

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EDUCATIONEM SACRAM PRAGMATICAM?
UNE PHILOSOPHIE PRAGMATISTE DE L'ÉDUCATION À L'AUNE DU
TOURNANT PRAGMATIQUE EN SCIENCES COGNITIVES

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN PHILOSOPHIE

PAR

JEAN-PHILIPPE MEEHAN

AVRIL 2021

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.04-2020). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour, n'aurait pas pu aboutir, du moins dans sa forme actuelle, sans l'aide et le support de plusieurs personnes. En ce sens, je veux commencer par remercier mon directeur de recherche et ami Pierre Poirier sans qui ce résultat final, cette version définitive, n'aurait simplement jamais vu le jour. Plusieurs passages techniques n'auraient pu être écrits sans son aide précieuse.

Merci Pierre de m'avoir accompagné dans cette aventure, merci d'avoir cru en moi, de m'avoir donné d'incalculables conseils et merci pour toutes ces rencontres où nous avons souvent bien ri, autant dans des cafés qu'à distance ! Je sais bien que tu es très, et trop, occupé, et j'espère que nos rencontres n'ont pas été pour toi quelque chose qui s'apparente à une perte de temps...

De plus, Pierre, merci d'avoir par moment reformulé certains passages techniques et difficiles : Thomas Bayes et Karl Friston t'en sont reconnaissants ! Bref, merci Pierre d'avoir rendu possible ce mémoire, je t'en serai éternellement redevable et j'ai bien hâte de continuer mes recherches avec toi. En espérant qu'un jour je puisse t'apporter quelque chose à la hauteur de ce que tu m'auras offert.

Je veux également remercier mes collègues et ami.e.s du Cégep du Vieux Montréal avec qui j'ai beaucoup de plaisir et avec qui j'ai beaucoup discuté de philosophie, de pédagogie et d'éducation. Je veux remercier plus particulièrement Catherine Brunet, Luc Bouchard, Jean-Philippe Fortin, Nathalie Travers, Marie Odile Cormier, Philippe Dionne, Richard Lachance, Olivier Normand-Jenny, Sophie Tremblay (la meilleure maître de stage au monde !), Paul Turcotte, Anne-Marie Claret, Benoit Vachon, Emilie Lanthier et Jany Boulanger, sans oublier toutes les monitrices et tous les moniteurs du

Centre d'aide en français qui m'ont fait bien rire et qui m'ont souvent fait voir les choses d'un autre point de vue. Votre joie de vivre, nos discussions et vos encouragements vont m'avoir donné ce petit coup de pouce dont j'avais souvent besoin.

Je veux enfin remercier mes proches qui m'ont épaulé pendant toute la durée de ce périple. Je veux remercier ma famille proche, les gens que je connais depuis toujours. Matthieu, Luc, Jean-François et ma mère Francine Racette, merci à vous, merci de votre soutien (par moment même financier), merci d'avoir été là pour moi, vous êtes simplement extraordinaires !

Marie-Pier, merci d'avoir cru en moi, d'avoir cru en mon projet, et merci d'avoir accepté que je puisse subvenir très modestement au nid familial pendant un moment. Merci de ton soutien, merci d'avoir accepté mes humeurs changeantes, de m'avoir encouragé, d'avoir cru à ce projet utopique, même quand, moi, je n'y croyais plus...

Finalement, merci à vous, mes trois petits rayons de soleil : Elliot, Renaud et Juliette. Vous avez été, tout au long de ce périple, ma lumière au bout du tunnel. Lorsque le moral n'y était pas, lorsque je n'étais plus certain d'en être capable, vous étiez toujours là pour me faire oublier mes soucis et me faire sourire. Vous êtes mes petits sauveurs...

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I LES QUATRE PILIERS DE L'APPRENTISSAGE	7
1.1 L'attention.....	7
1.2 L'engagement actif	14
1.3 Le retour sur erreur	19
1.4 La consolidation.....	24
1.5 Conclusion : les quatre piliers mais encore... ..	29
CHAPITRE II LE TOURNANT PRAGMATIQUE EN SCIENCES COGNITIVES.....	32
2.1 Idées communes et théories de l'esprit.....	32
2.2 Tournant pragmatique, acte 1 : Les sciences cognitives incarnées	35
2.2.1 Les trois premiers « E » et l'approche fonctionnaliste.....	37
2.2.2 Le dernier « E » : L'énactivisme.....	41
2.3 Tournant pragmatique, acte 2 : Les neurosciences prédictives	47
2.3.1 Le TP cartésien ou helmholtzien.....	48
2.3.2 Le TP pragmatiste	54
2.4 Conclusion	61
CHAPITRE III <i>EDUCATIONEM SACRAM PRAGMATICAM</i> : PILIERS ÉNACTIFS ET IMPLICATIONS	63
3.1 Premier pilier éactif : L'attention	63
3.2 Deuxième pilier éactif : L'engagement actif	68
3.3 Troisième pilier éactif : L'erreur	72

3.4	Quatrième pilier éactif : La consolidation	78
3.5	Le socle de l'apprentissage : Conséquences et implications pour l'éducation	81
	CONCLUSION.....	97
	BIBLIOGRAPHIE	102

RÉSUMÉ

En regardant du côté de la recherche en sciences cognitives et en neurosciences, il peut être possible de voir comment le cerveau, comment l'esprit fonctionne et apprend ; et cette connaissance pourrait devenir le fondement sur lequel on se base pour nous aider à formuler des principes pédagogiques généraux. C'est d'ailleurs ce que fait Stanislas Dehaene, chercheur en neurosciences cognitives, dans son livre *Apprendre !* (Dehaene 2018). Dans cet ouvrage, Dehaene met quatre piliers au fondement de l'apprentissage : l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur et la consolidation. Sans rejeter d'aucune façon l'excellent travail du chercheur, sans remettre en doute la validité des quatre piliers en question, ce mémoire tente de faire voir que Dehaene endosse à tort une théorie de la cognition qu'on peut qualifier de représentationnaliste et d'internaliste. Or, certaines théories émergentes (et convaincantes) en ce moment mettent l'action en avant-plan, conçoivent le couplage organisme-environnement comme étant le fondement de l'activité cognitive. Ce nouveau paradigme en sciences cognitives a été étiqueté par certains le « tournant pragmatique » en sciences cognitives, lequel s'inspire en partie de la tradition pragmatiste américaine. La recherche dont fait état ce mémoire a voulu voir comment les piliers de l'apprentissage présentés par Dehaene pouvaient être interprétés, approfondis et même dépassés par ces nouvelles théories. Il en découle une philosophie pragmatiste de l'éducation à l'aune des avancées dans la recherche en neurosciences cognitives.

Mots clés : apprentissage, éducation, pragmatisme, cognition incarnée, éactivisme, neurosciences, traitement prédictif

ABSTRACT

*By looking at the research in cognitive science and neuroscience, it may be possible to see how the brain or the mind works and learns; and this knowledge could become the foundation on which we can formulate general educational principles. In fact, this is what the cognitive neuroscientist Stanislas Dehaene does in his book *Apprendre !* (Dehaene 2018). In this work, Dehaene puts four pillars at the foundation of learning: attention, active engagement, error feedback and consolidation. Without in any way dismissing the excellent work of the researcher or questioning the validity of the four pillars, this dissertation attempts to show that Dehaene wrongly endorses a theory of cognition that can be described as representationalist and internalist. Some emerging (and convincing) theories put action instead at the forefront of cognition, conceiving the organism-environment coupling as the foundation of cognitive activity. This new paradigm in cognitive science has been labeled by some as the “pragmatic turn in cognitive science”, which draws in part on the American pragmatist tradition. The research reported in this dissertation sought to see how the pillars of learning presented by Dehaene could be interpreted, deepened and even surpassed if their study was based on these new theories. The result is a pragmatist philosophy of education in the light of advances in cognitive neuroscience research.*

Keywords : learning, education, pragmatism, embodied cognition, enactivism, neuroscience, predictive processing

INTRODUCTION

La valeur de toute pratique éducative dépend de la compréhension de la nature de l'esprit. Par conséquent, on doit toujours adapter la pédagogie selon nos meilleures connaissances sur la façon dont la cognition fonctionne, connaissances qui nous proviennent des sciences cognitives depuis plus de 60 ans maintenant. L'idée suivant laquelle on devrait se tourner vers la recherche scientifique pour établir un certain fondement empirique aux différentes méthodes d'enseignement et d'apprentissage en éducation ne date pas d'hier. Plusieurs personnes dans le milieu scientifique, en psychologie plus particulièrement, allaient dans ce sens à la fin du 19^e siècle et au début du 20^e. L'idée était que l'on peut, et dans un sens que l'on « doit », aller voir du côté de la recherche scientifique pour formuler certains principes généraux en pédagogie. En effet, plusieurs pédagogues par exemple se sont inspirés des travaux de Jean Piaget en psychologie du développement pour construire leur pédagogie (Allaire-Dagenais 1983). De la même manière, le psychologue russe Lev Vygotsky s'est également inspiré de la recherche en psychologie développementale pour en tirer des conclusions éducatives (Vygotsky 1978). De son côté, William James (philosophe et psychologue) croyait que l'on pouvait s'inspirer de la recherche empirique pour formuler des méthodes d'enseignement. L'ouverture de sa série de conférences données en 1892 à Harvard devant des professeurs va en ce sens :

No one has profited more by the fermentation of which I speak, in pædagogical circles, than we psychologists. The desire of the schoolteachers for a complete professional training, and their aspiration towards the 'professional' spirit in their work, have led them more and more to turn to us for light on fundamental principles. And in these few hours which we are to spend together you look to me, I am sure, for information concerning the mind's operations, which may enable you to labor more easily and effectively in the several school-rooms over which

you preside. Far be it from me to disclaim for psychology all title to such hopes. Psychology ought certainly to give the teacher radical help.
(James 1992, p.716)

James reconnaissait tout de même qu'il y a une distinction à faire entre l'enseignement et la psychologie (et pourrait-on dire la science en général), car, selon lui, la psychologie est une science, l'enseignement un art, et l'on ne peut jamais réduire celui-ci à celle-là. N'empêche, et James allait en ce sens, une science peut toujours être en quelque sorte la base, la fondation (le mortier) sur laquelle se construit un art.

L'hypothèse ici est que si l'on est capable de savoir comment l'esprit fonctionne, comment le cerveau et la cognition fonctionnent, alors on peut se servir des données venant de la recherche en science pour établir de meilleures méthodes d'enseignement, de meilleurs principes pédagogiques généraux, de meilleures stratégies d'apprentissage.

La question devient celle de savoir quels sont les mécanismes cognitifs qui sont à la base de l'apprentissage. Cette question est évidemment différente de la question de savoir « ce que l'on devrait apprendre » et « dans quel but ». Toutes ces questions sont évidemment importantes. L'éducation étant au cœur de l'énorme quantité de connaissances dont dispose l'être humain, de la transmission de valeurs et de la culture, son contenu, ses objectifs et sa mission doivent bien évidemment faire objet d'analyse et de débat. John Dewey (MW9, LW13), par exemple, arguait que l'éducation devait être à la base même de la démocratie pour une vie citoyenne et communautaire réussie.

Sans dénigrer d'aucune façon ce genre de questions sur le contenu de l'éducation, ce mémoire s'intéresse à celle sur la façon dont on apprend, en allant voir du côté des avancées de la recherche en sciences cognitives et en neurosciences. Et c'est justement ce que le chercheur en neurosciences cognitives du Collège de France Stanislas Dehaene fait dans son récent livre *Apprendre!* (Dehaene 2018) en mettant au

fondement de l'apprentissage quatre « piliers », soit l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur et la consolidation.

Dans son ouvrage, Dehaene adopte une forme de prédictivisme, c'est-à-dire un type de théories en neurosciences qui fait du cerveau une machine probabiliste de prédiction, un engin qui tente sans relâche d'anticiper sur le monde. Toutefois, la version qu'endosse Dehaene de ce que, suivant Clark (2013, 2016), nous nommerons le « traitement prédictif », est particulièrement internaliste, c'est-à-dire qu'elle fait de la cognition quelque chose qui est spécifiquement un processus intracrânien, quelque chose qui se passe « dans » la tête. Or, selon nous, en prenant comme point de départ théorique cet internalisme, Dehaene laisse malheureusement de côté quelques éléments plutôt importants. En ce moment, il y a un mouvement en neurosciences cognitives qui est plutôt externaliste, c'est-à-dire que l'on conçoit la cognition comme quelque chose qui dépasse la simple activité du cerveau : quelque chose qui advient aussi dans un corps qui est en constante interaction avec son monde, avec son environnement qui regorge de possibilités d'action — ce que l'on nomme des « affordances » (Gibson 1979). En effet, il se produit actuellement en sciences cognitives ce que certaines personnes nomment un « tournant pragmatique¹ » (Engel et al. 2013). Ce tournant met l'action et la pratique au cœur de la cognition (comme le faisait d'ailleurs le pragmatisme classique), contrairement aux sciences cognitives traditionnelles qui mettaient à leur fondement un modèle computationnel et représentationnel de la cognition inspiré du rationalisme de la philosophie moderne². Ces approches, qui ont

¹ En général, on va parler d'un « tournant pragmatique » (Engel et al. 2013) en sciences cognitives en ce que celui-ci met l'accent sur l'action et la pratique dans la cognition. Bien que ce tournant s'inspire en partie du pragmatisme classique, il ne puise pas directement dans les idées de la tradition pragmatiste. Ainsi, pour certains (voir par exemple Steiner 2017), il faudrait s'inspirer plus directement du pragmatisme classique pour effectuer un véritable « tournant pragmatiste ». Dans ce qui suit, nous nous contentons de l'expression « tournant pragmatique » et laissons l'idée d'un tournant franchement pragmatiste à de futures recherches.

² On a donné plusieurs noms à ce genre d'approches : « cognitivisme », « computationnalisme » ou encore tout ce qui tourne autour d'une théorie représentationnelle et symbolique de la cognition.

vu le jour avec l'arrivée des ordinateurs (Turing 1950 ; Newell & Simons 1976), voyaient la cognition comme étant du traitement d'information sous forme de computation, sous forme de manipulation de symboles suivant des règles. La cognition devenait ainsi une sorte d'algorithme pouvant être implémenté dans divers matériaux.

Or, en regardant ce qui se passe en ce moment dans certains secteurs des sciences cognitives, la question se pose de savoir si le fait d'endosser le type de théories qui émergent et gagnent en notoriété par leur pouvoir explicatif ne pourrait pas nous permettre de bonifier et de dépasser le travail de Dehaene. Avec les théories émergentes qui mettent l'action au centre de leur modèle, ne pourrait-on pas développer une compréhension améliorée des piliers de l'apprentissage ? Est-ce que ces modèles de la cognition ne nous poussent pas à intégrer d'autres éléments qui seraient particulièrement pertinents pour l'apprentissage et le monde de l'éducation en général ? Nous pensons que ces théories peuvent en effet enrichir la description des piliers de l'apprentissage en nous poussant à aller plus loin, et il s'agit là de la thèse qui sera défendue dans ce mémoire. En effet, nous croyons que si Dehaene avait pris le tournant pragmatique, il aurait pu intégrer des éléments qui sont clairement importants, même essentiels à l'apprentissage et à l'éducation, comme le corps, l'action et l'environnement.

Voici donc ce que nous nous sommes donné comme mission : montrer à la lectrice, au lecteur que les sciences cognitives du tournant pragmatique peuvent non seulement nous éclairer sur les piliers que Dehaene met au fondement de l'apprentissage, mais qu'elles nous permettent par moment à aller plus loin. En ce sens, il ne s'agit pas de s'opposer à ses thèses. Ce mémoire se veut en continuité avec l'excellent travail du chercheur en neurosciences cognitives du Collège de France. La revue de la littérature

Malgré les différences techniques entre chacun de ces termes, nous les utiliserons de manière synonyme ici puisqu'elles n'ont pas d'incidence sur notre propos.

que fait Dehaene dans son ouvrage sur l'apprentissage soutient de manière convaincante l'existence des processus qu'il met à la base d'un apprentissage réussi. Et en ce sens, notre contribution et nos propos sont plus modestes.

En effet, la tâche que nous nous sommes donnée est de voir comment on pourrait réinterpréter ces piliers en allant voir du côté des sciences cognitives incarnées et éenactives (« incarnées » parce qu'elles ne laissent pas de côté l'important rôle du corps dans la cognition et « éenactives » parce qu'elles ne séparent pas de manière franche l'organisme et son environnement). Ce que nous a permis ce cadre de travail augmenté du traitement prédictif inspiré par le tournant pragmatique en sciences cognitives est de donner une explication élégante des quatre piliers de l'apprentissage. De plus, l'analyse des piliers sous le regard de l'éenactivisme nous a aussi forcés par moment à aller un peu plus loin que Dehaene, plus particulièrement en ce qui a trait au rôle du corps et de l'environnement, et aussi quant au rôle des émotions dans la cognition (que Dehaene semble par moment laisser quelque peu de côté).

Dans le premier chapitre, nous présentons les quatre piliers de l'apprentissage que Dehaene nous propose dans son œuvre. Nous les présentons dans le même ordre que lui, en commençant par l'attention et l'engagement actif (section 1.1 et 1.2), pour ensuite parler du retour sur erreur (section 1.3) et finalement la consolidation (section 1.4). Pour chacun des piliers, nous passons en revue la littérature scientifique sur le sujet en résumant les propos de Dehaene tout en y ajoutant lorsque pertinent d'autres recherches qui appuient, renforcent ou modulent ce qu'il en dit. Ce chapitre se conclut par une critique du fait que Dehaene semble laisser de côté des éléments importants dans la cognition et l'apprentissage et met la table pour les deux autres chapitres du mémoire (section 1.5).

Dans le deuxième chapitre, nous nous tournons vers les sciences cognitives et neurosciences du tournant pragmatique. Nous commençons par faire un détour par le

pragmatisme classique dans lequel le tournant pragmatique prend en partie ses sources (section 2.1). Nous présenterons ensuite le tournant pragmatique proprement dit à travers un ensemble de théories qu'on qualifie communément de cognition 4E (*Embodied, Embedded, Extended, Enactive*), c'est-à-dire la cognition incarnée, située, étendue et énaïve (section 2.2). Nous ferons de même avec une théorie émergente en neurosciences (le traitement prédictif) qui fait du cerveau une machine probabiliste de prédiction constamment active (section 2.3).

Ainsi, dans le troisième et dernier chapitre, nous allons pouvoir, avec notre cadre théorique en main, revisiter les piliers dehaeniens avec une perspective renouvelée. Nous reviendrons ainsi sur les quatre piliers de l'apprentissage en les mettant sous la loupe des sciences et neurosciences cognitives incarnées et énaïves. Nous tâcherons de montrer que les piliers cadrent bien à l'intérieur de ces théories, et qu'ils nous poussent par moment à aller plus loin que Dehaene en ce qui a trait à leur rôle dans l'apprentissage dans les relations qui les lient (section 3.1 à 3.4). Nous nous retrouverons non pas avec des piliers, mais plutôt avec un grand socle qui permet d'expliquer les processus à la base de l'apprentissage avec un seul et même mécanisme. Ceci nous permettra dans une dernière section (3.5) d'évoquer certaines conséquences pour le monde de l'éducation qui découlent directement des modèles de la cognition endossés préalablement. Nous partirons des recommandations de Dehaene, qui ne sont certainement pas à laisser de côté, et verrons comment et pourquoi on peut les dépasser. Nous souhaitons ainsi convaincre la lectrice, le lecteur que ce qui émerge de ce travail est une philosophie pragmatiste de l'éducation à l'aune du tournant pragmatique en sciences cognitives.

CHAPITRE I

LES QUATRE PILIERS DE L'APPRENTISSAGE

Ce premier chapitre passe en revue les quatre piliers de l'apprentissage proposés par Dehaene dans son livre (Dehaene 2018). En ce sens, nous résumons en partie ses propos tout en décrivant par moment d'autres recherches sur ces processus qui appuient, renforcent ou modulent ce qu'il dit au sujet de ces piliers. Nous les présentons dans l'ordre proposé par l'auteur lui-même. Ainsi, nous commençons par l'attention (section 1.1) suivie de l'engagement actif (section 2.2) pour ensuite discuter du retour sur erreur (section 1.3) et enfin de la consolidation (section 1.4). Finalement, une cinquième et dernière section soulève en guise de conclusion quelques points critiques et met la table pour les deux autres chapitres du mémoire (section 1.5).

1.1 L'attention

Le premier pilier de l'apprentissage auquel fait référence Dehaene est l'attention. Il est possible de relever quelques fonctions de l'attention : « éveil et alerte, sélection et distraction, orientation et filtrage. » La définition de l'attention que nous donne Dehaene est la suivante : « l'ensemble des mécanismes par lesquels notre cerveau sélectionne une information, l'amplifie, la canalise et l'approfondit » (Dehaene 2018, p.209). En ce sens, Dehaene reprend plus ou moins la définition qu'en donnait William James dans ses *Principles* :

It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others, and

is a condition which has a real opposite in the confused, dazed, scatter-brained state which in French is called distraction, and Zerstretheit in German. (James 1890, p.403-404)

Remarquons-le, nous sommes constamment bombardés d'informations venant du monde extérieur. Nous ne pouvons pas traiter tout ce flux d'information en même temps. Il faut nécessairement que le cerveau fasse une certaine sélection, il faut qu'il arrive à distinguer l'information pertinente de l'information non nécessaire (Dehaene 2018, p.210). Ce processus est essentiel à l'apprentissage. En effet, lorsque l'attention n'est pas bien dirigée, l'apprentissage devient particulièrement difficile, voire presque impossible. L'apprentissage nécessite des mécanismes attentionnels de haut niveau, c'est-à-dire que la simple perception d'un stimulus n'engendre pas d'apprentissage en tant que tel. On ne peut apprendre une tâche sans attention, en se limitant aux simples stimuli sensoriels : sans attention, pas d'apprentissage. Dans le milieu de l'éducation, pour bien apprendre, l'attention est quelque chose de primordial, elle doit être prise au sérieux. Ainsi, selon Dehaene, il faut que les personnes enseignantes soient en mesure de faire *attention* à l'*attention* (Dehaene 2018, p.212). Des élèves qui ne font pas attention sont des élèves qui n'apprennent pas, comme le suggèrent plusieurs études (Ahissar & Hochstein 1993; Beebe et al. 2010).

