

Repenser l'éducation et la technologie pour l'Anthropocène

De l'inférence active à la technopolitique située

#InférenceActive
#Haut-modernism
#RedirectionÉcologique
#PédagogieActive
#DémocratieTechnique

Avel Guenin-Carlut,
University of Sussex, département d'ingénierie et d'informatique,
Active Inference Institute, Kairos Research

Laura Désirée Di Paolo,
University of Sussex, département d'ingénierie et d'informatique

Résumé

L'ère moderne a vu la naissance puis l'hégémonie de l'idéologie que James C. Scott appelle le « haut modernisme », une vision du monde centrée sur la « vue d'en haut » des ingénieurs et de l'administration publique ou privée. Nous proposons la nécessité d'un désinvestissement des institutions et des pratiques associées au haut-modernisme, en particulier dans le contexte de la technologie et de l'éducation, pour adresser les enjeux sociaux et écologiques liés à l'Anthropocène. En effet, l'approche haute-moderne de la connaissance est centrée sur la transmission de savoirs bien définis et reproductibles (techne), par opposition aux savoirs situés développés par des agents particuliers visant à répondre au contexte d'activité spécifique dans lequel ils s'inscrivent (metis). Nous nous appuyons en particulier sur le framework neurocognitif de l'Inférence Active pour étudier les rapports sociaux implicitement intégrés dans l'institution moderne de l'éducation et de la technologie.



Introduction

La redirection écologique est un cadre opérationnel et conceptuel proposé par Bonnet, Landivar et Monnin (2021) pour répondre aux multiples enjeux sociaux, politiques, et techniques soulevés par l'Anthropocène. La redirection écologique vise tout particulièrement à se distinguer d'approches promouvant une continuité directe avec les institutions administratives (de droit privé ou public) dominant l'époque contemporaine, telles que la transition écologique, ou la croissance verte, par sa critique explicite de la « gestion de crise » supposée par ses dernières. Le terme d'Anthropocène désigne en effet une nouvelle ère géologique où l'effet retour (le *feedback*) des activités humaines sur le système Terre est devenu non seulement manifeste, mais aussi critique au maintien des dites activités humaines (Lade *et al.*, 2020; Ruddiman, 2013; Steffen, Broadgate, *et al.*, 2015; Steffen *et al.*, 2011, 2018). Pour les acteurs qui reconnaissent la validité de ce concept, il ne s'agit donc pas d'une « crise » passagère dont une « gestion » adéquate permettrait un retour à un état normal des affaires. Il s'agit au contraire d'une reconfiguration fondamentale de la relation entre le domaine de l'activité humaine et le domaine de la « nature », appelant à une réorganisation tout aussi fondamentale de la manière dont les processus « naturels » (biologiques, climatiques, et géologiques) au-delà de notre contrôle direct doivent être intégrés dans les systèmes de décision qui gouvernent nos activités. En particulier, les théoriciens de la redirection écologique sont critiques d'un horizon de « pilotage » des systèmes écologiques par les institutions existantes, lequel viserait à résoudre les « problèmes » que la rétroaction du système Terre pose pour leur cohérence et pour le maintien de leurs activités. Au contraire, ils proposent la nécessité d'une démarche « d'arbitrage » des objectifs et de la structure des systèmes de décisions existants, visant à la réaligner sur la satisfaction des besoins humains et écosystémiques - c'est à dire, de la nécessité d'une démarche de redirection écologique (Bonnet *et al.*, 2021).

Le caractère radical de cette proposition ne peut toutefois être apprécié qu'en regard du contexte social et institutionnel caractérisant l'époque contemporaine, c'est-à-dire une réalisation totale de l'idéologie que l'anthropologue James C. Scott a qualifiée de « haut-modernisme » (Scott, 2020). Le haut-modernisme correspond à la vision du monde développée au cours de l'histoire moderne de l'Europe par ses élites politiques et économiques, alors engagées dans une entreprise massive de construction des capacités administratives et techniques. L'enjeu central pour ces acteurs était alors de développer une

organisation sociale « rationnelle » ou « scientifique », c'est-à-dire lisible (*legible*) par une autorité centralisée (qu'elle soit de droit public ou privé) et propre à être contrôlée via un processus prévisible et reproductible. En d'autres termes, le haut-modernisme adopte la « vue de dessus » (Scott, 2010), celle des administrateurs et des ingénieurs de l'Europe moderne, et vise à construire une société que ces derniers puissent concevoir et manipuler de la même manière qu'un ingénieur peut concevoir et manipuler une machine pour remplir une fonction particulière. L'exercice du pouvoir pour une institution (haute-)moderne ne correspond pas à la mise en œuvre de rituels et de conventions visant à mobiliser la population pour remplir leurs objectifs, mais plutôt à un exercice de gestion visant à identifier combien d'hommes et de ressources sont mobilisables sur commande et à gérer ces ressources de manière optimale, étant donné les objectifs de l'institution. Dans ce contexte, seules peuvent compter les ressources, les connaissances et les pratiques qui se prêtent à une gestion centralisée par des administrateurs et des techniciens aux compétences définies. De ce fait, la négociation avec des acteurs locaux sur les objectifs ou les pratiques adéquats, ou *a fortiori* sur les termes mêmes en lesquels ces objectifs et ces pratiques doivent être compris, rentre en conflit direct avec la logique organisationnelle haute-moderne.

Nous proposons ici de repenser l'organisation des connaissances, à la fois dans le domaine de leur transmission (l'éducation) et de leur application (la technologie), à la lumière de cette approche théorique. Nous allons nous appuyer sur les travaux contemporains concernant les dimensions incarnée, intégrée, éactive, et étendue de la cognition (Newen *et al.*, 2018) pour exposer l'importance subtile, mais radicale, que l'intégration de la connaissance dans son contexte social et matériel joue dans l'organisation réelle des systèmes de décision, et donc dans la possibilité d'une démarche de redirection écologique. Plus particulièrement, nous axons notre approche sur le cadre mathématique et neurocomputationnel de l'inférence active (Clark, 2015; Friston *et al.*, 2016; Parr *et al.*, 2022). Cette approche s'inscrit dans le cadre plus large des approches « prédictives » de la cognition, lesquelles postulent que notre perception du monde est construite par un processus actif de prédiction des signaux sensoriels entrants, et donc implicitement par l'abduction des causes externes de notre expérience directe. Elle s'en distingue toutefois par l'hypothèse radicale que les actions que nous effectuons lors de notre engagement avec le monde sont elles-mêmes produites par ce même processus prédictif, intégrant donc

notre perception du monde et la régulation de notre activité dans un impératif fondamental de minimisation de la surprise associée à nos états sensori-moteurs. De ce fait, nous apprenons non seulement des faits sur le monde au cours de notre développement cognitif, mais surtout, des attitudes régulant notre engagement avec celui-ci. Sur cette base, nous mettons en lumière l'importance du contexte éducatif dans l'organisation des connaissances et des systèmes de décisions, propre à la (re)construction d'une organisation sociale adaptée aux enjeux de l'Anthropocène. Nous prenons l'exemple de méthodes de pédagogie active, en particulier la pédagogie Montessori, pour illustrer les processus par lesquels la pédagogie peut accompagner le développement d'une attitude de construction proactive, démocratique, et critique des connaissances et des normes sociales, laquelle est par construction nécessaire à la redirection écologique. Finalement, nous montrons comment une telle attitude interagit avec le contexte technique de notre environnement matériel via l'engagement actif et critique des apprenant-es avec leur environnement matériel et le corps de connaissances technologiques permettant leur existence matérielle. En particulier, nous visons à montrer la nécessité de pratiques technologiques *low tech* (Abrassart et al., 2020; Bihouix, 2014) dans le développement d'un environnement matériel adéquat au développement de systèmes techniques appropriés au contexte social et écologique dans lequel ces derniers s'inscrivent.

L'inférence active: un cadre fondationnel pour les sciences cognitives et sociales

Les sciences cognitives, tout comme l'informatique moderne et l'étude contemporaine des « systèmes », sont issues des conférences de Macy, lesquelles eurent lieu de 1946 à 1953 et visaient à construire la relation entre sciences mathématiques d'une part et les sciences biologiques et humaines d'autre part (Abraham, 2020; Dupuy, 1999). Ces conférences ont joué un rôle fondamental dans divers domaines des sciences. Elles sont principalement connues pour avoir posé les fondements de la cybernétique, un cadre conceptuel et mathématique pour l'étude du contrôle des systèmes. En particulier, elles ont collectivement ancré une approche de l'esprit humain via le prisme du traitement de l'information par le cerveau. L'information était à ce moment, et est toujours, une notion protéiforme, héritant à la fois des travaux mathématiques de Shannon sur la transmission du signal (Shannon, 1948), de la logique combinatoire (Curry, 1942), et de la psychologie de la Gestalt (Koffka, 1935). Une approche en particulier a signé l'acte fondateur des sciences cognitives: le computationnalisme fonctionnel, lequel postule que les états de l'esprit correspondent directement à des états computationnels instanciés dans le cerveau (Piccinini, 2010; Rescorla, 2020). Pour les théoriciens du computationnalisme fonctionnel, le cerveau humain effectuerait des calculs sur une représentation interne du monde pour définir les commandes issues en sortie depuis un signal d'entrée, à la manière d'un ordinateur. L'instanciation la plus radicale de cette idée est probablement l'hypothèse du langage de la pensée, laquelle postule que la cognition fonctionne littéralement par l'exécution de calculs combinatoires effectués dans un langage interne au cerveau appelé le mentalais (Fodor, 1975).

Dès sa fondation, le computationnalisme fonctionnel s'est vu opposer une critique ferme par différents courants de pensée, généralement issus des développements de la théorie cybernétique dans l'étude des systèmes. Cette critique s'est en particulier centrée sur le traitement de l'activité cérébrale comme un processus computationnel cohérent et isolé de son contexte biologique et écologique

d'opération par le computationnalisme fonctionnel. Elle a donné lieu au connexionnisme, un programme de recherche centré sur la modélisation du fonctionnement des réseaux de neurones, puis au courant aujourd'hui connu sous le nom de *4E cognition* (Newen et al., 2018). Ce courant est, comme son nom l'indique, constitué de quatre champs de recherche indépendants étudiant quatre dimensions différentes de la cognition: son intégration dans le contexte biologique d'opération constitué par le corps (*Embodied cognition*); son intégration dans la relation écologique entre le corps et l'environnement (*Embedded cognition*); son intégration dans les processus actifs par lesquels l'organisme produit sa compréhension du monde (*Enactive cognition*); et son intégration avec les processus extérieurs qui assistent ou remplacent les processus cognitifs internes (*Extendend cognition*). Bien qu'aucune de ces approches n'ait aujourd'hui atteint le niveau d'un consensus scientifique, elles ont toutefois déplacé le centre de gravité des sciences cognitives vers des approches explicitement systémiques de la cognition. En particulier, elles ont permis l'émergence du programme aujourd'hui dominant que Boone et Piccinini (2016) décrivent comme les neurosciences cognitives, lesquelles visent à intégrer l'étude des processus cognitifs dans les dynamiques réelles du système neuronal –(incluant, là où elle est nécessaire, une interaction appropriée dans le contexte d'opération défini par le corps et l'environnement).

