

Quelles neurosciences à l'Anthropocène ?

Réflexions par et pour les acteurs du domaine

#Neurosciences
#Anthropocène
#Soutenabilité
#Technocritique
#Épistémologie

Rémi Magnin

Julien Lefèvre,

Institut de Neurosciences de la Timone, Atelier d'écologie politique d'Aix-Marseille

Manuel Mercier,

Institut de Neurosciences des Systèmes, Atelier d'écologie politique d'Aix-Marseille

Daniele Schön,

Institut de Neurosciences de la Timone, Atelier d'écologie politique d'Aix-Marseille

Résumé

Les neurosciences n'échappent pas à une interrogation sur la place de ses activités dans les grands bouleversements environnementaux actuels. Dans ce contexte, nous avons proposé un projet de recherche pour interroger le futur de notre domaine de recherche. Ce projet vise à questionner l'impact direct, et plus largement le rôle de ce champ de connaissance dans nos trajectoires collectives face à l'anthropocène, ainsi qu'à explorer ses attachements à des conditions matérielles potentiellement menacées.

Nous proposons dans cet article d'explorer dans un premier temps l'héritage épistémologique des neurosciences, domaine qui pose déjà quelques soucis de définition. Il s'agit notamment d'une réduction de l'étude du cerveau au travers de métaphores issues des imaginaires technologiques dominants avec récemment les réseaux de neurones artificiels. Dans un second temps, nous nous concentrons sur la matérialité inhérente à l'activité scientifique, incarnée dans des machines IRM ou une infrastructure dédiée à l'IA, toujours plus puissantes et consommatrices de ressources, mais dont une large part des recherches est désormais tributaire. Nous mentionnerons ensuite certaines formes de représentation et d'idéologies induites par la recherche en neurosciences, qu'il s'agisse du pouvoir de l'imagerie ou d'une vision biologisante et néolibérale de la société. L'orientation centrale de notre contribution sera de dévoiler une partie de l'enchevêtrement scientifique et technologique des neurosciences et de voir en quoi ce dernier est problématique pour envisager une soutenabilité du domaine, que ce soit sur le plan matériel, épistémologique ou idéologique. Enfin nous avancerons au moins deux pistes pour un futur des neurosciences au regard d'objectifs de redirection écologique: une politisation des directions de recherche, avec une large participation démocratique, tout en appelant à un renouvellement de la pluralité disciplinaire au sein des neurosciences.



Introduction

Notre entrée collective dans l'Anthropocène¹ heurte de plein fouet nos activités (in)humaines et leur cadre d'exercice, enjoignant d'une part à les faire tenir dans l'espace ténu des limites planétaires (Rockström, 2009), et d'autre part à envisager leur nécessaire reconfiguration pour se mouvoir dans un monde qui, si on ne peut prévoir avec certitude ses contours exacts, n'aura sans aucun doute nulle ressemblance avec celui dans lequel ces activités prennent leur racine.

Parmi le large champ des activités humaines, la recherche scientifique tient une place particulière et en son sein le domaine des neurosciences dans lequel les auteur.rices ont été des acteur.rices attentif.ves aux évolutions du domaine, rapides tant dans l'engouement sociétal que dans la quantité des financements. Tandis qu'elle joue un rôle déterminant pour nous éclairer sur les bouleversements en cours, et possède une partie des clés pour y répondre, elle a aussi une responsabilité importante par les impacts directs comme indirects d'un certain nombre de développements technologiques et idéologiques qu'elle a permis de faire advenir ou de légitimer (Jensen, 2022). De plus, la recherche scientifique a un rôle tout à fait particulier dans l'ouverture (ou la fermeture) de futurs possibles, selon les connaissances et technologies qu'elle produira ou ne produira pas. Dans ces conditions, il est légitime de s'interroger sur la façon dont le monde de la recherche envisage ces différents aspects qui en outre peuvent créer des tensions nouvelles en son sein².

Au-delà des champs disciplinaires s'intéressant directement aux bouleversements environnementaux, tels que les sciences du climat et des écosystèmes, ou à leurs effets sur nos sociétés humaines, des questionnements traversent aujourd'hui la recherche académique dans son ensemble, par la voix de chercheurs et chercheuses ou de collectifs³. Ces questionnements portent à la fois sur le fonctionnement et l'impact de la recherche académique de manière assez large et son articulation dans la société (Urai et Kelly, 2023), et dans des champs disciplinaires particuliers avec leurs propres spécificités (par exemple les sciences du climat (Glavovic, 2021), l'astrophysique (Zwart, 2020 ; Aujoux, 2021) ou les neurosciences (Rae, 2022 ; Zak 2020)). L'une des démarches les plus répandues pour aborder cette question consiste à effectuer un bilan carbone, dans un premier pas visant à quantifier l'impact d'une activité.

Des initiatives existent d'ores et déjà au sein des laboratoires, généralement portées par des collectifs locaux ou nationaux (labos 1point5) pour effectuer ce chiffrage (Ben-Ari, 2023). Néanmoins lorsqu'il s'agit d'évoquer des pistes de réduction de l'impact, la majeure partie porte sur les déplacements en avion (Epp et al., 2023), alors que dans

de nombreux domaines de recherche, particulièrement dans les champs devant recourir à des instruments énergivores, c'est l'activité même du laboratoire qui représente l'impact le plus important, ce qui peut être approché de manière indirecte à travers l'empreinte des achats (De Paepe, 2023). Par ailleurs, la littérature est peu fournie sur l'impact que les bouleversements environnementaux pourraient entraîner sur l'activité de recherche, et les éventuels arbitrages à effectuer pour les anticiper. Enfin, même si ces débats émergent timidement (Glausiusz, 2019), la question de l'impact futur voire de la possibilité d'advenir de l'objet des recherches actuellement menées est encore très rarement discutée. À ce titre, et en ce que les neurosciences participent étroitement à l'étude de notre cognition et conditionnent donc d'une certaine façon notre rapport au monde, mis à l'épreuve par notre entrée dans l'Anthropocène, une réflexion sur la visée même des recherches sur le cerveau paraît aujourd'hui nécessaire.

Ce constat nous a mené à proposer le projet UNITAE « *quelles neurosciences à l'anthropocène* » pour dépasser l'approche uniquement quantitative de l'impact d'une activité et explorer un positionnement réflexif, critique et prospectif porté par des acteur.ices du domaine, en collaboration étroite avec des chercheur.euses en psychologie sociale et sociologie. Ce projet se pose donc comme une initiative relativement inédite dans le système de l'enseignement supérieur et de recherche en France, en visant à ce qu'une communauté scientifique s'étudie elle-même en vue des transformations et des adaptations du monde à venir. L'objet de cette publication est de présenter les premières réflexions issues de ces travaux, et a donc principalement un objectif exploratoire, visant à ouvrir des perspectives pour des recherches ultérieures et des bifurcations possibles.

