

ok

# EST-IL POSSIBLE DE DEMANDER AUX FRANÇAIS DE RESPECTER LES APPORTS NUTRITIONNELS CONSEILLÉS ?

Nicole DARMON<sup>1</sup>, A. <sup>3</sup> ~~BRIEND~~<sup>1, 2</sup>

*Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont des valeurs de référence d'apport en nutriments [1] qui permettent d'évaluer le degré de couverture des apports en nutriments essentiels d'une population à partir des résultats d'une enquête de consommation alimentaire. Calculés à partir des besoins physiologiques d'individus en bonne santé, les ANC représentent un optimum d'apport censés couvrir les besoins de la quasi-totalité de la population. Avant que la remise à jour des ANC ne soit achevée dans le cadre de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), il semble important de vérifier globalement la faisabilité de telles recommandations nutritionnelles.*



La programmation linéaire est une technique de calcul itérative basée sur l'algorithme du simplexe [2]. Classiquement adaptée à la résolution de problèmes économiques, tels que la maximisation des profits d'une entreprise, elle est aujourd'hui accessible à tous du fait de la puissance de résolution des systèmes informatiques et de la commercialisation de programmes simples d'utilisation. L'utilisation de la programmation linéaire en nutrition a longtemps été limitée au secteur de l'économie agricole où elle a permis depuis plus de 40 ans la formulation à coût minimal d'aliments pour le bétail [3]. Il est aisé avec cette technique de concevoir des rations équilibrées, les recommandations étant directement convertibles en contraintes chiffrées imposées dans le programme. Il est plus délicat, par contre, de concevoir par programmation linéaire des rations qui aient une bonne acceptabilité gustative, car cela nécessite d'objectiver la notion de palatabilité par une série d'équations. Cette difficulté explique en partie pourquoi la programmation linéaire est restée peu employée jusqu'ici en nutrition humaine. Les très rares études publiées jusqu'ici ont eu pour but de proposer des régimes bon marché [4] et d'analyser les contraintes de coût qui pèsent sur la constitution de rations équilibrées [5]. Ce type d'approche a permis de calculer le montant de l'allo-

cation de coupons d'aide alimentaire destinés aux personnes en difficulté aux États-Unis [6], de développer des indicateurs de sécurité alimentaire en Colombie [7], et de formuler des menus de bon rapport qualité/prix dans le cadre institutionnel en Israël [8].

La programmation linéaire est utilisée ici pour tester la cohérence des recommandations nutritionnelles entre elles et examiner les contraintes qui pèsent sur la constitution de rations respectant l'ensemble des ANC actuels. Les rations théoriques présentées ci-après ne sont que le résultat de la mise en pratique des ANC par programmation linéaire et ne doivent pas être considérées comme des rations modèles ou des conseils alimentaires.

Fonds Documentaire ORSTOM  
**Méthodes** Cote: B\* 21002 Ex: 1  
**Aliments et nutriments**

Une table alimentaire, établie à partir de la table de composition de McCance et Widdowson, et comportant 80 aliments-type a été remise à jour à partir de la table conçue pour l'enquête alimentaire française « Val de Marne » [9]. Cette table a été complétée par des colonnes de poids, correspondant soit aux centiles des consommations journalières observées (95<sup>e</sup>, 90<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 50<sup>e</sup>) pour chaque aliment, soit à des poids supérieurs au 95<sup>e</sup> centile (notés poids « max »). Les centiles de consommation ont été extraits de l'enquête Val de Marne et les poids « max »

1. Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale/Institut Scientifique et Technique National de l'Alimentation, 2, rue Conté, 75003 Paris.  
 2. Institut de Recherche pour le Développement, Paris.

Correspondance : N. Darmon, ISTNA/CNAM, 5, rue du Vertbois, 75003 Paris.  
 E-mail : darmon@cnam.fr



sont proches des portions moyennes proposées dans le classeur photographique validé et utilisé pour l'enquête SU.VI.MAX [10].

### Construction de rations théoriques par programmation linéaire

Des rations respectant l'ensemble des ANC ont été obtenues par programmation linéaire avec le programme Solveur Microsoft Excel (Frontline Systems, Inc) qui utilise l'algorithme du simplexe pour la résolution des problèmes linéaires. Cette procédure permet de minimiser (ou maximiser) le résultat d'une fonction linéaire tout en respectant sur les variables de cette fonction un certain nombre de contraintes linéaires [2]. La fonction optimisée peut être par exemple l'énergie totale de la ration (minimisation) ou le rapport AGPI/AGS (maximisation). Les quantités des aliments (c'est à dire la sélection d'un certain nombre d'aliments et de leurs quantités respectives) représentent les variables dont la valeur peut être ajustée pour respecter la totalité des contraintes qui définissent l'équilibre alimentaire.

### Définition de l'équilibre alimentaire des rations théoriques

L'équilibre alimentaire des rations optimisées est objectif par une liste de contraintes d'ordre nutritionnel, toxicologique et gustatif.

a) La qualité nutritionnelle de la ration correspond au respect des ANC actuellement en vigueur pour l'homme adulte, la femme adulte et pour l'enfant de 1 à 3 ans [1]. Alors que les ANC sont très précis pour les vitamines et les minéraux, on peut noter une certaine souplesse sur la répartition énergétique de la ration en macronutriments et nous avons donc fixé pour nos rations théoriques des fourchettes relativement larges pour les pourcentages d'énergie provenant des lipides ( $\geq 30\%$  et  $\leq 40\%$ ) et des protéines ( $\geq$  besoin (g) et  $\leq 16\%$ ). L'ensemble des contraintes nutritionnelles que nous avons appliquées sont détaillées (tableau I). En l'absence de recommandations précises, nous avons eu recours aux données de la littérature pour les besoins minimaux en AGPI et pour les pourcentages maximaux d'énergie provenant des AGS et des sucres. Aucune contrainte minimale n'a été imposée de façon systématique pour la vitamine D, les fibres ou le rapport AGPI/AGS. En ce qui concerne la fonction énergie totale de la ration, deux approches ont été utilisées selon les analyses effectuées : soit l'optimisation visait justement à la minimisation de l'énergie totale (et aucune contrainte chiffrée ne portait donc sur cette fonction), soit une fourchette était imposée, correspondant aux 2 premières contraintes du tableau I. Compte tenu de la diminution régulière de la consommation énergétique au cours des dernières décennies [11], nous avons opté pour des fourchettes de niveau énergétique de valeurs inférieures aux valeurs des ANC et proches des valeurs réellement observées chez les enfants [12] et adultes [13] Français. L'équilibre défini par les ANC désignant en fait une moyenne portant sur plusieurs jours, les rations obtenues sont assimilables à des rations journalières moyennes.

b) La qualité nutritionnelle tient également compte des seuils maximaux acceptables en minéraux et vitamines, apparaissant sous forme de contraintes maximales (tableau I). Ces seuils sont basés sur les limites de sécurité fixées par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de

France [14] ou sur les recommandations européennes [15].

c) Un minimum d'acceptabilité gustative est assuré par des contraintes qui fixent pour chaque aliment un poids maximal acceptable. Plusieurs configurations ont été testées : différents centiles des consommations réellement observés ou poids « max » définis plus haut. En absence de contraintes sur les poids, les rations construites sont monotones, basées exclusivement sur l'emploi d'aliments de forte densité nutritionnelle tels que : lait, huile, foie, mollusques, pain complet, légumes secs, fruits/jus de fruits et céréales enrichies.

