Se soigner en s'inspirant de la nature :

Quelle place pour le biomimétisme dans la médecine moderne ?

Peter Stenvinkel
Professeur de néphrologie à l'Institut Karolinska de Stockholm

Le changement climatique affecte la santé à l'échelle mondiale en intensifiant le stress thermique et hydrique, l'insécurité alimentaire et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes. Ces facteurs contribuent à l'augmentation des maladies cardiovasculaires, rénales, respiratoires et métaboliques. Les atteintes rénales, en particulier, se multiplient sous l'effet combiné de la chaleur et de la pollution croissante.
Face à cette dégradation du paysage sanitaire, le présent article explore des approches inspirées de la nature, notamment le biomimétisme, qui s'appuie sur les stratégies développées par les systèmes biologiques. Certains animaux présentent en effet une résistance remarquable à des conditions qui s'avèrent particulièrement délétères pour l'être humain, telles que l'ischémie ou les températures extrêmes. C'est le cas, par exemple, des ours, des rats-taupes nus ou encore des éléphants de mer. L'étude de leurs mécanismes d'adaptation pourrait ouvrir la voie à de nouvelles approches thérapeutiques pour prévenir ou traiter des maladies chroniques, notamment celles aggravées par le changement climatique. Toutefois, la recherche médicale biomimétique demeure encore insuffisamment financée et développée, tandis que l'érosion de la biodiversité menace ce réservoir unique d'innovations biologiques.
Dans ce contexte, la protection des écosystèmes, associée à une transformation des régimes alimentaires et des systèmes de santé, apparaît essentielle pour construire des systèmes de santé plus résilients face au changement climatique.

Pouvez-vous expliquer brièvement en quoi le changement climatique dégrade la santé humaine ?

Le changement climatique affecte considérablement la santé humaine à l'échelle mondiale car il amplifie le stress thermique et hydrique, l'insécurité alimentaire et les phénomènes météorologiques extrêmes. Le panorama sanitaire évolue, la chaleur exacerbant les troubles cardiovasculaires, rénaux, respiratoires et liés au diabète, avec une hausse spectaculaire des décès qui y sont associés, estimés à 175 000 par an seulement en Europe[1].

Les lésions et maladies rénales sont également en hausse, avec 15 % de la population mondiale qui présente des signes de maladie rénale. Les reins agissant comme des filtres pour les polluants environnementaux, ils sont particulièrement vulnérables à la pollution et à la chaleur. Une épidémie de néphropathie mésoaméricaine, qui provoque une insuffisance rénale mortelle, touche actuellement les ouvriers agricoles qui travaillent dans des conditions de chaleur extrême, en Amérique centrale, au Sri Lanka et dans de nombreux autres pays[2].

Cette hausse des maladies environnementales est entièrement due à l'organisation anthropique des sociétés actuelles. Centrée sur les bénéfices à court terme, l'utilisation intensive des ressources et la consommation linéaire des biens, elle contribue au changement climatique et à une perte catastrophique de la biodiversité. Pour préserver notre santé, il est essentiel de construire une organisation biomimétique, afin de nous inspirer de la nature dans nos activités : utilisation des ressources, habitudes alimentaires ou médecine. Évoluer vers une organisation centrée sur la nature nous aiderait à mieux gérer les risques pour notre santé sur une planète aux ressources limitées.

Qu'entendez-vous par « nous inspirer de la nature » ?

L'idée consistant à résoudre les problèmes humains en nous inspirant de la nature est connu sous le nom de « biomimétisme », un terme forgé par le Dr. Janine Benyus, docteure en biologie et fondatrice du *Biomimicry Institute*, dont les travaux m'ont incité à m'intéresser à ce sujet.

Le biomimétisme est intrinsèquement interdisciplinaire. De tout temps, les humains ont observé la nature pour s'en inspirer, par exemple le vol des oiseaux pour concevoir les premières machines volantes. Aujourd'hui, des outils technologiques avancés nous permettent d'analyser les systèmes naturels à un niveau de détail sans précédent et à appliquer ces connaissances dans pratiquement tous les domaines. Par

1 Johnson, D. (2 août 2024). Heat claims more than 175,000 lives annually in Europe, latest data shows [La chaleur est responsable de plus de 175 000 décès par an en Europe, selon les données les plus récentes. UN News. https://news.un.org/en/story/2024/08/1152766.