Nous proposons d'aborder ces questionnements par le biais d'une enquête, au sens donné par John Dewey (Monnin, 2023). Cette réflexion a été réalisée en immersion au sein de l'Institut de Neurosciences de la Timone, lui-même inclus dans l'institut Neuromarseille⁴ et a entre autres impliqué plusieurs entretiens semi-dirigés avec des auteur.rices du domaine, ainsi que des entretiens plus spécifiques autour de l'intelligence artificielle (IA), partiellement présentés dans (Lemmers, 2024). La démarche s'inspire également des travaux de post-doctorat de Bruno Latour (Woolgar & Latour, 1988). Nous souhaitons ainsi éclairer un certain nombre d'attachements du champ disciplinaire des neurosciences et de ses membres, aussi bien à des conditions matérielles menacées ou menaçantes qu'à des représentations du futur héritées d'école de pensées et de pratiques passées et potentiellement obsolètes. Nous proposons dans cet article d'explorer dans un premier

temps l'héritage épistémologique des neurosciences (domaine que nous tâcherons de mieux circonscrire) en particulier par le biais des imaginaires ou métaphores techniques sur lesquels elles s'appuient, avant de nous concentrer sur les attachements de cette activité à une matérialité dont la soutenabilité serait questionnable. Nous tâcherons ensuite de développer certaines formes de représentation induites par ces pratiques, avant d'explorer quelques pistes pour leur futur au regard d'objectifs de redirection écologique (Bonnet, 2021). Au travers des deux axes choisis, l'orientation centrale de notre contribution sera de dévoiler une partie de l'enchevêtrement scientifique et technologique des neurosciences et de voir en quoi ce dernier est problématique pour envisager une soutenabilité du domaine, que ce soit sur le plan matériel ou épistémologique, ces deux aspects se renforçant mutuellement.

1. Héritage

Afin d'éclairer certaines des conceptions actuelles traversant les neurosciences sur ce que sont notre cerveau, notre pensée et notre comportement, et la façon de les étudier, revenons brièvement sur la façon dont ces conceptions se sont construites au cours de l'histoire. L'objectif n'est pas ici de proposer un historique exhaustif qui est largement documenté dans la littérature, mais de mettre en avant des aspects nous semblant structurants du développement de cette discipline et dont l'héritage épistémologique reste persistant, avec d'un côté la convergence progressive de la représentation de l'esprit dans l'organe cerveau et de l'autre la part des techniques et technologies de l'époque dans cette représentation.

S'il est aujourd'hui assez largement admis, au moins dans la culture occidentale (Pajon & Cathiard, 2014), que le cerveau est le siège de la pensée et le moteur principal de notre comportement aussi bien individuel que social, et qu'il dispose à ce titre d'une place particulière, il est intéressant de noter qu'il n'en a pas toujours été ainsi. Si nous prenons l'exemple de la civilisation égyptienne, le peu de cas accordé au cerveau lors des rites funéraires malgré le soin particulier réservé aux corps des défunts les plus illustres montre qu'il n'était pas considéré comme un organe important. Pour Aristote, c'est la thèse cardiocentrique qui domine, faisant du cœur le siège des capacités intellectuelles et émotionnelles, le cerveau ne possédant qu'une fonction de régulation de la température (Mein, 1988).

Ce n'est qu'au IIe siècle av. J.-C., notamment sous l'influence de Galien, que la thèse du cerveau comme organe central et siège de la pensée prend une place importante, la description de son fonctionnement étant alors basée sur la théorie des humeurs développée par Hippocrate (Saban, 1999). Cette vision évoluera peu, jusqu'à Descartes, proposant un premier dualisme entre une âme toujours immatérielle et un corps-machine. Sous ces impulsions, extrapolées notamment par de La Mettrie dans son livre « L'homme machine », émerge la vision du cerveau comme machine, héritage encore présent aujourd'hui. La fin du 19e siècle marque également un tournant épistémologique important, l'essor de l'observation clinique amenant à développer de nouvelles conceptions du cerveau avec un engouement important pour les thèses localisationnistes, considérant que le cerveau n'est pas « un » mais bien un mosaïque de zones chacune dédiée à une fonction cognitive, une émotion ou encore un trait de comportement. C'est l'avènement de la phrénologie, initiée par Gall, dont certains fondements

trouveront un écho bien utile à travers les travaux de Paul Broca et ses travaux sur le langage après 1860. La localisation des fonctions mentales d'une part et la métaphore cerveau-machine d'autre part constitue des héritages « mécanistiques » marquant aujourd'hui encore profondément le champ des neurosciences.

Les avancées de la microscopie permettront à la fin du 19e siècle de mettre en évidence l'existence des neurones par Golgi, d'abord considérés comme les nœuds solidaires d'un vaste réseau, avant que Y Cajal ne complète cette vision en émettant l'hypothèse de neurones à la fois des cellules uniques, et formant un réseau. Cela sera le support de développement d'une vision du cerveau comme un assemblage de structures discrètes.

Le milieu du 20e siècle enfin représente une période charnière dans la structuration des neurosciences telles que pratiquées aujourd'hui. Après une ère dominée par l'observation clinique, l'émergence de l'informatique et de la cybernétique va accompagner celle d'une vision fonctionnaliste du cerveau où l'on cherchera plus à décrire la fonction que le support biologique de fonctionnement et sa dimension incarnée. Le cerveau machine fait son retour, ce dernier étant alors régulièrement décrit et étudié comme une boîte noire dont le fonctionnement serait similaire à celui d'un ordinateur, se bornant à effectuer une suite d'opérations logiques comme le proposent Mc Culloch et Pitts en 1943 (Monier, 2018). Cette vision irriguera les conférences Macy dans les années 40-50, base du programme cybernétique et pierre angulaire de la naissance des sciences cognitives, domaine hautement pluridisciplinaire (Varela 1996 ; Monier, 2018) intégrant les neurobiologies, la linguistique, l'anthropologie, la psychologie, la philosophie de la cognition et l'intelligence artificielle (symbolique ou connexionniste).

Les années 1960 voient indépendamment la naissance du terme « neurosciences » (Abi-Rached et Rose, 2014) et le développement d'un champ scientifique spécifiquement dédié à l'étude du cerveau, tout aussi pluridisciplinaire dès sa conception car visant à articuler les différentes méthodes et conceptions scientifiques du moment pour mieux comprendre le fonctionnement du cerveau par le prisme des sciences dites « naturelles ». Alors que l'étude de la pensée en elle-même, et des comportements humains, individuels et sociaux, était jusqu'à présent principalement réservée à des disciplines rattachées aux sciences humaines, les années 80 voient également naître les neurosciences cognitives, en une convergence entre sciences de la cognition et neurosciences, dans l'objectif de décrire, expliquer voire simuler les mécanismes de la pensée, sur la base d'une approche très naturaliste sinon réductionniste et qui tend peu à peu à effacer la pluralité paradigmatique et disciplinaire des origines.

Ce moment représente un tournant majeur, dont on constate une accélération à partir des années 1990 (Abi-Rached et Rose, 2014), période à laquelle les progrès de l'imagerie médicale, et de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) fonctionnelle en particulier, vont mettre en avant le pouvoir des images dans l'étude du cerveau, faisant d'ailleurs surgir des critiques quant à l'émergence d'une « néo-phrénologie » (Uttal, 2001). Malgré ces critiques, le pouvoir de ces techniques leur vaut aujourd'hui une place importante en tant que modalité d'étude, représentant un régime de preuve largement répandu dans le champ des neurosciences, la représentation visuelle de la preuve (par exemple une image du cerveau en niveaux de gris avec des « zones d'activation » en rouge) permettant

par ailleurs un débordement de ce régime bien au-delà des laboratoires (Joyce, 2005). Les progrès parallèles exponentiels des capacités informatiques vont susciter des projets grandioses, mais on le verra déceptifs, promettant le « décryptage du cerveau humain » tels que le Human Brain Project (Markram, 2012) ou encore le Brain Initiative sous la mandature d'Obama⁵, toujours assis sur une conception réductionniste bien que multidisciplinaire, du fonctionnement de notre « organe à penser ». C'est également la montée en puissance de l'intelligence artificielle dite connexionniste⁶, en particulier des modèles basés sur des « réseaux de neurones » (Cardon, 2018), qui prolongent et étendent par la puissance informatique les premiers modèles de McCulloch et Pitts.

