Cahiers de systémique
2026, 8, p. 67-86
https://www.groupepsi.com/cahiers-de-systemique
ISSN 2968-0190
DOI : https://doi.org/10.5281/zenodo.23256695

Hatha yoga et système nerveux
Quelles preuves scientifiques dans les contextes normaux et pathologiques ?

Nathalie LERESCHE

Directrice de recherche émérite CNRS
Centre de Neuroscience de Sorbonne Université (NeuroSU) (CNRS UMR8265/Inserm U1341)
Institut de Biologie Paris-Seine (IBPS)

nathalie.leresche@sorbonne-universite.fr

Résumé

Le yoga moderne met en avant l'amélioration du bien-être et de la santé. Cela repose-t-il sur des preuves scientifiques ? Une analyse des travaux référencés dans PubMed concernant les effets du hatha yoga sur le système nerveux révèle un corpus limité, composé majoritairement d'articles de synthèse plutôt que d'études expérimentales. L'examen rigoureux de ces dernières met en évidence leur fragilité : échantillons de petite taille, biais méthodologiques, facteurs confondants non contrôlés, différences entre groupes « yoga » et « contrôle » non statistiquement significatives. En l'état actuel, les données scientifiques ne permettent donc pas d'établir des effets spécifiques, directs et causaux du hatha yoga sur le système nerveux, que ce soit en conditions physiologiques ou pathologiques. L'interprétation des bienfaits du hatha yoga rapportés par les pratiquants doit considérer, au-delà des effets moteurs et respiratoires partagés avec de nombreuses autres formes d'activité physique, l'influence de facteurs contextuels tels que la relation avec l'enseignant, le groupe, le cadre de pratique ainsi que les effets placebo éventuels.

Abstract – Hatha Yoga and the Nervous System: What Scientific Evidence in Normal and Pathological Contexts?

Modern yoga has gradually shifted its focus towards improving wellbeing and health. But to what extent is this perspective based on scientific evidence? An analysis of studies from the PubMed database on the effects of hatha yoga on the nervous system reveals a limited number of publications, the majority of which are review articles rather than experimental studies. A rigorous analysis of the primary studies reveals inconclusive results in most of these studies due to small sample sizes, methodological biases, the presence of confounding factors and the absence of statistically significant differences between the 'yoga' and 'control' groups. Thus, current scientific data do not support the demonstration of specific, direct and causal effects on the nervous system, whether under physiological or pathological conditions. In order to interpret the benefits of practising hatha yoga as perceived and reported by practitioners, it is important to take into account not only the motor and respiratory effects common to many physical activities, but also the role played by the relationship with the teacher and the group, the generally supportive environment in which the practice takes place, and any potential placebo effect.

Mots-clés

Revue narrative – Hatha yoga – Neurosciences – Causalité scientifique – Biais de vulgarisation – Diplomatie du yoga

Keywords

Narrative Review – Hatha yoga – Neuroscience – Scientific Causality – Popularization Bias – Yoga Soft Power

INTRODUCTION

Comme le souligne Y. Tardan-Masquelier dans un article intitulé « Le yoga, une philosophie de la délivrance devenue pratique de santé ? », l'un des objectifs fondamentaux communs à l'ensemble des traditions historiques du

yoga indien réside dans la délivrance de la souffrance existentielle, désignée par le terme *duḥkha*. Cette finalité s'inscrit cependant dans une perspective métaphysique et spirituelle et non médicale, bien que la pratique du yoga, en raison de sa dimension corporelle, ait pu être perçue comme produisant certains effets physiologiques. À partir du XVIe siècle la prise en considération du corps et la reconnaissance d'un rôle possible du yoga dans la préservation de la santé commencent à se développer au sein de certaines élites de la société indienne — d'abord dans les cours princières, puis parmi les maîtres de maison (Tardan-Masquelier, 2025).

La circulation des savoirs entre l'Inde et l'Occident à partir du XIXe siècle, conjuguée à la diffusion du yoga hors de son contexte culturel d'origine, contribua à accentuer cette orientation corporelle et hygiéniste. Plusieurs maîtres yogis illustrent ce mouvement, je n'en citerai que quatre. Au début du XX° siècle, Shri Yogendra qui dans sa jeunesse s'était immergé dans ce qui s'appelait alors la culture physique, fonda en 1918 le premier centre de yoga à Versova où il transforma le hatha yoga traditionnel et méditatif en un hatha yoga moderne qui mettait l'accent sur les postures (*āsana*). À la même période Swami Kuvalayananda conçut à Lonavla en 1924 un complexe intégrant une clinique, un laboratoire, une maison d'édition, un auditorium et des studios d'exercices dans le but de mener des expériences sur les aspects physiques du hatha yoga (Goldberg, 2021). Il développa également une méthode d'apprentissage du yoga constituée d'exercices collectifs qui faisait partie des programmes éducatifs gouvernementaux destinés à développer les capacités physiques des enfants (Ceballos, 2021). À la cour du maharaja de Mysore, Krishnamacharya façonna à partir de 1933 son propre système d'exercices physiques yogiques. L'un de ses disciples, B.K.S. Iyengar fonda en 1975 un institut qui a contribué à populariser à travers le monde ce yoga basé sur la posture (Ceballos, 2021).

Le yoga moderne s'est ainsi développé comme une discipline centrée sur la prévention de la santé physique et la recherche du bien-être, s'éloignant de la visée métaphysique originelle qui animait les formes traditionnelles de yoga. Aux USA, selon le National Center for Complementary and Integrative Health (NCCIH), le yoga est la forme de thérapie complémentaire la plus populaire, pratiquée par plus de 13 millions d'adultes, dont 58 % citent la préservation de la santé et la quête du bien-être comme motivations de leur pratique (Clarke, 2015). En 2021, une enquête sur la pratique du yoga en France annonce que 7,9 millions de français adultes (soit 15% de la population adulte) pratiquent le yoga régulièrement. Pour ces pratiquants les bénéfices recherchés sont, avant tout, l'amélioration du bien-être général (pour 76%) et une meilleure forme physique (pour 38%), les deux réponses n'étant pas exclusives l'une de l'autre[1].



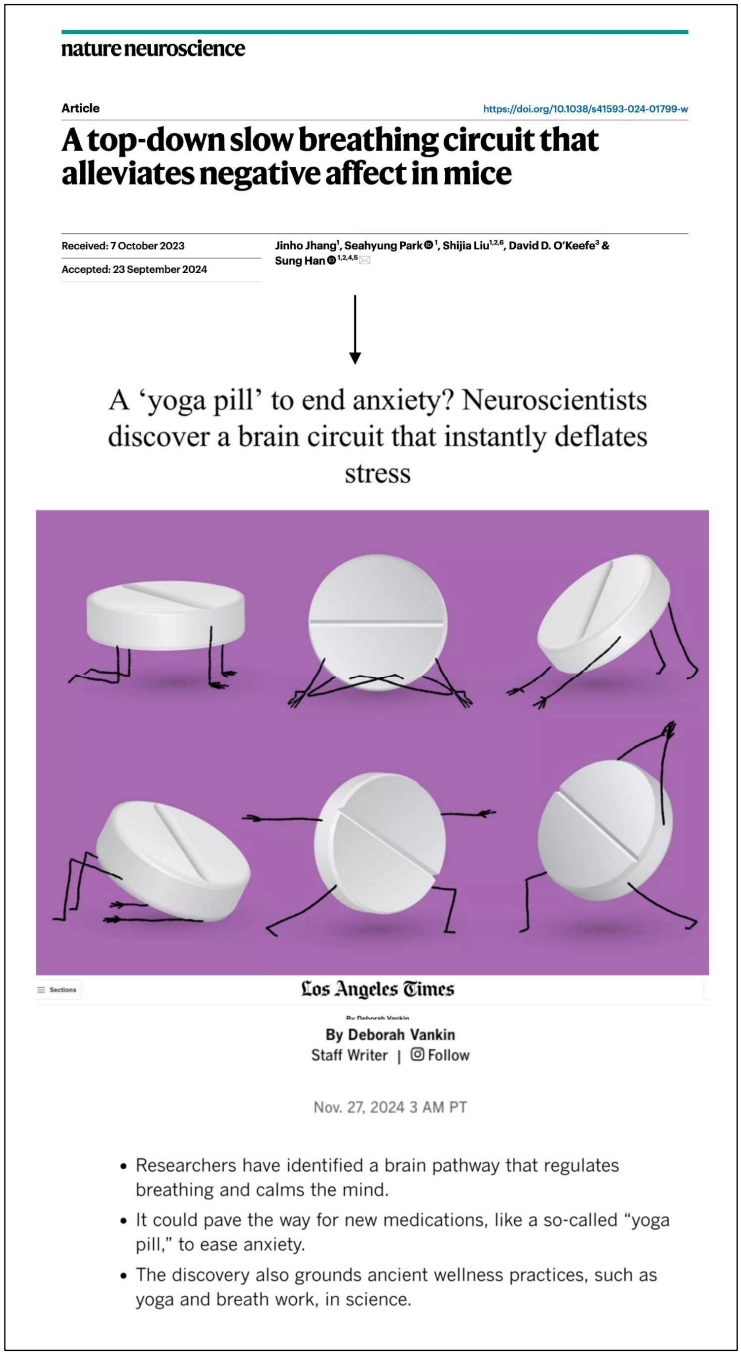
Figure 1 : Quelques exemples de publications qui affichent un lien entre la pratique du yoga et des effets thérapeutiques

Cette évolution du regard fait entrer le yoga dans le champ – en pleine expansion – des interventions thérapeutiques non-médicamenteuses. À côté de structures privées comme l'Institut de Yoga Thérapie qui affiche clairement « un yoga adapté sur mesure à chacun, pour développer sa santé »[2], le yoga apparait maintenant dans l'intitulé de certaines formations universitaires comme, par exemple, le Diplôme Universitaire « Médecine fonctionnelle et Yogathérapie » délivré par Cergy Paris Université qui « propose aux professionnels de la santé, de la prévention ou

1. Enquête sur la pratique du yoga : https://snpy.fr/enquetes/grande-enquete-pratique-yoga-en-france/
2. https://www.idyt.com/

de l'éducation et professeurs de yoga, une formation certifiante aux outils d'une médecine globale et complémentaire, intégrant le yoga thérapeutique et la micronutrition »[3].

Cette approche du yoga comme activité de « bien-être » bénéfique pour la santé est largement diffusée et plébiscitée tant dans la presse grand public que dans des ouvrages proposant explicitement une approche thérapeutique (figure 1). Tout pratiquant du yoga a été confronté à ce type de discours. Qui n'a pas déjà entendu, « Ah, tu fais du yoga, ça doit être super pour le stress ! » ? Cette image du yoga comme une activité apaisante, porteuse de bien-être, est également un levier majeur du développement des cours de yoga en entreprise (Fahsi, 2023).


nature neuroscience

Article

https://doi.org/10.1038/s41593-024-01799-w

A top-down slow breathing circuit that alleviates negative affect in mice

Received: 7 October 2023

Accepted: 23 September 2024

Jinho Jhang[1], Seahyung Park[1], Shijia Liu[1,2,6], David D. O'Keefe[3] & Sung Han[1,2,4,5]

A 'yoga pill' to end anxiety? Neuroscientists discover a brain circuit that instantly deflates stress

Los Angeles Times

By Deborah Vankin

Staff Writer | Follow

Nov. 27, 2024 3 AM PT

- Researchers have identified a brain pathway that regulates breathing and calms the mind.
- It could pave the way for new medications, like a so-called "yoga pill," to ease anxiety.
- The discovery also grounds ancient wellness practices, such as yoga and breath work, in science.