L'étude des processus cognitifs comprise comme un niveau d'analyse autonome s'est donc vue progressivement remplacée par l'étude des mécanismes de la cognition, notamment (mais pas exclusivement) ceux qui sont implémentés par les dynamiques du cerveau. Avec ce changement d'optique est apparue une question fondamentale: pourquoi ces dynamiques s'alignent-elles avec un tel niveau de précision avec l'impératif de réguler adaptivement le comportement de l'organisme, et donc (implicitement ou explicitement) de développer une compréhension de son environnement? Quoiqu'aucune réponse définitive n'existe à ce moment, l'approche qui nous semble le plus directement adresser ce problème est issue de la cognition prédictive (Clark, 2015). Son postulat central est que, plutôt que de simplement répondre à des stimuli externes, le système neuronal anticipe activement les signaux sensoriels via un modèle interne du monde implémenté dans l'architecture neuronale. De ce fait, l'impératif basique de minimisation de la surprise (conçue ici comme une mesure informationnelle basique de l'écart entre la distribution de l'activité d'un neurone et la distribution des signaux qui lui parviennent) implémente, à mesure que le signal est intégré à travers différentes couches de la hiérarchie neuronale, une abduction des causes sous-jacentes des états sensoriels de l'organisme en termes de concepts perceptuels de plus haut niveau. Ce postulat semble résoudre de nombreux problèmes fondamentaux des sciences cognitives, et explique notamment pourquoi nous pouvons avoir une expérience intégrée du monde malgré la pauvreté relative des signaux sensoriels qui peuvent effectivement être intégrés dans l'activité cérébrale.

En particulier, le neuroscientifique britannique Karl Friston et ses collègues ont proposé un principe architectural simple permettant une implémentation physique de la cognition prédictive: le *Free Energy Principle*, ou FEP. Dans sa forme initiale (Friston, 2010; Friston et al., 2006, 2010; Friston et Kiebel, 2009), le FEP propose que l'architecture neuronale fonctionne en minimisant l'énergie libre variationnelle, un proxy de la surprise souvent utilisé en statistiques pour estimer l'adéquation d'un modèle donné sans calculer explicitement la probabilité de toutes les observations possibles. Friston a par la suite

développé un cadre mathématique plus large démontrant que tout système dynamique statistiquement séparé de son environnement minimise en effet l'énergie libre variationnelle d'un modèle de son environnement, lequel est implicitement implémenté dans l'interaction dynamique entre les deux (Da Costa *et al.*, 2021; Friston, 2019). Le FEP établit ainsi la cohérence physique du modèle prédictif de la cognition, chaque neurone pouvant anticiper les signaux entrants via de simples dynamiques biochimiques de sorte à implémenter une architecture prédictive. Un trait central de cette approche est la non-séparation qu'elle implique entre les processus cognitifs qui sous-tendent la perception et ceux qui sous-tendent l'action. Telles que décrites par le FEP, la perception et l'action sont toutes deux dirigées par le même impératif de minimisation de l'énergie libre variationnelle (Friston *et al.*, 2016, 2017). Les actions sont ainsi sélectionnées sur la base de leur cohérence avec le modèle du monde déployé par l'agent, c'est-à-dire de leur capacité attendue à maintenir l'agent dans son régime attendu de fonctionnement.

L'approche de la cognition sur laquelle nous souhaitons nous appuyer dans le présent article, l'inférence active, est dérivée de cette propriété. En effet, un agent cognitif vérifiant le principe architectural décrit par le FEP n'anticipe pas seulement ses sensations, mais il anticipe également les actions, et c'est cette anticipation qui induit les signaux de commande envoyés par le cerveau aux muscles et aux autres organes (Friston *et al.*, 2009, 2010; Hipólito *et al.*, 2021; Nave *et al.*, 2022). La non-dualité entre perception et action est particulièrement transparente dans le cas des actions épistémiques, telles que les saccades oculaires, qui permettent à l'agent de rassembler des informations sur le monde et donc de préciser son modèle. Toutefois, la même logique s'applique aux actions pragmatiques, qui visent à modifier les états sensibles du monde. Par exemple, un agent s'attendant à faire l'expérience d'un certain intervalle de température peut réagir de deux manières différentes lorsqu'il est exposé à des températures extrêmes. Premièrement, il peut simplement réviser ses croyances pour refléter la température réelle, c'est-à-dire évoluer par sa dynamique interne dans une région correspondant à ce nouveau régime de fonctionnement. Toutefois, dans le cas d'un organisme biologique dont la cohérence dépend critiqueusement de son maintien dans un certain intervalle de température, cette région peut tout simplement ne pas exister. En ce cas, il peut également agir sur le monde pour restaurer le régime de température qu'il attend, par exemple en suant, en se mettant à l'ombre, ou en plantant des arbres aidant à réguler la température dans son environnement direct. C'est à cette deuxième possibilité que le concept d'inférence active doit son nom.

Dans ce cadre, la cognition est largement comprise comme un processus de *self-evidencing* (Hohwy, 2016): le processus d'inférence active correspond dans un sens formel à l'affirmation de l'identité structurelle de l'agent en tant que forme de vie. L'agent cognitif ne se contente pas d'*inférer* un modèle du monde dans lequel il agit ensuite, mais *énacte* un modèle du monde correspondant directement aux dynamiques décrivant son interaction avec l'environnement (Ramstead *et al.*, 2020). Une intégration profonde des dynamiques biologiques et écologiques de la cognition émerge de ce modèle dès lors que l'on considère les interactions dynamiques entre cerveau, corps et environnement (Nave *et al.*, 2020). En effet, la prédiction couplée des états physiologiques (intéroceptifs), actifs (proprioceptifs) et externes induit également une non-séparation de la perception du corps et du monde extérieur. Par exemple, Seth (2013) propose une explication de l'expérience émotionnelle dans la

perception des causes de changements physiologiques par l'esprit prédictif. Si ce modèle est vérifié, ce que nous percevons comme des émotions constituent en fait un lien entre les dynamiques corporelles et l'engagement de l'agent avec le monde, lequel permet par exemple de réduire la perception des opportunités d'action externe lorsque l'agent manque d'énergie (ce que nous percevons comme fatigue ou dépression). Plus généralement, un trait central de l'inférence active est la dissolution de l'agentivité, du moins tel que nous comprenons couramment ce terme (Clark, 2020). En effet, l'intentionnalité ou la motivation n'émergent pas en premier ordre d'un système central définissant les objectifs de l'organisme (comme cela peut être le cas dans un modèle cognitiviste classique du comportement), mais de l'anticipation couplée de certains états sensoriels et actifs.

En d'autres termes, la manière dont les agents perçoivent des objets externes n'est pas séparée des actions qu'ils s'attendent à effectuer avec, ou de la valence contextuelle desdites actions. Guénin--Carlut et Albarracin (2024) désignent cette propriété par le terme de normativité intégrée (*embedded normativity*), au sens où les normes guidant le comportement de l'agent sont en partie intégrées dans les propriétés (réelles ou projetées) de son environnement. Si la normativité intégrée s'applique sans perte de généralité au comportement animal, elle constitue un outil particulièrement puissant pour l'étude de l'intégration de la cognition dans son environnement social et matériel. En effet, la réflexivité de l'engagement social humain permet l'intégration de l'activité cognitive dans un paysage complexe de normes et de conventions (Guénin--Carlut, 2024a; M. Ramstead *et al.*, 2016; Veissière *et al.*, 2020), et en particulier l'abstraction de signes dotés d'une valence normative directe. Par exemple, un agent enculturé peut faire l'expérience d'un panneau stop, de l'exclamation « stop ! », ou d'un signe de la main adéquat, et en tirer immédiatement l'attente d'engager les actions appropriées pour s'arrêter, sans passer par l'analyse abstraite du sens de ces signes (Albarracin *et al.*, 2020; Guénin--Carlut, 2024a). Cette approche permet en particulier de comprendre le rôle de l'apprentissage social dans la cognition humaine, ou plus précisément l'« évolution de l'évolution culturelle ».

Brandl, Mace et Heyes (2023) mettent en effet en évidence un faisceau de preuves indiquant que la transmission culturelle de compétences techniques et sociales ne s'appuie pas sur un éventuel caractère inné de la capacité d'apprentissage, mais sur l'évolution culturelle de conventions sociales permettant un apprentissage intentionnel par la coopération d'un-e enseignant-e et d'un-e apprenant-e. En les termes développés ci-haut, nous pouvons noter que la conception culturelle du rôle de l'enseignant-e et de l'apprenant-e joue nécessairement un rôle actif dans les dynamiques de transmission culturelle, en définissant les normes implicitement intégrées dans la relation enseignant-e-apprenant-e. Ce rôle s'applique en particulier à la manière dont la connaissance est intégrée par l'apprenant-e, et peut venir à être opérationnalisée par la suite. Par exemple, un-e enseignant-e particulièrement-e strict-e pourra transmettre l'impression que toute action qu'il n'a pas explicitement prescrite est indésirée, et donc induire une valence négative pour toute action sinon la répétition rigide de la séquence d'actions spécifiques qu'il a lui-même montrées. Dans la prochaine section, nous proposons d'appliquer ce cadre conceptuel à l'étude des dynamiques sociales ayant lieu dans la salle d'école via l'étude du rôle social de l'apprenant-e, et des dynamiques cognitives qui y sont associées. En particulier, nous montrerons que le cadre éducationnel haut-moderne n'est pas approprié à l'intégration des attitudes cognitives adéquates à mener une démarche de redirection écologique, et lui opposerons la

pédagogie active de la méthode Montessori.

