

une infime fraction de ces neutrinos, dont les physiciens sont capables d'estimer l'énergie et la direction d'origine.

Or de ces grandeurs dépend ce qui advient à un neutrino produit dans l'atmosphère. En effet, la probabilité d'interaction d'un neutrino avec la matière, très faible en général, dépend de son énergie. Par exemple, les neutrinos de très haute énergie ont une plus grande chance d'interagir, donc d'être arrêtés quelque part dans le manteau terrestre. Le flux des neutrinos d'énergie supérieure à 10 000 gigaélectronvolts s'en trouve sensiblement réduit. À l'inverse, pour des neutrinos de plus basse énergie, de moins de 1000 gigaélectronvolts, le flux n'est pas perturbé.

Il faut ensuite considérer la géométrie et la composition de la Terre. Un neutrino formé exactement à l'antipode d'*IceCube* aurait un parcours particulièrement long dans le globe et traverserait aussi le noyau très dense, et aurait donc plus de chances d'être absorbé qu'un neutrino arrivant en biais, dont le trajet au sein de la Terre est plus court et ne passe pas nécessairement par le noyau.

À partir des données enregistrées par *IceCube* entre 2011 et 2012, les trois chercheurs ont déterminé le flux de neutrinos détectés en fonction de leur énergie et de l'angle d'incidence. Grâce à ces mesures et en se fondant sur un modèle simplifié de la structure de la Terre, qui représente celle-ci comme un oignon à cinq couches, chacune de densité constante, ils ont estimé la densité de chaque couche. Cela leur a permis de calculer la masse de la Terre ($6,0 \times 10^{24}$ kilogrammes), celle du noyau ou le moment d'inertie de la planète. Les résultats sont en accord avec les valeurs établies par d'autres méthodes, si ce n'est que les incertitudes des mesures par cette nouvelle approche sont encore très grandes (supérieures à 20%).

Andrea Donini et ses collègues ont ainsi fait la démonstration du bien-fondé de cette méthode pour étudier l'intérieur de la Terre. Ils espèrent déterminer par exemple la position de la frontière entre le noyau et le manteau. Pour réduire les incertitudes sur les mesures, il sera néanmoins indispensable d'accumuler bien plus de données, l'équivalent de 10 à 15 ans de relevés sur *IceCube* et sur le projet en cours de construction en mer Méditerranée, *KM3NeT*. ■

SEAN BAILLY

A. Donini et al., *Nature Physics*, en ligne le 5 novembre 2018

Bio : une influence sur les risques de cancers ?

Les aliments issus de l'agriculture biologique seraient meilleurs pour la santé. Mais les données requises pour étayer scientifiquement cette affirmation sont encore peu nombreuses. Une étude récente en apporte. Julia Baudry, qui y a participé, nous explique les difficultés et les premiers résultats obtenus.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

JULIA BAUDRY
est épidémiologiste
à l'université Paris 13.

Le lien entre la consommation d'aliments bio et cancer a-t-il déjà été étudié ?

Concernant le lien direct entre cancer et consommation de produits bio, il n'existait qu'une étude d'une équipe anglaise, menée en 2014 auprès de 600 000 femmes sur une durée de 9 ans, donc de grande puissance statistique. Cette étude n'a pas noté d'association significative entre la consommation d'aliments bio et le risque de cancer, tous types confondus. Néanmoins, elle a rapporté une diminution du risque de lymphome non hodgkinien chez les femmes déclarant consommer plus fréquemment du bio.

Qu'en est-il de votre étude ?

Notre analyse a porté sur un échantillon d'environ 70 000 personnes (78 % de femmes, âge moyen 44 ans) de la cohorte française NutriNet-Santé sur une durée d'environ 4,5 ans.

Nous avons utilisé une mesure de la consommation de produits bio plus fine que l'étude anglaise, bien que non quantitative. Les participants renseignaient l'étude via un questionnaire de fréquence de consommation (« jamais », « de temps en temps », « la plupart du temps ») pour 16 groupes alimentaires (fruits, légumes, produits à base de soja, etc.). Nous avons ensuite divisé la population en 4 groupes de taille égale selon leur consommation de produits bio.

L'une des difficultés d'une telle étude est que ceux qui mangent des produits bio ont souvent des comportements plus sains, sont plus éduqués, fument moins et ont en moyenne un régime alimentaire plus équilibré que les autres. Lors de nos analyses, nous avons pris en compte ces facteurs dits de confusion, qui tendent à brouiller les résultats. Pour ce faire, nous avons utilisé des modèles statistiques spécifiques qui réduisent au maximum

tous ces biais, par divers ajustements. Nous avons ainsi comparé les risques d'apparition de cancers chez les petits consommateurs de bio et les gros, toutes choses étant égales par ailleurs.

Quels sont vos résultats ?

Nous avons constaté que les individus déclarant consommer le plus souvent des aliments bio présentaient un risque inférieur de 25 % de développer un cancer par rapport aux non-consommateurs ou aux consommateurs épisodiques de produits bio. Cette association était particulièrement forte pour le cancer du sein postménopause, avec une réduction du risque de 34 %, et le lymphome non hodgkinien, avec une réduction de 75 %.

Que peut-on en conclure ?

