

Diététique et Plongée

Ph. Izard, J.L. Ducassé

La plongée se déroule dans un environnement particulier en raison de la densité de l'eau qui, proche de celle du corps, diminue l'effet de la pesanteur, mais cependant il existe dans ce milieu une forte résistance à l'avancée et des forces de friction élevées : le rendement énergétique est de l'ordre de 5 à 7 % et le coût énergétique par km parcouru élevé, pratiquement indépendant de la vitesse jusqu'à trois kilomètres par heure, est d'environ 40 litres d'oxygène. L'hydrodynamique dépend de la surface frontale de résistance à l'avancement. Par ailleurs, du fait de conductance de l'eau, les échanges thermiques sont très importants, surtout en cas de faible épaisseur du tissu adipeux sous cutané.

Néanmoins, il est très difficile d'obtenir une valeur chiffrée de la consommation d'oxygène en plongée selon différentes situations (durée, profondeur, température...) ; cela paraît pourtant utile pour déterminer le niveau de forme nécessaire pour la pratiquer en toute sécurité et recommander une alimentation adaptée aux situations les plus courantes.

Il est donc nécessaire d'essayer d'évaluer la dépense énergétique en plongée pour l'intégrer dans une prise en charge nutritionnelle adaptée.

EVALUATION DE LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE EN PLONGEE :

L'évaluation de la dépense énergétique spécifique est un élément clé pour apprécier la contrainte que représente la plongée autonome. En parallèle, le niveau d'entraînement, chiffré par la capacité maximale aérobie (VO₂ Max) est très hétérogène dans la population du plongeur sportif. Or, l'utilisation en plongée d'un fort pourcentage de ses capacités maximales est un facteur limitant la marge de sécurité en cas de difficulté imprévue pouvant être à l'origine d'un essoufflement. C'est également un facteur favorisant la survenue d'un accident dysbarique par l'augmentation de la consommation d'air et de la quantité de gaz dissous.

La dépense énergétique d'un sujet adulte à un moment donnée est représentée par la somme des dépenses nécessitées par le métabolisme de base, la thermorégulation, l'activité des muscles locomoteurs et respiratoires. Pour tenir compte des variations individuelles de taille et de poids, il est habituel de rapporter la dépense énergétique à la surface corporelle. Un homme adulte de 70 kg pour 170 cm a une surface corporelle de 1,8 m².

Il est habituel, quoique maintenant anachronique, d'exprimer les valeurs énergétiques en Kilocalories (Kcal). C'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré Celsius 1 litre d'eau à 15°. L'unité internationale recommandée actuellement est le joule (J) : c'est le travail effectué par une force de 1 Newton qui déplace son point d'application de 1 m.

$$1 \text{ Kcal} = 4,186 \text{ KJ}$$

Pour respecter encore les traditions et pour une meilleure compréhension de tous, la Kcal restera ici l'unité de référence.

Le métabolisme de base exprimé en Kcal.m⁻².h⁻¹ varie en fonction de l'âge et du sexe :

Métabolisme de base (Kcal.m ⁻² .h ⁻¹)		
Age (années)	Hommes	Femmes

naissance	30	30
5	53	51,6
15	45,3	39,6
25	40,3	36,6
45	37,8	35
70	34,8	32,8

L'exercice physique entraîne une augmentation du métabolisme proportionnelle à l'activité musculaire :

Dépense énergétiques types	Kcal.m ⁻² .h ⁻¹
Sommeil	35
éveillé couché	40
debout	50
écrire assis	60
écrire debout	85
se laver, s'habiller	100
marche paisible	140
cyclisme	250
nage	350
déménagement	350
ski	500
course	600

Le travail intellectuel, à condition qu'il ne s'accompagne d'aucune angoisse, ne nécessite pratiquement aucun supplément énergétique...

Par contre les mécanismes de lutte contre le froid dans le cadre d'une réponse thermorégulatrice efficace comme le frisson augmentent nettement la dépense énergétique ponctuellement jusqu'à 250 Kcal.m⁻².h⁻¹. Les mécanismes de lutte contre le chaud (vasodilatation cutanée, sudation) requièrent également de l'énergie.

PENDERGAST a étudié la dépense énergétique des plongeurs autonomes par mesure de la consommation d'oxygène à neutralité thermique, pour des vitesses de 30,4 à 53,4 m/mn (à une profondeur n'excédant par 2 m 50 pour des raisons pratiques A une vitesse de 30 m/min, ce qui correspond à 1,8 km à l'heure, on obtient un VO₂ d'environ 1,3 l/mn.

