrer dans la thyroïde.

On trouve également de la goitrine (thiocarbamate cyclique) qui est un composé antithyroïdien inhibant l'absorption de l'iode par la thyroïde.

Il existe par ailleurs des substances goitrigènes chimiques et environnementales d'origine industrielle (nitrates, perchlorates) pouvant contaminer les aliments et agissant comme des perturbateurs endocriniens.

Les substances goitrigènes sont donc susceptibles d'interférer avec la synthèse des hormones thyroïdiennes.

La maladie de Basedow ou de Graves-Basedow est une hyperthyroïdie auto-immune. Dans ce cas des anticorps anormaux sont produits et stimulent continuellement la libération d'hormones thyroïdiennes conduisant à une hyperthyroïdie.

Avec des taux excessifs en hormones thyroïdiennes, on assiste à l'accélération des processus oxydatifs, caractérisant un métabolisme de base trop élevé. C'est l'hyperthyroïdisme, qui s'accompagne d'une perte de poids, d'une accélération des battements cardiaques, de tension et de nervosité et l'ophtalmopathie ou attaques ophtalmologiques.

Les besoins en iode sont vraiment minimes. A titre de comparaison, et pour schématiser, une année de besoins en iode pour la femme adulte sont estimés à 36 mg, ce qui ne représente que 2 jours de besoins en fer (même si cette comparaison n'a aucun sens sur le plan physiologique car les besoins sont quotidiens et les rôles des deux éléments complètement différents). La notion d'oligoélément prend donc tout son sens avec l'iode.

15- *Le manioc est l'une des plantes alimentaires les plus importantes dans le monde. Il est utilisé pour ses racines. On fabrique un pain nommé cassave ou une fécule nommé tapioca. La farine de manioc, nommée foufou, contient 75% d'amidon et sucre et 2% de protéines.*

Le tableau 8.4.2 donne une estimation des besoins en iode chez l'Homme selon l'âge, le sexe et l'état physiologique.

Tableau 8.4.2- Besoins quotidiens en Iode selon l'âge et le sexe

	Age (an)	Poids (kg)	Besoin (µg/j)
Nourrisson	0,0-0,5	6	40
	0,5-1,0	9	50
Enfant	1-3	13	70
	4-6	20	90
	7-10	28	120
Adulte masculin	11->51	45-70	150
Adulte féminin	11->51	46-55	150
Grossesse			+ 25
Allaitement			+ 50

Dans certaines régions proches des côtes marines, l'apport en iode de l'eau de boisson suffit à satisfaire les besoins. Même la teneur des aliments en iode dépend largement de la richesse du sol en cet élément (aliments d'origine végétale) et de celle de l'alimentation des animaux à laquelle on ajoute de l'iode dans certains pays (aliments d'origine animale).

Certains aliments sont relativement riches en iode : les poissons de mer, les coquillages, l'huile de foie de morue, etc. Si les animaux d'élevage ont reçu des aliments iodés, le lait, les fromages et les œufs peuvent être de bonnes sources.

Des taux représentant 25 à 50 fois les quantités recommandées causent l'inhibition de l'action de la thyroïde à l'instar des substances goitrigènes. Il n'est donc pas conseillé de se traiter soi-même sur de longues périodes à l'aide de composés iodés ou avec des extraits d'algues sèches.

Le fonctionnement de la glande thyroïde est sous contrôle hormonal. La thyroïde est stimulée par la *Thyroïd Stimulating Hormone* (TSH) ou thyréostimuline ou thyréotrophine afin de sécréter les hormones thyroïdiennes T3 et T4. La TSH est une hormone sécrétée par l'hypophyse antérieure (antéhypophyse). La TSH est elle -mème sous le contrôle d'une autre hormone, la TRH (*Thyrotropin Releasing Hormone*) ou thyréolibérine, ou hormone thyréotrope qui est produite par l'hypothalamus. La TRH stimule la synthèse et la libération de la TSH.

Zinc

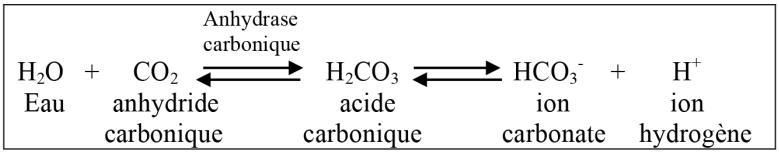
Présent dans tous les tissus vivants, le zinc (Zn) y atteint des concentrations voisines de celles du fer. Certains organismes marins en sont cependant particulièrement pourvus, notamment les huîtres.

Ce minéral est indispensable à l'Homme, dont le corps contient près de 2 grammes, soit environ l'équivalent de 200 jours de réserves nutritionnelles. Les organes qui concentrent particulièrement le Zn sont le foie, les os, la peau, les cheveux, les ongles, les yeux, la prostate, les testicules, les cellules spermatiques et le sang.

Le Zn intervient chez l'Homme dans la croissance ainsi que dans la prévention de l'anémie et la cicatrisation des blessures, comme il participe au développement des organes génitaux et du système de reproduction de façon plus générale.

Constituant naturel de l'insuline, le zinc est impliqué dans le métabolisme des glucides. Il joue un rôle essentiel dans la synthèse et l'action de l'insuline aussi bien du point de vue physiologique que dans le cas du diabète sucré.

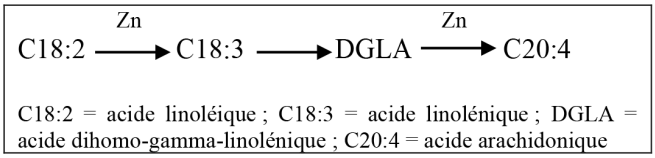
Par ailleurs, le Zn est un composant de l'anhydrase carbonique, enzyme responsable de l'équilibre entre l'anhydride carbonique CO_2 et l'acide carbonique H_2CO_3 au sein des tissus.



Non seulement cette réaction est importante pour le transport du CO_2 par le sang, mais elle permet la sécrétion d'acide chlorhydrique dans le suc gastrique par le biais de la libération des ions hydrogène.

Plus généralement, plus de 200 enzymes et protéines contenant du Zn ont été identifiées. Le Zn peut faire partie de la structure de la molécule enzymatique ou être simplement indispensable à son fonctionnement. Le Zn intervient aussi dans la synthèse des acides nucléiques et des protéines et dans la différentiation et le développement cellulaires. Il est également associé au métabolisme des acides aminés et à celui des amines au niveau du système nerveux et du cerveau.

Il est par ailleurs impliqué dans le métabolisme des acides gras. Il intervient notamment dans la conversion de l'acide linoléique (C18:2) en acide linolénique (C18:3) et dans la mobilisation de l'acide dihomo-gamma-linolénique (DGLA) pour la synthèse de l'acide arachidonique (C20:4) et des prostaglandines. La conversion de l'acide C18:2 en C18:3 est due à l'enzyme delta-6-désaturase, comme suit :



Par ailleurs, des études sur la ratte ont montré qu'une déficience en Zn était associée à une augmentation de l'activité de la delta-6-désaturase dans la glande mammaire. Ces observations étaient compatibles avec l'augmentation de la teneur en acide arachidonique C20:4 et la chute du ratio C18:2/C20:4 dans le lait de ces animaux (C18:2 étant l'acide linoléique). Parallèlement, on a noté une élévation de la teneur des acides palmitoléique et oléique et une régression de celles des acides palmitique et stéarique, bien que le taux de matières grasses du lait n'ait pas changé.

En interférant ainsi sur le métabolisme des lipides, le Zn joue un rôle important dans le maintien de la structure des membranes cellulaires et leurs fonctions.

Le Zn joue aussi un rôle essentiel dans le système immunitaire à travers les cellules entrant dans le cycle de réplication, particulièrement dans les phases synthétiques (S) et prémitotique (G2) de leur croissance. Pour leurs fonctions normales, les lymphocytes et les autres cellules immunocompétentes dépendent d'une façon critique de leur faculté à se diviser et à se différencier. C'est pourquoi une réponse immunitaire intacte et normale est tributaire de la quantité de zinc présent dans les cellules et les tissus. La carence en Zn paraît comme étant la cause alimentaire la plus importante de la déficience immunitaire (voir *Troubles de l'immunité*, p. 286).

De plus, le Zn interagit avec le métabolisme de plusieurs autres minéraux (voir *Interactions entre éléments minéraux*, p. 151).

Un régime alimentaire normal apporte quotidiennement 10 à 15 mg de Zn. Seule la moitié de cette quantité est absorbée, mais cela permet d'éviter toute carence. Il faut cependant souligner qu'un régime exclusivement à base de protéines végétales peut s'avérer déficient en Zn. Le «*Food Nutrition Board*» américain suggère 3 à 5 mg/jour pour les nourrissons de 0 à 1 an, 10 mg/jour comme un apport convenable pour les enfants de 1 à 10 ans, et 15 mg/jour pour les adultes. Les femmes enceintes et les femmes allaitantes, elles, devraient recevoir quotidiennement un supplément de 5 et 10 mg, en plus de leurs besoins quotidiens normaux, respectivement.

Le Zn est présent dans tous les aliments, particulièrement ceux d'origine animale. Cependant, les huîtres se distinguent nettement par leur richesse, alors que les fruits et légumes et les produits raffinés sont, au contraire, très pauvres en Zn. Outre les huîtres, les sources alimentaires les plus intéressantes pour cet éléments sont le crabe, la langouste, les viandes rouges (bœuf, veau, porc) et de volailles, le foie de veau ou d'agneau, le jaune d'œuf, les fromages, les champignons, les germes de blé et les céréales complètes, les lentilles, les noix de cajou et les graines de courge.

Par ailleurs, les phytates et les fibres alimentaires sont incriminés dans la mauvaise absorption du Zn apporté par l'alimentation, comme c'est le cas d'ailleurs d'autres minéraux (Ca, Fe, Mg etc.). Un régime végétarien strict ou à base de céréales – surtout si le pain n'est pas levé – peut induire une carence en Zn.

En tout cas, des carences en cet élément minéral ont été notées dans certains pays du Moyen Orient et au Maroc.

Les principales conséquences fonctionnelles de la carence en Zn peuvent être résumées comme suit :

- lésions cutanées avec perturbation du phénomène de cicatrisation;
- anorexie, avec des altérations possibles de l'acuité du goût et de l'odorat;
- retard de croissance;
- hypogonadisme (perturbation du fonctionnement des gonades et de l'activité sexuelle);
- perturbation de la vision nocturne et altération du métabolisme de la vitamine A;
- diarrhée;
- chute de l'activité mentale;
- déficience immunitaire;
- tératogenèse (malformation du fœtus débouchant sur un individu monstre);
- alopécie (chute des cheveux).

En revanche, on ne note pas de toxicité particulière du Zn. Néanmoins, des cas d'empoisonnement ont été observés suite à la consommation de jus de fruits acides conditionnés dans des récipients galvanisés. Le Zn de ces emballages serait à l'origine de ces accidents.

Le zinc et le cuivre sont deux minéraux antagonistes. Si l'un est en excès, l'autre serait par conséquent en carence, et réciproquement. Le déséquilibre du ratio zinc/cuivre est parmi les dérèglements minéraux les plus courants. Ce ratio est idéalement de 8 en faveur du zinc.

Cuivre

Le cuivre (Cu) joue de nombreuses fonctions essentielles dans l'organisme des animaux :

- il intervient, à côté du fer, dans la prévention de l'anémie. On a montré chez le rat, par exemple, que le Cu entre dans la composition d'une protéine nécessaire à l'utilisation du fer, la céruloplasmine;
- il joue un rôle vital dans la formation du tissu conjonctif, en général, et du tissu élastique de l'aorte, en particulier;
- il contribue à la constitution de diverses enzymes, notamment la cytochrome-oxydase C et la catalase, qui sont impliquées dans des réactions métaboliques essentielles qui libèrent de l'énergie;
- il intervient dans la synthèse des phospholipides entrant dans la composition de la myéline, qui forme une gaine isolante autour des fibres nerveuses;
- il joue un rôle dans la formation de la mélanine, pigment noir des cheveux et de la peau.

En cas de carence en Cu, un certain nombre de désordres ont été décrits chez les animaux, notamment :

- anémie;
- anomalies du squelette;
- dépigmentation du poil;
- dégénérescence du système nerveux;
- lésions cardiovasculaires;
- troubles de la reproduction.

Cependant, chez l'Homme, une carence en Cu n'est pas à craindre tant que l'alimentation est assez variée. En effet, un régime normal fournit 2 à 5 mg de Cu par jour, ce qui est jugé tout à fait suffisant, bien que les besoins n'aient jamais été déterminés avec certitude.

Par ailleurs, l'eau de boisson suffit souvent à elle seule à subvenir aux besoins quotidien en Cu. Outre l'eau, les principales sources alimentaires sont les abats, les crustacés, les coquillages, les légumineuses en sec et le cacao.

L'Homme présente une tolérance relativement grande pour le Cu. On a estimé qu'une ingestion alimentaire quotidienne allant jusqu'à 0,5 mg de Cu par kg de poids ne présente pas de risque pour l'Homme. Les risques d'intoxication par cet élément sont donc minimes, surtout depuis qu'on n'a pratiquement cessé d'utiliser les ustensiles en cuivre.

Les chélateurs du cuivre pouvant se lier au métal permettent son élimination à travers les urines.

On peut toutefois observer une accumulation anormale du cuivre dans différents tissus et organes, le cœur, les reins, les yeux, le sang; le foie et le cerveau étant les plus touchés. Ceci est observé dans le cas de la maladie de Wilson. Il s'agit d'est une pathologie rare d'origine génétique.

Chrome

Le chrome (Cr) est un oligoélément qui existe sous deux formes Cr(3) trivalent et le Cr(6) hexavalent qui est particulièrement oxydant et toxique. Le Cr(3) joue un rôle important, particulièrement dans le métabolisme du glucose et la tolérance au glucose (GTF : *Glucose Tolerance Factor*).

Le GTF, forme biologique active du Cr(3), est un agent alimentaire important qui stimule l'action de l'insuline et donc régule le métabolisme glucidique. Il serait un complexe contenant du Cr(3), l'acide nicotinique et l'acide aminé cystéine du glutathion (GSH).

Le GTF serait donc un agent anti-diabétique naturel ayant la capacité de permettre la sécrétion de l'insuline et de faciliter son transport jusqu'aux récepteurs et donc de favoriser son action.

Le GTF permet donc de mesurer le temps nécessaire au taux de glycémie pour revenir à un niveau normal chez un individu à jeûn qui a consommé uniquement du sucre. Ce temps est estimé à 2 heures et demie environ. Il est plus long en cas d'intolérance au glucose.

La carence en Cr induit également la réduction de la réserve en glycogène, un retard de croissance, une perturbation du métabolisme des acides aminés, une augmentation des lésions de l'aorte avec augmentation du taux de cholestérol et, conséquemment, une perturbation du métabolisme des lipides.

La quantité de Cr dans l'organisme humain décroît avec l'âge. Déterminée dans les cendres du foie, par exemple, cette quantité chute de 17,2 µg/g chez l'enfant de 0 à 10 ans à 1-2 µg/g chez l'adulte de plus de 30 ans. Ceci pourrait expliquer la diminution de la tolérance au glucose avec l'âge, de même que l'effet du manque de chrome sur l'étiologie du diabète.

Le Cr se trouve exclusivement dans les produits d'origine végétale. Les légumes contiennent de 30 à 500 ppm (partie par million, c'est-à-dire microgramme par gramme), les grains entiers de céréales de 30 à 70 ppm et les fruits autour de 20 ppm. Le sucre blanc raffiné n'en contient pas, contrairement au sucre roux. Un régime alimentaire normal peut apporter 50 à 80 mg/jour.

Il faudrait signaler que le chrome sous ses deux formes Cr(3) et Cr(6) est un élément métallique naturel de la croûte terrestre et de l'environnement (atmosphère, sols, eaux, etc.). Les rejets industriels sont les principales sources de Cr(6).

Le Cr(6) est classé comme agent cancérigène chez l'Homme, principalement au niveau des poumons, des cavités et des fosses nasales et du du sinus.

Cobalt

Le cobalt (Co) est indispensable à l'Homme. Il a un rôle physiologique actif en association avec la vitamine B12 (cyanocobalamine), qui joue un rôle dans la prévention contre l'anémie pernicieuse. Il semblerait que le Co intervient également dans la synthèse des hormones thyroïdiennes.

On trouve du Co dans différents types d'aliments. Ce sont les plantes potagères à feuilles qui en contiennent des quantités plus ou moins élevées (0,2 à 0,6 ppm). Le foie, les rognons et les crustacés sont également d'excellentes sources de Co, suivis des viandes rouges et blanches, du poisson et du lait. Le lait de vache, par exemple, en contient 0,4 à 1,1 µg/l. En revanche, les céréales, les légumineuses en sec et les levures sont pauvres en cet élément.

L'Homme et les animaux non ruminants sont incapables de synthétiser la vitamine B12, même avec un régime riche en Co. A l'opposé, grâce aux microorganismes intestinaux, les ruminants utilisent le Co pour fabriquer la vitamine B12.

L'absorption journalière normale du Co est de 150 à 600 µg, ce qui correspond à une concentration de Co dans le régime alimentaire d'environ 0,2 à 0,4 mg/kg de produit sec.

L'absorption orale de Co nécessaire pour provoquer une intoxication est équivalente à une concentration de 250 à 300 mg/kg dans les aliments, c'est-à-dire une concentration 1000 fois plus élevée que la normale.

La toxicité du Co chez les animaux se manifeste par un manque d'appétit, une perte de poids, une polycythémie (augmentation du nombre des globules rouges du sang) et une hyperplasie de la moelle osseuse. La polycythémie est également observée dans le cas de la toxicité du Co en association avec la consommation élevée de bière conduisant à des troubles cardiaques.

Sélénium

Le sélénium (Se) est un élément trace (environ 0,00003% du corps humain) qui joue un rôle très important dans le métabolisme.

Conjointement à la vitamine E, il protège les AG insaturés contre l'oxydation. En effet, il fait partie de l'enzyme glutathion peroxydase qui protège les acides gras insaturés de l'oxydation. Il semblerait qu'il est 500 fois plus efficace que la vitamine E et 25.000 fois plus actif que l'acide aminé soufré L-cystine dans la prévention des nécroses du foie chez les mammifères et les oiseaux. Cet élément intervient également dans la lutte contre la toxicité du mercure et du cadmium.

De nombreuses maladies peuvent être provoquées par un manque simultané de vitamine E et de Se et peuvent, de ce fait, être traitées par l'apport de l'un ou l'autre d'entre eux. Néanmoins, on a observé chez certaines espèces animales qu'une carence en Se peut se produire même en présence d'un apport suffisant en vitamine E.

Le Se joue également un rôle dans la protection des membranes des globules rouges et de l'hémoglobine contre les phénomènes d'oxydation. La teneur du sang en Se est maintenue constante, mais celle des globules rouges est 5 fois plus élevée que celle du sérum.

Outre le sang, tous les tissus du corps humain contiennent une certaine quantité de Se. Cependant, les reins, les cheveux et le foie en sont relativement riches.

La quantité de Se dans les aliments est fonction de la teneur des sols en cet élément. Mais il est généralement présent dans les aliments en quantité suffisante. Cependant, les produits de la mer (le thon en particulier), le rein, le foie, les viandes et les céréales (notamment le blé) sont riches en cet élément. Dans le lait maternel, sa concentration est pratiquement constante, autour de 0,2 ppm. Les fruits et les légumes en contiennent peu.

Il est difficile d'estimer le besoin en Se. On peut observer des carences chez certaines espèces animales pour des apports inférieurs à 0,02-0,05 µg/g de régime alimentaire, même avec des quantités adéquates en vitamine E. On considère qu'un apport de 0,1 µg/g de régime peut être suffisant. Chez l'Homme, les besoins sont estimés à 0,1 à 0,3 µg/g dans le régime alimentaire ou à 50 à 200 µg/j pour l'adulte. Mais l'apport doit augmenter avec l'augmentation des AG insaturés (de même d'ailleurs que celui de la vitamine E).

L'excès de Se est éliminé dans les urines, les selles et la sueur, de même qu'à travers le système respiratoire. Mais à des taux élevés dans le régime (5 à 10 ppm), le sélénium devient toxique. Il inhibe l'activité de certaines enzymes. En outre, il semblerait qu'il influe sur les caries dentaires, la fréquence des caries et des gingivites étant beaucoup plus élevée dans les régions où le sol est riche en cet élément. Cependant, la toxicité du sélénium pour l'Homme n'est pas évidente dans les conditions normales, sauf peut-être en cas d'exposition dans une atmosphère contaminée. Par ailleurs, la toxicité peut être réduite par l'administration d'un régime riche en protéines.

Fluor

Le fluor (F) peut avoir une action bénéfique pour prévenir l'apparition des caries dentaires et avoir des effets positifs en cas d'ostéoporose et de déminéralisation des os.

Très peu d'aliments ont une teneur en fluor supérieure à 1 à 2 ppm. Les produits marins (notamment les poissons avec arêtes) et le thé sont parmi les sources les plus riches. Le thé est une plante exceptionnelle à cet égard car elle peut concentrer jusqu'à 100 ppm de fluor, si bien qu'une tasse de thé peut apporter 0,2 à 0,3 mg de fluor. L'eau de boisson peut aussi être une source importante. Il est pleinement admis que le fluor présent dans l'eau à un taux moyen de 1 ppm (0,7 à 1,2 ppm) est tout à fait inoffensif.

La marge de sécurité du fluor est étroite. Tant que la concentration ne sort pas de la fourchette 1-4 ppm, on n'a rien à craindre, tout au plus l'apparition de taches brunes sur les dents. En revanche, si l'on est exposé durablement à des concentrations de 6 à 10 ppm, il y a des risques de fluorose (affection consistant en une concentration excessive de fluor dans l'émail des dents et se traduisant aussi par des taches sur les dents).

L'intoxication par le fluor peut principalement se produire dans les conditions suivantes :

- teneur anormalement élevée de fluor dans l'eau;
- alimentation du bétail enrichie;
- contamination de l'environnement par les fumées ou poussières provenant d'industries ou de mines;
- usage agricole (*via* les engrais et les pesticides ou l'épandage des boues d'épuration produites à partir des affluents liquides).

En cas d'excès du fluor dans l'alimentation, on assiste à un refus de la nourriture et à l'anorexie. Des doses létales entrainent une perte rapide d'appétit et de poids, accompagnée de gastro-entérite, de faiblesse musculaire, de congestion pulmonaire et enfin d'un arrêt cardiaque et respiratoire. Toutefois, l'organisme est protégé par des mécanismes de régulation :

- augmentation de l'excrétion urinaire jusqu'à une certaine limite;
- dépôt du fluor dans le squelette jusqu'à une certaine limite.

8.5- Autres minéraux d'intérêt nutritionnel

Les principaux autres éléments minéraux dignes d'être cités comme présentant un intérêt nutritionnel pour l'être humain sont le soufre S, le chlore Cl, le silicium Si, le vanadium V, l'étain Sn, le nickel Ni, le manganèse Mn et le molybdène Mo. Le tableau 8.5.1 présente quelques données relatives à ces différents éléments.

Tableau 8.5.1- Autres éléments minéraux de l'alimentation

	QCH (g)[1]	RJR (mg)[2]	Sources	Fonctions, carences et excès
S	300	Suppléée par AAS[3]	AAS[3]	Fonction : constituant de cartilages, tendons, etc. Excès : retard de croissance
Cl	74	2.000	Sel de table	Fonctions : formation du suc gastrique, équilibre acido-basique Carence : crampes musculaires, apathie intellectuelle, appétit réduit Excès : vomissements
Si V Sn Ni	0,024 0,018 0,017 0,010	Non établie	Largement répandus dans les aliments	Fonctions : inconnues Carence : aucune signalée chez l'Homme Excès : silicose, irritation poumons, vomissements, pneumonie aiguë[4]
Mn	0,012	Non établie	Largement répandu dans les aliments	Fonctions : constituant d'enzymes intervenant dans synthèse des graisses Carence : croissance ralentie, troubles du système nerveux et de la reproduction[5] Excès : empoisonnement dans les mines de Mn, maladie généralisée du système nerveux
Mo	0,009	Non établie	Légumes céréales, abats	Fonction : constituant de certaines enzymes Carence : aucune signalée chez l'Homme Excès : inhibition d'enzymes

[1] : Quantité présente dans le corps d'un adulte humain; [2] : Ration journalière recommandée pour un adulte de sexe masculin bien portant; [3] : Acides aminés soufrés; [4] : Troubles observés par suite d'exposition dans l'industrie; [5] : Troubles observés chez les animaux.

8.6- Interactions entre éléments minéraux

Plusieurs composés phosphatés naturellement présents dans les aliments ou additionnés lors de la transformation industrielle réduisent la biodisponibilité du zinc. Ainsi, la caséine du lait, qui est une phosphoprotéine, fait précipiter le zinc à pH 7,4, à cause des phosphates qui font partie de sa composition. Cependant, le zinc est libéré de la caséine à des pH inférieurs à 4,6.

Par ailleurs, des éléments minéraux aux propriétés physiologiques similaires peuvent agir de façon antagoniste vis-à-vis l'un de l'autre. L'absorption de fortes quantités d'un élément trace ou d'un élément majeur est souvent modifiée par des interactions mutuelles et des réactions mettant en œuvre d'autres nutriments ou des contaminants occasionnels.

Des exemples d'interactions métal-métal sont fournis par les relations mutuelles zinc-fer et zinc-cuivre. Ainsi, un excès de zinc dans le régime alimentaire du rat entraine une baisse significative de la teneur en fer dans le foie, les reins, les testicules et le cœur, avec une tendance à la chute de cette teneur également dans la rate, alors que le fémur est plus riche en cet élément. Parallèlement, la concentration du zinc augmente dans le foie, les reins, la rate, le cœur et le fémur. Par ailleurs, les rats nourris avec un excès de zinc sont anémiques, ils ont des besoins plus élevés en fer, dont le stockage dans l'organisme est réduit. Il semble donc que l'excès de zinc dans la ration alimentaire limite l'absorption du fer comme suggéré par la baisse de concentration du fer dans la plupart des organes analysés.

Un autre cas d'interaction est représenté par le fer et le cuivre. Dans le processus d'absorption du fer (figure 8.6.1), le cuivre joue le rôle de cofacteur enzymatique pour la ceruloplasmine qui transporte le fer réduit F^{2+} et catalyse sa transformation en fer oxydé Fe^{3+} au niveau du plasma. Autrement dit, en l'absence de cuivre, cette enzyme est inactive et le fer n'est pas oxydé.

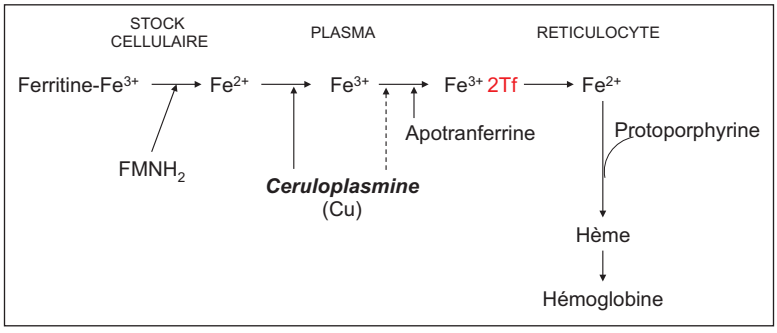


Figure 8.6.1- Interaction Fer-Cuivre

($FMNH_2$: Dihydro-Flavine Mono-Nucléotide; Tf : transferrine)

8.7- Métaux lourds et métalloïdes

Généralités

L'excès de n'importe quel métal conduit à la toxicité chez les animaux. Un certain nombre de contaminants provenant de l'environnement (sol, eau, atmosphère) sont des métaux lourds ou des métalloïdes[16] sans activité biologique spécifique dans l'organisme si ce n'est le fait de dérégler son fonctionnement normal.

En général, les métaux lourds toxiques se lient avec force à certaines protéines au niveau d'organes et de tissus spécifiques. Ainsi, certains d'entre eux s'accumulent au niveau du cerveau (cas de la maladie d'Alzheimer), alors que d'autres se concentrent dans le foie, les reins ou les os. Par exemple, l'aluminium a tendance à s'accumuler dans le cerveau, le plomb dans les os et le cadmium dans les reins et les testicules.

Les métaux lourds et métalloïdes se lient fortement aux métallo-enzymes en se combinant avec le radical thiol (–SH) de leur molécule, éjectant le métal «natif» (légitime) sans lequel l'enzyme ne peut être active. Le métal natif se trouve ainsi délocalisé et excrété dans les urines, ce qui se traduit par un changement de comportement de l'animal (arsenic, cadmium, plomb, mercure, thallium, étain et vanadium), ou par l'induction du cancer (chrome, nickel, arsenic, cadmium, baryum) ou de l'anémie.

L'évolution des empoisonnements par les métaux lourds semble similaire. Du point de vue toxicologique, les métaux lourds les plus pointés du doigt sont l'arsenic, le plomb, le mercure, l'antimoine, le cadmium et le thallium. Les doses létales sont très faibles.

Arsenic

L'intoxication par l'arsenic (As) se produit chez les agriculteurs employant des pesticides (insecticides) à travers la contamination par la poussière ou au niveau de l'industrie ou chez les enfants consommant ces produits par mégarde. L'empoisonnement peut aussi résulter de la consommation d'aliments contaminés. La dose létale minimale sous forme de trioxyde d'arsenic ou anhydride arsénieux (As_2O_3) est de 60 à 180 mg.

16- *Les métaux lourds sont souvent définis comme des éléments métalliques ayant une masse volumique supérieure à 5000 kg/m³, mais ce seuil est parfois ramené à 4000 kg/m³. Selon cette définition, seuls le mercure, le plomb et le cadmium sont des métaux lourds. En revanche, un métalloïde est un élément chimique dont les propriétés sont intermédiaires entre celles des métaux et celles des non-métaux ou sont une combinaison de ces propriétés. La liste des éléments classés dans cette famille est variable selon les spécialistes. Cependant, les principaux éléments de ce groupe sont le bore, le silicium, le germanium, l'arsenic, l'antimoine et le tellure. On peut y ajouter le carbone, l'aluminium, le sélénium, le polonium et l'astate.*

L'arsenic s'accumule dans le foie, le système nerveux, les ongles, les cheveux et les viscères. Normalement, il est éliminé à travers les urines. L'empoisonnement conduit normalement à la mort au bout de 20 minutes à 48 heures. La consommation de faibles quantités provoque des vomissements, de la diarrhée, des douleurs abdominales et des crampes musculaires.

L'hémolyse intravasculaire et la perturbation de la fonction rénale sont caractéristiques de l'empoisonnement par l'arsenic, de même que l'anémie, la leucopénie (diminution pathologique du nombre des globules blancs dans le sang). A titre préventif, il faut bien laver les aliments contaminés, stocker correctement les produits contenant de l'arsenic (surtout loin des enfants) et utiliser des masques au cours de la manipulation de ces produits.

Plomb

L'intoxication par le plomb (Pb) au niveau des ménages est principalement due à l'inhalation du métal à travers les peintures, à l'ingestion dans l'eau potable ayant transité par des conduites contenant ce métal, ou dans les aliments et les boissons alcoolisées qui en contiennent sous forme soluble. Ce métal peut aussi être absorbé avec des aliments contaminés par des résidus de produits d'entretien ou les ustensiles contenant du plomb comme les tagines en porcelaine vernis. Le vernissage des tagines est donc à proscrire. D'autres pratiques et manifestations culturelles telles que la fantasia[17] peuvent être aussi à l'origine d'une intoxication par inhalation.

L'acétate et le carbonate de plomb provoquent une intoxication aiguë. Le Pb introduit par voie orale est dissous et absorbé par le tractus digestif. Il est ensuite déposé au niveau du foie, puis libéré dans le système circulatoire. Le Pb inhalé, lui, traverse l'épithélium du tissu respiratoire pour se retrouver dans le sang. Ce métal peut aussi passer à travers la peau. Le Pb est stocké sous une forme inerte au niveau des os (mais aussi dans la moelle osseuse, le sang, le foie et les reins) et ne constitue pas de danger réel tant qu'il n'est pas libéré et mobilisé.

En cas d'exposition chronique au Pb, ce métal interfère avec des enzymes impliquées dans la synthèse de l'hème, notamment l'ALAD, (delta-Aminolevulinic Acid Déshydratase ou Acide delta-Aminolévulinique Déshydratase), constituant essentiel de l'hémoglobine, pigment fondamental des globules rouges du sang, conduisant à l'anémie. Les autres symptômes sont la pâleur, l'insomnie, les maux de tête et l'irritabilité. Dans le cas d'une mauvaise hygiène buccale, le Pb peut se déposer au niveau de la gencive et conduire à la formation d'une ligne bleu noir (*lead line*). On observe également un dysfonctionnement de la rétine et du nerf optique conduisant à des troubles de la vision. Au niveau des reins, l'élimination de l'acide urique est inhibée, provoquant la goutte.

17- *La fantasia est un sport équestre inspiré de la chasse et de la guerre souvent pratiqué lors des festivals locaux au Maroc, et consistant entre autre à tirer des coups de feu en l'air ou au sol à l'aide de fusils chargés de plomb.*

Mercure

Le mercure (Hg) se trouve à l'état liquide à température ambiante et il est hautement volatile.

Certaines catégories de poissons (thon, poisson épée) vivant dans des eaux lourdement contaminées par le Hg contiennent du méthylmercure. D'autre part, dans certaines régions, l'alkylmercure est utilisé dans le traitement des grains contre les moisissures et peut, de ce fait, se retrouver dans l'alimentation humaine.

Une petite quantité de l'ordre de 0,1 g de chlorure mercurique $HgCl_2$ peut causer une intoxication. Mais la dose létale est de 1,0 g.

L'intoxication aiguë est due à une consommation accidentelle ou intentionnelle du mercure sous forme de sel soluble. Elle se manifeste par un sérieux effet corrosif du tractus gastro-intestinal entier et de graves atteintes du système tubulaire des reins. Le Hg est un produit caustique provoquant des destructions cellulaires par précipitation des protéines. Son action porte d'une façon sélective sur les groupes sulfhydryl (–SH) des acides aminés soufrés des protéines, et particulièrement les enzymes. Chez les femmes enceintes, le méthylmercure traverse la barrière placentaire et s'accumule dans le fœtus, provoquant une perturbation du système nerveux et un retard mental chez l'enfant.

L'empoisonnement chronique par le mercure conduit à diverses manifestations cliniques :

- *la stomatite* : excrétion salivaire excessive avec apparition d'une ligne bleue le long de la gencive; la gencive est hypertrophiée avec hémorragie et les dents sont branlantes;
- *l'érithisme* : perturbation psychique caractérisée par l'irritabilité, avec abandon des activités sociales et familiales et hyperthyroïdisme;
- *les tremors* : mouvements de flexion-extension involontaires, lents, irréguliers; dans le cas de l'intoxication par le mercure, les tremors touchent les paupières, les lèvres, la langue, les doigts et les extrémités; il s'agit d'une affection nerveuse qui s'accompagne d'une atrophie du cortex cérébral;
- *le syndrome néphrotique* : le syndrome néphrotique s'accompagne de la protéinurie (présence de protéines dans les urines);
- *l'hypersensibilité* : asthme, dermatite exfoliative[18], et parfois mort soudaine; la mort est due usuellement à la fibrillation des ventricules du cœur; on observe également la leucopénie (diminution du nombre des globules blancs du sang), l'éosinophilie, l'expansion de la rate et des nodules lymphoïdes;

18- *La dermatite exfoliative (érythrodermie) est un érythème étendu associé à une desquamation de la peau.*

- *l'acrodynia (link disease)* : ce désordre touche plutôt les enfants et est caractérisé par l'irritabilité, l'insomnie, la stomatite, la perte des dents, l'hypertension, l'érythème (rougeur congestive de la peau) au niveau des doigts et du nez avec de la fièvre.

Cadmium

Le cadmium (Cd) est l'un des métaux lourds qui préoccupent de plus en plus les autorités sanitaires de nombreux pays. Il est surtout utilisé dans la fabrication des lampes à vapeur, des batteries, dans l'industrie du verre, etc. Il provient essentiellement de la pollution agricole et industrielle (engrais contaminés, boues des stations d'épuration, rejets de la métallurgie, peintures industrielles, etc.).

Il se retrouve dans de très nombreux aliments : pains, biscottes, pain grillé, biscuits, pommes de terre, mollusques et crustacés, abats, oléagineux, etc. Parmi les produits les plus contaminés récemment signalés figurent le chocolat et les coquilles Saint-Jacques.

L'inhalation de la fumée de cadmium provoque de l'œdème au niveau des poumons, la prolifération d'une pneumonie interstitielle avec une destruction des tissus pulmonaires. On observe également de la toux, des maux de tête, des vomissements avec la sensation d'un thorax fermé. Ce métal lourd s'accumule dans l'organisme, en particulier dans le foie et les reins. Il entraîne de graves troubles rénaux (néphropathie, insuffisances rénales) et peut provoquer des lésions osseuses (ostéoporose). Il est classé cancérogène par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer). Les enfants sont particulièrement exposés.

Une étude française menée en 2011 a montré que 5% de la population sont exposés à une dose supérieure à la dose tolérable (établie à 2,5 microgrammes de cadmium par kilo de poids corporel et par semaine) et que les enfants sont plus exposés au cadmium d'origine alimentaire que les adultes, un enfant sur six étant surexposé. D'autres études européennes ont mis en évidence l'exposition d'enfants de 1 à 3 ans au double de la dose tolérable.

DEUXIEME PARTIE :
ALIMENTS, RATION ALIMENTAIRE

9- Aliments

9.1- Généralités

Le choix des aliments et de la nourriture est déterminé essentiellement par deux facteurs fondamentaux : le revenu et le pouvoir d'achat, d'une part, et l'éducation alimentaire et nutritionnelle, d'autre part. D'autres facteurs influent sur la consommation alimentaire et, partant, sur l'état nutritionnel des individus (figure 9.1.1). On peut citer, entre autre :

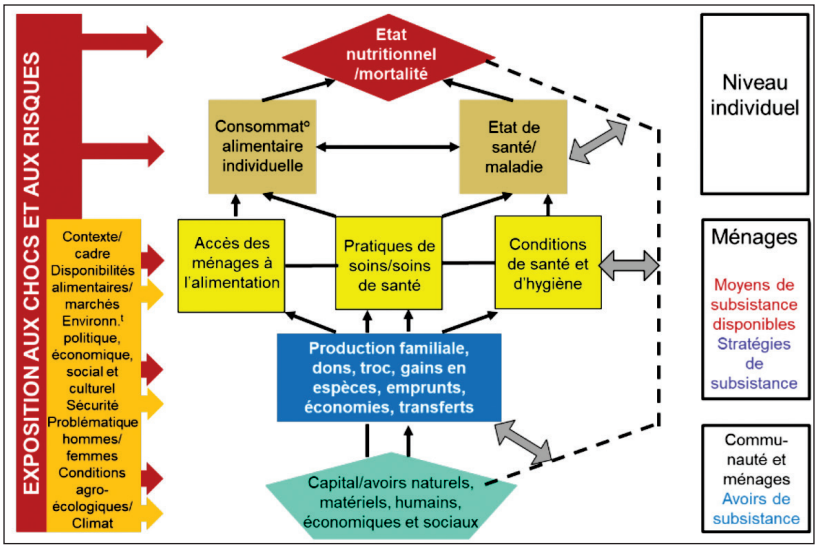


Figure 9.1.1- Diagramme de disponibilité alimentaire

- le choix et le désir de l'individu;
- les facteurs religieux, les habitudes et la tradition;
- la disponibilité (offre);
- les besoins de l'organisme et son état;
- le temps nécessaire pour se procurer les aliments et pour préparer les repas;
- les modes de stockage, de transformation, de préparation et de conservation;
- la conception qu'a l'individu de l'aliment.

Les aliments utilisés par les humains ne sont pas toujours entièrement comestibles. Dans la partie comestible, un type de nutriment domine le plus souvent. Il n'existe pas d'aliment vide, qui n'apporte rien, de même qu'il n'existe pas d'aliment complet.

En tenant compte de leurs nutriments les plus abondants, les aliments peuvent être classés comme suit :

- aliments riches en eau;
- aliments riches en protides;
- aliments riches en glucides;
- aliments riches en lipides;
- aliments riches en minéraux;
- aliments riches en vitamines.

9.2- Constituants des aliments

Le tableau 9.2.1 présente la distribution des nutriments dans les différents types d'aliments et le tableau 9.2.2 donne une classification simple des constituants alimentaires.

9.3- Groupes d'aliments

En tenant compte de leur composition, les aliments sont répartis en trois à douze groupes selon les pays. L'Organisation Mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation (FAO), quant à elle, se limite à définir trois grands groupes d'aliments : ceux du groupe I dont le rôle principal est d'apporter des protéines, ceux du groupe II essentiellement sources d'énergie (avec d'autres nutriments) et ceux du groupe III caractérisés par leur richesse en minéraux et en vitamines.

Groupe I

Dans ce groupe d'aliments, considérés comme principalement sources de protéines, on distingue 3 sous-groupes.

Tableau 9.2.1- Distribution des nutriments dans différents types d'aliments

Aliment	Source importante de	Source modérée de
Céréales	Amidon, fibres	Protéines, vitamines B, plusieurs minéraux
Racines, tubercules et fruits amylacés	Amidon, fibres	Quelques minéraux, vitamine C (produits frais), vitamine A (produits jaunes ou orangés)
Légumineuses en sec	Protéines, amidon, quelques minéraux, fibres	Vitamines B
Graines oléagineuses	Matière grasse, protéines, fibres	Vitamines B, quelques minéraux
Graisses et huiles	Matière grasse (dont AGE[1])	Vitamine A (produits orangés ou rouges)
Feuilles vertes à vert foncé	Vitamines A et C, acide folique	Protéines, minéraux
Légumes de couleur orange	Vitamines A et C	Fibres
Fruits de couleur orange	Vitamine A et C	Fibres
Kiwi, fruits d'agrumes	Vitamine C	Fibres
Lait	Matière grasse, protéines, calcium, vitamines	
Œufs	Protéines, vitamines	Matière grasse, minéraux (pas de fer)
Viandes	Protéines, matière grasse, fer	
Poisson	Protéines, fer	
Foie	Protéines, fer, vitamines	

[1] : Acides Gras Essentiels

Premier sous-groupe : produits d'origine animale (viandes et abats, poissons et œufs)

Ce sont les meilleurs stimulants des sécrétions digestives. Leur ingestion donne la sensation d'une augmentation du tonus. La composition de ces aliments est très variable, notamment leur teneur en matière grasse et, corrélativement, leur hydratation.

Tableau 9.2.2- Classification simple des constituants alimentaires

Constituant	Rôle
Eau	Liquide corporel, régulation de la température de l'organisme
Glucides	Source d'énergie
Matières grasses	Source d'énergie et d'acides gras essentiels
Protéines	Croissance et réparation
Minéraux	Développement des tissus du corps, processus métaboliques et protection
Vitamines	Processus métaboliques et protection
Indigestible glucidique (y compris fibres alimentaires)	Véhicule pour d'autres nutriments, ajoute du volume à la ration, motilité intestinale, habitat pour la flore bactérienne, élimination appropriée des déchets

En moyenne, la viande et le poisson renferment 16 à 20% de protéines (24% dans la sardine), 15 à 30% de lipides et 0,5 à 1% de glucides. La quantité de graisse varie selon l'espèce et l'alimentation et, pour les poissons, avec l'état sexuel.

La composition du poisson varie d'une espèce à l'autre (tableau 9.3.1) et, d'un individu à l'autre, selon l'âge, le sexe, la saison, l'alimentation, l'environnement et les déplacements migratoires.

Tableau 9.3.1- Teneurs moyenne de divers poissons en protides et en lipides[1] et apports énergétiques correspondants (pour 100 g)

Catégorie	Espèces	Protides (g)	Lipides (g)	Energie (kcal)
Poissons gras (bleus)	Maquereau	18,1	13,5	194
	Hareng	17,7	11,7	176
	Saumon d'élevage	20,5	12,4	194
	Sardine	19,5	9,5	163
	Thon	24,0	5,4	144
Poissons semi-gras	Espadon	18,9	5,9	77,6
	Anchois	18,6	6,1	72,3
	Truite saumonée	19,2	7,4	77,3
Poissons maigres (blancs)	Cabillaud	18,1	0,57	77,6
	Sole	18,0	0,6	77,3
	Merlan	24,9	1,26	118
	Turbot	17,9	1,55	85,5

[1] : Les poissons sont généralement caractérisés par l'absence de glucides

On classe ces animaux en poissons maigres (ou blancs), en poissons gras (ou bleus) et en poissons semi-gras. Les poissons maigres emmagasinent les lipides uniquement dans leur foie alors que les poissons gras les stockent dans des cellules de graisse dans d'autres tissus. Parmi les poissons maigres, on trouve notamment le colin, le merlan, la sole et de nombreux poissons d'eau douce.

La teneur en graisses des poissons a des conséquences sur les caractéristiques post-mortem, notamment la rapidité avec laquelle se perd la fraîcheur suite à l'oxydation des lipides.

Chez les animaux autres que les poissons, les lipides se trouvent en dépôt sous-cutané, péri-viscéral et dans les muscles. Quand le dépôt de graisse dans la viande est sous forme de fines arborisations, on dit que la viande est persillée et quand il est sous forme de grosses virgules, on dit qu'elle est marbrée.

A côté des poissons maigres, la viande du jeune poulet est classée comme viande maigre.

Quant aux glucides, ils sont sous forme de glycogène dans les muscles et dans le foie. Ce glucide se dégrade rapidement dans le muscle en acide lactique après l'abattage, provoquant le raidissement de la carcasse (état de rigidité cadavérique ou *rigor mortis*).

Parmi les abats, le foie occupe une place prépondérante dans l'alimentation. En plus des protéines, il constitue une source intéressante de vitamines et de minéraux. Il est donc normalement et raisonnablement conseillé d'en consommer. Mais le foie est l'organe de détoxification chez les animaux, c'est à son niveau que l'organisme se débarrasse des médicaments, des hormones, des drogues et de différentes toxines. Il s'ensuit la possible présence de ces diverses substances toxiques dans cet abat. C'est pourquoi on préconise de n'en prendre qu'une fois par semaine.

Les œufs, eux, contiennent 13% de protides, 12% de lipides, 73% d'eau et 1% de glucides. A l'exception de la coquille, l'œuf renferme peu de minéraux. Deux œufs apportent cependant autant de protéines, de minéraux et de vitamines B que 100 g de viande ou de poisson net et davantage de lipides et de vitamines A et D. Par ailleurs, un œuf apporte l'équivalent de 200 ml de lait de vache en énergie, protides, lipides et vitamines A et B2.

Les protéines des produits animaux ont de bons coefficients d'utilisation digestive (CUD) et un bon équilibre en acides aminés (voir *Valeur nutritionnelle des protéines*, p 65). Ils représentent donc une excellente source de protides.

Deuxième sous-groupe : légumineuses en sec et farines de graines oléagineuses

Les légumineuses en sec, encore appelées légumes secs (à ne pas confondre avec les légumes séchés) sont issues exclusivement de la famille des *Fabaceae*. Elles doivent leur qualificatif de «sec» à leur capacité de conservation et à leur état sec naturel à maturité, par opposition aux légumineuses vertes qui sont, elles, récoltées fraîches.

Les légumineuses en sec sont consommées depuis l'antiquité et cultivées aux quatre coins du Monde. On en reconnaît actuellement une dizaine de catégories (les haricots secs, les fèves sèches, les lupins, les pois secs/cassés, le pois chiche, la mogette, un haricot blanc, les pois d'Angola, la lentille cultivée, le pois bambara/pois de terre recolté sous terre, la vesce commune), à côté de légumineuses secondaires comme le pois sabre blanc, le pois sabre rouge, le haricot ailé, le pois mascate et la colique d'Egypte.

Certaines légumineuses en sec sont utilisées plutôt en alimentation animale, d'autres en alimentation humaine. Les graines immatures, les gousses entières, voire les feuilles et les fleurs, peuvent également être consommées. Elles sont utilisées seules ou en différentes préparations comme les soupes et assimilées (soupes marocaines, *bissara* à base de fèves ou de petits pois).

Le «tonus émotionnel» de ces produits dans l'alimentation humaine est beaucoup plus faible que celui des produits animaux. Par leur richesse en protéines, ils sont cependant intéressants car relativement moins coûteux que les produits animaux.

En moyenne, les légumineuses en sec contiennent 12% d'eau, 56% de glucides et 18 à 24% de protides.

Plus particulièrement, le haricot sec contient 19 à 23% de protides. Sa principale protéine, la phaséoline, est pauvre en méthionine. Il apporte aussi beaucoup de fer et présente un rapport Ca/P satisfaisant. Le haricot contient un facteur antitrypsique, empêchant la trypsine gastrique de digérer les protéines. Ce facteur est détruit par la chaleur, d'où l'importance d'une bonne cuisson de ce produit.

Quant au pois-chiche, il présente 18% de protéines, dont le facteur limitant est incontestablement la méthionine. Cette légumineuse a aussi un rapport Ca/P médiocre.

La lentille contient en moyenne 23% de protéines mais avec un faible coefficient d'utilisation digestive.

La fève a une richesse en protéines de l'ordre de 23%, mais elle a une faible teneur en méthionine. Par ailleurs, elle est moins riche en minéraux que le pois-chiche, mais elle apporte davantage de vitamines hydrosolubles. Il faut cependant rappeler que certaines personnes, atteintes de favisme, ne peuvent pas consommer les fèves à cause d'une déficience enzymatique [voir *Favisme* (Vicia faba *toxicity*), p. 257].

Les légumineuses oléagineuses (arachide, soja) sont plus riches en protéines que les autres légumineuses et moins pourvues en glucides.

Les autres graines oléagineuses permettent, à côté de l'huile, l'obtention d'un tourteau riche en protéines. La farine déshuilée de graines de tournesol peut contenir plus de 50% de protides avec un coefficient de digestibilité élevé. La graine de coton peut aussi donner une farine riche en protéines, mais avec une digestibilité et une valeur biologique moindres que celles de la farine de tournesol.

Tous ces produits se rapprochent des produits animaux par leur richesse en protides et par leur apport en vitamines mais, comme les céréales, ils sont riches en cellulose et en fibres.

De façon générale, la digestibilité et la valeur biologique des légumineuses en sec et des farines de graines oléagineuses sont moins élevées que celles des produits animaux. L'amélioration de ces paramètres réside dans la supplémentation entre produits végétaux. En effet, les qualités nutritionnelles des légumineuses en sec font qu'elles peuvent améliorer efficacement une alimentation à base de céréales (caractéristique de nombreux pays en développement), comme pourraient le faire les produits animaux. En effet, les céréales sont déficientes en AA essentiels comme la lysine, mais riches en AA soufrés (méthionine et cystéine), qui sont également des AA essentiels. C'est notamment le cas du blé, du riz et du maïs. En revanche, les légumineuses en sec (pois-chiche, fève, lentille) sont riches en lysine et pauvres en méthionine et cystéine, au même titre que les produits animaux (lait, viandes de bœuf et de mouton, poulet, sardine, etc.). Une combinaison judicieuse entre ces deux types de produits alimentaires permet de réaliser une alimentation équilibrée sur le plan protéique et amino-acidique. C'est ce qu'on appelle la supplémentation.

Troisième sous-groupe : lait et produits laitiers

Le lait est un liquide biologique de couleur blanchâtre, opaque, légèrement sucré, secrété par les glandes mammaires des mammifères femelles et de la femme. La densité du lait de vache est d'environ 1,030; autrement dit, un litre de lait pèse 1030 grammes.

En début de lactation, la sécrétion des mamelles est un liquide de couleur jaunâtre appelé colostrum, qui a une composition différente de celle du lait normal. Le colostrum contient les anticorps de la mère. Sa consommation par le nouveau-né lui apporte tous les éléments indispensables et réduit les risques de nombreuses maladies[1].

Le lait est à rapprocher des produits du sous-groupe I en raison de sa richesse en protides de haute valeur biologique. Les autres caractéristiques du lait et des fromages font que ces produits sont qualifiés de presque «complets». Toutefois, un aliment complet n'existe pas. Une alimentation complète ne peut se réaliser qu'à travers un ensemble d'aliments qui la composent d'une façon judicieuse.

La composition du lait de vache varie avec de nombreux facteurs. En moyenne, il contient 87% d'eau, 5% de glucides, 4% de lipides et 3,5% de protides. Son coefficient d'utilisation digestive est très élevé et sa valeur biologique est supérieure à celle de la viande et du poisson. Les protides du lait supplémentent très bien celles des céréales. Un quart de litre de lait de vache apporte autant de protéines que 50 g de viande ou de poisson. Cependant, les protides du lait sont sensibles aux traitements thermiques.

1- *Le jabot de certaines espèces d'oiseaux, notamment les flamants, les manchots et les Columbidae comme le pigeon, produit une sécrétion analogue au lait des Mammifères, le lait de jabot. Cependant, à la différence du lait des mammifères, le lait de jabot ne contient pas de glucides.*

D'autre part, le rapport Ca/P est de 1,39, ce qui fait du lait une excellente source de calcium. Par ailleurs, le lait apporte pratiquement toutes les vitamines, à l'exception de la vitamine C. En conséquence, le lait est un excellent moyen de lutter contre la malnutrition.

Le lait de femme a une composition un peu différente de celle du lait de vache (tableau 9.3.2). Avec moins de protides (1,2 à 1,4%) et plus de glucides (6,5 à 7%), le lait maternel est très bien adapté aux besoins du nourrisson, mais il devient insuffisant à partir de 4 à 6 mois.