2 Sorensen C. et Garcia-Trabanino R. A New Era of Climate Medicine — Addressing Heat-Triggered Renal Disease. New England Journal of Medicine [Une nouvelle ère de la médecine climatique : traiter les maladies rénales induites par la chaleur]. https://doi.org/10.1056/nejmp1907859.

exemple, le système de ventilation du bâtiment Eastgate à Harare, au Zimbabwe, s'inspire largement de la structure des termitières. Le bâtiment comporte de nombreux trous et cheminées où l'air circule afin de maintenir à l'intérieur une température toujours inférieure à celle de l'extérieur, pour une consommation d'énergie minimale.

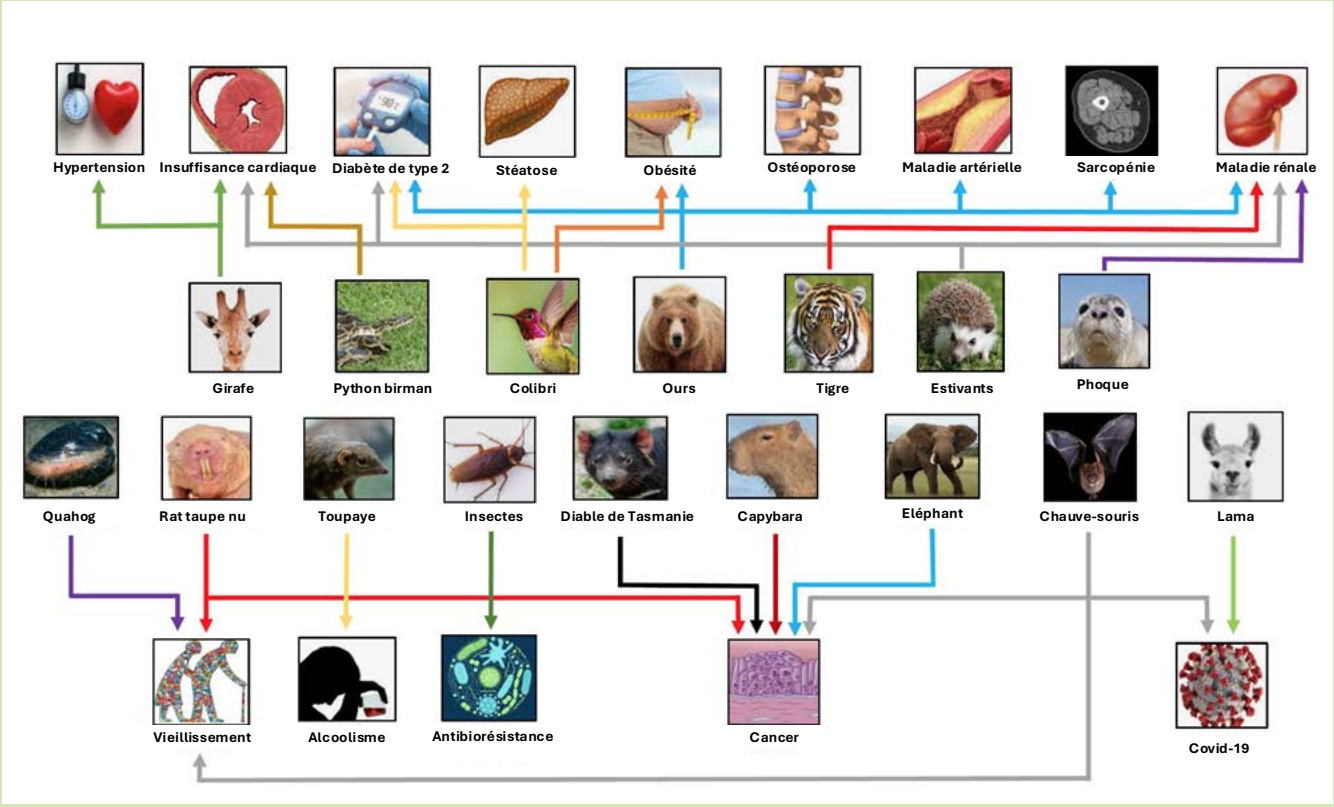
La médecine offre elle aussi de nombreux exemples de biomimétisme, par exemple les surfaces imitant la peau de requin, qui réduisent l'adhérence bactérienne[3], ou les aiguilles inspirées du dard des moustiques, des abeilles et des guêpes, qui réduisent la force nécessaire à la perforation et améliorent la maniabilité[4]. Compte tenu du trésor de connaissances pratiquement infini que recèle le règne animal, et notamment des solutions médicales, le biomimétisme pourrait nous aider à relever les défis sanitaires exacerbés par le changement climatique.

