

# Besoins nutritionnels et apports conseillés pour la satisfaction de ces besoins

G Potier de Courcy  
ML Frelut  
J Fricker  
A Martin  
H Dupin†

**Résumé.** – Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont des valeurs de référence pour une population, prévus notamment pour diminuer d'une part le risque de carences et, d'autre part, celui de pathologies dégénératives. Les besoins en énergie sont maintenant évalués en intégrant mieux la diversité interindividuelle. S'il n'est pas préjudiciable que les ANC en protéines soient largement couverts par l'alimentation actuelle, il serait souhaitable en revanche que la proportion de lipides de l'alimentation diminuât au tiers des apports en énergie, l'acide linoléique représentant un huitième des lipides (l'acide linoléique cinq fois moins) et les acides gras saturés un quart. Les glucides devraient apporter 50 % de l'énergie et les fibres se situer bien au-dessus de leur niveau actuel pour remplir leur rôle préventif. Les ANC en vitamines ont été modifiés sur la base des besoins en énergie (vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>8</sub> et A) ou sur celles de nouvelles données épidémiologiques (folates et vitamines B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub> et C). Les ANC en minéraux n'ont pas subi de changement majeur, mais des limites de sécurité ont été introduites.

© 2003 Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** apports nutritionnels conseillés, besoins, population, prévention.

## Introduction

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont des valeurs de référence adaptées aux deux sexes, à chaque tranche d'âge et aux états physiologiques particuliers, tels que la grossesse et l'allaitement, ou les activités musculaires intenses et régulières. Ils servent à évaluer les risques d'insuffisance ou d'excès au sein d'une population. Ils tiennent compte de la variabilité interindividuelle liée en particulier aux différences de dépense énergétique (DE), de stature, de métabolisme de base (MB) etc. Ils sont issus de données cliniques, épidémiologiques et expérimentales, et représentent des apports optimaux qui permettraient de diminuer le risque de pathologies dégénératives (cancers, maladies cardiovasculaires, diabète, ostéoporose etc).

L'évolution des modes de vie a entraîné dans les populations occidentales une baisse des dépenses, et donc des besoins en énergie, avec un risque de surpoids et de pathologies induites : lors du réexamen des ANC, il convient d'intégrer cette notion afin de réduire le risque d'obésité, tout en respectant l'équilibre et les quantités des composants de l'alimentation.

## Définitions

### BESOINS ET APPORTS NUTRITIONNELS CONSEILLÉS : CONCEPTS ET DÉFINITIONS

Les besoins (moyens) concernent des individus et relèvent de mesures expérimentales ou d'observations cliniques ; les ANC

s'appliquent à une population, définie comme un ensemble important d'individus, et s'établit sur la base de notions statistiques [1].

#### ■ Besoins

Les besoins en un nutriment donné sont définis comme « la quantité de ce nutriment nécessaire pour assurer l'entretien, le fonctionnement métabolique et physiologique d'un individu en bonne santé, comprenant les besoins liés à l'activité physique et à la thermorégulation, et les besoins supplémentaires nécessaires pendant certaines périodes de la vie telles que la croissance, la gestation et la lactation » [1]. Ces valeurs d'apports nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme diffèrent selon l'âge, le sexe, l'état physiologique. Leur estimation gagne en précision en fonction de l'avancée des connaissances scientifiques : elles intègrent des éléments de prévention issus d'une analyse pertinente des données épidémiologiques.

#### ■ Recommandations

Elles sont définies régulièrement dans les principaux pays occidentaux par des comités d'experts, selon des critères fondés à la fois sur des données scientifiques et sur des éléments liés à la politique nutritionnelle et agroalimentaire propre à chacun de ces pays.

En France, deux éditions de ces recommandations, celles de 1989 et de 1992 [43], ont précédé celle de 2001 [1]. Les *recommended dietary allowances* (RDA) des États-Unis, datant de 1989, étaient l'équivalent des ANC français et ont été réactualisés entre 1998 et 2001 sous le vocable *dietary recommended intakes* (DRI) [38]. Mais c'est encore le terme anglais de RDA (traduit en français par apports journaliers recommandés [AJR]), qui désigne dans toute l'Union européenne les valeurs de référence réglementaires pour l'étiquetage des produits alimentaires transformés.

*Geneviève Potier de Courcy* : Docteur ès sciences, chercheur CNRS, ISTNA/CNAM, 2, rue Conté, 75141 Paris cedex 03, France.

*Marie-Laure Frelut* : Docteur, hôpital Robert Debré, 48, boulevard Sérurier, 75019 Paris, France.

*Jacques Fricker* : Ancien interne des hôpitaux de Paris, ancien assistant des hôpitaux universitaires, 7, rue Marbeuf, 75008 Paris, France.

*Ambroise Martin* : Docteur, DERNS/Afssa, 23, avenue du Général de Gaulle, 94701 Maisons-Alfort cedex, France.

*Henri Dupin* † : Professeur honoraire au CNAM.

### ■ Utilisateurs des apports nutritionnels conseillés

Les ANC sont spécialement utiles pour <sup>[43]</sup> :

- les nutritionnistes, qu'ils soient médecins praticiens, chercheurs ou épidémiologistes... ;
- les professions-relais, telles que diététiciens, enseignants, étudiants, biologistes, pharmaciens, journalistes ;
- les autorités sanitaires, en particulier dans le domaine de la santé publique ;
- les responsables de l'industrie agroalimentaire, y compris dans la restauration collective.

Cette liste d'utilisateurs témoigne de la nécessité de disposer de références en matière d'apports nutritionnels, notamment dans un objectif de santé publique (fig 1).

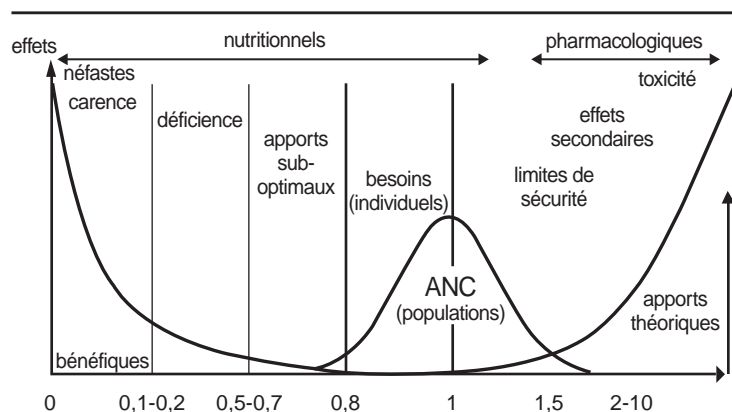
### ■ Calcul des apports nutritionnels conseillés

Les ANC sont calculés à partir de la valeur moyenne des besoins physiologiques qui, eux, sont mesurés sur des individus. Les ANC sont la somme de la valeur des besoins et de deux écarts-types (ET), correspondant à la variabilité interindividuelle existant dans toute population (et liée en particulier aux différences de DE, de stature, de MB etc) : ils sont donc de nature statistique et sont censés couvrir les besoins de 97,5 % de la population (fig 1).

L'ET utilisé représente 10 ou 15 % de la valeur moyenne des besoins ; il est plus faible que l'ET des apports alimentaires réels en nutriments correspondants, observé dans les enquêtes de consommation, situé entre 20 et 40 %. En effet, les besoins physiologiques des individus présentent une dispersion plus faible que celle des apports alimentaires, beaucoup plus complexe, parce qu'elle intègre de multiples composantes, dont le choix du consommateur, la variété et la multiplicité de l'offre, la composition des aliments, leur fréquence de consommation...

Il découle de ces définitions que, lorsque dans une population le niveau moyen (ou mieux, la médiane) d'apport en un nutriment donné est proche de l'ANC, les besoins de la population sont théoriquement couverts ; s'il se trouve à 77 % des ANC (c'est-à-dire mathématiquement à l'ANC moins 2 ET, donc au niveau des besoins), la loi des probabilités fait qu'un individu sur deux dans cette population est en dessous des besoins statistiques, et par conséquent 50 % de la population. Cette proportion se monte à 84 % lorsque la moyenne est à 66 % des ANC. Mais, à l'échelle de l'individu, si l'apport en un nutriment donné se situe entre 80 et 100 % de l'ANC, il peut être considéré comme satisfaisant (fig 1).

Ce qui signifie que l'objectif de la politique de santé publique <sup>[108]</sup> doit être que l'ensemble de la population atteigne en moyenne les ANC et que les groupes ou populations à risque soient de mieux en mieux identifiées pour l'ensemble des nutriments ; mais le



1 Relation entre les quantités de micronutriments ingérées et leurs effets potentiels sur la santé (d'après Guillaud et Lequeu <sup>[59]</sup> et <sup>[1]</sup> modifié). ANC : apports nutritionnels conseillés.

dépassement inconsidéré de ces valeurs par quelques groupes ou individus isolés et mal informés ne peut être d'aucun bénéfice <sup>[1]</sup>.

En résumé, les ANC sont des valeurs de référence, adaptées aux deux sexes, à chaque tranche d'âge et aux états physiologiques particuliers, tels que la grossesse et l'allaitement, ou les activités musculaires intenses et régulières. D'autres valeurs de référence définissent les limites de l'insuffisance de l'apport ou au contraire du dépassement des niveaux souhaitables : ce sont les seuils d'apport minimal (SAM) et les limites de sécurité (LS), établis pour les éléments minéraux et les vitamines.

### ■ Besoin de base ou seuil d'apport minimum

Il représente le seuil inférieur de la déficience, définie en France comme la zone d'apport entraînant des signes biologiques d'insuffisance en un nutriment, ou la limite supérieure de la carence, définie comme la zone d'apparition des symptômes cliniques (exemple : 10 mg par jour pour la vitamine C ou 100 µg par jour pour l'acide folique) (fig 1) ; en l'absence de ces données, il peut être défini comme le besoin moyen moins 2 ET <sup>[31]</sup>.

### ■ Risques de dépassement : limites de sécurité et limites supérieures de sécurité (LSS)

Les LS représentent la valeur d'apport qui tient compte d'une marge de sécurité entre la dose la plus faible présentant des effets secondaires indésirables (*lowest observed adverse effect level* [LOAEL]) et les apports conseillés. En France, cette marge de sécurité a été fixée à 10 et établie pour les principaux minéraux et vitamines présentant des risques ; leurs niveaux sont très différents selon les nutriments <sup>[5]</sup>. On leur a adjoint récemment pour les besoins du débat européen <sup>[109]</sup> la notion de LSS (*tableau 1*), qui comprend pour les vitamines la valeur de l'apport alimentaire, égal à un ANC moyen, en plus de la valeur de LS <sup>[6]</sup>.

### ■ Notion de besoins optimaux

Dans les ANC 2001 a été développée la relation entre la nutrition et les grandes pathologies, de type morbidité cardiovasculaire ou cancer, chaque fois que les données scientifiques l'autorisaient : dans la mesure du possible, les ANC recouvrent ainsi des besoins optimaux, qui intègrent, à côté des marges statistiques définies ci-dessus, ces éléments de prévention. La prise en compte de cette approche a, par exemple, conduit à individualiser le  $\beta$ -carotène en tant qu'antioxydant, à côté de sa fonction provitaminique A, à majorer les ANC en vitamine C, à évaluer l'acide folique en tant qu'agent de reméthylation de l'homocystéine (cf infra). Elle est surtout valable pour les vitamines, les fibres et l'équilibre entre acides gras (AG).

Ainsi, les ANC 2001 ont tenu compte des données nouvelles, y compris de l'existence de certains risques, tels que les interactions entre micronutriments (exemple : fer et vitamine C, et compétition entre cations), ou encore de l'existence d'une forte capacité de l'organisme à adapter ses besoins aux conditions alimentaires, soit par l'absorption intestinale (exemples du calcium ou du fer chez les femmes enceintes), soit par la synthèse endogène du nutriment (exemples de la niacine à partir du tryptophane ou de la vitamine A à partir du  $\beta$ -carotène). Enfin, les besoins de certaines tranches d'âge de l'enfance ont été plus finement détaillés.

L'émergence de nouvelles voies en matière de prévention par la nutrition pose le problème de l'adéquation de notre alimentation aux divers besoins et de l'opportunité d'une supplémentation de la population en ces nutriments, c'est-à-dire d'un apport dépassant la quantité normalement obtenue par l'alimentation (exemple de la vitamine E).

### ÉVOLUTION ET RELATIVITÉ DES RECOMMANDATIONS

Les valeurs de référence, définies sur les mêmes bases d'un pays à l'autre ou d'une époque à l'autre, peuvent présenter des niveaux très différents. Entre 1992 et 2001, les ANC français ont été modifiés,

**Tableau I. – Limites supérieures de sécurité pour les apports alimentaires de micronutriments en France.**

Micronutriments	France	
	En apport quotidien chronique	Coefficient multiplicateur des ANC
Vitamine A (rétinol)	1 400 µg/j <sup>1</sup>	2
Bêta-carotène	8 100 µg/j <sup>2</sup>	3,8
Vitamine D	25 µg/j <sup>3</sup>	5
Vitamine E	52 mg/j <sup>1/4</sup>	4,3
Vitamine K	-	-
Thiamine (B <sub>1</sub> )	15 mg/j <sup>2</sup>	12,5
Riboflavine (B <sub>2</sub> )	17 mg/j <sup>2</sup>	11,3
Niacine (B <sub>3</sub> )	45 mg/j <sup>1</sup>	3,6
Acide pantothénique (B <sub>5</sub> )	-	-
Pyridoxine (B <sub>6</sub> )	7 mg/j <sup>3</sup>	4,1
Biotine (B <sub>8</sub> )	-	-
Acide folique (B <sub>9</sub> )	900 µg/j <sup>1</sup>	2,8
Cobalamine (B <sub>12</sub> )	-	-
Vitamine C	1 100 mg/j <sup>2/3</sup>	2,2
Fer	28 mg/j <sup>2/3</sup>	2,25
Iode	500 µg/j <sup>3</sup>	3,3
Magnésium	700 mg/j <sup>3</sup>	1,8
Zinc	15 mg/j <sup>3</sup>	1,4
Sélénium	150 µg/j <sup>3</sup>	2,3
Fluor	2,6 mg/j (0,04 mg/kg) <sup>1</sup>	1

ANC : apports nutritionnels conseillés.

<sup>1</sup> selon les limites de sécurité du Conseil supérieur d'hygiène publique de France 1995/1996<sup>[5]</sup>, fixées hors apports alimentaires, auxquelles a été ajoutée, pour les vitamines, la valeur moyennée de l'ANC entre la valeur pour les hommes et la valeur pour les femmes.

<sup>2</sup> selon avis CEDAP n° 27 d'octobre 1998<sup>[6]</sup> et rapport<sup>[109]</sup>.

<sup>3</sup> selon les ANC 2001<sup>[11]</sup>.

<sup>4</sup> Une étude<sup>[87]</sup> a récemment confirmé les risques de l'ingestion chronique d'une dose équivalente à la limite de sécurité qui a cours en France.

parfois à la hausse, comme pour les fibres ou la vitamine C, mais plus souvent à la baisse, comme pour les protéines, les minéraux (sauf le calcium et le fer) et plusieurs vitamines du groupe B. Les ANC ont de fait une valeur relative et ne valent que sur une période donnée. Ils nécessitent d'être réévalués, réajustés ou confirmés à intervalles réguliers, à la lumière des données nouvelles apparues entre-temps sur le sujet. Or, deux éléments conjoncturels peuvent jouer dans le choix (et l'utilisation potentielle) des recommandations : l'engouement pour la nouveauté scientifique, qui peut mener à des conclusions hâtives à partir de résultats encore non confirmés mais prometteurs et aboutir à une certaine inflation dans les valeurs des recommandations ; la politique alimentaire des responsables chargés de préparer les décisions, qui peuvent choisir pour les recommandations des marges sécuritaires qui risquent d'entraîner des excès.

C'est pourquoi, avant de remettre en cause ou de réajuster des recommandations d'apports qui ont au moins valeur d'usage, il convient de bien vérifier la validité des sources d'information utilisées.

## Méthodes d'évaluation des besoins

Elles sont le plus souvent mises au point chez l'adulte, pour des raisons de plus grandes homogénéité et stabilité, et font l'objet ensuite d'une adaptation chez l'enfant et l'adolescent.

## ÉVALUATION DES BESOINS SUR LES INDIVIDUS

### ■ Besoins et dépenses d'énergie (DE) : calorimétrie, eau doublement marquée, questionnaires d'activité

Les méthodes calorimétriques sont basées sur les lois de la thermodynamique. La calorimétrie directe a longtemps été la méthode de référence, mais est peu utilisée du fait de sa lourdeur. La calorimétrie indirecte utilise, dans une chambre calorimétrique, la consommation totale d'oxygène comme témoin des oxydations mitochondriales et donc de la DE, et la production de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). La calorimétrie ventilatoire est utilisée pour la mesure du débit de prélèvement d'oxygène (VO<sub>2</sub>) au cours de la plupart des activités physiques et sportives.

La méthode à l'eau doublement marquée, au deutérium et au tritium, mesure la dépense énergétique : chez le sujet qui en a ingéré, le premier est éliminé dans les urines sous forme d'eau, alors que le tritium l'est aussi sous forme de CO<sub>2</sub> par expiration, et donc plus rapidement ; la différence de pente permet le calcul de la production de CO<sub>2</sub> et donc de la DE. Cette méthode est simple et commode, mais d'interprétation difficile, et son coût en limite l'utilisation. Elle montre des DE en moyenne supérieures de 15 % à celles évaluées par les apports alimentaires et de 30 % à celles calculées à partir de questionnaires d'activités physiques et sportives<sup>[1]</sup>.

La méthode des questionnaires d'activité physique consiste à noter tout au long de la journée les différentes activités pratiquées et à utiliser une des tables d'activités, domestiques, professionnelles ou sportives. La plupart de ces questionnaires ont pour vocation d'être administrés dans le cadre d'études épidémiologiques, pour répondre à des objectifs spécifiques de santé publique pour des populations représentatives, donc suffisamment nombreuses, d'où des informations souvent succinctes et de ce fait parfois imprécises (de 10 à 30 %).

Les enquêtes alimentaires qui servent à mesurer les apports énergétiques souffrent de l'imprécision relative qui s'applique à l'ensemble des apports en nutriments mesurés par cette méthode (cf infra).

### ■ Méthode des bilans. Méthode factorielle : énergie (grossesse), protéines, acides aminés et minéraux

La méthode des bilans permet d'étudier l'équilibre entre les entrées et les sorties. D'application difficile, elle est surtout réservée à la recherche et suppose des sujets en situation d'équilibre.

La méthode factorielle permet d'évaluer séparément les divers besoins nets de l'organisme (besoin d'entretien, de croissance, d'exercice, mais aussi de gestation et de lactation...) en tenant compte du coefficient d'absorption réelle, intégrant les pertes fécales ; elle a été utilisée pour les minéraux suivants : calcium, phosphore, magnésium, fer, zinc, cuivre. Pour les protéines, elle est plus facilement applicable à des situations qui permettent d'observer des niveaux de bilan azoté différents, comme dans la croissance, mais a permis de compléter les données obtenues avec la méthode des bilans.

### ■ Minéraux : indicateurs spécifiques

#### Calcium

Le statut en calcium dans la croissance s'évalue indirectement par la mesure de la densité minérale et le contenu minéral osseux par absorptiométrie biphotonique avant et après supplémentation calcique<sup>[12]</sup>.

#### Fer

L'anémie ferriprive correspond à un stade avancé de la déficience en fer. Le taux de ferritine sérique, comme indicateur des réserves, celui de saturation de la transferrine et la protoporphyrine érythrocytaire, comme indicateurs de l'adéquation de l'apport en fer à la moelle osseuse, sont intéressants mais soumis aux modifications

Tableau II. – Principales vitamines : unités, noms usuels, formes actives, principaux indicateurs.

Vitamine	Unité	Nom usuel	Formes métaboliques	Abréviations	Indicateurs principaux	Seuils de déficience ou de carence*	Valeurs de normalité ou de référence (optimum)**
B <sub>1</sub>	mg	thiamine	thiamine pyrophosphate thiamine triphosphate	TPP TTP	ETK : <i>erythrocyte transketolase</i> α-ETK : activation de l'ETK	125 U/L > 25 % <sup>[83]</sup>	125-350** U/l < 15 % <sup>[83]</sup>
B <sub>2</sub>	mg	riboflavine	flavine mononucléotide flavine adénine dinucléotide	FMN FAD	EGR : <i>erythrocyte glutathione reductase</i> α-EGR : activation de l'EGR riboflavine plasmatique et urinaire FMN, FAD globulaires et totale	> 1,3 <sup>[59, 83]</sup> < 100 µg/L <sup>[83]</sup>	< 1,2 <sup>[83]</sup> à 1,5 <sup>[117]</sup> 7,6 µg/L 180-262 µg/L
PP/B <sub>3</sub>	mg/EN	niacine (acide nicotinique, nicotinamide)	nicotinamide adénine dinucléotide nicotinamide adénine dinucléotide phosphate	NAD NADP	NAD globulaire N1-méthyl-N urinaire 2-PYR urinaire	< 0,8 mg ou 5,8 µmol/j <sup>[110]</sup>	5,8-17,5 µmol/j <sup>[110]</sup> ou 31 µmol/L 60 µmol/j
B <sub>6</sub>	mg	pyridoxine	phosphate de pyridoxal	PLP	PLP plasma = réserves	< 10*-20 nmol/L <sup>[111]</sup>	> 30-(134) nmol/L <sup>[111]</sup>
B <sub>9</sub>	µg	acide folique/folates	tétrahydrofolates	THF	folates plasma ou sérum folates érythrocytaires = réserves volume globulaire moyen	< 3 µg/L < 100*-150 µg/L > 100 fl*	5-15 µg/L > 150-300** µg/L
B <sub>12</sub>	µg	cyanocobalamine	méthylcobalamine, adénosylcobalamine	CH <sub>3</sub> -Co ado-Co	cobalamine plasmatique (ou sérique) acide méthyl-malonique urinaire test de Schilling (B <sub>12</sub> marquée)	< 100 nmol/L <sup>[18]</sup> < 10 % d'écritique <sup>[83]</sup>	> 150 nmol/L (200 ng/L) <sup>[18]</sup> > 10 % d'excrétion <sup>[83]</sup>
C	mg	acide ascorbique	acide ascorbique acide déhydroascorbique		valeur plasmatique et leucocytaire	< 2-4 µg/L* ; (< 11 mol/L)	> 5-10 <sup>[83]</sup> µg/L ; 60 µmol/L** <sup>[102]</sup>
A	µg/ER	• préformée = rétinol  • provitamine A = β-carotène	acide rétinoïque, rétinol (déhyde)		rétinol plasmatique (?)  <i>retinol binding protein</i> = RBP	0,1*-0,3 mg/l <sup>[83]</sup> < 0,7 µmol/L (200 µg/L)* <sup>[99]</sup> < 20-25 µg/L <sup>[83]</sup>	> 0,3 mg/L <sup>[83]</sup>  > 40-50 µg/L <sup>[83]</sup>
D	µg	(ergo)calciférol = D <sub>2</sub>  (cholé)calciférol = D <sub>3</sub>	calcidiol  calcitriol	  1,25(OH) <sub>2</sub> D <sub>3</sub> 25,25(OH) <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	25(OH)D <sub>3</sub> sérique = réserves  1,25(OH)D plasmatique = mesure des altérations du métabolisme	< 10-12 µg/L (25-30 nmol/L) et < 5*µg/L (12 nmol/L) <sup>[107]</sup>	25-75 nmol/L (10-30 µg/L) et 20-50 µg/L <sup>[53]</sup> 25-50 ng/L <sup>[83]</sup>
E	mg	tocophérols	α-tocophérol	α-T	α-tocophérol sérique α-tocophérol plaquettaire	10-14 <sup>[83]</sup> µmol/L (4-6 mg/L) <sup>[100]</sup>	28 µmol/L (12 mg/L) <sup>[100]</sup>
K	µg	phylloquinone	phylloquinone	K <sub>1</sub> K <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	phylloquinone sérique		150 à 1 150 ng/L <sup>[64]</sup>

EN = équivalent niacine ; ER = équivalent rétinol.

\*seuils respectifs de déficience ou de carence ; \*\* valeurs respectives de normalité ou de référence (optimum).

de l'état inflammatoire, ce qui nécessite le recoupement d'au moins deux marqueurs pour que soit posé un diagnostic de déficience martiale. C'est pourquoi le dosage des récepteurs circulants de la transferrine, apparu depuis quelques années<sup>[11]</sup>, paraît très prometteur.

#### ■ Vitamines et minéraux : méthode de déplétion-réplétion

Après une période d'alimentation carencée en un nutriment, celui-ci est réintroduit dans l'alimentation à différents niveaux d'apport ; on suit alors la cinétique de l'évolution des marqueurs. Cette méthode est très utilisée pour les vitamines hydrosolubles, facilement échangeables, mais, comme la méthode des bilans, ne peut l'être dans le cas de vitamines ou minéraux dont les réserves sont ou importantes, ou structurelles, et donc difficilement échangeables, tels que le calcium, le magnésium, le fer ou la vitamine E.

#### ■ Méthodes isotopiques : énergie (eau doublement marquée), lipides, minéraux (calcium, magnésium, fer), vitamines

Encore trop rarement appliquées, elles permettent, grâce à l'utilisation d'isotopes stables, de mesurer la synthèse, le stockage, l'oxydation, l'élimination ou la durée de vie (demi-vie) d'un nutriment marqué ou d'un métabolisme dépendant de ce nutriment.

#### ÉVALUATION DES BESOINS SUR DES INDIVIDUS OU DES POPULATIONS : EXEMPLES DE QUELQUES VITAMINES (tableau II)

Le statut en vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub> s'évalue par la mesure de l'activité de la transcétolase érythrocytaire (TCE) (*erythrocyte transketolase* [EKT]) en présence de pyrophosphate de thiamine (TPP) en excès et par la mesure de l'activité de la glutathion réductase érythrocytaire (EGR), flavine adénine dinucléotide (FAD) dépendante, ce qui

permet de calculer un indice fonctionnel, le coefficient d'activation. La valeur de l' $\alpha$ -ETK et de l' $\alpha$ -EGR est d'autant plus élevée que le déficit est plus important.

L'évaluation du statut en vitamines liposolubles est plus délicat : la rétinolémie n'est pas proportionnelle aux réserves et ne baisse que lors d'une carence déjà prononcée en vitamine A (< 100  $\mu$ g/L). En revanche, le dosage du 25(OH)D<sub>3</sub> plasmatique est un bon indicateur des réserves en vitamine D, dont la normale se situe entre 10 et 30  $\mu$ g/L [53]. Le statut biologique en vitamine E s'apprécie le plus souvent à partir de sa teneur plasmatique, qui doit se situer aux alentours de 28  $\mu$ mol/L (12 mg/L), les valeurs inférieures à 10 à 14  $\mu$ mol/L (de 4 à 6 mg/L) étant considérées comme indicatives d'une carence [83].

#### ÉVALUATION DU STATUT SUR DES POPULATIONS : ENQUÊTES NUTRITIONNELLES

Les enquêtes nutritionnelles permettent d'évaluer le statut nutritionnel d'une population par la mesure des apports (indicateurs diététiques) et de marqueurs biologiques pertinents. Elles peuvent entraîner une surestimation des apports conseillés, du fait qu'un ensemble d'individus non soumis à des restrictions ne répond pas forcément à des impératifs de santé ou de raison. Elles sont utiles pour compléter des évaluations faites par d'autres méthodes, distinguer et discriminer le possible du souhaitable par l'intégration des habitudes alimentaires réelles, et aider à la décision en matière de santé publique et de campagne de sensibilisation [1], à quelques conditions près cependant, car plusieurs difficultés demeurent...

#### ■ Apports alimentaires

Il est nécessaire que les apports soient mesurés avec des systèmes incontestables de recrutement des sujets d'une part, de validité des méthodes de recueil, des tables de composition des aliments<sup>1</sup> et des logiciels de conversion en nutriments d'autre part. Mais, au delà de ces précautions, la biodisponibilité précise des nutriments reste encore un facteur inévitable d'imprécision, car elle peut varier selon les individus, leur état d'insuffisance ou d'excès, leur mode de vie ou leur état de santé.

#### ■ Valeurs biologiques

Lorsque, dans les enquêtes nutritionnelles, les apports alimentaires en nutriments sont couplés avec des résultats biologiques, établis sur des indicateurs fiables, les conditions d'interprétation sont meilleures et la validité des résultats est renforcée. Mais reste posé le problème de la validité des indicateurs (et des seuils) selon les nutriments et selon l'objectif : recherche et détermination, dans une population, d'une déficience nutritionnelle prononcée, ou d'une simple insuffisance d'apport. Notre appréciation sur le sujet pourrait se résumer comme suit :

- valeurs fiables :
  - plasmatiques : vitamines C, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub>, D,  $\beta$ -carotène, ferritine, calcium ionisé ;
  - globulaires : vitamine B<sub>9</sub>, fer (hémoglobine) ;
  - urinaires, sous la forme du nutriment ou de ses métabolites : iode, vitamines B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> ;
  - fonctionnelles ; activités ou saturation enzymatiques : vitamines B<sub>1</sub> ( $\alpha$ -ETK), B<sub>2</sub> ( $\alpha$ -EGR), zinc, cuivre, sélénium ; transporteurs : fer (transferrine) ; précurseurs : fer (protoporphyrine érythrocytaire) ; cellulaires : volume globulaire moyen (fer et vitamines B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub>) ;
- valeurs incertaines : rétinolémie (vitamine A), magnésémie (magnésium), calcémie (calcium) ;
- problèmes de validité des seuils : zinc et vitamines B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> et E.

<sup>(1)</sup> Les tables de composition des aliments utilisées présentent inévitablement des incertitudes ou des lacunes pour certains éléments tels que la vitamine E, le zinc, le cuivre, les fibres ou les acides gras.

En règle générale, les seuils (les plus sévères) indiqués pour les valeurs biologiques (tableau II) correspondent aux valeurs de SAM en dessous desquelles la probabilité d'apparition de signes biologiques et cliniques de déficience est (fortement) augmentée, et en aucun cas à des indicateurs de besoins nutritionnels moyens ; ils ne peuvent donc être utilisés sur une population que comme un indicateur de la proportion de cette population située dans la zone à risque, recoupant et complétant ainsi l'analyse de la distribution des apports.

#### RELATIVITÉ DES DONNÉES THÉORIQUES [4]

En réalité, les probabilités de risque d'insuffisance d'apport sont supérieures à ce qu'indique le calcul théorique défini plus haut. Même si la médiane d'une population se trouve proche des ANC (entre 90 et 120 %) et donc dans une situation théoriquement satisfaisante, d'après les définitions précédentes, on constate qu'au moins 30 % de la population peut se trouver, en fonction de la dispersion des positions individuelles et du nutriment considéré, en dessous de ce qui est défini comme les besoins (77 % des ANC) ; cette proportion peut s'élever à 50 % (versus les 15 à 42 % théoriques) pour une médiane située entre 80 et 90 % des ANC avec plus de 25 % de la population en dessous des deux tiers des ANC [1]. Cette probabilité dépend de l'ET réel des apports alimentaires en un nutriment donné, toujours supérieur à l'ET des besoins physiologiques, et très différent selon la richesse relative en ce nutriment de certains aliments ou groupes d'aliments, et de la variabilité de consommation de ces mêmes aliments (pour la vitamine A, cet ET peut être de plus de 40 % de la valeur moyenne d'apport [1]).

