

tique qui gouverne l'inflation, et tout ce qui peut arriver arrive. Et si la théorie de l'inflation ne fait pas de prédictions fermes, à quoi sert-elle ?

Le problème sous-jacent est que les comportements atypiques ne sont pas pénalisés, et même au contraire. Les régions où la fin de l'inflation est en retard continuent à croître à un rythme accéléré et prennent donc immanquablement le dessus. Dans une situation idéale, toute région qui ne suit pas le rythme général se dilaterait plus lentement ou, mieux encore, rétrécirait. L'essentiel de l'Univers serait alors constitué de régions au comportement « sage », où le lissage prend fin en temps et en heure, et l'univers observé aurait alors le confort de la normalité.

Une théorie alternative à la cosmologie inflationnaire que mes collègues et moi-même avons proposée jouit précisément de cette propriété. Selon cette « théorie cyclique », comme on la nomme, le Big Bang n'est pas le commencement de l'espace et du temps, mais plutôt un « rebond » à partir d'une phase précédente de contraction vers une nouvelle phase d'expansion, accompagnée par la création de matière et de rayonnement. Cette théorie est cyclique parce que, au bout de 1 000 milliards d'années, l'expansion dégénère en contraction, jusqu'à un nouveau rebond et ainsi de suite. Le point clef est que le lissage de l'Univers se produit avant le Big Bang, au cours de la période de contraction (de façon moins intuitive que la dilatation, une contraction suffisante rend aussi un matériau homogène). Toute région en retard continue à se contracter pendant que les régions normales rebondissent en temps et en heure et commencent à se dilater, si bien que les régions retardées restent comparativement petites et négligeables.

Le lissage pendant la contraction a une conséquence observable. Durant toute phase de lissage, que ce soit dans la théorie de l'inflation ou la théorie cyclique, les fluctuations quantiques engendrent de petites distorsions de l'espace-temps qui se propagent, nommées ondes gravitationnelles, et qui laissent une empreinte caractéristique sur le rayonnement de fond diffus. Leur amplitude est proportionnelle à la densité d'énergie. Dans la théorie classique, l'inflation se produit à un stade où l'Univers est très dense, alors que le processus équivalent dans la théorie cyclique se produit quand l'Univers est pratique-

ment vide, si bien que l'empreinte des ondes gravitationnelles serait radicalement différente. Bien sûr, la théorie cyclique est relativement jeune et pourrait rencontrer ses propres problèmes, mais elle illustre l'existence d'alternatives qui ne seraient pas soumises à une inflation éternelle et incontrôlable. Nos travaux préliminaires suggèrent que le modèle cyclique n'est pas affecté par les autres problèmes décrits précédemment.

Bien sûr, je viens de présenter des arguments pour et contre l'inflation comme deux positions radicales, sans laisser la place à un contre-interrogatoire et sans y mettre de nuances. Lors d'une réunion sur ces sujets organisée en janvier 2011 au Centre de physique théorique de Princeton, de nombreux physiciens éminents ont plaidé que les problèmes de l'inflation n'étaient que des « douleurs de croissance », et ne devraient pas ébranler notre confiance dans l'idée de base de la théorie. D'autres, dont je suis, pensaient au contraire que les problèmes affectent le cœur de la théorie, et qu'elle doit être sérieusement corrigée ou remplacée.

Le test des ondes gravitationnelles

Au bout du compte, ce sont les données observationnelles qui trancheront. Les prochaines observations du fond diffus cosmologique par le satellite *Planck* et d'autres missions au sol ou embarquées en ballon seront déterminantes. Des expériences pour rechercher l'empreinte des ondes gravitationnelles sont déjà en cours, et les résultats devraient émerger d'ici deux à trois ans. La détection d'une empreinte d'onde gravitationnelle étayerait la théorie de l'inflation ; l'absence de détection serait un revers majeur. Pour que l'inflation ait un sens en dépit d'un résultat nul, les cosmologistes devraient supposer que l'inflaton avait un potentiel très particulier, avec juste la forme adéquate pour étouffer les ondes gravitationnelles, ce qui semble assez peu probable. De nombreux chercheurs se tourneraient alors vers des théories alternatives, comme celle de l'univers cyclique, qui prédit naturellement un signal d'ondes gravitationnelles si faible qu'il ne serait pas observable. Ce résultat sera un moment critique dans notre quête pour déterminer pourquoi l'Univers est tel qu'il est, et ce que l'avenir lui réserve. ■

L'AUTEUR



Paul STEINHARDT est directeur du Centre de physique théorique de l'Université de Princeton, aux États-Unis.

