

NITRATES ET SANTÉ

**L'ÉTONNANTE
CONTRE-ENQUÊTE**



PHOTO: ANSTOOP

Ces « diables » de nitrates ne seraient pas les molécules néfastes si souvent décrites mais au contraire des substances bienfaitrices pour l'organisme : ce sont des professeurs de médecine qui le disent. Depuis des décennies, on se serait trompé en les mettant excessivement à l'index en organisant – sur le plan de la santé – une traque démesurée. Voilà un constat pour le moins étonnant, qui découle de découvertes récentes. Il est lié au fait que les nitrates sont des précurseurs dans le corps humain de l'oxyde nitrique, une molécule clé aux multiples propriétés, mise en évidence seulement en 1986. Oui, on assiste bien dans le monde médical (essentiellement anglo-saxon et scandinave) à un vrai renversement d'approche

Des études médicales internationales montrent l'intérêt des nitrates pour l'organisme. Légumes verts et betterave rouge en contiennent à profusion. Les sportifs en sont devenus fans !

concernant les nitrates alimentaires, à tel point que des centres de recherches réputés en Angleterre, en Suède, aux Etats-Unis sont en train de bâtir des stratégies thérapeutiques pour les utiliser en cardiologie, pneumologie, neurologie, gastro-entérologie, transplantation d'organes...

Sans attendre, le monde sportif s'est déjà saisi de la question

pour exploiter leurs effets et les Jeux olympiques de Londres ont été marqués par une utilisation massive des nitrates d'origine végétale. Sur quoi s'appuie un tel revirement ? D'où viennent les normes ? Retour sur ce qui pourrait être l'un des plus gros malentendus sanitaires de l'histoire récente.

Et comme cette enquête à rebrousse-poil va sans doute susciter une grande incrédulité, voire de la suspicion, nous avons mis en place sur notre site internet un dispositif exceptionnel de compléments web (publications scientifiques, articles de presse, vidéos) pour que chacun puisse aller plus loin, regarder ce qui se passe en dehors de nos frontières et vérifier nos assertions.

Réalisé par **PHILIPPE PAVARD**

1. Des normes et des **griefs fragiles**. P. 40
2. Pourquoi des médecins leur trouvent des **vertus**. P. 42
3. **Bénéfices avérés** et perspectives thérapeutiques. P. 45
4. Des sportifs gagnés par la **fièvre de la betterave rouge**. P. 48

www.lafranceagricole.fr

Un dispositif exceptionnel de compléments web

- ▶ **Revue de presse anglo-saxonne** : une centaine d'articles grand public et de vidéos, avec notamment l'engouement pour le jus de betterave rouge aux JO de Londres.
- ▶ **Des publications scientifiques** concernant les études médicales et la physiologie sportive.
- ▶ **Les avis d'organismes officiels** (OMS/FAO, EFSA, CIRC, Institut australien du sport, diététiciens australiens du sport...).
- ▶ **Les recherches en cours.**
- ▶ **Le débat entre chercheurs et les mises en garde.**
- ▶ **Les produits nutritionnels du commerce.**
- ▶ **Une séquence rétro** : l'eau minérale nitratée du Prieuré d'Heudreville.

1. Des normes et des griefs fragi i

Voilà sur quoi repose l'acte d'accusation des nitrates et les principales réglementations qui les encadrent.

Durant les cinquante dernières années, les nitrates ont été perçus comme une menace potentielle pour la santé humaine et les normes édictées ont renforcé cette conviction dans l'opinion. Deux griefs leur ont été principalement imputés : le risque de maladie bleue (lire l'encadré page 41), qui a abouti à la réglementation sur l'eau de boisson, et le risque de cancer. Les preuves se sont désormais accumulées pour montrer qu'une eau nitratée ne peut être dangereuse pour le nourrisson que si elle contient une très grande quantité de bactéries (un million de bactéries par ml). Ce sont des conditions que l'on pouvait avoir il y a soixante ans, quand les puits desquels on tirait l'eau de boisson pouvaient être pollués par des écoulements provenant de tas de fumier ou de fosses d'aisance trop proches.

Les légumes verts sont particulièrement riches en nitrates

Classification des principaux légumes selon leur teneur en nitrates.

Attention ! La teneur est sujette à de grandes variations, en fonction de nombreux facteurs (fertilisation, période de l'année, durée du jour, ensoleillement, etc.).

Teneur en nitrates/kg de légumes frais	Espèce
Très élevée > 2 500 mg	Roquette, épinard, laitue, bettes, betterave rouge, jus de betterave, céleri, cresson, cerfeuil, fenouil, rhubarbe, basilic, radis noir ou rouge, chou frisé...
Elevée 1 000 - 2 500 mg	Chou chinois, céleri-rave, endive, poireau, persil, chou-rave...
Moyenne 500 - 1 000 mg	Chou, aneth, navet...
Basse 200 - 500 mg	Brocoli, carotte, concombre, chou-fleur, citrouille, chicorée...
Très basse < 200 mg	Asperge, artichaut, fèves, ail, petits pois, haricots verts, melon, aubergine, tomate, pommes de terre, oignon...

Sources : Journal of the Science of Food and Agriculture (2006), Bryan and Hord (2010).

Mais ce n'est plus possible maintenant, à moins d'être extrêmement négligent en matière d'hygiène. Les autorités sanitaires européennes et internationales planchent depuis des décennies sur le risque théorique de cancer. Sans jamais parvenir à faire la démonstration d'un lien

avéré chez l'être humain. En 2003, le comité d'experts de l'OMS et de la FAO (JECFA) concluait que « les études épidémiologiques n'ont pas montré d'augmentation consistante de risque de cancer avec l'accroissement d'une consommation de nitrates » et que celles-ci « ne four-

DES CONTRADICTIONS ENTRE LES RÉGLEMENTATIONS

Les légumes sont de très loin notre principale source de nitrates : environ 80 % de la ration alimentaire moyenne quand l'eau n'en apporte que 10 %, le solde venant pour l'essentiel des salaisons. En 1980, s'alignant sur les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, l'Europe a fixé à 50 mg/l la concentration maximale en nitrates dans les eaux de boisson, en raison du risque de maladie bleue. Cette norme repose pour l'essentiel sur des données épidémiologiques recueillies entre 1945 et 1965. Depuis 1992, les autorités sanitaires européennes recommandent de ne pas ingérer quotidiennement plus de 3,7 mg de nitrates par kilo de poids corporel, une préconisation venue



Mention relevée sur un sachet d'épinards d'une grande enseigne du surgelé.

là aussi de l'OMS. Soit une dose journalière admissible (DJA) de 222 mg pour un adulte de 60 kg. Dans le même temps, ces mêmes autorités conseillent de mettre l'accent sur la consommation de légumes. Or, nombre d'entre eux ont de fortes teneurs en nitrates

(voir tableau ci-dessus). Ces légumes verts sont par ailleurs une composante essentielle du régime alimentaire méditerranéen, souvent présenté comme l'exemple à suivre. Ils figurent également en bonne place dans les recommandations nutritionnelles américaines comme le DASH diet (Dietary Approaches to Stop Hypertension). Une portion d'épinards ou de roquette et hop, on excède rien qu'avec cela la DJA ! Les végétariens sont aussi très souvent au-delà de cette limite, de même que les sportifs carburant à la betterave rouge, qui eux l'explorent ! (Lire page 48). Un consommateur qui suit le régime DASH peut dépasser de 550 % ce plafond, selon une simulation publiée en 2009 dans *The Ame-*

rican Journal of Clinical Nutrition. Même chose avec le message santé « cinq fruits et légumes par jour » qui se télescope avec cette DJA alors qu'il a pourtant une vraie légitimité... Une réglementation européenne fixe des concentrations maximales en nitrates pour les épinards, la laitue et la laitue iceberg. Des contraintes qui se retrouvent au champ car le producteur doit contrecarrer la propension naturelle de l'espèce à concentrer les nitrates. Notons enfin qu'avec la directive de 1991 sur la pollution des eaux par les nitrates agricoles, l'Europe a utilisé le seuil « sanitaire » des 50 mg/l pour servir cette fois un objectif environnemental. C'est une ambiguïté de plus dans le dossier des nitrates...

nissent pas la preuve que le nitrate est carcinogène pour l'homme ». Et, en 2008, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) statuait dans des termes très voisins : « Rien n'indique que l'apport en nitrates provenant de l'alimentation ou l'eau potable est associé à une augmentation du risque de cancer. »

PEUR DES NITROSAMINES

La logique de suspicion est la suivante : les nitrites qui se forment à partir des nitrates ingérés pourraient réagir avec des amines secondaires pour donner dans l'estomac des nitrosamines, des composés réputés carcinogènes à fortes doses chez l'animal. Des nitrites peuvent aussi être absorbés directement via des viandes transformées. Si cette transformation nocive, dite de « nitrosation », a été montrée au laboratoire, en éprouvette et avec certaines espèces animales, chez l'homme, les quantités de nitrosamines formées à partir des nitrates et des nitrites alimentaires sont infimes. Elles seraient insuffisantes pour avoir une toxicité chronique.

