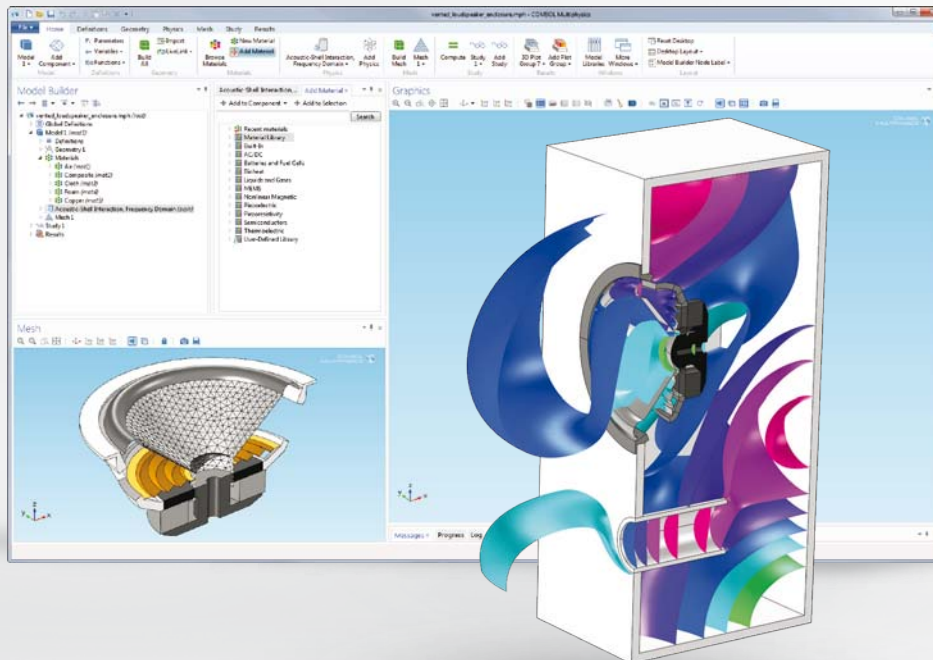


ENCEINTE ACOUSTIQUE: Ondes de pression émises par un haut-parleur. Ce modèle couple l'électromagnétisme dans la bobine, la mécanique des structures dans la membrane ainsi que l'acoustique à l'intérieur et autour de l'enceinte.



TESTEZ ET OPTIMISEZ VOS DESIGNS AVEC **COMSOL MULTIPHYSICS®**

Nos outils de simulation multiphysique intègrent tous les effets physiques du monde réel. De ce fait, ils reproduisent avec précision le comportement de vos designs. Pour en savoir plus sur COMSOL Multiphysics, rendez-vous sur www.comsol.fr

Product Suite

COMSOL Multiphysics

ELECTRICAL

AC/DC Module
RF Module
Wave Optics Module
MEMS Module
Plasma Module
Semiconductor Module

MECHANICAL

Heat Transfer Module
Structural Mechanics Module
Nonlinear Structural Materials Module
Geomechanics Module
Fatigue Module
Multibody Dynamics Module
Acoustics Module

FLUID

CFD Module
Mixer Module
Microfluidics Module
Subsurface Flow Module
Pipe Flow Module
Molecular Flow Module

CHEMICAL

Chemical Reaction Engineering Module
Batteries & Fuel Cells Module
Electrodeposition Module
Corrosion Module
Electrochemistry Module

MULTIPURPOSE

Optimization Module
Material Library
Particle Tracing Module

INTERFACING

LiveLink™ for MATLAB®
LiveLink™ for Excel®
CAD Import Module
ECAD Import Module
LiveLink™ for SolidWorks®
LiveLink™ for Inventor®
LiveLink™ for AutoCAD®
LiveLink™ for Creo™ Parametric
LiveLink™ for Pro/ENGINEER®
LiveLink™ for Solid Edge®
File Import for CATIA® V5

Méditation

Comment elle modifie le cerveau

Matthieu Ricard, Antoine Lutz et Richard Davidson

Les neurosciences explorent le cerveau des méditants. Et confirment les effets bénéfiques de ces très anciennes pratiques méditatives.

« **Q**uelle relation pourrait-il y avoir entre le bouddhisme, une ancienne tradition philosophique et spirituelle indienne, et la science moderne? ». Cette question était posée par Tenzin Gyatso, le quatorzième dalaï-lama (chef spirituel du bouddhisme tibétain), à la rencontre annuelle de la Société des neurosciences, à Washington, en 2005. Quelques centaines de participants – sur un total de 35 000 – avaient alors protesté contre la tribune qui lui était accordée, estimant qu'un chef religieux n'avait pas sa place dans une rencontre scientifique. Pourtant, la collaboration entre science et bouddhisme avait déjà commencé à porter ses fruits.

Le dalaï-lama a entrepris cette collaboration dès les années 1980, suscitant la création de l'Institut *Mind and Life* (Esprit et vie), dédié à l'étude de la « science contemplative ». En 2000, il a suggéré aux chercheurs d'étudier l'activité cérébrale de méditants bouddhistes « experts » – c'est-à-dire ayant entre 10 000 et 60 000 heures de pratique.