Le biomimétisme pourrait nous aider à relever les défis sanitaires exacerbés par le changement climatique

Le biomimétisme peut-il nous aider à améliorer la santé humaine, notamment face au changement climatique ?

De nombreuses espèces possèdent des mécanismes qui les protègent contre certaines maladies auxquelles les humains sont vulnérables. Les mammifères hibernants, tels que les ours ou les écureuils, ne souffrent pas d'ischémie, une affection fréquente et potentiellement mortelle pour les humains, qui se caractérise par une restriction de l'apport sanguin dans une partie du corps ou un organe. Autres exemples : les chauves-souris, qui tolèrent des virus dévastateurs pour les humains ; les éléphants, qui semblent résister au cancer ; les requins du Groenland, qui vivent au ralenti pendant 400 à 500 ans ; les girafes, qui vivent sans problème avec une pression artérielle qui affolerait nos médecins ; ou ces méduses qui semblent pratiquement immortelles[5].

Quelques exemples d'espèces ayant fourni des pistes permettant de cibler des maladies liées au mode de vie et au vieillissement, telles que l'alcoolisme, la COVID-19 et la résistance aux antibiotiques, l'insuffisance cardiaque congestive (ICC) ou le diabète sucré (DS)[6]



3 Dundar Arisoy F, Kolewe KW, Homyak B, Kurtz IS, Schiffman JD, Watkins JJ. Bioinspired Photocatalytic Shark-Skin Surfaces with Antibacterial and Antifouling Activity via Nanoimprint Lithography [Surfaces inspirées du vivant imitant la peau de requin, présentant des propriétés photocatalytiques, antibactériennes et antifouling, obtenues par lithographie par nano-empreinte]. ACS Appl Mater Interfaces. 13 juin 2018 ; 10(23):20055-20063. https://doi.org/10.1021/acsami.8b05066.

4 Yichi M, Xiao X, Hongliang R, Max Q-H. Meng. A review of bio-inspired needle for percutaneous interventions, Biomimetic Intelligence and Robotics [Revue des aiguilles bio-inspirées pour les interventions percutanées, Intelligence biomimétique et robotique], volume 2, numéro 4, 2022, 100064, ISSN 2667-3797. https://doi.org/10.1016/j.birob.2022.100064.

5 Stenvinkel P, Kotanko P, Painer-Gigler J, Shiels PG, et al. Diabetologia. Comparative physiology and biomimetics in metabolic and environmental health: what can we learn from extreme animal phenotypes? [Physiologie comparée et biomimétisme en santé métabolique et environnementale : que pouvons-nous apprendre des phénotypes animaux extrêmes ?] Février 2026 ; 69(2):295-307. https://doi.org/10.1007/s00125-025-06611-3.

Plusieurs espèces, telles que le rat-taupe nu, sont également protégées contre l'inflammation chronique et le stress oxydatif, qui jouent un rôle dans de nombreuses maladies chroniques liées au mode de vie et au vieillissement, comme le diabète de type 2, l'obésité, l'insuffisance cardiaque congestive ou le cancer[6], ou aggravées par le changement climatique.

Autres exemples : le chameau, la baleine bleue ou la grenouille des bois, qui ont appris à supporter des températures extrêmes (hautes ou basses) et la pénurie d'eau sans subir de troubles physiologiques. L'étude des mécanismes permettant ces capacités exceptionnelles pourrait s'avérer très utile face à la hausse des températures mondiales induite par le changement climatique.

Pourriez-vous nous en dire un peu plus sur certains exemples cités ?