Pour autant, la communauté scientifique n'est pas unanime et le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), pourtant membre de l'OMS citée plus haut, persiste à faire entendre sa différence. Dans un avis de 2006, réitéré dans la monographie finale publiée en 2010, il a classé « l'ingestion de nitrates et nitrites alimentaires dans des conditions résultant d'une nitrosation endogène » comme « probablement carcinogène pour l'homme » (voir nos compléments web), tout en estimant qu'il n'existe pas de preuves suffisantes chez l'homme concernant la cancérogénicité des nitrates dans l'eau de boisson et les aliments. Dans une publication parue dans *Food and Chemical Toxicology* (octobre 2012), le Pr Bryan et son équipe du Texas Health Institute font valoir que le CIRC appuie ses conclusions sur des articles de qualité défectueuse et que les études de cohorte, connues pour apporter les informations les plus fiables et sorties depuis 2006, « n'orientent nullement vers une augmentation

MALADIE BLEUE : UNE PATHOLOGIE QUASIMENT DISPARUE

Aujourd'hui encore, c'est au nom du risque de maladie bleue du nourrisson

qu'une eau de boisson doit respecter la fameuse norme de 50 mg/l de nitrates. Pourtant, il y a belle lurette que la méthémoglobinémie a disparu de nos contrées occidentales. En 2000, une synthèse suisse de l'Office fédéral de la santé faisait observer qu'au cours des soixante dernières années, on n'avait observé dans ce pays « aucun cas de méthémoglobinémie qui aurait pu être attribuée à la teneur en nitrates de l'eau de boisson ». Et si cette pathologie a été éradiquée, c'est parce qu'elle ne peut survenir qu'en présence d'une énorme prolifération bactérienne – au moins un million de germes par ml d'eau – et qu'après un certain délai d'action de cette flore. Grâce à nos mesures élémentaires d'hygiène pour la préparation des biberons et à la qualité bactériologique procurée par le réseau d'adduction d'eau potable (moins de 100 germes par ml), il n'est plus possible d'avoir la transformation de nitrates en nitrites susceptible de provoquer la maladie chez le nourrisson. A titre d'exemple, avec de l'eau d'adduction, il faudrait laisser un biberon préparé au lait en poudre plus de 36 heures à température ambiante pour qu'une fois absorbé, il lui fasse courir le risque d'apparition

Eau de biberon.

Il faut, en plus des nitrates, une énorme contamination bactérienne (un million de germes par ml) pour créer un risque de méthémoglobinémie (maladie bleue).

PHOTONSTOP



de la maladie ! Autrement dit, c'est le duo nitrates et pullulation bactérienne qui fait courir un danger, pas les nitrates seuls. Et encore : ce risque n'est propre qu'aux enfants de moins de six mois car leur système enzymatique n'est pas encore pleinement performant. La maladie bleue est en effet liée, chez eux, à l'incapacité de l'hémoglobine à transporter l'oxygène quand il y a présence dans l'eau de nitrites. Seuls ces derniers (et pas les nitrates) ont la propension à transformer l'hémoglobine humaine en méthémoglobine responsable de cette incapacité. Mais au-delà de six mois, une enzyme fait que la méthémoglobine formée retourne « aussi sec » à l'état d'hémoglobine et que l'on n'est plus exposé au risque. Ce mécanisme d'action n'était

pas encore connu lorsqu'un pédiatre américain de l'Iowa, Henry Comly, a suspecté en 1945 l'eau de puits comportant des nitrates de provoquer la maladie. Des cyanoses étaient effectivement survenues. De fil en aiguille, l'affaire fit grand bruit, des hypothèses erronées et des extrapolations hasardeuses furent émises et c'est ainsi que l'on a abouti à la fameuse norme. Celle-ci concerne non seulement les eaux de puits (à l'égard desquelles il convient de toujours rester vigilant) mais aussi toutes les eaux de boisson, notamment d'adduction publique. Elle fait l'impasse sur le facteur bactériologique. Les experts de l'OMS ont jusqu'ici toujours refusé de reconsidérer leur point de vue à la lumière des nouvelles données scientifiques.

du risque de cancer de l'estomac ». Contrastant avec cette controverse scientifique, de nombreuses études médicales montrent que mettre l'accent sur la consommation de fruits et de légumes réduit le risque de former dans l'organisme des composés nocifs. Si nitrates et nitrites étaient dangereux, on devrait voir en toute logique une augmentation des cancers chez ceux qui suivent de tels régimes alors que c'est l'inverse qui

se produit. Les distributeurs d'eau ne sont pas sans ignorer cette réalité sanitaire : dans un dépliant destiné au grand public (voir nos compléments web), Veolia Eau reconnaît, dans une pirouette édifiante, que « les nitrates ne sont pas un problème de santé publique, mais leur présence est un signe de pollution humaine et de dégradation du milieu naturel ». Autrement dit, cela ne change rien pour nous, opérateurs... ■

2. Pourquoi des médecins leur tr

Les nitrates alimentaires sont un précurseur d'oxyde nitrique, une molécule clé qui contrôle nombre de processus essentiels. On ne l'a compris que tardivement.

Des découvertes effectuées pour l'essentiel dans les pays anglo-saxons montrent que les nitrates alimentaires présentent plus d'avantages que d'inconvénients pour la santé, à rebours du dogme qui prévaut depuis au moins cinquante ans. A tel point que des professeurs de médecine à la réputation bien établie (Karolinska Institute, université d'Exeter, William Harvey Research Institute, Texas Health Institute, Wake Forest University...) émettent désormais l'idée qu'il faudrait plutôt rechercher leur consommation que d'essayer de les bannir de notre alimentation. Et que des suppléments à base d'extraits naturels de légumes riches en nitrates (Neo 40 Daily, RediBeets, etc.) ou de jus concentrés commencent même à apparaître pour combattre certaines pathologies ou améliorer des fonctions physiologiques...

Sans attendre, le monde sportif s'est déjà emparé de la question en à peine trois ans et de manière peut-être un peu précipitée (lire page 48).

UN SUJET TABOU EN FRANCE

La France reste complètement à l'écart de ce renversement d'approche, mis à part quelques méde-

cins, comme Jean-Louis L'Hirondel (lire l'encadré ci-dessous) et des membres de l'Académie de médecine. Le sujet reste tabou et la cause semble entendue dans l'opinion quant à leur nocivité supposée.

Depuis un colloque au Sénat auquel nous avons assisté en 2000 (voir nos compléments web) et qui avait démontré que la menace pour la santé avait été largement exagérée, il s'en était suivi... une longue période de léthargie. Un cran avait été franchi en mars 2011 quand un colloque international organisé à La Pitié-Salpêtrière, sous le patronage de l'Académie de médecine, avait montré qu'il fallait surtout en attendre des bénéfices santé. Mais derrière, il n'y eut quasiment aucun écho de cette évolution. Et la parution, en octobre 2012, du dossier de *Science et vie* « Nitrates : attention ils sont bons pour la santé » n'a pas non plus réveillé l'intérêt médiatique.

Dans le même temps, les colloques médicaux se multiplient à l'étranger pour partager ces nouvelles connaissances en vue de bâtir des stratégies thérapeutiques et leurs limites d'utilisation : Stockholm (2009), Atlanta (2011), Edimbourg (2012)... et le prochain prévu à Pittsburgh début mai. La médecine anglo-saxonne avance

sans états d'âme. Le contraste est saisissant. Et pour tout dire, on voit mal désormais comment le couvercle pourrait être remis sur cette marmite bouillonnante !

Ce revirement spectaculaire tire son origine dans une série de découvertes relativement récentes, à commencer par celle, charnière et fondatrice, de l'oxyde nitrique (NO) en 1986 (lire l'encadré). Une molécule en apparence banale (un atome d'oxygène, un autre d'azote) qui régule dans le corps humain nombre de processus clés, notamment cardio-vasculaires, nerveux, immunitaires et qui agit comme agent de liaison entre les cellules. Cette mise en évidence a du coup stimulé nombre d'équipes de recherches dans le monde, déclenchant depuis une avalanche de publications. On notera que ces découvertes sont intervenues bien après l'instauration des fameuses normes nitrates.