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Bojowald, *L'Univers rebondissant*, *Pour la Science*, n° 375, janvier 2009.
http://bit.ly/pls375_rebond

G. Gibbons et N. Turok, *The measure problem in cosmology*, *Physical Review D*, vol. 77 (6), 063516, mars 2008. Prépublication : <http://arxiv.org/abs/hep-th/0609095>

P. Steinhardt et N. Turok, *Endless Universe : Beyond the Big Bang*, Doubleday, 2007.

G. Veneziano, *L'Univers avant le Big Bang*, *Pour la Science*, n° 320, juin 2004.
http://bit.ly/pls320_bigbang

A. Linde, *Quantum cosmology, inflation, and the anthropic principle*, dans *Science and Ultimate Reality : Quantum Theory, Cosmology and Complexity*, Cambridge University Press, 2004.

A. Guth, *The Inflationary Universe*, Basic Books, 1998.

Les acides gras et la santé

Jean-Michel Lecerf et Sylvie Vancassel

Omniprésents dans l'organisme, les acides gras oméga 3 et oméga 6 sont indispensables. Une alimentation variée et riche en poisson en assure un apport suffisant. Leur éventuel usage thérapeutique, pour lutter notamment contre certaines formes de dépression, est étudié.

Les acides gras oméga 3 et 6 sont présents dans tout l'organisme et assurent de nombreuses fonctions physiologiques : ce sont des constituants importants des membranes cellulaires de tous les tissus. De ce fait, ils jouent un rôle essentiel – tant structurel que fonctionnel – dans le système nerveux, cardiovasculaire, hormonal, immunitaire, etc. Ce sont également des substances qui stockent de l'énergie (dans le tissu adipeux) et en fournissent à l'organisme, lors d'un effort musculaire par exemple.

Les acides gras sont des composés organiques constitués d'une chaîne hydrocarbonée (formée d'atomes d'hydrogène et de carbone) plus ou moins longue. Leur nomenclature dérive du nombre d'atomes de carbone et de liaisons doubles (ou insaturées) qu'ils contiennent (*voir l'encadré page 63*). La place de la première double liaison à partir du groupement méthyle (CH_3-) terminal définit une famille : les acides gras contenant plusieurs liaisons insaturées – les acides gras polyinsaturés – dont la première double liaison est située

sur le sixième atome de carbone de la chaîne appartiennent à la famille des oméga 6, et ceux dont la première double liaison est sur le troisième atome de carbone appartiennent à la famille des oméga 3. Il n'existe que deux familles d'acides gras polyinsaturés : les oméga 6 et les oméga 3. Les chefs de file de ces deux familles, respectivement l'acide linoléique et l'acide alpha linolénique, ne sont synthétisés ni par l'homme ni par les animaux, mais le sont par les végétaux : ils sont dits essentiels. Il existe également des acides gras saturés, apportés par l'alimentation, mais aussi synthétisés à partir des glucides ou de l'alcool, et des acides gras mono-insaturés (ne contenant qu'une seule liaison double) issus des acides gras saturés et de l'alimentation.

On a découvert l'importance de l'acide linoléique chez le rat en 1929 et chez l'homme en 1958. Et c'est en 1982 que l'on a mis en évidence que l'acide alpha linolénique est un acide gras essentiel de par ses fonctions, et que l'organisme ne le synthétise pas : il doit absolument être

L'ESSENTIEL

- ✓ L'acide alpha linolénique, chef de file des oméga 3 et l'acide linoléique, chef de file des oméga 6 sont indispensables.
- ✓ L'organisme ne les synthétise pas, de sorte qu'ils doivent être apportés par les aliments, les huiles végétales et le poisson.
- ✓ L'EPA et le DHA sont indispensables au bon fonctionnement du cerveau.
- ✓ Quand l'alimentation est variée, on ne constate pas de carence.
- ✓ Des apports élevés en oméga 3 soulageraient certaines personnes dépressives.

apporté par l'alimentation. Les carences en acides gras essentiels conduisent à des anomalies cutanées, neurologiques, de croissance et de reproduction... En réalité, chez l'homme elles sont rarissimes, car les apports suffisants pour assurer ces fonctions sont extrêmement faibles, et, par conséquent, couverts par l'alimentation. Toutefois, même en l'absence de carence, des apports trop faibles ou des proportions inadéquates des différents types d'acides gras risquent d'entraîner des déséquilibres et d'avoir des répercussions sur la santé.

