

# Un modèle neuroscientifique intégratif des expériences de mort imminente

Charlotte Martial<sup>1,2</sup>

Coma Science Group, GIGA Institute, University of Liège, Liège, Belgium  
NeuroRehab & Consciousness Clinic, Neurology Department, University Hospital of Liège, Liège, Belgium

Les expériences de mort imminente (EMI) sont des épisodes de conscience déconnectée survenant typiquement lorsque l'individu est proche de la mort. Ces expériences se distinguent par un contenu subjectif riche, souvent marqué par des caractéristiques dites mystiques.

Plusieurs hypothèses explicatives ont été avancées pour comprendre les EMI, qu'elles relèvent de mécanismes psychologiques, neurophysiologiques ou évolutifs. Toutefois, ces approches ont souvent été développées de manière isolée, ce qui a limité leur intégration dans une vision unifiée du phénomène. Aujourd'hui, des données empiriques issues de divers champs des neurosciences tendent à converger vers une compréhension plus globale des EMI, ouvrant la voie à l'élaboration d'un modèle explicatif cohérent et prometteur.

Les expériences de mort imminente (EMI) suscitent depuis longtemps un intérêt marqué dans le grand public. Plus récemment, elles ont suscité une attention croissante de la part des communautés scientifiques et philosophiques. Ces expériences peuvent aujourd'hui être décrites comme des épisodes de conscience déconnectée qui surviennent typiquement lorsque l'individu est proche de la mort et qui contiennent des dimensions prototypiques tels que la perception d'une lumière intense, le passage dans un tunnel, un sentiment profond de paix, ou encore des expériences de décorporation (1). L'échelle du Contenu de l'Expérience de Mort Imminente (C-EMI) (2), composée de 20 items et utilisant un seuil de 27/80 pour identifier une EMI, constitue actuellement l'outil standardisé le plus robuste pour détecter et quantifier leur phénoménologie/contenu. Les études prospectives ont mis en évidence une incidence de 15% après un séjour prolongé en unité de soins intensifs (3), de 10 à 23% après un arrêt cardiaque (4) et

de 5% dans la population générale (5). Il est important de noter que les EMI peuvent également survenir dans d'autres contextes critiques, comme la noyade, l'électrocution ou des complications obstétricales; en somme, dans tout contexte impliquant une menace vitale aiguë.

De façon intéressante, des expériences subjectives très similaires aux EMI, donc ayant un contenu phénoménologique similaire, ont également été observées en l'absence de danger vital immédiat (6), telles qu'une syncope (7), un accident de la route évité de justesse ou la prise de substances psychoactives (8). On les surnomme les «*near-death-like experiences*» et elles semblent aussi fréquentes que les EMI classiques (6). Ainsi, la phénoménologie des EMI peut être considérée sur un continuum multidimensionnel, influencé par divers facteurs: le contexte déclencheur, le niveau de menace perçue, et les réponses physiologiques et psychologiques induites. Compte tenu de leur diversité contextuelle, les EMI et les «*near-death-like experiences*» représentent un ensemble hétérogène d'états de conscience, caractérisés par

des niveaux variables d'éveil et de connexion à l'environnement (1), offrant un terrain de recherche particulièrement riche. Partant de ce constat, il devient dès lors possible de recourir à certaines manœuvres expérimentales, méthodes ou substances afin de modéliser en laboratoire des expériences subjectives présentant des similitudes avec les phénomènes observés lors des EMI7-9.

## Les neurosciences face au défi des EMI

Plusieurs théories ont été avancées pour expliquer les EMI, qu'elles soient psychologiques (10), neurophysiologiques (11) ou évolutionnistes (12). Ces approches ont souvent été développées de manière isolée, et l'élaboration d'un cadre unifié s'est heurtée à la fragmentation du champ et à la diversité des causes. Historiquement, des hypothèses dualistes controversées (13) ont dominé les débats dans cette littérature, en raison du manque de cadre structuré qui pouvait expliquer cette dissociation, d'apparence paradoxale, de l'émergence d'une conscience riche durant des crises physiologiques aiguës sévères (1). Toutefois, les avancées récentes en neurosciences, ainsi que les progrès technologiques permettant des explorations *in vivo*, offrent désormais des pistes explicatives plausibles. Ces expériences résultent certainement de la combinaison complexe de mécanismes multiples, et une approche intégrative combinant les perspectives psychologique, évolutionniste et neurophysiologique paraît aujourd'hui envisageable.

## L'arrêt cardiaque est probablement le facteur le plus courant qui précède les expériences de mort imminente.

En effet, nous avons récemment proposé un modèle unifié (14), fondé sur les données empiriques disponibles dans le domaine et dans les domaines associés, détaillant les mécanismes neurophysiologiques potentiels en interaction avec les processus psychologiques, le tout ancré dans une perspective évolutionniste. Ce modèle intégratif vise à rassembler et étendre les théories existantes. En explorant les bases neurophysiochimiques complexes de ces expériences, y compris les données issues d'études animales sur le processus de mort, nous cherchons à mieux comprendre leur émergence. Ce modèle, appelé NEPTUNE (14) pour «*Neurophysiological Evolutionary Psychological Theory Understanding Near-death Experience*», se concentre sur le scénario prototypique qu'est l'arrêt cardiaque, probablement le facteur précipitant la plus fréquente des EMI (4), et dont les caractéristiques neurophysiologiques sont moins variables que celles d'autres situations critiques.