### Niveau des recommandations en minéraux et en vitamines

Dans certaines analyses, les résultats obtenus avec les ANC ont été comparés avec ceux obtenus avec les PRI (Population Reference Intake) européens [15] et avec les RDA (Recommended Dietary Allowance) américains [16]. D'une façon générale, le niveau des RDA est sensiblement égal à celui des ANC alors que celui des PRI est nettement plus bas (à l'exception des recommandations en fer pour la femme). Dans la pratique, des apports supérieurs à 2/3 des ANC sont souvent considérés comme acceptables. Nous avons donc testé la faisabilité des rations non seulement pour un niveau égal à 1 fois les ANC, mais aussi pour 2/3 des ANC et pour la moitié des ANC.

## Résultats

### Limites de faisabilité des ANC

Pour chacune des trois catégories d'âge et de sexe choisies, homme adulte, femme adulte et enfant de 1 à 3 ans, la ration recherchée a été celle qui respectait l'ensemble des ANC pour le minimum d'énergie possible. Toutes les contraintes listées (tableau I) devaient donc être respectées à l'exception des deux premières qui fixent la fourchette acceptable pour l'énergie totale.

Un premier constat a été l'impossibilité de construire une ration respectant l'ensemble des ANC lorsque les poids maximaux autorisés pour chaque aliment étaient fixés au 50<sup>e</sup> ou même au 75<sup>e</sup> centile de consommation. Ceci était vrai pour les 3 catégories d'âge et de sexe testées. De plus, ce n'était pas une particularité des recommandations françaises puisqu'on observait la même impossibilité (dans les trois catégories d'âge et de sexe) avec les RDA et les PRI (résultats non montrés). Si des poids égaux au 90<sup>e</sup> centile étaient autorisés, des rations respectant l'ensemble des contraintes nutritionnelles et toxicologiques pouvaient être construites mais avec une certaine difficulté, mise en évidence par l'impossibilité d'optimiser la fonction énergie totale. De plus, quel que soit le type de recommandations en vitamines et minéraux, ANC, RDA ou PRI, les rations au 90<sup>e</sup> centile se caractérisaient par un niveau énergétique minimal élevé ( $\geq 2\,700$ ,  $\geq 2\,450$  ou  $\geq 1\,475$  kcal pour l'homme, la femme et l'enfant respectivement). La seule exception à cette règle était la possibilité de construire pour l'enfant de 1 à 3 ans une ration au 90<sup>e</sup> centile respectant les PRI pour moins de 750 kcal. Avec des poids inférieurs ou égaux aux 95<sup>e</sup> centiles ou aux poids « max », les rations étaient plus aisées à construire et à optimiser, et ceci pour une valeur énergétique minimale plus faible.

## comportement alimentaire

**Tableau I.**

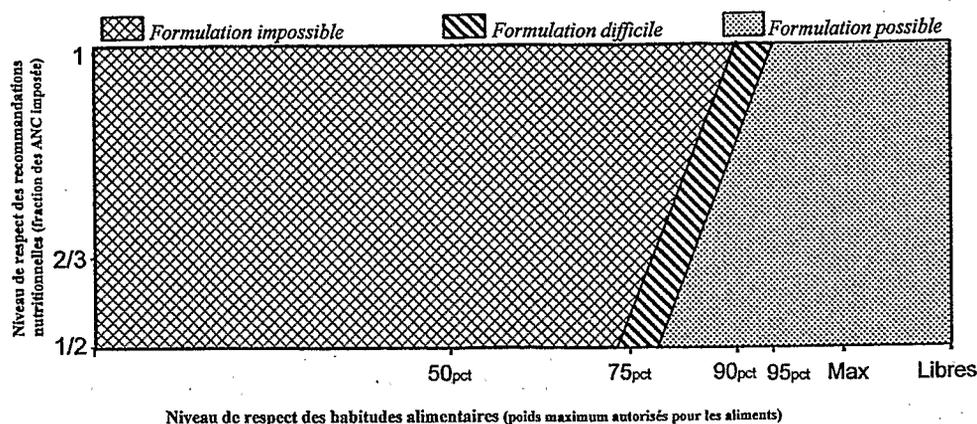
Liste des contraintes nutritionnelles, basées sur les ANC de 1992, respectées par les rations optimisées formulées par programmation linéaire.

Texte explicatif : Les contraintes concernant les macronutriments et les limites de sécurité (seuils maximaux) sont communes aux 3 configurations.