Initialement développés par imitation d'une compréhension du cerveau comme organe non plus logique mais adaptatif, ces outils d'IA et leur développement actuel sont d'une certaine façon un apogée du lien entre compréhension de la pensée et imaginaire technique. En effet, puisque l'on ne peut renier leur pouvoir prédictif et leur puissance générative, ces algorithmes ont été massivement adoptés, nourrissant une superposition troublante entre l'outil, et son objet d'étude initial.

Ce bref historique montre l'importance des développements techniques dans l'étude, et la compréhension du cerveau, mais donne également un aperçu de la façon dont ils conditionnent les pratiques et les cosmologies inhérentes à ce champ, que l'on peut résumer en deux grandes idées générales : la réduction de l'esprit au cerveau, et une théorie computationnelle élargie du fonctionnement du cerveau. Nous proposons donc dans un premier temps de revenir sur la soutenabilité de ces différentes techniques, avant de développer les différentes représentations qu'elles induisent et en quoi elles pourraient nécessiter un questionnement voire une remise en cause épistémique.

2. Quel impact et quelle soutenabilité ?

L'un des descripteurs importants de l'ère de l'Anthropocène étant le poids de notre technosphère (Haff, 2014), il est légitime dans une perspective de redirection écologique de replacer ces recherches dans le contexte de la matérialité de leurs pratiques. Les neurosciences aujourd'hui sont très largement tributaires de technologies et de leurs corollaires en termes de consommation énergétique, parmi lesquelles imagerie et numérique jouent un rôle prépondérant, tant par le poids accordé aujourd'hui à l'IRM fonctionnelle dans le champ des sciences cognitives, qu'à la quantité de données et à la complexité des opérations de leur traitement qu'engendre ce type de techniques. Les pratiques actuelles des neurosciences reposent aussi sur nombre d'autres techniques telles que l'électrophysiologie et la MEG, mais également toutes les techniques d'analyse génétique, moléculaire et cellulaire, autres branches d'étude particulièrement importante dans les neurosciences, dont l'impact n'est pas négligeable (Winter, 2023). Compte tenu du contexte de notre enquête, nous nous bornerons à discuter les cas particuliers de l'IRM et du numérique, en axant sur l'essor de l'intelligence artificielle.

L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM).

L'IRM est aujourd'hui incontournable dans l'étude du cerveau, technologie qui représente un poids environnemental important (Chaban, 2024). Parmi ses principaux impacts, le coût extractiviste pour la construction,

une consommation d'électricité élevée relativement à d'autres modalités d'imagerie, une contamination des eaux par le rejet d'agents de contraste, bien que l'utilisation de ces derniers puisse être marginale dans le champ des neurosciences. Cela pose certes des questions du point de vue de l'impact, ce que tente d'adresser cet article, mais également du point de vue des dépendances que le secteur de la recherche se crée vis-à-vis de ces instruments. *Dans un monde dans lequel tout porte à croire que des arbitrages seront à effectuer sur les ressources, est-il absolument certain que la priorité sera donnée à des recherches utilisant ce type d'appareils ? Devront-ils être dédiés à la recherche ou majoritairement à la pratique clinique ? Quelle est la résilience de certains dispositifs à des pénuries de matière première ou d'énergie (une question qui se pose déjà dans la production de certains médicaments) ? Et quid des considérations géopolitiques et de justice environnementale ?*

En nous intéressant plus avant aux raisons qui font le succès de cette modalité d'étude, la force de preuve de l'image semble particulièrement prégnante, soit l'idée selon laquelle nous pourrions « voir le cerveau penser » ayant été largement reprise notamment dans la diffusion de ces recherches hors du laboratoire. Certains auteurs arguent même que voir deviendrait une forme de savoir (Roepstorff, 2007). Suivant cette logique, il n'est pas étonnant que l'un des axes d'innovation les plus porteurs dans ce domaine soit la recherche d'une résolution de plus en plus fine. Ce que l'on appelle résolution, ou sensibilité, est la taille des objets que l'instrument est en mesure de « voir », autrement dit le niveau de détail. En grande partie nourrie par une conception du cerveau comme un ensemble de structures discrètes (les neurones) communiquant entre elles, l'idée selon laquelle plus nous pourrions regarder « le petit » plus nous comprendrions le cerveau est un moteur important des développements technologiques, qui se traduit principalement par une augmentation de l'intensité du champ magnétique, et donc de la consommation d'énergie (Cha-ban, 2024).

Ceci est parfaitement illustré par l'engouement médiatique et scientifique suscité au début de l'année 2024 à l'occasion de l'aboutissement du projet Iseult : avec des images de cerveau humain issu de l'IRM le plus puissant du monde (jusqu'à la prochaine avancée...). Sans remettre en cause la prouesse technologique que représentent ces développements, il est légitime dans la perspective de se réinscrire dans les limites planétaires et étant donné l'intensité en ressources et en financement de tels projets, de s'interroger sur leur finalité, et plus encore sur les moteurs qui promeuvent ce type d'innovation plutôt qu'une autre. Et ce, d'autant plus que cette "course à l'armement" paraît à la lumière de notre enquête, être ancrée beaucoup plus largement dans les pratiques de recherche. Posséder une machine, si possible la meilleure (selon des critères de taille, de résolution, ou encore de puissance), est généralement preuve de sérieux voire de prestige pour les équipes et plus encore, relève d'une forme de nécessité vis-à-vis de la compétition internationale.

Les publications, donc en l'état du système actuel les modalités de valorisation des chercheuses et chercheurs et de leurs activités, sont généralement facilitées par la technique, c'est à dire ici d'une part la production d'images, et d'autre part le fait que ces images soient acquises à un champ magnétique élevé. L'outil utilisé pour mener les recherches paraît dans certaines situations plus importantes que la pertinence scientifique du projet, située dans les hypothèses à explorer et les questions auxquelles l'outil entend répondre. À rebours d'une sérendipité revendiquée de manière assez large dans le milieu

académique, il s'agit bien déjà ici d'une forme d'arbitrage en faveur de certains projets que cela soit sur le plan de la compréhension fondamentale, avec un pilotage par des automatismes épistémologiques (ici: chercher le plus petit), et sur le plan technique, en faveur d'une recherche vers des moyens techniques puissants plus que vers des techniques d'étude plus sobres. À cela on peut ajouter que notre enquête a commencé à révéler des mécanismes aggravants pour ce qui relève de la soutenabilité du parc IRM en recherche : la maintenance des appareils peut être difficile à obtenir par des financements récurrents et ce phénomène peut faciliter le renouvellement précoce des machines, ajoutant toujours un peu plus de contribution matérielle à la technosphère.

Cette obsolescence non contrôlée pourrait être déprogrammée par un changement de politiques scientifiques mettant l'accent sur des financements pérennes. De plus, des raisons multiples concourent à l'existence de plusieurs machines au sein d'un même site hospitalo-universitaire sans que des stratégies de mutualisation ne puissent être aisément mises en place. Ce faisant, et pour reprendre la terminologie introduite par José Halloy, il semble bien que la recherche dans le domaine se rende de plus en plus dépendante de technologies zombies (Bonnet et al, 2021).

