

SCIENCES
ET
AVENIR

Numéro double

Intelligence artificielle
Physique des particules
Paléanthropologie
Astronomie
Médicaments
Quantique
Matériaux
Cancers
Microbiote
Climat...

2000 - 2025

Les **25**

GRANDES
DÉCOUVERTES

...ET LES 25
PROCHAINES

+
Jeux
de l'été

SCIENCES ET AVENIR - N° 941/942 - JUILLET - AOÛT 2025 - LES 25 GRANDES DÉCOUVERTES

JUILLET - AOÛT 2025 - N° 941/942 - BE 6,90€ - LU 6,90€ - CH 11,700€ - 0,860€ - IT 6,90€ - ESP 6,90€ - PORT-CONT 6,90€ - DOM 7,00€ - NCAL 9,800€ - MAR 7,00€ - TUN 7,00€ - CAN 10,500€ CAD

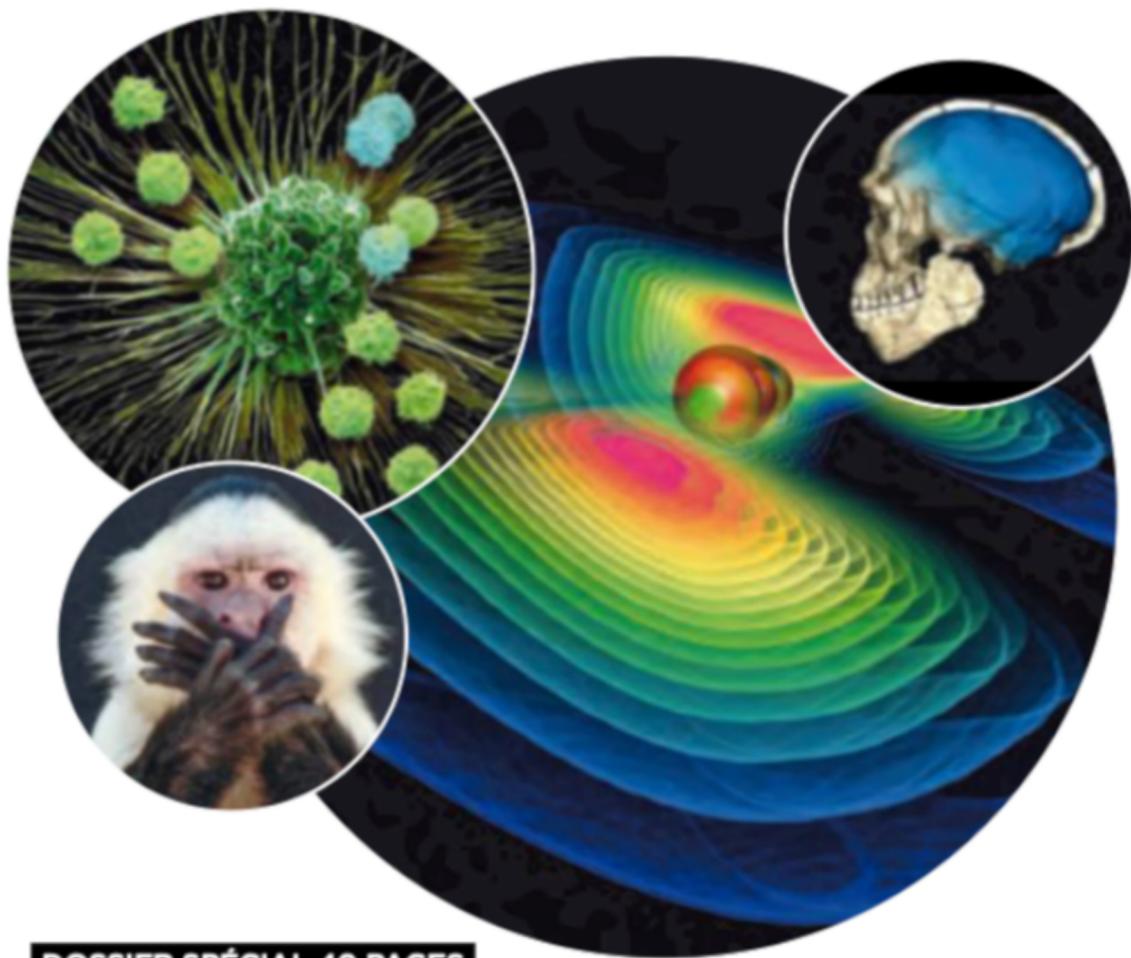
L 13418 - 941 - F: 6,50 € - RD



© GREGG DEGETTE/ISTOCK - MAX STEIN/ISTOCK

SOMMAIRE

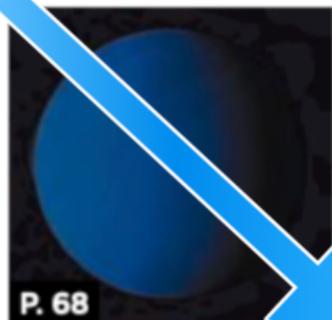
Sciences et Avenir / N° 941-942 / Juillet-Août 2025



DOSSIER SPÉCIAL 40 PAGES

25 ans de grandes découvertes

Le premier quart du XXI^e siècle a été riche en avancées scientifiques, de la physique à la génétique en passant par l'IA. Retrouvez dans notre grand dossier de l'été notre sélection de découvertes (p. 26), mais aussi celles espérées à l'horizon 2050 (p. 54), sans oublier six pages de jeux (p. 62).



P. 68

Planète 9 : après la théorie, l'heure de l'observation

Le nouvel observatoire Vera-Rubin va peut-être mettre en évidence cette 9^e planète dont des astronomes suspectent l'existence dans les parties les plus éloignées du Système solaire.



P. 94

Jeûne : quels effets protecteurs pour la santé ?

Des études montrent que la restriction calorique, en agissant sur le métabolisme, a des effets positifs sur le système cardio-vasculaire, le niveau de cholestérol ou le risque de diabète.



P. 106

Égypte : un écrin pour la civilisation pharaonique