Pédagogies actives: l'exemple de la méthode Montessori

Lorsque nous pensons aux « écoles » (du moins dans les sociétés occidentales), nous pouvons imaginer des bâtiments qui accueillent des élèves dans des salles de classe, séparées par des couloirs. Dans chaque salle de classe, des enfants et des jeunes adultes de la même classe d'âge s'assoient à des pupitres et écoutent les cours dispensés par un enseignant depuis l'avant de la salle. Les élèves sont censés écouter ces leçons, prendre des notes et mémoriser autant d'informations que possible, aidés dans leur travail à la maison par des livres ou d'autres supports fournis. Un certain niveau de travail indépendant est attendu, comme la rédaction de dissertations ou la construction de projets scientifiques, mais sa qualité est évaluée au moyen de tests standardisés qui « démontrent » l'intégration des informations transmises par les enseignants. Bien qu'il existe des différences entre les écoles et les enseignants, cette approche traditionnelle ou - plus correctement - centrée sur l'enseignant reste dominante dans l'éducation formelle contemporaine¹. Un nombre croissant de données indique pourtant que l'approche centrée sur l'étudiant améliore non seulement la rétention des informations, mais aussi stimule la motivation, la participation et favorise un engagement plus démocratique des élèves dans leur parcours d'apprentissage (voir par exemple Elen et al. (2007); Yilmaz (2007); Harris et al. (2013); Smit, de Brabander, et Martens (2014); Altinyelken (2015); Zucconi (2016); Souleles (2017); Mullamaa (2017); Di Felice (2018); Helmi, Mohd-Yusof, et Hisjam (2019); Starkey (2019); Iliya Joseph (2020); Markina et Garcia Mollá (2022); Jahan, Sarker, et Ali (2022); Rappleye et Komatsu (2024)).

Par ailleurs, il a été récemment souligné que des formes de gouvernance plus démocratiques, horizontales et participatives sont une condition nécessaire pour que les politiques d'éco-durabilité visant à garantir la capacité du système terrestre à soutenir l'humanité soient mises en œuvre (voir par exemple Westley et al. (2011); Frank Biermann (2012); F. Biermann et al. (2012); Griggs et al. (2013); Steffen et Stafford Smith (2013); Galaz (2014); Steffen, Richardson, et al. (2015); Donges et al. (2017); Steffen et al. (2018); Sterner et al. (2019); Lade et al. (2020); Rockström et Gaffney (2021)). Par conséquent, les établissements d'enseignement occupent une position de premier plan dans la réorientation écologique en raison de leur rôle possible dans la préparation des apprenants à la participation politique (voir par exemple Lutz, Mutarak, et Striessnig (2014); Lee et al. (2015); Ledley, Rooney-Varga, et Niepold (2017); Bengtsson, Barakat, et Mutarak (2018); Komatsu, Silova, et Rappleye (2022)). Pour illustrer cette approche, nous proposons d'examiner la méthode Montessori², une forme d'éducation alternative centrée sur l'éducation autonome de l'apprenant.e dans un environnement préparé collaborativement géré par l'enseignant.e et les apprenant.e.s, intentionnellement structuré pour favoriser l'apprentissage par l'engagement direct avec son contexte matériel ainsi que la collaboration entre apprenant.e.s. Notre choix est dû à l'expérience d'un.e des co-auteur.ices (Laura Désirée di Paolo) avec cette approche pédagogique, mais aussi à l'adéquation de la méthode Montessori au cadre conceptuel des 4E en général et de l'inférence active en particulier (Di Paolo, White, Guénin-Carlut, et al., 2024).

La méthode Montessori (MM) s'articule historiquement autour d'une approche centrée sur la personne et l'enfant, évaluant les multiples formes d'intelligence, l'agentivité individuelle, la participation des élèves à leur éducation, les formes collaboratives d'apprentissage et le partage des ressources (Cartwright et al., 2022; Frierson, 2016,

2018, 2019; Hallumoğlu et al., 2023; Macià-Gual et Domingo-Peñafiel, 2021; Mavric, 2020; Opreescu et al., 2011; Thayer-Bacon, 2011; Williams et Keith, 2000). La MM se distingue également par son adaptabilité à une grande variété de contextes sociopolitiques, économiques et écologiques, due notamment à son intégration de connaissances vernaculaires, laquelle a permis sa diffusion mondiale (Ackerman, 2019; Chen et Guo, 2021; Debs et al., 2022; Debs et Brown, 2017; Gross et Rutland, 2019; Holmes, 2018; Johnson, 2022; Kasour et al., 2023; A. S. Lillard et al., 2017, 2023; Murray et al., 2023; Vettivello, 2008; Yonezu, 2018). Enfin, elle vise à atteindre un développement optimal, grâce auquel les enfants deviennent des citoyens du monde compétents (Baligadoo, 2020; Brunold-Conesa, 2010; de Brouwer et al., 2023; Gynther et Ahlquist, 2022; Raimondo, 2018). De plus, la méthode Montessori a été reconnue comme jouant un rôle de premier plan dans les pratiques éco-durables (Sutton 2009; voir aussi Emerson et Siraj-Blatchford 2017; Schmidt 2017; Lide 2018; Misheva 2020). Selon nous, l'une des raisons pour lesquelles la MM se démarque lorsque nous tentons de redéfinir l'éducation formelle à l'aune de l'Anthropocène, est la façon dont elle comprend l'éducation comme un processus collaboratif défini par la coopération de trois acteurs principaux : les étudiant.e.s, les enseignant.e.s et les salles de classe.

Dans la méthode Montessori, les élèves s'engagent dans des activités qu'ils ont eux-mêmes choisies, prennent des décisions à long terme sur leur parcours éducatif en fonction de leurs préférences et de leurs compétences, choisissent librement leurs collaborateurs et participent activement à la régulation de la classe (voir par exemple Lillard (2017)). Les enseignant.e.s jouent le rôle de mentors, collaborent avec les élèves et prennent des décisions démocratiques sur les activités quotidiennes et les objectifs à long terme en tant que pairs (Bavli et Kocabaş, 2022). Alors que, dans les systèmes éducatifs centrés sur l'enseignant.e, ce dernier ou cette dernière définit les connaissances que l'élève doit reproduire, il ou elle joue plutôt un rôle de mentor dans le système Montessori. Il ou elle a au contraire un rôle de mentor, guidant l'apprenant.e et lui apportant les connaissances nécessaires pour explorer ses intérêts propres dans le cadre d'activités autonomes et souvent collaboratives (par exemple, Koh et Frick (2010); Siswanto et Kuswandono (2020)). Un élève ou un groupe d'élèves effectue des recherches autonomes sur certains sujets, à son propre rythme, qu'il présente ensuite à l'ensemble de la classe sous la forme d'une révision par les pairs, au cours de laquelle les autres élèves et les enseignant.es peuvent poser des questions, faire des suggestions et proposer d'autres points de vue (Alburaidi et Ambusaidi, 2019; Koczela et Carver, 2023; Mallett et Schroeder, 2015; Richard-Bossez, 2023). Si la pédagogie Montessori peut s'appuyer sur l'éducation autodirigée de l'élève, c'est avant tout grâce à l'organisation matérielle de la salle de classe, que l'enseignant.e est chargé.e de transformer en un contexte adéquat à l'auto-éducation (Whitescarver et Cossentino, 2007).

La salle de classe n'est pas simplement le lieu où se déroule l'enseignement, mais elle joue un rôle actif en soutenant et en stimulant la construction de compétences et de connaissances, ainsi que les activités de collaboration. La salle de classe offre des possibilités matérielles permettant aux élèves de différents niveaux d'explorer et de créer de nouvelles compétences, tout en permettant la collaboration active entre les élèves qualifiés et novices afin d'aider ces derniers à intégrer ces compétences (Di Paolo, White, Guénin-Carlut, et al., 2024). Elle constitue de plus une écologie de ressources limitées parmi lesquelles les élèves peuvent choisir, qu'ils doivent partager avec les autres et dont ils doivent prendre soin. Cela se traduit dans les « exercices de la vie pratique », dans lesquels les élèves pratiquent non

seulement des activités quotidiennes tel sciage, le bricolage... mais prennent également la responsabilité de leur propre espace d'apprentissage et de leur matériel: nettoyer et ranger à la fin de chaque journée de travail, replacer le matériel pédagogique dans des étagères spécifiques et bien définies, prendre soin des plantes et des animaux présents dans la pièce (voir par exemple Bhatia *et al.*, 2015; D'Esclaibes, 2017; A. S. Lillard, 2017). Ainsi, les élèves ne sont pas seulement responsables de l'utilisation de l'environnement de la classe pour apprendre et aider les autres à apprendre, mais aussi pour maintenir l'adéquation de la classe en tant qu'espace adéquat pour leur propre éducation et celle des autres. L'organisation matérielle de la salle de classe instancie donc un commun épistémique, dont la gestion adéquate est un élément central de l'expérience de l'étudiant.e.

La réalité de ce commun épistémique est ancrée dans la manière dont la méthode Montessori conçoit l'interaction sociale dans (et autour de) la salle de classe. La relation entre un élève et un.e enseignant.e est toujours triadique, impliquant l'élève, l'enseignant.e et le matériel. L'enseignant.e montre à l'élève comment utiliser un certain matériel ou effectuer une certaine tâche conformément à sa conception ou à sa fonction, sans retour d'information sur les performances de l'élève. Ce rôle est symétrique à celui que jouerait un élève plus compétent dans des circonstances similaires. Ainsi, l'engagement autonome de l'élève dans l'organisation matérielle de la salle de classe agit comme le juge ultime des compétences de l'élève, l'enseignant.e jouant un rôle de guide (plutôt que d'impératif ou d'évaluateur). Cette situation contraste avec le modèle d'interaction dans un contexte éducatif centré sur l'enseignant.e, qui est organisé autour d'une interaction dyadique entre l'enseignant.e et l'élève, elle-même comprise comme un transfert direct et unidirectionnel de connaissances. En dirigeant l'attention de l'élève vers des activités éducatives sans intervention impérative ni pouvoir d'évaluation, on laisse l'élève maître de sa propre trajectoire d'apprentissage. Mais les élèves font également l'expérience directe de la manière dont cette trajectoire est rendue possible par l'organisation matérielle de la salle de classe, à la fois par eux-mêmes et par les autres élèves. Ils sont donc amenés à concevoir intuitivement leur responsabilité dans le maintien et la production de cette organisation, ainsi que les négociations nécessaires (implicites ou explicites) pour amener les autres à reconnaître leur propre responsabilité.