Tableau 9.3.2- Composition moyenne et approximative du lait de différents mammifères (g/l)

	Eau	ES[1]	MG[2]	Protéines			Glu.[6] (lac.)[7]	Mat. Min.[8]
				Tot.[3]	Cas.[4]	Alb.[5]		
Femme	905	117	35	12-14	10-12	4-6	65-70	3
Jument	925	100	10-15	40-44	20-22	9-13	40-45	6-9
Anesse	925	100	10-15	40-44	20-22	9-13	40-45	6-9
Vache	900	130	35-40	30-35	27-30	3-4	45-50	8-10
Chèvre	900	120	40-45	35-40	30-35	6-8	40-45	5-8
Brebis	860	190	70-75	55-60	45-50	8-10	45-50	10-12
Chamelle	900	120	37	34	25-28	3-4	43	7,5
Bufflonne	850	180	70-75	45-50	35-40	8-10	45-50	8-10
Renne	675	185	160-200	100-105	80-85	18-20	25-50	18-20
Truie	850	185	59-65	55-60	25-30	25-30	50-55	12-15

[1] : Extrait sec; [2] : Matières grasses; [3] : Totales; [4] : Caséines; [5] : Albumines; [6] : Glucides; [7] : Lactose; [8] : Matières minérales; - : Donnée non disponible

Le lait de chamelle est caractérisé par un taux de cholestérol inférieur à celui du lait de vache ou de chèvre. Il contient 3 fois plus de vitamine C et 10 fois plus de fer que le lait de vache. Il est réputé renforcer le système immunitaire. Toutefois, le lait de chamelle a un goût qualifié de «minéral».

Bien que le lait de truie soit généralement réservé à l'alimentation des porcelets, un fromage en a été réalisé aux Pays-Bas. Naturellement salé, un peu rude et crémeux, ce fromage se vend plus de 2000 euros/kg, donc plus cher que le fromage de lait d'ânesse fabriqué dans les Balkans. Il faut en effet environ 10 litres de lait de truie pour faire 1 kg de fromage. En plus, la production laitière de la truie est faible et la traite dure longtemps.

Les laits des mammifères ont donc des compositions différentes, bien adaptées pour chaque espèce. La teneur en protéines totales du lait de vache est de 30 à 35 g/l alors qu'elle n'est que de 12 à 14 g/l chez les humains, comme signalé plus haut.

Les protéines du lait de vache (30 à 35 g/l) sont divisées principalement en deux grands groupes:

- les caséines, coagulables par la présure lors du caillage (coagulation) du lait en fromagerie. Elles représentent 80% des protéines totales du lait de vache (contre seulement 40% dans le lait humain).

  Les caséines se composent de trois fractions, α, β et kappa k. Elles existent sous forme de micelles en suspension colloïdale.

- les protéines du sérum ou protéines sériques "solubles" (albumines et globulines) ne sont pas coagulables par la présure et, de ce fait, se retrouvent dans le lactosérum lors de l'égouttage des caillés de fromagerie. Elles représentent 19% des protéines totales du lait de vache, en plus d'autres protéines (enzymes) formant uniquement 1%.

Les protéines sériques, solubles dans la phase aqueuse du lait comprennent 4 fractions principales: l'α-lactalbumine, la β-lactoglobuline, l'albumine bovine sérique et les protéoses-peptones.

L'hydrolyse d'une caséine fait ressortir des teneurs élevées en acide glutamique, proline, leucine, lysine sérine et thréonine.

Les niveaux des acides aminés composant les caséines du lait de vache sont de 39% pour les acides aminés essentiels, 19% pour les acides aminés ramifiés et 16% pour les acides aminés acides.

Les caséines sont qualifiées de "complètes" car elles contiennent les acides aminés essentiels à l'organisme. En outre elles se digèrent lentement et peuvent donc avoir un certain intérêt dans l'alimentation des sportifs.

Les caséines du lait maternel humain (40% des protéines totales) forment également des micelles, mais plus petites. Cette caractéristique du lait maternel humain, explique, en plus de sa haute teneur en protéines solubles, sa coagulation plus fine dans l'estomac du nourrisson.

On parle également de «laits végétaux». Ce sont des boissons produites à base de végétaux et destinées à remplacer le lait animal. Cette appellation «lait» est d'ailleurs interdite dans certains pays (Union Européenne, Canada, etc.), où elle est réservée aux laits d'origine animale.

Ces laits végétaux sont obtenus à partir d'une farine végétale que l'on met en suspension dans l'eau. Ainsi, le lait de soja est préparé à partir de graines trempées, décortiquées, broyées et mélangées dans l'eau, puis cuites. L'ensemble est alors homogénéisé sous asepsie. Outre le soja, les matières premières à partir desquelles on obtient ce type de produits sont l'amande (la préparation du lait d'amande remonte au Moyen-Age), le coco, le riz, l'arachide, l'avoine, la pistache, etc.

Les laits végétaux présentent des aspects proches de ceux des laits animaux, notamment du point de vue visuel et, dans une moindre mesure, gustatif. Ils présentent un profil énergétique équivalent ou plus faible que celui des laits animaux, mais ils ont une composition nutritionnelle variable d'un "lait" à l'autre et, en tout cas, différente de celle des laits animaux. Ils sont notamment pauvres en calcium et dépourvus des vitamines D et B12, contrairement aux laits animaux. C'est pourquoi ils sont fréquemment enrichis en calcium, et parfois même en vitamines D et B12.

Les laits végétaux sont consommés pour un ensemble de raisons comme l'intolérance au lactose (voir *Intolérance au lactose*, p. 255), le choix d'un régime végétalien ou ovo-végétarien, le véganisme, ou pour des raisons éthiques (refus de l'exploitation des animaux), religieuses (refus du lait de vache ou d'autres mammifères) ou encore environnementales (pollution des eaux) ou tout simplement par goût.

Groupe II

Les aliments du groupe II sont ceux dont le rôle principal est d'apporter de l'énergie. Il comporte deux sous-groupes.

Premier sous-groupe : aliments essentiellement glucidiques

Dans ce sous-groupe, on distingue particulièrement les céréales, les tubercules, le sucre et les miels.

Céréales

Les céréales regroupent des plantes de la famille des Graminées ou *Poaceae*. On distingue :

- des céréales majeures : blé, riz et maïs;
- des céréales secondaires : orge, sorgho, avoine, mil, seigle, triticale (plante hybride entre le blé tendre ou dur et le seigle), teff (Afrique, notamment en Ethiopie. Après récolte et décorticage, le teff ressemble à de la semoule ou, une fois blanchi, à un grain minuscule de riz);
- des céréales mineures : fonio (cultivé en Afrique de l'Ouest), alpiste ou riz sauvage (USA, Canada; ce n'est pas une variété de riz, mais plutôt une graminée sauvage aquatique faisant partie de l'alimentation des amérindiens depuis des siècles).

Les céréales constituent les aliments de base dans divers types d'alimentation (riz en Orient, blé en Europe et dans les pays méditerranéens, mil en Afrique tropicale, maïs en Amérique Latine, etc.).

En moyenne, les céréales contiennent 12% d'eau, 9 à 13% de protéines, 2 à 5% de lipides et 70% de glucides (essentiellement sous forme d'amidon). Ce sont donc principalement des sources d'énergie. Cependant, étant donné qu'elles sont

généralement consommées en grandes quantités, elles participent également de manière significative à la satisfaction des besoins en protéines, en vitamines et aussi en minéraux si elles ne sont pas trop raffinées. La teneur des céréales en protéines dépasse rarement les 12%. Le blé et le mil présentent les plus fortes teneurs protidiques, le blé dur étant plus riche que le blé tendre.

Le pain contient 34% d'eau et 8 à 10% de protides. L'apport énergétique de 100 g de pain est estimé à 250 kcal.

Les céréales apportent donc certaines vitamines, mais pas de vitamine C en général, ni de provitamine A. Ce sont généralement de bonnes sources de phosphore, mais le rapport Ca/P est faible. Le blutage (séparation du son) accroît le coefficient d'utilisation digestive mais réduit la valeur biologique car des AA essentiels sont éliminés avec le son, de même que des vitamines et des minéraux.

Le quinoa, de plus en plus en vogue, est une pseudo-céréale contenant 70% de glucides, 15% de protéines avec des AA essentiels, riche en fibres et minéraux (notamment Fe, Mn et Cu), pauvre en lipides et dépourvue de gluten.

Tubercules et Racines

Les racines et les tubercules appartiennent à la catégorie des aliments qui apportent essentiellement de l'énergie sous forme de glucides. Cette désignation s'applique à toutes les plantes dont la racine, le rhizome ou les tubercules souterrains renferment de la matière comestible. Les tubercules, en particulier, sont des renflements des axes végétaux, surtout souterrains, riches en substances de réserve. Dans la nature, ils assurent souvent la multiplication de l'espèce. Ceux présentant un intérêt particulier pour l'alimentation humaine sont la pomme-de-terre, la patate douce, le manioc, l'igname, le topinambour et le taro (rhizome comestible de la colocase, plante tropicale cultivée en Polynésie).

En région méditerranéenne, le tubercule le plus consommé est la pomme-de-terre. Ce légume contient en moyenne 79% d'eau, 2% de protides et 18% de glucides. Les protéines de la pomme-de-terre sont de haute valeur biologique. La vitamine C est également présente en quantité intéressante, mais sa teneur est sensiblement réduite par le stockage, les modes de préparation culinaire et les traitements technologiques.

Les patates douces sont délicieuses et nutritives. Elles sont parfaites pour introduire de la variation par rapport aux pommes-de-terre ordinaires. En plus de l'apport en énergie, elles contiennent plus de vitamines et plus d'antioxydants, ainsi que les α et β-carotènes, ce qui leur donne une couleur légèrement orangée. Elles peuvent être consommées bouillies, en ragoût ou en soupe.

Les racines ne sont pas faciles à digérer à l'état crû et il est préférable de les faire cuire avant de les consommer. La cuisson améliore leur digestibilité et leur palatabilité, rend leur goût plus agréable, prolonge leur durée de conservation et

réduit leur toxicité. La cuisson à la chaleur sèche ou humide sert aussi à stériliser les aliments en tuant les bactéries et les autres microorganismes nuisibles, mais en même temps, cette transformation peut réduire la valeur nutritive de certaines racines et de certains tubercules à cause des pertes et des modifications dans les éléments nutritifs importants que sont les protéines, les glucides et les vitamines.

Sucre, miel et autres produits sucrés

Le sucre

Le sucre est l'aliment énergétique par excellence (387 kcal/100g) que l'organisme utilise bien en cas d'effort. Son utilisation digestive est de 100%.

Dans ce groupe, on inclut également les confiseries, qui sont des produits à base de sucre. Il existe une très grande variété de confiseries, appelées également sucreries. Ces produits englobent les bonbons, les fruits confis, les caramels, les nougats, la barbe à papa, etc. Les caramels sont obtenus à partir du sucre, ayant perdu son eau de cristallisation, par cuisson à feu vif. Ils sont colorés (caramels bruns) et servent à décorer ou à parfumer les desserts tels que les gâteaux et glaces. On peut ajouter dans la fabrication des caramels d'autres ingrédients comme le beurre salé, la crème et des arômes. Les bonbons caramélisés peuvent être mous ou durs. Les confiseries sont très énergétiques et donc à consommer avec modération. On peut aussi inclure le chocolat dans les produits sucrés.

Le chocolat

Le chocolat est produit à partir des fèves de cacao, qui sont les graines du cacaoyer. Ces graines sont séchés après avoir été extraites des baies (appelées cabosses) que l'on ouvre à la récolte. Les cabosses contiennent chacune 16 à 50 graines fraîches. Ces graines sont gluantes et entourées d'une pulpe appelée mucilage. Sucré et acidulé, le mucilage est constitué de 80% d'eau, 15% de glucides et 5% de pectines.

La fève de cacao contient environ 50% de matières grasses (appelé beurre de cacao), 7% d'amidon, 4% de cellulose, et 2% de théobromine (composé azoté amer de la famille des méthyl-xanthines qui comprennent également la caféine et la théophylline), 20% d'autres protéines et 6% de substances minérales.

Après récolte, les graines de cacao sont fermentées puis séchées. Pour la préparation du chocolat, les fèves sont d'abord torréfiées, c'est-à-dire portées à des températures de 140 à 160 °C pendant 20 à 30 minutes. Ce procédé de torréfaction permet le développement des arômes du cacao. On en retire ensuite 50% de la matière grasse (beurre de cacao) pour des utilisations aromatiques et pharmaceutiques.

Le chocolat est constitué d'un mélange, dans des proportions variables, de pâte de cacao, de beurre de cacao et de sucre, auquel on peut ajouter des épices, des arômes comme la vanille, et d'autres matières grasses végétales.

Il existe différents types de chocolat :

- le chocolat noir, appelé aussi chocolat amer ou fondant; il s'agit d'un mélange de cacao (35% au minimum), de beurre de cacao et de sucre; la quantité de sucre dépend de l'amertume de la variété de cacao; on peut aussi ajouter d'autres ingrédients comme la lécithine et des aromatisants;
- le chocolat au lait, obtenu par ajout de lait en poudre ou de lait concentré à la masse de cacao, au beurre de cacao et au sucre ; la proportion de cacao doit être au minimum de 25% en Suisse et au niveau européen, et de 10% aux USA; on peut aussi ajouter d'autres ingrédients comme les noisettes;
- le chocolat blanc, composé de beurre de cacao, de lait en poudre, de sucre, de lécithine, d'arômes, etc.; ce produit ne contenant pas de pâte de cacao, il ne s'agit pas vraiment d'un chocolat;
- le chocolat de couverture ou d'enrobage, qui peut être de lait ou noir, mais qui doit contenir au minimum 32% de beurre de cacao.

La composition du chocolat est très variable en fonction de nombreux paramètres, notamment la proportion de cacao dans le mélange et l'adjonction du lait (tableau 9.3.3).

Tableau 9.3.3- Composition de différents types de chocolat (pour 100 g)

Types de chocolat	Noir à 70% de cacao	Noir à 40% de cacao	Au lait	Blanc
Energie (kcal)	572	526	545	551
Protéines (g)	9,25	4,90	7,68	8,00
Lipides (g)	41,90	30,20	31,60	32,00
Glucides (g)	33,30	54,90	56,90	57,10
dont glucides simples (g)	21,30	40,40	50,50	51,10
Magnésium (mg)	206,00	84,20	77,70	26,00
Potassium (mg)	727,00	474,00	565,00	350,00
Sodium (mg)	4,14	19,10	50,90	55,00
Calcium (mg)	60,00	130,00	178,00	262,00
Phosphore (mg)	248,00	168,00	230,00	230,00
Fer (mg)	10,70	17,10	4,24	0,20
Cuivre (mg)	1,40	0,58	0,34	Traces

Mais l'intérêt nutritionnel du chocolat ne se limite pas aux constituants figurant dans le tableau 9.3.3. Il contient aussi des petites quantités de vitamines A et E et de vitamines du groupe B, de même que du zinc et du manganèse. Il comporte, en plus, un grand nombre d'antioxydants, dont les principaux sont les flavonoïdes. Par ailleurs, la teneur du chocolat en polyphénols (0,80%) est plus élevée que celle du thé vert (0,30%) ou du vin (0,15%). En plus, on y trouve des endorphines, substances naturelles secrétées par l'organisme et ayant des propriétés euphorisantes, psychostimulantes et antidépressives.

Le miel

Le miel est essentiellement glucidique (tableau 9.3.4) avec un apport énergétique d'environ 300 kcal/100g. Il s'agit d'un aliment sucré exclusivement élaboré par les abeilles à partir du nectar des fleurs. Le glucose formé dans les feuilles des plantes vertes par la photosynthèse se retrouve dans les différentes parties de la plante sous forme de saccharose. Ainsi, le sucre des nectars des fleurs est du saccharose. Au cours de l'élaboration du miel, le saccharose est décomposé en glucose et fructose par l'enzyme invertase des abeilles.

Il y a une très grande diversité de miels avec des propriétés chimiques et biologiques très variées, et une multitude de couleurs et de goûts différents, en relation avec les espèces florales butinées par les abeilles. Il n'est donc pas possible de donner une composition précise unique pour le miel, le tableau 9.3.4 ne donne que des valeurs moyennes approximatives.

Tableau 9.3.4- Composition moyenne approximative du miel

g/100g		mg/100g		mg/100g	
Eau	17	Vitamine C	2	Sodium	4
Glucides	76-80	Vitamine B2	0,05	Potassium	47
Protéines	0,4	Vitamine B6	0,3	Phosphore	17
Lipides	0,0	Ac.[1] folique	0,005	Calcium	6
Fibres	0,2	Vitamine A	0,5		
		Vitamine D	traces		

[1] : Acide

La teneur en eau du miel est de l'ordre de 17% et celle des glucides autour de 80%. Le fructose représente 38% de la fraction glucidique, contre 31% pour le glucose et 31% pour l'ensemble saccharose, maltose et polysaccharides.

Hormis l'eau et les glucides, les 3% restants donnent au miel saveur, arôme et couleur. On y trouve notamment :

- des protides comprenant une multitude d'acides aminés libres;
- des minéraux : calcium, phosphore, potassium, sodium, aluminium, argent, arsenic, cuivre, fer, zinc etc.;
- des acides organiques (comme l'acide gluconique) libres ou combinés sous forme de lactones;
- des vitamines : vitamine du groupe B, vitamines D et K;
- des lipides;
- des particules comme les grains de pollen, les spores de champignons et les levures;
- des enzymes;

- des substances bactériostatiques ou antibiotiques naturelles;
- de nombreuses autres substances : flavonoïdes, esters, substances aromatiques, etc.

On peut préparer un miel «artificiel» avec les mêmes proportions d'eau et de sucres que le miel des abeilles, mais un tel produit n'a pas les autres éléments qui entrent dans la composition du miel naturel, et qui lui donnent ses vertus nutritionnelles, voire thérapeutiques.

Quand le miel est consommé par les humains, son glucose et son fructose sont très rapidement absorbés et passent dans le sang. Le fructose est ensuite converti en glucose dans le foie et, très peu de temps après, tous les sucres provenant du miel circulent dans le sang sous forme de glucose.

Le miel naturel présente de nombreuses propriétés thérapeutiques. Il est antiseptique, cicatrisant, anti-inflammatoire, antioxydant, antimicrobien et il soulage des maux de la gorge.

De plus, le miel jouerait le rôle de prébiotique (voir *Pré-biotiques,* p. 186), notamment en améliorant la croissance, l'activité et la viabilité de la microflore intestinale, en particulier les bifidobactéries et des lactobacilles.

Deuxième sous-groupe : les matières grasses

Les matières grasses sont des aliments à très forte densité énergétique. On distingue les huiles qui sont liquides et les graisses qui sont solides à température ambiante. Huiles et graisses sont essentiellement constituées de glycérides et apportent donc les acides gras sources d'énergie, entre autres.

Les matières grasses peuvent s'auto-oxyder (phénomène de rancissement oxydatif), ce qui peut modifier les caractéristiques organoleptiques du produit (odeur, goût, couleur), mais sans aucune conséquence sur la santé du consommateur.

Le beurre est de composition complexe. Il contient 82% de lipides (surtout sous forme de glycérides), 16% d'eau et 2% d'extrait sec non gras (avec des traces de glucides et de protides). On a identifié jusqu'à 84 acides gras différents dans ses lipides, mais les plus importants sont les acides palmitique, oléique, myristique et stéarique. Le beurre apporte 760 kcal/100g. Les graisses animales, en général, sont essentiellement énergétiques (900 kcal/100g).

D'autres acides gras (linoléique, linolénique, arachidonique, etc.) sont apportés par d'autres aliments comme les viandes, les poissons, les oléagineux, etc.

L'huile de tournesol est riche en acide linoléique, alors que l'huile d'olive se caractérise par sa richesse en acide oléique et un bas point de fusion. L'huile d'olive craint la chaleur, c'est pourquoi elle ne doit pas être utilisée pour la friture, mais plutôt dans les assaisonnements.

Certaines huiles végétales sont de très bonnes sources d'oméga 3 et/ou d'oméga 6 (voir *Intérêt nutritionnel des lipides*, p. 85). De façon générale, les huiles végétales sont dépourvues de cholestérol, alors que les graisses animales en contiennent. Les apports en minéraux des corps gras alimentaires sont pratiquement nuls. Les vitamines liposolubles sont surtout apportées par les matières grasses végétales. Cependant, les huiles de foie de certains poissons (flétan, morue, thon) sont très riches en vitamines A et D.

Si une graisse fume, la fumée qu'elle dégage contient de l'acroléine qui exerce une action irritante sur l'intestin (voir *Effet de la chaleur sur les lipides*, p. 228).

Groupe III

Les aliments du groupe III se caractérisent par leur richesse en minéraux et en vitamines. Ils apportent notamment le calcium, la vitamine A sous forme de provitamines la vitamine D_2 ou ergocalciférol et la vitamine C. Ils facilitent aussi le transit intestinal. On y distingue deux sous-groupes.

Premier sous-groupe : les légumes (en dehors des légumineuses en sec)

Les légumes contiennent environ 90% d'eau et 10% de glucides. Ce sont de bonnes sources de calcium, de magnésium et de potassium et aussi de vitamines ou de provitamines (provitamine A par exemple), qui sont surtout concentrées dans les parties colorées. Par exemple, les poivrons rouges contiennent le plus de vitamine C. Les légumes apportent également des fibres alimentaires (voir *Tableau 4.3.3*, p. 56 et *Tableau 9.4.2*, p. 178).

En général, la cuisson diminue la valeur vitaminique et minérale des aliments. Cependant, la cuisson à la vapeur les préserve mieux. Concernant les légumes en particulier, la cuisson améliore leur digestibilité en faisant éclater les parois cellulaires et en gélatinisant l'amidon. Elle les rend aussi plus onctueux et moins acides (par élimination des acides volatils). Il est préférable de cuire les légumes à la vapeur et de les cuisiner le plus rapidement possible après les avoir préparés. De cette façon, ils gardent leur saveur et leur contenu nutritif. Toutefois, les faire bouillir légèrement constitue également une pratique culinaire saine.

Les légumes frais peuvent aussi être séchés. C'est le cas des aubergines, de la betterave, du fenouil, des feuilles de céleri, des fèves, du navet, de l'ail, etc.

Deuxième sous-groupe : les fruits (fruits frais et fruits secs)

Les fruits frais

Les fruits frais contiennent 80 à 90% d'eau et 10 à 15% de glucides. Ils apportent aussi du calcium, du potassium et des vitamines. Ils contiennent peu de lipides, à l'exception de l'avocat. Le kiwi, le kaki et les agrumes sont d'excellentes sources de vitamine C.

La cuisson a les mêmes effets sur les fruits que sur les légumes.

Il est recommandé de manger au moins une portion de 5 variétés de fruits et légumes chaque jour pour réduire les risques de maladies graves telles que le cancer et les maladies cardio-vasculaires, ou tout simplement pour améliorer son bien-être général.

Les fruits secs et les fruits séchés

Les fruits secs ou fruits oléagineux ou encore fruits à coque constituent un ensemble de fruits ou de graines naturellement secs. Les principaux d'entre eux sont l'amande, la cacahuète, la châtaigne, la noisette, la noisette chilienne, la noix, la noix du Brésil, la noix de cajou, la noix de macadamia, la noix de pécan, la noix de pin (le pignon n'est pas un fruit au sens strict) et la pistache. Les fruits secs peuvent être utilisés dans les salades de légumes ou de fruits et dans les produits de la boulangerie-pâtisserie.

Les fruits secs oléagineux sont très concentrés en énergie, ils apportent en moyenne 620 kcal/100 g. Ils constituent également une bonne source de protéines, de calcium, de fer, de magnésium, de zinc ainsi que d'acides gras essentiels. Les noix sont particulièrement riches en acide α-linolénique.

Les fruits séchés ou déshydratés sont obtenus après déshydratation de produits frais. Les procédés de séchage peuvent modifier la qualité des produits. On distingue notamment les pruneaux, les abricots séchés, les figues séchées, les dattes séchées, les raisins secs, les kiwis séchés, etc. Tous ces produits sont utilisés dans diverses recettes culinaires et gastronomiques.

L'augmentation de la température au cours du séchage fait baisser la durée du procédé, mais il est conseillé de sécher les fruits (et les légumes) entre 40 et 50 °C pour qu'ils gardent le maximum de leurs qualités nutritionnelles.

Les fruits qui ont été séchés sur des claies ou sur pieds sont aussi qualifiés de moelleux. Il s'agit en particulier des abricots secs, des raisins secs, des figues séchées, des poires séchées, des pruneaux secs, des dattes séchées, des pommes, des bananes séchées, des ananas séchés, etc. Lors du séchage, l'eau contenue dans les fruits frais est éliminée et ces produits sont alors concentrés en vitamines et en minéraux, mais aussi en énergie. En effet, 100 g de ces produits apportent 280 kcal en moyenne. Par ailleurs, les figues sont riches en calcium, les bananes et les abricots en potassium et les raisins en phosphore.

Il existe aussi des graines séchées et grillées (de tournesol, de courges, de sésame, etc.) qui sont utilisées dans la boulangerie ou consommées une fois grillées. Les graines de tournesol grillées sont une bonne source d'acide folique. Les graines de courge sont riches en protéines, en antioxydants, en vitamines et minéraux (particulièrement en magnésium) et se caractérisent par un Indice Glycémique bas (environ 25) (voir *Indice glycémique*, p. 267). Les graines de sésame sont des graines oléagineuses riches en lipides, avec des acides gras essentiels. Elles ont

une bonne teneur en vitamines, en fer, en antioxydants et en protéines. Elles ont un impact sur les hormones œstrogènes, les hormones sexuelles féminines et peuvent diminuer le risque de certains cancers en réduisant le taux des hormones durant la période post-ménopause chez la femme.

9.4- Anti-nutriments

Ce sont des substances naturellement présentes dans les aliments et qui réduisent la biodisponibilité de certains nutriments. Des constituants alimentaires utiles (fibres, acide phytique, tannins) deviennent des anti-nutriments si leur présence est excessive dans la ration.

Acide phytique

L'acide phytique (Ac.Ph.) est l'ester hexa-phosphorique du myo-inositol, c'est-à-dire le myo-inositol hexaphosphate. C'est un composé spécifique du règne végétal, où il constitue probablement une forme de stockage du phosphore et joue un rôle dans la germination des graines. Il est particulièrement abondant dans les graines de céréales, les légumineuses en sec, les noix, les graines oléagineuses, etc. Les céréales en contiennent 200 à 700 mg par 100 g de matière sèche (tableau 9.4.1).

Tableau 9.4.1- Teneurs en phytates de différents produits alimentaires végétaux au Maroc (mg/100 g de matière sèche)

Céréales et dérivés		**Légumineuses**	
Son de blé dur	850	Haricots jaunes	520
Farine complète BT[1]	700	Haricots entiers	500
Farine complète BD[2]	670	Pois chiches	450
Semoule d'orge	625	Lentilles	425
Farine de BT[1] 68% TDE[3]	450	Haricots secs	300
Couscous farine complète	420	Haricots décortiqués	230
Couscous blanc	300	Pois cassés	210
Légumes frais		**Fruits**	
Carottes	98	Abricots, prunes, fraises, cerises, figues, pommes	< 15
Oignons	80	Oranges, citrons	15-30
Betterave	50	Poires	30-60
Patate douce	50	Dattes	>60
Tomate entière	45		
Pomme de terre (sans peau)	15		
Laitue	10		

[1]- BT : Blé tendre; [2]- BD : Blé dur ; [3]- TDE : Taux d'extraction

Les graines de sésame en contiennent jusqu'à 4%. Les fruits frais et les légumes, en général, en sont peu pourvus. Dans les céréales en particulier, les variations du taux d'Ac.Ph. sont dues à la nature de la céréale et au mode de préparation. En effet, l'Ac. Ph. est surtout concentré dans les enveloppes, si bien que plus le taux d'extraction d'une farine est élevé, plus elle est riche en cet anti-nutriment.

Avec les minéraux ionisés tels que le fer (Fe^{2+}), le zinc (Zn^{2+}), le calcium (Ca^{2+}), ou le magnésium (Mg^{2+}), l'Ac.Ph. forme des complexes appelés phytates, qui sont des sels solubles ou insolubles selon le pH. En effet, les groupements phosphates de l'Ac.Ph. ont 1 ou 2 atomes d'oxygène chargés négativement et ces charges négatives peuvent attirer et chélater les cations minéraux bivalents.

La formation de phytates freine grandement l'absorption et la biodisponibilité des ions minéraux d'origine alimentaire, mais aussi ceux d'origine endogène secrétés par le pancréas. Les phytates seraient à l'origine des carences en fer et en zinc observées dans certains pays d'Afrique du Nord et du Moyen Orient comme le Maroc, où les céréales représentent l'alimentation de base pour de larges couches de la population. Dans certains de ces pays, comme l'Iran, le pain n'est pas levé (la pâte ne subit pas de fermentation avec la levure *Saccharomyces cerevisiae*). Or, ce microorganisme a le pouvoir de dégrader les phytates, empêchant la chélation des minéraux et, donc, les rendant plus biodisponibles. L'eau de la pâte et la chaleur de la cuisson du pain contribuent également à détruire les phytates.

Le rapport molaire Ac.Ph./minéraux est un critère important dans l'évaluation de la biodisponibilité des minéraux. Par exemple, un rapport molaire Ac.Ph/Zn supérieur à 15-20 induit la réduction de la concentration de cet élément minéral dans certains tissus et provoque un retard de croissance chez le rat. On a montré qu'un régime contenant 1% d'Ac.Ph. augmente les besoins du rat en zinc de 10 ppm à 55 ppm. Le même raisonnement peut être extrapolé à d'autres minéraux tels que le fer, le calcium, le magnésium, etc. On peut donc s'attendre à des conséquences analogues de carence pour ces éléments.

Néanmoins, il existe aussi chez l'Homme une phytase intestinale qui, en détruisant les phytates alimentaires, augmente la biodisponibilité des minéraux. De plus, selon certains travaux scientifiques, les complexes formés avec l'Ac.Ph. seraient solubilisés dans l'intestin lors des processus de la digestion et ce seraient plutôt les fibres qui forment avec le calcium des complexes indigestibles.

Par ailleurs, un autre acide, l'acide oxalique, notamment présent dans les épinards et la rhubarbe, formerait avec le calcium des complexes insolubles (oxalates) qui ne sont pas absorbés.

Fibres

Les fibres et les fibres alimentaires jouent un rôle important dans la mobilité intestinale, l'élimination des déchets et des toxines (excès d'acides gras, cholestérol, excès de la bile et ses dérivés, etc.) et la prévention de certains cancers, particulièrement ceux de l'intestin.

Les fibres brutes sont formées principalement de cellulose et de lignine, alors que les fibres alimentaires regroupent l'ensemble hémicellulose, cellulose et lignine et peuvent contenir également d'autres substances comme les pectines et les algalpolysaccharides[2].

Le tableau 9.4.2 donne les teneurs en fibres brutes et en fibres alimentaires dans différents types de produits végétaux au Maroc.

La cellulose est un polyoside constitué de longues chaînes pouvant être associées étroitement les unes aux autres formant ainsi des structures compactes très insolubles.

La cellulose n'est pas hydrolysable par les enzymes du tube digestif de l'Homme, contrairement aux ruminants et certains insectes xylophages possédant dans leur tube digestif des microorganismes dont les enzymes hydrolysent ce polyoside.

Tableau 9.4.2- Teneurs en fibres brutes et en fibres alimentaires dans différents aliments végétaux au Maroc (g/100 g de matière sèche)

Produits	Fibres brutes	Fibres alimentaires
Céréales	0,8-6,0	11,8-25,3[1]
Légumes	0,3-12,0	9,0-30,0
Légumineuses en sec	6,5-8,2	6,7-11,0
Fruits frais	0,8-7,2[2]	3,8-9,6

[1] : Selon le taux d'extraction
[2] : valeur élevée pour certains fruits comme la figue

Dans le tableau 9.4.3, sont données les teneurs en hémicellulose, cellulose, lignine et fibres déterminées dans différents types de produits alimentaires au Maroc.

2- *La cellulose est un polymère du 1,4 β glucose non branché ayant des propriétés hydrolytiques. L'hémicellulose est un polymère de pentoses et d'hexoses, souvent branché, qui se lie aux ions. La lignine est un substitut phényl propane non glucidique ayant la capacité de se lier aux ions. Les pectines sont des polymères caractérisés par un squelette d'acide α-D galacturonique et de faible quantité de α L - rhamnose, ayant la propriété de former des gels et de se lier aux ions. Les algalpolysaccharides ont également la propriété de former des gels.*

Tableau 9.4.3- Teneurs moyennes en hémicellulose, cellulose, lignine, fibres alimentaires et fibres brutes dans différents types de produits alimentaires au Maroc (g/100 g de matière sèche)

	Hém.[1]	Cel.[2]	Lig.[3]	FA[4]	FB[5]	FA/FB
Céréales						
Farine complète de blé 100% TDE[7]	14,05	1,10	1,0	16,16	4,18	3,87
Farine de BT 68% TDE[7]	11,60	0,28	Tra.[6]	11,82	1,42	8,32
Farine d'orge 100% TDE[7]	19,39	1,23	1,0	21,62	5,97	3,62
Légumes						
Piment doux	15,62	12,61	1,78	30,01	7,98	3,76
Laitue	14,89	3,72	3,78	22,39	11,58	1,93
Carotte	11,24	14,12	1,16	26,25	5,50	4,77
Citrouilles	7,48	3,28	0,87	11,63	3,37	3,45
Haricots verts	7,08	7,10	1,47	15,65	8,60	1,82
Oignons	5,32	10,45	0,10	15,87	5,95	2,67
Tomate	4,27	2,49	2,38	9,14	1,65	5,54
Pomme de terre	0,61	0,69	Tra.[6]	1,31	0,60	2,18
Légumineuses en sec						
Haricots rouges	3,29	6,92	0,99	11,20	6,62	1,69
Pois	2,75	5,83	3,97	9,56	6,73	1,42
Pois chiches	2,29	5,18	1,36	8,34	2,47	3,38
Lentilles	1,67	7,50	1,83	11,01	6,60	1,67
Haricots	0,89	4,87	0,63	6,74	6,50	1,04
Fruits						
Oranges	2,59	1,20	Tra.[6]	3,79	2,68	1,41
Pommes	1,46	3,64	0,01	5,11	1,44	3,55
Prunes	0,68	7,53	1,40	9,61	2,20	4,37
Abricots	0,39	3,13	0,26	3,79	1,10	3,45

[1] : Hémicellulose; [2] : Cellulose; [3] : Lignine; [4] : Fibres alimentaires; [5] : Fibres brutes; [6] : Traces; [7] : Taux d'extraction

Le tableau 9.4.4 donne les teneurs en fibres brutes dans différentes céréales et produits céréaliers. Dans les céréales, les fibres sont essentiellement concentrées dans les enveloppes.

Tableau 9.4.4- Teneurs en fibres brutes de quelques céréales et produits céréaliers (g/100 g de matière sèche)

Produits	Teneur en fibres brutes
Farine complète de blé due (TDE[1] 100)	4,18
Farine complète de blé tendre (TDE 100)	3,24
Farine blanche (TDE 68)	1,46
Farine de blé dur (TDE 85)	3,75
Farine de blé dur (TDE 78)	3,19
Farine de blé dur (TDE 68)	1,42
Farine de blé dur (TDE 64,5)	0,82
Farine d'orge (TDE 70,3)	5,97
Farine de riz poli	2,76
Son de blé	13,40
Semoule de blé dur (*smida*)	3,63
Semoule d'orge	4,20
Couscous de *smida* blanche	2,70
Couscous de *smida* sombre	5,16
Pain sombre	4,91
Pain blanc	3,49

[1] : TDE = Taux d'extraction

En plus des fibres, le son contient des protéines et des acides aminés, de l'amidon, des lipides, des sucres, des vitamines et des minéraux.

La consommation trop élevée de produits riches en fibres entrave l'absorption de minéraux, particulièrement le calcium, le fer, le zinc, le magnésium, etc. Il peut s'en suivre une carence en ces minéraux malgré un apport suffisant dans l'alimentation.

Tannins

Les tannins (ou tanins) sont des polyhydrophénols qui ont la propriété de réduire l'absorption des minéraux tels que le fer, le zinc, etc.

La teneur des produits alimentaires en tannins est très variable. Les légumineuses sont généralement plus riches en tannins que les céréales. Certains fruits et légumes sont caractérisés par une forte teneur en tannins, notamment le kaki, les bananes, les dattes et les olives (quand elles ne sont pas mûres), ainsi que certaines variétés de poires.

Les tannins existent également dans le thé et le café. Leur teneur s'élève à 9% dans le café crû et à 4,5% dans le café torréfié. Un verre de thé de 150 ml préparé à partir de différentes variétés de thé contient entre 60 et 280 mg de tannins. La quantité de tannins dans un verre de café préparé à partir de 60 g de café dans 450 ml d'eau est de 200 mg. En conséquence, la consommation de thé ou de café au cours du repas réduit l'absorption du fer de 40 à 95% (surtout le fer non héminique). Selon l'OMS, la consommation de thé ne devrait avoir lieu qu'une demi-heure au moins après le repas, ce qui montre l'impertinence de l'habitude de certains marocains d'accompagner leurs repas avec du thé.

Les tannins se trouvent également dans les goudrons des cigarettes et produits assimilés.

Avidine du blanc d'œuf

Un déficit en biotine (vitamine B8) a été observé chez les sportifs pratiquant le bodybuilding qui consomment beaucoup de blanc d'œuf cru. Ce syndrome a été baptisé le *«egg white injury»*. En effet, le blanc d'œuf contient une substance appelée avidine, un anti-nutriment qui se combine à la biotine et la rend inassimilable. L'avidine à l'état frais (dans l'œuf crû) est indigeste, donc non assimilée. Il est donc conseillé de cuire les œufs à la chaleur.

Néanmoins, l'avidine se retrouve encore en partie dans l'œuf cuit et réduit la biodisponibilité de la biotine. D'après une étude expérimentale, l'activité résiduelle de la biotine dans des œufs frits est de 33%, de 71% dans les œufs pochés et de 40% dans les œufs bouillis. Un déficit en biotine peut donc être craint chez les personnes qui consomment beaucoup de blanc d'œuf à l'exclusion du jaune, ou qui emploient beaucoup de blanc d'œuf en poudre dans diverses préparations, et en particulier s'il n'y a pas de traitement thermique.

9.5- Additifs alimentaires

Outre les différents constituants des aliments énumérés dans la classification ci-dessus, il faudrait mentionner les additifs alimentaires. Un additif alimentaire est un ingrédient introduit volontairement dans l'aliment au cours de sa préparation. Il n'est pas indispensable à cette préparation, mais il est utilisé pour jouer un rôle bien déterminé (colorant, aromatisant, exhausteur de goût, conservateur, épaississant, etc.). Ainsi, les additifs alimentaires contribuent largement aux caractéristiques physiques et organoleptiques des aliments et à leur qualité.

Près de 2.000 additifs alimentaires sont actuellement employés à travers le Monde. Certains sont des substances naturelles comme le sel, le sucre, les épices et les aromatisants. D'autres, comme les lécithines et le propionate de calcium, sont obtenus à partir de sources naturelles. D'autres, enfin, sont produits par synthèse chimique. Les additifs manufacturés peuvent être plus commodes que ceux d'origine naturelle. Ils ont l'avantage d'être plus concentrés et d'avoir une qualité plus élevée car exempts de contaminants et d'impuretés dus à l'environnement.

Le carraghénane ou carraghénine est un galactane extrait des algues marines rouges qui sert comme agent épaississant et stabilisant dans l'industrie agro-alimentaire. Il s'agit de l'additif alimentaire répondant au code E 407 (tableau 9.5.1). On estime à 7000 environ le nombre de produits transformés contenant cet additif. Il s'agit notamment des crèmes légères ou semi-épaisses, des laits chocolatés, des yaourts aux fruits, des crèmes glacées, des crèmes desserts, des «laits» végétaux et des plats préparés comme les lasagnes, les saucisses, etc. Même les produits dits bio n'y échappent pas.

Il faut cependant signaler que, chez l'animal, cet additif provoquerait des ulcérations au niveau du côlon ainsi que des phénomènes inflammatoires dans différents tissus. Il pourrait également favoriser la résistance à l'insuline et jouer donc un rôle dans l'étiologie du diabète. De plus, ces substances peuvent, dans certaines conditions de température et d'acidité, se dégrader en composés de faible poids moléculaire (les carraghénanes dégradés) qui peuvent être potentiellement cancérigènes pour l'Homme, la dose journalière admissible provisoire étant de 75 mg/kg de poids corporel.

Seul un nombre relativement limité parmi les additifs communément utilisés jouent un rôle de conservateurs, la préservation des aliments étant essentiellement réalisée au moyen des traitements thermiques, en particulier la stérilisation en boîte, mais aussi par la déshydratation et la congélation. Néanmoins, l'ajout des conservateurs aux aliments permet d'avoir des produits relativement stables au cours du transport, de l'entreposage au niveau des usines, des surfaces de vente et des cuisines pour un temps plus ou moins long.

Les agents conservateurs les plus largement employés ont soit un rôle antimicrobien soit un effet antioxydant.

Les principaux agents antimicrobiens disponibles dans ce domaine sont les nitrates, les sulfites, les benzoates, les sorbates, les propionates, le sulfure-dioxyde, l'acide acétique et l'acide lactique. La plupart de ces produits se trouvent naturellement dans certains aliments.

Les antioxydants (notamment les vitamines E et C) protègent les aliments de différentes manières en empêchant le rancissement des lipides et la production de peroxydes dangereux.

L'additif le plus utilisé est le sucre. Il représente à lui seul, en quantité, près des trois quarts de tous les additifs. On trouve également les levures, le bicarbonate de soude, la moutarde et le glutamate monosodique qui donne aux aliments un goût sucré. Ces produits ne sont toutefois pas utilisés en même temps.

Les niveaux auxquels certains additifs alimentaires sont ajoutés aux aliments sont réglementés et devraient être strictement contrôlés. Cette restriction concerne essentiellement les conservateurs antimicrobiens, les antioxydants et les colorants.

La liste complète des additifs alimentaires autorisés au Maroc figure dans l'arrêté conjoint du ministre de l'agriculture et de la pêche maritime et du ministre de la santé n°1795-14 du 14 *rajab* 1435 (14 mai 2014). Ces additifs sont conventionnellement identifiés sur les emballages alimentaires par un symbole comprenant la lettre E suivie d'un nombre (généralement de 3 chiffres). Dans le tableau 9.5.1, nous donnons quelques exemples de ces additifs, avec les symboles correspondants.

Tableau 9.5.1- Exemples d'additifs alimentaires autorisés par la législation marocaine

Colorants		**Edulcorants[1]**		**Antimicrobiens**	
E100	Curcumine	E420	Sorbitols	E200	Ac.[2] sorbique
E104	Jaune de quinoléine	E421	Mannitol	E210	Ac.[2] benzoïque
E140	Chlorophylles, chlorophyllines	E951	Aspartame	E221	Sulfite de Na
		E952	Cyclamates	E222	Sulfacide de Na
E160a	Caroténoïdes	E954	Saccharine	E223	Disulfite de Na
Antioxydants		**Epaississants**		E260	Ac.[2] acétique
E300	Ac.ascorbique[3]	E401	Alginate de Na	E270	Ac.[2] lactique
E301	Ascorb.[4] de Na	E406	Agar agar	E280	Ac.[2] propion.
E302	Ascorb.[4] de Ca	E407	Carraghénanes	**Emulsifiant[6]**	
E307	α-tocophérol[5]	E414	Gomme arabique[7]	E322	Lécithine
E308	γ-tocophérol	E440	Pectines	**Acidulant**	
E309	δ-tocophérol			E330	Ac.[2] citrique

[1] : Ingrédient destiné à changer le goût d'un aliment en lui conférant une saveur sucrée; [2] : Acide; [3] : Vitamine C; [4] : Ascorbate; [5] : Vitamine E; [6] : Additif alimentaire permettant de créer une émulsion homogène et stable (exemple : mélange d'huile et d'eau pour préparer la mayonnaise); [7] : ou gomme d'acacia

Aromates, épices, condiments et herbes aromatiques.

Utilisés partout dans le Monde, ces produits offrent des avantages et des propriétés culinaires recherchés, dont notamment le fait d'agrémenter les plats les plus variés.

Sensations de goût et de saveur

Rappelons que la consommation alimentaire est modulée par des sensations comme les senteurs, les saveurs et les goûts. Ces sensations peuvent stimuler ou, au contraire, limiter, voire empêcher la consommation alimentaire. Le système gustatif et olfactif permet d'identifier divers goûts et saveurs. Les goûts représentent un sens qui renseigne sur les saveurs et la composition des aliments. Les senteurs représentent l'émanation agréable des aliments et des plats, éprouvée grâce à l'odorat, et qui peut devenir déplaisante, voire, exceptionnellement, puante.

Il existe quatre saveurs fondamentales :

- le sucré, notamment associé au sucre (saccharose);
- le salé, notamment associé au sel de cuisine (chlorure de sodium);
- l'amer (la quinine);
- l'acide, comme le citron (acide citrique), le vinaigre (acide acétique) ou les produits laitiers fermentés (acide lactique) (voir p. 242-243)[3].

Une cinquième saveur a été définie par les Japonais, l'*umami*, associée aux glutamates présents notamment dans les aliments riches en protéines comme les viandes. On peut encore y ajouter d'autres saveurs comme le goût métallique (fer, zinc), le goût de calcium, le goût du réglisse, le piquant, le brûlant, le brûlé et l'astringent.

Les impacts nutritionnels des aromates, épices, condiments et herbes aromatiques sont souvent sous-estimés du fait qu'ils sont consommés en faibles quantités. Pourtant, outre leurs vertus sensorielles, ces produits constituent généralement des sources d'antioxydants, de vitamines et de minéraux avec un très faible apport énergétique et contribuent au bon fonctionnement du tube digestif.

La classification de ces produits en ces quatre catégories est difficile, certains pouvant appartenir à deux ou plusieurs d'entre elles.

Aromates

Ce sont des produits d'origine végétale parfumés et odoriférants. Les plus importants sont le thym, la sarriette, la sauge, le romarin, la lavande, l'origan, la ciboulette, la menthe, l'estragon, la verveine, la cardamome, la citronnelle, le basilic, la coriandre, etc.

Epices

Ce sont des substances végétales aromatiques utilisées pour l'assaisonnement des mets. Elles sont généralement vendues déshydratées, entières ou en poudre. Mais certaines sont disponibles en frais, elles peuvent alors se garder quelques jours au réfrigérateur. Les épices sont acaloriques, n'apportant pas d'energie, mais elles apportent beaucoup de saveur. On trouve dans cette catégorie la cannelle, la cardamome, le curcuma, le gingembre, la coriandre graines, le paprika, le safran, la badiane (anis étoilé), la baie rose (poivre rose), le macis (fleur de muscade, arillé de la noix de muscade), la maniguette (graines de paradis), le paprika de Hongrie, le paprika fumé, le poivre de Sichuan, le sumac, etc.

3- *Le vinaigre est obtenu à l'origine par fermentation acétique du vin (vin aigre). On peut cependant l'obtenir par une double fermentation des solutions sucrées : une fermentation alcoolique transformant les sucres en alcool éthylique (éthanol), puis une fermentation acétique transformant l'éthanol en acide acétique.*

Condiments

Ce sont des produits ou des préparations élaborées à partir de substances végétales ou animales, qui sont ajoutées aux aliments crus ou cuits pour relever leur saveur. Les principaux condiments sont le sel et le poivre, mais on trouve aussi la mayonnaise, le ketchup, la moutarde, le *Tabasco*, la sauce de soja, le viandox et les herbes aromatiques.

Herbes aromatiques

Ce sont des plantes aromatiques servant principalement à assaisonner les plats. On y trouve essentiellement le basilic, la ciboulette, le thym, la menthe, la stévia, le romarin, l'origan, l'aneth, etc.

9.6- Pro-biotiques et pré-biotiques

Pro-biotiques

L'OMS et la FAO définissent les pro-biotiques (en anglais *probiotics* ou PBX) comme étant des microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante, exercent des effets positifs sur la santé, au-delà des effets nutritionnels traditionnels.

Initialement, les pro-biotiques sont des bactéries ou des levures qui, ajoutées comme compléments aux produits alimentaires et consommées en quantité adéquate, sont censées conférer un bénéfice en matière de santé à l'individu sain. Ce concept a été étendu à l'alimentation animale, mais aussi aux productions végétales. Il a été également étendu à des traitements non alimentaires en vue de soigner ou de prévenir des affections cutanées ou vaginales en particulier.

Les mécanismes d'action des microorganismes pro-biotiques au niveau de l'épithélium intestinal sont :

- la compétition avec les microorganismes pathogènes pour les nutriments nécessaires à leur multiplication;
- la compétition pour l'adhésion aux sites récepteurs;
- la stimulation immunitaire;
- l'action antagoniste directe par production de peptides antimicrobiens qui inhibent la croissance des pathogènes.

Les bactéries lactiques, qui produisent essentiellement de l'acide lactique en fermentant les sucres, figurent parmi les principaux pro-biotiques. Elles comprennent notamment des espèces des genres *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus* et *Streptococcus*. Tous les produits laitiers fermentés renferment des bactéries lactiques.

Pour la fabrication du yaourt, on emploie *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Parmi les autres produits alimentaires, citons la choucroute (*Leuconostoc mesenteroides*, *Lb. plantarum* et *Lb. cucumeris*), le miso, fabriqué à base de soja (des lactobacilles avec la moisissure *Aspergillus oryzae*) et le salami (*Lb. sakei* et *Lb. curvatus,* à côté d'autres espèces bactériennes).

La levure boulangère (ou levure de bière) active (vivante) constitue également un pro-biotique. C'est un champignon microscopique de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Ensemencée dans un milieu à base de céréales, la levure digère les glucides et produit des protéines et des vitamines, notamment du groupe B. La préparation est ensuite séchée à froid et réduite en poudre. Le produit obtenu est commercialisé en vrac, en sachets, ou sous forme de capsules ou de comprimés.

Pré-biotiques

Les pré-biotiques sont des substances alimentaires qui sont censées promouvoir de façon sélective la croissance des microorganismes pro-biotiques ou l'activité du microbiote. Ce sont généralement des sucres à chaîne courte (oligosaccharides), des polysaccharides ou des fibres non digestibles du régime alimentaire, qui stimulent de manière sélective la croissance des bactéries du microbiote de l'hôte au niveau du côlon.

Le pré-biotique le plus commun et le plus étudié est l'inuline, glucide voisin de l'amidon (voir *Inuline*, p. 57). L'inuline se trouve essentiellement dans le tubercule du topinambour et la racine de chicorée. Elle est ajoutée à toutes sortes d'aliments, des yaourts glacés aux céréales pour petit-déjeuner.

Rappelons que le microbiote, encore appelé flore (ou microflore) intestinale compte autour de 40.000 milliards (40.10^{12}) de bactéries, soit l'équivalent de 2 kg environ. Ces bactéries colonisent le tube digestif, principalement le côlon, assurant l'équilibre intestinal et, partant, l'équilibre général de l'organisme. En effet, ces bactéries collaborent avec le système immunitaire au niveau de l'intestin pour combattre les agents pathogènes et fabriquent des molécules importantes, notamment des neurotransmetteurs dont la sérotonine, la noradrénaline et la dopamine.

Sans microbiote, il ne pourrait y avoir de développement harmonieux du cerveau à cause d'un défaut de myélinisation des cellules nerveuses. Il s'ensuivrait une incapacité de lutter contre le stress par manque de réaction ou, au contraire, par hyperactivité.

Par ailleurs, un déséquilibre du microbiote augmente la perméabilité de l'intestin, laissant passer des constituants de bactéries dans la circulation sanguine pour atteindre le cerveau et modifier l'activité des neurotransmetteurs.

De plus, un déséquilibre du microbiote (dysbiose) peut être impliqué dans de nombreuses maladies de civilisation. Il existe notamment une relation entre le micobiote et le développement de l'obésité; en effet, les obèses ont tendance à avoir un microbiote très pauvre en diversité. Il a été également observé un lien entre une altération du microbiote et certaines pathologies comme la schizophrénie, l'autisme, la dépression et la fatigue chronique.

9.7- Ration alimentaire

Ration équilibrée

A côté de l'eau des aliments des trois groupes, décrits ci-dessus doivent figurer dans l'alimentation quotidienne, c'est-à-dire la ration alimentaire. Cette diversité est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante. Encore faut-il respecter les principaux équilibres suivants :

- Glucides/Protéines (en poids) : 4 à 5;
- Lipides/Protéines (en poids) : 1 à 1,5;
- Ca/P (en poids) : 0,5 à 1,5.

Les autres index nutritionnels à respecter sont les suivants :

- Protéines animales/Protéines totales : au moins 25%;
- Energie protéique/Energie totale = 12 à 14%;
- Energie lipidique/Energie totale = 25 à 30% au plus;
- Energie glucidique/Energie totale = 55 à 63%;
- Energie des céréales, du sucre et des tubercules/Energie totale = 55 à 65%.

Cependant, il faut tenir compte des protéines des légumineuses en sec car elles ont de bonnes vertus nutritionnelles et peuvent remplacer la viande en partie. On les qualifie d'ailleurs de «viande des pauvres».

La figure 9.7.1 représente sous forme schématique quelques principes de base pour confectionner la ration alimentaire quotidienne. C'est ce qu'on appelle la pyramide alimentaire.

Par ailleurs, un certain volume et une certaine consistance du bol alimentaire sont nécessaires pour exercer des forces mécaniques sur le tube digestif afin qu'il remplisse normalement ses fonctions. La présence de fibres alimentaires dans la ration est indispensable, dans des proportions adéquates, pour le bon fonctionnement du tractus digestif et intestinal.