Cette image du yoga véhiculée auprès du grand-public reprend, en général sans esprit ni analyse critique, des résultats de recherches scientifiques dont la qualité est parfois contestable. De plus, certains chercheurs surfent sur l'engouement actuel pour le yoga afin d'accroitre la visibilité et l'attrait de leurs propres travaux, même lorsque ceux-ci n'ont aucun lien avec cette pratique. Un article publié en 2024 dans la prestigieuse revue scientifique Nature Neuroscience constitue un exemple caractéristique de cette dérive. Les chercheurs ont mis en évidence chez les souris un circuit cérébral qui joue un rôle important dans la coordination de la respiration avec le comportement et les états émotionnels (Jhang et al., 2024). Le mot « yoga » ne figure pas dans l'article mais un des auteurs a parlé de « pilule du yoga » devant les journalistes. Les résultats de cette étude de neurosciences fondamentales ont ainsi été vulgarisés dans un grand journal comme le *Los Angeles Times*, puis par plusieurs radios françaises, sous le titre accrocheur de « la pilule du yoga pour réduire l'anxiété » (Figure 2). Si le lien entre respiration et émotion est bien établi, extrapoler de cette manière des données issues de recherches fondamentales menées chez des rongeurs est audacieux.

Figure 2 : En haut : titre de l'article publié dans Nature Neuroscience « Un circuit neuronal respiratoire descendant (top-down) qui ralenti la respiration et atténue les affects négatifs chez les souris ».

En bas : Présentation vulgarisée de l'article de Nature Neuroscience dans le Los Angeles Time.

3. https://www.cyu.fr/formation/trouver-sa-formation/formation-professionnelle-et-continue/diplomes-universitaires-du-specifiques/du-mfy

La notion de causalité est problématique en neurosciences, comme dans toute science expérimentale. Il faut donc analyser scientifiquement la possibilité d'une telle causalité : Existe-t-il des données expérimentales permettant d'établir un lien statistiquement significatif entre la pratique spécifique du hatha yoga et des modifications structurelles ou fonctionnelles du système nerveux ?

MÉTHODE

À partir de la base de données « Medline », gérée par la National Library of Medicine[4], qui référence plus de 37 millions d'articles biomédicaux et de sciences de la vie, j'ai identifié les articles portant sur les effets de la pratique du yoga sur le système nerveux. Je n'ai retenu que les études qui analysent spécifiquement des cohortes de pratiquants de hatha yoga, en excluant celles qui analysent de manière globale des cohortes mélangeant des pratiquants de plusieurs activités : yoga, méditation de pleine conscience, tai chi, qi gong, etc. Tous les articles référencés dans la base de données Medline sont publiés dans des journaux à comité de lecture, ce qui signifie qu'ils ont été expertisés avant leur publication par des chercheurs spécialistes du domaine.

Pour décrire fidèlement l'état de la science et rester collée aux résultats expérimentaux, je n'ai pris en considération, pour mon analyse, que les articles « princeps », c'est-à-dire ceux où les auteurs présentent les résultats de leurs propres expériences. J'ai exclu les articles de synthèse, appelés « reviews articles », qui permettent d'avoir rapidement une approche du sujet, mais qui n'apportent aucune preuve expérimentale nouvelle et qui privilégient l'interprétation de leurs auteurs.

Toutefois, j'ai complété ce travail par une analyse des études cliniques en m'appuyant sur les revues systématiques publiées par Cochrane. Dans toute la base Cochrane je n'en ai trouvé que deux qui s'intéressent aux effets spécifiques du yoga sur des pathologies du système nerveux (Utilisation de la pratique du yoga pour le traitement d'épilepsies, Yoga versus soins standard pour la schizophrénie).

RÉSULTATS

1. Corpus de l'étude

Définir le corpus d'étude est une étape fondatrice de toute méta-analyse d'une littérature scientifique afin de structurer les connaissances sur un sujet donné et d'éviter tout biais de sélection dans cette première étape. Loin d'être une simple cartographie numérique, cette démarche préliminaire fourni des enseignements précieux. Le nombre des publications, l'origine géographique et institutionnelle des auteurs, ainsi que le choix des revues scientifiques offrent déjà des éclairages significatifs sur le champ étudié.

En utilisant comme termes de recherche les mots clés « Yoga AND Neuron* » et « Yoga AND Neuroscience » et en cumulant dans un premier temps les articles princeps (articles primaires) et les articles de revues (review articles), on obtient respectivement 32 et 213 articles dont la publication au cours du temps est présentée par les histogrammes suivants (Figure 3).

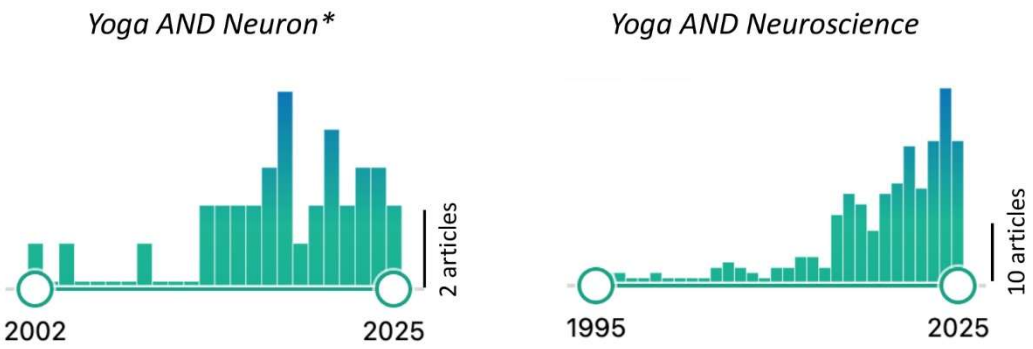


Figure 3 : Distribution du nombre de publications par année

4. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/

L'analyse quantitative des publications permet de tirer plusieurs conclusions :

– L'intérêt pour ce domaine d'étude est récent.

– Le nombre de publication est très faible ; il semble assez stable depuis 2020, dans la mesure où une variation de quelques articles n'est pas statistiquement significative.

– On obtient un nombre très supérieur d'articles lorsque l'on utilise le mot-clé « Neuroscience » plutôt que « Neuron* ». Cela indique que les études privilégient une approche macroscopique et intégrative du système nerveux à une analyse au niveau cellulaire. Autrement dit, elles s'intéressent davantage au fonctionnement du système dans son ensemble qu'à celui de ses constituants**.** Dans le même ordre d'idée il est intéressant de noter qu'une recherche avec les termes « Yoga AND Glie » ne donne aucun résultat alors que les cellules gliales représentent plus de 50% des cellules du cerveau et jouent un rôle essentiel dans son fonctionnement (Agid and Fan, 2019).

- Le pourcentage d'articles de synthèse est extrêmement élevé par comparaison avec celui obtenu avec d'autres mots clés :

Yoga AND Neuron* : 32 articles dont 11 articles de synthèse, soit 34%

Yoga AND Neuroscience : 213 articles dont 118 articles de synthèse, soit 55%

À titre d'exemple, voici les résultats obtenus avec d'autres mots clés sur un domaine plus étudié en neuroscience :

Cortex AND Movement : 47 779 articles dont 4163 articles de synthèse, soit 9%

Cortex AND Sport : 6736 articles dont 596 articles de synthèse, soit 9%

Cortex AND Stress : 30 402 articles dont 3238 articles de synthèse, soit 11%

Cette majorité d'articles de synthèse suggère que de nombreux auteurs préfèrent commenter les rares résultats expérimentaux disponibles et spéculer sur leurs conséquences éventuelles plutôt que d'acquérir de nouvelles connaissances par l'expérience. Une telle situation est totalement atypique dans les publications scientifiques. Elle est d'autant plus problématique que comme nous le verrons plus tard beaucoup de ces articles ne sont pas conclusifs. Comme je l'ai indiqué précédemment, les articles publiés dans des journaux de vulgarisation ne sont pas pris en compte dans ces statistiques.

L'analyse des journaux dans lesquels sont publiés les articles sur le yoga donne des indications sur la qualité des travaux et sur leur diffusion. Le tableau présenté ci-après répertorie les principaux journaux dans lesquels ont été publiés les articles originaux, avec leur facteur d'impact (FI) et leur classement dans leur sous-domaine scientifique (quartile, Q).

Les articles originaux de notre corpus sont publiés dans 22 journaux différents, dont seulement 5 (23%) bénéficient d'une forte notoriété (classés en Q1). La répartition des articles est très dispersée : aucun journal ne se détache comme le support de référence privilégié de ce sujet.

Le dernier aspect de cette analyse du corpus de publications porte sur l'appartenance géographique des auteurs. Environ 50% des articles proviennent d'universités indiennes, suivi par les USA (35%) et le Canada (10%). Les pays européens, l'Amérique latine, la Chine et le Japon n'apparaissent donc que de manière marginale.

Il est intéressant de mettre ces pourcentages en perspective avec la contribution relative des USA et de l'Inde à la recherche en neurosciences. Sur les 748 000 publications recensées dans Medline pour ce domaine, 212 000 proviennent d'équipes basées aux États-Unis, soit 28%, tandis que seules 16 336 publications émanent d'équipes indiennes, soit environ 2%. Le pourcentage de publications des équipes indiennes est 25 fois plus important sur la thématique « yoga et neurosciences » que sur la totalité du domaine des neurosciences (50% versus 2%).

Supports de publication des articles originaux

Nom de la revue	FI	Q	*Nom de la revue*	FI	Q
Alternative Therapies in Health and Medicine	1,9	3	International Journal of Yoga	1,1	4
Frontiers in Human Neuroscience	2,7	3	Asian Journal of Psychiatry	4,5	1
Frontiers in Aging Neuroscience	4,5	1	Trials	2	3
Frontiers in Integrative Neuroscience	2,9	3	Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine	2,6	3
Journals of Gerontology	3,8	2	Medicine (Baltimore)	1,4	3
Biological Psychology	2,9	2	Restorative Neurology and Neuroscience	1,6	4
The Indian Journal of Medical Research	2,5	3	Journal of Clinical Psychiatry	4,6	1
Perceptual and Motor Skills	1,8	4	Frontiers in Neuroscience	3,2	2
Journal of alternative and complementary medicine	2,4	2	Alternative Therapies in Health and Medicine	1,9	4
Frontiers in psychiatry	5,4	2	Cerebral cortex	8,6	1
Brain Imaging and Behavior	3,4	2	Psychoneuroendocrinology	3,6	1

Cette surreprésentation s'inscrit dans l'histoire, déjà évoquée, des échanges interculturels entre l'Inde et les pays occidentaux. Au XX° siècle déjà, les élites indiennes ont entrepris de consolider le prestige du yoga et d'en objectiver la valeur en mobilisant des cadres méthodologiques et des protocoles expérimentaux reconnus par la communauté scientifique occidentale. Cette entreprise de légitimation scientifique du yoga s'est considérablement intensifiée sous le gouvernement de Narendra Modi. Elle s'inscrit dans une stratégie plus large de « soft power », visant à renforcer la visibilité et l'influence internationale de la culture indienne, en particulier dans sa dimension hindoue la plus extrémiste. Comme l'écrit R. Voix, en instaurant la Journée Internationale du yoga, « le gouvernement indien [...] cherche à contrôler le discours autour du yoga et à transformer les enseignants en « ambassadeurs » de la « marque Inde » de par le monde » (Voix, 2021). En juin 2015, à l'occasion de la première Journée Internationale du Yoga, Narendra Modi débute son discours par la déclaration suivante « Des rives de l'Indus, le yoga s'est répandu sur tous les continents, apportant avec lui l'harmonie entre l'homme et la nature ainsi qu'une approche holistique de la santé et du bien-être » (Squarcini, 2021). En janvier 2025 l'OMS publie un rapport intitulé « Training in Yoga technical report »[5]. Ce rapport technique aborde la formation en Yoga en tant qu'approche traditionnelle et complémentaire pour la santé et le bien-être. Bien qu'il soit issu d'une organisation internationale, les experts appartiennent pour une grande part d'entre eux à des structures ou universités indiennes. De plus, les rédacteurs du rapport remercient explicitement le « Ministry of Ayush » (AYUSH, Ayurveda, Yoga et naturopathie, Unani, Siddha et Homéopathie), du gouvernement Indien pour son soutien financier indispensable à la production du document. Cet organisme est devenu un ministère après l'élection de Narendra Modi. Un organisme placé sous sa tutelle, le « Moraraji Desai National Institute of Yoga »[6], est désigné comme le centre spécifiquement dédié au yoga collaborant avec l'OMS pour la médecine traditionnelle.

