

Enquête réalisée par
la rédaction de Science & Vie

COORDINATION PHILIPPE BOURBEILLON

Mortels

Ce que nous révèle
la science

LA MORT : LA COMPRENDRE,
L'INTERROGER, LA DÉFIER

SCIENCE&VIE

^ L I S I O
SCIENCES

Pourquoi sommes-nous mortels ?
Que se passe-t-il vraiment dans notre corps
lors de ce moment fatidique où la vie s'arrête ?
Ya-t-il un après ?

L'ensemble de la rédaction de Science & Vie livre une enquête passionnante, pour démêler le possible de l'improbable sur un sujet aussi fascinant que redouté celui de notre mortalité.

Vous apprendrez notamment que la mort n'a rien à voir avec une extinction soudaine du cerveau ; que l'expérience de mort imminente serait une stratégie de survie et les vestiges d'un comportement instinctif que nous partageons avec d'autres mammifères ; que grâce aux avancées médicales et à l'essor des projets transhumanistes, l'homme repousse le vieillissement et défie la mort.

Jusqu'à assouvir peut-être un jour sa tentation d'immortalité ?

Une enquête dirigée par la rédaction de Science & Vie, coordonnée par Philippe Bourbeillon.

ISBN - 978-2-37935-295-9



9 782379 352959

22 €
PRIX TTC
FRANCE

ALISIO
SCIENCES
SCIENCE&VIE

Rayon : Sciences



MORTELS

CE QUE NOUS RÉVÈLE LA SCIENCE

ALISIO

L'éditeur des voix qui inspirent

Suivez notre actualité sur **www.alisio.fr**
et sur les réseaux sociaux LinkedIn,
Instagram, Facebook et Twitter !

Alisio s'engage pour une fabrication écoresponsable !

Notre mission : vous inspirer. Et comment le faire sans
participer à la construction du meilleur des futurs possible ?
C'est pourquoi nos ouvrages sont imprimés sur du papier
issu de forêts gérées durablement.

SCIENCE&VIE

Science & Vie une marque du groupe Reworld Media
Cet ouvrage est une reprise du hors-série Science&Vie numéro 298,
La mort et la tentation de l'éternité, parution novembre 2021

Ont participé à ce projet :

Philippe Bourbeillon, directeur adjoint
des rédactions Science&Vie
Marie-Cécile Germiyanoglu,
responsable éditoriale et partenariat

Suivi éditorial : Audrey Poulat

Relecture-corrrection : Audrey Peuportier

Maquette : Jennifer Simboiselle

Design de couverture : Caroline Gioux

Schéma p. 29-30 : Adaptation d'après les dessins
de ©Carolina Levicek

Schéma p. 37 : ©Adobe Stock

© 2022 Alisio,

une marque des éditions Leduc

10, place des Cinq-Martyrs-du-Lycée-Bufferon
75015 Paris

ISBN : 978-2-37935-295-9

MORTELS

CE QUE NOUS RÉVÈLE LA SCIENCE

ALISIO
SCIENCES

SOMMAIRE

Avant-propos de Philippe Bourbeillon 9

PARTIE 1

QUE SE PASSE-T-IL VRAIMENT QUAND ON MEURT ? 15

1. Vivre, vieillir, mourir : une question d'évolution 17
2. La mort du cerveau 25
3. Cas des cancers : les cellules tueuses
qui ne veulent pas mourir 35
4. La décomposition du corps..... 43
5. L'esprit survit-il à la mort du corps ? 53
6. Qu'est-ce que l'expérience de mort imminente ? 63
7. La mort dans la nature..... 71

PARTIE 2

COMMENT VIVONS-NOUS LA MORT ?85

1. La conception de la mort..... 87
2. Peut-on augmenter sa longévité avec un
mode de vie sain ? 97
3. Pourquoi a-t-on peur de mourir ? 105
4. De l'utilité du deuil 115

- 5. Faire semblant de mourir pour mieux vivre 121
- 6. Réinventer la mort grâce à la culture populaire 127

PARTIE 3

PEUT-ON DEVENIR IMMORTEL ?..... 137

- 1. L'espérance de vie a-t-elle un âge limite ? 139
- 2. Les sciences de l'embaumement..... 145
- 3. La photo post mortem pour ne jamais oublier..... 149
- 4. La trace du mort à l'ère des réseaux sociaux 157
- 5. La continuité de la vie après la mort..... 167
- 6. Le transhumanisme permettrait-il l'immortalité ? 179

Les contributeurs 193

Bibliographie..... 195

Table des matières..... 197

AVANT-PROPOS DE PHILIPPE BOURBEILLON

LA MORT... C'EST MORTEL !