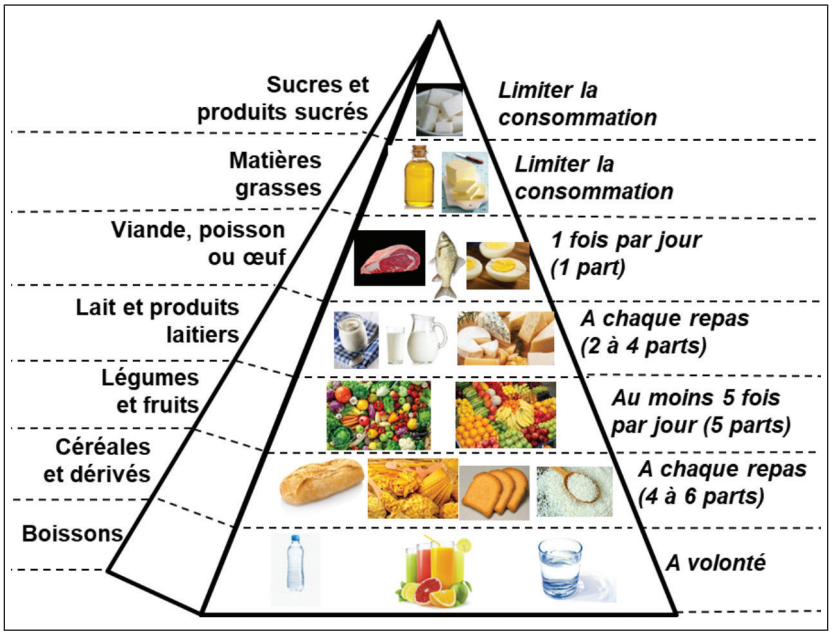


Figure 9.7.1- Pyramide alimentaire

Régulation de la prise alimentaire

Il faut souligner qu'un apport, même équilibré, des nutriments des diverses classes n'est pas suffisant. Encore faut-il s'assurer que les consommations correspondent aux dépenses de l'organisme. L'hypothalamus joue un rôle primordial dans la régulation de la prise alimentaire, à côté de certains facteurs d'ordre gastro-intestinal et d'autres de nature nutritionnelle.

Rôle de l'hypothalamus

Dans l'hypothalamus, on a identifié deux centres en relation avec la régulation de la prise alimentaire :

- un centre de la faim qui provoque la sensation de faim quand il est excité, et dont la destruction entraine le refus de nourriture (aphagie) qui peut entrainer la mort;
- un centre de satiété qui commande l'arrêt de l'ingestion des aliments et dont la lésion entraine l'excès de consommation (hyperphagie), qui peut être cause d'obésité.

En cas de destruction de ce centre de satiété, la charge gastrique et la quantité de tissu adipeux exercent cependant un effet freinant sur la prise alimentaire, si bien que même en absence de ce centre, les réserves lipidiques de l'organisme se stabilisent, mais à un niveau plus haut.

Deux théories sont proposées pour le mécanisme de cette régulation :

- *la théorie lipostatique* selon laquelle le centre de satiété de l'hypothalamus reçoit l'information sur l'état des réserves du tissu adipeux et commande de cesser de manger quand ces réserves sont assez élevées; en cas de lésion de ce centre, la valeur seuil habituelle des réserves lipidiques ne suffit plus pour induire l'arrêt de la consommation, arrêt qui nécessite alors un taux plus important de réserves correspondant à un état d'obésité;
- *la théorie glucostatique* selon laquelle c'est l'élévation de la glycémie et de la vitesse d'utilisation du glucose successive à l'ingestion de nourriture qui stimule le centre de satiété et entraine l'arrêt de la consommation; quelques heures après, l'ingestion peut reprendre suite au ralentissement de l'utilisation du glucose.

Facteurs gastro-intestinaux

L'estomac participe significativement à la régulation alimentaire. Expérimentalement, si on empêche la nourriture d'arriver dans l'estomac d'un animal, celui-ci mangera plus à chaque prise et les prises seront plus rapprochées dans le temps. En revanche, on observe une réduction, voire un arrêt, de la prise alimentaire si l'estomac est rempli par sonde, même avec une substance à apport énergétique nul. Ce renoncement est dû, d'une part, à la distension de l'estomac entrainant des réponses neurales et, d'autre part, à des changements des sécrétions du tube digestif et de celles de l'insuline et du glucagon.

Par ailleurs, on a identifié dans le duodénum des signaux neuraux et hormonaux dont l'effet serait d'inhiber la consommation de nourriture.

De nombreux autres facteurs peuvent bloquer les contractions provoquées par la faim : masticage des aliments non suivi de déglutition, consommation d'eau ou de boissons alcoolisées, émotions, sécrétion de glucagon, le fait de fumer, etc.

Paramètres nutritionnels

Les cas d'hypovitaminoses, en particulier les carences en vitamines B1, C et A, provoquent la baisse de l'appétit, de même que les déséquilibres en acides aminés et les excès de protéines. Cette réduction de la prise alimentaire est soit une manière de lutter contre les variations d'amino-acidémie, soit due à l'incapacité de métaboliser trop de protéines.

Il faut noter cependant que si tous ces mécanismes jouant dans le sens d'une prise alimentaire adéquate fonctionnent parfaitement bien chez l'animal, il n'en est pas de même chez l'être humain. Chez l'Homme, les effets des facteurs hypothalamiques sont plus ou moins atténués par les habitudes, les préjugés, les influences sociales, la publicité, etc.

Une autre différence entre Homme et animal réside dans la sensation de plaisir liée à l'acte de manger. Chez l'Homme comme chez l'animal, il existe un plaisir de type négatif dû à la suppression de la douleur associée à la faim. Mais si l'animal ne connaît que ce plaisir et cesse de manger dès qu'il ne ressent plus la faim, l'Homme connaît un plaisir de type positif ressenti lorsque l'alimentation continue au-delà de la suppression de la faim. Le centre de ce type de plaisir, situé dans le cortex cérébral, est beaucoup moins développé chez l'animal que chez l'Homme.

9.8- Modèles de consommation, typologies et régimes alimentaires

Généralités

Il existe plusieurs types de régimes alimentaires et de modèles de consommation alimentaire dans le monde, plus ou moins adaptés aux conditions locales et aux terroirs. Cependant, à cause de la mondialisation, de la globalisation et de l'entrée en force de l'industrie agro-alimentaire, de la restauration de masse et des *fast-foods*, on assiste à une certaine uniformisation des profils alimentaires, non sans des conséquences fâcheuses sur la santé des populations.

Plusieurs pays émergents vivent actuellement une certaine transition alimentaire[4] passant d'une situation de maladies de carence (marasme, kwashiorkor, déficits en micronutriments) à une situation de maladies de surcharge (obésité, hypertension, diabète, maladies cardiovasculaires, etc.), ou les deux en même temps.

On met bien entendu en exergue les vertus de chacun de ces régimes alimentaires particuliers mais également leurs défauts.

Il existe donc une typologie alimentaire qu'on appelle aussi les "Modèles agro-nutritionnels (MAN)". La visualisation de cette typologie est basée sur la quantité d'énergie apportée par un nombre donné d'aliments dans la ration alimentaire groupés en catégories (6, 8 ou 10). Avec le modèle à 10, elle consiste à porter, sur les 10 rayons d'un décagone régulier (rosace alimentaire), la quantité d'énergie (exprimée en p.100 par rapport à un système de référence, celui de certains pays développés, bien que celui-ci ne soit pas parfait) apportée par les 10 grandes catégories alimentaires choisies. Il s'agit des céréales (1), des racines et tubercules (2), des légumes secs (3), des fruits et légumes (4), des huiles végétales (5), des graisses animales (6), des viandes et des œufs (7), des produits laitiers, sauf les beurres (8), des poissons et fruits de mer (9) et du sucre et miel (10). La figure 9.8.1 présente, à titre d'exemple, le modèle de consommation alimentaire français, comparé au reste du monde. Le cas du Maroc sera abordé plus loin (voir *Régime alimentaire méditerranéen*, pp. 192-193-194).

4- *La transition alimentaire désigne le processus par lequel une société modifie profondément la manière de produire les aliments et de les consommer. A titre de rappel il y a eu quatre phases dans l'histoire de la transition alimentaire chez les humains. Actuellement on est entré dans une cinquième phase de la transition alimentaire après plusieurs réajustements de ce concept. Celui-ci étant devenu plus large et concernant l'ensemble des acteurs des systèmes alimentaires, il doit recouper les objectifs du développement durable de l'ONU qui sont : 1) une meilleure santé et l'assurance d'une sécurité alimentaire et nutritionnelle; 2) le développement économique en tenant compte des zones rurales et marginalisées; 3) la préservation des ressources naturelles, notamment la terre, l'eau, le climat et la biodiversité.*

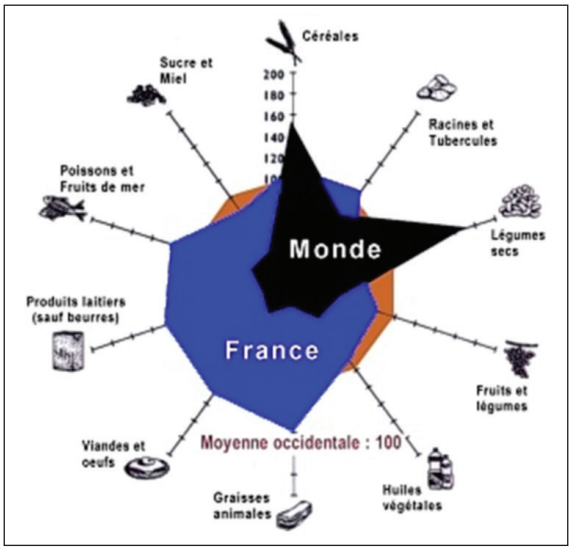


Figure 9.8.1- Exemple de modèle de consommation alimentaire

Nous présentons dans ce qui suit un bref aperçu sur certains de ces régimes alimentaires, représentant une approche socio-économique et ethnographique de l'alimentation humaine à travers le monde.

Régime alimentaire des Esquimaux

L'alimentation des Esquimaux est essentiellement composée d'aliments d'origine animale comme la baleine, l'ours polaire, le phoque, le morse, le poisson. Ce régime alimentaire est donc riche en protéines, lipides, cholestérol et pauvre en glucides, fibres et vitamine C.

Ce régime traditionnel des Esquimaux reste néanmoins un paradoxe. En effet, comment cette population peut-elle survivre à des températures de -40 °C en ne consommant presque exclusivement que des mammifères marins et des poissons, donc que des graisses et des protéines?

Il a cependant été suggéré que le régime alimentaire de cette population est moins carnivore qu'on peut l'imaginer. En effet, les Esquimaux mangent les végétaux contenus dans l'estomac et les intestins des herbivores qu'ils capturent comme les lièvres polaires et les bœufs musqués, mais surtout ils consomment une grande quantité d'algues marines. Par ce biais, ils comblent leurs besoins en fibres et en vitamine C, tout en récupérant une quantité non négligeable de glucides qui s'ajoute à ceux présents dans le foie et le sang des animaux.

Par ailleurs, les poissons gras dont raffolent les Esquimaux sont riches en acides gras de la famille des omégas 3, dont les vertus sont indéniables sur la santé, notamment en prévenant des maladies cardio-vasculaires et en améliorant l'immunité et la longévité.

Régime alimentaire asiatique

D'une façon générale l'alimentation du Sud asiatique est caractérisée par la consommation de céréales, principalement le riz. Le repas est généralement constitué de riz, d'une soupe aux légumes et de poissons. La viande est consommée lors des grandes occasions.

Les principaux aliments de base sont :

- les féculents, principalement la farine de riz ou de blé et les légumineuses;
- les légumes sont fortement présents en soupe ou en accompagnement d'un plat de viande ou de poisson;
- les algues, les pousses de bambou, les racines de lotus et les feuilles de vigne sont très utilisées;
- les fruits n'occupent pas une place centrale;
- les laitages sont minoritaires;
- les poissons sont fortement consommés, alors que les viandes sont généralement absentes; certaines espèces animales sont consommées dans ces régions, à l'exclusion du reste du Monde;
- les matières grasses les plus employées sont des huiles végétales spécifiques comme les huiles de sésame et de soja;
- le sucre et le miel sont consommés à travers les pâtisseries;
- les principales boissons sont le thé et l'alcool de riz.

Régime alimentaire méditerranéen

Le régime alimentaire méditerranéen, régime dit crétois ou encore diète méditerranéenne, est un mode de consommation alimentaire semblable dans plusieurs pays autour de la Méditerranée, avec cependant des spécificités pour chaque pays.

Ce mode alimentaire est axé sur des produits frais, de saison, et exclut généralement les produits transformés.

Les principales caractéristiques de ce régime sont :

- une consommation importante et quotidienne de céréales, légumineuses en sec, légumes frais, fruits (dont ceux à coque : amandes, noix, noisettes, pistaches, etc.) et eau;
- une consommation quotidienne d'huile d'olive comme matière grasse;
- une consommation modérée, mais diversifiée, de produits laitiers, notamment à base des laits de brebis, de chèvre et de vache;
- une faible consommation de poissons;

- une faible consommation d'œufs;
- une faible consommation de viandes, particulièrement les viandes rouges;
- une consommation modérée de vin au cours des repas, sauf pour les musulmans;
- une consommation quotidienne d'herbes aromatiques.

Le régime alimentaire méditerranéen ne contient donc pas trop de graisses animales saturées et constitue par contre une source importante de fibres alimentaires. Cependant, il est menacé de disparition à cause de la transition alimentaire et la mondialisation.

La cuisine grecque est de type méditerranéen. Cet art culinaire et gastronomique, reconnu par l'UNESCO comme patrimoine culturel et immatériel de l'humanité, présente des caractéristiques communes dans de nombreux pays autour de la Méditerranée comme l'Italie, les pays du Balkan, la Turquie, Chypre, etc.

La cuisine contemporaine dans cette région utilise beaucoup d'huile d'olive, des plantes aromatiques, des légumes, des graines, du pain, des poissons et des produits de la mer, des viandes de toutes sortes, du lait et des produits laitiers fermentés, ainsi que des noix et du miel, en plus des produits issus de la vinification (sauf en principe pour les personnes pratiquant la religion musulmane ou d'autres croyances religieuses).

Au Maroc, le régime alimentaire est de type méditerranéen, bien qu'il existe des différences selon les régions. En gros, ce régime est basé sur une consommation élevée de céréales, avec une moyenne de 200 kg/habitant/an, contre 150 comme moyenne mondiale. La principale céréale est le blé tendre, qui se substitue progressivement aux céréales traditionnelles que sont le blé dur et l'orge, puis le maïs et le riz.

Les légumes et les fruits prennent également une part importante dans la ration.

En revanche, la consommation des produits d'origine animale, pourvoyeurs de protéines de bonnes valeurs nutritives (notamment les viandes rouges, bovines et ovines) reste limitée. Cependant, la viande de volaille se substitue à ces dernières, sa consommation étant passée de 5,5 à 18 kg/habitant/an de 1980 à nos jours. La consommation des poissons reste également relativement limitée bien que le pays dispose d'une richesse halieutique considérable.

La consommation des légumineuses en sec (lentille, pois chiche, petit pois sec et fève sèche) est notable. Celle des matières grasses (huiles, beurre et autres corps gras) l'est également. Cependant, le prix élevé de l'huile d'olive fait qu'elle a tendance à être délaissée au profit des huiles de table extraites des graines oléagineuses et raffinées (tournesol, soja, colza ou leurs mélanges).

La consommation des œufs est nettement en hausse, passant de 34 unités/habitant/an en 1980 à 180 aujourd'hui.

D'une façon générale, on consomme peu de lait et de produits laitiers. Cependant cette consommation est en hausse avec, toutefois, de grandes disparités entre les milieux urbain et rural.

Le sucre et les produits sucrés sont abondamment utilisés, surtout à travers une consommation quotidienne très importante de thé. En moyenne, le marocain consomme 36 kg de sucre par an, ce qui est très élevé par rapport à la moyenne mondiale de 20 kg/habitant/an.

La figure 9.8.2 donne l'évolution du modèle de consommation alimentaire au Maroc entre 1984-87 et 1991-93, sous forme de rosace à 8 rayons ou d'octogone alimentaire (voir *Généralités*, p. 190). Les 8 éléments de l'octogone dans le cas du Maroc sont : 1 : Céréales, 2 : Fruits et légumes, 3 : Légumineuses en secs, 4 : Poisson, 5 : Viandes et œufs, 6 : Lait et dérivés, 7 : Matières grasses, 8 : Sucre et miel. Ces données, assez anciennes, sont malheureusement les seules dont nous disposons à cet égard, sachant que le régime alimentaire au Maroc se modifie et se diversifie en fonction du niveau de vie et de l'urbanisation.

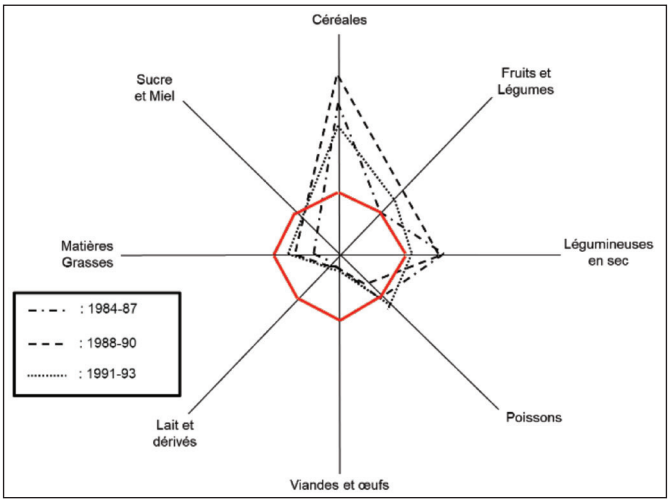


Figure 9.8.2- Evolution du modèle de consommation au Maroc entre 1984-87 et 1991-93

Régime alimentaire sud-américain

Le régime alimentaire sud-américain est caractérisé la plupart du temps par l'utilisation d'aliments frais et sains.

Il se compose de :

- féculents comme les céréales (riz), le quinoa, les légumineuses (haricot rouge et noir ou *feijão* au Brésil) et la pomme de terre. Le quinoa est une pseudo-céréale qui peut remplacer en accompagnement le riz, la semoule et les pâtes; le quinoa ne contenant pas de gluten, il peut être utilisé dans le cas de l'intolérance au gluten[5];

5- *Un plat préféré et traditionnel en Amérique du Sud comme au Brésil est celui composé de haricot noir et de riz. Ce plat constitue un très bon exemple de supplémentation protéique comme c'est le cas au Maroc pour le couscous au pois-chiche ou le saikouk (semoule cuite de blé, de maïs ou d'orge, arrosée de lben).*

- légumes frais consommés comme crudités, notamment la tomate, le piment, le poivron et l'avocat;
- fruits frais variés et colorés;
- viandes (principalement poulet et bœuf);
- poissons (surtout dans les zones côtières).

Régime alimentaire saharien

Le régime alimentaire saharien est peu diversifié et repose largement sur les céréales, celles-ci étant utilisées sous des formes variées.

Ainsi, le riz est arrosé de *smen*[6] avec des haricots blancs et, plus rarement, des légumes. Un repas de prestige préparé pour les festivités est fait de viande bouillie accompagnée de riz.

On confectionne également du couscous à partir du mil, du petit mil, du blé ou, plus rarement, de l'orge. On prépare aussi des galettes à partir de la farine. On note par ailleurs l'utilisation de plus en plus des pâtes alimentaires.

Cette alimentation de base est complétée par la consommation du lait (notamment de chamelle et de chèvre) et de ses dérivés et de la viande, dans une moindre mesure.

Régime alimentaire africain sub-saharien

Le régime alimentaire africain sub-saharien a une base commune dans tous les pays de la région.

Les principaux composants de base sont :

- les féculents comprenant les céréales, les tubercules (igname, manioc, patate douce, taro ou légume-racine, macabo, malanga ou chou caraïbe). Le riz est la céréale de base, mais on consomme aussi le maïs entier ou en farine, le blé sous forme de pain ou de semoule, puis le millet et le petit mil;
- les légumes, notamment les légumes feuilles comme les feuilles de manioc, d'igname ou de gombos, puis les tomates, les aubergines et les piments;
- les fruits, dont la consommation, variable selon les régions, reste néanmoins faible;
- les matières grasses, représentées essentiellement par l'huile et la pâte d'arachide et l'huile de palme;
- les viandes, poissons et œufs, dont la consommation dépend des disponibilités et des régions; dans les zones côtières, en particulier, on note une forte consommation de poissons frais, séchés, fumés, ainsi que des coquillages et des crustacés;

6- *Le smen, appelé parfois à tort «beurre rance», est préparé à partir de beurre fermier salé et gardé au frais et à l'obscurité pendant des semaines, voire des mois.*

- le lait et dérivés sont peu présents de manière générale;
- les boissons les plus consommées sont les boissons alcoolisées, les sodas et le thé sucré;
- les produits sucrés, plus généralement, sont surtout consommés dans les zones urbaines;
- les sauces, surtout à base d'épices, de poissons séchés, d'oignons et de tomate concentrée, occupent une place importante dans l'alimentation africaine.

Régime alimentaire occidental

L'alimentation du type occidental est caractérisée par une consommation élevée de produits sources de protéines et de lipides, principalement d'origine animale, comme les viandes. Les huiles sont surtout végétales et raffinées.

On observe également une consommation plutôt faible de glucides. Ceux-ci proviennent principalement des céréales raffinées, comme la farine blanche et le riz blanc, et des légumineuses. La consommation de fibres est plutôt faible, celles-ci sont surtout apportées par les fruits et les légumes. La consommation des produits laitiers et dérivés est plutôt élevée, de même que celle du sucre raffiné et des produits sucrés et celle d'alcool.

9.9- Régimes spéciaux

Végétarisme et autres régimes associés

Pour des raisons diverses, certaines personnes s'imposent un régime alimentaire comportant certaines restrictions, notamment en ce qui concerne les produits d'origine animale. A côté du végétarisme, on distingue différentes catégories de régimes dont notamment le végétalisme et le flexitarisme[7].

Végétarisme

Une personne végétarienne ne consomme ni de la viande (bœuf, mouton, porc, volailles, gibier, poisson, etc.), ni aucun produit issu de l'abattage des animaux (gélatine, présure) ou de la capture de poissons (caviar).

Des variantes sont l'ovo-végétarisme, le lacto-végétarisme et l'ovo-lacto-végétarisme, consistant à ne consommer que des produits végétaux, mais avec les œufs, le lait et ses dérivés ou les deux, respectivement. Cependant, un végétarien peut consommer du miel, qui est pourtant un produit animal.

7- *Il existe un autre mode de consommation appelé le véganisme qui consiste à ne pas utiliser les produits d'origine animale, non seulement dans l'alimentation, mais aussi dans tous les aspects de la vie, notamment l'habillement (laine, cuir, fourrures, soie, etc.), le principe étant de s'opposer à toute forme d'exploitation des animaux.*

Végétalisme

Une personne végétalienne ne consomme strictement aucun produit issu de l'exploitation des animaux. Il s'agit donc d'un régime végétarien strict. Outre la chair animale, les végétaliens s'interdisent donc la consommation des œufs, du lait et des produits laitiers, et même du miel.

Flexitarisme

Le flexitarisme ou semi-végétarisme est un régime alimentaire de transition vers le végétarisme. Il consiste à utiliser tous les groupes d'aliments mais avec des fréquences variables. Ainsi, si les céréales, les légumineuses, les légumes, les fruits, les œufs, les produits laitiers et les matières grasses peuvent être consommés quotidiennement, les viandes et les poissons ne le sont qu'occasionnellement et dans des proportions réduites. Les flexitariens le deviennent généralement pour des raisons relatives au bien-être des animaux et à la santé humaine et pour des considérations écologiques.

En cas d'adoption d'un de ces régimes alimentaires, pour quelque raison que ce soit, il faut veiller à assurer la couverture de tous les besoins nutritionnels nécessaires à la croissance de l'organisme, à son développement et aux différents états physiologiques. Il faut aussi s'assurer que les index nutritionnels sont respectés, tout en ayant à l'esprit les équivalences nutritionnelles entre les différents aliments, ainsi que les possibilités de substitution. Rappelons à ce propos qu'il n'existe aucun aliment vide et que l'alimentation ne vaut que par sa diversification, sa complémentarité et les possibilités de substitutions inter-alimentaires.

Par ailleurs, la diminution de la consommation de viandes (surtout rouges) aurait des impacts positifs sur la prévention de certains cancers du tube digestif, surtout celui de côlon. En réalité, d'un point de vue strictement sanitaire, ce sont la qualité, l'origine et la fréquence de consommation des viandes (rouges) qui doivent être prises en considération pour éviter les problèmes, la règle d'or étant la modération.

Nutrition et jeûne

L'histoire nous apprend que, depuis le Paléolithique, il y a plus de 250.000 ans, nos ancêtres avaient l'habitude de jeûner. Mais ils y étaient forcés, à cause de l'hiver ou de la disette.

La religion va ensuite instaurer le jeûne, pour des périodes régulières ou ponctuelles, comme un rite que l'on retrouve encore aujourd'hui dans de nombreux cultes : *ramadan* pour les musulmans, *carême* pour les chrétiens, *achoura* pour les juifs, *ekadashi* pour les hindouistes, *pattapindika* pour les bouddhistes, etc.

De nos jours, on observe un intérêt accru pour le jeûne comme une pratique ayant un excellent impact sur la santé. Cet intérêt se reflète sur le nombre d'études scientifiques publiées sur le sujet, qui a frôlé les six mille en 2018.

Effets du jeûne sur la santé

Le simple fait d'arrêter de manger pendant quelques heures permet à tous les organes digestifs de se reposer, en particulier le foie, l'estomac, le pancréas, l'intestin, etc. Si, en plus, on se prive de boissons, les reins se reposent également.

On sait aujourd'hui que le jeûne stimule *l'autophagie*, un mécanisme qui permet au corps de fabriquer ses propres défenses, attaquant les virus et procédant plus rapidement aux «réparations» nécessaires après toute agression. De plus, le jeûne est assez efficace également contre les maladies auto-immunes.

En cas de cancer, le fait de jeûner peut, d'une part, rendre les cellules cancéreuses plus sensibles à la chimiothérapie et, d'autre part, aider à la reconstitution du système digestif après un tel traitement et, de façon générale, réduire les effets secondaires de ces traitements.

Le jeûne intermittent, en particulier, tels que celui pratiqué pendant le *ramadan* par exemple, a des effets extrêmement positifs sur la santé :

- réduction du risque de cancer du sein;
- réduction du risque de maladies cardiaques due à la chute de la tension et du taux de triglycérides et à l'augmentation du taux de bon cholestérol;
- avec un régime de moins de 1000 kcalories par jour pendant trois jours, amélioration des symptômes associés aux maladies auto-immunes telles que la sclérose en plaques (durcissement des tissus) et le lupus (maladie de la peau due au bacille tuberculeux);
- réduction de la résistance à l'insuline et augmentation du métabolisme (recommandé aux patients souffrant de problèmes de glycémie);
- réduction de la ghréline (hormone de la faim secrétée par l'estomac) et amélioration du fonctionnement de la leptine (hormone également gastrique qui régule les réserves de graisses dans l'organisme et l'appétit en contrôlant la sensation de satiété), facilitant ainsi la perte de poids; en effet, quand la leptine répond moins bien, l'organisme stocke les graisses au lieu de les utiliser;
- effet sur les maladies dégénératives comme Alzheimer et Parkinson;
- réduction de l'inflammation dans l'intestin, avec amélioration des problèmes de cet organe, tels que le syndrome du côlon irritable ou la maladie de Crohn.

Les effets rapidement visibles du jeûne sont un accroissement quasi instantané de la vitalité et la sensation que la fatigue a disparu. La privation de nourriture a aussi un impact très favorable sur la dépression, les sautes d'humeur, le stress et l'anxiété. Par ailleurs, quelques jours de jeûne peuvent suffire à résoudre des problèmes de peau, à se débarrasser de boutons réfractaires à toutes sortes de traitements.

Il faut cependant bien garder à l'esprit que toute privation de nourriture ne servirait à rien si, dès la rupture du jeûne, on s'empresse de surconsommer, surtout si la qualité d'une alimentation équilibrée n'est pas strictement respectée.

Physiologie du jeûne prolongé

En général, en cas de jeûne prolongé (plusieurs jours), l'organisme gère le manque d'apport alimentaire de la manière suivante :

- le premier jour de jeûne, il puise dans le sang tout le glucose qui vient du dernier repas;
- ensuite, l'organisme commence à puiser dans ses propres réserves (glycogène hépatique et musculaire). Puis ce sont d'abord les acides aminés qui seront utilisés à travers la gluconéogenèse, et toutes les protéines glyquées, abîmées. Cette phase peut se prolonger pendant 24 heures, durée nécessaire pour que le corps intègre bien cet état de «privation»;
- par la suite, l'organisme va entamer ses réserves de graisse avec, notamment, la transformation des triglycérides en corps cétoniques, induisant un état de cétose, état pathologique lié à l'accumulation des corps cétoniques, avec une acidité plus forte du corps. Tout au long du jeûne, ces corps cétoniques vont servir de «carburants» pour l'organisme. Ainsi, pendant des jours, le corps va se nourrir des lipides du corps pour éviter de gaspiller les protéines.

Nutrition et sport

Le sport a des effets évidents sur la santé et le bien-être :

- renforcement du cœur et régulation de la tension;
- maintien du capital musculaire;
- accroissement du capital osseux;
- amélioration du transit digestif et augmentation de l'appétit;
- meilleure respiration;
- fitness et tonicité;
- amélioration du bien-être général (hormones du bonheur : endorphine et sérotonine);
- amélioration des performances intellectuelles;
- évacuation du stress;
- volonté et ténacité;
- amélioration de la qualité du sommeil;
- valeurs éducatives : respect, politesse, etc.;
- création de liens sociaux.

Il existe plusieurs types d'activités physiques et sportives :

- activités sédentaires (ménagères);
- sports esthétiques (gymnastique, danse, etc.);
- sports d'endurance (cyclisme, course, natation, etc.);
- sports puissants (haltérophilie, sprint, boxe, etc.);
- sports collectifs (football, basketball, etc.).

La nutrition sportive s'adresse aux sportifs pratiquant des séances de sport de plus d'une heure ou d'une haute intensité et plus de quatre fois par semaine.

Les régimes alimentaires doivent être prescrits en fonction des activités sportives entreprises. Pour les personnes ayant une activité physique modérée (séances de moins d'une heure et moins de quatre fois par semaine), une alimentation équilibrée et une bonne hydratation sont suffisantes. Le régime alimentaire *spécial sport* s'adresse donc aux personnes pratiquant des activités physiques à haute intensité.

Les conséquences d'une mauvaise alimentation et nutrition chez le sportif de haut niveau sont multiples : baisse de la performance, mauvaise récupération, risque d'hypoglycémie, augmentation des risques d'accidents et de blessures.

Par conséquent, l'alimentation du sportif doit couvrir tous les besoins liés aux grandes dépenses d'énergie et apporter les nutriments dont l'organisme a besoin pour réaliser les performances, d'une part, et pour récupérer, d'autre part. D'une façon générale, il faudrait miser sur :

- la consommation de glucides dont l'assimilation est rapide (saccharose) en cas d'effort intense et court, d'autres à assimilation lente (amidon) dans les sports d'endurance, ou les deux, selon les cas;
- la consommation de protéines maigres;
- la réduction de la consommation de matières grasses, surtout animales;
- la consommation d'aliments en relation avec leur tolérance;
- la consommation d'eau et d'autres boissons pour une bonne réhydratation.

Le régime alimentaire du sportif doit :

- apporter suffisamment d'énergie afin de couvrir les besoins dus à l'effort;
- augmenter les performances et l'endurance;
- réduire le temps de récupération;
- éviter l'hypoglycémie et les étourdissements;
- limiter les risques de blessures;

- accroître la coordination;
- éviter la fonte musculaire;
- éviter le vieillissement prématuré dû au stress oxydatif.

On peut donc dresser les grands caractères du régime alimentaire du sportif :

- sources de glucides : pain complet, céréales complètes, pâtes complètes, riz brun, couscous, légumineuses, etc.;
- sources de protéines, surtout protéines maigres : volailles sans peau, poissons et fruits de mer, viandes maigres, foie et rognons avec modération, lait, fromages et laitages, légumineuses;
- sources d'antioxydants : produits végétaux rouges, légumes colorés, raisins, figues, agrumes, asperges, oignon, artichaut, persil, etc.;
- sources de matières grasses riches en acides gras des types oméga 3 et oméga 6 avec un bon rapport oméga 3/oméga 6, ($\omega 3/\omega 6 = 1/4$ au maximum);
- hydratation (avec électrolytes);
- alimentation fractionnée et bien répartie;
- calme et sérénité.

Par ailleurs, les aliments déconseillés au sportif de haut niveau sont :

- les aliments riches en graisses, surtout saturées;
- les produits trop raffinés;
- les produits sucrés;
- les aliments stimulant le péristaltisme intestinal (trop d'épices);
- l'alcool et, surtout, le tabac.

En cas d'activité musculaire modérée, une quantité suffisante d'ATP est synthétisée à partir du stock de glycogène musculaire. En revanche, en cas d'exercice sportif rapide ou intense, la contraction musculaire a lieu dans des conditions d'anaérobiose (absence d'oxygène) puisque, dans ces conditions, l'oxygène est utilisé plus rapidement qu'il n'est apporté aux cellules.

Lorsque la dégradation du glucose au sein des cellules musculaires se fait en l'absence d'oxygène, le système de transport des électrons ne fonctionne plus et la cellule doit alors trouver d'autres moyens pour réoxyder le NADH en NAD^+ et c'est alors la fermentation lactique qui a lieu. Dans ces conditions, l'acide pyruvique issu de la dégradation du glucose est réduit en acide lactique (lactate), cependant que le NADH est oxydé en NAD^+, cette réaction étant catalysée par l'enzyme lactico-déshydrogénase.

Ainsi, la glycolyse fournit l'énergie pour la contraction musculaire de même que l'activité respiratoire. L'ATP formée, ainsi que la créatinine-phosphate, sont des sources d'énergie qui peuvent être rapidement utilisées, mais la recharge de l'énergie de l'ATP par la phosphorylation oxydative demande beaucoup de temps et a lieu durant la période de récupération.

L'acide lactique formé sera reconverti en glucose (par la gluconéogenèse), puis en glycogène. L'acide lactique peut aussi disparaître quand le muscle «fatigué» est à nouveau exposé à l'oxygène.

Nutrition et gériatrie

La dénutrition a ses causes et ses risques. Chez la personne âgée, elle est souvent multifactorielle. Les principaux facteurs qui peuvent l'expliquer sont :

- une maladie physique comme les troubles digestifs, les infections, le cancer, etc.;
- un handicap ou une mobilité réduite;
- la dépression, l'anxiété, etc.;
- un handicap mental;
- une maladie neurologique : démence, Alzheimer, Parkinson, etc.;
- l'isolement, la dépendance;
- les soucis familiaux et relationnels;
- les troubles bucco-dentaires : maladies des dents et des gencives et problèmes liés aux prothèses;
- certains traitements médicamenteux;
- des opérations chirurgicales.

Si, à tout âge, l'individu doit consommer une variété d'aliments en quantité suffisante et adéquate (glucides, protéines, lipides, vitamines et minéraux) pour satisfaire les besoins nutritionnels de son organisme, chez les personnes âgées, certains aliments ont une importance particulière. C'est notamment le cas des protéines (viandes, poissons, œufs, produits laitiers, légumineuses, noix, grains), du calcium, de la vitamine D et des fibres.

Par ailleurs, les formes des plats et des préparations culinaires doivent être adaptées pour cette catégorie de personnes, compte tenu notamment de leur état physiologique et de leur dentition.

Alimentation entérale et parentérale

Outre la voie classique de consommation (voie orale), il existe de nouvelles formes d'alimentation, notamment l'alimentation dans l'Espace et l'hyperalimentation, c'est-à-dire la prise en charge nutritionnelle des malades et des blessés.

Il s'agit, dans ce dernier cas en particulier, d'un traitement qui peut emprunter la voie gastrique (alimentation entérale) ou la voie intra-veineuse (alimentation parentérale). Les patients peuvent généralement être nourris à travers une de ces voies. Cependant, dans beaucoup de cas, les deux approches peuvent être adoptées, et de façon complémentaire. Dans le cas extrême où le patient ne peut pas, ou ne veut pas, s'alimenter, la voie naso-pharyngiale est alors utilisée.

L'alimentation intraveineuse (IV) ou hyperalimentation ou nutrition parentérale totale (*Total Parenteral Nutrition*, TPN ou Nutrition Parentérale Totale) demande beaucoup d'expertise et de connaissances en ce qui concerne la formulation et la préparation des solutions, dont la stérilité doit être garantie. Les solutions de la TPN contiennent généralement du glucose, des acides aminées, des minéraux, des vitamines et des lipides. La TPN nécessite évidemment de l'eau.

Les nutritionnistes et les diététiciens, à côté des médecins spécialistes, doivent conjuguer leurs efforts pour atteindre l'objectif de nourrir correctement les patients selon leur état et leurs conditions, et plus particulièrement ceux ayant subi des opérations chirurgicales.

10- Physiologie de la nutrition

10.1- Généralités

Toute cellule vivante doit recevoir les nutriments dont elle a besoin pour sa survie et, éventuellement, ses productions spécifiques et sa division. Elle doit aussi être en mesure de se débarrasser des déchets de son métabolisme pour éviter leur accumulation, qui pourrait représenter un danger pour elle.

Dans un organisme pluricellulaire complexe comme le corps humain, plusieurs organes et systèmes sont sollicités pour réaliser la nutrition de chaque cellule et l'évacuation de ses déchets.

D'abord, c'est dans le système digestif que se déroule le processus de *digestion*, c'est-à-dire la transformation des aliments consommés, non utilisables tels quels, en nutriments capables de passer à travers la membrane cellulaire. C'est aussi à partir du système digestif que se fait le phénomène d'*absorption* des nutriments (leur passage dans le sang et la lymphe), d'une part, et celui du rejet d'une grande partie des déchets sous forme de fèces, d'autre part. L'intégrité anatomique et physiologique du tube digestif est fondamentale pour le phénomène de la digestion et l'absorption des aliments.

Le système circulatoire, lui, assure la diffusion des nutriments dans l'ensemble de l'organisme – à travers la veine porte, puis la circulation générale jusqu'aux capillaires – transporte l'oxygène depuis les poumons jusqu'aux cellules pour permettre la *combustion* des nutriments à travers la respiration afin de fournir l'énergie aux cellules, puis débarrasse ces dernières du dioxyde de carbone CO_2 qui résulte de cette combustion.

Quant au système respiratoire, il fournit l'oxygène et élimine le CO_2.

Par ailleurs, les reins, en filtrant le sang, lui permettent de retenir les nutriments et de se débarrasser des déchets à travers les urines.

Puis le système hormonal fournit toutes les hormones nécessaires à la réalisation des différents processus, tout en respectant un certain nombre d'équilibres.

Enfin, la peau participe à l'élimination de l'eau et des électrolytes, comme elle élimine aussi des cellules mortes par desquamation et contribue à l'absorption (cas de l'iode dans les zones côtières, par exemple).

10.2- Digestion, absorption

Digestion

La digestion est le processus par lequel les grosses molécules ingérées dans l'alimentation sont transformées en molécules plus petites capables de traverser la membrane cellulaire. Ainsi, les glucides de la ration alimentaire sont dégradés en oses, les lipides en acides gras et glycérol, et les protéines en peptides et en acides aminés.

Cette dégradation des aliments fait appel à des phénomènes physiques, chimiques et biochimiques, avec l'intervention d'enzymes et d'hormones spécifiques, et ce, tout le long du tube digestif depuis la bouche jusqu'au gros intestin.

Structure du tractus gastro-intestinal et trajet des aliments

La structure musculaire du tube digestif lui permet d'assurer une première fonction, celle de faire avancer le bol alimentaire formé dans la bouche. Ensuite, grâce aux sucs digestifs secrétés par ses nombreuses glandes, le tube digestif assure la transformation chimique et biochimique des aliments.

La digestion commence dans la bouche, où l'aliment est broyé grâce à la mastication – d'où la nécessité d'une bonne dentition – tout en étant mélangé à la salive qui a pour rôle de ramollir la nourriture, de la lubrifier à l'aide du mucus et de commencer la dégradation biochimique par le biais des enzymes salivaires.

Après la déglutition (passage de la nourriture de la bouche à l'œsophage), le bol alimentaire traverse l'œsophage et se retrouve dans l'estomac. Il atteint les régions du fundus et du pylore (figure 10.2.1) comportant une grande concentration de glandes qui secrètent le suc gastrique contenant de la pepsine (protéase), de l'acide chlorhydrique et du mucus. Mélangé à ce suc, le bol alimentaire forme le *chyme*, une sorte de bouillie formée par la masse alimentaire au moment où elle passe dans l'intestin après avoir subi l'action de la salive et du suc gastrique. Après un séjour plus ou moins long, ce produit semi-liquide va donc être évacué vers le duodénum par contraction stomacale.

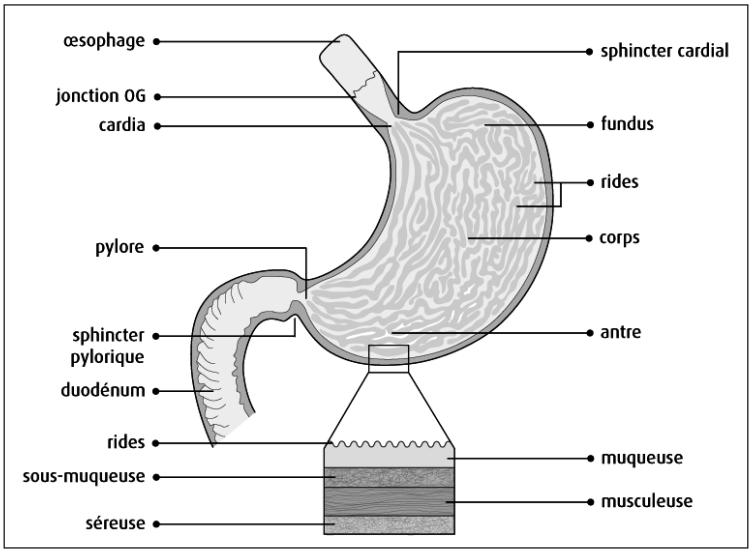


Figure 10.2.1- Anatomie de l'estomac humain

Le désemplissage de l'estomac est plus ou moins rapide selon la nature des aliments. S'il demande 3 heures en moyenne pour un repas mixte ordinaire, il peut se faire en 30 minutes pour un repas léger à base de glucides, comme il peut exiger jusqu'à 6 heures pour un repas lourd riche en protéines et en lipides.

Dans la partie supérieure du duodénum, les sucs pancréatiques et intestinaux s'attaquent au chyme qui, grâce au péristaltisme (contraction des muscles de l'intestin), est progressivement dirigé vers le gros intestin. Avec un péristaltisme intense, le séjour dans l'intestin grêle est relativement bref, mais c'est au détriment de la digestion et de l'absorption, qui ne se font pas complètement alors.

Il faut préciser que l'intestin humain mesure 7 à 8 mètres de long et que la surface d'absorption de la muqueuse intestinale est de l'ordre de 32 m^2. Avec ses deux parties (intestin grêle et gros intestin), il constitue la partie du corps qui assure l'assimilation des nutriments provenant des aliments et leur passage dans le sang et la lymphe. Il est donc perméable aux nutriments mais constitue, s'il est en bonne santé, une barrière infranchissable pour certains microbes, bien qu'il soit le lieu d'une intense activité microbienne (voir *Pro-biotiques et pré-biotiques*, p. 185). Le gros intestin, plus particulièrement, est une sorte de réservoir où les résidus alimentaires vont se concentrer en perdant une partie de leur eau, avant d'être évacués sous forme de fèces.

Tous ces phénomènes de la digestion sont possibles grâce à une structure appropriée du tractus gastro-intestinal, d'une part, et à un ensemble de sucs, d'autre part. En effet, aussi bien l'intestin que l'estomac sont dotés d'un revêtement musculaire qui assure, par ses contractions, la poussée des aliments dans le tube digestif. La paroi du canal alimentaire est recouverte sur toute sa longueur d'une muqueuse, puis de deux revêtements musculaires, le premier constitué de fibres circulaires, l'autre de fibres

longitudinales. La contraction des muscles circulaires provoque la compression du contenu du tube digestif contre la paroi interne, ce qui a pour effet de diviser les aliments en fragments plus petits et de bien les mélanger avec les sucs digestifs. Quant aux muscles longitudinaux, ils provoquent, en se contractant, la poussée du bol alimentaire.

L'estomac inférieur présente, outre ces deux types de revêtement musculaire, un troisième formé de fibres diagonales, si bien que les mouvements y sont plus variés que dans l'intestin, et en particulier dans le dernier tiers de l'estomac où on assiste à un bon mélange des aliments avec les sucs gastriques.

Rythmiques et périodiques, toutes ces contractions musculaires, qui se font sous l'influence du nerf vague, constituent le *péristaltisme* du tube digestif, déjà évoqué plus haut.

Dans la muqueuse bordant la cavité luminale du tube digestif se trouvent un certain nombre de glandes qui secrètent les sucs digestifs :

- le suc salivaire dans la cavité buccale;
- le suc stomacal dans l'estomac;
- la bile (suc biliaire) fabriquée par le foie et stockée dans la vésicule biliaire pour être déversée ensuite dans l'intestin supérieur;
- le suc pancréatique élaboré dans le pancréas et rejoignant le tube digestif au niveau de l'intestin supérieur également;
- le suc intestinal : les cellules de la muqueuse intestinale produisent un certain nombre d'enzymes (disaccharidases pour dégrader les disaccharides, peptidases pour décomposer les peptides et entérokinase pour activer le trypsinogène en trypsine, enzyme catalysant la décomposition des protéines).

Au niveau de l'intestin grêle, on définit le *chyle*, liquide blanchâtre d'aspect laiteux présent dans les vaisseaux lymphatiques de cet intestin lors de la digestion, les *vaisseaux chylifères*. Le chyle est constitué d'un mélange de lymphe, de graisses et de sucs digestifs absorbés dans le jéjunum et l'iléum. La lymphe est un liquide biologique blanchâtre ou jaunâtre circulant au sein de l'organisme dans son propre réseau de vaisseaux, le réseau lymphatique, avant de rejoindre le sang veineux. Au niveau de l'intestin, les capillaires lymphatiques qui transportent le chyle vers le sang constituent ce qu'on on appelle les vaisseaux chylifères.

Il est à noter que, pour les 3 classes d'aliments, la digestion se fait essentiellement dans l'intestin. Néanmoins, la digestion des glucides commence dans la bouche grâce à l'amylase salivaire, et celle des protéines commence dans l'estomac. C'est la digestion des lipides qui est la plus laborieuse, car ils doivent d'abord être émulsionnés par la bile avant de pouvoir être attaqués par les lipases. Par ailleurs, la bile a aussi pour rôle d'activer la lipase intestinale.

Le foie joue un rôle prépondérant. Le métabolisme et la survie de tous les organes et les tissus en dépendent. Il est en effet le «chimiste» de l'organisme. Les principales fonctions qu'il remplit sont les suivantes :

- l'approvisionnement d'une grande variété de tissus et organes en énergie, le «carburant» métabolique;
- l'élimination des déchets métaboliques, soit par conversion de ces déchets en un autre «carburant» métabolique qui pourrait être utilisé par d'autres tissus, soit par éjection de ces déchets à travers la bile dans les matières fécales ou encore leur conversion en éléments solubles qui seront ensuite éliminés par les urines;
- la synthèse de substances que les autres tissus sont incapables de synthétiser mais qui en ont besoin pour leur structure (telles que la choline pour le cerveau) ;
- la détoxification de l'organisme en éliminant les toxines et les métabolites provenant des médicaments, des drogues, des hormones.

Les secrétions des sucs digestifs sont influencés par divers stimuli de nature psychique, nerveuse et hormonale. Si le fait de voir des aliments ou de sentir leur odeur, ou simplement d'y penser, stimule les sécrétions salivaires et gastriques, les fortes émotions, l'angoisse, la fatigue ou la fièvre peuvent, au contraire, les inhiber.

Principales enzymes digestives

Pepsinogène/pepsine

La pepsine est une enzyme qui catalyse la dégradation des protéines du bol alimentaire. Elle est synthétisée par les cellules principales de la muqueuse du fundus de l'estomac (voir figure 10.2.1 ci-dessus) sous la forme d'un précurseur (proenzyme ou zymogène) inactif, le pepsinogène. Ce pepsinogène est stocké dans les vésicules enzymatiques des cellules principales, d'où il est excrété au moment de la digestion.

Cette activation du pepsinogène en pepsine se fait à travers une hydrolyse dans le milieu acide de l'estomac, sous l'action de l'acide chlorhydrique HCl, qui est secrété par les cellules pariétales de la muqueuse gastrique. Une fois activée, la molécule de pepsine active elle-même d'autres molécules de pepsinogène dans un processus d'autocatalyse.

Le pH optimum d'action de la pepsine se situe entre 1,4 et 4,4.

Chez l'Homme, on distingue la pepsine A et la pepsine C ou gastriscine, aux propriétés catalytiques légèrement différentes.

La pepsine coupe les liaisons peptidiques des protéines situées avant les acides aminés aromatiques (tyrosine, phénylalanine, etc.).

Trypsinogène/trypsine

Le trypsinogène est une protéine secrétée par le pancréas. Il s'agit d'un précurseur inactif de la trypsine, enzyme qui dégrade les protéines. Le trypsinogène est activé par l'action des entérokinases présentes au niveau de la membrane des cellules épithéliales de l'intestin. Une fois activée, la trypsine peut activer davantage de trypsinogène.

L'activité de la trypsine est maximale à pH 8 et à 37 °C.

La trypsine humaine est un mélange de 3 enzymes qui décomposent les protéines dans l'intestin grêle : trypsine-1 ou trypsine cationique, trypsine-2 ou trypsine anionique et trypsine-4 ou mésotrypsine. La carence en trypsine-1 entraine une malnutrition due à un déficit en protéines et AA.

Entérokinases

Dans l'intestin, le contact du chyme avec la muqueuse stimule la libération d'entérokinases qui, comme nous venons de le voir, transforment le trypsinogène pancréatique inactif en trypsine active. Les entérokinases activent d'autres enzymes protéolytiques comme la chymotrypsine et les carboxypeptidases.

Chymotrypsine

C'est une peptidase digestive secrétée par le pancréas. Elle fait partie des protéases à sérine. Elle provient d'une proenzyme appelée chymotrypsinogène qui doit être activée pour donner de la chymotrypsine. Cette activation est provoquée par la trypsine qui coupe la molécule de chymotrypsinogène en deux chaînes protéiques, l'une d'elles étant la chymotrypsine.

Carboxypeptidases

Ce sont des enzymes d'origine pancréatique et intestinale présentes dans le duodénum. Elles hydrolysent les polypeptides en enlevant un AA à la fois et ce en commençant par l'extrémité du polypeptide qui possède un groupement carboxylique libre.

Lipases

Les lipases sont des enzymes hydrosolubles capables d'effectuer l'hydrolyse des fonctions esters et sont donc spécialisées dans la dégradation des triglycérides, diglycérides et monoglycérides en glycérol et acides gras. Les lipases sont des glycoprotéines associant une partie sucres et une partie AA.

La lipase pancréatique est une enzyme digestive secrétée par le pancréas et déversée dans l'intestin grêle. Le nouveau-né a la particularité d'avoir une lipase gastrique qui a une action spécifique sur une variété particulière de triglycérides à chaînes moyennes présents dans le lait maternel. Mais cette lipase gastrique diminue avec l'âge.

Amylase

L'amylase ou α-amylase est une enzyme digestive faisant partie des saccharidases qui dégradent les polysaccharides. C'est un constituant de la salive et du suc pancréatique, requis pour le catabolisme des glucides à longue chaîne comme l'amidon en unités plus petites. Elle est produite sous forme de 2 groupes d'isoenzymes génétiquement distincts selon leur origine : S-amylase pour la salive et P-amylase pour le pancréas.

On trouve également de l'amylase dans les larmes, le lait maternel, la sueur ainsi que dans d'autres cellules ou organes : leucocytes, plaquettes sanguines, entérocytes, poumons, prostate, appareil génital féminin. Elle est filtrée par les glomérules des reins et éliminée dans les urines.

L'amylase est aussi synthétisée dans les fruits de plusieurs espèces de plantes au cours de leur maturation, ce qui leur donne un goût doux et sucré, et dans les graines pendant le processus de germination.

Par ailleurs, l'amylase intervient dans la préparation du malt à partir de grains de céréales, notamment l'orge. Le maltage est une opération qui entre dans la préparation des grains de céréales en vue de la fabrication de bière. Il consiste à placer les grains dans des conditions adéquates de température et d'humidité afin de reproduire industriellement la germination, processus au cours duquel l'organisme végétal produit de nombreuses enzymes dont l'amylase qui lui permet d'utiliser les réserves d'amidon de la graine. Les sucres simples issus de cette dégradation sont ensuite transformés en éthanol par la levure au cours de l'étape de la fermentation.

Absorption

L'absorption est le passage des nutriments de l'intestin aux capillaires sanguins ou aux vaisseaux lymphatiques. Les petites molécules (oses, acides aminés et acides gras de moins de 10 atomes de carbone) passent sans le sang, alors que les autres produits issus de la digestion des lipides passent plutôt dans la lymphe.

C'est au niveau de l'intestin grêle que se fait l'essentiel de l'absorption des nutriments. Les repliements de la membrane de cet organe en villosités et microvillosités copieusement irriguées en vaisseaux sanguins et lymphatiques facilitent cette absorption, d'autant plus que les contractions musculaires maintiennent un contact intime du chyme avec la paroi intestinale. En temps normal, l'efficacité de ce processus est telle que les nutriments issus des glucides, des lipides et des protéines sont absorbés à 90%. Cependant, en cas d'irritation de l'intestin, pour diverses raisons, on assiste à une trop grande mobilité de cet organe, d'où un transit trop rapide de la nourriture et, donc, une absorption amoindrie. De même, l'absorption des lipides est réduite par le manque de bile.