Dehaene, en s'inspirant de Michael Posner, sépare le processus de l'attention en trois systèmes : (1) l'alerte, c'est-à-dire le quand ; (2) L'orientation, soit le quoi ; et (3) le contrôle exécutif, mis pour le comment. Le premier qui, selon Dehaene, pourrait bien être le système le plus ancien des trois dans l'évolution dicte quand il faut faire attention (Dehaene 2018, p.213). On peut penser que ce système a été particulièrement avantageux et que, « dans le combat pour la survie », nous avons clairement bénéficié de l'action de ce système. En effet, avec la présence de prédateurs et de proies, il faut bien être en mesure de les apercevoir, d'y porter attention, de les repérer, bref d'en avoir conscience. Ce système se met en marche dans ce genre de circonstances (situations dangereuses, émotions fortes, etc.) : le cerveau libère des

neurotransmetteurs comme la sérotonine et la dopamine qui sont derrière l'alerte (et la motivation) et affectent la plasticité cérébrale à l'origine de l'apprentissage (Dehaene 2018, p.216).

Certaines études semblent démontrer que le jeu vidéo est un puissant stimulateur, parmi d'autres, qui activerait ces processus attentionnels. En effet, ce système serait mobilisé lors de période de jeu vidéo d'action (où le joueur constamment en alerte est toujours sur le qui-vive pour survivre dans cet univers virtuel) et pourrait bien être bénéfique au processus attentionnel. Contrairement à ce que l'on peut croire à première vue, le jeu vidéo d'action pourrait bien augmenter les habiletés perceptuelles et attentionnelles (Dehaene 2018 ; Green & Bavelier 2012 ; Bediou et al. 2018). En effet, une revue de la littérature sur le sujet montre que des aspects de l'attention sélective dans l'espace et dans le temps, et de l'attention sélective aux objets sont augmentés. En s'inspirant de la recherche en neurosciences et en sciences cognitives, de plus en plus de personnes créent des jeux éducatifs, pour la lecture et les mathématiques entre autres, qui pourraient bien être à la base d'une meilleure concentration chez les enfants³. Il ne s'agit bien sûr que d'une des pistes de solution pour augmenter l'alerte, et par le fait même la plasticité cérébrale, et il va de soi qu'une personne enseignante douée qui réussit à captiver les élèves est tout aussi gage de réussite (Dehaene 2018, p.217).

Le deuxième système dicte ce sur quoi nous devons porter notre attention. Dans tout le bombardement sensoriel qu'il reçoit, le cerveau doit choisir les informations à traiter selon leur importance (Dehaene 2018, p.217). Il s'agit de la sélection attentionnelle, soit la capacité de se concentrer sur un seul stimulus tout en ignorant activement d'autres. Cette capacité permet le traitement d'une information pertinente en l'augmentant dans le cerveau tandis que les informations non pertinentes sont

³ Voir par exemple Kalulu <https://ludoeducation.fr/index.php/kalulu-le-jeu/>

supprimées (Kirszenblat & van Swinderen 2015). Ceci se traduit par une amplification de l'activité des neurones qui codent pour un objet. D'une certaine manière, choisir ce sur quoi on porte attention est aussi décider ce qui sera laissé de côté, ce qui sera ignoré : « L'attention accroît les signaux sélectionnés, mais elle réduit également dramatiquement tous ceux qui sont jugés non pertinents [...] Faire attention, c'est donc sélectionner — et, en conséquence, prendre le risque d'être aveugle à ce que nous avons choisi » (Dehaene 2018, p.218-9) ; « En bref, l'inattention engendre l'invisibilité » (Dehaene 2014, p.60), et, par le fait même, l'impossibilité de retenir, de mémoriser, d'apprendre. C'est ce que l'on nomme en psychologie la cécité d'inattention (*inattentional blindness*).

Ceci est bien représenté dans l'expérience célèbre du gorille dans laquelle les personnes participantes trop occupées à calculer le nombre de passes d'une équipe de basketball ne voient tout simplement pas passer un gorille sous leurs yeux (Simons & Chabris 1999)⁴. De plus, non seulement on ne voit pas ce qui peut être frappant, mais on a l'illusion que si une telle chose avait été là, on l'aurait vu. Nous avons souvent tendance à surestimer ce que nous croyons être capables de percevoir. C'est ce qui fait dire à Dehaene que nous subissons dans ce genre d'expérience une double illusion : on ne voit pas le gorille d'une part et, d'autre part, on croit que s'il y avait réellement eu un gorille, on l'aurait vu (Dehaene 2018, p.220). Il faut donc être à l'affût de notre propre limitation attentive. Lorsque l'on porte attention à quelque chose, il y a beaucoup d'autres choses qui nous échappent, beaucoup de choses qui ne traversent pas la barrière de la conscience. Dehaene met l'accent sur ce fait, car on a tendance à l'oublier, et en éducation, ceci n'est pas sans conséquence. On pense que tout le monde peut voir ce qu'on voit, et on comprend mal, par le fait même, qu'un enfant ne voit pas

⁴ Voir aussi le petit film *Whodunnit?* dans lequel, concentré sur les propos d'un détective, on ne remarque pas les 21 changements dans la pièce (Dehaene 2014, p.63) : <https://www.youtube.com/watch?v=ubNF9QNEQLA>

ce que l'on cherche à lui faire apprendre : « Or l'expérience est claire : s'il ne comprend pas à quoi il doit faire attention, il ne le voit pas, et ce qu'il ne voit pas, il ne peut pas l'apprendre » (Dehaene 2018, p.220). Il faut être en mesure de capter l'attention de l'enfant sur ce qui importe et à un niveau adéquat, car ce sur quoi il porte son attention éclipse tout le reste. Ceci montre l'importance du contact visuel, des indices ostensibles (pointer du doigt) et de ce que l'on nomme l'attention partagée, « cette capacité de partage sociale » (Dehaene 2018, p.233).

Le troisième système, enfin, dicte comment l'information sélectionnée est traitée. C'est ce que l'on nomme le contrôle exécutif, soit les processus qui sous-tendent le plan d'action choisi que nous suivons dans une tâche (concentration, contrôle de soi). Il est à la base de la façon dont nous organisons nos tâches et de la prise de conscience des erreurs que nous commettons : « Le contrôle exécutif agit comme un aiguilleur de cerveau : il pilote, dirige, gouverne, comme un chef de gare qui, en orientant l'aiguillage, parvient à mener un train sur la voie désirée » (Dehaene 2018, p.224). On peut voir un lien étroit entre la mémoire de travail et l'attention exécutive. L'information y est traitée lentement, un élément après l'autre. Il faut que l'attention soit portée sur une seule tâche à la fois. C'est pourquoi les enfants qui apprennent à lire (ou encore les gens souffrant de dyslexie) ont de la difficulté à comprendre le sens des phrases qu'ils lisent. Leur attention est trop occupée à décortiquer, à déchiffrer, les mots pour qu'ils en comprennent le sens (Dehaene 2011). Plusieurs moyens semblent avoir fait leurs preuves dans l'entraînement du contrôle exécutif, comme la pratique d'un instrument de musique, le jeu vidéo, les activités pédagogiques variées qui sollicitent la mémoire de travail (Dehaene 2018, p.229-32).

Nous l'avons vu, une seule chose peut être traitée à la fois avec attention. Ainsi, il faut être en mesure d'éviter les situations de « double tâche », et ce même si l'on peut penser que parce que les enfants de la nouvelle génération ont grandi avec les technologies, ils sont capables de porter leur attention sur plusieurs choses en même temps. Il s'agit

là d'un des mythes, d'une des légendes urbaines en éducation (Kirschner & Van Merriënboer 2013). Cette croyance est fondée sur l'idée que les enfants sont très efficaces pour diriger leurs propres interactions avec le monde technologique. Ils seraient des « digital natives » qui auraient été en constant contact avec différentes technologies toute leur vie leur donnant ainsi des habiletés techniques sophistiquées pour lesquelles l'éducation traditionnelle ne serait pas prête. Ces « digital natives » auraient même développé la capacité de faire du multitâche. Or, on peut se demander si ces « Homo Zappiens » (Veen et al. 2010) existent réellement. Des études démontrent qu'il est faux que les personnes étudiantes ont une telle connaissance approfondie des technologies (Kirschner & Van Merriënboer 2013, 170-1). De plus, on l'a vu, le cerveau humain ne peut pas vraiment effectuer deux tâches cognitivement exigeantes en même temps. Ce n'est pas du multitâche, mais plutôt un « va et vient » rapide entre deux tâches, ce qui n'est pas particulièrement efficace dans l'apprentissage. En effet, des études démontrent que cette manière de fonctionner entrainerait un moins bon apprentissage, et prendrait en prime plus de temps (Kirschner & Van Merriënboer 171-2).

Pour une personne enseignante, cela signifie qu'elle doit réussir à capter l'attention des élèves tout en faisant attention à ne pas les distraire : « On ne peut pas exiger d'un enfant ou d'un adulte qu'il apprenne simultanément deux choses à la fois [...] Toute distraction ralentit ou anéantit nos efforts » (Dehaene 2018, p.226). D'ailleurs, dans une étude de Anna V. Fisher et son équipe de l'Université de Carnegie Mellon (Fisher & al 2014), on a transformé deux salles de laboratoire en salles de classe. La première était neutre, sans décorations, l'autre était entièrement décorée. Dans la salle décorée, les enfants avaient tendance à être moins attentifs, et ils ont obtenu de moins bons résultats au test. La chercheuse et son équipe en ont conclu que trop de décorations nuisent à l'apprentissage. Dehaene, en faisant référence à cet article, va dans le même sens : « il a été montré, par exemple, qu'une classe trop décorée distrait l'enfant et l'empêche de se concentrer » (Dehaene 2018, p.226). Or, on peut se demander si ce

n'est pas la nouveauté qui attire l'attention plus que les décorations elles-mêmes (Imuta et Scarf 2014). On pourrait croire que dans une classe habituelle, dans la mesure où les décorations ne changent pas constamment, l'apprentissage ne devrait pas être affecté. De plus, des décorations dans une salle de classe peuvent bien avoir des effets positifs, comme l'augmentation de l'estime de soi, le sentiment d'appartenance, elles peuvent être une source d'aide-mémoires, etc. Néanmoins, il n'en demeure pas moins que capter l'attention des personnes apprenantes et ne pas les distraire est un élément clé à l'apprentissage.

Selon nous, il pourrait être bien de s'attarder sur les saines habitudes de vie qui ont un impact clair sur l'apprentissage. On peut penser entre autres à la qualité et au nombre d'heures de sommeil. Nous y reviendrons dans notre discussion sur la consolidation, mais remarquons ici que le sommeil peut grandement affecter l'attention et, par le fait même, l'apprentissage. En effet, dans une étude de Beebe et son équipe (Beebe et al. 2010), les chercheurs sont partis du fait que, selon les statistiques, les adolescents dorment moins que le nombre d'heures recommandé. Dans cette étude 20 personnes participantes âgées de 14 à 17 ans ont été séparées en deux groupes : un groupe qui allait manquer de sommeil et un autre qui allait suffisamment dormir. Ce « protocole » de sommeil était respecté du lundi au vendredi. Le temps de sommeil de la fin de semaine était à la discrétion des personnes. Pendant deux semaines, chaque samedi matin, elles devaient se présenter dans une « salle de classe » où elles regardaient une vidéo éducative de 30 minutes après quoi on les testait. Ce que l'on a remarqué, c'est que les personnes qui avaient eu un sommeil limité avaient des comportements plus inattentifs et un apprentissage plus faible que le groupe contrôle. Au-delà d'être seulement un peu endormis, on remarque que les adolescents manquant de sommeil peuvent avoir des problèmes d'attention. On remarque ainsi que le sommeil pourrait bien avoir un lien avec l'attention, et le contraire aussi pourrait être vrai, soit que l'attention régule les besoins de sommeil (Kirszenblat & van Swinderen 2015). Souvent, on valorise les adolescents qui travaillent le soir et qui étudient tard. Or, le

sommeil est un élément clé pour être attentif et ainsi bien apprendre, ce qui devrait être d'autant plus valorisé. Et nous le verrons plus bas, le sommeil est particulièrement important pour la consolidation des apprentissages.

1.2 L'engagement actif

Suivant Dehaene (2018), on peut remonter à une étude classique pour nous donner un aperçu de l'importance de l'engagement dans le processus d'apprentissage. Dans l'expérience célèbre de Richard Held et Alan Hein (1963), on a mis un collier à un premier chaton et l'on a mis un deuxième chaton dans une nacelle : le premier pouvait explorer par lui-même en bougeant dans son environnement, tandis que le second se faisait « promener » par la nacelle. Les deux passaient aux mêmes endroits sauf que le premier était actif, le second passif. Pendant plusieurs jours, les deux chatons ont vécu de la sorte. Les deux ont reçu pratiquement les mêmes stimuli visuels, mais il en a été tout autrement pour leur développement. Le premier lorsqu'on l'a relâché était d'une certaine manière pratiquement aveugle (il s'orientait très mal, ne percevait pas bien son espace), tandis que le second avait des capacités visuelles assez normales. Il s'agit ici d'une étude sur le développement cognitif, mais on peut s'en servir comme « métaphore » pour l'apprentissage : un organisme passif n'apprend que très peu, voire pas du tout. Dehaene reconnaît les limites de cette métaphore, mais s'en sert tout de même pour nous montrer que pour apprendre, on doit s'engager dans le processus d'apprentissage : « Apprendre efficacement, c'est refuser la passivité, s'engager, explorer, générer activement des hypothèses » (Dehaene 2018, p.243).

Il est ainsi possible de mettre en opposition deux types d'apprentissages : l'apprentissage actif et l'apprentissage (plus) passif. Le cours magistral dans lequel une personne enseignante fait de manière continue un exposé oral et où l'activité des élèves se résume à poser quelques questions de temps à autre et à prendre des notes est un exemple de ce dernier. Devant ce type d'exposé, l'information est véhiculée de manière

telle que les élèves la reçoivent de manière passive : ils deviennent en quelque sorte des réceptacles d'information. Nous pouvons considérer également que lors de périodes d'étude, la simple relecture de textes, de manuels ou de notes constitue également de l'apprentissage passif. Lorsqu'on jette un coup d'œil dans les salles de classe des universités (et également des cégeps), on remarque qu'on y pratique ce genre de méthodes. Dans ce contexte plus magistral, on donne deux ou trois évaluations par semestre. Or, on a remarqué dans plusieurs études que lorsque les étudiants sont plus engagés avec la matière, ils tendent à mieux apprendre et à mieux retenir l'information. Ce type d'apprentissage est ce que l'on nomme l'apprentissage actif (*active learning*) que l'on peut définir à la suite de Michael Prince comme étant « *any instructional method that engages students in the learning process* » (Prince 2004), c'est-à-dire n'importe quelle méthode pédagogique qui engage (qui rend actifs) les personnes étudiantes avec la matière, n'importe quelle méthode qui les engage dans le processus d'apprentissage. Bref, ce type d'apprentissage suppose qu'elles fassent des activités d'apprentissage significatif en réfléchissant à ce qu'elles sont en train de faire.

Il y a évidemment plusieurs manières d'implémenter ce type d'apprentissage dans les salles de classe. Généralement, on va référer à de l'apprentissage actif tout ce qui s'approche du travail en groupe. À l'intérieur de cette catégorie, on retrouve plusieurs méthodes qui se ressemblent toutes plus ou moins, et s'entrecoupent. Parmi elles, on retrouve les périodes d'étude en groupe et les périodes de discussion (Cicuto & Torres 2016). Il y a aussi ce que Kathy Ruhl et son équipe nomment la « pause procedure » (Ruhl & al 1987). Cette méthode particulièrement simple consiste à faire une pause de 2-3 minutes environ toutes les 15-20 minutes pour que les étudiants comparent leurs notes et clarifient les concepts en équipe de deux. Enfin, il y a aussi la méthode de la coopération (Johnson & al 1998) qui s'oppose à la compétition et à l'individualité. Ici, les personnes se mettent en groupe et doivent coopérer pour arriver à un but d'apprentissage commun. Elles ont atteint leurs objectifs seulement quand l'ensemble du groupe a atteint les objectifs. Toutes ces méthodes de « travail en équipe » se sont

révélées efficaces et meilleures que les méthodes plus passives d'apprentissage. On peut trouver plusieurs revues de la littérature concernant ces méthodes (Prince 2004 ; Falconer 2016). Scott Freeman de l'université de Washington et son équipe (Freeman & al 2014) ont fait une méta-analyse de pas moins de 225 études sur le sujet, et ont remarqué que l'implémentation d'une méthode d'apprentissage actif augmente d'un tiers de lettre les notes des étudiants et que le taux d'échec diminue d'environ 10 %. C'est ce qui fait dire à Dehaene que « dans toutes les disciplines, des maths à la psychologie en passant par la biologie ou l'informatique, un étudiant actif réussit mieux. [...] Toutes les solutions sont bonnes à condition de forcer les élèves à renoncer à la passivité » (Dehaene 2018, p.246-7).

On peut ajouter à ce genre de méthode de « travail en groupe » une méthode peut-être un peu plus individuelle d'apprentissage actif, soit le test. À première vue, il peut sembler que cette méthode ne soit pas de l'apprentissage actif. Or, nous croyons qu'au contraire, récupérer l'information en mémoire activement (plusieurs fois en espaçant les séances pour qu'il y ait un effort cognitif considérable) permet un meilleur apprentissage, une meilleure rétention et permet de contrer le phénomène d'oubli particulièrement présent lors de simple lecture ou de réception passive d'informations. En ce sens, le test est bel et bien une méthode d'apprentissage actif et qui, par ailleurs, améliore la rétention à long terme. C'est ce que les auteurs Brown, Roediger et McDaniel (2014, Roediger & Karpicke 2006) ont nommé le *Testing Effect*. Le test ne doit pas seulement être vu comme une « mesure » de l'apprentissage, mais bien comme une méthode d'apprentissage en soi. En effet, dans une étude de Roediger et Karpicke (2006), on a séparé en trois groupes des personnes participantes qui devaient apprendre des passages de textes scientifiques. Le premier groupe devait seulement relire quatre fois les passages ; le deuxième les lisait trois fois et était testé une fois ; et le troisième les lisait une fois et était testé trois fois. On a remarqué que, une semaine plus tard, plus les gens avaient été testés (et ce, même sans rétroaction), moins ils avaient oublié le contenu des textes. Dans la même lignée, dans une autre étude des mêmes chercheurs

(Karpicke & Roediger 2008), on a séparé en quatre groupes les participants qui devaient apprendre des paires de mots anglais/swahilis : (1) relecture/test ; (2) seulement test ; (3) seulement relecture ; et (4) ni l'un ni l'autre. On a remarqué que les personnes testées des groupes (1) et (2) se souvenaient d'environ 80 % des mots, tandis que les groupes (3) et (4) ne s'en souvenaient que d'environ 35 %. On se rend compte que, un coup l'information en mémoire, la répétition d'étude (de relecture) ne donne pratiquement aucun avantage et que ce qui importe, c'est de travailler à aller récupérer l'information en mémoire.

Les chercheurs ont eu la chance de sortir du laboratoire et de mettre en pratique cette technique sur le terrain dans les classes en faisant une étude avec des étudiants d'un cours d'histoire-géographie. L'étude s'est déroulée sur un an et demi. On a donné des quiz sur le tiers des notions données en classe. Certaines classes avaient des tests, d'autres seulement une révision factuelle. Ainsi, les mêmes notions étaient revues, mais de manière différente. D'un côté, les élèves les recevaient passivement, dans l'autre ils devaient s'activer, ils devaient aller récupérer en mémoire les notions en question. Les élèves ont eu de bien meilleurs résultats sur les notions qui avaient fait l'objet de test par rapport aux notions qui avaient été présentées comme objet de révision factuelle. On a également observé que le *testing effect* est durable jusqu'à 8 mois plus tard lors des examens de fin d'année (Roediger et al. 2011; McDaniel et al. 2011; Agarwal et al. 2012; Brown et al. 2014).

Ainsi, ce que l'on cherche à faire, c'est de traiter en profondeur le contenu qui est à apprendre. Il y a un élément important pour de l'apprentissage profond et durable sur lequel on peut mettre l'accent : *les difficultés souhaitables*. Il s'agit de « handicaps à court terme qui favorisent [...] un apprentissage plus solide » (Brown et al. 2014/2016, p.68/p.94). Que ce soit individuellement ou en groupe, il semble que l'effort cognitif soit primordial. William James le remarquait déjà dans ses *Principles of Psychology* :

A curious peculiarity of our memory is that things are impressed better by active than by passive repetition. I mean that in learning [...], when we almost know the piece, it pays better to wait and recollect by an effort from within, than to look at the book again. If we recover the words in the former way, we shall probably know them the next time ; if in the latter way, we shall very likely need the book once more (James 1890, p.686).

L'apprentissage est plus efficace et plus durable lorsqu'on y met de l'effort. Pour ce faire, on peut alterner les matières et espacer les séances. Ceci a pour effet de rendre les apprentissages plus difficiles, nécessitant un effort de remémoration, ce qui favorise une rétention plus durable (Cepeda et al. 2006). Dans ce sens, il est mieux d'essayer de trouver la solution à un problème avant de se voir donner la réponse.