Le Grand Musée égyptien du Caire, ouvert depuis octobre, sera inauguré en fin d'année. Reportage dans ce lieu majestueux qui abrite 15 000 œuvres dont le célèbre trésor de Toutankhamon.

3 Édito par Mathieu Nowak

6 Courrier

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** Muons : la fin d'une anomalie qui faisait rêver / Un habitat sous-marin imprimé en 3D

68 Planète 9 : après la théorie, l'heure de l'observation

74 Le mystère persistant des black-out électriques

76 Quand la paille défie le béton

80 **Journal de l'IA** : Le Web assiégé par les robots de l'IA

NATURE

12 **ACTUALITÉS** Starfish, un baromètre santé pour l'océan / Ces fleurs choisissent leurs visiteurs à l'oreille

82 Moustique-tigre, l'été de tous les dangers

87 L'origine énigmatique des séismes de Santorin

90 La météo agricole, outil clé des récoltes

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** Un médicament contre l'apnée du sommeil / Des avancées majeures au congrès sur le cancer

94 Jeûne : quels effets protecteurs pour la santé ?

100 Covid 19 : la piste de l'accident de laboratoire

104 **Nutrition** : L'olive sous toutes ses formes

HISTOIRE

22 **ACTUALITÉS** Athéna à l'ombre du Parthéon / Le dernier repas du sauropode

106 Égypte : un écrin majestueux pour la civilisation pharaonique

112 Francesco d'Errico, anthropologue : « Le corps est un objet culturel depuis plus de 500 000 ans »

114 **Histoire des sciences** : Giordano Bruno, un regard sur l'infini

117 Le grand tri des vestiges de Notre-Dame de Paris

TRANSVERSALES

120 Sélection livres

122 Expositions

124 Les ciels de juillet et d'août

126 Chroniques

Climat par Christophe Cassou et Céline Guivarch / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

128 Questions de lecteurs

130 Jeux



IGGI/BOO/GETTY IMAGES

Jeûne

Quels effets protecteurs pour la santé ?