La plupart des nutriments bénéficient d'un processus de transport actif, contre gradient, à travers la membrane intestinale, ce qui permet une absorption beaucoup plus rapide que par simple diffusion. Ce transport actif, qui concerne notamment

la plupart des acides aminés et de nombreux oses, met en œuvre des transporteurs spécifiques, avec la présence d'ions Na^+ et K^+ et exige une dépense d'énergie fournie par l'ATP. Le sodium Na^+ est le principal cation du fluide extracellulaire. L'osmolalité et le volume du fluide de l'organisme dépendent du Na^+ et de son rapport avec les autres ions. Le potassium K^+, lui, est le principal cation du fluide intracellulaire; cependant une faible quantité de cet ion se trouve dans le fluide extracellulaire. La figure 10.2.2 donne l'exemple du transport du glucose issu de la dégradation du saccharose avec l'aide de l'ion sodium Na^+ à travers la membrane cellulaire..

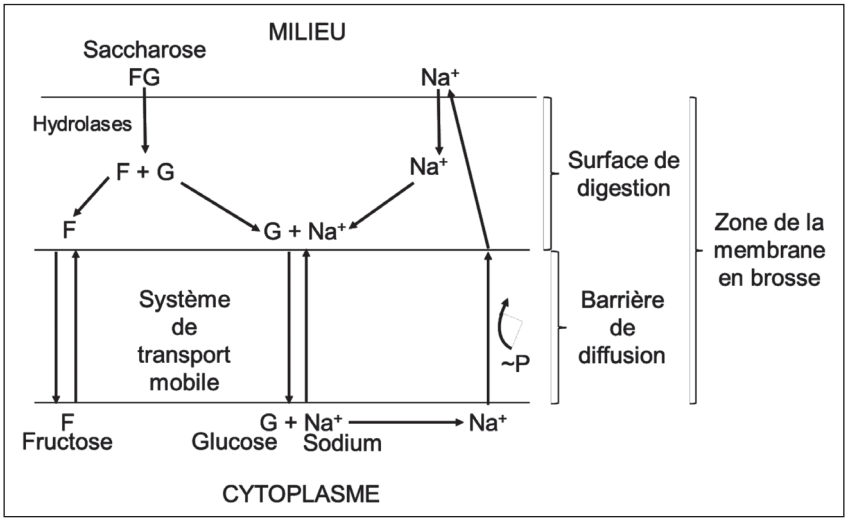


Figure 10.2.2- Activité fonctionnelle de la membrane en brosse de l'intestin dans la diffusion du fructose (F) et le transport combiné du glucose (G) et du sodium Na^+ à travers la membrane.

Il existe donc au niveau de la membrane cellulaire un système de transport actif, contre le gradient, des acides aminés et de nombreux oses. Il s'agit du système Na^+,K^+ ATPase. On parle alors de la pompe Na^+,K^+ ou de la pompe sodique tout comme il existe aussi un système Ca^{++},Mg^{++} ATPase.

Ce système nécessite une dépense d'énergie sous forme d'ATP. Il permet de rejeter le Na^+ qui aurait accompagné le glucose par exemple, à l'extérieur de la membrane et de faciliter l'entrée du K^+ à l'intérieur de celle-ci.

Donc, au cours de ce transport actif, le Na^+ accompagnant l'entrée du glucose dans la cellule doit ressortir et, inversement le K^+ doit rentrer.

Cette opération qui coûte de l'énergie s'opère comme suit:

$$aATP_i + bNa_i^+ cK_o^+ \longrightarrow aADP_i + a\,P_{ii} + bNa_o^+ + cK_i^+$$

i: "inside", intérieur; o: "outside", extérieur; Pi: phosphore inorganique;
a, b et c: nombres stœchiométriques

Ce système universel explique la haute concentration du K^+ et la faible concentration de Na^+ dans le fluide intracellulaire des cellules typiques.

Un exemple de ce sytème est celui dans lequel a = 1, b =3 et c = 2.

Tout dérèglement de ce système aurait des conséquences sur l'absorption et la réabsorption des acides aminés et de nombreux oses.

Concernant les lipides, les AG à courte chaîne (moins de 10 carbones) sont mieux absorbés que ceux à chaîne plus longue et ils passent directement dans le sang. Par ailleurs, les AG insaturés sont plus facilement absorbés que les AG saturés de même taille.

La bile joue un rôle important dans l'absorption des lipides et des vitamines liposolubles. Les lipides doivent d'abord être émulsionnés par la bile provenant du foie à travers la vésicule biliaire. La bile ne contient aucune enzyme, mais elle favorise l'émulsion des graisses, indispensable à l'action des lipases

Dans la muqueuse intestinale, se forment des triglycérides qui, combinés aux protéines sous forme de chylomicrons (voir *Chylomicrons et lipoprotéines*, p. 83), passent dans la lymphe (figure 10.2.3).

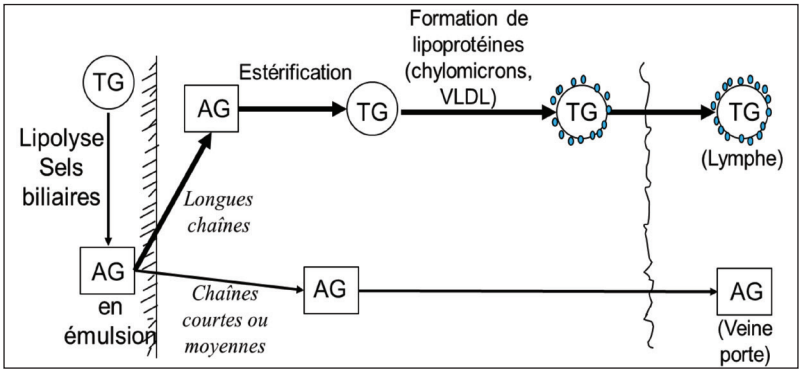


Figure 10.2.3- Prise (captage) des lipides par la muqueuse intestinale, leur métabolisme et leur transport dans la lymphe (chylomicrons) ou le sang (acides gras à courte chaîne)

(AG : acides gras; TG : Triglycérides; VLDL : Very low density lipoproteins)

Quant à l'absorption des minéraux, elle peut être entravée par certaines substances qui forment avec eux des composés insolubles. C'est notamment le cas de l'acide phytique qui peut se combiner au fer, au zinc, au calcium, etc. (voir *Acide phytique*, p. 174). A l'opposé, les substances réductrices (vitamine C) et les antioxydants stimulent l'absorption du fer, mieux absorbé sous sa forme réduite Fe^{2+} que sous sa forme oxydée Fe^{3+}. Par ailleurs, la vitamine D et le lactose favorisent l'absorption du calcium.

Plusieurs types de facteurs peuvent troubler la digestion des aliments et l'absorption des nutriments. Ces facteurs sont essentiellement d'ordre nutritionnel, alimentaire ou nerveux.

Sur le plan nutritionnel, toute carence en un nutriment donné peut se répercuter sur l'utilisation des autres nutriments et sur le fonctionnement du tube digestif. A titre d'exemples, une carence en vitamine B1 (thiamine) se traduit par un manque d'appétit alors que des diarrhées sont observées en cas de manque de vitamine PP (niacine) et qu'un apport insuffisant en fer entraine une baisse de la sécrétion gastrique. Par ailleurs, un apport suffisant en protéines, en vitamines et en sels minéraux est indispensable au renouvellement constant des entérocytes (cellules de l'épithélium intestinal) et à la production des sucs digestifs.

Il faudrait ajouter que certaines personnes sont incapables de digérer certains nutriments particuliers (lactose, gluten, etc.), ce qui peut se traduire par des troubles sanitaires plus ou moins graves (voir notamment *Désordres sanitaires liés aux glucides*, p. 255).

Les troubles liés aux facteurs alimentaires sont relativement rares du fait qu'un tube digestif en bon état est en mesure de digérer n'importe quel aliment. Cependant, on digère bien plus rapidement les nourritures liquides ou finement broyées et plus lentement celles riches en protéines et en graisses. Par ailleurs, la cuisson est indispensable pour les féculents afin de rompre les grains d'amidon et les aliments riches en fibres afin d'adoucir ces dernières et permettre une bonne action des sucs digestifs. Les glucides ayant échappé à la digestion se retrouvent intacts dans le gros intestin où ils sont fermentés par les bactéries avec production de gaz, causes de ballonnements.

Parmi les facteurs d'ordre nerveux, les états d'angoisse et de stress peuvent handicaper les sécrétions et la motilité du tube digestif. Il est bien établi, par exemple, que les personnes ayant subi des tensions intenses sur de longues périodes développent l'ulcère de l'estomac. A l'opposé, les personnes ayant une vie calme et apaisée ont souvent un appareil digestif en très bon état et fonctionnant bien.

La maladie de Crohn fait partie des maladies inflammatoires chroniques de l'intestin. Elle peut toucher tous les segments du tube digestif de la bouche à l'anus notamment l'iléon et le colon. Elle est liée à une hyperactivité du système immunitaire. De nombreux stimuli comme les bactéries et des virus peuvent être responsables de cette réaction anormale du système immunitaire. D'autres facteurs environnementaux, comme le tabac et le stress, ou génétique peuvent favoriser le développement de ce désordre.

Cette maladie se traduit par l'incapacité ou la réduction du pouvoir de l'organisme à digérer les aliments et à absorber les nutriments conduisant ainsi à la malnutrition et à la déshydratation. Ce désordre se manifeste par des douleurs abdominales, une diarrhée chronique et l'amaigrissement.

10.3- Transport des nutriments

C'est le système circulatoire qui assure, d'une part, le transport des nutriments depuis l'intestin jusqu'aux diverses cellules de l'organisme où ils seront métabolisés et, d'autre part, celui des catabolites et des déchets résultant de cette métabolisation et dont les cellules doivent se débarrasser. Cette fonction est rendue possible par les nombreuses ramifications des vaisseaux sanguins en capillaires[8].

Le sang joue un rôle prépondérant dans ce transport. Il transporte en effet l'oxygène (O_2) et les éléments nutritifs vers tous les organes pour leur fonctionnement, de même que les déchets comme le gaz carbonique (CO_2) et des substances azotées vers les lieux d'évacuation et d'élimination comme les reins, les poumons, le foie, les intestins et même la peau. Le sang est composé d'un fluide aqueux, le plasma (54% du sang), et de milliards de cellules, les éléments figurés, principalement les globules rouges ou hématies (45%) les globules blancs et les plaquettes (1%). Le fer est un constituant fondamental de l'hémoglobine. Le taux du fer dans le sang est compris normalement entre 70 et 175 µg par décilitre µg/dl chez l'homme et entre 50 et 150 µg/dl chez la femme.

Outre l'eau, les principales substances qu'on trouve dans le plasma sont le glucose, les lipides, les protéines (albumine, immunoglobulines, protéines du complément, importantes pour l'initiation de la réponse immunitaire, et les protéines de la coagulation du sang).

Il se produit donc des échanges de matière entre les cellules bordant la lumière intestinale et le plasma pour l'absorption, et entre le plasma, d'une part, et les tubules rénaux et les alvéoles pulmonaires, d'autre part, pour les éliminations.

En vue de pouvoir schématiser les échanges de nutriments et de métabolites entre les milieux interne et externe, on doit rappeler que le milieu interne est un milieu liquide où l'on distingue le liquide intracellulaire (LIC) et le liquide extracellulaire (LEC).

Le LIC occupe un volume de 30 litres, alors que le LEC ne représente que 15 litres, répartis entre le liquide interstitiel entourant les cellules (12 litres) et le plasma (3 litres). Ce dernier est composé essentiellement d'eau (plus de 90%) avec 150 à 200 substances différentes (protéines, acides aminés et autres produits azotés, glucides, lipides, vitamines, minéraux, etc.).

Il faut souligner que la composition chimique du liquide interstitiel est maintenue constante du fait des échanges avec le plasma qui, au contraire, subit de perpétuels changements à cause des échanges avec le milieu externe qui lui fournit des nutriments et le débarrasse des substances toxiques en excès. Ces variations de la composition du

8- *Le système lymphatique participe à ce transport. Par exemple, si les AG à courte chaîne sont transportés par le sang (veine porte), les AG longs empruntent la lymphe (voir aussi figure 10.2.3 p. 210).*

plasma restent cependant confinées dans des limites raisonnables. En effet, les entrées des substances dans les cellules et leurs sorties se font à vitesse égale[9].

Le métabolisme corporel est un processus dynamique. Alimentant aussi bien les cellules en activité que celles des tissus de stockage et de réserve, les *pools* de substances sont modifiés en permanence par des retraits et des apports.

10.4- Métabolisme

Sur le plan biochimique, le métabolisme est défini comme l'ensemble des transformations qui se déroulent au sein d'un organisme vivant.

La dégradation biochimique des aliments au cours de la digestion, d'une part, et les différentes synthèses réalisées dans les cellules à partir des nutriments apportés par l'alimentation, d'autre part, entrent dans ce métabolisme.

De façon générale, on définit :

- *le catabolisme,* qui est l'ensemble des réactions de dégradation biochimique des molécules apportées par l'alimentation ou puisées dans les réserves tissulaires en molécules plus petites;
- *l'anabolisme,* qui est l'ensemble des réactions de synthèse partant des nutriments issus de la digestion ou du catabolisme cellulaire ou de la réabsorption pour aboutir à des molécules plus complexes, soit pour remplacer les substances dégradées au cours des processus vitaux soit pour élaborer de nouveaux tissus.

Sur le plan énergétique, les nutriments sont catabolisés par oxydation (respiration) pour se décomposer en eau H_2O et gaz carbonique CO_2 pour ce qui est des glucides et des lipides avec, en plus, des composés azotés pour ce qui est des protides. L'énergie obtenue est employée pour réaliser les réactions de synthèse et maintenir la température corporelle, l'excédent étant stocké sous forme d'ATP.

10.5- Excrétion/Elimination

Les processus vitaux dégagent un certain nombre de déchets que l'organisme doit excréter. Ces déchets se classent en plusieurs catégories :

9- *Dans un organisme en croissance ou ayant des productions à réaliser, les entrées doivent être supérieures aux sorties.*

Le stockage d'une substance apportée en excès signifie sa mobilisation dans des cellules ou des tissus spécifiques où elle reste disponible en cas de besoin. Sa disparition éventuelle n'a pas d'impact sur le métabolisme de l'organisme. Par exemple, le stockage des graisses varie selon l'écart entre la dépense et l'apport énergétiques. Quant aux réserves, elles n'ont pas de lieu spécifique. Par exemple, plusieurs types de tissus peuvent héberger des réserves de protéines. Les réserves hépatiques et musculaires sont les plus faciles à mobiliser en cas de besoin, le catabolisme protéique fournissant alors les acides aminés exigés pour maintenir un bon niveau dans le sang et répondre aux besoins de l'anabolisme.

- les substances alimentaires ayant échappé à la digestion et/ou à l'absorption : cellulose, fibres alimentaires, etc.;
- les substances ayant été absorbées, mais que l'organisme ne peut utiliser;
- les substances absorbées ou produites en quantités dépassant les possibilités d'utilisation ou de stockage;
- les produits terminaux du métabolisme : urée, acide urique, CO_2, etc.

Quatre voies d'évacuation peuvent être empruntées par ces déchets, chacune étant spécifique selon les substances : l'intestin, les reins, les poumons et la peau.

Excrétion par l'intestin

Les déchets rejetés par l'intestin constituent les fècès qui comprennent 60 à 70% d'eau (dans les conditions normales), une flore bactérienne abondante (10 à 15%) et les substances alimentaires ayant échappé à l'absorption (cellulose, fibres alimentaires et quelques minéraux, notamment le P et le Ca dont c'est la voie principale d'élimination).

Un certain nombre de paramètres peuvent induire des modifications dans la composition des matières fécales. En particulier, les fèces contiennent moins d'eau avec une alimentation riche en viande et en produits à base de céréales raffinées qu'avec un régime riche en légumes, fruits et céréales non raffinées, en raison de la présence d'une quantité élevée de cellulose et de fibres dans ce dernier cas.

Par ailleurs, des diarrhées (matières fécales liquides) peuvent résulter de la présence de substances irritantes, de toxines alimentaires, de microorganismes infectieux ou d'allergies. Ces affections sont particulièrement à redouter chez le nourrisson et le jeune enfant à cause des pertes d'eau et d'électrolytes qu'elles occasionnent si on ne les réhydrate pas correctement (voir *Déséquilibres hydriques*, p. 34).

Excrétion rénale

Les reins permettent à l'organisme de maintenir la quantité d'eau qui lui est nécessaire.

Ce sont les reins qui éliminent les substances non utilisables (acides aminés conjugués) et celles produites en excès (AA libres, vitamines, etc.) ainsi que certains produits finaux du métabolisme (urée et autres produits azotés du métabolisme des protéines). En éliminant ces déchets du métabolisme cellulaire, les reins permettent de maintenir l'homéostasie des liquides corporels.

En fait, ne passe du sang dans les reins que les molécules de petite taille solubles dans l'eau : sels, sucres simples (mono- et disaccharides), acides aminés, vitamines et albumine en petite quantité. Le reste est retenu dans le sang : grosses molécules de protéines, de lipides sous forme de lipoprotéines, le fer sous forme de transferrine, etc. Notons que pas moins de 180 litres de sang sont ainsi filtrés chaque jour pour une excrétion urinaire journalière finale moyenne de l'ordre de 1,5 litre.

Au cours de ce processus, un certain nombre de substances font le chemin inverse et repassent dans le sang, c'est la *réabsorption*. Ce phénomène concerne essentiellement l'eau, le glucose, les acides aminés et les sels minéraux. Cependant, si le glucose est entièrement réabsorbé chez l'individu présentant une glycémie normale[10], la réabsorption des AA dépend de la capacité de leur transporteur spécifique, et celle des ions minéraux tels que sodium Na^+, potassium K^+ et chlorure Cl^- se fait sélectivement selon les besoins.

L'eau représente 96% du volume de l'urine chez l'individu normal en bonne santé. Cependant, en cas de perte importante (transpiration intense, diarrhée, vomissement), cette proportion baisse, mais de façon limitée car la masse volumique de l'urine ne doit pas dépasser 1,04.

Les produits azotés issus du métabolisme protéique sont les principaux constituants de l'extrait sec de l'urine. L'urée à elle seule représentant 50% de cet extrait sec, suivie de l'acide urique, de la créatinine et des sels d'ammonium.

La majorité des sels minéraux non retenus par l'organisme sont principalement évacués par la voie urinaire. En cas de dysfonctionnement des reins, le chlorure de sodium s'accumule dans les tissus et provoque des œdèmes par la rétention d'eau qui s'ensuit.

L'urine contient également de nombreux composés mineurs tels que pigments, hormones, vitamines et dérivés, toxines et produits de détoxification, médicaments et substances résultant de leur métabolisme, etc.

L'excrétion rénale est sous l'influence de nombreux facteurs, parmi lesquels, l'hormone antidiurétique (ADH) ou vasopressine. L'ADH est une hormone synthétisée par l'hypothalamus et stockée dans l'hypophyse au niveau de la posthypophyse ou *Neurohypophyse*/*Posterior Pituitary* ou *Neurohypophysis*. Elle diminue le volume d'urine en stimulant la réabsorption de l'eau. Chez l'homme de sexe masculin, une autre hormone, l'aldostérone, provoque l'augmentation de l'excrétion des ions K^+ et H^+ et la diminution de celle de l'ion Na^+.

Par ailleurs, la caféine du thé et du café augmente la vitesse du flux sanguin dans les reins, d'où son effet diurétique. Quant à l'alcool, il a également un effet stimulant sur l'excrétion urinaire en diminuant l'hormone antidiurétique.

Une grande consommation de protéines se traduit par une production élevée d'urée, ce qui exige plus d'eau pour son élimination, cette eau supplémentaire étant prise sur les liquides corporels si l'apport est insuffisant. A l'opposé, si la consommation d'eau est élevée, le volume d'urine augmente, mais celle-ci est plus claire, la quantité de déchets excrétée étant inchangée.

10- *Il n'y a présence de glucose dans les urines (glucosurie) qu'en cas d'hyperglycémie (diabète) ou de lésion fonctionnelle des reins.*

D'autre part, en cas d'excrétion importante des électrolytes par d'autres voies (sueur, diarrhées, vomissement), leur évacuation urinaire baisse pour que soit maintenue constante leur teneur dans le sang et les liquides extracellulaires.

Les reins sont également impliqués dans le maintien du pH du plasma par la réabsorption du bicarbonate HCO_3^- ou son élimination dans l'urine sous forme de sel suivant les conditions. Les ions H^+ peuvent également être éliminés par les reins sous forme d'ions ammonium NH_4^+. Par ailleurs, suite à une consommation importante d'acides organiques tels que l'acide ascorbique, l'urine devient plus acide. Il en est de même en cas d'accumulation de corps cétoniques successive au jeûne (voir *Nutrition et jeûne*, p 197), au diabète ou à un régime pauvre en glucides et riche en lipides.

Excrétion pulmonaire

Le catabolisme des glucides, des lipides et des protides libère du CO_2 qui se retrouve dans les liquides corporels, soit sous forme de bicarbonate soit lié aux protéines, l'excès se liant avec l'hémoglobine formant la carbhémoglobine, mélange instable, qui va le transporter jusqu'aux alvéoles pulmonaires où le CO_2 va quitter le sang et passer dans l'air qui va être expiré. Un centre respiratoire dans le cerveau humain contrôle la fréquence respiratoire selon le taux de CO_2 dans le sang.

D'autres substances sont excrétées avec l'air expiré, notamment l'alcool, l'ammoniac NH_3, les substances gazeuses présentes dans l'air inspiré ou absorbées (anesthésiques, gaz de la circulation automobile, etc.). Une certaine quantité d'eau est également rejetée avec l'air expiré sous forme de vapeur.

Excrétion cutanée

Environ 250 ml d'eau sont éliminés chaque jour sous forme de sueur dans les conditions normales. Cependant, cette quantité varie beaucoup selon le besoin de se débarrasser de la chaleur (température ambiante élevée, effort physique intense).

Pour rappel, l'eau totale expirée par la peau est de 500 ml/j (tableau 2.3.1, p. 30).

Ces excrétions cutanées contiennent aussi des substances diffusibles dans le plasma : urée, sels minéraux, acides aminés, vitamines hydrosolubles, etc.

10.6- Coordination hormonale

L'organisation du corps humain et les diverses relations entre les nutriments sont tellement complexes qu'il est nécessaire de disposer de mécanismes de coordination afin d'éviter toute dérive. Ce sont les hormones secrétées par diverses glandes qui remplissent cette fonction de coordination.

Hormones pancréatiques

Insuline

Nécessaire pour l'utilisation du glucose, l'insuline est secrétée par les cellules pancréatiques β de Langerhans. L'insuline favorise l'entrée du glucose dans les cellules en augmentant leur perméabilité membranaire. Le manque d'insuline provoque la baisse de l'utilisation du glucose, qui est alors remplacé par les acides gras dont l'oxydation excessive se traduit alors par la cétose, due à l'accumulation de céto-acides ou corps cétoniques.

D'autre part, l'insuline favorise la pénétration des AA dans les cellules suite à l'augmentation de la perméabilité membranaire. De ce fait, le manque d'insuline entraine la diminution de la synthèse des protéines et la conversion des AA en glucose (par gluconéogenèse) puis en glycogène.

Ces deux phénomènes, faible utilisation du glucose et gluconéogenèse, provoquent l'hyperglycémie caractéristique du diabète.

Par ailleurs, une bonne utilisation du glucose nécessite la présence de chrome. L'absence de cet oligoélément dans le régime entraine des troubles dans l'utilisation du glucose, semblable au diabète.

Glucagon

C'est une hormone secrétée par les cellules pancréatiques α de Langerhans en cas d'hypoglycémie et qui a une fonction opposée à celle de l'insuline, notamment en activant la gluconéogenèse. Le glucagon stimule notamment le catabolisme protéique et limite la synthèse des protéines à partir des acides aminés, qui restent donc disponibles pour s'engager dans la gluconéogenèse.

Hormones des glandes surrénales

Adrénaline

Secrétée par la glande médullosurrénale en cas d'hypoglycémie, l'adrénaline (ou épinéphrine) relève le taux de glucose sanguin à sa valeur normale en puisant dans les réserves de glycogène. Elle mobilise aussi les lipides et favorise l'oxydation des AG.

Cortisone

La cortisone fait partie des glucocorticoïdes secrétés par les corticosurrénales. En stimulant le catabolisme des protéines, en induisant la synthèse de transaminases et de la tryptophane pyrolase et en activant la gluconéogenèse dans le foie, elle provoque la conversion en glucose des AA rendus disponibles.

Aldostérone et système rénine-angiotensine-aldostérone

L'aldostérone est une hormone minéralcorticoïde sécrétée dans la zone glomérulée du cortex des glandes surrénales, principalement en réponse à une stimulation par l'angiotensine 2 ou à une élévation de la kaliémie (taux du potassium dans le sang). Elle assure le contrôle de la rétention sodique et la diurèse potassique.

Les angiotensines 1 et 2 sont des protéines du système hormonal, le système rénine-angiotensine-aldostérone, localisé dans le rein, dont le rôle est de réguler la pression artérielle de l'organisme.

La rénine est une enzyme du système rénine-angiotensine-aldostérone. Elle est également appelée angiotensinogénase.

Hormones thyroïdiennes et parathyroïdiennes

Thyroxine

La Tétraiodothyronine (T4 ou thyroxine) et la Triiodothyronine T3 ont un effet important sur le métabolisme de base : l'hypothyroïdie l'abaisse (cas du myxœdème), alors que l'hyperthyroïdie le relève (maladie de Basedow ou de Graves-Basedow), si bien que les besoins en énergie peuvent être considérablement augmentés, ce qui se traduit par une perte de poids malgré une prise alimentaire accrue.

La maladie de Basedow est une maladie auto-immune qui se manifeste par une ophtalmopathie (attaques ophtalmologiques).

L'iode est nécessaire à la synthèse des hormones thyroïdiennes sous leurs deux formes T3 et T4 (voir *Iode*, p. 140). Une carence en iode dans la ration alimentaire entraine le goitre, maladie nutritionnelle sévissant dans les régions du Monde où l'apport en iode est déficient.

Calcitonine

Aussi appelée thyrocalcitonine, cette hormone synthétisée par la thyroïde est considérée comme l'antagoniste de la parathormone (PTH). Elle entraine la diminution du taux de calcium dans le sang en stimulant la fixation de ce minéral dans les os. La calcitonine agit sous le contrôle de la vitamine D.

Parathormone

La parathormone (PTH) est secrétée par la parathyroïde en cas de baisse du taux de calcium dans le sang (hypocalcémie). Sa fonction consiste à stabiliser les concentrations des ions Ca^{2+} et des phosphates dans le sang et les tissus en agissant sur la déminéralisation des os et en modifiant le seuil rénal d'excrétion des phosphates. La PTH agit également sous le contrôle de la vitamine D.

Glandes de l'hypophyse

Hormone somatotrope

Appelée aussi hormone de croissance (*Growth Hormone*, GH), cette hormone stimule la rétention azotée et celle du potassium et du phosphore. En freinant l'oxydation du glucose, elle a un effet diabétogène par élévation de la glycémie. Elle s'oppose à la dégradation des AA, mais elle favorise le catabolisme des lipides.

Hormone lipotrope

Elle a pour fonction de libérer les AG du tissu adipeux, puis de les transporter jusqu'au foie et les organes périphériques où ils sont oxydés.

Vasopressine ou hormone antidiurétique (ADH)

Cette hormone synthétisée par l'hypothalamus est stockée au niveau de la neurohypophyse.

Elle favorise la réabsorption de l'eau au niveau des reins. Son manque induit le *diabète insipide* (Voir *Diabète insipide*, p. 269), avec une très forte émission (jusqu'à 5 à 10 litres par jour ou même plus) d'une urine très diluée, ce qui s'accompagne d'une soif intense.

10.7- Troubles du comportement alimentaire

Le comportement alimentaire désigne l'ensemble des pratiques qu'une personne développe vis-à-vis de la consommation alimentaire. Dans les conditions normales, le comportement alimentaire assure aux cellules, aux tissus et aux organes l'apport en énergie et en matières nécessaire à leur bon fonctionnement.

Le comportement alimentaire est sous le contrôle du système nerveux central, particulièrement au niveau de l'hypothalamus, à travers le centre de satiété et le centre de la faim. En plus de ces deux centres, il existe un grand nombre de neurotransmetteurs, de récepteurs et de populations neurales. Ces circuits neuronaux reçoivent par voie nerveuse et/ou humorale[11] des informations sur le statut nutritionnel de l'organisme, en ce qui concerne tant l'énergie que les nutriments, et permettent d'adapter les apports aux besoins. Cette modulation physiologique est sous la dépendance des facteurs individuels (âge), psychologiques (stress, anxiété, etc.), sociaux (solitude, isolement), économiques (pouvoir d'achat) et environnementaux (climat, habitat, etc.).

Par ailleurs, le bon fonctionnement des sens du goût et de l'odorat conditionne le comportement alimentaire, toute perturbation de ces sens pouvant avoir des conséquences sur la prise alimentaire.

11- *Voie humorale : à travers les liquides contenus dans l'organisme, c'est-à-dire les humeurs du corps.*

Anorexie

L'anorexie (du grec *anorexia*) correspond à une perte d'appétit, empêchant ainsi la personne concernée de se nourrir. Elle peut être le symptôme d'une maladie grave ou être d'origine mentale. Quand elle devient chronique, l'anorexie peut devenir mortelle par manque de fourniture de nutriments à l'organisme.

De nombreuses maladies, parfois bénignes, s'accompagnent d'un manque d'appétit. La personne atteinte refuse carrément de se nourrir. C'est particulièrement le cas dans certains cancers où l'anorexie peut durer longtemps. On observe alors un IMC bas (inférieur ou égal à 18), des malaises hypoglycémiques, l'aménorrhée chez la femme, la décalcification des os, la fragilisation du squelette et la chute des dents.

On observe également une perte de l'appétit chez les personnes âgées.

Dans le cas de l'anorexie mentale (*anorexia nervosa*), on ne perçoit plus son corps tel qu'il est normalement. Ce désordre est associé à la surestimation de certaines données morphologiques comme le poids et la silhouette (le mythe du modèle, *model*). La personne cesse de se nourrir ou s'impose des restrictions alimentaires incompatibles avec les besoins nutritionnels de son organisme. Ainsi, le surpoids peut disparaître, mais les carences nutritionnelles s'aggravent.

Pour traiter les cas graves d'anorexie chronique, on peut apporter les nutriments par une alimentation intraveineuse (hyperalimentation ou hypernutrition) dans un cadre médicalisé. On observe alors un recul de la maladie, avec la disparition progressive des symptômes et un retour de l'appétit. On peut aussi avoir recours à des substances orexigènes comme les glucocorticoïdes, car elles ont tendance à provoquer la faim.

Pour les personnes atteintes d'anorexie mentale, on a recours à des antidépresseurs pour corriger le trouble psychique et redonner l'appétit ainsi qu'à une psychothérapie de longue durée.

Boulimie, hyperphagie

Boulimie

La boulimie est un trouble du comportement alimentaire caractérisé par des crises de surconsommation. On ne peut s'arrêter de consommer de grandes quantités de nourriture. Après la crise, les personnes boulimiques ont recours à des mécanismes de compensation afin de réduire la grande quantité d'énergie apportée sous forme d'aliments et d'éviter de prendre du poids, notamment les vomissements provoqués, la prise de médicaments (laxatifs, purgatifs, lavements et diurétiques), Les laxatifs sont des substances qui accélèrent le transit intestinal, les purgatifs purgent et facilitent les évacuations intestinales, les lavements consistent à laver l'intestin, particulièrement le colon, alors que les diurétiques entraînent l'augmentation de la sécrétion urinaire. Ces personnes ont recours également à la pratique intensive d'exercices physiques, voire au jeûne. Habituellement, les personnes boulimiques présentent un poids normal.

Hyperphagie

L'hyperphagie (ou polyphagie) est un trouble du comportement alimentaire caractérisé par une tendance à surconsommer sans aucun rapport avec ses besoins nutritionnels et sans avoir recours à des mécanismes de compensation. C'est un trouble issu d'une atteinte psychologique et/ou physique. Cette obsession à la surconsommation alimentaire provoque une prise de poids plus ou moins importante conduisant au surpoids et à l'obésité avec le développement de pathologies sous-jacentes comme le diabète de type II, la cholestérolémie, l'hypertension artérielle et les cancers.

Le traitement de ce désordre peut se faire à travers une prise en charge psychiatrique, une prise en charge médicamenteuse ou un suivi alimentaire et nutritionnel.

Anosmie, hyposmie

L'odorat est un sens important jouant plusieurs rôles chez l'Homme. Dans le domaine de l'alimentation en particulier, l'odorat permet :

- d'identifier les aliments impropres à la consommation;
- d'apprécier pleinement la saveur des aliments et des plats.

L'anosmie est un trouble de l'odorat pouvant aller jusqu'à la perte de celui-ci. Elle peut être la conséquence d'une anomalie congénitale dès la naissance ou de troubles acquis. L'hyposmie, elle, est une diminution de l'acuité de l'odorat.

Les conséquences de l'anosmie sur le comportement alimentaire sont diverses :

- diminution/augmentation des quantités d'aliments ingérés;
- diminution de l'envie de manger et du plaisir lié aux repas;
- diminution de l'envie de cuisiner.

Agueusie, hypogueusie, dysgueusie

L'agueusie désigne la perte du sens du goût. Elle peut être partielle ou totale, persistante ou temporaire. Elle peut avoir plusieurs causes, mais elle est souvent associée à l'anosmie.

L'hypogueusie, elle, se définit comme étant une diminution de l'acuité gustative, alors que la dysgueusie est un trouble du sens du goût se traduisant, entre autre, par un changement des préférences alimentaires.

Parmi les conséquences de ces désordres, on note des troubles alimentaires comme l'anorexie, la boulimie ou la polyphagie.

Il a été récemment observé que, parmi les divers symptômes du Covid-19, figure la perte de l'odorat (anosmie) et du goût (agueusie).

11- Effets des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle et sanitaire des aliments

11.1- Chaleur

Généralités

La chaleur est largement employée aussi bien dans l'industrie alimentaire que dans les préparations culinaires. Ses principaux effets sont l'élimination des espèces microbiennes dangereuses pour la santé du consommateur et la stabilisation des produits, qui résulte de la destruction des microorganismes responsables d'altération et des enzymes. Elle améliore également la digestibilité, notamment celle de l'amidon ainsi que celle des protéines des viandes et des légumineuses en sec. Elle modifie les caractères sensoriels (couleur, texture, etc.). Un autre rôle de la chaleur consiste à chasser l'oxygène susceptible de provoquer des phénomènes d'oxydation.

Les traitements thermiques non maîtrisés risquent cependant de porter atteinte à la qualité nutritionnelle des aliments. Ils peuvent, d'une part, détruire certaines vitamines et, d'autre part, rendre indisponibles des acides aminés essentiels comme la lysine qui se lie avec les glucides à travers la réaction de Maillard.

La chaleur excessive peut aussi porter atteinte à la qualité organoleptique, notamment en générant l'odeur et le goût de cuit.

Les traitements thermiques industriels sont généralement mis en œuvre pour réaliser soit la pasteurisation soit la stérilisation des aliments. D'autres technologies industrielles ou préparations domestiques font intervenir la chaleur (cuisson à la vapeur, cuisson à l'étuvée, friture, fumage, concentration, séchage, etc.).

Les effets de la chaleur sur certains constituants particuliers des aliments seront d'abord traités, puis les opérations industrielles (pasteurisation, stérilisation) ou domestiques (modes de cuisson).

Réaction de Maillard

La réaction de Maillard a lieu entre des composés ayant une fonction amine (protéines, peptides, acides aminés ou même ammoniac) et les sucres réducteurs (glucose, fructose après tautomérisation, ribose, xylose, etc.). Un sucre réducteur est soit un type d'ose qui possède un groupe aldéhyde ou qui est capable d'en former un par isomérisme, soit une cétose pouvant se transformer en aldose par tautomérie.

La réaction de Maillard constitue la cause principale du brunissement non enzymatique[12] des produits alimentaires, y compris les boissons, le plus souvent sous l'effet de la chaleur lors des traitements thermiques, ou durant un stockage prolongé.

La réaction de Maillard désigne en fait l'ensemble des réactions qui découlent de l'interaction entre sucres réducteurs et acides aminés. Bien que souvent désignée comme étant le brunissement non enzymatique, elle est en fait responsable de la production d'odeurs et d'arômes, à côté des couleurs et des pigments caractéristiques des aliments cuits. Parallèlement à ces aspects organoleptiques, la réaction de Maillard peut aussi provoquer une réduction sévère de la valeur nutritive des aliments, notamment en dégradant les protéines et les acides aminés essentiels.

Par ailleurs, la réaction de Maillard peut conduire à la formation de composés cancérigènes, comme elle intervient dans la dégradation du collagène *in vivo*. En revanche, elle peut être responsable de la formation d'antioxydants (substances de type phénol, mélanoïdines à propriétés chélatantes).

Sur le plan chimique, l'ensemble des réactions constituant la réaction de Maillard se succèdent en trois étapes (figure 11.1.1) :

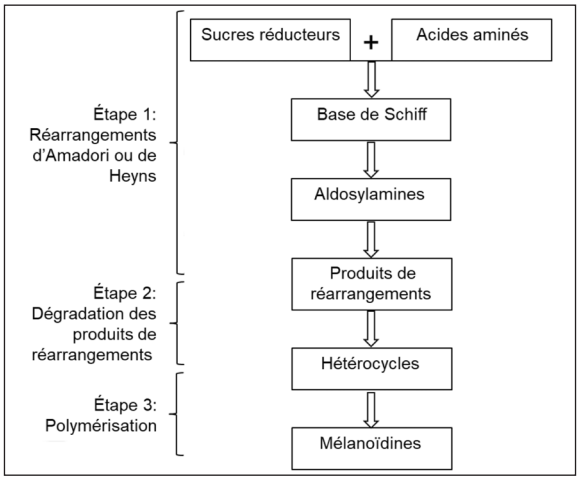


Figure 11.1.1- Etapes de la réaction de Maillard

12- *On définit également un brunissement enzymatique des aliments, qui est un processus naturel conférant une couleur brune aux aliments et aux boissons, avec des effets sur d'autres propriétés organoleptiques. Ce phénomène peut être recherché pour le développement du goût du thé, par exemple, ou le développement de la couleur et de la saveur des fruits secs comme les figues et les raisins, mais il est préjudiciable pour les légumes et les fruits frais comme la pomme, la banane, l'avocat, la pomme de terre ainsi que les fruits de mer comme les crevettes. Le brunissement enzymatique est un processus biochimique mettant en œuvre des enzymes, les polyphénoloxydases (PPO), comme les tyrosinases et les catéchol-oxydases, ainsi que d'autres enzymes dégradant les tannins des tissus végétaux blessés, vieillissants ou simplement coupés, produisant des mélanines et des benzoquinones responsables de cette coloration brune caractéristique. Les tannins ainsi oxydés peuvent devenir plus volatils Ce brunissement nécessite une exposition à l'oxygène, ce qui se produit quand un produit est blessé ou coupé. La concentration du produit en fer et en cuivre joue un rôle dans ce phénomène.*

- la première étape conduit à la formation réversible de glycosamines, qui se réarrangent selon ce qu'on appelle les réarrangements d'Amadori ou de Heyns;
- la seconde étape correspond à la dégradation des produits des réarrangements d'Amadori ou de Heyns, conduisant notamment à la formation de composés hétérocycliques responsables d'odeurs;
- la troisième étape consiste en la polymérisation d'intermédiaires réactionnels, produits lors de la deuxième étape, et conduit à la formation de mélanoïdines.

La réaction de Maillard est sous l'influence de nombreux paramètres, notamment la température, la durée, le pH, la teneur en eau, la concentration et la nature des précurseurs, ainsi que la présence d'oxygène, de métaux et d'inhibiteurs. Ainsi, un taux d'humidité de 15% est le plus favorable. Pour ce qui est de la température, la réaction est possible entre 0 et 150 °C, mais elle est rapide à 100 °C et violente à 150 °C.

La réaction de Maillard connaît de nombreuses applications dans le domaine alimentaire (cuisine, industries agro-alimentaires), en médecine, en cosmétique, etc.

Dans l'agro-alimentaire, la réaction de Maillard est mise à profit par les industriels dans de nombreux processus de transformation afin de développer les goûts, les flaveurs, les odeurs et les couleurs qu'ils désirent.

En cuisine, elle se produit au cours de très nombreuses préparations culinaires, en particulier lors de la cuisson de la viande. Elle se manifeste par un brunissement non enzymatique et aromatique dû aux mélanoïdines, pigments bruns à haut poids moléculaire résultant de la condensation et de la polymérisation des sucres aldéhydiques (glucose) et d'acides aminés (lysine). La lysine, qui est un AA essentiel, se trouve alors bloquée et devient indisponible pour l'organisme. Ceci réduit la valeur biologique de la protéine en question.

Le développement de la couleur, pouvant aller du brun jusqu'au noir, s'accompagne d'une production d'acrylamide[13], un composé dangereux pour la santé du consommateur. La formation de l'acrylamide dépend de la température de cuisson, de la teneur en eau, de l'environnement de cuisson et du contenu des aliments en glucides et en protéines. L'acrylamide est synthétisée à travers la réaction de Maillard, le plus souvent à partir de l'asparagine et d'un sucre comme le glucose. Les aliments les plus concernés sont les céréales et dérivés comme le pain, les pommes de terre (chips et frites), les pâtisseries et, plus généralement, tous les produits soumis à de hautes températures (café, amandes grillées au-delà de 120 °C, etc.).

13- *L'acrylamide a de nombreux usages industriels. Elle peut être obtenue par la dégradation des polyacrylamides dans les produits végétaux (notamment les légumes) et l'environnement sous l'action de la chaleur ou de la lumière. Elle est notamment utilisée pour la fabrication de polymères (polyacrylamides) dont certains sont employés dans l'agriculture (pesticides, épaississants et tensioactifs), la fabrication d'emballages alimentaires, la fabrication de cosmétiques et dans des dispositifs de laboratoires d'analyse et de recherche (électrophorèse).*

La consommation moyenne de l'acrylamide par l'Homme est estimée à 1 µg/kg de masse corporelle et par jour pour les individus normaux, mais elle peut atteindre 4 µg/kg/jour pour les gros consommateurs.

Les aliments les moins pourvus en acrylamide sont les légumes bouillis (notamment la pomme de terre), les fruits frais et les produits laitiers. Les produits qui contiennent des quantités modérées d'acrylamide sont la pomme de terre au four et les fruits séchés. Les viandes ont une teneur nettement plus basse comparées aux chips, aux frites, au pain, aux biscuits et au café. Les teneurs en acrylamide dans le café varient beaucoup selon les variétés. Les boissons alcoolisées en contiennent également quoiqu'en quantités relativement basses. On en trouve également dans la fumée de tabac.

L'acrylamide est reconnue comme présentant un risque pour la santé humaine. En effet, elle est classée par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) de l'OMS comme un cancérigène avéré. Elle peut aussi provoquer des lésions du système nerveux périphérique, comme elle est susceptible d'affecter la fertilité masculine. Il a été également observé l'existence d'une possible association positive entre un taux élevé d'acrylamide dans le sang et le développement du cancer du sein. Cependant, ce lien demande à être encore mieux étudié.

Afin de minimiser les risques d'acrylamide, il est notamment conseillé de :

- réduire le temps de cuisson des aliments, la majeure partie de l'acrylamide étant formée durant les dernières minutes de cuisson;
- éviter de consommer des aliments carbonisés ou frits ou rôtis à des températures supérieures à 120 °C;
- choisir les variétés de pomme de terre qui contiennent le moins d'asparagine et de sucres;
- ne pas conserver les pommes de terre au réfrigérateur, car cela favorise la synthèse des précurseurs de la réaction de Maillard;
- ne pas consommer des pommes de terre qui ont germé ou qui sont devenues verdâtres.

Toutefois, il faut noter que dans certaines préparations culinaires, on ajoute du sucre ou du jaune d'œuf pour provoquer la réaction de Maillard de façon modérée et, ainsi, améliorer les qualités organoleptiques du produit en lui donnant, après cuisson, une belle coloration brune dorée recherchée par le consommateur (pain, brioches, viennoiseries, etc.).

En médecine, la réaction de Maillard est connue sous le nom de *glycation* ou *glycosylation* non enzymatique des protéines. Elle a été étudiée dans le cadre du diabète. L'hémoglobine glyquée est la forme glyquée de la molécule d'hémoglobine. Elle correspond à l'ensemble des molécules d'hémoglobine modifiées par fixation enzymatique d'oses, et principalement le glucose, sur les fonctions amines de la globine. Sa valeur permet de déterminer la concentration du glucose dans le sang,

la glycémie, sur une période de trois mois. En effet, l'hémoglobine glyquée sert actuellement comme indicateur à long terme de l'état diabétique du patient. La glycation a des conséquences dans tout l'organisme, plus marquées encore chez les personnes diabétiques.

La glycation produit des résidus appelés AGE (*Advanced Glycation End-Products*). Ces AGE s'accumulent dans l'organisme, conduisant à des lésions cellulaires et tissulaires, au vieillissement vasculaire et à l'insuffisance rénale. Ils favorisent également la maladie d'Alzheimer. La glycémie élevée des diabétiques favorise la réaction de Maillard, donc la glycation.

En cosmétique, la réaction de Maillard est utilisée dans les crèmes dites auto-bronzantes. La Dihydroxyacétone (DHA) qu'elles contiennent est un sucre qui, par réaction chimique avec les protéines des cellules mortes de la couche cornée de la peau (réaction de Maillard), crée un pigment brun. Ce pigment mélanoïdine disparaît avec l'élimination des couches superficielles de l'épiderme.

Effets de la chaleur sur les lipides

La dégradation des graisses et des huiles en relation avec la chaleur peut se faire notamment selon les mécanismes suivants :

- l'auto-oxydation à des températures atteignant 200 °C;
- la polymérisation à des températures allant de 200 à 300 °C.

Ces différentes dégradations des matières grasses à des températures élevées sont atypiques dans les conditions normales de préparation, de commercialisation et de consommation des produits alimentaires.

Sur le plan nutritionnel, la rancidité oxydative des lipides conduit à une perte graduelle de l'activité des acides gras essentiels, accompagnée de la destruction des caroténoïdes, de la vitamine A, des tocophérols et de la vitamine E. L'utilisation prolongée (7,5 heures) des huiles de maïs, de coton ou de tournesol pour la friture ou les «*shortenings*» (sorte de margarine végétale utilisée essentiellement pour la pâtisserie) pour frire la pomme-de-terre conduit à des pertes d'acide linoléique de l'ordre de 4 à 11%. Par ailleurs, l'oxydation des matières grasses aboutit à l'augmentation du taux de peroxydes d'acides gras, avec une toxicité plus ou moins importante.

Les principaux symptômes observés chez les animaux qui ont consommé des matières grasses ayant subi des traitements à très forte température sont la réduction de l'absorption des lipides et des acides gras insaturés, le retard de croissance suite à la réduction de consommation des aliments, la réduction de l'efficacité des aliments, la réduction de la motilité intestinale, la perturbation de la formation des chylomicrons et des lipoprotéines, l'hypertrophie du foie et des reins et la réduction des réserves lipidiques de l'organisme.

Plusieurs produits de décomposition des lipides ayant été exposés à de très hautes températures, notamment des acides gras alicycliques (c'est-à-dire renfermant une chaîne fermée non aromatique), peuvent être responsables de ces effets toxiques.

L'exposition prolongée des huiles et des graisses à de fortes températures peut également engendrer de l'acroléine (*âcre oléine*). Il s'agit d'un aldéhyde répondant à la formule chimique brute C_3H_4O, qui se présente sous la forme d'un liquide incolore à légèrement jaunâtre avec une odeur âcre désagréable. C'est une substance extrêmement toxique, tant par inhalation que par ingestion. Elle se forme également suite au détachement des acides gras (AG) des viandes cuites au barbecue à partir des triglycérides. Le glycérol libéré perd alors 2 molécules d'eau et se transforme en acroléine.

Outre la décomposition des graisses à chaud, l'acroléine peut être produite lors de l'incendie de matières plastiques ou lors de la décomposition de fruits pourrissants. On la trouve par ailleurs dans la fumée de cigarettes.

Les principaux effets de l'acroléine sont l'irritation oculaire et nasale, la diminution de la fonction respiratoire, l'hyperréactivité bronchique, des affections au niveau du nez, des voies respiratoires supérieures et des poumons (irritation, inflammation, hémorragie, métaplasie[14], hypertrophie, œdème).

Pasteurisation

L'objectif de la pasteurisation est de détruire les microorganismes pathogènes (cas du lait et de la crème), et ceux responsables de l'altération (cas du vinaigre ou de la bière). Un produit pasteurisé contient donc encore des microorganismes vivants. Dans le lait pasteurisé, par exemple, la norme marocaine autorise jusqu'à 30000 germes vivants par millilitre. La durée de vie des produits pasteurisés est, de ce fait, généralement limitée et il faut les maintenir au froid, à moins qu'ils soient protégés par un paramètre particulier comme l'acidité (cas du vinaigre).

Stérilisation

En revanche, un produit stérilisé est dépourvu de microorganismes vivants, la stérilisation ayant pour objectif de détruire la totalité des germes. De ce fait, les produits stérilisés peuvent être stockés à température ambiante tant que leur emballage n'a pas été ouvert. Une fois l'emballage ouvert, ils sont exposés à la contamination microbienne, d'où la nécessité de les conserver au froid.

Certaines préparations industrielles ayant subi un traitement thermique sont stables à température ambiante bien que contenant encore une certaine flore microbienne. On parle dans ce cas de «stérilisation commerciale». C'est le cas, par exemple, des concentrés de tomate ou des confitures de fruits. L'acidité, additionnée à la concentration en sel ou en sucre, explique la stabilité de ces produits.

14- *La métaplasie est la transformation d'un tissu cellulaire différencié en un autre tissu différencié. C'est un phénomène adaptatif et réversible qui se produit généralement en réponse à une agression tissulaire répétée et prolongée (inflammation, irritation mécanique ou chimique, infection). Le nouveau tissu est mieux armé que le tissu original contre l'agression en question.*

La stérilisation industrielle peut être réalisée selon deux techniques différentes : l'autoclavage (appertisation) ou la stérilisation UHT (à Ultra Haute Température).

Mise au point par Nicolas Appert en 1810, l'appertisation est la technique appliquée pour la fabrication des conserves alimentaires en général. Elle consiste à élaborer les préparations alimentaires, à les conditionner dans des contenants que l'on ferme hermétiquement, puis à les soumettre à un traitement thermique assurant la stérilisation commerciale. L'objectif est de tuer tous les microorganismes pathogènes ou toxinogènes ainsi que ceux susceptibles de causer l'altération. Le traitement se fait dans des autoclaves, enceintes hermétiques où de la vapeur d'eau est mise en œuvre sous une pression permettant d'atteindre en général une température d'au moins 120 °C pour une durée minimale de 20 minutes. Un refroidissement rapide est appliqué immédiatement après la fin du traitement afin de stopper les effets indésirables d'un chauffage excessif.

En effet, la stérilisation thermique entraîne la destruction de certains nutriments, notamment des vitamines. D'autres constituants des aliments interagissent entre eux, comme les acides aminés et les sucres réducteurs, provoquant le phénomène de brunissement qui s'accompagne du développement du goût de cuit (voir *Réaction de Maillard*, p. 224).

La technique d'autoclavage est appliquée aussi au lait, avec ces mêmes inconvénients, plus perceptibles dans ce cas. C'est pourquoi une autre technique a été mise au point : la stérilisation UHT. Avec une température de 140°-150°C, le traitement UHT ne demande que 1 à 2 ou 3 secondes. De ce fait, les microorganismes sont détruits sans que les vitamines et les protéines soient touchées.

Modes de cuisson et de préparation

En plus de l'effet de la chaleur elle-même, qui est d'autant plus net que la température de traitement est plus élevée et que la durée est plus longue, le mode de cuisson peut avoir un impact plus ou moins prononcé sur les propriétés nutritionnelles et organoleptiques des produits alimentaires. Par ailleurs, le fumage, notamment appliqué aux viandes et aux poissons, et qui s'accompagne souvent d'une élévation de la température, a également des retombées sur ces caractéristiques des aliments.

Généralités sur la cuisson des aliments

La cuisson est l'opération de cuire les aliments. Elle modifie et transforme les aliments sur le plan physicochimique, notamment sous l'effet de la chaleur ou des radiations capables de les chauffer. La cuisson peut ainsi modifier la couleur, le goût, la texture, le volume, le poids et, positivement ou négativement, les qualités nutritionnelles des aliments. La cuisson améliore généralement la qualité hygiénique des aliments en provoquant la destruction des microorganismes et des parasites selon la température, la durée et le mode de cuisson.

Il existe plusieurs modes de cuisson des aliments :

- la cuisson directement à l'eau (ou dans un autre liquide) ou ébullition;
- la cuisson indirectement à l'eau par le biais d'un bain-marie;
- la cuisson dans la matière grasse comme la friture ou le sauté;
- la cuisson directement à feu nu (découvert) comme les grillades, les rôtis, le pain et dérivés;
- la cuisson en vase clos, à l'étouffée ou à la vapeur ; cette cuisson s'opère à feu doux dans un récipient (hermétiquement) fermé comme la cocotte-minute, n'utilisant que l'eau contenue dans les aliments pour les faire cuire;
- la cuisson par radiation.

La cuisson peut se faire dans des milieux différents et sous des atmosphères variées (milieu liquide, milieu gazeux, sous vide). Le milieu liquide peut être un milieu aqueux (eau, lait, vin, sirop, yaourt, fumet, qui est une préparation liquide à base de poisson, bouillon, etc.) ou un corps gras liquide (huile) ou solide à température ambiante (beurre, graisse). Quant au milieu gazeux, cela peut être de l'air sec (four, broche, gril) ou de la vapeur.

Les résidus de cuisson (liquides ou solides) peuvent être consommés (sauces, soupes, fumet) ou recyclés (bain de friture).