	Homme adulte	Femme adulte	Enfant 1-3 ans
<b>Énergie totale (Kcal)</b>	≥ 2 300 ≤ 2 500	≥ 1 700 ≤ 1 900	≥ 1 200 ≤ 1 400
<b>% Énergie Lipidique</b>	≥ 30 ≤ 40	≥ 30 ≤ 40	≥ 30 ≤ 40
<b>% Énergie Protidique</b>	≤ 16	≤ 16	≤ 16
<b>% Énergie Sucres</b>	≤ 12	≤ 12	≤ 12
<b>% Énergie AGS</b>	≤ 12	≤ 12	≤ 12
<b>AGPI (g)</b>	≥ 12	≥ 9	≥ 7
<b>Protéines (g)</b>	≥ 81	≥ 60	≥ 16
<b>Fibres (g)</b>	pas de recommandation	pas de recommandation	pas de recommandation
<b>Cholestérol (mg)</b>	≤ 300	≤ 300	≤ 300
<b>Alcool (g)</b>	= 0	= 0	= 0
<b>K (mg)</b>	≥ 2 000	≥ 2 000	≥ 1 000
<b>Ca (mg)</b>	≥ 900	≥ 900	≥ 600
<b>rapport Ca/P</b>	≥ 0,7	≥ 0,7	≥ 1
<b>seuil maximal</b>	≤ 2 500	≤ 2 500	≤ 2 500
<b>Mg (mg)</b>	≥ 420	≥ 330	≥ 120
<b>P (mg)</b>	≥ 800	≥ 800	≥ 500
<b>seuil maximal</b>	≤ 5 000	≤ 5 000	≤ 5 000
<b>Fe (mg)</b>	≥ 10	≥ 18	≥ 10
<b>seuil maximal</b>	≤ 100	≤ 100	≤ 100
<b>Cu (mg)</b>	≥ 2,5	≥ 2,5	≥ 1
<b>seuil maximal</b>	≤ 10	≤ 10	≤ 10
<b>Zn (mg)</b>	≥ 15	≥ 12	≥ 10
<b>seuil maximal</b>	≤ 15,1	≤ 15,1	≤ 15,1
<b>Se (µg)</b>	≥ 70	≥ 55	≥ 20
<b>seuil maximal</b>	≤ 150	≤ 150	≤ 150
<b>I (µg)</b>	≥ 150	≥ 150	≥ 70
<b>seuil maximal</b>	≤ 1 000	≤ 1 000	≤ 1 000
<b>Vit. A (µg Eq-rétinol)</b>	≥ 1 000	≥ 800	≥ 400
<b>β-Carotène (µg Eq-rétinol)</b>	≥ 600	≥ 480	≥ 240
<b>Rétinol (µg) seuil maximal</b>	≤ 2 000	≤ 2 000	≤ 2 000
<b>Vit. B1 (mg)</b>	≥ 1,5	≥ 1,3	≥ 0,7
<b>Vit. B2 (mg)</b>	≥ 1,8	≥ 1,5	≥ 0,8
<b>Vit PP (mg)</b>	≥ 18	≥ 15	≥ 9
<b>seuil maximal</b>	≤ 51	≤ 51	≤ 51
<b>Vit. C (mg)</b>	≥ 80	≥ 80	≥ 35
<b>seuil maximal</b>	≤ 1 000	≤ 1 000	≤ 1 000
<b>Vit. E (mg)</b>	≥ 12	≥ 12	≥ 5
<b>seuil maximal</b>	≤ 52	≤ 52	≤ 52
<b>Vit. B6 (mg)</b>	≥ 2,2	≥ 2	≥ 0,8
<b>Vit. B12 (µg)</b>	≥ 3	≥ 3	≥ 2
<b>Vit. B9 (µg)</b>	≥ 300	≥ 300	≥ 100
<b>seuil maximal</b>	≤ 900	≤ 900	≤ 900

La figure 1 met en évidence les impacts respectifs du niveau de respect des habitudes alimentaires et du niveau des recommandations en vitamines et minéraux sur la formulation de rations optimisées pour les adultes homme ou femme. On peut voir qu'une diminution globale du niveau des ANC permet de formuler des rations un peu plus proches des habitudes alimentaires des Français. Néanmoins,

même en divisant les ANC par deux, il est difficile de construire des rations avec des poids d'aliments inférieurs ou égaux au 75<sup>e</sup> centile de consommation et cela demeure impossible au 50<sup>e</sup> centile. Pour l'enfant de 1 à 3 ans, la formulation de rations est plus aisée que pour l'adulte, la femme particulièrement. Ainsi, il est possible de construire des rations « enfant » à 2/3 des ANC avec



**Figure 1.** Impacts respectifs du niveau de respect des habitudes alimentaires et du niveau des ANC sur la formulation de rations optimisées pour les adultes homme ou femme.

des poids inférieurs ou égaux au 75<sup>e</sup> centile, mais cela reste impossible avec des poids inférieurs ou égaux à la médiane (résultats non montrés).

**Impact du taux de protéines et de lipides de la ration sur le respect des recommandations**

Une quantité énergétique minimale étant requise pour le respect des recommandations, ce niveau énergétique minimal est-il influencé par les proportions respectives des macronutriments ? La figure 2 montre l'impact des pourcentages d'énergie protidique d'une part et lipidique d'autre part sur le niveau d'énergie minimale requise pour le respect des ANC et des PRI pour une ration femme adulte (avec des poids ≤ 95<sup>e</sup> centile). Les résultats obtenus avec les RDA sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus avec les ANC et ne sont donc pas donnés.

– Pour un taux de lipides défini (entre 30 % et 40 % de l'énergie totale de la ration), l'énergie minimale requise pour le respect des ANC est d'autant plus faible que la teneur en protéines de la ration est plus élevée (Fig. 2.1). Il en va de même pour les PRI, bien que les niveaux d'énergie requis soient toujours plus faibles en valeur absolue avec les PRI qu'avec les ANC, du fait de la moindre exigence des PRI en minéraux et vitamines. La construction de rations respectant l'ensemble de toutes les contraintes (autres que le % de protéines) est théoriquement possible dans une gamme allant de 7 % à 26 % de l'énergie sous forme protéique pour les PRI et de 9 % à

26 % pour les ANC. Cependant, si l'on admet que la ration d'une femme adulte dépasse rarement 1 900 kcal, les ANC ne peuvent être respectés à ce niveau énergétique que si la ration contient au moins 15 % de protéines. – Pour un taux de protéines défini (≥ besoin (g) et ≤ 16 % de l'énergie totale de la ration), l'énergie minimale requise pour le respect des ANC est peu modifiée par la teneur en lipides de la ration (Fig. 2.2). Là encore, les niveaux d'énergie requis sont plus faibles en valeur absolue avec les PRI qu'avec les ANC et la gamme du possible est plus étendue avec les PRI (de 12 % à 50 % de lipides) qu'avec les ANC (de 20 % à 45 % de lipides).

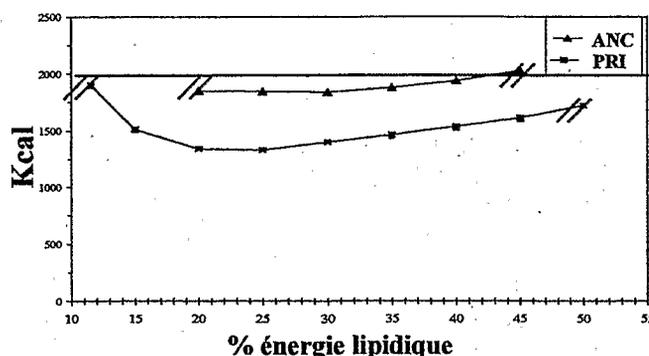
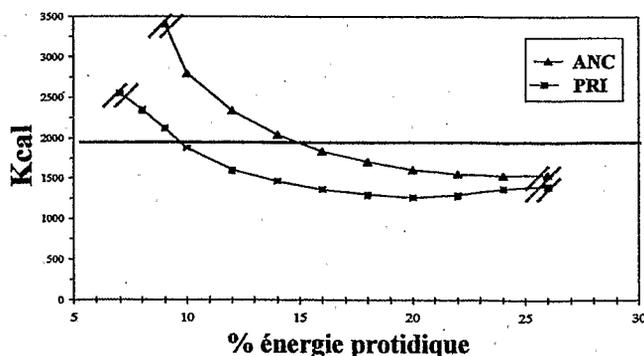
– La teneur en glucides de la ration, comme celle des lipides, a peu d'impact sur l'énergie minimale requise pour le respect des ANC (résultats non montrés).