Ce mode d'éducation autonome, socialement et matériellement ancré, repose sur l'utilisation de matériel pédagogique personnalisé permettant l'intégration de compétences utiles par le biais d'un engagement ludique, c'est-à-dire dirigé par la motivation intrinsèque des apprenant-es (Di Paolo et Frierson 2024). La MM utilise donc des matériels éducatifs en matériaux organiques instanciant directement des fonctions cognitives sujettes à l'apprentissage³, incitant par exemple l'apprenant.e à résoudre des problèmes mathématiques par la manipulation de cubes en bois (di Paolo et Frierson, 2024). Une telle approche de l'éducation, basée sur un engagement matériel direct avec un environnement préparé plutôt que sur la transmission de connaissances abstraites, traduit de fait une vision de la cognition humaine et de l'apprentissage similaire à celle qui fut plus tard formalisée par les 4E (*Embodied, Embedded, Enactive and Extended cognition*). L'apprenant.e Montessori développe en effet la capacité de recruter son environnement pour effectuer des tâches cognitives complexes, ancrées dans les états affectifs propres de l'apprenant.e (et dans la perception de ses propres états corporels, comme expliqué dans la section 1). En d'autres termes, le contexte de la salle de classe permet aux élèves Montessori d'apprendre à tirer parti de leur environnement

social et matériel pour stimuler le développement de leurs fonctions cognitives et l'étendre au-delà de leurs simples ressources biologiques (di Paolo et Frierson, 2024). Cette perspective permet d'établir une distinction significative entre le système d'éducation haut-moderne et le système d'éducation Montessori en fonction de la base donnée aux compétences intégrées par les étudiant.e.s.

Alors que les élèves du système moderne sont amenés à fonder leur perception de la compétence sur l'approbation d'un.e enseignant.e au cours d'interactions dyadiques basées sur l'hypothèse de l'autorité de l'enseignant.e, les élèves du système Montessori sont amenés à fonder leur perception de la compétence sur l'engagement cognitif direct avec un environnement préparé par l'enseignant.e et par des élèves plus âgés, agissant de fait comme « mentors » de l'activité autonome de l'élève plutôt que comme source de connaissances. Revenons brièvement sur les systèmes éducatifs Montessori à travers les lentilles du modèle d'inférence active de la cognition humaine. Comme nous l'avons expliqué dans la section précédente, l'inférence active suppose que nous comprenons le monde par la prédiction continue d'états sensoriels et actifs, sur la base d'un modèle préalable implicite du monde intégré dans la dynamique même de l'engagement cognitif. Sur cette base, ce qui importe le plus pour l'intégration des compétences est le contexte de l'engagement cognitif ou, en d'autres termes, ce à quoi l'apprenant.e prête attention pendant l'engagement des compétences. De ce fait, les apprenant.e.s Montessori développent une disposition particulière à gérer leur environnement comme le contexte d'une démarche d'enquête collaborative partagée par les étudiants, tout en permettant (et récompensant) les comportements exploratoires et auto-dirigés. Comme nous l'expliquons ci-dessous, nous croyons que cette disposition cognitive est particulièrement adaptée à la nécessité de renégocier activement l'organisation sociale et matérielle de la société, comme le suggère l'approche de la réorientation écologique.

Technopolitique située et vue du dessus: vers une réappropriation des communs technologiques

Comme nous l'avons vu ci-haut, l'organisation du système éducatif induit la production de normes sociales concernant le rapport même vis-à-vis la connaissance développée par l'apprenant.e. Le système traditionnel favorise une déférence passive envers le corps de connaissances développées par l'autorité épistémique, via son emphase sur l'évaluation de la reproduction de connaissances et le rapport avec la personne de l'enseignant.e. Le système Montessori (et d'autres systèmes pédagogiques analogues) institue au contraire un rôle actif de l'apprenant.e dans l'intégration et la (re)production des connaissances depuis sa propre perspective située. Ainsi, là où l'apprenant.e Montessori développe une disposition à engager critique et constructivement avec le corps de connaissances établies, l'apprenant.e du système éducatif haut-moderne développe une disposition à accepter l'autorité d'institutions épistémiques externes. Nous allons ici nous intéresser aux implications de ces normes en dehors de la salle de classe, et en particulier dans le rapport politique du corps citoyen aux communs techniques et épistémiques. Nous allons exposer comment le système éducatif traditionnel institue les prémisses d'une organisation technopolitique « haute-moderne » (selon les termes de Scott (2020)). Par contraste, nous estimons que les approches actives de l'éducation établissent les prémisses

d'une démocratie technique basée sur la (re)construction située des communs techniques et épistémiques. Qui plus est, nous allons motiver l'idée que la capacité collective à développer et mettre en œuvre des connaissances situées (ou *metis*, pour reprendre là aussi les termes de Scott (2020)) constitue une prémisses nécessaire aux impératifs d'une démarche de redirection écologique. Pour ce faire, nous allons d'abord exposer les racines historiques de l'Anthropocène, que nous associons au développement de l'organisation technopolitique haut-moderne.

La plupart des auteur.rices développant le concept géologique et historique de l'Anthropocène en placent l'émergence au moment de la construction du système-monde capitalisme, et plus particulièrement à la révolution industrielle - c'est-à-dire le développement massif de modes de production basés sur l'utilisation de ressources fossiles pour la production de chaleur (Angus, 2016; Malm, 2016; Moore, 2016; Steffen, Broadgate, et al., 2015; Steffen et al., 2011, 2018). Cette thèse trouve certainement une motivation cohérente dans les dynamiques historiques ayant permis l'émergence de la révolution industrielle, nommément la conjonction de droits de propriété forts et d'une concentration du capital issue de l'exploitation des populations européennes rurales via le processus d'*enclosure* (Hickel, 2018; Polanyi, 1957) et du commerce triangulaire (Acemoglu et al., 2002; Acemoglu et Robinson, 2001) par la classe bourgeoise. Toutefois, nous devons souligner que le développement des institutions capitalistes s'est fait sur la base de logiques organisationnelles bien plus anciennes. En particulier, certain-es auteur-ices voient les prémisses de l'Anthropocène dans le Néolithique, la subdivision la plus tardive de l'Âge de pierre, lequel a vu l'émergence d'un modèle d'organisation politique basé sur l'exploitation intensive des sols et des populations rurales pour la production de grains destinés au maintien des populations urbaines (Demoule et Lussault, 2020; Gowdy et Krall, 2013; Haraway, 2015; Moore, 2016; Ruddiman, 2013).

Dans *Against the Grain*, Scott (2017) a produit un argumentaire convaincant visant à montrer que ce développement historique n'a pu se faire qu'à l'initiative d'un pouvoir politique centralisé, étatique ou proto-étatique. Cette thèse s'appuie notamment sur le constat que l'agriculture extractive est extrêmement intensive en travail par rapport à la chasse ou l'agriculture vivrière, et implique un mode de vie extrêmement vulnérable aux risques climatiques et épidémiques. Le principal avantage du grain, lorsque comparé à d'autres cultures, est sa facilité de transport et de stockage, laquelle permet la captation du surplus agricole par le commerce ou la coercition pour entretenir des centres urbains dominés par des élites militaires ou religieuses. Toutefois, un tel processus suppose la capacité administrative d'organiser efficacement la production et le transport de grains. Dans ce contexte, le contrôle des populations par des institutions centralisées (qu'elles soient démocratiques, oligarchiques ou autocratiques) devient une condition fondamentale du maintien de l'organisation sociale des sociétés étatiques (ou proto-étatiques). Elles doivent donc produire un ordre spatial et politique accessible à ce que Scott appelle la vue du dessus (Scott, 2010), c'est-à-dire la compréhension des processus sociaux complexes par l'intermédiaire de mesures abstraites et réductrices propres à la gestion de certains processus critiques par l'élite politique. Comme nous l'avons articulé dans Guénin-Carlut (2022), le rôle historique de la logique institutionnelle de l'État (ou du proto-État) peut être décrit comme une instance d'inférence active, où les attentes de l'État sont réalisées par son activité dans l'organisation de paysages matériels et

sociaux (notamment via la séparation spatiale entre la cité et sa périphérie rurale) propre à la mesure et au contrôle par les institutions politiques dominantes.

Sur cette base, nous pouvons comprendre le haut-modernisme comme un programme radical de réorganisation de la société autour de la vue du dessus (Scott, 2020). En effet, la modernité européenne a donné lieu à la conception d'un ordre social « rationnel » ou « scientifique » inspiré par le progrès technique triomphant. Un tel ordre se caractérise par la mise en œuvre de plans abstraits dessinés par une administration centralisée et réalisables par ses cadres, de la même manière que les plans d'une machine peuvent être dessinés par un ingénieur et réalisés par un ouvrier. De ce fait, le seul type de connaissance mobilisable par le modèle haut-moderne relève de ce que Scott appelle la *techné*, définie par un ensemble de procédures particulières qu'un agent doit suivre. Nous pouvons voir un microcosme de ce modèle dans le système éducatif moderne: un maître d'école, situé au milieu de la salle, expose à des élèves supposés passifs la démarche qu'ils doivent suivre pour obtenir le résultat attendu. Scott (2020) s'attache à montrer les limitations d'un tel modèle d'organisation sociale. Étant incapables de tenir compte des dépendances complexes caractérisant les systèmes sociaux et écologiques réels, les institutions haute-modernes tentent de les supprimer, ou du moins de produire un contexte où elles peuvent être ignorées. Cette démarche est particulièrement transparente dans l'organisation spatiale développée par les États modernes, qu'il s'agisse de la séparation spatiale des quartiers d'habitation, de travail et de loisirs dans des villes planifiées telles que Brasilia, ou de la suppression du mutualisme des populations rurales par la collectivisation forcée dans des villages modèles et/ou la mécanisation.