2. Résultats expérimentaux

Les critères objectifs suivants m'ont permis de sélectionner les articles les plus pertinents, c'est-à-dire ceux dont les données semblent les plus robustes

– Le type de yoga : Pour cette analyse, seules ont été retenues les études incluant des sujets pratiquant le hatha yoga dans sa globalité, c'est-à-dire intégrant ses trois dimensions, posturale, respiratoire et méditative. Selon les

5. https://www.who.int/publications/i/item/training-in-yoga
6. https://www.yogamdniy.nic.in/

études, les sujets pouvaient soit être déjà des pratiquants de yoga, soit avoir commencé à pratiquer le yoga dans le cadre du protocole expérimental. En revanche, les recherches qui se limitaient à la pratique de la méditation ont été exclues, puisque la littérature abondante sur ce sujet justifierait une analyse spécifique et distincte.

– La présence de groupes « contrôles ».

– L'utilisation de tests statistiques pour évaluer la significativité des résultats.

Les analyses ne sont pas présentées selon l'ordre classique d'un article scientifique, en commençant par décrire les effets du yoga sur la structure cérébrale car le but de ce travail est de montrer l'écart entre les résultats expérimentaux et la façon dont ils sont interprétés puis vulgarisés. Je commence donc par deux études qui, au-delà de la publicité qui leur a été faite, illustrent concrètement les difficultés auxquelles se heurtent les chercheurs qui travaillent sur ce type de questions, comme le montre déjà le détail de leur protocole expérimental. Ces difficultés méthodologiques limitent la pertinence des résultats et empêchent de les extrapoler.

2.1. Effets de la pratique du yoga sur les taux de neurotransmetteurs

Ces deux études ont été réalisées par la même équipe, selon le même protocole. Elles reposent sur la mesure du GABA (acide gamma-aminobutyrique) qui est le principal neurotransmetteur de l'inhibition dans le cerveau adulte. À ma connaissance, le GABA est le seul neurotransmetteur qui ait fait l'objet d'étude dans le contexte de la pratique du yoga. Ces articles ont inspiré de nombreux articles et livres de vulgarisation[7] dans lesquels il est indiqué que la pratique du yoga augmente la quantité de GABA, avec pour conséquence une diminution de l'anxiété chez tous les sujets et, chez des patients atteint de dépression majeure, une réduction de leurs symptômes. Ce lien entre yoga, GABA et anxiété est même illustré par la série des « Yoga neurons » de la « Neuron family », que l'on trouve sur internet (figure 4).

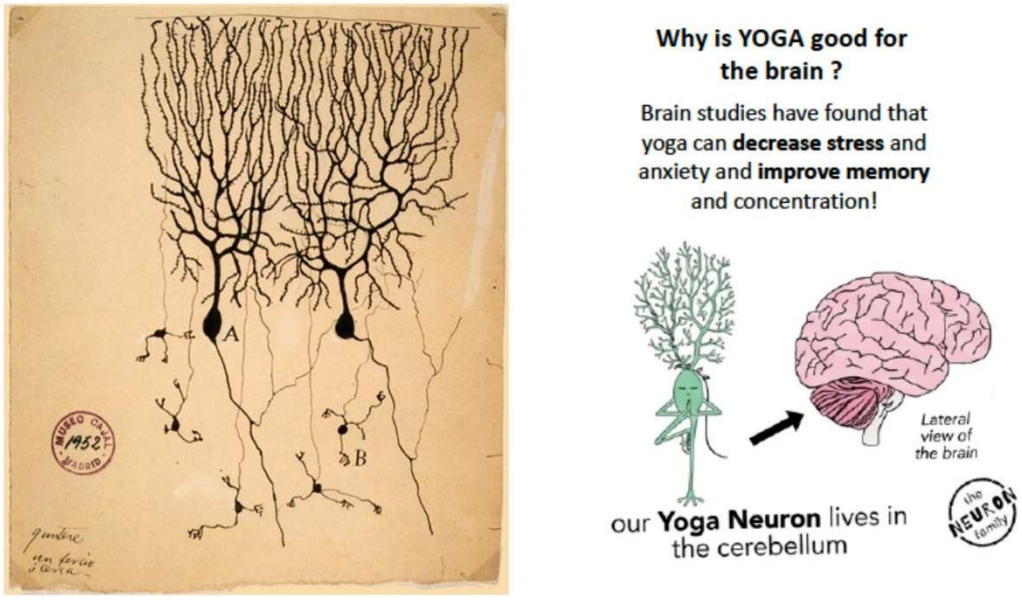


Figure 4. À gauche : dessin de cellules de Purkinje du cervelet réalisé par le célèbre histologiste Ramon Y Cajal en 1899[8].
À droite : caricatures tirées de « Yoga family » représentant une cellule de Purkinje en posture de l'arbre[9].

7. https://www.lesechos.fr/weekend/perso/le-yoga-antidepresseur-naturel-1213832, https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/journee-internationale-du-yoga-une-nouvelle-therapie_115180, https://www.radiofrance.fr/franceinter/cinq-excellentes-raisons-de-se-mettre-au-yoga-6344920, https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/neurosciences/yoga-vers-l-equilibre-mental-21976.php, liste non exhaustive.
8. https://www.scientificamerican.com/article/the-father-of-modern-neuroscience-discovered-the-basic-unit-of-the-nervous-system/
9. https://www.instagram.com/p/DQkoEfSDN0m/

Ce lien entre yoga, GABA et anxiété est-il réellement démontré dans ces articles ? C'est ce que nous allons analyser maintenant.

1ère expérience : effets sur l'humeur et le niveau d'anxiété

En 2010, l'équipe publie une première étude. En comparant des pratiquants de yoga à des sujets témoins elle vise à mesurer les effets du yoga sur l'humeur et le niveau d'anxiété, ainsi que sur les taux de GABA mesurés dans une région sous-corticale du cerveau, le thalamus (Streeter et al., 2010).

Dans ce type d'étude, la première difficulté à laquelle sont confrontés les chercheurs est la constitution de cohortes homogènes. Ici, des pratiquants de yoga sont comparés à des sujets soumis à une activité physique équivalente en terme métabolique (même dépense énergétique). Les deux cohortes doivent également être le plus similaire possible sur les autres paramètres, notamment le ratio homme/femme, l'âge, les paramètres physiques (taille, poids…), l'état de santé, le niveau d'éducation etc.

Description de la sélection des sujets et du protocole expérimental

La procédure de sélection est illustrée par le diagramme de flux présenté en figure 5. Les chercheurs avaient dans un premier temps identifiés 200 participants mais seuls 34 d'entre eux sont arrivés au bout du processus expérimental, 19 dans la cohorte « yoga » et 15 dans la cohorte « contrôle ».

Comme recommandé pour ce type d'étude, les sujets éligibles avaient été répartis de manière aléatoire (étude randomisée) pour participer à un protocole de 12 semaines consistant soit en des séances de yoga Iyengar, soit en des séances de marche, à raison de trois séances de 60 minutes par semaine. La marche a été choisie par ce qu'elle représente un effort physique comparable à celui du yoga.

Les sujets ont subi trois examens par la technique de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire afin de mesurer leur taux de GABA thalamique :

– le premier au début de l'étude (Scan 1) ;

– le second (Scan 2) après les 12 semaines de séances de yoga ou de marche ;

– puis, immédiatement après le Scan 2, tous les sujets effectuaient 60 minutes de yoga ou de marche, selon leur groupe d'affectation, et cette séance était immédiatement suivie d'une troisième mesure (Scan 3).

Sur la base de travaux antérieurs de l'équipe, la mesure du taux de GABA a été effectuée dans le thalamus gauche. En parallèle à cette étude d'imagerie cérébrale, deux échelles psychologiques reconnues ont été sélectionnées pour évaluer les effets des activités, yoga ou marche, sur l'humeur et l'anxiété des sujets au cours du protocole.

Effets sur l'humeur et l'anxiété

En ce qui concerne l'humeur et l'anxiété, les deux groupes ont montré une amélioration de leur état au cours de l'étude. Ces effets sont plus marqués dans le groupe « yoga » que dans le groupe « marche ». Une analyse plus approfondie a cependant révélé un élément inattendu : en dehors des séances structurées, le groupe « marche » affichait un niveau d'activité physique quotidienne significativement plus élevé que celui du groupe « yoga », de sorte que les 60 minutes de marche, trois fois par semaine, ne représentaient pas un effort physique supplémentaire significatif par rapport à leur pratique sportive. Ou, pour le dire autrement, même si l'effort physique supplémentaire imposé par le protocole était le même pour les « yogis » et les « marcheurs » en valeur absolue, il était plus faible en valeur relative pour ces derniers. Ce paramètre n'avait pas été pris en compte dans les critères de sélection de la cohorte et les auteurs mentionnent explicitement que cette différence pourrait expliquer pourquoi les changements psychologiques observés chez les marcheurs étaient moins marqués.

Effet sur le taux de GABA

Le résultat des expériences d'imagerie a montré que les taux de GABA étaient identiques, avant le début du protocole (scan 1), entre le groupe « yoga » et le groupe « marche ».

Après 12 semaines d'activité (scan 2 versus scan 1), aucun changement significatif n'a été observé dans les deux groupes, suggérant que la pratique régulière du yoga ou de la marche ne modifie pas les taux de GABA à moyen terme. En revanche, la comparaison des taux de GABA mesurés immédiatement avant (scan 2) et après (scan 3) la dernière séance révélait une augmentation, mais uniquement dans le groupe yoga. Les auteurs considèrent que cette différence est « presque significative » puisque le test statistique donne une valeur de p égale à 9 %. Au contraire, cette valeur supérieure au seuil fixé par les auteurs à 5% signifie que la différence entre les deux groupes

n'est pas significative. L'affirmation selon laquelle le yoga augmenterait significativement les taux de GABA par rapport à la marche n'est donc pas prouvée par les données expérimentales, du fait de la petite taille de la cohorte et/ou de la faiblesse de la corrélation éventuelle.