Cuisson à la vapeur

C'est un mode de cuisson très doux, qui n'agresse pas les aliments, puisque la température ne dépasse jamais 100 °C, contrairement aux autres modes de cuisson (poêle et barbecue où la température peut aller jusqu'à 350 °C). De plus, les aliments gardent leurs nutriments solubles dans l'eau (minéraux et vitamines hydrosolubles) qui, au contraire, sont perdus dans l'eau lorsque les aliments sont bouillis.

Par ailleurs, les viandes cuites à la vapeur se débarrassent d'une partie de leurs graisses qui fondent et s'égouttent. Cela offre un avantage pour les personnes cherchant à réduire leur consommation de gras animal par rapport à la viande cuite en tagine qui libère une partie de ses graisses dans la sauce, souvent consommée avec du pain.

La cuisson à la vapeur permet aux aliments de développer parfaitement leurs arômes. Les légumes frais cuits de cette manière gardent leur couleur et leur consistance et peuvent rester craquants, à condition que la cuisson ne soit pas trop poussée. Avec la cuisson à la vapeur, on peut véritablement apprécier le goût naturel des aliments.

Cuisson à l'étuvée (ou à l'étouffée)

La cuisson à l'étuvée (à l'étouffée) est une méthode de cuisson à feu doux. Le mets est placé dans un récipient fermé, comme une cocotte, et on n'utilise que l'eau contenue dans ce mets pour le faire cuire sous pression.

Ce mode de cuisson permet de bénéficier d'une cuisine saine et diététique, que l'on peut mettre en œuvre avec peu ou pas de matières grasses. De plus, il n'exige pas de matériel de cuisson spécifique et il s'applique aussi bien aux légumes frais (oignons, fenouils, poireaux, tomates, courges, aubergines, carottes, pommes de terre, épinards, etc.) qu'aux viandes et aux poissons, et même aux céréales.

Les aliments préparés de cette manière, que ce soient les légumes frais, les viandes ou les poissons, sont plus digestes. Du fait qu'il s'agit d'une cuisson à feu doux dans le propre jus des aliments, les nutriments et les saveurs sont généralement très bien préservés.

Friture

La friture est un mode de cuisson qui utilise de la matière grasse alimentaire comme vecteur de chaleur. Elle est notamment utilisée pour cuire les pommes de terre (les frites) mais aussi les poissons, les beignets, etc. Au Maroc, on l'applique également à divers légumes comme les poivrons, les tomates, les aubergines et les courgettes (pour ces deux derniers légumes, en rondelles, panées ou non). Les légumes ainsi préparés accompagnent souvent des plats de poissons frits.

On utilise généralement des huiles végétales, de préférence celles pauvres en acides gras insaturés, moins sensibles à l'oxydation (en France par exemple, la législation impose un taux maximal en acide linolénique pour les huiles de friture). Cependant, de nombreuses autres matières grasses sont employées ça-et-là pour préparer des fritures : beurre, saindoux[15], graisse de canard ou d'oie, fond des lèchefrites[16], blanc de bœuf. Ainsi, toute matière grasse peut convenir pour frire les aliments, mais chacune apporte une saveur particulière.

La friture doit donner aussi de la croustillance à la partie superficielle du produit traité sans pour autant entrainer le durcissement des parties intérieures. Par ailleurs, on note une certaine perte d'eau, ce qui constitue une concentration du produit pendant la friture.

Sur le plan nutritionnel, la friture augmente le pouvoir énergétique des produits à cause de la rétention d'une certaine quantité de gras. La température de friture a une influence sur la teneur en gras des aliments frits. Au-delà de 200 °C, en particulier, l'huile se dégrade et son absorption par les aliments est plus élevée. Par conséquent, on recommande généralement une température de friture entre 155 °C et 180 °C. D'ailleurs, il est souvent conseillé sur l'étiquette de l'huile de ne pas dépasser 180 °C. De façon pratique, il faut savoir qu'il ne faut surtout pas laisser fumer l'huile (risque de production de l'acroléine).

15- *Le saindoux est un aliment obtenu en faisant fondre de la graisse de porc sans viande, et est utilisé dans plusieurs préparations culinaires.*

16- *Une lèchefrite est un ustensile de cuisine que l'on place sous la broche à rôtir d'un four ou d'une rôtissoire pour récupérer le jus et la graisse des viandes au cours de la cuisson.*

Autre conséquence des températures excessives de l'huile de friture, elles peuvent entraîner l'apparition, dans les produits frits, d'acrylamide, une substance dangereuse pour la santé du consommateur, comme nous l'avons souligné plus haut. En effet, on peut assister à l'apparition de six fois plus d'acrylamide à 215 °C pendant 6,5 min. qu'à 180 °C pendant 12 min. Il faut cependant éviter les températures trop basses (moins de 140 °C) car, en augmentant la durée de la friture, elles entrainent davantage d'absorption d'huile par la pomme de terre.

Cuisson en contact direct avec la flamme

La cuisson des aliments en contact direct avec la flamme est souvent appliquée aux viandes (barbecue, méchoui, etc.) mais aussi à la viande hachée, aux saucisses, aux poissons et, accessoirement, à certains légumes frais (poivron, aubergine, etc.), notamment dans certaines préparations culinaires marocaines.

Comme signalé plus haut, ce mode de cuisson peut entrainer la formation, sur les aliments riches en amidon, de l'acrylamide, substance cancérigène. De même, au-delà de 180 °C, il se forme sur les viandes grillées ou rôties des amines aromatiques polycycliques, qui se concentrent essentiellement dans la croûte de la viande cuite, et qui sont potentiellement cancérigènes. Par ailleurs, le contact direct des aliments avec la flamme peut provoquer aussi la formation, dans les parties superficielles, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont notamment le benzo(a) pyrène, qui ont également des propriétés cancérigènes. En outre, à partir des graisses des viandes grillées de cette manière, on peut déplorer, comme nous l'avons vu plus haut, la formation de l'acroléine, une substance toxique tant par ingestion que par inhalation.

Fumage

Le fumage des denrées alimentaires consiste à les soumettre à l'action des fumées produites par la combustion de végétaux choisis. A l'origine, c'était essentiellement un moyen de prolonger la durée de conservation, mais ce procédé est actuellement utilisé aussi pour son influence favorable sur les caractères organoleptiques et, de façon moins nette, sur le mode de présentation du produit. Le fumage joue donc des rôles variés : aromatisation, coloration, préservation (effet antimicrobien), durcissement de la texture, etc.

Le fumage n'est cependant pas forcément associé à la chaleur. En effet, il peut se faire :

- à basse température (12-25 °C);
- à une température intermédiaire (25-50 °C) : ce traitement provoque l'activation des enzymes endogènes et améliore la tendreté du produit;
- à une température relativement élevée (50-85 °C) : ce traitement entraine la dénaturation des protéines et la destruction des micro-organismes.

Le fumage est essentiellement appliqué aux viandes et aux poissons et, accessoirement, aux fromages.

Un léger fumage peut être employé pour prolonger la période de stockage de la viande séchée, surtout dans les cas où l'humidité de l'air est élevée. La fumée produite par la combustion du bois contient en effet des substances fongistatiques capables d'inhiber la croissance des moisissures et des levures à la surface du produit. L'effet conservateur d'un tel fumage est toutefois insuffisant pour un stockage prolongé du produit s'il n'est pas associé au froid. En plus de son action stabilisatrice, le fumage modifie les qualités organoleptiques de la viande : couleur, arôme, texture (durcissement).

En revanche, un fumage intensif peut augmenter considérablement la durée de vie de la viande, mais il peut avoir une influence défavorable sur la saveur, en particulier en cas de stockage prolongé pendant lequel vont apparaître des arômes de fumée goudronneuse de plus en plus désagréables.

Le fumage intensif joue par :

- séchage du produit par l'air chaud;
- condensation des particules de fumée à la surface de la viande;
- pénétration des particules de fumée à l'intérieur du produit.

On applique à la chair des poissons les mêmes procédés de fumage que pour la viande. Les poissons peuvent se conserver assez longtemps une fois salés et/ou fumés. Les poissons sont traités soit entiers (hareng saur), soit sous forme de filets (saumon). Au Maroc, on a développé le fumage de filets de la truite saumonée de l'Atlas (Moyen Atlas), qui imite assez bien le saumon fumé des pays nordiques.

Le fumage des fromages leur confère une saveur de noix et de fumée, complètement différente de celle des fromages ordinaires. Si la température dépasse 30 °C, le fromage risque de couler ou de suinter à cause de la fonte des matières grasses. C'est pourquoi on doit adopter une méthode de fumage à froid avec, de préférence, une température de l'air ne dépassant pas 15 à 16 °C.

On a signalé quelques risques sanitaires liés aux aliments fumés. En effet, les fumées de combustion contiennent des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et du formaldéhyde qui peuvent se retrouver dans les viandes et les poissons traités, comme nous l'avons vu plus haut. Parmi les HAP, le benzo(a)pyrène, en particulier, a un pouvoir mutagène et cancérigène. Le jambon fumé peut contenir jusqu'à 3 µg de cette substance toxique par kg alors que la réglementation accorde une teneur maximale de 1 µg/kg. Le formaldéhyde est également reconnu comme cancérigène avéré par le CIRC.

Les opérateurs chargés des travaux de fumage peuvent aussi être exposés à l'inhalation des HAP et du formaldéhyde. Il existe donc un risque de nuisance du fumage non contrôlé sur la santé.

11.2- Froid

Le froid a pour fonction essentielle d'inhiber la croissance microbienne. Il inhibe aussi les enzymes naturelles du produit pouvant contribuer à son altération, de même que des réactions non enzymatiques telles que l'oxydation. Le froid ralentit également des phénomènes physiques tels que la dessiccation.

Le froid est mis en œuvre pour réaliser soit la réfrigération, soit la congélation ou la surgélation des produits alimentaires.

Réfrigération

La réfrigération est l'opération qui consiste à porter le produit à une faible température positive, supérieure à 0 °C (l'eau du produit reste liquide) et à l'y maintenir.

La nature des produits concernés par la réfrigération est très variée : fruits et légumes frais, poissons et autres produits de la pêche, lait et produits laitiers, viandes (rouges et blanches) et dérivés, produits élaborés (salades, marinades, etc.).

La réfrigération est appliquée soit pour l'entreposage des produits, soit pour assurer leur transport dans de bonnes conditions (ne pas confondre le transport *réfrigéré* avec le transport *isotherme* qui consiste, lui, à maintenir le produit isolé thermiquement afin que sa température varie le moins possible), soit pour l'exposition vente, notamment dans les grandes surfaces.

La conservation par réfrigération est cependant limitée par un certain nombre de contraintes :

- la possibilité de développement de microorganismes psychrophiles (dont la température optimale de croissance est basse) ou psychrotrophes (capables de pousser assez bien à basse température bien que leur température optimale soit plus élevée), notamment si la durée de stockage est prolongée;
- le risque de réactions enzymatiques et chimiques pouvant occasionner diverses altérations;
- la déshydratation par évaporation d'eau.

Congélation/surgélation

La congélation consiste à porter le produit à une température négative, inférieure à 0 °C, l'eau du produit passant à l'état solide.

Cette technique peut s'appliquer à toutes sortes de produits concernés par la réfrigération, en plus d'autres (pain, viennoiseries, pizzas, etc.).

En cas de congélation lente (cas des appareils ménagers par exemple), la glace forme des cristaux de grande taille qui transpercent les parois cellulaires des produits, si bien qu'au moment de la décongélation, les tissus végétaux (fruits et légumes) perdent leur fermeté et les tissus animaux (viandes, poisson, etc.) perdent le suc interne de leurs cellules, ce qui leur confère, une fois cuits, un caractère sec et peu succulent.

Dans l'industrie, on pratique plutôt *la surgélation* qui est une congélation rapide, faisant baisser rapidement la température à -18°C, ce qui permet d'éviter la formation de gros cristaux de glace et d'assurer une meilleure qualité des produits après décongélation.

En pratique, il n'est pas conseillé de recongeler un produit qu'on déjà a décongelé.

11.3- Réduction de l'activité de l'eau

Généralités

La proportion d'eau libre d'un milieu donné est exprimée par l'activité de l'eau, symbolisée par aw (*activity of water*). L'aw d'un milieu correspond à la définition suivante :

aw = pression de vapeur du milieu/pression de vapeur de l'eau pure
= ERH/100

ERH : Humidité Relative d'Equilibre

Elle indique la disponibilité de l'eau libre d'une matrice alimentaire. Elle représente la pression de la vapeur d'eau d'un produit divisée par la pression de vapeur saturante P(O) à la même température. Ce paramètre traduit les interactions de l'eau avec la matrice de l'aliment. Elle est égale à 0 lorsque le produit est sec et que toute l'eau est liée à la matrice de l'aliment donc sans qualité réactive. Elle est égale à 1 dans le cas de l'eau pure.

Ce qui compte pour la croissance d'un microorganisme donné, ce n'est pas la teneur en eau du produit concerné, mais plutôt son activité de l'eau, c'est-à-dire la proportion des molécules d'eau à l'état libre, celles qui ne sont pas liées à des solutés tels que les sels ou les sucres. Pour la croissance de chaque espèce microbienne, on définit une aw optimale, la plus favorable, et une aw minimale, celle en dessous de laquelle la croissance n'est pas possible. En conséquence, l'abaissement de l'aw d'un produit alimentaire en-dessous de l'aw minimale des microorganismes permet de le protéger. Le tableau 11.3.1 donne la valeur de l'aw minimale de croissance pour les principaux groupes microbiens des aliments.

Tableau 11.3.1- Valeurs de l'activité de l'eau (aw) minimale de croissance pour les principaux groupes microbiens

Groupes microbiens	aw minimale de croissance
Bactéries à Gram négatif + quelques levures	0,95-~1
Cocci[1] + lactobacilles + quelques moisissures	0,91-0,95
Majorité des levures	0,87-0,91
Majorité des moisissures + *Staphylococcus aureus*[2]	0,80-0,87
Moisissures xérophiles[3]	0,67-0,75
Levures osmophiles[4]	0,60-0,65

[1] : Bactéries de forme sphérique ou ovalaire; [2] : Le staphylocoque doré;
[3] : Qui préfèrent les milieux relativement secs; [4] : Qui préfèrent les milieux riches en sucres

A titre indicatif, le tableau 11.3.2 donne la valeur d'aw d'un certain nombre de produits alimentaires. Ces valeurs et celles du tableau 11.3.1 permettent de prévoir dans quelle mesure chaque type d'aliment est susceptible d'être attaqué par tel ou tel catégorie de microorganisme.

Tableau 11.3.2- Valeur de l'activité de l'eau de quelques produits alimentaires

Produits alimentaires	Valeurs de l'activité de l'eau
Viande fraîche	0,95-~1
Fruits et légumes frais	0,95-~1
Farine, riz, lait concentré sucré	0,80-0,87
Confiture	0,75-0,80
Fruits séchés	0,60-0,65
Epices	0,50
Biscuits	0,30
Poudre de lait	0,20

Par ailleurs, chaque type d'aliment a une valeur critique de la teneur en eau (*Alarm water content*), au-dessus de laquelle il est exposé au risque d'altération par les microorganismes (tableau 11.3.3).

Tableau 11.3.3- Teneur critique : «*Alarm water content*» (en %, à 20°C, en présence d'une Humidité Relative de l'air de 70%)

Produit	*Alarm water content*	Produit	*Alarm water content*
Lait en poudre entier	8	Viande dégraissée séchée	15
Œuf entier déshydraté	10-11	Légumes déshydratés	14-20
Farine de blé	13-15	Amidon	18
Riz	13-15	Fruits déshydratés	18-25

De ce qui précède, on conclut que les aliments riches en eau ont surtout tendance à être envahis par les bactéries, alors que les aliments dits à humidité intermédiaire (grains de céréales, graines d'oléagineux, légumineuses en sec) craignent plutôt les moisissures et que les aliments sucrés sont surtout altérés par les levures et les moisissures.

En conséquence, toute technique permettant d'abaisser l'activité de l'eau des aliments est susceptible de les protéger contre le développement microbien. Plusieurs procédés peuvent être adoptés à cet effet.

Salage

A partir d'une concentration de 3 à 5% dans les produits alimentaires, le sel inhibe bactéries, levures et moisissures. De nombreuses espèces bactériennes sont totalement inhibées par 10% de sel. Le tableau 11.3.4 donne les concentrations en sel permettant d'inhiber particulièrement des espèces représentant un danger sanitaire pour le consommateur.

Tableau 11.3.4- Concentrations en sel pour inhiber les bactéries indésirables dans les aliments (en %)

Espèces bactériennes	Concentration en sel
Clostridium perfringens	7
Salmonelles	8
Clostridium botulinum	5-10
Vibrio parahaemolyticus	10
Staphylococcus aureus	22

Il existe cependant des espèces halotolérantes (capables de résister au sel), voire des espèces halophiles (qui exigent des concentrations élevées en sel pour se développer). La bactérie *Staphylococcus aureus,* par exemple, qui est capable de causer des toxi-infections alimentaires assez graves (voir *Toxi-infection staphylococcique,* p. 293), exige jusqu'à 22% de sel pour être inhibée.

Sucrage

Les sucres exercent le même effet inhibiteur sur les microorganismes que le sel. De nombreux produits alimentaires sont élaborés selon ce principe, notamment les confitures et les fruits confits. Cependant, le sel de cuisine NaCl est 6 fois plus efficace que le saccharose et près de 12 fois plus que le lactose pour inhiber les microorganismes.

Là aussi, il faut signaler la présence d'espèces microbiennes dites osmophiles (très bien adaptées aux fortes concentrations en sucre), notamment parmi les levures et moisissures dont certaines sont capables de pousser en présence de 60% de sucre (exemples : la moisissure verte de la confiture, *Aspergillus glaucus* et la levure *Saccharomyces rouxii,* capable d'altérer des produits aussi sucrés que le miel).

Evaporation de l'eau

L'évaporation de l'eau des aliments est un autre procédé employé. Non seulement elle permet de stabiliser les produits, mais elle réduit aussi les volumes à transporter, à stocker et à manipuler. Appliquée à beaucoup d'aliments (poisson, viande, œufs, lait, fruits, légumes, etc.), elle peut être accompagnée de salage (poissons, viandes comme le *qaddid* marocain) ou de sucrage (lait concentré sucré). Par ailleurs, elle peut être modérée (concentration du lait, du jus de tomate, etc.) ou poussée (séchage du lait, de la levure, de la tomate, des abricots, des pruneaux, etc.).

Le lait représente un bon exemple de matière première sur laquelle l'évaporation de l'eau est appliquée. On peut fabriquer, en effet :

- du lait concentré non sucré par évaporation de 60% de l'eau; le produit fini ayant une teneur en lactose de l'ordre de 11,5%, il doit être stérilisé pour une bonne conservation;
- du lait concentré sucré : l'évaporation de l'eau est accompagnée d'une addition de saccharose ou de glucose; le produit fini présentant une concentration finale de 54-64% de sucres, la stérilisation est inutile;
- du lait en poudre : l'évaporation est poussée jusqu'à obtention du séchage; l'humidité résiduelle est négligeable.

Ces techniques ont pour effet général d'améliorer la valeur nutritive des produits alimentaires par effet de concentration. Cependant, tous les effets indésirables des traitements thermiques peuvent être induits. Néanmoins, certaines techniques sont mieux indiquées que d'autres pour préserver les qualités nutritives et organoleptiques des produits traités. Par exemple, le séchage du lait par atomisation selon le procédé *Spray* (un courant d'air chaud envoyé sur le lait dispersé sous forme de brouillard très fin) est beaucoup plus intéressant à cet égard que le procédé *Hatmaker* de séchage sur cylindres (le lait liquide est étalé sur la surface d'un tambour métallique à l'intérieur duquel circule de la vapeur d'eau à 140-150 °C).

Le séchage traditionnel par exposition du produit au soleil ou à l'ombre dans un endroit sec et bien aéré est encore largement répandu. Un exemple de produit traditionnel séché de cette manière est la *klila*. Il s'agit d'un produit laitier très consommé au printemps, notamment dans l'Oriental et le Sud marocains où il est vendu dans les souks hebdomadaires. Le nom *klila* vient du mot *kellel* qui signifie «cailler». Ce produit est préparé à partir du *lben* (lait fermenté traditionnel marocain) légèrement salé puis chauffé, ce qui le fait coaguler, entrainant sa séparation en deux phases, l'une solide et l'autre liquide. L'ensemble est ensuite versé dans une passoire tapissée d'un morceau de tissu fin. Après égouttage, cette mousseline, nouée en bourse, est suspendue afin de laisser s'égoutter le produit. La *klila* ainsi obtenue est émiettée au-dessus d'un linge propre et laissée sécher dans un endroit aéré et ombragé jusqu'à déshydratation. Les morceaux de *klila* séchée sont conservés jusqu'en hiver où ils sont consommés comme sources de protéines.

L'inconvénient majeur de cette technique de séchage traditionnel à l'air est qu'elle nécessite beaucoup de temps, ce qui permet à des micro-organismes indésirables de se multiplier lorsque le produit passe par des valeurs d'activité de l'eau favorable. C'est ainsi qu'on peut observer le développement de moisissures sur le *qaddid*, dans les figues séchées ou encore sur les olives noires «façon Grèce», avec la production probable de mycotoxines, substances toxiques spécifiques des moisissures (voir *Moisissures toxinogènes et mycotoxines*, p. 304).

11.4- Opérations d'extraction et de séparation

Les nutriments étant inégalement distribués au sein de chaque type de matière première, ils se retrouvent généralement plus concentrés dans une fraction que dans une autre lors de toute opération de séparation ou d'extraction.

Par exemple, tout l'art de la meunerie traditionnelle consiste à séparer l'enveloppe du grain de blé de son amande (albumen ou endosperme). L'endosperme représente 83% du grain de blé, contre 14% pour l'enveloppe et 3% pour le germe. L'enveloppe, riche en fibres, constitue le son, alors que l'amande, riche en amidon et en protéines, est transformée en farine.

L'enveloppe est formée du péricarpe, du testa et de la couche d'aleurone (figure 11.4.1). L'aleurone (du grec *aleuron* : farine) est une protéine sous forme de grains disposés en couche. La couche d'aleurone forme l'assise et la structure du tégument de la graine.

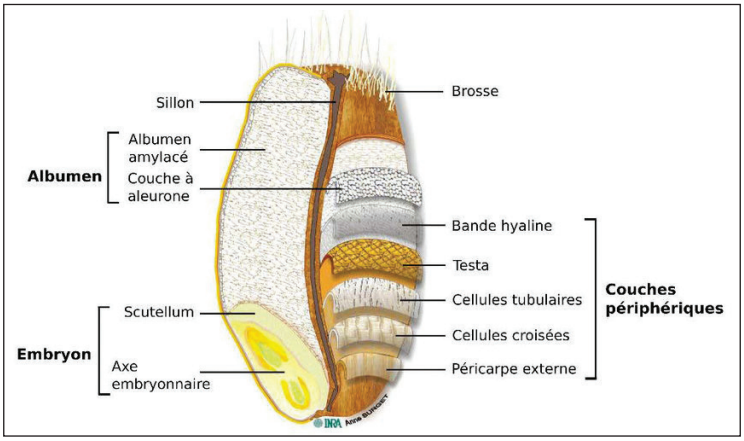


Figure 11.4.1- Schéma de la coupe d'un grain de blé

Le blé complet représente une bonne source d'éléments minéraux (dont le fer), d'acides aminés et de vitamines, notamment les vitamines B1, B2, B6 et PP (niacine). Mais, ces nutriments sont concentrés dans les couches externes des grains représentées par les enveloppes (tableau 11.4.1).

Tableau 11.4.1- Composition moyenne approximative des trois fractions du grain de blé

Fraction	g/100g[1]				%AJR[2]	Traces
	Gluc.[3]	Prot.[4]	Lip.[5]	Fib.[6]	Fer	
Enveloppes	63	16	3	43	59	Vit. B
Amande	79	7	0	4	7	-
Germe	52	23	10	14	35	Vit. B, ω3, ω6 [7]

[1] : La différence par rapport à 100% est que les fibres sont constituées de glucides;
[2] : Pourcentage des apports journaliers recommandés; [3] : Glucides; [4] : Protéines;
[5] : Lipides; [6] : Fibres; [7] : Acides gras oméga 3 et oméga 6

Le blutage (séparation du son) entraine une chute de la teneur en ces nutriments dans les farines, et cette diminution est d'autant plus accentuée que la farine est plus blanche, c'est-à-dire que le taux d'extraction est plus faible (le taux d'extraction représente le pourcentage de farine extraite par rapport à la quantité de grains écrasés). On peut constater qu'un taux d'extraction de 80% entraine l'élimination de près des deux tiers du fer et des vitamines B1, B6, PP et acide folique. Avec un taux d'extraction de 70%, toute activité vitaminique est pratiquement enlevée (figure 11.4.2).

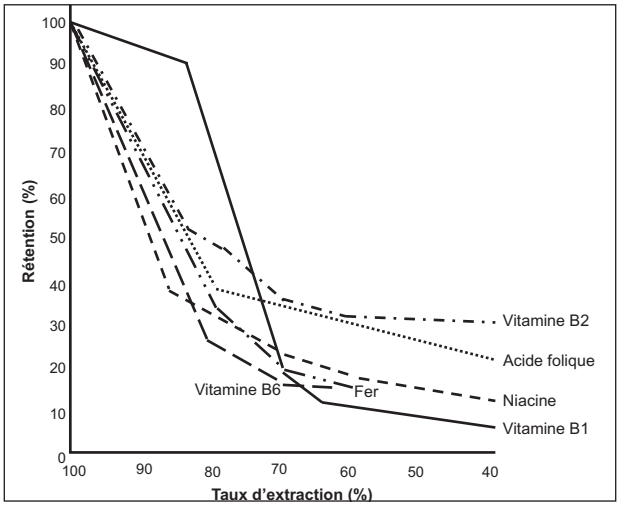


Figure 11.4.2- Effets du taux d'extraction des farines de blé sur les teneurs en vitamines et en fer

De plus, la séparation du son entraine la diminution de la teneur des farines en d'autres éléments minéraux, notamment le calcium, le fer, le zinc et le cuivre (tableau 11.4.2). La chute du taux de phosphore est moins nette.

Tableau 11.4.2- Influence du taux d'extraction des farines de blé sur les teneurs de quelques minéraux (mg/100 g de matière sèche)

	Ca	P	Fe	Zn	Cu
Farine complète de blé dur	27	340	4	3	0,22
Farine complète de blé tendre	25	360	5	0,90	0,20
Farine de blé tendre TDE[1] 85%	24	300	4,5	0,95	0,12
Farine de blé tendre TDE[1] 68%	13	250	1	0,40	0,05

[1] : Taux d'extraction

Par ailleurs, l'extraction de matières grasses se traduit par la concentration des vitamines liposolubles (A, D, E et K) dans le produit gras séparé par rapport aux matières premières d'origine. C'est le cas des huiles végétales non raffinées. C'est aussi le cas de la crème (300 à 600 g de matières grasses par litre) et du beurre (820 g de matières grasses/kg) qui en contiennent beaucoup plus que le lait (30 à 55 g de matières grasses/l). En revanche, le lait écrémé est pratiquement dépourvu de

ces vitamines et le lait demi-écrémé en contient moitié moins que le lait entier. De même, la teneur de ces vitamines dans le *lben* est beaucoup plus faible que dans le lait d'origine du fait que la plus grosse partie de la matière grasse en a été extraite.

Les vertus nutritionnelles des fruits et des légumes sont généralement bien conservées dans les jus obtenus par pressage. En effet, la majorité des nutriments présents dans ces matières premières se retrouvent dans les jus frais en quantités proches ou légèrement inférieures. C'est notamment le cas des sucres naturels des fruits, des vitamines, des éléments minéraux majeurs et des oligoéléments. Seules les fibres peuvent être significativement éliminées lors de la fabrication des jus.

Il est cependant essentiel de se rappeler que :

- dès que le jus est préparé, certains nutriments commencent à se dégrader, notamment les vitamines, surtout en cas d'exposition à la lumière et à l'oxygène; la vitamine C est particulièrement instable;
- si le jus est éclairci, d'une manière ou d'une autre (par filtration par exemple), il peut perdre une grande proportion de ses fibres; le mode de préparation du jus est déterminant à cet égard : un jus préparé en pressant des oranges dans un mixer aura beaucoup plus de fibres (surtout s'il n'est pas filtré) que celui obtenu en utilisant un presse-orange manuel, qui laisse une bonne proportion des fibres avec les épluchures.

La consommation de jus de canne à sucre est de plus en plus en vogue. Si la canne à sucre peut être considérée comme une mine de vertus (vitamines C, B1, B2 et B3, fer, calcium, etc.), son jus est aussi un concentré d'énergie, sa teneur en saccharose étant de l'ordre de 14%. C'est pourquoi il ne faut pas en abuser.

11.5- Fermentation

La fermentation des produits alimentaires a pour principaux effets de provoquer le développement d'un goût et d'un arôme particuliers. On note également souvent un effet favorable sur la consistance et la texture.

Les produits fermentés sont souvent plus riches en vitamines du groupe B que les matières premières d'origine. En effet, aussi bien les bactéries lactiques que les levures qui prolifèrent dans la plupart des aliments fermentés sont d'excellentes sources en ces vitamines.

La fermentation améliore aussi la digestibilité des aliments. En effet, l'activité enzymatique des microorganismes réalise une sorte de prédigestion des composés complexes tels que les protéines ou les lipides, permettant à l'organisme du consommateur une assimilation plus facile. Dans le cas des produits laitiers fermentés en particulier (yaourt, *lben*, certains fromages), le lactose est d'abord scindé en glucose et galactose par l'enzyme lactase, puis le glucose subit la fermentation pour donner de l'acide lactique. Ainsi, les effets indésirables liés à l'intolérance au lactose sont réduits (voir *Intolérance au lactose*, p. 255).

Par ailleurs, la fermentation réduit souvent la toxicité des aliments. Les microorganismes agents de fermentation sont capables de détruire au moins partiellement les principes toxiques susceptibles de contaminer les aliments (pesticides, mycotoxines, etc.).

En outre, certains microorganismes tels que les bactéries lactiques sont capables de décomposer les phytates, permettant une meilleure biodisponibilité des minéraux alimentaires (voir *Acide phytique*, p. 176).

Un autre effet bénéfique des fermentations est qu'elles confèrent généralement aux produits une meilleure résistance aux microorganismes indésirables, et ce, du fait de leur acidité plus élevée par rapport aux matières premières correspondantes, à côté de la présence de substances à effet antiseptique, notamment les acides organiques (lactique, acétique, etc.) et l'éthanol.

L'un des produits alimentaires fermentés les plus prisés à travers le Monde est le yaourt. Il s'agit d'un produit obtenu par fermentation lactique du lait jusqu'à coagulation, et ce, à l'aide de deux bactéries, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Le lait soumis à la fermentation est préalablement pasteurisé, généralement additionné de poudre de lait pour être plus concentré, et éventuellement écrémé de manière plus ou moins poussée. Il peut aussi être additionné de sucre et d'autres ingrédients (arômes, colorant, morceaux de fruits, etc.).

Selon la consistance du produit fini, on définit trois catégories de yaourt :

- le yaourt ferme : après son ensemencement avec les bactéries lactiques, le mélange du lait et des autres ingrédients est conditionné en pots, qui sont placés dans une étuve à 42-43 °C pendant trois heures; en se reproduisant, les bactéries dégradent partiellement le lactose, le transformant en acide lactique, ce qui modifie la structure des protéines, formant ainsi un gel; les pots de yaourt sont ensuite refroidis et stockés à 2-4 °C;
- le yaourt brassé : la fermentation se fait en vrac, dans une cuve; le caillé obtenu est brassé, refroidi, puis conditionné en pots, qui seront stockés au froid;
- le yaourt à boire (ou liquide) : après sa fermentation dans la cuve, le produit est brassé, puis battu, avant d'être conditionné et stocké au froid.

La composition nutritionnelle d'un yaourt dépend donc pour une grande part des modifications apportées au lait de départ avant la fermentation, puis de cette fermentation elle-même (notamment transformation d'une partie du lactose en acide lactique et production de vitamines du groupe B par les bactéries lactiques). Ainsi, le yaourt est généralement plus riche en protéines, en Ca et en P que le lait à cause de l'ajout de poudre de lait. Il est également plus fourni en vitamines du groupe B, apportées par les bactéries lactiques. En revanche, on trouvera moins de lactose du fait qu'une fraction de ce sucre a été fermentée en acide lactique, la teneur de ce dernier pouvant atteindre 1% dans le yaourt. Pour ce qui est des matières grasses, les taux sont très variables dans les yaourts proposés au consommateur.

11.6- Raffinage des huiles

Les huiles brutes obtenues par extraction industrielle à partir des graines oléagineuses ne sont généralement pas consommées en l'état. Elles doivent subir, au préalable, une série de traitements de raffinage pour être utilisées. Ce raffinage consiste essentiellement à éliminer les substances gommeuses (démucilagination), les acides gras libres responsables du goût acide prononcé (neutralisation), les substances colorantes indésirables (décoloration) et les substances responsables d'odeurs désagréables (désodorisation).

Le raffinage des huiles interfère significativement sur leur qualité nutritionnelle en enlevant notamment les caroténoïdes (provitamines A), les polyphénols (antioxydants) et en réduisant le taux des tocophérols (vitamine E).

11.7- Hydrogénation des huiles

La consistance des lipides est déterminée par le degré de saturation des AG qui les constituent ainsi que par la longueur des chaînes carbonées de ces AG. Les AG saturés contiennent le maximum d'atomes d'hydrogène qu'ils sont capables de contenir. En revanche, les acides gras insaturés présentent des atomes de carbone qui ne sont pas saturés par des atomes d'hydrogène et qui sont, de ce fait, liés entre eux par des doubles liaisons. Ils sont donc chimiquement plus réactifs. Selon le nombre de doubles liaisons présentes dans un AG, on distingue les AG mono-instaurés (une seule double liaison), les AG di-insaturés (deux doubles liaisons) et les AG polyinsaturés (plusieurs doubles liaisons) (voir *Les acides gras*, p. 76).

L'hydrogénation a pour but de saturer les doubles liaisons se trouvant entre deux carbones consécutifs par addition de deux atomes d'hydrogène à chacune d'entre elles. Elle a aussi pour conséquence de rendre les produits traités plus réfractaires à l'oxydation. Le processus industriel consiste à faire barboter de l'hydrogène dans la matière grasse liquide jusqu'à l'obtention du degré de solidité désiré. L'hydrogénation des lipides liquides permet, en effet, d'obtenir des lipides sous forme solide. A mesure que le processus d'hydrogénation continue, les AG polyinsaturés sont transformés en AG totalement ou partiellement saturés. C'est le principe de la fabrication des margarines et des «*shortenings*», produits qui ressemblent au beurre naturel confectionné à partir du lait.

La question qui se pose est de savoir dans quelle mesure cette procédure d'hydrogénation a des retombées sur les qualités nutritive et sanitaire de ces matières grasses.

Sur le plan nutritionnel, l'hydrogénation des huiles diminue leur contenu en AG essentiels et ce par la réduction et l'isomérisation (géométrique et de position). Ces transformations concernent essentiellement l'acide linoléique et l'acide linolénique. L'acide linoléique est transformé au cours de l'hydrogénation en acide élaïdique (ou acide transoléique) qui n'est pas un composé naturel des lipides d'origine végétale.

Les AG *Trans*, en général, ont soulevé beaucoup de questions quant à leurs effets néfastes sur la santé des consommateurs (voir *Acides gras* Trans, p. 79), bien qu'ils représentent naturellement 8% des AG des matières grasses du lait de vache et 5 à 10% des AG des graisses des ruminants. Il a été observé en effet que les AG et les lipides hydrogénés avaient tendance à augmenter le niveau de la cholestérolémie, comparativement aux lipides non hydrogénés, participant ainsi à l'apparition des maladies cardiovasculaires.

On peut recourir à des processus d'hydrogénation minimisant l'isomérisation et la formation de l'acide élaïdique (transoléique). Par exemple, on peut procéder à un mélange de lipides non hydrogénés avec des lipides hautement hydrogénés avec très peu d'AG *Trans*, suivi d'une intrestérification pour obtenir les propriétés physiques désirées pour les margarines et les «*shortenings*». Ce mélange contient alors de hauts niveaux d'AG polyinsaturés et de faibles niveaux d'AG *Trans*.

En matière d'étiquetage, on doit mentionner si le lipide a été «hydrogéné», «partiellement hydrogéné», «durci» ou «partiellement durci», soit entièrement ou en combinaison et, pour la margarine, si le produit a une consistance partiellement ou totalement ferme ou mixte.

11.8- Fortification, enrichissement

L'enrichissement (ou fortification, terme provenant de l'Anglais) est un traitement dont le but essentiel est de restituer aux aliments les nutriments qu'ils auraient perdus au cours de leur préparation ou d'augmenter la teneur de ces aliments en certains nutriments au-dessus de la valeur considérée comme normale. Cette technique permet de lutter contre les carences. Elle est particulièrement indiquée pour des groupes de population importants et constitue généralement une solution à des problèmes nutritionnels et de santé.

Fer

Le fer peut être utilisé sous différentes formes pour l'enrichissement des aliments. Tous ces produits n'ont pas la même valeur biologique relative (VBR). Par rapport au sulfate ferrique dont la VBR est fixée conventionnellement à 100, celle du pyrophosphate ferrique de sodium, par exemple, n'est que de 14 (tableau 11.8.1).

Tableau 11.8.1- Principales sources de fer employées dans l'enrichissement des aliments

Produit	Autre nom commun	Ten.[1] (g/kg)	VBR[2]
Phosphate ferrique	O-phosphate[3] ferrique	280	3-46
Pyrophosphate ferrique	Pyrophosphate de fer	250	45
Pyrophosphate ferrique de Na	Pyrophos.[4] Na de fer	150	14
Citrate ammonium ferrique		170	107
Fumarate ferreux		330	95
Gluconate ferreux		120	97
Sulfate ferreux		320	-
Fer	Fer élémentaire[5]	1000	100
Fer réduit (procédé H_2 ou CO)		960	34
Fer réduit (électrolytique)		970	50
Fer réduit (carbonyl)		980	67

[1] : Teneur en fer; [2] : Valeur biologique relative, par rapport au sulfate ferreux chez le rat; [3] : Orthophosphate; [4] : Pyrophosphate; [5] : Ou fer «*reductum*», ou fer métallique

Néanmoins, il n'est pas facile de faire un choix judicieux de la source de fer pour l'enrichissement des produits alimentaires. Les sources les plus facilement absorbables ont l'inconvénient de catalyser des réactions d'oxydation pouvant causer des problèmes de couleur, de flaveur et de goût. En revanche, les formes chimiquement inertes ne sont que faiblement absorbables. Un bon compromis serait l'emploi de particules ou de poudre très fine de fer élémentaire appelé «fer réduit». Le prix de la source est également à prendre en compte. Actuellement, au Maroc, il serait question de remplacer le fer élémentaire par une autre source où le fer est mieux absorbé et de revoir la composition de la préparation à ajouter à la farine à cet effet. Dans tous les cas, les formes de fer à utiliser doivent être minutieusement contrôlées, notamment pour ce qui est de la solubilité, de l'état d'oxydation et de l'aptitude à former des complexes avec des constituants de l'aliment susceptibles de réduire la biodisponibilité du métal. Ainsi, plusieurs aliments vecteurs peuvent être utilisés pour la fortification en fer.

De nombreux pays ont choisi la farine de blé pour leur programme de fortification en fer. Les pays industrialisés (Danemark, Royaume Uni, USA) ont lancé ces programmes depuis longtemps, relayés par des pays en voie de développement, dont le Maroc.

Au Maroc, le mélange préparé pour l'enrichissement de la farine comporte aussi des vitamines (tableau 11.8.2).

Tableau 11.8.2- Composition de la préparation utilisée au Maroc pour l'enrichissement des farines en fer et taux d'adjonction des nutriments

Nutriments	Composition de la préparation (g/kg)	Taux d'adjonction des nutriments (g/tonne de farine)
Fer[1]	500,00	45,00
Acide folique	17,00	1,53
Vitamine B1	50,00	4,50
Vitamine B2	31,00	2,79
Vitamine PP	402,00	36,18
Total	**1000,00**	**90,00**

[1] : Fer élémentaire

La consommation moyenne de farine industrielle au Maroc a été estimée à 365,75 g/personne/jour et on a réalisé une simulation afin d'estimer le taux de participation dans la couverture des apports recommandés en fer (tableau 11.8.3).

Tableau 11.8.3- Simulation entre le niveau de consommation de farine industrielle et le taux de participation dans la couverture des allocations recommandées au Maroc

Consommation de farine industrielle (g/personne/j)	Apport en fer (mg/personne/j)	Participation dans la couverture des allocations recommandées en fer (%)
100	4,50	30
200	9,00	60
400	18,00	120

Les produits à base de céréales, en général, présentent deux inconvénients en tant que vecteurs pour la fortification en fer. D'une part, ils présentent un taux élevé en acide phytique qui inhibe l'absorption de cet élément (voir *Acide phytique*, p. 176). D'autre part, ils sont sensibles à l'oxydation à cause de leurs lipides. La farine blanche de blé, moins riche en acide phytique que la farine complète, est souvent employée dans ce sens, même si la biodisponibilité du fer y reste faible. Cela répond à l'un des buts de l'enrichissement qui consiste à restituer aux produits transformés les principes nutritifs éliminés ou détruits par les traitements technologiques. En effet, au cours du blutage de la farine de blé, une partie des minéraux et des vitamines est éliminée avec le son (voir *Opérations d'extraction et de séparation*, p. 240).

Si une politique rationnelle d'enrichissement en fer pourrait être bénéfique pour la population, il faut éviter le «sur-enrichissement» qui pourrait conduire à un déséquilibre entre nutriments, voire une toxicité (voir *Fer*, p. 139).

Iode

Pour compenser le manque d'iode dans la ration alimentaire, on a généralement recours, entre autre, à l'enrichissement du sel. Cette pratique a été recommandée aux Etats-Unis durant les années 1920-30. En France, l'iodation du sel (de table et de cuisine) est autorisée depuis 1952, mais n'est pas obligatoire. Par ailleurs, l'emploi du sel iodé est autorisé dans la restauration collective, mais pas dans les aliments manufacturés.

Quatre composés peuvent être utilisés par les producteurs comme sources d'iode : l'iodate de potassium KIO_3, l'iodure de potassium KI, l'iodate de sodium $NaIO_3$ et l'iodure de sodium NaI. En fait, l'iode est absorbé principalement sous forme d'iodure, mais les iodates sont convertis en iodures dans l'organisme humain, si bien que n'importe laquelle de ces 4 substances fournit à la glande thyroïde l'iode dont elle a besoin pour la synthèse des hormones thyroïdiennes T4 et T3 (voir *Iode*, p. 140). L'iode est absorbé également, mais plus lentement, associé à certains acides aminés.

Au Maroc en particulier, le choix du sel comme véhicule pour un apport supplémentaire en iode se justifie par plusieurs considérations, notamment :

- la large consommation du sel en quantités quotidiennes quasi-constantes par toutes les couches de la population;
- le processus d'iodation simple;
- l'acceptabilité du sel iodé par le consommateur.

Le fortifiant choisi est l'iodate de potassium car il présente les avantages suivants :

- il est plus stable que l'iodure de potassium;
- il ne s'oxyde pas facilement;
- il ne nécessite pas de stabilisateur;
- son ajout à un sel ayant un taux d'humidité de 1 à 5% n'a pas d'effet néfaste;
- il se dégrade rapidement dans le corps humain et libère facilement l'iode;
- il n'est pas toxique dans les conditions normales et il est approuvé par l'OMS.

L'iode doit donc être apporté dans une proportion de 30 mg de KIO_3 par kg de sel, avec une tolérance de plus ou moins 10 mg/kg. Ce taux a été calculé en tenant compte des besoins quotidiens de l'organisme, estimés à 150 µg par jour, de la consommation moyenne du sel alimentaire qui s'élève à 10g/personne/jour et des pertes d'iode depuis la production jusqu'au consommateur (20%) puis au cours de la cuisson (20% supplémentaires).

On peut aussi ajouter du sel iodé au pain, mais à condition que le pain ne soit pas fait à la maison ou, si cela est obligatoire, de s'assurer que les doses de sel iodé sont strictement respectées. Une autre possibilité est d'ajouter le sel iodé à l'eau de boisson, mais il importe que l'eau soit distribuée par les services les plus appropriés et que les doses soient respectées.

Néanmoins, il faut rappeler qu'une consommation excessive de sel est néfaste à la santé (hypertension et toxicité engendrées respectivement par le sodium et l'iode en excès). Un équilibre doit donc être trouvé entre ce dont l'organisme a besoin en iode et le souci relatif au taux de sodium qu'il ne faut pas dépasser pour éviter tout désagrément.

Vitamines A et D3

La fortification en vitamines A et D3 peut concerner les huiles de table ou le lait.

Les huiles de table

Au Maroc, un produit contenant un mélange des vitamines A et D3 est ajouté aux huiles de table, qu'elles soient produites par les raffineries locales ou importées. Ce mélange contient :

- 1.000.000 UI/g de vitamine A sous forme de palmitate de rétinyl, soit 300.300,3 µg/g d'équivalent rétinol[17];
- 100.000 UI/g de vitamine D3, soit 2500 µg/g de vitamine D3[18].

Les doses retenues pour la fortification des huiles de table sont :

- 30 UI/g pour la vitamine A (allant de 21 à 45 UI/g);
- 3 UI/g pour la vitamine D3 (allant de 2,1 à 4,5 UI/g).

Ces doses couvriront 36% des besoins quotidiens en vitamines A et D3 du citoyen marocain moyen, en se basant sur une consommation moyenne de 32 g d'huile/personne/jour.

Lait pasteurisé

La fortification du lait en vitamines A et D3 est une opération simple qui n'exige aucun investissement supplémentaire en équipement. Au Maroc, on emploie un mélange huileux de vitamines A et D3, aux concentrations respectives de 1.000.000 et 100.000 UI/g. Les niveaux de fortification déclarés sur l'étiquetage du lait sont de 1.201,2 µg/litre (4.000 UI/litre) pour la vitamine A et de 8,5 µg/litre (340 UI/litre) pour la vitamine D3, ce qui équivaut, respectivement, à 15% de l'apport journalier recommandé (AJR) en vitamine A et à 17% de l'AJR en vitamine D.

Cependant, on tolère, pour la vitamine A, une fourchette de 1.201,2 à 1.801,8 µg/litre (4.000 à 6.000 UI/litre). En cas de surdosage en cette vitamine, un retrait du marché des laits fortifiés pasteurisés s'impose, le niveau de surdosage exigeant un tel retrait ayant été fixé à 3.753,8 µg /litre (12.500 UI/litre). Les établissements laitiers doivent

17- *Vitamine A : 1 équivalent rétinol = 1 µg de rétinol = 6 µg de β-carotènes = 12 µg d'autres Caroténoïde provitamines A = 3,33 UI de rétinol = 10 UI de β-carotènes.*

18- *Vitamine D3 : 10 µg de vitamine D3 (cholécalciférol) = 400 UI de vitamine D.*

être préalablement agréés par les services vétérinaires pour réaliser cette fortification. Ils doivent adopter la démarche HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) incluant, entre autre, la mise en place d'une procédure de rappel pour éviter d'exposer le consommateur aux laits surdosés ou posant un quelconque problème sanitaire. Ils doivent aussi procéder mensuellement à des analyses de la teneur en vitamine A dans le lait fortifié pasteurisé, auprès d'un Laboratoire Officiel, et ce, à raison d'une analyse/mois/ligne de production. La teneur en vitamine A des laits analysés doit être comprise entre 1201,2 et 1801,8 µg/litre; soit 4000 à 6000 UI/litre.

11.9- Bouillies destinées à l'alimentation infantile

Dans beaucoup de pays en développement, c'est à partir du sevrage que la dénutrition et la malnutrition commencent à se manifester, et cela pour des raisons complexes. D'une part, la durée de l'allaitement maternel va en diminuant et, d'autre part, le pouvoir d'achat des familles, leur éducation nutritionnelle et leurs modes de vie ne permettent pas d'offrir régulièrement et quotidiennement aux nourrissons les aliments nécessaires et suffisants à la couverture de leurs besoins et à leur croissance et développement.

Il existe néanmoins à travers le Monde des tentatives pour remédier à ces problèmes. Il s'agit de préparer des mélanges alimentaires susceptibles de remplacer tout ou partie du lait maternel. Il faut cependant insister sur le fait que rien ne remplace le lait maternel, qui est un produit unique, du moins durant les premiers mois de la vie du nourrisson.

L'utilisation d'un aliment de «remplacement» du lait s'impose. Les mélanges préparés sont basés sur les aptitudes d'intersupplémentation classique entre les céréales et les légumineuses, avec une adjonction appropriée de composés minéraux et vitaminiques pour améliorer les qualités nutritionnelles de ces produits.

Les bouillies préparées au niveau des ménages à partir de céréales non traitées demandent une cuisson prolongée à feu doux avant d'être administrées aux enfants. Par ailleurs, le mélange ainsi préparé, de consistance épaisse, n'est pas toujours accepté par les enfants, surtout ceux qui sont carencés. En revanche, dans les produits plus élaborés, préparés industriellement, on procède à la précuisson et/ou à la prédigestion enzymatique permettant d'obtenir une bouillie moins épaisse et mieux acceptée. Cette technologie nécessite cependant des installations importantes, ce qui augmente du coup le prix de revient des produits.

Néanmoins, à côté de cette technologie coûteuse, existent des traitements qui pourraient constituer une alternative et offrir des solutions plus simples, pour la confection de bouillies pour alimentation infantile. Ces traitements sont :

- l'expansion, qui consiste à chauffer le grain brutalement pendant moins d'une minute à 300 °C;
- l'extrusion, qui consiste à chauffer le grain broyé sous pression à 120 °C après une humidification convenable et à le faire passer à travers une filière appropriée;
- le floconnage, qui consiste à aplatir la farine complètement entre deux rouleaux chauffés à 130 °C.

Réalisés avec un appareillage moderne, ces trois types de traitements thermiques respectent beaucoup mieux la biodisponibilité des acides aminés tout en faisant bénéficier le produit fini des améliorations organoleptiques et physico-chimiques induites par la chaleur.

Cependant, il ne suffit pas d'élaborer des aliments aux qualités nutritionnelles indéniables, encore faut-il leur assurer une diffusion efficace afin qu'ils soient consommés aussi régulièrement que possible pour qu'ils puissent jouer pleinement leurs rôles contre la dénutrition et la malnutrition et améliorer le bien-être des populations.

TROISIEME PARTIE
TROUBLES SANITAIRES LIES AUX ALIMENTS

Le lien entre alimentation et santé n'est plus à démontrer. Il est notamment établi que de nombreuses affections dont souffrent les humains, et qui varient tant par leur gravité que par leur fréquence, sont directement liées à leur alimentation.

Outre les troubles signalés tout au long des chapitres précédents, et qui se rapportent principalement à des carences ou à des excès en certains nutriments, on peut définir deux grands groupes de troubles sanitaires en relation avec notre alimentation :

- les désordres nutritionnels, qui sont en liaison avec la nature même des aliments consommés;
- les troubles d'origine microbienne, provoqués par les microbes contaminant les aliments et/ou leurs toxines.

12- Approches nutritionnelles de la prise en charge de certaines maladies

12.1- Désordres sanitaires liés aux glucides

Les perturbations du métabolisme des glucides mènent à différents types de maladies, parfois héréditaires. La plupart de ces troubles sont dûs à des déficits enzymatiques. Ce qu'il est convenu d'appeler les intolérances à tel ou tel glucide rentrent dans ces affections.

Intolérance au lactose

Certaines personnes perdent la capacité de digérer le lactose, diholoside du lait. Elles deviennent lactose-intolérantes. Les symptômes sont la nausée et la diarrhée sévère. Il s'agit d'un désordre congénital ou acquis, lié à un manque de l'enzyme lactase qui dégrade le lactose en glucose et galactose. Le lactose non décomposé s'accumule dans l'intestin et fermente, donnant les symptômes décrits plus haut.

Dans ce cas, le lactose doit être supprimé du régime. Cependant, dans les produits laitiers fermentés (yaourt, *lben*, certains fromages, etc.), le lactose est au moins partiellement dégradé par les microorganismes. On peut donc remplacer le lait, dans une certaine mesure, par les produits laitiers fermentés.

L'intolérance au lactose est différente de l'intolérance au lait, plus précisément aux protéines du lait de vache ou, parfois, à celles du lait d'autres espèces (voir plus bas).

Défauts du métabolisme du galactose

Le lactose du lait et des produits laitiers est composé de glucose et de galactose. Pour l'employer comme source d'énergie, les cellules doivent convertir le galactose en glucose. La présence de galactose dans le sang (galactosémie) est due à un déficit dans les enzymes responsables de cette transformation.

Cela peut aboutir à une cataracte suite à l'accumulation du dulcitol ou galacticol (produit de la réduction chimique du galactose) dans les lentilles des yeux. Les symptômes aigus de cette maladie chez le nouveau-né et l'enfant sont les suivants : jaunisse, hépatomégalie (hypertrophie du foie), vomissements, hypoglycémie, convulsions, irritabilité, difficultés de se nourrir, faible gain de poids, aminoacidurie

(acides aminés dans les urines), cataracte (opacification du cristallin), hémorragie vitreuse, cirrhose hépatique, ascite (accumulation de liquide dans l'abdomen), splénomégalie (hypertrophie de la rate), voire retard mental et, plus tard, problèmes de reproduction.

Malabsorption du glucose et du galactose

Il s'agit d'une affection rare dans laquelle le glucose, le galactose et les autres sucres qui sont normalement absorbés par un mécanisme actif (transport actif contre le gradient de concentration) ne peuvent pénétrer dans les cellules intestinales. Ils provoquent alors une fermentation intense et sont excrétés dans les selles. Le traitement consiste à remplacer le glucose, le galactose et tous les sucres qui contiennent ces deux oses (lactose, saccharose, maltose, amidon) par du fructose qui, lui, est absorbé sans transport actif et relativement lentement, comparativement au glucose et au galactose.