Du fait de cette intégration profonde de la *techné* dans l'organisation sociale, matérielle et épistémique du monde, il apparaît difficile d'imaginer comment initier un mouvement s'éloignant d'un modèle technique de la connaissance, ou même d'imaginer un monde qui ne soit pas formé sur ce modèle. Par analogie au réalisme capitaliste de Fisher (2009), nous pourrions parler de réalisme technique. Pourtant, une autre forme d'organisation de la connaissance préexiste à la *techné* : la *metis*, c'est-à-dire la connaissance située et pragmatique qu'un agent développe à mesure qu'il s'engage directement avec son environnement social et matériel. Scott (2020) associe cette dernière aux savoirs vernaculaires des populations rurales, auxquels les États s'opposent généralement dans les exemples que Scott choisit de développer. Cette opposition peut être simplement comprise en termes structurels. Par définition, la *metis* échappe à la conception verticale de la connaissance et de la technologie autour de laquelle ces mêmes États se construisent. L'existence d'une population capable d'agir directement et en ses propres termes sur son environnement matériel implique, au moins en potentiel, le développement d'une société civile capable de définir ses propres modes d'organisation, en dehors du cadre défini par l'État. Or, si les États pré-modernes se contentaient d'une domination formelle sur les individus et les collectivités, le haut-modernisme se caractérise justement par la volonté d'organiser totalement les paysages matériels comme sociaux, urbains comme ruraux autour de formes prédéfinies de « rationalité » - c'est-à-dire, autour de la *techné*.

Nous estimons de plus que cette logique institutionnelle est fondamentalement liée aux enjeux sociaux et techniques de l'Anthropocène. Cet argument semble dériver naturellement des arguments développés

par Mitchell (2013) et Jarrige et Vrignon (2020) concernant le développement du secteur de l'énergie au XIXe et XXe siècle. Ces derniers montrent par des voies différentes que l'adoption massive d'énergies fossiles pour alimenter une industrie en croissance rapide découle largement d'une course au développement d'une infrastructure de mobilisation massive du capital et du travail entre États capitalistes d'une part et entreprises de l'autre. Nous pouvons citer l'organisation technique de la connaissance, comme elle est ancrée dans le contexte vertical et technique de la salle de classe ou de l'usine, comme un levier important du développement de l'aspect social de cette infrastructure. L'expérience collective de cette socialisation explique sans doute la prévalence du réalisme technique dans les mouvements politiques modernes, y compris ceux qui visent à adresser les enjeux techniques et sociaux liés à l'Anthropocène. Au contraire de cette dynamique, nous suggérons la nécessité d'une organisation sociotechnique centrée sur la réalisation des besoins humains via une gestion collaborative des communs matériels et épistémiques situés, se caractérisant par le rapport direct avec la connaissance et la technologie qui définit la *metis*. Pour décrire cette démarche et évoquer les enjeux cognitifs, sociaux et politiques qui la traversent, nous proposons le terme de technopolitique située.

Il apparaît difficile de caractériser abstraitement les traits d'un programme qui se définit justement par son opposition à l'abstraction de la dimension située de la connaissance et des rapports sociaux. Toutefois, nous pouvons discuter ici de différentes pistes pour le réaliser. Le principal enjeu que nous pouvons évoquer réside dans la reconstruction d'un rapport actif à la connaissance et à la technologie, couplé au développement d'une capacité cognitive et organisationnelle concrète à en faire usage pour répondre aux besoins (sociaux et écologiques) issus du contexte propre des acteurs sociaux. Sur le plan éducatif, cela correspond directement à l'usage de pédagogies actives telles que la méthode Montessori. En s'appuyant sur les dimensions incarnée, intégrée, éactive et étendue de la cognition, cette dernière éduque en effet les apprenant-es à développer une compréhension située de leur pouvoir d'action sur un environnement partagé, dans le cadre d'une démarche collaborative centrée sur la gestion de communs matériels et épistémiques. Elle produit donc un microcosme de ce que nous avons décrit comme la technopolitique située. Sur le plan technologique, l'approche que nous développons ici entre en résonance avec la basse technologie ou *low tech* (Abrassart *et al.*, 2020; Bihouix, 2014). Ces dernières sont par construction simples à concevoir et mettre en œuvre, favorisant un développement participatif centré sur des enjeux locaux dans un contexte économique basé sur la mutualité. Pour prouver la cohérence d'une telle démarche, il nous reste toutefois à éclaircir quelles formes d'organisations pourraient initier un mouvement en suivant ces principes.

Avant tout, il nous semble improbable qu'une technopolitique située puisse être construite par la simple politique publique. Il apparaît en effet naturel qu'un programme écologique articulé depuis un contexte défini par la domination de l'organisation technique ne puisse que reproduire l'architecture conceptuelle basique de cette domination - sauf à la remettre explicitement en question. Cela se traduit à notre sens dans la prévalence des approches de l'écologie centrée sur la transition, généralement comprise comme la mise en œuvre de politiques publiques visant au développement d'une infrastructure technique « verte » ou bien à des changements de comportements individuels compris en isolation du contexte technique et politique. Cette position ne nous semble en rien naïve –

ce sont effectivement les États et les grandes entreprises qui dominent le monde moderne, et qui ont le plus grand pouvoir d'action pour en changer l'organisation. Toutefois, il nous apparaît nécessaire de ne pas attendre que ces institutions puissent radicalement changer la logique de leur fonctionnement, en tout cas aux échelles de temps qu'imposent les enjeux sociaux et écologiques de l'Anthropocène. Nous insistons au contraire sur la nécessité de l'action directe des collectifs citoyens, issus par exemple du milieu associatif, syndical ou coopératif, pour construire les communs matériels et épistémiques. Dans un second temps, le mouvement ainsi initié pourra se poser la question de son rapport au domaine public, bénéficiant éventuellement de son pouvoir d'action dans le cadre du partenariat public-communs (Bauwens, 2013).

Conclusion

Nous avons ici analysé la période géologique de l'Anthropocène comme un produit du programme politique que l'anthropologue James C. Scott a appelé le haut-modernisme, c'est-à-dire la réorganisation de la société autour de la « vue du dessus » - celle des architectes des États européens de l'époque moderne. Le haut-modernisme s'est en particulier traduit dans le domaine de la conception et de la mise en œuvre des connaissances par une dominance extrême de la techne, une forme de connaissance abstraite et formalisée qui peut être transmise et appliquée de manière reproductible. Cette approche de la connaissance efface par construction la dimension située de la connaissance, la *metis*, laquelle est intégrée dans les rapports sociaux et dans l'engagement direct avec l'environnement de l'agent. Nous avons exposé l'idée que cette conception de la connaissance entre en conflit avec la démarche de la redirection écologique. Cette dernière implique en effet la mise en œuvre d'une renégociation démocratique de l'usage fait de l'héritage institutionnel et matériel de l'époque moderne, impliquant notamment la fermeture des secteurs d'activité incohérents avec les impératifs sociaux et écologiques. Par définition, cette approche de l'écologie implique de centrer l'organisation sociotechnique sur une démarche continue d'enquête portant sur la manière dont des collectifs peuvent réconcilier les besoins humains et les limites écosystémiques. Elle s'appuie donc de manière fondamentale sur la manière dont des collectifs comprennent leurs propres besoins et les dynamiques de leur environnement, et intègrent cette compréhension dans leurs rapports sociaux et dans leur engagement direct avec le domaine technique.

Nous avons de plus identifié l'école comme un espace central à la transmission et la (re)construction d'une vision du monde haute-moderne. C'est en effet dans la salle de classe que les élèves intègrent la conception de la connaissance comme un corps de propositions abstraites et de techniques formalisées, définies par des institutions agissant en tant qu'autorités épistémiques, et que l'apprenant-e doit reproduire telles quelles sous peine d'être jugé négativement. De ce fait, nous estimons que la reconstruction d'un système éducatif centré sur l'autonomie de l'apprenant-e est un levier central pour la mise en œuvre d'une démarche de redirection écologique. Pour illustrer cette démarche, nous avons pris l'exemple du système Montessori, lequel centre son approche sur une démarche d'enquête collaborative unissant les élèves de différents âges entre eux et avec l'enseignant-e pour faire usage des ressources de leur environnement matériel pour intégrer des compétences abstraites et comprendre le monde. Dans ce contexte, la salle de classe devient un microcosme d'une société démocratique

organisée autour de la gestion des communs épistémiques intégrés dans une niche matérielle et sociale partagée. Les dispositions cognitives sur lesquelles s'appuie ce système d'enseignement sont donc les mêmes qu'un corps de citoyens devrait mobiliser pour une gestion collaborative des communs (positifs et négatifs) issus de l'héritage de la période moderne, sur la base des connaissances situées qu'ils ont pu développer par l'engagement direct avec le monde. Nous étendons donc la réflexion sur la stratégie pédagogique adaptée à l'Anthropocène que Landivar (2021) a initiée, en mettant l'accent sur la nécessité de l'autonomie de l'apprenant-e ainsi que sur l'usage de ressources épistémiques matérielles dans le processus d'apprentissage.

Finalement, notre approche s'appuie sur le paradigme de l'inférence active dans le modèle que nous développons de l'apprentissage ainsi que des dynamiques sociohistoriques. L'inférence active comprend la cognition comme un processus d'anticipation continu des états sensoriels et moteurs d'un agent, basé sur un modèle implicite de son engagement avec le monde qui est intégré dans sa dynamique interne. Selon l'inférence active, les agents cognitifs perçoivent ce qu'ils s'attendent à percevoir et font ce qu'ils s'attendent à faire étant donné le contexte défini par leur modèle implicite du monde et leurs états sensoriels et moteurs à un instant donné. De ce fait, l'inférence active permet une description intégrée de l'échelle micro de la cognition et de l'échelle macro des normes sociales et des institutions politiques (Guénin-Carlut, 2022, 2024a). Les attentes culturelles partagées par un ensemble d'agents sociaux constituent en effet une trame à partir de laquelle ces agents forment des attentes concernant leur propre comportement et celui des autres, lesquels ils seront ensuite disposés à énoncer via les processus prédictifs qui sous-tendent l'action. Ainsi, les normes intégrées dans le contexte sociotechnique dont un agent fait l'expérience (notamment via le système scolaire) sont amenées à être reproduites par cet agent, et maintiennent les mêmes formes d'organisation sociale qui ont défini ce contexte comme un attracteur fort des dynamiques sociales. Quoique nous n'ayons pas eu l'opportunité d'articuler une analyse plus fine des processus cognitifs qui sous-tendent l'organisation sociotechnique et sa reproduction dans le contexte scolaire, nous espérons que des travaux futurs puissent articuler ce travail, et ainsi proposer des leviers d'actions plus spécifiques pour la redirection écologique. •

Remerciements

Ce travail a été financé par le projet XSCAPE (Synergy Grant ERC-2020-SyG 951631). Nous tenons à remercier William Bernaud pour les discussions ayant mené à ce projet, ainsi que Yseult Héjja-Brichard pour son travail de relecture. Nous remercions de plus les relecteurs anonymes de la revue, dont les commentaires ont participé à améliorer notre argument.