Enfin, l'importance qualitative de certains nutriments peut jouer pour l'appréciation des risques de déficience dans une population à des périodes-clés de l'existence. Par exemple, un apport de calcium ou d'acide folique inférieur aux deux tiers des ANC chez des adolescentes et des femmes jeunes paraît les exposer à des conséquences plus graves dans l'éventualité d'une grossesse qu'une déficience en divers autres nutriments.

### Besoins et apports nutritionnels conseillés tels que définis par les experts scientifiques

#### ÉNERGIE [122]

La teneur en énergie des aliments est calculée grâce à des coefficients de conversion établis par Atwater et Benedict en 1899 : 4 kcal/g pour les glucides et les protéines, 9 kcal/g pour les lipides et 7 kcal/g d'alcool. Pour éviter l'erreur due à la faible valeur énergétique des fibres, décomptées généralement dans les glucides, on leur attribue une valeur énergétique moyenne de 2 kcal/g, valable en réalité seulement pour les fibres solubles, en partie digestibles, telles que les pectines, l'inuline ou les fructo-oligosaccharides (FOS) à chaîne plus ou moins longue.

Le bilan énergétique est à l'équilibre lorsque les apports en énergie sont équivalents aux dépenses. Ces dépenses, qui peuvent varier d'un individu à l'autre et d'un moment à l'autre, dépendent de plusieurs facteurs, dont en premier lieu l'activité physique, la thermorégulation, l'état hormonal, thyroïdien notamment, le sexe, l'âge (la baisse de la DE peut totaliser 30 % entre 20 et 75 ans, dépassant de beaucoup la simple diminution de la masse musculaire), la composition corporelle (un excès de masse grasse entraînant une baisse des DE par kilo de poids corporel) et le MB, exprimant les dépenses incompressibles de tout organisme vivant : fonctionnement cardiaque et respiratoire, renouvellement des structures cellulaires, maintien du tonus musculaire, dépenses du système cérébral, dont il est admis qu'il représente environ 30 % du total du corps, échanges ioniques nécessaires au fonctionnement des cellules...

L'évolution des modes de vie, qui privilégie depuis quelques décennies l'activité professionnelle d'intérieur, moins soumise au froid, et les activités sédentaires plutôt que musculaires, la mécanisation du travail, le chauffage souvent excessif des bureaux et lieux d'habitation, a entraîné une baisse certaine des dépenses et donc des besoins en énergie.

Lorsque les apports en énergie ne sont pas équivalents aux dépenses, la masse corporelle traduit selon le cas l'insuffisance ou l'excès d'énergie, mesurés par l'indice de corpulence ou de masse corporelle (IMC), appelé aussi indice de Quetelet, ou BMI (*body mass index* des Anglo-Saxons), qui se calcule en divisant le poids de l'individu par sa taille en mètres portée au carré ( $P/T^2$ ). Cet indice définit soit la sous-nutrition, sévère (< 16) ou légère (16 à 18), soit la normalité (18 à 22), soit le surpoids (25 à 30) et l'obésité, moyenne (30 à 40) ou forte (> 40).

Ces seuils ne sont valables que chez l'adulte. Chez l'enfant, en raison de la variation physiologique de la composition corporelle avec la croissance, il est nécessaire de se référer à des courbes établies pour chaque sexe de 0 à 21 ans<sup>[114]</sup>, présentes dans les carnets de santé depuis 1995. Elles ont été établies à partir des données françaises de l'étude longitudinale internationale de la croissance et ont donc valeur de référence en France. Selon la définition française, sont considérés en surpoids les enfants dont l'IMC est situé au-delà du 97<sup>e</sup> percentile<sup>2</sup>. Le déficit pondéral se situe en deçà du 3<sup>e</sup> percentile. L'intérêt de ces courbes est majeure chez les sujets en croissance, car elles seules reflètent la variation de la proportion de graisses (masse grasse) qui, d'environ 14 % à la naissance, atteint un pic aux alentours de 25 % entre 9 et 12 mois, puis de 18 % à 6 ans, avant de réaugmenter (c'est le « rebond d'adiposité »).

Il est possible de calculer les DE, selon la durée et l'intensité des activités au cours de la journée, selon un barème fonction du sexe, de l'âge, du MB ou de la dépense énergétique de repos (DER).

Les facteurs de prédisposition à la prise excessive de poids, pour un apport équivalent en énergie, toutes choses égales par ailleurs, tiennent à la prédisposition génétique propre à chaque individu et signent l'inégalité des individus devant l'effet de l'alimentation. Mais les facteurs alimentaires susceptibles de favoriser la prise de poids sont modulables. Il s'agit des aliments riches en graisses, vecteurs d'énergie de densité calorique élevée car très pauvres en eau (tels le beurre, la margarine ou les huiles), de prix très (trop) accessible et de palatabilité forte, surtout accompagnés de produits sucrés, comme dans les pâtisseries ou les crèmes glacées. Interviennent également les boissons alcoolisées (7 kcal/g d'alcool), attractives et euphorisantes, ou sucrées et/ou gazeuses, faussement désaltérantes et flatteuses au goût, surtout chez les enfants et les adolescents. Enfin, les « produits de grignotage » jouent un rôle clé : sapides parce que souvent salés et riches en graisses ou en sucre, mais pauvres dans les autres nutriments, ce sont par exemple les biscuits ou graines pour apéritif, les chips, pop-corn, ou friandises diverses.

### ■ Recommandations

Les apports conseillés concernant l'énergie se superposent aux besoins, pour la simple raison que l'équilibre de poids est obtenu lorsque les apports en énergie sont équivalents aux dépenses, et qu'il ne convient donc pas de prévoir une marge supplémentaire de sécurité pour une population : ainsi, les apports conseillés doivent être considérés comme des valeurs moyennes et pour une catégorie bien définie d'individus quant à l'âge, le sexe et les activités principales. Les dépenses en activité physique dépendent directement du poids de l'individu et peuvent être exprimées en multiples du MB ou de la DER, et sont de ce fait comparables entre individus : ce mode de calcul a été adopté par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). L'estimation du MB peut être faite en fonction du poids et de la taille, du sexe et de l'âge, selon des

formules de Harris et Benedict ou, plus récemment, de Black et al<sup>[17]</sup> ; cette dernière est d'une meilleure précision et son expression est la suivante, pour des sujets en bonne santé et d'âge inférieur à 75 ans :

– femmes :  $MB = 0,963 \times P^{0,48} \times T^{0,50} \times A^{-0,13}$  avec p = poids en kg ; T = taille en m ; A = âge en années ;

– hommes :  $MB = 1,083 \times P^{0,48} \times T^{0,50} \times A^{-0,13}$ .

La dépense énergétique totale par jour (DEJ) se calcule à partir du MB, multiplié par le niveau d'activité physique. L'estimation du niveau d'activité physique, fonction du type d'activité quotidienne, suit une échelle de valeurs<sup>[122]</sup> donnée de façon simplifiée comme suit :

– 1,2/1,3 : lit ou fauteuil ;

– 1,4/1,5 : travail assis ; déplacements et activités de loisirs faibles ;

– 1,6/1,7 : travail assis ; déplacements faibles et activités de loisirs peu fatigantes ;

– 1,8/1,9 : travail debout ;

– 2,2/2,4 : travail ou activités physiques de loisirs intenses ;

– + 0,3 : activités physiques intenses de sport ou de loisirs (de 30 à 60 minutes, quatre ou cinq fois par semaine).

Il faut tenir compte du fait que la corpulence correspondant au surpoids, et surtout à l'obésité, traduit une composition corporelle différente de la normalité et que la masse grasse qui s'accroît parallèlement à l'IMC représente une dépense métabolique inférieure à celle de la masse maigre, alors qu'elle est considérée comme équivalente. Chez l'adulte de poids normal, la masse grasse ne représente que 4 % du MB<sup>[50]</sup>. En conséquence, il faut diminuer de 1 % la DEJ calculée par point d'IMC au-dessus de 22 et l'augmenter symétriquement au-dessous de 22<sup>[122]</sup>. Cette notion n'est pas transposable à la dépense due à l'effort (considérée indépendamment du temps de sa réalisation), fonction quant à elle du poids total de l'individu. Il existe une importante variabilité entre individus de même taille, de même sexe et de même âge, en ce qui concerne tant les dépenses métaboliques de base, que l'aptitude à l'activité physique, l'énergie nécessaire à la constitution d'une même quantité de graisses de réserves et la régulation de l'arrêt de la prise alimentaire. Ces éléments, en grande partie d'origine génétique, issus de milliers d'années d'adaptation à la pénurie et qui ont été depuis que les sociétés de type occidental connaissent l'abondance et peuvent se permettre la sédentarité, des facteurs de pléthore et de surpoids, et des pathologies ainsi induites.

On peut toutefois donner pour base d'évaluation des besoins (et donc des dépenses) en énergie, pour une vie de type plutôt sédentaire, les valeurs de 2 200 kcal/j (9,1 MJ/j) pour les hommes et 1 800 kcal/j (7,4 MJ/j) pour les femmes (*tableau III*), une baisse de 200 kcal/j étant à prévoir à l'intérieur de ces valeurs entre les tranches d'âge de 20 à 40 ans et de 40 à 60 ans.

– *Enfants*

Au cours de la première année, les besoins sont pour les deux sexes de 92 kcal/kg/j (385 kJ/kg/j)<sup>[12]</sup>.

La mesure de la DE chez les enfants se heurte à des difficultés techniques. Si les méthodes appliquées chez l'adulte le sont chez l'adolescent, en deçà, les données disponibles sont plus rares et font appel chez les nourrissons de 0 à 12 mois allaités au sein à la méthode des pesées, et plus rarement à l'eau doublement marquée. Lors de l'allaitement artificiel, la méthode des pesées est aussi utilisée. Toutefois, ses résultats sont relativement imprécis. Au-delà, de 1 à 9 ans, deux méthodes prévalent : eau doublement marquée et mesure basée sur la fréquence cardiaque. Ainsi, la première particularité est, chez l'enfant, la difficulté de la mesure de la DE.

Une deuxième caractéristique est l'existence de la DE liée à la croissance. Des travaux concordants montrent qu'elle diminue très rapidement : de 30 % de la DEJ pendant les deux premiers mois, elle n'atteint plus que 2 % à l'âge de 1 an (*tableau IV*) et se stabilise

<sup>(2)</sup> Notons par ailleurs que des seuils de surpoids et d'obésité ont été établis par l'International obesity task force (IOTF) et sont disponibles sur Internet (<http://www.bmj.com/cgi/content/abridged/320/7244/1240>).

**Tableau III. – Apports nutritionnels conseillés (ANC) en énergie et macronutriments pour la population française (adapté des ANC 2001<sup>[1]</sup>).**

	Énergie en kcal/j	Protéines en g/kg/j <sup>1</sup>		Lipides en g/j (% AET) <sup>*2</sup>				Fibres en g/j <sup>3</sup>
		ANC	Apport réel	Totaux	AGS	AGMI	AGPI	
Nourrissons (6-12 mois)	voir tableau IV	1,25	4					
Enfants	voir tableaux V et VI	1	4	(33)	(8)	(20)	(5)	
1-3 ans								
4-6 ans	voir tableaux V et VI	0,9	3,5	(33)	(8)	(20)	(5)	
7-9 ans	voir tableaux V et VI	0,9	3	(33)	(8)	(20)	(5)	
10-12 ans	voir tableaux VI et VII	0,85 (G) 0,9 (F)	2,5 (G) 2 (F)	(33)	(8)	(20)	(5)	
Adolescents	voir tableaux VI et VII	0,85	2	(33)	(8)	(20)	(5)	
13-15 ans								
Adolescentes	voir tableaux VI et VII	0,9	1,65	(33)	(8)	(20)	(5)	
13-15 ans								
Adolescents	voir tableaux VI et VII	0,83	1,6	(33)	(8)	(20)	(5)	
16-19 ans								
Adolescentes	voir tableaux VI et VII	0,8	1,3	(33)	(8)	(20)	(5)	
16-19 ans								
Hommes adultes	20/40 (vie sédentaire) et 40/60 ans : 2 200** 60/75 ans : 1 750	0,8		81 (33)	19,5 (8)	49 (20)	12,5 (5)	> 20-25
Femmes adultes	20/40 (vie sédentaire) et 40/60 ans : 1 800** 60/75 ans : 1 250	0,8		66 (33)	16 (8)	40 (20)	10 (5)	> 20-25
Personnes âgées de plus de 75 ans	hommes : 1 500 femmes : 1 130	1		62,5 (33)	15 (8)	38 (20)	9,5 (5)	
Femmes enceintes		0,9		76,5 (33,7)	18 (8)	45,5 (20)	13 (5,7)	
Femmes allaitantes		1,4		84,2 (33,7)	20 (8)	50 (20)	14,2 (5,7)	

\* Apport énergétique total correspondant aux besoins de base de l'adulte, 2 200 kcal/j pour l'homme, 1 800 kcal/j pour la femme.

\*\* sur la base des résultats de l'étude SU.VI.MAX (Mennen et al, 1993).

<sup>1</sup> d'après Patureau-Mirand et al<sup>[101]</sup>.

<sup>2</sup> d'après Legrand et al<sup>[84]</sup>.

<sup>3</sup> d'après Lairon et al<sup>[81]</sup>.

G : garçons ; F : filles ; AGS : acides gras saturés ; AGMI : acides gras mono-insaturés ; AGPI : acides gras polyinsaturés.

**Tableau IV. – Apports nutritionnels conseillés (ANC) en énergie pour les nourrissons (au biberon) de la naissance à 1 an (d'après<sup>[12]</sup>, modifié).**

Âge mois	Dépenses d'énergie kJ/kg/j	Garçons				Filles			
		Poids kg	Gain de poids g/j	Énergie stockée kJ/j	ANC kJ/j (kcal/j)	Poids kg	Gain de poids g/j	Énergie stockée kJ/j	ANC kJ/j (kcal/j)
1	293	3,80	29	472	1,59 (5380)	3,6	26	426	1,48 (354)
3	305	5,60	30	568	2,28 (545)	5,05	24	452	1,99 (476)
6	339	7,45	15	205	2,73 (652)	6,95	15	234	2,59 (619)
9	359	8,75	13	117	3,26 (779)	8,25	11	109	3,07 (734)
12	393	9,85	11	79	4,00 (956)	9,35	10	88	3,76 (899)

ensuite entre 0,5 et 2 % de la DEJ jusqu'à la fin de la puberté, où elle disparaît. La mesure de la DE de croissance est basée sur l'estimation suivante : la masse maigre contient 20 % de protéines, correspondant à 23,7 kJ/g (5,65 kcal/g) et la masse grasse 100 % de lipides correspondant à 38,5 kJ/g, soit 9,25 kcal/j.

À partir de l'âge de 2 ans, on dispose de mesures de la DEJ des enfants. Le niveau d'activité physique, très variable, mène à des différences considérables d'un individu à l'autre et d'une situation à l'autre. Il est donc apparu indispensable d'adapter les recommandations, non seulement au sexe, mais aussi au niveau d'activité physique. La mesure de la DE a donc été pratiquée dans différentes catégories d'activités de la vie quotidienne et est exprimée en multiples de la DER (tableau V).

De 0 à 12 mois, dans les deux sexes, la DE exprimée par kilo de poids augmente continuellement de 270 à 380 kJ/kg/j (soit de 65 à 91 kcal/kg/j). Elle est liée à l'augmentation de la DE durant l'éveil puisque, simultanément, la DE liée à la croissance diminue. L'évolution opposée de ces DE amène à une stabilité des besoins totaux en énergie par kilo de poids au cours de la première année de vie, à environ 385 kJ/kg/j, soit 92 kcal/kg/j (tableau IV). De 2 à 9 ans, puis de 10 à 18 ans, les données sont établies pour chaque sexe et par niveau d'activité physique (tableaux V, VI, VII). Les différences entre sexes et selon la DE sont particulièrement importantes à

prendre en compte lors de l'établissement des menus destinés à des collectivités d'adolescents. Dans l'ensemble, les recommandations pour l'enfant sont largement inférieures aux précédentes recommandations<sup>[43]</sup>.

#### – Femmes enceintes et allaitantes

Le coût énergétique de la grossesse doit tenir compte de la très forte capacité d'épargne qui peut s'appliquer en début de grossesse, que ce soit dans les pays défavorisés ou chez les femmes minces dans les pays occidentaux<sup>[105]</sup>, alors que le MB augmente au contraire chez celles qui ont des réserves, comme si l'organisme limitait un gain pondéral excessif, potentiellement néfaste pour le fœtus<sup>[90]</sup> : cette divergence explique la grande dispersion des mesures du coût d'entretien. En réalité, il apparaît que l'apport d'énergie supplémentaire représentée en moyenne, sur l'ensemble de la grossesse, 120 kcal/j, soit 42 % du coût théorique calculé par la méthode factorielle<sup>[106]</sup>. Cette différence pourrait « résulter, au moins en partie, d'une adaptation physiologique, spécifique à la grossesse, qui aboutirait à une utilisation de l'énergie disponible plus efficace qu'il n'est généralement admis »<sup>[22]</sup>. Il n'est donc pas conseillé, excepté en cas de prise de poids excessive, d'intervenir sur la quantité d'énergie spontanément consommée par la femme enceinte. Il en est de même pour la femme qui allaite<sup>[22]</sup>.

**Tableau V. – Apports nutritionnels conseillés (ANC) en énergie pour les enfants de 2 à 9 ans en fonction du niveau d'activité physique (NAP) (d'après <sup>[12]</sup>, modifié).**

Âge (années)	Poids (kg)	NAP moyen	ANC en énergie en MJ/j (kcal/j) en fonction du niveau d'activité physique					
			NAP faible		NAP moyen		NAP élevé	
<b>Garçons</b>								
2	12,2	1,5	4,50	(1 075)	4,79	(1 145)	5,08	(1 214)
4	16,9	1,55	5,25	(1 255)	5,59	(1 336)	5,92	(1 415)
6	21	1,75	6,86	(1 640)	7,29	(1 742)	7,73	(1 847)
8	27	1,75	7,79	(1 862)	8,29	(1 981)	8,79	(2 101)
<b>Filles</b>								
2	11,8	1,5	4,11	(982)	4,42	(1 056)	4,68	(1 095)
4	16,5	1,55	4,93	(1 178)	5,25	(1 255)	5,56	(1 229)
6	21,2	1,75	6,31	(1 508)	6,71	(1 604)	7,12	(1 702)
8	27	1,75	7,22	(1 726)	7,68	(1 836)	8,14	(1 945)

**Tableau VI. – Coefficient de multiplication du métabolisme au repos (niveau d'activité physique (NAP) = 1) selon le type d'activité physique pour des enfants et adolescents âgés de 10 à 18 ans (d'après <sup>[12]</sup>, modifié).**

NAP	Activités
1	Sommeil et sieste, repos en position allongée
1,76	Position assise : repos, télévision, micro-ordinateur, jeux vidéos, jeux de société, lecture, classe, devoirs, transports, repas
2,1	Position debout : toilette, petits déplacements dans la maison, marche lente, achats, cuisine, vaisselle
2,6	Activités modérées : récréation, jeux peu actifs
3,5	Marche normale ou rapide, jeux actifs en groupe (loisirs), travaux manuels
5,2	Éducation physique et sportive, gymnastique rythmique et sportive, entraînement sportif, cyclisme
10	Compétition sportive (football, hand-ball, basket-ball...)

– Personnes âgées

La baisse progressive de la consommation alimentaire au cours du vieillissement peut s'expliquer en premier lieu par la perte de la perception des saveurs. Sur le plan métabolique, elle correspond à une diminution du besoin en énergie avec l'âge, marquée par une baisse de la DER estimée entre 12 et 36 % selon les études, attribuable notamment à une diminution de la masse maigre <sup>[35]</sup>. Cependant, cette dernière ne diminue que de 11 %, voire moins chez les personnes âgées maintenant une activité musculaire. La baisse des besoins en énergie s'avère donc être une conséquence globale du vieillissement, qui induit peu à peu, dans l'ensemble des tissus, une diminution du renouvellement des structures cellulaires et des cellules elles-mêmes, sous l'effet probable d'une baisse de la production et de l'activité des hormones anabolisantes (*insulin-like growth factor 1*, hormones sexuelles...) <sup>[114]</sup>.

Les DER sont estimées à 1 570 et 1 250 kcal/j, respectivement chez les hommes et les femmes sédentaires entre 60 et 75 ans, et à 1 500 et 1 130 kcal/j chez les plus de 75 ans (*tableau III*). Il paraît

**Tableau VII. – Apports nutritionnels conseillés en énergie pour les enfants et adolescents de 10 à 18 ans en fonction du poids, de la taille, de l'indice de masse corporelle (IMC) et du niveau d'activité physique (NAP) (d'après <sup>[12]</sup>, modifié).**

Poids kg	Taille m	IMC kg/m <sup>2</sup>	MB MJ/j	Énergie de croissance kJ/j	ANC en énergie en MJ/j (kcal/j) en fonction du NAP moyen					
					NAP = 1,4		NAP = 1,8		NAP = 2,2	
<b>Garçons</b>										
30	1,35	16,5	4,91	393	7,27	(1 738)	9,23	(2 206)	11,2	(2 677)
35	1,43	16,8	5,28	410	7,81	(1 867)	9,92	(2 371)	12,0	(2 868)
40	1,50	17,6	5,65	4,19	8,33	(1 991)	10,6	(2 533)	13,3	(3 178)
45	1,56	18,2	6,02	511	8,94	(2 137)	11,3	(2 701)	13,7	(3 274)
50	1,63	18,7	6,39	448	9,39	(2 244)	11,9	(2 844)	14,5	(3 466)
55	1,69	19,2	6,76	347	9,80	(2 342)	12,5	(2 988)	15,2	(3 633)
60	1,73	20,0	7,12	251	10,2	(2 438)	13,1	(3 131)	15,9	(3 800)
65	1,75	21,1	7,47	209	10,6	(2 533)	13,6	(3 250)	16,6	(3 967)
70	1,80	21,5	7,83	209	11,2	(2 677)	14,3	(3 418)	17,4	(4 159)
75	1,85	22,0	8,19	167	11,6	(2 772)	14,9	(3 561)	18,2	(4 350)
80	1,90	22,0	8,55	167	12,2	(2 916)	15,6	(3 728)	19,0	(4 541)
<b>Filles</b>										
30	1,35	16,5	4,6	502	6,88	(1 644)	8,71	(2 082)	10,5	(2 510)
35	1,43	16,8	4,9	502	7,35	(1 757)	9,31	(2 225)	11,3	(2 701)
40	1,50	17,6	5,2	712	7,95	(1 900)	10,2	(2 438)	12,1	(2 892)
45	1,56	18,2	5,4	1 172	8,79	(2 101)	11,0	(2 629)	13,1	(3 131)
50	1,61	19,9	5,7	502	8,48	(2 027)	10,8	(2 581)	13	(3 107)
55	1,62	21	5,9	419	8,64	(2 065)	11,0	(2 629)	13,3	(3 179)
60	1,70	20,8	6,2	126	8,79	(2 101)	11,3	(2 701)	13,7	(3 274)
65	1,72	22	6,4	126	9,07	(2 168)	11,6	(2 772)	14,2	(3 394)
70	1,78	22,1	6,7	84	9,41	(2 249)	12,1	(2 892)	14,7	(3 513)

MB : métabolisme de base.

raisonnable de proposer chez les sujets actifs en bonne santé des apports situés entre 1,5 et 1,8 DER, ce qui porte les ANC en énergie à 36 kcal/kg/j, au moins jusqu'à 76 ans, puisqu'on ne dispose pas de données au-delà [35].

### MACRONUTRIMENTS (tableau III)

#### ■ Protéines [101]

Par rapport aux autres grandes classes de macronutriments, les protéines se caractérisent par la présence d'azote. Ce sont des macromolécules polypeptidiques constituées de chaînes de longueur très variable composées à partir de 20 acides aminés. L'indice de conversion de l'azote, qui représente 160 mg par gramme de protéines, constitue la méthode de base de l'analyse chimique des protéines et s'élève classiquement à 6,25.

Neuf acides aminés peuvent être synthétisés complètement par l'organisme, pour neuf autres seule une synthèse partielle est possible, tandis que les deux derniers, la thréonine et la lysine, sont considérés comme totalement indispensables, car pour eux, contrairement aux autres, même la transamination ne peut être opérée par l'organisme humain. En outre, certains ne peuvent être produits à un rythme suffisant, comme la proline et l'arginine ; or, dans un tissu à renouvellement très rapide, comme les muqueuses digestives, ou dans le muscle, du fait de sa masse et de la réserve de protéines qu'il peut constituer en cas de pénurie d'azote, un apport adéquat en ces acides aminés est nécessaire pour qu'ils ne deviennent pas des facteurs limitants du renouvellement protéique [101].

La synthèse des protéines est régulée par les hormones et médiateurs, dont certains favorisent l'anabolisme, telles que les hormones thyroïdiennes, les stéroïdes sexuels, l'insuline ou l'hormone de croissance. Ainsi, le renouvellement des protéines est plus élevé chez l'enfant que chez l'adulte (qui en synthétise environ 250 g par jour, quantité déjà moindre que la quantité dégradée) et baisse avec le vieillissement (moindre sensibilité aux facteurs anabolisants, présence de processus inflammatoires) [100]. La différence entre sexes s'explique par la plus forte proportion relative de la masse musculaire chez l'homme. Par ailleurs, s'il est un phénomène avéré d'anabolisme dit gravidique au cours de la grossesse, qui induit une forte économie de moyens, l'allaitement reste très gourmand en azote, puisque 1,4 g/kg de poids sont nécessaires pour permettre l'équilibre du bilan azoté [96].

Le coût énergétique du métabolisme protéique représente 15 % du MB.

Les protéines et les acides aminés qui les constituent sont catabolisés en acides  $\alpha$ -cétoniques, et l'azote éliminé dans l'urine sous forme d'urée et d'ammoniac. Un mécanisme d'adaptation fait que le renouvellement des protéines varie dans le même sens que l'apport, mais on ne peut dire quel est le sens le plus favorable à l'organisme, de l'économie ou du surplus, qui risquent d'induire l'un ou l'autre un déséquilibre préjudiciable. Le préjudice subi par les protéines dépend de plusieurs facteurs : leur vitesse de renouvellement, dans le cas de la déficience ; l'équilibre des acides aminés présents dans les protéines apportées, qui doit être en adéquation avec les protéines à renouveler ; la vitesse de digestion et d'absorption de ces protéines alimentaires. Un défaut d'apport dans les autres nutriments indispensables au métabolisme des protéines, tels que vitamines (B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub>, notamment) et minéraux (calcium, magnésium, fer et zinc), est également facteur de troubles.

#### Recommandations (tableau III)

L'efficacité des protéines alimentaires est la même dans les deux sexes : les bilans azotés sont en équilibre chez presque tous les sujets lorsque la quantité de protéines dépasse 0,8 g/kg/j et que les besoins en énergie sont couverts : cela correspond à la valeur des ANC [101] et correspond bien à la valeur des besoins moyens établie par l'OMS, qui est de 0,6 g/kg/j [46]. Pour les enfants, la teneur du lait maternel est un bon repère du niveau des besoins, mais, dès le

sevrage, cette quantité doit être augmentée pour tenir compte de la moindre qualité des protéines lors du passage à l'alimentation diversifiée. L'apport de sécurité, de 0,9 g/kg/j, correspond à 15 g/j à 4 ans, 27 g/j à 10 ans et 29 g/j à 11 ans dans les deux sexes [12] ; la somme des besoins de maintenance et de croissance serait de 0,75 g/kg à 2 ans et est inférieure aux précédentes recommandations. La consommation occidentale moyenne, de 40 g/j entre 1 et 2 ans (> 3,5 g/kg), de 60 g/j à 4 ans et supérieure à 100 g/j vers 13-15 ans, soit des quantités de trois à cinq fois supérieures aux besoins, est donc largement excédentaire en matière d'acides aminés [12]. L'excès de protéines au cours de la petite enfance est actuellement mis en cause dans la genèse de l'obésité [113]. Cependant, une réelle difficulté persiste : la couverture simultanée des ANC en calcium et en fer mène ipso facto à des apports de protéines supérieurs aux ANC, sans qu'aucun effet délétère ne soit, à cette date, identifié.

On peut considérer que les apports peuvent être augmentés de 0,1 g/kg/j pour les femmes enceintes et de 0,3 g/kg/j pour les femmes allaitantes : ce qui correspond, pour une femme de 60 kg, à un apport de 47, 52 et 61 g/j de protéines aux premier, second et troisième trimestres de la grossesse et de 60 g/j pendant la période de lactation [22].

Les personnes âgées doivent recevoir un apport au moins égal à celui des adultes, en protéines de bonne qualité, pour équilibrer leur bilan azoté, et donc 1 g/kg/j. La perte de masse maigre entre 30 et 70 ans se chiffre entre 5 et 12 kg chez l'homme et entre 4 et 8 kg chez la femme [13]. Le vieillissement des protéines cellulaires ne traduit pas une perte de capacité de synthèse protéique des cellules, mais plutôt, sous l'effet des radicaux libres, une altération structurelle, et donc en partie au moins fonctionnelle, des protéines avec l'âge (pour 40 à 50 % d'entre elles), ainsi qu'une modification des mécanismes de régulation de leur métabolisme, notamment hormonal. Mais un surplus chronique d'apport de protéines doit néanmoins être évité du fait des risques d'un excès d'uréogénèse [35].

Pour tous ces groupes, l'apport en protéines moyen de notre population dépasse en général les apports conseillés, à l'exception probable d'environ 20 % des personnes âgées. L'équilibre en acides aminés indispensables au sein des protéines ingérées quotidiennement dans le cadre d'une alimentation traditionnelle en France est satisfaisant, puisqu'il est proche de celui des besoins.

Chez les sportifs, ce n'est que dans le cas d'exercices physiques intenses et prolongés ou répétés qu'une augmentation des apports se justifie. Pour une population pratiquant le sport de loisirs, avec une activité physique ou sportive régulière, d'intensité et de DE modérées, les besoins sont couverts par ceux conseillés pour la population générale, 1 g/kg/j pour l'homme adulte jeune, mais peuvent atteindre 1,5 g/kg/j pendant les 2 premières semaines lorsque le sujet débute dans un sport donné. Des régimes hyperprotéidiques ont parfois été recommandés pour favoriser le développement musculaire maximal : ces pratiques peuvent se révéler dangereuses en augmentant par exemple la perte urinaire de calcium [61].