## Un nouveau modèle: NEPTUNE

Initialement, une cascade simultanée de processus psychologiques et neurophysiologiques serait déclenchée, initiée par une hypotension systémique, une hypoxie, une hypercapnie, une altération de la production d'ATP et une baisse du pH, menant à une acidose cérébrale (14). Déclenchée par un déficit énergétique cellulaire, cette cascade induit une série de réponses cellulaires complexes, qui peuvent aboutir à une hyperexcitabilité neuronale dans des régions corticales associatives, notamment les lobes temporo-mésiaux, occipitaux, l'insula et la jonction temporo-pariéto-occipitale, régions clés associées à la conscience (15), permettant l'accès à la conscience du contenu perceptif de l'expérience (14). Une avancée majeure dans le domaine des EMI est la proposition que ces mécanismes neuronaux pourraient être similaires à ceux observés dans les intrusions de sommeil paradoxal (REM) (11). En bref, nous savons que des épisodes d'activité similaire au sommeil paradoxal, appelés «intrusions REM», peuvent survenir à l'état de veille normal (16), notamment lors des transitions entre états de conscience (par exemple, lors du réveil). Bien que de nombreuses questions subsistent quant aux mécanismes sous-jacents à l'intrusion REM (notamment en ce qui concerne son inhibition ou les déclencheurs spécifiques), ce phénomène pourrait contribuer à plusieurs caractéristiques prototypiques des EMI, telles qu'une perception inhabituelle de la lumière, l'atonie, l'euphorie et les sensations de sortie du corps, ceci s'expliquant probablement par une perturbation de la frontière physiologique entre les états de conscience par le système d'éveil du tronc cérébral, qui induit une fusion entre la veille et des éléments propres au sommeil paradoxal, aboutissant à un état hybride d'intrusion REM.

Cette hyperexcitabilité neuronale, associée à une augmentation de la fréquence de décharge neuronale, entraînerait une libération massive de neurotransmetteurs, pouvant entraîner une diversité d'effets, en fonction des systèmes de neurotransmetteurs impliqués (14). Parmi ces systèmes, de façon non exclusive, figurent les voies sérotoninergiques, glutamatergiques, noradrénergiques, cholinergiques, endorphinergiques, dopaminergiques, ainsi que le système GABAergique. Parmi les événements neurochimiques clés que nous postulons, nous proposons notamment une augmentation transitoire des endorphines, du GABA et de la disponibilité des récepteurs 5-HT<sub>1A</sub>, expliquant l'effet apaisant et les sensations de paix profonde ressentis durant l'EMI, et une hyperactivation des récepteurs 5-HT<sub>2A</sub> et une augmentation de la dopamine, à l'origine d'hallucinations visuelles vives. Le sentiment d'hyper-réalité intense, souvent rapporté par les personnes qui ont vécu une EMI, pourrait notamment être attribué à une libération accrue de dopamine. Le rôle du glutamate, plus difficile à préciser, pourrait impliquer un mécanisme de dissociation cognitive. Enfin, l'encodage en mémoire de ces épisodes pourrait être consolidé par une libération accrue de noradrénaline, d'acétylcholine et de glutamate, déclenchée par le stress ou la menace



## Take-home messages

- Les EMI ne constituent pas un phénomène rare: elles sont rapportées par environ 5% de la population générale et jusqu'à un patient sur cinq parmi ceux ayant survécu à un arrêt cardiaque.
- L'émergence d'une phénoménologie d'EMI survenant dans des contextes de crise physiologique aiguë sévère pourrait résulter d'une interaction simultanée entre processus neurophysiologiques et psychologiques, incluant notamment des réponses adaptatives aux menaces, conservées phylogénétiquement au cours de l'évolution.
- Sur le plan neurophysiologique, les EMI pourraient être induites par une réduction du débit sanguin cérébral, provoquant une hypotension systémique, une hypoxie, une hypercapnie, une acidose métabolique, ainsi qu'une excitabilité neuronale accrue, susceptible de perturber plusieurs systèmes neurotransmetteurs.
- D'un point de vue évolutif, les EMI pourraient puiser leurs origines dans des mécanismes de survie et de réaction au stress, la sérotonine jouant potentiellement un rôle clé via les récepteurs 5-HT1A (induisant un effet calmant et de bien-être) et 5-HT2A (généralisant les hallucinations perceptuelles).

vitale pour améliorer les capacités d'adaptation (voir 14 pour plus de détails quant aux mécanismes neurophysiologiques).