**Composition en aliments et en nutriments des rations théoriques optimisées**

Pour chacune des trois catégories d'âge et de sexe, 10 rations ont été obtenues à partir de critères d'optimisation différents (Fig. 3) : toutes ces rations respectent l'ensemble des ANC et la plupart utilisent des poids ≤ 95<sup>e</sup> centile.

**Composition en aliments (tableaux II et III)**

Une des 30 rations analysées est donnée en exemple tableau II : cette ration respecte l'ensemble des contraintes pour la femme adulte listées tableau I plus deux contraintes additionnelles : Vit D ≥ 1,2 µg et rapport AGPI/AGS ≥ 0,7 et utilise des poids d'aliments inférieurs ou



**Figure 2.**

Énergie minimale requise pour le respect des recommandations nutritionnelles (femme adulte) selon 1) le taux de protéines dans la ration ; 2) le taux de lipides dans la ration.

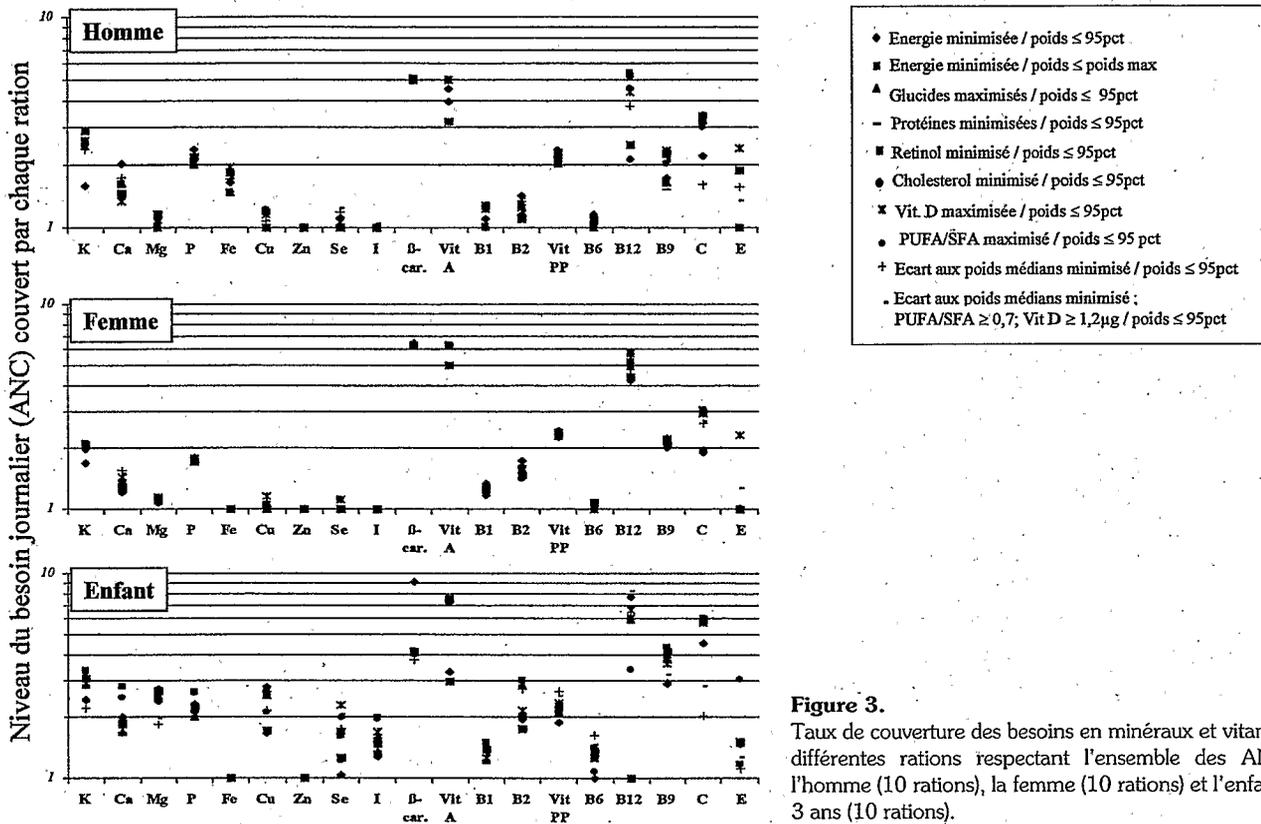


Figure 3.

Taux de couverture des besoins en minéraux et vitamines par différentes rations respectant l'ensemble des ANC pour l'homme (10 rations), la femme (10 rations) et l'enfant de 1 à 3 ans (10 rations).

égaux au 95<sup>e</sup> centile. Si on nomme Ps les poids introduits par le programme dans la ration et Pm les 50<sup>e</sup> centiles de consommation, la fonction minimisée ici est  $\sum(Ps - Pm / Pm + 1)^2$  de façon à obtenir une ration qui s'éloigne le moins possible des habitudes de consommation d'aliments. Quatre groupes d'aliments contribuent de façon majeure à l'apport énergétique total de cette ration : les produits céréaliers (37 %), les fruits et légumes (19 % pour l'ensemble fruits et légumes frais, jus de fruits, fruits secs et oléagineux), les viandes, les poissons et les œufs (17 %) et les produits laitiers (12 %). D'une façon générale, quelle que soit l'optimisation réalisée ou la catégorie d'âge et de sexe considérée, les rations optimisées comportent plus de fruits et légumes et moins de viandes-poissons-œufs que les rations médianes ou moyennes observées dans les enquêtes alimentaires françaises [12, 17] et ne contiennent jamais de matières grasses animales. Les rations optimisées comportent systématiquement quelques aliments relativement peu consommés habituellement, mais très denses en vitamines et minéraux tels que fruits secs et oléagineux, foie et abats, mollusques, pain complet et légumes secs. Le tableau III dresse la liste des aliments dont le poids au 75<sup>e</sup> centile est égal à 0 mais qui sont fréquemment retrouvés dans les rations théoriques au maximum du poids autorisé (95<sup>e</sup> centile). Le fait que ces aliments soient introduits au maximum du poids autorisé suggère qu'ils sont indispensables à la constitution des rations théoriques. La suppression de deux ou trois de ces aliments n'empêche pas la formulation de rations optimisées mais lorsque la liste entière est éliminée on confirme l'impossibilité dans laquelle on se trouve à vouloir respecter à la fois l'ensemble des ANC tout en s'approchant des habitudes de consommation alimentaire des Français (Fig. 1).