Malheureusement, l'illusion de savoir ce qui est bon pour nous est souvent présente. On a l'impression qu'en lisant un manuel, des notes de cours ou en écoutant un cours magistral on apprend son contenu, que celui-ci est mémorisé et que l'on pourra s'en souvenir plus tard. Or, comme on l'a mentionné plus haut, la simple relecture n'est pas une stratégie gagnante. Elle est néanmoins la stratégie des personnes apprenantes la plus répandue lorsque vient le temps d'étudier (Karpicke et al. 2009). Cette méthode, en plus de prendre du temps, « ne produit pas de mémoire à long terme ; elle conduit souvent à une forme inconsciente d'auto-illusion, en ce que la familiarité croissante avec le texte finit par passer pour une maîtrise de son contenu » (Brown et al. 2014/2016, p.10/p.30). On apprend mieux lorsque l'on crée des liens, et lorsque la théorie plutôt abstraite est liée au concret. Une alternance entre théorie et pratique, entre écoute et discussion, peut aider à rendre concret la matière et également à mieux la mémoriser.

La curiosité est sans aucun doute un facteur important d'engagement, elle permet d'augmenter l'apprentissage, d'augmenter le nombre d'informations retenues. En ce sens, être en mesure de susciter la curiosité des personnes apprenantes est un atout : « Piquer la curiosité des enfants, c'est avoir la partie à moitié gagnée : leur attention est

mobilisée, leur esprit est déjà en recherche d'une explication — il ne reste plus qu'à les guider » (Dehaene 2018, p.251). Par exemple, Matthias Gruber et son équipe (Gruber et al. 2014) ont demandé à des gens d'évaluer leur niveau de curiosité à propos d'un nombre de questions. Ces personnes se faisaient scanner le cerveau pendant qu'elles attendaient la réponse. Lorsqu'elles étaient curieuses de connaître la réponse, celle-ci était mieux retenue que lorsqu'elles étaient moins intéressées à la connaître, et ce autant lorsqu'elles ont été testées tout de suite après l'apprentissage qu'une journée plus tard. L'imagerie montre que lorsque la curiosité est attisée, l'activité cérébrale était augmentée dans les régions qui sont impliquées dans le système de récompense et dans la formation de la mémoire. De plus, dans la même étude, on a montré des visages non reliés aux questions pendant que les personnes attendaient la réponse, et on a remarqué qu'elles se souvenaient plus des visages lorsque leur curiosité était plus grande. Ces données suggèrent que la curiosité aide également dans l'apprentissage d'informations indirectes, accessoires. D'ailleurs, les bénéfices de la curiosité n'ont pas d'âge : les personnes âgées aussi bénéficient des effets de la curiosité dans l'apprentissage, ce qui pourrait mener à l'implémentation de stratégies d'apprentissage qui stimulent la curiosité dans le vieillissement (Galli et al. 2018).

Et s'engager avec la matière, c'est évidemment courir le risque de faire des erreurs dans le processus, erreurs qui, comme nous le verrons maintenant avec le troisième pilier, sont essentielles à l'apprentissage.

1.3 Le retour sur erreur

Pour Stanislas Dehaene, « apprentissage » rime avec « erreur ». Chaque fois que l'on se trompe, on se trouve devant une possibilité, une occasion d'apprentissage : « il est pratiquement impossible de progresser si l'on ne commence pas par échouer » (Dehaene 2018, p.266). L'erreur est ainsi un élément clé à l'apprentissage. Néanmoins, il faut spécifier que pour réellement permettre un apprentissage digne de ce nom,

l'erreur doit être accompagnée de rétroaction. En effet, une erreur sans rétroaction est une erreur qui n'est pas corrigée, qui non seulement ne génère pas d'apprentissage, mais qui pourrait bien être à l'origine d'autres erreurs par la suite.

Dans ce cas, la surprise devient importante dans le processus d'apprentissage. Les recherches de Lisa Feigenson sur le rôle de la surprise chez les bébés et les enfants vont en ce sens (Stahl & Feigenson 2015 ; 2017). En effet, on a remarqué que l'apprentissage était meilleur lorsque les enfants percevaient des événements surprenants. Stahl et Feigenson (2017) ont testé cela avec des enfants dans un musée bruyant pour voir les effets de la surprise sur l'apprentissage dans un contexte « réaliste » où il y avait plus d'une chose qui pouvait les distraire. Elles ont testé l'apprentissage de nouveaux mots (verbes, noms) lors d'événements entièrement possibles et probables, et lors d'événements surprenants, improbables. Des enfants âgés de 3 à 6 ans devaient apprendre des mots d'actions ou d'objets. Lors d'événements surprenants, les enfants ont mieux appris les mots en question. On savait déjà que les enfants regardent plus longtemps les événements surprenants (Spelke et al. 1992; Wilcox et al. 1996), mais au-delà de la simple « détection » de ceux-ci, il y a des conséquences cognitives à voir ces événements qui vont contre l'attente : la surprise a une fonction cognitive. Elle induit un comportement plus exploratoire et augmente l'apprentissage (Stahl & Feigenson 2015).

C'est d'ailleurs ce qui fait dire à Dehaene qu'« Apprendre, c'est réduire l'imprévisible » (Dehaene 2018, p.269). Dans cette lignée, un autre élément important est la possibilité d'expliquer une situation surprenante. En effet, la chercheuse Meadhbh Isobel Foster et son collègue Mark T. Keane de l'Université College de Dublin, dans une étude sur le rôle de la surprise dans l'apprentissage (Foster et Keane 2019), ont remarqué que lorsque les personnes participantes étaient moins en mesure de trouver une explication à un énoncé, plus elles étaient en mesure de s'en souvenir. C'est-à-dire que plus un événement est surprenant plus il laisse des traces en

mémoire. En fait, il est intéressant de remarquer que dans cette étude, les situations surprenantes pour lesquelles il y avait une explication évidente n'étaient pas mieux retenues que les situations normales. Bref, lorsqu'il y a surprise, lorsqu'il y a violation de l'attente, il y a une augmentation du comportement exploratoire et par le fait même une augmentation de l'apprentissage, ce qui pourrait être expliqué par un besoin d'explication causale (Foster & Keane 2015, Stahl & Feigenson 2019).

Ces violations de l'attente peuvent nous pousser à réfléchir au rôle plus général de l'erreur elle-même dans l'apprentissage. C'est exactement ce que fait Janet Metcalfe dans son article *Learning from Errors* (Metcalfe 2017). La psychologue passe en revue une série d'articles qui montrent que l'erreur n'est pas quelque chose que l'on doit éviter, contrairement à ce que l'on croit normalement. Elle est bénéfique à l'apprentissage. Metcalfe décrit des études dans lesquelles on a filmé des classes de mathématiques dans plusieurs pays. On a remarqué une grande différence dans la méthode d'enseignement entre l'Amérique du Nord et ailleurs dans le monde, comme au Japon, où les personnes sont plus fortes en mathématique. En Amérique du Nord, on demande aux étudiants d'appliquer une « méthode » précise et on leur fait faire des exercices à répétition, étape par étape, bloc par bloc. Dans les pays où les gens ont de meilleurs résultats, on aborde les relations mathématiques longuement et on demande aux personnes de s'engager dans le travail. Metcalfe remarque qu'aux États-Unis on ne porte pas attention aux erreurs, on ne valorise que les réponses correctes. Allant dans le sens contraire, au Japon, il n'y a pas de valorisation à la réponse correcte, et les erreurs sont largement abordées : les raisons pour lesquelles on les fait, en quoi elles semblent plausibles, mais ne le sont pas, et la manière de les éviter. Ceci favorise une approche plus exploratoire. Cette manière de fonctionner peut être plus difficile, mais la difficulté peut être avantageuse dans le processus d'apprentissage. « In comparison with approaches that stress error avoidance, making training more challenging by allowing false starts and errors followed by feedback, discussion, and correction may ultimately lead to better and more flexible transfer of skills to later critical situations »

(Metcalf 2017, p.468). Des études montrent en effet qu'anticiper une réponse en se trompant mène à une meilleure rétention (Bjork et al. 2013, p.435 ; Grimaldi & Karpicke 2012).

On pourrait penser à première vue que, allant dans le sens contraire, les erreurs doivent être évitées dans le processus d'apprentissage. En effet, une erreur peut être perçue comme quelque chose qui est en compétition ou qui entre en conflit avec la bonne réponse. De cette manière, faire une erreur serait renforcer l'apprentissage de cette erreur, ce serait graver cette erreur dans la mémoire, ce qui augmenterait la probabilité qu'elle soit répétée. Par conséquent, on pourrait penser que l'approche plus exploratoire est contreproductive et prôner une approche étape par étape, bloc par bloc, qui mènerait à un résultat sans erreurs. Or, une autre étude de Metcalfe (Huelser & Metcalfe 2012) remet cette intuition en doute. Les personnes participantes devaient apprendre des paires de mots sémantiquement rapprochés et sémantiquement éloignés. On a remarqué que l'apprentissage était meilleur lorsque les personnes faisaient une erreur en essayant de trouver le mot sémantiquement rapproché (p. ex. pour « attaque », on produit l'erreur « combat » pour la bonne réponse « défendre »). Toutefois, pour les paires de mots sémantiquement éloignés, la génération d'erreurs n'augmentait pas la rétention. Ainsi, lorsqu'on fait une erreur qui s'approche d'une manière ou d'une autre de la bonne réponse et que l'on obtient de la rétroaction, l'apprentissage s'en trouve amélioré. Fait intéressant, lorsqu'on a demandé aux personnes dans laquelle de ces conditions elles avaient mieux appris (test/erreur ou étude/relecture), elles ont répondu que c'était dans la condition de relecture même si elles avaient mieux réussi dans la condition où elles faisaient des erreurs. Ceci concorde assez bien avec ce dont il a été question plus haut, soit que les personnes apprenantes utilisent en majorité la méthode de relecture en pensant qu'il s'agit là d'une manière efficace de retenir l'information et qu'elles n'ont pas la conscience métacognitive des bénéfices du test et de l'erreur, ce

qui serait causé par *l'illusion de compétence*⁵ présente lorsqu'on a l'information directement sous les yeux (Karpicke et al. 2009 ; Karpicke & Roediger 2008).

Pour le dire comme Brown et al. (2014/2016), « Les qualités de persévérance et de résilience, où chaque fausse route est perçue comme une source utile d'informations, portent les découvertes innovantes dans quelque sphère que ce soit et reposent au cœur de pratiquement tout apprentissage réussi » (Brown et al. 2014/2016, p.93/p.120). On peut ainsi faire le pont entre l'erreur et la méthode du test dont il a été question plus haut. En effet, une bonne manière de générer de l'erreur et de se corriger est la pratique du test. En effet, comme le remarque Dehaene, « Passer un test oblige à se frotter au réel et à se rendre compte de ce qu'on ne sait pas » (Dehaene 2018, p.282). Lorsque l'on se teste, on réalise ce qui a été bien appris de ce qui ne l'a pas été. Les erreurs commises indiquent là où il y a encore apprentissage à faire. En s'activant à aller récupérer l'information en mémoire, on renforce celle-ci. L'instruction peut ainsi être fondée sur le test, en augmentant graduellement le niveau de difficulté et en y ajoutant des imprévus pour réellement arriver à maîtriser une matière ou un domaine : « C'est une chose de se sentir confiant quant à ses connaissances ; c'en est une autre de démontrer sa maîtrise. Tester n'est pas seulement une stratégie d'apprentissage efficace, c'est aussi le moyen de passer à l'épreuve de la réalité le jugement que vous portez vous-même sur ce que vous savez faire » (Brown et al. 2014/2016, p.72/p.97).

On l'a brièvement mentionné dans la section précédente, mais espacer les périodes de tests est quelque chose d'important : « Au lieu de grouper tout l'apprentissage en une seule fois, on alterne les périodes d'étude et de test, et on révise régulièrement à des intervalles de temps de plus en plus espacés » (Dehaene 2018, p.285). On pense

⁵ L'illusion de compétence est la tendance que l'on a à se surestimer. Elle englobe l'idée qu'on pense souvent qu'on est plus compétent qu'on ne l'est réellement, et celle qu'on en sait plus qu'on en sait réellement.

généralement que la répétition d'exercices répétée sur un unique sujet à la fois est une bonne manière de l'apprendre et de s'en souvenir. Une étude intensive montre des fruits à court terme, mais l'oubli rapide est flagrant ensuite. Le travail extensif, le travail diversifié répété dans lequel on alterne les sujets d'apprentissage en espaçant les séances à différents moments semblent beaucoup plus efficace pour la mémorisation à long terme : « L'effet est massif : une seule répétition d'une leçon, quelques semaines après la première, multiplie par trois les nombres d'items qu'on parvient à rappeler quelques mois plus tard ! » (Dehaene 2018, p.286). Espacer les séances en alternant les apprentissages nécessitent un effort de remémorisation favorisant, comme nous l'avons vu, une meilleure rétention à long terme (Cepeda et al. 2006; Carpenter et al. 2012; Kornell 2009).

De plus, comme nous allons à présent le voir, le sommeil semble important non seulement pour l'attention, comme nous l'avons précédemment mentionné, mais aussi dans la consolidation des apprentissages. Or, espacer les périodes d'études sur plusieurs jours permet d'avoir des périodes de sommeil favorisant l'apprentissage. Par conséquent, il s'agit là d'un autre bienfait de l'espacement de périodes d'études, car elle permet une meilleure consolidation.

1.4 La consolidation

Les trois piliers précédents ne sont pas suffisants pour un apprentissage réussi. Pour que l'apprentissage soit complet, il faut que le contenu appris soit en quelque sorte automatisé, presque rendu inconscient. Il s'agit là de ce que l'on nomme la consolidation, soit de « passer d'un traitement lent, conscient, avec effort, à un fonctionnement rapide, inconscient, automatique. » (Dehaene 2018, p.293) ou encore « le processus de renforcement des représentations mentales dans la mémoire à long terme » (Brown et al. 2014/2016, p.73/p.99). Ceci est important pour justement libérer des ressources cognitives. On l'a vu avec le contrôle exécutif, l'attention agit un peu

comme un « goulot d'étranglement cognitif » et ne peut traiter plus d'une chose à la fois. Dehaene nous dit que l'on peut constater ceci, par exemple, dans l'apprentissage de l'arithmétique. En effet, si l'on demande à un enfant d'additionner 5 et 3, il va probablement compter sur ses doigts en ajoutant « 3 » un à la fois (6, 7, 8). Éventuellement, à la simple vision de « 5 + 3 », il verra tout de suite la réponse « 8 ». Il en va de même pour la lecture. Comme on l'a mentionné dans la première section, un enfant qui apprend à lire aura son attention entièrement prise sur le processus de lecture lui-même. Il aura beaucoup de difficulté à comprendre ce qu'il lit. Un coup cet apprentissage consolidé, automatisé, il pourra utiliser son attention pour autre chose, soit pour comprendre le contenu de sa lecture : « Consolider un apprentissage, c'est rendre les ressources du cerveau disponibles pour d'autres objectifs » (Dehaene 2018, p.295). Pour vivre ce qu'un lecteur débutant expérimente, lisons ceci : « Hin hotomobilist kit Nanth pour Pari à katorzeure. La distensse ai de troa sans quilomaitre. Ile harive à dice-setteure. Kaile été sa vitaisse moi hyène ? » (Dehaene 2018, p.295). La difficulté que nous avons à lire ceci fait en sorte que l'on ne comprend même pas quel est le problème à résoudre.

Le sommeil jouerait un rôle primordial dans le processus de consolidation. Pour Dehaene il s'agit là d'une grande découverte des neurosciences : « le sommeil n'est pas une simple période d'inactivité ou de nettoyage des déchets que le cerveau a accumulés pendant la journée » (Dehaene 2018, p.296). En effet, pendant que nous dormons, le cerveau rejoue en quelque sorte les événements importants qui se sont produits durant la journée pour les encoder d'une manière plus efficace. Plusieurs études vont en ce sens. Par exemple, Tanne Karni et son équipe (1994) ont montré que le sommeil paradoxal améliore l'apprentissage perceptuel. Les participants devaient identifier la forme d'une petite cible texturée composée d'éléments constitués de trois lignes diagonales dont l'orientation différait des autres éléments. Les performances des participants ont augmenté suite à une nuit de sommeil dans laquelle le sommeil paradoxal n'avait pas été perturbé. Fait intéressant, on a également observé que

lorsqu'on réveillait un participant à chaque fois qu'il entrait dans son sommeil paradoxal, la performance n'augmentait pas. Il semble ainsi que le sommeil paradoxal consolide et améliore l'apprentissage pour ce genre de tâche : « *the role of REM sleep may reside in providing a critical milieu for the transformation of the activity-dependent neural change, presumably initiated during pre-sleep session, into a more efficient and stable (consolidated) modification* » (Karni et al. 1994, p.681).

Reto Huber de l'université du Wisconsin et son équipe (2004) ont obtenu des résultats similaires avec une tâche de rotation. Après une nuit de sommeil, la performance des personnes qui participaient à l'étude était meilleure. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que dans l'étude il y avait aussi un groupe qui avait appris la même tâche le matin et était revenu la faire le soir. Ce que l'on a remarqué, c'est que la performance de ces personnes n'avait pas changé, elle était identique à celle du matin. Ceci nous montre l'importance du sommeil dans la consolidation des apprentissages. D'ailleurs, le besoin de sommeil semble aussi dépendre de ce qui s'est passé durant la journée : « le surcroît de stimulation entraîne une augmentation de la plasticité nocturne » (Dehaene 2018, p.298). Selon Dehaene, les différents types de sommeil auraient différents rôles bien que ce ne soit pas encore très bien compris aujourd'hui. Ainsi, on pense que le sommeil paradoxal consoliderait les apprentissages perceptifs et moteurs, tandis que le sommeil profond consoliderait les « connaissances » en général.

Plusieurs études ont montré que les aires du cerveau qui ont été sollicitées durant la journée se réactivent pendant le sommeil (Horikawa & al 2013 ; Jiang & al 2017). Il semblerait ainsi que le cerveau rejoue bel et bien les épisodes de la journée qu'il juge pertinents durant la nuit. Ceci aurait un rôle important à jouer dans la plasticité cérébrale et la consolidation. Le cerveau rejouerait plusieurs fois et d'une manière extrêmement rapide les événements enregistrés. Les réactivations de la mémoire hippocampique faciliteraient l'intégration des éléments mémorisés de l'hippocampe vers les régions corticales. Et pour Stanislas Dehaene, « ce transfert pourrait même être

la fonction principale du sommeil [...]. Réactiver aide à automatiser » (Dehaene 2018, p.299-300). Il y a ainsi un lien étroit à faire entre l'apprentissage et le sommeil. C'est lors du sommeil (mais pas seulement, voir Sekeres et al. 2017) que la consolidation des apprentissages a lieu : « Après avoir dormi, l'activité cérébrale se déplace : une partie des connaissances acquises dans la journée est transférée vers des circuits plus automatiques et plus spécialisés » (Dehaene 2018, p.302).

L'hippocampe est une partie du cerveau particulièrement importante dans la formation de la mémoire. Or, pendant le processus de consolidation, on pense qu'il y a, par réactivation, un transfert de l'hippocampe vers le cortex. Évidemment, ceci est un peu vague, et il est peu probable qu'un souvenir soit livré comme ça d'une région du cerveau à une autre comme on peut livrer du courrier (Sekeres et al. 2017). Pour qu'un souvenir passe en mémoire à long terme, il doit former dans le cerveau une trace mnémorique sous forme de connexions synaptiques à l'intérieur d'un groupe de neurones. Cette trace en mémoire finit par former de nouvelles connexions synaptiques à l'intérieur de réseaux de neurones à travers le cerveau (Sekeres et al. 2017, p.22). On peut penser qu'alors que les connexions synaptiques corticales se renforcent, les connexions hippocampiques commencent à diminuer, consolidant ainsi un souvenir. Selon le modèle des systèmes complémentaires de mémoire (McClelland, McNaughton et O'Reilly 1995 ; O'Reilly et Norman 2002), les connexions hippocampiques permettraient d'enregistrer temporairement, sous forme simplifiée et isolée, les résultats des traitements corticaux d'une manière qui permet le tri des informations importantes et secondaires et le soutien du processus de consolidation corticale, c'est-à-dire l'intégration lente et progressive, des informations ainsi enregistrées à l'ensemble des connaissances contenues dans le cortex. Comme le disent Sekeres et son équipe (2017), il ne s'agit pas tant d'un transfert, mais plutôt d'une « transformation », soit du développement d'un réseau distribué qui peut impliquer les régions corticales et hippocampiques dans une interaction dynamique selon la spécificité contextuelle du souvenir lors de sa récupération.

Fait intéressant, on a remarqué dans différentes études que l'on pouvait même arriver à stimuler les aires du cerveau impliquées dans la consolidation avec différents « signaux » (*cues*) comme des odeurs, des sons, ou des stimulations électromagnétiques. Par exemple, dans une étude de Julia S. Rihm et son équipe (Rihm et al. 2014, voir aussi Rasch et al. 2007), les personnes participantes devaient apprendre la position de paires de cartes dans une tâche de localisation d'objets en deux dimensions en présence d'odeurs agréables ou désagréables. Ensuite, durant le sommeil, différents scénarios ont été testés. Il y avait trois groupes : un premier qui recevait durant la nuit la même odeur que celle reçue durant l'apprentissage (qu'elle soit plaisante ou non), un autre groupe qui recevait une autre odeur que celle présentée préalablement, et enfin un troisième groupe contrôle qui ne recevait pas d'odeur. Lors du test le lendemain, aucune odeur n'a été présentée aux différents groupes. Durant toute cette étude, on a enregistré l'activité cérébrale avec la méthode d'EEG (Électroencéphalographie). Ce que l'on a remarqué, c'est que la performance des personnes qui avaient reçu la même odeur durant la nuit était nettement meilleure, tandis que les deux autres groupes (sans odeur ou odeur différente) étaient semblables. Le caractère plaisant ou non de l'odeur n'a pas eu d'impact sur les performances. La re-présentation de l'odeur était corrélée avec une augmentation de l'activité cérébrale impliquée dans la consolidation. Il est donc ainsi possible d'aider le cerveau à rejouer des éléments pertinents de la journée, en donnant des « signaux », dans ce cas-ci des odeurs.