Des études récentes montrent que la restriction calorique provoque un chamboulement métabolique, avec des effets positifs sur le système cardio-vasculaire, le niveau de cholestérol ou le risque de diabète. Plus adapté au quotidien, le jeûne intermittent a aussi ses avantages. Explications.

Par Nicolas Gutierrez C.

A peine 18h. Cela ne fait que trois heures que je suis à la Maison du jeûne, et j'ai déjà faim ! Pourtant, les participants au stage de jeûne, qui eux sont là depuis six jours, le vivent beaucoup mieux. « *C'est incroyable, je n'ai absolument pas faim. Pourtant, on parle énormément de bouffe* », s'étonne Elizabeth, 56 ans, qui se décrit comme très gourmande. Comme les autres jeûneurs présents, cette professeure des écoles dans l'Hérault se dit très satisfaite du stage et voudrait renouveler l'expérience. Vu le cadre qui nous entoure — et excepté la partie plus astreignante : rien manger pendant sept jours —, il n'est pas difficile de la comprendre. Piscine, jacuzzi, yoga, massages... le centre de jeûne localisé près d'Aix-en-Provence offre un environnement idyllique. « *Le cadre rend le jeûne plus agréable, comme des vacances* », résume Jean-Pascal David, qui propose ce stage de sept jours

(facturé entre 700 et 1300 euros, tout compris). Sa Maison du jeûne est l'un des 130 centres labélisés par la Fédération francophone de jeûne et randonnée, créée en 2003. Ils proposent des diètes inspirées de celles pratiquées en Allemagne dans les cliniques de jeûne Buchinger Wilhelmi, avec des activités physiques douces, telles que la randonnée et l'aquagym, et des apports nutritionnels journaliers en vitamines et minéraux. Durant la semaine, les participants ont tout de même droit à un jus de légumes le matin et un bouillon de légumes le soir, avec eau et tisanes à volonté. Et le dernier jour, ils rompent le jeûne avec un plat de légumes cuits. « *Mais on ne jeûne pas comme ça du jour au lendemain*, précise Jean-Pascal David, aussi formateur au sein de cette fédération. *Il y a une préparation à suivre la semaine précédant le stage : les participants arrêtent de manger des produits raffinés et de la viande, pour finir avec seulement des fruits et* ▶

► *des légumes. L'idée est de ne pas brutaliser le corps à l'entrée dans le jeûne.* » La formation des encadrants comporte d'ailleurs un volet santé, avec la participation de l'Académie médicale du jeûne, fondée en 2019, qui regroupe plus de 70 professionnels de santé.

Attention aux dérives, fréquentes

Car le jeûne n'est pas quelque chose de banal, et les dérives sont fréquentes. Au point d'être inclus dans le dernier rapport de la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires, Miviludes. « *Il y a quelques "gourous", comme Thierry Casasnovas [placé sous contrôle judiciaire en 2023 pour exercice illégal de la médecine et abus de faiblesse], qui se prennent pour des dieux et sont persuadés que le jeûne peut tout guérir, se désolent Jean-Pascal David. Et à un moment donné, il arrive un accident. Cette croyance que le corps peut se soigner entièrement est un problème qui a augmenté avec le Covid.* »

Croyance qui peut être fatale, comme ça a été le cas en Vendée, où un homme est décédé en 2020 et une femme en 2022. Tous deux étaient atteints d'un cancer et ne suivaient plus leur traitement, remplacé par le jeûne sous les conseils d'Éric Gandon, interdit d'organiser des stages de jeûne depuis. « *C'est pourquoi la fédération propose des stages seulement pour les personnes en bonne santé [mais aucun certificat médical n'est demandé]. Le but est préventif, pas thérapeutique, précise Jean-Pascal David. Des stages médicalisés, encadrés par un médecin, peuvent en revanche prendre en charge des personnes avec certaines maladies: diabète, hypertension, maladies inflammatoires, mais pas le cancer.* »

L'objectif est donc la prévention. Mais mis à part le bienfait de ce repos de sept jours dans un cadre agréable, s'affamer a-t-il un quelconque effet protecteur pour la santé? « *Le manque de nourriture a été un moteur essentiel de notre évolution, les personnes qui fonctionnaient le mieux en état de privation*