Composition en macronutriments (tableau IV)

Les 30 rations étudiées se situent toutes au maximum de protéines autorisé par les contraintes (16 %) et comportent assez peu de lipides (en général moins de 32,5 %). Le rapport PA/PV est < 2 et la teneur en fibres > 30 g chez l'adulte et > 11 g chez l'enfant. L'énergie provenant des sucres est très variable, sauf dans les rations « enfant » pour lesquelles la limite supérieure autorisée est toujours atteinte (12 %). Une quantité minimale d'AGS est nécessaire pour que toutes les autres contraintes puissent être satisfaites (6,6 % ; 7,5 % et 10,2% les rations « femme », « homme » et « enfant »). Le rapport AGPI/AGS est spontanément assez faible (plus souvent proche de 0,4 que de 1) à moins de le maximiser ou de lui imposer une valeur minimale.

Composition en micronutriments (Figure 3)

Quelle que soit la catégorie d'âge et de sexe considérée ou l'optimisation réalisée, certaines vitamines sont toujours présentes dans les rations théoriques en excès par rapport à l'ANC : il s'agit du β-carotène et de la vitamine A, ainsi que des vitamines C, B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub>. Au contraire, pour d'autres nutriments, les valeurs atteintes dépassent à peine le seuil minimal exigé, suggérant qu'il s'agit de contraintes particulièrement difficiles à respecter : dans les rations adultes, le magnésium, le cuivre, le sélénium et les vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>6</sub> ne dépassent jamais 1,25 ANC. Dans les rations enfants, les nutriments sont généralement présents en large excès par rapport aux ANC, à l'exception des vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>6</sub> qui ne dépassent pas 1,5 ANC et surtout du fer et du zinc qui se situent à la limite minimale de 1 ANC. Les nutriments pour lesquels les valeurs sont toujours égales à 1 ANC quel que soit le type d'optimi-

**Tableau II.**

Exemple de ration respectant l'ensemble des ANC pour la femme adulte.

Texte explicatif : Toutes les contraintes nutritionnelles listées dans le *Tableau I* sont respectées plus deux contraintes additionnelles : vitamine D  $\geq 1,2 \mu\text{g}$  ; AGPI/AGS  $\geq 0,7$  ; poids  $\leq 95^{\text{e}}$  centile.

La minimisation porte sur l'écart aux poids médians.

		Poids (g)
Viandes	Bœuf, Mouton	83
Abats	Foie	10
	Autres abats	5
Œufs	Œufs	28
Poissons-fruits de mer	Crustacés-mollusques	10
	Poissons en conserve	14
Produits laitiers	Lait demi-écrémé	38
	Yaourt	247
	Fromage pâte ferme	8
Produits céréaliers	Pain	81
	Pain complet	60
	Biscuits chocolatés	8
	Biscuits secs	24
	Céréales enrichies	24
	Pâtisseries	11
	Tubercules	Pommes de terre
Légumes secs	Légumes secs cuits	45
Légumes frais	Légumes feuilles	227
	Légumes racines	171
	Légumes fruits	190
	Légumes graines	57
	Jus de fruits	Jus de fruits
Fruits frais et secs	Fruits de pays	327
	Agrumes	220
	Bananes-raisins	53
	Fruits secs	10
	Fruits oléagineux	14
Matières grasses végétales	Huile de tournesol	17
Produits sucrés	Chocolat en poudre	10
Eau	Eau du robinet	1 500

sation demandée apparaissent comme des facteurs « limitants » pour la construction de rations théoriques. Ce sont tous des oligoéléments : fer pour les rations femme et enfant, iode pour les rations adultes, et zinc pour les trois catégories d'âge et de sexe.

## Discussion

L'utilisation de la programmation linéaire pour la formulation de rations alimentaires indique que les ANC de 1992 sont incompatibles avec les habitudes de consom-

mation d'aliments par la population française. Cette étude doit cependant être interprétée avec prudence, les résultats ayant été obtenus en combinant des données difficiles à mesurer et par nature imprécises : en effet, cette étude est basée sur des résultats de consommations alimentaires et sur l'utilisation d'une table de composition nutritionnelle regroupant les aliments en un nombre limité d'items. Néanmoins, une similitude importante est observée entre les recommandations détectées par programmation linéaire comme étant les plus difficiles à respecter et les nutriments posant un problème d'apport dans la population française, ce qui valide dans une certaine mesure la méthode employée.

Tableau III.

Aliments importants pour la formulation de rations optimisées mais non consommés par plus de 75 % de la population française.

Foie et autres abats
Crustacés-mollusques. Poissons en conserve
Pain complet. Céréales enrichies
Fruits oléagineux. Fruits secs
Jus de fruits
Chocolat en poudre

Que ce soit pour l'homme, la femme ou l'enfant de 1 à 3 ans, la construction d'une ration respectant les ANC est tout simplement impossible à réaliser quand on impose au programme de ne pas dépasser les quantités d'aliments effectivement consommées par 50 à 75 % de la population. Pour pouvoir construire des rations respectant tous les ANC simultanément, certains aliments doivent être introduits en quantités au moins égales à celles consommées habituellement par les 5 à 10 % les plus grands consommateurs de ces aliments. Pour pouvoir poursuivre l'analyse, nous avons donc dû autoriser l'introduction de ces quantités importantes. Les résultats montrent qu'un niveau énergétique minimal, qui peut être calculé par programmation linéaire, est requis pour la construction de rations respectant les recommandations nutritionnelles. Ce niveau minimal est d'autant plus faible que la teneur en protéines de la ration est importante. Concrètement, il est difficile (ou même impossible dans le cas des rations pour les femmes adultes) de respecter l'ensemble des ANC avec des régimes comportant moins de 15 % de protéines, à moins d'augmenter fortement l'énergie totale de la ration. Telles qu'elles sont formulées dans l'édition de 1992, les recommandations françaises, qui conseillent un apport de 12 % de l'énergie sous forme de protéines, ne sont pas compatibles avec les teneurs en vitamines et minéraux recommandées. Le pourcentage d'énergie protéique des rations théoriques se situe donc toujours au maximum autorisé par le programme, soit 16 %, ce qui est légèrement inférieur aux 17 à 18 % observés dans la population française [9, 13]. Les rations théoriques comportent souvent le minimum de lipides autorisé par les contraintes, soit 30 %, ce qui est nettement plus faible que les valeurs effectivement observées dans la population, généralement supérieures à 35 % [9, 13]. Ceci ne s'explique pas par le besoin de maintenir un niveau énergétique bas puisque le niveau énergétique minimal requis pour le respect de tous les ANC est très peu influencé par la teneur en lipides de la ration (Fig. 2). La faible proportion de lipides s'explique plutôt par la nécessité de respecter les contraintes maximales fixées pour le cholestérol (< 300 mg) et le rétinol (< 2 000 µg), qui sont souvent atteintes, suggérant qu'elles sont difficiles à respecter. Bien que la part des produits végétaux soit importante et que les matières grasses animales ne soient jamais choisies par le programme, le rapport AGPI/AGS est spontanément assez faible (plus souvent proche de 0,4 que de 1) à moins de le maximiser ou de lui imposer une valeur minimale. Au vu de ces données, il semble donc illusoire de conseiller un rapport de 1, à moins de supposer qu'un profond changement des habitudes alimentaires puisse avoir lieu.