Les ours présentent un métabolisme remarquable pendant leur hibernation. Cet état, qui reste énigmatique à nos yeux, pourrait nous aider à comprendre les maladies métaboliques, notamment la résistance réversible à l'insuline et l'homéostasie énergétique. Les ours sont également protégés contre les complications thromboemboliques[7,8] (l'obstruction des vaisseaux sanguins par des caillots, généralement dans les membres inférieurs) qui touchent les humains quand ils restent longtemps immobiles.

Le rat-taupe nu mentionné ci-dessus, un rongeur qui peut vivre jusqu'à cinq fois plus longtemps que les rongeurs de taille similaire, présente une particularité : son risque de mortalité n'augmente pas avec l'âge, contrairement aux humains. Il est donc protégé contre les maladies liées à l'âge, telles que le cancer et les maladies vasculaires[9]. Nous ne connaissons pas encore les mécanismes exacts qui contribuent à cette extraordinaire résilience, mais elle pourrait s'expliquer en partie par la capacité de l'animal à maintenir des niveaux élevés du facteur respiratoire nucléaire 2 (Nrf2). Pour dire les choses simplement, le Nrf2 est une protéine qui régule la transcription des gènes qui protègent contre le stress oxydatif et l'inflammation, responsables de nombreuses maladies, et contre le processus de vieillissement. L'étude et la compréhension du rôle du Nrf2 dans le métabolisme du rat-taupe nu permettrait de réaliser des avancées décisives dans la lutte contre de nombreuses maladies qui s'accentuent avec l'âge et de trouver comment prolonger la durée de vie en bonne santé des êtres humains.

Les os d'un ours en hibernation sont examinés par tomodensitométrie.
© Peter Stenvinkel

Dans ma propre spécialité, la néphrologie, les éléphants de mer ont des capacités surprenantes de vasoconstriction, notamment dans les reins. Ainsi, le flux sanguin et l'apport en oxygène privilégient le cœur et le cerveau[7]. Une capacité intéressante pour certaines espèces de phoques, comme les éléphants de mer, qui peuvent rester sous l'eau jusqu'à 100 minutes au cours d'une plongée. Pendant la plongée, les reins de l'animal ne sont plus irrigués et cessent de fonctionner, pour reprendre des fonctions normales quand il remonte à la surface, sans aucune lésion. Plusieurs mécanismes peuvent expliquer cette résistance inhabituelle des éléphants de mer aux lésions rénales aiguës ischémiques, comme un métabolisme anaérobie (privé d'oxygène) mieux adapté. L'étude de ces mécanismes pourrait fournir des informations précieuses pour prévenir les lésions rénales ischémiques, par exemple chez les humains subissant une opération chirurgicale prolongée.

6 Stenvinkel P, Avesani CM, Gordon LJ, Schalling M et Shiels PG. Biomimetics provides lessons from nature for contemporary ways to improve human health [La biomimétique offre des enseignements issus de la nature pour des approches contemporaines visant à améliorer la santé humaine]. Journal of Clinical and Translational Science 5: e128, 1–14. https://doi.org/10.1017/cts.2021.790.

7 Stenvinkel P, Johnson RJ. Kidney biomimicry-a rediscovered scientific field that could provide hope to patients with kidney disease [La biomimétique rénale — un domaine scientifique redécouvert susceptible d'apporter un espoir aux patients atteints de maladies rénales]. Arch Med Res. Novembre 2013 ; 44(8):584-90. doi: 10.1016/j.arcmed.2013.10.008.

8 Stenvinkel P, Painer J, Kuro-O M, Lanaspa M, Arnold W, et al. Novel treatment strategies for chronic kidney disease: insights from the animal kingdom [Nouvelles stratégies thérapeutiques pour la maladie rénale chronique : enseignements issus du règne animal]. Nat Rev Nephrol. Avril 2018 ; 14(4):265-284. https://doi.org/10.1038/nrneph.2017.169.

9 Stenvinkel P, Shiels P. Long-lived animals with negligible senescence: Clues for ageing research [Animaux à longue longévité présentant une sénescence négligeable : indices pour la recherche sur le vieillissement]. Biochemical Society Transactions. 2019, 47. BST20190105. 10.1042/BST20190105. https://doi.org/10.1042/bst20190105.