LA MAISON DU JEÛNE



NICOLAS GUTTEREZ

Des activités physiques douces, comme la randonnée, sont proposées durant le stage organisé par la Maison du jeûne (en haut). Pendant six jours, le repas du soir est composé uniquement de bouillon de légumes.

alimentaire avaient un avantage de survie, expose Mark Mattson, professeur de neurosciences à l'université Johns-Hopkins, aux États-Unis. Maintenant que nous mangeons trois repas par jour et ne faisons plus beaucoup d'exercice, ces systèmes d'optimisation corporelle ne sont plus activés. Le stress énergétique causé par le jeûne peut y remédier, à condition qu'il soit suivi d'une période de récupération (manger et se reposer). »

Des cellules qui se nettoient et rajeunissent

Des études récentes montrent en effet que le jeûne provoque bien un chamboulement métabolique, avec des effets positifs. Ce « switch » métabolique survient quand l'organisme remplace le glucose — vite épuisé en l'absence d'apports alimentaires — par des corps cétoniques (lire l'encadré ci-contre). Ces petites molécules de substitution sont produites par le foie à partir des acides gras libérés par

le tissu adipeux. Ce basculement arrive après 12 à 14 heures de jeûne, soulageant certains organes qui ont besoin de beaucoup de glucose, comme le cerveau. « *Un corps cétonique particulièrement intéressant est le bêta-hydroxybutyrate, qui agit aussi comme une hormone et active l'expression de plusieurs gènes, dont des facteurs de croissance neuronaux qui sont importants pour l'apprentissage et la mémoire* », détaille Mark Mattson.

Une autre conséquence bénéfique du jeûne est l'autophagie, processus par lequel les cellules recyclent des protéines et autres molécules, pour s'adapter au contexte de privation alimentaire. « *Imaginez que l'épicerie du coin est fermée: il faut donc faire avec ce qu'on a, et manger tout ce qui avait été oublié au fond des placards, illustre Oleh Lushchak, chercheur en biochimie à l'université nationale subcarpatique Vassyl-Stefanyk, en Ukraine. Ça permet de nettoyer la cellule et de la rajeunir, mais il faut attendre environ 16 heures sans man-*

PHYSIOLOGIE

Quand l'organisme remplace le glucose par des corps cétoniques

Lors du jeûne, le niveau de glucose baisse rapidement et le corps utilise des réserves en acides gras pour produire de l'énergie. Mais certains organes nécessitent des glucides. D'abord, le corps utilise des réserves en glycogène, mais celles-ci s'épuisent au bout de 12 heures sans manger. C'est là que les corps cétoniques entrent en jeu.

« La quantité d'acides gras libérés par le tissu adipeux est tellement grande que le foie est dépassé. Il déclenche donc une voie alternative pour gérer ce surplus, la cétogenèse, explique Sander Kersten, chercheur en nutrition à l'université Cornell, aux États-Unis. Ces acides gras agissent aussi comme activateurs des mécanismes nécessaires

à la cétogenèse. » Ils interagissent notamment avec un récepteur dans le noyau cellulaire des hépatocytes, PPAR-alpha, qui ensuite déclenche l'expression de certaines de gènes. Une autre protéine importante activée lors de ce processus est la kinase AMPK, alors que l'enzyme mTOR est bloquée. Ensemble, cela stimule l'autophagie, par

laquelle les cellules recyclent des protéines endommagées, entre autres. En parallèle, les adipocytes relâchent l'hormone adiponectine, qui a un effet contre l'inflammation en bloquant la production de la cytokine pro-inflammatoire TNF et en stimulant la production de la cytokine anti-inflammatoire interleukine 10.