Il est à noter que cette mesure a été réalisée à neutralité thermique pour des sujets non vêtus de combinaisons et non munis du système bouteille/détendeur/gilet, dans la mesure où ils étaient reliés directement à un système de mesure de consommation d'oxygène, à l'air libre.

Cette dépense doit être augmentée d'environ 25 % pour tenir compte de l'équipement. Elle va également s'accroître en fonction de la profondeur du fait de l'augmentation du travail des muscles respiratoires. L'inexpérience du plongeur a également un coût énergétique : une position trop verticale dans l'eau, liée par exemple à un défaut d'équilibration ou de lestage, peut augmenter le travail de nage à vitesse lente d'environ 30%. Il faut bien entendu tenir compte également de la vitesse d'un éventuel courant qui accroît la vitesse réelle de déplacement.

Enfin, la mise en jeu de la thermorégulation va également augmenter cette dépense énergétique en fonction de la température de l'eau. En effet, malgré le port d'une combinaison adaptée, la plongée autonome de loisir se pratique quasiment toujours avec un bilan thermique négatif dans les conditions habituelles.

Il est difficile de mesurer réellement la dépense énergétique liée à la thermorégulation en fonction de la température de l'eau en situation de plongée. Une approximation à partir des coefficients donnés par BOUTELLIER conduit, pour un sujet sans protection, à des valeurs de déperdition de 50 à 100 kilocalories par degré centigrade et par heure en eau calme, selon que l'on est en eau plutôt proche de la neutralité thermique ou plutôt froide. Pour une eau agitée, on peut estimer la déperdition aux alentours de 400 KCal par heure à multiplier par la moitié de la vitesse dans le premier cas et d'environ 700 KCal par degré et par heure à multiplier par 2/3 de la vitesse. La protection thermique doit permettre de réduire ces pertes, encore faut-il qu'elle soit adaptée. Néanmoins comme nous l'avons vu le volume de la combinaison a un effet délétère sur le coût énergétique de l'avancement, en partie diminué par le gain lié à la protection thermique. De toutes façons ces pertes ne sont jamais nulles, et en tout état de cause, chez un sujet non immobile, proportionnelles à la température de l'eau et surtout à la vitesse de déplacement affectée d'un coefficient 0,5 à 0,65 suivant cette température.

En tenant compte schématiquement de tous ces paramètres et de manière approximative, on peut estimer la dépense énergétique en plongée autonome de loisir à environ 1 à 2 litres d'oxygène par minute.

La consommation d'oxygène des Nageurs de Combat utilisant des appareils respiratoires à l'oxygène pur a été effectuée par GALLAND, elle comportait une mesure précise de la consommation d'oxygène lors d'un déplacement à une profondeur oscillant entre 5 et 7 mètres avec une vitesse constante quel que soit le courant d'environ 30 m/mn. Cette consommation d'oxygène était appréciée à partir de la mesure du volume restant dans la bouteille après la plongée. Les résultats sur 12 plongeurs montrent que la consommation d'oxygène diminue en fonction de la durée de la plongée (de 30 mn à 3 heures) : cela est probablement en rapport avec l'exposition au froid et l'installation progressive d'une hypothermie. La température de l'eau oscillait entre 13 et 19°. La consommation d'oxygène évolua de 2,3 l/mn à 30 mn à 1,3 l/mn au bout de 3 heures. Malgré la protection thermique adaptée, la température moyenne après 3 heures d'immersion était inférieure à 35°. Malgré tout ces résultats sont proches de l'approximation évoquée plus haut.

Ainsi, si les valeurs de 1 à 2 litres d'oxygène/mn paraissent correctes pour une grande majorité des plongées d'exploration en fonction de l'activité physique, de la température et de la profondeur, on peut essayer de calculer ce que représente cette charge de travail pour un individu donné. Par exemple, pour la valeur limite inférieure de VO2 Max, utilisée dans le domaine de la plongée professionnelle civile ou militaire, 40 ml/mn et par Kg (cf. tableau).