#### Sources alimentaires

Les protéines animales sont très digestibles et l'équilibre des acides aminés qui les composent, proche de celui des besoins chez l'homme, leur donne un maximum d'efficacité, ce qui n'est pas le cas pour les protéines d'origine végétale pour lesquelles une complémentarité, pour assurer un apport de tous les acides aminés en quantité adéquate, est nécessaire entre sources différentes, céréales et légumineuses par exemple, afin de respecter le rapport lysine/tryptophane. Cela n'est toutefois pas valable chez l'enfant, chez qui les quantités ingérées devraient atteindre des niveaux irréalistes pour parvenir à un apport adéquat d'acides aminés essentiels. Chez ce dernier, seules les protéines animales permettent donc de couvrir les besoins. Un équilibre entre les deux types de protéines est donc indispensable, chez l'enfant parce qu'il est impossible de mener à bien la diversification alimentaire sans protéines animales, et à tous les âges à cause des autres composés

Tableau VIII. – Familles d'acides gras essentiels (AGE) et principaux acides gras non essentiels.

AGE (essentiels)				AGPI-LC		AGPI-LC
n-6	18 :2* acide linoléique 10 g/j = 4 % AETQ**	18 :3	20 :4 acide arachido- nique	22 :4	22 :5	
n-3	18 :3 acide $\alpha$ -linoléique 2 g/j = 0,8 % AETQ	18 :4	20 :4	20 :5 acide éicosapentaénoïque ou EPA 0,5 g/j = 0,20 % AETQ	22 :5	22 :6 acide docosahéxaénoïque DHA 0,12 g/j = 0,05 % AETQ
AG non essentiels						
AGMI						
n-9	18 :1 acide oléique					
AGS	12 :0 acide laurique	14 :0 acide myristique	16 :0 acide palmitique	18 :0 acide stéarique		
AGCC	acide butyrique 4 :0					

\* Le chiffre de gauche indique le nombre de carbones, le chiffre de droite le nombre de doubles liaisons, marquant l'insaturation relative.

\*\* AETQ : apport énergétique total quotidien.

AGPI : acides gras polyinsaturés ; LC : longue chaîne ; AGMI : acides gras mono-insaturés ; AGCC : acides gras à courte chaîne.

qui les accompagnent : calcium, fer, zinc, vitamines A et B<sub>12</sub> pour les premières ; substances antioxydantes (vitamines C, B<sub>9</sub>, caroténoïdes, polyphénols) et AG insaturés pour les secondes. L'apport protéique doit correspondre à 12 à 16 % de l'apport énergétique total quotidien (AETQ), équilibrant les DE. Il est couvert par les aliments courants du commerce, dans le cadre d'une alimentation équilibrée et diversifiée.

### ■ Lipides <sup>[84]</sup>

Présents dans l'alimentation principalement sous forme de triglycérides et de phospholipides, les lipides sont constitués en majeure partie d'AG (tableau VIII) : ils représentent une source calorique et la forme de réserve d'énergie prédominantes dans le règne animal du fait de leur très forte densité énergétique par rapport aux glucides et aux protéines. De plus, ce sont les constituants majeurs des membranes cellulaires et les précurseurs de nombreuses molécules actives du métabolisme, tels que les hormones stéroïdes.

Les AG qui composent les lipides sont formés d'une chaîne plus ou moins longue d'unités carbonées terminées par un radical carboxyle, qui peuvent être reliées entre elles par des doubles liaisons, dont le nombre définit leur degré d'insaturation. Certains, dont la double liaison est située à trois ou six carbones de l'extrémité méthyle de la molécule et qui sont constitués d'une chaîne d'au moins 18 carbones, sont indispensables, non synthétisés par l'organisme et donc essentiels (AGE) (tableau VIII). L'efficacité de la transformation de ces précurseurs par allongement de la chaîne et augmentation du nombre de doubles liaisons dépend de l'état endocrinien, de l'âge et de la qualité de l'alimentation. Les deux familles d'acides gras polyinsaturés (AGPI) ne sont pas interconvertibles <sup>[84]</sup>. Les AGPI essentiels à longue chaîne (> 18 C), ou AGPI-LC (tableau VIII), entrent sous forme estérifiée dans la constitution des phospholipides et donc des membranes biologiques, auxquelles ils assurent, grâce à leur structure stéréochimique, la fluidité et la souplesse qui permettent leur fonctionnement. Mais les AGPI-LC sont également essentiels parce que précurseurs de certains médiateurs, tels que les prostaglandines de type 1, 2 ou 3 et les leucotriènes, ce qui explique pourquoi la carence en acide linoléique induit chez l'animal des troubles de la reproduction (prostaglandines) et de la fonction plaquettaire (prostacycline). Les AGE n-6 interviennent dans la fonction épidermique, la régulation de la lipémie, notamment par leur action hypocholestérolémiante <sup>[75]</sup>, l'activité du système immunitaire et la réponse inflammatoire. Les AGE n-3 ont un rôle bénéfique dans la physiologie vasculaire et les phénomènes d'agrégation plaquettaire, par effet de compétition avec les n-6 au niveau des désaturases et des acyltransférases qui incorporent les

AG dans les phospholipides, ou par effet direct des prostaglandines issues de l'acide éicosapentanoïque (EPA) ; EPA et acide docosahéxaénoïque (DHA) ont en outre un effet hypotriglycéridémiant <sup>[75]</sup>. Des études prospectives récentes ont confirmé l'association entre l'acide  $\alpha$ -linoléique et la baisse du risque coronarien, relation indépendante des autres facteurs de risque, y compris alimentaires <sup>[36]</sup> : ainsi, « l'apport équilibré d'acides linoléique et  $\alpha$ -linoléique, complété par un apport important d'acide oléique (équilibre illustré par exemple par l'usage d'huile de colza) pourrait être idéal pour réduire les risques d'infarctus, le décès d'origine cardiaque et même la mort subite » <sup>[84]</sup>.

Concernant les risques de cancer, les études épidémiologiques semblent montrer que les AGPI-LC n-3 diminuent la fréquence de certains types de cancer (sein, côlon, prostate...), hypothèse qui semble confirmée par une vaste étude européenne <sup>[118]</sup> qui a montré une forte corrélation inverse entre le rapport AGPI-LC n-3/AGPI n-6 totaux et la fréquence du cancer du sein. Des études expérimentales ont démontré que l'acide linoléique, lorsqu'il se trouve dans des proportions élevées, favorise effectivement la croissance tumorale, alors que, inversement, les huiles riches en AGPI-LC n-3 la freinent : la série n-6 agirait en favorisant par sa présence excessive la quantité de produits des réactions catalysées par la cyclo-oxygénase (prostaglandine E<sub>2</sub> notamment) et la lipoxycgénase (leucotriènes notamment). Les AGPI n-3 (EPA et DHA) qui, eux, ne présentent pas d'effet mitogène, agirait de plus en inhibant la synthèse de l'acide arachidonique et en réduisant ainsi la production de prostaglandines de la série 2. Mais des données récentes indiquent que les AGPI-LC n-3 peuvent influencer la croissance et le développement des tumeurs par l'intermédiaire d'une lipoperoxydation des membranes <sup>[19]</sup> et que l'apport en vitamines antioxydantes n'est pas souhaitable dans ce contexte <sup>[19]</sup>.

### Recommandations (tableau III)

Les ANC en lipides pour la population générale sont fixés entre 30 et 35 % de l'AETQ. De la synthèse des publications relatives à l'homme, il ressort qu'un apport d'acide linoléique de 3 à 4 % de l'apport énergétique doit prévenir toute manifestation de carence. Inversement, un excès est à éviter du fait de la compétition avec l'acide  $\alpha$ -linoléique pour la synthèse des AGPI-LC et de ses conséquences sur les risques de cancer et de maladies cardiovasculaires. Le rapport entre ces deux AGE doit de même être limité à cinq : l'acide linoléique, 10 g/j (4 % de l'AETQ), et l'acide  $\alpha$ -linoléique, 2 g/j (0,8 % de l'AETQ), étant dans un rapport de cinq à un. Le DHA devrait être apporté dans la proportion qu'on observe dans un régime satisfaisant, à savoir 120 mg/j <sup>[84]</sup>.

**Tableau IX. – Apports nutritionnels conseillés en acides gras (AG) polyinsaturés chez l'enfant non pathologique (d'après <sup>[12]</sup>).**

	AG en % de l'apport énergétique total	
Nourrisson né prématuré de la naissance à 4 mois d'âge corrigé	AL <sup>(1)</sup> : 2,7 à 5 % AAL <sup>(3)</sup> : 0,4 à 1 % AL/AAL = 4 à 10	AA <sup>(2)</sup> : 0,1 à 0,25 % EPA <sup>(4)</sup> : 0,05 à 0,15 % DHA <sup>(5)</sup> : 0,1 à 0,4 %
Nourrisson né à terme de la naissance à 4 à 6 mois	AL : 2 à 4,5 % AAL : 0,45 à 1,5 % AL/AAL = 4 à 10	11 : 0,1 à 0,25 % EPA : 0,05 à 0,15 % DHA : 0,1 à 0,4 %
Enfants du sevrage à l'âge de 1 à 2 ans	AL : 2 à 5 % AAL : 0,4 à 1 %	
Enfants de l'âge de 3 ans à la fin de l'adolescence	AL : 2 à 5 % AAL : 0,4 à 1 %	

<sup>1</sup>acide linoléique (C18 : 2 n-6).<sup>2</sup>acide arachidonique (20 : 4 n-6).<sup>3</sup>acide  $\alpha$ -linoléique (20 : 4 n-6).<sup>4</sup>acide éicosapentaénoïque (20 : 5 n-3).<sup>5</sup>acide docosahéxanoïque (22 : 6 n-3).

Parmi les acides gras monoinsaturés (AGMI) (tableau VIII), l'acide oléique occupe une place à part et réduit la cholestérolémie lorsqu'il est substitué à des AG saturés (AGS).

Quant aux AGS (tableau VIII), constituants naturels des phospholipides, sphingolipides et triglycérides de réserve, ils sont en partie convertis en AGMI par des désaturases et sont indispensables à la constitution de certaines membranes nerveuses, notamment la myéline <sup>[20]</sup>. Si ce n'était l'excès de consommation moyenne qui les caractérise et qui a été mis en rapport avec la mortalité coronarienne <sup>[77]</sup>, il faut différencier les effets des AGS, de nature hypercholestérolémiant pour certains, tels que les acides laurique, et surtout myristique et palmitique, d'un rôle clé dans l'acylation de certaines protéines <sup>[26]</sup>.

Les AG à chaîne courte (AGCC), de quatre à dix atomes de carbone (tableau VIII), n'ont pour leur part pas d'effet négatif : l'acide butyrique qui provient de la dégradation des fibres alimentaires par les bactéries coliques, a des vertus antiprolifératives et induit l'apoptose des cellules tumorales du côlon. En résumé, il est conseillé que les AGS ne dépassent pas le quart des apports en lipides, soit 8 % de la ration énergétique totale.

Concernant le cholestérol alimentaire, et avant de diaboliser de façon inconsidérée l'hypercholestérolémie et de chercher à tout prix à la diminuer, il est bon de rappeler que sa relation avec le risque cardiovasculaire diminue avec l'âge et disparaît chez la personne âgée. Si la limitation de l'apport exogène de cholestérol se justifie chez les patients à risque, les recommandations générales contenues dans les ANC 2001 au sujet des lipides et de la répartition des AG « placent les sujets dans des conditions de maîtrise nutritionnelle quasi optimales. Une réduction de l'apport exogène de cholestérol en deçà de 200-300 mg/j ne paraît pas de nature à influencer significativement le risque » <sup>[84]</sup>.

Concernant le nouveau-né et le tout jeune enfant (tableau IX), il est très important que leur apport de lipides soit suffisant et qualitativement adéquat, du fait du développement très rapide à cet âge des structures cellulaires, particulièrement cérébrales. Dans l'alimentation pour nourrisson, la quantité d'acide linoléique doit représenter entre 9 (minimum) et 22 % (maximum) des AG totaux et l'acide  $\alpha$ -linoléique entre 1 et 3 % : le rapport entre les deux AGPI doit se situer entre cinq et dix. En prenant le lait maternel comme référence, on peut fixer la proportion de DHA et d'EPA à 0,3-0,4 % et 0,4-0,5 % respectivement des AG totaux et le rapport à 1,3 <sup>[45]</sup>.

Le besoin en acide linoléique a été fixé à 11 g/j (ou 4,4 % de l'énergie totale de la ration), chez la femme enceinte et allaitante, celui en acide  $\alpha$ -linoléique à 2 g/j et 2,2 g/j respectivement, et leur rapport à une valeur moyenne de cinq, pour un apport lipidique conseillé représentant 30 % de la ration calorique totale <sup>[22]</sup>. Il est en outre recommandé de favoriser dans ces mêmes situations un apport de DHA suffisant pour assurer une valeur satisfaisante au nouveau-né, à savoir 200 à 300 mg/j (ou 0,4 % des AG totaux), ce qui ne paraît pas être le cas actuellement <sup>[84]</sup>. Dans le lait humain, qui reste le

modèle de référence, la moitié de l'énergie est représentée par les lipides, dont un tiers sous forme d'AGMI. Le développement et la maturation périnatale du système neurosensoriel (cerveau, moelle épinière, nerfs périphériques) exigent un apport important d'AGPI-LC n-3, dont l'excès doit être évité à cause des risques de peroxydation. À partir de 3 ans, les lipides totaux doivent être limités à 35 %, les AGS à 8-12 % de l'énergie totale et le cholestérol à 300 mg/j ; les triglycérides à chaîne moyenne ne sont pas nécessaires chez l'enfant en bonne santé <sup>[12]</sup>.

Les personnes âgées, compte tenu de la diminution de leur capacité enzymatique, doivent avoir un apport d'acide linoléique d'au moins 6 g/j (ANC de 7,5 g/j), ce qui correspond à la consommation observée, mais avec un meilleur équilibre par rapport à l'acide  $\alpha$ -linoléique, dont l'apport va de 0,3 à 0,7 g/j, alors que l'ANC est désormais de 1,5 g/j <sup>[35]</sup>.

### ■ Glucides <sup>[14]</sup>

Les glucides, famille de molécules organiques constituées de carbone, hydrogène et oxygène selon la formule générale  $C_nH_{2n}O_n$ , comportent les sucres simples (de trois à sept C) que sont les monosaccharides comme le glucose ou les disaccharides comme le saccharose, et des polymères plus complexes tels que l'amidon. L'index glycémique (IG) (tableau X) permet de classer les aliments en fonction de leur pouvoir hyperglycémiant, par rapport à un glucide de référence qu'est le glucose (IG élevé) en solution aqueuse, ou l'amidon du pain blanc : l'IG correspond au rapport de l'aire sous la courbe de la glycémie pour l'aliment testé sur celle obtenue avec le glucide de référence. Cet index, très utilisé pour planifier les régimes des diabétiques et des sportifs, reste d'une pratique complexe, du fait que, indépendamment de la catégorie de glucides considérée, il varie en fonction de l'origine botanique et de divers facteurs technologiques (traitements mécaniques, cuisson-extrusion, panification), alimentaires (présence de lipides, de gluten, de fibres diverses), digestifs (nature et rythme des repas déterminant la vitesse de la vidange gastrique...), qui en changent la biodisponibilité.

Le pouvoir satiétogène des glucides, plus précoce que celui des lipides, dépend de la rapidité de leur absorption et en particulier de la réponse insulinaire produite, et serait inversement proportionnel à leur IG, autrement dit la satiété serait d'autant plus durable que le pic d'insulinosécrétion postprandial est bas et l'effet hyperglycémiant faible et prolongé <sup>[18]</sup>. Les fibres alimentaires augmentent cet effet satiétogène des glucides.

Ces fibres, ainsi que les amidons résistants, sont en partie dégradés par la flore colique en AGCC (acides acétique, propionique et butyrique) et absorbés : leur valeur énergétique est évaluée en moyenne à 2 kcal/g et représente donc globalement 5 % de l'apport total d'énergie. L'excès de fibres non digestibles ou l'afflux massif dans le côlon de « petits » glucides (à fort pouvoir osmotique) chargés d'eau et d'électrolytes peut dépasser la capacité de la flore à

**Tableau X. – Classification en trois niveaux principaux d'index glycémique (IG) d'aliments représentatifs de leur catégorie (glucose valeur 100) (d'après <sup>[14]</sup>, modifié).**

Catégories d'aliments	IG bas (< 50)	IG moyens (50-74)	IG élevés (> 75)
Sucres	fructose : 23* lactose : 46	saccharose : 65	miel : 73 glucose : maltose : 105
Fruits	cerise, pêche : 20-30 agrumes : 25-45 pomme, poire, raisin : 35-45	fruits « exotiques » (kiwi, banane, mangue, ananas*) : 50-70	
Boissons	jus de pomme ≈ 40	jus d'orange, soda : 55-65	
Céréales petit déjeuner	All-Bran® : 30	porridge : 61	cornflakes et autres : ≈ 80
Pains	pain au son, pain aux céréales* : 40-50	pain blanc : 70	pain complet : 77 baguette : 95
Céréales et pâtes	pâtes : 30-50	riz, semoule : 55-65	riz rapide : 91
Légumes et pommes de terre	petits pois : 48	pomme de terre nouvelle, betterave, carotte* : 60-70	pomme de terre cuisinées ou en flocons : 75-85
Légumes secs	soja, pois chiches, lentilles, haricots* : 20-40		fèves : ≈ 80
Produits laitiers	30-40		
Collations, confiseries, « en-cas »	chocolat : ≈ 50	chips, pop-corn : 50-60 pizza, barres chocolatées : 60-75	

\*aliments données en ordre croissant d'IG pour un même groupe : ne sont indiquées précisément que les valeurs d'IG qui s'écartent d'une valeur moyenne.

les dégrader et entraîner la diarrhée. En revanche, l'insuffisance de fibres alimentaires, qui devraient représenter un apport de 20 à 30 g par jour, est la cause principale de la présence importante de constipation dans la population française. Enfin, l'excès de polysaccharides, moins hydrophiles mais plus fermentescibles que les autres glucides, peut entraîner des phénomènes de flatulence et ballonnement <sup>[14]</sup>. Cependant, quelle que soit la sensibilité de chacun à tel ou tel type de glucides alimentaires, une répartition raisonnable et équilibrée des différentes sortes de glucides dans l'alimentation et l'existence d'une adaptation progressive de la flore colique au type de régime permettent d'assurer dans l'ensemble des cas un bon état de fonctionnement et de santé du côlon.

Il a été montré que le glucose a un effet bénéfique sur les fonctions mnésiques, chez l'enfant comme chez le sujet âgé, bien que le mécanisme en soit encore mal compris. La proportion de glucides recommandée pour les formules lactées destinées aux nourrissons est de 40 à 50 % de l'énergie, soit globalement la valeur de celle du lait maternel, qui est de 41 % (versus 30 % pour le lait de vache). Un apport de glucides de 55 à 70 % de la ration calorique est conseillé pour la femme enceinte.

Au cours de l'exercice, le muscle utilise le glucose comme source d'énergie : pour des exercices brefs et de forte intensité (VO<sub>2</sub>max), il utilise le glucose issu de la circulation et/ou du glycogène musculaire comme substrat exclusif du métabolisme aérobie ; lors des exercices prolongés mais d'intensité sous-maximale, il mobilise les lipides. Il est conseillé de reconstituer ses réserves après l'effort avec des glucides à IG élevé. Les glucides peuvent également éviter ou atténuer les effets de l'altitude, surtout en cas d'efforts physiques prolongés, et améliorer la capacité de ventilation chez le sujet en bonne santé <sup>[14]</sup>.

Concernant la relation entre glucides et diabète (il s'agit ici du diabète de type 2, non insulino-dépendant), étant donné que les glucides sont de puissants stimulants de la sécrétion d'insuline, on peut dire que les glucides ne créent pas le diabète mais peuvent le révéler sur un terrain génétiquement prédisposé. Si les études épidémiologiques ont montré en effet que l'excès de glucides alimentaires augmentait le risque de diabète dans des populations obèses et génétiquement prédisposées, comme les Indiens Pima, ou d'intolérance au glucose chez des sujets âgés, ce n'est nullement le cas chez des volontaires sains nourris avec une alimentation enrichie en saccharose. En résumé, les glucides, même raffinés, s'ils sont consommés en quantité raisonnable, ne sont pas des facteurs d'apparition d'intolérance au glucose ou de diabète de type 2 dans

une population générale présumée bien portante, ce qui n'est pas le cas de sujets prédisposés génétiquement, âgés ou sous hyperglycémiant.

L'alimentation qui paraît la plus appropriée pour limiter le risque cardiovasculaire devrait comporter de deux tiers à trois quarts de l'AETQ en glucides et AGMI. Dans certains cas plus spécifiques, tels que le sujet hypertriglycéridémique, et quel que soit son poids, les glucides doivent être limités à 40 % de l'AETQ et les sucres simples évités en règle générale. Dans tous les cas, a fortiori de dyslipidémies, il faut favoriser l'ingestion des fibres contenues dans les aliments qui en sont naturellement riches, tels que céréales plus ou moins complètes, fruits et légumes <sup>[14]</sup>.

L'effet cariogène des sucres est essentiellement dû au maintien de glucides fermentescibles, à savoir les monosaccharides (essentiellement le fructose), disaccharides (au premier rang desquels le saccharose) et l'amidon cuit <sup>[37]</sup>, mais dépend du temps de contact et de sa répétition : à cet égard, les éléments les plus défavorables, surtout chez les sujets sensibles, sont le grignotage de produits sucrés, l'ingestion d'une quantité de sucre supérieure à 50 g/j et le manque d'hygiène buccodentaire.

Le fructose ayant les mêmes effets que le saccharose sur les caries dentaires et l'hypertriglycéridémie chez les sujets à risque, sa substitution au saccharose pour des raisons de santé ne se justifie pas. Quant aux produits édulcorants, en particulier les polyols, tels que le polydextrose ou les FOS qui peuvent être considérés comme des fibres, ils peuvent en présenter avec une forte consommation le même inconvénient, à savoir un excès de fermentation colique <sup>[14]</sup>.

Enfin, si le déficit de l'activité lactasique de l'entérocyte, limitant la capacité d'hydrolyser le lactose du lait en galactose et glucose, de façon progressive à partir de l'âge de 18 mois à 2 ans, touche de 20 à 40 % de la population française, avec comme dans l'ensemble de l'Europe un gradient nord-sud, ses manifestations s'avèrent plus rares, s'expliquant par différents mécanismes d'adaptation digestive et par la variabilité individuelle. Les produits laitiers fermentés (yaourts, fromages affinés...) sont en tout cas beaucoup mieux tolérés <sup>[14]</sup>.

#### ■ **Fibres** <sup>[81]</sup>

Sont considérées comme fibres les constituants de l'alimentation qui ne sont pas hydrolysés par les enzymes du tube digestif, mais peuvent cependant être absorbés s'ils subissent une fermentation par la flore bactérienne colique. Les fibres sont essentiellement

constituées dans notre alimentation de macromolécules végétales, qu'on répartit, avec des effets physiologiques et métaboliques différents, en fibres insolubles (cellulose, lignine et certaines hémicelluloses) et les fibres solubles (pectines, gommes, fibres d'algues, glucanes, hémicelluloses), qui ont pour caractéristique de former avec l'eau des gels ou des solutions visqueuses. Les oligosides (FOS, lactulose...) font également partie des fibres et sont présents dans certains végétaux, en particulier l'ail, l'oignon, la chicorée et surtout l'artichaut, dont l'inuline constitue l'essentiel de la partie comestible, et les légumes secs. Les fibres sont considérées comme apportant en moyenne 2 kcal/g, du fait de leur dégradation colique en AGCC absorbables, mais les oligosides sont fermentés plus rapidement que l'amidon résistant, qui constitue les parois des fruits et légumes, et surtout que le son de blé [29] et les enveloppes de céréales. Ces dernières sont en revanche les plus efficaces sur le transit intestinal en augmentant le volume des selles, par leur persistance et leur capacité à retenir l'eau. Les fibres les plus laxatives sont donc généralement les moins fermentescibles, les mêmes qui sont réputées avoir un effet positif sur les intestins paresseux, trouble de la motricité qui engendre la constipation. Il faut prendre garde cependant à l'effet que leur dureté peut provoquer sur des intestins dits « irritables ».

Les AGCC produits par la fermentation colique des fibres, le butyrate en particulier, ont un effet trophique sur la muqueuse intestinale, et inhibiteur sur la prolifération des cellules épithéliales cancéreuses *in vitro* [81]. À cet égard, si une forte consommation de fruits et légumes et de céréales complètes a été associée fréquemment à une diminution des risques de cancer colorectal, et que cet effet puisse être dû à une consommation plus faible de sucres raffinés et de graisses (facteurs alimentaires associés à une augmentation du risque), ainsi qu'à une augmentation de l'apport en folates, il est probable aussi qu'il est lié à une certaine hygiène de vie, dont l'activité physique et un IMC plus proche de la normale. Il n'en reste pas moins que, à partir de 16 études épidémiologiques, Slattery et al [119] ont montré que le risque relatif du cancer colorectal est abaissé de moitié dans la tranche des consommateurs de plus de 27 g de fibres par jour. L'existence d'une corrélation négative entre l'ingestion de fibres et l'incidence de la mortalité cardiovasculaire s'expliquerait par ailleurs par l'effet hypotriglycéridémiant et hypocholestérolémiant des fibres.

À l'exception de la lignine, ce sont des polysaccharides (ou polyosides) qui ont pour propriété d'incorporer d'importantes quantités d'eau (effet laxatif) et qui, à l'état naturel, peuvent être associées, dans les réseaux qu'elles forment, avec des protéines ou des minéraux notamment, ce qui augmente leur intérêt nutritionnel.

### Recommandations (tableau III)

Étant donné les résultats dans l'ensemble très positifs des études sur les effets bénéfiques des fibres, et même si les mécanismes d'action ne sont pas toujours élucidés, il est recommandé d'accroître notablement la proportion des fibres alimentaires dans la population française, qui se situe actuellement en moyenne bien en dessous des valeurs reconnues comme les plus efficaces en matière de prévention, à savoir 20 à 30 g/j à partir de l'adolescence, quantité atteinte par l'ingestion de deux fois des légumes et deux fois des fruits par jour, des légumes secs une ou deux fois par semaine et régulièrement des céréales plus ou moins complètes [81]. Un régime de ce type permet en outre de fournir beaucoup de minéraux (sélénium, potassium, magnésium, fer notamment), vitamines et substances antioxydantes à effet également préventif, et de réduire la densité énergétique de l'alimentation.

Chez les personnes âgées, la présence fréquente (25 à 35 % versus 8 % de la population adulte) de la constipation a été mise notamment sur le compte de l'insuffisance de fibres (et d'eau) ingérées, dont il faut cependant éviter l'excès qui pourrait entraver l'absorption de certains minéraux ou vitamines déjà en quantité limite à l'état naturel [35]. Chez le sportif, si une amélioration du transit digestif, surtout dans le cas de régimes riches en glucides, est à attendre d'une proportion de fibres équivalente à celle indiquée

pour la population générale, le choix de fibres non irritantes doit être préféré, eu égard aux problèmes digestifs fréquents lors d'exercices de longue durée [61].

### Sources alimentaires

Les sources principales de fibres sont les fruits, les légumes, les céréales et les légumes secs. Dans les céréales, l'enveloppe du grain (son) et le germe contiennent l'essentiel des fibres, d'où l'intérêt de la consommation de céréales (pains, pâtes et riz, notamment) au moins en partie complètes, à côté des légumes secs, dont le taux de consommation est modeste, et des légumes et fruits, qui présentent l'avantage (ou l'inconvénient, pour les individus à dépenses physiques importantes) d'avoir une densité énergétique faible, à l'exception de la pomme de terre et de la banane, riches en amidon, et de l'avocat, riche en lipides. La baisse régulière de l'apport en énergie, et du même coup de la consommation de pain, fabriqué de plus à partir de farines moins blutées, de légumes secs et de pommes de terre, a entraîné une baisse de moitié de l'ingestion de fibres dans la population française depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle [30], ce qui réduit d'autant la sensation de satiété de l'alimentation liée à cette catégorie de constituants.

## EAU ET BOISSONS [1]

### ■ Eau

L'eau est évidemment au premier rang des éléments (nutriments) essentiels pour l'organisme, qui doit en recevoir entre 2 et 2,5 L/j, dont la moitié environ est apportée par les aliments eux-mêmes. Les mécanismes, hormonaux en particulier, qui président à la régulation des mouvements d'eau sont complexes : sur le simple plan physiologique, la soif est liée à une augmentation de la concentration plasmatique du sodium. Les besoins varient en fonction de l'âge, de façon inversement proportionnelle à la taille du compartiment lipidique. Ils sont beaucoup plus élevés chez le nourrisson (× 3) et l'enfant de 6 à 12 mois (× 2) que chez l'adulte. Les risques de déshydratation, qui sont grands chez le vieillard et de forme chronique, peuvent entraîner une mortalité élevée. Or, si la masse musculaire baisse avec l'âge, ainsi qu'un certain nombre de mécanismes de régulation de la soif et de l'excrétion urinaire de l'eau, les besoins en eau n'en sont pas diminués pour autant, et sont même accrus par l'élimination rénale induite par la polymédication [35].

Les pertes d'eau par la sueur dans l'activité physique et sportive sont d'autant plus importantes que l'atmosphère est plus chaude et plus sèche : une déshydratation supérieure à 4 % du poids corporel peut favoriser l'apparition d'accidents graves, voire mortels, comme le coup de chaleur ; ce genre d'événements est d'autant plus insidieux que la sensation de soif est un critère tardif de la déshydratation et peu efficace de la réhydratation [61]. À cet égard, l'eau, qui est la seule boisson indispensable, doit être, en cas de réhydratation pendant ou après l'exercice, additionnée de sel de sodium, et au besoin de glucides pour compenser la perte d'énergie. Les boissons alcoolisées, même faiblement, sont à exclure formellement car elles pourraient créer progressivement et insidieusement l'accoutumance, en particulier chez les jeunes.

### ■ Autres boissons

Concernant les boissons alcoolisées, on admet que, si effet bénéfique il y a sur les problèmes cardiovasculaires, comme semble le montrer un certain nombre d'études épidémiologiques, il n'existe que lorsque la consommation ne dépasse pas la prise de deux verres de vin par jour pour les femmes et quatre verres pour les hommes, quantités au-delà desquelles les risques liés à l'alcool augmentent fortement [1]. Quant aux boissons gazeuses et sucrées [1], qui exercent un attrait particulier sur les enfants et les adolescents, elles sont un des facteurs de développement de l'obésité, qui augmente actuellement en France de façon inquiétante dans ces tranches d'âge, et des caries dentaires, sans pour autant apporter d'éléments nutritifs, déjà présents dans une alimentation variée et équilibrée.