Pour le neuroscientifique, le sommeil serait même à l'origine de découvertes. C'est ce qu'ont remarqué Ulrich Wagner et son équipe (2004) dans une étude où on faisait apprendre un algorithme qui demandait de faire une panoplie de calculs complexes. Ce que l'on ne disait pas aux participants, c'est qu'il y avait un certain « truc » pour le résoudre plus facilement. Le fait de dormir a doublé la probabilité que les participants trouvent la petite astuce. À chaque nuit, nous dit Dehaene, « nos idées flottantes de la journée se rejouent des centaines de fois, à un rythme accéléré, ce qui multiplie les chances que notre cortex y découvre des règles qui fassent sens » (Dehaene 2018,

p.305). C'est ainsi que les rêves peuvent être conçus comme des « images d'entraînement, des reconstitutions de la réalité » (p.306) qui renforcent ce que l'on a pu apprendre pendant la journée, faisant d'eux des éléments clés à la consolidation et, donc, à un bon apprentissage.

1.5 Conclusion : les quatre piliers mais encore...

Il ne fait pas de doute que les différentes études que l'on trouve dans la littérature appuient fortement les quatre piliers que nous donne Dehaene. En effet, l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur ainsi que la consolidation nous donnent un fondement solide à l'apprentissage. De cette manière, il est évident qu'ils ne sont pas sans conséquence pour le milieu de l'éducation et que nous devons les prendre en compte dans les recommandations de méthodes d'enseignement et d'apprentissage. Néanmoins, on peut soulever quelques points critiques ici. Et c'est ce que nous allons faire pour terminer ce premier chapitre et c'est, par le fait même, ce qui nous permettra de mettre la table pour les autres chapitres du mémoire.

Une critique que l'on peut faire de Dehaene est celle suivant laquelle sa conception du fonctionnement de l'esprit est particulièrement intellectualiste et internaliste. En effet, dans sa conception de la cognition, il semble laisser de côté des éléments particulièrement importants de celle-ci qui devraient être pris en compte dans l'explication que l'on peut faire des mécanismes qui sous-tendent l'apprentissage. Il y a deux éléments qui viennent rapidement à l'esprit ici : le rôle des émotions et aussi le rôle du corps (et de l'environnement) dans l'apprentissage. Dans son ouvrage par exemple, Dehaene discute des émotions négatives comme étant une conséquence de rétroaction négative inutile et non constructive. Toutefois, il n'aborde pas directement les émotions comme étant quelque chose de primordial dans la cognition et dans le processus même d'apprentissage. Dans son livre, il n'y a aucune partie réservée à cette discussion et il n'y a que quelques pages qui abordent les émotions. Ensuite, bien qu'il

mette l'accent sur l'engagement actif des personnes apprenantes, le chercheur en neurosciences cognitives semble laisser de côté l'importance du corps et de l'environnement dans la cognition et laisse ainsi de côté des avenues intéressantes pour formuler des méthodes d'apprentissage et d'enseignement pertinentes pour le monde de l'éducation. En effet, selon lui, « Actif ne veut pas dire que l'organisme doit bouger. C'est dans la tête [...] que l'engagement actif fait son œuvre », et « Cet engagement *n'a rien à voir* avec un mouvement visible de l'extérieur : les deux étudiants peuvent très bien rester immobiles, mais c'est le mouvement de la pensée qui les distingue » (Dehaene 2018, p.243-4, nous soulignons). Ceci, comme nous allons tâcher de le faire voir, est quelque peu dissonant avec les théories plus « pragmatistes » de la cognition.

Dans son livre, lorsqu'il est question d'engagement actif, Dehaene se dissocie de l'approche de John Dewey (et d'autres) en qualifiant celle-ci de pédagogie de la découverte ou encore de constructivisme. Ainsi, Dehaene nous dit :

L'idée que l'enfant doit être attentif, actif, engagé, acteur de son propre apprentissage — idée fondamentalement juste — ne doit pas être confondue avec le constructivisme ou les pédagogies de la découverte — une vision généreuse, séduisante, mais dont l'inefficacité a été cent fois démontrée. [...] Lorsqu'on parle de pédagogies de la découverte, de quoi s'agit-il ? D'une nébuleuse d'idées qui remontent à Jean-Jacques Rousseau et qui nous sont parvenues par l'entremise de pédagogues tels que John Dewey, Ovide Decroly, Célestin Frenet, Maria Montessori ou, plus récemment, Jean Piaget et Seymour Papert. (Dehaene 2018, p.247)

Or, nous pensons que si Dehaene avait été plus sympathique aux idées de Dewey (et du pragmatisme) qui se retrouvent (en partie) à la base du tournant pragmatique actuel en sciences cognitives, il aurait pu mieux rendre justice aux rôles du corps, des interactions environnementales et des émotions dans la cognition et l'apprentissage. Les quatre piliers s'en seraient montrés augmentés et enrichis. D'ailleurs, comme nous l'avons déjà vu, les sciences cognitives se transforment depuis quelque temps. Les sciences cognitives incarnées et énaclives font partie de ce tournant que semble ignorer Dehaene. En prenant en compte ce type de sciences cognitives inspirées grandement

par le pragmatisme classique, nous pouvons en faire découler une vision « augmentée » de la cognition qui a des répercussions sur les quatre piliers de l'apprentissage et l'éducation, et c'est ce que nous nous proposons d'explorer et d'examiner dans les deux autres chapitres de ce mémoire.

CHAPITRE II

LE TOURNANT PRAGMATIQUE EN SCIENCES COGNITIVES

Ce deuxième chapitre a pour but de présenter les sciences cognitives et neurosciences du tournant pragmatique. Nous commençons en faisant un bref détour par le pragmatisme classique dans lequel ce tournant pragmatique prend en partie ses sources. Nous présentons ensuite les sciences cognitives de ce tournant avec des théories qui donnent un rôle important au corps, à l'environnement et aux émotions avec les approches communément appelées « 4E » (*embodied, embedded, extended, enacted*). Nous réservons une section complète au quatrième « E » (*enacted*) en ceci que l'énactivisme se veut plus radical que les autres approches, qu'il inclut en lui-même les trois autres « E » et qu'il se rapproche plus du pragmatisme classique. Nous faisons ensuite de même avec une théorie émergente en neurosciences (le traitement prédictif) qui fait du cerveau une machine probabiliste de prédiction constamment active. Ces théories nous serviront de cadre pour réinterpréter les piliers dehaeniens.

2.1 Idées communes et théories de l'esprit

En tant que mouvement philosophique, le pragmatisme est généralement associé à des penseurs américains de la fin du 19^e siècle et du début du 20^e siècle, notamment William James, Charles Sanders Peirce, John Dewey et George Herbert Mead, mais on trouve des éléments de pensée pragmatiste chez plusieurs penseurs de la même époque qui s'opposaient au cartésianisme et plus généralement au rationalisme. Pour James, d'ailleurs, tel qu'il l'énonce dans son classique ouvrage *Pragmatism*, le pragmatisme n'est pas une doctrine comme telle, mais plutôt une attitude d'orientation, un certain

tempérament, une méthode. En tant qu'attitude, le pragmatisme met l'accent sur le « concret », la « pratique », « l'utilité », « l'action », au détriment de « l'abstrait », la « raison » et la « vérité ». Peirce, avant James, nous disait en ce sens dans *How to Make Our Ideas Clear* que la pensée avait pour but de guider l'action, de produire des habitudes d'action et qu'ainsi la signification d'une idée se trouvait dans ses conséquences pratiques (Peirce 1992). En tant que méthode, le pragmatisme vise la « résolution des débats métaphysiques qui sans cela seraient interminables » en interprétant « chaque notion en fonction de ses conséquences pratiques » (James 2010, p.100-1).

Bien que le pragmatisme ne soit pas une doctrine bien définie avec des partisans qui soutiendraient exactement les mêmes thèses, on peut tout de même mentionner les idées centrales de celui-ci pertinentes pour le propos de notre mémoire en nous basant sur les travaux de Gallagher (2014, 2017), Menary (2015) et Williams (2018). Une de ces idées est qu'il y a primauté de la pratique et de l'action dans la cognition, non seulement dans le sens généralement admis aujourd'hui en sciences cognitives où la cognition sert l'action plutôt que la raison ou la représentation, mais aussi dans le sens plus controversé voulant que la cognition soit une forme d'action ou soit constituée d'elle. Dans le premier sens, qui est le seul qui nous occupera ici, on comprendra les pensées et le langage comme des outils pratiques qui facilitent et guident l'action. Comme nous l'avons dit, Charles Peirce a argumenté que l'on devrait examiner la nature des pensées en ce qu'elles changent dans le comportement humain, et sa maxime pragmatique liait la signification des concepts à leurs effets pratiques (Peirce 1992). Dewey va dans le même sens : « *Concepts, theories and system of thought... are tools, [...] As in the case of all tools their value resides not in themselves but in their capacity to work shown in the consequences of their use* » (Dewey, MW12 : 163). Mais Dewey va plus loin et conçoit l'action comme première dans la perception, ce qui est clairement dit dans son célèbre article de 1896, *The Reflex Arc Concept in Psychology*

lorsque Dewey prend l'exemple classique de l'enfant et de la bougie sur laquelle il se brûle :

*Upon analysis, we find that we begin not with a sensory stimulus, but with a sensorimotor coordination, the optical-ocular, and that in a certain sense it is the movement of body, head and eye muscles determining the quality of what is experienced. In other words, the real beginning is with the act of seeing; it is looking, and not a Sensation of light. The sensory quale gives the value of the act, just as the movement furnishes its mechanism and control, but both **sensation and movement lie inside, not outside the act [of seeing]**. (Dewey 1896, p.358-9, nous soulignons)*

Ainsi, en lien direct avec l'importance de l'action, on peut soutenir qu'il y a un lien intime entre l'organisme et l'environnement. L'organisme et l'environnement ne sont pas deux entités que l'on peut clairement séparer. Ils sont toujours ensemble dans une relation dynamique de transactions. Un organisme n'existe pas sans environnement et un environnement est ce qu'il est en conjonction avec l'organisme particulier qui le définit : « *In actual experience, there is never any such isolated singular object or event; an object or event is always a special part, phase, or aspect, of an environing experienced world-a situation* » (Dewey LW12 : 72). Ni l'environnement ni l'organisme ne devraient se concevoir séparément parce qu'ils sont corrélacionnels et se définissent l'un par l'autre.

D'ailleurs, pour le pragmatisme, l'organisme lui-même, sa nature, est important dans la construction qu'il fait de sa propre réalité subjective : ses propriétés contingentes sont fonctionnellement cruciales aux contenus de son expérience : « *the organism - the self, the "subject" of action - is a factor within experience and not something outside of it to which experiences are attached as the self's private property* » (Dewey, LW14, 17). Ceci s'oppose à un certain rationalisme qui suppose que le contenu de l'esprit reflète le monde isolément. James, dans le même sens, disait que notre statut en tant que créature particulière colore étroitement notre commerce avec le monde : « il ne nous est guère possible de recevoir une impression si nous n'avons pas déjà une

préconception des impressions que nous sommes susceptibles de recevoir», et en ce sens, « Une réalité “indépendante” de la pensée humaine semble donc chose bien difficile à trouver. [...] Si je peux risquer une telle comparaison, on pourrait dire que chaque fois qu’on la rencontre, elle a déjà été maquillée. » (James 2010, p.250-1). Pour Dewey, la connaissance du monde se traduit par une réponse adaptative aux circonstances environnementales selon les besoins et les buts de l’agent : un processus continu dans lequel le sujet moule et construit l’environnement qu’il habite. Ainsi, l’environnement perçu par l’organisme est de manière fondamentale ce que nous nommerions aujourd’hui un monde d’affordances (Gibson 1979). La tradition pragmatiste voit la pensée comme étant structurée par les interactions environnementales et rejette ainsi la vision internaliste et représentationnelle de la cognition, ce qui est également soutenu par les sciences et neurosciences cognitives incarnées et éenactives comme nous allons maintenant le voir.

2.2 Tournant pragmatique, acte 1 : Les sciences cognitives incarnées

Depuis la fin des années 1980, on remarque en sciences cognitives ce que d’aucuns pourraient voir comme un changement de paradigme concernant la manière dont on conçoit l’esprit, la cognition, la perception et l’action, que d’aucuns ont nommé un « tournant pragmatique » (Engel et al. 2013). Les sciences cognitives traditionnelles ont hérité leur cadre conceptuel et théorique d’une conception de l’esprit, comme étroitement liée à la raison, venant de l’époque moderne avec des philosophes tels que René Descartes et John Locke. Contrairement à la fonction d’autres organes qui sont en contact et en interaction dans et avec le monde, on concevait celle du cerveau, c’est-à-dire l’esprit ou la cognition, d’une manière intellectualiste. C’est de cette manière que le cognitivisme/computationnalisme voyait l’esprit, soit comme un programme abstrait implémenté dans le cerveau, voire gouverné par les lois de la logique formelle. Pour cette première génération en sciences cognitives, la cognition était vue comme un processus de manipulation de symboles selon des règles (computation), en quelque

sorte un algorithme qu'on peut étudier indépendamment du matériel dans lequel il est implémenté. En suivant Madzia et Jung (2017), on peut affirmer que, selon les tenants de ce paradigme, la cognition se trouve à être (I) désincarnée (le corps, les capacités sensorielles et les habiletés corporelles n'ajoutent rien à la nature des processus mentaux); (II) formelle (les représentations mentales sont en elles-mêmes des symboles formels dénués de sens et qui obtiennent leur contenu soit [a] sur la base de leur relation mutuelle, ou [b] en représentant quelque chose qui est à l'extérieur du système formel); et (III) interne (la cognition est quelque chose qui advient dans le cerveau au moyen de représentation d'objets et d'évènements du monde extérieur. L'être humain, en ce sens, est coupé du monde, il n'a accès qu'à une copie de celui-ci). Ce genre d'idées est souvent associé à ce que l'on nomme le fonctionnalisme qui stipule que les phénomènes cognitifs sont déterminés par leur rôle fonctionnel et qu'ainsi, à cause de la possibilité de réaliser une fonction de multiples façons, ils forment un niveau d'analyse autonome (Newen et al. 2018).

Ce paradigme traditionnel a partiellement porté ses fruits et a stimulé d'importantes recherches dans les premières décennies des sciences cognitives. Cependant, il a aussi reçu maintes critiques, toutes concernant de différentes façons son incapacité à offrir une description viable et empiriquement valable de la nature de la cognition, de la vie mentale, et de l'expérience humaine en général (Varela et al. 1991, Clark 1997). Comme alternative, les approches de la cognition dites « incarnées » et « énaactives » ont été introduites. Contrairement à la vision de l'esprit décrite plus haut qui liait la cognition à la raison, ces approches conçoivent les processus cognitifs comme étroitement liés à l'action. Historiquement, il est possible de séparer ces critiques en deux groupes qui ont mené à deux façons de rejeter le paradigme computationnaliste, deux groupes qui ont soutenu des thèses semblables, mais dont un a été (et est toujours actuellement) beaucoup plus radical que l'autre : un qui a gardé un certain fonctionnalisme et un représentationnalisme en y ajoutant des éléments corporels ou externes (Clark 1997, Clark & Chalmers 1997, Clark 2011) et un plus radical qui a

complètement rejeté le premier paradigme (Varela et al. 1991, Thompson 2007), soit l'approche proprement dite « énéactiviste ». On peut rapprocher ces deux groupes avec ce que, en sciences cognitives et en philosophie de l'esprit, on nomme communément la cognition 4E — incarnée (*Embodied*), située (*Embedded*), étendue (*Extended*) et énéactive (*Enactive*). Dans ce qui suit, nous présentons les 4E en lien avec les deux groupes critiques tout juste mentionnés. La sous-section 2.2.1 présente les trois premiers « E » avec les idées moins radicales qui ont ajouté des éléments à la première génération et la sous-section 2.2.2 présente la version plus radicale avec le dernier « E », soit l'énéactivisme.

2.2.1 Les trois premiers « E » et l'approche fonctionnaliste

Le premier « E », suivant lequel la cognition est incarnée (*Embodied*), c'est-à-dire qu'elle advient dans (et avec) le corps, critique l'approche computationnelle classique de la première génération en sciences cognitives, en ceci que celle-ci voyait, comme nous l'avons mentionné plus haut, la cognition comme étant un algorithme indépendant du matériel dans lequel il est implémenté, il y avait ce caractère désincarné de la cognition. Or, sans tout rejeter de cette approche, l'idée suivant laquelle on ne pouvait pas rendre compte adéquatement de la cognition sans prendre en compte le rôle du corps commence à émerger en tant que critique dans les années 80 (Lakoff & Johnson 1980, 1999 ; Damasio 1994). La cognition est dite « incarnée » en ceci que plusieurs aspects de la cognition sont fortement dépendants des habiletés et caractéristiques physiques de l'organisme. À cause de l'importance accordée au corps dans la cognition, la proprioception (les processus qui informent de l'emplacement des parties du corps et des efforts qui sont déployés) joue un grand rôle dans la perception. Lakoff et Johnson, par exemple, soutiennent que nos concepts abstraits sont construits par un processus de métaphorisation à partir de connaissances sensorimotrices dont la forme dépend de celle de notre corps. Ainsi, nous avons tous l'expérience sensorimotrice qui consiste à traverser un espace ou à être à l'intérieur d'un contenant

(une pièce par exemple). Lorsque nous (organismes possédant un corps qui facilite les déplacements horizontaux, mais pas verticaux) traversons un espace, certaines choses qui étaient lointaines au départ se rapprochent de nous et inversement pour les choses qui étaient proches de nous au départ. De même, lorsque nous sommes (contenus) à l'intérieur d'une pièce, certaines choses nous sont facilement visibles et accessibles alors que d'autres non. C'est selon Lakoff et Johnson (1980, 1999) à partir de concepts sensorimoteurs (« traverser un espace » ou « être contenu dans un contenant ») acquis de ces expériences que nous dérivons par métaphorisation le sens de concepts abstraits comme « une vie » ou « une carrière ». De la même manière, les changements hormonaux et les processus viscéraux (captés par l'intéroception) peuvent changer la perception, la mémoire, l'attention et la prise de décision (Bechara et al. 1997; Damasio 1994, Barrett & Bar 2009). Lorsque le système corporel a besoin de nourriture ou d'eau, ce qui, pour le dire comme Shaun Gallagher, ne concorde pas simplement avec des états neuronaux, ce genre de conditions influencent le cerveau : « *the body regulates the brain as much as the brain regulates the body* » (Gallagher 2017, p.39).

Le deuxième « E » est généralement introduit comme étant en quelque sorte lié au premier. En effet, la cognition est incarnée (*Embodied*), car elle advient dans un corps, mais ce corps est également situé (*Embedded*), c'est-à-dire qu'il est dans un monde, qu'il interagit avec son environnement. Il faut ainsi inclure cet aspect fondamental de la cognition sans quoi nous n'aurions pas un compte rendu complet de ce qu'est la cognition : la cognition n'advient pas seulement dans le cerveau et le corps, mais également dans les actions de ce corps qui navigue un monde, un environnement. Ainsi, Andy Clark, dans son livre *Being There* (Clark 1997), soutient la thèse de l'embodiment en allant voir du côté de la robotique mobile. L'idée ici est que la cognition n'a pas pour unique but de « penser », mais plutôt de guider l'action. La robotique mobile a montré que plusieurs comportements intelligents complexes, qui pourraient laisser penser que des représentations et un contrôle interne sont à l'œuvre,

émergent de l'interaction entre l'organisme et l'environnement, où ce dernier est autant responsable de la complexité et de l'intelligence du comportement (Clark 1997). Dans la même veine, Kevin O'Regan et Alva Noë ont soutenu que la perception est dépendante des contingences sensorimotrices (O'Regan et Noë 2001, Noë 2004), ce qui veut dire que la perception est en quelque sorte une activité exploratoire, une activité fondamentalement « pragmatique ».

Ce qui est important de retenir ici avec les deux premiers « E » c'est que la cognition advient dans (et *avec*) le corps qui lui est en constante interaction avec le monde, avec l'environnement. Ainsi, la cognition n'est pas une série de processus qui se produisent exclusivement dans le cerveau dans le but de construire des représentations véridiques de l'environnement. Les boucles cognitives à l'intérieur de l'organisme (entre le cerveau et son corps) et entre l'organisme et son environnement sont tellement importantes que, si l'on veut étudier la nature de l'activité cognitive, le cerveau isolé n'est pas la seule unité d'explication à prendre en compte. La notion d'affordances est intimement liée à ces deux premiers « E ». En effet, la position du corps et de ses mouvements dans l'environnement détermine ce dont subjectivement on fait l'expérience. La perception ne repose pas que sur l'analyse de « snapshots » de l'environnement (Noë 2004) : elle est « gonflée », elle est biaisée, par notre capacité de bouger dans l'environnement, par ce que l'on est capable de faire avec ce qui s'y trouve : « We see things in terms of what we can do with them, and how we can reach and manipulate them » (Gallagher 2017, p.41). On retrouve ici l'idée que le monde perçu d'un organisme est dépendant de sa constitution, il s'agit d'un monde d'affordances (Gibson 1979), ce qui était d'ailleurs une des idées au cœur des thèses de John Dewey.