La section 2 de ce document s'appuie sur Di Paolo *et al.* (2024), et la partie 3 sur Guénin-Carlut (2024b).

Annotations

¹. Il est assez difficile de trouver des données complètes sur cette approche pédagogique spécifique, même en limitant la recherche aux pays européens. Toutefois, des sources telles que la Commission européenne (<https://education.ec.europa.eu/resources-and-tools/education-and-training-statistics>), l'UNESCO (<https://www.unesco.org/en/articles/global-report-teachers-what-you-need-know>), l'Eurydice Network, qui fournit des données et des analyses sur les systèmes éducatifs européens (<https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/publications/learning-sustainability-europe-building-competences-and-supporting-teachers-and>) suggèrent que l'approche centrée sur l'enseignant reste la méthodologie éducative la plus répandue dans tous les pays. Ces données contrastent fortement avec la nécessité de modifier les systèmes éducatifs, qui, au moins en Europe, a été établie depuis le rapport du processus de Bologne en 2009 (Bologna Proces 2009; European Higher Education Area 2010 ; voir aussi Geven et Attard 2012).

². Malheureusement, nous ne disposons pas de l'espace nécessaire pour effectuer une analyse plus sophistiquée des différentes solutions respectueuses de l'environnement et éco-durables (du moins par rapport aux méthodologies « traditionnelles »). Parmi ces solutions, nous pourrions citer en premier lieu « l'éducation basée sur le lieu » (Sobel, 2004, 2008; Smith et Sobel, 2014), « école de la forêt » (Turtle *et al.*, 2015; O'Brien, 2019; Cree et Robb, 2021; Garden et Downes, 2023), ou le mouvement de l'« école démocratique » (Gray, 2013). D'autres approches, telles que les écoles Waldorf, les petites écoles ou les écoles d'éducation à échelle humaine, les Freie Schule, l'éducation Reggio Emilia, ou les écoles libres danoises, sont décrites dans Carnie (2003).

³. Pour une compréhension approfondie des matériaux de la méthode Montessori, voir : A. Lillard, 2008; A. S. Lillard, 2011, p. 201

Bibliographie

- Abraham, T. H. (2020). The Macy Conferences on Cybernetics: Reinstating the Mind. In Oxford Research Encyclopedia of Psychology. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.541>
- Abrassart, C., Jarrige, F. et Bourg, D. (2020). Introduction: Low-Tech et enjeux écologiques – quels potentiels pour affronter les crises ? *La Pensée écologique*, 5(1), 1–1. <https://doi.org/10.3917/lpe.005.0001>
- Acemoglu, D., Johnson, S. et Robinson, J. (2002). The Rise of Europe: Atlantic Trade, Institutional Change and Economic Growth (Working Paper No. 9378; Working Paper Series). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w9378>
- Acemoglu, D. et Robinson, J. A. (2001). A Theory of Political Transitions. *American Economic Review*, 91(4), 938–963. <https://doi.org/10.1257/aer.91.4.938>
- Ackerman, D. J. (2019). The Montessori Preschool Landscape in the United States: History, Programmatic Inputs, Availability, and Effects. ETS Research Report Series, 2019(1), 1–20. <https://doi.org/10.1002/ets2.12252>
- Albarracín, M., Constant, A., Friston, K. et Ramstead, M. J. (2020). A variational approach to scripts. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/67zy4>
- Alburaidi, A. et Ambusaidi, A. (2019). The Impact of Using Activities Based on the Montessori Approach in Science in the Academic Achievement of Fourth Grade Students. *International Journal of Instruction*, 12(2), 695–708.
- Altinyelken, H. K. (2015). Democratising Turkey through student-centred pedagogy: Opportunities and pitfalls. *Comparative Education*, 51(4), 484–501. <https://doi.org/10.1080/03050068.2015.1081794>
- Angus, I. (2016). Facing the Anthropocene: Fossil Capitalism and the Crisis of the Earth System. NYU Press.
- Baligadoo, P. D. (2020). Learning for Peace: The Montessori Way. Dans W. J. Morgan et A. Guilherme (dir.), *Peace and War: Historical, Philosophical, and Anthropological Perspectives* (pp. 155–173). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48671-6_9
- Bauwens, M. (2013). Quelles stratégies politiques de transition pour la généralisation de l'économie contributive. *EcoRev*, 4(12), 32–39. <https://doi.org/10.3917/ecorev.041.0032>
- Bavli, B. et Kocabas, H. U. (2022). The Montessori Educational Method: Communication and Collaboration of Teachers with the Child. *Participatory Educational Research*, 9(1). <https://doi.org/10.17275/per.22.24.9.1>
- Bengtsson, S. E. L., Barakat, B. et Muttarak, R. (2018). The Role of Education in Enabling the Sustainable Development Agenda. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315142708>
- Bhatia, P., Davis, A. et Shamas-Brandt, E. (2015). Educational Gymnastics: The Effectiveness of Montessori Practical Life Activities in Developing Fine Motor Skills in Kindergartners. *Early Education and Development*, 26(4), 594–607. <https://doi.org/10.1080/10409289.2015.995454>
- Biermann, F. (2012). Planetary boundaries and earth system governance: Exploring the links. *Ecological Economics*, 81, 4–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.02.016>
- Biermann, F., Abbott, K., Andresen, S., Bäckstrand, K., Bernstein, S., Betsill, M. M., Bulkeley, H., Cashore, B., Clapp, J., Folke, C., Gupta, A., Gupta, J., Haas, P. M., Jordan, A., Kanie, N., Kluvanková-Oravská, T., Lebel, L., Liverman, D., Meadowcroft, J., ... Zondervan, R. (2012). Navigating the Anthropocene: Improving Earth System Governance. *Science*, 335(6074), 1306–1307. <https://doi.org/10.1126/science.1217255>
- Bihouix, P. (2014). L'Âge des low tech. Vers une civilisation techniquement soutenable. Le Seuil.
- Bologna Proces. (2009, avril 29). The Bologna Process 2020—The European Higher Education Area in the new decade. https://eha.info/media/eha.info/file/2009_Leuven_Louvain-la-Neuve/06/1/Leuven_Louvain-la-Neuve_Communique_April_2009_595061.pdf
- Bonnet, E., Landivar, D. et Monnin, A. (2021). Héritage et fermeture. Une écologie du démantèlement. Éditions divergences.
- Boone, W. et Piccinini, G. (2016). The cognitive neuroscience revolution. *Synthese*, 193(5). <https://doi.org/10.1007/s11229-015-0783-4>
- Brandl, E., Mace, R. et Heyes, C. (2023). The Cultural Evolution of Teaching. *Evolutionary Human Sciences*, 5, 1–38. <https://doi.org/10.1017/ehs.2023.14>
- Brunold-Conesa, C. (2010). International education: The International Baccalaureate, Montessori and global citizenship. *Journal of Research in International Education*, 9(3), 259–272. <https://doi.org/10.1177/1475240910382992>
- Carnie, F. (2003). *Alternative Approaches to Education: A Guide for Parents and Teachers*. Psychology Press.
- Cartwright, J., Roberts, K., Oliver, E., Bennett, M. et Whitworth, A. (2022). Montessori mealtimes for dementia: A pathway to person-centred care. *Dementia*, 21(4), 1098–1119. <https://doi.org/10.1177/14713012211057414>
- Chen, A. et Guo, S. L. (2021). The Spread of Montessori Education in Mainland China. *Journal of Montessori Research & Education*, 3(1), 1–8.
- Clark, A. (2015). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford University Press.
- Clark, A. (2020). Beyond Desire? Agency, Choice, and the Predictive Mind.