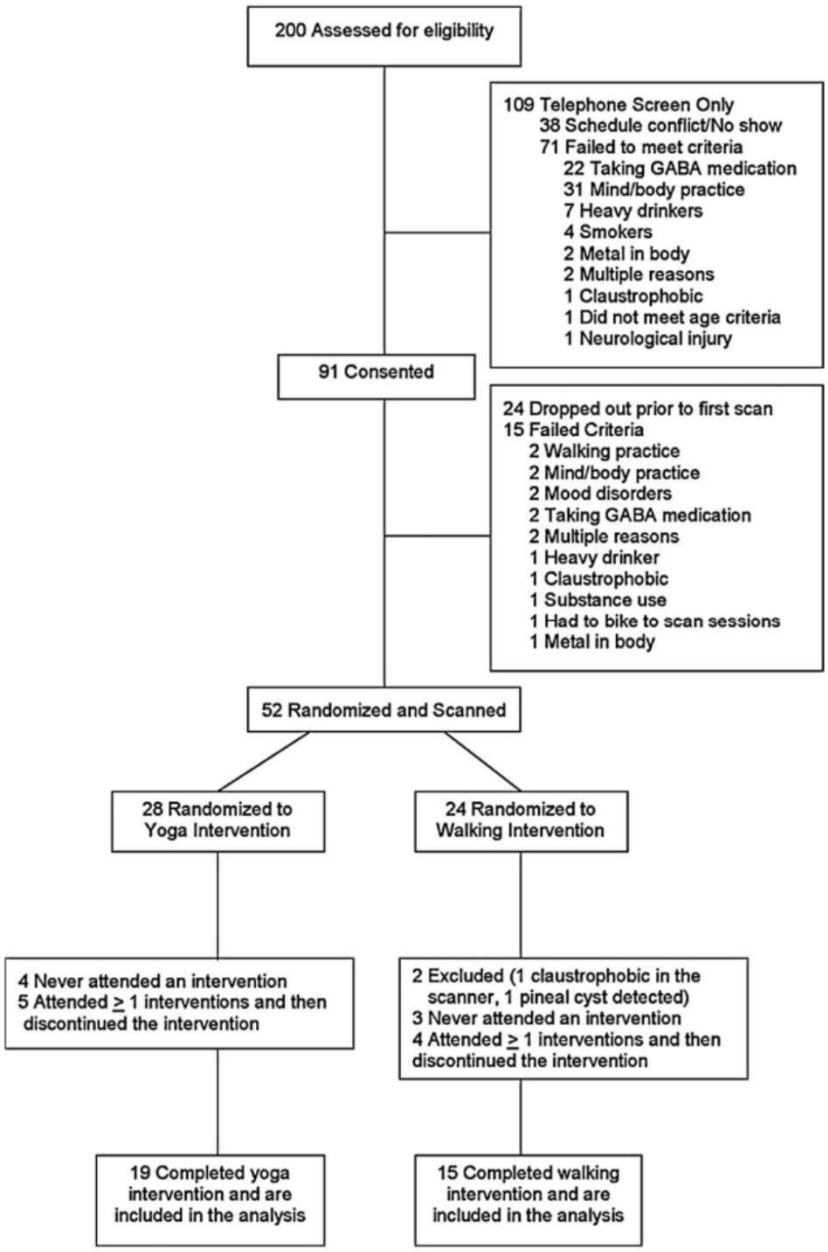


Figure 5. Diagramme de flux du recrutement des sujets (Streeter et al., 2010)

De ce point de vue, on peut noter que l'analyse statistique révèle que l'augmentation du taux de GABA n'atteint un seuil de significativité que lorsque les données des yogis et des marcheurs sont regroupées. Cela veut dire qu'une séance d'activité physique a un impact immédiat sur le taux de GABA. Par contre il n'est pas possible d'affirmer qu'il y a une différence significative entre le yoga et la marche. Cette observation relativise les conclusions : l'étude suggère seulement la possibilité d'une faible corrélation à court terme entre une heure d'activité physique, qu'il s'agisse du yoga ou de la marche, et la hausse du taux de GABA thalamique.

Par ailleurs, les auteurs soulignent l'absence de variation significative de la concentration en glutamate sans expliquer pourquoi ils ont fait cette mesure, ni commenter ce résultat. On peut faire l'hypothèse qu'en même temps qu'ils mesuraient le taux de GABA, qui est le principal neurotransmetteur inhibiteur, ils ont voulu par symétrie mesurer le taux de glutamate qui est le principal neurotransmetteur excitateur.

2e expérience : Effet de la pratique du yoga sur les états dépressifs

La même équipe publie dix ans après, en 2020, un article basé sur la même méthodologie, mesurant l'impact d'un programme de yoga sur des patients souffrant de dépression sévère (Streeter et al., 2020).

Les participants étaient répartis en deux groupes et suivaient durant 12 semaines un programme de yoga constitué de séances de 90 minutes (60 minutes de yoga Iyengar, 10 minutes de relaxation, 20 minutes de respirations cohérentes). Pour le premier groupe (High-dose group, HDG), le rythme était de 3 séances encadrées de 90 minutes par semaine et de 4 séances de 30 minutes à domicile en autonomie, soit un total hebdomadaire de 390 minutes. Pour le second groupe (Low-dose group, LDG), le rythme était de 2 séances encadrées de 90 minutes par semaine et de 3 séances de 30 minutes à domicile, soit un total hebdomadaire de 270 minutes.

Le recrutement des participants a été encore plus difficile que lors de la première étude : sur les 265 patients initialement identifiés, seuls 28 ont terminé l'étude (15 dans le groupe LDG et 13 dans le groupe HDG). De plus, pour arriver à cet effectif, il a été nécessaire d'assouplir en cours d'étude le critère d'inclusion initialement retenu pour évaluer le niveau de dépression. En particulier, les auteurs ont dû inclure des patients sous médication d'antidépresseurs, bien que cela nuise à l'homogénéité des cohortes et introduise potentiellement un biais.

Les résultats montrent que lorsque les données des deux groupes (HDG et LDG) sont analysées ensemble, aucune différence significative n'apparaît dans les taux de GABA entre les différentes mesures (scans 3 versus 1, 3 versus 2, 2 versus 1). En revanche, l'analyse du seul groupe LDG montre une augmentation significative du GABA entre les scans 3 et 1, ainsi qu'entre les scans 3 et 2, réalisés respectivement juste avant et juste après la dernière séance d'activité. En revanche, aucune augmentation significative n'a été observée pour le groupe HDG. Ce résultat surprenant souligne la fragilité des résultats obtenus sur des groupes d'aussi petite taille. Les auteurs notent également que l'augmentation du taux de GABA est de courte durée, de quelques jours seulement, et suggèrent que les effets de la pratique du yoga sont limités dans le temps. Enfin, l'auto-évaluation des symptômes dépressifs par les patients n'a pas mis en évidence de corrélation entre les taux de GABA et la sévérité des symptômes

Synthèse des deux études :

En définitive, l'analyse approfondie des données recueillies dans le cadre de ces deux études ne révèle aucune corrélation significative, et encore moins de lien de causalité, entre la pratique du yoga et une hausse du taux de GABA cérébral – un mécanisme parfois évoqué pour expliquer une éventuelle atténuation des symptômes dépressifs. Le succès médiatique de ces travaux s'explique davantage par leurs titres et leurs résumés assez accrocheurs[10]. En effet, ces derniers présentent les conclusions des résultats, en ignorant les difficultés rencontrées au niveau du protocole expérimental et la non-significativité statistique de ceux-ci.

Ces deux articles sont néanmoins très intéressants, car ils illustrent concrètement les nombreuses difficultés méthodologiques et interprétatives auxquelles se heurtent la majorité des études dans ce domaine :

– Taille des cohortes insuffisante pour obtenir des résultats statistiquement significatifs.

– Hétérogénéité des sujets : par exemple, l'hétérogénéité des symptômes dépressifs, et des traitements, présentés par les patients.

– Très grande difficulté à prévoir et prendre en compte les facteurs confondants, susceptibles d'introduire des biais : par exemple, dans ces articles, l'importante activité physique des « marcheurs » n'a été découverte qu'a posteriori.

– Faiblesse de l'analyse statistique, voire complaisance avec les règles de cette discipline, par exemple avec le recours à la notion vague et atypique de « tendance à la significativité », du fait de l'ensemble des difficultés que nous venons de citer.

– Absence d'études en simple aveugle ou double aveugle, c'est à dire d'études où les chercheurs qui analysent les données ne savent pas de quelle cohorte elles proviennent afin que la connaissance de cette information ne biaise pas l'analyse des résultats.

10. « Effects of Yoga Versus Walking on Mood, Anxiety, and Brain GABA Levels : A Randomized Controlled » MRS Study (Effets du yoga par rapport à la marche sur l'humeur, l'anxiété et les niveaux de GABA dans le cerveau : une étude MRS randomisée et contrôlée).
« Thalamic Gamma Aminobutyric Acid Level Changes in Major Depressive Disorder After a 12-Week Iyengar Yoga and Coherent Breathing Intervention » (Modifications du taux d'acide gamma-aminobutyrique thalamique dans les troubles dépressifs majeurs après 12 semaines de yoga Iyengar et d'intervention respiratoire cohérente).

2.2. Effets de la pratique du yoga sur la structure du cerveau

Nous allons maintenant nous intéresser aux effets de la pratique du yoga sur la structure et le fonctionnement du cerveau. Ces études reposent sur l'utilisation de différentes techniques de neuro-imagerie médicale (Imagerie par résonance magnétique IRM, tomographie par émission de positons TEP, tomographie par émission monophotonique SPECT). Elles sont de nature transversale (ou *cross-sectional* en anglais). Cela signifie que les données sont recueillies auprès d'une population donnée à un instant précis, offrant ainsi une photographie des phénomènes observés à ce moment-là. Cette approche se distingue des études longitudinales, qui consistent à suivre la même population sur une période prolongée et permettent, de ce fait, d'analyser l'évolution dans le temps des variables étudiées.

De nombreuses formes de yoga ont fait l'objet de ce type d'étude, dont des yogas purement méditatifs. Plutôt que d'en faire une synthèse exhaustive, qui buterait sur ce nouveau facteur d'hétérogénéité, j'ai choisi, comme mentionné précédemment, de restreindre mon analyse à celles basées sur du hatha yoga, quelle que soit la proportion respective des asanas, pranayama ou temps de méditation dans ces pratiques.

2.2.1. Effet de la pratique du yoga sur le volume cérébral

Plusieurs études se sont intéressées à l'effet de la pratique du yoga sur l'épaisseur corticale ou sur la taille de certaines régions sous-corticales. Villemure et al. ont montré une augmentation de volume au niveau de différentes régions corticales de l'hémisphère gauche, qu'il s'agisse de régions impliquées dans des fonctions très intégratives (cortex insulaire, cortex orbito-frontal, operculum frontal) ou de régions impliquées dans le traitement d'informations sensorielles spécifiques (visuelle et somato-sensorielle) (Villemure et al., 2014, 2015). Des modifications ont également été trouvées dans des structures sous-corticales comme l'hippocampe, une structure cérébrale qui joue un rôle central dans la cognition, la mémoire, l'apprentissage et le repérage dans l'espace. Ces résultats doivent cependant être pris avec précaution, dans la mesure où les cohortes étudiées sont de très petite taille : 14 yogis et 14 sujets contrôles.