Pour les jeunes enfants, le respect des recommandations est un peu plus facile à atteindre que pour les adultes car

leurs besoins en énergie sont élevés par rapport à leurs besoins en micronutriments. La teneur relativement élevée en AGS des rations « enfant » s'explique par la contribution importante des produits laitiers dans ces rations. Quant à la forte teneur en sucres (maximum autorisé), elle traduit le fait que le 95<sup>e</sup> centile est plus élevé chez l'enfant que chez l'adulte pour certains aliments riches en sucre ayant une concentration élevée en micronutriments (chocolat en poudre, céréales enrichies, jus de fruits).

Le respect des ANC implique une augmentation importante de la consommation d'aliments végétaux riches en vitamines et minéraux par rapport à ce qui est observé actuellement. Ceci est particulièrement net dans le cas des recommandations pour la femme, qui ne peuvent être atteintes sans au moins doubler la part énergétique des fruits et légumes des rations actuellement observées. La ration théorique journalière permettant d'atteindre les ANC femme adulte en s'éloignant le moins possible des habitudes de consommation ne comporte pas moins de 645 g de légumes frais et 600 g de fruits frais (tableau II). Ceci est probablement impossible à réaliser, d'autant plus que les Français, et notamment les Françaises, sont déjà les plus grands consommateurs de fruits et légumes d'Europe [18]. De plus, ceci implique une consommation accrue de fibres : de 30 g à 40 g de fibres pour l'adulte et de 12 g à 18 g pour l'enfant. Ces quantités sont trop importantes pour l'enfant, pour lequel un apport maximal égal au nombre d'années d'âge + 10 g est conseillé [19]. Outre les fruits et légumes frais et d'autres aliments de consommation très courante, tels que le lait et les pâtes, la constitution de rations respectant les ANC repose sur l'utilisation de quelques aliments non consommés par une grande partie de la population, tels que les abats, les mollusques, les fruits secs et oléagineux ou le pain complet. Pour une amélioration du statut vitaminique et minéral de la population, la consommation des aliments répertoriés tableau III devrait donc être encouragée.

L'analyse des rations optimisées montre que certaines recommandations nutritionnelles sont plus difficiles à respecter que d'autres, notamment celles qui concernent les nutriments posant des problèmes d'apport dans les enquêtes réalisées en population. Les apports vitaminiques d'adultes et d'enfants français ont été mesurés à plusieurs reprises au cours des 15 dernières années : quel que soit l'échantillon de population considéré, ces études ont montré que la couverture des besoins est particulièrement difficile pour les vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub> et E, alors que les apports en vitamines A et C sont en moyenne supérieurs aux ANC [12, 20-22]. Le problème d'apport posé par la vitamine B<sub>6</sub> et dans une moindre mesure par la vitamine B<sub>1</sub> est retrouvé pratiquement partout en Europe [23] et a pu être corrélé à des valeurs basses des marqueurs biologiques [24, 25]. Pour les apports en vitamine D, ils sont toujours bien plus faibles que l'ANC [20, 21] alors que les apports en vitamine B<sub>12</sub> sont généralement plus élevés. Il en va de même dans les rations optimisées, où les vitamines A, B<sub>12</sub> et C sont toujours présentes en excès alors que les vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>6</sub> dépassent à peine l'ANC, en particulier dans les rations adultes. Pour la vitamine D, nos résultats sont également en accord les observations puisqu'ils montrent que le niveau de 10 µg fixé pour ANC en 1992 est en fait impossible à atteindre lorsque tous les autres ANC sont respectés (tableau IV).

Dans les rations théoriques, les oligoéléments sont rarement présents en excès alors que le phosphore et le cal-

cium dépassent toujours largement l'ANC. Ceci corrobore bien les observations françaises et européennes qui montrent que les apports en magnésium, fer, zinc et cuivre sont souvent très inférieurs aux recommandations en vigueur dans chaque pays, chez les femmes en particulier [23]. Les nutriments détectés comme « limitants » (niveau toujours tout juste égal à 1 ANC) dans nos rations théoriques sont des minéraux qui sont consommés en quantités inférieures aux besoins par la population française : c'est le cas du fer chez la femme et l'enfant, et du zinc dans toutes les catégories d'âge et de sexe [22]. Pour l'iode, on ne dispose pas de données concernant les apports alimentaires des Français, mais une évaluation biologique entreprise au cours de l'étude SU.VI.MAX souligne d'ores et déjà un risque de déficience modérée en iode chez les adultes Français [26]. Nos résultats théoriques suggèrent que cette déficience est due à des apports insuffisants, l'iode apparaissant comme un nutriment « limitant » dans les rations optimisées « homme » et « femme ». L'évaluation de la biodisponibilité des oligoéléments, fer et zinc notamment, détermine de façon majeure le niveau des recommandations les concernant. Le fer hémérique est la forme de fer la mieux absorbée mais ne représente que 25 % des apports alimentaires en fer [22]. Nos résultats montrent que, toutes les recommandations étant satisfaites par ailleurs, le rapport fer hémérique/total ne peut pas dépasser une valeur limite égale à 0,33 ; 0,27 et 0,28 chez l'homme, la femme et l'enfant respectivement (tableau IV), suggérant qu'il serait illusoire de vouloir améliorer le statut en fer des femmes et des enfants en augmentant la part du fer hémérique dans l'alimentation. La faiblesse des apports en fer chez la femme et l'enfant est corrélée à une altération du statut biologique martial dans ces catégories [27] mais on ne dispose pas de données similaires concernant le statut en zinc, car il n'existe pas de test simple permettant de l'évaluer de façon fiable. Il est donc difficile en l'état actuel des connaissances de savoir si le problème posé par le zinc reflète une forte prévalence de sub-carences en zinc ou résulte d'une sur-évaluation des besoins physiologiques en zinc.