PRECURSEURS D'OXYDE NITRIQUE

Quel rapport l'oxyde nitrique entretient-il justement avec les nitrates de l'alimentation ? Un rapport étroit. Ces derniers sont en fait des précurseurs de NO, c'est-à-dire qu'ils se transforment en oxyde nitrique,

TRENTE-CINQ ANS DE DÉCOUVERTES

L'imbrication des nitrates avec l'oxyde nitrique : une notion récente

Les nitrates inorganiques (ceux de l'alimentation, de l'eau, etc.) sont des précurseurs dans l'organisme de l'oxyde nitrique (NO), une molécule aux propriétés très importantes dans le corps humain mais dont l'existence n'a été découverte que tardivement.

► En 1977, Ferid Murad

démontre que la nitroglycérine, ainsi que plusieurs médicaments pour le cœur de la même famille agissent en augmentant le diamètre des vaisseaux sanguins dans l'organisme.

► En 1980, Robert Furchgott découvre que l'endothélium, cette couche intérieure de cellules qui tapissent nos vaisseaux sanguins, sécrète une substance qui provoque leur dilatation. Il la baptise EDRF pour Endothelium

Derived Relaxing factor. Celle-ci signale aux cellules musculaires lisses qui entourent ces vaisseaux qu'elles doivent se relaxer.

► En 1986, Robert Furchgott et Louis Ignarro découvrent que l'EDRF n'est autre que de l'oxyde nitrique. Pour la première fois, on montre qu'un gaz agit comme régulateur dans l'organisme. En l'occurrence, le NO intervient en tant qu'agent de communication entre les cellules.



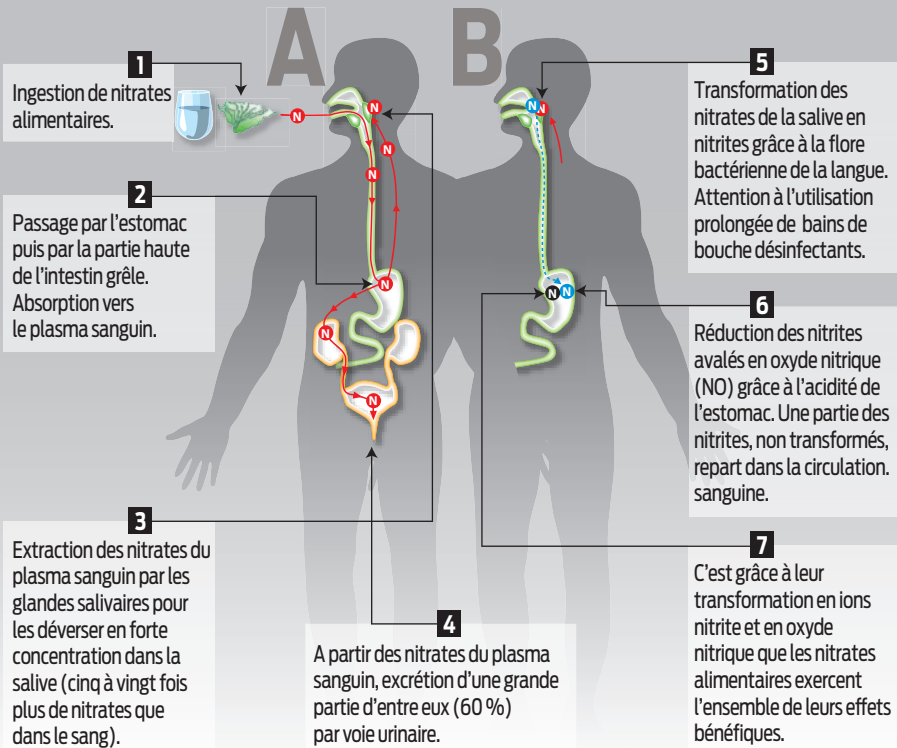
Le Pr Nigel Benjamin a expliqué le cycle entéro-salivaire des nitrates.

C'est un tournant. Cette découverte ouvre de nombreuses pistes de recherche et beaucoup d'équipes dans le monde vont se pencher sur cette molécule. Depuis, le NO a fait l'objet de près de **115 000 publications scientifiques**, ce qui en fait l'un des sujets les plus étudiés au monde en médecine. Ces travaux ont aussi conduit au développement d'un médicament contre l'impuissance, le citrate de sildénafil, le célèbre Viagra !

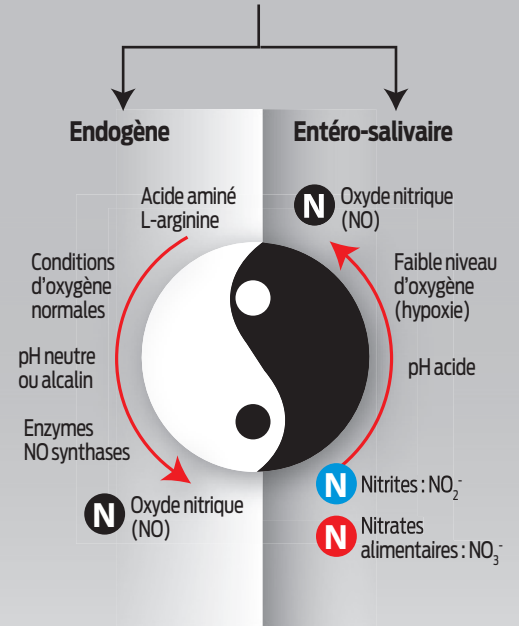
rouvent des vertus

Nitrates alimentaires : plusieurs phases pour aboutir à la formation d'oxyde nitrique (NO)

N Nitrates : NO_3^- **N** Nitrites : NO_2^- **N** Oxyde nitrique : NO



NO : deux voies cohabitent



Production par l'organisme de l'oxyde nitrique selon deux circuits différents. Chacun nécessite ses propres conditions (oxygène, pH) pour fonctionner convenablement. Recherches thérapeutiques en cours : stimuler la voie des nitrates alimentaires pour pallier les défaillances de la voie endogène. A partir de 40 ans, la voie endogène devient moins performante : la production de NO décroît nettement avec l'âge !

suivant le processus décrit dans l'infographie ci-dessus, communément appelé « voie entéro-salivaire ». Qu'ils soient issus de l'alimentation (légumes verts par exemple) ou de l'eau, ces nitrates ingérés commen-

cent, après un petit tour par l'estomac et le haut de l'intestin, par aller se mélanger dans le plasma sanguin avec les nitrates de source « endogène », c'est-à-dire ceux qui sont fabriqués par l'organisme. De

là, les glandes salivaires les extraient sans distinction d'origine. Voilà qui relativise certaines argumentations laissant entendre que « les nitrates de l'eau et ceux des légumes, ce n'est pas pareil » et qu'ils ont un compor-

...

► **En 1987** est découverte la voie endogène de fabrication de l'oxyde nitrique à partir de l'acide aminé L-Arginine. Autrement dit, le corps humain parvient à élaborer du NO à partir d'une ressource interne. Extrêmement réactif, ce gaz dont la demi-vie n'est que de quelques millisecondes est à son tour transformé en nitrites et nitrates. ► **En 1992**, le magazine *Science* qualifie le NO de « molécule de l'année ».

► **En 1994**, les travaux du **Pr Nigel Benjamin** au Royaume-Uni (universités d'Exeter et de Plymouth) et du **Pr Jon Lundberg** en Suède (Karolinska Institute), consacrés à la synthèse du NO à l'intérieur de l'estomac, aboutissent à la mise en évidence de la voie entéro-salivaire (voir infographie). Commencent alors, dans la foulée, les recherches sur les effets bénéfiques des nitrates alimentaires. Depuis, de

nombreuses preuves se sont accumulées et, depuis **5-6 ans**, le rythme des publications scientifiques s'accroît fortement, bousculant encore plus les croyances anciennes. ► **En 1996**, le **Dr Jean-Louis L'Hirondel** publie en France « Les Nitrates et l'homme. Le mythe de leur toxicité » où il démonte point par point l'acte d'accusation, cherchant à attirer l'attention des autorités sur une norme qu'il juge



Le Dr Jean-Louis L'Hirondel a montré la fragilité du dogme.

aussi inutile que coûteuse. L'ouvrage fait du bruit et donne lieu à une campagne de dénigrement, sans être jamais contesté sur le fond. Ce livre a été réédité et enrichi en 2004. ► **En 1998**, **Furad, Furchgott et Ignarro** se voient attribuer le **prix Nobel de médecine** pour leurs découvertes concernant le NO et son rôle en tant que molécule de signalisation, en particulier pour la physiologie cardiovasculaire.

••• tement différent dans l'organisme car les seconds sont généralement accompagnés d'antioxydants, notamment de vitamine C. Or, il s'avère que c'est au deuxième passage dans la bouche et non au premier que s'opère leur transformation en nitrites et qu'à ce moment-là les nitrates salivaires sont donc toutes origines mêlées : alimentation, eau, source endogène. Un détail qui a son importance par rapport au grief carcinogénique et au risque souvent évoqué de nitrosation à partir des nitrites (voir page 41).

