

La nutrition en conditions extrêmes ¹

Ambroise Martin

¹ L'idée de ce travail est née lors de la préparation d'une conférence pour les Rencontres scientifiques de Houlgate sur les conditions extrêmes, organisées par l'Académie des sciences en octobre 2004.

Résumé

Les apports nutritionnels conseillés sont conçus pour couvrir les besoins de la majorité des individus d'une population en bonne santé placés dans des conditions de vie « normales ». Il reste beaucoup à faire pour élaborer des références pour des conditions qui s'écartent de cette « normalité ». En dehors des situations extrêmes que sont la pathologie, la surnutrition ou la sous nutrition, l'étude d'autres conditions extrêmes pourrait apporter des informations utiles à la compréhension des mécanismes physiologiques et pathologiques. L'adaptation de l'homme au froid, à l'altitude ou aux vols spatiaux a conduit à développer des modèles dont l'intérêt et l'utilité va au-delà des situations ponctuelles auxquelles ils s'intéressent : la régulation de l'appétit, des métabolismes glucidique, protéique, calcique ou sodique en fournissent des exemples.

Introduction

La définition des apports nutritionnels conseillés pour la population française [1], et leurs équivalents ailleurs, s'est essentiellement intéressée à la moyenne de la distribution statistique dans la population. Toute distribution comporte des extrêmes pour lesquels ces valeurs ne sont peut-être pas les plus pertinentes. Parmi ces extrêmes se trouve vraisemblablement un nombre plus ou moins grands d'individus « normaux » placés dans des conditions inhabituelles, « extrêmes » au sens de cette présentation.

Les conditions extrêmes

L'Homme a pu s'adapter à de nombreux climats et situations extrêmes sur la planète, bien que ces conditions restent toujours en deçà des conditions auxquelles d'autres organismes vivants, notamment les plus petits, ont su s'adapter. Pendant longtemps, et encore aujourd'hui, les problèmes posés par la nutrition en conditions extrêmes ont été essentiellement pratiques : comment produire, obtenir, préparer et conserver suffisamment d'aliments et d'eau pour permettre la survie et la reproduction de l'espèce. En plus d'adaptations génétiques et physiologiques des populations vivant depuis très longtemps dans ces conditions, c'est la « débrouillardise » de l'espèce qui a permis l'essentiel des adaptations ; c'est dans les descriptions des ethnologues, voire des romanciers, plus que dans celles des nutritionnistes, qu'on trouve les descriptions les plus intéressantes.

Dans le passé, une des conditions extrêmes rencontrée était représentée par les voyages en mer au long cours. Si l'histoire des agrumes donnés aux marins anglais pour prévenir le scorbut est bien connue, deux autres approches nutritionnelles de gestion de cette condition extrême méritent d'être rappelées, car elles soulignent que les bonnes idées ne suffisent pas toujours et elles illustrent à la fois un génie et des carences peut-être typiquement françaises :

- à la fin du 17^{ème} siècle, le Père Jean-Baptiste Labat rapporte dans ses mémoires de voyage aux Antilles [2] que les navires emportaient des caisses où on faisait pousser des salades et des légumes, renouvelés au fur et à mesure de leur consommation, dont l'apport vitaminique suffisait à prévenir le scorbut. Ces caisses étaient maintenues sous bonne garde, « de peur que les rats et les matelots n'y fissent dommage » : l'aspect santé n'est peut-être pas déterminant dans une telle pratique, même si le résultat pour la santé est là, mais bien l'aspect social, ces produits étaient réservés aux officiers et aux gens « bien nés ».

- à la fin du 18^{ème} siècle et au début du 19^{ème} siècle, ce sont les marins qui ont assuré le succès des conserves de Nicolas Appert [3], dont la méthode préservait les principales qualités nutritionnelles et organoleptiques des aliments. C'est sans doute la suprématie de la marine anglaise et le pragmatisme des anglais qui les ont fait réaliser les principaux développements commerciaux, liés à leur invention de la boîte métallique alors que Appert utilisait le verre. Nicolas Appert a ainsi conçu les premiers « alicaments » de l'industrie alimentaire naissante, comme l'indique un de ses clients d'un port à qui il reprochait de vendre trop cher ses conserves : « vous voyez que j'ai raison de les vendre chers, vos produits, puisqu'ils sont à la fois nourriture et remède » ; il faut ajouter que, au cours de la conversation, l'amiral de Villeneuve, en convaincu des bienfaits de la nutrition préventive, venait d'affirmer à Appert : « je le dis et le répète à qui veut l'entendre : la flotte anglaise n'aurait jamais pu détruire la nôtre à Trafalgar si les équipages avaient été nourris avec les légumes conservés selon votre méthode ! »

Actuellement, les conditions extrêmes ayant retenu l'attention des nutritionnistes et fait l'objet de quelques publications scientifiques concernent : les températures extrêmes, le froid et le chaud, avec dans ce dernier cas le difficile problème pratique de l'hydratation ; l'altitude, notamment au-delà de 3500 m, où le froid se conjugue à l'hypoxie et à l'hypobarométrie [4] ; l'apesanteur, avec le développement des vols spatiaux de longue durée.