**Tableau XI. – Apports nutritionnels conseillés en éléments minéraux pour la population française (valeurs moyennes par jour) (d'après ANC 2001<sup>[1]</sup>).**

	Na*	K**	Cl*	Ca	P	Mg	Fer	Zn	Cu	Iode	Se	Cr	F***
	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	µg	µg	µg	mg
Nourrissons				400	100*	40	6-10	5	0,4-0,7	40	15	-	0,1/0,4
0-6 mois													
6-12 mois				500	275*	75	6-10	5	0,4-0,7	50	20	(20)	0,2/0,5
Enfants				500	360	80	7	6	0,8	80	20	25	0,5/0,7
1-3 ans													
4-6 ans				700	450	130	7	7	1,1	90	30	35	0,8/2,2
7-9 ans				900	600	200	7	7	1,1	120	30	40	1,2/2,2
10-12 ans				1 200	830	280	10	12	1,4	150	40	45	1,5/4
Adolescents				1 200	830	410	13	12	1,5	150	45	50	2/4
13-15 ans													
Adolescentes				1 200	800	370	16	12	1,5	150	45	50	2/4
13-15 ans													
Adolescents				1 200	800	410	13	12	1,5	150	50	50	2/4
16-19 ans													
Adolescentes				1 200	800	370	16	12	1,5	150	50	50	2/4
16-19 ans													
Hommes adultes	2-3,5	2-6	4-5	900	750	420	9	12	2	150	60	65	2,5-4
				< 65 ans									
Femmes adultes	2-3,5	2-6	4-5	900	750	360	16	10	1,5	150	50	55	2-4
				< 55 ans			< 55 ans						
Personnes âgées													
H > 65 ans				1 200	750	420	9	11	1,5	150	70	70	2,5/4
F > 55 ans				1 200	800	360	9	11	1,5	150	60	60	2-4
Personnes âgées ≥ 75 ans				1 200	800	400	10	12	1,5	150	80	-	2
Femmes enceintes (3 <sup>e</sup> trimestre)				1 000	800	400	30	14	2	200	60	60	2-4
Femmes allaitantes				1 000	850	390	10	19	2	200	60	55	2-4

\* évalué à partir d'une consommation moyenne de sel (= maximum conseillé) de 6 à 8 g/j.

\*\* consommation réelle ; les besoins minimaux sont de 400 à 600 mg/j.

\*\*\* valeur de gauche : apport conseillé ; valeur de droite : limite de sécurité.

**ÉLECTROLYTES<sup>[40]</sup> (tableau XI)****■ Sodium**

Il est indispensable à la conduction de l'influx nerveux et c'est un facteur essentiel de l'équilibre hydroélectrolytique, par son rôle dans la pression osmotique des liquides extracellulaires, où il représente 95 % de la totalité des cations. C'est pourquoi son homéostasie y est maintenue de façon très précise, à une valeur située entre 135 et 145 nmol/L, sept fois supérieure à la concentration intracellulaire. Les échanges constants entre les deux compartiments à travers les membranes s'exercent principalement par le moyen de la Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase, système utilisant l'énergie de l'ATP.

**■ Chlore**

L'anion chlore, intimement lié au sodium, joue également un rôle important dans la régulation de la pression osmotique entre les compartiments.

La biodisponibilité du chlorure de sodium est presque totale, l'absorption du sodium par le tube digestif ne subit pas d'inhibition par les autres nutriments, mais est stimulée par le glucose et les acides aminés : il est presque totalement aussi réabsorbé dans les tubules rénaux, sous le contrôle du système rénine-angiotensine-aldostérone et du système neurovégétatif, en particulier. Cette épargne explique que l'organisme humain puisse subir une très forte déperdition de sodium liée à la sudation lors de l'exercice physique en ambiance chaude (allant jusqu'à 6 ou 7 g/j chez un sujet, même entraîné, travaillant de 1 à 3 heures par jour)<sup>[61]</sup>.

La restriction sévère provoque cependant une altération des fonctions du système nerveux, voire, chez l'enfant, un retard de croissance. Un déficit en sodium, préjudiciable s'il n'est pas corrigé rapidement, peut se produire chez des sportifs réhydratés de façon déséquilibrée ou en cas de diarrhée prolongée.

Le chlore, comme le sodium, est absorbé par la paroi digestive et réabsorbé par les tubules rénaux presque complètement, mais sans l'intervention d'un contrôle hormonal connu. Outre son rôle dans la pression osmotique, c'est en tant que constituant de l'acide

chlorhydrique du suc gastrique qu'il a un rôle spécifique essentiel, puisque des vomissements prolongés peuvent conduire à une alcalose métabolique, avec crampes musculaires et apathie, qui répondent à l'arrêt des vomissements et des apports de sel appropriés<sup>[40]</sup>.

**Recommandations (tableau XI)**

La quantité de sel minimale indispensable à l'homme est de l'ordre de 2 g/j mais peut être supérieure, en raison de pertes accrues dans la sueur. Il est admis qu'une consommation supérieure à 12 g/j n'est pas recommandée dans des conditions normales. Or, bien que la consommation soit difficile à mesurer, on estime cette quantité dépassée par 10 à 20 % de notre population adulte. L'apport optimal serait de l'ordre de 5 à 7 g/j. Les régimes sans sel sont inutiles à titre systématique dans l'hypertension artérielle. Ils ne concernent que 30 à 40 % des patients sensibles au seul chlorure de sodium (et non aux autres sels de sodium)<sup>[1]</sup> ; par ailleurs, on ne connaît pas d'effet délétère d'une surcharge en chlore.

D'une façon générale, il faut se garder d'habituer les enfants à manger plus salé que de raison et, pour tout le monde, éviter de saler systématiquement à table les plats sans les goûter, comme cela arrive souvent, de boire trop de certaines eaux minérales, et en général de surconsommer des produits alimentaires riches en sel, tels que fromages, charcuterie, amuse-gueule (destinés à donner soif...) : les gros consommateurs de produits fortement salés sont le plus souvent des gros mangeurs d'âge moyen, dits « monotones »<sup>[30, 91]</sup>, également portés sur l'excès de graisses saturées et de boissons alcoolisées, le tabac, et généralement porteurs d'un IMC élevé, tous facteurs de majoration du risque cardiovasculaire. Inversement, la suppression ou la diminution drastique de sel peut être néfaste, voire dangereuse, en particulier chez la personne âgée, chez qui il constitue de plus un agent de sapidité stimulateur de l'appétit. Cela est vrai également chez le sportif d'endurance, qui risque, en cas d'hyponatrémie prononcée, troubles neurologiques et coma. Pour autant, l'administration de pastilles de sel, qui favorisent la déshydratation et les troubles digestifs, est formellement déconseillée<sup>[61]</sup>.

### ■ Potassium

Il est essentiel dans l'établissement du repos membranaire et dans la phase de repolarisation des potentiels d'action des tissus nerveux et musculaire, qui permet notamment au tissu cardiaque son fonctionnement normal. Il permet aussi la sécrétion acide de l'estomac. Au niveau cellulaire, c'est le système Na/K-ATPase qui fait entrer le potassium dans la cellule. Comme pour le chlore, le déficit en potassium s'observe lors de vomissements, ou de diarrhées et de pertes urinaires excessives du fait par exemple de la prise de laxatifs ou de diurétiques. La carence, qui affecte le système neuromusculaire, peut aller jusqu'à la paralysie et à l'arythmie cardiaque. Cependant, l'exercice musculaire même intensif ne provoque pas, contrairement au cas du Na, de pertes importantes de potassium. L'absorption du potassium par l'intestin est très rapide, et sa réabsorption rénale, qui assure l'homéostasie très précise de ce cation, est régulée par plusieurs hormones, dont l'aldostérone, les glucocorticoïdes et l'hormone antidiurétique, et par le système neurovégétatif.

Les besoins minimaux sont estimés à 400 à 600 mg/j, avec là aussi de fortes possibilités d'adaptation, excepté chez la personne âgée. La consommation habituelle se situe entre 2 et 6 g/j, mais ne doit pas dépasser 8 g/j chez le vieillard. L'hyperkaliémie prononcée (lors de prise d'antialdostérone, par exemple) peut provoquer des arythmies, à l'origine de fibrillation et d'arrêt cardiaque.

Contrairement au sodium, et avec un effet démontré, le potassium fait diminuer la pression artérielle chez les sujets hypertendus et normotendus, alors que la déficience au contraire l'augmente.

#### Recommandations (tableau XI)

Le potassium, dont la consommation était beaucoup plus importante dans l'alimentation des populations primitives que dans celle de nos sociétés occidentales [25], est actuellement encore davantage consommé par les pays du sud, du fait sans doute d'une alimentation riche en aliments d'origine végétale : de fait, il est présent en abondance dans les fruits et légumes et le cacao, mais aussi dans la viande et le lait. Lié aux phosphates, citrate et bicarbonate plutôt qu'au chlorure, il pourrait contrebalancer en partie les excès d'apports sodés ainsi que le déséquilibre de l'apport en calcium par rapport au phosphore, trop abondamment consommé dans notre alimentation, et facteur d'hypocalcémie [111] : la consommation d'aliments riches en potassium (fruits, légumes et céréales complètes) doit donc être encouragée, en particulier chez les enfants et adolescents [12]. Chez la personne âgée, compte tenu de la baisse de la masse musculaire et de l'effet bénéfique du potassium sur la tension artérielle, l'ANC proposé est de 3 g/j [35].

## PRINCIPAUX ÉLÉMENTS MINÉRAUX <sup>[1]</sup> (tableaux I, XI)

### ■ Calcium <sup>[55]</sup>

Le calcium de l'organisme se trouve, pour 99 % du total, dans le squelette, dont il est le principal constituant et assure la rigidité, sous la forme d'hydroxyapatite cristallisée et de phosphate calcique amorphe fixés sur du collagène, dans un rapport Ca/P voisin de 2. Le 1 % restant est sous forme ionisée libre et participe à l'excitabilité neuromusculaire, la conduction nerveuse, la contraction musculaire, la coagulation sanguine...

Le tissu ostéoïde est synthétisé par les ostéoblastes, qui en assurent aussi la calcification, alors que les ostéoclastes réalisent inversement la destruction du tissu osseux, ou résorption osseuse, et libèrent le calcium et les minéraux constitutifs de l'os, contribuant ainsi à maintenir l'homéostasie du calcium, très étroitement contrôlée par un système hormonovitaminique complexe, comprenant la 1,25-dihydroxy-vitamine D<sub>3</sub> (ou calcitriol), la parathormone (PTH) et la calcitonine.

En effet, l'absorption du calcium alimentaire a lieu selon un processus actif dans le grêle proximal, et passif, non saturable, dans l'iléon. Le premier processus est fonction des besoins et est régulé

par le calcitriol, qui induit à la fois la synthèse du transporteur, la calbindine, et l'activation de la Ca-ATPase, qui produit l'énergie nécessaire au transport transmembranaire ; le second processus, qui est fonction des mouvements de l'eau et des solutés tels que le sodium et le glucose, peut augmenter en fonction des apports alimentaires si le calcium présent est absorbable, et peut être favorisé par les substances qui augmentent l'osmolarité intestinale, telles que les oligosides. Si la calcémie diminue, par insuffisance d'apport ou d'absorption, ou par fuite urinaire excessive, de la PTH excédentaire est libérée, qui a pour effet d'augmenter la mobilisation du calcium osseux, de réduire l'excrétion urinaire et de stimuler la synthèse du calcitriol, qui agit à son tour sur l'absorption ; inversement, l'hypercalcémie diminue la sécrétion de la PTH et stimule celle de la calcitonine. Mais l'homéostasie calcique se trouve dans des limites très étroites. Ainsi, en cas de pénurie, elle se maintient aux dépens du calcium osseux. Or, il n'existe pas d'indicateur biologique d'une insuffisance d'apport ou de métabolisme calcique. Il faut donc avoir recours aux techniques de mesure de la densité osseuse par absorption biphotonique pour évaluer le niveau de déminéralisation : on admet ainsi qu'il y a ostéoporose lorsque la densité minérale osseuse est inférieure de plus de 2,5 ET à celle de l'adulte jeune.

L'existence d'un renouvellement permanent de l'os (cf supra) impose un apport de calcium suffisant, évalué à 400 mg par jour pour les adultes. La résorption osseuse de calcium peut être inférieure au dépôt, ou accretion osseuse, lors de la période de minéralisation maximale du squelette (pic pubertaire) chez les enfants et adolescents jusqu'à 18 ans, et plus modestement jusqu'à 30 ans, donc au-delà de la fin de la croissance staturale et de la puberté ; elle devient ensuite légèrement supérieure, différence qui s'accroît chez les personnes âgées, avec plus ou moins d'intensité (ostéoporose) selon les individus et leur prédisposition génétique, leur alimentation, leur activité physique et/ou leur disponibilité en vitamine D, endo- ou exogène. Le processus de sénescence induit une baisse de la capacité d'absorption intestinale de calcium vitamine D-dépendante et rend le sujet âgé plus dépendant des apports alimentaires, précisément abaissés dans cette tranche d'âge [117], entraînant une augmentation de la perte osseuse par stimulation de la PTH. Chez le sujet obèse dès l'enfance, une attention particulière est souhaitable en raison des déséquilibres potentiels de la ration alimentaire, de la faible exposition solaire pour des raisons psychologiques et de l'excès de la charge portée par le rachis et les membres inférieurs.

#### Recommandations (tableau XI)

Le besoin minimal d'entretien est estimé, par la méthode factorielle, à 260 mg par jour chez l'homme adulte ; il varie avec le poids corporel (il est de 50 à 140 mg/j chez l'enfant) et diminue donc parallèlement à l'augmentation des besoins de l'os : il est de 170 mg/j pour les adolescents de 10 à 14 ans et de 200 mg/j chez les femmes enceintes, qui bénéficient d'une meilleure absorption intestinale du calcium endogène, et chez les femmes allaitantes, qui bénéficient d'une moindre perte urinaire de calcium. Le besoin de la croissance peut atteindre 400 mg/j au moment du pic pubertaire et postpubertaire, avec des valeurs moyennes retenues pour établir les ANC de 80 à 140 mg/j de 1 à 9 ans, 250 mg/j de 10 à 14 ans et de 100 mg/j de 15 à 19 ans. C'est le coefficient d'absorption réelle, qui est en moyenne de 38 % chez un adulte recevant environ 500 mg/j de calcium, avec un régime presque dépourvu de produits laitiers, qui a servi de référence pour établir les ANC, la valeur des besoins moyens ayant été augmentée de 2 ET (et donc de 30 %) pour tenir compte de la variabilité individuelle, et couvrant ainsi les besoins de 97,5 % de l'ensemble de la population [55].

Le besoin de la grossesse au dernier trimestre est estimé à 220 mg/j, celui de la lactation à 250 mg/j. Mais compte tenu de la forte progression du degré d'absorption du calcium au cours de la grossesse (de 33 % avant à 54 % au troisième trimestre), il est inutile de recommander un supplément de calcium chez la femme enceinte nourrie avec une alimentation comportant, comme la moyenne française, de l'ordre de 1 g de cet élément par jour ; chez la femme

allaitante, la mobilisation du calcium osseux s'avère réversible et sans effet ultérieur : l'attitude doit donc être la même [22]. Chez le nourrisson recevant un apport adéquat en vitamine D, le coefficient d'absorption du calcium peut atteindre 44 % [92]. Au cours de la croissance, l'absorption calcique est surtout efficace en période prépubertaire, fait démontré chez les filles de 11 à 15 ans par rapport aux jeunes adultes de 20 à 23 ans [76]. Chez les femmes postménopausées et les personnes âgées, un apport complémentaire de calcium agit par une diminution de la résorption osseuse induite par une baisse de la PTH sérique [94] ; mais cet effet n'est significatif qu'au cas où l'apport préalable est faible (< 800 mg/j) : c'est pourquoi des apports dépassant des doses nutritionnelles (> 1,5 g/j) ne se justifient pas (tableau I), sauf cas particulier relevant de la prescription médicale. Une ingestion excessive de calcium, de façon prolongée, peut en effet conduire à l'hypercalciurie, la lithiase urinaire et la néphrocalcinose, et, au niveau digestif, inhiber l'absorption d'autres éléments minéraux, magnésium, zinc et fer notamment [65]. C'est pourquoi la LS a été fixée à 2 g/j (tableau I). L'ANC de calcium pour la personne âgée de plus de 60 ans est indissociable d'un apport suffisant en vitamine D et du maintien d'une exposition minimale au soleil [35].

### Sources alimentaires

L'absorption du calcium alimentaire étant estimée, dans des conditions physiologiques favorables (état des besoins, des réserves et des apports, régulations hormonales...), à 25 à 30 % du contenu intestinal, les lait et produits laitiers permettent d'atteindre les ANC, de même que les sels organiques (gluconate, lactate, citrate, citromalate) et minéraux (carbonate, chlorure, sulfate), contenus en particulier dans les eaux de boisson. L'absorption du calcium d'origine végétale, très répandue dans les légumes verts (tels que brocoli, salades), fruits séchés et graines oléagineuses, est parfois freinée par la présence de phytates (céréales complètes, légumineuses), qui une fois hydrolysés ne sont plus inhibiteurs, d'acide oxalique (épinard, oseille, betterave, cacao) ou de certaines pectines.

La biodisponibilité du calcium s'entend à la fois comme le degré d'absorption et celui de sa fixation dans l'os : celle-ci dépend à son tour de l'excrétion endogène fécale (calcium des sécrétions intestinales non réabsorbé) et du niveau d'excrétion urinaire, qui représente in fine le facteur quantitativement le plus important du bilan calcique et dépend souvent de la nature du régime alimentaire [66]. L'acidose métabolique chronique, qui est provoquée par un excès d'anions sulfate et chlorure alimentaires ou de protéines riches en acides aminés soufrés qui donnent des sulfates par oxydation, réduit la réabsorption tubulaire de calcium ; les régimes alcalogènes à base de légumes et de fruits, riches en potassium, ou de bicarbonates, peuvent constituer des facteurs neutralisants. L'excès de sodium induit une forte fuite urinaire de calcium, de 30 mg par fraction de 2 g de sodium alimentaire en excès [55].

### ■ Équilibre phosphocalcique

Un excès d'apport de phosphore peut à la longue, si l'apport de calcium est insuffisant ( $Ca/P < 1$ ), provoquer une hyperparathyroïdie secondaire et induire une perte de masse osseuse. Étant donné que l'apport alimentaire de phosphore est élevé en France (> 1,5 g/j) du fait de la forte consommation moyenne de produits carnés, produits laitiers et œufs, à laquelle s'ajoutent les phosphates présents dans les aliments comme additifs technologiques, et que l'efficacité de l'absorption est élevée (de 50 à 80 %), il est d'autant plus important de veiller à ce que l'apport de calcium soit, face à ce niveau de phosphore alimentaire, dans un rapport satisfaisant [55].

### ■ Magnésium [110]

Le magnésium est engagé en tant que cofacteur dans plus de 300 systèmes enzymatiques (phosphorylation oxydative, glycolyse, transcription de l'acide désoxyribonucléique [ADN] et synthèse

protéique) et dans la stabilisation membranaire. Mais les indicateurs d'une insuffisance d'apport sont inexistantes, puisque ses fonctions cellulaires sont ubiquitaires et que les teneurs sanguines ne sont modifiées qu'en cas de carence importante.

L'absorption a lieu surtout dans le grêle distal, avec un coefficient de 30 à 50 %, selon un processus passif et non saturable, qui s'apparente à celui évoqué dans le cas du calcium. L'homéostasie est essentiellement régulée par le processus de réabsorption tubulaire rénale.

### Recommandations (tableau XI)

Selon des études récentes avec isotopes stables, les besoins seraient de 5 mg/kg/j. Cette valeur est toutefois à majorer dans trois situations en particulier : en période de forte croissance, étant donné que 50 à 60 % du magnésium de l'organisme humain entretient dans la composition de l'os, dont une faible partie seulement est située à la périphérie du cristal osseux et donc échangeable ; en fin de grossesse, où existe un besoin supplémentaire évalué à 35 mg/j ; au cours de la lactation (+ 24 mg/j en moyenne). Compte tenu du degré d'absorption du magnésium dans la grossesse et des apports habituels dans la population française, il n'y a pas de justification à une supplémentation systématique de la femme enceinte [22]. Les ANC ont été fixés à 6 mg/kg/j pour l'adulte, mais cet apport correspondrait seulement au besoin moyen chez l'enfant et l'adolescent, dont les ANC ont été majorés pour cette raison de 25 mg/j par rapport aux précédentes recommandations [43]. Chez la personne âgée, les traitements médicamenteux, notamment les diurétiques, peuvent induire un déficit en magnésium incriminé dans diverses pathologies liées à l'âge (cardiopathies ischémiques, intolérance au glucose, accidents vasculaires cérébraux et infarctus du myocarde). L'hypermagnésémie, due souvent aux antiacides, est elle aussi dangereuse [35].

Si l'excès d'apport en magnésium alimentaire ne présente pourtant pas de risque toxique étant donné l'efficacité de l'élimination rénale, sont cependant considérées aux États-Unis comme limites supérieures, au-delà de l'ANC, des doses de 350 mg [38] et en France comme LSS une valeur de 700 mg [110] (tableau I), en particulier à cause des effets secondaires possibles sur le transit digestif.

### Sources alimentaires

La consommation d'aliments tels que produits céréaliers, légumes et fruits, et certaines eaux minérales, devraient suffire à prévenir ou corriger d'éventuels déficits, puisque, en France, la moyenne des apports se situe non loin des recommandations.

### ■ Fer [34]

Le fer, outre sa position centrale dans la molécule d'hémoglobine qui détermine sa forte teneur dans l'organisme, participe entre autres, en tant que cofacteur d'oxydoréduction, aussi bien au transport d'électrons dans la mitochondrie qu'au métabolisme des catécholamines et à la synthèse de l'ADN.

L'absorption du fer, essentiellement dans le segment proximal du grêle, est faible et fonction de nombreux facteurs. Le fer héminique, contenu dans l'hémoglobine et la myoglobine des aliments carnés, représente de 10 à 15 % du fer de l'alimentation de type occidentale ; il est capté par les cellules intestinales et absorbé dans une proportion de 25 %. Le fer non héminique, qui forme un pool absorbé par des mécanismes à la fois actifs et passifs, a un coefficient d'absorption très bas, qui peut cependant être stimulé par les acides organiques et en particulier la vitamine C, et par les protéines des viandes, riches en cystéine. Indépendamment de ces facteurs alimentaires, l'absorption peut être augmentée en cas de besoins et de faible niveau des réserves : de 10 à 12 % chez un adulte français bien nourri [49], elle monte à 15 à 20 % dans des populations dépourvues de réserves et peut passer en moyenne, chez des femmes enceintes non anémiques, de 12 % en début à 60 % en fin de grossesse [10]. Inversement, d'autres facteurs sont connus pour inhiber l'absorption du fer : les tannins, phytates et polyphénols (contenus dans le thé, le café et le son), le calcium (lors de l'excès de laitages) et le zinc en forte quantité [70].

L'hémochromatose idiopathique, maintenant détectée par test génétique [23] est une maladie liée à une mutation très répandue dans les populations occidentales (0,4 % d'homozygotes) qui facilite l'absorption du fer au-delà des besoins, provoquant insidieusement des surcharges en fer, se soldant à terme dans les cas aigus par des hépatotoxicités et des arrêts cardiaques (Brissot, in [5]). L'excès de fer, particulièrement en présence de vitamine C, peut augmenter le stress oxydatif par stimulation de la production de radicaux libres, qu'on implique actuellement dans la genèse et/ou le développement des grandes pathologies : c'est pourquoi la LS a été fixée à 28 mg/j, ce qui correspond à environ deux fois les ANC (tableau I).

La ferritine des tissus est la forme mobilisable des réserves du fer de l'organisme ; en outre, le fait qu'elle n'utilise ordinairement qu'une partie seulement de son potentiel de fixation des atomes de fer lui confère une capacité à s'opposer aux surcharges en fer et donc à une toxicité éventuelle, alors que l'hémosidérine représente la forme stable des réserves martiales, libérées en cas de carence. Le pool de fer de l'organisme (4 g et 2,5 g chez l'homme et la femme, respectivement) est l'objet d'une récupération quasi totale à partir des globules rouges, puisque l'élimination du fer n'est que de 1 à 2 mg/j : un apport alimentaire apportant l'équivalent après absorption est donc d'autant plus nécessaire [34].

#### Recommandations (tableau XI)

Une fois pris en compte le besoin moyen en fonction de l'âge (les besoins de la croissance sont considérables), du sexe (pertes menstruelles comprises entre 10 et 15 mg de fer par mois chez les femmes) et du coefficient d'absorption du fer, fixé à 10 % en moyenne, les apports conseillés s'établissent à 9 mg/j pour les hommes adultes et les adolescents, à 16 mg/j pour les femmes adultes non ménopausées et les adolescentes, à 7 mg/j pour les enfants de 1 à 3 ans, et 20 mg/j pour les femmes enceintes. Les risques d'accouchement prématuré et de naissances d'enfants de petit poids sont augmentés de 2,5 à trois fois dans le cas d'anémie ferriprive en début de grossesse [116]. La concentration de l'hémoglobine au premier examen prénatal est alors prédictive de l'issue défavorable de la grossesse ; en revanche, la baisse physiologique de l'hémoglobine en fin de grossesse n'a pas d'incidence sur le nouveau-né. Le bilan indique que le coût total en fer de la grossesse s'élève à 1 000 mg, fœtus compris. Les données sur l'apport moyen de fer en France (de 10 à 15 mg/j) indiqueraient que, étant donné son coefficient d'absorption, l'ensemble des femmes enceintes est exposé au risque de carence martiale, ce qui n'est évidemment pas le cas avec l'alimentation riche en produits carnés dont nous bénéficions en général par rapport à l'ensemble des autres pays. Il est maintenant établi que l'absorption du fer chez des femmes enceintes non anémiques est augmentée de trois à dix fois (selon la biodisponibilité du fer consommé), du fait de la grossesse [10]. On peut en déduire qu'une alimentation variée, de niveau énergétique suffisant (> 2 000 kcal/j) et sans exclusion de produit carné peut assurer les apports de fer nécessaires. Mais, dans le cas des adolescentes, des grandes multipares, des grossesses gémellaires, des femmes aux ménorragies importantes, des femmes qui ont une alimentation pauvre, déséquilibrée ou dépourvue de viande et de poisson, une supplémentation de 30 mg/j de fer est recommandée dès le début de la grossesse. Le cas des femmes allaitantes doit être traité de la même façon que celui des femmes enceintes [22].

Chez l'enfant né à terme, l'hémolyse physiologique représente une source importante de fer pendant les 3 premiers mois de vie, durant lesquels il n'est pas nécessaire de compléter, surtout lorsque l'enfant est nourri au lait maternel, dont le fer a une biodisponibilité dix fois supérieure à celui du lait de vache. Par la suite, les besoins exogènes sont de 1 à 2 mg/j, selon l'âge ; la déficience, l'une des plus fréquentes en France, touche de 20 à 30 % des enfants de 1 à 3 ans, surtout dans les populations défavorisées, avec des risques de sensibilité accrue aux infections et de perturbations cognitives [73], dont la réversibilité est encore en question [12].

Chez le sujet âgé, l'absorption du fer n'est pas diminuée et rien ne justifie une augmentation des ANC [35].

#### ■ Zinc [2]

Le zinc, dont on découvre régulièrement le nombre grandissant d'interventions dans les activités enzymatiques (plus de 200 actuellement), joue notamment un rôle essentiel dans toutes les étapes de la synthèse protéique, l'activation des acides ribonucléiques (ARN) et ADN polymérases, la synthèse des prostaglandines et une fonction antioxydante par sa position structurale dans la superoxyde dismutase, cuivre-zinc dépendante.

L'absorption du zinc est plus élevée dans le cas d'une alimentation riche en produits animaux, où elle peut atteindre 35 %, alors qu'elle n'est que de 15 % pour un régime pauvre en viande. Comme pour le fer, la présence d'acides la stimule, alors que le calcium et les phytates la freinent.

#### Recommandations (tableau XI)

Des apports de 6,5 et 9,4 mg/j, qui représentent les valeurs moyennes des besoins, respectivement pour les femmes et les hommes, sont suffisants avec une alimentation de type occidental ; les ANC, pour leur part, sont fixés à 11 et 14 mg/j. Au cours de la croissance, la carence en zinc provoque, outre une agnésie, un retard staturopondéral et pubertaire : pour autant, les précédents ANC ont été révisés à la baisse du fait de leur irréalisme [2].

L'intérêt d'une polysupplémentation à visée antioxydante dans la prévention des maladies cardiovasculaires et des cancers reste à démontrer [2]. La supplémentation sur le poids de naissance, la croissance et l'immunité ne s'est révélée efficace que dans les situations d'insuffisance, comme pour la plupart des micronutriments, et un excès de zinc (> 50 mg/j) est déconseillé à cause de ses effets anti-immunitaires et pro-oxydants. La LS a été fixée à une valeur légèrement supérieure à l'ANC (tableau I).

La viande, les œufs, les produits laitiers et les céréales sont les principales sources alimentaires d'apport de zinc [71], tandis que les fruits et légumes verts en sont plutôt pauvres.

#### ■ Cuivre [33]

Le cuivre, constituant de plusieurs métalloenzymes, intervient notamment dans la minéralisation osseuse, la régulation des neurotransmetteurs, l'immunité, le métabolisme du fer (synthèse de la transferrine), le métabolisme oxydatif du glucose, essentiel en particulier au fonctionnement du myocarde, et l'élimination des radicaux libres au travers du fonctionnement de la superoxyde dismutase. Cette enzyme, qui renferme 60 % du cuivre érythrocytaire, semble de ce fait un bon marqueur du statut en cuivre de l'organisme.

L'absorption intestinale du cuivre, à hauteur de 30 à 40 %, se fait en fonction des besoins à l'aide des métallothionéines entérocytaires. Le zinc ou le fer en excès, par compétition, les disaccharides et la vitamine C peuvent diminuer l'absorption, alors que les protéines la stimulent. Le cuivre est incorporé dans la céruloplasmine hépatique et libéré sous cette forme dans le sang pour être redistribué aux tissus. Le cycle entérohépatique porte sur plus de 90 % du cuivre absorbé.

#### Recommandations (tableau XI)

Les besoins précis sont difficiles à évaluer, mais on peut considérer qu'un apport de 1 à 2 mg/j chez l'adulte des deux sexes, y compris chez le sujet âgé, correspond à la fois aux besoins et aux apports réels [71].

Outre le foie et les légumes secs [82], les fruits et légumes, et le vin rouge sont de bonnes sources alimentaires de cuivre [33].

En deçà du niveau de toxicité aiguë, l'excès de cuivre (> 35 mg/j) (par exemple lors d'ingestion chronique de compléments surdosés) peut conduire, par une surproduction des radicaux libres de l'oxygène, à des peroxydations lipidiques et des dommages sur l'ADN [21].

#### ■ Iode [74]

L'iode a pour unique fonction d'être le constituant des hormones thyroïdiennes, triiodothyronine et tétra-iodothyronine ou thyroxine,

qui contrôlent dès la vie fœtale l'ensemble des processus de croissance et de maturation cellulaire, la thermogenèse et l'homéostasie glucidique et lipidique, et modulent la transcription des synthèses protéiques.