		Pourcentage de VO2	Max pour
Poids (Kg)	VO2 Max (l/mn)	1 l 02/mn	2 l 02/mn
45	1,8	55	111
50	2	50	100
55	2,2	45	91
60	2,4	41	83
65	2,6	38,5	74

70	2,8	35	71
75	3	33	66
80	3,2	31	62

VO2 Max en l/mn pour 40 ml/mn/kg selon le poids.

Pourcentage de ce VO2 Max représenté par un V02 de 1 l/mn et 2 l/mn.

Ainsi pour un individu de 75 kg un V02 Max de 40 ml/mn et par kg équivaut à 3 litres d'oxygène/mn. Dans ces conditions, les consommations sus-citées correspondent à des valeurs d'un tiers à deux tiers de leur capacité maximale. 67 % représente chez un individu présentant ce V02 Max, la limite entre la zone aérobie et la zone anaérobie.

Par contre, pour un sujet de moindre poids, le pourcentage de la valeur minimale reste en zone aérobie, alors que celui de la valeur maximale dépasse largement le seuil anaérobie, ce qui conduit inéluctablement à un essoufflement.

Il existe néanmoins une différence selon le sexe et les femmes (pour des vitesses de 40 à 54 m/mn selon PENDERGAST) ont des V02 Max de 32 à 35 l d'O2 par km en fonction de leur expérience de la plongée, alors que les hommes ont des valeurs de 41 à 53 l d'O2 par km. Cependant, les femmes ont, dans une même population, souvent un V02 Max inférieur à celui des hommes. D'autre part, un V02 Max de 40 ml/mn/kg n'est pas forcément atteint par tout le monde ; des valeurs de 30 à 35 ml/mn/kg ne sont absolument pas rares dans des populations de plongeurs ou de candidats plongeurs évaluées par la méthode indirecte de détermination de V02 Max (THOMAS).

Ceci permet peut-être de souligner qu' une partie de la population des plongeurs autonomes sportifs se rapproche dangereusement de la limite de l'essoufflement pour des conditions habituelles de plongée. Créant ainsi un équilibre énergétique précaire pouvant se rompre à la moindre augmentation des besoins pour cause d'incidents de plongée, de stress, d'effort même modéré au fond, de passage dans une zone d'eau plus froide...

L'importance de bonnes capacités aérobies est donc réelle en plongée et doit être la conséquence d'un entraînement adapté. Le suivi cardio-vasculaire retrouve là encore son intérêt. Ne serait-ce que pour compenser la perte de VO2 max inéluctable liée à l'âge (1 à 3 % par an)...Les sujets anémiques doivent également faire l'objet d'un suivi adapté.

L'étude de la consommation globale d' O2 n'est que le reflet indirect du coût énergétique global. Ce coût énergétique doit être compensé par un apport calorique adapté ou les glucides ont un rôle majeur, pas seulement en temps que nutriment directement utilisable par l'organisme. En effet il faut se souvenir qu'en cas de défaut d'apport, la néoglucogénèse peut être insuffisante ponctuellement suivant la dépense énergétique nécessaire exposant au risque d'hypoglycémie.

B - NUTRITION

De nombreux facteurs favorisant d'accidents de plongée peuvent être en rapport avec la nutrition, l'hydratation et le métabolisme au sens large.

Par exemple, l'excès de masse grasse peut favoriser la rétention d'azote ; par contre, un pli cutané trop réduit diminue les capacités de limitation des pertes caloriques ; ces 2 situations éloignent par ailleurs les sujets des paramètres anthropométriques de la population ayant servi à élaborer les tables. La déshydratation inévitable en plongée, favorise

l'hémoconcentration qui peut favoriser ou aggraver les conséquences d'un accident de décompression ; l'hypoglycémie est un facteur favorisant d'ADP ; l'alcool aggrave ce risque par son effet hypoglycémiant, par son effet tensio-actif entre autre ; la consommation d'aliments fermentants ou de boissons gazeuses favorise les accidents digestifs mécaniques ; certains aliments "acidifiants" peuvent favoriser l'acidose lors d'un exercice musculaire alors que d'autres, alcalinisants, peuvent réduire l'acidose pour une même activité physique. Toute dyslipémie est un facteur aggravant pour les accidents de décompression...

1 - L'HYDRATATION

Il existe une déshydratation obligatoire lors de la plongée autonome. Celle-ci entraîne une hémoconcentration favorisant la survenue d'un accident de décompression ou pouvant en aggraver les conséquences.

Les besoins hydriques d'un individu varient, bien entendu, en fonction de son activité et de la température extérieure.