Les auteurs ont cherché à établir un lien entre les modifications du volume cérébral et le nombre d'années de pratique du yoga. Ils ont conclu à l'existence d'une corrélation linéaire statistiquement significative chez les 14 yogis entre la durée de pratique et le volume de matière grise dans le cortex insulaire. La simple observation du nuage de points (figure 6) contredit cette affirmation. En effet, il n'y a clairement aucune corrélation pour les 12 sujets pratiquants de yoga depuis 6 à 10 ans et la corrélation calculée globalement sur les 14 sujets est due uniquement aux deux sujets pratiquant le yoga depuis 15 ou 16 ans. Une telle corrélation linéaire reposant sur 2 individus n'est évidemment pas significative, comme les auteurs le reconnaissent explicitement. De plus, la différence entre les 12 premiers sujets et les 14 sujets contrôles, dont la valeur moyenne de substance grise est représentée par le triangle rouge, n'est pas significative.

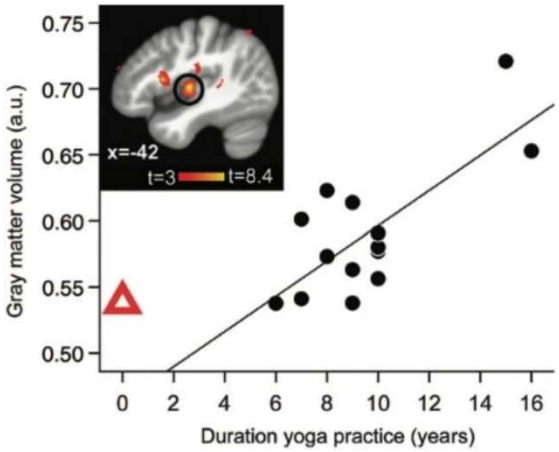


Figure 6 : Relation entre le volume de matière grise d'une région du cortex insulaire gaucheet la durée de pratique de yoga. Il n'y a pas de corrélation linéaire sur le nuage de points central du fait de sa forme arrondie. La corrélation linéaire mesurée de façon globale sur les 14 yogis est uniquement due aux 2 points « aberrants » correspondants aux 2 pratiquants de longue durée. Le triangle rouge représente la valeur moyenne de volume de la région d'intérêt pour les sujets contrôles. En insert : Image d'IRM montrant la localisation de la région du cortex cingulaire (Villemure et al., 2014).

Les auteurs soulignent la différence de volume de matière grise dans le cortex insulaire entre les deux pratiquants de yoga les plus expérimentés et les sujets contrôles. Ils suggèrent un possible effet d'une longue pratique du yoga, c'est-à-dire qu'il pourrait y avoir un effet de seuil situé au-delà de 12 ans. Au plan méthodologique, cela signifie que la recherche d'une corrélation linéaire entre les deux variables x et y (ici, durée de la pratique du yoga et volume de la matière grise, respectivement) et l'utilisation du test statistique T de Student ne sont pas pertinents. En effet, pour mesurer un tel effet de seuil entre ces deux variables il ne faut pas chercher une corrélation linéaire, mais une corrélation non-linéaire, comme une corrélation monotone (croissante en l'occurrence) et utiliser un test de Spearman (test qui mesure la corrélation entre les rangs de x et de y et non la corrélation linéaire entre les variables x et y elles-mêmes). Cette approche n'était cependant pas envisageable puisqu'il n'y a que 2 yogis ayant une pratique de très longue durée.

Deux autres études semblent étayer la possibilité d'un tel effet de seuil.

La première étude rapporte que le volume de l'hippocampe gauche est significativement plus important chez des pratiquants de yoga expérimentés (13 yogis) que chez des sujets contrôles (13 contrôles) (Gothe et al., 2018). Là encore, les yogis étaient très expérimentés avec en moyenne une pratique de 9,3 ans (entre 5 et 24 ans) à un rythme de 18 heures par semaine (en moyenne 4,1 jours/semaine à raison de 4,4 h par jour de pratique).

La seconde porte sur des sujets sans expérience préalable de yoga. Ceux-ci ont été répartis aléatoirement entre un groupe pratiquant le yoga (deux séances d'une heure par semaine pendant 12 semaines) et un groupe pratiquant du cyclisme. Aucune différence significative n'a été révélée, ni dans le volume de matière grise, ni dans la densité synaptique (van Aalst et al., 2021).

Nous reviendrons ultérieurement sur les problématiques liées à la durée de pratique.

2.2.2. Effet de la pratique du yoga sur le vieillissement cérébral

Le déclin de la matière grise cérébrale lié au vieillissement est un phénomène bien établi, bien que son ampleur, son rythme et les régions cérébrales concernées présentent une variabilité marquée entre individus, notamment à un âge adulte avancé (Salat et al., 2004; Christova and Georgopoulos, 2023). Plusieurs études se sont intéressées à l'impact d'une pratique régulière du yoga sur le vieillissement cérébral. En voici deux exemples :

La première, menée par Afonso et al., concerne des femmes dont la moyenne d'âge était de 67 ans, pratiquant le yoga depuis au moins huit ans à raison de deux séances par semaine. Les auteurs ont constaté que, par rapport au groupe témoin, ces yogis présentent une épaisseur corticale significativement supérieure dans le lobe préfrontal gauche, en particulier au niveau des régions antérieure et latérale des circonvolutions frontales moyenne et supérieure (Afonso et al., 2017). Il faut noter que, bien que le seuil d'inclusion ait été fixé à huit ans de pratique, les participantes affichaient en moyenne quinze ans d'expérience, un facteur susceptible d'expliquer en partie ces résultats.

La seconde étude, menée par Villemure et al., vise à mesurer la corrélation linéaire entre la durée de pratique du yoga et le volume de matière grise dans plusieurs régions du cerveau chez des participants plus jeunes, de 30 à 55 ans. Les auteurs visent aussi à comparer ces résultats obtenus sur des pratiquants réguliers de yoga avec ceux d'un groupe témoin en prenant en compte l'âge des individus. Ils observent, comme prévu, une diminution de la matière grise avec l'âge mais ils ne voient pas de différence significative entre les yogis et le groupe témoin (Villemure et al., 2015).

2.2.3. Pour conclure cette analyse des études de l'effet de la pratique du yoga sur la structure du cerveau, je note qu'elles aboutissent à des résultats différents et souvent fragiles.

Leur interprétation doit également tenir compte des variations naturelles du volume de substance grise observées au cours de la vie, qu'elles soient liées à l'âge, comme précédemment, à d'autres processus physiologiques ou à des facteurs comportementaux. Il faudrait alors ajuster en conséquence les protocoles expérimentaux : soit en privilégiant des études longitudinales, soit en augmentant considérablement la taille des échantillons pour contrôler et idéalement randomiser ces facteurs physiologiques et comportementaux.

Voici plusieurs exemples de facteurs impactant significativement le volume de la matière grise.

Chez les femmes enceintes une étude rapporte une réduction marquée du volume et de l'épaisseur corticale de la matière grise, persistant jusqu'à deux ans après l'accouchement (Pritschet et al., 2024). Cet élément, qui n'est pris en compte dans aucune des études que j'ai analysées, est évidement d'autant plus critique que les cohortes comportaient une très grande majorité de femmes.

Par ailleurs, une meilleure condition cardiorespiratoire et une activité physique régulière s'accompagnent systématiquement d'un volume accru de matière grise, notamment dans l'hippocampe et le cortex préfrontal (Erickson et al., 2014), illustrant ainsi l'influence positive de l'exercice sur la structure cérébrale.

Enfin, le mode de vie influe sur le volume de matière grise. Une étude japonaise a ainsi examiné dans une étude longitudinale qui s'étend sur plusieurs années la relation entre six habitudes de vie fondamentales (alimentation, exercice physique, sommeil, consommation d'alcool, tabagisme et activité sociale, y compris l'emploi) et le volume total de matière grise chez des adultes. Si le tabagisme chez les hommes est associé à une accélération de la perte de volume de matière grise, la participation à des activités sociales et une alimentation diversifiée peuvent contribuer à prévenir la perte de volume de matière grise. De manière générale, l'adoption d'une seule habitude de vie saine peut contribuer à prévenir la perte de volume de matière grise (Otsuka et al., 2022).

Ces observations mettent en lumière la remarquable plasticité cérébrale chez l'adulte, marquée par une capacité de remodelages des réseaux neuronaux tout au long de la vie. Dans ce contexte, si on ne peut exclure qu'une longue pratique du yoga puisse contribuer à ces mécanismes, il reste impossible d'en isoler précisément l'impact et donc de le mesurer de façon significative.

2.3. Modifications fonctionnelles

Quelles peuvent être les conséquences fonctionnelles des modification structurales que nous venons de décrire ? À la suite de leur étude qui mettait en évidence une augmentation de l'épaisseur du cortex préfrontal chez des pratiquantes âgées (Afonso et al., 2017), les chercheurs se sont intéressés aux modifications de connectivité fonctionnelle entre différentes régions cérébrales. Pour cela, ils ont analysé la connectivité au sein du réseau du mode par défaut (Santaella et al., 2019).

En neurosciences, le réseau du mode par défaut désigne un ensemble de régions cérébrales qui s'activent spécifiquement lorsque l'individu n'est pas engagé dans une tâche nécessitant une attention dirigée vers l'extérieur. Ce réseau, actif au repos, joue un rôle clé dans des processus internes comme la rêverie, l'introspection ou la planification. Dès qu'une tâche cognitive exige une concentration sur le monde extérieur, ce réseau se désactive au profit du réseau des tâches positives (ou réseau exécutif), qui prend alors le relais pour traiter l'information de manière ciblée[11]. Chez les personnes âgées, une diminution de la connectivité fonctionnelle du cerveau au repos pourrait expliquer la réduction de flexibilité cognitive observée au cours du processus de sénescence (Toussaint et al., 2014).

En comparant la cohorte constituée de femmes âgées en bonne santé ayant pratiqué le yoga de manière régulière sur le long terme à un groupe témoin, Santaella et al. ont mis en évidence une augmentation de la connectivité fonctionnelle cérébrale antéro-postérieure au repos. Pour les auteurs cette connectivité accrue reflète une adaptation fonctionnelle potentiellement bénéfique, associée à la pratique prolongée du yoga (Santaella et al., 2019). Cependant, ils mentionnent explicitement dans leur discussion que ce travail présente des limites, notamment liées à la taille réduite des cohortes, ce qui restreint la significativité statistique des résultats. Par ailleurs, comme les autres études que nous avons analysées, il s'agit d'une étude transversale et non longitudinale ; il n'est donc pas possible de déduire une relation de cause à effet entre les années de pratique du yoga et la connectivité fonctionnelle du réseau du mode par défaut.

2.4. Paramètres biochimiques

Certaines études se sont attachées à caractériser les effets de la pratique du yoga en analysant notamment des paramètres biochimiques.

Pour ce qui concerne les neurotransmetteurs GABA et glutamate, les travaux de Streeter et al. ont été analysés ci-dessus (paragraphe 2.1).

Le métabolisme du glucose a été évalué par Van Aalst et al., parallèlement aux mesures d'imagerie cérébrale. Aucune différence significative n'a été mise en évidence, ni entre les groupes (yogis versus cyclistes) avant et après l'intervention, ni au sein de chaque groupe entre le début et la fin de l'étude (van Aalst et al., 2021).