Les études sur modèles cellulaires ou animaux, pour intéressantes qu'elles soient au niveau de la compréhension des mécanismes biochimiques et physiopathologiques génèrent des hypothèses, mais ne permettent que rarement des extrapolations directes à l'homme ; des modèles communs tel que la technique simple du rat suspendu par la queue utilisé aussi bien pour les simulations d'apesanteur [5] permet davantage d'extrapolations, puisqu'elle est aussi très utilisée dans l'étude de la sarcopénie. La plupart des études consacrées aux populations vivant au-delà du cercle polaire (notamment par les russes ou les canadiens) ou en haute altitude sont essentiellement descriptives et visent à repérer les principales carences par rapport aux standards « optimaux » établis pour les conditions « normales » ; elles ne sont donc que rarement utiles pour comprendre les spécificités de la nutrition en conditions extrêmes.

Les études les plus approfondies sont réalisées quand des retombées en termes de performance, avec leurs conséquences sportives, militaires ou économiques, sont attendues ; on peut remarquer qu'elles concernent alors non de nombreuses populations autochtones, mais un petit nombre d'individus à « forte valeur ajoutée » plongés, pour une durée relativement brève par rapport à la durée de vie humaine, dans ces conditions extrêmes.

Une des difficultés des études en conditions réelles (espace, course en haute montagne,...), réside dans le recueil des données, car les sujets se focalisent sur les problèmes de survie ou de tâches à accomplir plus que sur l'étude scientifique nutritionnelle. En outre, la limitation de durée et de nombre de sujets ne permet guère encore d'extrapolations au delà de la situation ponctuelle étudiée. Malgré ces limitations, les éclairages d'ores et déjà apportés peuvent être intéressants pour les conditions normales : améliorant la compréhension de la physiopathologie, elles laissent espérer des conséquences pratiques dans des situations pathologiques très courantes, comme l'alitement prolongé.

Quelques problèmes rencontrés en conditions extrêmes

Sans prétendre être exhaustifs, les principaux problèmes étudiés pour la nutrition en conditions extrêmes concernent les points détaillés ci-dessous.

L'appétit

Dans beaucoup d'études, les rations fournies sont considérées comme adaptées à la dépense énergétique estimée ou mesurée, mais ne sont le plus souvent pas entièrement consommées, d'où des pertes de poids fréquentes, mais très variables selon les individus. Dans l'espace, une anorexie est également souvent constatée, faisant intervenir différents mécanismes neuroendocrines, mis en jeu entre autres par l'énergie des radiations, dont l'effet est bien documenté [6], et les perturbations des oscillateurs temporels (horloges internes) entraînées par les modifications du cycle jour - nuit [7]. Il a été évoqué à partir d'expériences animales un ralentissement de la vidange gastrique en apesanteur, susceptible de prolonger un état de satiété et de conduire à une moindre prise énergétique.

L'énergie et la répartition des combustibles

On a montré que, chez le rat vivant en environnement froid, les lipides sont utilisés préférentiellement aux glucides [8]. La même constatation est faite chez l'homme [9]. Depuis son affirmation initiale [10], il n'y a cependant pas encore d'évidence chez l'homme qu'une modification de la répartition des macronutriments affecte la tolérance au froid ou au chaud. Les besoins énergétiques d'hommes vêtus de façon adaptée à un environnement froid ne sont pas modifiés [11] : on note au plus une légère augmentation de 2 à 5 % du métabolisme de base lié à l'effort dû au port de vêtements plus lourds, et aux adaptations physiologiques des rythmes respiratoires et cardiaques. La lutte contre le froid ne bénéficie apparemment pas de la thermogénèse alimentaire différente des nutriments : la répartition des nutriments n'apparaît pas comme le moyen le plus prometteur par rapport aux moyens pharmacologiques [12]. Enfin, la génétique commence à mettre en évidence la possibilité d'isoenzymes saisonniers adaptés à l'environnement [13].

Le métabolisme protéique est modifié dans l'espace [14], au moins de façon transitoire, avec une perte de protéines liée à une diminution de synthèse [15]. Les modèles mis en oeuvre pour étudier ce métabolisme pourraient bénéficier à beaucoup d'autres (alitement). L'inactivité musculaire est un paramètre fondamental : la masse musculaire est préservée chez les alpinistes de l'Everest, malgré un apport énergétique insuffisant et une perte de poids [16].