Enfin, le troisième « E », le plus controversé des trois (Adams & Aizawa 2010), est ce que l'on nomme l'hypothèse de l'esprit étendu (*Extended*) (Clark & Chalmers 1998, Clark 2011) initialement formulé dans l'article classique d'Andy Clark et David

Chalmers *The Extended Mind* en 1998. Cet article remet en question les barrières, les limites communément posées séparant l'esprit, le corps et le monde. Dans la première moitié du texte, les auteurs nous montrent qu'il n'est vraiment pas absurde de supposer que la cognition a également lieu dans le monde, dans l'environnement, par et avec des structures socio-environnementales. Un exemple que les auteurs utilisent est la comparaison entre la rotation mentale d'un objet et la rotation physique (à l'aide, disons, d'un « joystick »). Dans les deux cas, le processus est similaire. On utilise l'environnement de plusieurs manières pour réfléchir, raisonner, corriger des biais cognitifs, se souvenir, etc. On « jette » dans le monde une partie de la cognition, ce qui allège le fardeau cognitif du cerveau. C'est ce que Andy Clark nomme les « actions épistémiques », soit l'altération volontaire de l'environnement afin d'aider, d'alléger, d'augmenter, les ressources cognitives. Un argument en faveur de l'hypothèse de la cognition étendue est celui d'arguer que si « *a part of the world functions as a process which, were it done in the head, we would have no hesitation in recognizing as part of the cognitive process, then that part of the world is [...] part of the cognitive process* » (Clark & Chalmers 1998, p.8). Il n'y aurait ainsi pas de bonne raison de croire qu'un processus, lorsqu'il est interne, a quelque chose de plus qu'un autre semblable qui serait (en partie) externe dans une sorte de « système couplé » où la composante externe est essentielle et ne peut être éliminée sans réduire considérablement la performance cognitive.

Un autre argument de David Chalmers et d'Andy Clark va plus loin et tourne majoritairement autour de la célèbre « pompe à intuition » d'Inga et Otto. Voici comment va cette expérience de pensée assez efficace : Inga entend parler d'une exposition au MoMA (Museum of Modern Art in New York) et décide de s'y rendre. Elle se rappelle alors que le musée est sur la 53e rue et part. De son côté, Otto souffre d'Alzheimer et garde avec lui un carnet dans lequel il écrit toute nouvelle information pertinente. Il entend parler de l'exposition en question, il trouve l'adresse dans son carnet et part. Selon les auteurs, les deux voulaient se rendre au musée et « croyaient »

qu'il était sur la 53e rue. La seule différence est que, dans le cas d'Otto, la croyance n'est pas entièrement dans sa tête, elle est en partie externe. Otto est tellement habitué d'utiliser son carnet qu'il l'utilise naturellement, automatiquement : le système couplé « Otto-Carnet » est *fonctionnellement* semblable à la mémoire biologique d'Inga. Dans les deux cas, l'information rappelée guide leur comportement de la même manière.

2.2.2 Le dernier « E » : L'énactivisme

Le terme « énaction » apparaît pour la première fois dans *The Embodied Mind* de Varela, Thompson et Rosch (1991) pour présenter leur théorie suivant laquelle le monde vécu est déterminé par les interactions entre l'organisme, sa constitution physique et son environnement. Le monde dont on fait l'expérience est le produit de l'activité du corps situé dans l'environnement. De ce point de vue, la cognition est en soi une activité dynamique, et le monde perçu et vécu est « énéacté » : « énéacté » parce que justement il émerge de la boucle cerveau-corps-environnement qui est de manière fondamentale une activité corporelle de l'organisme avec l'environnement. On voit que cette manière de concevoir l'activité cognitive est fondamentalement distincte de l'approche symboliste/représentationnaliste. Celle-ci voyait la cognition comme un algorithme indépendant du monde dans lequel cet algorithme est implémenté (sinon pour lui fournir un support matériel, le cerveau, et des entrées en provenance de l'environnement). Pour l'énactivisme — notre dernier « E » (*Enactive*) —, on ne peut en aucun cas séparer la cognition du corps et de l'environnement, comme d'ailleurs le stipulait le pragmatisme. La cognition advient dans la chaîne complète qui lie le cerveau, le corps et le monde sans que l'on puisse dire lequel de ces éléments constitue sa substance. On doit concevoir la cognition comme étant une forme de pratique. On remarque ainsi que l'énactivisme endosse les thèses de la cognition incarnée et située mentionnées précédemment.

Plus particulièrement, l'approche énaactive a été introduite dans le but de mettre une série d'idées sous une même étiquette. Evan Thompson (2007, p.13) en énumère cinq :

Les organismes vivants sont des agents autonomes qui se génèrent et se maintiennent activement, et ainsi produisent (ou énaactent) leur monde (il s'agit de ce que l'on nomme la thèse de l'autopoïèse).

1. Le système nerveux est un système dynamique et autonome (il génère et maintient une structure d'activité cohérente et signifiante, avec une boucle circulaire d'interactions).
2. La cognition est l'exercice de savoir-faire qui s'expriment dans de l'action incarnée et située dans un environnement (couplage sensorimoteur entre l'organisme et son environnement).
3. Le monde vécu d'un organisme n'est pas prédéterminé, où le cerveau se ferait une représentation « véridique » (le monde perçu est plutôt un monde d'affordances dans lequel l'organisme et l'environnement se « codéterminent »).
4. L'expérience subjective n'est pas épiphénoménale, elle est un aspect primordial dans l'explication que l'on peut faire de la cognition (elle doit ainsi s'inspirer de la phénoménologie).

L'énaactivisme en sciences cognitives peut être conçu comme le rejet pragmatiste classique du rationalisme (la cognition n'est pas au service de la connaissance et de la vérité, mais de l'action et de la survie), augmenté par la biologie des systèmes et un souci soutenu d'ancrer la cognition dans la vie. En effet, la vision énaactiviste se fonde de cette manière sur la biologie intégrative (la biologie systémique) et stipule — comme le faisait le pragmatisme (Dewey 1896) — que la cognition sert l'action et que cette orientation vers l'action façonne la plupart des processus cognitifs. La cognition doit être perçue comme étant en continuité avec la vie (Thompson 2007), et elle doit

être comprise en tant que phénomène biologique ayant pour but de réguler le milieu interne de l'organisme, de maintenir son homéostasie. Il s'agit donc ici d'un rejet complet de l'idée suivant laquelle la cognition pouvait être comprise comme une série de phénomènes représentationnels rendus possibles par la computation. Maturana et Varela dans *The Tree of Knowledge* remarquent qu'un des éléments caractéristiques les plus évidents d'un organisme vivant est son autonomie ; et, selon eux, le mécanisme derrière la possibilité que tout être vivant soit un système autonome est l'autopoïèse (Maturana & Varela 1987, p.48), soit que ce qui caractérise un être vivant est le fait qu'il s'autoproduit continuellement, formant ainsi une frontière le distinguant de l'environnement, lui permettant de s'auto-organiser et de maintenir l'homéostasie. Cette notion d'autonomie a été par la suite généralisée par Thompson et Di Paolo (Di Paolo & Thompson 2014, Di Paolo et al. 2017) pour couvrir l'ensemble de l'expérience humaine. Cette notion d'autonomie ne doit pas être perdue de vue lorsqu'il est question d'expliquer l'esprit.

En acceptant ceci, il est important de remarquer que les processus corporels contribuent à la constitution même de la conscience et de la cognition d'une manière irremplaçable et irréductible. Les contingences sensorimotrices (O'Regan and Noë 2001, Noë 2004) dont nous avons parlé plus tôt ont certainement un rôle à jouer dans la cognition. Ce que nous percevons du monde n'est pas le monde en soi, mais le monde étant donné nos connaissances de nature fondamentalement pratiques des régularités sensorimotrices qui caractérisent notre expérience du monde : « *My sense of presence of the whole cat behind the fence consists precisely in my knowledge, my implicit understanding, that by a movement of the eye or the head or the body I can bring bits of the cat into view that are now hidden* » (Noë 2008, p.767). Les contingences sensorimotrices ne sont toutefois pas la seule chose ayant un impact sur la cognition comme le remarque Shaun Gallagher (2017) qui suggère que l'on doive aller plus loin et inclure les aspects affectifs venant du corps et ainsi que l'intersubjectivité. Nous détaillons ces deux développements tour à tour.

D'abord, on doit inclure les aspects tels que l'humeur et les états émotionnels, les états corporels comme la fatigue, la faim, la douleur, toutes les dimensions motivationnelles qui caractérisent les interactions avec le monde (Stapleton 2013, Barrett and Bar 2009). Les processus impliqués dans l'homéostasie influencent grandement le couplage entre l'organisme et son environnement et font de cette manière partie de ce qui façonne les processus cognitifs. Shaun Gallagher (2017), pour donner un exemple, nous dit que dans les cas d'hypoglycémie, la perception change, mais ce n'est pas parce que le cerveau « représente » la faim et la fatigue, mais parce que le système perceptuel (le cerveau et le corps) est chimiquement (matériellement) affecté par la faim et la fatigue actuelles. Ainsi, et on l'a vu, la fonction de la perception n'est pas seulement d'identifier ce qui se trouve dans l'environnement et de guider les mouvements corporels. En effet, la perception est toujours dans un sens orientée vers le futur, vers ce qui s'en vient, selon les besoins et les buts de l'organisme, et toujours teintée d'une certaine trame affective (Barrett et Bar 2009). De plus, la perception elle-même est influencée par les affects venant de l'intéroception. Une pente sera perçue particulièrement abrupte si l'on est fatigué, la distance entre l'endroit où l'on se trouve sur un lac et le bord sera surestimée si le moteur du canot vient de mourir et que l'on doit ramer. William James disait d'ailleurs qu'une pomme semble plus rouge et plus grosse lorsqu'on a faim (James 1890). Autre exemple particulièrement intéressant : il a été montré dans une étude concernant les décisions de justice, dans laquelle 1 112 décisions (étalées sur 50 jours) rendues par huit juges israéliens, que les demandes de libération conditionnelle étaient acceptées à 65 % au début de la journée et étaient presque entièrement refusées près de l'heure du repas, pour ensuite être encore acceptées à 65 % au retour de la pause (Danziger et al. 2015). C'est dire que

notre perception (notre cognition) est influencée par des facteurs affectifs⁶, et ceci dans le but de guider l'action, de maintenir l'homéostasie.

Ensuite, il faut aussi mettre l'accent sur l'intersubjectivité, où la trame affective et les actions de l'autre sont également présentes. Dans le contexte social, la perception n'a pas simplement pour but de reconnaître la personne qui est là devant nous : « *we don't simply perceive the snapshot of a face in an instant with the task of recognizing it, we perceptually respond over time to affordances offered by the others' emotions as well as their actions* » (Gallagher 2017, p.117). Il y a dans la sphère sociale de la perception ce côté « actif », ce côté interactionnel et affectif qui est présent dans nos interactions sociales. Shaun Gallagher et Somogy Varga soutiennent que la compréhension sociale n'est pas indirecte. Le problème des autres esprits serait ainsi en quelque sorte un faux problème. Nous sommes capables de « voir » (et, en fait, nous voyons) directement l'esprit des autres dans nos interactions sociales incarnées : « *in our everyday interactions with others, we are able to directly perceive their intentions and emotions; perception can grasp more than just surface behavior the intention in intentional behavior and the emotion in emotional expression* » (Gallagher & Varga 2013, p.186-7). Dans les actions des autres, dans leurs expressions, dans leurs mouvements corporels, nous percevons les autres et agissons, interagissons, avec les « affordances sociales » qu'ils nous donnent. De cette manière, il est important d'un point de vue énonciviste de concevoir les processus intersubjectifs en termes de phénomène incarné.

Bref, voici ce qu'il faut retenir : qu'il s'agisse d'un organisme seul, ou de plusieurs organismes en interaction, le cerveau (ou les cerveaux dans le cas de la cognition sociale) ne peut pas être la seule unité d'explication. En effet, l'organisme est dans une

⁶ Dans l'étude sur les juges, il pourrait s'agir de la faim et/ou de l'humeur et/ou de la fatigue et/ou d'autres affects, mais l'étude ne permet pas de conclure en faveur de l'un ou l'autre parce qu'il n'y a pas eu de mesure de ces affects sur les juges. Les auteurs eux-mêmes le remarquent d'ailleurs.

relation dynamique avec son environnement et avec d'autres organismes, les deux sources d'affordances. Évidemment, le cerveau a un rôle important à jouer, mais il en va de même pour le corps qui permet le couplage et la boucle « perception-action » avec l'environnement qui lui est, dans le cas des humains, autant physique que social et culturel (Gallagher 2017, p.162). L'énactivisme inspiré par la biologie de l'évolution change notre manière de voir ce qu'est au final le travail du cerveau. Contrairement à ce que l'on pourrait croire à première vue, le cerveau n'a pas pour but de « représenter » le monde : « *A brain did not evolve for rationality, happiness or accurate perception. All brains accomplish the same core task : to efficiently ensure resources for physiological systems within an animal's body (i.e. its internal milieu) so that an animal can grow, survive and reproduce* » (Barrett 2017, p.3). De cette manière, le cerveau ne représente effectivement pas le monde, mais, d'une certaine manière, il « répond » au monde et il le façonne dans le but de se maintenir en vie.

Il est intéressant de remarquer que plusieurs thèses des sciences cognitives incarnées et éactives se trouvaient déjà dans certaines des idées phares du pragmatisme classique en philosophie. Il est possible de retrouver à peu près tout ce qui a été dit dans cette section dans la philosophie pragmatiste classique. Or, les auteurs et autrices retracent souvent l'origine de la cognition incarnée et éactive dans la phénoménologie, en mentionnant des philosophes comme Husserl, Heidegger et Merleau-Ponty⁷, et pratiquement jamais dans le pragmatisme classique. D'ailleurs, l'entrée « *Embodied Cognition* » de l'encyclopédie Stanford de philosophie ne fait mention à aucun endroit du mot « pragmatisme », tandis qu'il y a une section complète consacrée à la phénoménologie (Wilson & Foglia 2017). Or, plusieurs aujourd'hui commencent à relever cette proximité théorique au pragmatisme classique (Gallagher 2014,

⁷ Varela, Thompson et Rosch se sont grandement inspirés de la phénoménologie de la perception de Merleau-Ponty pour articuler leur vision de la cognition. Husserl disait que nous percevons les objets du monde en termes de ce que nous pouvons faire avec et Heidegger stipulait que notre relation au monde est une relation « pratique » et non passive ou encore de l'ordre de la contemplation.

Menary 2015, Anderson 2017, Williams 2018). Comme on l'a vu, la tradition pragmatiste voyait la cognition comme étant au service de l'action. En effet, pour le mouvement américain, une des idées fondamentales est que la cognition est un couplage organisme/environnement continu. L'expérience du monde est physiquement incarnée et environnementalement située et c'est aussi ce que la deuxième génération en sciences cognitives soutient. Comme le pragmatisme, il y a une attention particulière portée à l'action plutôt qu'à la contemplation, à la pratique plutôt qu'à la théorie, au corps plutôt qu'à l'esprit. D'ailleurs dès les premiers paragraphes de *Démocratie et éducation*, on peut lire ceci : « un être vivant est un être qui, pour assurer le maintien de son activité, soumet et contrôle les énergies qui, autrement, le dévoreraient. La vie est un processus d'autorenouveau par action sur l'environnement » (Dewey MW9 : 4 ; 2011, p.79). On constate que ce genre de propos est en lien direct avec la thèse énoncée de l'autopoïèse.

C'est ainsi en ce sens que l'on parle d'un tournant pragmatique en ce moment en sciences cognitives (Engel et al. 2013, Engel et al. 2015). Le cadre de travail pragmatique n'est pas seulement viable : il est aussi appuyé par de nombreuses études empiriques (Clark 2012, Anderson 2014, Gallagher 2017). Ainsi, les idées de la deuxième génération en sciences cognitives peuvent trouver leur source dans le pragmatisme classique en philosophie, et il en va de même avec une théorie émergente en neuroscience du fonctionnement du cerveau vers laquelle nous nous tournons à présent.

2.3 Tournant pragmatique, acte 2 : Les neurosciences prédictives

L'approche traditionnelle de la perception voit le cerveau comme un organe traitant l'information sensorielle de manière ascendante, des traits les plus élémentaires aux plus abstraits. Cette manière de voir la perception (voir par exemple Biederman 1987), comme une « reconstruction » des stimuli, comme une détection progressive, étape par

étape, de traits (majoritairement) du bas vers le haut de la hiérarchie fait du cerveau un engin qui réagit aux stimuli sensoriels qu'il reçoit via les sens, les traite, leur donne un sens, et engendre ensuite une « réponse » (motrice ou autre) : le bon vieux modèle « stimulus-réponse » avec du traitement d'information entre les deux. Le paradigme du traitement prédictif (*predictive processing* — TP dans la suite) (Clark 2013, 2016 ; Hohwy 2013, Seth 2013, Friston 2010) renverse en quelque sorte cette vision et fait du cerveau une machine probabiliste de prédiction. Selon cette théorie, le cerveau cherche sans relâche à prédire, à anticiper, le flux de signaux venant du monde, il tâche sans cesse à « expliquer » les causes (expliquer les objets et états du monde) qui se cachent derrière les effets (derrière les entrées sensorielles). En suivant Williams (2018), Bruineberg et collaborateurs (2018) et Orlandi (2018) on peut faire voir qu'il y a (au moins) deux manières de concevoir le TP, une version plus cartésienne ou encore helmholtzienne (ou encore pour notre propos une version dehaenienne) et une version plus énaactive ou encore pragmatique.

2.3.1 Le TP cartésien ou helmholtzien⁸

Une manière fréquente de présenter le TP est d'en faire une solution à un supposé problème de la perception. Jakob Hohwy (2013) par exemple nous dit ceci :

Our senses are bombarded with input from things in the world. On the basis of that input, we perceive what is out there. The problem that will concern us is how the brain accomplishes this feat of perception. [...] A very basic and useful formulation of the problem of perception is in terms of cause and effect. States of affairs in the world have effects on the brain—objects and processes in the world are the causes of the sensory input. The problem of perception is the problem of using the effects—that is, the sensory data that is all the brain has access to—to figure out the causes. It is then a problem of causal inference for the brain, analogous in many respects to

⁸ Bien que ces penseurs soient connus pour plusieurs idées, on se souvient de René Descartes ici pour son représentationnalisme, et de Hermann Ludwig von Helmholtz pour avoir défendu l'idée que la perception est inférentielle.

our everyday reasoning about cause and effect, and to scientific methods of causal inference. (p.13)⁹

Le problème serait donc de savoir comment le cerveau peut inférer la cause des entrées sensorielles étant donné 1) qu'il n'aurait accès qu'aux entrées elles-mêmes (qu'il serait pris à l'intérieur de la boîte crânienne) et que 2) les signaux sont souvent très ambigus, bruités et indéterminés. Ici, l'inférence bayésienne peut s'avérer la solution. Le théorème de Bayes représente en effet une manière optimale de mettre à jour les croyances étant donné les évidences lorsqu'il y a incertitude. Ce que nous dit le théorème est que la probabilité d'une hypothèse étant donné une expérience (ce qu'on appelle techniquement la « probabilité *a posteriori* de l'hypothèse ») est proportionnelle à la probabilité de l'évidence étant donné l'hypothèse (ce qu'on appelle techniquement la vraisemblance [*likelihood*] de l'hypothèse) pondérée par la probabilité *a priori* de l'hypothèse¹⁰. Par exemple, l'hypothèse selon laquelle il y a soit (H1) des extraterrestres sur le toit, soit (H2) des animaux qui essaient d'ouvrir les poubelles soit (H3) le vent qui frappe sur la maison et la fenêtre étant donné l'évidence (E1) qu'il y a un bruit de grincement venant de la fenêtre pendant la nuit. H3 et H2 ont une plus grande probabilité antérieure (*prior*) que H1 (dans la mesure où l'on annonçait de grands vents cette nuit-là et qu'il y a souvent des animaux qui rôdent dans la cour), et la vraisemblance (*likelihood*) du bruit spécifique entendu (E1) est plus élevé s'il y avait du vent que si des animaux essayaient d'ouvrir les poubelles (le son ressemble plus à celui que ferait le vent que celui que feraient des animaux), nous infèrerons qu'il s'agit du vent, et nous nous recoucherons paisibles, étant convaincus de notre

⁹ Clark (2013, p.3) en fait une présentation semblable en nous disant que « *the task of the brain, when viewed from a certain distance, can seem impossible: it must discover information about the likely causes of impinging signals without any form of direct access to their source* ».

¹⁰ Selon la formule de Bayes, l'on doit diviser le tout par la probabilité marginale de l'évidence, mais cette opération est souvent omise dans le cas des systèmes prédictifs puisque sa considération affecte toutes les hypothèses également et donc ne change pas le choix de l'hypothèse (voir Hohwy 2013, pp. 34-37 ; Stone 2013, pp. 15-16).

explication. Et selon le TP, c'est via le codage prédictif hiérarchique (une stratégie de compression de données) et la minimisation de l'erreur de prédiction que le cerveau réussit à approximer l'inférence bayésienne.

D'une manière plus intuitive, ce que nous dit le TP est que notre perception est influencée par nos « croyances » ou « connaissances » antérieures, lesquelles sont dérivées de nos expériences passées par apprentissage par réduction de l'erreur de prédiction. Selon cette perspective helmholtzienne, plus internaliste, le cerveau doit trouver ce que « veulent dire » les nombreuses stimulations diverses reçues du monde extérieur : il doit inférer la cause des entrées, et c'est justement sur la base de nos expériences passées et étant donné le contexte du moment qu'il s'y affine. L'illusion du masque creux (*hollow mask illusion*) (Clark 2016, p.50) illustre bien ceci. Nous voyons la partie concave du masque comme étant convexe. On peut expliquer ce phénomène en disant que nous nous attendons à voir des visages proéminents (et nous nous attendons à ceci parce que c'est ce que nos cerveaux prédisent) : nous ne rencontrons pas dans le monde des personnes qui ont des visages concaves et notre cerveau dérive par apprentissage bayésien une « croyance » à l'effet que les visages sont convexes et non concaves et prédit que le visage que nous rencontrons est en toute probabilité convexe. Toutes nos expériences depuis la naissance avec les visages font en sorte que lorsque nous voyons le masque creux, le cerveau conçoit cette entrée comme étant un visage — visage, qui est très probablement convexe. En ce sens, le cerveau est une machine anticipative, et ce dont nous avons conscience subjectivement est le résultat d'inférences du cerveau ; et dans le paradigme du traitement prédictif, ces inférences prennent la forme de prédictions (sur la base d'a priori) concernant les causes cachées de l'entrée — cachées parce que, comme le problème de la perception le stipule, nous n'y avons jamais directement accès, elles sont inférées de manière abductive.