Un autre paramètre métabolique qui a été suivi est le cortisol. Cette hormone stéroïdienne produite par les glandes surrénales joue un rôle clé dans la régulation du stress, du métabolisme**,** du système immunitaire et de la pression artérielle**.** Sécrété en réponse à un signal de l'hypothalamus et de l'hypophyse, le cortisol suit un rythme

11. https://www.insb.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/un-nouveau-modele-du-reseau-cerebral-du-mode-par-defaut

circadien, avec un pic le matin et une diminution progressive au cours de la journée. En raison de son effet sur le stress, les effets du yoga sur la sécrétion de cortisol sont présentés ci-dessous (paragraphe 2.5).

2.5. Effet sur les émotions et la cognition

2.5.1. Dimension psychologique

Dans les articles de Streeter et al. présentés au paragraphe 2.1, tous les sujets présentent une amélioration d'humeur et une diminution d'anxiété au cours de l'étude. Les effets étaient plus marqués dans le groupe « yoga » que dans le groupe « marche », mais nous avons commenté l'existence d'un biais susceptible d'expliquer cette différence.

En complément des sessions d'imagerie, dans le cadre de l'étude de Van Aalst et al., les participants ont rempli une batterie de questionnaires psychométriques au début et à la fin du protocole. Plusieurs dimensions psychologiques ont été mesurées : l'affect, la pleine conscience, le stress, l'anxiété, l'auto-compassion et la conscience intéroceptive. Seul le niveau de conscience intéroceptive – définie comme la perception des signaux internes du corps et des processus cognitifs supérieurs associés – montre une augmentation significative chez les participants du groupe « yoga », comparativement à ceux du groupe « cycliste ». Pour les auteurs, cette différence pourrait s'expliquer par la nature même de la pratique du yoga qui sollicite activement la conscience intéroceptive, en recentrant l'attention sur les émotions et les sensations corporelles vécues dans l'instant présent. En revanche aucune diminution du niveau de stress n'a été observée ni au sein des deux groupes, ni entre ces deux groupes (van Aalst et al., 2021).

Une vaste étude menée aux Pays-Bas étudie les causes et les déterminants des maladies chez les personnes âgées. L'ensemble de la cohorte composée de 3742 participants bénéficie de réexamens physiques et psychologiques tous les deux à trois ans. Parmi eux, un groupe de 98 personnes qui déclarent pratiquer régulièrement le yoga a été identifié. Ce sous-groupe se distingue par une majorité de femmes, plus jeunes et plus diplômées que le reste de la population suivie. Leur durée médiane de pratique du yoga est de 10 ans. Les participants ont complété un questionnaire évaluant leur pratique du yoga ainsi que leur niveau de stress et d'anxiété. Si leur niveau d'anxiété ne différait pas de celui des non-pratiquants, les yogis présentaient en revanche un niveau de stress significativement plus élevé. Cependant 91 % d'entre eux affirmaient que le yoga les aidait à mieux gérer ce stress. Les examens d'IRM ont révélé, chez ces pratiquants, un volume réduit de l'amygdale droite — une structure cérébrale clé du lobe temporal, impliquée dans la mémoire émotionnelle et la régulation de la peur. Des chercheurs ont eu l'idée d'utiliser cette très riche base de données pour établir un lien de causalité entre la pratique du yoga, le stress et les modifications de l'amygdale. Cette analyse a été faite sans interagir avec les yogis, leur poser de nouvelles questions, ni intervenir dans le protocole de recueil des données piloté par l'agence néerlandaise. Dans leur conclusion ainsi que dans le résumé de leur article, les auteurs indiquent que leur approche, fondée exclusivement sur une analyse statistique, ne permet pas d'établir un tel lien de causalité, en raison de l'absence de contrôle des facteurs confondants, comme l'illustrent les différents paradoxes mis en évidence au cours de leur étude (Gotink et al., 2018).

Le niveau de stress peut être évalué à la fois par des questionnaires, comme dans les études précédentes, et par la mesure du taux de cortisol. Une étude a cherché à évaluer l'impact d'un programme de yoga chez des patientes en traitement pour un cancer du sein. Les participantes ont été réparties en deux groupes ; l'un suivait des séances de yoga, l'autre bénéficiait d'une thérapie de soutien. Leur stress, anxiété et symptômes dépressifs ont été évalués par questionnaire, tandis que leur taux de cortisol était mesuré 18 fois à l'occasion de chaque séance de radiothérapie (trois fois par jour, pendant les trois jours précédents et les trois jours suivants). Les scores d'anxiété et de dépression ont diminué de manière similaire dans les deux groupes au cours du traitement. Concernant le niveau de stress et le taux de cortisol aucune réduction n'a été observée dans le groupe « thérapie de soutien ». Inversement, la pratique du yoga a permis une réduction significative du niveau de stress perçu, mais la relation avec le taux de cortisol est plus complexe. Les analyses ont révélé une grande variabilité entre individus : chez les patientes présentant un taux de cortisol modéré, le yoga a entraîné une baisse significative, contrairement à celles dont le taux était initialement élevé (Vadiraja et al., 2009). Or le cortisol n'est pas simplement une mesure du stress. Il devient un problème en soi s'il reste durablement élevé.

Une autre étude, sous la forme d'un essai contrôlé randomisé mené sur 98 participants en bonne santé avait pour objectif de mesurer les effets de la pratique du yoga sur deux marqueurs biochimiques du stress — le cortisol salivaire et l'alpha-amylase salivaire — ainsi que sur le stress subjectif perçu. Aucun des participants n'avaient d'expérience préalable du yoga. Ceux-ci ont été réparti entre un groupe « yoga » qui a suivi un programme de hatha yoga de huit semaines (trois séances de 60 minutes par semaine) et un groupe contrôle. Les résultats ont montré une réduction significative et généralisée du stress subjectif chez les participants pratiquant le yoga, sans que cela ne soit associé à un effet notable sur les niveaux diurnes de cortisol salivaire ou d'alpha-amylase salivaire. Les auteurs proposent

plusieurs interprétations. Le yoga pourrait améliorer la gestion du stress sans modifier les biomarqueurs, ou bien ces changements n'auraient pas été capturés par les mesures biochimiques. Ils évoquent également un biais d'auto-évaluation, les participants ayant potentiellement surestimé la réduction de leur stress en raison d'une attitude positive envers le yoga et d'un désir de valoriser les bénéfices de l'intervention (Szaszkó et al., 2025).

De manière générale, chez les sujets ayant indiqué que la pratique du yoga avait un effet positif sur leur niveau de stress ou d'anxiété, cet effet pourrait résulter du contrôle du rythme respiratoire, notamment lors des exercices de *pranayama*. Un rythme respiratoire ralenti et des respirations plus amples favoriseraient l'activation du système parasympathique, entraînant un ralentissement de la fréquence cardiaque, une diminution de la pression artérielle ainsi qu'une baisse de la synthèse d'hormones liées au stress, telles que le cortisol (pour une revue de ce sujet, voir Similowski et Jacquemont, 2024, chapitre 3). Toutefois, nous avons observé que la réduction du stress déclarée par les participants n'était pas systématiquement corrélée à ces changements métaboliques.

2.5.2. Performances cognitives

Enfin, trois études se sont intéressées aux effets du yoga sur les performances cognitives.

Une première étude a comparé les performances à un test de mémoire de travail entre deux groupes de 12 personnes chacun : l'un pratiquant le yoga depuis plus de trois ans, l'autre servant de groupe contrôle. La mémoire de travail est une forme de mémoire à court terme qui permet de stocker et de manipuler temporairement des informations pour réaliser une tâche. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes, ni au niveau des temps de réaction, ni en termes de précision des réponses (Gothe et al., 2018).

Une deuxième étude s'est penchée sur l'influence potentielle de la pratique du yoga sur la capacité à déplacer son attention entre différentes tâches ou au sein d'une même activité. Ce genre de compétence fait partie de ce qu'on appelle le contrôle exécutif, un ensemble de processus mentaux qui nous aident à organiser nos actions et à rester concentrés. Ces mécanismes sont essentiels au quotidien : ils permettent de passer d'une tâche à une autre, de s'adapter à des situations nouvelles et de réagir efficacement dans un monde qui change en permanence. En combinant des indicateurs comportementaux (comme le temps et la précision des réponses) et des mesures neuronales (enregistrement de l'activité EEG), ces capacités ont été évaluées chez des participants sans expérience préalable du yoga, avant et après 8 semaines de pratique régulière de hatha yoga. Aucun effet significatif n'a été observé sur cette flexibilité, comparé aux résultats obtenus chez des sujets contrôles, mais les auteurs rapportent une amélioration de la mémoire de travail. Cependant, comme ils le reconnaissent, cette étude comporte de nombreuses limites, en terme, entre autres, de recrutement des cohortes et de durée de pratique du yoga et ne peut être considérée que comme une base pour de futures recherches (Szaszkó et al., 2024).

Une troisième étude, menée sur une cohorte de 135 adultes (âgés de 65 à 85 ans en bonne santé), a suivi les participants sur six mois. Ceux-ci ont été répartis aléatoirement en trois groupes : yoga, exercices aérobiques, et contrôle. Aucun des trois groupes n'a montré d'amélioration cognitive significative. En revanche, les participants du groupe yoga, et eux seulement, ont présenté une amélioration notable de leur qualité de vie et de leurs capacités physiques. Pour les auteurs, les améliorations des mesures physiques directement liées à la pratique du yoga ne sont pas surprenantes : en effet, par exemple, les postures d'équilibre diminuent le risque de chute avec des implications pour la santé. Ils évoquent également un possible effet placebo, déjà observé dans d'autres contextes : par exemple, informer des jeunes adultes que leur programme d'exercices aérobiques était conçu pour améliorer leur bien-être psychologique a suffi à amplifier les bénéfices perçus (Oken et al., 2006).

2.6. Le yoga comme thérapie : Études cliniques

Dans ce dernier paragraphe, je synthétise les conclusions des revues systématiques (au sens de « review » comme défini dans la partie Méthode) publiées par la base de données Cochrane. Ces revues, élaborées selon une méthodologie rigoureuse, ont pour objectif d'identifier, d'évaluer et de synthétiser l'ensemble des données empiriques pertinentes répondant à des critères d'inclusion stricts, afin d'apporter une réponse claire à une question de recherche précise. Les auteurs, en appliquant des méthodes systématiques et transparentes, limitent les risques de biais et garantissent ainsi la fiabilité des résultats, offrant aux cliniciens des éléments probants pour étayer leurs décisions thérapeutiques.

Deux revues seulement portent sur les effets de la pratique du yoga sur des pathologies du système nerveux, à savoir les épilepsies et la schizophrénie.

2.6.1. Utilisation de la pratique du yoga pour le traitement d'épilepsies

Les rédacteurs de la revue n'ont identifié que deux articles sur ce sujet répondant aux critères d'éligibilité.

Ils ont cherché dans ces deux articles des éléments de réponse aux 3 questions suivantes :

Les patients épileptiques traités par le yoga :

(a) ont-ils plus de chances de ne plus avoir de crises ?

(b) voient-ils la fréquence ou la durée de leurs crises, voire les deux, diminuer de manière significative ?

(c) et ont-ils une meilleure qualité de vie ?

Ils concluent qu'à l'heure actuelle il n'y a aucune preuve fiable de l'efficacité du yoga dans le traitement de l'épilepsie et que le yoga ne peut être qu'un complément aux médicaments antiépileptiques, sachant que la démonstration de l'intérêt du yoga comme support thérapeutique nécessiterait de nouvelles études.