Le cas particulier des glucides et de leur régulation

Si la neutralité thermique permanente dans laquelle vivent beaucoup d'occidentaux est reconnue comme un des éléments favorisant l'obésité, elle n'intervient pas uniquement par le biais de la diminution de la dépense énergétique. Il est reconnu chez l'animal que la tolérance au glucose est améliorée par le froid comme par l'exercice [17]. Chez l'homme également, le métabolisme glucidique est fondamental lors du travail au froid [18].

Un faisceau d'arguments permet également d'incriminer une mauvaise adaptation insulinaire (insulinosécrétion et insulino-résistance) à nombre des perturbations métaboliques et physiologiques induites par les vols spatiaux, faisant proposer la notion d'effet diabétogène de ces vols [19]. Sept jours d'alitement tête en bas suffisent à induire une insulino-résistance, musculaire chez l'homme, musculaire et hépatique chez la femme, une lipogénèse nette augmentée chez la femme, sans perturbation des fonctions gastro-intestinales liées à la digestion et à l'absorption des substrats [20]. Il est important d'approfondir ces points pour la santé à long terme des spationautes : le syndrome métabolique peut atteindre le stade de diabète plus difficilement réversible.

L'anémie de l'espace

La survenue d'une anémie de l'espace, avec une diminution de 10 à 15 % de la masse globulaire, est maintenant bien démontrée [21]. Elle peut être attribuée à une néocytolyse [22], conduisant à une destruction précoce des globules rouges nouvellement fabriqués. De ce fait, les réserves martiales augmentent.

Le stress oxydant

Le stress oxydant est considéré comme un des éléments physiopathologiques du mal des montagnes [23] et apparaît aussi particulièrement intense au retour des vols spatiaux [24]. La définition d'un seuil de stress oxydant nécessitant une intervention pour protéger la santé, sans compromettre d'éventuels effets bénéfiques liés au caractère adaptatif de ce stress, comme la nature de ces interventions, restent largement à préciser.

Le remodelage osseux

Les altérations du métabolisme osseux et calcique liées aux vols spatiaux sont bien documentées [25]. Outre l'impact sur la santé osseuse à long terme, le risque majeur redouté (mais qui ne s'est encore jamais réalisé) est celui de la lithiase rénale, qui pourrait gravement compromettre une mission spatiale [26]. Les études indiquent que les solutions à l'ostéoporose de l'espace seraient plus à rechercher du côté de la vitamine K que du couple calcium-vitamine D efficace sur terre [27].

Les études dans les conditions extrêmes peuvent ainsi conduire à des hypothèses nouvelles intéressantes : pendant une période de 135 jours dans un simulateur spatial MIR, les sujets accumulaient du sodium en excès par rapport au gain de poids et d'eau dans les compartiments de l'organisme [28]. Il a été suggéré l'existence d'un réservoir de sodium osmotiquement inactif, qui pourrait être localisé notamment dans l'os ou les tissus conjonctifs denses. Un tel réservoir pourrait constituer un tampon, expliquant la longue tolérance de l'homme aux excès d'apports sodés et la difficulté des études sur le sujet, comme des controverses qui s'y rattachent.

Conclusions

En termes de santé publique, certaines de ces recherches ne semblent concerner qu'un nombre restreint d'individus et pourraient donc paraître anecdotiques. Cependant, comme dans d'autres domaines scientifiques et technologiques, les retombées de ces recherches pour la vie courante, ou tout au moins des situations moins extrêmes, pourraient se révéler tout aussi importantes. Dans la mesure où ces recherches, pour de multiples raisons, drainent des crédits et obtiennent des résultats, elles pourraient ou devraient être suivies de plus près par les nutritionnistes.