Les effets positifs du jeûne

SANG

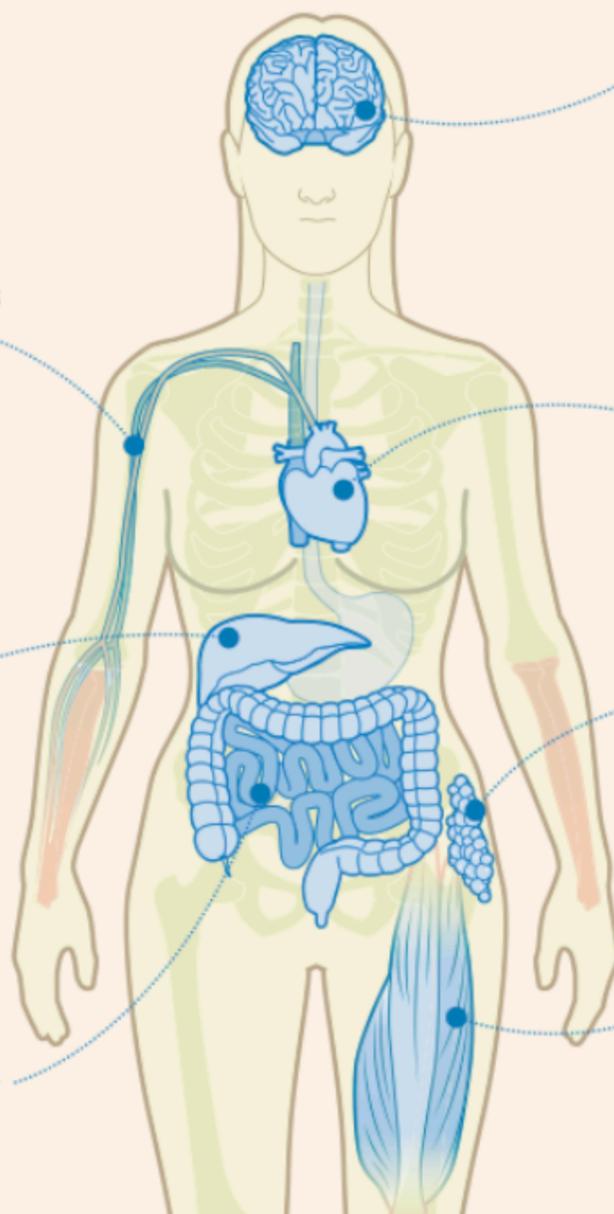
- Niveau élevé de corps cétoniques
- Niveau élevé d'adiponectine
- Diminution du glucose, de l'insuline et de la leptine
- Diminution des cellules pro-inflammatoires
- Diminution des marqueurs de stress oxydatif

FOIE

- Épuisement du glycogène
- Production de corps cétoniques
- Augmentation de la sensibilité à l'insuline
- Réduction de l'accumulation de lipides

INTESTINS

- Motilité intestinale améliorée
- Réduction de l'inflammation



CERVEAU

- Meilleure cognition
- Croissance des neurones favorisée
- Plasticité synaptique
- Biogenèse mitochondriale

SYSTÈME CARDIO-VASCULAIRE

- Diminution de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque
- Amélioration du système nerveux parasympathique
- Meilleure résistance au stress

TISSU ADIPEUX

- Lipolyse
- Production réduite de leptine
- Diminution de l'inflammation

MUSCLE

- Meilleure sensibilité à l'insuline
- Meilleure endurance
- Diminution de l'inflammation

VALTER LONGO

GÉRONTOLOGUE À L'UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE DU SUD, À LOS ANGELES (ÉTATS UNIS) *

Un régime pour standardiser le protocole du jeûne

Quel est l'intérêt du régime d'imitation du jeûne ?

Ce régime permet de standardiser le protocole du jeûne pour tout le monde, évitant les effets indésirables et facilitant une reproductibilité lors des essais cliniques. Il aide aussi les patients, car le plus difficile dans le fait de jeûner, c'est le mental. Le jeûne est plus facile à suivre quand vous recevez une boîte avec tout ce que vous devez consommer à chaque repas et des instructions précises.

Si les patients peuvent manger, cela ne casse-t-il pas le processus physiologique du jeûne ?