Plus techniquement, dans le modèle prédictif, il y a un traitement hiérarchique des signaux qui estime à différentes échelles d'espace et de temps les différents éléments du signal entrant. On y remarque également une asymétrie fonctionnelle entre les signaux descendants et ascendants dans la hiérarchie. En effet, le flux d'activité descendante encode les prédictions du système (à différentes échelles spatiotemporelles, selon le degré hiérarchique du modèle) concernant la cause des entrées sensorielles étant donné ce qu'il « connaît » déjà du monde. Il ne reste comme signaux ascendants que ce qui n'a pas été correctement prédit par les couches supérieures : les erreurs de prédictions, c'est-à-dire la différence entre la prédiction et l'entrée. Ces signaux d'erreurs montent dans la hiérarchie et permettent la mise à jour bayésienne du système pour les prédictions suivantes — il s'agit là de l'apprentissage bayésien. En effet, un apprentissage est dit bayésien lorsque le système peut remplacer pour ses prochaines prédictions la probabilité *a priori* de l'hypothèse par la probabilité *a posteriori* calculée au moyen du théorème. De plus, les prédictions elles-mêmes peuvent avoir, dépendamment du contexte, plus ou moins de précision en fonction de l'incertitude sensorielle estimée. Pour reprendre un exemple utilisé par Clark et Lupyan (2015), si nous conduisons une voiture sur une route familière, mais plongée dans la pénombre et le brouillard, il est plus avantageux de laisser les prédictions prendre plus de place, tandis que si nous conduisons rapidement sur une route dangereuse et inconnue dans les montagnes par une journée ensoleillée, il devient préférable de laisser les signaux ascendants prendre la relève. De la même manière, sur une autoroute qu'on connaît bien, sur laquelle on est seul par une belle journée de soleil, les prédictions dominant tellement qu'on oublie ce qu'on a fait pendant que l'on conduisait, on est arrivé à destination sans se souvenir ce qui s'est passé réellement durant le trajet. Tout ceci est expliqué par l'ajustement du poids (du volume, du gain) des unités d'erreur de prédiction.

Cette conception helmotzienne du traitement prédictif est adoptée par Dehaene (2018). Voici ainsi comment il formule le tout :

- Le cerveau se forge une prédiction en pondérant les entrées sensorielles.
- Il calcule ensuite la différence entre la prédiction et le stimulus réellement obtenu : c'est l'*erreur de prédiction*...
- Le cerveau corrige ensuite sa représentation interne, en proportion directe de la force du stimulus et de la valeur de l'erreur de prédiction, afin que sa prochaine prédiction soit plus proche de la réalité. (Dehaene 2018, p.268)

Comme le remarque Jakob Hohwy dans la citation au début de cette sous-section, les inférences que fait le cerveau, de ce point de vue, ne sont ainsi pas si éloignées des inférences causales que font les scientifiques, ce que soutient également Dehaene. L'idée est la suivante : comme il a été dit précédemment, les seules choses auxquelles le cerveau a accès sont les prédictions et les erreurs de prédictions, et il doit tenter d'inférer l'hypothèse qui explique le mieux le signal ascendant (l'erreur de prédiction) : « *[Prediction error minimization] gives the brain access to two things it can compare, namely the predicted and the actual input. Moreover, the divergence between these two is harnessed in a bound that can be minimized in inference, in a way guaranteed [...] to approximate the true state of affairs* » (Hohwy 2016, 262). La perception devient alors du test d'hypothèses dans le but d'expliquer le mieux possible l'évidence sensorielle. De cette manière, les inférences que fait le cerveau sont analogues aux inférences que les scientifiques font : « *perceptual inference is much like scientific hypothesis testing* » (Hohwy 2013, p.76); « À notre insu, notre cerveau agit constamment comme un statisticien à l'affût de la moindre régularité cachée derrière des données qui nous semblent aléatoires » (Dehaene 2014, p.121); « le cerveau se comporte comme un scientifique en herbe [... et] parvient, au fil de ses observations, à formuler une théorie de plus en plus juste du monde extérieur » (Dehaene 2018, p.87-8).

Or, on pourrait se demander en quoi cette version du TP qui fait du cerveau un scientifique a quoi que ce soit à voir avec le pragmatisme ou l'énactivisme

(Gallagher 2017, Williams 2018, Bruineberg et al. 2018). En effet, il semblerait que c'est plutôt l'inverse. Ce que nous percevons est une « réalité virtuelle » ou encore une « hallucination contrôlée ». Le modèle se met en opposition avec les idées générales pragmatistes et énaïvistes mentionnées dans les deux sections précédentes. Le cerveau est vu comme un organe qui essaie de reconstruire, à partir du signal, de manière véridique la structure objective du monde, c'est-à-dire ce qui est là objectivement dans le monde. De plus, cette version du TP est particulièrement internaliste (Anderson & Chemero 2013 ; Anderson 2017). Le cerveau est séparé du monde, il est isolé à l'intérieur de la boîte crânienne, il n'a accès au monde que d'une manière indirecte. Ainsi, il semblerait que non seulement le TP n'a rien à voir avec le pragmatisme et l'énaïvisme, mais qu'il s'y oppose littéralement. C'est du moins ce que croit Jakob Hohwy (2013, 2014, voir aussi Kiefer & Hohwy 2017) qui résume ici assez bien l'idée du TP cartésien dans les citations suivantes :

the inferential task [of the brain] is essentially indirect. [...] Selecting and shaping parameters certainly happen in close causal commerce with the world, but it is nevertheless an inferential process of explaining away the ever changing but oftentimes predictable patterns of sensory input. What are behind the barrier of sensory input are hidden causes in the sense that they must be revealed in causal inference. [...] If a mad scientist was a hidden common cause of all that sensory input we would have no way of knowing unless she made an independent causal contribution to sensory input. The mad scientist would have a difficult job at keeping up with our selective sampling of the world in active inference but in principle it is just about projecting sensory data that are close enough to what we expect on our sensory "screens". It seems to me that it is better to accept the indirectness implications of the prediction error minimization framework than trying to force it into an embodied and externalist shape. (Hohwy 2013, p.220-1)

[Prediction error minimization] should make us resist conceptions of this [mind-world] relation on which the mind is in some fundamental way open or porous to the world, or on which it is in some strong sense embodied, extended or enactive. Instead, PEM reveals the mind to be inferentially secluded from the world, it seems to be more neurocentrically skull-bound than embodied or extended, and action itself is more an inferential process

on sensory input than an enactive coupling with the body and environment.
(Hohwy 2016, p.259)

Nous l'avons vu, le mouvement pragmatiste et énéactiviste stipule que l'organisme et l'environnement (physique et social) se spécifient l'un par l'autre, qu'il y a primauté de l'action, de la pratique, que le monde perçu de l'organisme est un monde d'affordances dépendant de sa structure, de ses capacités et habiletés. La perspective subjective vécue d'un organisme individuel reflète plus ses besoins, ses inquiétudes, ses habiletés, et détermine quelles affordances sont pertinentes dans une situation particulière, au lieu qu'elle reflète le monde objectif lui-même. Dans ce sens, Hohwy a raison de dire qu'il y a tension entre la conception helmholtzienne (cartésienne et dehaenienne) de la perception et celle qui endosse des versions plus énéactives. Pour voir comment le TP peut proposer un mariage harmonieux et heureux avec le pragmatisme et l'énéactivisme, il faut maintenant nous tourner vers une interprétation du TP qui part d'un autre présupposé théorique.

2.3.2 Le TP pragmatiste

Dans le TP, il est important de remarquer qu'il y a une autre façon de minimiser l'erreur outre l'inférence perceptuelle : il s'agit de l'inférence active. Elle consiste à changer l'entrée sensorielle pour la faire correspondre à la prédiction (ou pour la tester, l'examiner) en agissant dans le monde, en naviguant et en échantillonnant l'environnement. Dans le cadre du TP cartésien, l'inférence active reste une manière d'accomplir la fonction particulière de bien représenter le monde, d'avoir un modèle véridique du monde :

Active inference is the process of actively sampling the world for evidence that would support one's hypotheses. For example, expecting that a burglar has been about, I might walk over to the window and look out at the snow and acquire the expected footprint evidence for this hypothesis (a similar example can be made for how eye movement is guided by hypotheses). In such a case, information that the sensory input occurs is

still an indispensable part of the evidential support for the hypothesis.
(Hohwy 2016, p.265)

À travers l'action, on réussit à confirmer une hypothèse : « *action enhances the posterior confidence in the inference. Action makes decent inferences better* » (Hohwy 2013, p.79). Mais c'est toujours dans le but représentationnel et renforce l'idée que le cerveau est un scientifique qui teste ses hypothèses : « *scientists can do various things in response to prediction error. They can adapt the parameters of the model to make it better reflect the samples drawn from the hidden cause. Or, they can change the samples they draw from the hidden cause* » (Hohwy 2016, p.261), et c'est exactement ce que le cerveau ferait via l'inférence perceptuelle et l'inférence active.

Pour comprendre à quoi ressemble un TP pragmatique, il faut commencer par souligner que l'inférence perceptuelle et l'inférence active ne sont pas deux manières distinctes de réduire l'erreur, mais plutôt un même processus constant où les deux s'entrelacent, où les deux se supportent mutuellement afin de minimiser l'erreur de prédiction. On cherche à prédire la prochaine entrée activement en échantillonnant le monde et en revoyant les modèles génératifs dans une danse constante des signaux descendants et ascendants. Ainsi, pour le dire comme Andy Clark, dans ce modèle, « *Action, cognition, and perception are thus continuously co-constructed, simultaneously rooted in the cascading predictions that constitute, test, and maintain our grip upon the world* » (Clark 2016, p.138).

En fait, le TP du tournant pragmatique va même plus loin et stipule que l'inférence active est primaire dans le processus ; l'inférence perceptuelle ne devenant alors qu'un moment du processus d'inférence active. Allant en ce sens, Bruineberg et collaborateurs (2018) stipulent qu'il n'y a que l'inférence active qui peut réduire la surprise. Les inférences active et perceptuelle ne sont pas deux stratégies différentes pour minimiser l'erreur de prédiction : « *Perceptual and active inference are entangled parts of a single process of readying the organism to act in such a way as to improve*

its grip on the environment » (p.2430). La perception ne peut pas être séparée de l'action parce qu'elle est une « préparation » de l'organisme à agir dans le but de réduire la surprise, et, ce faisant, à augmenter sa prise sur l'environnement et les affordances qui s'y trouvent en le préparant à ce qui s'en vient. L'organisme agit pour corriger sa « désharmonisation » (*dis-attunement*) avec l'environnement. Lorsque l'on réalise ceci, il est possible de voir pourquoi la version cartésienne ou helmholtzienne du TP n'est pas tenable. Une inférence parfaite de ce qui est là dans le monde est complètement inutile si elle ne nous donne pas une idée de l'action qui va réduire la surprise et augmenter notre prise sur l'environnement.

Contrairement à sa version cartésienne (Hohwy 2013, 2014, Kiefer & Hohwy 2017, Dehaene 2014, 2018), le TP du tournant pragmatique soutient que la fonction de la minimisation de l'erreur de prédiction n'est pas de permettre au cerveau de produire une copie — un miroir interne — de la structure objective de l'environnement ambiant. Le pragmatisme s'oppose à ce genre de vision de l'activité cognitive et le TP pragmatique également (Anderson 2017, Barrett 2017, Bruineberg et al. 2018, Clark 2016, Seth 2015, Williams 2018). La minimisation de l'erreur de prédiction se trouve à être un cas particulier d'un impératif plus fondamental pour les agents biologiques, soit la capacité de s'auto-organiser et de maintenir l'homéostasie dans des contextes environnementaux changeants, et c'est ce que l'on nomme le principe de l'énergie libre (Friston 2009, 2010 — PEL dans la suite). Ce principe fait voir la minimisation de l'erreur de prédiction comme étant la solution à un problème fondamentalement pragmatique et non à un problème représentationnel. Le travail du cerveau serait de réguler le milieu interne de l'organisme. Ainsi, l'homéostasie peut être décrite comme étant la minimisation de la surprise à long terme, et la façon dont les systèmes biologiques évitent la surprise est en minimisant l'énergie libre qui peut se traduire par l'erreur de prédiction. En d'autres termes, le problème que résout la minimisation de l'erreur de prédiction est celui de la régulation homéostatique. La fonction de la minimisation de l'erreur de prédiction n'est pas de reconstruire de

manière véridique l'environnement perçu par l'organisme, mais d'assurer efficacement les ressources pour les systèmes physiologiques d'un organisme, pour qu'il puisse grandir, survivre et se reproduire (Barrett 2017, p.3) : ce qui, encore une fois, était une idée au fondement de la tradition pragmatiste.

Et en partant du PEL, et du présupposé que la fonction du cerveau est de réduire la surprise afin de maintenir une prise sur l'environnement, ce qui en découle est que le cerveau n'est pas et ne devrait surtout pas se comporter en scientifique en herbe. Pour le dire comme Bruineberg et al. (2018), si le cerveau est vraiment un scientifique, alors il est lourdement engagé à assurer la vérité d'une unique théorie, la théorie que « je suis en vie » (p.2430). Il s'agit là de la croyance *a priori* fondamentale qui guide toute action : « *If my brain is a scientist, it is a crooked and fraudulent scientist - but the only sort of scientist that can survive an inconstant and capricious world* » (p.2430-1). Ainsi, la question n'est pas de savoir ce qui se trouve là objectivement dans le monde, mais plutôt quelles actions vont minimiser la surprise. Pour prendre l'exemple de Bruineberg et son équipe, si nous tombons dans l'escalier, le signal entrant peut très bien être bien prédit minimisant ainsi l'erreur de prédiction. Bien que le signal entrant nous dise qu'il est plus que probable que nous sommes en train de tomber, ce que le cerveau *doit faire*, c'est traiter ce signal comme étant vraiment improbable et faire tout en son pouvoir pour nous remettre dans une situation plus probable, étant donné que la préoccupation primaire de l'organisme est de tendre vers l'augmentation de sa prise sur les affordances disponibles dans son environnement.

Nous l'avons vu, selon les philosophes énaïvistes, il y a continuité de l'esprit et de la vie (Di Paolo 2005, Thompson 2007). Et il s'agit là exactement du point de départ du PEL de Friston, ce qui suggère un terrain commun avec l'énaïvisme. En fait, c'est l'action qui minimise la surprise à l'intérieur du PEL. L'action a pour effet de changer la relation qu'a un organisme avec son environnement, ce qui a comme conséquence de changer les états sensoriels de l'organisme, et c'est ce que Friston nomme

l'inférence active. Une façon de voir le PEL, comme on l'a vu, est en tant que mesure de désynchronisation (*dis-attunement*) des dynamiques internes et des dynamiques environnementales (Bruineberg & Rietveld 2014, Bruineberg et al. 2018). Le principe nous dit que minimiser l'énergie-libre est crucial pour les organismes vivants dans le but de maintenir leur organisation à l'intérieur de leur niche environnementale. De cette manière, l'organisme travaille à anticiper le genre d'interactions avec le monde qui va contribuer à son développement, à son épanouissement. On se rend alors compte, encore une fois, que la fonction des modèles génératifs n'est pas réellement de donner à l'organisme une image véridique du monde.

En effet, contrairement à la vision que notre relation au monde est une relation médiatisée d'une façon représentationnelle, les théories énoncées par les prédictivistes du tournant pragmatique, qui s'inspirent également de la psychologie écologique (Gibson 1979), conçoivent la perception comme étant directe. L'activité neurologique ne ressemble pas à du raisonnement logique ou à des inférences scientifiques : elle n'est qu'une harmonisation avec le monde, avec l'environnement. D'ailleurs, selon Nico Orlandi (2016, 2018), les termes comme « attentes », « prédictions » et « signal d'erreur » doivent être vus comme étant des métaphores qui ne sont pas des éléments représentationnels¹¹. Ceci rend possible un mariage entre le pragmatisme, l'énoncisme et les approches prédictives. Si l'on reprend l'exemple du masque creux, le cerveau, pour le dire comme Orlandi (2016, 330), ne reconstruit pas de manière interne les objets et les scènes du monde, où les connaissances a priori sont utilisées pour inférer ce qui est présent dans le monde. On perçoit le masque creux de telle sorte simplement parce que la « stimulation » sensorielle est typiquement donnée par des objets (dans ce cas-ci un visage) qui sont convexes. Nous sommes dans un sens « en

¹¹ Certains comme Gallagher (2017) vont jusqu'à dire que l'on devrait complètement changer le vocabulaire utilisé, mais une discussion allant en ce sens dépasserait quelque peu le cadre de ce mémoire.

phase » (*attuned*) à ces faits, et cette harmonisation vient de processus biologiques, de la boucle cognitive entre l'environnement et l'organisme et non de processus statistiques sophistiqués et « rationnels ».

Enfin, remarquons également que le TP énonciviste propose une conception intéressante des émotions. Comme nous l'avons vu, le but fondamental de la minimisation de l'erreur de prédiction est le maintien de l'homéostasie. Ceci suppose que le cerveau ait un modèle du corps, un certain « sens » de son état physiologique. Il doit être en mesure de rendre compte, comme il le fait des stimuli externes, de ce qui se passe à l'intérieur du corps, des stimuli internes. Selon Anil Seth (2013), le cerveau essaie également de prédire les signaux sensoriels provenant des viscères et des organes, ce que l'on nomme l'intéroception (états des organes internes, le rythme cardiaque, la pression sanguine, etc.). Ceci est particulièrement important parce que cette perception et le contrôle des états internes sont ce qui nous maintient en homéostasie, ce qui nous maintient en vie. À l'aune du tournant pragmatique en neurosciences cognitives, le TP énonciviste, qui renverse la façon dont on conçoit normalement l'intéroception, stipule que les prédictions descendantes tentent constamment de prédire les causes des signaux intéroceptifs selon le contexte. Dans ce cas-ci, il s'agit de contrôler, de réguler, les états internes afin de maintenir en vie l'organisme biologique que nous sommes. Ainsi, qu'il s'agisse de l'intéroception, de la proprioception, ou de l'extéroception, le cerveau cherche sans relâche à anticiper le corps, le monde dans le but de maintenir l'organisme en vie, dans le but de guider l'action.

Selon le TP (Seth 2013, Seth & Friston 2016, Barrett 2016, 2017), c'est ce mécanisme qui est à l'origine des émotions que nous ressentons. Dans les niveaux plus élevés de la hiérarchie, on suppose une intégration des informations intéroceptives, proprioceptives, et extéroceptives. Partant de l'idée qui remonte à James et Lange, cette approche suggère que les émotions émergent dans la perception de changements corporels :

My theory, on the contrary, is that the bodily changes follow directly the perception of the exciting fact, and that our feeling of the same changes as they occur IS the emotion. Common-sense says, we lose our fortune, are sorry and weep; we meet a bear, are frightened and run; we are insulted by a rival, are angry and strike. The hypothesis here to be defended says that this order of sequence is incorrect, that the one mental state is not immediately induced by the other, that the bodily manifestations must first be interposed between, and that the more rational statement is that we feel sorry because we cry, angry because we strike, afraid because we tremble, and not that we cry, strike, or tremble, because we are sorry, angry, or fearful, as the case may be. Without the bodily states following on the perception, the latter would be purely cognitive in form, pale, colorless, destitute of emotional warmth. We might then see the bear, and judge it best to run, receive the insult and deem it right to strike, but we should not actually feel afraid or angry. (James 1890, p.449-50)

Le TP part de cette idée en y ajoutant ce qu'Andy Clark nomme une « predictive twist » (Clark 2016, p.233). En effet, selon le TP, les expériences émotionnelles sont le résultat d'un amalgame de prédictions intéroceptives, proprioceptives et extéroceptives. C'est par les différents contextes extéroceptifs menant à des prédictions intéroceptives qui « expliquent » les signaux intéroceptifs que les émotions émergent, dans le même but de réduire l'erreur de prédiction, dans le même but de guider l'action et maintenir l'homéostasie. C'est ce qui explique d'ailleurs l'idée énaïviste que notre perception du monde est toujours teintée d'une certaine trame affective : « *the state of your body budget is the basis for every thought and perception you have, so interoception and affect are built into every moment* » (Barrett 2016, p.81). Ceci étant parce que l'organisme doit justement agir et façonner son environnement pour maintenir son homéostasie. On ne peut pas s'en dissocier, les affects et par le fait même les émotions sont partie intégrante de notre expérience subjective. Ainsi, les émotions émergent de prédictions qui combinent les signaux ascendants (intéroceptifs, proprioceptifs et extéroceptifs) avec les signaux (les prédictions) descendants pour ainsi donner à l'organisme une idée de la manière dont vont les choses et de l'action à prendre. Il n'y aurait donc pas ici non plus de dissociation claire et nette entre perception, cognition, action, émotion, mais plutôt une forte liaison constamment en interaction. Fait

intéressant, comme le remarque Lisa Feldman Barrett, les prédictions (et les erreurs) intéroceptives influencent grandement ce que l'on perçoit : « *Interoception in the moment is more influential to perception, and how you act, than the outside world is* » (Barrett 2016, p.79), ce qui tend à expliquer encore une fois de façon élégante l'étude sur les juges dont il a été question précédemment. Et évidemment, si les affects et les émotions influencent notre perception, notre vision de nous-mêmes et nos comportements (bref, s'ils influencent nos processus cognitifs), alors il est clair qu'ils ont un rôle important à jouer dans l'apprentissage.