L'ESSENTIEL

- **La méditation, dont il existe diverses formes, s'est répandue dans le monde laïc. Elle est notamment pratiquée dans les hôpitaux et les écoles.**
- **Elle produit plusieurs effets bénéfiques sur le plan psychologique. Par exemple, les pratiquants contrôlent mieux leur attention et sont moins sensibles au stress.**
- **L'imagerie cérébrale et d'autres techniques ont permis de montrer qu'elle modifie l'activité et la structure du cerveau.**

Pendant près de 15 ans, plus de 100 méditants bouddhistes – moines et laïques, orientaux et occidentaux, hommes et femmes – et de nombreux débutants ont participé à des expériences sur la méditation dans une vingtaine d'universités, dont celle du Wisconsin à Madison, aux États-Unis. Lors d'études d'imagerie, on a comparé l'activité cérébrale de méditants experts et novices. On a ainsi découvert de premiers éléments expliquant les multiples bénéfices cognitifs et émotionnels que peut apporter cette pratique. De fait, les objectifs de la méditation recoupent largement ceux de la psychologie clinique, de la psychiatrie, de la médecine préventive et de l'éducation. Un nombre croissant de recherches suggèrent qu'elle peut aider à traiter la dépression et la douleur chronique, ainsi qu'à développer un sentiment de bien-être général.

La découverte des bienfaits de la méditation coïncide avec des résultats récents sur la plasticité du cerveau adulte, qui peut être profondément modifié par l'expérience

vécue. Ainsi, chez un violoniste, une région cérébrale qui contrôle les mouvements des doigts s'agrandit progressivement à mesure qu'il apprend à jouer de son instrument. Un processus similaire semble se produire lors de la méditation. Le pratiquant régule ses états mentaux pour parvenir à une forme d'enrichissement intérieur, ce qui modifie le fonctionnement et la structure du cerveau. La méditation semble même susceptible d'augmenter la connectivité des circuits cérébraux et de produire des effets bénéfiques non seulement sur l'esprit et le cerveau, mais aussi sur l'ensemble du corps.

La méditation s'enracine dans les pratiques contemplatives de presque toutes les grandes religions. Elle est très présente dans les médias, mais avec diverses significations. Pour nous, pratiquer la méditation signifiera cultiver des qualités humaines fondamentales, telles que la stabilité et la

commence par adopter une posture physique confortable, ni trop tendue ni trop relâchée, et par souhaiter une transformation intérieure, ainsi que le bien-être des autres et le soulagement de leurs souffrances. Il doit ensuite stabiliser son esprit, trop souvent confus et envahi par un incessant bavardage intérieur. Cela passe par une libération des conditionnements mentaux.

Les neuroscientifiques commencent à découvrir ce qui se passe dans le cerveau au cours de trois types communs de méditation. Ces derniers ont été développés par le bouddhisme et sont désormais pratiqués dans le cadre de programmes laïques, au sein d'hôpitaux et d'écoles du monde entier.

La méditation du premier type, dite par attention focalisée, vise à apprivoiser et à centrer l'esprit sur le moment présent, tout en développant la vigilance.

Celle du deuxième type, qu'on appelle méditation de pleine conscience ou de surveillance ouverte (parfois aussi conscience non réactive), cultive une conscience plus neutre des émotions, des pensées et des sensations, pour éviter qu'elles deviennent incontrôlables et créent une détresse mentale. Dans cette pratique, le méditant demeure attentif à ses ressentis, sans se concentrer sur quelque chose en particulier.

Enfin, un autre type de méditation développe la compassion et l'altruisme envers les autres, tout en réduisant la tendance à rester centré sur soi-même.

Wendy Hasenkamp, de l'Université Emory aux États-Unis, et ses collègues ont utilisé l'imagerie cérébrale (l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, ou IRMf) pour identifier les réseaux neuronaux activés dans la méditation par attention focalisée. Dans le scanner, les participants ont appris à concentrer leur attention sur leur respiration. En général, durant cette forme de méditation, l'esprit se met à vagabonder, et le pratiquant doit en prendre conscience puis recentrer son attention sur le rythme régulier de l'inspiration et de l'expiration.

Le méditant allongé dans le scanner signalait quand son esprit vagabondait en appuyant sur un bouton. Les chercheurs ont identifié un cycle cognitif de quatre phases : un épisode de vagabondage de l'esprit, une prise de conscience de la distraction, un moment de réorientation de l'attention et une nouvelle phase d'attention focalisée.

Dans chacune des quatre phases, des circuits cérébraux particuliers s'activent. Lors de la première, durant laquelle l'esprit se laisse distraire, l'activité augmente dans le réseau dit du mode par défaut. Ce réseau comprend des régions du cortex préfrontal médian, du cortex cingulaire postérieur, du précuneus, du lobe pariétal inférieur et du cortex temporal latéral (voir l'encadré page ci-contre). Il s'active lorsque l'esprit vagabonde tout en étant impliqué dans la construction et la mise à jour de modèles internes du monde, fondés sur des souvenirs à long terme relatifs à soi ou aux autres.

Lors de la deuxième phase, où l'on prend conscience de la distraction, d'autres aires cérébrales s'activent, telles que l'insula antérieure (un repli du cortex au niveau des tempes) et le cortex cingulaire antérieur. Ces aires appartiennent au « réseau de la saillance ». Ce dernier réoriente la conscience vers ce qui est saillant et régule les sensations qui pourraient distraire le sujet au cours de la réalisation d'une tâche. Il jouerait un rôle clé dans la détection d'événements nouveaux et dans le transfert d'activité entre de vastes ensembles de neurones durant la méditation. Il pourrait déplacer l'attention en atténuant l'activité du réseau du mode par défaut, par exemple.

La troisième phase fait intervenir d'autres aires cérébrales, dont le cortex préfrontal dorso-latéral et le lobe pariétal inféro-latéral, qui réorientent l'attention du sujet en la détachant de tout élément susceptible de créer une diversion. Enfin, durant la quatrième et dernière phase, l'activité augmente dans une région située en arrière du front, le cortex préfrontal dorso-latéral, ce qui indique la focalisation de l'attention, sur la respiration par exemple.