- Australasian Journal of Philosophy, 98(1). <https://doi.org/10.1080/00048402.2019.1602661>
- Cree, J. et Robb, M. (2021). *The Essential Guide to Forest School and Nature Pedagogy*. Routledge.
- Curry, H. B. (1942). The combinatory foundations of mathematical logic. *The Journal of Symbolic Logic*, 7(2), 49–64. <https://doi.org/10.2307/2266302>
- Da Costa, L., Friston, K., Heins, C. et Pavliotis, G. A. (2021). Bayesian mechanics for stationary processes. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 477(2256), 20210518. <https://doi.org/10.1098/rspa.2021.0518>
- de Brouwer, J., Klaver, L. et Zee, S. van der. (2023). Montessori's Perspective on Citizenship Education: A View From the Netherlands. *Journal of Montessori Research*, 9(2). <https://doi.org/10.17161/jomr.v9i2.19418>
- Debs, M. C. et Brown, K. E. (2017). Students of Color and Public Montessori Schools: A Review of the Literature. *Journal of Montessori Research*, 3(1), 1–15.
- Debs, M. C., de Brouwer, J., Murray, A. K., Lawrence, L., Tyne, M. et von der Wehl, C. (2022). Global Diffusion of Montessori Schools: A Report from the 2022 Global Montessori Census. *Journal of Montessori Research*, 8(2), 1–15.
- Demoule, J.-P. et Lussault, M. (2020, 21 février). Le Néolithique, matrice de l'Anthropocène ? Entretien J-P Demoule/M. Lussault. (V. Disdid, Interviewer) [Interview]. <https://medium.com/anthropocene2050/le-n%C3%A9olithique-matrice-de-lanthropoc%C3%A8ne-a4083b812d46>
- D'Esclaibes, S. (2017). *Donner confiance à son enfant grâce à la méthode Montessori*. Éditions Leduc.
- Di Felice, P. (2018). Teaching geographical databases at the engineering master level: Learner-centred approach vs. teacher-centred approach. *European Journal of Engineering Education*, 43(5), 757–770. <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1421904>
- Di Paolo, L. D. et Frierson, P. R. (2024). Montessori, Math, and Materials: A Case of Extended Cognition. *OSF*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/8yvtk>
- Di Paolo, L. D., White, B., Guénin-Carlut, A., Constant, A. et Clark, A. (2024). Active inference goes to school: The importance of active learning in the age of large language models. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 379(1911), 20230148. <https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0148>
- Di Paolo, L. D., White, B., Guénin-Carlut, A., Constant, A. et Clark, A. (2024). Active Inference Goes to School. The Importance of Active Learning in the Age of Large Language Models. <https://doi.org/10.31219/osf.io/zwa83>
- Donges, J. F., Winkelmann, R., Lucht, W., Cornell, S. E., Dyke, J. G., Rockström, J., Heitzig, J. et Schellnhuber, H. J. (2017). Closing the loop: Reconnecting human dynamics to Earth System science. *The Anthropocene Review*, 4(2), 151–157. <https://doi.org/10.1177/2053019617725537>
- Dupuy, J.-P. (1999). *Aux origines des sciences cognitives*. La Découverte.
- Elen, J., Clarebout, G., Léonard, R. et Lowyck, J. (2007). Student-centred and teacher-centred learning environments: What students think. *Teaching in Higher Education*, 12(1), 105–117. <https://doi.org/10.1080/13562510601102339>
- Emerson, S. et Siraj-Blatchford, J. (2017). *The legacy of Maria Montessori. In Understanding Sustainability in Early Childhood Education*. Routledge.
- European Higher Education Area. (2010, 12 mars). *Budapest-Vienna Declaration on the European Higher Education Area*. https://ehea.info/media/ehea.info/file/2010_Budapest_Vienna/64/0/Budapest-Vienna_Declaration_598640.pdf
- Fisher, M. (2009). *Capitalist Realism: Is There No Alternative?* John Hunt Publishing.
- Fodor, J. A. (1975). *The Language of Thought*. Harvard University Press.
- Frierson, P. R. (2016). Making Room for Children's Autonomy: Maria Montessori's Case for Seeing Children's Incapacity for Autonomy as an External Failing. *Journal of Philosophy of Education*, 50(3), 332–350. <https://doi.org/10.1111/1467-9752.12134>
- Frierson, P. R. (2018). Maria Montessori's metaphysics of life. *European Journal of Philosophy*, 26(3), 991–1011. <https://doi.org/10.1111/ejop.12326>
- Frierson, P. R. (2019). *Intellectual Agency and Virtue Epistemology: A Montessori Perspective*. Bloomsbury Publishing.
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/nrn2787>
- Friston, K. (2019). A free energy principle for a particular physics. *arXiv:1906.10184 [q-Bio]*. <http://arxiv.org/abs/1906.10184>
- Friston, K., Daunizeau, J. et Kiebel, S. J. (2009). Reinforcement Learning or Active Inference? *PLOS ONE*, 4(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006421>
- Friston, K., Daunizeau, J., Kilner, J. et Kiebel, S. J. (2010). Action and behavior: A free-energy formulation. *Biological Cybernetics*, 102(3). <https://doi.org/10.1007/s00422-010-0364-z>
- Friston, K., FitzGerald, T., Rigoli, F., Schwartenbeck, P. et Pezzulo, G. (2016). Active Inference: A Process Theory. *Neural Computation*, 29(1). https://doi.org/10.1162/NECO_a_00912
- Friston, K. et Kiebel, S. (2009). Predictive coding under the free-energy principle. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), Article 1521. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0300>
- Friston, K., Kilner, J. et Harrison, L. (2006). A free energy principle for the brain. *Journal of Physiology-Paris*, 100(1). <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.10.001>
- Friston, K., Parr, T. et Vries, B. de. (2017). The graphical brain: Belief propagation and active inference. *Network Neuroscience*. https://doi.org/10.1162/NETN_a_00018
- Galaz, V. (2014). *Global Environmental Governance, Technology and Politics: The Anthropocene Gap*. Edward Elgar Publishing.
- Garden, A. et Downes, G. (2023). A systematic review of forest schools literature in England. *Education 3-13*, 51(2), 320–336. <https://doi.org/10.1080/03004279.2021.1971275>
- Geven, K. et Attard, A. (2012). Time for Student-Centred Learning? Dans A. Curaj, P. Scott, L. Vlasceanu et L. Wilson (dir.), *European Higher Education at the Crossroads: Between the Bologna Process and National Reports* (pp. 153–172). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3937-6_9
- Gowdy, J. et Krall, L. (2013). The ultrasocial origin of the Anthropocene. *Ecological Economics*, 95, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.08.006>
- Gray, P. (2013). Free to Learn: Why Unleashing the Instinct to Play Will Make Our Children Happier, More Self-Reliant, and Better Students for Life. Hachette UK.
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N. et Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305–307. <https://doi.org/10.1038/495305a>
- Gross, Z. et Rutland, S. D. (2019). Applying Montessori Principles in China: The Impact of Being a Situational Minority in a Particularistic Jewish Heritage School. *Journal of Jewish Education*, 85(1), 27–52. <https://doi.org/10.1080/01524413.2019.1559433>
- Guénin-Carlut, A. (2022). Thinking like a State: Embodied intelligence in the deep history of our collective mind. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1261(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1261/1/012026>
- Guénin-Carlut, A. (2024a). From the existential stance to social constraints—How the human mind becomes embedded in our social, cultural and material context. *OSF*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/3kyzt>
- Guénin-Carlut, A. (2024b). Is the ecological redirection possible? An ALife perspective on sociocultural evolution in the Anthropocene. *OSF*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/bcyku>
- Guénin-Carlut, A. et Albarracín, M. (2024). On Embedded Normativity an Active Inference Account of Agency Beyond Flesh. Dans C. L. Buckley, D. Ciaffi, P. Lanillos, M. Ramstead, N. Sajid, H. Shimazaki, T. Verbelen et M. Wisse (dir.), *Active Inference* (pp. 91–105). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47958-8_7
- Gynther, P. et Ahlquist, E.-M. T. (2022). Education for Sustainability and Global Citizenship for 6-12-year-olds in Montessori Education. *Journal of Education for Sustainable Development*, 16(1–2), 5–18. <https://doi.org/10.1177/09734082221118336>
- Hallumoglu, K. Ö., Karsak, H. G. O. et Maner, A. F. (2023). The Effect of the Montessori Method Integrated with Collaborative Learning on Early Mathematical Reasoning Skills. *International Journal of Contemporary Educational Research*, 10(4). <https://doi.org/10.52380/ijcer.2023.10.4.505>
- Haraway, D. (2015). *Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin*. *Environmental Humanities*, 6(1), 159–165. <https://doi.org/10.1215/22011919-3615934>
- Harris, J., Spina, N., Ehrlich, L. et Smeed, J. (2013). Literature review: Student-centred schools make the difference. Australian Institute for Teaching and School Leadership. <http://clearinghouse.aitsl.edu.au/Citations/c420b4d1-f675-4b2e-8875-a2e00b00def>
- Helmi, S. A., Mohd-Yusof, K. et Hisjam, M. (2019). Enhancing the implementation of science, technology, engineering and mathematics (STEM) education in the 21st century: A simple and systematic guide. *AIP Conference Proceedings*, 2097(1), 020001. <https://doi.org/10.1063/1.5098172>
- Hickel, J. (2018). *The Divide: Global Inequality from Conquest to Free Markets*. W. W. Norton & Company.
- Hipólito, I., Baltieri, M., Friston, K. et Ramstead, M. J. (2021). Embodied skillful performance: Where the action is. *Synthese*. <https://doi.org/10.1007/s11229-020-02986-5>
- Hohwy, J. (2016). The Self-Evidencing Brain. *Noûs*, 50(2). <https://doi.org/10.1111/nous.12062>
- Holmes, C. (2018). Montessori Education in the Ngaanyatjarra Lands. *Journal of Montessori Research*, 4(2), 33–60.
- Iliya Joseph, B. (2020). The Mathematics Teachers Shift from the Traditional Teacher-Centred Classroom to a More Constructivist Student-Centred Epistemology. *Open Access Library Journal*, 07(05). <https://doi.org/10.4236/oalib.1106389>
- Jahan, R., Sarker, S. et Ali, A. (2022). Scope of Fostering Democratic Skills through Student Centred Pedagogy in Bangladeshi Secondary Schools. *NAEM Journal*, 15(2), 166–126.
- Jarrige, F. et Vrignon, A. (2020). Face à la puissance: Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel. *La Découverte*.
- Johnson, V. (2022). *Education Anywhere? A Constructivist Grounded Theory Study of Montessori Around the World*. College of Education and Human Sciences: Dissertations, Theses, and Student Research. <https://digitalcommons.unl.edu/cehdsdiss/421>
- Kasour, M., Achtaich, N. et Achtaich, K. (2023). The Montessori Pedagogy in Morocco: State of the Art from a Qualitative Perspective. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 50(6). <http://joununs.com/index.php/journal/article/view/1400>
- Koczela, A. et Carver, K. (2023). Understanding Circle Time Practices in Montessori Early Childhood Settings. *Journal of Montessori Research*, 9(2). <https://doi.org/10.17161/jomr.v9i2.20962>
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315009292>
- Koh, J. H. et Frick, T. W. (2010). Implementing Autonomy Support: Insights from a Montessori Classroom. *International Journal of Education*, 2(2). <https://doi.org/10.5296/ije.v2i2.511>
- Komatsu, H., Silova, I. et Rappleye, J. (2022). Education and environmental sustainability: Culture matters. *Journal of International Cooperation in Education*, 25(1), 108–123. <https://doi.org/10.1108/JICE-04-2022-0006>
- Lade, S. J., Steffen, W., de Vries, W., Carpenter, S. R., Donges, J. F., Gerten, D., Hoff, H., Newbold, T., Richardson, K. et Rockström, J. (2020). Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions. *Nature Sustainability*, 3(2), 119–128. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0454-4>
- Landivar, Diego. 2021. "Quelle Stratégie Pédagogique Depuis l'anthropocène ?" Dans *Expériences Pédagogiques Depuis l'Anthropocène*, Éditions des archives contemporaines, France, 1–12. <https://doi.org/10.17184/eac.5382>
- Ledley, T. S., Rooney-Varga, J. et Niepold, F. (2017). Addressing Climate Change Through Education. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.56>
- Lee, T. M., Markowitz, E. M., Howe, P. D., Ko, C.-Y. et Leiserowitz, A. A. (2015). Predictors of public climate change awareness and risk perception around the world. *Nature Climate Change*, 5(11), 1014–1020. <https://doi.org/10.1038/nclimate2728>
- Lide, A. (2018). Montessori Education: What Is Its Relationship with the Emerging Worldview? *Journal of Conscious Evolution*, 8(8). <https://digitalcommons.cis.edu/cejournal/vol8/iss8/5>
- Lillard, A. (2008). How Important Are the Montessori Materials? Dans *Montessori Life*, volume 4.
- Lillard, A. S. (2011). What belongs in a Montessori Primary Classroom? *Montessori Life*.
- Lillard, A. S. (2017). *Montessori: The Science Behind the Genius*. Oxford University Press.
- Lillard, A. S., Heise, M. J., Richey, E. M., Tong, X., Hart, A. et Bray, P. M. (2017). Montessori Preschool Elevates and Equalizes Child Outcomes: A Longitudinal Study. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01783>
- Lillard, A. S., Tong, X. et Bray, P. M. (2023). Seeking Racial and Ethnic Parity in Preschool Outcomes: An Exploratory Study of Public Montessori Schools vs. Business-as-Usual Schools. *Journal of Montessori Research*, 9(1). <https://doi.org/10.17161/jomr.v9i1.19540>
- Lutz, W., Muttarak, R. et Striessnig, E. (2014). Universal education is key to enhanced climate adaptation. *Science*, 346(6213), 1061–1062. <https://doi.org/10.1126/science.1257975>
- Macià-Gual, A. et Domingo-Peñafiel, L. (2021). Demands in Early Childhood Education: Montessori Pedagogy, Prepared Environment, and Teacher Training. *International Journal of Research in Education and Science*, 7(1), 144–162.
- Mallett, J. D. et Schroeder, J. L. (2015). Academic Achievement Outcomes: A Comparison of Montessori and Non-Montessori Public Elementary School Students. *Journal of Elementary Education*.
- Malm, A. (2016). *Fossil Capital: The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*. Verso Books.
- Markina, E. et García Mollá, A. (2022). The effect of a teacher-centred and learner-centred approach on students' participation in the English classroom. *Bellaterra journal of teaching and learning language and literature*, 15(3), 0005-e1007. <https://doi.org/10.5565/rev/jtl3.1007>
- Mavric, M. (2020). The Montessori Approach as a Model of Personalized Instruction. *Journal of Montessori Research*, 6(2), 13–25.
- Misheva, S. (2020). Cultivation of environmental education by the Montessori method. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 20(5.2), 693–699.
- Mitchell, T. (2013). *Carbon Democracy: Political Power in the Age of Oil*. Verso Books.
- Moore, J. W. (2016). *Anthropocene or Capitalocene?: Nature, History, and the Crisis*