2.4 Conclusion

On a vu dans ce chapitre que le tournant pragmatique que l'on observe actuellement en sciences cognitives (avec les approches incarnées et énaactives, et en neurosciences avec les modèles prédictifs du cerveau) peut trouver son fondement dans la forme de pragmatisme qu'endosse l'énaactivisme. Plusieurs passages de l'ouvrage de Dehaene laissent toutefois voir que ce dernier soutient plutôt une vision cartésienne du TP (ou du moins de l'approche bayésienne en sciences cognitives¹²). En effet, il semble laisser de côté l'importance primordiale de l'action, de l'interaction fondamental entre l'organisme et le monde en parlant du cerveau comme un organe de représentation, en disant que « notre cerveau [se forme] un modèle mental hypothétique du monde extérieur » (Dehaene 2018, p.243), que « les données sensorielles que nous recevons du monde extérieur nous servent à sélectionner ceux qui collent le mieux au monde qui nous entoure » (p.306), que le principe de l'apprentissage est de « rechercher, parmi une myriade de réglages possibles de notre modèle interne, ceux qui correspondent le

¹² L'approche bayésienne en sciences cognitives se distingue du TP tel que nous l'avons présenté de deux manières principalement : (1) elle ne s'intéresse pas aux mécanismes neurologiques qui pourraient sous-tendre les inférences bayésiennes caractérisant les capacités cognitives, et (2) elle applique dans ses modèles le calcul bayésien à proprement parler, plutôt que l'approximation du calcul bayésien que réalisent les équations qui définissent les modèles TP.

mieux à l'état du monde extérieur » (p.43), que « le cerveau se comporte comme un scientifique en herbe [...] et] parvient, au fil de ses observations, à formuler une théorie de plus en plus juste du monde extérieur » (p.87-8), et que lorsque qu'on parle d'engagement actif, cela « ne veut pas dire que l'organisme doit bouger. C'est dans la tête [...] que l'engagement actif fait son œuvre », et ainsi que « Cet engagement *n'a rien à voir* avec un mouvement visible de l'extérieur : les deux étudiants peuvent très bien rester immobiles, mais c'est le mouvement de la pensée qui les distingue » (Dehaene 2018, p.243-4, nous soulignons). Or, nous avons vu que la fonction du cerveau n'est pas de donner une image véridique de l'environnement, mais bien de maintenir l'homéostasie : le cerveau n'est pas un scientifique (Bruineberg et al. 2018) et il y a une importance fondamentale accordée au corps, à l'action, à l'environnement dans la cognition humaine. Il nous reste maintenant à voir comment les quatre piliers de l'apprentissage et l'éducation plus généralement peuvent s'articuler autour du pragmatisme en sciences cognitives et en neurosciences.

CHAPITRE III

EDUCATIONEM SACRAM PRAGMATICAM : PILIERS ÉNACTIFS ET IMPLICATIONS

Ce troisième et dernier chapitre se veut une tentative de faire le pont entre les piliers de l'apprentissage et les neurosciences cognitives inspirées par la tradition pragmatiste et énaïctiviste. Nous allons voir comment l'attention et l'engagement actif font sens à la lumière de ces approches. Il en ira de même pour l'erreur et la consolidation. C'est ici que les piliers mentionnés dans le premier chapitre deviennent des « piliers énaïctifs pragmatiques et prédictifs » auxquels nous référerons à l'occasion par l'expression plus simple « piliers énaïctifs »¹³. Comme nous le verrons, sous la loupe du TP énaïctiviste, les piliers de l'apprentissage deviendront un seul et unique grand « socle » de l'apprentissage qui permet avec un seul et même mécanisme d'expliquer les processus à la base de l'apprentissage. Enfin, une dernière section explorera des conséquences pratiques pour le milieu de l'éducation qui découle du travail effectué dans ce mémoire.

3.1 Premier pilier énaïctif : L'attention

Nous avons vu dans le premier chapitre que l'attention était « l'ensemble des mécanismes par lesquels notre cerveau sélectionne une information, l'amplifie, la canalise et l'approfondit » (Dehaene 2018, p.209). Ce premier pilier cadre assez bien dans le TP énaïctiviste. À la base, l'attention ne serait nulle autre que le processus par

¹³ Dans ce qui suit, nous prenons aussi pour synonyme les expressions « piliers énaïctifs » et « piliers pragmatiques », ainsi que « TP énaïctiviste » et « TP pragmatique ».

lequel le cerveau d'un organisme augmente (ou diminue) le gain sur l'erreur de prédiction. Cette pondération de l'erreur a justement pour but de donner l'information sensorielle la plus fiable possible selon le contexte dans lequel l'organisme en question se trouve (selon la tâche, selon la menace, selon l'opportunité, etc.) pour lui permettre d'agir et de façonner son environnement (Clark 2016, p.59-60). C'est ce qui se passe par exemple quand nous cherchons un objet que nous ne trouvons plus (des clés pour reprendre l'exemple d'Andy Clark). Il s'agit d'une façon d'altérer la perception pour isoler la cible que l'on cherche (ici, nos clés) : l'habileté de modifier les détails de nos propres traitements perceptifs afin de mieux extraire le signal du bruit. Et ceci joue un rôle majeur dans le TP pragmatique.

Revenons au rôle primordial du signal descendant. Pensons par exemple aux sons d'un langage que l'on connaît par rapport aux sons d'un langage que l'on ne connaît pas. Il est simplement impossible d'entendre le premier comme du simple bruit — et il en va de même avec le langage écrit (impossible pour une personne qui sait lire le français de voir « pomme » comme une simple série de traits). On l'a vu précédemment, il y a une influence descendante sur le traitement sensoriel : influence qui serait enracinée dans la création et le déploiement de modèles génératifs probabilistes qui essaient activement de prédire le flux d'entrées sensorielles dans le but de guider l'action. Andy Clark (2016, p.56) donne une série d'exemples qui montrent cette influence (le goût d'un vin blanc coloré en rouge sera décrit comme s'il s'agissait d'un vin rouge, les fruits de mer seront plus savoureux en la présence de bruit de l'océan, etc.). Tout ceci, c'est l'habileté de séparer le bruit du signal de manière flexible en formant et en déployant des estimations ciblées de nos propres incertitudes perceptuelles. Cette habileté est au cœur du traitement de l'attention du TP et joue un rôle majeur dans notre habileté à s'adapter et à façonner notre environnement pour y avoir une meilleure prise.

Cependant, selon le contexte, la tâche, ou la meilleure action à prendre, il faudra mettre plus de poids parfois sur la prédiction, parfois sur les entrées sensorielles. Ceci est

possible en estimant et en ré-estimant continuellement sa propre incertitude sensorielle. Ces estimations modifient l'impact des erreurs de prédiction sensorielles. C'est ce mécanisme qui définit l'attention. En effet, l'attention, interprétée de cette manière, est un moyen d'ajuster selon le contexte les interactions entre les influences descendantes et ascendantes en prenant en considération la fiabilité estimée des prédictions. Ainsi l'attention décrit le mécanisme par lequel certaines réponses des unités d'erreurs ont plus de poids (devenant ainsi plus apte à propulser l'apprentissage, l'action, etc.). Plus généralement, cela veut dire que le mélange de l'influence descendante/ascendante n'est pas statique ou fixe : le poids donné aux erreurs de prédiction varie selon le signal et selon le contexte.

Plus formellement, l'attention est le processus d'optimiser le gain synaptique pour représenter la précision de l'information sensorielle (l'erreur de prédiction) durant une inférence hiérarchique (perceptuelle ou active). La pondération de la précision donne la meilleure estimation de la fiabilité de l'information sensorielle elle-même ; ce qui veut dire que les prédictions descendantes ne sont pas seulement à propos du contenu du signal, mais aussi à propos de la « confiance » du système dans la génération de ses signaux descendants, c'est-à-dire leur probabilité estimée à être responsable d'erreurs de prédictions (Friston 2012). Physiologiquement, la précision correspond au gain ou à la sensibilité des cellules rapportant les erreurs de prédiction (Friston et al. 2015). De cette manière, l'attention n'est que « l'optimisation des attentes de précision dans le codage prédictif hiérarchique » (Hohwy 2013, p.70). L'erreur de prédiction est dépendante du contexte dans lequel se trouve un organisme. Plus l'organisme aura été en contact avec certaines « situations », mieux son cerveau pourra estimer l'erreur de prédiction attendue et donc déterminer le gain du signal d'erreur. Deux prédictions doivent ainsi être faites. Le système utilise ses croyances préalables du monde, les *a priori*, non seulement pour chercher à prédire le prochain signal sensoriel, mais il possède également ce que Friston appelle des hyperprior pour estimer (prédire) la précision de l'erreur de prédiction. Et pour revenir à l'attention dans l'apprentissage,

le fait d'augmenter le poids de certaines erreurs baissera (relativement) le poids des autres. Ceci tend à expliquer de manière très simple le phénomène de la cécité attentionnelle dont il a été question dans le premier chapitre et qui consiste en l'incapacité pour un individu de percevoir un stimulus flagrant lorsqu'il est concentré sur une autre tâche (Simons & Chabris 1999). Lorsque la précision attendue est élevée dans une région et que le gain des unités d'erreur concernées est augmenté, le seuil pour percevoir quelque chose dans les autres régions est plus haut qu'à la normale, ce qui fait en sorte que la probabilité qu'on le perçoive est minime (Hohwy 2013, p.199).

En ce qui concerne l'application du TP pragmatique en éducation, on peut dire que l'attention est un moyen par lequel un poids plus grand est accordé aux réponses générant un plus grand signal d'erreur, les rendant plus aptes à propulser, à stimuler l'apprentissage et l'action (Clark 2016, p.57). Et pour aller plus loin, n'oublions pas que le modèle prédictif endossé plus haut met l'accent sur l'inférence active. Souvenons-nous, selon cette perspective, l'inférence perceptuelle n'est qu'au service de l'inférence active qui, elle, est première. On pourrait même dire que l'attention se trouve elle-même à être de l'inférence active. D'un point de vue énonciviste en effet, tout processus cognitif est au service de l'action, sinon de l'action tout court. Il y a une boucle cognitive entre l'organisme et son monde vécu où l'information émerge (en tant qu'affordances). À l'intérieur de ce bouclage, on pourrait dire que l'attention est de l'action *au service de* l'apprentissage. En effet, lorsque, par exemple, on porte attention sur un texte, l'augmentation du gain de l'erreur fait qu'il y a une certaine zone préférentielle d'entrée de l'information qui sera privilégiée pour réduire l'erreur par des inférences actives. Les yeux, à cause de la modification du gain signal d'erreur (l'attention donc), saccaderont activement la zone en question. Plus intuitivement, pensons à un joueur de tennis qui apprend à faire ses services adéquatement. Son attention est dirigée vers l'action à faire : le gain sur les erreurs de prédiction sera augmenté et chaque erreur aura de larges effets à tous les niveaux de la hiérarchie. L'apprentissage est ainsi maximisé. Et lorsque le mouvement est appris (et comme on

le verra plus loin « consolidé ») le joueur maintenant « expert » (concernant ses services) n'aura plus besoin de porter attention à son service, il pourra la poser sur d'autres éléments à apprendre (planifier le prochain coup, respecter la stratégie et le plan de match, etc.). Ainsi, dans la perspective énaïviste du traitement prédictif que nous proposons, l'attention, comme les états mentaux en général sont conçus comme étant de l'action, l'attention elle-même est conçue comme étant une forme d'action : elle est réalisée par des boucles sensorimotrices « pilotées » par la gestion du gain sur l'erreur de prédiction.

Il ne faut pas non plus oublier l'aspect fondamentalement social que l'attention peut prendre en éducation. Et ici tout particulièrement, le rôle du langage dans la cognition est à prendre en compte. En effet, et on l'a vu, selon le pragmatisme classique la signification d'une idée est donnée dans ses conséquences pratiques. Le langage n'est pas un simple outil de communication, le langage est une activité, quelque chose que l'on *fait* : c'est une forme d'action, une activité fondamentalement sociale (Dewey LW1, Mead 2015, Anderson 2014). Pertinent pour notre propos ici, le langage serait un outil qui sculpte et modifie nos propres processus d'attention sélective (Clark 2012, p.48) : l'attention serait ainsi « *that crucial variable that linguistic scaffolding seems so potently to adjust* » (p.57). En se parlant à soi-même, on dirige l'attention vers la tâche à effectuer. On remarque ceci chez les enfants qui se parlent à voix haute pour résoudre un problème ou pour effectuer une tâche (lacer un soulier par exemple). Clark remarque également que les personnes qui sont expertes dans un domaine utilisent certains mots ou encore certains aide-mémoires pour maintenir leur performance à un niveau optimal. Et dans le cadre du TP pragmatique, le langage serait justement un outil pour altérer le gain du signal d'erreur (Lupyan & Clark 2015, Clark 2016). Ceci est important pour l'apprentissage, car le langage permet de diriger l'attention sur un élément précis de la situation, il permet d'augmenter le signal d'erreur de neurones qui codent pour cet élément, et, ce faisant, il favorise l'apprentissage.

Bref, si l'on accepte la prémisse pragmatiste et énaïviste du TP, l'attention devient un facteur primordial pour l'ajustement de la sensibilité à certains éléments de l'environnement et pour un ajustement permettant de mieux répondre aux affordances de l'environnement : « *To which features of their environments organisms attend and, more fundamentally, how they attend in full-bodied active ways shifts over time, and this leaves in its wake a variety of structural changes* » (Hutto & Myin 2018, p.98). L'attention devient une partie inséparable d'un seul et même processus (bien que très complexe). Elle permet de mieux repérer les affordances offertes par l'environnement (dans le cas de l'éducation, autant physique que social), de mieux les sélectionner pour apprendre, pour agir. De cette façon, l'attention est un guide pour l'action. Le TP pragmatiste nous permet de voir comment l'attention mène les organismes à répondre adéquatement à leur environnement à l'intérieur duquel il y a une variété d'éléments importants pour la survie, pour le maintien de l'homéostasie, en leur permettant de manière adaptative de mieux gérer les interactions qui caractérisent la boucle cognitive organisme-environnement : et comme nous allons maintenant le voir, cette boucle cognitive est cœur du deuxième pilier énaïviste de l'apprentissage.

3.2 Deuxième pilier énaïv : L'engagement actif

Le deuxième pilier de l'apprentissage que nous a présenté Dehaene dans son ouvrage est l'engagement actif. Nous avons vu qu'un organisme passif devant l'information (souvent le cas dans des cours plutôt magistraux) était un organisme qui n'apprenait pas grand-chose. Pour se souvenir de quelque chose, pour retenir l'information, il est primordial de s'engager dans le processus d'apprentissage. Les études en psychologie et en sciences cognitives semblent être unanimes sur ce point. Allant en ce sens plusieurs idées de méthodes que l'on retrouve dans la littérature peuvent servir de moteur à l'apprentissage actif. En effet, des méthodes comme la discussion en groupe, le travail en groupe, la coopération et même le test ont été présentées comme étant garantes d'un meilleur apprentissage. De la même manière, arriver à stimuler la

curiosité des élèves devient vraiment un atout pour réussir à engager les personnes apprenantes. Bref, l'important est d'activer la personne et de rejeter la passivité. Et selon Dehaene, être actif n'a pas grand-chose à voir avec un mouvement du corps. Comme nous l'avons vu, le chercheur en neurosciences cognitives soutient que c'est dans l'esprit, dans la pensée, dans la tête qu'il y a engagement actif (Dehaene 2018, p.243). Or, avec le type de modèle que nous avons présenté dans le chapitre précédent en main, on peut faire voir que l'on peut et que l'on doit aller plus loin. Nous allons commencer par voir comment l'énactivisme et le TP énéactiviste expliquent le pilier de l'engagement actif, pour ensuite voir en quoi il nous permet, et nous pousse aussi à aller plus loin. Nous verrons qu'au final le mouvement du corps et l'environnement dans lequel les interactions ont lieu sont beaucoup plus importants que ne le prétend Dehaene.

L'engagement actif est probablement ce qui est le plus au cœur du modèle énéactiviste de la cognition. En effet, l'engagement actif peut être expliqué du point de ce point de vue en disant que la cognition est un flux continu qui passe du monde à l'organisme pour retourner dans le monde via l'action. Il y a une boucle action-perception avec laquelle l'organisme finit par avoir une meilleure prise (*maximum grip*) sur son environnement. En effet, et nous l'avons vu au chapitre précédent, la cognition doit être conçue comme une activité dynamique et la perception comme étant « énéactée » parce qu'elle émerge des interactions multiples entre le cerveau, le corps et l'environnement constituant l'activité corporelle de l'organisme dans son environnement. Ces interactions (l'engagement) sont primordiales à l'apprentissage, car elles sont au cœur de la cognition, au cœur des processus qui la constituent. Et dans la mesure où l'on ne peut en aucun cas séparer la cognition du corps et de l'environnement, dans la mesure où la cognition est une forme de pratique, alors il fait tout à fait sens que sans engagement actif, sans action, il ne puisse y avoir d'apprentissage. Le modèle stipule que c'est seulement en s'activant, seulement en interagissant activement avec l'environnement, qu'il peut y avoir apprentissage.

En effet, selon le pragmatisme classique et également les sciences cognitives incarnées et énaactives, il y a primauté de l'action, et on l'a vu précédemment, à l'intérieur du TP, le moyen principal de minimiser l'erreur est de changer l'entrée sensorielle en agissant dans le monde, en changeant de perspective, afin qu'elle s'accorde davantage avec le modèle génératif actuel. Ainsi, on peut croire que plus le système accumulera de données, c'est-à-dire d'erreurs de prédiction, en interagissant, en s'engageant activement, dans le monde, plus ses prédictions seront adéquates, plus l'erreur sera à terme minimisée, plus l'organisme aura « appris ». Au lieu de seulement changer de modèle, l'organisme peut et doit échantillonner le monde, agir dans *et avec* le monde, pour rendre réelle, pour confirmer, ou pour tester la prédiction. Selon cette perspective de l'inférence active, les apprenants doivent tester leur modèle génératif en s'engageant activement avec leur environnement, en forçant des prédictions descendantes et en générant ainsi des signaux d'erreur qui mettront le modèle à jour. Nous l'avons vu, la fonction du cerveau n'est pas de bien représenter le monde, d'avoir un modèle du monde vrai, mais de maintenir l'homéostasie : le cerveau ne s'intéresse pas à la question de savoir ce qui se trouve là objectivement dans le monde, mais plutôt à celle de savoir quelles actions vont minimiser la surprise. Ce n'est que via l'action que l'on peut minimiser la surprise, et ainsi ce n'est qu'en s'engageant activement que l'on peut apprendre.

Cette présentation énaactive et prédictive de l'engagement actif rend parfaitement compte de ce que nous en dit Dehaene, qui par moment l'explique lui-même en termes prédictifs. Or, la version énaactive et pragmatique du TP nous suggère d'aller plus loin. Il faut ainsi comprendre que ce n'est pas « dans la tête » (ou du moins pas seulement) que les personnes apprenantes doivent être actives. Et ici le rôle du corps et de l'environnement devient important, car c'est via l'action que l'apprentissage peut réellement s'effectuer. L'apprentissage en éducation peut être ainsi une activité en soi incarnée impliquant des processus qui dépasse le cerveau pour également couvrir le corps et l'environnement. L'apprentissage peut émerger d'un couplage réussi entre

l'organisme et son environnement, en tant que « conséquence » de l'historique des interactions entre la personne apprenante et son environnement (Hutto & Myin 2018, p.98).

En termes prédictifs, on peut dire qu'en testant activement ses hypothèses dans le contexte de boucles sensorimotrices, l'organisme améliore ses modèles génératifs (*prior*) ainsi que ses « hyperprior » (ceux qui prédisent la précision de la prédiction). Les premiers, en faisant de meilleures prédictions, permettront de mieux interagir avec l'environnement et les seconds sauront mieux prédire quand tel ou tel modèle génératif est applicable. Connaître la différence entre ces deux niveaux d'apprentissage (priors et hyperpriors) permet de concevoir des exercices ou d'autres formes d'engagements actifs impliquant le corps, impliquant l'action, qui soit servent la construction de meilleurs modèles génératifs, soit servent la construction d'hyperpriors capables de mieux prédire quand telle connaissance est applicable ou non.

De plus, étant donné le bouclage organisme-environnement qui caractérise la cognition, ce n'est pas seulement le corps qui est à prendre en compte, mais le monde également. En effet, un bon engagement actif avec le monde demande que le monde soit structuré de manière à permettre les interactions nécessaires à l'apprentissage. Dans un certain sens, c'est évident, mais le TP pragmatique ajoute que l'environnement doit permettre des interactions à tous les niveaux de la hiérarchie, du niveau sensorimoteur aux niveaux plus abstraits (conceptuels, théoriques). De cette manière, on peut concevoir l'environnement (physique, social et culturel) comme servant l'échafaudage (*scaffolding*) de l'apprentissage : « *we humans are expert at deliberately manipulating our physical and social worlds so that they provide new and ever-more-challenging patterns that will drive new learning* » (Clark 2016, p.277). C'est ce qui doit également se produire pour l'apprentissage dans le milieu de l'éducation. On placera d'abord l'enfant en présence de papier et de crayons (de cire pour éviter qu'ils se blessent avec les crayons des adultes) qui lui permettront de parfaire ses habiletés sensorimotrices

pour tracer des formes. On l'entraînera ensuite à tracer sur papier des formes bien précises, qui correspondent aux symboles que sa culture utilise pour encoder des mots et des nombres. Lorsqu'il pourra reproduire ces symboles efficacement, on l'entraînera à les combiner de manière à obtenir des représentations graphiques de sons qu'il connaît déjà pour les avoir entendus de sa bouche et de celle des personnes autour de lui à l'oral (les phonèmes). Cette séquence programmée d'interactions avec l'environnement rend possible, en échafaudant, l'apprentissage. Pour ce faire, le lieu importe, l'environnement doit être propice aux interactions, à l'engagement (et aussi propice à engendrer une trame affective agréable résultant de prédictions intéroceptives). C'est par l'inférence active qu'un organisme réussit à apprendre et l'environnement doit engendrer de l'inférence active. Il doit être en mesure de stimuler l'action, de stimuler l'engagement, de stimuler un bouclage réussi nécessaire à l'apprentissage.