Des champions de la concentration et de l'attention

Dans notre laboratoire à l'Université du Wisconsin, nous avons constaté que l'activité cérébrale dans ces aires liées à l'attention dépendait du niveau d'expérience du méditant. Par rapport aux novices, les pratiquants ayant médité plus de 10 000 heures présentaient une activité plus intense. Paradoxalement, pour les plus chevronnés de ces experts, le phénomène s'inversait : leur activité cérébrale était moins intense que celle de leurs confrères un peu moins

Moins

d'efforts sont

nécessaires aux meilleurs méditants pour atteindre une grande concentration : l'imagerie cérébrale le montre.

clarté de l'esprit, l'équilibre émotionnel, le souci des autres et même l'amour altruiste et la compassion – des qualités qui restent latentes tant que nous ne nous efforçons pas de les développer. C'est aussi une familiarisation avec une manière d'être plus sereine et plus souple.

La méditation est relativement simple et peut se pratiquer partout. Aucun équipement n'est nécessaire. Le méditant

LA MÉDITATION SOUS TOUTES SES FORMES

Les progrès techniques, en particulier dans le domaine de l'imagerie cérébrale, ont dévoilé l'activité du cerveau au cours des trois principales formes de méditation bouddhique. Les deux premières se nomment méditation par attention focalisée et méditation de pleine conscience. La troisième développe la compassion et l'altruisme. Les schémas ci-dessous retranscrivent le cycle d'événements qui surviennent pendant la méditation par attention focalisée, ainsi que les activations cérébrales correspondantes.

LA MÉDITATION PAR ATTENTION FOCALISÉE

Dans cette pratique, le méditant se concentre sur un « objet », en général sa respiration. Même chez le sujet expérimenté, l'esprit vagabonde et la concentration doit être rétablie. Différentes régions cérébrales s'activent lors de ces errements de l'attention.

LA MÉDITATION DE PLEINE CONSCIENCE

Cette pratique consiste à observer ses perceptions, ses sensations corporelles internes et ses pensées sans se laisser emporter par elles. Chez les méditants expérimentés, l'activité diminue dans les aires cérébrales liées à l'anxiété, telles que le cortex insulaire et l'amygdale.

LA COMPASSION ET L'ALTRUISME

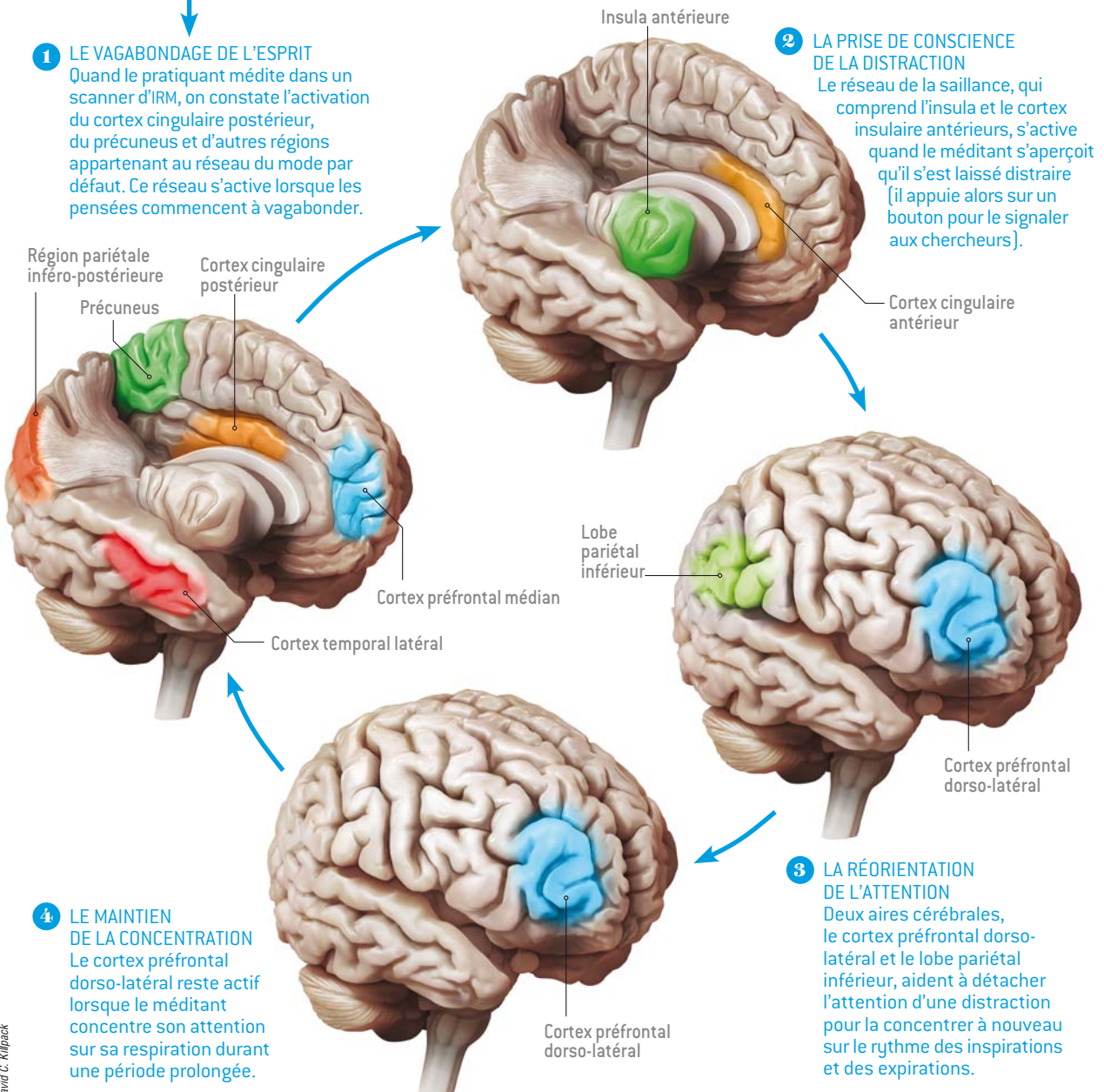
Le méditant cultive un sentiment de bienveillance envers les autres. Les aires cérébrales qui s'activent quand on se met à la place de quelqu'un d'autre (telle la jonction temporo-pariétale) le font plus intensément chez des pratiquants expérimentés que chez des sujets témoins.