A côté de cette voie de fabrication du NO qui n'est bien comprise que depuis 1994, il en existe une seconde dite « voie endogène » schématisée page précédente. On ne l'a mise en évidence qu'en 1987. Elle utilise une ressource propre à l'orga-

nisme, la L-arginine, un acide aminé qui est oxydé en plusieurs étapes grâce à l'implication de trois types d'enzymes, les « NO synthases ». Chacune d'entre elles joue un rôle différent pour la fabrication du NO dans les tissus comme les nerfs ou l'endothélium des vaisseaux sanguins. Mais dans chaque cas, il faut des conditions normales d'oxygénation pour que cette voie fonctionne convenablement, de même qu'un pH neutre ou alcalin. Elle tend à dysfonctionner en cas d'hypoxie (quand l'oxygène vient à manquer dans le sang), ce qui réduit par là-même la production de NO. Des conditions que l'on peut rencontrer pour nombre de raisons : maladies cardiaques, vaisseaux sanguins partiellement ou complètement bouchés (ischémie), stress, condi-



Pour pallier au déficit de NO par la voie endogène, les médecins envisagent des régimes riches en légumes verts.

tions physiologiques extrêmes (très haute altitude, exercices physiques intenses). Un tel contexte donne lieu à un ralentissement de la circulation sanguine et à une diminution de l'oxygène délivré aux tissus (une formation concomitante d'acide lactique peut en plus survenir et faire baisser le pH).

ASSOCIATION DOROTHÉE QUICKERT-MENZEL JURISTE ENVIRONNEMENT (CLCV)

« Les études médicales ne doivent pas justifier un desserrement des réglementations »



« En tant qu'association de consommateurs, nous sommes toujours très vigilants au respect des normes réglementaires afin que soit protégée la santé du consommateur. Pour l'homme, le « risque nitrate » est lié à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. Lorsque l'hémoglobine est oxydée en méthémoglobine, le transport de l'oxygène ne se fait plus, pouvant provoquer notamment chez les jeunes enfants, ce que l'on appelle la maladie « bleue du nourrisson » (NDLR : voir

aussi notre explication page 41). L'article de *Science et vie* rappelle ce point, tout en mettant l'accent sur quelques bienfaits apparemment démontrés dans certaines études relatives à l'absorption des nitrates. Si ces études ont un intérêt médical certain, permettant ainsi l'amélioration des connaissances scientifiques de cette molécule, elles ne doivent en aucun cas justifier un desserrement des contraintes réglementaires. Tout d'abord parce que l'OMS a fixé la norme à 50 mg par litre d'eau de teneur en nitrate pour éviter la méthémoglobinémie. Mais nous savons aujourd'hui que les consommateurs absorbent des teneurs de nitrates beaucoup plus importantes que celles fixées uniquement par les normes sur l'eau. Dans les légumes, ces teneurs ne sont pas réglementées et donc certaines personnes peuvent ingérer entre 175 et 195 mg de nitrates par jour, sans que l'on sache à terme les effets qu'ils pourront avoir (seul ou en contact avec d'autres molécules). Ensuite, d'un point

de vue environnemental, la pollution et les effets négatifs des nitrates sur le milieu n'est plus à démontrer. Le Conseil supérieur de l'hygiène publique de France, dans un avis rendu en 1998, a considéré que tout relèvement de cette valeur favoriserait la poursuite de la dégradation des ressources et risquerait de nuire aux efforts entrepris pour réduire la pollution. De façon récurrente, des avis sont sollicités auprès de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire) car des organisations liées à l'élevage industriel et à l'agro-alimentaire contestaient les bases scientifiques et le bien-fondé de cette réglementation. De notre point de vue, les « bienfaits des nitrates » ne doivent en aucun cas remettre en cause le principe de « prévention des pollutions. »

N.B. : Nous avons sollicité la CLCV (Consommation, logement et cadre de vie) pour la faire réagir sur le dossier de *Science et vie* « Nitrates : attention, ils sont bons pour la santé » paru en octobre 2012 et qui mettait en exergue, comme ici, le changement d'approche médicale. A notre connaissance, il n'avait suscité jusqu'à présent aucun commentaire, ni des médias, ni des associations, ni des pouvoirs publics.

SOLUTION ALTERNATIVE

C'est pour ces raisons que la médecine s'intéresse autant à la voie parallèle des nitrates alimentaires car celle-ci peut fonctionner dans des conditions d'oxygénation et de pH qui ne conviennent pas à la voie endogène. Elle pourrait servir de voie de substitution intéressante. On s'est aperçu en effet que certaines pathologies chroniques comme l'hypertension, le diabète, l'obésité, le syndrome métabolique, etc. s'accompagnent d'un déficit en NO. Une stimulation par l'alimentation (légumes verts et betterave rouge) ou par une supplémentation en nitrates pourrait donc être bénéfique chez les personnes présentant ce type de dysfonctionnement. Une fois fabriqué, le NO retourne en l'espace de quelques millisecondes à l'état de nitrites et de nitrates par oxydation, dans une sorte d'oscillation biochimique. Une question vient naturellement à l'esprit : comment un gaz aussi furtif que le NO, lorsqu'il est constitué dans l'estomac, peut-il exercer des effets physiologiques si importants à d'autres endroits du corps ? En fait, il se retransforme pour partie en ions nitrite. Plus stables, ces ions ont la faculté d'être transportés à distance. Ils sont ensuite reconvertis en oxyde nitrique à la demande. Nitrates et nitrites font en quelque sorte office de réservoir pour les besoins en NO des tissus ! ■

3. Bénéfices avérés et perspectives thérapeutiques

Protection cardiovasculaire, prévention des infections digestives, endurance musculaire : voilà trois effets démontrés par la médecine anglo-saxonne.

Gâce au flux nourri de publications scientifiques, il est maintenant prouvé que c'est via leur transformation en ions nitrite puis en NO (oxyde nitrique) que les nitrates alimentaires exercent des effets bénéfiques. Nombre d'études montrent ainsi – sans controverse – que nitrates et nitrites jouent un rôle de premier plan dans la protection du système cardiovasculaire (voir nos compléments web). Ils induisent notamment un relâchement des cellules musculaires entourant les vaisseaux sanguins, ce qui favorise la circulation sanguine et diminue la tension artérielle. Ils contribuent

aussi au maintien de l'élasticité des artères, à la prévention de l'agrégation plaquettaire (en cause dans l'athéromatose). D'où un rôle envisagé de prévention des risques d'infarctus, de thromboses et d'accidents vasculaires cérébraux.

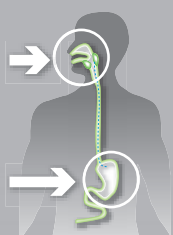
L'autre grand rôle avéré des nitrates est leur action protectrice contre les agents pathogènes. C'est connu depuis la nuit des temps pour la protection des denrées (salaisons). C'est vrai aussi pour l'organisme humain, où ils contribuent à la prévention des infections digestives.

Dernier axe majeur : l'effet sur les muscles, la consommation en oxygène et l'endurance avec des

choses bien comprises et d'autres qui restent à éclaircir. En tout cas, le monde sportif n'a pas attendu d'avoir toutes les réponses pour se saisir de la question (voir page 48). L'Institut australien du sport (AIS), une organisation dépendant du gouvernement, a réalisé en novembre 2011 une note de synthèse très instructive sur cette utilisation (voir nos compléments web).

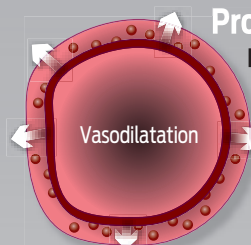
« Contrastant avec les inquiétudes des dernières décennies, il y a maintenant des preuves que des bienfaits pour la santé sont associés à un régime riche en nitrates », estime l'Association australienne des diététiciens du sport (SDA). « Les effets ... »

Trois grands bénéfices des nitrates alimentaires



Désinfectant

Au niveau de la sphère bucco-pharyngée et de l'estomac. L'ion peroxy-nitrite dérivé des nitrates et du NO (oxyde nitrique) est un agent bactéricide extrêmement puissant. Il protège nos dents des caries, notre bouche des mycoses et notre estomac des infections digestives (salmonelloses, shigelloses, yersiniose, etc.). C'est pourquoi, en milieu acide, la salive est un excellent désinfectant.



