

LE DOSSIER

TEXTE: PHILIPPE LAMBERT • PH.LAMBERT.PH@SKYNET.BE

PHILIPPE LAMBERT-JOURNALISTE.BE

PHOTOS: © FERREGORY - STOCK.ADOBE.COM (P.18), © VADYM - STOCK.ADOBE.COM (P.20),

© FERREGORY - STOCK.ADOBE.COM (P.22)



Question de vie ou de mort

Sur les plans médical et légal, la mort est assimilée depuis 1968 à la mort cérébrale. Cette approche «cérébrocentrée» semble cependant de plus en plus appelée à s'effacer à terme au profit d'une approche «cogitocentrée». Et si la physiologie n'a toujours pas trouvé un marqueur de l'instant zéro de la mort, elle a découvert en revanche 2 ondes cérébrales, qualifiées respectivement d'«onde de la mort» et d'«onde de la réanimation», qui refaçonnent l'approche scientifique de la mort

De la mort, on pourrait dire qu'elle n'est plus ce qu'elle était. Du moins la perception qu'en a la science a changé. D'une part, les critères retenus pour la définir ont évolué; d'autre part, tout indique que le passage de la vie à la mort ne se résume pas au simple franchissement d'une frontière. Non, le basculement dans la mort se réalise au terme d'un processus menant à un point de bifurcation qu'il demeure impossible de situer dans la séquence temporelle du cheminement physiologique qui aboutira à l'état de mort. Autrement dit, nos connaissances actuelles ne nous permettent pas de mettre le doigt sur un marqueur de l'instant zéro de la mort, sur des données physiologiques strictement objectives qui nous permettraient d'identifier le moment précis à partir duquel il n'existe plus aucune possibilité de maintien de la vie. Pour Stéphane Charpier, professeur de neurosciences à Sorbonne Université et directeur de recherche à l'Institut du cerveau (ICM), à Paris, ce point d'inflexion, en admettant qu'il existe, est très certainement multidimensionnel. «Il doit se trouver au confluent de nombreux paramètres physiologiques combinés les uns aux autres et peut-être différents d'une personne à l'autre. Dès lors, il est probablement insaisissable», souligne-t-il.

Alors, quand est-on mort ? Le neuroscientifique de l'ICM se souvient avec amusement d'un article publié dans un journal américain où était écrit en substance: «Vous êtes mort quand votre médecin vous le dit.» Et de ces phrases de l'écrivain japonais Haruki Murakami: «Seuls les morts connaissent

la mort. Les vivants en ignorent tout. Ils ne font qu'imaginer.» Bien sûr, la première assertion est bâtie sur des sables mouvants et même dénuée de sens si l'on s'inscrit dans la rationalité. En effet, comment un mort pourrait-il accéder à une quelconque expérience consciente ? Quant aux vivants, peuvent-ils imaginer la mort telle qu'elle est ? Celle d'autrui peut-être, en s'appuyant sur les éléments descriptifs qui la caractérisent, mais superficiellement, sans possibilité d'une plongée dans ses tréfonds. Celle d'autrui, mais pas la nôtre. «Cette expérience, cette introspection que l'on pourrait avoir de nous-même à l'égard de notre propre mort n'a absolument aucun sens» indiquait Stéphane Charpier lors d'une interview conduite par le physicien Étienne Klein sur *France Culture*. De fait, s'imaginer mort annule ipso facto le néant existentiel qui est celui de cet état et donc la possibilité vis-à-vis de soi-même d'être mort.

Cadavres au cœur battant

Il est évident que l'absence de tout marqueur de l'instant zéro de la mort ne nous empêche pas de déterminer, sur une base physiologique, qu'un individu est décédé. Toutefois, les critères requis ont évolué et relèvent d'un choix, d'une convention. Avant 1968, le diagnostic de mort était prononcé en cas d'arrêt cardiorespiratoire définitif. Aujourd'hui, la société se réfère encore majoritairement à cette vision classique, cette mort symbolique, de la cessation irrémédiable des battements cardiaques. Dans les années 1950, l'apparition de systèmes de respiration artificielle dans les services de soins intensifs allait cependant



ensemencer un changement de paradigme qui a éclos en 1968. Neuf ans plus tôt, 2 médecins français, Pierre Mollaret et Maurice Goulon, avaient publié un article intitulé *Le coma dépassé*, fournissant une base neurologique à la future formulation de la mort cérébrale. Ils y décrivaient un ensemble de patients se trouvant dans une situation inédite à la suite de leur placement sous respirateur artificiel: grâce à ce dispositif, leur cœur continuait à battre alors qu'ils avaient perdu la faculté de respirer spontanément et que leur cerveau était manifestement détruit de manière irréversible, les rendant inconscients à tout jamais. Techniquement, on les désignera sous le vocable de «cadavres au cœur battant».