En outre, si le galactose provenant de l'hydrolyse du lactose peut suivre normalement plusieurs voies métaboliques débouchant au glucose, cette transformation ne se fait pas en cas de déficience enzymatique, ce qui se traduit par une accumulation du galactose et de certains de ses dérivés dans le sang (galactosémie) et les tissus, provoquant un état de toxicité, dont les symptômes chez l'enfant sont l'anorexie, les vomissements, la perte de poids, l'œdème et la diarrhée. On observe également un dysfonctionnement du foie, des hémorragies, un retard mental, la cataracte et, souvent, la mort.

Le traitement consiste à proscrire toute consommation de lait et de produits laitiers et à les remplacer par un régime approprié.

Troubles du métabolisme du fructose

Il existe plusieurs défauts génétiques du métabolisme du fructose chez l'Homme. Parmi eux, ceux dus à un déficit en l'enzyme fructokinase hépatique ou en aldolase sont les plus fréquents.

Déficit en fructokinase

Le métabolisme du fructose alimentaire commence par sa conversion en fructose-1-phosphate, catalysée par la fructokinase hépatique. En cas de déficit en cette enzyme, le fructose non utilisé s'accumule dans le sang, puis il est excrété par les urines. C'est la fructosurie essentielle, maladie héréditaire bénigne ayant une prévalence de 1/120.000. L'enzyme fructose-3-phosphokinase et le produit de son action sur le fructose (le fructose-3-phosphate) peuvent jouer un rôle dans l'apparition de la cataracte chez l'individu diabétique. Cette enzyme peut servir de cible thérapeutique en vue de prévenir ou d'atténuer la cataracte diabétique.

Intolérance au fructose et déficit en aldolase

Cette intolérance au fructose est une maladie héréditaire due à un déficit en aldolase, enzyme qui catalyse le clivage du fructose-1,6-biphosphate dans le foie, les reins et les intestins. Les personnes concernées sont parfaitement saines tant qu'elles n'ingèrent pas de fructose (à travers les fruits et dérivés) ou du saccharose (sucre de table), dont chaque molécule comprend un glucose et un fructose. Les symptômes précoces de cette maladie sont principalement une inconscience épisodique, des convulsions, une hypoglycémie, une hépatomégalie et des troubles du fonctionnement du foie.

Intolérance au saccharose

Il s'agit d'une anomalie héréditaire, due au manque de disaccharidases (enzymes qui dégradent les disaccharides que sont le saccharose et l'isomaltose). La diarrhée est le symptôme majeur, avec des selles liquides et abondantes. Elle s'accompagne parfois de vomissements, mais l'appétit n'est pas affecté. Les poussées de déshydratation sont fréquentes. Le traitement consiste à supprimer le sucre de l'alimentation. La restriction en saccharose doit être maintenue durant toute la vie.

Caries dentaires et hygiène bucco-dentaire

Parmi les composants du régime alimentaire, les glucides favorisent l'apparition de plaques dentaires, ce qui conduit aux caries. Les mono- et les disaccharides sont beaucoup plus impliqués dans ces phénomènes que l'amidon et les dextrines. Le saccharose, en particulier, est fortement cariogène.

Certaines bactéries impliquées dans les caries dentaires comme *Streptococcus mutans* et *Lactobacillus reuteri* produisent des fructanes (polymères du fructose). D'autres synthétisent des dextranes, polymères du glucose. Ces polysaccharides semblent jouer un rôle essentiel dans l'adhérence des bactéries cariogènes (*Streptococcus gordonii*, *Actinomyces viscosus*, etc.) sur les dents.

La carie est provoquée par l'action des bactéries de la plaque dentaire, qui transforment les sucres des aliments en acides, conduisant à la dissolution de l'émail de la dent suite à l'abaissement du pH dans l'environnement buccal et permettant ainsi la migration des microorganismes en profondeur dans la dent.

Ainsi, les origines des caries dentaires sont nombreuses. Les principaux facteurs sont :

- l'état général de l'individu;
- l'environnement des dents et l'hygiène buccale;
- la présence des bactéries, notamment les lactobacilles et les streptocoques;
- le régime alimentaire, particulièrement s'il est riche en glucides et en aliments collants et mous.

Par ailleurs, la salive joue un rôle crucial dans le maintien des dents. Elle a notamment des propriétés antiseptiques. Si les glandes salivaires sont absentes ou détruites suite à des maladies ou à l'irradiation de la tête ou de la région du cou, ceci conduit inéluctablement à l'accroissement des risques d'apparition des caries.

La résistance ou la susceptibilité à l'apparition des caries dentaires pourraient être liées à l'hérédité. Mais il est important de signaler que l'environnement buccal et les variations alimentaires sont susceptibles de modifier les effets des facteurs génétiques et héréditaires dans le développement des plaques et des caries dentaires.

La substitution du saccharose par d'autres disaccharides ou des mono-saccharides dans le régime alimentaire pourrait être bénéfique pour réduire les risques. De même, l'addition d'une préparation de dextranase (enzyme qui décompose les dextranes) dans l'eau de consommation pourrait réduire la formation de plaques dentaires[1].

12.2- Autres intolérances alimentaires

Maladie cœliaque (intolérance au gluten)

La maladie cœliaque ou intolérance au gluten est une maladie auto-immune commune. Le système immunitaire, qui est censé protéger l'organisme, devient déréglé et très sensible à certains constituants exogènes et peut déclencher ainsi des allergies. Il s'agit, dans le cas de la maladie coeliaque, d'un syndrome de malabsorption de l'intestin grêle provoqué par le gluten, qui touche des individus génétiquement prédisposés.

Cette maladie est plus fréquente qu'on ne le croit. Elle sévit essentiellement en Europe, en Amérique du Nord et en Afrique, à cause du régime alimentaire basé en grande partie sur le blé et l'orge dans ces régions. Au Maroc, on estime qu'elle touche 1 à 2% de la population.

Le gluten est l'ensemble des protéines de certaines céréales (blé, orge, seigle, avoine). Il représente 10% de la farine de blé. C'est la fraction de la farine qui ne se dissout pas dans l'eau. On définit trois composants dans le gluten :

- les gliadines, qui représentent la fraction du gluten soluble dans l'éthanol; la teneur des gliadines dans le gluten est de 50% environ; on distingue 4 formes de gliadines nommées α, β, γ et Ω;
- la gluténine, fraction insoluble dans l'éthanol;
- la fraction III, dite de Fraser, qui résulte de la digestion du gluten par les enzymes protéolytiques, pepsine et trypsine.

1- *La formation et le développement des dents sont intimement liés à la nutrition. Ils peuvent être perturbés dans quatre cas principalement : carence en vitamine A; carence en vitamine C (scorbut); rachitisme avec carence en vitamine D, en calcium ou en phosphore, ou encore un rapport Ca/P inadéquat; niveau de fluor inadéquat.*

La maladie cœliaque résulte de l'incapacité des enzymes de l'intestin de digérer les gliadines. Il s'ensuit des dommages au niveau des cellules de l'intestin grêle, qui aboutissent au syndrome de malabsorption.

L'unique traitement de cette maladie consiste en un régime dépourvu de gluten. Par conséquent, il faut éliminer de l'alimentation le blé, l'orge, le seigle et leurs dérivés. Quant à l'avoine, elle est généralement tolérée, mais pas par la totalité des personnes concernées. Il faut cependant noter que la majorité des farines d'avoine du commerce contiennent du gluten de blé. C'est pourquoi, en toutes circonstances, il faut exiger le label «*Gluten free*» ou «*Sans gluten*». Les expressions «*produit diététique*» ou «*produit de régime*» sont à bannir dans ce cas pour leur manque de précision.

Les produits dépourvus de gluten sont cependant beaucoup plus chers que les produits normaux correspondants (tableau 12.2.1). Il faut préciser que, concernant le Maroc, les prix ont sensiblement baissé depuis que ces produits sont fabriqués localement.

Tableau 12.2.1- Prix indicatifs de quelques produits sans gluten au Maroc en 2019 (en DH)

Produits	Normal	Sans gluten
Farine (1 kg)	5	50
Pâtes (1 kg)	17	80
Pain de mie (paquet 6 à 8 tranches)	-	30-35
Biscuits (100 g)	2-5	30

Intolérance aux protéines du lait de vache (caséines)

Le lait de vache, dont la composition est différente de celle du lait de femme (voir *Troisième sous-groupe : lait et produits laitiers*, p. 165), n'est pas adapté aux besoins du nourrisson.

Certains enfants souffrent de l'intolérance aux protéines du lait de vache. Cette affection débute souvent très tôt, quelquefois dès les premiers biberons de lait de vache. Elle est marquée par une diarrhée, généralement accompagnée de vomissements, d'une dénutrition et d'une augmentation du volume de l'abdomen. Le traitement consiste à supprimer tous les produits à base de lait de vache de l'alimentation de l'enfant.

*Favisme (***Vicia faba** *toxicity)*

Le favisme est une anomalie héréditaire affectant le sang et qui est assez répandue tout autour du bassin méditerranéen. Il est également présent au Moyen Orient, en Afrique et en Asie du Sud, là où la fève fait partie de l'alimentation de base et où le déficit en une enzyme, la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD), est relativement fréquent au sein des populations.

La G6PD a pour fonction de protéger les hématies (globules rouges du sang) contre les dommages que peuvent causer certaines substances ou conditions, comme de fortes fièvres ou la consommation excessive de fèves, surtout les fèves crues. Il s'agit d'une perte de globules rouges par destruction importante conduisant à une anémie hémolytique. La toxicité maximale est associée à la peau verte des fèves fraîches consommées crues[2].

12.3- Anémies

Les anémies peuvent être classées de deux manières, des points de vue fonctionnel et morphologique.

Du point de vue fonctionnel, les anémies sont de trois ordres :

- elles peuvent être d'origine alimentaire, dues à une carence en fer, en cuivre, en protéines ou en vitamines (A, C, B12, B6, acide folique);
- elles peuvent être dues à une perturbation de la constitution physique et chimique de la moelle osseuse, ce qui perturbe l'hématopoïèse (formation des hématies);
- elles peuvent résulter d'une destruction des globules rouges immédiatement après leur formation, suite à des troubles héréditaires (exemple des hématies falciformes) ou après ablation de la rate, où elles terminent leur formation et de leur maturation.

Du point de vue morphologique, les anémies sont de trois types :

- l'anémie hypochrome, microcytaire : les hématies sont de petite taille et peu colorées; cette anémie est principalement due à des carences alimentaires en fer, en cuivre ou en vitamine B6;
- l'anémie normochrome, normocytaire : les hématies sont de taille et de coloration normales et c'est une hémorragie, conséquente à des infections, qui conduit à ce type de trouble;
- l'anémie hyperchrome, macrocytaire et mégaloblastique : les globules rouges sont géants, immatures et hyperchromes; cette affection est liée à une carence en vitamine B12 et en acide folique.

2- *La fève (graine de la plante* Vicia faba*) contient plusieurs glucosides, dont des β-glucosides à forte concentration. Ces molécules peuvent se dégrader sous l'action de glucosidases présentes dans la fève elle-même. Les produits obtenus sont fortement oxydants. Ces substances sont relativement stables à la chaleur et ne sont que partiellement inactivées par la cuisson. Après ingestion, lorsque ces produits oxydants passent dans le sang, ils sont détoxifiés par des enzymes comme la Glutathion peroxydase. Parallèlement, le glutathion est réduit au niveau des hématies par la NADPH. Ce glutathion réduit est un petit peptide (petite chaîne d'acides aminés) qui protège protéines et enzymes du stress oxydant.*

On parle également d'anémie pernicieuse qui représente une sous-catégorie étiologique de l'anémie mégaloblastique et qui est due à une sécrétion inadéquate du facteur intrinsèque au niveau de l'estomac, indispensable à l'absorption et au transport de la vitamine B12. Cette affection peut être due à des carences en vitamine B12 et en acide folique, à leur absorption et utilisation inadéquates, à l'augmentation des besoins des individus, à l'augmentation de leur excrétion et destruction ou à un défaut de leur transfert (acide folique).

Parmi les stratégies de prévention et de lutte contre les anémies, on peut citer :

- l'amélioration et la diversification de la ration alimentaire et l'éducation nutritionnelle;
- la supplémentation en fer, surtout chez les femmes enceintes;
- le contrôle et l'éradication des infections et des maladies parasitaires;
- l'enrichissement des aliments par le fer, mais aussi par les vitamines du groupe B.

12.4- Maladies de l'os

L'os est constitué d'une substance connective rigide formée par une matrice protéique à base de collagène qui se trouve imprégnée par des sels minéraux, principalement l'hydroxyapatite formée essentiellement de calcium et de phosphore et de formule $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Globalement, la fraction inorganique représente 60% de l'os, contre 25% pour la partie organique et 15% pour l'eau. A titre comparatif, ces proportions sont de 70, 20 et 10%, respectivement, dans la dentine des dents et de 96, 1 et 3%, respectivement, dans l'émail dentaire.

La croissance et le développement de l'os dépendent d'une homéostasie (concentration extracellulaire) du calcium constante et des équilibres du calcium et du phosphore dans l'organisme. De nombreux facteurs interviennent dans ces phénomènes :

- facteurs hormonaux : parathyroïde hormone (PTH), calcitonine, hormone de croissance ou *Growth Hormon* (GH), œstrogène, corticostéroïdes;
- facteurs nutritionnels : protéines, vitamines A, B, C et D (en tant qu'hormone), zinc, fluor, magnésium.

La vitamine D intervient en particulier lors du transfert du Ca de la lumière intestinale au sérum sanguin à travers la muqueuse intestinale (voir *figure 8.3.2*, p. 126).

La PTH favorise la mobilisation rapide du calcium qui se trouve aux alentours des cellules osseuses (ostéocytes) vers le liquide extracellulaire pour le libérer à la circulation générale. Il existe deux autres catégories de cellules osseuses : ostéoblastes et ostéoclastes. Les ostéoblastes contiennent une enzyme, la phosphatase alcaline, qui intervient dans l'élaboration de la matrice osseuse et la calcification. Par contre, les ostéoclastes sont de grosses cellules, polynucléées, qui interviennent

dans la résorption de l'os. La PTH stimule les ostéoclastes et augmente leur activité phagocytaire. De leur côté, les ostéoblastes, en réponse à la PTH, réduisent la synthèse du collagène.

Par ailleurs, en cas de calcémie faible, les enzymes du cycle de Krebs sont inhibées au niveau de la cellule osseuse. Il s'ensuit une augmentation de la concentration des acides du cycle de Krebs. L'acidité qui s'élève alors fait que la cellule se ronge, libérant ainsi du calcium vers le milieu extracellulaire.

Il ressort de ce qui précède que l'alimentation a des répercussions évidentes sur la santé des os pour réguler l'homéostasie phosphocalcique en cas de défaut (voir *figure 8.3.1*, p. 125).

Ainsi, un retard de croissance chez l'enfant ou la déformation des os (rachitisme) sont liés à une carence en vitamine D ou à une absorption défectueuse du calcium plutôt qu'à un régime pauvre en cet élément. Par ailleurs, des quantités inappropriées en protéines ou en vitamine C sont également susceptibles de conduire à une mauvaise fixation du calcium.

Une consommation insuffisante de calcium peut engendrer, à un âge avancé, l'ostéoporose (diminution de la densité des os) ou l'ostéomalacie (diminution de la teneur des os en calcium, sans changement de la taille des os). L'ostéoporose est observée en particulier chez les femmes ayant eu plusieurs grossesses ou après la ménopause. La diminution de la densité osseuse à été estimée à 2% chez la femme ménopausée.

Il est important d'exercer régulièrement une activité physique, car tout comme les muscles, les os s'affaiblissent quand on ne s'en sert pas.

Il a été observé une diminution de 7% de la densité osseuse chez les astronautes. En effet, dans l'espace, les os n'ont pas à soutenir le corps contre l'action de la pesanteur, contrairement à ce qui se passe sur terre ou (accent grave) la pesanteur applique une charge mécanique constante sur le squelette.

L'ostéomalacie, quant à elle, peut être observée aussi bien chez la femme que chez l'homme au-delà de 45 ans. C'est une forme de rachitisme chez l'adulte.

D'autre part, de sérieux problèmes dentaires sont à craindre en cas de prise insuffisante de calcium pendant la phase de formation des dents. Cependant, d'autres paramètres ont leur influence décisive sur la santé bucco-dentaire, notamment le fluor (voir *Fluor*, p. 148), la consommation d'aliments contenant des hydrates de carbone (saccharose, fructose) et l'hygiène buccale (voir *Caries dentaires et hygiène bucco-dentaire*, p. 257).

12.5- Obésité

L'obésité indique l'existence d'un excès de matière grasse, du tissu adipeux et un excès de poids. Elle peut être définie comme un état d'excès de lipides corporels. La survenue de l'obésité reflète l'interaction du régime alimentaire avec d'autres facteurs environnementaux et des prédispositions génétiques. Les facteurs environnementaux se réfèrent à l'alimentation et à l'activité physique.

En utilisant le poids corporel comme seul critère, l'obésité a été classiquement identifiée comme un état où le poids corporel dépasse de 20% le poids corporel idéal moyen de l'homme ou de la femme pour une taille donnée. Un surpoids se réfère à un poids corporel en excès pour une taille donnée, mais cela n'implique pas nécessairement un excès de la matière grasse corporelle. Il ne faut donc pas confondre surpoids et obésité. On peut avoir un poids élevé sans pour autant être «gras», ou obèse.

Selon une des définitions de l'obésité, celle-ci correspond à une proportion de matière grasse corporelle supérieure à 30% chez la femme et à 20-25% chez l'homme.

La masse corporelle, fonction de la taille, est exprimée par l'indice de masse corporelle (IMC) ou indice de Quetelet[3], qui relie la masse corporelle (exprimée en kilogramme) par rapport à la taille (exprimée en mètre) au carré, selon la formule suivante :

$$IMC = P_{kg}/T_m^2$$

P : poids (kg); T : taille (m)

Un IMC compris entre 20 et 25 pourrait être considéré comme normal dans les populations des pays développés.

Ces valeurs sont applicables à l'échelle individuelle et non à l'échelle d'une population. Au niveau d'une population, la valeur moyenne de 22 est nécessaire pour permettre à tous les individus d'être dans l'intervalle 20-25. Ceci implique qu'une proportion importante des adultes dans les pays développés est considérée comme ayant un surpoids du fait que l'IMC moyen se trouve dans l'intervalle 24-26.

En ce qui concerne les populations des pays en développement, la limite de «normalité» de 20 pour les individus pourrait être considérée comme élevée et la limite de 18,5 comme plus appropriée. Cependant, pour les populations de ces pays, une moyenne de 20-22 pourrait être acceptable.

3- *L'IMC est aussi désigné BMI (Body Mass Index).*

Trois niveaux d'obésité ont été définis : grade 1, grade 2 et grade 3 (figure 12.5.1 et tableau 12.5.1).

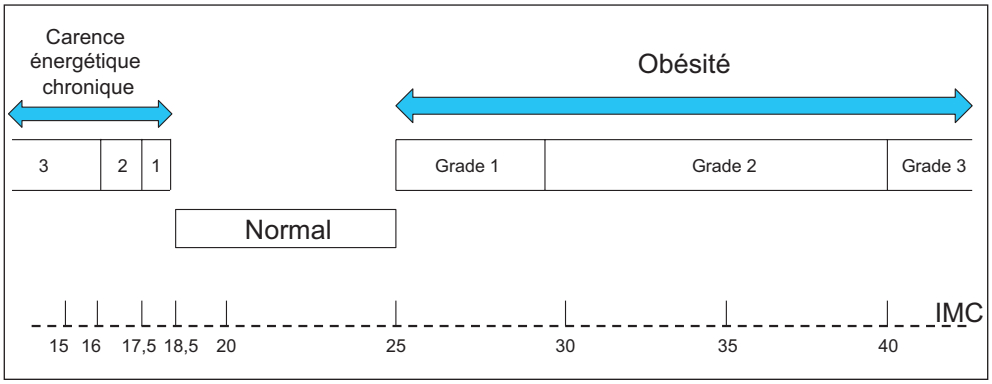


Figure 12.5.1- Les trois grades de l'obésité en fonction de l'Indice de Masse Corporelle (IMC)

Tableau 12.5.1- Etat de corpulence fonction de l'indice de masse corporelle (IMC)

IMC	Etat de corpulence
<18,5	Carence énergétique chronique
18,5-25	Normal
25-28	Obésité grade 1
28-40	Obésité grade 2
> 40	Obésité grade 3

La figure 12.5.2 donne un diagramme des différents états de l'organisme en relation avec la taille et le poids corporel.

L'obésité grade 1 présente des risques modérés. L'obésité grade 3 correspond à des risques sévères et conduit à l'hypertension, aux maladies cardio-vasculaires, au diabète *mellitus* (sucré), aux troubles gastro-intestinaux et aux calculs biliaires.

De plus, les risques de cancer de la vésicule biliaire, du sein (post-ménopause) et de l'utérus sont plus élevés chez les femmes obèses.

En général, les dépôts graisseux au niveau de l'abdomen constituent un danger.

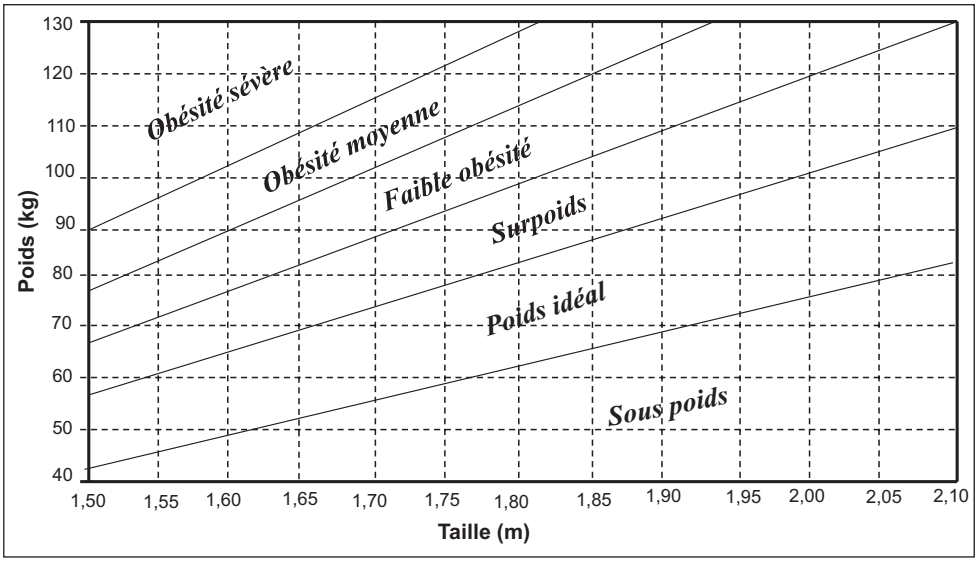


Figure 12.5.2- Différents états de l'organisme en fonction du poids corporel (kg) et de la taille (m)

12.6- Diabètes

Diabète sucré/mellitus

Le terme latin "diabetes mellitus" est utilisé dans la classification internationale des maladies dans certains pays. L'adjectif "mellitus" signifie "sucré comme le miel".

Le diabète, plus précisément le diabète sucré, est un trouble métabolique chronique, caractérisé par une glycémie élevée ou hyperglycémie.

Il existe dans ce contexte plusieurs types de diabètes: le diabète du type 1 ou I, le diabète du type 2 ou II, et le diabète gestationnel.

Diabète de type 1 (type I) ou insulinodépendant

Ce type de diabète, qualifié de diabète juvénile, apparaît le plus souvent pendant l'enfance, à l'adolescence ou au début de l'âge adulte. Il est rarement observé chez les personnes âgées. Il se caractérise par l'absence totale de production de l'insuline. La personne atteinte de ce type de diabète dépend donc d'injections quotidiennes d'insuline ou d'une pompe à insuline pour vivre.

Les causes exactes de l'apparition du diabète de type 1 demeurent inconnues. Cependant, dans la majorité des cas, les cellules β de Langerhans du pancréas, productrices d'insuline, sont détruites par le système immunitaire. Il s'agit donc d'une véritable maladie auto-immune.

Diabète de type 2 (type II) ou non insulinodépendant

Le diabète de type 2, qualifié de diabète gras ou diabète de maturité, est une maladie caractérisée par une hyperglycémie chronique. Il survient généralement chez les adultes avançant en âge et touche davantage les personnes obèses ou ayant un surplus de poids. C'est la forme la plus fréquente du diabète (environ 90% des cas). Si ce type de diabète est observé généralement chez les populations adultes, on constate qu'il apparaît de plus en plus chez les plus jeunes, et même dès l'enfance.

Chez certaines personnes diabétiques de type 2, la production de l'insuline par les cellules pancréatiques β de Langerhans est insuffisante. Chez d'autres, l'insuline produite n'accomplit pas correctement son rôle. Il s'agit d'une résistance à l'insuline.

Le diagnostic du diabète de type 2 se fait par l'analyse d'une prise de sang au laboratoire. On détermine la glycémie (taux de glucose dans le sang) à jeun ou l'hémoglycémie (taux d'hémoglobine glyquée). L'hémoglobine glyquée est la part de l'hémoglobine qui capte le sucre dans le sang. Son taux élevé peut être le signe d'un diabète mal contrôlé. La valeur biologique de l'hémoglobine glyquée permet la détermination de la concentration du glucose dans le sang sur trois mois. En effet, tandis que la glycémie capillaire et la glycémie à jeun sont des instantanés de l'état glycémique, l'hémoglobine glyquée permet d'évaluer correctement le désordre.

Les facteurs de risque du diabète de type 2 sont :

- le sexe : les hommes sont plus vulnérables que les femmes;
- l'âge : le risque augmente avec l'âge;
- le surpoids;
- le tour de taille élevé, avec accumulation de graisses autour de l'abdomen;
- le niveau d'activité physique;
- les habitudes alimentaires;
- l'hypertension artérielle;
- des glycémies anormalement élevées par le passé;
- pour les femmes, avoir donné naissance à des bébés de poids trop élevé;
- l'hérédité;
- l'origine ethnique;
- le niveau éducationnel.

Lorsque le niveau de sucre sanguin est haut, il faut éviter de consommer tous les aliments qui l'élèvent rapidement et de manière importante, notamment le pain blanc, le riz blanc**,** la confiture, le miel, les barres chocolatées, les confiseries, les pâtisseries, les boissons sucrées, etc.

Diabète gestationnel

Le diabète gestationnel est caractérisé par une hyperglycémie et une intolérance au glucose dues à la production d'hormones placentaires, provoquant une insulino-résistance. Il se manifeste au cours de la grossesse et fait partie des complications les plus fréquentes de celle-ci.

Il faut rappeler que le placenta est un organe unique connectant physiquement, biologiquement et physiologiquement l'embryon en développement à la paroi utérine. Il apporte à l'embryon, puis au fœtus durant la grossesse, l'eau, les nutriments et l'oxygène dont ils ont besoin.

Indice glycémique, charge glycémique et indice insulinémique

En relation avec le diabète, on définit trois notions très importantes liées aux aliments glucidiques, l'indice glycémique, la charge glycémique et l'indice insulinémique.

Indice glycémique

L'indice glycémique ou index glycémique (IG) est un critère de classement des aliments selon leur apport en glucides. Il est basé sur leurs effets sur la glycémie durant les deux heures qui suivent leur consommation. L'IG permet de classer les aliments selon leur pouvoir glycémique directement après leur ingestion.

Pour déterminer l'indice glycémique d'un aliment donné, on commence par donner à des volontaires 50 g de glucose dilué dans l'eau en tant que produit de référence ayant conventionnellement un IG de 100. Le glucose sanguin est alors mesuré dans le sang toutes les 30 minutes pendant 2 à 3 heures et la courbe d'évolution de la glycémie est tracée. Ensuite, cette même opération est renouvelée avec une portion de l'aliment à tester correspondant à une quantité de glucides de 50 g exactement (par exemple 800 g de pastèque, 600 g de carotte cuite ou 100 g de pain). La courbe de glycémie obtenue est ensuite comparée à celle enregistrée avec le glucose. Ensuite, on divise l'aire sous la courbe du produit testé par celle obtenue avec le glucose et on multiplie par 100. L'IG ainsi déterminé est considéré comme :

- faible s'il est inférieur ou égal à 39;
- moyen s'il est compris entre 40 et 59;
- élevé s'il est supérieur ou égal à 60.

Charge glycémique

Pour obtenir la charge glycémique (CG) d'un aliment, on multiplie l'IG par la quantité de glucides de la portion de l'aliment et on divise par 100.

CG = IG x quantité de glucides dans la portion d'aliment/100

Par exemple, une assiette de purée de 150 g dont l'IG est de 90 et contenant 22,5 g de glucides a une CG de :

$$CG = 90 \times 22,5/100 = 20,25$$

La CG ainsi déterminée est considérée comme :

- faible si elle est inférieure ou égale à 10;
- moyenne si elle est comprise entre 11 et 19;
- élevée si elle est supérieure ou égale à 20.

La charge glycémique est un indicateur très précis car elle englobe aussi bien l'aspect quantitatif que l'aspect qualitatif des glucides de chaque aliment.

Indice insulinémique

L'insuline est l'hormone secrétée par le pancréas (cellules β de Langerhans) immédiatement après la consommation de glucides pour permettre l'utilisation du glucose par les cellules. La glycémie doit impérativement rester comprise entre 0,8 et 1,2 g de glucose par litre de sang.

L'indice insulinémique (II) compare l'élévation du taux d'insuline dans le sang après la consommation d'un aliment à celle provoquée par le pain blanc pour une quantité d'énergie de 240 kcal. Logiquement, l'IG et l'II doivent se recouper et c'est ce qui se passe dans la majorité des cas. Par exemple, une barre chocolatée a un IG élevé et aussi un II très haut. Cependant, il existe des exceptions, notamment dans le cas des produits laitiers. Par exemple, malgré un IG de 62 (pas très élevé), le yaourt entraine une réponse du pancréas quasiment aussi forte que celle provoquée par une barre chocolatée.

Rôle du foie dans la régulation de la glycémie

De nombreux organes et tissus n'utilisent que le glucose comme source d'énergie dans les conditions normales de leur fonctionnement. Il s'agit notamment du cerveau et du tissu nerveux, de la peau et des globules rouges et blancs. Ces tissus doivent avoir accès au glucose 24 heures sur 24 et le foie joue un rôle majeur à ce niveau. En effet, le foie maintient à des niveaux normaux l'homéostasie, l'équilibre glucidique et la glycémie tout au long de la journée, et ce, par trois mécanismes :

- durant les deux premières heures suivant le repas, le glucose provenant de l'alimentation passe dans le foie grâce à l'insuline et il y est stocké sous forme de glycogène;
- ensuite, et jusqu'à la fin de la quatrième heure, la source de glucose est la dégradation du glycogène hépatique (glycogénolyse), qui se fait sous le contrôle des hormones adrénaline et glucagon;
- après cette période, et pour le restant du temps, la principale source de glucose devient la gluconéogenèse (ou néoglucogenèse), toujours au niveau du

foie. Quatre types d'hormones sont impliqués dans la néoglucogenèse : les glucocorticoïdes (cortisol), l'insuline et le glucagon, qui tendent à activer le processus, et l'adrénaline qui tend à l'inhiber. La néoglucogenèse hépatique est probablement un phénomène continu qui opère 24 heures sur 24 pour assurer la survie des tissus et des organes qui ne peuvent fonctionner qu'avec du glucose. (voir aussi *Physiologie du jeûne prolongé*, p. 199).

Signalons que l'individu humain adulte a besoin, en moyenne, d'environ 300 g de glucose par jour pour le fonctionnement du cerveau, du système nerveux, des globules rouges et blancs et des os. La glycogénolyse en fournit 100 et les 200 restants sont assurés par la néoglucogenèse.

Diabète insipide

Le diabète insipide n'est pas lié à la régulation du métabolisme des glucides et du glucose. Il s'agit plutôt d'un trouble fonctionnel caractérisé par une incapacité des reins à concentrer les urines. Il se traduit donc par :

- une polyurie, c'est à dire une augmentation importante du volume d'urine diluée, ne contenant aucun élément pathologique, ni sucre, ni albumine. La quantité d'urine peut atteindre jusqu'à 5 à 10 litres par jour, voire plus.
- une polydipsie, c'est à dire une soif intense, permanente et impérieuse de jour comme de nuit.

On distingue deux sortes de diabètes insipides:

- le diabète insipide central caractérisé par une carence en hormone diurétique ADH ou vasopressine qui est normalement synthétisée par l'hypothalamus;
- le diabète insipide néphrogénique se traduisant par une résistance du rein à l'ADH.

12.7- Athérosclérose (maladies cardiovasculaires)

L'athérosclérose est un terme général qui signifie la dégénérescence des artères. Celles-ci deviennent dures et grosses et perdent leur souplesse, si bien que le sang circule plus difficilement. C'est un désordre qui atteint le cœur (maladies coronariennes et cardiaques), de même que le cerveau (accident vasculaire cérébral ou AVC).

L'artériosclérose est un type particulier d'athérosclérose caractérisé par l'accumulation des lipides, principalement le cholestérol, mais également les phospholipides et les triglycérides, dans les tissus des grosses et moyennes artères. Les maladies cardiovasculaires (MCV) les plus fréquentes sont l'athérosclérose oblitérante (artérite des membres inférieurs, pathologie et inflammation affectant les artères au niveau des jambres) et l'hypertension. Ces maladies sont influencées par le régime alimentaire.

Cependant, de nombreux facteurs de risques sont susceptibles de favoriser ces MCV, notamment :

- l'incidence familiale;
- la concentration élevée des lipides (triglycérides et, surtout, cholestérol) dans le sang;
- l'hypertension;
- l'hyperglycémie (diabète);
- le tabac;
- le stress;
- l'âge;
- la ménopause;
- l'obésité et le surpoids à âge moyen ou avancé;
- la sédentarité et le manque d'activité physique.

La réduction de la quantité des lipides dans le sang et la lutte contre les diverses hyperlipoprotéinémies (teneurs élevées en lipoprotéines dans le sang) peuvent être réalisées par l'utilisation d'agents hautement hypolipidémiques[4] et efficaces. Cette procédure est cependant coûteuse et longue. Le régime alimentaire reste donc la pièce angulaire dans le traitement des désordres du transport des lipides. Souvent, l'adoption d'un régime alimentaire approprié, avec une consommation réduite d'acides gras saturés et une dominance de produits d'origine végétale, normalise le niveau des lipides dans le plasma. Cependant, l'association d'un régime alimentaire adéquat avec l'utilisation de médicaments peut être plus efficiente qu'une des deux techniques seule.

Par ailleurs, le succès de la prise en charge des patients souffrant de ce genre de problèmes dépend des rapports entre médecins, diététiciens et patients.

12.8- Cancers

Les relations entre les composés alimentaires et les cancers ne sont pas aussi bien établis que celles avec les maladies cardiovasculaires. Cependant, les effets des régimes alimentaires sur les cancers sont largement documentés. Dans les pays industrialisés, 30 à 40% des cancers chez l'homme et jusqu'à 60% chez la femme sont liés directement ou indirectement aux régimes alimentaires et à leur composition. On observe également la même tendance dans les pays émergents du fait de la transition nutritionnelle que connaissent ces derniers.

Parmi les types de cancers liés aux régimes alimentaires, on peut citer les cancers de la cavité buccale, du pharynx, du larynx, de l'œsophage, de l'estomac, du gros intestin, du foie, des glandes mammaires, de l'endomètre (tissu richement vascularisé qui tapisse la paroi de l'utérus) et de la prostate.

4- *agents qui font baisser le taux de lipides dans le sang.*

Différents types de cancers liés à l'alimentation

Cancers de la cavité buccale, du pharynx, du larynx et de l'œsophage

Dans les pays développés, il a été observé que la consommation excessive de boissons alcoolisées était liée à la prévalence des cancers de la bouche, du pharynx, de l'œsophage et de la partie supérieure du larynx. Le tabac et assimilés (cannabis, *kif*[5], etc.) conduisent aussi aux cancers dans ces mêmes organes. Ces cancers de la bouche et de la gorge sont exacerbés par une mauvaise hygiène bucco-dentaire.

Par ailleurs, il a été observé une relation nette entre l'augmentation des risques de cancer de l'œsophage et la réduction de la consommation des végétaux verts, des fruits frais, des lentilles, des vitamines A et C, de la riboflavine, de l'acide nicotinique, du magnésium, du calcium, du zinc et du molybdène. Une carence en protéines animales peut aussi être un facteur de risque.

En revanche, ces cancers sont liés à une consommation élevée de produits piquants et contenant du sel (pickles) et de produits moisis (contaminés par les mycotoxines) ou contenant des radicaux N-nitroso (nitrosamines par exemple) et à la consommation de boissons à très haute température.

Des déficiences nutritionnelles telles que celles observées dans des populations à risque et consommant beaucoup de boissons alcoolisées peuvent augmenter les susceptibilités à la formation de tumeurs cancéreuses au niveau de l'œsophage.

Cancer de l'estomac

Le cancer de l'estomac est associé, d'une part, à la consommation élevée de produits fumés (voir *Fumage*, p. 233) ou conservés avec du sel et qui constituent des précurseurs de nitrosamines et, d'autre part, à la faible consommation de fruits et légumes qui agissent comme inhibiteurs potentiels des nitrosamines.

Cancer colorectal

Il existe une relation entre le risque de cancer colorectal (surtout du côlon) et la matière grasse apportée par le régime alimentaire. Il semblerait que les acides gras saturés soient plus que les insaturés responsables de cette pathologie. La consommation de grandes quantités de viande pourrait être également impliquée, de même que la prise excessive de boissons alcoolisées (notamment la bière).

Les régimes pauvres en fibres alimentaires augmentent le risque de cancer du côlon. La consommation d'aliments riches en fibres pourrait, en revanche, réduire la prévalence du cancer colorectal.

5- *Le kif est un mélange de tabac et de haschich, chanvre indien ou cannabis.*

Cancer du foie

Le cancer du foie est lié à l'infection par le virus hépatique B (hépatite B). Ce cancer est dû aussi à la consommation de denrées alimentaires contaminées par certaines mycotoxines, notamment les aflatoxines, toxines synthétisées par certaines espèces de moisissures (spécialement *Aspergillus flavus* et *A. parasiticus*) dans les aliments (céréales, légumineuses, etc.), en particulier suite à un stockage dans des conditions inappropriées (voir *Moisissures toxinogènes et mycotoxines*, p. 304).

Le cancer du foie est également lié à une consommation élevée de boissons alcoolisées.

Cancer du poumon

La cause principale du cancer du poumon est le tabac et assimilés. Mais l'exposition aux métaux lourds tels que le nickel ou le chrome, aux radiations γ, à l'asbeste ou à l'amiante (famille de minéraux silicatés fibreux utilisés dans le bâtiment) agit d'une façon synergique avec le tabac et assimilés.

Les matières grasses et le cholestérol alimentaires ont également été associés au risque de cancer du poumon.

En revanche, la consommation des végétaux verts ou jaunes, riches en β-carotène ou provitamine A, exerce un effet préventif sur l'induction du cancer du poumon par le tabac.

Cancer du sein (chez la femme)

Plusieurs études ont mis en évidence l'importance des facteurs alimentaires dans les cancers du sein. Il a été notamment montré que le risque d'apparition du cancer du sein est associé à des composantes alimentaires, en particulier les aliments à IG et CG élevés et ceux riches en matière grasse. La consommation de fritures contenant de l'acrylamide (voir *Réaction de Maillard*, p. 224) accroît aussi les risques de cancer du sein. La consommation élevée d'alcool pourrait également être impliquée.

Cancer de la prostate

On note une corrélation positive entre la mortalité par le cancer de la prostate et la consommation de régimes alimentaires très riches en lipides. La vitamine A et le β-carotène peuvent jouer un rôle protecteur.

L'excès de poids et l'obésité peuvent être associés au risque d'apparition du cancer de la prostate.

Cancer de l'utérus

Il existe une forte corrélation entre le risque de cancer de l'utérus et l'excès de poids.

Leucémie

La leucémie est un cancer des cellules de la moelle osseuse qui produisent les cellules sanguines. Le sang des patients atteints d'une leucémie est d'aspect blanchâtre du fait de l'augmentation du nombre des globules blancs.

La maladie débute dans la moelle osseuse. Les cellules leucémiques se comportent d'une manière anormale en raison d'une modification de leur génome avec une accumulation, au niveau de leur ADN, de mutations acquises qui provoquent la transformation des cellules.

Les cellules souches de la moelle osseuse produisent quotidiennement des milliards de globules rouges, de globules blancs et de plaquettes sanguines. La leucémie se caractérise par une prolifération excessive de précurseurs de globules blancs, bloqués à un stade de leur différentiation, qui finissent par envahir complètement la moelle osseuse, puis le sang. S'installe alors un tableau d'insuffisance médullaire[6], avec :

- une anémie due à une production insuffisante de globules rouges;
- une neutropénie[7] entrainant l'incapacité de se défendre contre les infections;
- une thrombopénie[8], cause d'hémorragies spontanées ou provoquées.

Les cellules leucémiques peuvent aussi envahir d'autres organes comme les ganglions lymphatiques, la rate, le foie, les testicules ou le système nerveux central. Les leucémies se distinguent cependant des lymphomes[9] qui se développent à partir d'un organe lymphoïde secondaire.

Le traitement des leucémies est un acte médical. Cependant, une prise en charge nutritionnelle peut être bénéfique. On peut prodiguer quelques conseils pour bien s'alimenter pendant les traitements contre les leucémies :

- bien s'hydrater;
- diversifier son alimentation : les fruits et légumes (surtout les carottes et les légumes verts) ont un effet protecteur;
- éviter les aliments acides, les mets épicés et pimentés;

6- *Insuffisances médullaires : groupe d'affections dans lesquelles la moelle osseuse, tout en ayant à sa disposition tous les matériaux requis pour l'hématopoïèse, ne parvient pas à produire des cellules sanguines en quantité suffisante pour compenser les pertes normales ou excessives.*

7- *Neutropénie : trouble hématologique caractérisé par un taux bas de granulocytes (ou polynucléaires) neutrophiles dans le sang. Les neutrophiles sont des globules blancs qui constituent la principale défense de l'organisme contre les infections bactériennes aiguës et certaines infections fongiques.*

8- *Thrombopénie (ou thrombocytopénie ou hypoplaquettose) : diminution du nombre des plaquettes sanguines, petites cellules qui circulent dans le sang et jouent un rôle primordial dans la coagulation du sang.*

9- *Lymphome : cancer du système lymphatique qui touche les globules blancs (lymphocytes); principales cellules du système immunitaire. Les lymphocytes anormaux prolifèrent dans les tissus lymphoïdes : ganglions, rate, moelle osseuse, thymus, etc.*

- privilégier les céréales complètes et les légumineuses riches en fibres : pain, pâtes, riz (en quantité cependant adéquate) comme sources de glucides;
- assurer un apport conséquent en protéines, de préférence par des aliments pauvres en matières grasses : poissons, volailles maigres, œufs et produits laitiers allégés, viandes (dont les protéines sont riches en glutathion[10]).

A côté de ces règles nutritionnelles, il est également conseillé de :

- éviter de s'exposer aux irradiations;
- éviter l'exposition aux substances cancérigènes des pesticides (comme le benzène).

Alimentation, nutrition et cancer

Généralités

Le cancer n'est pas inévitable. On peut notamment minimiser les risques en suivant les conseils suivants :

- opter pour une alimentation peu énergétique : la restriction énergétique diminue les facteurs inflammatoires et endocriniens associés au risque accru de cancer du sein chez la femme et exerce des effets bénéfiques sur la longévité et le risque de cancer chez l'homme. Dans le cas de restriction énergétique, il semble que les cellules cancéreuses aient plus de difficulté à se multiplier;
- opter pour une alimentation riche en produits végétaux variés;
- manger en particulier des fruits et des légumes en abondance;
- maintenir un poids adéquat et pratiquer une activité physique;
- choisir des aliments pauvres en matières grasses et en sel;
- préparer et conserver les aliments avec prudence;
- éviter de fumer;
- éviter les boissons alcoolisées.

Catégories d'aliments à consommer avec modération

Les principales catégories de produits alimentaires à consommer avec beaucoup de modération en prévention des cancers ou en cas de cancer diagnostiqué sont les aliments raffinés (dont notamment les céréales), le sucre et les produits sucrés, les viandes rouges et les charcuteries, le sel, les produits frits ou trop cuits et les aliments ultra-transformés.

10- *Le glutathion est un pseudopeptide formé d'un acide glutamique, d'une cystéine et d'une glycine. Il existe sous forme oxydée ou réduite et intervient dans le potentiel redox (oxydo-réduction) du cytoplasme cellulaire. C'est un antioxydant clé pour le bien-être de l'organisme.*

Céréales raffinées

La plupart des produits céréaliers font monter la glycémie et le taux d'insuline dans le sang. Ils ont un indice glycémique (IG) élevé et peuvent conduire à l'augmentation de la charge glycémique (CG). De cette façon, ils augmentent les facteurs de croissance comme l'*Insulin-like Growth Factor-1* (IGF-1) qui favorise la multiplication des cellules. L'IGF-1 ou somatomédine C est une hormone peptidique ayant une structure semblable à celle de la pro-insuline. Elle est principalement synthétisée par le foie grâce à la stimulation de celui-ci par l'hormone de croissance *Growth Hormone* (GH) et est libérée dans la circulation sanguine.

Une alimentation à IG et CG élevés est associée à un risque accru du cancer colorectal, du cancer du sein (chez la femme après la ménopause) et du cancer du pancréas. Les risques de développer d'autres types de cancers ne semblent pas influencés par l'IG et la CG.

Il est donc conseillé de consommer des céréales peu transformées, de préférence à base de farines intégrales.

Sucre et produits sucrés

Le sucre et les produits qui en contiennent peuvent contribuer à activer la voie de l'insuline et augmenter le niveau de l'IGF-1 qui, comme nous venons de le voir, est mis en cause dans le développement des cancers. Il est donc conseillé de réduire la consommation du sucre directement ou indirectement à travers les préparations culinaires, les pâtisseries, les sodas et les friandises.

Viandes rouges et charcuteries

Un excès de protéines animales apportées par les viandes rouges relève le niveau de l'IGF-1, contrairement aux protéines végétales. Les viandes rouges en grande quantité apportent également un excès de fer. L'excès de fer semble associé à un risque plus élevé de certains cancers liés à la formation de radicaux libres, particulièrement chez la femme ménopausée et l'homme. Par ailleurs, la consommation de quantités élevées de fer associée à une grande quantité de nitrates – provenant des eaux polluées ou ajoutés dans la préparation des charcuteries – peut faire apparaître dans l'organisme des nitrosamines, qui sont des substances cancérigènes.

La cuisson des viandes à température élevée, notamment dans les cas des rôtis et des grillades, donne naissance à des substances mutagènes dans les parties grillées, comme les amines hétérocycliques, les hydrocarbures aromatiques et polycycliques (voir *Cuisson en contact direct avec la flamme*, p. 233 et *Fumage*, p. 233) conduisant aux cancers du côlon, de la prostate, du pancréas et du sein. De plus, la consommation excessive de charcuteries, notamment les salaisons, peut induire des cancers du tube digestif à cause de la présence, dans ces aliments, de nitrites pouvant donner naissance aux nitrosamines.

Il est donc conseillé de réduire la consommation des charcuteries, en particulier les salaisons.

Sel

Une consommation élevée de sel est associée à un risque plus important des cancers de l'estomac, directement ou indirectement à travers les produits alimentaires qui en contiennent. Le sel en grande quantité endommagerait les parois de l'estomac et provoquerait des lésions. Il faudrait donc manger moins salé, en général, et éviter ou diminuer la consommation des plats et des produits alimentaires trop salés (charcuteries, plats préparés, etc.).

Cependant, pour combattre le goitre, on utilise du sel ce cuisine iodé (voir *Iode*, p. 248). Il est primordial, pour prévenir le cancer, de trouver un équilibre entre la nécessité d'un apport minimum en iode à travers le sel iodé et l'obligation de réduire la consommation de sel.

Produits frits ou trop cuits

Les fritures renferment des produits de la dégradation de la matière grasse. La cuisson des graisses alimentaires peut en effet entrainer la formation de substances mutagènes qui peuvent être à l'origine de cancers. Des peroxydes lipidiques sont issus des graisses brûlées ou utilisées longtemps en friture.

En outre, beaucoup de fritures renferment des niveaux élevés d'acrylamide, substance potentiellement cancérigène conduisant au cancer du sein. L'acrylamide a été notamment identifiée dans certains aliments cuits comme les chips, les frites, le pain grillé, le café torréfié, etc. Cette substance se forme en fin de cuisson par réaction chimique entre un sucre (glucose ou fructose) et un acide aminé, l'asparagine. C'est une substance néoformée, c'est-à-dire qu'elle n'existe pas dans les aliments d'origine avant cuisson. Elle se forme dans les aliments riches en amidon lors du processus de cuisson à température élevée (plus de 120 °C), notamment les fritures, les produits cuits au four ou rôtis. Cette substance est neurotoxique, comme elle peut altérer la fertilité tant chez l'homme que chez la femme. Les aliments bouillis, pochés ou cuits à la vapeur ne contiennent pas d'acrylamide.

En conséquence, il est conseillé de ne pas trop cuire les aliments et d'éviter tout ce qui est grillé jusqu'au brun foncé. De même, il est recommandé de ne consommer les fritures qu'occasionnellement, de réduire leur temps de cuisson et d'éliminer les parties carbonisées.

Aliments ultra-transformés

Un aliment ultra-transformé (AUT) est un aliment issu de l'industrie agro-alimentaire et dont la composition, les processus de fabrication et les additifs qu'il renferme l'éloignent de la définition conventionnelle et classique de la notion d'aliment. Cette catégorie d'aliments inclut par exemple les plats préparés, les pains emballés, les céréales pour petit-déjeuner, les soupes instantanées, les viandes et les poissons reconstitués, etc.

Du fait de leur palatabilité et de leur goût, les aliments ultra-transformés conduisent au surpoids et à l'obésité qui représentent des facteurs de risque de plusieurs cancers et constituent la cause principale des mortalités précoces dans les milieux urbains où les *fast-foods* règnent du fait des nouveaux modes de vie.

On trouve ce type de produits même parmi les aliments diététiques, végétariens ou biologiques. Les *steaks végétaux*, par exemple, sont des aliments ultra-transformés.

Antioxydants contre le cancer

Les antioxydants sont un groupe de vitamines, de minéraux et de composés contenus dans les aliments et qui permettent de protéger l'organisme des effets néfastes des radicaux libres. Les radicaux libres sont des molécules instables créées naturellement par le corps, ou produites par des toxines dont celles liées au tabac ou à la pollution, ou encore induites par l'exposition excessive aux rayons du soleil et aux matériaux radioactifs. Ces radicaux libres peuvent être cancérigènes, et ce, en altérant et en endommageant les cellules de l'organisme, conduisant à leur multiplication incontrôlée.

Les antioxydants (vitamines, sélénium, pigments caroténoïdes, lycopène, flavonoïdes, etc.) sont capables de détruire ces radicaux libres ou de prévenir leur formation. La figure 12.8.1 montre en particulier le rôle de la vitamine E et du sélénium dans l'inhibition de la formation des radicaux libres. En effet, la vitamine E bloque la peroxydation des lipides polyinsaturés, ce qui empêche la formation des peroxydes, puis des radicaux libres. Par ailleurs, le sélénium intervient comme cofacteur de la GSH-Px (glutathion peroxydase) qui transforme les lipides peroxydés en acides hydroxy qui seront utilisés par la β oxydation.

Les pigments lipofuscines, quand ils sont formés, apparaissent dans les cellules épithéliales et conjonctives en voie de sénescence ou de dégénérescence et sont non seulement une conséquence du vieillissement, mais ils y contribuent également.

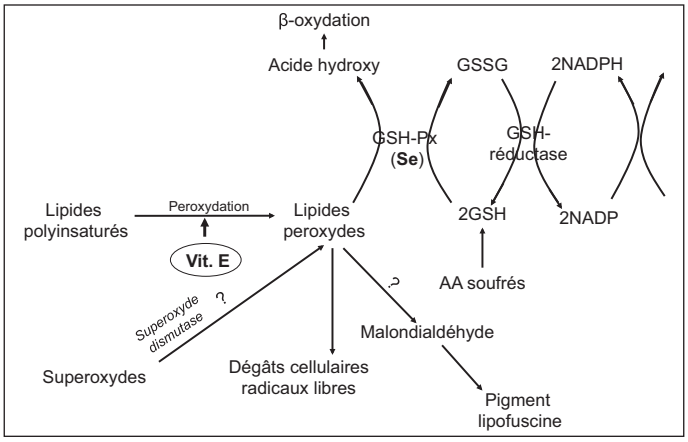


Figure 12.8.1- Rôle antioxydant de la vitamine E et du sélénium

(GSH : Glutathion réduit; GSH-Px : Glutathion peroxydase; GSSG : Deux glutathions associés; NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide; NADP : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate)

Parmi les éléments et les principes possédant des propriétés antioxydantes, il y a lieu de signaler :

- des vitamines : E, A et C;
- des minéraux : sélénium, zinc, manganèse, cuivre;
- des molécules complexes : polyphénols, flavonoïdes, caroténoïdes, coenzyme Q10;
- des enzymes : glutathion peroxydase; super oxyde dismutases (SOD), catalase. La glutathion peroxydase contient du sélénium, c'est une sélénoenzyme; elle a un effet synergique avec celui de la vitamine E. De très nombreux aliments sont bénéfiques dans ce sens. On peut citer en particulier le poivron rouge et le poivron jaune, la noix, la tomate, le brocoli, l'oignon (notamment l'oignon rouge), l'ail, la patate douce, les épinards, la fraise, le cresson, le chou et les poissons (hareng, maquereau, truite, sardine, etc.).