L'iode alimentaire est essentiellement présent dans les produits de la mer. C'est pourquoi la carence en iode est surtout fréquente dans les régions dont le sol est dépourvu d'iode (zones cristallines, au sous-sol non sédimentaire, en particulier), où elle donne lieu au crétinisme dans les cas les plus sévères et au goitre endémique par hypertrophie compensatrice de la thyroïde le plus souvent. Le niveau de gravité de la déficience se mesure à l'iode urinaire excrété, bon indicateur du statut parce que strictement proportionnel à l'iode ingéré et qui doit être supérieur à 100 µg/L pour être satisfaisant.

#### Recommandations (tableau XI)

Malgré l'enrichissement en iode d'une partie du sel de table et la présence dans les produits laitiers d'iode de désinfection des matériels de traite, la déficience n'est pas éradiquée en France, où elle subsiste chez les adultes des zones continentales ou cristallines, à hauteur de 30 à 40 %<sup>[120]</sup>, et peut être surtout préjudiciable chez les femmes enceintes et allaitantes, puisqu'une hypothyroïdie néonatale transitoire peut s'ensuivre : dans ces situations, les ANC ont donc été fixés à 200 µg/j alors qu'ils sont de 150 µg/j pour les autres adultes<sup>[74]</sup>. Une surveillance s'impose au cours de la grossesse ou chez le jeune enfant car la carence peut provoquer des anomalies sévères du développement cérébral et une mortalité infantile accrue si la teneur en iode de la thyroïde à la naissance est trop faible ; mais, inversement, un excès d'apport en iode au cours ou en fin de grossesse peut entraîner une hypothyroïdie (transitoire) chez le nouveau-né<sup>[12]</sup>. La LS a été fixée à 500 µg/j (tableau I).

La présence de substances compétitives, telles que les thiocyanates apportés par l'alimentation (dans les crucifères, comme les choux) ou par le tabagisme (y compris passif) peut augmenter l'hypothyroïdie. Les risques de carence ont suscité un regain d'intérêt en Europe du fait que de l'iode radioactif (<sup>135</sup>I) est libéré lors des fuites et explosions nucléaires, du type de l'accident qui a touché la centrale de Tchernobyl, et qu'il se fixe préférentiellement sur les thyroïdes déficientes, du fait de leur forte avidité pour l'iode, avec une probabilité accrue de cancer de la zone périphérique.

#### ■ Sélénium<sup>[41]</sup>

Le sélénium est métaboliquement actif sous la forme de sélénoprotéines, où le sélénium est substitué au soufre dans la cystéine (Se-Cys) : dans les quatre glutathion peroxydases, enzymes antioxydantes qui ont chacune à un niveau différent une fonction d'élimination des espèces réactives de l'oxygène ; dans les enzymes du métabolisme thyroïdien, désiodases de type I et III, qui désiodisent la tétra-iodothyronine en triiodothyronine ; dans la thiorédoxine réductase, qui a une fonction de régénération des formes réduites des vitamines C et E.

Il n'y a pas de mécanisme de régulation de l'absorption intestinale du sélénium, mieux absorbé cependant sous forme organique, comme dans les protéines. Bien qu'ils en constituent les sources alimentaires les plus riches (en ordre décroissant, les poissons, les œufs, puis, bien en dessous et à égalité, les viandes et les fromages), la biodisponibilité peut y osciller de 20 à 80 %.

Un apport quotidien de 1 µg/kg peut être considéré comme adéquat, y compris chez le sujet âgé. Une LS de 150 µg/j (tableau I), comportant un facteur de sécurité de dix, a été adoptée en France (Martin, in<sup>[5]</sup>).

#### ■ Fluor<sup>[3, 39]</sup>

De nombreuses études ont pu montrer qu'un apport régulier de fluor permettait de réduire de moitié la fréquence des caries dentaires chez l'enfant. Or, près de 95 % de la population française vit dans des régions où la teneur en fluor de l'eau de distribution est inférieure à 0,5 mg/L. La dose prophylactique est de 0,05 mg/kg/j et doit être maintenue pendant toute la période de

Tableau XII. – Effets des facteurs physicochimiques sur les teneurs en vitamines.

	Ultraviolets Lumière	Oxygène Air	Chaleur (cuisson)
<b>Liposolubles</b>			
Vitamine A/rétinoïdes	++	++	++
Vitamine D	++	++	0
Vitamine E	++	++	0
Vitamine K	++	+	(0)
<b>Hydrosolubles</b>			
Vitamine C	++	+++	+
Vitamine B <sub>1</sub>			++
Vitamine B <sub>2</sub>	+++	0	0
Vitamine PP	+	0	0
Vitamine B <sub>6</sub>	+		++
Vitamine B <sub>9</sub> /folates	++	++	++
- si présence de vitamine C en excès	(0)	0	0
Vitamine B <sub>12</sub>	+	(0)	+
Acide pantothénique	(0)	(0)	+

Effet délétère : 0 aucun ; (0) faible ; + moyen ; ++ élevé ; +++ très élevé.

dentition jusqu'à la fin de l'adolescence<sup>[12]</sup>. La LS chez l'adulte est située au-delà de 2,5 mg/j (tableau I). La supplémentation chez le jeune enfant doit impérativement tenir compte de la quantité de fluor de l'eau de boisson, dont l'excès conduit à des fluoroses osseuses, vertébrales en particulier, chez le nourrisson<sup>[3]</sup> : pour éviter ces risques, l'étiquetage de certaines eaux de source du nord et de l'est de la France, à forte teneur en fluor, devrait comporter une mention impérative de non-utilisation pour la confection des biberons.

Concernant la femme enceinte, la notion selon laquelle une supplémentation durant la grossesse aurait un intérêt est remise en cause car elle n'apporterait pas de protection statistiquement significative. De même, les auteurs américains et européens tendent-ils à ne préconiser la supplémentation qu'à partir de l'éruption de la première dent, et seulement si l'eau de boisson a une teneur faible en fluor (tableau XI). Cependant, cette attitude est sujette à débat, car il est vraisemblable que beaucoup d'enfants échapperont à cette introduction tardive. Par ailleurs, l'utilisation des dentifrices fluorés ne devrait pas intervenir avant l'âge de 3 ans, d'après l'Union française pour la santé buccodentaire, en raison d'une part de la supplémentation médicamenteuse et d'autre part de la déglutition d'une partie non négligeable du dentifrice par les enfants lors du lavage de dents. Les dentifrices à 250 ppm sont à recommander de fait pour les jeunes enfants. La LS est de 0,04 mg/kg/j (tableau I).

## VITAMINES

### ■ Présentation

Les vitamines (neuf hydrosolubles et quatre liposolubles) se définissent comme des substances organiques sans valeur énergétique, indispensables à l'organisme et que l'homme ne peut pas synthétiser (à l'exception dans une certaine mesure de la vitamine D et de la niacine) : elles doivent donc être apportées par l'alimentation<sup>[83]</sup>. La thiamine fut la première vitamine découverte (en 1910) à partir de l'observation d'un lien de cause à effet entre des symptômes pathologiques (le bériberi) et un élément retiré de l'alimentation (l'enveloppe dans le riz décortiqué).

Au-delà du nom, qui leur est commun, et de leur caractère essentiel, les vitamines ont des rôles, des mécanismes d'absorption, des sites de stockage et des modes d'élimination variés et souvent très différents. Elles sont plus ou moins sensibles aux conditions physicochimiques, lumière, température, oxydation (tableau XII) ; elles sont nécessaires en quantités allant de 1 µg par jour (vitamine B<sub>12</sub>) à 100 000 (vitamine C) µg par jour ; elles ont des niveaux de toxicité inexistantes (vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub>) ou au contraire relativement proches des ANC (rétinol, vitamine D). La solubilité dans l'eau des

Tableau XIII. – Apports nutritionnels conseillés (ANC) en vitamines pour la population française (d'après ANC 2001<sup>[11]</sup>).

	C*	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub> -PP	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>12</sub>	A	D	E	K
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	µg	µg	µg	ER	µg	mg	µg
Nourrissons	50	0,2	0,4	3	2	0,3	6	70	0,5	350	20-25	4	5-10
Enfants													
1-3 ans	60	0,4	0,8	6	2,5	0,6	12	100	0,8	400	10	6	15
4-6 ans	75	0,6	1	8	3	0,8	20	150	1,1	450	5	7,5	20
7-9 ans	90	0,8	1,3	9	3,5	1	25	200	1,4	500	5	9	30
10-12 ans	100	1	1,4 (G) 1,3 (F)	10	4	1,3	35	250	1,9	550	5	11	40
Adolescents													
13-15 ans	11	1,3	1,6	13	4,5	1,6	45	300	2,3	700	5	12	45
Adolescentes													
13-15 ans	110	1,1	1,4	11	4,5	1,5	45	300	2,3	600	5	12	45
Adolescents													
16-19 ans	110	1,3	1,6	14	5	1,8	50	330	2,4	800	5	12	65
Adolescentes													
16-19 ans	110	1,1	1,5	11	5	1,5	50	300	2,4	600	5	12	65
Hommes adultes	110	1,3	1,6	14	5	1,8	50	330	2,4	800	5	12	45
Femmes adultes	110	1,1	1,5	11	5	1,5	50	300	2,4	600	5	12	45
Personnes âgées ≥ 75 ans	120	1,2	1,6	14 (H) 11 (F)	5	2,2	50	330/400	3	700 (H) 600 (F)	10-15	20-50	70
Femmes enceintes	120	1,8	1,6	16	5	2	50	400	2,6	700	10	12	5
Femmes allaitantes	130	1,8	1,8	15	7	2	55	400	2,8	950	10	12	45
Variable de référence**	E	T <sub>2</sub>	E	E	E	T <sup>2</sup>	T <sup>2</sup>	T <sup>2</sup>	T <sup>2</sup>	E	-	E	-

\* un supplément de 20 % est conseillé pour les fumeurs de plus de dix cigarettes par jour.

\*\* référence du calcul de l'ANC dans la croissance : E = besoins en énergie ; T<sup>2</sup> = taille au carré.

vitamines hydrosolubles (vitamines B et C) les rend très fragiles à la cuisson en milieu aqueux et, dans l'organisme, accélère leur élimination urinaire sous forme de composés solubles, d'où un stockage et un risque de toxicité moindres que ceux des vitamines liposolubles ; de plus, cette solubilité facilite le passage transplacentaire, ce qui explique pourquoi le nouveau-né à terme dispose d'un taux circulant de vitamines hydrosolubles beaucoup plus élevé que celui de sa mère<sup>[9]</sup>, ce qui n'est pas le cas pour les vitamines liposolubles, dont l'insuffisance à la naissance pose ainsi souvent problème. Malgré la disparité de leurs fonctions métaboliques, la plupart des vitamines hydrosolubles (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, folates) sont impliquées dans des phénomènes d'oxydoréduction, de même que les vitamines C et E, et la provitamine A, ou β-carotène, qui ont une fonction antiradicalaire considérée comme remplissant un rôle préventif majeur.

C'est pourquoi les besoins en vitamines sont souvent difficiles à fixer, car entre les quantités de vitamines nécessaires pour faire disparaître les symptômes de carence, qui ont permis de les caractériser, et celles qui sont inutilement excédentaires, voire nocives, se situe un optimum d'apport, devant permettre la prévention la plus efficace, et qui n'est pas toujours connu avec certitude (fig 1). Les besoins ont été à l'origine déterminés par des études de déplétion-réplétion, mais d'autres approches méthodologiques peuvent maintenant en confirmer la validité : concernant les adultes hommes et femmes, le réexamen des ANC s'est fait sur la base de nouvelles données métaboliques, biochimiques et épidémiologiques, ces dernières issues notamment de l'étude SU.VI.MAX<sup>[69]</sup>. Les valeurs d'apport énergétique retenues correspondent à une activité physique modérée, considérée comme celles de sédentaires.

L'évaluation des besoins en vitamines, déjà difficile chez l'adulte, est encore plus problématique chez les enfants et adolescents. À la naissance, l'enfant présente toujours un statut biochimique correct, au moins pour l'ensemble des vitamines hydrosolubles, le fœtus humain se servant préférentiellement au détriment de l'organisme maternel. Mais passé les premières semaines de vie, il existe très peu de données spécifiques consacrées aux besoins en vitamines dans la croissance. La valeur déterminée pour l'adulte est par conséquent le seul point de repère expérimental dont on dispose le plus souvent. Un autre point de repère, celui constitué pour le nourrisson par la composition du lait maternel, peut aussi être utilisé. Ces deux valeurs (besoins établis chez l'adulte et teneur du lait maternel) ont

été prises comme référence et rapportées à différentes variables utilisées comme critères des besoins métaboliques dans la croissance (énergie, anthropométrie)<sup>[102]</sup>.

Les besoins concernant les femmes enceintes et allaitantes et les personnes âgées n'ont pas nécessité ce genre d'ajustement, parce qu'ils sont souvent mieux caractérisés.

#### ■ Vitamines hydrosolubles (tableaux II, XII, XIII)

##### Vitamine B<sub>1</sub> (thiamine)<sup>[85]</sup>

La thiamine est constituée d'un noyau pyrimidique bisubstitué, notamment par une fonction amine primaire, à l'origine du suffixe « amine » dans le terme vitamine.

Le TPP (tableau II) intervient en tant que cocarboxylase, conjointement avec le FAD (vitamine B<sub>2</sub>) et le NAD (vitamine B<sub>3</sub> ou PP), lors de la décarboxylation oxydative des acides α-cétoniques, destinés notamment à être oxydés dans le cycle tricarboxylique, dit de Krebs. Le TPP, dans la transcétolase, est un élément très actif de la voie des pentoses, moins rentable que la glycolyse pour la fourniture d'énergie, mais qui contribue à la synthèse des acides nucléiques (ribose 5-phosphate). Le triphosphate de thiamine aurait un rôle de neurotransmetteur, ce qui pourrait expliquer une partie des désordres neurologiques et cérébraux observés en cas de carence grave.

La thiamine est absorbée sous forme libre, par transport actif saturable, et par diffusion passive au-dessus d'une dose de 2,5 mg ; elle peut être liée dans la circulation à une protéine de transport (thiamine binding protein). Le foie, les muscles, les reins et le système nerveux sont les principaux sites de réserves, qui sont évaluées à 30 mg chez l'homme.

La carence en vitamine B<sub>1</sub>, ou béribéri, archétype de la maladie carencielle, connue depuis l'Antiquité, se présente sous deux formes cliniques distinctes, neuropathie périphérique ou insuffisance cardiaque. Associée le plus souvent à la dénutrition et à la malnutrition, la carence sévère se retrouve essentiellement, dans les pays industrialisés, chez les éthyliques, où l'alcool ajoute ses effets toxiques propres, et chez les grands dénutris. Elle reste fréquente en Asie du Sud-Est et dans les régions dépendantes du riz dépoli.

##### • Recommandations (tableau XIII)

Le rôle de la thiamine dans le métabolisme de l'alcool est en effet essentiel, de même que dans celui des glucides : les besoins sont en

**Tableau XIV. – Apports nutritionnels conseillés (ANC) en minéraux et vitamines pour l'activité physique et le sport (d'après les ANC 2001<sup>[61]</sup>, modifié).**

Minéraux et vitamines*	Sexe <sup>a</sup>	ANC <sup>b</sup>	Apport nutritionnel complémentaire <sup>c</sup>	Limite supérieure conseillée tous apports compris <sup>d</sup>
Fer (mg)	H/F	9/16	6	28
Zinc (mg)	H/F	12/10	1	15
Sélénium (µg)	H/F	60/50	30	150
Cuivre (mg)	H/F	2,0/1,5	0,6	3,5
Manganèse (µg)	H/F	1-2,5	0,6	3,5
Chrome (µg)	H/F	65/55	20	120
Iode (µg)	H/F	150	50	300
Thiamine (mg)	H/F	1,3/1,1	1,0 (1,5) <sup>e</sup>	10 <sup>d</sup>
Riboflavine (mg)	H/F	1,6/1,5	1,0	10 <sup>d</sup>
Niacine (mg)	H/F	14/11	2,5	30
Vitamine B <sub>6</sub>	H/F	1,8/1,5	1,0 (1,5) <sup>f</sup>	7,5
Acide folique (µg)	H/F	330/300	100	600 (1 000) <sup>f</sup>
Vitamine B <sub>12</sub> (µg)	H/F	2,4	1,5	5 <sup>d</sup>
Vitamine C (mg)	H/F	110	100	600
Vitamine A totale (µg)	H/F	800/600	200	1 800
dont β-carotène (µg)	H/F	2 400/1 800	1 000	8 400
Vitamine D (µg)	H/F	5 (10) <sup>g</sup>	4	20
Vitamine E (α-tocophérol) (mg)	H/F	12	12	50

\* pour les minéraux et vitamines non représentés ici, se reporter aux tableaux XI et XIII.

<sup>a</sup> valeurs pour un homme (H) de 70 kg et de 1,75 m, et une femme (F) de 55 kg et de 1,62 m, ayant une dépense énergétique de base de 2 200 kcal (H) et 1 800 kcal (F).

<sup>b</sup> ANC pour des sujets à pratique sportive modérée ou occasionnelle.

<sup>c</sup> coefficient représentant la quantité du nutriment à ajouter l'ANC de base (a) par 1 000 kcal supplémentaires dépensées.

<sup>d</sup> pour les vitamines qui n'ont pas de limite de sécurité définie par les effets secondaires, la limite indiquée ici est la limite « utile », correspondant à l'absorption maximale par jour.

<sup>e</sup> lors d'apports glucidiques élevés.

<sup>f</sup> lors d'apports protidiques élevés.

<sup>g</sup> apports conseillés de novembre à mars.

partie dépendants du niveau d'apport de ces derniers. La saturation tissulaire, qu'on peut estimer être la valeur des besoins, est obtenue avec des apports de 0,5 mg/1 000 kcal ; l'ANC est de 1,3 mg/j pour l'homme adulte à activité physique moyenne, avec un apport énergétique de 2 200 kcal/j (9,2 MJ/j), et de 1,1 mg/j chez la femme adulte, avec un apport énergétique de 1 800 kcal/j (7,5 MJ/j), et ne doit pas descendre en dessous de 1 mg/j. Si les besoins ou les apports énergétiques sont plus importants (pratique d'une activité physique ou sportive importante en particulier<sup>[62]</sup>), l'apport de thiamine doit être augmenté dans les mêmes proportions<sup>[85]</sup> (tableau XIV).

Chez la personne âgée, les capacités d'absorption active de la vitamine B<sub>1</sub> sont réduites et la surveillance d'un apport correspondant aux besoins (tableau XIII) est donc nécessaire.

#### • Sources alimentaires

Les principales sont les produits carnés et l'œuf, les céréales (complètes), les légumes et les fruits, et les produits laitiers. Mais la présence de thiamine dans les aliments est générale, bien que relativement faible. Le polissage du riz a entraîné une baisse importante des apports dans les pays forts consommateurs de cette céréale. Certaines crucifères, le thé, les crustacés et des bactéries peuvent contenir des antivitamines naturelles thermolabiles, les thiaminases, qui rendent la molécule inactive en la scindant en deux, et qui sont présentes aussi dans certains poissons consommés crus<sup>[59]</sup>.

#### Vitamine B<sub>2</sub> (riboflavine)<sup>[88]</sup>

La riboflavine a été découverte dans les années 1930. Ses formes actives sont le flavine mononucléotide (FMN) et le FAD (tableau II), qui interviennent en tant que coenzymes dans plus d'une centaine de réactions d'oxydoréduction, transferts d'électrons ou déshydrogénations, notamment dans le catabolisme des AG (β-oxydation), des acides aminés, des bases puriques, et dans le cycle

de Krebs et la chaîne respiratoire qui permettent la production aérobie d'énergie dans la cellule. Le métabolisme de la riboflavine est contrôlé par différentes hormones (thyroïdiennes et corticosurrénales) qui régulent sa conversion en FAD et FMN (tableau II).

La riboflavine est absorbée selon un processus rapide et proportionnel à la dose ingérée jusqu'à environ 25 mg. Dans les tissus, la riboflavine est présente sous forme coenzymatique liée à des protéines. Le foie, le cœur et le rein constituent les trois grands sites de réserve, estimée à 250-500 mg et pouvant durer de 2 à 6 semaines. L'élimination est essentiellement urinaire, de l'ordre de 200 µg par 24 heures environ, mais une faible élimination biliaire, fécale et sudorale est également observée.

#### • Recommandations (tableau XIII)

Des statuts biologiques marginaux ont été rapportés dans une population ayant des apports de 0,55 mg/1 000 kcal au 5<sup>e</sup> percentile<sup>[72]</sup>. Les ANC ont été fixés à 1,6 et 1,5 mg/j pour les hommes et femmes adultes, respectivement (tableau XIII).

La prévalence d'hypovitaminose B<sub>2</sub> chez la personne âgée est faible (de 0 à 15 %)<sup>[35]</sup>.

#### • Sources alimentaires

Les produits laitiers constituent la principale source de vitamine B<sub>2</sub> en France, mais les grandes classes d'aliments ont une teneur moyenne (de 0,1 à 0,5 mg) qui permet normalement de couvrir les besoins dans l'alimentation occidentale à condition qu'elle soit équilibrée<sup>[88]</sup>. La vitamine B<sub>2</sub> est très stable à la chaleur mais très sensible à la lumière (tableau XII).

#### Vitamine PP (B<sub>3</sub> ou niacine)<sup>[56]</sup>

Deux substances, dérivées d'un noyau pyridine substitué, possèdent l'activité biologique de la niacine : l'acide nicotinique et le nicotinamide qui fait partie intégrante de la structure de deux

coenzymes, le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) et le nicotinamide adénine dinucléotide phosphate (NADP) (tableau II). Ce sont des coenzymes d'oxydoréduction, des transporteurs d'électrons : le NAD est le premier maillon de la chaîne respiratoire et le NADH formé est immédiatement oxydé par une flavoenzyme ; le NADPH intervient dans les étapes de réduction nécessaires aux biosynthèses des AG, du cholestérol et de ses dérivés (hormones stéroïdiennes, acides biliaires).

Le nicotinamide peut être synthétisé à partir du tryptophane alimentaire, par la voie oxydative, en quantité proportionnelle au tryptophane disponible, dont on estime par approximation que 60 mg donnent 1 mg de nicotinamide ou équivalent niacine (EN).

Un apport insuffisant, tant de tryptophane que de niacine préformée, conduit au développement de la pellagre, nom qui désigne les signes cutanés (« peau rugueuse » et rouge, caractéristique de la photodermatose) caractéristiques de la carence en vitamine PP (pour *pellagra preventive factor*), mais en réalité syndrome de malnutrition plutôt que maladie carencielle spécifique et le plus souvent lié à une perturbation du métabolisme oxydatif du tryptophane : maladie de Hartnup, prise de certains médicaments, carence en vitamines B<sub>2</sub> ou B<sub>6</sub> (cofacteurs dans la synthèse du NAD et du NADP à partir du tryptophane), ou déficience (qualitative ou quantitative) en protéines [56]. La carence n'est observable qu'en cas d'apports nutritionnels très faibles, exceptionnels dans les pays occidentaux, mais pas dans les pays forts consommateurs de maïs, qui est très pauvre en tryptophane et où la niacine est incluse dans un complexe peu dissociable par les enzymes digestives, sauf lorsqu'il est traité, comme en Amérique latine, par de la chaux diluée. La pellagre a ainsi été d'abord décrite en Espagne par Casal, puis dans la plaine du Pô et dans le sud-ouest de la France [42]. Le tableau clinique classique associe des lésions cutanées et muqueuses, évocatrices de brûlures, des troubles neurologiques non spécifiques et des troubles digestifs, essentiellement à type de diarrhée. Les lésions sont parfois d'origine multiple (carence en protéines, en vitamine B<sub>12</sub>). Les lésions de la peau sur les zones exposées sont dues à une hypersensibilité aux rayonnements solaires.

#### • Recommandations (tableau XIII)

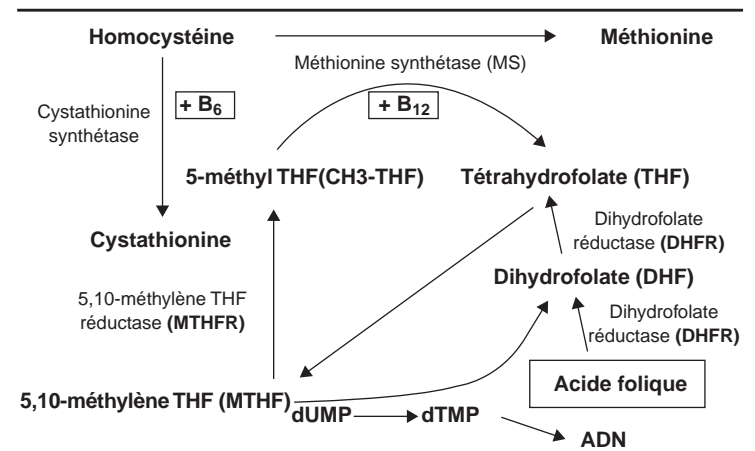
Aucun symptôme de pellagre n'a été observé, par la méthode de déplétion-réplétion, seule estimation des besoins disponible, avec un apport de niacine préformée ou de tryptophane compris entre 7,4 et 10,6 mg d'EN/j ; l'augmentation de l'excrétion urinaire des métabolites est obtenue avec une quantité d'EN de 11 à 13 mg/j, par conséquent suffisante pour prévenir la déplétion des réserves, et représentant donc les besoins. En conséquence, l'ANC a été fixé à 5 EN/1 000 kcal, soit 14 et 11 EN/j, respectivement pour les hommes et les femmes adultes, y compris au-dessus de 75 ans. Il existe peu d'informations sur les besoins en niacine des femmes en période de gestation ou d'allaitement.

#### • Sources alimentaires

La niacine des aliments est peu affectée par les divers processus technologiques : la cuisson aide même à la libérer du complexe glycosidique qu'elle forme dans les céréales et qui diminue sa biodisponibilité ; elle est très abondante dans les produits carnés, où elle se trouve sous forme de NAD et de NADP. En France, l'apport moyen de protéines par individu, estimé à 70 g, renferme une quantité de tryptophane supérieure en EN à l'ANC [56].

#### Acide pantothénique (vitamine B<sub>5</sub>) [56]

Il agit comme élément constitutif de la coenzyme A (CoA), et comme tel est indispensable dans le métabolisme des glucides, des acides aminés, des AG et dans la synthèse de stéroïdes et d'autres métabolites, en tant qu'élément de l'*acyl carrier protein*. La synthèse de CoA et du groupement prosthétique de l'*acyl carrier protein* dans les tissus à partir de l'acide pantothénique libre nécessite la présence de la cystéine : une carence en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) peut donc induire une carence secondaire en acide pantothénique [56].



2 Convergence des rôles des vitamines B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub> dans le métabolisme de l'homocystéine. ADN : acide désoxyribonucléique ; dTMP : désoxythymidylate ; dUMP : désoxyuridylate.

#### • Recommandations (tableau XIII)

Le statut peut être estimé par le dosage direct de l'acide pantothénique dans les urines : une excrétion urinaire moyenne de 2,6 mg/j, avec un apport moyen de 5 mg/j d'acide pantothénique, correspondant à celui de la population américaine (compris entre 4 et 7 mg/j), a permis de fixer l'ANC à 5 mg/j chez l'adulte, la carence étant exceptionnelle et aucune donnée n'étant disponible sur les besoins précis.

Les données actuellement disponibles chez la femme enceinte ne permettent pas de justifier une augmentation du besoin en acide pantothénique ; chez la femme allaitante, un apport supplémentaire de 2 mg/j est proposé afin de couvrir la quantité d'acide pantothénique présente dans le lait.

#### • Sources alimentaires

Ubiquitaire, d'où son nom, l'acide pantothénique n'est cependant synthétisé que par les plantes et les micro-organismes. Surtout présent dans les aliments sous forme de CoA, sa biodisponibilité moyenne est voisine de 50 %. Il est abondant dans les produits alimentaires d'origine animale (viandes, poissons, œufs), et très sensible à la chaleur (tableau XII) et à l'entraînement par l'eau de cuisson.

#### Vitamine B<sub>6</sub> [58]

Initialement noyau pyridine substitué, la vitamine B<sub>6</sub> existe sous la forme de six composés, dont la pyridoxine, le pyridoxal 5'-phosphate (PLP) (tableau II) et la pyridoxamine 5'-phosphate, dont la première est présente dans les produits végétaux et les deux autres dans les tissus animaux. Le PLP est la coenzyme d'une centaine d'enzymes participant au métabolisme des acides aminés, telles que les aminotransférases et les décarboxylases (tableau II). Ces dernières catalysent la formation de nombreux médiateurs à partir d'acides aminés précurseurs. Le PLP est aussi le cofacteur de la δ-aminolévulinate synthétase qui catalyse la première étape de la biosynthèse de l'hème et de deux enzymes régulant la voie de transsulfuration de l'homocystéine en cystéine, la cystathionine β-synthétase (fig 2) et la cystathioninase. Enfin, c'est la coenzyme dans deux réactions de la synthèse de la niacine à partir du tryptophane.

La vitamine B<sub>6</sub> est absorbée dans l'intestin grêle par un mécanisme de diffusion passive non saturable, si bien que des doses élevées peuvent être facilement absorbées : l'excrétion urinaire est la voie d'élimination en cas de surcharge. Dans le plasma, le PLP est lié à l'albumine. Les réserves corporelles sont estimées entre 60 et 100 mg chez l'adulte jeune.

Les signes et symptômes cliniques observés lors de la carence ne peuvent être considérés comme spécifiques.

#### • Recommandations (tableau XIII)

Compte tenu de la variabilité interindividuelle importante des études de déplétion-réplétion, utilisées précédemment, les besoins

en cette vitamine ont été estimés pour les ANC 2001 à partir des données de l'enquête SU.VI.MAX<sup>[58]</sup> : avec une valeur seuil du PLP circulant de 30 nmol/L, un apport de 1,5 mg/j de vitamine B<sub>6</sub> apparaît comme légèrement supérieur au besoin moyen. L'ANC a donc été fixé, avec un coefficient de variation de 10 %, à 1,8 mg/j pour les hommes et à 1,5 mg/j pour les femmes. Les ANC en vitamine B<sub>6</sub> sont souvent définis par référence à la quantité de protéines ingérées, leur augmentation conduisant à une modification des indicateurs du statut en cette vitamine, effet logique (mais non exclusif) compte tenu de son rôle dans le métabolisme des acides aminés.

Un apport supplémentaire de 0,5 mg/j de vitamine B<sub>6</sub> devrait couvrir les besoins de la femme enceinte. Il en est de même pour l'allaitement. De ce fait, l'apport conseillé est de 2 mg/j.

De nombreuses enquêtes épidémiologiques ont mis en évidence l'importance du risque de déficience en vitamine B<sub>6</sub> à expression biologique chez la personne âgée. Outre le vieillissement, plusieurs facteurs semblent impliqués dans l'altération de ce statut, en particulier l'apport alimentaire insuffisant et la consommation de certains médicaments (isoniazide, dihydralazine, pénicillamine) indiquent néanmoins que les sujets âgés ont un besoin en vitamine B<sub>6</sub> supérieur à celui de jeunes adultes<sup>[58, 72]</sup>, ce qui conduit à un ANC de 2,2 mg/j au-dessus de 75 ans.