Numérique et IA

Les outils numériques, sont, au même titre que dans le reste de la société, omniprésents dans les laboratoires de neurosciences. Une revue de littérature sur l'impact du secteur estimait sa part dans les émissions de gaz à effet de serre, en 2020, entre 2,1 et 3,9% des émissions mondiales (Freitag et al., 2021) soit au-dessus des émissions du trafic aérien mondial. Les projections du secteur, bien que difficiles à établir, tablent par ailleurs sur une augmentation importante non seulement de cet impact, mais également de la consommation d'énergie associée, qui pourrait être multipliée par 3 entre 2020 et 2030. Les neurosciences, à l'instar d'autres champs disciplinaires, sont entrées de plain-pied dans l'ère du Big Data et de l'IA et nous pouvons identifier trois facteurs qui renforcent cette tendance à l'augmentation de la quantité de données et des traitements associés. Premièrement du côté de l'acquisition, les progrès dans la résolution spatiale ou temporelle s'accompagnent d'une augmentation de la taille des signaux ou images à stocker puis traiter. Deuxièmement, le retour en grâce des réseaux de neurones depuis 2012 (Cardon, 2018), comme technologie privilégiée pour l'IA, est consubstantiel d'une assimilation très performante du déluge d'informations numériques par l'apprentissage profond. Troisièmement la crise de reproductibilité pour le domaine de l'IRMf (Sauvayre, 2022) s'est accompagnée d'une remise en cause des études expérimentales sur de faibles échantillons et a sans doute favorisé l'émergence de bases de données toujours plus importantes et ouvertes, bien que ce changement d'échelle comporte paradoxalement des risques à long terme sur la validité des résultats produits à partir de ces grandes bases de données (Thompson, 2020).

Si nous considérons l'IA, le traitement des signaux et des images par des réseaux profonds s'inscrit dans une trajectoire de croissance exponentielle de la taille des modèles utilisés, c'est-à-dire le nombre de « neurones artificiels » (Sevilla, 2022). Globalement il est difficile de savoir précisément si cette trajectoire s'accompagne de gains énergétiques suffisants, comme ce fut le cas un moment pour la loi de Moore avec la loi de Koomey (Koomey, 2010)⁷. Pour autant, un certain nombre d'études soulignent

le caractère difficilement soutenable de l'IA, qu'on l'analyse du point de vue de l'utilisation de l'énergie (Strubell, 2020), de la consommation d'eau (Li, 2023) voire récemment si on se réfère aux principaux concernés comme les GAFAM⁸. Bien entendu il est légitime de s'interroger sur la façon dont ces évolutions globales se déclinent au niveau des laboratoires de recherche voire au niveau des champs disciplinaires. Pour ce qui concerne la neuro-imagerie, une discussion existe pour savoir si les nouvelles méthodes d'IA ne permettraient pas une meilleure « scalabilité » que des méthodes classiques, c'est à dire impliqueraient une augmentation modérée de la consommation énergétique lorsque la quantité de données augmente (Abrol, 2021). Plus généralement la quantification des impacts des algorithmes d'IA dans les laboratoires et en-dehors reste une question largement ouverte et non faite (Ligozat, 2022) en raison de différents verrous comme la protection du secret industriel ou la complexité des interdépendances entre systèmes techniques. Dit autrement, se limiter aux impacts directs de l'IA n'est peut-être pas le meilleur angle pour aborder la soutenabilité d'une technologie dont il conviendrait plutôt de questionner les impacts indirects, c'est-à-dire toutes les conséquences liées aux usages de cette technologie.

Au regard de travaux portant sur les liens entre universitaires et BigTech (Abdalla & Abdalla, 2021) ou encore sur la question des valeurs de l'IA (Birhane et al, 2022), il nous apparaît que des approches purement qualitatives permettent aussi d'interroger la place de l'IA, du point de vue des acteur.rices. Dans nos entretiens (Lemmers, 2024), nous avons vu ainsi émerger un discours écologiste, a priori inattendu, au milieu d'un discours plus technophile. Il peut s'exprimer au sujet des modalités de financement des appels à projets :

« Ce que j'espère [...] c'est quand tu fais ta demande de projet [...] on vise un bilan carbone de tant et que ça fasse partie d'un critère de choix des projets » ou encore sur l'impact du calcul « Il faudrait être capable de mettre en place des comités qui quand on veut utiliser une très grosse infrastructure pour faire de l'entraînement évaluent [...] si le bénéfice contrebalance le coût. »

La boucle de renforcement entre production de données et assimilation par des algorithmes ou modèles toujours plus puissants et impactant au niveau environnemental a trouvé aussi une expression singulière dans le projet originel de simulation quasi exhaustive du cerveau, l'humain brain project déjà évoqué. Il est notable de remarquer que sur la base de progrès exponentiels dans le traitement numérique de l'information (les fameuses lois de Moore), il ait pu être extrapolé que le fonctionnement entier du cerveau serait compris en 2023 (Markram, 2012). En pratique l'échec pour simuler non seulement le cerveau de « l'espèce qui a conçu Hamlet et la théorie de la relativité générale d'Einstein » (sic), mais aussi celui d'une souris devrait amener à une remise en cause collective concernant les discours de promesses dans les sciences technologiques.

3. Formes de représentations et légitimation d'un modèle social ?

Après avoir examiné la part de deux systèmes techniques et leurs interactions dans la (non-) soutenabilité des neurosciences, nous allons examiner d'autres aspects critiques de ce champ disciplinaire, d'un point de vue épistémologique, idéologique et sociologique. Dans la terminologie des analyses de cycle de vie, on pourrait dire

que nous envisageons ici les impacts indirects d'un champ disciplinaire, plus au niveau social qu'environnemental, et comment ces impacts peuvent amener aussi des rétroactions sur ce champ lui-même.

L'une des promesses des neurosciences, cognitives en particulier, est de faire le lien entre la pensée, ou certaines de ses composantes, et le fonctionnement biologique du cerveau, avec une hypothèse forte assimilant cerveau et pensée. Certains auteurs ont même évoqué les neurosciences comme participant de l'avènement d'un « sujet cérébral » ou « sujet neuronal », c'est-à-dire d'un individu définissant son identité par le fonctionnement de son cerveau (Changeux, 1983 ; Ehrenberg, 2004 ; Vidal, 2005). Sans discuter cette thèse, nous proposons néanmoins dans cette partie de nous intéresser aux formes de représentations que l'utilisation des technologies présentées précédemment (IA et IRMf) induit dans les pratiques mêmes des neurosciences, ainsi que d'examiner quelques effets de leur projection hors du laboratoire, en faisant l'hypothèse que ces représentations peuvent être des formes de légitimation du modèle socio-économique actuel, et en quoi cela nous semble être problématique dans le cadre de l'Anthropocène...