Lors de l'élaboration du hors-série de Science & Vie, à l'origine de ce livre, Danielle MacCaffrey, rédactrice en chef, me proposait de remplacer le logo original par un Science & Mort. Une proposition en forme de boutade, mais qui n'eût pas été déplacée tant la science a été mise à contribution sur le sujet. Pourquoi on meurt ? Ça, on sait. Comment ? On y voit déjà plus clair. Mais après... C'est dans ce contexte que nous avons plongé dans un voyage qui n'avait rien de sinistre, vers cette mort qui nous renvoie toujours à nos interrogations fondamentales. Et à nos souvenirs bien sûr... surtout à la représentation qu'on s'en fait enfant. Le premier qui m'est revenu me ramène à mes 8 ans, quand Marguerite Cornec, une vieille femme délicieuse et aimante du Finistère nord, terre de paysans et de goémoniers, nous gavait à la fois de Farzs Pitilg (crêpe épaisse couverte de beurre salé) mes sœurs et moi et nous racontait l'Ankou. Un sinistre personnage tirant une charrette à l'essieu grinçant qui annonçait par son

passage le départ imminent d'un voisin pour l'au-delà. Il nous faisait peur, forcément ! Et c'est avec tristesse que je vis partir des années plus tard Marguerite avec, en plus, la déception de ne pas avoir perçu le moindre essieu grinçant pour me prévenir de son départ. Puis il y eut le joueur d'échecs du Septième Sceau avant le Mister Death du Sens de la vie des Monty Python.

Se raconter des histoires, inventer des représentations de l'indicible longtemps subi et inexploré, tel a été le premier réflexe des hommes où qu'ils vivent sur la planète. Les premiers rites funéraires marquent le début d'une conscience métaphysique. On embaume, on brûle, on enterre. On s'arrange comme on peut de cette inéluctable disparition de nos proches. Dès l'Antiquité, les philosophes s'emparent du sujet. La religion vient imposer ses dogmes. On a les béquilles qu'on peut quand durant des siècles, la mort fauche allégrement et sans distinction une humanité encore en phase d'adaptation à son environnement. Mais le genre humain est têtu et déterminé, heureusement... sinon nous ne serions pas là. Puis viennent les guerres, les épidémies, la maladie, les famines. Mourir de vieillesse reste encore et durant longtemps un luxe peu partagé.