- *Sources alimentaires*

La vitamine B<sub>6</sub> est présente dans la plupart des aliments ; elle est abondante dans les viandes et produits carnés, l'œuf et les choux. Sa biodisponibilité se situe entre 70 et 80 %.

- *Biotine ou vitamine B<sub>7</sub>*<sup>[57]</sup>

La biotine doit son nom au fait qu'elle est un des facteurs « biologiques » nécessaires à la croissance des levures. Elle joue le rôle de coenzyme de quatre carboxylases impliquées dans le métabolisme intermédiaire, dont la pyruvate carboxylase (première enzyme de la néoglucogenèse) et l'acétyl-CoA carboxylase (première enzyme de la lipogenèse, transformant l'acétyl-CoA en malonyl-CoA). Le nouvel intérêt suscité par cette vitamine est lié à la mise en évidence du rôle central qu'elle joue dans certaines maladies métaboliques caractérisées par un déficit en carboxylases.

La majeure partie de la biotine alimentaire se trouve en partie liée aux protéines sous forme de biocytine, hydrolysée au cours du métabolisme par la biotinidase, ce qui permet le recyclage de la biotine et explique que la carence soit rare, hors situation pathologique spécifique (défaut en biotinidase).

L'absence totale de signes de déficience dans les populations suggère que l'apport moyen, évalué à 50-100 µg/j en Europe, peut être considéré comme couvrant les besoins, et donc comme l'ANC pour l'adulte. Les données disponibles ne permettent pas de conclure à une augmentation du besoin chez la femme enceinte ; au cours de l'allaitement, la quantité de biotine excrétée dans le lait représente 5 µg/j, largement assurée par l'alimentation.

La biotine est largement répandue dans la nature et dans les aliments, bien que sa teneur soit mal connue : celle du foie est de l'ordre de 100 µg/100 g, alors que celle des fruits et de la viande est de l'ordre de 1 µg/100 g.

- *Acide folique (vitamine B<sub>9</sub>)*<sup>[103]</sup>

L'acide folique est l'acide ptéroylmonoglutamique mais, dans les aliments, la plus grande partie se trouve sous forme de polyglutamates (de deux à sept résidus glutamates), dénommés folates.

Pour être active, la molécule doit être réduite en di-, puis en tétrahydrofolate (THF) (tableau II) par la dihydrofolate réductase (fig 2).

Son rôle est de fixer et de transférer des radicaux monocarbonés, dont le méthyle et le formyle (le 5-CHO-THF, ou acide folinique est la seule forme stable à l'air) (tableau XII).

Le méthyltétrahydrofolate (MTHF ou CH<sub>2</sub>-THF) peut être utilisé pour la synthèse du désoxythymidylate (dTTP) ou être réduit en

méthyltétrahydrofolate (CH<sub>3</sub>-THF) par la méthyltétrahydrofolate réductase (MTHFR) et servir notamment à la méthylation de l'homocystéine en méthionine, avec la vitamine B<sub>12</sub> comme cotransporteur (fig 2) ; ces deux réactions se sont pas réversibles. L'hyperhomocystéinémie, même légère, constitue un facteur de risque d'atteinte des parois vasculaires, quels que soient les territoires considérés<sup>[16]</sup>. Le rôle de l'acide folique dans la prévention des maladies cardiovasculaires a été récemment mis en avant, du fait que de nombreuses études ont établi une corrélation inverse entre le niveau de folates circulants et l'homocystéinémie ; si son rôle dans le métabolisme cérébral et nerveux est bien reconnu (synthèse des neuromédiateurs), il est encore en question dans la prévention des processus tumoraux, du côlon en particulier<sup>[89]</sup>.

Il participe à la dégradation de l'histidine en formiminoglutamate et à la synthèse des purines, et donc des acides nucléiques. Dans la synthèse du dTMP (nucléotide pyrimidique spécifique de l'ADN), le THF est oxydé en son précurseur inactif, le dihydrofolate (fig 2) : les analogues structuraux, tels que le méthotrexate, utilisés dans les traitements anticancéreux à forte dose ou anti-inflammatoires à faible dose, entrent en compétition avec cette forme.

L'absorption de l'acide folique se fait dans le jéjunum, après déconjugaison des polyglutamates, et réduction et méthylation de la molécule. Le CH<sub>3</sub>-THF, qui est la forme de transport prédominante, doit, pour intégrer le cycle folique cellulaire, être déméthylé grâce à la présence de vitamine B<sub>12</sub> (fig 2), ce qui explique l'étroite interdépendance entre ces deux vitamines. Le cycle entérohépatique représente une voie importante de redistribution de l'acide folique aux tissus périphériques. Les réserves de l'organisme, estimées entre 5 et 10 mg, s'épuisent en 4 mois en moyenne<sup>[67]</sup>. Le foie en renferme la moitié environ ; le reste, essentiellement dans les globules rouges, peut être recyclé.

La carence provoque un ralentissement des mitoses, avec des troubles de la lignée rouge (anémie macrocytaire normochrome), de l'immunité ou de la muqueuse intestinale, entraînant des troubles observés notamment chez l'enfant nourri exclusivement au lait de chèvre<sup>[98]</sup>, très pauvre en folates<sup>[47]</sup>. La déficience peut être due à une alimentation déséquilibrée ou peu diversifiée, notamment avec les régimes hypocaloriques spontanés. Certains facteurs peuvent l'aggraver, comme la contraception hormonale, les grossesses répétées ou gémellaires et l'allaitement, mais aussi la consommation excessive de tabac et d'alcool et, plus rarement, les hémorragies chroniques (parasitoses), les hémoglobinopathies, les altérations profondes et/ou chroniques de la muqueuse intestinale, les traitements antiépileptiques (hydantoïnes, valproate).

Les sujets présentant la mutation 677C→T sur la MTHFR ont un besoin accru en folates. Cette mutation est exceptionnellement élevée dans la population française métropolitaine (plus de 14 % d'homozygotes et de 45 % d'hétérozygotes<sup>[28]</sup>).

- *Recommandations (tableau XIII)*

Au vu du rôle de l'acide folique dans la prévention de l'hyperhomocystéinémie, ce critère a été retenu pour déterminer les besoins sur une population, c'est-à-dire les ANC. Les valeurs d'apport de folates ont ainsi été recherchées sur un sous-échantillon (n = 1 200) de l'étude SU.VI.MAX<sup>[69]</sup> situé en dessous d'un seuil de risque de 10 µmol/L d'homocystéine : elles étaient de 330 µg/j pour les hommes et de 276 µg/j pour les femmes ; mais, compte tenu des risques d'anomalies embryonnaires en tout début de grossesse, l'apport conseillé a été porté pour les femmes à 300 µg/j. Une étude récente confirme l'intérêt d'atteindre ces valeurs d'apport dans une population adulte pour diminuer les risques d'accidents coronariens<sup>[123]</sup>.

- *Acide folique et grossesse*

Étant donné le rôle-clé de l'acide folique dans la synthèse de l'ADN et de l'ARN, un apport suffisant est impératif dans la grossesse, notamment dans ses premières phases, du fait de l'expansion des tissus maternels (sang, utérus et annexes) et des risques d'une insuffisance d'apport en folates, même modeste, sur le dévelop-

pement embryonnaire (défaut de fermeture du tube neural) au cours des premières semaines de la grossesse. Leur récurrence est fortement abaissée chez les mères supplémentées en acide folique dès avant la conception<sup>[97]</sup>, ce qui indiquerait que la déficience en folates révèle une sensibilité génétique. La mutation C677T de la MTHFR pourrait être au moins en partie à l'origine de cette anomalie<sup>[121]</sup>, de même qu'à celle des avortements spontanés à répétition<sup>[107]</sup>, et des becs-de-lièvre ou des fentes palatines<sup>[95]</sup>; par ailleurs, la supplémentation en acide folique dans la grossesse peut augmenter le poids du nouveau-né en cas de déficience relative et le retard de croissance intra-utérin s'accompagne d'un déficit des réserves en folates du nouveau-né<sup>[48]</sup>. La diminution des folates plasmatiques observée au cours de la grossesse, plus prononcée que celle des folates érythrocytaires<sup>[68]</sup>, s'explique donc par une utilisation accrue de la vitamine.

En France, entre 2 et 5 % des femmes à l'âge de l'activité génitale présentent un risque élevé de déficience en folates et 25 % un risque modéré<sup>[72]</sup>. Entre 25 et 65 % des femmes enceintes, selon les régions et probablement les conditions de vie ou les habitudes alimentaires, reçoivent moins de 250 µg/j d'acide folique<sup>[104]</sup>, alors qu'une enquête (américaine) indique que les risques d'hypotrophie sont alors doublés, et que certains auteurs préconisent de ce fait un apport minimal de 400 µg/j pour éviter tout risque dans la grossesse.

Étant donné que le risque majeur se situe en tout début de grossesse, l'apport supplémentaire pour la femme enceinte en général, et pour la femme allaitante, a été fixé à 100 µg/j, et non à 200 µg/j comme précédemment<sup>[43]</sup>, ce qui porte l'ANC à 400 µg/j dans ces situations (tableau XIII).

L'acide folique ayant un rôle majeur dans les fonctions cognitives<sup>[80]</sup> et la réparation de l'ADN, l'ANC a été fixé à 400 µg/j pour les sujets âgés, ce qui est loin de représenter les apports réels, et nécessite des mesures prophylactiques, au moins en institution.

- Sources alimentaires

Les folates sont apportés pour presque les deux tiers par les légumes (verts) mais les fromages (surtout affinés, de type bleu ou camembert) en sont une bonne source, ainsi que les œufs, le foie, les graines en général (blé, riz, maïs, châtaigne, pois chiche, noix, amandes) et leurs dérivés, et les fruits (oranges, bananes, fruits rouges)<sup>[112]</sup>. Les folates sont sensibles à la chaleur, à la lumière, à l'oxydation (dont ils sont protégés par l'acide ascorbique dans les aliments et les tissus) (tableau XII); comme pour les autres vitamines hydrosolubles, l'ébullition est d'autant plus néfaste que les aliments sont épluchés ou fractionnés. La capacité de déconjugaison des polyglutamates alimentaires par la  $\gamma$ -carboxypeptidase intestinale, qui conditionne son absorption, définit la biodisponibilité digestive de la vitamine « naturelle », qui se situe entre 60 et 100 % pour une alimentation à base de fruits et de légumes<sup>[24]</sup>.

Concernant les risques éventuels liés à l'hyperhomocystéinémie, et étant donné que chacun ignore s'il est porteur ou non de la mutation de la MTHFR qui induit une augmentation des besoins en folates, les forts consommateurs de viandes, riches en acides aminés générateurs d'homocystéine, doivent veiller à avoir un apport important en légumes et fruits.

### Vitamine B<sub>12</sub><sup>[54]</sup>

Les cobalamines appartiennent à la famille des corrinoïdes, qui sont caractérisés par un noyau tétrapyrrole lié à un atome de cobalt. Il existe plusieurs vitamines de la vitamine B<sub>12</sub>, mais seuls le méthylcobalamine et l'adénosylcobalamine sont les coenzymes actifs chez l'homme. Ils interviennent dans des réactions de transfert dont l'exemple type est la conversion (mitochondriale) du méthylmalonyl-CoA en succinyl-CoA; la méthylcobalamine est le cotransporteur du méthyle apporté par le CH<sub>3</sub>-THF dans la réaction de synthèse de la méthionine à partir de l'homocystéine (fig 2).

L'absorption digestive de la vitamine B<sub>12</sub>, dans l'iléon distal, est un processus complexe qui se déroule en plusieurs étapes et qui nécessite d'abord la coupure de sa liaison avec les protéines

alimentaires, essentiellement sous l'effet de l'acidité gastrique, et la liaison à une autre protéine (le facteur intrinsèque [FI] synthétisé par les cellules pariétales gastriques), puis l'endocytose du complexe FI-vitamine B<sub>12</sub> dans l'entérocyte, médiée par un récepteur spécifique. De nombreuses pathologies (pancréatiques ou intestinales, innées ou acquises) et plusieurs médicaments, ainsi que les contraceptifs oraux et l'alcool, sont susceptibles de perturber ce mécanisme.

La carence est rare : le symptôme majeur en est l'anémie macrocytaire normochrome, non spécifique cependant puisque observée aussi dans la carence folique, de même que les atteintes psychiatriques (dépression, troubles de la mémoire, irritabilité, insomnie). Les signes neurologiques (polyneuropathie, troubles de la sensibilité, de la marche) sont plus spécifiques.

À l'exception des anomalies génétiques et/ou congénitales, affectant la capacité d'absorption (production du FI diminuée, atrophie gastrique), aboutissant à la maladie de Biermer, et de la présence d'hypo- ou d'achlorhydrie liée au vieillissement, la carence en B<sub>12</sub> reste rare dans la population générale du fait que les apports alimentaires excèdent, en moyenne, largement les apports conseillés et que les réserves de l'organisme ne s'épuisent qu'en plusieurs années.

- Recommandations (tableau XIII)

Des études récentes ont permis d'évaluer, avec une biodisponibilité de la vitamine de 40 %, le besoin à 2 µg/j et l'ANC à 2,4 µg/j. Les carences en vitamine B<sub>12</sub> au cours de la grossesse ont été surtout décrites dans des populations de végétariens stricts (ou végétaliens). Les besoins se montent à 2,6 µg/j au cours de la grossesse (besoins de la mère de 2,4 µg et besoins du fœtus de 0,2 µg) et à 2,8 µg/j en période d'allaitement (excrétion quotidienne dans le lait de 0,4 µg). Les femmes ayant une alimentation de type végétalien doivent impérativement recevoir une complémentation en vitamine B<sub>12</sub> pendant la période de la grossesse et de l'allaitement. De même, lorsqu'il existe un contexte de défaut de fermeture du tube neural, une supplémentation en vitamine B<sub>12</sub>, conjointement à celle bien établie en folates, mériterait d'être évaluée.

Concernant la personne âgée, l'augmentation de l'incidence des gastrites atrophiques peut être responsable d'une malabsorption provoquée par un défaut de libération de la vitamine B<sub>12</sub> de son support protéique. Il est donc indispensable de surveiller le statut en vitamine B<sub>12</sub> chez le sujet âgé, notamment lorsqu'il est en institution<sup>[54]</sup>, avec un ANC qui a été conservé à 3 µg/j<sup>[35]</sup>.

- Sources alimentaires

La vitamine B<sub>12</sub> est présente uniquement dans les aliments d'origine animale. Les sources principales en France en sont les produits carnés et les poissons (85 %), et les œufs et produits laitiers (15 %). Elle est sensible à la lumière, à la chaleur et à l'humidité, donc à la cuisson (tableau XII).

### Vitamine C<sup>[15]</sup>

Cycle lactone, associé à une fonction énolique hydroxylée, l'acide ascorbique est une molécule très oxydable (tableau XII). Elle peut prendre la forme réduite (acide ascorbique) ou oxydée (acide déhydroascorbique), en équilibre réversible dans les tissus, ce qui en fait le meilleur agent antioxydant hydrosoluble. Toutes ses fonctions font intervenir l'échange d'un ou deux protons au bénéfice de la molécule de substrat; elles ont lieu dans deux grands types de réactions :

- les réactions d'hydroxylation, nécessaires à la synthèse du collagène (lysine et proline), des catécholamines (dihydroxyphénylalanine et noradrénaline) et de la carnitine, essentiellement;

- les réactions d'oxydoréduction, où elle joue principalement un rôle de réducteur (réduction des nitrites, et du fer ferrique en fer ferreux...).

De plus, elle intervient comme piègeur de radicaux libres ou, au contraire, comme producteur du radical hydroxyle en présence de fer, dans un contexte bien spécifique tel que celui de la réaction inflammatoire.

L'absorption se fait dans l'iléon, par transport actif, puis diffusion passive aux fortes doses, saturable cependant au-dessus de 3 g. La forme circulante est pour 80 à 95 % l'acide ascorbique. Pour des apports de 200 mg à 1 g en une prise, les concentrations plasmatiques atteignent progressivement la saturation ; à partir de 1 g, la quasi-totalité de la vitamine est excrétée par voie urinaire sans modification, à la suite d'une saturation des transporteurs intestinaux et réabsorption rénale de la vitamine [15].

Les réserves sont estimées à 1,5 à 2 g, situées principalement dans le foie et les muscles, bien que la teneur par gramme de l'hypophyse, de l'œil, des corticosurrénales, des plaquettes et des globules blancs soit plus élevée [83].

Le syndrome spécifique de carence en vitamine C est le scorbut, qui se manifeste par des œdèmes et des hémorragies, notamment buccales et osseuses, très douloureuses. Lorsqu'elle est totale et durable (apport inférieur à 10 mg/j pendant plusieurs mois), cette carence entraîne la mort. Le scorbut est devenu exceptionnel dans les pays industrialisés, la déficience simple est sans doute plus fréquente et peut toucher les alcooliques, les personnes âgées, les individus atteints de malabsorption chronique [15].

#### • Recommandations (tableau XIII)

Les études de déplétion-réplétion indiquent qu'un apport de 100 mg/j de vitamine C est la quantité présentant à la fois une biodisponibilité optimale (absorption presque totale et excrétion urinaire très faible) et une saturation des tissus avec le leucocyte comme marqueur des réserves. Mais, pour un même apport alimentaire, les variations dans les concentrations plasmatiques en fonction du sexe, de l'âge et d'autres facteurs, tels que le tabagisme, l'état de santé, le stress etc sont importantes. En tenant compte des fonctions de la vitamine C liées à son pouvoir antioxydant, on peut estimer que la concentration plasmatique de 60 µmol/L (environ 10 mg/L) est optimale par rapport aux risques de développement de maladies dégénératives (maladies cardiovasculaires, cancers, cataracte, maladies neurodégénératives). Les apports alimentaires permettant de l'atteindre sont inférieurs à 100 mg/j dans les deux sexes et correspondent aux besoins. Compte tenu de la forte variabilité dans les apports, inhérente à toute population, l'ANC retenu a été de 110 mg/j pour l'adulte homme et femme de moins de 60 ans.

Au cours du vieillissement, une diminution des teneurs plasmatiques de vitamine C apparaît plus rapidement chez l'homme que chez la femme, mais les concentrations de saturation chutent de manière égale, de 10 à 15 µmol/L (de 2 à 3 mg/L) dans les deux sexes. Cela serait essentiellement dû à un stress oxydant plus élevé chez le sujet âgé, qui entraînerait une utilisation accrue de l'acide ascorbique : c'est pourquoi l'ANC a été porté à 120 mg/j. Cependant, les apports journaliers sont généralement satisfaisants et le statut biologique normal chez le sujet sain [15].

#### • Sources alimentaires

Les besoins en vitamine C sont facilement couverts avec une alimentation comportant trois fois par jour des fruits et légumes, si l'on privilégie la cuisson des légumes à la vapeur ou sous pression. Les aliments couramment consommés et riches en vitamine C sont les agrumes, les fruits rouges, les choux, le kiwi, les légumes en général et la pomme de terre.

Sa biodisponibilité est pratiquement totale, mais la molécule est très sensible à l'oxydation et à la chaleur, surtout en présence d'eau (tableau XII).

#### ■ Risques d'excès et limites de sécurité (LS et LSS) des vitamines hydrosolubles (tableau I)

C'est dans l'estomac que les vitamines sont libérées de leur support alimentaire ou dégradées en vitamines libres lorsqu'elles sont sous

forme de dérivés complexes. Elles sont ensuite absorbées dans le jéjunum, ou l'iléon (vitamines C et B<sub>12</sub>), par un mécanisme de transport actif, saturable, agissant contre un gradient de concentration, et nécessitant énergie et transporteur. C'est le cas pour toutes les vitamines hydrosolubles, à l'exception de la niacine, dont l'absorption ne nécessite pas d'énergie (nommée « diffusion facilitée ») et de la vitamine B<sub>6</sub>, dont l'absorption se fait par diffusion passive, proportionnelle à la concentration de la vitamine de part et d'autre de la membrane de la cellule intestinale [83] ; à l'exception de la B<sub>12</sub>, toutes les autres vitamines hydrosolubles peuvent être absorbées de cette manière, lorsque le transport actif est saturé. La « toxicité » relative des vitamines hydrosolubles est soit en partie liée au mode d'absorption, favorisant plus ou moins leur passage dans l'organisme en quantité massive, comme pour la vitamine B<sub>6</sub>, soit à un déséquilibre induit par une quantité excessive de l'une par rapport à une autre, qui lui est métaboliquement liée, comme dans le cas des vitamines B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub>.

#### Vitamines sans risques toxiques : vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>12</sub>

Elles sont définies comme celles pour lesquelles les experts n'ont pas jugé nécessaire de fixer une « dose limite de sécurité » à la consommation alimentaire journalière [5], mais dont le surdosage n'apporte aucun bénéfice.

#### Vitamines présentant des risques : vitamines B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, C

L'acide nicotinique a un effet hypolipémiant lorsqu'il est administré per os à une dose de 1 g/j ; à une dose aussi faible que 100 mg, il entraîne une vasodilatation cutanée (*flush*), ce qui n'est pas le cas pour le nicotinamide. L'ingestion de doses égales ou supérieures à 750 mg a des effets toxiques sur de nombreux organes dont le foie. La LS a été fixée en France à 33 mg/j [5], en plus de l'apport alimentaire courant (et donc la LSS est de 45 mg/j) (tableau I).

L'utilisation thérapeutique de fortes doses de vitamine B<sub>6</sub> est susceptible de déclencher des désordres neurologiques et des perturbations mnésiques, du fait que l'absorption passive de la B<sub>6</sub> est plus élevée que pour les autres vitamines hydrosolubles. Une polynévrite sensorielle a été décrite avec une surcharge importante et prolongée de 2 à 6 g/j de pyridoxine pendant 2 à 40 mois, et même avec des doses moindres (200 mg/j) ; l'ingestion régulière de 50 mg/j serait même capable de déclencher des neuropathies, disparaissant en 6 mois après cessation du traitement [5]. La LS est à 5 mg/j, qui, ajoutée à une consommation habituelle équivalente à l'ANC moyen (1,9 mg/j) aboutit à une LSS arrondie à 7 mg/j (tableau I).

L'ingestion d'acide folique n'atteint un seuil de risque qu'à la dose de 5 mg/j, avec apparition de phénomènes neurologiques apparentés à ceux observés lors de la carence [38]. Avec un coefficient de sécurité de 5, la LS et la LSS, identiques puisque les folates alimentaires ne présentent pas d'effet nocif, sont de 1 mg/j (deux à trois fois la valeur de l'ANC) (tableau I). Une dose plus élevée risque, chez les individus porteurs d'une carence en vitamine B<sub>12</sub> par défaut d'absorption, d'en faire disparaître les signes hématologiques, seuls manifestes, et de masquer le développement des atteintes neurologiques irréversibles dues à la carence en vitamine B<sub>12</sub> [5].

La LS associée à la consommation de vitamine C, fixée en 1996 à 1 000 mg/j [5], en plus de l'alimentation (LSS = 1 100 mg/j) (tableau I), est controversée, mais se situe de toute façon au-delà de 500 mg/j. Les risques liés à l'excès sont :

- la formation de calculs rénaux à partir de l'oxalate, dérivé métabolique de l'acide ascorbique ;
- l'accumulation de fer chez le sujet atteint d'hémochromatose, du fait d'une augmentation de l'absorption ;
- l'activité pro-oxydante de la vitamine C, suggérée récemment pour des doses de 500 mg/j ;
- l'effet sur le tube digestif de l'acidité de l'acide ascorbique [15] ;
- le risque d'accoutumance à la vitamine C et de déficience ponctuelle lors d'un arrêt de la supplémentation.

Quoiqu'il en soit, au-delà d'un apport de 1 g, la quasi-totalité de la vitamine est excrétée par voie urinaire sans modification, et aucune étude n'a pu montrer d'actions thérapeutiques de la vitamine C, même après ingestion de mégadoses : les nouveaux apports conseillés sont calculés pour permettre l'action antioxydante préventive potentielle de la vitamine [15].

### ■ Vitamine C et tabagisme

Le tabagisme est associé à une baisse des concentrations plasmatiques et leucocytaires de vitamine C, plus marquée chez l'homme que chez la femme. Cela s'explique à la fois par la faible consommation de vitamine C des fumeurs, qui délaissent les fruits et les légumes, et par la durée de vie plus courte (- 40 %) de l'acide ascorbique, en raison des espèces radicalaires présentes dans la fumée (en particulier le radical nitroxy) ou des réactions inflammatoires. Les fumeurs doivent donc veiller à consommer à chaque repas des fruits et des légumes, riches en vitamine C, mais également vecteurs d'autres substances antiradicalaires, tels que les caroténoïdes, les polyphénols et les folates, plutôt que d'utiliser une supplémentation médicamenteuse qui risque d'entraîner des interactions avec les espèces radicalaires contenues dans la fumée de cigarette [15].

### ■ Vitamines liposolubles (tableaux I, II, XII, XIII)

#### Vitamine A [8]

La vitamine A se répartit dans l'alimentation entre la vitamine A préformée (rétinol et rétinyl esters d'origine animale) et les caroténoïdes provitaminiques A ( $\alpha$ - et  $\beta$ -carotènes,  $\beta$ -cryptoxanthine), essentiellement présents dans les produits végétaux.

Le rétinol, un noyau  $\beta$ -ionone flanqué d'une chaîne de deux unités isoprénoïques avec alcool terminal, peut s'oxyder en rétinaldéhyde et acide rétinoïque, qui sont les formes actives de la vitamine (tableau II), le premier intervenant dans le mécanisme de la phototransduction (vision crépusculaire) et le deuxième dans la régulation de l'expression du génome et la différenciation cellulaire, d'où le rôle fondamental de la vitamine A dans l'embryogenèse, la croissance, le renouvellement des tissus, le système immunitaire... Le stockage (qui a lieu notamment dans le foie et le tissu adipeux) se fait sous la forme d'esters, le plus souvent le palmitate.

Le  $\beta$ -carotène comprend deux cycles de  $\beta$ -ionone et quatre unités isoprénoïques, ce qui explique pourquoi son clivage enzymatique par la  $\beta$ -carotène dioxygénase (entérocytaire ou hépatique) peut aboutir à la vitamine A, en fonction des besoins, avec un coefficient de conversion admis de 6 (6 mg de  $\beta$ -carotène équivalant à 1 mg de rétinol, ou 1 000 ER) : son absorption et sa conversion sont fonction de plusieurs facteurs, dont le niveau global de vitamine A, qui peut avoir une fonction inhibitrice en cas de saturation.

Les deux molécules sont absorbées dans des micelles associées aux graisses, puis incorporées dans les chylomicrons et amenées au foie : en fonction des besoins, le rétinol est lié au *retinol binding protein* et conduit aux cellules cibles, ou retenu comme réserve sous forme estérifiée.

La teneur des caroténoïdes circulants n'est pas un indicateur du statut en vitamine A et la rétinolémie ne permet d'apprécier les réserves qu'en cas d'insuffisance prononcée ou de surcharge massive ; la mesure du statut dans la zone de déficience infraclinique, qui est la seule à persister dans les pays industrialisés, se limite à des estimations qualitatives [8].

#### • Recommandations (tableau XIII)

En dépit de la très forte variabilité entre individus, probablement due à des facteurs génétiques et aux différences de niveaux de réserves, on peut retenir les conclusions des premières études destinées à mesurer les besoins, bien qu'anciennes et modestes, qui donnaient un besoin minimal chez l'adulte de 400  $\mu$ g et un apport moyen de 750  $\mu$ g/j [115], ce qui aboutit, avec un supplément de 2 ET

de 15 %, à un ANC de 800 ER/j pour l'homme adulte, dont sont déduites les valeurs pour les femmes, et les enfants et adolescents, sur la base des besoins en énergie. En outre, une consommation quotidienne de 350 ER de  $\beta$ -carotène (soit 2,1 mg), représentant la moitié des ANC moyens en vitamine A, est conseillée, d'autant qu'elle représente une consommation de fruits et légumes qui ne peut qu'être encouragée pour de nombreuses autres raisons.

La femme enceinte a peu de besoins supplémentaires en vitamine A. L'enfant naît avec de faibles réserves : un apport suffisant doit donc être assuré chez le nourrisson dans les premiers mois, qui correspond à la teneur du lait maternel, c'est-à-dire un apport de 375 ER/j. La mère allaitante a un besoin supplémentaire équivalent, mais qui pour autant ne justifie pas de supplémentation, étant donné que l'apport moyen de vitamine A est en moyenne plus que satisfaisant en France. Chez le sujet âgé déficient, la supplémentation en  $\beta$ -carotène améliore l'état immunitaire. Le statut est normal chez les sujets âgés en bonne santé [35].

#### • Sources alimentaires

Les deux aliments les plus riches en rétinol, le foie et les huiles de foie de poisson, sont peu consommés en France, sauf dans les pâtés de foie ; ce sont donc les produits laitiers gras et le beurre qui en sont les principaux fournisseurs. Le  $\beta$ -carotène est très abondant dans les carottes (> 10 mg/100 g), les épinards et certaines salades vertes (> 4 mg/100 g), le potiron, le poivron, les abricots, les melons, les mangues (> 1 mg/100 g) ; outre le niveau global de vitamine A, la cuisson (qui le libère de sa matrice dans les carottes) et la quantité de lipides du bol alimentaire influent sur son absorption et sa conversion en vitamine A.

#### • Risques de toxicité et limites de sécurité

Un apport prolongé de vitamine A sous forme de rétinol, à des doses supérieures à 7 500 ER/j, peut provoquer des troubles hépatiques potentiellement sévères [8, 90]. Chez le sujet âgé, le risque peut même apparaître dès 1 500 ER/j : c'est pourquoi des ANC de 700 et 600 ER/j ont été retenus respectivement pour les hommes et les femmes de plus de 75 ans [5]. Si l'acide rétinoïque est indispensable au développement embryonnaire et fœtal, on constate inversement des malformations lorsqu'il est fortement excédentaire, par exemple lors de traitements médicaux. Il est maintenant admis que des apports de vitamine A supérieurs à 3 000 ER/j (10 000 UI/j) à une période critique de la grossesse pourraient s'avérer tératogènes. La LS de 1 000 ER/j, en plus des apports alimentaires, fixée en France (LSS de 1 400 ER/j) (tableau I), vise ainsi à protéger surtout les femmes jeunes, du fait des risques liés à une grossesse éventuelle, mais aussi les gros consommateurs, dont les apports de rétinol peuvent dépasser de plusieurs fois les ANC [71].

Les caroténoïdes n'ont jamais manifesté de toxicité hépatique ou d'effets tératogènes à dose nutritionnelle ou physiologique. En revanche, l'ingestion pendant plusieurs années par de gros fumeurs d'une dose quotidienne de 20 mg de  $\beta$ -carotène synthétique a provoqué une augmentation significative des cancers du poumon [99].