Limites techniques et scientifiques de l'IRM(f)

Il est nécessaire pour resituer notre propos de revenir brièvement sur les fondements de l'IRM fonctionnelle (IRMf) à la fois technique, et théorique. Les images que nous pouvons observer sont, avant d'être des images, des signaux. La particularité de l'IRMf est d'être une imagerie dynamique, enregistrant une modification infime du signal IRM mesurant de manière indirecte un type d'activité cérébrale. Étant donné les conditions d'acquisition et de traitement, cette technique n'est pas exempte de controverses au sein même de la communauté neuroscientifique, dont nous citerons les deux principales. La première concerne le nombre de faux positifs important généré par la longue chaîne de traitement statistique nécessaire à la mise en forme de ces données, dont l'exemple le plus connu est l'étonnant parcours médiatique et scientifique d'un saumon mort présentant une activité cérébrale dans un scanner IRM (Sauvayre, 2022). La seconde concerne l'hypothèse même reliant ce signal IRM à une activité cérébrale, dont le lien avec des observations plus fines au niveau cellulaire est loin d'être élucidé (Monier, 2018).

Si ces limites devaient déjà appeler à la prudence quant aux conclusions à tirer des études utilisant ces techniques comme preuve, un autre aspect crucial du point de vue théorique est aussi à rappeler ici. L'utilisation croissante de ces techniques, couplée à la force des images, peut tendre à faire croire que l'on « voit » dans le cerveau, que l'on « voit le cerveau fonctionner », ce qui est illustré par de nombreux titres d'émissions radio, d'articles de presse, de conférences ou encore de documentaires sur le thème « voir le cerveau penser ». Or, on ne peut observer dans le cerveau que ce que l'on y cherche, et cette vision sera largement influencée par la façon dont on le cherche. Ceci signifie que l'on n'observe pas à travers ces images la pensée en tant que telle, mais les modèles cognitifs que l'on aura construits en amont, généralement sur la base d'autres disciplines, et sur lesquels il y a de véritables débats sur la façon de les construire et de les décrire (Chamak, 2018). Sans nier l'apport de ces techniques dans la compréhension des fonctions et de pathologies dites « cérébrales », les précédentes remarques amènent à questionner la portée de certains résultats, particulièrement lorsqu'ils franchissent les portes du laboratoire pour infuser la sphère publique.

Une influence idéologique des neurosciences dans la société ?

Après que les années 1990 aient été dénommées « décennie du cerveau », nous assistons depuis le début des années 2000 à la naissance d'un nombre important de disciplines hybrides au nombre desquelles la neuro-éducation, la neuro-économie, le neuro-marketing, les neurosciences sociales ou encore le neurodroit, qui débordent largement la seule exploration scientifique en ce sens qu'elles s'hybrident très directement avec des champs disciplinaires au cœur de l'organisation des sociétés, et ayant éventuellement vocation à s'y déployer (Abi-Rached & Rose, 2014). Précisons tout de même que ces formes d'expertise ne sont pas toutes portées par la communauté neuroscientifique et que certaines font l'objet de vives discussions au sein du domaine. Le neuro-marketing offre ainsi un bon exemple de réflexions éthiques qui ont pu conduire à des interdictions, comme en France, pour toutes applications commerciales (Ulman, 2015). En nous rappelant ici d'une part le pouvoir d'autorité importante conférée aux images (Joyce, 2005), et d'autre part le fait que ces images ne portent pas d'informations sur la cognition en elle-même, mais ne peuvent être qu'interprétées au travers des théories préalablement établies, il est pertinent de poser la question d'à quel point ces théories dépendent du modèle de développement (qu'on pourrait rattacher au capitalisme ou au productivisme) qui est pour beaucoup dans notre entrée dans l'Anthropocène (Bonneuil & Fressoz, 2013) et permettent en retour de le légitimer. Au-delà des aspects éthiques soulevés par l'utilisation de résultats de neuro-imagerie se pose aussi une question plus idéologique sur la forme de société promue par ces résultats.

Pour l'illustrer, nous pouvons utiliser le cas de la neuro-éducation. Si la question de l'apprentissage comme processus est un concept complexe encore largement débattu et non élucidé tant dans les sciences sociales que dans les neurosciences, l'éducation, elle, n'a en revanche pas de sens en elle-même si elle ne se situe pas, c'est à dire qu'il n'y a pas et ne peut y avoir de définition « naturelle » de l'éducation. Cette notion est le résultat d'une construction, et d'objectifs que se donnent une société, idéalement à l'issue d'un débat collectif et en tous les cas de l'assemblage de pratiques et de valeurs passées, présentes, et à produire ou transmettre. Or, en prenant l'exemple de la France, la force des images et leur supposée « objectivité » possède la capacité à faire passer pour vraies des notions dont le domaine de validité reste celui de la position allongée d'un individu dans un scanner IRM (Monier, 2018).

Les implications de certains résultats de neuro-imagerie tendent à biologiser les difficultés d'apprentissage au sein d'objectifs éducatifs prédéfinis, pouvant donner lieu à un effacement des facteurs sociaux explicatifs de ces difficultés. Il n'est donc pas étonnant de retrouver ces pratiques défendues avant tout par les tenants de l'ordre socio-économique actuel, comme forme de légitimation de leurs choix (Brun, 2024). Notons également que, sans conclure sur la véritable efficacité de ces pratiques sur une meilleure éducation, les recherches même sont influencées par une vision préexistante, et en partie aux moins socialement construites, de ce que doit être l'apprentissage : « une maximisation du potentiel d'élèves aux capacités cognitives biologiquement et socialement différenciées » (Morel, 2016).

À ces écueils s'ajoutent une tendance de certaines recherches en neurosciences à se revendiquer comme de « l'action », pragmatique, tendant à proposer une approche dépolitisée de l'efficacité au sein d'un système donné et

libéré d'a priori idéologiques, laissant peu de place à des questionnements sur le but de l'objet dont l'efficacité est à maximiser (Morel, 2016). Dans ce domaine précis, cela semble aller à rebours de la possibilité de survenue d'une culture de l'engagement et de la diversité, passant par l'éducation, comme le requiert notre entrée dans l'Anthropocène (Lange 2019). Nous pouvons également nous questionner sur la portée de cette tendance à l'action dépolitisée et non idéologique étendue à d'autres champs de la vie sociale, si l'on s'inscrit dans la perspective d'aborder démocratiquement les différents arbitrages que l'Anthropocène ne manquera pas de faire advenir dans nos sociétés (Monnin, 2023).

La dépolitisation peut également s'immiscer dans la lutte contre le changement climatique avec une réponse donnée par certains auteurs des (neuro-) sciences du comportement. Nous ne redévelopperons pas outre mesure la controverse⁹ ayant eu lieu autour du livre « Le bug humain » qui offre le discours simpliste et scientifiquement infondé d'une cause à la crise écologique résidant dans le striatum, une structure sous-corticale impliquée dans les circuits de la récompense. En revanche, nous pouvons souligner que l'angle de la biologisation des comportements en contexte d'Anthropocène reste pris au sérieux par une partie de la communauté neuroscientifique comme l'attestent un grand nombre de publications dans les dernières années (Doell, 2023). Les neurosciences au service de l'environnement sont envisagées sous l'angle de l'identification de substrats neuronaux pour la perception des risques, les balances coûts/bénéfices, la prise de décision ou encore le passage à l'action, avec une part restreinte de la dimension sociale ou politique de l'être humain. Ce fait n'est pas étonnant de par une propension des disciplines, dans lesquelles nous incluons aussi celles relevant des Sciences humaines et sociales, à aborder des questions par leur seul prisme paradigmatique. Avant de revenir sur ce point dans la dernière partie, il faut aussi noter combien l'étude de phénomènes collectifs du point de vue des individus isolés et de leurs cerveaux est empreinte de l'idéologie néo-libérale (Stiegler, 2019).