Concernant les flavonoïdes, il s'agit de métabolites secondaires de certaines plantes vasculaires. Ce sont des pigments ayant une structure de base appartenant à la famille des polyphénols mais avec des formes différentes. Les flavonoïdes ont des propriétés antioxydantes et anticancéreuses et permettent aussi de lutter contre les maladies cardiovasculaires. On les trouve dans des produits alimentaires aussi variés que le raisin, l'oignon, la pomme, la grenade, la fraise, la myrtille, le soja, le cassis, le cacao, le thé et le café.

Le tableau 12.8.1 donne un certain nombre de produits alimentaires présentant un pouvoir antioxydant intéressant.

Tableau 12.8.1- Produits alimentaires à pouvoir antioxydant[1]

Epices et aromates	**Légumes**
Clou de girofle, cannelle, origan séché, safran moulu, cacao en poudre, cumin grains, persil séché, basilic, curry en poudre, sauge fraîche, moutarde grains, gingembre poudre, poivre noir, thym frais, marjolaine fraîche, chili, ail, coriandre, ciboulette, miel, piment rouge	Chou rouge, betterave, asperge, patate douce, oignon rouge, épinard, radis, brocoli, poivron, céleri, carotte, chou, oignon, champignon, tomate, concombre
Fruits	**Oléagineux**
Baie d'açaï, sureau pomme avec peau, pruneaux, poire, prune, framboise, myrtille, datte, figue, cerise, baie de goji, abricot sec, avocat, pêche, papaye, raisin, mangue, abricot, nectarine, orange, mandarine, citron, kiwi, banane, ananas, melon, pastèque	Noisette, pistache, amande, cacahuète, noix de macadamia, noix du Brésil
	Légumineuses
	Haricot, lentille, pois chiche, haricot blanc
	Autres produits
	Chocolat, thé, coquillages, vin rouge[2]

[1] : Dans chaque rubrique, les produits sont cités dans l'ordre décroissant de leur pouvoir antioxydant;
[2] : Avec modération et en respectant les habitudes alimentaires

Le pouvoir antioxydant des aliments est mesuré par la Capacité d'Absorption des Radicaux Oxygénés ou ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*). L'ORAC s'exprime en nombre de micromoles de Trolox vitamine E (TE) par 100 g d'aliment. Plus l'ORAC est élevé, plus l'aliment est antioxydant. Cependant, les valeurs de l'ORAC ont été récemment remis en cause en raison du manque de leur pertinence ainsi que des effets spécifiques, comme pour les polyphénols, sur la santé.

En pratique, il a été recommandé de consommer quotidiennement 3000 à 5000 micromoles d'équivalents TE répartis dans la journée afin de contenir le stress oxydant de l'organisme.

La capacité antioxydante en équivalent Trolox (TEAC) donne aussi une mesure de la force antioxydante d'une substance en unités équivalent Trolox, par exemple en microgrammes pour 100 g (µg/100g). Ceci permet de mesurer la capacité d'un mélange sans devoir évaluer celle de chacun de ses constituants.

12.9- Hépatites et cirrhoses hépatiques

Le foie est l'organe abdominal le plus gros. Il fait partie du système digestif. Cependant, en plus de la sécrétion de la bile, le foie remplit plus de 300 fonctions vitales pour l'organisme humain. Il assure notamment des fonctions d'épuration et de détoxication de l'organisme, des synthèses de molécules et le stockage de diverses substances.

Diverses agressions peuvent affecter le foie, provoquant les maladies dites hépatiques, dont les hépatites et les cirrhoses.

Parmi les hépatites, certaines sont dues aux virus. Ces hépatites virales sont classées en 3 catégories : A, B et C (voir *Viroses*, p. 289).

Les hépatites non virales sont principalement provoquées par la consommation d'alcool (éthanol ou alcool éthylique) et d'autres produits chimiques toxiques. Elles peuvent aussi résulter d'autres maladies atteignant le foie comme la stéatose (accumulation des lipides) hépatique ou foie gras. Elles peuvent également avoir une origine auto-immune conduisant à un état d'inflammation chronique caractérisé par la production d'auto-anticorps.

Les cirrhoses hépatiques, quant à elles, sont des lésions inflammatoires du foie résultant le plus souvent de la consommation chronique d'alcools ou de l'infection par des virus hépatotropes. Elles peuvent également résulter de l'accumulation excessive des graisses dans le foie, de maladies auto-immunes ou encore de déficiences des activités enzymatiques.

Suite à la perte des fonctions hépatiques, on peut assister à un défaut de synthèse de molécules indispensables au bon fonctionnement de l'organisme, entraînant par exemple une hypoglycémie, une baisse des taux sanguins de l'albumine et un défaut dans l'élimination de substances toxiques, notamment l'ammonium produit par la flore intestinale.

La principale conséquence des cirrhoses est la malnutrition protéino-énergétique observée chez les personnes atteintes de ces maladies.

L'alimentation et la nutrition constituent le moyen le plus important dans la prise en charge de ces désordres. Il est notamment conseillé de :

- adopter un régime peu salé;
- réduire la consommation de certaines protéines comme celles des viandes et des fromages;
- avoir une alimentation suffisante mais équilibrée;
- arrêter la consommation d'alcool, le foie étant l'organe principal du métabolisme de l'alcool[11]. L'alcool est considéré comme un facteur "objectif" de la prise de poids. Il favorise les dépôts graisseux au niveau du tissu adipeux de l'abdomen et du foie lui même.

Il faut cependant noter que, en cas de consommation d'une quantité élevée d'alcool, l'organisme dispose d'un autre système de détoxication, le système d'oxydation microsomal de l'éthanol ou *Microsomal Ethanol Oxidizing System* (MEOS).

Certains aliments sont recommandés pour leur pouvoir purifiant et détoxifiant stimulant ainsi les mécanismes de détoxication de l'éthanol. Il s'agit de l'ail, du pamplemousse, du thé vert, des noix, des légumes crucifères, des légumes feuillus, du curcuma et du citron.

Néanmoins, l'abstinence et la modération en matière de consommation d'alcool doivent rester la règle.

12.10- Allergies alimentaires

Les allergies alimentaires sont des réactions anormales ou poussées du système immunitaire suite à la consommation d'aliments, ingrédients ou additifs alimentaires. Normalement, le système immunitaire détecte les corps étrangers considérés comme des agresseurs (virus, bactéries, etc.) et produit des anticorps pour les combattre. Dans le cas d'une personne allergique à un aliment, le système immunitaire réagit de façon inappropriée et attaque l'aliment comme s'il s'agissait d'un agresseur. Les allergies alimentaires représentent 3% de l'ensemble des allergies recensées chez les humains.

En fait, ce ne sont pas les aliments eux-mêmes qui déclenchent ces allergies, mais des protéines spécifiques qu'ils contiennent. Ces substances sont appelées allergènes ou substances allergiques.

11- *Dans le foie, l'alcool est éliminé en deux étapes :*

1) l'éthanol est transformé en acétaldéhyde par l'enzyme alcool déshydrogénase (ADH). L'acétaldéhyde est une substance très toxique qui attaque les membranes cellulaires et inhibe le système enzymatique;

2) l'acétaldéhyde est transformé en acétate ou acide acétique par l'enzyme acétaldéhyde déshydrogénase (ALDH). L'acide acétique, à travers l'acétyl-coenzyme A, rejoint le cycle des citrates, celui des acides gras et du cholestérol. Il s'ensuit une accumulation des acides gras dans le foie, conduisant à une stéatose.

Selon les groupes de populations, les pays, les âges, les états physiologiques, les habitudes alimentaires et la gravité du désordre, les principaux aliments incriminés dans ces allergies sont le lait de vache, les œufs, les céréales, les arachides, les noix, les poissons et les fruits. Très souvent, l'individu allergique est sensible à de nombreux allergènes à la fois.

Des études ont révélé que 18% des enfants sont allergiques aux arachides, 12% aux poissons et 12% au lait. Cette prévalence tombe à 3% pour les œufs, le soja, les lentilles et les pois, 2% pour la viande de bœuf, les crustacés et la moutarde, 1,5% pour la viande de porc, la noix de coco et la noisette, et moins de 1% pour la viande de poulet, le tournesol, l'ail, la carotte, l'amande, la pêche, le blé et la tomate.

Chez l'adulte, les œufs viennent au premier rang avec 11% de prévalence, au même niveau que les Drupacées (prunes, poires, pêche, abricot et cerises) et les Ombellifères (cerfeuil, fenouil, céleri). Ensuite, on trouve les crustacés (8%), les poissons (7%), le lait (5%), le blé (4%), les légumineuses, la banane, l'avocat et les pommes (3%), le kiwi, la pomme de terre, le tournesol, la viande de bœuf, les arachides et la mangue (2%).

Chacune de ces allergies touche donc généralement un nombre limité de personnes. Chaque personne peut être allergique à un type d'aliment plutôt qu'un autre, quoiqu'on puisse observer des allergies multiples.

Les signes d'allergie apparaissent habituellement dans les minutes qui suivent la consommation de l'aliment en cause. C'est ce qu'on appelle un choc anaphylactique. Il s'agit d'une réaction allergique exacerbée, entraînant dans certains cas des conséquences graves. La nature et l'intensité des signes observés varient selon les personnes exposées. On peut noter l'un ou l'autre de ces symptômes, seul ou en association :

- symptômes cutanés : rougeurs et picotements autour de la bouche, des lèvres et de la langue, démangeaisons, prurit ou démangeaison de la peau, éruptions cutanées, gonflement des lèvres, du visage et des membres;
- symptômes respiratoires : respiration sifflante, gonflement de la gorge, difficultés à respirer, sensation d'étouffement (asthme);
- symptômes digestifs : crampes abdominales, diarrhée, coliques, nausées et vomissements;
- symptômes cardiovasculaires : pâleur, pouls faible, étourdissements et perte de conscience.

Il n'existe pas de traitement curatif à ces désordres. L'unique solution est de bannir la consommation des aliments vecteurs d'allergènes.

12.11- Goutte et nutrition

La goutte est une maladie chronique liée au métabolisme de l'acide urique, qui provient de la dégradation des bases puriques, l'adénine et la guanine. Ces deux bases sont dégradées en acide inosinique, puis en hypoxanthine par l'intermédiaire de l'enzyme xanthine oxydase. Ensuite, l'hypoxanthine est transformée en acide urique en passant par la xanthine.

L'acide urique a pour formule brute $C_5H_4N_4O_3$. Il s'agit d'une molécule quasiment insoluble dans l'eau. L'Homme et les primates supérieurs possèdent normalement une enzyme permettant de transformer l'acide urique en allantoïne, principe actif cicatrisant, régénérant et régulateur du sébum, qui est un film liquide secrété par les glandes sébacées, qui sont des glandes intradermiques. Mélangé à la sueur, le sébum protège la peau contre les invasions microbiennes et limite le dessèchement de la peau. C'est l'absence de l'enzyme catalysant la conversion de l'acide urique en allantoïne qui est à l'origine de la goutte.

La manifestation clinique la plus caractéristique de la goutte est une monoarthrite aigüe. Elle intervient notamment au niveau des articulations du gros orteil, mais aussi des autres articulations du pied et celles du genou, de la main, du coude et du poignet. L'inflammation est associée à une hyperuricémie (niveau très élevé de l'acide urique dans le sang) bien que d'une façon inconstante.

En effet, quand l'uricémie dépasse 60 mg/l, l'acide urique forme des cristaux qui peuvent provoquer une réaction inflammatoire. A la longue, et en l'absence de traitements adaptés, la persistance d'un taux élevé d'acide urique dans le sang entraine la formation d'amas appelés «*tophi*» au niveau des articulations et sous la peau.

L'excès d'acide urique dans le sang peut avoir plusieurs raisons :

- une alimentation non équilibrée, en particulier très riche en protéines;
- une consommation très importante de bière (même sans alcool), d'alcools forts ou de sodas sucrés;
- la consommation de certains médicaments.

L'augmentation de la fréquence de la goutte ces dernières années est associée à d'autres désordres sanitaires chroniques de la vie moderne, notamment l'obésité, les maladies cardiovasculaires et les maladies rénales. Cependant, la goutte reste une maladie curable.

Du point de vue alimentaire et nutritionnel, il est principalement recommandé de :

- réduire la consommation d'alcool;
- réduire la consommation de purines, c'est-à-dire des viandes rouges, abats et crustacés;
- adopter un régime riche en laitages pauvres en matière grasse;
- réduire la consommation des boissons sucrées riches en fructose.

12.12- Stérilité-fertilité

Il y a une relation directe entre l'état nutritionnel et la fertilité, aussi bien chez l'homme que chez la femme.

Chez l'homme, un IMC supérieur à 30 s'accompagne d'une diminution de la concentration des spermatozoïdes normaux dans le sperme, d'une réduction de leur mobilité et de leur pouvoir fécondant. Par ailleurs, plus l'IMC est élevé, plus le délai à concevoir s'allonge. Les hommes doivent donc surveiller leur poids.

Chez la femme, un IMC supérieur à 25 perturbe le cycle menstruel, donc celui de l'ovulation et de la conception. Un IMC supérieur à 32 multiplie par 3,7 le risque de troubles de l'ovulation au moment de la conception. A l'opposé, une maigreur extrême peut également provoquer l'arrêt de l'ovulation. Un IMC idéal serait de 19 à 24.

De façon générale, une alimentation saine et équilibrée permet d'améliorer la fertilité en coordonnant la production d'hormones et en maintenant une harmonie entre œstrogènes[12] et progestérone[13]. En particulier, les antioxydants détoxiquent le corps et permettent l'élimination des toxines, augmentant la motilité et la concentration des spermatozoïdes, le calcium assure l'équilibre entre les hormones sexuelles, alors que les bonnes graisses et les huiles végétales, sources d'oméga 3 et d'oméga 6, ont un effet bénéfique sur la fécondation.

Par ailleurs, la régulation de la sécrétion de l'insuline a un effet bénéfique sur la fertilité. Cette régulation peut être assurée en consommant des aliments ayant un indice glycémique (IG) et une charge glycémique (CG) appropriés (voir *Indice glycémique, charge glycémique et indice insulinémique*, p. 267-268), notamment les céréales et farines complètes et d'autres aliments riches en fibres, et en réduisant la consommation de sucres raffinés.

D'autre part, la vitamine B9 (acide folique) assure un bon déroulement du cycle menstruel et donc de l'ovulation et de la conception. La vitamine E est également importante. Il a été montré chez le rat mâle qu'une carence en cette vitamine entraine une altération de l'épithélium séminifère avec des troubles importants de la spermatogenèse, allant jusqu'à l'azoospermie (absence totale de spermatozoïdes dans le sperme). Chez la ratte gestante soumise aux mêmes conditions, on observe des anomalies de développement des tissus fœtoplacentaires aboutissant à la résorption des fœtus.

12- *Les œstrogènes constituent un groupe de stéroïdes dont la fonction à l'état naturel est d'être des hormones sexuelles femelles. Ils jouent un rôle dans le maintien du fonctionnement des organes génitaux et des seins chez la femme. Ils sont produits en premier lieu lors du développement des follicules des ovaires et du placenta. Certains œstrogènes sont également produits en petites quantités par d'autres tissus comme le foie, les surrénales, les seins et le tissu adipeux, surtout lors de la ménopause.*

13- *La progestérone est une hormone stéroïdienne secrétée par les cellules du corps jaune. Elle est impliquée dans la grossesse et l'embryogenèse ainsi que dans le cycle menstruel. Elle sert à préparer l'utérus pour la grossesse. Elle est produite dans la seconde moitié du cycle menstruel après l'ovulation, période de quelques jours pendant laquelle son taux augmente, pour diminuer ensuite en l'absence de fécondation.*

L'iode et les hormones thyroïdiennes T3 et T4 qui en dépendent sont indispensables à la croissance de l'organisme et au métabolisme cellulaire. En cas de carence en ces hormones, il y a ralentissement de toutes les fonctions, alors qu'en cas d'excès il y a accélération du métabolisme. Dans les deux cas, on assiste à des perturbations du fonctionnement des ovaires et des hormones féminines, avec notamment une modification de l'équilibre œstrogènes/progestérone. L'hypothyroïdie comme l'hyperthyroïdie peuvent provoquer une ovulation de mauvaise qualité, voire une absence d'ovulation. Dans certains cas, on note la disparition totale de la menstruation. Notons par ailleurs que les pesticides ont tendance à bloquer la production et l'activité des hormones androgènes[14].

La testostérone fait partie des substances anabolisantes, notamment prises par les sportifs pour améliorer leurs performances. Le dopage à la testostérone est cependant strictement interdit. Certains aliments ont un impact direct sur la synthèse et l'efficacité de la testostérone. Citons particulièrement les cas suivants :

- l'œuf contient des omégas 3, du zinc, de la vitamine D, du cholestérol et des protéines nécessaires à la synthèse de la testostérone;
- la grenade contient les vitamines B6 et K et du zinc;
- l'acide oléique des huiles végétales (notamment l'huile d'olive) a tendance à réduire le mauvais cholestérol (LDL) et à augmenter le bon (HDL), facteur propice à l'augmentation du niveau de la testostérone;
- la viande de bœuf contient du zinc et des protéines; une alimentation sans viandes rouges peut entrainer la diminution du niveau de testostérone;
- l'ail agit directement en permettant la libération de l'hormone lutéinisante (LH) qui favorise la circulation de la testostérone (voir plus loin);
- les huîtres, qui contiennent du zinc, de la vitamine B12 et des omégas 3, augmentent le niveau de testostérone;
- le gingembre augmente aussi ce niveau;
- le thon, riche en sélénium, vitamine D et omégas 3, augmente la production de testostérone;
- les crucifères comme le chou-fleur, le chou de Bruxelles et le brocoli augmentent la production de la testostérone grâce à l'IC3 (indole-3-carbinol);
- les flocons d'avoine, riches en vitamine D, contribuent à une meilleure circulation de la testostérone à travers un composé appelé «avénacoside»;

14-*Les androgènes, qui jouent un rôle prédominant dans la fertilité, dépendent étroitement de l'alimentation. Il s'agit d'hormones stéroïdiennes sexuelles mâles dont les plus connues sont la testostérone et la dihydrotestostérone (DHT). Les androgènes naturels sont synthétisés chez l'homme par les testicules et les corticosurrénales. La femme en secrète également dans les ovaires en petites quantités.*

Un niveau élevé en testostérone rime avec une augmentation de la masse musculaire, une amélioration de la reproduction et de la virilité. La testostérone joue un rôle important dans la croissance et le développement des organes de reproduction chez le mâle, notamment les testicules et la prostate.

- les relations du zinc avec la fertilité, la stérilité et la reproduction ont été clairement établies; la carence en zinc chez les humains et les animaux est associée à l'hypogonadisme; une réduction du poids et de la taille des testicules et une réduction de la spermatogenèse et de la maturation des spermatozoïdes ont été observés chez l'homme carencé en zinc; il s'agit d'un défaut de l'appareil reproducteur résultant en une perte de la fonction des testicules, mais qui peut également toucher les ovaires chez la femme; ce désordre, souvent détecté au moment de la puberté, concernerait une personne sur 5000, soit environ 0,02% de la population; rappelons que, chez les animaux adultes, les gonades ont deux fonctions fondamentales : la production des gamètes mâles (spermatozoïdes) et femelles (ovules) et la sécrétion des hormones stéroïdiennes; ces fonctions nécessitent la présence d'hormones gonadotrophines : l'hormone lutéinisante LH[15] et la *Follicule Stimulating Hormone* FSH[16]; en cas de carence en zinc, les concentrations de la testostérone et de la dihydrotestostérone (DHT) diminuent, ce qui représente la cause majeure de l'hypogonadisme; l'accès à un régime alimentaire équilibré avec une supplémentation en zinc élimine ce désordre d'hypogonadisme, rétablit les menstruations tout en régularisant leur cycle.

Pour une bonne fertilité, il est conseillé d'observer les règles alimentaires suivantes :

- consommer des fruits et des légumes, car ils contiennent des vitamines, des minéraux et des polyphénols agissant comme antioxydants et, donc, limitant le stress oxydant;
- consommer certaines épices comme le curcuma et le gingembre qui renferment également des antioxydants;
- consommer des poissons gras, sources d'acides gras oméga 3 (tout en respectant le ratio $\omega 3/\omega 6 = 1/4$ au plus) qui donnent de la souplesse aux membranes cellulaires et favorisent de meilleurs échanges entre les ovocytes et les spermatozoïdes;
- consommer des fruits de mer, bonnes sources de zinc et de sélénium;

15- *LH (Hormone lutéinisante) est une glycoprotéine produite par les cellules gonadotropes du lobe antérieur de l'hypophyse. C'est une des deux gonadotrophines, l'autre étant la FSH (Follicule-Stimulating-Hormone). La LH contrôle d'autres glandes, les gonades ou glandes sexuelles (ovaires et testicules). Chez l'homme, la LH stimule la sécrétion de la testostérone par les cellules de Leydig situées au niveau des testicules. Chez la femme, la LH joue un rôle dans la modification cyclique de l'ovaire. Elle déclenche l'ovulation, qui est provoquée par l'augmentation brutale du taux de LH, qui déclenche la libération de l'ovule d'une part, et règle la production de l'œstrogène et de la progestérone après l'ovulation.*

16- *FSH (Follicule-Stimulating-Hormone) est une hormone peptidique secrétée par l'antéhypophyse (lobe antérieur de l'hypophyse). C'est une hormone clé dans la fertilité aussi bien chez l'homme que chez la femme.*
Chez l'Homme, la FSH est impliquée dans le processus de spermatogenèse et la sécrétion de la testostérone. Elle stimule les cellules de Sartoli qui produisent les spermatozoïdes dans les testicules. Chez la femme, la FSH est produite de manière cyclique. Pendant la phase folliculaire, la sécrétion de la FSH augmente jusqu'à un pic au moment de l'ovulation. Celle-ci est provoquée par un pic de LH.

- éviter la forte consommation d'alcool, qui conduit à des cycles irréguliers et à la perturbation de la menstruation;
- éviter l'utilisation des additifs et des colorants, éventuels perturbateurs endocriniens[17].

12.13- Troubles de l'immunité

Il existe un lien fondamental évident entre l'alimentation et la nutrition, d'une part, et l'immunité de l'organisme, d'autre part. Le système immunitaire demande notamment de l'énergie pour son fonctionnement car il s'agit d'un système très actif sur le plan métabolique.

La réponse immunitaire s'accompagne d'une prolifération des cellules impliquées dans le système immunitaire. Pour consolider une réponse immunitaire, il faut donc fournir à l'organisme, outre les macronutriments comme les glucides, les lipides et les protides servant de sources d'énergie, des micronutriments comme les minéraux et les vitamines et les prébiotiques, sans oublier le rôle que jouent les probiotiques, microorganismes utiles de la flore intestinale (microbiote).

En cas de dénutrition énergétique ou protéique, il y a une diminution des fonctions immunitaires. Mais de nombreux déficits, notamment vitaminiques et minéraux, peuvent participer au déficit immunitaire dû aux dénutritions énergétiques ou protéiques.

Parmi les vitamines importantes pour l'immunité, on peut citer les vitamines A, C et E, qui ont des propriétés antioxydantes. Par ailleurs, un déficit en acide folique (vitamines B9) et en pyridoxine (vitamine B6) pourrait être associé à une diminution des fonctions des lymphocytes T[18].

En ce qui concerne les minéraux, une carence en fer, même modérée et isolée, peut conduire à un déficit immunitaire associé notamment à une diminution du nombre de lymphocytes T. Le zinc joue également un rôle primordial dans l'immunité à travers les cellules entrant dans le cycle de réplication, particulièrement dans les phases synthétique (S) et prémitotique (G2) de leur croissance. En effet, pour leurs fonctions normales, les lymphocytes et les autres cellules immunocompétentes dépendent d'une façon critique de leur faculté de se diviser et de se différencier. Une réponse immunitaire intacte et normale dépend de la quantité de zinc présent dans les cellules et les tissus, si bien que la carence en zinc paraît comme étant la cause alimentaire la plus importante de la déficience immunitaire.

17-*Les perturbateurs endocriniens sont des substances naturelles ou artificielles étrangères à l'organisme qui ont des propriétés hormono-mimétiques et qui peuvent, de ce fait, interférer avec le fonctionnement du système endocrinien et induire des effets néfastes sur l'organisme d'un individu ou de ses descendants.*

18-*Les lymphocytes sont des globules blancs du sang impliqués dans les défenses immunitaires. On distingue essentiellement les lymphocytes B (développés dans la bourse de Fabricius chez les oiseaux, d'où le B) et les lymphocytes T (développés dans le thymus, d'où le T). Ces deux types représentent 10% et 90% de l'ensemble des lymphocytes chez l'Homme, respectivement.*

13- Troubles sanitaires liés aux microbes des aliments

13.1- Généralités, définitions

La flore microbienne des denrées alimentaires comprend, en général, une flore spécifique et une flore de contamination.

Flore spécifique

C'est une flore d'intérêt technologique, présente naturellement dans le produit (crû et non ensemencé) ou ajoutée au produit (préalablement pasteurisé ou non). En fermentant les sucres, en hydrolysant les protéines et les lipides du produit et en y synthétisant d'autres protéines, des polysaccharides, des vitamines, etc., cette flore participe à la transformation des matières premières alimentaires, qui se traduit par :

- l'acidification (laits fermentés, fromages, saucissons, légumes, olives, etc.);
- l'aromatisation (laits fermentés, beurre, fromages, olives, pain, etc.);
- le changement de la texture (yaourt, laits filants[19]) ou le maintien de la texture (olives, cornichons, etc.);
- l'amélioration de la valeur nutritive (synthèse de vitamines et de protéines) ou de la digestibilité (hydrolyse des protéines).

Cette flore microbienne se retrouve généralement dans le produit fini. Par exemple, on trouve 10.10^6 (10 millions) de bactéries vivantes/g dans le yaourt. Elle peut cependant être éliminée par les traitements technologiques successifs à son action (levure boulangère tuée lors de la cuisson du pain).

Flore de contamination

C'est toute la flore autre que la flore spécifique du produit. Elle est considérée comme indésirable, soit parce qu'elle peut représenter un risque sanitaire pour le consommateur (flore d'intérêt hygiénique), soit parce qu'elle modifier dans le mauvais sens les caractéristiques organoleptiques de l'aliment (flore d'altération biochimique).

19- *Laits filants : laits fermentés avec des bactéries synthétisant des polysaccharides qui procurent de la viscosité au produit.*

Flore d'intérêt hygiénique

Elle se compose de deux catégories de microbes : les microbes pathogènes et/ou toxinogènes et les microorganismes indices de contamination fécale.

Les microbes pathogènes et/ou toxinogènes sont responsables d'accidents sanitaires chez le consommateur. Ce sont des accidents très variés en nature et en gravité. Chaque accident est un syndrome plus ou moins spécifique (signes cliniques particuliers). Varient également la durée d'incubation et la durée de l'affection. Tous ces paramètres dépendent de l'espèce microbienne, de l'individu atteint et de certaines conditions (quantité d'aliment ingérée, degré de contamination, etc.).

On définit trois sortes d'accidents :

- Infection Alimentaire : accident provoqué par un microbe (bactérie ou virus) capable de s'implanter dans les tissus du consommateur et de s'y multiplier (*mécanisme invasif*); le microbe peut ou non se développer au préalable dans l'aliment (exemple : les virus ne se multiplient pas dans les aliments); le déclenchement de la maladie exige une dose infectieuse minimale pour se déclencher (nombre minimum d'individus microbiens vivants);
- Toxi-infection Alimentaire : accident provoqué par la présence simultanée du microorganisme et de sa (ses) toxine(s); le microbe se multiplie dans l'organisme du consommateur, mais sans être nécessairement invasif; il peut se multiplie seulement dans la lumière intestinale et n'agir que par sa (ses) toxine(s);
- Intoxication Alimentaire : de façon générale, tout accident sanitaire dû à la consommation d'un aliment contenant une substance toxique (empoisonnement); pour les toxines microbiennes, on préfère parfois le terme *intoxination*; la (les) toxine(s) seule(s) est (sont) responsable(s) de l'intoxination alimentaire; la présence du microorganisme vivant n'est pas nécessaire.

Remarques :

1) dans le langage courant, les 3 catégories d'accidents sanitaires définis ci-dessus sont désignées par «toxi-infections alimentaires» ou «intoxications alimentaires». Les anglosaxons emploient l'expression «*Food-born diseases*»; en français, on parle aussi de «gastro-entérites»;
2) parmi ces accidents, les TIAC (Toxi-Infections Alimentaires Collectives) attirent de plus en plus l'attention; la généralisation de la restauration collective est à l'origine de leur fréquence accrue;
3) on peut trouver, associées à la même espèce microbienne, 2 ou 3 formes d'accidents sanitaires :

- *Escherichia coli* : souches invasives et souches toxinogènes;
- *Staphylococcus aureus :* souches invasives responsables d'infections alimentaires, souches toxinogèncs associées à des intoxinations alimentaires et souches provoquant des toxi-infections alimentaires.

Les microorganismes indices de contamination fécale comportent deux grands groupes de bactéries :

- les coliformes, en particulier les coliformes fécaux;
- les streptocoques fécaux (Entérocoques).

Flore d'altération biochimique

C'est une flore microbienne responsable de transformations biochimiques plus ou moins poussées pouvant conduire à l'évolution des propriétés organoleptiques dans un sens défavorable (goût, odeur, couleur, aspect, consistance, etc.).

Certains groupes microbiens appartenant à cette catégorie de flore sont particulièrement redoutés dans l'industrie alimentaire :

- la flore psychrotrophe, qui est capable de pousser à basse température, provoquant l'altération des aliments réfrigérés; elle produit notamment des protéases et des lipases thermostables, responsables de défauts de saveur;
- les flores gazogènes, qui produisent des gaz indésirables dans les aliments, responsables de défauts plus ou moins graves (gonflement précoce des fromages à pâte molle provoqué par les coliformes; gonflement tardif des fromages à pâte pressée dû à la flore butyrique, poches de gaz induites par les levures dans les confitures, etc.);
- la flore fongique (levures et moisissures), surtout dans les produits acides et/ou sucrés.

Une flore microbienne peut être à la fois d'intérêt hygiénique et responsable d'altération (exemple : Coliformes agents de gonflement précoce des fromages).

13.2- Infections Alimentaires

Viroses

Hépatite virale de type A

Le virus de loin le plus important dans ce contexte est le virus de l'hépatite de type A. Il est d'origine fécale et pénètre dans l'organisme par voie digestive avec l'eau ou certains aliments. Les denrées incriminées sont les produits de la mer provenant d'eaux contaminées, les eaux de boissons polluées, les fruits et légumes souillés par l'eau.

Gastro-entérites virales

De nombreux virus (dits virus entériques) sont impliqués dans les gastro-entérites. Ceux qui peuvent être transmis par les aliments sont principalement les *Adenovirus*, les *Enterovirus*, les *Parvovirus* et les *Rotavirus*.

Lors d'épidémies d'origine hydrique ou consécutives à la consommation d'huîtres et d'autres coquillages, le rôle des virus a été clairement établi.

La prévention consiste à empêcher toute contamination fécale des aliments et à inactiver les virus entériques par un traitement thermique.

Infections Alimentaires Bactériennes

Salmonelloses

Les Salmonelles sont des bactéries de la famille des *Enterobacteriaceace*. Leurs principales caractéristiques culturales sont les suivantes : température de 5,2 à 46 °C (optimum : 35 à 37 °C); pH de 4 à 11 (optimum : 6,5 à 7,5); bonne croissance pour une activité de l'eau (aw) entre 0,94 et 0,99.

La recherche des Salmonelles dans les produits alimentaires est importante pour le contrôle de la qualité hygiénique. Ce sont des bactéries pathogènes pour l'Homme et les animaux. La transmission se fait le plus souvent de l'animal à l'Homme par ingestion des denrées alimentaires d'origine animale, mais peut se faire de l'homme à l'homme et de l'homme à l'animal. Les aliments les plus souvent associés à ces accidents sont par conséquent ceux d'origine animale (viandes, œufs, poulet, poisson et autres produits de la mer) ainsi que les pâtisseries (notamment à cause de la crème et des œufs).

La présence des Salmonelles dans les produits pasteurisés (lait par exemple) est très rare. En effet, les Salmonelles sont normalement détruites par le traitement de pasteurisation. Cependant, si les pratiques sanitaires après la pasteurisation sont défectueuses, la contamination par les Salmonelles peut avoir lieu (contamination post-pasteurisation). De même, la cuisson de la viande à point (la chair est ferme et douce) suffit à détruire les Salmonelles. Ce résultat peut être atteint à 70 °C pendant 2 minutes. Une bonne cuisson doit être appliquée particulièrement pour la viande hachée.

On compte environ 2.000 sérotypes de Salmonelles. Cependant, *Salmonella typhimuruim* semble être le sérotype le plus fréquemment rencontré comme agent d'infection alimentaire. La dose minimale infectante pour l'Homme est assez élevée: entre 10^6 et 10^9 cellules. Cette dose dépend du sérotype considéré, de l'aliment ingéré et de la susceptibilité du consommateur.

La grande proportion des Salmonelles ingérées est déduite dans l'estomac par l'acidité gastrique (pH 1 à 2). Les bactéries survivantes atteignent l'intestin grêle où elles se multiplient, provoquant l'inflammation de la muqueuse intestinale et les symptômes de la gastro-entérite. Les premiers symptômes apparaissent le plus souvent entre 6 et 48 heures après ingestion de l'aliment contaminé. Les symptômes les plus fréquemment rencontrés sont la diarrhée, la fièvre, la nausée, le vomissement et les maux de tête. Les cas de mortalité dus aux Salmonelloses sont rares (0,1 à 0,3% des cas recensés aux USA). La mort survient surtout chez les jeunes enfants, les vieillards et les individus souffrant de maladies intercurrentes[20].

Certaines mesures visant à prévenir la contamination doivent être appliquées :

- respect de règles strictes d'hygiène au niveau du transport des animaux vivants et des aliments;
- respect des bonnes pratiques d'hygiène lors de la préparation des aliments (hygiène des locaux, du matériel, du personnel);
- maintien des aliments à des températures inférieures à 5 °C (réfrigération) ou supérieures à 47 °C (plats chauds exposés dans les buffets);
- assainissement : les salmonelles sont généralement détruites par un chauffage de 12 à 15 min à 65 °C.

Shigellose (dysenterie bacillaire)

Shigella dysenteriae a été découverte en 1896 par le japonais Kiyoshi Shiga, comme étant la cause d'une forme de dysenterie, la dysenterie bacillaire[21]. D'autres espèces du genre *Shigella* peuvent cependant être impliquées : *S. sonnei, S. flexneri et S. boydii.*

Ces bactéries peuvent être trouvées dans l'eau ou dans certains aliments tels que les œufs et les crudités.

L'incubation peut durer 48 heures. Les principaux symptômes sont les vomissements, l'hyperthermie, des selles glaireuses (la glaire est une sécrétion visqueuse des muqueuses), sanglantes et purulentes, avec risque de perforation du côlon dans les formes les plus compliquées chez l'enfant (voir tableau 13.5. 1a, p. 303).

20- *Une maladie intercurrente est une maladie qui survient au cours d'une autre maladie, soit en aggravant la première, soit en s'y ajoutant.*

21- La dysenterie est une maladie caractérisée par une inflammation des intestins et des selles fréquentes et aqueuses (diarrhée), souvent mêlées de sang, de mucus ou de glaires et accompagnées de fortes crampes abdominales. Elle est due à l'ingestion d'aliments contaminés par certains microorganismes il en existe deux types selon la nature des microorganismes impliqués : la dysenterie bacillaire ou bactérienne, causée par des bactéries du genre Shigella, et la dysenterie amibienne (amœbose), causée par un protozoaire parasite, l'amibe Entamoeba histolytica.

13.3- Toxi-infections Alimentaires

Gastro-entérites à Escherichia coli

Escherichia coli est un hôte normal de l'intestin de l'Homme et des animaux. Sa présence dans les aliments est un indicateur de pollution fécale et de mauvaises conditions hygiéniques.

Les *Escherichia coli* entéropathogènes sont responsables de maladies très graves chez le nourrisson et de troubles diarrhéiques chez l'adulte et sont facilement transmises par les denrées alimentaires souillées, par des porteurs humains ou par les matières fécales.

Il existe 4 catégories d'*Escherichia coli* entéropathogènes :

- *Escherichia coli* entéropathogène classique (EPEC), sérotypes associés aux diarrhées des jeunes enfants;
- *Escherihiia coli* entérophathogène facultative (FEEC), sérotypes de la flore normale de l'intestin;
- *Escherichia coli* entérotoxinogène (ETEC), souches produisant des entérotoxines thermostables (ST) et/ou des entérotoxines thermolabiles (LT); ces souches colonisent la surface épithéliale de la région proximale de l'intestin grêle;
- *Escherichia coli* entéroinvasive (EIEC) dont l'effet pathogène est exercé par l'invasion du tractus intestinal.

La dose infectante minimale entraînant la maladie se situe entre 10^6 et 10^9 cellules d'*E. coli* entéropathogènes. De même, 10^6 à 10^9 *E. coli* entéroinvasives sont nécessaires pour provoquer le syndrôme diarrhéique chez les adultes.

Les souches toxinogènes causent principalement la diarrhée, la fièvre et la nausée avec parfois des douleurs abdominales et des vomissements. La période d'incubation est en moyenne de 18 heures et la durée moyenne de la maladie est de 48 heures.

La production d'entérotoxines par *E. coli* dépend de certains facteurs tels que la température, le pH du milieu et l'âge de la culture. En effet, la température optimale pour la production d'entérotoxines est de 35 °C pour une période d'incubation de 24 heures. Cependant la toxine thermolabile (LT) et la toxine thermostable (ST) sont respectivement détectées à des intervalles de température de 25 à 40 °C et de 30 à 35 °C. Par ailleurs, la production des entérotoxines par les souches entérotoxinogènes est inhibée dans un intervalle de température compris entre 5 et 15 °C. Le pH optimal pour la production de la LT et de la ST est de 8,5 et de 7,2 à 7,8, respectivement.

Entérite à Clostridium perfringens

Clostridium perfringens est une bactérie anaérobie sporulée (elle produit des organites de résistance nommées spores). Elle comporte 5 types désignés A à E, le type A étant la cause la plus courante d'intoxication alimentaire chez l'Homme. Ce germe est d'origine fécale, mais aussi ubiquiste, c'est-à-dire qu'il se trouve un peu partout, notamment dans beaucoup d'aliments et dans l'environnement.

Le développement de *Clostridium perfringens* est lié aux conditions du milieu : pH de 5 à 8,5; températures optimale 30 à 47 °C, maximale de 51 à 52 °C, minimale 6,5 °C.

La toxi-infection alimentaire due à *Clostridium perfringens* est une gastro-entérite qui fait intervenir une entérotoxine. Les symptômes qui apparaissent de 6 à 24 h après l'ingestion des aliments sont la diarrhée, les douleurs abdominales, parfois la nausée, l'anorexie, de légers maux de tête, mais rarement les vomissements.

La prévention est assurée, d'une part, en évitant la contamination des manipulateurs et, d'autre part, en limitant la multiplication du microorganisme. Pour ce faire, il faut :

- refroidir rapidement les aliments cuits et les conserver à une température inférieure ou égale + 6,5 °C;
- garder les aliments cuits chauds au-dessus de 52 °C.

Toxi-infection staphylococcique

L'agent responsable de la toxi-infection staphylococcique est *Staphylococcus aureus*. Il intervient en élaborant des toxines dans les aliments. *S. aureus* est halotolérant (tolère jusqu'à 22% de sel dans le milieu) et modérément osmophile (adapté aux milieux sucrés).

La croissance de cette bactérie peut avoir lieu pour une température allant de 6,7 à 46 °C, l'aw minimale étant de 0,83 à 0,86 (relativement basse par rapport aux autres bactéries). Quant à la toxinogenèse, elle a lieu entre 10 et 45 °C, la température optimale étant de 33 à 38 °C, les pH extrêmes de 5,0 et 9,0.

La bactérie est souvent localisée chez l'Homme au niveau des voies respiratoires supérieures (sujets atteints d'affections telles qu'angine ou sinusite, ou bien porteurs sains) et de la peau, notamment dans les plaies infectées, les furoncles[22], les panaris (infections qui se situent sur le pourtour ou au-dessous de l'ongle), etc.

Les aliments les plus incriminés dans cette intoxication sont les viandes, les œufs, la mayonnaise, les produits laitiers, les desserts sucrés (crèmes glacées, flans, mousses au chocolat, caramel, etc.). Le lait est souvent contaminé lorsqu'il provient de vaches atteintes de mammites[23].

22- *Les furoncles sont des inflammations de la peau qui peuvent apparaître sur tout le corps (fesses, visage, nez, cou, épaules, aisselles). Il apparaissent comme de gros boutons de coloration jaunâtre entourés d'une inflammation rouge.*

23- *Les mammites sont des inflammations infectieuses de la mamelle pouvant être provoquées par diverses espèces microbiennes dont notamment Staphylococcus aureus.*

Le staphylocoque entérotoxique produit plusieurs entérotoxines thermostables. On en connaît 10 dénommées A, B, C1, C2, C3, D, E, G, H et I. La toxi-infection staphylococcique se caractérise par une incubation très brève, généralement de 2 à 4 h. Les symptômes sont généralement la nausée, les vomissements, les crampes abdominales et, plus tardivement, la diarrhée. On note l'absence de fièvre.

Jadis, on considérait une quantité minimale de 10^4 cellules bactériennes vivantes/g ou /ml d'aliment pour provoquer l'accident sanitaire. Aujourd'hui, on préfère considérer la quantité minimum de toxine nécessaire pour produire les symptômes, qui a été estimée à environ 0,0150-0,0357 ng d'entérotoxine par kg de poids[24]. En effet, les conditions de croissance et de toxinogenése sont différentes. De plus, certains traitements peuvent tuer la bactérie (chaleur) sans détruire les toxines.

Pour éviter l'intoxination staphylococcique, il est nécessaire de :

- veiller au respect des bonnes pratiques d'hygiène par les manipulateurs;
- contrôler régulièrement la santé des manipulateurs;
- éviter la multiplication de la bactérie en maintenant les aliments en dehors de la zone de température permettant son développement (6,7 à 46 °C);
- détruire la bactérie et inactiver les toxines.

Accidents dus aux Vibrio

Vibrio parahaemolylicus

C'est une bactérie en forme de bâtonnet légèrement incurvé, assez proche de l'espèce qui provoque le choléra, *V. cholerae*. Elle est largement répandue et se développe dans les eaux saumâtres, les sédiments des estuaires, le poisson crû et les coquillages comestibles. Elle rivalise bien avec les organismes d'altération des aliments à des températures de 5 °C et au-dessus. C'est cependant surtout l'été qu'on la trouve en très grands nombres, lorsque les températures élevées facilitent un développement rapide.

V. parahaemolyticus est la principale cause d'intoxication alimentaire au Japon où le poisson crû est consommé régulièrement. Ailleurs, elle est moins fréquente du fait qu'elle est détruite par la pasteurisation ou la cuisson. Néanmoins, les fruits de mer cuits peuvent être recontaminés par l'eau ou les fruits de mer crus. Les premières attaques confirmées aux Etats-Unis ont eu lieu en 1971 et 1972, à partir de chair de crabe, de crevettes et de langoustes. Lors d'une endémie au Japon, 250 personnes ont été atteintes et 22 sont décédées.

On possède aussi des preuves substantielles de l'implication de *V. parahaemolyticus* dans des infections extra-intestinales (infection des yeux et des oreilles).

24- *1 ng (nanogramme) = 1 millième de microgramme = 1 millionième de milligramme = 10^{-9} gramme.*

Pour réduire l'incidence des attaques de *V. parahaemolyticus,* on doit :

- maintenir les fruits de mer crus à 4 °C ou en dessous;
- cuire les fruits de mer de façon adéquate;
- séparer soigneusement les fruits de mer cuits des fruits de mer crus ainsi que de l'eau de mer, de l'équipement non désinfecté et des récipients sales;
- maintenir les fruits de mer cuits à des températures inférieures à 4,4 °C ou supérieures à 60 °C.

Vibrio cholerae

V. cholerae provoque des attaques sporadiques de diarrhée aiguë (choléra) qui peut tuer en quelques heures en l'absence de traitement. Cette bactérie se trouve partout et fait partie de la flore habituelle des eaux saumâtres, des estuaires et des marais salants de la zone tempérée. On estime que les nombres de cas à l'échelle mondiale varient entre 1,3 et 4 millions par an, avec 20.000 à 140.000 décès.

En début d'atteinte, la personne infectée ne manifeste généralement pas de symptômes ou des symptômes bénins et peut être sauvée par l'administration de sels de réhydratation orale (SRO). En revanche, dans les cas sévères, il est nécessaire de traiter rapidement par perfusion de liquide et d'antibiotiques par voie intraveineuse.

Dans les zones à risque, on doit associer la vaccination anticholérique par voie orale à l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement en vue de limiter les flambées de choléra.

Vibrio vulnificus

V. vulnificus peut provoquer une septicémie (développement de la bactérie dans le sang) après ingestion de la bactérie ou encore une infection ouverte suite à la pénétration de la bactérie par une lésion de la peau. Son réservoir principal est l'eau de mer et c'est pourquoi il est très commun dans les fruits de mer.

13.4. Intoxications alimentaires d'origine bactérienne

Botulisme

L'intoxication botulique (botulisme) a été décrite dans un grand nombre de pays de tous les continents. Heureusement, sa fréquence est relativement faible. Entre 1940 et 1975 aux USA, par exemple, la moyenne annuelle des cas enregistrés était inférieure à 7. Ces cas étaient essentiellement causés par des conserves domestiques mal préparées. Cette incidence a en effet nettement baissé depuis la généralisation de la cuisson sous pression (cocotte-minute) dans les ménages. D'autre part, au niveau des conserves industrielles, on n'a pas noté de cas aux USA depuis 1925.

Cependant, les effets de cette maladie sont spectaculaires puisque le taux de mortalité est très élevé. En outre, sa fréquence ne doit pas être négligeable dans les pays en voie de développement pour diverses raisons, bien que l'on ne dispose que de peu de données à ce sujet. C'est pourquoi il est important d'en rappeler les principaux aspects.

Agent causal

Le botulisme est dû à une bactérie qui a été isolée pour la première fois en Belgique en 1890 par Van Ermengen à partir de saucisson. Cette bactérie reçut le nom de *Clostridium botulinum* en référence au nom latin du saucisson (*botulus*).

Celte bactérie vit naturellement dans le sol, qui constitue la principale source de contamination pour les aliments d'origine végétale, et ce, à travers les poussières véhiculées par le vent, les insectes, la pluie et les manutentions, notamment au cours de la récolte. La contamination des produits d'origine animale se fait par les mêmes voies, et par les matières fécales qui peuvent aussi contenir la bactérie. Un des 8 types de *Cl. botulinum* actuellement connus, le type E, vit naturellement dans la vase des fonds marins et lacustres aux bords des lacs, d'où il contamine les animaux aquatiques.

En plus de son pouvoir toxinogène, celte bactérie possède d'autres particularités importantes au plan pratique.

D'une part, elle est capable de former des spores, qui sont des cellules à l'état de «dormance» particulièrement résistantes[25]. Ainsi, elle est capable d'opposer une très forte résistance à la chaleur. Si les cellules végétatives sont tuées par un chauffage de quelques minutes à 80 °C, les spores résistent à l'ébullition (100 °C) pendant 6 h ou pendant 4 min à 120 °C.

En raison de la thermorésistance des spores de *Cl. botulinum* et des risques que leur survie ferait encourir au consommateur, les barèmes de stérilisation des conserves dans l'industrie (température et durée du chauffage) sont calculés en fonction de ce qui est nécessaire pour les tuer. Evidemment, toute défaillance dans le traitement thermique (température trop basse, durée insuffisante, etc.) pourrait conduire à la survie de ces spores avec les conséquences désastreuses que cela peut entraîner. De même, il faut signaler que ni la réfrigération ni la congélation ne tuent ces spores Celles-ci se maintiennent donc longtemps dans les aliments crus ou précuits et congelés, et restent prêtes à germer dès que l'aliment est décongelé.

25- *Chaque fois que les conditions environnantes deviennent hostiles à la cellule normale, dite végétative, celle-ci accumule ses réserves dans un espace restreint, puis les protège d'enveloppes épaisses et résistantes, au détriment du reste de la cellule, qui dépérit. La spore ainsi formée peut résister très longtemps et, dès que les conditions redeviennent favorables, elle germe pour donner naissance à une nouvelle cellule végétative qui se met immédiatement à se multiplier et à produire sa toxine.*

D'autre part, cette bactérie est anaérobie stricte : la germination des spores, la multiplication des cellules végétatives et la synthèse de la toxine exigent l'absence totale d'oxygène, condition réalisée dans les conserves appertisées. En effet, la technologie des conserves consiste à remplir les récipients (boîtes métalliques par exemple) avec l'aliment à conserver tout en laissant vide un petit espace dit «espace de tête». Puis on procède à un préchauffage qui chasse l'oxygène du contenu et fait dégager de la vapeur d'eau qui occupe l'espace de tête. On place ensuite le couvercle et on ferme hermétiquement (sertissage), les récipients sont stérilisés à l'autoclave, puis refroidis immédiatement après leur sortie de l'autoclave. On provoque ainsi la condensation de la vapeur de l'espace de tête, ce qui crée le vide dans le récipient et garde l'aliment à l'abri de tout contact avec l'oxygène.

Cette bactérie produit des gaz à partir des aliments. Dans le cas des conserves, les gaz formés dans le récipient conduisent au phénomène du «bombage» (figure 13.4.1). Par ailleurs, *Cl. botulinum* libère, à partir des protéines, du sulfure d'hydrogène caractérisé par une très mauvaise odeur.

Figure 13.4.1- Boîte de conserve présentant le phénomène de bombage (à droite) et boîte normale (à gauche)

Toxine botulique

La toxine botulique se présente sous 8 formes voisines qu'on appelle les types A, B, Cα, Cβ, D, E, F et G. Du fait de sa nature protéique, cette toxine est sensible à la chaleur : une ébullition de 15 min suffit généralement à l'inactiver. En revanche, elle résiste aux basses températures et n'est pas affectée par la congélation.

Injectée aux animaux, la toxine botulique provoque la formation dans leur sérum d'un anticorps spécifique, l'antitoxine. Malheureusement, les doses qui seraient nécessaires pour induire la production de cette antitoxine sont souvent supérieures à celles qui tuent les animaux. Cependant, le traitement de la toxine au formol donne naissance à une substance transformée, le toxoïde, qui n'est plus toxique, mais qui, injectée aux animaux, induit la formation de l'antitoxine spécifique. Ainsi, il est possible de vacciner les individus exposés au risque de botulisme par injection de toxoïde.

La toxine botulique est la plus puissante de toutes les toxines connues. Sa dose létale minimale (DLM), estimée à 5.10^{-5} mg pour la souris et à 0,01 mg environ pour l'Homme, est 25 fois plus petite que celle de la toxine tétanique, qui occupe la seconde place.

Essentiellement absorbée au niveau de l'intestin grêle, la toxine est véhiculée par le sang jusqu'aux terminaisons nerveuses où elle bloque la libération de l'acétylcholine[26], paralysant ainsi les muscles involontaires, ce qui conduit notamment à l'arrêt de la respiration.

Facteurs affectant la toxinogenèse

La toxinogenèse de *Cl. botulinum* suppose que soient réunies des conditions favorables pour la germination des spores, la multiplication des cellules végétatives qui en résultent, et la synthèse de la toxine par ces cellules. De nombreux paramètres interfèrent avec ces phénomènes.

Ce sont les aliments peu ou moyennement acides, notamment les conserves domestiques fabriquées dans de mauvaises conditions, qui sont le plus souvent impliqués. L'acidité, en effet, inhibe aussi bien la germination des spores que la multiplication des cellules végétatives et la toxinogenèse. Ainsi, les conserves végétales incorrectement préparées viennent en tête des causes de botulisme recensées (avec 60% des cas) suivies des poissons et autres produits marins, puis viennent les fruits, les condiments, etc. Les aliments frais ou tout récemment cuits ne présentent aucun risque à cause de l'absence des conditions d'anaérobiose dans le premier cas, et de la sensibilité de la toxine à la chaleur dans le second.

Par ailleurs, *Cl. botulinum* exige des taux élevés d'humidité dans l'aliment (60% au moins), ce qui écarte de tout danger les aliments déshydratés ainsi que les aliments riches en sel : un salage de 5 à 10% suffit à inhiber toute activité chez cette bactérie.

A côté de l'acidité et de l'oxygénation, la température est un autre paramètre physique qui conditionne l'activité de celte bactérie. La germination des spores nécessite un minimum de 5 °C, ce qui met à l'abri toute denrée maintenue en dessous de cette température. D'autre part, la zone de température qui permet la multiplication maximale des cellules végétatives est de 30 à 37 °C, ce qui correspond à peu près au maximum de toxinogenèse également. Ceci montre l'importance du refroidissement rapide des conserves à la sortie des autoclaves.

Etude clinique du botulisme

Les premiers signes cliniques apparaissent 12 à 36 h après la consommation de l'aliment contaminé (18 h en moyenne). Cette durée dépend de la quantité d'aliment ingérée, de sa teneur en toxine, et de la sensibilité de l'individu.

26- *L'acétylcholine est un neurotransmetteur jouant un rôle important dans le système nerveux central (mémoire et apprentissage) et dans le système nerveux périphérique (activité musculaire et fonctions végétatives).*

Les symptômes sont d'abord digestifs (nausée, vomissement et diarrhée, suivie plus tard de constipation) accompagnés d'une fatigue générale. Puis surviennent des signes nerveux plus caractéristiques : sécheresse de la bouche, paralysie des yeux avec double vision, difficulté d'avaler et de parler, paralysie des muscles involontaires, puis arrêt de la respiration. Dans les cas les plus graves, la mort survient après 24 h, mais elle peut ne se produire que dans les 8 jours. Le taux de mortalité varie de 40 à 65%. En cas de survie, la convalescence est longue : 6 à 8 mois.