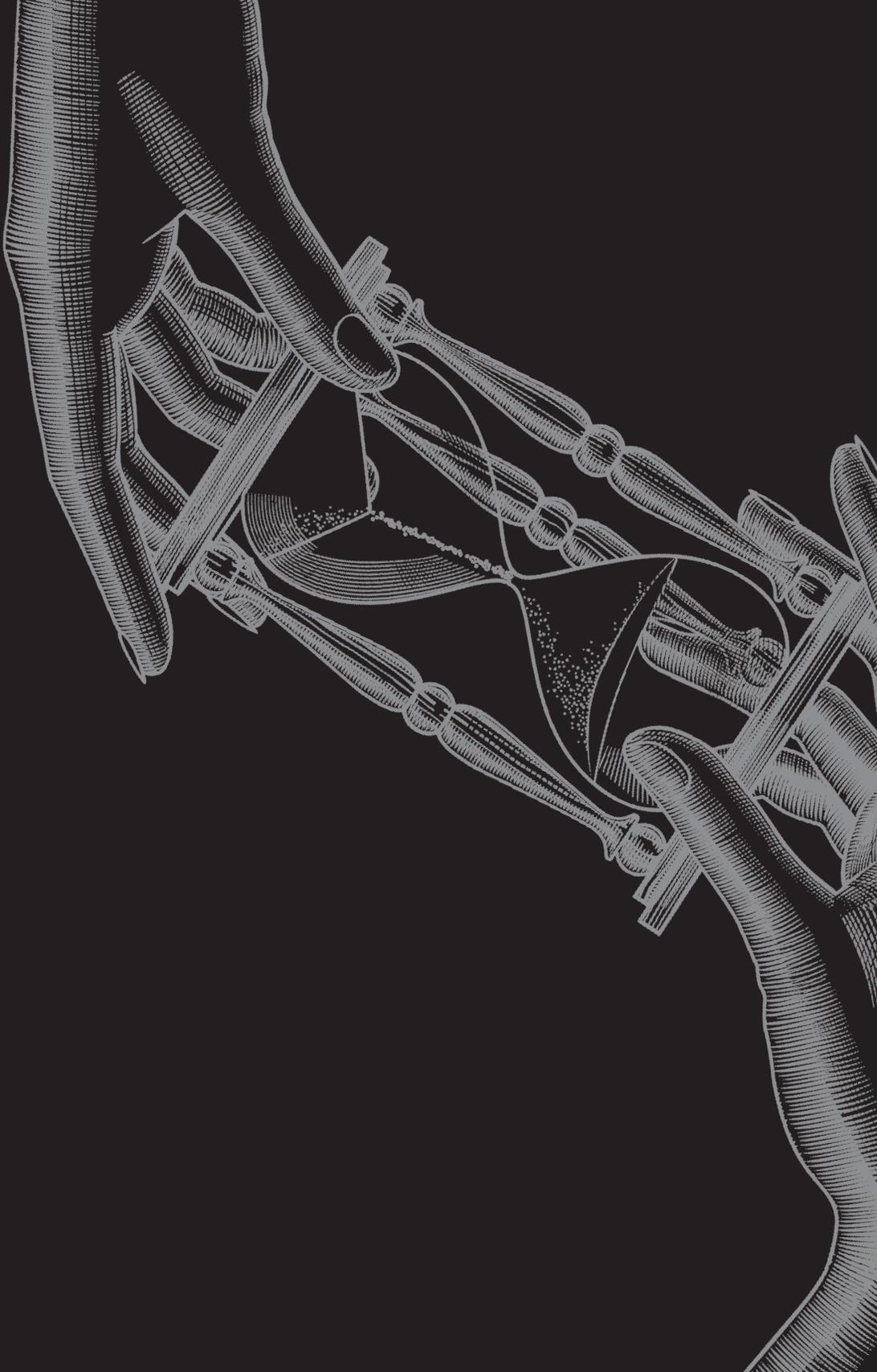
Que de chemin parcouru pour arriver aux travaux de Jens Dreier, chercheur en neurologie expérimentale qui, avec son équipe, a percé les derniers instants de vie du cerveau et surtout mis en évidence ce qu'il s'y passe alors : une tempête électrochimique qui se propage de neurone en neurone durant plusieurs minutes encore après le début de l'électroencéphalogramme plat. Les chercheurs appellent cela une vague de dépolarisation terminale. À la publication de ces travaux en 2018, une nouvelle étape était donc franchie dans notre

connaissance de l'instant de la mort. Après l'arrêt cardiaque qui fut longtemps le marqueur ultime, puis la mort cérébrale, l'homme faisait un pas de plus vers la compréhension du moment fatidique. Pour mémoire, Science & Vie saluait cette découverte d'une couverture, audacieusement titrée, « On a vu la mort ». Mais pour l'après, toujours rien...