Aux États-Unis, un comité ad hoc constitué notamment de neurologues, de chirurgiens, de philosophes, de physiologistes, d'historiens de la physiologie ainsi que d'un homme d'église fit preuve de pragmatisme en décidant en 1968, à la lumière des travaux de Mollaret et Goulon, que la mort ne devait plus être appréhendée sous un angle cardiorespiratoire mais comme un état d'inconscience définitive associé à une incapacité de respirer spontanément, et ce, malgré la possibilité que le cœur continue à battre. «*La mort cérébrale n'est ni une découverte scientifique ni une découverte médicale, mais un choix fondé sur la considération qu'un être humain vivant est une personne potentiellement capable d'avoir une activité consciente*», commente Stéphane Charpier. En d'autres termes, on peut être déclaré légalement et médicalement mort sans l'être intégralement sur le plan physiologique – hormis le cerveau, tous les organes peuvent rester fonctionnels. «*Aussi*

lorsque la mort cérébrale est établie, le prélèvement d'organes en vue de transplantations est-il autorisé. De même, des femmes en état de mort cérébrale amènent des grossesses à terme. On les appelle alors souvent des "incubateurs cadavériques", terminologie atroce qui laisse à penser que la vie peut naître de la mort. Cela heurte la représentation symbolique commune qui veut que la vie ne puisse être produite que par la vie», précise encore le neuroscientifique.

En quelque sorte, la mort a changé de visage avec les progrès de la science. Un glissement s'est opéré d'une approche «cardiocentrée» vers une approche «cérébrocentrée». Le professeur Charpier pense en outre que nous sommes en train de nous diriger de plus en plus vers une approche qu'il qualifie de «cogitocentrée». Il rapporte qu'en France, par exemple, un questionnaire se fait jour à ce propos. Au cœur du débat: qu'est-ce qui fait qu'un humain est vivant au sens plein ? Ou, selon une autre formulation, un humain privé de conscience est-il toujours un être vivant tel que nous le concevons à la lumière de nos représentations symboliques et même métaphysiques ? Sur les plans médical et éthique se posent alors avec une acuité accrue des questions telles que celle de la situation des patients en état végétatif chronique. «*Je pense qu'aujourd'hui on ne peut plus dissocier le statut physiologique et le statut cognitif d'un être humain et que, dans le futur, la détermination de l'état de mort n'aura presque plus rien à voir avec la physiologie. Ce qui peut paraître inquiétant*», dit Stéphane Charpier.

Bruit synaptique

D'après une enquête menée aux États-Unis, de nombreux médecins américains croient erronément que l'état végétatif permanent est un état de mort cérébrale. Il n'en est rien. L'état végétatif est le fruit de très graves lésions au niveau du cortex cérébral et du thalamus, région qui relaie les informations sensorielles vers le cortex et est responsable de nos états de vigilance. Toutefois, le tronc cérébral n'est pas nécessairement atteint. Dès lors, bien que non conscients, c'est-à-dire incapables d'interagir avec leur environnement et a priori d'avoir une quelconque expérience interne, les patients concernés sont à même de respirer spontanément, de sorte que les conditions d'un diagnostic de mort cérébrale ne sont pas remplies (voir *infra*). D'autre part, contrairement à une idée répandue, un électroencéphalogramme (EEG) plat, qui se manifeste dans la forme de coma le plus profond, n'est pas non plus synonyme de mort cérébrale.

Un tel électroencéphalogramme signifie que les neurones n'émettent plus spontanément d'influx

nerveux, les potentiels d'action (1), et que la neurotransmission est à l'arrêt, les connexions synaptiques (2) n'ayant plus la capacité de libérer des neurotransmetteurs. Dans un article publié en 2017 dans la revue *Brain*, Stéphane Charpier et ses coauteurs ont montré chez des patients et des rongeurs présentant les uns et les autres un EEG plat que des neurones stimulés expérimentalement conservaient leurs propriétés intrinsèques d'excitabilité, de façon telle que des réseaux neuronaux et les synapses qui y étaient incluses se révélaient fonctionnels et capables d'intégrer des informations. Attention: les patients et les rongeurs n'étaient pas pour autant conscients de la signification des stimuli. «*Cela aurait nécessité en plus la présence de petites variations électriques dans les neurones connues sous le nom de "bruit synaptique"*», explique le chercheur de l'ICM. Et dans son récent livre intitulé *Le Cauchemar de Descartes* (3), il écrit: «*Ce "bruit" électrique, qui peut déclencher des potentiels d'action si son intensité est suffisante, est une caractéristique fondamentale d'un neurone vivant dans un cerveau vivant. Il existe dans tous vos neurones à chaque instant et disparaîtra uniquement au moment de votre mort, ou lors d'un coma profond.*»