Nous avons envisagé plusieurs hypothèses pour expliquer ces résultats. La principale résiderait dans le fait que les produits bio présentent bien moins de résidus de pesticides de synthèse que leurs homologues de l'agriculture classique. Bien que divers indices soutiennent cette piste, nous ne démontrons pas ce lien dans notre étude.

Il est important de souligner que celle-ci est observationnelle et que, malgré ces premiers résultats importants, il faut être prudent quant à leurs interprétations et leurs implications. Nous n'avons pas démontré un lien de cause à effet, mais seulement constaté une association entre consommation d'aliments bio et un risque réduit de cancer. En outre, il n'existe que deux études sur le sujet, en comptant la nôtre, ce qui est très peu. D'autres travaux épidémiologiques réalisés sur d'autres populations sont nécessaires. C'est sur la base de la convergence des résultats d'études observationnelles couplées à des approches expérimentales qu'il sera possible de tendre vers la causalité et d'émettre des recommandations.

J. Baudry et al., *JAMA Internal Medicine*, en ligne le 22 octobre 2018

BIOPHYSIQUE

COMMENT L'ÉLÉPHANT RÉGULE SA TEMPÉRATURE

Grâce au très grand nombre de minicrevasses dont sa peau est parcourue, l'éléphant d'Afrique retient de l'eau qui, en s'évaporant, rafraîchit son corps.

La transpiration est un mécanisme très répandu chez les mammifères. C'est en effet un moyen efficace pour réguler la température du corps et ainsi la maintenir constante (on parle d'homéothermie). Vivant sous des climats très arides, les éléphants d'Afrique sont pourtant dépourvus de glandes sudoripares qui produisent la sueur. Comment arrivent-ils donc à se refroidir? En humidifiant régulièrement leur peau, qui a la particularité d'être très poreuse. L'eau ainsi stockée s'évapore et refroidit l'animal. Mais une question restait en suspens: comment la peau de l'éléphant peut-elle absorber autant d'eau? Michel Milinkovitch, de l'université de Genève et de l'Institut suisse de bio-informatique, et son équipe ont montré que cette étonnante capacité provient de la structure très particulière de la peau du pachyderme.

En analysant la peau de dix éléphants, les chercheurs ont remarqué que la couche la plus externe de l'épiderme – la couche cornée – est traversée par un très grand nombre de minuscules crevasses. «Ces fractures, qui peuvent faire jusqu'à un millimètre de profondeur, explique Michel Milinkovitch, retiennent l'eau, dont l'évaporation progressive régule la température.» Toutefois, ces fractures épidermiques ne sont pas présentes à la naissance. C'est au cours de la première année qu'elles apparaissent. Mais par quels mécanismes?

Les chercheurs ont d'abord supposé que ces fractures épidermiques étaient dues au dessèchement des cellules mortes de la peau, un peu comme la boue craquelle en séchant. Chez l'éléphant, la couche cornée – formée par les cellules mortes – est très épaisse, 70 fois plus que la nôtre. «Contrairement à l'humain, l'éléphant n'élimine pas les cellules mortes qui se forment en permanence et s'accumulent à la surface de la peau», explique Michel Milinkovitch. Les chercheurs ont alors développé un modèle mathématique pour simuler la fracturation d'un matériau qui se rétracte en raison de son assèchement. «Mais les motifs que formaient les craquelures dans le modèle ne correspondaient pas aux formes polygonales présentes chez tous les éléphants que nous avons étudiés.»



La peau de l'éléphant d'Afrique est couverte d'infimes crevasses (non visibles à l'œil nu), qui, au total, peuvent retenir de grandes quantités d'eau.

36 °C

EN AFRIQUE, L'ÉLÉPHANT MAINTIENT SA TEMPÉRATURE CORPORELLE À 36 °C DE PLUSIEURS FAÇONS : GRÂCE À SES POILS, À L'IMPORTANTE VASCULARISATION DE SES GRANDES OREILLES ET EN S'ASPERGEANT D'EAU.

Par la suite, l'observation microscopique de coupes de peau d'éléphant, prêtées par deux universités d'Afrique du Sud, a permis de mettre au point un deuxième modèle. Les scientifiques ont constaté que sous la couche cornée, la peau n'est pas lisse, comme chez la plupart des mammifères, mais vallonnée, recouverte de millions de petites bosses nommées papilles. Ces reliefs contraignent donc l'épaisse couche cornée à plier. «Les fractures obtenues dans ce nouveau modèle contournaient les papilles pour se former uniquement dans les dépressions cutanées, ce qui coïncidait parfaitement avec nos observations *in vivo*», souligne le chercheur.

La porosité de la peau de l'éléphant d'Afrique est donc le produit de deux innovations: le relief de son épiderme et l'épaisseur de sa couche cornée. Ainsi, si la peau de l'éléphant d'Asie, elle, ne craquelle pas, malgré son aspect vallonné, c'est que la couche cornée est trop mince. Michel Milinkovitch explique que les contraintes auxquelles était soumise l'évolution de ces animaux n'ont *a fortiori* pas été les mêmes: «L'éléphant d'Asie vit dans un climat beaucoup plus humide, où le refroidissement par évaporation de l'eau n'est pas une stratégie efficace.» ■

CORALINE MADEC

A. F. Martins et al., *Nature Communications*, vol. 9, article 3865, 2018