1 LE VAGABONDAGE DE L'ESPRIT

Quand le pratiquant médite dans un scanner d'IRM, on constate l'activation du cortex cingulaire postérieur, du précuneus et d'autres régions appartenant au réseau du mode par défaut. Ce réseau s'active lorsque les pensées commencent à vagabonder.

2 LA PRISE DE CONSCIENCE DE LA DISTRACTION

Le réseau de la saillance, qui comprend l'insula et le cortex insulaire antérieurs, s'active quand le méditant s'aperçoit qu'il s'est laissé distraire (il appuie alors sur un bouton pour le signaler aux chercheurs).



expérimentés. Ainsi, les meilleurs méditants semblent avoir besoin de moins d'efforts pour atteindre une grande concentration, un peu comme les musiciens et les athlètes virtuoses s'immergent naturellement dans leur pratique, sans consacrer trop de peine à tout contrôler.

Dans une autre expérience, nous avons examiné des pratiquants de la méditation par attention focalisée avant et après une retraite de trois mois, lors de laquelle ils ont effectué des exercices intensifs pendant au moins huit heures par jour. Nous leur avons donné des casques diffusant des sons de fréquence fixe, parfois mélangés avec des sons légèrement plus aigus. Ils devaient se concentrer sur ce qu'ils entendaient et se manifester quand un son plus aigu retentissait. Après la retraite, les méditants avaient des temps de réaction moins variables que les sujets d'un groupe témoin dans cette tâche répétitive, propice aux distractions. Ce résultat suggère que les méditants avaient une capacité accrue de vigilance. En outre, les réponses électriques de leur cerveau aux sons de fréquence fixe étaient moins variables d'un essai à l'autre, signe que les méditants se laissaient moins absorber par des distractions pendant la tâche.

Le second type de méditation bien étudié implique aussi une forme particulière d'attention. Dans la méditation de pleine conscience, le méditant prend mentalement note de tout ce qu'il voit ou entend, de ses sensations corporelles internes et de son discours intérieur. Il reste conscient de ce qui se passe sans se préoccuper d'aucune perception ou pensée isolée, en revenant à cette concentration détachée chaque fois que son esprit vagabonde. À mesure que la conscience des événements environnants augmente, les sources d'irritation quotidiennes (un collègue en colère, un enfant agité) deviennent moins perturbatrices et une sensation de bien-être se développe.

Avec Heleen Slagter, alors membre de notre équipe, nous avons étudié les effets de cette forme de méditation, en mesurant la capacité des participants à détecter de brefs stimulus visuels. Dans ce type d'expérience, les sujets doivent détecter deux nombres qui se succèdent rapidement sur un écran parmi une suite de lettres. Si le second nombre apparaît environ 300 millisecondes

après le premier, il leur échappe souvent, un phénomène nommé clignement attentionnel. En revanche, s'il est présenté après un délai de 600 millisecondes, il est détecté sans difficulté.

Le clignement attentionnel reflète les limites de la capacité du cerveau à traiter deux stimulus rapprochés. Lorsqu'une partie trop importante de l'attention est consacrée au traitement du premier nombre, le second n'est pas toujours détecté. Nous avons émis l'hypothèse que l'entraînement à la méditation de pleine conscience réduit la propension à « rester collé » au premier nombre. Cette pratique développe une forme de conscience sensorielle non réactive, qui devrait réduire le clignement attentionnel.

Comme prévu, après trois mois de retraite intensive, les méditants percevaient les deux nombres plus souvent que les sujets témoins. Cette amélioration se traduisait par une diminution de l'intensité d'une onde cérébrale particulière, l'onde P3b, qui reflétait l'allocation des ressources attentionnelles au premier nombre. Les caractéristiques de cette onde suggéraient que les méditants étaient capables d'optimiser leur attention pour minimiser le clignement attentionnel.

Rester simplement conscient d'une sensation déplaisante, sans espoir ni crainte, est susceptible de réduire les réponses émotionnelles inadaptées et d'aider à ne plus s'en préoccuper, ce qui peut se révéler utile dans la gestion de la douleur. Dans notre laboratoire, nous avons étudié des pratiquants expérimentés pendant qu'ils s'adonnaient à une forme avancée de médi-

Les aires cérébrales liées à l'anxiété étaient moins actives chez les méditants expérimentés que chez les novices.

tation de pleine conscience, qualifiée de présence ouverte. Dans cette pratique, l'esprit est calme et détendu, n'est concentré sur aucun objet en particulier, mais reste clair, libéré de l'excitation ou de l'ennui. Le méditant observe la sensation douloureuse, sans chercher à l'interpréter, la changer, la rejeter ou l'ignorer. Nous avons constaté que la douleur restait aussi intense chez les méditants, mais qu'elle les dérangeait moins que les membres d'un groupe témoin.

Quel est votre rôle dans les expériences sur la méditation ?

Matthieu Ricard : Parce que j'étais passionné par ce type de recherche, j'ai accepté de participer à de nombreux programmes en tant que « cobaye ambulant ». Sans doute ne suis-je pas seulement un cobaye, car bien souvent je participe à la conception du protocole expérimental, puis à l'interprétation des résultats. Mon apport est alors notamment de les interpréter selon la perspective de la « première personne », c'est-à-dire du méditant.