Mais un coma profond n'est pas une fatalité irréversible, ainsi que l'ont notamment observé les chercheurs de l'ICM. Certains patients récupèrent la conscience après s'être «extraits» d'un électroencéphalogramme plat consécutif à un coma pharmacologique ou à une baisse drastique de leur température corporelle (en dessous de 30°) à la suite, par exemple, d'une chute dans un fleuve d'eau glacée. L'électroencéphalogramme plat ne peut donc être un critère clinique suffisant pour conclure à une mort cérébrale. Certes, il est requis, mais l'incapacité du sujet de respirer spontanément et surtout l'irréversibilité des phénomènes observés le sont tout autant.

L'onde de la mort

Penchons-nous sur une histoire un peu singulière puisqu'elle démarre avec des têtes coupées, une conférence jugée sans grand intérêt, une lecture interpellante et se termine par 2 découvertes majeures qui refont l'approche scientifique de la mort. Il y a une quinzaine d'années, des chercheurs de l'Université de Nimègue, aux Pays-Bas, entreprirent une étude visant à déterminer si la décapitation était un moyen humain, au sens éthique du terme, de sacrifier des animaux à des fins expérimentales. La question était plus précisément: la décapitation est-elle une procédure rapide pour supprimer l'état de conscience chez un rat ? Ils s'attelèrent donc à mesurer le délai nécessaire, après décapitation, à l'apparition d'un électroencéphalogramme plat,

reflet de la disparition des activités électriques cérébrales et par là même des processus conscients. Comme on pouvait s'y attendre, ce délai fut court – quelques secondes ou dizaines de seconde. Les neurophysiologistes néerlandais eurent cependant l'idée de poursuivre leurs enregistrements. Et là, surprise ! Au bout de quelques dizaines de seconde à une minute, ils détectèrent, au sein des cerveaux siégeant dans les têtes coupées, l'émergence d'une onde unique de très grande amplitude, puis sa disparition au profit d'un retour à un électroencéphalogramme plat. Ils la baptisèrent «*the wave of death*» (l'«onde de la mort») dans un article de *PLoS One* publié en 2011. Leur interprétation était qu'elle constituait le marqueur d'un basculement définitif dans la mort, une sorte de dernier sursaut avant le néant.

Alors qu'il assistait par bienséance à une conférence qu'il jugeait peu intéressante, Stéphane Charpier se rendit sur le site Internet de la revue *PLoS One*, dont il est un des éditeurs. Il tomba sur l'article de ses confrères néerlandais. Le sujet l'intrigua. Et à la suite d'une réunion de travail, ses collaborateurs de l'ICM et lui-même décidèrent d'approfondir le sujet. Leur motivation était double. Primo, ils voulaient cerner la nature de l'onde de la mort. Secundo, ils se demandaient si elle traduisait réellement un événement irréversible, un arrêt irrémédiable du

(1) Parfois encore appelé influx nerveux, le potentiel d'action d'un neurone est un événement court durant lequel le potentiel électrique dudit neurone augmente puis chute rapidement. Le potentiel d'action joue un rôle essentiel dans la communication entre neurones en provoquant l'activation des synapses.

(2) La synapse est une zone de jonction et de transmission de l'information entre neurones.

(3) Stéphane Charpier, *Le cauchemar de Descartes*, Albin Michel, 2025.