« *À l'heure actuelle, aucune conclusion fiable ne peut être tirée concernant l'efficacité du yoga dans le traitement de l'épilepsie. De plus, les données disponibles pour étayer les résultats sont limitées et de faible qualité. Le yoga peut être considéré comme une intervention complexe, similaire à d'autres formes de traitements complémentaires et alternatifs. À l'heure actuelle, le yoga ne peut être qu'un complément aux médicaments antiépileptiques (MAE) et ne peut être utilisé comme seule méthode d'intervention. Enfin, aucune preuve fiable n'a été trouvée pour soutenir l'utilisation du yoga et d'autres essais sont nécessaires* » [12].

2.6.2. Yoga versus soins standard pour la schizophrénie

Les rédacteurs de la revue ont identifié huit articles sur ce sujet répondant aux critères d'éligibilité.

Ils notent qu'aucun effet indésirable de la pratique du yoga n'a été constaté. Mais ils ne recommandent pas de prescrire du yoga en complément des soins car les effets bénéfiques potentiels ne sont pas suffisamment établis.

« *Certains résultats suggèrent que le yoga pourrait être bénéfique pour les personnes atteintes de schizophrénie. Le yoga pourrait avoir des effets positifs sur l'état mental, le fonctionnement social et la qualité de vie, mais les preuves disponibles sont faibles et doivent être considérées avec beaucoup de prudence. Aucun effet indésirable n'a été constaté dans le seul essai qui a rapporté ce résultat. Plusieurs autres éléments importants n'ont pas été abordés par les études, notamment les changements cognitifs, les considérations économiques et les activités de la vie quotidienne. Cette revue ne contient pas suffisamment de données probantes de bonne qualité pour affirmer que le yoga devrait être prescrit en complément des soins standard pour la schizophrénie* »[13].

Il ressort de ceux deux revues systémiques que, à l'heure actuelle, la pratique du yoga ne doit pas être considérée comme un outil thérapeutique pour ces deux types de pathologies.

DISCUSSION

L'une des difficultés majeures soulignées par l'ensemble des études analysées réside dans le recrutement de cohortes à la fois représentatives, homogènes et de taille suffisante. En effet, la composition de ces cohortes s'avère fréquemment déséquilibrée sur plusieurs critères importants, compromettant ainsi la pertinence des résultats. De plus, certaines études ne contiennent pas de groupe contrôle, un élément pourtant indispensable dans ce type d'approche. Conformément à la méthodologie exposée précédemment, j'ai exclu ces études de mon analyse ainsi que celles dont les cohortes étaient manifestement mal constituées (taille, hétérogénéité…). C'est cette raison qui m'a fait éliminer tous les articles indiens sauf un.

12. https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD001524.pub3/full?highlightAbstract=yoga
« *No reliable conclusions can be drawn at present regarding the efficacy of yoga as a treatment for epilepsy. In addition, quality of the evidence to inform outcomes is limited and of low quality. Yoga can be considered as a complex intervention, similar to other forms of complementary and alternative treatments. Yoga can only be an add-on to AEDs (Anti-Epileptic Drugs) at the present time and cannot be used as the sole method of intervention. Finally, no reliable evidence was found to support the use of yoga and further trials are needed* ».

13. https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD010554.pub2/full?highlightAbstract=yoga
« *Some results suggest that yoga may be beneficial for people with schizophrenia. Yoga may be beneficial to mental state, social functioning and quality of life but the available evidence is weak and needs to be treated with a good degree of caution. No adverse effects were found by the one trial that reported this outcome. Several other important outcomes were not addressed by the studies, including changes in cognition, economic considerations, and daily living activities. There was not enough good-quality evidence in this review to claim that yoga should be prescribed as an add-on to standard care for schizophrenia* »

Limitations dues à l'hétérogénéité des cohortes (données socio-démographiques, pratiques sportives, etc.)

Comme nous l'avons vu, elles sont composées parfois exclusivement, ou du moins très majoritairement, de femmes. Si cette répartition reflète la population occidentale pratiquant le yoga, cela constitue néanmoins un biais majeur dans l'interprétation des données. En recherche biomédicale, il est désormais reconnu que tester des médicaments presque exclusivement sur des hommes présente des biais qui engendrent, au niveau de la pratique thérapeutique, des problèmes d'efficacité, de dosage, et d'effets secondaires notamment. Un biais similaire d'interprétation des résultats peut se poser ici.

Les modalités de recrutement utilisées dans ces études soulèvent plusieurs questions. En effet, les participants sont souvent recrutés via des annonces diffusées dans des studios de yoga, des salles de sport ou des universités. Ce mode de sélection, fondé sur le volontariat, favorise la participation d'individus correspondant à un certain profil social et psychologique ; à savoir, des pratiquants motivés, désireux de contribuer à la recherche, et généralement en bonne santé. Ce biais de sélection limite la représentativité des échantillons et peut influencer les résultats obtenus. Par ailleurs, la question de la rémunération des participants n'est jamais mentionnée. Une telle rémunération peut modifier la composition sociologique des cohortes, dans la mesure où elle constitue un facteur de motivation non négligeable, susceptible d'attirer des profils différents.

Enfin, les études présentent une grande variabilité dans les types de pratique du yoga. Certaines cohortes incluent notamment des participants dont la pratique était presque exclusivement de la méditation. Pour assurer une meilleure homogénéité des données et faciliter la comparaison des résultats, j'ai restreint mon analyse aux études réalisées avec des pratiquants de hatha yoga, puisque cette forme de yoga est la plus répandue et la plus représentative de la pratique en Occident.

Limitations dues à la taille des cohortes

Comme je l'ai signalé à de multiples reprises et comme le font souvent remarquer les auteurs eux-mêmes dans la discussion de leurs articles, la petite taille des cohortes pose un problème de significativité statistique des résultats, d'autant plus important que l'effet mesuré est moyen ou faible.

Limitations dues à la présence de facteurs confondants non contrôlés (caractéristiques initiales des participants)

Les études comparant les données de pratiquants expérimentés de yoga à celles de sujets témoins soulèvent une autre question : qu'est-ce qui motive une pratique assidue du yoga ? Autrement dit, les yogis avant de s'engager dans cette discipline, différaient-ils déjà des individus recrutés dans les groupes « contrôle » ? Dans une telle situation, l'étude pourra démontrer une corrélation significative mais elle ne pourra pas en déduire un lien de causalité puisqu'il est impossible de discriminer entre l'effet de la pratique du yoga et celui de la prédisposition à faire du yoga. L'étude longitudinale de Gotink et al. (2018) montre, comme les auteurs le reconnaissent eux même, qu'il n'est pas possible de mettre en évidence un effet de causalité lorsque le protocole expérimental ne permet pas de réduire les facteurs confondants. Ils signalent que les participants présentent des profils psychologiques hétérogènes dès le début de l'étude. Les pratiquants de yoga ont des niveaux de stress plus élevés que la moyenne des sujets suivis, alors que les méditants affichent davantage de symptômes dépressifs. Par conséquent il n'est pas surprenant que l'on retrouve à la fin de l'étude les mêmes différences qu'au début. Cela ne peut donc pas être uniquement imputé à leurs pratiques.

En outre bien que cela ne soit mentionné dans aucun des articles étudiés, on peut faire l'hypothèse que les sujets ayant une longue pratique de yoga ont peut-être des habitudes de vie différentes de celles des sujets « contrôle » en terme, par exemple, d'alimentation, de rythme de vie… Ce sont autant de facteurs confondants qui rendent difficile la comparaison entre les cohortes.

Limitations dues au choix du modèle statistique (corrélation / régression linéaire)

Plusieurs études, dont celles sur la mesure du volume de matière grise, suggèrent la possibilité d'un effet cumulatif de la pratique du yoga. Dans ces conditions, comme nous l'avons analysé en détail au paragraphe 2.2, l'estimation d'une relation linéaire entre la durée de pratique du yoga et l'effet étudié n'est pas la méthode la plus pertinente puisqu'elle exclue la possibilité d'un effet de seuil. Nous verrons dans la conclusion qu'une étude de grande ampleur sur les bénéfices de la méditation ont bien mis en évidence un tel effet.

CONCLUSION

Dans ces conditions peut-on en conclure que la pratique du hatha yoga a un effet sur le fonctionnement du système nerveux ?

Nous avons vu que les protocoles expérimentaux conçus pour répondre à cette question se heurtent à des obstacles majeurs. Les résultats obtenus sont peu concluants, voire contradictoires. Lorsqu'un effet est identifié, il est souvent à la limite du seuil de significativité statistique du fait de la petite taille des cohortes. De plus, il ne peut s'agir que de corrélations, aucune étude n'étant en mesure de montrer un lien causal entre la pratique du yoga et des modifications du fonctionnement du système nerveux du fait de la présence de facteurs confondants et de l'absence d'études longitudinales. Ces limites invitent à la prudence dans l'interprétation des données.

En effet, une question centrale persiste : comment isoler les effets spécifiques du yoga de l'ensemble du contexte de vie des pratiquants ? Il est bien établi que les habitudes de vie, la pratique sportive ou toute activité régulière exercent une influence sur le système nerveux (Erickson et al., 2014 ; Otsuka et al., 2022). Rien ne permet donc de supposer que le yoga en serait exempt. Cependant, les travaux actuels ne parviennent pas à distinguer les effets attribuables spécifiquement à cette pratique de ceux liés à d'autres facteurs environnementaux ou comportementaux.

Pour avancer dans ce type d'analyse complexe, il pourrait être pertinent de restreindre le champ des questions investiguées. Par exemple, on pourrait examiner de manière fine si, et comment, la pratique du hatha yoga améliore le contrôle postural. Une étude de ce type a en effet montré que des pratiquants d'arts martiaux chinois présentent un meilleur contrôle des réactions posturales suite à des perturbations inattendues, que les yeux soient ouverts ou fermés, comparativement à des pratiquants d'autres disciplines sportives (Gorgy et al., 2008). Ces auteurs suggèrent que la pratique des arts martiaux chinois pourrait favoriser un meilleur contrôle des propriétés biomécaniques des membres inférieurs. La meilleure conscience intéroceptive rapportée chez les yogis (van Aalst et al., 2021) suggère qu'il pourrait en être de même pour la pratique du yoga. Ce type de protocole expérimental pourrait naturellement être étendu à d'autres dimensions de la perception du schéma corporel, ouvrant ainsi la voie à une caractérisation plus complète des effets sensorimoteurs du hatha yoga.

Il est intéressant de constater que, malgré la fragilité de leurs résultats, les rares travaux aboutissant à un effet presque significatif portent généralement sur des yogis très expérimentés pratiquant de façon assidue depuis de nombreuses années. Cela suggère que la durée, l'intensité et la régularité de la pratique pourraient avoir un impact significatif sur la structure cérébrale à partir d'un seuil plus élevé que celui atteint par la majorité des pratiquants. Cette hypothèse résonne avec les enseignements traditionnels du yoga, notamment les Sūtra I.12 à I.14 de Patañjali, où il est écrit que la progression sur la voie du yoga exige une pratique à la fois régulière et assidue (Patañjali, 1991).

Cette problématique de la durée de pratique peut être mise en parallèle avec les données récemment publiées concernant les effets de la méditation sur l'intégrité cérébrale (Haudry et al., 2025). Cette grande étude financée par l'Union Européenne compare quatre cohortes de sujets. La première cohorte est constituée de sujets ayant pratiqué la méditation de pleine conscience ou la méditation d'amour bienveillant et de compassion pendant au moins 10 000 heures au cours de leur vie avec une pratique régulière (c'est-à-dire au moins 6 jours par semaine pendant au moins 45 minutes) et passé au moins 6 mois cumulés en retraite (en méditant au moins 8 heures par jour) ; ce qui aboutit à une durée totale de méditation comprise entre 10 000 et 164 000 heures selon les individus.