En parallèle à ces mécanismes neurophysiologiques, nous postulons également qu'une prédisposition individuelle à la dissociation (10) pourrait faciliter cette cascade neurophysiologique, la dissociation jouant alors un rôle défensif dans un contexte évolutif. Conformément à l'hypothèse formulée par Peinkhofer et collègues (12), nous suggérons que les EMI et la thanatose (le comportement passif consistant à simuler la mort en présence d'un prédateur, en vue d'échapper à la prédation) pourraient partager un objectif biologique commun, la survie, reposant au moins en partie sur des mécanismes sérotoninergiques. Selon cette théorie, la thanatose constituerait l'ancêtre évolutif des EMI. Avec l'évolution du cerveau et notamment l'émergence du langage, les humains auraient acquis la capacité de développer des expériences subjectives plus complexes, ainsi que la capacité de les relater et de les transmettre, transformant ainsi ce comportement de survie stéréotypé en une expérience subjective élaborée: les EMI (12). Il convient toutefois de noter que nous proposons que leur avantage évolutif soit limité aux situations impliquant une menace prédatrice, tandis que les EMI survenant dans des contextes non prédateurs pourraient ne pas remplir cette fonction adaptative (voir 12 pour plus de détails).

Bien que notre modèle vise à proposer un cadre intégratif, de nombreuses questions fondamentales demeurent cependant. L'une des plus cruciales concerne l'identification des combinaisons spécifiques de processus neurophysiologiques et psychologiques qui seraient nécessaires et/ou suffisantes à l'émergence d'une EMI. Néanmoins, ce modèle peut servir de levier pour orienter et structurer les futures recherches empiriques dans ce domaine, ce qui s'avère particulièrement pertinent étant donné que la recherche dans ce domaine n'est qu'à ses débuts et que la majorité des études reposent actuellement sur des données rétrospectives, en raison de leur caractère imprévisible.

## Conclusion

L'étude des mécanismes neurophysiologiques à l'origine des EMI contribue à éclairer comment des souvenirs riches et marquants pourraient constituer une réponse phylogénétiquement ancrée au stress physiologique extrême, que l'être humain peut vivre dans une variété importante de situations. Même si nous parvenons un jour à comprendre toutes les dimensions de la conscience humaine, les EMI conserveront probablement une place singulière dans l'exploration de la conscience humaine, en raison de leurs aspects extraordinaires et de leur impact profond sur les personnes qui les vivent. ■

### Références

1. Martial C, Cassol H, Laureys S, Gosseries O. Near-death experience as a probe to explore (disconnected) consciousness. *Trends Cogn. Sci.* 2020;24:173-183.
2. Martial C et al. The Near-Death Experience Content (NDE-C) scale: development and psychometric validation. *Conscious. Cogn.* 2020;86:103049.
3. Rousseau A-F et al. Incidence of near-death experiences in patients surviving a prolonged critical illness and their long-term impact: a prospective observational study. *Crit. Care* 2023;27:76.
4. Greyson B. Incidence and correlates of near-death experiences in a cardiac care unit. *Gen. Hosp. Psychiatry* 2003;25:269-276.
5. Knoblauch PH, Schmied I, Schnettler B. Different Kinds of Near-Death Experience: A Report on a Survey of Near-Death Experiences in Germany. *Journal of Near-Death Studies* 2001;20(1):15-29.
6. Charland-Verville V et al. Near-death experiences in non-life-threatening events and coma of different etiologies. *Front. Hum. Neurosci* 2014;8:203.
7. Martial C et al. EEG signature of near-death-like experiences during syncope-induced periods of unresponsiveness. *Neuroimage* 2024;298:120759.
8. Martial C et al. Neurochemical models of near-death experiences: a large-scale study based on the semantic similarity of written reports. *Conscious. Cogn.* 2019;69, 52-69.
9. Timmermann C et al. DMT models the near-death experience. *Front. Psychol.* 2018;9, 1424.
10. Greyson B. Dissociation in people who have near-death experiences: out of their bodies or out of their minds? *Lancet* 2000;355:460-463.
11. Nelson KR, Mattingly M, Lee SA, Schmitt FA. Does the arousal system contribute to near death experience? *Neurology* 2006;66:1003-1009.
12. Peinkhofer C, Martial C, Cassol H, Laureys S, Kondziella D. The evolutionary origin of near-death experiences: a systematic investigation. *Brain Commun.* 2021;3, fcab132.
13. Van Lommel P. Non-local consciousness a concept based on scientific research on near-death experiences during cardiac arrest. *J. Conscious. Stud.* 2013;20, 7-48.
14. Martial C; Fritz P; Gosseries O, Bonhomme V, Kondziella D, Nelson K, Lejeune N (in press). A neuroscientific model of near-death experiences. *Nature Reviews Neurology.*
15. Koch C, Massimini M, Boly M, Tononi G. Neural correlates of consciousness: progress and problems. *Nat Rev Neurosci.* 2016;17:307-321.
16. Peever J, Fuller PM. The biology of REM sleep. *Curr. Biol.* 2017;27:R1237-R1248.