L'IMAGE D'UN CRÂNE VIDE

Chez les patients inconscients sous respirateur artificiel est généralement pratiqué un «test d'apnée» au cours duquel le clinicien débranche temporairement le dispositif pour s'assurer que le sujet ne peut respirer spontanément. «*Un autre examen, qui est aussi associé à l'incapacité de respirer spontanément, a pour but de démontrer l'existence d'une lésion du tronc cérébral, laquelle rend non seulement la respiration spontanée impossible, mais occasionne aussi un coma*», indique le professeur Charpier. Souvent, une image du métabolisme cérébral est réalisée par IRM fonctionnelle chez de tels patients. Elle repose sur la mesure de la consommation de glucose par les neurones. Si l'image se dévoile comme étant celle d'un «crâne vide» (*hollow skull* en anglais), où rien n'apparaît hormis les contours de la boîte crânienne, la conclusion est évidente: le cerveau n'est plus le siège d'aucune perfusion sanguine, tout marqueur de son fonctionnement métabolique a disparu. «*Quels que soient les critères utilisés pour définir la mort, y compris les plus sophistiqués, l'irréversibilité des phénomènes observés constitue l'élément cardinal du diagnostic*», insiste le neuroscientifique.



fonctionnement cérébral; bref, était-elle vraiment un marqueur de l'instant zéro de la mort ?

Les chercheurs parisiens adoptèrent un protocole expérimental différent de celui de leurs homologues de l'Université de Nimègue, car la décapitation fermait la porte à un «plan B», à toute possibilité de réanimation. La mort des neurones étant toujours la conséquence d'une carence en oxygène, l'équipe de l'ICM provoqua chez le rat une asphyxie avec anoxie cérébrale, ce qui laissait la possibilité de tenter une réanimation de l'animal à un moment choisi. «*Nous pouvions arrêter la perfusion de sang oxygéné de manière contrôlée et ensuite la réinstaurer*», relate Stéphane Charpier. Les rongeurs étaient d'abord sédatisés avec des opiacés très puissants pour leur éviter toute souffrance, puis curarisés pour qu'ils ne puissent plus avoir de contractions musculaires et dès lors respirer. Ils étaient ensuite placés sous respiration artificielle. Différents paramètres physiologiques étaient mesurés – électrocardiogramme, pression en oxygène dans le sang artériel, température... Enfin survenait le moment où le respirateur était coupé. Très vite, la pression en oxygène dans le sang artériel diminuait et, en quelques secondes, disparaissait. «*Une "décapitation fonctionnelle", pourrait-on dire*», commente le professeur Charpier.

Pour les enregistrements cérébraux, son laboratoire fit appel non seulement à l'électroencéphalographie, qui offre une vue globale des activités fonctionnelles du cerveau, mais également à l'implantation d'une électrode à l'intérieur de certains neurones afin d'identifier les mécanismes cellulaires impliqués dans l'apparition de l'onde de la mort. Grâce au couplage de ces 2 techniques complémentaires, les chercheurs parisiens montrèrent que celle-ci était le fruit d'une modification collective quasi simultanée de l'état électrique des neurones. Lorsque le flux de sang oxygéné s'interrompt à leur niveau, il en va de même de leur production d'adénosine triphosphate (ATP), qui représente un élément crucial pour satisfaire leurs besoins en énergie en vue d'assurer leur activité électrique et la neurotransmission. Dans ces conditions, les neurones perdent la capacité de maintenir une de leur propriété naturelle essentielle: une tension électrique négative en leur sein. «*Quand les neurones sont en train de mourir, le changement de polarité électrique que nous avons observé entraîne une fuite de courant à travers leur membrane. C'est ce phénomène que reflète l'onde de la mort*», explique le directeur de recherche de l'ICM. Pour cette raison et parce que, nous allons le voir, l'onde de la mort n'entérine pas un basculement inéluctable dans le néant existentiel, les chercheurs parisiens l'ont renommée «*wave of anoxic depolarisation*» («*onde de la dépolarisation anoxique*»).

L'onde de la réanimation

De surcroît, leurs travaux ont mis en évidence que les neurones des couches les plus profondes du cortex (couches 5 et 6) sont les plus vulnérables à la privation d'oxygène. En effet, particulièrement actifs, ils doivent s'appuyer sur un très haut métabolisme. Ils sont donc les premiers à souffrir d'un manque d'ATP et, par conséquent, à subir des modifications de leur tension électrique membranaire. Le courant qui s'échappe alors à travers leur membrane cellulaire gagne le milieu extérieur et induit une augmentation du taux de potassium dans le cerveau, laquelle dépolarise de proche en proche les autres neurones. «*L'onde que l'EEG enregistre à un instant donné à la surface du cerveau n'apparaît pas exactement au même moment dans les différentes régions cérébrales; elle monte progressivement des couches profondes du cortex vers les régions plus superficielles*», souligne Stéphane Charpier. Et d'ajouter: «*Dans une étude non encore publiée, nous avons eu la surprise de constater que si l'activité des synapses s'arrête quasi en même temps partout dans le cerveau, chacune des structures cérébrales possède par contre sa propre onde de la mort et sa propre dynamique de mort.*»

L'onde de la mort telle qu'elle apparaît en électroencéphalographie a été détectée chez l'Homme également. Une découverte qui a été réalisée aux États-Unis – en France, appareiller des patients en fin de vie est considéré pour l'instant comme éthiquement non admissible. «*Ce que l'on voit chez le rat et chez l'Homme est remarquablement similaire*», précise le professeur Charpier.