Nous examinerons quelles sont les sources des acides gras, comment ils sont métabolisés, quels sont leurs rôles notamment sur le cerveau, l'organe le plus riche en lipides après le tissu adipeux. En effet, le cerveau est constitué de quelque 60 pour cent de lipides, notamment de l'acide arachidonique – AA – et l'acide docosahexaénoïque – DHA –, lesquels

représentent à eux deux près de 30 pour cent des lipides du cerveau.

Les acides gras ne sont pas ingérés tels quels, mais sous forme de triglycérides, des assemblages de trois acides gras et de glycérol, un alcool. Émulsifiés avec les sels biliaires dans le duodénum, les triglycérides à chaîne longue (contenant plus de dix atomes de carbone) sont incorporés dans des micelles où ils subissent l'action d'enzymes (des lipases) pancréatiques. Ces dernières les hydrolysent, c'est-à-dire permettent la libération des acides gras dans les cellules intestinales, les entérocytes, où ils sont réassemblés en triglycérides assimilables par l'organisme grâce à une autre enzyme, l'ACAT, « empaquetés » avec l'apoprotéine B48 et du cholestérol.

L'ensemble forme de grosses particules de lipoprotéines (nommées chylomicrons) véhiculant les lipides alimentaires dans le sang jusqu'aux tissus qui en ont

besoin : les muscles qui produisent de l'énergie, le tissu adipeux qui les stocke, et le foie qui les métabolise (*voir la figure 2*). Dans le foie, d'autres transporteurs de lipides, les lipoprotéines de très basse densité – VLDL –, fournissent à tout moment les acides gras et le cholestérol aux tissus qui les utilisent.

Les familles des oméga 3 et des oméga 6 sont indépendantes, mais pas totalement. Ainsi, certaines enzymes (les désaturases qui créent des liaisons doubles entre atomes de carbone) sont communes aux deux familles, de sorte qu'il y a compétition métabolique entre les deux familles : selon la quantité de précurseurs d'oméga 3 et d'oméga 6 disponibles et l'affinité de cette enzyme pour le substrat à transformer, les molécules de l'une ou l'autre famille seront métabolisées en priorité. Au terme de toute la chaîne des modifications biochimiques que subissent les acides gras ingérés, l'acide linoléique est transformé en acide arachidonique, tandis que l'acide alpha linoléique conduit à l'acide eicosapentaénoïque ou EPA et enfin à l'acide docosahexaénoïque, DHA : ce sont les acides gras polyinsaturés à longue chaîne ou AGPI-LC.

À quoi servent-ils ?

Tous les acides gras (saturés, mono-insaturés et polyinsaturés) fournissent de l'énergie. Ils jouent tous un rôle important dans la structure des membranes cellulaires, notamment dans le cerveau. Ils y interviennent surtout dans la neurotransmission (nous y reviendrons). En ce qui concerne les acides gras polyinsaturés oméga 6 et oméga 3, ils sont particulièrement concentrés dans les phospholipides des membranes cellulaires de tous les tissus, où ils peuvent être libérés par une enzyme membranaire, la phospholipase A2. Ils conduisent alors à la formation de divers médiateurs chimiques ayant d'importantes propriétés physiologiques. Ainsi, l'acide arachidonique (oméga 6) et l'EPA (oméga 3) libèrent des prostaglandines, des thromboxanes et des leucotriènes. Ces molécules interviennent dans

1. UNE ALIMENTATION VARIÉE garantit un apport suffisant en acides gras essentiels, indispensables au bon fonctionnement de l'organisme, mais que ce dernier ne peut synthétiser. Le poisson gras est particulièrement riche en acides gras polyinsaturés oméga 3.



© H. CHÉLATON/amanaimages/Corbis