L'apport liquidien recommandé (eau, lait, tisane, thé, café, jus de fruits, potage...) exclut l'eau contenu dans les aliments solides :

- en saison froide, 1 litre à 1 litre 1/2 pour un sédentaire, 2 à 3 litres pour un sportif.
- en saison chaude, 1 litre 1/2 à 2 litres pour un sédentaire, 3 à 4 litres pour un sportif.

L'augmentation de son hydratation peut s'effectuer par la consommation régulière d'eau par petites quantités tout au long de la journée, aussi bien pendant qu'en dehors des repas. Pour faciliter les choses, on peut également conseiller un grand verre de jus de fruits le matin au réveil, un bol de thé ou de café plus le lait contenu dans les céréales que l'on devrait consommer régulièrement (cf. : Infra). Le soir, le potage est également un bon moyen d'hydratation ; pour ceux qui le digèrent, le lait peut être un très bon complément d'autres boissons et d'autant plus que c'est un aliment alcalinisant, et donc favorisant la récupération des efforts.

Pour la sortie plongée, il peut être intéressant de mesurer sur quelques sorties la perte de poids habituelle. Cela permettra d'emporter sur le bateau une quantité d'eau adaptée que l'on commencera à consommer dès le

départ par petites quantités. Dès le retour sur le bateau, il faudra continuer à s'hydrater par petites gorgées. Cela permet une expansion volémique plus rapide.

D'autre part, si l'on utilise une boisson sucrée, on recharge de manière très efficace les réserves musculaires en glycogène. Enfin, un repas du soir commençant par un potage permettra de terminer la réhydratation.

Il est très important de signaler que la soif étant un signal d'alarme, il ne faut pas attendre d'avoir soif pour boire. De plus, le respect de la sensation de soif ne permet pas de couvrir la totalité des besoins.

Donc, un seul principe, boire très régulièrement par petites quantités essentiellement de l'eau et en particulier avant la plongée pour assurer une certaine "hyper-hydratation" et juste après la plongée, pour permettre la récupération rapide d'une volémie normale.

2 - LES NUTRIMENTS

En fonction de l'intensité de l'effort, l'énergie nécessaire est apportée aux muscles par un mélange en proportions variables de glucides et de lipides.

Les protéines n'ont qu'une faible part (moins de 5 %) dans les efforts d'environ une heure, ce qui est la durée courante en plongée.

a - LES GLUCIDES

Aux intensités auxquelles la plongée autonome de loisir se pratique, la part des lipides est nettement prépondérante. Si l'on considère de manière très approximative que 50 % de l'énergie est fournie par les lipides et 50 % par les glucides, cela correspond donc à 150 à 300 k/Cal d'origine glucidique, ce qui équivaut à 50 à 100 gr de glucides en sus de l'alimentation habituelle. Il suffit donc d'augmenter un peu la portion de sucres lents au repas du soir, de boire 1/4 à 1/3 de litre d'une boisson énergétique juste après la plongée, et de ne pas oublier de consommer une portion de fruit ou de crudités au repas du soir.

Pour 2 plongées par jour, il faudra appliquer les mêmes règles aux 2 repas d'après plongée. Il faudra tenir compte de la digestibilité des féculents utilisés (teneur en fibres végétales) pour éviter la fermentation digestive ; il est à noter que dans le cas de 2 plongées par jour, la consommation de sucres rapides juste après la première plongée n'est pas contre-indiquée ; en effet, l'action "insulin-like" de l'activité physique oriente les glucides rapides vers les masses musculaires utilisées pendant l'effort, ce qui évite toute hyperglycémie pouvant entraîner un hyper-insulinisme responsable d'une hypoglycémie ultérieure.

En effet, c'est dans les premières heures qui suivent un exercice physique que la recharge des réserves énergétiques musculaires est la plus rapide et donc que la clairance plasmatique des glucides est la plus importante. D'où l'intérêt de l'utilisation des sucres rapides pour une recharge rapide et précoce qui sera complétée par la consommation de sucres lents aux repas.

Quelques cas particuliers :

- **Le fructose** : qui est un sucre à fort pouvoir sucrant est également un sucre lent (son index glycémique est pratiquement identique à celui des lentilles). C'est donc le glucide idéal pour une ration d'attente entre deux plongées ou entre le dernier repas et la plongée. Néanmoins c'est un sucre qui ne se digère pas

toujours facilement et qui a tendance à fermenter si l'on en consomme des quantités trop importantes.