La difficulté d'observer les ANC de 1992 sans s'écarter fortement des habitudes alimentaires françaises peut s'interpréter de deux façons différentes. Premièrement, on peut remettre en doute le bien fondé des recomman-

dations nutritionnelles actuelles. Les ANC sont en effet plus élevés que les recommandations en vigueur dans les autres pays européens et il est difficile d'admettre que la plupart des Français aient des apports inférieurs aux besoins pour un certain nombre de nutriments sans que cela ne se traduise par des conséquences tangibles au niveau de leur santé et de leur bien être. Néanmoins, même en adoptant des recommandations beaucoup moins exigeantes (PRI européens ou 2/3 ANC), il demeure impossible de construire pour l'adulte des rations ne comprenant pas certains aliments en quantité supérieure au 75<sup>e</sup> centile de consommation. On peut donc s'interroger en second lieu sur le type d'alimentation consommé actuellement en France et se demander s'il permet réellement de couvrir les besoins physiologiques. Il a été suggéré que l'adaptation de l'espèce humaine à son alimentation s'est faite sur plusieurs millions d'années avec un régime à base de produits de chasse et de cueillette qui était très différent de celui que nous consommons actuellement, notamment plus riches en protéines, vitamines, minéraux et fibres et plus pauvre en lipides [28]. De plus, du fait de l'activité physique intense développée par nos lointains ancêtres, leur consommation énergétique était considérable [29]. La difficulté de couvrir les besoins actuellement définis peut donc également s'expliquer par la baisse d'activité physique entraînant une baisse de consommation énergétique et par le caractère très transformé de notre alimentation actuelle. Un réexamen approfondi des recommandations nutritionnelles actuelles et de nos habitudes alimentaires permettra seul de faire la part entre ces deux interprétations. La méthode présentée ici peut être utile à cette réflexion et sera utilisée pour l'étude de la faisabilité du respect des prochains ANC. Elle pourrait aider à prévoir les risques nutritionnels encourus par certains sous-groupes de population et donner des réponses alimentaires qui tiennent compte non seulement des habitudes alimentaires des individus mais aussi de leur pouvoir d'achat.

### Résumé

Ce travail propose d'évaluer la faisabilité et la cohérence des recommandations nutritionnelles actuellement en vigueur en

Tableau IV.

Caractéristiques nutritionnelles des rations optimisées.

Texte explicatif : Les chiffres correspondent aux fourchettes observées sur 10 rations optimisées sur des fonctions différentes. Les valeurs atteintes après minimisation (min) ou maximisation (max) sont données entre parenthèses.

	Homme adulte	Femme adulte	Enfant 1-3 ans
<b>Protides (% énergie totale)</b>	16,0-16,0 (13,8 min)	16,0-16,0 (15,2 min)	16,0-16,0 (14,4 min)
<b>Glucides (% énergie totale)</b>	46,8-54,0 (54,4 max)	53,1-54,0 (54,8 max)	51,5-54,4 (55,6 max)
<b>Sucres (% énergie totale)</b>	1,2-10,1 (0 min)	4,2-10,3 (2,4 min)	12,0-12,0 (0,8 min)
<b>Lipides (% énergie totale)</b>	30,0-37,2	30,0-30,9	30,0-34,6
<b>AGS (% énergie totale)</b>	8,5-12,0 (7,5 min)	9,4-12,0 (6,6 min)	11,8-12,0 (10,2 min)
<b>AGPI/AGS</b>	0,40-1,07 (1,60 max)	0,45-0,72 (2,0 max)	0,37-0,46 (0,9 max)
<b>PA/PV</b>	1,1-1,9	1,2-1,6	1,6-3,3
<b>Fer hémérique/total</b>	0,12-0,30 (0,33 max)	0,19-0,27 (0,27 max)	0,11-0,22 (0,28 max)
<b>Vit D (µg)</b>	0,4-3,6 (4,0 max)	0,7-4,4 (6,8 max)	0,1-0,5 (3,5 max)
<b>Fibres (g)</b>	30,6-40,7	30,5-36,3	11,4-18,4

**Abréviations**

AGPI/AGS : . Acides gras polyinsaturés/acides gras saturés  
 ANC : . Apports Nutritionnels Conseillés  
 PA/PV : . Protéines animales/Protéines végétales.  
 PRI : . Population Reference Intake  
 RDA : . Recommended Dietary Allowance

France (ANC) en analysant des rations formulées par programmation linéaire. Cette étude montre que : 1) il est impossible de respecter les ANC sans s'éloigner considérablement des habitudes alimentaires des Français ; 2) un niveau énergétique minimal est requis pour le respect des ANC ; ce niveau peut être calculé par programmation linéaire ; il est d'autant plus faible que la teneur en protéines de la ration est importante ; 3) les recommandations concernant les oligo-éléments et les vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>6</sub> sont plus difficiles à respecter que les autres, ce qui corrobore les conclusions des enquêtes réalisées dans la population française. 4) Ces résultats suggèrent qu'il est nécessaire de réexaminer les ANC et qu'il est possible de prévoir par programmation linéaire les recommandations nutritionnelles les plus à risque de n'être pas suivies par une grande partie de la population.

**Mots-clés :** Recommandations nutritionnelles ou Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) – Programmation linéaire – Habitudes alimentaires – Risques nutritionnels.

**Abstract**

This work examines the feasibility and the consistency of the French recommended dietary intakes (Apports Nutritionnels Conseillés, ANC) by examining rations developed by linear programming. This study shows that 1) it is impossible to comply with ANC without a considerable departure from the French food consumption pattern 2) a minimal energy intake is needed to comply with ANC; this minimal energy intake can be calculated by linear programming and is lower with higher proportion of the total energy derived from proteins 3) recommendations for trace elements and vitamins B<sub>1</sub> and B<sub>6</sub> are more difficult to cover than for other nutrients, which is consistent with dietary surveys in the French population. 4) These results suggest that a reassessment of ANC may be needed and also that linear programming can be used to predict which recommendation is most likely not to be followed in a large part of the population.