Bibliographie

- [1] Martin A., coord. Les apports nutritionnels conseillés pour la population française. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 2001.
- [2] Labat J.B. Voyages aux Isles ; chroniques aventureuses des Caraïbes 1693-1705. Le Bris M, éditeur. Phébus Libretto, Paris, 1993, p 26.
- [3] Pujol R. Nicolas Appert, l'inventeur de la conserve. Denoël, Paris, 1985, p.114.
- [4] Savourey G., Garcia N., Caravel J.P., Gharib C., Pouzeratte N., Martin S., Bittel J. Pre-adaptation, adaptation and de-adaptation to high altitude in humans : hormonal and biochemical changes at sea level. *Eur. J. Physiol. Occup. Physiol.*, 1998,7 7: 37-43.
- [5] Blanc S., Geloën A., Normand S., Gharib C., Somody L. Simulated weightlessness alters the nycthemeral distribution of energy expenditure in rats. *J. Exp. Biol.*, 2001, 204: 4107-13.
- [6] Da Silva M.S., Zimmermann P.M., Meguid M.M., Nandi J., Ohinata K., Xu Y., Chen C., Tada T., Inui A. Anorexia in space and possible etiologies : an overview. *Nutrition*, 2002, 18: 805-13.
- [7] Cassone V.M., Stephan F.K. Central and peripheral regulation of feeding and nutrition by the mammalian circadian clock : implications for nutrition during manned space flight. *Nutrition*, 2002, 18: 814-19.
- [8] Zhao X.Q., Jorgensen H., Just A., Du J.Z., Eggum B.O. Energy expenditure and quantitative oxidation of nutrients in rats (*Rattus norvegicus*) kept in different thermal environments and given two levels of dietary fiber. *Comp. Biochem. Physiol. A Physiol.*, 1997, 11: 351-9.
- [9] Jeukendrup A.E. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. *Biochem. Soc. Transac.*, 2003, 31: 1270-3.
- [10] Consolazio C.F., Schnakenberg D.D. Nutrition and the responses to extreme environments. *Fed. Proc.*, 1977, 36: 1673-8.
- [11] Jones PJ, Jacobs I, Morris A, Ducharme MB. Adequacy of food rations in soldiers during an arctic exercise measured by doubled labeled water. *J. Appl. Physiol.*, 1993, 75 : 1790-1797.
- [12] Mercer J.B. Enhancing tolerance to cold exposure - How successful have we been? *Arctic Med. Res.*, 1995, 54:70S-75S.
- [13] Poly W.J. Nongenetic variation, genetic-environmental interactions and altered gene expression. I. Temperature, photoperiod, diet, pH and se-related effects. *Comp. Biochem. Physiol. A Physiol.*, 1997, 117: 11-66.
- [14] Ferrando A.A., Paddon-Jones D., Wolfe R.R. Alterations in protein metabolism during space flight and inactivity. *Nutrition*, 2002, 18: 837-41.
- [15] Stein T.P., Leskiw M.J., Schluter M.D. Diet and nitrogen metabolism during spaceflight on the shuttle. *J. Appl. Physiol.*, 1996, 81: 82-97.
- [16] Reynolds R.D., Lickteig J.A., Deuster P.A., Howard M.P., Conway J.M., Pietersma A., deStoppelaar J., Duerenberg P. Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt Everest. *J. Nutr.*, 1999, 129: 1307-14.
- [17] Bukowiecki I.J. Energy balance and diabetes. the effects of cold exposure, exercise training, and diet composition on glucose tolerance and glucose metabolism in rat peripheral tissues. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 1989, 67: 382-93.
- [18] Shephard R.J. Metabolic adaptations to exercise in the cold. An update. *Sports Med.*, 1993, 16: 266-89.
- [19] Tobin B.W., Uchakin P.N., Leeper-Woodford S.K. Insulin secretion and sensitivity in space flight : diabetogenic effects. *Nutrition*, 2002, 18: 842-8.
- [20] Blanc S., Normand S., Pachiaudi C., Fortrat J.O., Laville M., Gharib C. Fuel homeostasis during physical inactivity induced by bed rest. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2000, 85: 2223-33.
- [21] Smith S.M. Red blood cell and iron metabolism during space flight. *Nutrition*, 2002, 18: 864-6.
- [22] Smith S.M., Davis-Street J.E., Fesperman J.V., Smith M.D., Rice B.L., Zwart S.R. Nutritional status changes in humans during a 14-day saturation dive : the NASA environment mission operations V project. *J. Nutr.*, 2004, 134: 1765-71.
- [23] Askew E.W. Work at high altitude and oxidative stress: antioxidant nutrients. *Toxicology*, 2002, 180: 107-19.
- [24] Stein T.P.. Space flight and oxidative stress. *Nutrition*, 2002, 18: 867-71.
- [25] Smith S.M., Heer M. Calcium and bone metabolism during space flight. *Nutrition*, 2002, 18: 849-52.
- [26] Zerwekh J.E. Nutrition and renal stone disease in space. *Nutrition*, 2002, 18 : 857-63.
- [27] Heer M. Nutritional interventions related to bone turnover in European space missions and simulation models. *Nutrition*, 2002, 18: 853-6.
- [28] Titze J., Maillet A., Lang R., Gunga H.C., Johannes B., Gauquelin-Koch G., Khim E., Larina I., Gharib C., Kirch K.A. Long-term sodium balance in humans in a terrestrial space station simulation study. *Am. J. Kidney Dis.*, 2002, 40: 508-16.

NOTES