Il y a donc ceux qui veulent comprendre, expliquer et d'autres encore qui veulent vaincre, dépasser... ceux que l'on nomme aujourd'hui les transhumanistes. Et là, c'est la technologie qui est convoquée. On se rappelle la cryogénie qui devait conserver les corps dans l'attente d'un temps futur ou le mal fatal pourrait enfin être guéri. L'espoir fait vivre même quand on est mort, visiblement, mais au frais alors. En attendant une hypothétique décongélation de ces aventuriers de l'immortalité électroménagère, c'est désormais vers la Silicon Valley qu'il est nécessaire de se tourner. Forts des progrès des NBIC (Nanotechnologie, biotechnologie, informatique et science cognitive), certains comme le docteur et conférencier Laurent Alexandre n'hésitent pas à déclarer que : « L'être vivant qui va vivre 1 000 ans est probablement déjà parmi nous. » Quand une majorité de scientifiques s'accorde plutôt à voir notre limite physiologique à l'âge respectable tout de même de 150 ans. Il va falloir penser à investir sur le marché de la bougie d'anniversaire dans les deux cas ! Et arrêter de manger n'importe quoi. Raymond Kurzweil, directeur de l'ingénierie chez Google, prévoit ainsi que les progrès de la technomédecine sont tels qu'ils permettront rapidement de prolonger l'espérance de vie. Certains allant même jusqu'à pointer une immortalité envisageable. De quoi, paradoxalement, mourir d'ennui à coup sûr. D'autres encore rêvent d'implantation de puce généralisée afin de faire jeu égal avec

une IA chaque jour un peu plus puissante. L'avènement d'un nouvel homme, mi-techno mi-humain...

Après tout, comment ne pas comprendre cette éternelle quête d'immortalité quand, depuis toujours, l'être humain plonge ses yeux dans des nuits sans nuage pour admirer le spectacle des étoiles ? Étoiles dont il sait désormais qu'elles sont, pour certaines, mortes depuis déjà bien longtemps. Alors, forcément...





1



**QUE SE
PASSE-T-IL
VRAIMENT
QUAND ON
MEURT ?**

1

VIVRE, VIEILLIR, MOURIR : UNE QUESTION D'ÉVOLUTION

Pourquoi meurt-on ? Une récente étude apporte un nouvel éclairage et conforte une hypothèse retenue jusqu'ici par les biologistes : notre condition de mortels serait un « simple » accident, le prix qu'il aura fallu payer pour évoluer...

PAR KHEIRA BETTAYEB

Gâce aux progrès de la science et de la médecine, qui ont permis de faire reculer les maladies infectieuses, d'augmenter l'espérance de vie et d'entrevoir la possibilité d'améliorer nos capacités physiques et mentales, l'humanité s'est prise à rêver d'immortalité ; ou plutôt d'« amortalité », soutient l'historien et philosophe israélien Yuval Noah Harari dans son ouvrage *Homo deus. Une brève histoire de demain* (éd. Albin Michel). Mais pourquoi ne sommes-nous pas naturellement immortels ? Pourquoi meurt-on ?

Tout d'abord, rappelons que les biologistes distinguent deux façons de mourir : de mort extrinsèque (ou accidentelle), due à des facteurs extérieurs, comme un accident, un prédateur, le manque de nourriture ou un virus ; et la mort intrinsèque (ou naturelle), liée au vieillissement, cette détérioration progressive et inévitable des fonctions physiologiques avec l'âge qui conduit *in fine* au décès par vieillesse. « Quand on pose la question “Pourquoi meurt-on ?”, on veut en fait dire “Pourquoi meurt-on de vieillesse ?”, et donc “Pourquoi vieillissons-nous ?” », cadre Maël Lemoine, philosophe des sciences à l'université de Bordeaux.



POURQUOI DIT-ON QUE LES ÉTOILES MEURENT ?

PAR CORALIE HANCOCK

Les étoiles ne sont certes pas des êtres vivants, mais comme nous, elles ont un début et une fin, ce qui explique que, par raccourci, on parle de la mort des étoiles. Le scénario de celle-ci s'inscrit dans leur masse : plus elle est grande, plus la température et la pression en son centre y sont élevées. Les réactions de fusion y sont alors plus rapides, l'étoile brûle plus vite son carburant et... meurt plus vite. Une rapidité toute relative : on estime que les étoiles les plus massives ont une durée de vie de quelques millions d'années tout de même, contre plus de 1 000 milliards d'années pour les moins massives. Notre étoile, le Soleil, avec ses 5 milliards d'années, est environ à la moitié de sa vie, estimée à 10 milliards d'années.