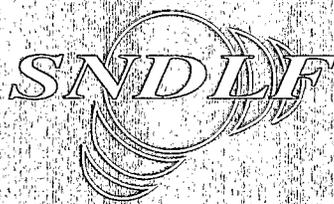
**Key-words:** Recommended dietary intakes or Apport Nutritionnels Conseillés (ANC) – Linear Programming – Food consumption pattern – Nutritional risks.

**Bibliographie**

[1] Dupin H., Abraham J., Giachetti I. - « Apports Nutritionnels Conseillés pour la population française. » 2<sup>e</sup> ed. Lavoisier Tec &Doc, Paris, 1992.  
 [2] Faure R. - « Précis de recherche opérationnelle. » 2<sup>e</sup> ed. Dunod, Paris, 1996.  
 [3] VandeHaar M.J., Black J.R. - Ration formulation using linear programming. *Vet. Clin. N. Am-Food An. Prac.*, 1991, **7**, 541-556.  
 [4] Smith V.E. - Linear programming models for the determination of palatable human diets. *J. Farm Econ.*, 1959, **31**, 272-283.

[5] Henson S. - Linear Programming analysis of constraints upon human diets. *J. Agric. Econ.*, 1991, **42**, 380-393.  
 [6] Foytik J. - Very low-cost nutritious diet plans designed by linear programming. *J. Nutr. Educ.*, 1981, **13**, 63-66.  
 [7] Lareo L.R., Gracia B.N., Fajardo L. et al. - From food basket to food security. The food factor in nutritional surveillance. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 1990, **40**, 22-43.  
 [8] Sklan D., Dariel I. - Diet planning for humans using mixed-integer linear programming. *Br. J. Nutr.*, 1993, **70**, 27-35.  
 [9] Hercberg S., Preziosi P., Galan P., Deheeger M., Dupin H. - Dietary intake of a representative sample of the population of Val-de-Marne; II. Energetic nutrient intakes. *Rev. Epidémiol. Santé. Publique.*, 1991, **39**, 233-244.  
 [10] Le Moullec N., Deheeger M., Preziosi P., Hercberg S. - Validation of the manual photographic method used for the food intake survey of the SU.VI.MAX study. *Cah. Nutr. Diét.*, 1996, **31**, 158-164.  
 [11] Prentice A.M., Jebb S.A. - Obesity in Britain: gluttony or sloth? *B.M.J.*, 1995, **311**, 437-439.  
 [12] Deheeger M., Rolland C.M., Pequignot F., Labadie M.D., Rossignol C. - Longitudinal study of the feeding of children of 10 months, 2 and 4 years of age. *Arch. Fr. Pédiatr.*, 1990, **47**, 531-537.  
 [13] Rigaud D., Giachetti I., Deheeger M. et al. - Enquête française de consommation alimentaire. I. Énergie et macronutriments. *Cah. Nutr. Diét.*, 1997, **32**, 379-389.  
 [14] Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. - « Les limites de sécurité dans les consommations alimentaires des vitamines et des minéraux. » *Lavoisier Tec &Doc*, Paris, 1996.  
 [15] Scientific Committee for Food. - "Nutrient and energy intakes for the European Community." *Commission of the European Communities*, Luxembourg, 1993.  
 [16] Food and Nutrition Board. - "Recommended Dietary Allowances." 10th ed. *National Academy Press*, Washington D.C., 1989.  
 [17] Preziosi P., Galan P., Granveau C., Deheeger M., Papoz L., Hercberg S. - Dietary intake of a representative sample of the population of Val-de-Marne. I. Contribution of diet to energy supply. *Rev. Epidémiol. Santé. Publique.*, 1991, **39**, 221-231.  
 [18] James W.P., Ralph A., Bellizzi M. - Nutrition policies in western Europe: national policies in Belgium, The Netherlands, France, Ireland, and the United Kingdom. *Nutr. Rev.*, 1997, **55**, S4-20.  
 [19] Williams C.L., Bollella M., Wynder E.L. - A new recommendation for dietary fiber in childhood. *Pediatrics*, 1995, **96**, 985-988.  
 [20] Lemoine A., Le Devehat C., Herbeth B. - Enquête sur le statut vitaminique de trois groupes d'adultes français. *Ann. Nutr. Metab.*, 1986, **30(Suppl. 1)** : 1-96.  
 [21] Guillard J.C., Boggio V., Moreau D., Klepping J. - Evaluation of dietary vitamin intake in Burgundy (France). *Ann. Nutr. Metab.*, 1986, **30**, 21-46.  
 [22] Hercberg S., Preziosi P., Galan P., Deheeger M., Papoz L., Dupin H. - Dietary intake of a representative sample of the population of Val-de-Marne; III. Mineral and vitamin intake. *Rev. Epidémiol. Santé. Publique.*, 1991, **39**, 245-261.  
 [23] TNO report. - "Scientific considerations for the development of measures on the addition of vitamins and minerals to foodstuffs." *TNO Nutrition and Food Research Institute*, Utrechtseweg, Netherlands, 1996.  
 [24] Hercberg S., Preziosi P., Galan P. et al. - Vitamin status of a healthy French population: dietary intakes and biochemical markers. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 1994, **64**, 220-232.  
 [25] de Carvalho M.J., Guillard J.C., Moreau D., Boggio V., Fuchs F. - Vitamin status of healthy subjects in Burgundy (France). *Ann. Nutr. Metab.*, 1996, **40**, 24-51.  
 [26] Valeix P., Zarebska M., Preziosi P., Galan P., Pelletier B., Hercberg S. - Iodine deficiency in France. *Lancet*, 1999, **353**, 1766-1767.  
 [27] Preziosi P., Hercberg S., Galan P., Devanlay M., Cherouvrier F., Dupin H. - Iron status of a healthy French population: factors determining biochemical markers. *Ann. Nutr. Metab.*, 1994, **38**, 192-202.  
 [28] Eaton S.B., Konner M.J. - Paleolithic nutrition revisited: a twelve-year retrospective on its nature and implications. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1997, **51**, 207-216.  
 [29] Cordain L., Gotshall R.W., Eaton S.B. - Physical activity, energy expenditure and fitness: an evolutionary perspective. *Int. J. Sports Med.*, 1998, **19**, 328-335.

Société de Nutrition et de Diététique de Langue Française



volume 34

décembre 1999

numéro 6

*Cah. Nutr. Diét.*, 1999, 34, 329-392

# cahiers de nutrition et de diététique

PM M

LNT

31 DEC. 1999 #

624019

Indexés dans, indexed in *Biosis* (Biological Abstracts), *Chemical Abstracts*, *EMbase* (Excerpta Medica) et *Pascal* (INIST/CNRS)

MASSON