Les sujets de la deuxième cohorte suivaient une formation à la méditation de 18 mois, ceux de la troisième cohorte une formation en langue non maternelle. Pour ces deux dernières cohortes le rythme était d'une séance encadrée de 2 heures par semaine et d'une pratique quotidienne personnelle. Les sujets de la quatrième cohorte ne modifiaient pas leur rythme de vie.

Cette étude montre qu'à âge chronologique égal, i.e. celui de l'état civil, les sujets de la première cohorte « méditants sur une longue durée » ont un âge cérébral (i.e. âge « biologique ») estimé plus jeune que les sujets n'ayant jamais pratiqué la méditation. Cet effet est d'autant plus marqué que le nombre d'heures de pratique cumulées est plus élevé et il est associé à de meilleurs scores de capacité de régulation cognitive et affective. La formation de 18 mois à la méditation n'a eu aucun effet sur le vieillissement cérébral, contrairement à l'hypothèse envisagée initialement par les chercheurs.

Les résultats de cette étude suggèrent que la dimension méditative présente dans la pratique du hatha yoga occidental n'est pas suffisante, à elle seule, pour atteindre le seuil nécessaire pour observer des effets neurophysiologiques. Dans cette hypothèse, les quelques effets observés dans les études présentées ci-dessus seraient dus principalement à la dimension physique des asanas, voir éventuellement au cumul de cette dernière avec le travail sur la respiration et la méditation.

En conclusion, cette analyse des articles primaires portant exclusivement sur le hatha yoga ne permet pas d'établir que cette pratique exerce, à elle seule, un effet spécifique sur la structure et le fonctionnement du système nerveux. Cette conclusion rejoint celle d'une revue systématique très récente de Stoeler et al. (2026). Ces auteurs ont examiné 23 études de neuroimagerie. Ils soulignent que les résultats concernant l'impact du yoga sur la structure et le fonctionnement cérébral chez des individus en bonne santé sont hétérogènes. Ils attribuent principalement cette variabilité à des divergences méthodologiques entre les études, notamment en ce qui concerne les caractéristiques des échantillons, les protocoles expérimentaux, ainsi que l'absence d'une définition claire et précise du yoga et de sa distinction vis-à-vis de la méditation. Ils en concluent que cette hétérogénéité empêche toute synthèse simple et homogène de la littérature et *a fortiori* l'établissement de conclusions claires et généralisables.

En l'état actuel de la science, cela ne signifie pas que le hatha yoga n'a pas d'effets sur le système nerveux, mais seulement que cet effet n'est pas établi scientifiquement. Il faut admettre que les travaux existants sont de nature purement exploratoire. Ils n'ouvrent que des pistes pour des programmes de recherche à venir qui, soit aborderaient cette question de manière plus circonscrite et moins ambitieuse afin de minimiser les facteurs confondants, soit mobiliseraient des moyens considérables en termes de taille de cohorte et de méthodologies, comme le reconnaissent plusieurs auteurs. On rencontrerait vraisemblablement les mêmes obstacles méthodologiques si l'on étudiait les liens entre le yoga et d'autres grandes fonctions comme les réponses immunitaires ou les régulations endocriniennes.

Il n'en reste pas moins que dans nombre de ces études les yogis déclarent fréquemment que leur pratique améliore leur état psychologique : réduction du stress et de l'anxiété, sentiment accru de bien-être etc. Pour comprendre ces témoignages, il est essentiel de considérer non seulement la pratique du yoga en elle-même, mais aussi les conditions dans lesquelles elle s'exerce. En effet, plusieurs études soulignent l'importance de l'accompagnement par l'enseignant, du cadre du cours qui se déroule dans un contexte bienveillant et le plus souvent dans un environnement calme. À cela peut s'ajouter une dynamique de groupe qui favorise l'engagement du pratiquant ainsi que l'effet placebo lié à la croyance selon laquelle « le yoga fait du bien ». Ces différents facteurs contribuent très probablement aux améliorations psychologiques déclarées.

Références :

Afonso RF, Balardin JB, Lazar S, Sato JR, Igarashi N, Santaella DF, Lacerda SS, Amaro EJ, Kozasa EH (2017), Greater Cortical Thickness in Elderly Female Yoga Practitioners-A Cross-Sectional Study. *Front Aging Neurosci* 9:201.

Agid Y, Fan X (2019), L'autre moitié du cerveau les cellules gliales. *Med Sci* (Paris) 35:199–200.

Ceballos A (2021) Krishnamacharya : un siècle d'une vie consacrée au yoga. In: *Yoga: l'encyclopédie* (Tardan-Masquelier Y, ed), p. 493–498. Paris, Albin Michel.

Christova P, Georgopoulos AP (2023), Changes of gray matter volumes of subcortical regions across the lifespan: a Human Connectome Project study. *J Neurophysiol* 130:1303–1308.

Clarke TC (2015), Trends in the Use of Complementary Health Approaches Among Adults: United States, 2002–2012. *Natl Health Stat Report* (79):1–16.

Erickson KI, Leckie RL, Weinstein AM (2014,) Physical activity, fitness, and gray matter volume. *Neurobiol Aging* 35 Suppl 2:S20-28.

Fahsi Z (2023), *Le Yoga, nouvel esprit du capitalisme*. Textuel.

Goldberg E (2021), Yogendra et Kuvalayananda: santé et bien-être pour tous par le yoga. In: *Yoga: l'encyclopédie* (Tardan-Masquelier Y, ed), p. 476–482. Paris, Albin Michel.

Gothe NP, Hayes JM, Temali C, Damoiseaux JS (2018), Differences in Brain Structure and Function Among Yoga Practitioners and Controls. *Front Integr Neurosci* 12:26.

Gotink RA, Vernooij MW, Ikram MA, Niessen WJ, Krestin GP, Hofman A, Tiemeier H, Hunink MGM (2018), Meditation and yoga practice are associated with smaller right amygdala volume: the Rotterdam study. *Brain Imaging Behav* 12:1631–1639.

Haudry S, Lambert N, Gaser C, Thirion B, Landeau B, Gonneaud J, Poisnel G, Champetier P, Lehodey A, Marchant NL, Klimecki O, Collette F, Vivien D, de la Sayette V, Lutz A, Chételat G (2025), Impact of meditation on brain age derived from multimodal neuroimaging in experts and older adults from a randomized trial. *Sci Rep* 15:37710.

Jhang J, Park S, Liu S, O'Keefe DD, Han S (2024), A top-down slow breathing circuit that alleviates negative affect in mice. *Nat Neurosci* 27:2455–2465.

Oken BS, Zajdel D, Kishiyama S, Flegal K, Dehen C, Haas M, Kraemer DF, Lawrence J, Leyva J (2006), Randomized, controlled, six-month trial of yoga in healthy seniors: effects on cognition and quality of life. *Altern Ther Health Med* 12:40–47.

Otsuka R, Nishita Y, Nakamura A, Kato T, Ando F, Shimokata H, Arai H (2022), Basic lifestyle habits and volume change in total gray matter among community dwelling middle-aged and older Japanese adults. *Prev Med* 161:107149.

Patañjali (1991), *Yoga-sutras*. Paris, Albin Michel.

Pritschet L, Taylor CM, Cossio D, Faskowitz J, Santander T, Handwerker DA, Grotzinger H, Layher E, Chrastil ER, Jacobs EG (2024), Neuroanatomical changes observed over the course of a human pregnancy. *Nat Neurosci* 27:2253–2260.

Salat DH, Buckner RL, Snyder AZ, Greve DN, Desikan RSR, Busa E, Morris JC, Dale AM, Fischl B (2004), Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cereb Cortex* 14:721–730.

Santaella DF, Balardin JB, Afonso RF, Giorjiani GM, Sato JR, Lacerda SS, Amaro EJ, Lazar S, Kozasa EH (2019), Greater Anteroposterior Default Mode Network Functional Connectivity in Long-Term Elderly Yoga Practitioners. *Front Aging Neurosci* 11:158.

Squarcini F (2021), L'invention de la Journée internationale du yoga. In: *Yoga: l'encyclopédie* (Tardan-Masquelier Y, ed), p. 622–626. Paris, Albin Michel.

Streeter CC, Gerbarg PL, Brown RP, Scott TM, Nielsen GH, Owen L, Sakai O, Sneider JT, Nyer MB, Silveri MM (2020), Thalamic Gamma Aminobutyric Acid Level Changes in Major Depressive Disorder After a 12-Week Iyengar Yoga and Coherent Breathing Intervention. *J Altern Complement Med* 26:190–197.

Streeter CC, Whitfield TH, Owen L, Rein T, Karri SK, Yakhkind A, Perlmutter R, Prescot A, Renshaw PF, Ciraulo DA, Jensen JE (2010), Effects of yoga versus walking on mood, anxiety, and brain GABA levels: a randomized controlled MRS study. *J Altern Complement Med* 16:1145–1152.

Szaszkó B, Schmid RR, Pomper U, Maiworm M, Laiber S, Lange MJ, Tschenett H, Nater UM, Ansorge U (2024), Testing the impact of hatha yoga on task switching: a randomized controlled trial. *Front Hum Neurosci* 18:1438017.

Szaszkó B, Tschenett H, Ansorge U, Nater UM (2025), Hatha yoga reduces momentary stress but does not impact diurnal profiles of salivary cortisol and alpha-amylase: A randomized controlled trial. *Psychoneuroendocrinology* 171:107191.

Tardan-Masquelier Y (2025), Le yoga, une philosophie de la délivrance devenue pratique de santé ? *Revue Française de Yoga*:11–22.

Toussaint P-J, Maiz S, Coynel D, Doyon J, Messé A, de Souza LC, Sarazin M, Perlbarg V, Habert M-O, Benali H (2014), Characteristics of the default mode functional connectivity in normal ageing and Alzheimer's disease using resting state fMRI with a combined approach of entropy-based and graph theoretical measurements. *Neuroimage* 101:778–786.

Vadiraja HS, Raghavendra RM, Nagarathna R, Nagendra HR, Rekha M, Vanitha N, Gopinath KS, Srinath BS, Vishweshwara MS, Madhavi YS, Ajaikumar BS, Ramesh BS, Nalini R, Kumar V (2009), Effects of a yoga program on cortisol rhythm and mood states in early breast cancer patients undergoing adjuvant radiotherapy: a randomized controlled trial. *Integr Cancer Ther* 8:37–46.

Van Aalst J, Jennen L, Demyttenaere K, Sunaert S, Koole M, Ceccarini J, Van Laere K (2021), Twelve-Week Yoga vs. Aerobic Cycling Initiation in Sedentary Healthy Subjects: A Behavioral and Multiparametric Interventional PET/MR Study. *Front Psychiatry* 12:739356.

Villemure C, Ceko M, Cotton VA, Bushnell MC (2014), Insular cortex mediates increased pain tolerance in yoga practitioners. *Cereb Cortex* 24:2732–2740.

Villemure C, Čeko M, Cotton VA, Bushnell MC (2015), Neuroprotective effects of yoga practice: age-, experience-, and frequency-dependent plasticity. *Front Hum Neurosci* 9:281.

Voix R (2021) L'Inde "guru du monde"? Le yoga instrumentalisé. In: *Yoga: l'encyclopédie* (Tardan-Masquelier Y, ed), p. 615–621. Paris, Albin Michel.