Autre précision importante : pour la biologie cellulaire, le terme « immortalité » désigne non pas la capacité à vivre éternellement, mais l'aptitude pour un organisme à renouveler toutes ses cellules un nombre de fois illimité. Et, dans la nature, il existe des organismes « immortels » ! C'est le cas de *Turritopsis nutricula*, aussi connue sous le nom d'hydre d'eau douce, une petite méduse de 4 à 5 millimètres originaire de la mer des Caraïbes. Tant que les conditions de leur environnement le permettent (présence de nutriments...), ces organismes simples (ils ne sont constitués que de deux feuillet primitifs de cellules séparés par une substance amorphe) ne présentent pas de signes de vieillissement et peuvent se régénérer à l'infini à partir de n'importe laquelle de leurs cellules.

Dans un article paru en août 2021, Maël Lemoine soutient une théorie vertigineuse... Le chercheur a considéré les hypothèses les plus courantes sur l'évolution des premiers organismes et a passé au peigne fin la plupart des articles scientifiques publiés jusqu'ici portant sur les mécanismes du vieillissement connus dans chaque groupe dérivant d'un ancêtre commun (ou clade). Ce faisant, il est arrivé à l'idée que les premiers êtres multicellulaires, ancêtres lointains de l'hydre et de la méduse, étaient probablement immortels. Or, selon les biologistes évolutionnistes, ces aïeux sont également les nôtres. D'où sa conclusion que nos lointains ancêtres devaient être immortels et que, par conséquent... notre condition de mortels n'a pas toujours existé ; elle est « un trait » acquis lors de l'évolution.

Troublante – bien qu'impossible à vérifier directement car il n'existe plus aucun spécimen des premiers multicellulaires, apparus il y a au moins 2,1 milliards d'années –, cette

hypothèse soulève cette question : pourquoi nos ancêtres auraient-ils perdu leur condition d'« immortels » ? Et donc, *in fine*, pourquoi mourons-nous ?

« De fait, contextualise André Klarsfeld, biologiste à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris et auteur d'un ouvrage sur ce sujet (*Biologie de la mort*, éd. Odile Jacob), cette interrogation intrigue philosophes et scientifiques depuis plusieurs siècles. » Soit bien avant les travaux de Maël Lemoine.

LE PARADOXE DE LA SÉLECTION NATURELLE

Très tôt s'est imposée l'idée que la mort existe parce qu'elle est a été « positivement » sélectionnée par les processus de la vie, car utile à l'humanité. Ainsi, dès le 1^{er} siècle av. J.-C., le poète et philosophe romain Lucrèce soutient, dans son *De rerum natura* (*Sur la nature des choses*), que la mort fait de la place pour les générations suivantes. « Cette idée est reprise plus tard, au XVIII^e et au XIX^e siècle, par plusieurs scientifiques, comme le naturaliste suédois Carl von Linné (1707-1778) ou le biologiste allemand August Weismann (1834-1914) », précise André Klarsfeld.

Cependant, au XIX^e siècle, cette thèse bute contre la célèbre théorie de l'évolution des espèces formulée par le naturaliste anglais Charles Darwin (1809-1882) : la sélection naturelle retient les traits – et donc les gènes – qui augmentent l'efficacité d'un organisme à produire des descendants capables de survivre assez longtemps pour engendrer à leur tour des descendants. Or le vieillissement associé à notre condition de mortels met fin à la fertilité et réduit les chances

de survie des individus. Donc il aurait dû être éliminé et non retenu par la sélection naturelle.

Puis, au ^{xx}e siècle, émergèrent d'autres explications qui ont permis de concilier les forces de la sélection naturelle et l'existence du vieillissement, et qui arrivent à des conclusions bien différentes. « À ce jour coexistent ici trois hypothèses majeures, élaborées dans les années 1950-1970, sans qu'aucune n'ait pu, depuis, l'emporter sur les deux autres », expose Clémence Guillermain, philosophe des sciences à l'université de Paris. Énoncée en 1952 par le biologiste britannique Peter Brian Medawar (1915-1987), la première postule que le vieillissement et la mort sont dus à l'accumulation de mutations génétiques délétères au cours de la vie, qui ne sont pas éliminées par la sélection naturelle car elles ne se manifestent que tardivement dans la vie et ne dérangent donc pas beaucoup l'évolution (les organismes âgés s'étant déjà reproduits, leur destin génétique importe peu). « Cette théorie suggère donc que notre condition de mortels serait un simple sous-produit de l'évolution, découlant de phénomènes peu ou pas soumis à la pression de sélection », analyse Clémence Guillermain. La mort serait donc un simple « accident » de l'évolution...