#### Vitamine D [51]

La vitamine D est normalement, pour plus des deux tiers, fournie à l'organisme par la synthèse cutanée sous l'effet des rayons ultraviolets (UV). Dans l'alimentation, elle est présente sous deux formes, la vitamine D<sub>2</sub> ou ergocalciférol, produite par les végétaux, et la vitamine D<sub>3</sub> ou cholécalciférol, d'origine animale (tableau II). L'activité métabolique, équivalente chez l'homme, est mesurée en milligrammes (1mg = 2,6  $\mu$ mole = 40 000 UI).

Elle est transformée dans le foie en 25-hydroxyvitamine D, forme de réserve, utilisée pour mesurer le statut en vitamine D dans le plasma où elle est liée à une protéine (la *D binding protein*) à la demi-vie de 1 mois. La conversion de la 25-hydroxyvitamine D en sa forme métaboliquement active de 1,25-dihydroxyvitamine D a lieu dans le tubule rénal proximal à raison de 0,3 à 1  $\mu$ g par jour chez l'adulte jeune. Cette production peut diminuer en cas de surcharge en calcium ou phosphates, ou d'une concentration élevée de

1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> circulante. Elle est plus élevée pendant l'enfance, surtout dans les premiers mois, pendant la grossesse et lors de carences d'apport en calcium et/ou phosphates, et peut alors atteindre 3 µg/j.

Son rôle essentiel est d'assurer une minéralisation optimale des tissus calciques pendant et après la croissance (os, cartilages de croissance et dents) ; de plus, elle contribue avec la PTH au maintien de l'homéostasie calcique<sup>[53]</sup>. Ces deux fonctions résultent d'abord d'une action sur l'intestin permettant un passage adéquat du calcium et du phosphore, mais la 1,25-D agit également sur la réabsorption du calcium et des phosphates dans les tubules rénaux, l'inhibition de la synthèse et de la sécrétion de la PTH dans les glandes parathyroïdes, la stimulation des ostéoclastes, ostéoblastes et autres cellules responsables des processus de minéralisation, ainsi que sur le transport des phosphates dans le muscle. Outre ces fonctions (liées à la minéralisation), la vitamine D a un effet immunomodulateur prouvé chez l'animal, mais sans répercussion négative manifeste lors de la carence. Elle peut stimuler la différenciation de l'épiderme et a une activité anticancéreuse, démontrée chez l'animal mais non observée de façon concluante dans l'espèce humaine<sup>[51]</sup>.

La synthèse cutanée de la vitamine D se produit sous l'effet d'une photolyse du 7-déhydrocholestérol en prévitamine D<sub>3</sub> par le rayonnement UV de longueur d'onde comprise entre 290 et 315 nm, et dépend de la durée d'exposition, de l'altitude et de la latitude, de la surface, de l'épaisseur, de la pigmentation et de l'endroit du corps exposé. Elle est présente avec une intensité suffisante en France dans l'essentiel des régions entre juin et octobre, et entre 10 et 16 heures<sup>[52]</sup> : on estime qu'une exposition du visage et des bras pendant 15 à 30 minutes par jour dans ces conditions est suffisante pour constituer les réserves nécessaires pour le reste de l'année<sup>[51]</sup>.

L'absorption intestinale, dans les micelles mixtes de sels biliaires, d'AG libres et de monoglycérides, est lente, mais importante (80 %), même dans le cas d'un apport massif de 1 mg.

Indicateurs (tableau II) : la valeur circulante de 25(OH)D est un indicateur des réserves mais non d'un état de carence ou d'intoxication. Elle peut indiquer un faible niveau des réserves, en fin d'hiver par exemple, sans que l'on puisse actuellement affirmer que ce niveau aurait des effets délétères, à court ou long terme, sur la santé. Dans les populations à risque, elle indique un statut insuffisant lorsqu'elle est inférieure à 10-12 ng/mL (ou 25 à 30 nmol/L) et, dans le cas général, une carence si elle est inférieure à 5 ng/mL (ou 12 nmol/L), alors que des valeurs de 5 à 12 ng/mL (ou 12 à 30 nmol/L) dans cette même population ne peuvent indiquer une carence qu'en présence de troubles associés, la surcharge se situant à des valeurs de 80 à 120 ng/mL (ou 200 à 250 nmol/L).

La carence s'observe chez les individus cumulant plusieurs facteurs de risque, en particulier : les nouveau-nés, les nourrissons et les femmes enceintes (besoins élevés et exposition solaire faible) ; les personnes âgées, surtout en institution (apports alimentaires faibles, peu ou pas d'exposition solaire et capacité de synthèse cutanée diminuée). Pour l'ensemble de la population, les facteurs contribuant aux risques de carence sont : la saison ; une forte nébulosité ou pollution atmosphérique ; des vêtements trop couvrants ; une forte pigmentation de la peau (les jeunes enfants à peau pigmentée ont une capacité de synthèse de moitié inférieure) ; des régimes alimentaires dépourvus de produits animaux gras, surtout les poissons ; diverses pathologies, notamment digestives ou dermatologiques<sup>[51]</sup>. Les adolescents en période hivernale pourraient dans certaines circonstances constituer une population à risque.

- *Recommandations (tableau XIII).*

Les besoins sont estimés entre 10 et 15 µg/j, suffisants pour prévenir ou corriger une carence clinique et/ou biologique chez l'enfant ou l'adulte, mais sont probablement au moins aussi élevés chez la femme enceinte et le nourrisson, qui ont notamment une concentration sérique de 1,25(OH)<sub>2</sub>D de deux à trois fois supérieure à celles des adultes<sup>[51]</sup>.

Chez le nourrisson, de la naissance à 18 mois, des apports de 800 à 1 000 UI/j (20 à 25 µg/j) sont justifiés par la persistance de cas de rachitisme et la fréquence de taux bas de 25(OH)D en fin d'hiver. C'est pourquoi le Comité de nutrition de la Société française de pédiatrie a recommandé en 1993 que :

- chez le nourrisson au sein, en raison de la faible teneur du lait de femme, une complémentation de 400 à 800 UI/j (10 à 20 µg/j) soit prescrite systématiquement ;

- l'apport de 200 à 300 UI/j (5 à 7,5 µg/j) fourni par les préparations pour nourrissons soit, compte tenu de l'âge et des quantités consommées, complété par un apport médicamenteux de 400 à 800 UI (10 à 20 µg).

La supplémentation des laits pour nourrissons est de fait autorisée par la Communauté européenne depuis 1991 à raison de 40 à 100 UI (1 à 2,5 µg) pour 100 kcal pour les préparations pour nourrissons (de la naissance à 4 à 6 mois) et de 40 à 120 UI (1 à 3 µg) par 100 kcal pour les préparations de suite destinées aux nourrissons de plus de 4 mois. Il est conseillé de poursuivre cette supplémentation l'hiver chez tous les enfants entre 18 mois et 5 ans, puis à l'adolescence dans les pays à risque.

La position choisie pour fixer les ANC a été de considérer que la production endogène couvrirait en moyenne de 50 à 70 % des besoins quotidiens de base, pour des populations normalement exposées au soleil, et donc que l'alimentation devait apporter 5 µg/j de vitamine D chez l'adulte. Dans le cas de populations à besoins ou risques particuliers, à savoir les nourrissons, les femmes enceintes, dès le début de la grossesse, les femmes allaitantes, les personnes âgées, notamment en institution mais de toute façon à risque d'ostéoporose à partir de 60 ans, et dans les situations de malnutrition ou d'insuffisance notoire d'exposition solaire, cette valeur a été portée à 10 µg/j, et même parfois à 20 ou 25 µg/j. Cette valeur est très supérieure, dans le cas des nourrissons, à l'apport alimentaire moyen, ce qui nécessite des mesures prophylactiques. En effet, la persistance dans certaines régions de France de cas de rachitisme et une fréquence élevée de nourrissons présentant en fin d'hiver des taux bas de 25(OH)D circulant justifient ces valeurs d'ANC de la naissance à 18 mois<sup>[12]</sup>. Les nourrissons et jeunes enfants à peau pigmentée sont particulièrement à risque. Une complémentation paraît aussi nécessaire en fin d'hiver chez les adolescents peu exposés au soleil de par leur région ou leur style de vie<sup>[124]</sup>. La personne âgée présentant une synthèse cutanée diminuée et une exposition solaire moindre, voire nulle, avec des risques accrus de fracture du col du fémur, une surveillance attentive et simultanée des apports de vitamine D et de calcium s'impose à son sujet<sup>[35]</sup>.

- *Risques de toxicité et limites de sécurité*

Les signes d'intoxication ordinaires par la vitamine D sont l'anorexie, l'arrêt de la croissance et l'hypercalcémie, accompagnée d'hypertension artérielle. En cas d'intoxication sévère, par des apports prolongés de 250 à 1 250 µg/j chez l'adulte, on observe polyurie et polydipsie, hypercalciurie avec insuffisance rénale, néphrocalcinose, néphrolithiase, et dépôts de calcium dans les parois vasculaires, les muscles et les tendons. Les altérations fœtales et l'hypercalcémie du nouveau-né s'observent en cas d'intoxication de la femme enceinte, par administration répétée de 15 mg chez celle-ci ou chez le nourrisson.

Une LSS de 25 µg/j, en plus des apports endogènes et exogènes spontanés, a été adoptée pour les enfants et adultes bien portants vivant en France<sup>[5]</sup> (tableau I).

### Vitamine E<sup>[7]</sup>

Il existe huit composés vitaminiques E dans les produits végétaux, selon la nature saturée ou non de la chaîne latérale et du degré de méthylation du cycle chromanol, et huit stéréo-isomères de l' $\alpha$ -tocophérol de synthèse, la forme naturelle étant seulement le RRR- $\alpha$ -tocophérol. On manque de méthodes fiables pour estimer le degré d'activité antioxydante de ces différents composés in vivo. La forme naturelle aurait une biodisponibilité deux fois plus élevée que celle

des autres stéréo-isomères. Le tocophérol équivalent (TE) correspond à l'activité de 1 mg de la forme naturelle. La forme de l'ester racémique de synthèse, utilisée comme unité internationale, équivaut à 1,5 TE. Seuls les tocophérols libres sont absorbés par la muqueuse intestinale, par voie passive, à partir des micelles amenés au foie par la lymphe, puis redistribués aux tissus périphériques, essentiellement le tissu adipeux, sous la forme prédominante de RRR- $\alpha$ -T, lié à la *tocopherol binding protein* et à l'albumine.

La principale propriété de la vitamine E est sa capacité à piéger les radicaux libres peroxyde formés à partir des AGPI par l'action de l'oxygène et à empêcher leur propagation aux structures lipidiques, telles que les membranes ou les lipoprotéines. On admet qu'une molécule d' $\alpha$ -tocophérol peut inhiber l'oxydation de 1 000 molécules d'AGPI. De ce point de vue, aucun argument expérimental ne permet de différencier les vitamines de forme naturelle ou synthétique. Cette fonction antioxydante expliquerait le rôle apparemment bénéfique de la vitamine E sur la baisse des défenses immunitaires des personnes âgées et, en partie au moins, l'action antiathérogène probable de la vitamine E (sur les divers types cellulaires du compartiment hémovasculaire). Pour fonctionner correctement, ce mécanisme doit être lié à une cascade d'autres systèmes de défense antiradicalaire présents dans la cellule. Il faut souligner cependant que les phénomènes d'oxydation sont des processus très complexes, qui peuvent certes aboutir à des actions délétères, mais qui font partie intégrante également des mécanismes de défense anti-infectieuse et antitumoraux normaux [7].

#### • Évaluation

Le statut biologique en vitamine E s'apprécie le plus souvent à partir de sa teneur plasmatique, qui doit se situer aux alentours de 28  $\mu\text{mol/L}$  (12 mg/L), les valeurs inférieures à 10 à 14  $\mu\text{mol/L}$  (4 à 6 mg/L) étant considérées comme indicatives d'une carence (tableau II), bien que la corrélation entre apports alimentaires usuels et biologie soit médiocre sur la base de ce critère dans une population donnée.

#### • Recommandations (tableau XIII)

La carence est exceptionnelle chez l'adulte, et peut être due à des troubles sévères et très prolongés de l'absorption et du métabolisme des lipides. En revanche, elle est plus fréquente chez l'enfant et surtout le prématuré, en raison du passage modeste de la vitamine à travers la barrière transplacentaire, et donc de réserves faibles, ainsi que dans les situations pathologiques de malabsorption digestive (exemple : mucoviscidose). Des apports inférieurs à 5 mg/j, versus un apport de plus de 8 mg/j, favorisent l'apparition de symptômes cardiovasculaires chez des sujets non pathologiques [79]. Mais lorsque l'apport de base est suffisant, l'effet protecteur n'est retrouvé, avec une consommation graduellement accrue par des suppléments, qu'au-dessus de 100 mg/j, c'est-à-dire à des doses non nutritionnelles. Les données disponibles actuellement à l'égard des autres maladies dégénératives sont encourageantes, mais non suffisantes.

En conséquence, les ANC ont été conservés à la valeur précédente [43], à savoir 12 mg/j pour les adultes des deux sexes, car « si les arguments de présomption d'un effet protecteur de la vitamine E sont nombreux et convaincants, aucune preuve définitive n'en a été apportée chez l'homme ». « L'opportunité d'apports plus élevés dans des cas pathologiques, notamment coronariens, est un choix thérapeutique qui reste de la responsabilité du praticien. » [7]

Pour les autres catégories de population, et en l'absence de données spécifiques, le calcul des ANC a été réalisé, à partir des valeurs pour l'adulte, sur la base des besoins en énergie. Cependant, le cas de la personne âgée a été traité à part compte tenu des effets préventifs des vitamines antioxydantes contre l'infection obtenus chez les sujets âgés et déficients [27, 35], et les valeurs des ANC pourraient se situer entre 20 et 50 mg/j.

#### • Sources alimentaires

La vitamine E dans les aliments a un effet protecteur sur les AGPI, facilement oxydables du fait de leur insaturation : on admet que c'est

à raison de 0,6 à 1 mg d' $\alpha$ -tocophérol par gramme d'AGPI de la série n-6, le plus souvent présents ensemble de façon naturelle, et de 1,5 mg par gramme d'AGPI n-3 dans les huiles de poisson, hautement oxydables. Les principales sources alimentaires de vitamine E sont représentées par les huiles végétales et leurs dérivés (de 50 à 70 %), de loin les aliments les plus riches (à condition toutefois d'être conservés à l'abri de la lumière) (entre 15 et 80 mg/100 g selon le type d'huile), mais les fruits et légumes, bien que de teneur plus faible, sont une source intéressante (de 12 à 18 %) du fait du volume de leur consommation moyenne. Pour autant, le coefficient d'absorption de la vitamine E est relativement faible et tourne autour de 20 à 50 % chez un individu sain.

#### • Risques de toxicité et limites de sécurité

On n'a pas aujourd'hui de certitude absolue quant à l'innocuité d'apports de vitamine E prolongés, modérés ou importants [7]. Des doses de 50 mg/j ont ainsi entraîné, dans une seule étude sur de grands fumeurs, une augmentation significative des hémorragies sous-arachnoïdiennes [87]. La LS est de 40 mg/j et la LSS de 52 mg/j (tableau I).

#### Vitamine K [63]

On peut la définir comme un ensemble de cofacteurs nécessaires à l'activation des protéines dont les plus connues ont un rôle important dans la coagulation : les principales sont la vitamine K<sub>1</sub> ou phylloquinone, d'origine végétale, et les vitamines K<sub>2</sub> ou ménaquinones, d'origine bactérienne (tableau II), cofacteur indispensable à la carboxylation enzymatique de résidus d'acide glutamique en acide  $\gamma$ -carboxyglutamique au sein de la chaîne des protéines vitamine K-dépendantes, dont plusieurs sont des facteurs de coagulation. En outre, par son activation de l'ostéocalcine, la vitamine K permet la fixation des ions calcium sur cette protéine et lui donne une haute affinité pour l'hydroxyapatite. Elle joue donc un rôle dans la minéralisation osseuse.

Chez l'adulte, les valeurs usuelles de phylloquinone circulante sont comprises entre 150 et 1 150 ng/L [64].

La carence ne s'observe que dans les cas de malabsorption lipidique ou à la suite d'ingestion de produits contenant des antagonistes de la vitamine K, tels que les anticoagulants médicamenteux ou les raticides. Chez le nouveau-né, le risque hémorragique par défaut de vitamine K rend la prophylaxie indispensable car, comme pour les autres vitamines liposolubles, le passage transplacentaire est difficile, la synthèse par la flore digestive et par le foie est insuffisante et le lait maternel relativement pauvre. Mais on connaît mal le statut des populations car la vitamine K réunit l'ensemble des difficultés rencontrées dans ce type d'estimation : mauvaise appréciation des apports (tables incomplètes) et absence de marqueurs biologiques ou fonctionnels satisfaisants. Pour autant, les carences d'apport sont exceptionnelles, car les besoins sont faibles et très largement couverts par l'alimentation.

#### • Recommandations (tableau XIII)

Les besoins, réduits car le mécanisme de recyclage est très efficace, sont évalués entre 0,1 et 1  $\mu\text{g/kg/j}$  si l'on cherche à maintenir une activité coagulante normale ; ils pourraient être majorés si l'on tient compte des autres fonctions. Les ANC sont fixés à 45  $\mu\text{g/j}$  pour l'adulte et 10  $\mu\text{g/j}$  pour le nouveau-né et l'enfant dans des conditions normales. Les nouveau-nés au sein doivent être supplémentés à raison de 2 à 5 mg de vitamine K<sub>1</sub> par semaine jusqu'à l'établissement d'un régime varié. Chez tous les nouveau-nés, dès la naissance, de 0,5 à 1 mg de vitamine K par voie intramusculaire ou 2 mg per os sont nécessaires. Pour le sujet âgé, l'ANC a été porté à 70  $\mu\text{g/j}$ .

#### • Sources alimentaires

Elles sont mal connues en raison de la difficulté du dosage : certains légumes verts et huiles végétales ont une teneur importante, ainsi que le foie et les produits fermentés, tels que certains fromages et

les yaourts. Un repas normal apporte de 300 à 400 µg de vitamine K. Il n'existe pas de toxicité connue.

### BESOINS EN MINÉRAUX ET VITAMINES LIÉS À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET AU SPORT <sup>[61]</sup> (tableau XIV)

#### ■ Minéraux

##### Fer

Chez le sportif, une déficience en fer peut provenir de microhémorragies digestives ou subplantaies (dans le cas de marathons), ou d'hématuries, qui dépendent du type d'exercice et des contraintes d'environnement <sup>[61]</sup>.

##### Zinc

Aucun élément n'indique à ce jour que les ANC de zinc pour le sportif doivent être supérieurs à ceux de la population générale, sauf peut-être lors de pertes par forte sudation prolongée. Comme pour les autres éléments, c'est surtout l'alimentation du sportif qui doit être surveillée, tant sur le plan quantitatif que qualitatif <sup>[61]</sup>.

#### ■ Vitamines et métabolisme intermédiaire <sup>[61]</sup>

Du fait de leur rôle coenzymatique, on peut penser que les besoins en plusieurs vitamines hydrosolubles (vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, C, niacine, acide pantothénique) sont proportionnels à la dépense énergétique. À cet égard, les données des enquêtes sont contradictoires et révèlent plutôt, lorsque les statuts vitaminiques sont déficients, une insuffisance d'apport en énergie <sup>[78]</sup>. Mais les études expérimentales mettent en évidence une augmentation des besoins sous l'effet d'un exercice intense et prolongé <sup>[62]</sup>, qui dépend de la vitamine, du type d'activité, du niveau d'entraînement et de la période considérés : l'ingestion massive de glucides (> 600 g/j) dans des exercices d'endurance intensifs, tels que marathons ou triathlon par exemple, doit être accompagnée d'un apport de thiamine adapté. En résumé, l'amélioration des performances par un apport supplémentaire de vitamines, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et B<sub>6</sub> en particulier, ne s'observe que lorsque l'organisme est en situation de subcarence, mais pas lorsque le statut initial est satisfaisant.

#### ■ Vitamines et phénomènes radicalaires

Il est connu que l'exercice musculaire produit des radicaux libres dérivés de l'oxygène et que certaines vitamines (C et E), ou provitamine (β-carotène), ont un pouvoir antioxydant qui pourrait protéger l'organisme des effets pernicioeux de ces espèces radicalaires sur les protéines, les membranes et le noyau, par la peroxydation des lipides insaturés des membranes, notamment. Or, la production de ces radicaux libres est d'autant plus importante que l'intensité de l'exercice est élevée, le sujet peu entraîné, l'activité réalisée en hypoxie et en présence de rayonnements UV ou ionisants. D'où il ressort que l'entraînement aérobie permettrait leur élimination par la mise en place d'adaptations telles que l'augmentation de l'activité d'enzymes antioxydantes. Par ailleurs, la vitamine E peut effectivement neutraliser la production des radicaux libres et diminuer les lésions musculaires induites par l'exercice <sup>[60]</sup> et, en haute altitude, un apport massif de vitamine E a des effets bénéfiques sur la capacité physique et certains indicateurs biologiques. Mais ces résultats restent isolés et ne permettent pas de recommandation concernant un apport préventif de vitamine E en haute altitude.

En conclusion, « l'objectif dans la couverture en vitamines du sportif est d'assurer un statut satisfaisant qui n'altère ni la performance ni la santé lors de l'exercice, et qui assure la protection cellulaire lors de l'entraînement et la réparation cellulaire lors de la récupération » <sup>[61]</sup>.

*D'une façon générale, les recommandations sont les suivantes pour les sportifs et les sujets à forte activité physique :*

- pour les sportifs occasionnels ou les exercices modérés (de 1 à 3 heures par semaine), les besoins sont proches de ceux de la population générale ;
- pour les exercices intenses et répétés, les apports doivent être modulés en fonction du type de sport ou d'activité, de l'intensité et de la fréquence de l'exercice pratiqué, et de sa régularité ;
- pour les sportifs à apport calorique restreint (gymnastes, danseurs, jockeys...), il importe que l'apport de vitamines soit au moins égal à celui de la population générale, surtout en période pubertaire.

## Réalité des consommations

### RÉSULTATS DES ENQUÊTES FRANÇAISES D'APPORT NUTRITIONNEL LES PLUS RÉCENTES EN FONCTION DE L'ÂGE ET DU SEXE : ESTIMATION DE LA SITUATION FRANÇAISE (tableau XV)

Un tableau récapitulatif établi à partir des enquêtes réalisées en France depuis 20 ans <sup>[32, 72, 86]</sup> permet d'esquisser une estimation des déficiences existant dans notre population concernant les principaux minéraux et vitamines pour les grandes tranches d'âge. Les enseignements qu'on peut en tirer sont malgré tout à manier avec prudence : il intègre peu les parties extrêmes de la distribution, où se trouvent souvent les fractions à risques (d'insuffisance ou d'excès) ; les enquêtes dont il est issu <sup>[32, 72, 86]</sup> ne sont pas, quelle que soit leur qualité, représentatives de l'ensemble de la population : les individus (dans la pauvreté comme dans l'opulence) et les régions (du nord de la France, par exemple) les plus à risque n'y sont pas représentés. Il n'en reste pas moins que les enquêtes récentes et représentatives (INCA, 2000 <sup>[44]</sup>) confirment les données alimentaires qui ont abouti au tableau XV, et qui, elles, ont été croisées avec des résultats biologiques, ce qui les rend plus fiables.

#### ■ Carences, déficience, déficits d'apport

De l'analyse d'un certain nombre de données françaises, on peut conclure que, dans l'ensemble, l'apport apparaît satisfaisant. Cependant, dans certains cas, une petite fraction de la population reçoit moins de la moitié ou des deux tiers des apports nutritionnels conseillés et une fraction de même ordre se situe au-dessous du seuil biologique considéré comme normal. Il faut donc admettre que, ou bien les apports recommandés sont excessifs et les seuils biologiques parfois trop sévères, ou bien certains individus présentent réellement des risques de subcarence. Et même s'ils ne présentent aucun signe apparent de déficience, il n'est pas sûr que lors d'une situation exigeant un métabolisme plus efficace (grossesse, poussée de croissance, fatigue, infection etc) ils aient de quoi faire face à cette demande.

Reste cependant posé le problème des segments de population qui sont à risque et de la façon la plus efficace, en matière de santé publique, d'atteindre ces cibles, alors que ces groupes restent aujourd'hui très difficiles à caractériser. En attendant des éléments d'information supplémentaires, on peut déjà dire que les jeunes femmes et les adolescentes représentent une population globalement plus exposée aux risques que les autres. En effet, d'une part beaucoup d'entre elles ont des apports énergétiques inférieurs à la normale et des déficits qualitatifs dans l'équilibre de leurs apports, et d'autre part elles sont susceptibles de devoir assurer les besoins d'une grossesse.

Enfin, on a pu observer que 10 à 20 % de notre population pouvaient se trouver dans une zone d'insuffisance d'apport en certains éléments considérés comme qualitativement plus importants. Si l'on part de la consommation des aliments qui sont des supports

Tableau XV. – Vitamines et minéraux : estimation du statut nutritionnel en France à partir de trois enquêtes principales [32, 72, 86].

Tranche d'âge	Sexe	Risques de déficience = médiane < 0,9 ANC et biologie ≥ 10 %*	Zone d'incertitude = médiane < 0,9 ANC et biologie < 10 %** ou médiane > 0,9 ANC et biologie ≥ 10 %*	Statut satisfaisant = médiane > 1 ANC et/ou biologie < 10 %**	Apports élevés = médiane > 1,5 ANC 95 <sup>e</sup> percentile > 5 ANC maxima > 10 ANC ou > seuils de sécurité
Adultes 18-65 ans	H	Iode	B <sub>6</sub> , C (β-carotène), E Mg, (Zn), (Cu)	B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , PP, B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> A Ca, Fe	B <sub>12</sub> A, rétinol, (β-carotène) Ca°, (Zn)°, iode°°°
	F	B <sub>9</sub> (18-24 ans) Fe (18-35 ans) Ca, Iode	B <sub>6</sub> , B <sub>9</sub> (36-65 ans), C E Mg, (Zn), (Cu)	B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , PP, B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> A, (β-carotène) Fe	B <sub>12</sub> A, rétinol, (β-carotène) Ca, (Zn)°, iode°°°
Adultes > 62-65 ans	H	B <sub>1</sub> , C	B <sub>2</sub> , B <sub>6</sub> (β-carotène), E Mg, (Zn), (Cu)	PP, B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> A Ca, Fe	B <sub>12</sub> A, rétinol, (β-carotène) (Zn)°°
	F	B <sub>1</sub> , B <sub>6</sub> , C Ca	B <sub>2</sub> E Mg, (Zn), (Cu)	PP, B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> A, (β-carotène) Fe	B <sub>12</sub> A, (β-carotène) (Zn)°°
Adolescents 14-18 ans***	G		B <sub>2</sub> , B <sub>6</sub> Mg	B <sub>1</sub> , PP, B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> , C A, (β-carotène) Ca, Fe	B <sub>12</sub> A rétinol (Zn)°°
	C	E Ca, Fe	B <sub>2</sub> , B <sub>6</sub> , B <sub>9</sub> Mg, (Cu)	B <sub>1</sub> , PP, B <sub>12</sub> , C A, (β-carotène)	B <sub>12</sub> rétinol (Zn)°°
Enfants 6-10 ans***	G		B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> , PP, B <sub>6</sub> , B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> A, (β-carotène), E Ca, Fe, Mg, (Cu)	B <sub>12</sub> rétinol Ca°, (Zn)°°
	F		B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> , PP, B <sub>6</sub> , B <sub>9</sub> , B <sub>12</sub> C, A, (β-carotène), E Ca, Fe, Mg	B <sub>12</sub> rétinol Ca°, (Zn)°°

Cette estimation porte sur neuf vitamines (hors vitamine D) et cinq éléments minéraux ; il n'y a pas de valeur biologique pour les vitamines PP, B<sub>12</sub>, le calcium et le magnésium.  
ANC : apports nutritionnels conseillés.

\* plus de 10 % de la population en dessous du seuil biologique définissant les risques élevés de déficience.

\*\* moins de 10 % de la population en dessous des seuils biologiques définissant les risques élevés de déficience.

\*\*\* la zone d'incertitude pour ces deux tranches d'âge a été estimée sur les valeurs biologiques d'une seule étude [72] et doit être considérée avec prudence, les données alimentaires étant dans tous les cas satisfaisantes mais les seuils biologiques encore discutés pour les vitamines B<sub>2</sub> et B<sub>6</sub>.

° apports > 2 ANC au 95<sup>e</sup> percentile et/ou > 4 ANC à la valeur la plus élevée.

°° apports dépassant la quantité définie par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France comme seuil de sécurité [5].

°°° au-dessus des seuils biologiques définissant le risque d'excès (> 35-50 µg/dL d'excrétion urinaire).

( ) : entre parenthèses, les nutriments dont la teneur dans les aliments est encore incertaine ou sous-évaluée (zinc et cuivre), les besoins encore mal précisés (cuivre), ou les ANC seulement estimés (β-carotène = 50 % des ANC en vitamine A totale).

prépondérants de certains nutriments, comme les produits laitiers pour le calcium, ou les protéines animales pour le fer, ou les légumes pour l'acide folique, on peut déjà prévoir que les individus qui consomment peu de ces catégories d'aliments s'exposent à un déficit dans les nutriments correspondants.

consommation de produits laitiers frais, poissons, légumes frais et fruits, et à 0 % d'obèses, par rapport par exemple à la classe 6, qui consomme le plus de viande et charcuterie, beurre, boissons alcoolisées et café, et qui comprend 9 % d'obèses.

### INTÉRÊT DE LA DIVERSITÉ ALIMENTAIRE : L'EXEMPLE FRANÇAIS (tableau XVI)

En partant des données d'une enquête représentative qui établit une hiérarchie alimentaire en fonction des catégories d'aliments consommés, on peut tenter de repérer certains profils alimentaires plus ou moins indicatifs d'un état nutritionnel satisfaisant. Ainsi, si l'on prend les folates comme référence d'une alimentation variée, la densité nutritionnelle en cette vitamine (apport pour 1 000 kcal) apparaît effectivement comme facteur représentatif de cette diversité, indépendamment du sexe. Si, pour continuer à individualiser un (ou plusieurs) nutriment marqueur d'un état nutritionnel optimal, on recherche une valeur d'apport de vitamines antioxydantes approchant ou dépassant les ANC, cette contrainte ne peut être satisfaite que dans la classe 1, et seule la vitamine C répond au critère ainsi défini. Or, cette classe comprend 81 % de femmes, d'âge médian (48 ans) supérieur à la moyenne (39 ans), se trouve répartie dans les grandes régions françaises, mais est sous-représentée dans le Nord et l'Est, et, au niveau socioprofessionnel, chez les ouvriers (3,5 %). Si, enfin, on définit un profil « santé » comme répondant à trois autres références, une consommation d'énergie ne dépassant pas la moyenne générale (2 200 kcal/j), un IMC inférieur à 23 kg/m<sup>2</sup> et un taux d'obésité moyen inférieur à 5 %, seule la classe 1, de diversité alimentaire maximale, peut satisfaire à ces trois critères, ce qui correspond à une plus forte

### Conclusion

Les ANC sont des valeurs de référence pour une population dont ils sont censés couvrir les besoins et la variabilité interindividuelle. Pour un individu, l'objectif est donc d'approcher la valeur des ANC (et non de les dépasser). L'utilisation par le praticien doit se faire pour chaque patient en fonction du contexte de ce dernier. Les ANC de 2001 sont issus de données cliniques, épidémiologiques et expérimentales, et prévus pour diminuer le risque de pathologies dégénératives (cancers, maladies cardiovasculaires, diabète, ostéoporose...).