Il faut donc de tester sa tolérance individuelle en dehors des périodes de plongée. Si elle est bonne, de l'eau additionnée d'environ 10 à 20 g/l de fructose représentent une ration d'attente idéale pour prévenir les hypoglycémies en plongée.

- **La banane** : très riche en amidon, ne doit pas être considérée d'un point de vue de nutrition analytique comme un fruit, mais bien comme un féculent. A ceci près, que son index glycémique est très faible quand elle est verte, et très élevé quand elle est mûre. Il s'agit donc bien d'un sucre dit lent dans un cas, et rapide dans l'autre.

- **La pomme de terre** : également riche en amidon, a un index glycémique qui n'est pas très bas quand on la mange entière ; mais réduite en purée. Il s'agit d'un glucide aussi rapide que le saccharose. Elle est cependant pauvre en fibres végétales peu digestibles. Sa consommation sous forme entière à l'intérieur d'un repas complet ne pose pas de problème et permet d'assurer un bon apport énergétique sans troubles digestifs, au même titre que les pâtes blanches ou le riz blanc.

- **Les barres céréales** : largement répandues sont en fait constituées de sucres rapides. Ce n'est donc pas une bonne solution pour remplacer un repas trop lointain ou insuffisant avant une plongée. On s'expose alors à une hyperglycémie brutale liée à l'apport trop important de sucres rapides puis à une hypoglycémie réactionnelle pendant la plongée.

Cela est bien entendu valable pour toutes les sucreries et confiseries, mais aussi pour les sucres rapides cachés comme par exemple le pain blanc, les sodas, certaines céréales pour petit déjeuner, et les produits contenant beaucoup de sucre ajouté, par exemple les yaourts aux fruits.

Pour remplacer les barres céréales, les galettes de riz ou les galettes de céréales type WASA* sont beaucoup plus indiquées.

La place des glucides dans une alimentation normale varie en fonction de la quantité d'activité physique. Pour un sédentaire, elle devrait représenter environ 55 % de l'apport calorique total. Pour l'activité physique, en particulier d'endurance, il faut augmenter les apports (aux alentours de 60 %).

Les glucides à index glycémique lent doivent représenter 90 % de la ration calorique glucidique et donc les sucres rapides environ 10 %. Les besoins journaliers sont d'environ 4 à 5 g/kg.

Ces glucides à index glycémique lent sont : le fructose, tous les légumes secs, les pâtes et le riz (surtout complet et peu cuits), le pain complet, les céréales complètes, les bananes peu mûres ainsi que la plupart des autres fruits du fait de leur richesse en fructose.

b - LES LIPIDES

Les réserves de l'organisme en lipides sont quasiment inépuisables et, par opposition aux glucides, une activité physique d'endurance n'impose nullement des mesures particulières pour assurer une recharge des réserves en graisse. Les lipides ne devraient en effet pas représenter plus de 30 % de l'apport calorique global alors qu'ils se situent aux environs de 40 % dans l'alimentation générale de la population française.

Ceci associé à la sédentarité est à l'origine des différentes dyslipémies. Ainsi, la normalisation des apports lipidiques est recommandée comme pour la population générale.

L'aspect qualitatif paraît beaucoup plus important, dans le domaine de la plongée. En effet, la répartition recommandée pour la prévention des maladies cardio-vasculaires est de 25 % d'acides gras saturés, 50 % d'acides gras mono-insaturés, 25 % d'acides gras poly-insaturés. Les acides gras poly-insaturés (AGPI) ont d'autres propriétés qui sont intéressantes pour la plongée.

En effet, ils ont un rôle majeur dans la structure des membranes cellulaires. D'autre part, leur consommation régulière semble également avoir des effets hémorhéologiques intéressants en particulier anti-agrégants plaquettaires.

Ils jouent également un rôle dans la réduction du taux de triglycérides : l'augmentation de leur consommation, en réduisant l'excès de graisses saturées, réduit également le risque d'athérosclérose, facteur favorisant de thrombose, de réduction de vitesse du flux circulatoire au niveau distal, capillaire et cérébral. En effet, les AGPI, en particulier les Oméga 3 (alpha-linolénique) ont un grand intérêt : ils ont la propriété de diminuer la synthèse de prostaglandines, ce qui réduit le risque de thrombose et leur confère un pouvoir anti-inflammatoire.