Présentée en 1957 par le biologiste américain George Williams (1926-2010), la seconde thèse explique, elle, le vieillissement et la mort par l'existence de mutations génétiques « pléiotropes », qui sont bénéfiques pour la survie et la reproduction lors de la première moitié de la vie, mais deviennent délétères en fin de vie (théorie de la « pléiotropie antagoniste »). « Donc, ici, le vieillissement est considéré comme un “dommage collatéral”, un effet secondaire de l'évolution associé à des traits positifs, dont

notamment une plus grande capacité de reproduction au début de la vie. »

Enfin, la troisième explication, dite « théorie du soma (ou du corps) jetable » et présentée en 1977 par le biologiste anglais Thomas Kirkwood, propose que le vieillissement est lié au fait que l'évolution a alloué plus d'énergie à la reproduction qu'à la réparation des cellules et tissus du corps, lequel vieillit et devient donc « jetable ». « Ici également, le vieillissement apparaît comme un “mal” nécessaire pour acquérir un avantage biologique : une reproduction optimale », termine Clémence Guillermain.

Les récents travaux de Maël Lemoine vont eux aussi dans ce sens : ils suggèrent que la perte de l'« immortalité » chez nos lointains ancêtres communs avec l'hydre a été le prix à payer pour « acquérir une organisation corporelle plus complexe, avec un côté droit et un côté gauche, permettant de se mouvoir et d'échapper à un prédateur, d'avoir des mouvements dirigés pour attraper un aliment, etc., et ainsi d'augmenter ses chances de survie à court terme, et donc de reproduction », développe le chercheur. « En contrepartie, cette évolution s'est accompagnée de l'émergence de types cellulaires plus spécialisés, comme les neurones, plus difficiles à remplacer ; ce qui a ainsi mis fin à l'immortalité. »

Reste cette question : aurait-il pu en être autrement ? L'évolution aurait-elle pu privilégier l'immortalité à une meilleure reproduction ? « L'évolution n'a jamais eu de raison “d'investir” dans des gènes permettant au corps de vivre pour toujours. Ce qui compte, ce n'est pas la survie éternelle de l'individu, mais celle de sa descendance génétique », tranche Thomas Kirkwood, désormais professeur émérite

en vieillissement à l'université de Newcastle. Autrement dit, si nous sommes mortels et non immortels, c'est parce que l'évolution fait en sorte non pas de préserver la vie... mais de la perpétuer.



LE CŒUR PEUT-IL RECOMMENCER À BATTRE APRÈS LE DÉCÈS ? PAR KHEIRA BETTAYEB

Le cœur peut connaître un sursaut d'activité en fin de vie. C'est ce qu'a montré une récente étude publiée en janvier 2021 par une équipe internationale menée par Sonny Dhanani, chef de l'unité de soins intensifs pédiatriques de l'hôpital d'Ottawa, au Canada. Les chercheurs ont enregistré l'activité cardiaque de 631 patients hospitalisés en soins intensifs au Canada, en République tchèque et aux Pays-Bas, et pour lesquels l'arrêt des mesures de maintien de la vie avait été accepté par les proches. Chez 14 % de ces patients, le cœur a redémarré une ou plusieurs fois après s'être arrêté – sans qu'aucun des patients n'ait, hélas, repris conscience. La durée la plus longue avant la reprise de l'activité cardiaque était de quatre minutes et vingt secondes. « Cette étude a permis de définir plus précisément ce qu'est la mort corporelle après suppression des mesures de maintien de vie. Ses résultats sont rassurants : ils confirment qu'il est approprié d'attendre cinq minutes après l'arrêt cardiaque, avant de déclarer mort un potentiel donneur d'organes [comme c'est la règle dans plusieurs pays, mais pas en France où les médecins attendent quatre heures après l'arrêt de l'activité cérébrale] », commente Sonny Dhanani.

2

LA MORT DU CERVEAU

Physiologiquement parlant, la mort survient après une vague de dépolarisation qui se propage de neurone en neurone pendant plusieurs minutes. Ce « tsunami » électrochimique n'a été mis en évidence que récemment chez l'homme.