Protection cardiovasculaire

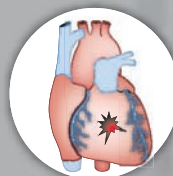
Le NO induit la relaxation des cellules musculaires lisses situées autour des vaisseaux sanguins, ce qui crée une vasodilatation. D'où une baisse de la pression artérielle et une meilleure circulation sanguine. Un rôle contre l'agrégation plaquettaire a aussi été montré.



Endurance musculaire

Amélioration des performances par une utilisation plus efficace de l'oxygène dans les muscles (action sur les mitochondries pour booster la fourniture d'énergie. D'où une plus grande formation d'ATP lors de la consommation d'oxygène). Augmentation de l'endurance. Le mécanisme n'est pas encore totalement élucidé.

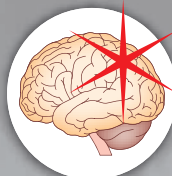
Les recherches thérapeutiques en cours liées à la voie nitrate-nitrite-NO



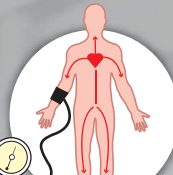
Infarctus du myocarde



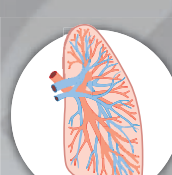
Ulcère de l'estomac et protection de la muqueuse gastrique



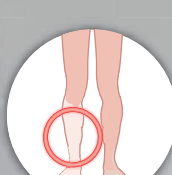
Prévention des AVC



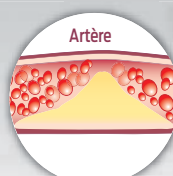
Hypertension artérielle



Hypertension artérielle pulmonaire



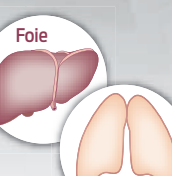
Artériopathie des membres inférieurs



Athéromatose



Mal des montagnes (expédition "Xtreme Everest 2" au Népal)



Transplantation d'organes

••• bénéfiques liés au fait de manger des fruits et légumes l'emportent sur les risques potentiels pour la santé humaine d'une exposition aux nitrates à travers les légumes », reconnaissait, dès 2008, et sans trop « se mouiller », l'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA).

APERÇU DES RECHERCHES EN COURS

L'infographie de la page précédente montre que les recherches en cours sur les nitrates partent dans de nombreuses directions, la plupart du temps en liaison avec les effets déjà connus du NO. Et à l'évidence, la lutte contre l'hypertension est la piste la plus explorée. A la pointe de ces investigations, le William Harvey Research Institute de Londres recourt pour ses travaux... au jus de betterave rouge : une étude réalisée par l'équipe du Pr Amrita Alhewalia et publiée en 2010 dans la revue *Hypertension* (de l'American Heart Association) – confirmée depuis par d'autres expériences – a montré que la pression sanguine est réduite dans les quelques heures qui suivent l'absorption de ce breuvage et que son effet dure 24 heures. Et que ce sont bien les nitrates absorbés à cette occasion qui sont à l'origine de cette diminution significative, grâce à l'augmentation d'oxyde nitrique dans le sang. « Nous avons prouvé

qu'il suffit d'une petite dose (environ 250 ml de jus de betterave) pour agir et que plus la tension artérielle est élevée au départ, plus elle diminue grâce aux nitrates », commente le Pr Alhewalia. Jusqu'à présent, les effets protecteurs des régimes riches en légumes ont été attribués aux antioxydants qu'ils contiennent, mais il se pourrait donc qu'une autre explication émerge... Ces recherches suggèrent aussi que l'on pourrait envisager de prévenir ou de traiter l'hypertension avec des moyens naturels et peu onéreux.

Les scientifiques veulent savoir à partir de quelle dose minimale de nitrates un effet intéressant sur la tension artérielle apparaît. Une étude de l'université de Reading (Royaume-Uni) a montré que 100 g de jus de betterave (soit 143 mg) produisaient un effet significatif. Des pains enrichis à la betterave rouge (et à la betterave blanche) ont également été testés avec succès. Considérant que les Anglais ne mangent pas assez de légumes mais qu'ils sont gros consommateurs de pain, les scientifiques se demandent s'il n'y aurait pas là un moyen astucieux de leur faire ingérer des nitrates à visée thérapeutique. L'université d'Aberdeen teste également des hamburgers enrichis à la betterave rouge. Reste à vérifier que ce qui s'observe chez le sujet non hypertendu s'applique



C. FIMM/ALGFA

aussi à un patient hypertendu. Grâce à des mesures par IRM, le Science Center de la Wake Forest University (Etats-Unis) a montré chez des adultes de plus de 70 ans que l'ingestion de nitrates (jus de betterave) se traduisait par une augmentation du flux sanguin dans les régions du cerveau qui ne sont pas suffisamment irriguées lors du vieillissement et qui sont suspectées d'être impliquées dans la démence sénile et les troubles cognitifs. Ce

Essai. Ce supplément à base d'extrait de betterave rouge (Neo 40) a été utilisé au Texas pour traiter un adolescent atteint d'acidurie argininosuccinique (ASA), une affection rare du cycle de l'urée.

DES DIFFÉRENCES ENTRE NITRATES ALIMENTAIRES ET NITRATES DE SYNTHÈSE

Bien que nitrates et nitrites « inorganiques » (ceux de l'alimentation, de l'eau) et leurs homologues « organiques » exercent leurs effets par l'intermédiaire de la libération d'oxyde nitrique dans l'organisme, ils se distinguent en amont par des différences importantes. Une publication du British Heart Foundation Centre of Research Excellence (King's College de Londres, mai 2012) se livre à une comparaison particulièrement instructive. De structure complexe, les nitrates/nitrites « organiques » sont ceux que la médecine utilise depuis des décennies, à titre thérapeutique dans les affections cardiaques comme l'angine de poitrine. Ce sont tous des produits de synthèse (comme la



L'utilisation chronique de nitrates de synthèse engendre à la longue une baisse d'efficacité.

trinitrine), à l'exception du nitrite d'éthyle. A l'inverse, de structure ionique (simplement NO₃⁻ et NO₂⁻), les nitrates et nitrites inorganiques proviennent d'un apport alimentaire ou sont synthétisés par l'organisme (info-

graphie page 43). Ces différences chimiques s'accompagnent de nuances pharmacocinétiques et pharmacodynamiques importantes. Ainsi, contrairement aux nitrates « organiques », les nitrates « inorganiques » alimentaires sont transformés par la voie entéro-salivaire, qui les fait passer du plasma sanguin vers la salive. Les premiers peuvent être à l'origine de brusques variations de taux de nitrite dans le plasma, sources de vasodilatations aiguës et d'hypotensions potentiellement dangereuses, alors que les nitrates « inorganiques » ne créent pas d'à-coups dans ce domaine. Et les effets physiologiques sont prolongés. L'autre inconvénient majeur des nitrates « organiques », c'est que leur utilisation chronique finit

par engendrer des phénomènes de tolérance, responsable à la longue d'une diminution des effets pharmacologiques. Une « accoutumance » qui n'est pas encore complètement élucidée et qui n'a pas été observée avec les nitrates « inorganiques », ces derniers pouvant exercer leurs effets bénéfiques, même en cas de dysfonction endothéliale. « Il est vraisemblable que les nitrates "organiques" continueront encore longtemps à dominer la scène thérapeutique. Mais à l'avenir, cela pourrait changer avec la prise en considération croissante de leurs limites et la multiplication des découvertes relatives aux effets bénéfiques des nitrates/nitrites "inorganiques" », concluent les trois auteurs du King's College.

À LIRE

Publications scientifiques

Taper ensemble les mots clés « dietary nitrate », « blood pressure » sur le site PubMed (langue anglaise) ou aller sur le blog des nitrates <http://blog-nitrates.fr/> (en français).



centre va prochainement démarrer une expérience « nitrates » avec des malades atteints à la fois d'artériopathie des membres inférieurs et de diabète de type 2. Au Népal, une expédition médicale « Xtreme Everest 2 » est partie début mars pour procéder à une batterie d'expériences sur des volontaires afin de mieux comprendre l'adaptation du corps humain à l'altitude. Les phénomènes physiologiques liés au NO et au mal aigu des montagnes vont être scrutés de près. Le camp de base où ces volontaires vont séjourner pendant près de trois mois est situé à 5 300 m d'altitude. Une étude a déjà montré que des Tibétains vivant à 4 200 m avaient neuf fois plus de nitrates dans le sang que des Américains vivant à 260 m, ce qui interpelle les chercheurs.