En fait, ces acides gras favorisent la synthèse de prostaglandines vaso dilatatrices et anti-agrégantes plaquettaires.

Ce mécanisme diminue avec l'âge.

Les besoins sont :

	HOMMES	FEMMES
--	--------	--------

Gammalinoléiques (Oméga 6)	17 g	13 g
Alphalinoléiques (Oméga 3)	3 g	2 g
Acide Docosahexaénoïque	1,4 g	1,1 g

Les apports sont assurés par les poissons à peau bleue :

- sardines, maquereaux, harengs et saumons

70 grammes de maquereau ou 100 g de hareng ou de saumon apportent un gramme d'un mélange Acide Eïcosapentaénoïque - Acide Docosahexaénoïque

Les dyslipidémies mixtes sont particulièrement athérogènes et thrombogènes, car elles entraînent des perturbations hématologiques et des anomalies de la coagulation : diminution de la fibrinolyse, augmentation du facteur VIII et du fibrinogène; augmentant ainsi probablement le risque d' accident de décompression.

Les acides gras saturés sont contenus essentiellement dans les corps gras d'origine animale, sous forme invisible, c'est à dire dans le beurre et le saindoux, mais surtout sous forme invisible dans la viande et la plupart des produits industriels quels qu'ils soient. Les fabricants y ajoutent en effet des graisses, certes végétales, mais saturées... leur faible coût explique leur utilisation sans limite.

Une autre source de graisse saturée est constituée par les produits laitiers et essentiellement le fromage qui les concentre.

Sur le plan nutritionnel, la solution consiste donc à diminuer la part globale des graisses dans l'alimentation, en particulier pour ce qui concerne les graisses saturées, tout en augmentant au contraire l'apport d'acides gras mono et poly-insaturés.

Ceux-ci se trouvent, comme nous l'avons vu dans les produits de la mer, mais également dans les graisses végétales, au premier rang desquelles les huiles :

- les huiles équilibrées (c'est à dire riches en AGMI) :

* huile d'olive,

* huile de colza (légèrement plus riche en AGPI et moins en AGS)

- les huiles riches en AGPI :

* noix, raisin : très riches

* tournesol, soja : riches

- les huiles riches en vitamine E :

* germe de blé, tournesol.

En résumé, pour ce qui concerne les graisses et l'optimisation de leur apport chez le plongeur autonome il faut :

- réduire la consommation d'aliments riches en graisse saturée :

- * viandes grasses : agneau, mouton, porc, saucisse, charcuterie...
- * fromages : tous
- * fritures, sauces
- * pâtisseries et biscuiterie industrielle, "snack", plats cuisinés industriels.

- augmenter la consommation d'acides gras mono et poly-saturés :

- * huile d'olive ou de colza en majorité, en alternance avec noix, raisin, tournesol, maïs, soja, germe de blé,
- * poissons, coquillages, fruits de mer
- * volailles et palmipèdes.

c - LES PROTÉINES

Les protéines doivent représenter environ 15 % de l'apport calorique total.

Leur valeur biologique supérieure fait qu'il faut préférer les protéines animales aux protéines végétales ; mais le principal inconvénient de celles-là, est leur association fréquente avec des graisses saturées. C'est pourquoi il convient de choisir des protéines animales maigres comme base de l'alimentation protéique. Il faut associer cet apport protéique de manière obligatoire aux deux repas de la journée. Les besoins sont de 0,8 g/kg/j à 1 g/kg/j pour un sédentaire et 1 à 1,5g/kg/j pour les sportifs. Pour les plongeurs, on peut recommander 1 à 1,2 g.

3 - LES MICRO-NUTRIMENTS.

Les micro-nutriments sont les compléments indispensables qui permettent une utilisation correcte des macro-nutriments et un bon fonctionnement de l'organisme.

Il s'agit des vitamines, des oligo-éléments, des sels minéraux, des acides gras mono et poly-insaturés et des acides aminés essentiels.