Un traitement est possible par injection intramusculaire ou intraveineuse d'un sérum contenant l'antitoxine pour neutraliser la toxine circulant dans le sang (immunité passive). Mais ce traitement devient inefficace dès l'apparition des premiers symptômes nerveux. On peut aussi immuniser préventivement, comme nous l'avons signalé plus haut, par injection de toxoïde (immunité active).

Intoxication à Bucillus cereus

Bucillus cereus appartient à la famille des *Bacillacecae.* C'est une bactérie sporulée, aérobie stricte ou anaérobie facultative. Sa croissance peut se produire dans un large intervalle de température avec un minimum de 10 à 20 °C et un maximum de 35 à 45 °C. Cependant, la température optimale de croissance est comprise entre 30 et 37 °C. La croissance de *B. cereus* peut avoir lieu à des valeurs de pH comprises entre 4,9 et 9,3 et à une activité de l'eau (aw) de 0,92 à 0,95.

Les facteurs inhibiteurs de la croissance de cette bactérie sont la présence d'une flore compétitive importante, la nisine (bactériocine produite par des bactéries lactiques), la présence d'une solution à 0,2% d'acide ascorbique, et le sorbate de potassium à 0,1%.

Les aliments les plus fréquemment concernés sont les viandes, les volailles (surtout cuites avec des épices), les légumes cuits, le riz bouilli, etc.

La toxi-infection à *B. cereus* peut prendre une des 2 formes suivantes : la forme diarrhéique et la forme émétique (vomitive), qui sont dues à 2 types de toxines différentes.

La forme diarrhéique est caractérisée par une diarrhée diffuse et abondante, des douleurs abdominales qui apparaissent 6 à 15 h après la consommation de l'aliment contaminé, la nausée et rarement le vomissement. La durée de ces symptômes est inférieure à 24 h. La toxine de cette forme se produit dans un intervalle de pH de 6,0 à 8,5 avec un optimum de 7,0 à 7,5 et la température la plus favorable est comprise entre 18 et 43 °C. Cette toxine est sensible à la trypsine et inactivée par un chauffage de 56 °C pendant 15 min, mais elle résiste à 45 °C pendant 3 min.

La forme émétique est caractérisée par la nausée et surtout le vomissement, qui apparaît 0,5 à 6 h après la consommation de l'aliment contaminé. Occasionnellement, des douleurs abdominales et/ou la diarrhée se présentent. La durée des symptômes est inférieure à 24 h. Ce sont les aliments riches en amidon (riz) qui sont les plus

incriminés dans cette forme. La toxine émétique est stable à 120 °C pendant 90 min. et à 4 °C pendant 2 mois. Les valeurs de pH permettant la production de cette toxine se rangent entre 2 et 11.

Intoxication histaminique

Cette intoxication est due à une toxine bactérienne : l'histamine. Elle a d'abord été décrite sous le nom d'intoxication «scombroïdique» car elle était associée à la consommation de poissons classés dans les tribus des *Scomberesocide* et des *Scombridae* (thon, maquereau, etc.). Cependant, d'autres espèces de poisson peuvent être impliquées, de même que d'autres aliments (poulet, fromages, choucroute, jambon, etc.).

L'histamine provient d'une légère transformation (décarboxylation) de l'histidine, qui est un acide aminé entrant naturellement dans la composition des protéines que l'on trouve dans la viande, le poisson, le fromage, etc. Cette décarboxylation est due à des bactéries variées qui ont en commun une enzyme, l'histidine-décarboxylase, qui assure cette transformation.

Pour que l'histamine se forme et s'accumule dans la chair du poisson, un certain nombre de conditions doivent être réunies.

La première condition est une richesse élevée du muscle en histidine libre. Ce sont surtout les poissons à chair rouge, où l'histidine se trouve naturellement en grande quantité à l'étal libre, qui sont le plus souvent impliqués. Il s'agit du maquereau et du thon, mais aussi de la sardine signalée en Allemagne, en Grande Bretagne, au Japon et au Maroc, du mahi-mahi (encore appelé dorade coryphène) aux U.S.A, de l'anchois au Japon, du hareng et du pilchard (poisson de la famille des harengs) en Grande Bretagne, etc. L'histidine peut également se trouver libérée dans la chair par l'action des bactéries avant d'être ensuite décarboxylée en histamine. Le muscle du poisson altéré accumule souvent des taux allant de 10 à 50 mg d'histamine pour 100 g. Mais cette concentration peut s'élever jusqu'à 1% (1 g d'histamine pour 100 g de muscle !).

La seconde condition pour que l'histamine soit produite dans un aliment est sa contamination par les bactéries responsables. Ces bactéries, très variées, se trouvent naturellement sur la peau et les branchies des poissons de même que dans les intestins et les muscles. Le degré de contamination et l'intensité du développement de ces bactéries, et l'accumulation de l'histamine qui s'ensuit, dépendent des précautions prises lors de la capture du poisson et des différentes manutentions auxquelles il est soumis jusqu'au traitement thermique. En effet, les bactéries impliquées sont très sensibles à la chaleur et sont donc détruites au cours de la cuisson domestique ou de l'appertisation industrielle. Néanmoins, dans le cas où elles trouvent des conditions favorables pour former de l'histamine, celle-ci persistera du fait qu'elle est thermostable.

La température d'entreposage du poisson est un autre facteur déterminant. La production maximale d'histamine se fait entre 15 et 38 °C, selon les espèces de poisson concernées et les bactéries qui prédominent. Pour des températures comprises entre 0 et 10 °C, cette production est très sensiblement réduite et peut être négligeable. Ces basses températures sont assurées en appliquant de la glace sur les poissons ou en les maintenant dans l'eau de mer réfrigérée. L'efficacité du glaçage peut être améliorée par le salage. Avec 8% de sel, on peut retarder l'apparition de l'histamine dans le poisson d'une centaine d'heures par rapport au poisson glacé non salé. Enfin, une congélation rapide protège le produit du risque de formation de l'histamine.

L'histamine intervient comme médiateur dans les réactions d'allergie. Ingérée à très faible dose, elle ne provoque pas d'effet du fait de l'existence d'un système de détoxification dans le tractus digestif humain. Cependant, ce système est inefficace en cas de consommation de quantités élevées de toxine, d'autant plus que certaines substances du poisson altéré (putrescine, cadavérine, etc.) semblent accroître la toxicité de l'histamine.

Selon l'individu et la gravité de la contamination, les premiers symptômes apparaissent quelques minutes à plusieurs heures après l'ingestion des aliments contaminés et la guérison totale survient naturellement après un à plusieurs jours. Les signes cliniques sont de natures variées :

- signes cutanés : urticaires (démangeaisons), œdème, rougeur, inflammation;
- signes gastro-intestinaux : vomissement, diarrhée, nausée;
- signes neurologiques : sensation de brûlure à la gorge, maux de tête, démangeaisons;
- signes cardio-vasculaires : hypotension, parfois palpitations cardiaques.

La réglementation fixe le seuil de rejet des aliments entre 10 et 50 mg d'histamine pour 100 g de produit selon les pays et les espèces de poisson considérées.

13.5. Accidents sanitaires dus aux «germes émergents»

Un microorganisme est considéré comme émergent en microbiologie alimentaire s'il n'a attiré l'attention que récemment par les troubles sanitaires qu'il est capable de provoquer à travers les aliments. Trois espèces bactériennes sont particulièrement concernées : *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes* et *Campylobacter jejuni*.

Yersinia enterocolitica

Le genre de bactérie *Yersinia* appartient à la famille des *Enterobacteriaceae*. Il comprend 6 espèces dont la plus importante est *Y. enterocolitica*, une bactérie à Gram négatif en forme de bâtonnet (1,0 à 3,5 µm sur 0,5 à 1,3 µm). Elle a 2 particularités :

- l'aptitude à se multiplier à + 4°C, caractère remarquablement rare parmi les bactéries pathogènes de l'Homme;
- la prédominance dans certains aliments : végétaux, viande et charcuteries et surtout le lait et ses dérivés.

La principale voie de pénétration dans l'organisme humain est la voie digestive. La maladie est prédominante durant la saison froide, alors qu'on note une très nette diminution l'été.

L'infection humaine par *Y. enterocolitica* revêt des aspects cliniques variés :

- l'entérocolite (inflammation de l'intestin), avec la diarrhée comme signe majeur;
- l'adénite mésentérique (inflammation des ganglions abdominaux), qui est fréquente chez les jeunes enfants, chez lesquels elle se présente associée à une crise appendiculaire aiguë; c'est l'intervention chirurgicale qui découvre l'intégrité de l'appendice et l'hypertrophie inflammatoire des ganglions iléocœcaux;
- l'érythème noueux (inflammation du tissus graisseux sous-cutané), qui est également fréquent; il survient soit isolément, soit au cours d'une atteinte ganglionnaire plus ou moins marquée;
- les septicémies (développement de la bactérie dans le sang), apanage des sujets âgés diabétiques ou cirrhotiques, qui ont un pronostic fatal.

Listeria monocytogenes

Le genre *Listeria* comprend des bacilles aérobies ou anaérobies facultatifs. Ces bactéries ont une température optimale comprise entre 30 et 37 °C. On dénombre 8 espèces dont *L. monocytogenes* est la plus importante.

Le lait joue un rôle très important dans la transmission indirecte de la listériose (fréquente apparition dans le lait et résistance aux traitements thermiques). Du fait de sa thermorésistance, la bactérie peut se retrouver dans le lait pasteurisé.

La présence dans le lait peut être due soit à une contamination endogène (mammite, septicémie, avortement), soit à une contamination d'origine externe (à partir de l'ambiance de l'étable, en cas d'hygiène défectueuse). La bactérie peut survivre longtemps dans le milieu extérieur, voire se multiplier notablement dans les aliments du bétail comme les ensilages.

La listériose se manifeste par des syndromes nerveux : méningo-encéphalites[27] accompagnées de nausées, de vomissements, voire parfois de coma. Chez les femmes enceintes, elle est responsable d'avortement. La listériose peut se manifester aussi par une septicémie[28].

27- *L'encéphalite est une inflammation aiguë du cerveau résultant d'une infection virale ou bactérienne ou d'un dysfonctionnement du système immunitaire qui attaque le tissu cérébral.*

28- *La septicémie est une infection grave se propageant dans l'organisme à partir d'un foyer infectieux initial. Elle est le plus souvent d'origine bactérienne, mais peut être provoquée aussi par des virus, des champignons ou des parasites.*

Campylobacter jejuni

C. jejuni est la cause la plus commune d'infection gastro-intestinale humaine aiguë. Les réservoirs sont généralement les volailles crues ou insuffisamment cuites.

Cette bactérie a des exigences de développement inhabituelles. Les conditions optimales sont de 42 °C et 5% d'oxygène. Un taux d'oxygène de 21% peut être inhibiteur. On a trouvé que le nombre de *C. jejuni* diminue plus rapidement dans les aliments entreposés à la température ambiante qu'à 40 °C. Cet organisme est aussi sensible à la congélation, à la déshydratation et au chlorure de sodium (sel de cuisine).

Cette bactérie est fragile. Elle est généralement détruite par les méthodes conventionnelles utilisées pour éliminer les entéropathogènes intestinaux contenus dans les aliments. Cependant, on assiste souvent à une contamination secondaire entre les aliments crus et cuits. Il faut donc observer des pratiques hygiéniques et des procédures strictes de préparation et de transformation pour minimiser les risques associés à cette bactérie.

Les tableaux 13.5.1a et 13.5.1b donnent un aperçu sur les principales infections alimentaires, ainsi que les plus importantes intoxinations alimentaires d'origine bactérienne.

Tableau 13.5.1a- Caractéristiques des principales gastro-entérites alimentaires causées par les bactéries

Maladie	Ag.[1] causal	Dur. Inc.[2]	Symptômes
Botulisme	*Clostridium botulinum* A, B et E	12 h à plus d'une semaine (souvent 1-2 j)	Difficulté d'avaler, vision double, difficulté de parler, parfois nausée, vomissement et diarrhée au début; constipation et température subnormale. Respiration difficile, puis paralysie des muscles respiratoires et mort
Intoxication alimentaire staphylo-coccique	*Staphylo-coccus aureus*	1-6 h (moyenne 3 h)	Nausée, vomissement, crampes abdominales, diarrhée et prostration[3] aiguë; température subnormale pendant l'attaque, peut devenir plus élevée plus tard; guérison rapide (1 j)
Salomnellose	*Salmonella* spp.	7-72 h (18 h en moyenne)	Douleurs abdominales, diarrhée, frissons, fièvre, vomissements; durée : 1 j à une semaine
Shigellose (dysenterie bacillaire)	*Shigella sonnei, S. flexneri, S. dysenteriae S. boydii*	7-48 h (souvent 24-48 h)	Crampes abdominales, fièvre, frissons, diarrhée, selles liquides (contenant souvent du sang, du mucus ou du pus), spasmes, maux de tête, nausée, déshydratation et prostration[3]; durée : quelques jours

[1] : Agent; [2] : Durée d'incubation; [3] : Etat d'abattement physique et psychologique extrême

Tableau 13.5.1b- Caractéristiques des principales gastro-entérites alimentaires causées par les bactéries (suite)

Maladie	Ag.[1] causal	Dur. Inc[2]	Symptômes
Infection à *Escherichia coli* entéropathogène	Sérotypes d'*E. coli* associées à infections infantiles et adultes	5-48 h (souvent 10-12 h)	Maux de tête, fièvre, frissons, vomissements, douleurs abdominales; durée : quelques jours
Intoxication à *Clostridium perfringens*	*Clostridium perfringens*	8-22 h (souvent 10-12 h)	Crampes abdominales, diarrhée, nausée et malaise, vomissement très rare; rétablissement rapide
Intoxication à *Bacillus cereus*	*Bacillus cereus*	8-16 h (souvent ~ 12 h)	Semblables à ceux dus à *Cl. Perfringens*
Intoxication à *Vibrio parahaemolyticus*	*Vibrio parahaemolyticus*	2-48 h (souvent 12-14 h)	Douleurs abdominales, fortes diarrhées liquides, nausée, vomissement, fièvre légère, frissons, maux de tête; durée : 2-5 j

[1] : Agent; [2] : Durée d'incubation

13.6- Moisissures toxinogènes et mycotoxines

Certaines espèces de moisissures (champignons microscopiques) produisent dans les aliments des métabolites nocifs appelés mycotoxines. Les mycotoxines ont causé la perte de vies humaines durant des siècles dans différentes régions du Monde.

L'ergotisme est probablement la première mycotoxicose reconnue comme affectant les êtres humains. Il est dû à *Claviceps purpurea*, un champignon microscopique qui contamine les grains de seigle (provoquant ce qu'on appelle *l'ergot du seigle*) et d'autres céréales et y produit de nombreuses toxines dont essentiellement l'ergotamine. En 857, un tel empoisonnement s'est produit dans la vallée du Rhin et, depuis lors, il a été observé de nombreuses fois. L'apparition la plus récente a eu lieu dans le sud de la France en 1951.

Par ailleurs, entre les années 1930 et 1940, des milliers de russes ont péri suite à la consommation de céréales moisies. Le syndrome responsable était l'ATA (Aleucie Toxique Alimentaire) due aux trichotécènes, toxines produites par des moisissures du genre *Fusarium*.

Au Japon, c'est le riz moisi qui a été signalé comme causant des lésions sérieuses du foie et des hémorragies, voire la mort.

En 1960, l'attention des chercheurs a été attirée par la mort subite en Grande Bretagne d'une centaine de milliers de dindonneaux après ingestion d'une farine d'arachide moisie en provenance du Brésil. On a montré que les substances responsables, baptisées alors aflatoxines, étaient produites par la moisissure *Aspergillus flavus*.

L'exposition à de fortes doses de mycotoxines en peu de temps provoque une intoxication aiguë, caractérisée par des troubles spectaculaires pouvant conduire à la mort. Ce type d'intoxication est surtout observé chez les animaux, auxquels on n'hésite pas à donner des aliments fortement moisis. En revanche, l'absorption de faibles quantités, répétée pendant une longue période de temps, induit une intoxication chronique. Dans ce cas, les effets de la toxine sont cumulatifs et peuvent mettre beaucoup de temps à se manifester. On peut noter alors différentes affections telles que l'insuffisance rénale (ochratoxine A), voire le cancer (aflatoxine B1). Ainsi, certaines études ont montré une corrélation positive entre l'incidence du cancer du foie chez les populations humaines et les niveaux d'aflatoxines dans les produits alimentaires de base.

Le tableau 13.6.1 donne quelques exemples de moisissures toxinogènes, les mycotoxines correspondantes et les principaux effets biologiques induits par ces dernières.

Tout comme les bactéries, les moisissures exigent des conditions de température, d'humidité et de nutrition pour se développer et synthétiser leurs toxines de façon optimale. Le plus souvent, la contamination des produits végétaux par la moisissure se fait au champ et/ou pendant la récolte, mais la plupart des espèces toxinogènes se multiplient surtout au cours du stockage, pour peu que les conditions soient propices.

Mais la présence d'une moisissure toxinogène dans un aliment n'implique pas forcément la contamination par la toxine correspondante. La toxinogenèse exige en effet des conditions (température, activité de l'eau, pH, etc.) qui ne se superposent pas forcément à celles qui permettent la croissance de la moisissure. De même, l'absence de moisissures toxinogènes visibles ne signifie pas que le produit est forcément exempt de mycotoxines. C'est notamment le cas des produits d'origine animale (lait, œufs, abats, etc.) qui peuvent contenir des mycotoxines sans avoir jamais été en contact avec les champignons producteurs. Il suffit que les animaux d'élevage aient été nourris avec des aliments contaminés.

Tableau 13.6.1- Exemples de moisissures toxinogènes et de mycotoxines

Moisissures	Mycotoxines	Effets biologiques
Aspergillus flavus *A. parasiticus*	**Aflatoxines** **B_1, B_2, G_1, G_2, etc.**	Cancérigènes pour les animaux de laboratoire et pour l'Homme. La forme B_1 est la plus toxique. Les femelles laitières qui ingèrent la forme B_1 excrètent la forme M_1 dans le lait.
A. versicolor	**Stérigmatocystine**	Toxique et cancérigène
Espèces de *Penicilliuim*	**Acide pénicillique**	Toxique pour les Mammifères, cancérigène pour le rat et la souris
A. ochraceus, Penicillium verrucosum, etc.	**Ochratoxines**	Forme A cancérigène pour la truite; destruction des reins et du foie chez certains animaux
Plusieurs espèces, surtout de *Penicillium* et d'*Aspergillus*	**Patuline**	Antibactérien, avec effets cancérigènes et mutagènes.
Espèces de *Fusarium*	**Toxine T-2**	Irritations de la peau
Espèces de *Fusarium*	**Zearalénone**	Œstrogène secondaire : hyperœstrogenèse et avortement chez la truie
Penicillium citrinum	**Citrinine**	Lésions rénales chez le rat, le lapin, le cobaye, le porc
Espèces de *Fusarium*	**Fumonisine**	Encéphalomalacie du cheval, entre autre

Par ailleurs, les mycotoxines ont la propriété commune d'être relativement insensibles aux traitements technologiques appliqués aux denrées alimentaires, notamment la chaleur, le froid, le séchage, etc. Une fois présentes dans un aliment, il est donc très difficile de s'en débarrasser.

La prévention consiste essentiellement à éviter l'endommagement des produits au cours de la récolte, puis à observer des conditions d'entreposage (humidité, température, durée) défavorables à la prolifération des moisissures et à la synthèse de leurs toxines[29].

29- *Plusieurs études ont mis en évidence la contamination de diverses denrées alimentaires distribuées au Maroc par les mycotoxines. Certaines pratiques courantes nous incitent à formuler les conseils suivants :*
- *si on consomme de l'huile d'olive régulièrement, privilégier les huiles extra-vierges; en effet, l'acidité élevée des autres catégories (vierge courante, lampante, etc.) peut être due au développement de moisissures sur les olives avant trituration avec, comme conséquence très probable, la contamination de l'huile par les mycotoxines;*
- *éviter la consommation de fruits secs (noix, arachides, pistaches) et de fruits séchés (notamment les figues) moisis; on peut être tenté, en effet, de consommer les figues sèches moisies pour leur prétendu «meilleur goût» ou les noix moisies pour leur prix attrayant;*
- *éviter de jeter le pain rassis ou de le donner aux personnes qui le ramassent; ce pain est récupéré par des grossistes et se retrouve distribué aux vaches laitières; quand il arrive aux étables, il est souvent couvert de moisissures; si les animaux ne semblent pas en souffrir, du moins dans l'immédiat, les mycotoxines qu'ils ingèrent avec ce fourrage insolite se retrouvent en partie dans le lait; même si les taux de contamination du lait sont généralement faibles, cela n'en est pas moins dangereux pour les consommateurs, le lait étant généralement un produit consommé quotidiennement (effet cumulatif) et les toxines étant stables aux traitements thermiques de la pasteurisation ou de la stérilisation UHT, voire à la fermentation.*

13.7- Flore indice de contamination fécale

La flore indice de contamination fécale comprend de nombreuses espèces microbiennes, rassemblées notamment dans 2 groupes bactériens : les Coliformes et les Streptocoques fécaux (ou entérocoques).

Cette flore n'est pas nécessairement dangereuse. Mais du fait de son origine fécale (elle vit dans les intestins de l'Homme et des animaux), sa présence dans les aliments est signe de mauvaise hygiène. Par ailleurs, elle pourrait être accompagnée d'autres espèces plus redoutables issues du même habitat, mais plus difficiles à rechercher (*Salmonella, Shigella, Vibrio*, etc.).

Coliformes

Ce sont des bactéries aéro-anaérobies facultatives à Gram négatif en forme de bâtonnets, non sporulées et fermentant le lactose avec production de gaz. Elles appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae* et comptent plus de 20 espèces, réparties en Coliformes fécaux et non fécaux. Tous les Coliformes produisent du gaz par fermentation du lactose à 32 °C (en 48h). Les Coliformes fécaux, eux, sont capables de fermenter le lactose avec production de gaz à 44,5 °C (en 48h). *Escherichia coli* en fait partie.

La présence des Coliformes (notamment fécaux) est très difficile à éviter dans les produits crus, surtout ceux d'origine animale.

Ces bactéries sont sensibles aux traitements thermiques (éliminées par la basse pasteurisation du lait, c'est-à-dire à 63 °C pendant 30 min). De ce fait, leur présence dans un produit traité thermiquement signifie soit un traitement insuffisant, soit une contamination post-traitement (par le matériel ou le personnel ou suite au mélange du produit traité avec du produit non traité).

Les Coliformes sont peu exigeants du point de vue nutritif et ont une vitesse de croissance très élevée; une faible contamination peut devenir très abondante en peu de temps si on ne prend pas de mesures pour arrêter leur développement.

Remarques :

1- Certains sérotypes d'*Escherichia coli* sont pathogènes et/ou toxinogènes (voir *Gastro-entérite à* Escherichia coli, p. 290);
2- Les Coliformes peuvent causer des altérations biochimiques (gonflements précoces en fromagerie).

Streptocoques fécaux (entérocoques)

Bactéries en cocci (formes rondes) à Gram positif, non sporulées et aéro-anaérobies facultatives, les entérocoques appartiennent à la famille des *Streptococcaceae*. Ils possèdent un métabolisme fermentatif et produisent de l'acide lactique et/ou de l'acide acétique, de l'acide formique, de l'éthanol et du CO_2 à partir des glucides.

Les Streptocoques fécaux forment le groupe D dans la classification sérologique des Streptocoques selon Lancefield. Ce groupe comprend 5 espèces : *Streptococcus faecalis* (var. *zymogenes* et var. *liquefaciens*)*, S. faecium, S. avium* (anciennement *S. durans*), *S. bovis* et *S. equinus* (anciennement *S. viridans*).

Les Streptocoques fécaux résistent aux traitements thermiques bas (exemple : 63 °C, 30 min), se développent bien en présence de 6,5% de sel, de même qu'en présence d'acétate de thallium à 0,1% et d'azide de sodium à 0,2%.

Ce sont de bons indices de contamination fécale, surtout lorsqu'ils sont associés aux Coliformes. Leur présence en l'absence de Coliformes indique une contamination fécale ancienne. Mais on peut les retrouver (sans les Coliformes) dans le lait pasteurisé (risque d'altération par leurs protéases, enzymes qui décomposent les protéines).

Certaines espèces produisent des entérotoxines.

Remarque : le rapport Coliformes fécaux/Entérocoques peut être utilisé pour déterminer l'origine humaine ou animale de la contamination fécale. Dans un délai de 24 h après la contamination de l'aliment, ce rapport est voisin de 4 pour l'Homme, alors qu'il est beaucoup plus faible pour les animaux (inférieur à 0,5 en général).

Conclusion Générale

Il n'existe pas d'aliment complet susceptible à lui seul de satisfaire tous les besoins du consommateur, quels que soient son âge ou son état sanitaire ou physiologique. L'aliment miracle aux effets magiques est une utopie, malheureusement trop souvent véhiculée par les médias et les moyens modernes de communication aujourd'hui à la portée de tout le monde.

A l'opposé, aucun aliment n'est complètement dépourvu d'intérêt nutritionnel. Employés dans le cadre d'un régime varié, tous les aliments peuvent avoir quelque chose à apporter, se complémentant les uns les autres.

Par ailleurs, aucun aliment ne doit être tout à fait écarté du régime alimentaire, sauf pour raison médicale spécifique (sucre pour diabète, gluten pour maladie cœliaque, sel pour hypertension, etc.).

D'autre part, il ne faut jamais abuser d'un aliment, quel qu'il soit, même s'il est réputé excellent pour la santé. Il est particulièrement conseillé, en particulier, d'éviter l'excès de sucre, de sel et de gras (surtout saturé).

La règle d'or dans la nutrition est donc de «manger de tout pour ne manquer de rien», sans oublier de boire assez d'eau, même en l'absence de la sensation de soif.

Il faut cependant insister sur le fait que, à côté d'un régime alimentaire sain et équilibré, il est vivement conseillé de pratiquer régulièrement une activité physique et d'adopter une bonne hygiène de vie, évitant notamment le tabac et l'abus d'alcool.

Par ailleurs, il faut rappeler que les objectifs de tout développement économique est l'amélioration des conditions de vie et du bien-être des populations dans tous les domaines, notamment social, éducatif, culturel et sanitaire. Ces objectifs sous-entendent également la créativité, l'innovation et la projection dans le futur.

L'atteinte de ces objectifs suppose que soit assurée la sécurité, au sens large et, en particulier, la sécurité alimentaire, la sécurité nutritionnelle et la sécurité sanitaire. Si la sécurité au sens large permet la confiance en soi et incite, donc, à la productivité et à la recherche de meilleures conditions de vie, la sécurité alimentaire, qui est l'un des instincts fondamentaux de tous les êtres vivants, permet la quiétude, le savoir être, le savoir-faire, le dialogue et la communication entre les peuples.

La sécurité alimentaire peut être définie comme une situation garantissant à tout moment, à une population donnée, l'accès à une alimentation quantitativement et qualitativement suffisante afin d'assurer une vie saine et active, compte tenu des habitudes alimentaires. Tout être humain a le droit d'être à l'abri de la faim et d'avoir accès à une nourriture saine et nutritive.

Il faudrait cependant signaler que l'individu humain ne consomme pas des substances chimiques (sauf dans le cas des médicaments), mais plutôt des substances hautement organisées qu'il doit s'approprier et intégrer dans son organisme, après d'éventuelles transformations et réorganisations, afin de vivre, de se développer et d'être protégé naturellement des agressions extérieures.

La sécurité nutritionnelle repose sur trois piliers que sont les aliments (leurs qualités et leur complémentarité), la santé et les soins.

La sécurité nutritionnelle peut donc être définie comme une situation qui est assurée quand toutes les personnes, à tout moment, ont un accès physique, social et économique, à des aliments suffisants, sûrs et nutritifs, qui répondent à leurs besoins et à leurs préférences alimentaires pour leur permettre de mener une vie saine et active.

Par ailleurs, l'état nutritionnel de l'individu dépend de plusieurs facteurs, notamment son pouvoir d'achat et son niveau d'éducation. D'autres paramètres interviennent comme les facteurs biologiques, les potentialités sanitaires et les conditions environnementales.

A l'échelle d'un pays, la sécurité alimentaire et nutritionnelle dépend également de plusieurs facteurs :

- le pouvoir de produire les aliments, de les transformer et de les stocker;
- le pouvoir d'échanger les produits à l'échelle internationale, du moins dans une économie de marché;
- le pouvoir de consommer, incluant le niveau économique à l'échelle nationale et le pouvoir d'achat à l'échelle individuelle (revenu, prix des denrées alimentaires et des autres biens et services).

La sécurité sanitaire des aliments garantit l'innocuité des produits alimentaires, de telle sorte que leur consommation n'ait pas de conséquences néfastes sur la santé. On se rappelle des périodes d'ergotisme et, plus récemment, des épisodes de la vache folle et des dioxines.

Les organisations mondiales telles que la FAO, l'OMS, l'UNICEF, le PNUD, le FNUAP, etc. plaident constamment pour atteindre ces objectifs. Encore faut-il que la volonté politique au niveau de chaque pays puisse suivre.

Il est hautement recommandé d'évaluer la situation alimentaire, nutritionnelle, sanitaire et épidémiologique à l'échelle de chaque pays.

Cette analyse permettrait de proposer des solutions, afin de remédier, le cas échéant, aux problèmes que pourraient engendrer dans toutes les tranches d'âges et des niveaux socio-économiques de la population, les différents dérèglements environnementaux et économiques, et ce, d'une manière durable.

Les dirigeants des pays ainsi que tous les acteurs qui ont des relations avec, "la chose publique" et avec la "cité", avec l'aide de la communauté internationale, ont le devoir autant que possible de rendre ces objectifs, réels pour pouvoir assurer une vie saine, active, productive, créative et récréative.

En effet, le dernier rapport sur la sécurité alimentaire et la nutrition dans le monde pour 2020, publié le 13 Juillet 2020 conjointement par la FAO, le FIDA, l'UNICEF, le PAM etl'OMS, appelé rapport SOFI (The *State of Food Security and Nutrition* in the World 2020) présente les dernières données sur la situation alimentaire et nutritionnelle dans le monde.

Ce rapport montre qu'en dépit du fait que la planète produit suffisamment d'aliments, le niveau de la dénutrition et de la malnutrition reste cependant élevé, particulièrement dans les pays en développement ou pauvres pour plusieurs raisons. Les perspectives ne sont pas réjouissantes compte tenu des conflits, des guerres, des instabilités politiques, des changements et dérèglements climatiques, de la dégradation de l'environnement, du désordre dans le commerce et les échanges internationaux, de l'apparition de nouvelles maladies et de pandémies (Covid-19), des changements des habitudes alimentaires et des comportements (mondialisation, globalisation, nouvelles technologies, etc.).

Beaucoup de pays vivent actuellement des transitions nutritionnelles (car il existe plusieurs types) sans être pour autant préparés à ces nouvelles situations.

Les transitions nutritionnelles sont des processus par lesquels des sociétés modifient en profondeur leurs manières de produire et de consommer les aliments. Il s'en suit des changements et des modifications des habitudes alimentaires et épidémiologiques. On observe, dans cet ordre d'idées, aussi bien des situations désolantes de dénutrition, de malnutrition par défaut, que des situations de malnutrition par excès, des maladies de surcharge et des maladies dites émergentes. Cette double charge et ce double fardeau s'observent particulièrement dans les sociétés dites pauvres mais parfois également dans les sociétés dites riches.

Ce désordre qui existe à l'échelle planétaire incite donc à réfléchir davantage afin de trouver des solutions justes et durables dans un respect parfait de l'environnement et de la planète, terre, mer, biosphère et atmosphère.

Chaque être humain a en effet le droit dans le respect de l'environnement et dans le cadre du développement humain durable, de se sentir en sécurité, de s'exprimer librement, de croire librement et de mener une vie saine, active et productive. La vie mérite d'être bien vécue et mieux croquée.

Références

- **Abdullah, M.,** 1978, Delta-Aminolevulinic Acid Dehydratase Activity in Red Blood Cells. Arch Environ Health : 29, Lund (Sweden) : Dalbi.
- **Aguenaou, H. et Rahmani, M.,** 2007, Fortification du Lait Pasteurisé en Vitamines A et D3 : Dossier Technique. Rabat (Maroc), Ed. ONSSA/MS/CL.
- **Alaoui, L., and Essatara M'B.,** 1985, Dietary Fiber and Phytic Acid Levels in the Major Food items consumed in Marocco. Nutrition. Report. Inter. 31(2): 469-476.
- **Baron, P.,** 1973, Éléments de nutrition humaine. IAV Hassan II, Rabat (Maroc).
- **Begum, R.M.,** 2008, A Textbook of Food, Nutrition and Dietetics (3rd edition). New Delhi : Sterling Publishers Private Limited.
- **Berdanier, C.D., Dwyer, J.T., and Feldman, E.R.,** 2007, Handbook of Nutrition and Food. Boca Raton, London, New York : CRC Press.
- **Bernard M., Delpeuch F.,** 2000, Nutrition et alimentation au Sud du Sahara, les défis du 21ème siècle. Bordeaux : Edit. Marc-Eric Gruénais.
- **Bigwood, E.J.,** 1972, Protein and Amino Acid Functions. Oxford : Pergamon Press.
- **Bonnot T.,** 2016, Réponse du grain de blé à la nutrition azotée et soufrée : étude intégrative des mécanismes moléculaires mis en jeu au cours du développement du grain par des analyses -omiques. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.
- **Bouchier, I.A.D., Allan, R.N.A., Hodgson, H.J. F., Keighley, M.R.B.**, 1984. Text Book of Gastroenterology. London : Baillière Tindall.
- **Brown, M.L. and Pike, R.L.,** 1984, Nutrition : an Integrated Approach. Third Edition. Hoboken (New Jersey) : John Wiley and Sons, Inc.
- **Brozek, J. and Schürch, B.** (Editors), 1984, Malnutrition and Behavior : Critical Assessment of Key Issues. Lausanne : Nestlé Foundation.
- **Buttriss, J.L., Welch, A.A., and Kearney, J.M.,** 2018, Public Health Nutrition (2nd edition). Chichester (UK) : John Wiley & Sons, Inc.

- **Ciba Foundation Symposium**, 1972, Lipids, Malnutrition and the Developping Brain. Amsterdam : Elsevier Associated Scientific Publishers.
- **Dupin, H., Cuq, J.L., Malewiak, M.Y., Leynaud-Ronand, C. and Berthier, A.M.,** (coordonnateurs), 1992, Alimentation et Nutrition Humaines. Paris : ESF éditeurs.
- **El Hirch M.**, 1995, Essai de typologie de la consommation alimentaire au Maroc et rôle des industries agricoles et alimentaires dans l'amélioration de la sécurité alimentaire nationale. Mémoire de fin d'études. Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat (Maroc).
- **Essatara, M'B.**, 1974, Efficacités protéiques d'un mélange alimentaire, conditions de valorisation. Thèse de doctorat du 3ème cycle. Université Paris VI, Paris (France)
- **Essatara, M'B.**, 1986, Zinc Deficiency: Expérimental Studies in the Rat and Epidemiological Studies in Morocco. Ph.D. Thesis, University of Minnesota (USA).
- **Essatara, M'B., Faddouli, M., Alaoui , L., Benrachadi, N., and Marsoud, M.,** 1984, Phytate, Ca, P, Fe, Zn and Cu levels in the major food items and diets in Morocco. Proceedings of the 5th Internat. Symposium on Trace Elements in Man and Animal (TEMA5), Aberdeen, Scotland, UK, June.
- **Essatara, M'B. et Mimouni, B.,** 2001, Moyens de prévention des anémies. Cas de l'enrichissement des farines de blé. Rapport. Ministère de la Santé, Rabat.
- **Ettalibi, M.**, 2003, Biochimie des saccharides. Rabat : Actes Editions, IAV Hassan II.
- **FAO,** 2001, Profil nutritionnel du Maroc. Division de la nutrition et de la protection des consommateurs, Rome.
- **FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO,** 2020, The State of Food Security and Nutrition in the World,2020(SOFI). Transforming Food Systems for Affordable Diets, Rome, FAO.
- **FAO, UEMOA.,** 2002, Côte d'Ivoire : Proposition d'investissement dans le domaine de la sécurité alimentaire, Abidjan, 31p.
- **Friedland, R.A. and Briggs, S.**, 1977, A Biochemical Approch to Nutrition. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- **Goodhart, R.S. and Shils, M.E.**, 1980, Modern Nutrition in Health and Disease. Sixth Edition. Philadelphia : Lea and Febiger.
- **Herbold, N.H. and Edelstein, S.**, 2010, Dietitian's Pocket Guide to Nutrition. Boston, Toronto, London, Singapore : Jones and Bartlett Publishers.
- **Hoyem, T. and Kvale, O.**, (éd.), 1977. Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing. London : Applied Science Publishers Ltd.
- **Hole, Jr. J.W., 1984**, Human Anatomy and Physiology. Dubuque (Iowa) : Wm. C. Brown Publishers.

- **Insel, P.M., Turner, R.E., Ross D.**, 2004, Nutrition, Volume 1 (2nd edition). Boston, Toronto, London, Singapore : Jones and Bartlett Publishers.
- **Jacob, A.**, 1975, La Nutrition. Paris : Que sais-je ? Presses Universitaires de France.
- **Kayser, C.**, 1970, Physiologie : Historique, Fonctions de Nutrition. Paris : Editions Médicales Flammarion.
- **Labuza, T.P. and Erdmann Jr. J.W.**, 1984, Food Science and Nutritional Health: An Introduction. St. Paul (Minnesota) : West Publishing Compagny.
- **Lafay, O.**, 2010, Méthode de nutrition : gérer l'équilibre. Paris : Amphora.
- **Leboulanger, J.,** 1977, Les vitamines : Biochimie - Mode d'action - Intérêt thérapeutique. Broch. VIT 04 24 530 0477. Roche.
- **Malassis, L. et Padilla, M.,** 1982, Typologie mondiale des modèles Agro-nutritionnels. Série Études et Recherches n° 72, Institut National de la Recherche Agronomique/Institut Agronomique Méditerranéen (IAM), Montpellier, Décembre.
- **Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes,** 2005, Manuel sur la fortification des denrées alimentaires de large consommation. A-Z Éditions, Rabat
- **Nutrition Reviews**, 1984, Present Knowledge in Nutrition. Fifth Edition. Washington : The Nutrition Foundation Inc.
- **Paque, C. Huet, M., Rey, J.**, 1968, Savoir interpréter un état diarrhéique chez l'enfant. Paris : Albert de Visscher, Éditeur.
- **Rinzler, C.A.**, 2011, Nutrition for Dummies (5th edition). Indianapolis : Wiley Publishing Inc.
- **Roe, F.J.C.**, 1970, Metabolic Aspects of Food Safety. Oxford and Edinburgh : Blackwell Scientific Publications.
- **Sasson, A.,** 2020, Fast Food, Fake Food and Street Food, Slow Food, Organic Food and Vegan Food ... What's next? Hassan II Academy Press, Rabat.
- **Scharffenberg, J. A.**, 1985, Viande et Santé. Genève : Editions Soleil.
- **Scrimshaw, N.S. and Schürch B.**, 1991, Protein-Energy Interactions. International Dietary Energy Consultancy Group (Proceedings of an Workshop). Waterville Valley, NH, USA.
- **Srilakshmi, B.**, 2006, Nutrition Science (2nd edition). New Delhi : New Age International Publishers.
- **Steiner A.S.**, 2004, Evolution de la composition corporelle sur 3 ans de sujets sains âgés de plus de 65 ans. Faculté de Médecine. Université de Genève.
- **The National Research Council / National Academy of Science**, 1980, Recommended Dietary Allowances. Ninth Revised Edition, Washington D.C.

- **Thompson, W.G.**, 1979, The Irritable Gut. Funktional Disorders of the Alimentary Canal. Baltimore : University Park Press.
- **Vidya, C.**, 2010, A Textbook of Nutrition. New Delhi : Discovery Publishing House.
- **Webster-Gaudy, J., Madden, A., and Holdsworth, M.** (Editors), 2012, Oxford Handbook of Nutrition and Dietetics (2nd edition). New York : Oxford University Press Inc.
- **Weil, J.H.**, 2009, Biochimie générale. 11ème édition. Collection Science sup. Paris : Dunod.
- **Wahl M.G., Goodhart R.S. and Shils M.E.**, 1993, Modern Nutrition in Health and Disease. 8th Revised Edition. Amazon : Lea and Febiger.
- **World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research**, 1997, Food, Nutrition and the Prevention of Cancer : A global perspective. Washington D.C.
- http://biochimej.univ-angers.fr/Page2/COURS/Zsuite/3BiochMetab/8BetaOxydation/1BetaOxydation.htm
- https://www.cancer.ca/fr-ca/cancer-information/cancer-type/stomach/stomach-cancer/the-stomach/?region=qc
- https://www.cancer.ca/fr-ca/cancer-information/cancer-type/stomach/staging/?region=mb
- http://museum.agropolis.fr/pages/expos/banquet/modele.htm
- https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/4b70218ed5d457453d22b29df2119b71e21525da/12-Figure2-1.png
- https://www.inspection.gc.ca/DAM/DAM-food-aliments/STAGING/images-images/fish_man_metalcan_images_ch7sec6_page2_2_1350068504144_fra.jpg
- https://www.inspection.gc.ca/DAM/DAM-food-aliments/STAGING/images-images/fish_man_metalcan_images_ch7sec6_page2_1_1350068464348_fra.jpg

Liste des abréviations

Abrév°	Signification	Abrév°	Signification
AA	Acide aminé	CC	Coefficient de conversion
AAS	Acide aminé soufré	CDP	Cytidine Di Phosphate
Ac.Ph	Acide phytique	CG	Charge glycémique
ADH	Hormone anti-diurétique	CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
ADHase	Alcool déshydrogénase	CoA	Coenzyme A
ADN	Acide désoxyribonucléique	CUD	Coefficient d'utilisation digestive
ADP	Adénosine Di Phosphate	DGLA	Acide dihomo-gamma-linoléique
ADS	Action dynamique spécifique	DHA	Dihydroxyacétone
AG	Acide gras	DHT	Dihydrotestostérone
AGE	Acide gras essentiel	DLM	Dose létale minimale
AGEP	*Advanced Glycation End-Products*	dl	Décilitre
AGI	Acide gras indispensable	EIEC	*Escherichia coli* entéroinvasive
AGNE	Acide gras non essentiel	EPEC	*Escherichia coli* entéropathogène
AGPP	Acide gras polyinsaturé	ERH	Humidité relative d'équilibre
AJR	Apport journalier recommandé	ETEC	*Escherichia coli* entérotoxinogène
δALAD	Acide Aminolévulinique déshydratase (delta)	FA	Acide folique
ALDH	Acétaldéhyde déshydrogénase	FAO	Organisation Mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation
AMP	Adénosine Mono Phosphate	FIDA	Fonds International de Développement
ARN	Acide ribonucléique	IFAD	Agricole/International Fund for Agricultural Development
ARNm	ARN messager	FC	Facteur de correction
ARNr	ARN ribosomal	FEEC	*Escherichia coli* enteropathogène facultative
ARNt	ARN de transfert	FK	Fructo kinase
ATA	Aleucie toxique alimentaire	$FMNH_2$	Dihydro Flavine Mono Nucléotide
ATP	Adénosine Tri Phosphate	FNUAP	Fonds des Nations Unies pour la Population
AUT	Aliment Ultra Transformé	FSH	Follicule Stimulating Hormone
AVC	Accident vasculaire cérébral	g	Gramme
aw	Activité de l'eau	GA3PD	Glycéraldéhyde 3 Phospho déhydrogénase
BD	Blé dur	GDP	Guanidine Di Phosphate
BMI	*Body Mass Index*	GF	Growth Factor
BT	Blé tendre	GH	Growth hormone
cal	(Petite) calorie	GK	Glucokinase
CAMP	Adénosine Mono Phosphate Cyclique	G6PDH	Glucose-6-phosphate déshydrogénase
		GSH-Px	Glutathion Peroxydase
		GTF	*Glucose Tolerance Factor*

h	Heure
HACCP	*Hazard Analysis Critical Control Point*
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HDL	*High density lipoproteins*
HK	Hexokinase
IC3	Indole-3-Carbinol
IDL	*Intermediate density lipoproteins*
IG	Indice glycémique
IGF-1	*Insuline-like Growth Factor-1*
II	Indice insulinémique Indice de masse
IMC	*Factor-1* corporelle
IV	Intraveineuse
J	Joule
j	jour
kcal	kilocalorie
kg	Kilogramme
kJ	Kilojoule
l	Litre
LD	Lactico déshydrogénase
LDL	*Low density lipoproteins*
LEC	Liquide extracellulaire
LH	Hormone lutéinisante
LIC	Liquide intracellulaire
LT	Entérotoxine thermolabile
m	Mètre
MAN	Modèles Agro-Nutritionnels
MCV	Maladies cardiovasculaires
MEOS	*Microsomal ethanol oxydizing system*
mEq	Milliéquivalent
MG	Matière grasse
mg	Milligramme
ml	Millilitre
N	Newton
NAD	Nicotinamide Adénine Dinucléotide
NADH	Forme réduite de la NAD
NADP	Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate
NADPH	Forme réduite de la NADP
ng	Nanogramme
OAA	Acide oxaloacétique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ORAC	*Oxygen Radical Absorbance Capacity*
PA	Acide pantothénique
PAM/ WFP	Programme Alimentaire Mondial/ World Food Programme
PBX	Pro-biotique
PC	Pyruvate carboxylase
PDH	Pyruvate déshydrogénase
PEP	Acide phospho énol pyruvique
PEPCK	Phospho énol pyruvate carboxy kinase
PFK	Phospho fructo kinase
PGI	Phospho gluco isomérase
PGK	Phospho glycéryl kinase
PGM	Phospho gluco mutase
PGYM	Phospho glycéryl mutase
PK	Pyruvate kinase
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
ppm	Partie par million
PPO	Poly Phénol Oxydase
PTH	Parathormone
QCH	Quantité présente dans le corps d'un adulte humain
RD	Ratio de digestibilité
REC	Rendement énergétique de la croissance
RJR	Ration journalière recommandée
s	Seconde
Sf	Facteur de Svedberg
SOD	Super Oxyde Dismutase
SOFI	State of Food Security and Nutrition
SP	Sans peau
SRO	Sels de réhydratation orale
ST	Entérotoxine thermostable
TDE	Taux d'extraction
TE	Trobox vitamine E
Tf	Transferrine
TG	Triglycérides
TIAC	Toxiinfection alimentaire collective
TPN	Total parenteral nutrition
TRH	Tyrotropin Releasing Hormone
TSH	Thyroid Stimulating Hormone
UDP	Uridine Di Phosphate
UHT	Ultra haute température
UI	Unité internationale
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'enfance
UPN	Utilisation protéique nette
UV	Ultra-Violet
VB	Valeur biologique
VBR	Valeur biologique relative
VLDL	*Very low density lipoproteins*

Table des matières

Remerciements 4
Préface 7
Avant-propos 11
Introduction Générale 13

1- Concepts généraux 17
1.1- Introduction 17
1.2- Composition du corps humain 17
1.3- Rôle des nutriments 19
1.4- Contribution de l'organisme 21
1.5- Alimentation équilibrée 21
1.6- Nutrition et santé 22

PREMIERE PARTIE : ENERGIE ET NUTRIMENTS 25
2- Eau et électrolytes 27
2.1- Généralités 27
2.2- Rôle de l'eau 28
2.3- Besoins en eau 30
2.4- Sources d'eau 31
2.5- Déséquilibres hydriques 34

3- Energie 36
3.1- Définitions et mesure 36
3.2- Rôle 36
3.3- Sources 37
3.4- Besoins 38
3.5- Problèmes liés aux apports en énergie 44

4- Glucides 46
4.1- Introduction 46
4.2- Besoins 46
4.3- Différentes catégories de glucides et sources 50
4.4- Glucides sources d'énergie 58

5- Protides et autres matières azotées 59
5.1- Généralités 59
5.2- Rôle des protides 60
5.3- Composition des protéines 60
5.4- Valeur nutritionnelle des protéines 65
5.5- Besoins en protéines et en acides aminés 69
5.6- Acides nucléiques 72

6- Lipides et matières grasses 74
6.1- Généralités 74
6.2- Composition des matières grasses 75
6.3- Intérêt nutritionnel des lipides 85
6.4- Cholestérol 86
6.5- Instabilité des lipides 88
6.6- Lipides sources d'énergie 91

7- Vitamines 92
7.1- Définition et classification 92
7.2- Rôles 94
7.3- Besoins 95
7.4- Sources 97
7.5- Carences et excès 112
7.6- Stabilité et effets des traitements technologiques 115

8- Minéraux et électrolytes 118
8.1- Définition, fonctions, classification 118
8.2- Equilibres physiologiques de l'organisme et rôle des minéraux 120
8.3- Principaux macroéléments 124
8.4- Principaux oligoéléments 135
8.5- Autres minéraux d'intérêt nutritionnel 150
8.6- Interactions entre éléments minéraux 151
8.7- Métaux lourds et métalloïdes 152

DEUXIEME PARTIE : ALIMENTS, RATION ALIMENTAIRE 157

9- Aliments 159
- **9.1- Généralités** 159
- **9.2- Constituants des aliments** 160
- **9.3- Groupes d'aliments** 160
- **9.4- Anti-nutriments** 176
- **9.5- Additifs alimentaires** 181
- **9.6- Probiotiques et prébiotiques** 185
- **9.7- Ration alimentaire** 187
- **9.8- Modèles de consommation, typologie et régimes alimentaires** 190
- **9.9- Régimes spéciaux** 196

10- Physiologie de la nutrition 204
- **10.1- Généralités** 204
- **10.2- Digestion, absorption** 205
- **10.3- Transport des nutriments** 214
- **10.4- Métabolisme** 215
- **10.5- Excrétion/Elimination** 215
- **10.6- Coordination hormonale** 218
- **10.7- Troubles du comportement alimentaire** 221

11- Effets des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle et sanitaire des aliments 224
- **11.1- Chaleur** 224
- **11.2- Froid** 235
- **11.3- Réduction de l'activité de l'eau** 236
- **11.4- Opérations d'extraction et de séparation** 240
- **11.5- Fermentation** 242
- **11.6- Raffinage des huiles** 244
- **11.7- Hydrogénation des huiles** 244
- **11.8- Fortification, enrichissement** 245
- **11.9- Bouillies destinées à l'alimentation infantile** 250

TROISIEME PARTIE : TROUBLES SANITAIRES LIES AUX ALIMENTS... 253

12- Approches nutritionnelles de la prise en charge de certaines maladies.. 255

12.1- Désordres sanitaires liés aux glucides.... 255

12.2- Autres intolérances alimentaires.... 258

12.3- Anémies.... 260

12.4- Maladies de l'os.... 261

12.5- Obésité.... 263

12.6- Diabètes.... 265

12.7- Athérosclérose (maladies cardiovasculaires).... 269

12.8- Cancers.... 270

12.9- Hépatites et cirrhoses hépatiques.... 279

12.10- Allergies alimentaires.... 280

12.11- Goutte et nutrition.... 282

12.12- Stérilité-Fertilité.... 283

12.13- Troubles de l'immunité.... 286

13- Troubles sanitaires liés aux microbes des aliments.... 287

13.1- Généralités, définitions.... 287

13.2- Infections alimentaires.... 289

13.3- Toxi-infections alimentaires.... 292

13.4- Intoxications alimentaires d'origine bactérienne.... 295

13.5- Accidents sanitaires dus aux «germes émergents».... 301

13.6- Moisissures toxinogènes et mycotoxines.... 304

13.7- Flore indice de contamination fécale.... 307

Conclusion Générale.... 309

Références.... 313

Liste des abréviations.... 317

M'Barek Essatara est professeur de l'enseignement supérieur en Nutrition Humaine. Il est ingénieur agronome diplômé de l'IAV (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc).

Il est également titulaire d'un Diplôme d'Etudes Approfondies et d'un doctorat du 3ème cycle en Physiologie Métabolique et Nutrition (Paris/Sorbonne, France), d'un doctorat d'Etat ès Sciences Agronomiques (IAV), et d'un PhD (Université du Minnesota, USA).

Il a bénéficié d'une formation à l'IEDES (Institut d'Etudes en Développement Economique et Social, Paris, France).

Il est membre fondateur, ex. Secrétaire Général, ex. Président et actuellement Président d'Honneur de la Société Marocaine de Nutrition et membre de l'Association Expertise et Développement Durable.

Il a reçu la médaille de mérite de la FAO pour sa contribution au développement de l'agriculture et au renforcement de la sécurité alimentaire.

Il a été aussi décoré du Wissam de mérite national, grade exceptionnel et du Wissam Al-Arch, grade chevalier.

Abdelrhafour Tantaoui Elaraki est professeur de l'enseignement supérieur en Microbiologie et Technologie Alimentaires. Il est ingénieur agronome diplômé de Sup'Agro (ex. ENSA, Montpellier, France).

Il est aussi titulaire du Diplôme d'Etudes Approfondies en Nutrition, d'un doctorat du 3ème cycle en Nutrition et d'un doctorat d'Etat ès Sciences en Microbiologie (Université de Caen, France).

Il a notamment occupé le poste de Directeur de la Recherche à l'IAV Hassan II (Rabat) et fait fonction de Secrétaire Général du Centre National de Coordination et de Planification de la Recherche Scientifique et Technique.

Il est membre fondateur de plusieurs associations scientifiques dont la Société Marocaine de Nutrition. Il est notamment ex. Secrétaire Général de la Société Marocaine de Microbiologie, ex. Vice-Président de l'Association Expertise et Développement Durable et ex. Président de la Société Marocaine de Mycotoxicologie.

Il est aussi l'auteur d'une quinzaine d'ouvrages scientifiques et littéraires.

ISBN : 978-9920-9056-2-6

© Hassan II Academy Press