Le régime est fait à partir de nos connaissances sur l'effet des nutriments sur la réponse au jeûne. Il faut éviter le sucre et les protéines, alors que le gras ne pose pas de problème. Lors du jeûne, le corps libère beaucoup d'acides gras, et le gras du régime vient donc se mélanger à ces lipides produits naturellement.

D'où vient le gras utilisé dans ce régime ?

Il est basé sur l'alimentation des régions à haute longévité, dont le bassin méditerranéen ou Loma Linda en Californie. Ces cultures ont en commun un certain nombre d'aliments, notamment le gras issu d'oléagineux, tels que les noix ou les olives. L'apport total en calories varie entre 800 et 1100 kcal, c'est-à-dire environ la moitié d'un apport journalier normal (autour de 2000 kcal). C'est une quantité raisonnable de nourriture,

tout en permettant la réponse physiologique au jeûne.

Quels sont les bienfaits observés ?

Les essais cliniques montrent clairement une perte de graisse viscérale, avec peu de perte de masse musculaire, et une diminution de la résistance à l'insuline, permettant aux personnes diabétiques de réduire leur traitement contre le diabète. Le taux de cholestérol baisse, ainsi que la pression artérielle. Contre le cancer du sein, la chimiothérapie est

► *ger pour l'activer.* » Quelques essais cliniques confirment ces effets protecteurs. Dans un article publié en 2022 dans le *Journal of Clinical Medicine*, des chercheurs de l'université de Duisbourg et Essen, en Allemagne, ont mis en évidence des changements physiologiques bénéfiques d'un jeûne de cinq jours chez une cohorte de 145 adultes avec un syndrome métabolique. En plus d'une perte de poids, les participants bénéficiaient d'une baisse de la pression artérielle et d'une amélioration de la sensibilité à l'insuline. Cependant, les jeûnes de plusieurs jours pourraient aussi avoir quelques effets négatifs, comme cela a été montré par des chercheurs de l'hôpital universitaire de la Charité de Berlin, en Allemagne. Dans *Nature Metabolism*, en 2024, ils ont mis en évidence chez des jeunes en bonne santé qu'un jeûne total (en buvant seulement de l'eau) durant sept jours changeait l'expression d'un millier de protéines.

Certains de ces changements étaient bénéfiques, mais d'autres étaient plus problématiques : les hormones nécessaires à la reproduction n'étaient plus sécrétées, et les participants présentaient un risque accru de caillots sanguins. « *Ces jeûnes de plusieurs jours diminuent rapidement le niveau de glucose et d'insuline, activent l'autophagie et entraînent un switch métabolique bénéfique. Mais ils peuvent aussi causer de l'hypoglycémie et de la fatigue* », abonde Lixia He, chercheuse en nutrition à l'université Harvard, aux États-Unis. C'est pourquoi le jeûne est difficile s'il n'est pas bien encadré. Il peut également causer des symptômes désagréables tels que des maux de tête, des nausées et des tachycardies. Et

même si le corps a suffisamment de gras pour tenir des semaines sans manger, le cerveau est programmé pour éviter la faim et devient rapidement obsédé par l'idée de manger. À l'image des participants du stage de jeûne, qui pensaient beaucoup à ce qu'ils aimeraient se mettre sous la dent. « *Je n'ai pas faim, mais j'ai envie de manger*, nous confiait ainsi Tina, 41 ans, vendeuse en Belgique. *Des frites, ça m'irait bien!* » « *Nous recommandons le jeûne intermittent, qui est plus flexible et plus facile à suivre* », conseille Lixia He. Ce jeûne à la carte existe en trois versions : le 5/2, où l'on mange normalement pendant cinq jours, puis très peu (environ un quart des calories) pendant deux jours ; le

Le jeûne doit être évité chez les personnes très âgées, les femmes enceintes et allaitantes et chez les moins de 18 ans



TIMES / REA

plus efficace chez les femmes qui suivent ce régime et leur taux de survie est plus élevé. En général, la santé du corps s'améliore, ce qui se reflète dans l'âge biologique.

Peut-on faire confiance à ces résultats, sachant que vous êtes le fondateur de l'entreprise qui produit ce régime d'imitation du jeûne ?