Étant données ces opportunités passionnantes, quel est le statut actuel de la recherche médicale en biomimétisme ?

Le biomimétisme trouve son écho dans de nombreux domaines de la médecine, tels que la médecine régénérative, la préservation des organes, la tolérance immunitaire, la résistance à l'hypoxie et le contrôle de la fibrose. Les obstacles ne sont pas liés au manque d'idées mais plutôt aux difficultés de transposition. Malheureusement, malgré le trésor de connaissances que recèle la biodiversité et ses promesses pour notre santé, de nombreuses limites entravent les progrès de la recherche médicale en biomimétisme. Tout d'abord, cette discipline reste sous-développée par rapport à d'autres disciplines, telles que la chimie et la technologie. Les financements ne sont pas faciles à obtenir. En collaboration avec des scientifiques d'autres universités européennes, j'ai tenté pendant trois ans d'obtenir un financement de l'Union européenne pour un projet de recherche biomimétique interdisciplinaire sur le traitement des maladies chroniques liées au mode de vie, mais en vain.

En outre, la recherche biomimétique est intrinsèquement limitée. C'est un domaine très complexe, à la croisée de plusieurs disciplines complexes elles aussi (médecine, médecine vétérinaire et biologie) et il existe de nombreux obstacles quand il s'agit de transposer sur un humain un trait découvert chez un animal. Et comme le biomimétisme nécessite l'étude d'animaux sauvages et affecte le corps humain, il est régi par une réglementation stricte et nécessite une supervision éthique.

De plus, en raison de sa complexité, la recherche en biomimétisme suit un processus moins rapide que les études purement cliniques : il peut s'écouler plusieurs décennies entre le début des recherches et le traitement. Cette lenteur, combinée à la perte massive de biodiversité causée par notre organisation anthropique, menace l'avenir du biomimétisme. Le WWF a récemment signalé que le volume moyen des populations d'animaux sauvages avait diminué de 73 % au cours des 50 dernières années[10]. Ce constat, déjà dramatique en termes environnementaux, sociaux et économiques, signifie aussi la perte définitive d'espèces et de mécanismes précieux, qui pourraient apporter des solutions à de graves problèmes humains. La diversité ne se résume pas à un nombre d'espèces. C'est une partie de l'histoire de l'évolution que nous perdons avec chaque espèce animale qui disparaît de notre planète. La biodiversité n'est donc pas un luxe environnemental, mais le fondement même de la santé humaine. Elle soutient nos systèmes alimentaires, nos médicaments, la pureté de l'air et de l'eau, la régulation du climat et notre bien-être psychologique.

Pour que le biomimétisme prenne la place qui lui revient dans la recherche médicale, les recherches futures doivent être interdisciplinaires. Elles doivent réunir des médecins, des vétérinaires, des écologistes, des biologistes et tous les chercheurs dont l'expertise pourrait combler le fossé entre la santé animale et la santé humaine

10 WWF (2024) Rapport Planète Vivante 2024 – *Un système en péril*. WWF, Gland, Suisse.

Malgré tout, quelles leçons pouvons-nous retirer aujourd'hui du biomimétisme sur le plan de la santé et de la lutte contre le changement climatique ?

La principale leçon que nous enseigne la biodiversité en matière de santé porte sur nos habitudes alimentaires. Les humains sont omnivores et notre tube digestif n'est probablement pas conçu pour manger de la viande rouge tous les jours. En effet, un lien direct a été constaté, tant chez les humains que chez les animaux, entre la consommation de viande rouge et un risque élevé de maladie rénales chroniques (MRC)[8]. Cela s'observe également dans le règne animal : les mammifères ayant la plus longue espérance de vie et les moins exposés au risque de cancer sont les herbivores, alors que des liens ont été établis chez les carnivores entre un risque de cancer nettement plus élevé et la consommation de mammifères[11].