Valeurs épistémiques et contextuelles au cœur du laboratoire.

En poursuivant l'analogie, les phénomènes émergents observés dans les réseaux de neurones relèveraient aussi d'une même source idéologique. Friedrich Hayek, penseur très influent du néo-libéralisme au XX^{ème} siècle serait en effet l'un des inspirateurs principaux des premiers réseaux de neurones artificiels (Jensen, 2021), dont on pourrait supposer que son héritage subsiste encore dans sa forme et ses objets d'application. Le travail d'explicitation des valeurs de l'IA (Birhane, 2022) révèle également que sous une apparente neutralité assumée par les promoteurs des techniques d'apprentissage statistique, des valeurs comme la performance ou l'efficacité amènent un certain nombre de biais, par exemple en défaveur des besoins sociétaux ou environnementaux, aspects qu'on retrouve régulièrement dans la critique du libéralisme.

Il est à noter que dans nos entretiens avec des experts de l'IA au sein de laboratoires de neurosciences, on retrouve présentes des valeurs épistémiques classiques de l'IA ou même de l'informatique (performance et efficacité), mais également des valeurs contextuelles comme l'utilité ou la frugalité (utilisation de peu de ressources). Plus généralement ces entretiens ont offert de nombreuses réflexions éthiques sur l'IA et une capacité insoupçonnée de prime abord à révéler les enthousiasmes et inquiétudes puis à exposer clairement les tensions créées par la

survenue des réseaux profonds dans les pratiques de laboratoire.

Sur le plan épistémique, l'irruption des réseaux de neurones profonds au sein de la recherche et de la société depuis 2012 a induit un changement partiel dans la communauté des neurosciences avec l'émergence d'une sous-communauté composée d'acteur.ices des STEM¹⁰ (Fontaine, 2024). Nous avons pu observer que toutes les sous-communautés n'ont pas le même degré d'avancement sur l'IA, et que cette dernière est souvent un outil d'analyse des données très efficace et incontournable, comme relaté dans un de nos entretiens « *Tout ce qui est segmentation d'images [...] on ne pourra pas y échapper c'est ce qui marche le mieux* ». Par ailleurs l'IA commence aussi à prétendre à la modélisation du fonctionnement cérébral puisque « *les modèles de réseaux neuronaux profonds [...] parviennent à un équilibre, expliquant les prouesses de la perception, de la cognition et du contrôle d'unités très abstraites, mais qui pourraient être implémentées avec des neurones biologiques* » (Kriegeskorte & Golan, 2019).

Ainsi, se pourrait-il que les réseaux de neurones artificiels, construits sur une représentation simplifiée des neurones biologiques, puissent apporter de nouvelles connaissances sur le fonctionnement du cerveau ? L'hypothèse est troublante et l'étude (Schaeffer, 2022) semble y répondre par la négative en soulignant qu'il est difficile de trouver un unique modèle de réseau de neurones qui optimise un certain problème, en l'occurrence ici le positionnement de neurones dans les aires de la mémoire spatiale. Dit autrement, on retomberait dans un travers bien connu pour l'IA connexionniste, qui est sa difficulté à produire un cadre explicatif bien fondé. Pour reprendre et détourner quelque peu les propos du mathématicien René Thom, « *prédire n'est pas expliquer* ». Aussi nous considérons qu'il existe un risque pour la modélisation en neurosciences à se voir absorbée par un seul paradigme hégémonique et partageons les conclusions de (Schaeffer, 2022) sur « *la circonspection et la transparence, ainsi que les connaissances biologiques [...] justifiées dans la construction et l'interprétation des modèles d'apprentissage profond en neurosciences* ».

Cette vigilance sur les valeurs est également très présente autour de plusieurs projets d'interface cerveau/machine dont une incarnation très décriée se retrouve dans le projet Neuralink de la startup d'Elon Musk (Fourneret, 2019). L'hybridation entre l'humain et des implants cérébraux pose au moins trois problèmes à nos yeux. La première porte sur les imaginaires autour d'un récit, incarné par Musk, sur la nécessaire évolution technologique de l'esprit humain pour garder sa liberté face à une IA surpuissante. Le second est le résultat des excès du premier en amenant une polarisation bien connue dans le débat entre des points de vue caricaturaux, l'envers de la position transhumaniste pouvant prendre la forme d'un discours anti-tech et validiste qui exclut de fait toute réflexion sur un usage contrôlé et prudent de prothèses ou exosquelettes dans des situations qui pourraient le mériter. Enfin le dernier porte sur les pratiques de recherche au sein de Starlink, qu'il s'agisse de manquements éthiques sur l'expérimentation animale ou de fausses promesses pour les patients (Hurley, 2024). Nous pensons que la communauté neuroscientifique devrait avoir des réponses claires et fermes concernant ces dérives du capitalisme technologique et plus généralement que la porosité entre les chercheur.euses indépendant.es et les BigTech soit rendue beaucoup plus transparente, à l'instar de ce qui est proposé dans (Abdala & Abdala, 2020) et (Birhane, 2022).

4. Attachements, zones de friction et projections...

Dans les précédentes parties nous avons rappelé un héritage d'une partie des neurosciences, que cela concerne son assise technologique, mais également épistémologique et idéologique, certains pans tendant à rechercher une optimisation voire une maximisation des capacités individuelles au sein du système socio-économique actuel, celui-ci étant considéré comme un cadre acquis. En se replaçant dans le contexte de l'Anthropocène cela est problématique à au moins trois titres : a) l'impact direct de l'activité sur l'environnement qu'engendre un développement du savoir porté par une maximisation de la puissance technique, b) la légitimation d'un modèle dont l'impact actuel sur la biosphère et les sociétés humaines implique une révision dans le but de faire atterrir nos organisations dans les limites planétaires, et c) une menace pour la pérennité de l'activité même : eu égard à ses dépendances matérielles à une technosphère fragile face aux bouleversements en cours et à venir, il est nécessaire de porter une réflexion sur les différents impacts que pourraient avoir l'Anthropocène et ses événements imprévisibles sur le cœur même de l'activité.

Deux ancrages forts : autonomie et santé.

Une fois ces constats établis, se pose la question de la façon dont ces différents points pourraient être abordés, en tenant compte des attachements aux pratiques actuelles autant pour identifier des zones de friction que pour en prendre soin. Un aspect nous semblant central est la possibilité pour les praticien.nes de questionner tant la direction des recherches que les conditions de leur mise en œuvre au regard de cette nouvelle situation qu'est l'Anthropocène. Nous proposons ici de revenir sur quelques attachements identifiés au cours de notre enquête, non dans le but de trancher, mais dans celui de les mettre ou remettre en lumière sous forme de questions ouvrant à de futures discussions. Nous terminerons en mentionnant quelques prises existantes au travers du projet UNI-TAE et dans ce que nous avons pu identifier dans la littérature.

Dans la perspective d'ouvrir des espaces d'interrogation sur le choix des sujets des recherches, en particulier au regard des crises environnementales et sociales, nous avons constaté qu'il est fréquemment opposé le concept d'autonomie de la science et de liberté académique, en ce que les orientations des recherches ne devraient pas répondre à des contraintes exogènes, par exemple ici être orientées vers la résolution « utile » de problèmes sociaux posés par l'Anthropocène. Notre objectif n'est pas ici de discuter le fondement de cette notion, que cela soit sur le plan moral, éthique, voire épistémique, cette autonomie comme condition de la sérendipité étant régulièrement invoquée et discutée (Ruphy, 2017), mais plutôt d'interroger sur sa réalité effective comme préalable à un questionnement plus général.