DÉBAT CONCERNANT UNE UTILISATION PROLONGÉE

En Grande-Bretagne où l'intérêt du jus de betterave a été largement médiatisé (plus d'une centaine d'articles dans la presse grand public et sportive ainsi que des couvertures radio, télé...), le questionnaire lié à une utilisation régulière des nitrates s'est vite posé. Dans le *Daily Telegraph* (30 avril 2012), le Pr John Darden, toxicologue, s'inquiète du risque de cancer de l'estomac. Le Pr Nigel Benjamin (Peninsula College of Medicine, université d'Exeter), codécouvreur de la voie entéro-salivatoire, lui répond deux semaines plus

tard en expliquant que les autorités internationales, notamment l'OMS, se sont déjà penchées sur les risques liés aux nitrates des légumes et que « toutes sont d'accord pour dire qu'il n'y a pas de risque notable de cancer ». Il ajoute qu'« il y a tout lieu de croire que la forte concentration de nitrates dans des légumes comme la betterave contribue à leurs avantages considérables pour la santé ».

Un an plus tôt, en mars 2011, la diététicienne en chef du St George's Hospital de Londres s'inquiète, dans un article écrit pour le *Daily Mail* et consacré aux produits nutraceutiques, de l'arrivée du jus de betterave rouge concentré : « Je trouve préoccupant que cette petite bouteille de 70 ml procure 30 fois plus de nitrates que le maximum prescrit médicalement pour soigner l'angine de poitrine. »

Dans une réponse publiée par ce journal, le Pr Jon Lundberg du Karolinska Institute (Suède) fait valoir que son équipe a « récemment démontré une diminution sérieuse de la pression artérielle et les effets protecteurs sur les vaisseaux du jus de betterave. Les résultats ont été publiés dans des revues médicales de haute qualité, y compris le *New England Journal of Medicine* et *Hypertension*. »

« MÉLI-MÉLO » CHEZ LES SPORTIFS

Il fait remarquer que pratiquement rien n'a été ajouté dans le produit auquel cette diététicienne se réfère (Beet It Shot), contrairement aux nutraceutiques. « Ce produit est simplement un concentré de jus de betterave avec l'ajout d'un peu de jus de citron, rien d'autre ! Ce qui est encore plus alarmant, c'est que vous ne semblez pas être au courant de la différence entre « nitrate organique » et « nitrate inorganique ». Le nitrate qui se trouve naturellement dans la betterave et d'autres légumes est le « nitrate inorganique » qui est fondamentalement différent de la trinitrine et d'autres médicaments faisant partie des « nitrates organiques » que vous évoquez. Vous devez comprendre que des articles comme celui-ci créent pour nous, les scientifiques, de grandes frustrations. Car des avancées majeures ont été réalisées durant les cinq à huit dernières années et le potentiel thérapeutique est maintenant révélé. »

Pour autant, l'équipe du Karolinska Institute n'en oublie pas de faire assaut de prudence : dans le *Journal of Applied Physiology*, en 2011, elle formule des mises en garde relatives à la grande confusion qui s'est instaurée chez les sportifs entre nitrates et nitrites. Et notamment vis-à-vis de produits du commerce comme les sels de nitrite qui peuvent à haute dose avoir des effets potentiellement dangereux. Le distinguo à faire entre nitrates de l'alimentation et nitrates « organiques » est aussi rappelé. Elle fait remarquer que la dose qui a permis dans les études de réduire le coût en oxygène pour les sportifs se situe dans la plage de 300 à 500 mg de nitrates et qu'il n'y a pas de preuve que des doses plus fortes amélioreraient les performances.

« Boire du jus de betterave ou consommer d'autres légumes riches en nitrates pourrait être un moyen simple de maintenir notre système cardiovasculaire en bonne santé. » Pr Alhuwalia

Ces chercheurs sont rejoints par ceux de l'université d'Exeter qui expliquent dans cette même publication qu'eux aussi n'ont jamais recommandé l'usage incontrôlé de sels de nitrate ou de sels de nitrite chez les sportifs et dans le reste de la population. Mais ils s'accordent à dire, comme l'équipe de Lundberg, « qu'avec des sources naturelles de nitrates comme les légumes ou les jus de légumes, ils n'entrevoient pas de risque aigu ». Le Pr Jason D. Allen du département cardiologie du Duke Medical Center suggère malgré tout la prudence aux patients atteints de maladies cardiovasculaires traités par des « nitrates organiques » ou encore aux sujets prenant du Viagra ou du Cialis. Y a-t-il des interactions entre ces médicaments et de forts apports en nitrate d'origine alimentaire ? Même si on n'a pas aujourd'hui toutes les réponses aux questions que pose l'utilisation de nitrates alimentaires, le faisceau de preuves déjà réunies montre en tout cas que les chercheurs sont sur une piste extrêmement prometteuse... ■

4. Des sportifs gagnés par la fièvre

Les athlètes se sont emparés des découvertes montrant un effet nitrates sur l'endurance et le coût en oxygène. Les JO ont été le point d'orgue de cet engouement.

La scène est étonnante et se déroule face à une foule en liesse devant le palais de Buckingham, en présence du Premier ministre David Cameron (elle est visionnable sur YouTube). Nous sommes le 10 septembre 2012, c'est la cérémonie officielle de remerciement aux sportifs britanniques qui ont participé aux Jeux olympiques et paralympiques avec le succès que l'on connaît. On y entend le maire de Londres, Boris Johnson, à un moment de son discours vanter le fait que les athlètes du Royaume-Uni n'ont utilisé rien d'autre comme stimulant que... du jus de betterave rouge ! Et de citer en particulier le quadruple médaillé d'or David Weir (800 m, 1 500 m, 5 000 m, marathon), un sportif paralympique devenu héros national. Boris Johnson est certes un habitué de sorties un peu iconoclastes mais s'il se permet d'en parler publiquement, c'est que le recours à cette « potion magique » rouge framboise – avant et pendant la compétition – a été courant au sein de l'équipe olympique britannique et qu'en même temps, c'est tout à fait légal... Surtout, comme

le raconte le même jour le maire de Londres sur son blog (abrité par *The Daily Telegraph*), c'est David Weir lui-même qui lui a révélé en avoir pris. Lors du marathon, qui était sa dernière épreuve aux JO, et après les cinq premiers miles, le sportif paralympique lui a confié qu'il était comme « apathique ». Et puis, rapporte-t-il, « j'ai eu un coup de fouet (...), un coup de fouet dû au jus de betterave rouge (...) Et ça a fait toute la différence. »

AU MOINS NEUF ÉQUIPES OLYMPIQUES CONCERNÉES

Cette histoire pourrait bien sûr prêter à sourire et être rangée illico au rayon de simple anecdote. Sauf qu'elle s'appuie sur une série de travaux scientifiques entamés trois ans plus tôt par l'université d'Exeter, sous la direction du Pr Andrew Jones. Et que, depuis cette date, le milieu sportif s'est largement emparé de ces découvertes : des coureurs de fond (comme le double médaillé d'or Mo Farah, dixit *The New York Times*, ou la médaillée d'or du 800 m Marilyn Okoro), mais aussi des cyclistes, rameurs, marathoniens (Helen Decker, Ryan Hall, Chris Car-

ver), nageurs (Ian Hulme), rugbymen (Ben Foden), etc. « carburent » à la betterave rouge ! Oui, l'utilisation de ce jus – à cause de sa richesse en nitrates – a bien été un phénomène marquant des JO 2012 : la presse anglo-saxonne en a abondamment parlé quand la presse française est restée totalement muette sur le sujet (voir l'avalanche d'articles dans nos compléments web).

Et cette pratique nutritionnelle n'a pas été l'apanage des seuls Britanniques. Comme le mentionne l'université d'Exeter sur son site, cinq autres équipes olympiques y ont eu recours dans leur préparation : Etats-Unis, Canada, Australie, Nouvelle-Zélande et Pays-Bas. Une assertion confirmée par le principal fournisseur de ces équipes, la société anglaise James White Drinks, qui en rajoute trois autres à la liste (Belgique, Irlande, Norvège), tout en précisant que toutes les disciplines n'étaient pas concernées. Cette entreprise a mis au point une formule concentrée de jus, baptisée « Beet it », contenant de façon standard 400 mg ou 300 mg de nitrates (voir l'encadré page 50). De là à dire que c'est grâce à cela que ces spor-

IL L'A DIT

Londres 2012

« Des milliers de gallons de jus de betterave rouge ont été consommés aux Jeux olympiques de Londres. »

Daniel Kim-Shapiro, directeur du Science Center de Wake Forest University (*Winston-Salem Journal*, 20 septembre 2012).
1 gallon = 3,785 litres

UTILISÉ DURANT LES DEUX DERNIÈRES ÉDITIONS DU TOUR DE FRANCE

Si les JO de Londres ont été le point d'orgue de cette mode étonnante du jus de betterave, son utilisation a aussi été relevée lors des deux dernières éditions du Tour de France. Comme le révèle la revue anglaise *ProCycling* (du 1^{er} novembre 2011), les contrôleurs du Tour ont eu la surprise de constater qu'un certain nombre d'échantillons d'urine étaient étrangement colorés en rouge. Leur premier réflexe fut de penser aux fameuses « poussières de la mère Célestine » qui, injectées dans l'urètre, servaient à masquer l'utilisation d'EPO. Perdu ! La teinte bizarre



Le gel « Go Plus nitrates » (couleur pêche) dépasse de la musette de ce coureur français (RadioSchack).