La grande majorité de ces essais sont réalisés par des universités indépendantes, qui ne reçoivent aucun financement de notre part. Il n'y a vraiment pas d'influence d'aucune entreprise sur ces résultats.

Combien de temps ces effets bénéfiques perdurent-ils ?

La plupart des essais réalisés comptent trois à six cycles,

où le participant suit le régime cinq jours par mois, durant trois à six mois. Lorsqu'on regarde ces personnes quelques mois plus tard, on s'aperçoit qu'environ 60 % des effets persistent pendant au moins trois mois après la fin de l'intervention, pouvant aller jusqu'à 12 mois pour certains marqueurs. Mais l'idée n'est pas que le patient refasse des cycles du régime sans cesse. L'objectif est que la personne soit soignée et n'ait plus besoin de ce régime. Ensuite, une alimentation équilibrée suffira pour rester en bonne santé. ■

Propos recueillis par N. G. C.

* Auteur de « *The Longevity Diet* » et *Fasting Cancer* (inédits en France) et créateur du régime d'imitation du jeûne (commercialisé en France par Prolon).

jeûne alterné, qui consiste à ne manger qu'un jour sur deux ; et le jeûne à plage horaire limitée, où l'on mange seulement pendant quelques heures de la journée (par exemple de midi à 20 heures). « C'est la meilleure option pour ceux qui débutent », estime la chercheuse. « Pour commencer, le plus simple est de faire 12 heures de jeûne, donc manger par exemple de 8 h à 20 h, puis on peut augmenter progressivement cette fenêtre jusqu'à 16 ou 18 heures de jeûne », précise Oleh Lushchak.

Une diminution de la résistance à l'insuline

De par sa praticité, cette dernière version est aussi la plus étudiée, montrant un grand nombre d'effets protecteurs. « Le jeûne intermittent diminue le risque de maladie cardio-vasculaire, en baissant la pression artérielle, le niveau de cholestérol LDL et de triglycérides, ainsi que le risque de diabète, en réduisant le niveau

de glucose et d'insuline et en diminuant la résistance à l'insuline, résume Krista Varady, professeure en nutrition à l'université de l'Illinois à Chicago, aux États-Unis. Il permet aussi de perdre du poids, car l'apport calorique durant la journée diminue, mais cette perte est faible, autour de 3 % du poids corporel sur une année, contre 7 % pour le jeûne alterné. »

La restriction calorique pourrait même augmenter l'efficacité des traitements contre le cancer : « Les cellules cancéreuses sont affaiblies par le manque de glucose, et donc succombent plus rapidement lorsqu'elles sont attaquées par la chimiothérapie ou la radiothérapie », explique Mark Mattson, auteur de *The Intermittent Fasting Revolution* (« La Révolution du jeûne intermittent », inédit en France). Ces traitements restent nécessaires, le jeûne ne ferait que les rendre plus efficaces. » La question ne fait toutefois pas consensus, et le jeûne n'est pas conseillé à des personnes atteintes d'un cancer.

Par ailleurs, le jeûne peut comporter des risques et doit donc être évité chez les personnes très âgées (avec un risque accru de malnutrition), les femmes enceintes ou allaitantes et les mineurs. « C'est particulièrement dangereux chez les enfants qui n'ont pas atteint la puberté », alerte Stephan Herzig, directeur de l'Institut du diabète et du cancer au Helmholtz Zentrum, à Munich (Allemagne). Dans une étude publiée en février dans *Cell Reports*, il a montré chez la souris que le jeûne perturbe le développement du pancréas, augmentant le risque de diabète plus tard dans la vie. « En revanche, on peut le conseiller à tout adulte en bonne santé », assure-t-il. « Le jeûne est bénéfique, mais il faut éviter de se rendre misérable à cause de la faim, juste pour vivre quelques années de plus, rappelle Oleh Lushchak. Je préfère vivre plus heureux que plus longtemps. À chacun de trouver le bon équilibre. » ■

En contradiction totale avec ce qui est dit quelques lignes plus haut

Misérable...