Depuis sa création, la Commission EAT-Lancet plaide fortement en faveur d'une réorientation des systèmes alimentaires et des politiques alimentaires vers « un régime de santé planétaire », fondé sur des critères de santé, riche en fruits et légumes, comprenant une quantité modérée de produits d'origine animale (poisson, produits laitiers et viande) et une consommation minimale de sucre, de sel et de graisses saturées[12]. L'adoption d'un régime alimentaire de ce type à l'échelle mondiale pourrait prévenir le décès de 7 à 10 millions d'adultes chaque année. Ce régime pourrait contribuer à réduire les maladies liées à l'alimentation (comme le diabète de type 2 ou les maladies cardiovasculaires) et présenterait aussi l'avantage significatif de limiter le changement climatique et la pression humaine sur la biodiversité. En effet, selon les estimations actuelles, les émissions de gaz à effet de serre induites par la production d'un kilo de bœuf (25-30 $ktCO_2eq$) seraient plus de cinquante fois supérieures à celles générées par la production d'un kilo de légumes (0,2-2,0 $ktCO_2eq$)[13]. En adoptant ce « régime de santé planétaire » à l'échelle mondiale, les émissions alimentaires mondiales diminueraient de 17 %[14]. Il est urgent d'adopter une transformation radicale du système alimentaire mondial, et cette responsabilité n'incombe pas seulement aux gouvernements et aux institutions : elle commence dans nos assiettes.

11 Vincze O, Colchero, F, Lemaître JF. et al. Cancer risk across mammals [Risque de cancer chez les mamifères]. Nature 601, 263–267 (2022). https://doi.org/10.1038/s41586-021-04224-5.

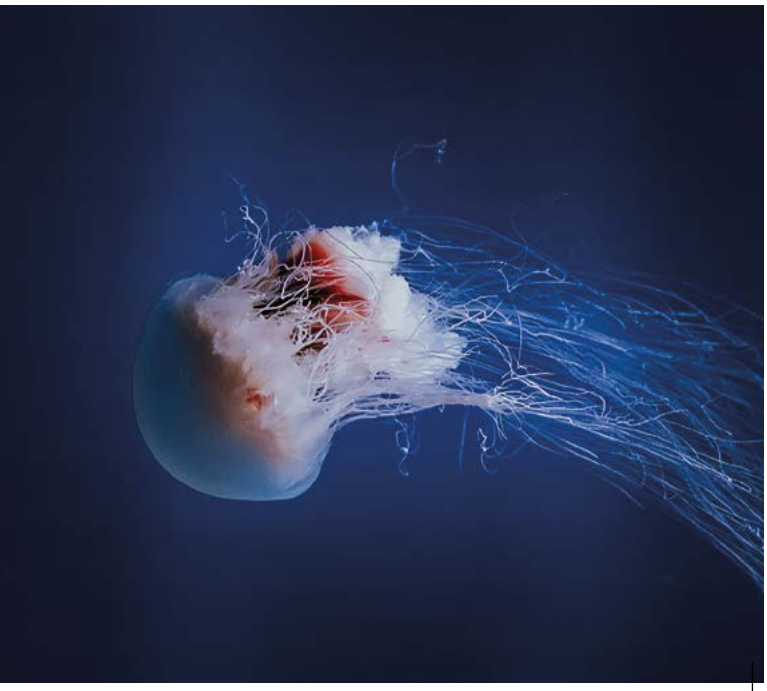
12 Rockström J, Thilsted S, Willett W et al. The EAT–Lancet Commission on healthy, sustainable, and just food systems [La Commission EAT–Lancet sur des systèmes alimentaires sains, durables et équitables]. The Lancet, 2025; 406, 1625-1700.

13 Springmann M. (2025). Many diets for many people: planetary health diets and their health and environmental impacts at global, regional, national, and demographic levels [prépublication] [De nombreux régimes pour de nombreuses populations : les régimes de santé planétaire et leurs effets sur la santé et l'environnement aux niveaux mondial, régional, national et démographique (prépublication)]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.17079404.

14 Li Y, He P, Shan Y. et al. Reducing climate change impacts from the global food system through diet shifts. [Réduire les impacts du changement climatique liés au système alimentaire mondial grâce à des changements d'habitudes alimentaires]. Nat. Clim. Chang. 14, 943–953 (2024). https://doi.org/10.1038/s41558-024-02084-1.

Selon vous, quels changements faudrait-il apporter à la recherche médicale pour mieux intégrer le biomimétisme ?