Le processus de mesure perturbe-t-il la séance de méditation ?

M. R. : Les conditions sont bien sûr plus favorables à une méditation claire et stable sur le balcon de mon ermitage, face à l'Himalaya, au Népal, que lorsque je suis allongé dans un appareil d'IRM, étroit, sombre et bruyant. Cela étant, ce qui caractérise un méditant expérimenté, c'est sa capacité à concentrer son attention ou à cultiver l'amour altruiste dans toutes les circonstances. Les résultats des

Durant la période précédant le stimulus douloureux, les méditants expérimentés présentaient une activité cérébrale moins importante que les novices dans les aires liées à l'anxiété (le cortex insulaire et l'amygdale). En outre, ils s'accoutumaient plus vite à la douleur, les aires cérébrales liées à celle-ci s'activant moins après un certain nombre de stimulus. D'autres tests réalisés dans notre laboratoire ont montré que l'entraînement à la méditation augmente la capacité à contrôler et modérer les réponses physiologiques à un stress social : lorsque le sujet doit parler en public ou procéder à un calcul mental face à un jury sévère, par exemple, il développe moins d'inflammations et sécrète moins d'hormone de stress s'il est adepte de la méditation.

Plusieurs études ont révélé les bienfaits de la pleine conscience sur l'anxiété et la dépression, ainsi que sur le sommeil. Les patients déprimés peuvent utiliser la méditation pour gérer les pensées et les sentiments négatifs qui surviennent spontanément, et ainsi atténuer les ruminations. En 2000, les psychologues cliniciens John Teasdale, alors à l'Université

Matthieu Ricard : témoignage d'un cobaye volontaire



L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE DE MATTHIEU RICARD,
l'un des auteurs de l'article, est enregistrée
par électroencéphalographie pendant qu'il médite.

15 dernières années de recherche semblent confirmer cette capacité.

Les résultats neuroscientifiques ont-ils fait évoluer votre pratique ?

M. R. : J'ai longtemps pensé que ma participation à ces travaux ne changeait rien à ma pratique. Puis nous avons tenté de distinguer des états de conscience qui pourraient sembler proches, tels que l'empathie, l'amour altruiste et la compassion. Lorsque j'ai essayé de méditer séparément sur ces divers états, j'ai réalisé à quel point ils avaient des effets différents. Cela m'a beaucoup appris et m'a notamment fait comprendre, lors d'une collaboration avec Tania Singer, que les phénomènes d'épuisement émotionnel rencontrés chez le personnel soignant ne sont pas une « fatigue de la compassion » (comme le laisse supposer la terminologie anglo-saxonne, qui désigne ces phénomènes par ce terme). Il s'agirait plutôt d'une « fatigue de l'empathie », et la compassion est au contraire le remède à cette détresse empathique.

Les connaissances acquises permettent-elles de s'entraîner à la méditation via des techniques de neurofeedback, c'est-à-dire en observant son activité cérébrale en direct ?

M. R. : Je ne pense pas que les dispositifs simples de mesure et de retour d'information (*feedback*), fondés sur quelques électrodes, puissent beaucoup nous apprendre sur la méditation ou aider le méditant à s'entraîner. Nous avons réalisé quelques expériences avec T. Singer, grâce à des mesures par IRM avec un retour en temps réel : les méditants expérimentés étaient capables de moduler à volonté l'activation des aires cérébrales liées à l'empathie et à la bonté aimante, à divers niveaux demandés par l'expérimentateur (30 %, 60 % ou 90 % de leur capacité maximale). Mais pour moi comme pour d'autres, il était plus facile de moduler l'intensité de la bonté aimante sans le *feedback*, qui se révélait source de distraction !

*Propos recueillis
par Guillaume Jacquemont*

d'Oxford, et Zindel Segal, de l'Université de Toronto, ont fait pratiquer pendant six mois la méditation de pleine conscience à des patients qui avaient souffert d'au moins trois épisodes de dépression, en associant cette pratique à une thérapie cognitive. Au cours de l'année suivant la dernière dépression sévère, le risque de rechute était réduit de près de 40 %. Plus récemment, Z. Segal a montré que cette intervention est plus efficace qu'un placebo et équivalait à un traitement par antidépresseurs pour la prévention des rechutes.

La troisième forme de méditation étudiée cultive des attitudes et des sentiments de bonté bienveillante et de compassion envers les autres, qu'ils soient de proches parents, des étrangers ou des ennemis. Cette pratique consiste à prendre conscience des besoins de quelqu'un d'autre, puis à ressentir un désir sincère de l'aider ; on peut aussi souhaiter soulager la souffrance d'autres personnes en les protégeant contre leur propre comportement destructeur.

Se mettre dans un état compatissant peut amener le méditant à entrer en résonance empathique avec une autre personne,

c'est-à-dire à ressentir les mêmes choses qu'elle, mais l'inverse n'est pas toujours vrai. Il ne suffit pas d'une résonance empathique pour entraîner la compassion, et la méditation doit aussi être conduite par un désir désintéressé d'aider quelqu'un qui souffre. On a montré que cette forme de méditation pouvait bénéficier aux professionnels de la santé, aux enseignants et à toutes les personnes susceptibles d'être épuisées émotionnellement par leurs réactions empathiques à la détresse des autres.