- of Capitalism. PM Press.
- Mullamaa, K. (2017). Student centred teaching and motivation. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 4(16). <https://doi.org/10.14738/ass-rj.416.3593>
- Murray, A., Ahlquist, E.-M. T., McKenna, M. et Debs, M. (2023). *The Bloomsbury Handbook of Montessori Education*. Bloomsbury Publishing.
- Nave, K., Deane, G., Miller, M. et Clark, A. (2020). Wilding the predictive brain. *WIREs Cognitive Science*, 11(6). <https://doi.org/10.1002/wcs.1542>
- Nave, K., Deane, G., Miller, M. et Clark, A. (2022). Expecting some action: Predictive Processing and the construction of conscious experience. *Review of Philosophy and Psychology*. <https://doi.org/10.1007/s13164-022-00644-y>
- Newen, A., Bruin, L. D. et Gallagher, S. (2018). *The Oxford Handbook of 4E Cognition*. Oxford University Press.
- O'Brien, L. (2019). *Learning outdoors: The Forest School approach*. In *Outdoor Learning Research*. Routledge.
- Oprescu, M., Craciun, D. et Banaduc, I. (2011). Multiple Intelligences in conventional and student-centered school. *Journal of Educational Sciences & Psychology*, 1(1), 86–94.
- Parr, T., Pezzulo, G. et Friston, K. (2022). *Active Inference: The Free Energy Principle in Mind, Brain, and Behavior*. MIT Press.
- Piccinini, G. (2010). The Mind as Neural Software? Understanding Functionalism, Computationalism, and Computational Functionalism. *Philosophy and Phenomenological Research*, 81(2), Article 2. <https://doi.org/10.1111/j.1933-1592.2010.00356.x>
- Polanyi, K. (1957). *The Great Transformation*. Beacon Press.
- Raimondo, R. (2018). Cosmic Education in Maria Montessori: Arts and Sciences as resources for human development. *Studi Sulla Formazione/Open Journal of Education*, 21(2). https://doi.org/10.13128/Studi_Formaz-24669
- Ramstead, M. J., Kirchoff, M. D. et Friston, K. (2020). A tale of two densities: Active inference is enactive inference. *Adaptive Behavior*, 28(4). <https://doi.org/10.1177/1059712319862774>
- Ramstead, M., Veissière, S. P. et Kirmayer, L. J. (2016). Cultural affordances: Scaffolding local worlds through shared intentionality and regimes of attention. *Frontiers in Psychology*, 7, 1090.
- Rapplee, J. et Komatsu, H. (2024). From student-centred learning (SCL) to school as learning community (SLC)? Democracy, (neo)liberalism, and 'listening' to others. *Globalisation, Societies and Education*, 0(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/14767724.2023.2295489>
- Rescorla, M. (2020). *The Computational Theory of Mind*. Dans E. N. Zalta (dir.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (automne 2020). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/computational-mind/>
- Richard-Bossez, A. (2023). Autonomous workshops and individual Montessori-type activities: An analysis of their effects on learning and inequalities. Dans *The Fabrication of the Autonomous Learner*, édité par Judith Hangartner, Héloïse Durler, Regula Fankhauser, et Crispin Girinshuti. Routledge.
- Rockström, J. et Gaffney, O. (2021). *Breaking Boundaries: The Science of Our Planet*. Dorling Kindersley Ltd.
- Ruddiman, W. F. (2013). The Anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 45–68. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-123944>
- Schmidt, T. (2017). *Modular Montessori: Educating Towards Ecological Sustainability* [Thesis, North Dakota State University]. <https://library.ndsu.edu/ir/handle/10365/26012>
- Scott, J. C. (2010, 8 septembre). *The Trouble with the View from Above*. *Cato Unbound*. <https://www.cato-unbound.org/2010/09/08/james-c-scott/trouble-view-above>
- Scott, J. C. (2017). *Against the Grain: A Deep History of the Earliest States*. Yale University Press.
- Scott, J. C. (2020). *Seeing Like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*. Yale University Press.
- Seth, A. K. (2013). Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(11). <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.09.007>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. *The Bell System Technical Journal*. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Siswanto, I. L. et Kuswandono, P. (2020). Understanding Teacher Identity Construction: Professional Experiences of Becoming Indonesian Montessori Teachers. *Indonesian Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*, 5(1), 1–16.
- Smit, K., de Brabander, C. J. et Martens, R. L. (2014). Student-centred and teacher-centred learning environment in pre-vocational secondary education: Psychological needs, and motivation. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 58(6), 695–712. <https://doi.org/10.1080/00313831.2013.821090>
- Smith, G. A. et Sobel, D. (2014). *Place- and Community-Based Education in Schools*. Routledge.
- Sobel, D. (2004). Place-based education: Connecting classroom and community. *Nature and Listening*, 4(1), 1–7.
- Sobel, D. (2008). *Childhood and Nature: Design Principles for Educators*. Stenhouse Publishers.
- Souleles, N. (2017). Design for social change and design education: Social challenges versus teacher-centred pedagogies. *The Design Journal*, 20(sup1), S927–S936. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353037>
- Starkey, L. (2019). Three dimensions of student-centred education: A framework for policy and practice. *Critical Studies in Education*, 60(3), 375–390. <https://doi.org/10.1080/17508487.2017.1281829>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. et Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1). <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P. et McNeill, J. (2011). The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 842–867. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Rayers, B. et Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A. D., Cornell, S. E., Crucifix, M., Donges, J. F., Fetzer, I., Lade, S. J., Scheffer, M., Winkelmann, R. et Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), Article 33. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Steffen, W. et Stafford Smith, M. (2013). Planetary boundaries, equity and global sustainability: Why wealthy countries could benefit from more equity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3), 403–408. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.007>
- Sterner, T., Barbier, E. B., Bateman, I., van den Bijgaart, I., Crépin, A.-S., Edenhofer, O., Fischer, C., Habla, W., Hassler, J., Johansson-Stenman, O., Lange, A., Polasky, S., Rockström, J., Smith, H. G., Steffen, W., Wagner, G., Wilen, J. E., Alpizar, F., Azar, C., ... Robinson, A. (2019). Policy design for the Anthropocene. *Nature Sustainability*, 2(1), 14–21. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0194-x>
- Sutton, A. (2009). *Montessori Education Leads the Way*. Dans *Montessori Life*, volume 4.
- Thayer-Bacon, B. (2011). *Maria Montessori: Education for Peace*. *Factis Pax: Journal of Peace Education and Social Justice*, 5(3).
- Turtle, C., Convery, I. et Convery, K. (2015). Forest Schools and environmental attitudes: A case study of children aged 8–11 years. *Cogent Education*, 2(1), 110103. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2015.1100103>
- Veissière, S. P. L., Constant, A., Ramstead, M. J., Friston, K. et Kirmayer, L. J. (2020). Thinking through other minds: A variational approach to cognition and culture. *Behavioral and Brain Sciences*, 43. <https://doi.org/10.1017/S0140525X19001213>
- Vettiveloo, R. (2008). A Critical Enquiry into the Implementation of the Montessori Teaching Method as a First Step towards Inclusive Practice in Early Childhood Settings Specifically in Developing Countries. *Contemporary Issues in Early Childhood*, 9(2), 178–181. <https://doi.org/10.2304/ciec.2008.9.2.178>
- Westley, F., Olsson, P., Folke, C., Homer-Dixon, T., Vredenburg, H., Looibach, D., Thompson, J., Nilsson, M., Lambin, E., Sendzimir, J., Banerjee, B., Galaz, V. et van der Leeuw, S. (2011). Tipping Toward Sustainability: Emerging Pathways of Transformation. *AMBIO*, 40(7), 762–780. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0186-9>
- Whitescarver, K. et Cossentino, J. (2007). Lessons from the Periphery: The Role of Dispositions in Montessori Teacher Training. *Journal of Educational Controversy*, 2(2). <https://cedar.www.edu/jec/vol2/iss2/11>
- Williams, N. et Keith, R. (2000). Democracy and Montessori Education. *Peace Review*, 12(2), 217–222. <https://doi.org/10.1080/10402650050057861>
- Yilmaz, K. (2007). Learner-centred instruction as a means to realise democratic education: The problems and constraints confronting learner-centred instruction in Turkey. *Innovation and Development*.
- Yonezu, M. (2018). History of the Reception of Montessori Education in Japan. *Espacio, Tiempo y Educación*, 5(2), 77–100. <https://doi.org/10.14516/ete.227>
- Zucconi, A. (2016). *The Need for Person-Centered Education*. *Cadmus Journal* 3(1).