L'évolution des modes de vie a entraîné dans les populations occidentales une baisse des dépenses, et donc des besoins en énergie, qui a entraîné un risque de surpoids et de pathologies induites, d'autant plus qu'elle s'est accompagnée d'une baisse de moitié de l'ingestion de fibres, et d'une diminution relative des glucides qui devraient représenter plus de la moitié de la ration énergétique.

L'ANC en protéines est largement couvert par l'alimentation française moyenne mais un plus juste équilibre entre origines animale et végétale doit être recherché.

La proportion de lipides, trop élevée dans l'alimentation à l'heure actuelle, doit tendre vers un tiers des apports en énergie, avec un huitième sous forme d'acide linoléique, en rapport de cinq avec l'acide linoléique, et l'apport d'AGPI à longue chaîne devrait être de 100 mg/j. Si les AGS peuvent être les précurseurs de la myéline, l'excès de leur consommation moyenne a été mis en rapport avec la mortalité

**Tableau XVI. – Apports en énergie, minéraux et vitamines chez l'adulte français en fonction de la diversité alimentaire (dégressivité de 1 à 6) OCA/CREDOCIASPCC<sup>[1]</sup>.**

	1	2	3	4	5	6	Ensemble
<b>Hommes et femmes (n = 890)</b>							
Énergie (kcal/j)	1 886	2 869	1 947	2 274	1 838	2 802	2 227
folates (en µg/j et /1 000 kcal)*	312 (16,5)	350 (12,2)	253 (13)	242 (10,6)	202 (11)	276 (9,9)	270 (12,1)
% de femmes	81	15,5	59	40	67	9,5	50
Âge médian (ans)	47	43	46	29	32	51	40
<b>Hommes (n = 357)</b>							
Énergie (kcal/j)	2 291	2 867	2 135	2 364	2 088	2 848	2 524
Fibres (g/j)	31,4	32,9	27,6	32,5	17,6	23,8	28,1
Vitamine B <sub>2</sub> (mg/j)	1,9	2	1,6	2	1,4	1,9	1,8
Vitamine B <sub>6</sub> (mg/j)	2	2,1	1,6	1,8	1,5	2	1,9
Folates (µg/j)	341	353	270	246	214	279	289
Vitamine C (mg/j)	90,4	96,5	75,6	78,9	59,1	57,3	76,9
β-carotène (µg/j)	2 980	3 843	2 424	1 882	1 407	1 905	2 537
Vitamine A (ER)	1 289	1 612	1 252	981	737	1 418	1 292
Calcium (mg/j)	921	1 043	843	893	628	860	890
Fer (mg/j)	13,9	16,8	13,8	14,1	11,9	17,2	15,2
% du total	5	27,1	21	15,1	10,4	21,4	100
Âge médian (ans)	57	42	59	26	30	37	37
IMC	23,8	23,7	24,4	22,6	23,1	23,3	23,4
<b>Femmes (n = 533)</b>							
Énergie (kcal/j)	1 787	2 880	1 8180	2 142	1 717	2 372	1 897
Fibres (g/j)	30,2	33,5	25,6	27,4	20,5	21,9	26
Vitamine B <sub>2</sub> (mg/j)	1,7	1,9	1,5	1,6	1,4	1,5	1,5
Vitamine B <sub>6</sub> (mg/j)	1,6	2	1,5	1,5	1,3	1,6	1,5
Folates (µg/j)	304	335	241	237	196	247	250
Vitamine C (mg/j)	100	83,3	68,1	70,9	54,7	51,8	73,1
β-carotène (µg/j)	3 510	3 856	2 758	1 986	1 846	2 949	2 686
Vitamine A (ER)	1 307	1 750	1 250	868	1 098	1 332	1 214
Calcium (mg/j)	871	897	722	814	670	703	764
Fer (mg/j)	12,1	16,1	11,9	11,6	9,8	13,7	11,7
% du total	23,1	5,5	33,8	11,3	23,8	2,5	100
Âge médian (ans)	47	43	46	29	32	51	40
IMC	22,1	23,5	23	21,3	21	23,2	22,5

\* Les folates sont pris ici comme référence d'une alimentation variée (ANC = 300 [F] et 330 [H] µg/j) : la densité nutritionnelle de folates (apport pour 1 000 kcal) apparaît comme un facteur représentatif de cette diversité et indépendant du sexe.

en grisé : les colonnes respectivement les plus et les moins diversifiées pour le sexe le mieux représenté.

en gras : la valeur la plus élevée de la ligne, ou les valeurs supérieures à la moyenne lorsqu'il s'agit du total de la population considérée.

souligné : la valeur la plus faible de la ligne, ou les valeurs inférieures à la moyenne lorsqu'il s'agit du total de la population considérée.

ER : équivalent rétinol. IMC : indice de masse corporelle.

coronarienne et ne devrait pas dépasser le quart des apports de lipides. Les ANC en vitamines ont été modifiés en 2001, ce qui se justifie par la baisse des besoins en énergie (vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>8</sub> et A) ou par de nouvelles données épidémiologiques (folates et vitamines B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub> et C). Les ANC en minéraux n'ont pas subi de changement majeur.

Enfants : un apport de lipides suffisant est nécessaire chez le très jeune enfant pour assurer la formation de ses structures nerveuses. L'excès de protéines est évoqué dans la genèse de l'obésité, comme de façon générale celui des boissons sucrées.

Les ANC des enfants et adolescents sont, sauf pour l'énergie et les nutriments de constitution comme le calcium, extrapolés à partir des besoins de l'adulte rapportés le plus souvent aux besoins en énergie.

Grossesse : les mécanismes d'adaptation sont suffisants dans la plupart des cas pour assurer sans problème les besoins de la grossesse (et de la lactation). Les risques de déficience en vitamine D, fer, calcium et iode chez la femme enceinte sont connus et le plus souvent pris en compte,

mais la déficience en folates reste l'élément le plus préoccupant à cause des anomalies fœtales qu'elle peut entraîner (spina bifida). Les (très) jeunes femmes (de 15 à 24 ans) sont le principal groupe à risque d'insuffisance d'apport moyen.

Personnes âgées : les besoins sont rarement différents de ceux de l'adulte, même chez la personne de plus de 75 ans. Pour autant, une augmentation des apports de calcium chez la femme (et l'homme) de plus de 50 ans pourrait aider à prévenir l'ostéoporose. À partir de 75 ans, il faut veiller à assurer un apport suffisant de vitamine D, dont la synthèse endogène diminue avec l'âge en même temps que l'exposition solaire, de protéines (1g/kg/j) et de vitamines antioxydantes (vitamines C et E) dont les besoins sont augmentés. Un apport satisfaisant, sans être excessif, de folates, vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>6</sub>, d'eau et de fibres (non irritantes), souvent déficitaires, doit être également assuré. L'activité physique, pratiquée régulièrement et avec mesure, permet non seulement de maintenir ou de retrouver un poids conforme aux

conseils élémentaires de prévention, et de réduire ainsi les facteurs de risques d'accidents mais aussi : en stimulant le fonctionnement du tractus digestif, de réduire ou d'éviter la constipation, de favoriser l'appétit et l'absorption des nutriments ; de garder un taux optimal de renouvellement des protéines intracellulaires, et donc de conserver une masse musculaire correcte le plus longtemps possible ; en sollicitant la traction des tendons, d'activer le fonctionnement des cellules osseuses et de prévenir ou retarder la survenue de l'ostéoporose ; l'ensemble permettant de conserver une masse maigre active avec l'âge et... le goût de vivre.

Les ANC ont une dimension évolutive, nécessaire pour assurer l'intégration des nouvelles données. Compte tenu de l'ampleur des connaissances scientifiques actuelles, on peut les considérer comme stables à l'échelle d'une population : les progrès à venir sont à attendre d'une plus grande pertinence de l'évaluation des besoins chez les individus, en relation avec leur diversité.

La longue adaptation métabolique et physiologique de l'organisme humain fait qu'il se défend mieux contre une pénurie alimentaire et nutritionnelle relative que contre la pléthore, et cela est valable aussi bien pour l'énergie que pour les minéraux et les vitamines.

## Références

- [1] ANC 2001. Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001
- [2] Arnaud J. Zinc. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 155-158
- [3] Arnaud J. Fluor. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 171-172
- [4] Avis n° 24 du 28 janvier 1998 de la CEDAP, les membres du groupe de travail de la CEDAP sur les substances nutritives. Estimation du statut en vitamines et minéraux de la population française, d'après des enquêtes récentes. *Cah Nutr Diét* 1999 ; 34 : 77-87
- [5] Avis du 12 septembre 1995 du conseil supérieur d'hygiène publique de France. Les limites de sécurité dans les consommations alimentaires des vitamines et des minéraux. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 1996
- [6] Avis n° 27 du 21 octobre 1998 de la CEDAP. Relatif à une méthodologie de simulation des modalités d'enrichissement des aliments en vitamines et minéraux.
- [7] Azais-Braesco V, Bruckert E, Durier P, Lecerf JM, Pascal G, Hercberg S et al. Vitamine E. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 236-243
- [8] Azais-Braesco V, Grolier P. Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 221-228
- [9] Baker H, Thind IS, Frank O, De Angelis B, Caterini H, Louria DB. Vitamin levels in low-birth-weight newborn infants and their mothers. *Am J Obstet Gynecol* 1975 ; 129 : 521-524
- [10] Barrett JF, Whitaker PG, Williams JG, Lind T. Absorption of non heme iron from food during normal pregnancy. *Br Med J* 1994 ; 309 : 79-82
- [11] Baynes RD, Skikne BS, Cook JD. Circulating transferrin receptors and assessment of iron status. *J Nutr Biochem* 1994 ; 5 : 322-330
- [12] Beaufrère B, Briand A, Ghisolfi J, Coulet O, Putet G, Rieu D et al. Nourrissons, enfants et adolescents. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 255-291
- [13] Beaufrère B, Patureau-Mirand P. Muscle et vieillissement. In : Vieillard avec succès. Année Gérologie, 1997 : 130-144
- [14] Bellisle F, Couet C, Delarue J, Flourié B, Krempf M, Leverve X et al. Glucides. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 83-98
- [15] Birlouez-Aragon I, Fieux B, Potier De Courcy G, Hercberg S. Vitamine C. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 215-220
- [16] Blacher J, Montalescot G, Ankr A, Chadefaux-Vekemans B, Benzidia R, Grosogoeat Y et al. Hyperhomocystéinémie chez des patients coronariens. *Arch Mal Cœur Vaiss* 1996 ; 89 : 1241-1246
- [17] Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr* 1996 ; 50 : 72-92
- [18] Blundell JE, Green S, Burley V. Carbohydrates and human appetite. *Am J Clin Nutr* 1994 ; 59 (suppl 3) : 728S-734S
- [19] Bougnoux P. N-3 polyunsaturated fatty acids and cancer. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1999 ; 2 : 121-126
- [20] Bourre JM, Daudu O, Baumann N. Ontogenèse des trois systèmes de biosynthèse des acides gras dans les microsomes cérébraux : relation avec la myélinisation. *Biochimie* 1976 ; 58 : 1277-1279
- [21] Bremner I. Manifestations of copper excess. *Am J Clin Nutr* 1998 ; 67 (suppl 5) : 1069S-1073S
- [22] Bresson JL, Rey J. Femmes enceintes et allaitantes. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 293-305
- [23] Brissot P, Moirand R, Guyader D, Jouanolle AM, David V, Deugnier Y. Le diagnostic de l'hémochromatose à l'heure du gène. *Ann Endocrinol* 1999 ; 60 : 210-205
- [24] Brouwer IA, Van Dusseldorp M, West CE, Meyboom S, Thomas CM, Duran M et al. Dietary folate from vegetables and citrus fruit decreases plasma homocysteine concentrations in humans in a dietary controlled trial. *J Nutr* 1999 ; 129 : 1135-1139
- [25] Burgess E, Lewanczuk R, Bolli P, Chockalingam A, Cutler H, Taylor G et al. Lifestyle modifications top prevent and control hypertension. 6. Recommendations on potassium, magnesium and calcium. *Can Med Assoc J* 1999 ; 160 (suppl 9) : S35-S45
- [26] Casey PJ. Protein lipidation in cell signaling. *Science* 1995 ; 268 : 221-225
- [27] Chandra RK. Effect of vitamin and trace-element supplementation on immune responses and infections in elderly subjects. *Lancet* 1992 ; 340 : 1124-1127
- [28] Chango A, Potier de Courcy G, Boisson G, Guillaud JC, Barbé F, Perrin MO et al. 5,10-methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) common mutations on folate status and homocysteine distribution in healthy french adults of the SU.VI.MAX cohort. *Br J Nutr* 2000 ; 84 : 891-896
- [29] Cherbut C. Fibres alimentaires : que devient l'hypothèse de Burkitt ? *Cah Nutr Diét* 1998 ; 33 : 95-104
- [30] Collet-Ribbing C. La santé des Français et leurs consommations alimentaires. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 397-431
- [31] Comité scientifique pour l'alimentation humaine (CSAH). Substances nutritives et consommation énergétique (avis émis le 11 décembre 1992). Commission européenne. Direction générale de l'industrie. Luxembourg : Office des publications officielles des communautés européennes, 1994
- [32] Costa De Carvalho MJ, Guillaud JC, Moreau D, Boggio V, Fuchs F. Vitamin status of healthy subjects in Burgundy (France). *Ann Nutr Metab* 1996 ; 40 : 24-51
- [33] Coudray C. Cuivre. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 158-161
- [34] Coudray C, Hercberg S. Fer. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 150-155
- [35] Cynober L, Alix E, Arnaud-Battandier F, Bonnefoy M, Brocker P, Cals MJ et al. Personnes âgées. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 307-335
- [36] De Lorgeril M. Mediterranean diet in the prevention of coronary heart disease. *Nutrition* 1998 ; 158 : 1181-1187
- [37] Debry G. Sucres et caries dentaires. In : Debry G éd. Sucres et santé. Vol. I. Paris : John Libbey-Eurotext, 1996 : 397-543
- [38] Dietary Reference Intakes (DRI). For thiamine, riboflavin, niacin, vitamin B<sub>6</sub>, folate, vitamin B<sub>12</sub>, pantothenic acid, biotin, and choline (1998); for vitamin C, vitamin E, selenium and carotenoids (2000); for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride; for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc (2001). A report of the panel on micronutrients, subcommittees on upper reference levels of nutrients and interpretation and use of dietary committee on the scientific evaluation of dietary reference intakes. Food and nutrition board, institute of medicine. Washington DC : National Academy Press, 2001
- [39] Droz D, Roland E, Pierson M. Lefluoret l'enfant. *Arch Pédiatr* 2001 ; 8 : 645-654
- [40] Druëke TB, Lacour B. Sodium, potassium, chlore. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 120-131
- [41] Ducros V. Sélénium. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 165-168
- [42] Dupin H. Une enquête à péripéties multiples : la pellagre. Exemple de l'évolution des idées sur les maladies de carence. In : Hercberg S, Dupin H, Papoz L, Galan P éd. Nutrition et santé publique. Approche épidémiologique et politique de prévention. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 1985 : 329-348
- [43] Dupin H, Abraham J, Giachetti I. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Paris : CNRS/CNERNA. Tec et Doc, Lavoisier, 1992
- [44] Enquête INCA individuelle et nationale sur les consommations alimentaires. Paris : Crédoc/AFSSA (Coord : Volatier JL) : Tec et Doc. Lavoisier, 2000
- [45] ESPGAN-Committee report. Comment on the content and composition of infant formulas. *Acta Paediatr Scand* 1991 ; 80 : 887-896
- [46] FAO/OMS/UNU. Besoins énergétiques et besoins en protéines. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU, série de rapports techniques 724, Genève : OMS, 1986
- [47] Favier JC, Christidès JP, Potier de Courcy G. Détermination des folates dans les aliments 3. Teneur des laits en folates. *Sci Aliments* 1987 ; 7 : 23-40
- [48] Frelut ML, Potier de Courcy G, Christidès J, Blot P, Navarro J. Relationship between maternal folate status and foetal hypotrophy in a population with a good socio-economical level. *Int J Vitam Nutr Res* 1995 ; 65 : 267-271
- [49] Galan P, Cherouvrier F, Fernandez-Ballart J, Marti-Henneberg C, Hercberg S. Bioavailable iron density in french and spanish meals. *Eur J Clin Nutr* 1990 ; 44 : 157-163
- [50] Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX et al. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue. *Am J Physiol* 1998 ; 275 : E249-E258
- [51] Garabédian M. Vitamine D. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 229-236
- [52] Garabédian M, Menn S, Nguyen T, Ruiz JC, Callens A, Uhrlich J. Prévention de la carence en vitamine D chez l'enfant et l'adolescent. I. Proposition pour l'utilisation d'un abaque décisionnel. *Arch Pédiatr* 1999 ; 6 : 990-1000
- [53] Garabédian M, Zeghoud F, Jardel A, Vitamine D. In : Le Moël G, Dauvergne A, Gousson T, Guéant JL éd. Le statut vitaminique. Physiopathologie, exploration biologique et intérêt clinique. Paris : E M I. Tec et Doc. Lavoisier, 1998
- [54] Guéant JL, Namour F, Aimone-Gastin I, Nicolas JP. Vitamine B12. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 211-215
- [55] Guéguen L. Calcium, phosphore. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 131-146
- [56] Guillaud JC. Vitamines B3, B5. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 191-196
- [57] Guillaud JC. Vitamine B8. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 203-205
- [58] Guillaud JC, Lemoine A, Potier de Courcy G, Christidès JP. Vitamine B6. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 196-203
- [59] Guillaud JC, Lequeu B. Les vitamines, du nutriment au médicament. Paris : E M I. Tec et Doc. Lavoisier, 1992
- [60] Guillaud JC, Lhuissier M. Vitamine E et activité sportive. *Cah Nutr Diét* 1996 ; 31 : 267-276
- [61] Guillaud JC, Margaritis I, Melin B, Pérès G, Richalet JP, Sabatier PP. Sportifs et sujets à activité physique intense. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 337-394
- [62] Guillaud JC, Penaranda T, Gallet C, Boggio V, Fuchs F, Klepping J. Vitamin status of young athletes including the effects of supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 1989 ; 21 : 441-449
- [63] Guillaumont M. Vitamine K. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 244-248
- [64] Guillaumont M, Leclercq M, Gosselet H, Makala K, DeVignat B. HPLC determination of serum vitamin K1 by fluorometric detection after post column electrochemical reduction. *J Micronutr Anal* 1998 ; 4 : 285-294
- [65] Hallberg L, Rosander-Hulten L, Brune M, Gleerup A. Calcium and iron absorption: mechanism of action and nutritional importance. *Eur J Clin Nutr* 1992 ; 46 : 317-327
- [66] Heaney RP. Calcium. In : Belizkian JP, Rais LG, Rodan GD eds. Principles of bone biology. New York : Academic Press, 1996 : 1007-1018
- [67] Herbert V. Experimental nutritional folate deficiency in man. *Trans Assoc Am Physicians* 1962 ; 75 : 307-320
- [68] Hercberg S, Bichon L, Galan P, Christidès JP, Carroget C, Potier de Courcy G. Iron and folate status of pregnant women: relationship with dietary intakes. *Nutr Rep Int* 1987 ; 35 : 915-930
- [69] Hercberg S, Galan P, Preziosi P, Rousset AM, Arnaud J, Richard MJ et al. Background and rationale behind the SU. VI. MAX study. A prevention trial using nutritional doses of a combination of antioxidant vitamins and minerals to reduce cardiovascular diseases and cancers. *Int J Vitam Nutr Res* 1998 ; 68 : 3-20

- [70] Hercberg S, Preziosi P, Galan P. Le fer. In : Chappuis P éd. Les oligoéléments en médecine et biologie. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 1991; 313-346
- [71] Hercberg S, Preziosi P, Galan P, Deheeger M, Papoz L, Dupin H. Apports nutritionnels d'un échantillon représentatif de la population du Val de Marne. III. Les apports en minéraux et vitamines. *Rev Epidemiol Santé Publique* 1991; 39 : 245-261
- [72] Hercberg S, Preziosi P, Galan P, Devanlay M, Keller H, Bourgeois C et al. Vitamin status of a healthy french population: dietary intakes and biochemical markers. *Int J Vitam Nutr Res* 1994; 64 : 220-232
- [73] Hurtado EK, Claussen AH, Scott KG. Early childhood anemia and mild or moderate mental retardation. *Am J Clin Nutr* 1999; 69 : 115-119
- [74] Ingenbleek Y. Iode. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 161-651
- [75] Jacotot B. Acides gras alimentaires pour la prévention du risque coronarien. *Cah Nutr Diét* 1988; 23 : 211-214
- [76] Kardinaal AF, Ando S, Charles P, Charzewska J, Rotily M, Vaananen K et al. Dietary calcium and bone density in adolescent girls and young women in Europe. *J Bone Miner Res* 1999; 14 : 583-592
- [77] Keys A, Menotti A, Aravanis C, Blackburn H, Djordjevic BS, Buzina R et al. The Seven countries study: 2289 deaths in 15 years. *Prev Med* 1984; 13 : 141-154
- [78] Klepping J, Fuchs F, Boggio V, Moreau D, Guillard JC, Penaranda T et al. Évaluation des apports vitaminique et minéral chez des sportifs adolescents et adultes. *Sci Sports* 1988; 3 : 157-172
- [79] Kushi LH, Folsom AR, Prineas RJ, Mink PJ, Wu Y, Bostick RM. Dietary antioxidant vitamins and death from coronary heart disease in postmenopausal women. *N Engl J Med* 1996; 334 : 1156-1162
- [80] La Rue A, Koehler KM, Wayne SJ, Chiulli SJ, Haaland KY, Garry PJ. Nutritional status and cognitive functioning in a normally aging sample: a 6-y reassessment. *Am J Clin Nutr* 1997; 65 : 20-29
- [81] Lairon D, Cherbut C, Barry JL. Fibres alimentaires. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 99-108
- [82] Lamand M, Tressol JC, Ireland-Ripert J, Favier JC, Feinberg M. Répertoire général des aliments (CIQUAL). Tome 4 : Table de composition minérale. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 1996
- [83] Le Grusse J, Watier B. Les vitamines. Données biochimiques, nutritionnelles et cliniques. Neuilly-sur-Seine : CEIV-Produits Roche, 1993
- [84] Legrand P, Bourre JM, Descomps B, Durand G, Renaud S. Lipides. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 64-82
- [85] Lemoine A, Guillard JC, Christidès JP. Vitamine B<sub>1</sub>. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 180-187
- [86] Lemoine A, Le, Devehat C, Herbeth B. Enquêtes sur le statut vitaminique de trois groupes d'adultes français, témoins, obèses, buveurs excessifs. *Ann Nutr Metab* 1986; 30 (suppl 1) : 1-94
- [87] Leppälä JM, Virtamo J, Fogelholm R, Albanes D, Taylor PR, Heinonen OP. Vitamin E and beta carotene supplementation in high risk for stroke. A subgroup analysis of the Alpha-Tocopherol Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *Arch Neurol* 2000; 57 : 1503-1509
- [88] Lequeu B, Guillard JC. Vitamine B<sub>2</sub>. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 187-191
- [89] Little J. Multivitamins, folate and colon cancer. *Gut* 2001; 48 : 12-13
- [90] Luke B, Petrie RH. Intrauterine growth: correlation of infant birth weight and maternal postpartum weight. *Am J Clin Nutr* 1980; 33 : 2311-2317
- [91] Martin A. Équilibre alimentaire et couverture des besoins. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 433-469
- [92] Matkovic V. Calcium metabolism and calcium requirements during skeletal modeling and consolidation of bone mass. *Am J Clin Nutr* 1991; 54 (suppl 1) : 245S-260S
- [93] Mennen LI, Bertrais S, Galan P, Arnault N, Potier de Courcy G, Hercberg S. The use of computerized 24-hour dietary recalls in large epidemiological studies. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56 : 659-665
- [94] Meunier PJ. Calcium, vitamin D and vitamin K in the prevention of fractures due to osteoporosis. *Osteoporos Int* 1999; 9 (suppl 2) : S48-S52
- [95] Mills JL, Kirke PN, Molloy AM, Burke H, Conley MR, Lee YJ et al. Methylene tetrahydrofolate reductase thermolabile variant and oral clefts. *Am J Med Genet* 1999; 86 : 71-74
- [96] Motil KJ, Sheng HP, Kertz B, Montandon CM, Ellis KJ. Lean Body Mass of well-nourished women is preserved during lactation. *Am J Clin Nutr* 1998; 67 : 292-300
- [97] MRC vitamin study research group. Prevention of neural tube defects: results of the medical research council vitamin study. *Lancet* 1991; 338 : 131-137
- [98] Navarro J, Goutet JM, Roy C, Bonnet-Gajdos M, Polonovsky C. Carence folique et dépression de l'immunité cellulaire. *Arch Fr Pédiatr* 1980; 37 : 279-281
- [99] Omenn GS, Goodman GE, Thornquist MD, Almes J, Cullen MR, Glass A et al. Effects of a combination of beta carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease. *N Engl J Med* 1996; 334 : 1150-1155
- [100] Patureau-Mirand P, Arnal M. Le vieillissement. In : Leverve X, Cosnes J, Erny P, Hasselmann M éd. Traité de nutrition artificielle de l'adulte. Paris : SFNEP, 1998 : 377-392
- [101] Patureau-Mirand P, Beaufrère B, Grizard J, Obled C, Arnal M. Protéines et acides aminés. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 37-62
- [102] Potier de Courcy G. Introduction sur les vitamines hydrosolubles et liposolubles. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 177-180
- [103] Potier de Courcy G, Christidès JP, Hercberg S. Vitamine B<sub>9</sub>. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 205-211
- [104] Potier de Courcy G, Deheeger M, Chaveroux F, Cornet P, Fuchs F, Guillard JC et al. Étude comparée de l'alimentation de femmes enceintes parisiennes et lilloises. *Cah Nutr Diét* 1998; 33 : 29-40
- [105] Prentice AM, Goldberg GR, Davies H, Murgatroyd PR, Scott W. Energy-sparing adaptations in human pregnancy assessed by whole-body calorimetry. *Br J Nutr* 1989; 62 : 5-22
- [106] Prentice AM, Spaaij CJK, Goldberg GR, Poppitt SD, van Raaij JM, Totton M et al. Energy requirements of pregnant and lactating women. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50 (suppl 1) : S82-S110
- [107] Quéré I, Bellet H, Hoffet M, Janbon C, Mares P, Gris JC. A woman with five consecutive fetal deaths: case report and retrospective analysis of hyperhomocysteinemia prevalence in 100 consecutive women with recurrent miscarriage. *Fertil Steril* 1998; 69 : 152-154
- [108] Rapport du haut comité de la santé publique. Pour une politique nutritionnelle de santé publique en France - Enjeux et propositions. Rennes : éditions ENSP, 2000
- [109] Rapport intitulé. Méthode et analyse d'une simulation de l'enrichissement des aliments en vitamines et minéraux. Étude réalisée en collaboration avec J. Maffre (OCA/CREDOC) par un groupe de travail réuni à cet effet et, après approbation par la CEDAP, transmise par la DGCCRF à la DGXXIV, à Bruxelles, 2000
- [110] Rayssiguier Y, Boirie Y, Durlach J. Magnésium. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 146-149
- [111] Révész C, Lopez H, Levrat-Verny MA, Demigné C, Rayssiguier Y. Influence des produits végétaux et de divers glucides fermentescibles sur la biodisponibilité des minéraux. In : Roberfroid MB éd. Aliments fonctionnels. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 55-68
- [112] Répertoire général des aliments. Table de composition du CIQUAL. Paris : INRA. Tec et Doc. Lavoisier, 1995
- [113] Rolland-Cachera MF, Bellisle F, Deheeger M. Nutritional status and food intake in adolescents living in Western Europe. *Eur J Clin Nutr* 2000; 54 (suppl 1) : S41-S46
- [114] Rolland-Cachera MF, Cole TJ, Sempe M, Tichet J, Rossignol C, Charaud A. Variation of the body mass index in the french population from 0 to 87 years. In : Ailhaud G ed. Obesity in Europe 91. London : John LibbeyEurotext, 1992 : 113-120
- [115] Sauberlich HE, Hodges RE, Wallace DL, Kolder H, Canham JE, Hood J et al. Vitamin A metabolism and requirements in the human studied with the use of labeled retinol. *Vitam Horm* 1974; 32 : 251-275
- [116] Scholl TO, Hediger ML. Anemia and iron-deficiency anemia: compilation of data on pregnancy outcome. *Am J Clin Nutr* 1994; 59 (suppl 2) : 492S-501S
- [117] SENeca investigators. Longitudinal changes in the intake of vitamins and minerals of elderly europeans. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50 (suppl 2) : S77-S85
- [118] Simonsen N, van't Veer P, Strain JJ, Martin-Moreno JM, Huttunen JK, Navajas JF et al. Adipose tissue omega-3 and omega-6 fatty acid content and breast cancer in the EURAMIC study. European community multicenter study on antioxidants, myocardial infarction and breast cancer. *Am J Epidemiol* 1998; 147 : 342-352
- [119] Slattery ML, Boucher KM, Caan BJ. Eating patterns and risk of colon cancer. *Am J Epidemiol* 1998; 148 : 4-16
- [120] Valeix P, Zarebska M, Preziosi P, Galan P, Pelletier B, Hercberg S. Iodine deficiency in France. *Lancet* 1999; 353 : 1766-1767
- [121] van der Put NM, Steegers-Theunissen RP, Frosst P, Trijbels FJ, Eskes TK, van der Heuvel LP. Mutated methylenetetrahydrofolate as a risk factor for spina bifida. *Lancet* 1995; 346 : 1070-1072
- [122] Vermorel Ritz P, Tappy L, Laville M. Énergie. In : Apports nutritionnels conseillés. Paris : Tec et Doc. Lavoisier, 2001 : 17-36
- [123] Voutilainen S, Rissanen TH, Virtanene J, Lakka T, Salonen JT. Low dietary folate intake is associated with an excess incidence of acute coronary events. The Kuopio ischemic disease risk factor study. *Circulation* 2001; 103 : 2674-2680
- [124] Zeghoud F, Delaveyne R, Rehel P, Chalas J, Garabédian M, Odièvre M. Vitamine D et maturation pubertaire. Intérêt et tolérance de la supplémentation en vitamine D pendant l'hiver. *Arch Pédiatr* 1995, 2 : 221-226