La compassion, plus vaste que l'empathie

Le méditant commence par se concentrer sur un sentiment inconditionnel de bienveillance et d'amour pour les autres, en répétant silencieusement une phrase du type : « Que tous les êtres vivants trouvent le bonheur et les causes du bonheur et soient libérés de la souffrance et des causes de la souffrance. » En 2008, nous avons étudié des volontaires expérimentés qui s'étaient entraînés pendant des milliers d'heures. Nous avons observé une augmentation

de l'activité dans plusieurs régions cérébrales pendant qu'ils écoutaient des voix empreintes de détresse. Chez eux, le cortex somatosensoriel secondaire et le cortex insulaire, qui participent à l'empathie et à d'autres réponses émotionnelles, s'activaient plus fortement en réponse à ces voix que chez des sujets témoins. Cela suggère une capacité accrue de partager les émotions des autres, sans qu'aucun signe d'accablement émotionnel n'ait été observé. La pratique de la méditation compassionnelle entraîne également une augmentation d'activité dans des régions telles que la jonction temporo-pariétale, le cortex préfrontal médian et le sulcus temporal supérieur, qui s'activent lorsque nous nous mettons à la place de quelqu'un d'autre.

Plus récemment, Tania Singer et Olga Klimecki, de l'Institut Max Planck à Leipzig, en Allemagne, ont cherché à distinguer les effets de l'empathie et de la compassion chez les méditants, en collaboration avec l'un d'entre nous (M. Ricard). Ils ont constaté que la compassion et l'amour altruiste étaient associés à des émotions positives, tandis que l'épuisement émotionnel serait une

sorte de fatigue empathique. D'après la tradition contemplative bouddhique, dont dérive cette pratique, la compassion, loin de conduire à la détresse et au découragement, renforce la puissance de l'esprit, l'équilibre intérieur et la détermination à aider ceux qui souffrent. Quand un enfant est hospitalisé, la présence de sa mère est plus bénéfique si elle tient sa main et le réconforte que si, accablée par une détresse empathique et incapable de supporter la vue de son enfant malade, elle fait les cent pas dans le vestibule. Dans le second cas, la mère peut finir par ressentir un épuisement émotionnel, à l'instar de 60 % des soignants américains.

Pour explorer plus avant les mécanismes de la compassion et de l'empathie, O. Klimecki et T. Singer ont réparti près

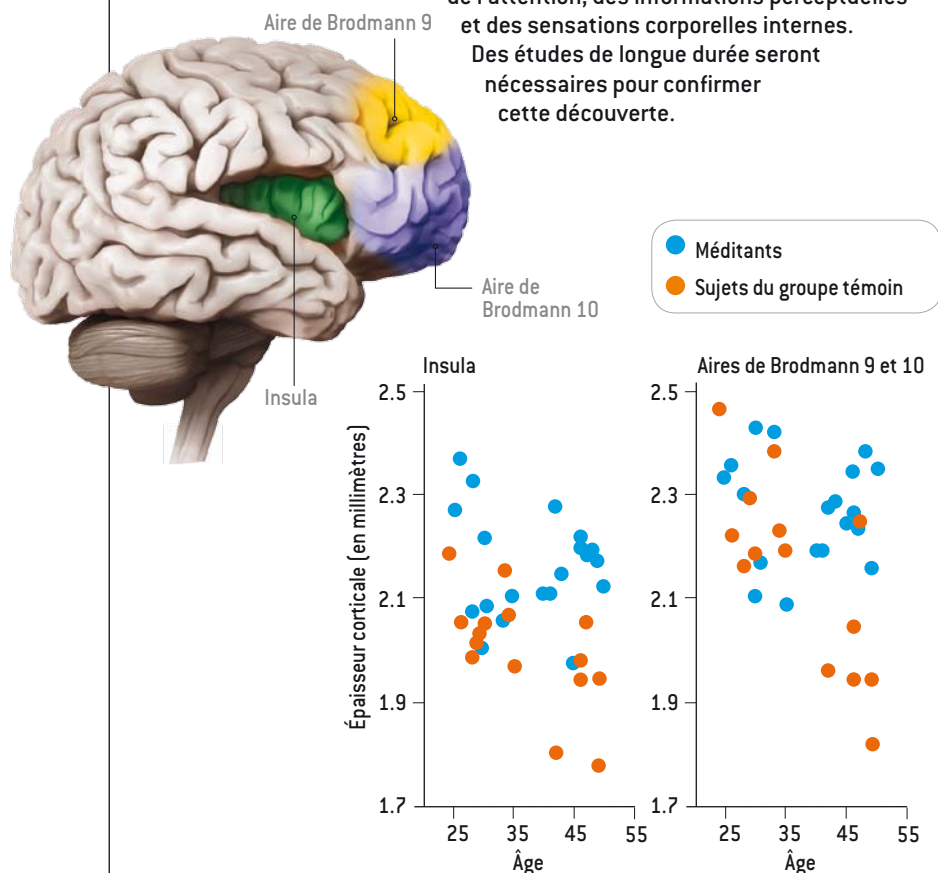
de 60 volontaires en deux groupes. Ceux du premier ont médité sur l'amour et la compassion, tandis que ceux du second ont suivi un protocole expérimental visant à développer leurs sentiments d'empathie envers les autres. Après une semaine de ce traitement, les chercheuses ont analysé les réactions des sujets à des vidéos de personnes qui souffrent. Leurs résultats, préliminaires, montrent que les participants du premier groupe ont éprouvé des sentiments plus positifs et bienveillants, tandis que ceux du second ont ressenti des émotions en profonde résonance avec les souffrances présentées. Ces émotions ont déclenché des pensées et d'autres sentiments négatifs, qui ont abouti à une plus grande détresse et parfois à une perte de contrôle.