D'une manière générale notre alimentation est carencée en micro-nutriments : par exemple, les femmes pour les carences en fer, en acide folique, en zinc, en magnésium. Les personnes âgées pour l'acide folique, la vitamine B12, mais aussi la vitamine B6 et la vitamine D. Les fumeurs pour la vitamine C, le séléniumCeci n'entraîne pas toujours un retentissement clinique et

est tout à fait tolérable pour un sujet qui reste toujours loin de ses limites physiques. C'est, à l'opposé, certainement un facteur de risque lors de l'effort maximum ou pour pouvoir faire face aux phénomènes oxydatifs liés aux radicaux libres. Il faut donc s'assurer d'un apport suffisant en micro-nutriments.

L'alimentation à Haute Densité Nutritionnelle consiste à augmenter l'apport en micro-nutriments Il s'agit donc à réduire l'apport en calories vides, c'est à dire en macro-nutriments qui n'apportent que peu ou pas de micro-nutriments (au premier rang desquels les sucres rapides et les produits industriels) pour augmenter celui des aliments riches.

Dans ce cadre, il faut préférer :

- Tous les **fruits**, en particulier : kiwis, cassis, abricots, agrumes, fruits rouges...
- Les **fruits secs** (en petite quantité).
- Les **légumes**, en particulier : choux, persil, carottes, cresson, pissenlit, ail...
- Les **salades**.
- Les **légumes secs** : pois en grain, pois chiche, pois cassés, haricots, fèves, lentilles, soja...
- Les **céréales complètes** : céréales, semoule, riz, pâtes...
- **Pain complet** au levain.

- Les **abats** : fois, rognons, coeur, cervelle...
- Le **boudin**.
- Le **foie de poisson** (en petite quantité).
- Les **poissons** (en particulier, les poissons gras).
- Les **coquillages**.
- Les **crustacés**.
- Les **oeufs**.
- Le **soja** sous toutes ses formes
- Les **graines oléagineuses** (en petite quantité) : noix, noisettes, noix de cajou, amandes...

- Les **yaourts**.
- La **levure de bière**.
- Le **germe de blé**, de **soja**, et autres **graines germées**.
- Les **algues** (!)

- Le **sel gris**.

- Les **huiles** : olive, colza, soja, germe de blé, tournesol, pépin de raisin, pépin de cassis, carthame, bourrache...

QUE FAIRE EN PRATIQUE ?

Un homme de 70 kg a une dépense métabolique de base d'environ 1600 kcal/jour et des dépenses de fonctionnement variables (activité musculaire, prise alimentaire, température extérieure) de l'ordre de 1000 kcal/jour.

Pour la plongée, il convient d'augmenter cet apport en fonction de l'effort produit et des conditions thermiques : Cette activité correspond à une consommation d'oxygène de 1 à 2 l/mn c'est à dire à une dépense énergétique de 300 à 600 k/Cal par heure de plongée.

L'apport nutritionnel quotidien pour une plongée par jour devrait se situer entre 2900 et 3200 kcal/jour.

Une bonne alimentation doit être équilibrée selon la "règle du 421" :

- 4 portions de glucides (1 portion de crudités, 1 portion d'aliments cuits, 1 portion de farineux, 1 portion de sucré)
- 2 portions de protides (1 portion lactée apportant phosphore et calcium, 1 portion non lactée de viandes oeufs et surtout de poisson intéressant pour prévenir les anomalies lipidiques).
- 1 portion lipidique moitié animale, moitié végétale.

- LE REPAS D'AVANT PLONGÉE OU ENTRE DEUX PLONGÉES.

Nous en avons vu les grandes lignes dans les chapitres précédents. Il faut le plus souvent le terminer trois heures avant la plongée. Il doit être léger, facile à digérer, peu gras, pauvre en sucres rapides et raisonnablement riche en sucres lents.

La composition idéale est :

- viandes, poissons ou oeufs, cuits sans matière grasse.
- pâtes blanches, riz blanc ou pommes de terre également sans graisse.
- éventuellement salade de tomate, laitue, pomme ou autre fruit ou crudité pauvre en fibres.

En cas d'impossibilité de s'alimenter raisonnablement avant la plongée, il est donc très utile d'utiliser une ration d'attente (à condition de l'avoir testée auparavant en dehors de la plongée), à base de fructose (15 à 20 g/l) et d'eau à boire par petites quantités jusqu'à la plongée. Cela ne doit pas empêcher l'hyper-hydratation fortement recommandée avant celle-ci également.