PAR KHEIRA BETTAYEB

Depuis le développement des techniques de réanimation cardiorespiratoire qui permettent de faire battre artificiellement le cœur, la mort, la vraie, complète et irréversible, n'est plus forcément associée à un arrêt du cœur et de la respiration – qui peuvent être relancés –, mais à celui du cerveau. Que se passe-t-il dans cet organe au moment précis où la Grande Faucheuse passe ?

Pendant longtemps, la plupart des scientifiques ont vu cet instant comme l'arrêt définitif de l'activité cérébrale, avec un tracé plat au niveau de l'électroencéphalogramme, ou EEG,

la technique qui permet de mesurer l'activité cérébrale. En réalité, la mort cérébrale ne serait pas aussi discrète... Au contraire, elle survient dans une « tempête » électrochimique, un « tsunami » qui se propage de neurone en neurone pendant plusieurs minutes après le début de l'EEG plat : un phénomène que les chercheurs appellent la vague de dépolarisation terminale. Voilà la réalité fascinante mise en lumière par l'équipe de Jens Dreier, chercheur en neurologie expérimentale à l'hôpital de La Charité, à Berlin, lors de deux études publiées en 2018.

« La vague de dépolarisation terminale a été mise en évidence chez certaines espèces animales depuis plusieurs décennies déjà », contextualise Daniel Kondziella, neurologue à l'hôpital universitaire de Copenhague, au Danemark, et auteur de l'article « *La neurologie de la mort et du cerveau mourant* » paru en 2020. Ainsi, Aristides Leão, physiologiste à l'école de médecine de Harvard, aux États-Unis, a-t-il rapporté l'observation d'un tel phénomène chez le lapin... dès 1944 ! « Pratiquement tous les animaux dotés d'un système nerveux central, y compris les insectes, subissent une vague de dépolarisation terminale à la fin de leur vie », élargit Daniel Kondziella dans son article de synthèse des connaissances sur ce sujet. Selon le chercheur, si la confirmation de ce phénomène chez l'humain est relativement récente, l'utilisation de la technique de *bracketing* phylogénétique, qui permet de déduire la probabilité de traits inconnus dans les organismes en fonction de leur position dans un arbre phylogénétique, suggère qu'une telle vague existe « depuis probablement aussi longtemps qu'il y a eu de la vie avec un système nerveux sur Terre, soit depuis l'explosion cambrienne » (l'apparition soudaine à l'échelle des temps géologiques

d'animaux complexes qui préfigurent les grands groupes actuels : arthropodes, vertébrés...). Autrement dit, depuis au moins... 520 à 560 millions d'années ! « Cependant, poursuit Daniel Kondziella, pendant longtemps, personne n'a réussi à l'enregistrer chez l'humain. Au point que certains scientifiques en sont venus à douter de son existence. » Il a fallu attendre les travaux de l'équipe de Jens Dreier – « une référence désormais » – pour en avoir enfin « la preuve formelle ».

ÉLECTROCORTICOGRAFIE

Si la vague de dépolarisation terminale a été si difficile à capter chez l'humain, c'est parce qu'elle est indétectable avec un simple EEG, qui enregistre l'activité cérébrale *via* des électrodes posées sur le cuir chevelu, et donc hors du crâne. Pour réussir là où tant d'autres ont échoué, Jens Dreier et ses collègues ont utilisé une technique plus invasive : l'électrocorticographie. Ici, les électrodes sont placées sous le crâne, au contact du cerveau, sous la dure-mère, la membrane qui enveloppe l'encéphale, soit dans le cortex même. Un dispositif qui permet de détecter l'activité électrique de très basse fréquence, de l'ordre de 0,01 Hz.

En pratique, les chercheurs allemands ont suivi neuf patients hospitalisés pour des lésions cérébrales sévères et équipés avec cette technique afin de pouvoir être pris en charge rapidement en cas de complication. Chez ceux qui n'ont pu être sauvés, les scientifiques ont poursuivi – avec l'accord des familles – l'enregistrement de l'activité cérébrale au-delà du début de l'EEG plat. Et c'est là que l'équipe a décelé, pour la première fois, la fameuse vague de dépolarisation terminale.