Conscientes de ces effets déstabilisants, T. Singer et O. Klimecki ont prescrit au groupe qui avait développé son empathie des séquences de méditation pour travailler la compassion et la bonté aimante. L'exercice a contrebalancé les effets préjudiciables de l'entraînement à l'empathie : les émotions négatives ont diminué et les émotions positives ont augmenté. Ces résultats s'accompagnaient de changements au sein de plusieurs réseaux cérébraux associés à la compassion, aux émotions positives et à l'amour maternel, incluant le cortex orbito-frontal, le striatum ventral et le cortex cingulaire antérieur. En outre, les chercheuses ont montré qu'une semaine d'entraînement à la compassion favorisait les comportements prosociaux dans un jeu virtuel développé pour mesurer la capacité à aider les autres.

QUAND LA MÉDITATION GONFLE LE CERVEAU

Une équipe de chercheurs de plusieurs universités a montré que la méditation modifie la structure du cerveau. En observant ce dernier par imagerie par résonance magnétique (IRM), ces scientifiques ont découvert que les pratiquants expérimentés présentaient un volume plus important de tissu cérébral que les sujets du groupe témoin dans l'insula et dans le cortex préfrontal, plus précisément dans les aires de Brodmann 9 et 10 (voir les graphiques). Ces régions sont impliquées dans le traitement

de l'attention, des informations perceptuelles et des sensations corporelles internes. Des études de longue durée seront nécessaires pour confirmer cette découverte.



Une porte d'accès à la conscience

De façon générale, la méditation offre un moyen d'étudier la conscience et les états mentaux subjectifs. Lors d'une séance de méditation compassionnelle, nous avons mesuré par électroencéphalographie (EEG), à l'aide d'électrodes posées sur le crâne, l'activité électrique du cerveau de pratiquants bouddhistes expérimentés. Durant de telles séances, les méditants décrivent des fluctuations de la sensation du soi, auparavant stable et bien définie.

Nous avons constaté que ces pratiquants arrivaient à créer un motif particulier dans le tracé électroencéphalographique. Il s'agissait d'oscillations de grande amplitude dans la bande de fréquences dite gamma (entre 25 et 42 hertz), ce qui traduit une synchronisation importante de l'activité neuronale à ces fréquences. Une telle synchronisation pourrait être cruciale dans l'intégration de divers aspects cognitifs et affectifs pendant l'apprentissage et la perception consciente. En effet, elle permettrait la mise en œuvre de réseaux neuronaux temporaires chargés de cette intégration, un phénomène susceptible d'aboutir à des changements durables dans les connexions cérébrales.

Les oscillations de forte amplitude persistaient pendant plusieurs dizaines de secondes et s'intensifiaient au fil de la méditation. Les tracés électroencéphalographiques différaient de ceux des sujets témoins, en particulier au niveau du cortex fronto-pariétal latéral. Chez les méditants expérimentés, cette activité

© D'après S. W. Lazar et al., *Neuroreport*, 2006.

cérébrale particulière pourrait traduire une meilleure conscience de l'environnement et des processus mentaux intérieurs, bien que des recherches complémentaires soient nécessaires pour mieux comprendre le fonctionnement des oscillations gamma.

Des aires cérébrales qui changent de volume

La méditation modifie également le volume de certaines aires cérébrales, sans doute en raison de changements du nombre de connexions entre cellules nerveuses. Une étude préliminaire menée par Sara Lazar, de l'Université Harvard aux États-Unis, et ses collègues a révélé des différences entre l'insula et le cortex préfrontal de méditants expérimentés et de sujets d'un groupe témoin. Plus précisément, le volume de matière grise (constituée essentiellement des corps cellulaires de neurones) n'était pas le même dans les régions nommées aires de Brodmann 9 et 10, souvent activées pendant la méditation. Ces différences étaient supérieures chez les participants les plus âgés, suggérant que la méditation influe sur l'amincissement cortical provoqué par le vieillissement.

S. Lazar et ses collègues ont aussi découvert un effet de la méditation de pleine conscience sur l'amygdale, une aire cérébrale intervenant dans le traitement de la peur. Ils ont entraîné à cette forme de méditation des sujets dont ils mesuraient par ailleurs la sensibilité au stress. Pour ceux chez qui cette sensibilité diminuait le plus, les chercheurs ont constaté un rétrécissement de l'amygdale.

Dans une autre étude, Eileen Luders, de l'Université de Californie à Los Angeles, et ses collègues ont observé chez les méditants certaines spécificités des axones (des prolongements neuronaux pouvant relier différentes régions cérébrales), qui suggéraient une multiplication des connexions cérébrales. Tous ces résultats semblent accréditer l'idée que la méditation entraîne des modifications structurales dans le cerveau. Cependant, on manque d'études de longue durée, où un groupe est suivi sur plusieurs années, ainsi que de comparaisons systématiques entre des méditants et des personnes de milieux et d'âges similaires qui ne méditent pas.

Quelques études suggèrent que la méditation ne modifie pas que le cerveau, mais aussi le reste du corps. Elle pourrait ainsi atténuer les inflammations et d'autres stress moléculaires. Une équipe dirigée par Perla

■ LES AUTEURS



Matthieu RICARD est docteur en génétique cellulaire et moine bouddhiste tibétain.



Antoine LUTZ est chercheur à l'Université du Wisconsin à Madison, aux États-Unis, et chargé de recherche de l'Inserm au Centre de recherche en neurosciences de Lyon.



Richard DAVIDSON dirige le Laboratoire Waisman d'imagerie cérébrale et du comportement, à l'Université du Wisconsin à Madison.

Kaliman, de l'Institut de recherche biomédicale de Barcelone, a montré tout récemment que chez des pratiquants expérimentés, une journée intensive de méditation de pleine conscience influe sur les enzymes régulant la lecture du génome et diminue l'expression de gènes responsables des inflammations.