Aujourd'hui, les liens sont évidents entre le changement climatique, la santé et les inégalités : il n'est plus possible de cloisonner les réflexions et les recherches. Pour que le biomimétisme prenne la place qui lui revient dans la recherche médicale, les recherches futures doivent être interdisciplinaires. Elles doivent réunir des médecins, des vétérinaires, des écologistes, des biologistes et tous les chercheurs dont l'expertise pourrait combler le fossé entre la santé animale et la santé humaine. Cela permettrait de concevoir des études cliniques en collaboration avec différents experts : des écologistes et des biologistes, associés à des cliniciens, pourraient élaborer des protocoles d'études physiologiques comparatives, incluant dans la population étudiée des espèces animales présentant des caractéristiques ou des mécanismes pertinents pour la recherche. Par exemple, une étude clinique sur des patients alités ou sédentaires présentant un risque élevé de complications thromboemboliques pourrait inclure le cas des ours en hibernation, qui sont protégés contre de telles complications, en vue de comparer les différences entre ces modèles.



© Rohan Sethi

Ce changement de paradigme devrait également être mis en œuvre dans les programmes d'études médicales, qui ne comportent actuellement aucune étude sur l'environnement et la santé animale. Dr. Barbara Natterson-Horowitz, cardiologue à la Harvard Medical School et à UCLA, fervente partisane du biomimétisme, réclame depuis longtemps l'intégration de ces concepts dans l'enseignement médical. Cela pourrait prendre la forme de modules sur la santé animale et les perspectives en matière de santé environnementale, de présentations comparatives des maladies chez différentes espèces ou d'études en partenariat avec des vétérinaires[15]. Ces changements permettraient d'étudier la biodiversité de manière rigoureuse et de réaliser les avancées médicales mentionnées plus haut.

Pour conclure cet entretien, avez-vous une dernière remarque sur l'avenir de la biomimétique en médecine ?

Comme l'a déclaré Albert Einstein : « Regardez profondément dans la nature, et alors vous comprendrez tout beaucoup mieux ». La santé est le nouveau visage du changement climatique, et la biodiversité nous offre une source d'inspiration immense sur la façon dont nous devrions vivre, construire, nous alimenter et nous soigner. C'est désormais prouvé : manger moins de viande et préserver la biodiversité a des effets bénéfiques pour la planète et pour notre santé. Il est donc essentiel, et vital, que nos politiques commencent à intégrer la nature et ses solutions ingénieuses. N'oublions pas que la nature résout des problèmes médicaux et environnementaux complexes depuis des millions d'années. La question qui se pose à nous aujourd'hui est de savoir si nous sommes prêts à intégrer l'intelligence biologique à la science pour identifier les connexions existantes, avant qu'il ne soit trop tard[16].

15 Rabinowitz P, Natterson-Horowitz B, Kahn L, Koc R, Pappaioanou, M. (2017). Incorporating one health into medical education. BMC Medical Education [Intégrer l'approche « One Health » dans la formation médicale. BMC Medical Education]. 17. 10.1186/s12909-017-0883-6. https://doi.org/10.1186/s12909-017-0883-6. (PDF) Incorporating one health into medical education [Intégrer l'approche One Health dans la formation médicale].

16 Stenvinkel P. Learning from nature. The power of biological intelligence [Apprendre de la nature. La puissance de l'intelligence biologique]. Publié par Lava, 2025.

À propos de l'auteur

Dr Peter Stenvinkel *a obtenu son doctorat en médecine rénale en 1994 à l'Institut Karolinska (Stockholm). Professeur de néphrologie de renommée mondiale, il a reçu plusieurs prix et bourses, et un titre de docteur* honoris causa. *Il mène des recherches translationnelles axées sur les facteurs de risque de complications métaboliques, cardiovasculaires et nutritionnelles dans les maladies rénales chroniques (MRC). Peter Stenvinkel s'intéresse au biomimétisme depuis plus de dix ans. Il travaille depuis lors avec un groupe de recherche composé d'experts multidisciplinaires qui s'intéressent aux mécanismes métaboliques qui protègent certaines espèces contre les changements environnementaux, dans le but de découvrir de nouvelles thérapies.*

© Katialine Burgorgue