- LE REPAS D'APRÈS PLONGÉE

Il doit permettre d'assurer la réplétion des réserves en glycogène musculaire et doit donc être adapté en fonction de la dépense énergétique réalisée. Afin d'assurer la meilleure recharge possible, il est intéressant d'absorber une boisson sucrée dans le cadre de la réhydratation d'après plongée en association avec d'importantes quantités d'eau plate.

100 à 150 g de pâtes ou de riz cuit ou 30 à 50 g de pain accompagnant les légumes doivent suffire à compenser les dépenses entraînées par une plongée unique.

Dans la mesure où toute activité physique intensive est contre indiquée aussi bien avant, qu'après une plongée on peut considérer que celle-ci représente la seule dépense énergétique importante de la journée.

- ORGANISATION GÉNÉRALE DES REPAS

D'une manière général, on peut équilibrer l'alimentation en utilisant le système des groupes alimentaires. A l'intérieur de chaque groupe, on peut choisir les aliments les plus adaptés en fonction des différentes situations (alimentation HDN, carences particulières à compenser, intolérance personnelle, goûts particuliers, pathologie métaboliques ou digestives...).

Un petit déjeuner devrait se composer le plus souvent possible pour être équilibré de :

- une ration de sucres lents (céréales, pain, riz au lait, semoule au lait, galette de riz ou de céréales...),
- une ration d'un produit laitier (yaourt, fromage blanc, lait...),
- une ration d'un fruit et un jus de fruit pour augmenter l'apport en vitamines,
- éventuellement une ration de protéine.

Le déjeuner et le dîner sont des repas similaires qui ne se différencient que par l'accompagnement des protéines. Ils doivent comporter :

- une ration de fruits ou de crudités,
- une ration de produit laitier,
- une ration de protéine (le plus souvent maigre) et
- * soit un sucre lent sans pain (à utiliser plutôt après un exercice physique),
- * ou, en alternance, à l'autre repas de la journée, un légume ou un fruit cuit, plus une ration de pain.

Cette méthode rend les aliments faciles à inclure dans un groupe alimentaire. Il est donc facile de déterminer si l'équilibre dans la composition des repas est respecté. Cependant, l'équilibre alimentaire ne se fait pas sur un repas mais sur plusieurs, voire sur plusieurs jours.

Ainsi, on peut constater que, quelle que soit l'organisation des repas, il faut en moyenne absorber dans une journée :

- trois rations de fruits ou de crudités,
- trois rations de produit laitier (éventuellement seulement deux pour les hommes adultes, plutôt trois pour les femmes, et plutôt quatre pour les enfants, les adolescents, les personnes âgées et les femmes enceintes),
- deux rations de protéines,
- trois rations de sucres lents (dont une ration de pain avec les légumes),
- une ration de légume ou de fruit cuit.

Les rations sont bien évidemment très différentes pour les sucres lents et les protéines selon le sexe, le poids, l'activité physique en particulier. Elles sont à adapter individuellement et quotidiennement.

Cela doit s'accompagner d'une hydratation suffisante comme mentionné plus haut. Le choix le plus fréquent d'aliments HDN, d'aliments pauvres en graisses, en privilégiant les graisses mono et poly-insaturées, avec un apport suffisant en protéines, en fruits et en légumes devrait permettre à tout à chacun, en combinaison avec une activité physique d'endurance régulière et continue tout au long de l'année, d'améliorer de manière significative son capital santé, son capital forme, et de maintenir son pourcentage de graisses dans des valeurs acceptables n'accroissant ni le risque cardio-vasculaire, ni le risque en plongée.

Tout cela ne doit bien entendu pas faire oublier les plaisirs de la table qui sont une condition de tout équilibre physique et psychique. Au contraire, une alimentation équilibrée la plupart du temps, permet sans aucune arrière pensée de s'adonner occasionnellement aux délices de la gastronomie sans que cela ne se traduise ni par une prise de poids, ni par un problème de dyslipémie.

Bibliographie

- Jacotot B, Le Parco J.C, Nutrition et Alimentation, Abrégé, Masson Ed, Paris 2000
- Pendergast DR, Tedesco M, Nawrocki DM, Fisher NM, Energetics of underwater swimming with SCUBA. Med Sci Sports Exerc. 1996 May;28(5):573-80.
- Galland F. Communication personnelle
- Thomas A. Dépense Énergétique, Nutrition et plongée autonome de loisir, in : JL Ducassé Ph Izard, V^{ème} Séminaire de Médecine de Plongée, Santa Eulalia, 25-28 Oct 1997