Cliff Saron, de l'Université de Californie à Davis, a étudié l'effet de la méditation sur la longévité des cellules. Il s'est intéressé à une enzyme nommée télomérase, qui rallonge des segments d'ADN à l'extrémité des chromosomes. Ces segments, les télomères, assurent la stabilité du matériel génétique pendant la division cellulaire. Ils raccourcissent chaque fois qu'une cellule se divise et, quand leur longueur descend sous un seuil critique, la cellule stoppe ses divisions pour entrer en sénescence. Après que les méditants eurent effectué une retraite, l'activité de la télomérase était plus élevée chez ceux dont le stress psychologique avait le plus diminué que chez les sujets d'un groupe témoin. Cette découverte suggère que la méditation de pleine conscience pourrait ralentir le vieillissement cellulaire chez certains pratiquants.

Un chemin vers le bien-être... et vers des sociétés meilleures ?

Près de 15 années de recherche révèlent qu'une pratique assidue de la méditation modifie l'organisme. Des études complémentaires sont nécessaires pour isoler les effets de cette pratique de ceux d'autres facteurs psychologiques. Par exemple, les résultats peuvent être influencés par le degré de motivation d'un pratiquant, par le charisme de l'enseignant ou par les échanges avec les autres élèves dans un groupe de méditation. De multiples paramètres restent également à étudier : éventuels effets négatifs, durée optimale des sessions, ajustements aux besoins individuels...

Quoi qu'il en soit, les recherches sur la méditation apportent de nouvelles connaissances sur les méthodes d'entraînement mental, susceptibles d'améliorer la santé et le bien-être. Non moins important, la compassion, avec d'autres qualités humaines, est le fondement d'un cadre éthique indépendant de toute philosophie ou religion, et leur développement par la méditation pourrait bénéficier à nos sociétés. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

W. Hasenkamp *et al.*, **Mind wandering and attention during focused meditation : a fine-grained temporal analysis of fluctuating cognitive states**, *NeuroImage*, vol. 59(1), pp. 750-760, 2012.

Dossier **La méditation**, *Cerveau&Psycho*, n° 52, pp. 20-46, juillet-août 2012.

A. Lutz *et al.*, **Mental training enhances attentional stability : neural and behavioral evidence**, *Journal of Neuroscience*, vol. 29(42), pp. 13418-13427, 2009.

M. Ricard, **Plaidoyer pour le bonheur**, Nil Éditions, 2003.



Le noyau atomique

entre liquide et cristal

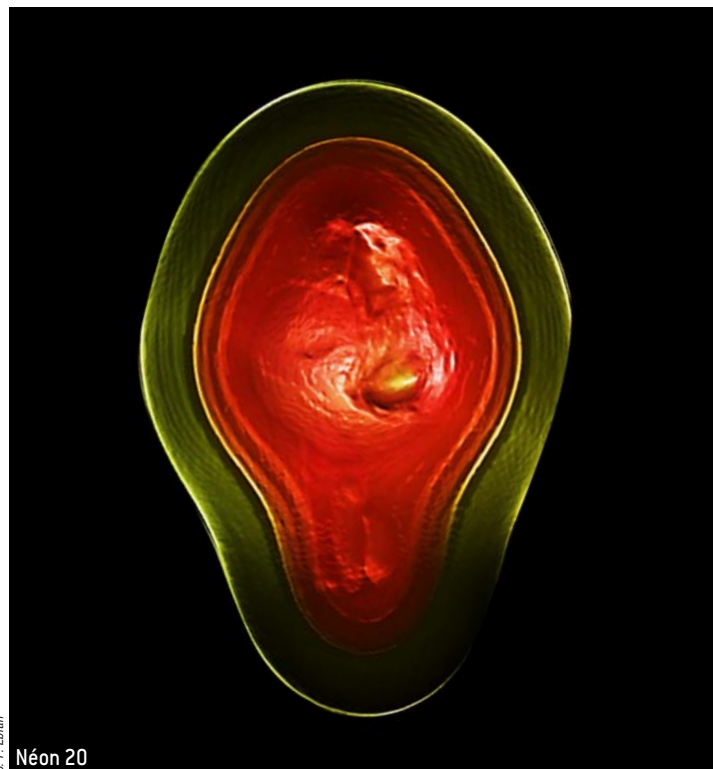
**Aplati, en poire, plutôt liquide, avec un halo... :
le noyau des atomes présente toute une variété
de formes et d'états. Une diversité
que les physiciens commencent à expliquer.**

Jean-Paul Ebran et Elias Khan

La matière qui nous entoure est composée d'atomes, mais à quoi ressemblent-ils ? Héritée du modèle du physicien néo-zélandais Ernest Rutherford (1871-1937), la représentation la plus courante d'un atome est celle d'un système planétaire microscopique, où des électrons sont en orbite autour d'un noyau sphérique. Avec la mécanique quantique, la représentation s'est affinée en faisant correspondre au cortège électronique un nuage (de densité de probabilité de présence des électrons) plutôt que des orbites. Quant au noyau atomique, est-il vraiment sphérique ? Les physiciens qui l'étudient en ont une image bien plus complexe. Les modèles théoriques et les expériences ont mis en évidence des noyaux aplatis, en bulle, en forme de poire ou de banane, des noyaux dont la structure rappelle celle des molécules (*voir les illustrations ci-contre*), etc.

Cependant, plus d'un siècle après sa découverte, le noyau atomique n'a pas livré tous ses secrets. Nous ne disposons pas d'une vision globale du noyau qui permette d'expliquer cette diversité de structures dans un cadre unique. Et pour cause, le noyau est un objet quantique difficile à étudier : il est constitué d'éléments eux-mêmes complexes, et trois des quatre forces fondamentales de la nature participent à la dynamique de cet assemblage.

L'idée que la variété découle d'un petit nombre de règles fondamentales n'est pas nouvelle. Les chimistes



J.-P. Ebran

Néon 20