était due cette fois à quelque chose de légal et de tout à fait naturel : la bêtaine, un pigment contenu dans la betterave rouge et qui est excrété par les reins.

L'article de *ProCycling* cite Allen Lim, le nutritionniste de l'équipe professionnelle RadioSchack, qui explique sans détour que les coureurs de son équipe ont régulièrement consommé du jus de betterave tous les jours du Tour de Californie 2011. Une vidéo – disponible sur YouTube (et sur notre site) – montre du reste Allen Lim détailler ce que prenaient les coureurs au petit-déjeuner de cette épreuve et brandir un imposant pichet de jus de betterave. Quant à l'édition 2012 du Tour de France, elle a vu l'arrivée d'un challenger, un gel coup de fouet (à boire) exploi-

tant lui aussi l'effet nitrates, à base de jus de betterave et de rhubarbe (250 mg de nitrates par dose). Son concepteur, Science in Sport, est partenaire de quatre équipes de la Grande boucle : RadioSchack-Nissan Trek, Rabobank, Astana, Katusha. Sur un site néerlandais (1), on aperçoit le sprinter français Tony Gallopin avec le gel entre ses mains et une photo du coffre du bus de son équipe (RadioSchack) rempli principalement avec le nouveau produit, reconnaissable à sa couleur pêche.

(1) <http://www.sportvoedingwebshop.com/blog/2012/07/13/tour-de-france-renners-gebruiken-speciale-sis-go-plus-gels/>

à vre de la betterave rouge



Comme nombre d'athlètes olympiques, le quadruple médaillé d'or David Weir (800 m, 1 500 m, 5 000 m, marathon) a utilisé le jus de betterave rouge avant et pendant les Jeux. Le maire de Londres a révélé publiquement cette confiance du sportif.

ACTION IMAGES/PANORAMIC

tifs ont remporté leurs médailles, personne ne s'y hasarderait. Mais dans le sport de haut niveau où les victoires se gagnent parfois à un cheveu, les coups de pouce permettant d'être plus endurant et de grappiller quelques fractions de seconde sont toujours les bienvenus...

AUGMENTATION DE L'ENDURANCE

Qu'ont donc démontré les équipes d'Exeter pour provoquer un tel engouement dans le monde sportif ? Que l'ingestion de jus de betterave rouge peu de temps avant une compétition a des effets physiologiques rapides et intéressants sur le plan de l'endurance, de la résistance avant épuisement, de la consommation en oxygène, du coût en énergie... Une fois ingérés, les nitrates contenus dans le jus boostent en effet la production d'oxyde nitrique dans l'organisme, suivant le processus décrit pages 43 et 45. Les vaisseaux

sanguins se dilatent, la pression artérielle se relâche, le flux sanguin augmente et les muscles parviennent à utiliser l'oxygène plus efficacement. Au total, la tolérance à l'effort est augmentée.

L'étude qui a tout déclenché a été conduite en 2009 par l'université d'Exeter sur des cyclistes. A vrai dire, elle n'était pas totalement précurseur car le prestigieux Karolinska Institute (Suède) s'était déjà penché en 2007 sur l'effet des nitrates chez les sportifs mais en recourant à des comprimés de nitrate de sodium pour montrer – pour la première fois – un moindre coût en oxygène. Le fait qu'Exeter utilise une source naturelle et à la portée de tous a sûrement aidé à la diffusion dans la communauté sportive. En 2009 donc, l'équipe du Pr Jones a suivi huit cyclistes qui ont absorbé quotidiennement et pendant six jours 500 ml de jus de betterave rouge (soit près de 700 mg de nitrates à chaque prise).

RECHERCHES

Le jus, un moyen pratique de prendre sa dose

► **Pourquoi recourir au jus de betterave rouge** quand d'autres légumes (tels que la roquette, le chou frisé) renferment des concentrations encore plus élevées de nitrates ? L'explication est essentiellement pratique : sous forme de jus, il est facile d'ingurgiter rapidement une dose importante de nitrates alors qu'il faudrait manger en équivalence une très grosse platée de légumes pour avoir le même effet.

► **Le jus de betterave rouge est actuellement utilisé dans la plupart des recherches** aussi bien à visée sportive que purement médicale pour mesurer l'effet d'une entrée alimentaire de nitrates (université d'Exeter, Karolinska Institute, institut William Harvey, université de Maastricht, université de Reading, université de St-Louis, Wake Forest University, Duke University, université Mid-Sweden...). Les chercheurs se sont d'autant plus focalisés sur cette source naturelle de nitrates qu'en parallèle une version sans nitrates a été développée (par passage au travers d'une résine échangeuse d'ions) pour servir de placebo dans les tests. Ceci sans que l'aspect du jus, sa couleur, son odeur, son goût ne soient altérés. C'est ainsi que les scientifiques d'Exeter (Lansley et al. 2010) ont pu affirmer que les nitrates étaient bien responsables des effets observés, et non d'autres composants de la betterave comme par exemple les antioxydants ou les polyphénols.

DES PRODUITS DE NUTRITION À TENEUR GARANTIE EN NITRATES

► La teneur en nitrates des légumes verts varie beaucoup, même au sein d'une même espèce. Cela dépend du sol, des conditions de culture, de la saison, de l'ensoleillement, du moment de récolte au cours de la journée, etc. C'est pour cela qu'après avoir testé le jus de betterave « basique » du commerce, le sport de haut niveau a jeté

son dévolu sur des formules plus concentrées, avec une teneur garantie en nitrates d'origine végétale.

► « **Beet it Sport Shot** » est un concentré de jus de betterave rouge, avec juste une pointe de citron pour la conservation. Mis au point par James White Drinks (JWD), il a servi dans les nombreuses expériences menées à Exeter et a été utilisé aux JO de Londres par sept équipes olympiques

(Grande-Bretagne, Australie, Canada, Nouvelle-Zélande, Belgique, Norvège, Irlande), ainsi que par l'équipe américaine de volley-ball. En France, un

grand club de football y aurait recours. Les équipes cyclistes Garmin Sharp et Rabobank sont aussi des clients de JWD. Sa version classique (70 ml) contient 400 mg de nitrates quand sa version bio n'en contient que 300 mg pour la même contenance. C'est ce fabricant qui a mis au point la version sans nitrates (brevetée) servant souvent de placebo dans les tests physiologiques et médicaux. Le jus de betterave, c'est bon pour les affaires de JWD puisqu'il représente à lui seul la moitié de son chiffre d'affaires et qu'une nouvelle usine a été inaugurée en juillet 2012 pour faire face à l'explosion de la demande... JWD est représenté en France par okidosport.com, un site spécialisé dans la nutrition sportive, essentiellement bio.

► En Australie, le géant du **Ketchup Heinz** a lancé « **GO Beet** » en novembre 2010, pour exploiter lui aussi le filon sportif. C'était un jus de betterave rouge vendu en bouteille de 200 ml, coupé avec 10 % de jus de pomme (pour que son goût soit moins terreux). La firme ayant, pour des raisons de restructuration industrielle, déménagé sa ligne de production de betterave rouge d'Australie vers la Nouvelle-Zélande, a du même coup arrêté la commercialisation du produit.

► « **GO Plus Nitrates** » est un challenger du jus de betterave. Lancé en avril 2012 par Science in Sport (SIS) – une autre société anglaise – c'est un gel à boire, le premier dans ce



1. Beet it. C'est le pionnier. Ce jus concentré de betterave rouge, qui existe en version 300 mg (bio, à gauche) et 400 mg (à droite), est aussi utilisé pour les études scientifiques. Une version sans nitrates a été développée par le fabricant pour servir de placebo. Une quarantaine d'équipes de recherche l'utilise dans le monde.

registre à exploiter l'effet nitrates. Il est composé pour cela de 15 % de jus concentré de betterave et de 4 % de jus concentré de rhubarbe. Soit 250 mg de nitrates pour 60 ml de gel. Il contient aussi de l'acide folique pour que la voie classique de formation du NO fonctionne bien. SIS a non seulement fourni quatre équipes du Tour de France 2012 (voir page 48), mais elle s'enorgueillit d'avoir été le partenaire nutrition de l'équipe britannique de rameurs et de voile à Londres. Et son nouveau gel a été employé à la fois pour la phase de préparation et au moment de la compétition. Ses produits ont aussi été utilisés par des cyclistes et des tennismen aux JO. SIS est distribué en France par Philamy.