L'autonomie de la recherche doit en effet composer avec un fonctionnement ultra compétitif qui joue sur deux piliers de l'activité des cher-cheur.euses : le nombre de publications produites, et les financements à décrocher qui conditionnent largement la possibilité ou non de mener des recherches, tout particulièrement pour des disciplines dépendantes de moyens techniques coûteux. Que ce soit au travers d'effets de mode pour les publications (par exemple via l'IA) ou dans les appels à projets institutionnels ou privés, nous ressentons le besoin d'explicitier collectivement les déterminismes et les arbitrages qui conduisent la communauté

neuroscientifique dans une direction ou une autre. Dit autrement, il ne s'agit pas seulement de ralentir la recherche, comme le propose la psychologue Uta Frith (Frith, 2020), mais aussi d'impliquer tous.les les acteur.ices du domaine autour d'une stratégie scientifique construite collectivement, pour les scientifiques et la société. En étant même plus audacieux encore, nous émettons l'idée que les décisions les plus engageantes pour la société (sur les interfaces cerveau/machine par exemple) puissent être prises en impliquant des citoyen.nes selon une forme de démocratie technique inspirée du modèle du débat public (Callon, 1999) et prenant des formes comme celles proposées par le collectif « Horizon Terre ».

Au-delà des aspects cognitifs discutés dans les parties précédentes, les neurosciences sont également étroitement liées au domaine de la santé. Une autre objection que nous avons rencontrée lors de notre enquête concerne le fait que ces recherches, en tant que participant au progrès de la santé, via la compréhension et le traitement de certaines pathologies « cérébrales », sont difficilement questionnables, en particulier leur composante matérielle et son impact. Dans une perspective anthropocénique, certains points nous semblent néanmoins mériter d'être mis en débat. Dans un premier temps, le secteur de la santé, en vertu de sa composante technique, est aujourd'hui polluant au même titre que d'autres activités humaines (Lenzen, 2020), ce qui pose la question du coût en santé lié à cet impact en regard des bénéfices attendus. Dans un deuxième temps, nous avons vu par le prisme des machines IRM que le développement technique est encore largement orienté vers une augmentation de sa puissance.

Ce développement est à la fois intensif en ressources, mais également en capitaux, son déploiement à large échelle au sein de la société et son impact nécessairement positif allant généralement de soi. Il serait pertinent de se requestionner sur les bénéficiaires effectifs de ces développements, quelques privilégiés fortunés ou une population large, et sur un examen, aussi compliqué soit-il, des bénéfices réels apportés par ces développements, en particulier dans un contexte d'arbitrages. Enfin, pour compléter le deuxième point, s'il est bien entendu louable de faire de la santé une priorité, peut-être est-il intéressant de nous interroger sur la pérennité du développement technologique comme principal support des soins. Replacer la technologie comme modalité de soins plus largement au milieu de l'écosystème de santé, et poser la question de la dépendance forte de notre santé à la technosphère permettrait aussi d'adopter une attitude résiliente au regard des possibles dérèglements induits pas la crise écologique.

Vers un renouveau épistémique et politique ?

Bien entendu, ces différents points n'ont pas de réponse unique ni définitive, et doivent à notre sens être l'objet de débats, dont les lieux, les modalités, et les participant.es sont en train de se définir. Le projet UNITAE a ainsi offert plusieurs moments de réflexivité, d'analyses critiques sur les pratiques en neuroscience et également d'actions concrètes, au contact de nos collègues de la communauté marseillaise. Citons ainsi plusieurs séquences d'ateliers directement issues de l'atelier SenS (cartographie des attachements, mise en évidence de dissensus et prospective) (Tannier, 2022), le « hacking » de hackathons pour amener des questionnements inhabituels ou encore l'élaboration commune d'une charte environnementale au niveau supérieur du groupement de laboratoires. Plus encore, le projet UNITAE a mis en pratique la volonté d'une communauté de s'analyser elle-même au

regard des enjeux environnementaux en faisant appel aux approches dialogiques de la psychologie sociale, où un petit nombre de neuroscientifiques regroupés en « focus groupes » peut échanger sur des thématiques cadrées, amener un instantané des représentations traversant le groupe et peut-être participer ultérieurement d'une transformation de l'espace représentationnel des individus (Suchier, 2024).

Bien que le fonctionnement actuel de la recherche rende pour le moment difficile l'ouverture d'espaces de discussion, et l'allocation du temps qu'ils nécessitent, nous pensons que les problématiques écologiques et leurs différents impacts offrent la possibilité d'une repolitisation des communautés scientifiques (Monnin, 2023). Nous sommes par ailleurs attachés à un cadre démocratique pour que la réorientation vers une recherche soutenable ne brutalise pas ses acteur.rices, c'est-à-dire tienne compte de leurs ancrages et de leurs attachements à des conditions et moyens de production de la connaissance scientifique. Le nécessaire repris en main de la stratégie par tous.les praticien.nes présuppose un réexamen approfondi des places et statuts au sein d'un laboratoire, entreprise colossale que nous n'évoquons ici qu'à titre d'utopie. Nos entretiens auprès des ingénieurs et précaires sur les perturbations des conditions de travail par l'IA ont révélé une pluralité de regards aiguisés et de voix nuancées qui sont autant d'espoir pour cette entreprise collective.

Enfin nous aimerions terminer sous un angle épistémologique qui offre peut-être la prise la plus directement mobilisable pour « réveiller les chercheurs somnambules », comme l'écrivait Isabelle Stengers (Stengers, 2017). Nous avons pu mettre en évidence une sorte de boucle de renforcement entre les données produites par les gros équipements, comme les IRM, et les algorithmes d'IA qui les assimilent, cette boucle participant d'une probable insoutenable de la recherche en neurosciences, que ce soit sur un plan matériel, mais aussi épistémologique puisqu'un paradigme hégémonique devient l'unique manière d'appréhender la compréhension de l'esprit humain, avec des biais possibles. Inspirés par Léo Coutellec (Coutellec, 2015), nous estimons qu'un renouvellement de la pluralité disciplinaire au sein des neurosciences, une réouverture vers des disciplines relativement oubliées pour le domaine (anthropologie, philosophie) pourrait permettre un ralentissement de la course à la technologie, mais aussi garantir une forme de démocratie dans les savoirs et in fine contribuer à la responsabilité du domaine. Au fond il peut être temps de relancer, plus de soixante-dix ans après, un troisième cycle pour les conférences Macy (1946-1953) sur le thème des (neuro-)sciences cognitives à l'Anthropocène. •

Bibliographie

- Abi-Rached, J. M., et Rose, N. (2014). Historiser les neurosciences. In *Neurosciences et société: enjeux des savoirs et pratiques sur le cerveau* (pp. 51-77). Armand Colin.
- Abdalla, M., et Abdalla, M. (2021, July). The grey hoodie project: Big tobacco, big tech, and the threat on academic integrity. *Proceedings of the 2021 AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society*, 287-297.
- Abrol, A., Fu, Z., Salman, M., Silva, R., Du, Y., Plis, S., et Calhoun, V. (2021). Deep learning encodes robust discriminative neuroimaging representations to outperform standard machine learning. *Nature Communications*, 12(1), 353.
- Aujoux, C., Kotera, K., et Blanchard, O. (2021). Estimating the carbon footprint of the GRAND project, a multi-decade astrophysics experiment. *Astroparticle Physics*, 131, 102587.
- Ben-Ari, T. (2023). How research can steer academia towards a low-carbon future. *Nature Reviews Physics*, 5(10), 551-552.
- Birhane, A., Kalluri, P., Card, D., Agnew, W., Dotan, R., et Bao, M. (2022, June). The values encoded in machine learning research. *Proceedings of the 2022 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 173-184.
- Bonnet, E., Landivar, D., et Monnin, A. (2021). Héritage et fermeture: une écologie du démantèlement. *Éditions divergences*.
- Bonneuil, C., et Fressoz, J. B. (2013). L'événement Anthropocène: la Terre, l'histoire et nous. *Média Diffusion*.
- Brun, C., Penavayre, M., et Gonon, F. (2024). The political leaning of the neuroscience discourse about school education in the French press from 2000 to 2020. *Public Understanding of Science*, 33(1), 121-138.