Après avoir enregistré l'apparition de l'onde de la mort chez les rats auxquels ils avaient provoqué une anoxie cérébrale, les neuroscientifiques de l'ICM initièrent, au bout d'un certain délai (variable), une tentative de réanimation des animaux en réoxygénant leur cerveau. Parallèlement, les chercheurs poursuivaient leurs enregistrements électroencéphalographiques et au sein même de neurones. De 2 choses l'une: soit la réanimation réussissait, soit elle échouait. Elle fut couronnée de succès dans nombre de cas, tordant ainsi le cou à l'idée que l'onde de la mort consacrait un basculement sans retour possible dans le néant existentiel. Mais, élément fascinant, les réanimations réussies étaient systématiquement précédées de l'éclosion d'une autre onde que ses découvreurs qualifièrent d'«onde de la réanimation» («*wave of resuscitation*»). «*Dans 100% des cas où cette onde se manifeste, la réanimation fonctionne, le cerveau récupère progressivement une activité spontanée perçue non seulement en électroencéphalographie, mais aussi au niveau de ses neurones individuels*», indique Stéphane Charpier. Si personne n'a trouvé jusqu'à présent un marqueur de l'instant zéro de la mort, les neurophysiologistes de l'ICM en ont identifié un de la réanimation.

Pour l'heure, par contre, la quête d'un marqueur de la non-arrivée de l'onde de la réanimation est restée stérile. Dès lors, quelle attitude adopter quand on ne la voit pas émerger ? Attendre qu'elle apparaisse éventuellement. En effet, elle peut le faire après un délai qui se révèle variable. «*Quand on attend, on se trouve comme face à un horizon, suggère notre interlocuteur; on avance sans jamais l'atteindre, car il ne cesse de se déplacer*.» Évidemment, tout a une fin. Si le cœur du rongeur s'arrête de battre, alors que l'animal a déjà un EEG plat, les expérimentateurs le déclareront mort malgré l'absence de tout marqueur connu de l'instant zéro de la mort.


Une zone crépusculaire

L'onde de la réanimation est plus petite que celle de la dépolarisation anoxique, ou onde de la mort, et témoigne d'un phénomène en miroir. De fait, l'onde de la réanimation est la résultante d'un changement inverse de polarité électrique des neurones par rapport à celui qui initie l'émission

de l'onde de la dépolarisation anoxique. Avec le retour de l'oxygénation, la production d'ATP reprend et le potentiel électrique à l'intérieur des neurones peut, dans le cas d'une tentative de réanimation qui s'avérera efficace, redevenir normal, donc négatif, ce qui induira la création d'une nouvelle onde, l'onde de la réanimation.

«L'introspection que l'on pourrait avoir de nous-même à l'égard de notre propre mort n'a absolument aucun sens» indiquait Stéphane Charpier lors d'une interview conduite par le physicien Étienne Klein sur *France Culture*. De fait, s'imaginer mort annule ipso facto le néant existentiel qui est celui de cet état et donc la possibilité vis-à-vis de soi-même d'être mort.

Celle-ci existe-t-elle chez l'être humain ? À l'heure actuelle, la recherche expérimentalement chez des personnes vacillant entre la vie et la mort se heurte à des écueils de nature éthique mais aussi matérielle, c'est-à-dire de faisabilité dans le cadre de la course contre-la-montre présidant à la mise en œuvre d'une tentative de réanimation. Selon le professeur Charpier, il n'en demeure pas moins qu'elle existe forcément chez tout individu qui recouvre une activité cérébrale après un arrêt cardiorespiratoire, l'onde de la mort et l'onde de la réanimation étant indissociables des 2 changements de tension électrique successifs que connaissent les neurones.

Aux yeux du neuroscientifique français, la mort ne doit plus être appréhendée comme un passage abrupt «on/off» entre 2 états, mais être repensée comme un processus «lent» qui constitue une sorte de zone crépusculaire de l'existence durant laquelle les fonctions cérébrales et l'activité neuronale vont conduire très progressivement à un état définitif de mort. 



Stéphane Charpier, *La science de la résurrection*, Flammarion, 2020.