2. Go Plus nitrates. Contenant du jus concentré de betterave et de rhubarbe, ce challenger a été utilisé sur le Tour de France 2012.



... Ces cyclistes ont subi une batterie d'exercices d'intensité modérée à élevée, avec notamment des mesures au cyclo ergomètre. Il a été relevé dans l'épreuve d'intensité sévère que le temps avant épuisement était augmenté de 16 % par rapport au placebo. Une réduction de l'ordre de 2 % du temps nécessaire pour couvrir une même distance a aussi été observée. Une amélioration qui peut paraître modeste mais qui compte pour un sportif, a fortiori s'il est de haut niveau. Surtout, la consommation d'oxygène a été réduite. « Notre étude a été la première à montrer qu'une nourriture riche en nitrates pouvait augmenter l'endurance à l'exercice, commentait à l'époque le Pr Jones. Nous avons été surpris des effets du jus de betterave sur la consommation d'oxygène car ces effets ne peuvent être obtenus par

aucun autre moyen connu, entraînément compris. » L'expérience a aussi révélé que la prise de jus de betterave avait permis à ces sujets jeunes (entre 19 et 38 ans) et qui ne souffraient pas d'hypertension, de réduire leur tension systolique (le premier chiffre que l'on vous donne chez le médecin).

MIEUX CERNER CE QUI SE PASSE

Depuis cette étude fondatrice, de nombreuses expériences liées à la physiologie sportive ont été menées pour mieux comprendre le phénomène, non seulement à l'université d'Exeter, qui reste à la pointe, mais aussi au Karolinska Institute – l'autre centre de référence sur la question des nitrates – ainsi qu'ailleurs dans le monde (université de Maastricht, université de Reading, université de

St-Louis, etc.). Et les résultats fusent, comme le montrent les publications scientifiques recensées sur le site « PubMed » en tapant « dietary nitrate » ou « beetroot juice » (attention, tout est en anglais). Les francophones retrouveront vulgarisées et méticuleusement décrites les plus importantes d'entre elles sur le blog des nitrates (<http://blog-nitrates.fr/>). Les connaissances s'affinent donc : début 2011, en publiant dans la prestigieuse revue *Cell Metabolism*, le Karolinska Institute a prouvé que les nitrates amélioraient l'efficacité des mitochondries, ces centrales énergétiques en forme de haricot au cœur de la cellule humaine. On a là une part d'explication à la moindre consommation en oxygène durant l'effort, là où on n'avait que des présomptions. Une étude publiée en mai 2012 par l'université Mid-Sweden (en col-

laboration avec Exeter), avec des plongeurs en apnée bien entraînés, a montré que l'ingestion de jus de betterave concentré permettait de retenir sa respiration 11 % plus longtemps qu'avec un jus placebo. Un résultat susceptible d'intéresser les nageurs, les joueurs d'instruments à vent comme les trompettistes, les chanteurs d'opéra, bref tout ceux qui ont besoin de tenir longtemps en apnée... Sans oublier les insuffisants respiratoires, les alpinistes, etc.

RECHERCHES SUR LA DOSE RÉPONSE

Les chercheurs essaient aussi de savoir à partir de quelle dose de jus de betterave un effet est perçu et combien de temps avant une compétition il doit être absorbé. Car consommer un demi-litre par jour, ce n'est pas vraiment jouable sur un plan pratique ! Sur un 10 km, l'université de Maastricht en collaboration avec celle d'Hamilton (Ontario) a montré chez douze cyclistes entraînés (10 heures par semaine depuis dix ans) que les effets étaient observés avec 140 ml de jus concentré (soit 496 mg de nitrates) absorbé quotidiennement pendant six jours. En revanche, toujours selon Maastricht, mais dans le cadre d'une autre expérience, une prise unique de 540 mg de nitrates sous forme de jus concentré deux heures et demi avant l'effort n'a pas eu d'effet. Un résultat qui est en contradiction avec d'autres études précédentes, effectuées à Exeter et suivant le même protocole. Tout n'est donc pas encore élucidé quant aux conditions d'utilisation du jus de betterave rouge ! Des questions restent en suspens (voir aussi notre entretien avec Marc Francaux) : l'effet de la supplémentation dépend-il du niveau d'entraînement, de l'importance et de la durée de l'effort demandé, voire

EXPERT MARC FRANCAUX PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE DE L'EXERCICE

« Voir maintenant s'il y a des bons et des mauvais répondeurs »



Marc Francaux, professeur à l'université de Louvain a co-écrit un article de vulgarisation sur l'utilisation du jus de betterave dans la revue *Zatopek* (août 2011), consacrée à la course à pied. Il est expert auprès du Comité olympique interfédéral belge (COIB).

► **« Seuls les sportifs pratiquant des disciplines à forte consommation en oxygène peuvent avoir intérêt à recourir au jus de betterave : cyclisme, course à pied à partir du 400 m, nage au-delà du 100 m, etc. Cela n'a pas d'intérêt pour des épreuves intensives comme un 100 m. »**

► **Les effets démontrés sont l'effet immédiat de vasodilatation et, à échelle plus longue, l'impact sur la fonction mitochondriale**

et la chaîne respiratoire, avec une réduction des pertes d'énergie. Autrement dit, cela signifie que le rapport P/O mitochondrial (phosphorylation oxydative) est amélioré alors que l'on a toujours estimé en physiologie – et c'était ce que l'on enseignait jusqu'à présent aux élèves – que ce rapport ne pouvait pas être modifié, même par l'entraînement... Cela permet de former plus d'ATP (adénosine triphosphate) pour le muscle par oxygène consommé. Les mécanismes physiologiques profonds de l'effet nitrates inorganiques sont encore mal connus, même si on se doute bien que l'oxyde nitrique joue un rôle de premier plan.

► **Si un sportif se supplémente au long cours en nitrates d'origine végétale, ne va-t-il pas rendre pares-**

seux la voie endogène de formation de NO ? C'est une vraie question et elle n'est pas tranchée. On peut du reste s'interroger pour savoir si, à terme, cela ne va pas produire l'inverse de l'effet recherché, comme cela se produit parfois avec des suppléments, à l'instar de la créatine.

► **Il va falloir regarder la réponse individuelle à une supplémentation.** On sait que la voie endogène de formation du NO est très stimulée chez des sportifs bien entraînés. Les premières études avec le jus de betterave ont été très optimistes, même s'il y a un effet incontestable, car on n'a pas tenu compte au départ du niveau d'entraînement du sportif. Dans le haut niveau, il est possible qu'il y ait de bons et de mauvais répondeurs au jus de betterave... La courbe de production du NO est en U avec, à faible dose, une fonction antioxydante utile pour l'organisme mais à très haute dose un effet oxydant défavorable. Jusqu'où faut-il aller dans la supplémentation pour bien se situer dans cette courbe ? D'où l'utilité de pousser les investigations en termes de dose réponse et d'adaptation au profil individuel. »

de l'âge ? Après une supplémentation orale longtemps répétée, l'effet favorable observé persiste-t-il ou, au contraire, finit-il par s'épuiser ? Des effets indésirables ou néfastes sont-

ils ou non susceptibles d'apparaître à la longue ? Une chose est sûre : on n'a pas fini d'entendre parler de la betterave rouge dans les prochaines années... Qui l'eut cru ? ■

CE N'EST PAS CONSIDÉRÉ COMME UN PRODUIT DOPANT

► **Pour porter un produit sur la liste rouge, l'Agence mondiale antidopage (AMA) examine trois points :** améliore-t-il les performances ? Représente-t-il un danger pour la santé ? Est-il contraire à l'éthique du sport ? Si l'on peut répondre « oui » à deux questions sur trois, on procède à son interdiction. Dans le cas pré-

sent, le jus de betterave satisfait au test, ce que nous a confirmé un consultant de l'Agence française de lutte contre le dopage (AFLD) et il n'est donc pas interdit. Au moment où nous l'avons contactée, l'agence n'était pas au courant de l'engouement qui s'était emparé du monde sportif. Même chose pour l'Anses

(Agence nationale de sécurité sanitaire) qui a été informée par nos soins !

► **Le jus Beet it bénéficie du label anglais d'assurance qualité - informed-sport.com - qui garantit au sportif que les composants du produit ne sont pas inscrits sur la liste rouge.** Même chose pour le gel SIS.

► **En juin 2012, l'Afnor avec l'appui du ministère des Sports a sorti une norme (NF V 94-001) caractérisant les compléments alimentaires et de nutrition sportive.** Face à la multiplication d'offres « exotiques » sur internet, il s'agissait de garantir qu'ils sont fabriqués sans produits dopants.