- Callon, M. (1999). Des différentes formes de démocratie technique. *Les Cahiers de la Sécurité Intérieure*, 38(4), 37-54.
- Cardon, D., Cointet, J. P., et Mazières, A. (2018). La revanche des neurones: L'invention des machines inductives et la controverse de l'intelligence artificielle. *Réseaux*, 5, 173-220.
- Chaban, Y. V., Vosshenrich, J., McKee, H., Gunasekaran, S., Brown, M. J., Atalay, M. K., ... et Hanneman, K. (2024). Environmental sustainability and MRI: challenges, opportunities, and a call for action. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 59(4), 1149-1167.
- Chamak, B. (2018). Enjeux et éthiques de certaines activités en neurosciences. In E. & F. Hirsch (dir.), *Un état des lieux complet sur les nouveaux territoires de la bioéthique*. *Traité de bioéthique*, 4, 339-352. ERES Poche.
- Changeux, J.P. (1983). *L'Homme neuronal*. Fayard.
- Chazot, A., Barrat, J. A., Gaha, M., Jomaah, R., Ognard, J., et Salem, D. B. (2020). Brain MRIs make up the bulk of the gadolinium footprint in medical imaging. *Journal of Neuroradiology*, 47(4), 259-265.
- Coutellec, L. (2015). *La science au pluriel: Essai d'épistémologie pour des sciences impliquées*. Presses Universitaires de France.
- De Paepe, M., Jeanneau, L., Mariette, J., Aumont, O., et Estevez-Torres, A. (2023). Purchases dominate the carbon footprint of research laboratories. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.04.04.535626>
- Doell, K. C., Berman, M. G., Bratman, G. N., Knutson, B., Kühn, S., Lamm, C., ... & Brosch, T. (2023). Leveraging neuroscience for climate change research. *Nature Climate Change*, 13(12), 1288-1297.
- Ehrenberg, A. (2004). Le sujet cérébral. *Esprit*, 1, 130-155.
- Epp, S., et al. (2023). How can we reduce the climate costs of OHBM? A vision for a more sustainable meeting. *Aperture Neuro*, 3, 1-16.
- Fontaine, S., Gargiulo, F., Dubois, M., et Tubaro, P. (2024). Epistemic integration and social segregation of AI in neuroscience. *Applied Network Science*, 9(1), 8.
- Fourneret, E. (2019). The hybridization of the human with brain implants: The Neuralink project. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 29(4), 668-672.
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., et Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9).
- Frith, U. (2020). Fast lane to slow science. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(1), 1-2.
- Glausiusz, J. (2019). Explosions, floods and hurricanes: dealing with a lab disaster. *Nature*, 571(7765), 435-438.
- Glavovic, B. C., Smith, T. F., et White, I. (2021). The tragedy of climate change science. *Climate and Development*, 14(9), 829-833. <https://doi.org/10.1080/17565529.2021.2008855>
- Haff, P. K. (2014). Technology as a geological phenomenon: Implications for human well-being. *Geological Society, London, Special Publications*, 395(1), 301-309.
- Haraway, D., Ishikawa, N., Gilbert, S. F., Olwig, K., Tsing, A. L., et Bubandt, N. (2015). Anthropologists are talking – About the Anthropocene. *Ethnos*, 81(3), 535-564. <https://doi.org/10.1080/00141844.2015.1105838>
- Jensen, P. (2022). Pour une redirection des sciences. *AOC*. <https://aoc.media/opinion/2022/11/24/pour-une-redirection-des-sciences/>
- Joyce, K. (2005). Appealing images: Magnetic resonance imaging and the production of authoritative knowledge. *Social Studies of Science*, 35(3), 437-462.
- Koomey, J., Berard, S., Sanchez, M., et Wong, H. (2010). Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing. *IEEE Annals of the History of Computing*, 33(3), 46-54.
- Lange, J.-M., et Kebabli, S. (2019). Penser l'éducation au temps de l'anthropocène : Conditions de possibilités d'une culture de l'engagement. *Éducation et socialisation*, 51.
- Lemmers, N., Jacqué, M., et Lefèvre, J. (2024). Deep learning and ecology: What practices, what values for the neuroimaging scientific community? *Undone Computer Science Conference*.
- Markram, H. (2012). The human brain project. *Scientific American*, 306(6), 50-55.
- Monnin, A. (2023). Politiser le renouveau. *Éditions divergences*.
- Rae, C.L., Farley, M., Jeffery, K.J., et Urai, A.E. (2022). Climate crisis and ecological emergency: Why they concern (neuro)scientists, and what we can do. *Brain Neurosci Adv.*, 6, 23982128221075430.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... et Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- Sevilla, J., Heim, L., Ho, A., Besiroglu, T., Hobbhahn, M., et Villalobos, P. (2022, July). Compute trends across three eras of machine learning. *2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 1-8. IEEE.

Annotations

¹ Tout au long de l'article nous utiliserons ce terme pour désigner les bouleversements environnementaux dus aux activités humaines tout en étant bien conscient des nombreuses autres propositions comme 'Capitalocène', 'Chthulucène'.

² Voir par exemple la controverse autour de la proposition de « projet Manhattan pour le climat » <https://ecopolien.org/2024/03/debat-a-propos-du-projet-manhattan-pour-le-climat/>

³ Nous pouvons par exemple citer en France labos1point5 (<https://labos1point5.org/>), les atecopols (<https://atecopol.hypotheses.org/contacts>), ou encore le mouvement scientifiques en rébellion (<https://scientifiquesenrebellion.fr/>)

⁴ Voir <https://neuro-marseille.org/>

⁵ Voir <https://obamawhitehouse.archives.gov/BRAIN>

⁶ Par opposition à la version symbolique.

⁷ Le doublement tous les 2 années environ du nombre de calculs réalisables sur un micro-processeur à énergie fixée

⁸ 48% d'augmentation en consommation d'électricité dans le rapport annuel de Google <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>

⁹ Etienne Coutureau, Jean-Michel Hupé, Sébastien Lemerle, Jérémie Naudé et Emmanuel Procyk, « Pourquoi détruit-on la planète ? Les dangers des explications pseudo-neuroscientifiques sur Mediapart, 7 juillet 2022 <https://blogs.mediapart.fr/atelier-decologie-politique-de-toulouse/blog/070722/pourquoi-detruit-la-planete-les-dangers-des-explications-pseudo-neurosc>

¹⁰ science, technology, engineering, and mathematics