Bref, contrairement à ce que Dehaene soutient, les modèles de la cognition explorés dans le deuxième chapitre nous poussent à affirmer que ce n'est pas que « dans la tête [...] que l'engagement fait son œuvre » (Dehaene 2018, p.43). Il faut aller plus loin et inclure d'autres éléments qui ont une importance marquée dans la cognition. Il s'agit donc, dans un sens, de prendre l'engagement actif dehaenien et de le convertir en pilier éactif : de le « gonfler » du corps et de l'environnement qui sont dans une relation dynamique constante. Et lorsqu'on parle de ce « bouclage » organisme-environnement, lorsqu'il est question d'inférence active, le troisième pilier éactif émerge naturellement pour nous rappeler que l'apprentissage passe par l'erreur.

3.3 Troisième pilier éactif : L'erreur

Que l'apprentissage rime avec « erreur », c'est ce que l'on a vu avec le troisième pilier que nous a présenté Dehaene. En effet, nous avons vu dans le premier chapitre que l'erreur et la rétroaction rapide et fréquente sont essentielles à l'apprentissage.

Plusieurs études montrent en effet que faire des erreurs augmente l'apprentissage lorsqu'il y a rétroaction. En ce sens, nous avons vu que la surprise pouvait jouer un rôle clé. Et au-delà de la surprise, on a également vu que l'erreur elle-même était importante. Anticiper ce qui arrivera dans le monde, tenter des réponses en se forçant d'aller récupérer l'information en mémoire en faisant des erreurs dans le processus est gage d'un meilleur apprentissage plus profond et plus durable, et c'est la raison pour laquelle la méthode du test, plus particulièrement, semblait être une bonne méthode pour permettre à ce processus de se mettre en œuvre.

En considérant le tournant pragmatique actuel en neurosciences cognitives, l'erreur en tant que propulseur de l'apprentissage fait tout à fait sens. En effet, comme nous l'avons mentionné précédemment, les prédictions descendantes (du haut niveau vers le bas) rencontrent les signaux ascendants venant du monde, et la différence entre les deux (l'erreur de prédiction) est renvoyée dans la hiérarchie sous forme de signal d'erreur utilisé par le système pour mettre ses modèles génératifs à jour, c'est-à-dire pour « apprendre ». Les signaux d'erreur donnent à l'organisme un moyen efficace de s'auto-organiser, d'organiser son environnement, et de maintenir son homéostasie. En effet, ils permettent au système prédictif hiérarchique un apprentissage qui est ancré dans le monde à différentes échelles d'espace et de temps pour permettre à l'organisme d'avoir une meilleure prise sur son environnement : « *By self-organizing around prediction error, these architectures thus deliver a multiscale grip upon the organism-salient features of the world - a grip whose signature is the capacity to engage that world in ongoing cycles in which perception and action work together to quash high-precision prediction error* » (Clark 2016, p.271).

Ainsi, en plus de l'engagement actif des personnes apprenantes dont nous venons de parler, il devient important d'avoir un retour d'information fréquent et rapide maximisant l'apprentissage. Il est toutefois important ici de distinguer trois formes d'erreur : l'erreur objective (avoir eu ou non la bonne réponse), l'erreur vécue du point

de vue subjectif (l'erreur au sens psychologique) et l'erreur de prédiction qui n'est pas (toujours) consciente. Ceci nous permet de distinguer plusieurs cas de figure, dont nous exposerons quelques-uns ici.

Il y a d'abord le cas où nous n'avons pas fait d'erreur objective. Bien que nous ayons vu, plus particulièrement avec les travaux de Janet Metcalfe (2017), que commettre des erreurs pouvait bien être bénéfique et qu'ainsi il ne faille d'aucune façon les éviter, cela ne veut toutefois pas dire qu'en donnant de bonnes réponses, on n'apprend nécessairement rien. En effet, il est rare que la réponse (bonne ou mauvaise) nous arrive toute faite dans la conscience. On utilise du papier, du crayon, on « griffonne », on réfléchit, on fait un plan, etc. Pendant tout ce processus, le signal monte et descend dans la hiérarchie : il y a génération d'erreurs de prédiction pendant le processus de génération de la réponse (à moins bien sûr que l'on soit totalement expert dans un domaine et que l'on fasse la tâche machinalement, sans trop y réfléchir). Et même lorsqu'il y a une seule et bonne réponse (par exemple dans un examen à choix multiples, dans un exercice d'arithmétique ou de logique formelle), il peut y avoir erreur de prédiction même quand on donne la bonne réponse. Nous sommes rarement totalement certains de nos réponses. De cette manière, la rétroaction va amener de l'information pertinente, car il y aura tout de même une certaine différence entre le signal prédit (nos attentes concernant nos réponses) et celui entrant (disons, la copie corrigée).

On peut quand même penser en ayant en tête les travaux de Lisa Feigenson (Stahl & Feigenson 2015 ; 2017 ; 2019) que la surprise a un rôle à jouer dans l'efficacité du signal d'erreur de mettre les modèles à jour, et c'est ici que l'erreur subjective entre en jeu. Arrêtons-nous en effet pour voir comment peut se traduire la surprise en termes du TP énonciste. Dans son sens psychologique, la surprise traduit deux phénomènes semblables, mais distincts : (1) la prédiction génère beaucoup d'erreurs de prédiction (il y a une très grosse différence entre la prédiction et la bonne réponse) et (2) la prédiction génère plus ou moins de réponses, mais celle-ci est grandement amplifiée

par la précision attendue de la prédiction (on avait par exemple énormément confiance de produire la bonne réponse, mais on s'est trompé — avec une erreur plus ou moins grande). Plus l'erreur est grande (pour l'une ou l'autre des deux raisons énoncées ci-dessus), plus elle a de chances de monter dans la hiérarchie et créer de la surprise.

Si l'on fait une bonne réponse objective et que par rétroaction on en prend connaissance, mais que l'on était certain d'avoir donné la mauvaise réponse, fort est à parier que l'on sera grandement surpris. On pourrait dire, suivant Bruineberg et Rietveld (2014, qui eux-mêmes s'inspirent des travaux de Lewis et Todd (2005), que la surprise au niveau conscient survient lorsque l'erreur de prédiction est tellement grande qu'elle remonte jusqu'aux couches les plus élevées de la hiérarchie. La surprise subjective se traduirait ainsi par un signal d'erreur particulièrement élevé qui résulterait en l'augmentation du gain du signal d'erreur (augmentant ainsi l'attention) concernant l'élément surprenant et ainsi augmentant la possibilité d'apprendre quelque chose, la possibilité de se souvenir plus longuement d'un élément de réponse par exemple. On peut ainsi faire un lien entre l'erreur, l'attention et, comme nous le verrons, l'action. L'erreur subjective sera aussi favorisée par la présence d'attention. En effet, comme il en a été question dans la section sur l'attention, celle-ci n'est rien d'autre que la pondération de la précision de l'erreur de prédiction, l'augmentation du gain du signal d'erreur. L'augmentation du gain a justement pour but de propulser le signal d'erreur de prédiction : « *increases in post-synaptic gain implement a facilitation effect, which then boosts prediction errors* » (Clark 2016, p.61 ; Friston 2012, p.238). Bref, l'attention augmente le gain du signal d'erreur qui permet à l'organisme de mieux s'adapter à la situation précise du moment. Dans le cas qui nous concerne, l'attention et le signal d'erreur servent justement à propulser l'apprentissage. De plus, les signaux d'erreur pondérés propulsent également l'action, l'échantillonnage et le façonnage de l'environnement.

Enfin, il faut considérer les situations où l'on a fait une erreur et reçu une rétroaction correctrice. En mettant celles-ci sous la loupe du TP, on peut penser que lorsque nous recevons par exemple une copie sur laquelle nous constatons nos erreurs, il y a une différence entre ce qui est prédit et le signal entrant, ce qui propage l'erreur de prédiction dans la hiérarchie. Tout dépendant du niveau de confiance du système dans les réponses données préalablement, le niveau de surprise sera plus ou moins grand, comme nous l'avons expliqué plus haut. On doit mettre l'accent sur un élément qui nous semble ici particulièrement important. Il en sera question plus longuement dans la dernière section du mémoire qui s'intéresse aux implications et aux conséquences, mais notons tout de suite que la rétroaction correctrice générera de l'erreur de prédiction qui mettra vraiment à jour les modèles génératifs (pour que nous apprenions vraiment de nos erreurs) que si cette rétroaction est explicite concernant l'erreur et ce qui était la bonne réponse. En effet, si l'on reçoit une copie et qu'il n'est écrit que « C » et qu'il y a des « X » en rouge sur toutes les mauvaises réponses, bien sûr il y aura une erreur de prédiction, car il y a une différence entre le signal entrant et l'anticipation descendante. Or, n'ayant toutefois pas d'informations pertinentes, le système ne pourra pas réellement apprendre, il ne pourra pas mettre ses modèles à jour de manière adéquate (souvenons-nous que ces modèles sont répartis hiérarchiquement des plus concrets aux plus abstraits et qu'un signal d'erreur peu explicite n'indiquera pas bien au système lequel de ces modèles il doit modifier). Ainsi, pour que l'erreur de prédiction soit efficace et change les modèles de manière telle que l'on ait réellement appris quelque chose, l'information (par exemple sur la copie) doit être pertinente, informative, non teintée de mépris¹⁴, etc. On peut même aller plus loin et supposer qu'en plus d'avoir de l'information pertinente sur la copie, on pourrait forcer la

¹⁴ Évidemment, ceci a trait aux émotions dont nous avons vu qu'elles étaient omniprésentes dans la cognition. Des commentaires méprisants auraient comme conséquence de générer de l'erreur de prédiction intéroceptive, ce qui affecterait les processus d'apprentissage comme l'attention qui serait justement tournée vers ces signaux intéroceptifs menant à un ressenti émotionnel négatif et ainsi à un moins bon apprentissage.

personne apprenante à refaire les questions pour lesquelles il y a eu des erreurs. On inciterait ainsi l'engagement, l'inférence active, pour que, par l'action, il y ait plus d'attention portée à la rétroaction, pour que plus de signaux d'erreur soient émis dans le but de mettre adéquatement les modèles à jour, dans le but de mieux retenir l'information.

Jusqu'à présent nous nous sommes concentrés sur l'erreur telle que comprise par le traitement prédictif. Mais dans la perspective énonciviste, cette erreur doit être considérée dans le contexte de l'interaction avec l'environnement. En effet, on peut voir ensuite le lien que l'on peut faire entre l'engagement actif et l'erreur, et ceci devient limpide lorsque expliqué à l'aide du TP énonciviste. Comme on l'a vu, les boucles sensorimotrices, rendues possibles par l'inférence active, génèrent de l'erreur, et c'est exactement ce que l'on entend lorsqu'on parle du pilier énonciviste de l'engagement actif qui nécessite l'action. Comme on l'a dit plus haut, la cognition advient dans un corps qui est constamment en interaction avec le monde. On navigue le monde, on l'utilise, on jette une partie du fardeau cognitif dans l'environnement. On utilise des outils technologiques, des livres, des articles, des aide-mémoires. On discute, argumente, « brainstorm », avec des gens. On interagit avec les différentes structures socio-environnementales. Ces interactions environnementales (physiques, sociales et culturelles) forment une série de boucles organisme-environnement. Et pendant tous ces bouclages, il y a toujours en général génération d'erreurs, car chacune de ces interactions peut être source d'erreur, et, par le fait même, d'apprentissage. Ainsi, on peut générer de l'erreur avec l'inférence active, l'erreur mène à d'autres actions pour la corriger qui à leur tour peuvent générer d'autres erreurs.

De cette façon, l'action et l'erreur (et ainsi l'attention) sont intimement liées. Et nous verrons à présent qu'il en va de même pour notre dernier pilier énonciviste : la consolidation s'effectue également dans le processus de répétition à plus long terme d'actions et d'erreurs.

3.4 Quatrième pilier éactif : La consolidation

Le dernier pilier de l'apprentissage présenté dans le chapitre 1 a été la consolidation. Celle-ci est nécessaire pour un apprentissage complet. Sans automatisation, l'apprentissage n'est pas terminé. Nous l'avons vu, il faut que l'information soit en quelque sorte rendue inconsciente pour être utilisable rapidement selon le contexte. En effet, sans cette automatisation, il faudra vraisemblablement aller rechercher à nouveau l'information dont on a besoin (dans un livre, un manuel par exemple). Ou encore, les ressources cognitives, et plus particulièrement les ressources attentionnelles, pour effectuer une tâche (lire, faire de l'arithmétique, faire un service au tennis, etc.) seront taxées, ce qui empêchera l'allocation de ressources cognitives à d'autres éléments importants pour lesquels nous deviendrons en quelque sorte aveugles (ex. : le sens des mots et des phrases lorsqu'on apprend à lire). Une des manières dont le cerveau pourrait réussir à consolider ce qu'il a appris pendant la journée consiste à rejouer, puis recoder, les événements importants pendant la nuit, lors du sommeil. Ceci a pour but de simplifier et de rendre plus efficaces les connexions synaptiques, processus au cœur même de la consolidation.

En prenant comme modèle le système prédictif, ceci signifie que, contrairement à l'éveil, lorsque l'on dort, les modèles génératifs du cerveau ne sont plus (ou moins) influencés par les entrées sensorielles. En ce sens, ils ne sont plus directement impliqués dans la tâche de guider l'action. Ils peuvent ainsi être affinés et simplifiés dans le but d'être améliorés, dans le but de justement pouvoir mieux guider l'action par la suite afin que l'organisme ait une meilleure prise sur son environnement. Et la nuit, lorsque nous dormons, c'est bel et bien ce qu'il se passerait. Le cerveau, ferait de « l'émondage synaptique » dans le but d'améliorer, de consolider les connaissances incluses dans le modèle génératif en les rendant plus généralisables (Clark 2016, p.101), et ce, encore une fois, non pas pour mieux représenter le monde, non pas pour avoir

une image véridique de l'environnement ambiant, mais pour mieux guider l'action, pour mieux agir, pour répondre à l'environnement, pour mieux le façonner.

Ainsi, Hobson et Friston (2012) remarquent qu'à l'éveil, les prédictions doivent rendre compte des entrées sensorielles d'une manière précise, mais sans expliquer trop de détail ou de bruit sensoriel : « *In other words, the best predictions are accurate but parsimonious explanations for sensations* » (p.89). Un bon modèle est un modèle qui rend compte du plus grand nombre de données avec un minimum de complexité dans le but de maintenir et favoriser les inférences futures (généralisation) en ne surapprenant pas (*overfitting*). C'est ce que le cerveau s'efforcerait de faire la nuit : « *complexity can be suppressed by removing redundant synaptic connections and can proceed in the absence of sensory data during sleep* » (p.89). C'est ce que les auteurs nomment la sélection de modèles *post hoc*. Dans la journée, le cerveau construit de bons modèles du monde dans le but d'avoir une meilleure prise sur l'environnement, dans le but de servir l'action. Toutefois ces modèles sont en général trop complexes, ce qui, toutes choses étant égales par ailleurs, réduit leur capacité de généraliser. C'est la nuit que le cerveau effectue l'émondage qui serait à la base du pilier de l'apprentissage de la consolidation.

Ainsi, comme Dehaene le mentionnait lui-même, les rêves sont en quelque sorte des images pour entraîner le cerveau (Dehaene 2018, p.306). Dans le système prédictif hiérarchique, le même processus a cours pendant le sommeil (lorsque nous rêvons) que pendant l'éveil. Au sein de la hiérarchie, les signaux continuent pendant de descendre et monter dans une danse constante. Néanmoins, il est important de remarquer que le corps étant amorphe, le système n'a pas réellement de possibilité d'action ; il est (dans un sens) coupé du monde. Il y aurait donc un changement dans le flux de signaux d'erreur, ce qui expliquerait le contraste phénoménologique entre l'état de veille et de rêve : « *when we go to bed and close our eyes, the postsynaptic gain of sensory prediction error units declines [...] with a reciprocal increase in the precision of error*

units in higher cortical areas » (Hobson & Friston 2012, p.92). L'idée est que pendant le sommeil les rêves émergeraient du signal descendant qui n'est plus (ou qui est moins) guidé par le signal ascendant venant du monde (Clark 2016, p.101). Il s'agit de ce processus qui serait à la base de la consolidation rendue possible en grande partie par le sommeil et les rêves que l'on fait.

Bien que le sommeil et le rêve soient primordiaux à la consolidation, il ne faudrait pas aller trop vite et dire qu'il suffit de dormir après un apprentissage pour que le lendemain il soit consolidé. L'émondage synaptique au cœur de la consolidation ne peut être efficace que s'il est lent et progressif. La consolidation passe donc aussi, et cela fait parfaitement sens du point de vue du TP énaïviste, en continuant les activités. En ce sens, on peut affirmer que la consolidation passe également par l'action. Lorsque l'on fait quelque chose, lorsque l'on apprend quelque chose, il ne s'agit pas simplement d'aller dormir pour que l'information se consolide. En effet, il faut répéter, souvent plusieurs fois, la même activité, la même chose à apprendre, en variant à l'occasion le contexte, pour qu'il y ait réellement consolidation. La variation du contexte est importante parce qu'elle réduit le surapprentissage, ce qui améliore la généralisabilité. Pour reprendre l'exemple de notre joueur de tennis qui apprend ses services, il ne s'agit pas qu'il les pratique en une seule séance, qu'il en réussisse quelques-uns et ensuite qu'il aille dormir pour qu'il soit expert la fois d'après. Il faut répéter maintes fois le mouvement, durant plusieurs séances pour devenir expert, pour avoir réellement appris et consolidé l'apprentissage. En ce sens, l'action reste primordiale à la consolidation. Nous l'avons vu dans le premier chapitre et ici aussi avec son explication prédictive et énaïviste, les rêves contribuent à la consolidation. Or, ce à quoi on rêve est lié de près ou de loin à ce que l'on a fait pendant la journée. On peut ainsi dire que le rêve lui-même est lié à l'action.

Bref, en continuant une activité, en s'activant dans une activité d'apprentissage, on aura davantage de rêves portant sur cette activité, et ainsi meilleure sera la consolidation. Il

s'agit là d'un processus plutôt à long terme qui lie attention, engagement, erreur et consolidation ensemble dans un processus fondamentalement pragmatique. En effet, les quatre piliers de l'apprentissage lorsque pris sous l'angle du TP énaïviste ne sont plus tellement des piliers : il s'agit plutôt d'un seul et grand « socle » à quatre facettes. À l'intérieur du bouclage organisme/environnement, l'attention sert et propulse l'action. À son tour, l'action en tant qu'engagement actif dans l'apprentissage mène à des signaux d'erreurs venant du monde qui mettent à jour les modèles génératifs, et la nuit le cerveau rejoue ces interactions avec le monde pour simplifier et rendre plus efficace ses modèles, qui font que l'action et l'attention du lendemain sont un peu différentes. De plus à l'intérieur de ce socle, à l'intérieur du TP énaïviste, l'organisme, son corps et son environnement sont indissociables et les interactions, qui sont toujours « incarnées » (c'est-à-dire qu'elles se font avec un corps), sont toujours sous les projecteurs d'une certaine trame affective qui influence grandement les processus d'apprentissage. On se retrouve avec un seul et grand mécanisme par lequel un organisme apprend pour avoir une meilleure prise sur son environnement...

Il nous reste maintenant à voir les implications que de tels piliers, ou ce socle peuvent avoir dans le monde de l'éducation, et c'est ce sur quoi nous allons nous pencher maintenant pour terminer ce mémoire.

3.5 Le socle de l'apprentissage : Conséquences et implications pour l'éducation

Rappelons à la lectrice, au lecteur que le travail effectué dans ce mémoire ne se veut pas en opposition avec la position de Stanislas Dehaene. Au contraire, les quatre piliers de l'apprentissage sont très bien appuyés par la recherche qui montre leur grande pertinence pour le monde éducatif. Comme mentionné dans l'introduction, la tâche que nous nous sommes donnée, en ce sens, est plus modeste. Le travail que nous avons effectué se veut en continuité avec le travail de Dehaene. Ainsi, les conséquences pratiques auxquelles il arrive ne sont pas à laisser de côté. Nous allons ainsi partir de

certaines des recommandations de Dehaene lui-même en les appuyant avec le TP énaïviste pour ensuite les modifier et ajouter des éléments qui découlent directement du TP énaïviste lui-même. En effet, le modèle prédictif, inspiré par les neurosciences cognitives du tournant pragmatique, dans lesquelles prennent source « le socle » de l'apprentissage entraîne, selon nous, des conséquences pratiques spécifiques à lui-même, et c'est ce que nous allons tâcher de faire voir dans la dernière section de ce mémoire.

Une des recommandations de Dehaene est de *faire attention à l'attention* : « L'attention est la porte d'entrée des apprentissages ». En effet, comme nous l'avons vu avec l'explication du TP énaïviste, l'attention est importante dans le processus d'apprentissage. Ceci signifie qu'une personne enseignante doit tout mettre en œuvre pour capter l'attention des personnes apprenantes et pour ne pas les déconcentrer, les distraire. Et pour ce faire, comme nous l'avons vu avec le TP pragmatique, l'action est primordiale, parce que l'attention est justement au service de l'action. En ce sens, stimuler l'inférence active, l'engagement actif est vraisemblablement une bonne manière d'y arriver. Attirer l'attention des personnes apprenantes peut se faire en faisant des ateliers, des groupes de discussion, en piquant leur curiosité avec des expériences, des jeux, des faits surprenants, des mises en situation, etc. Nous l'avons vu, les piliers sont intimement liés à l'intérieur du TP énaïviste, et en ce sens l'attention et l'action fonctionnent ensemble de manière étroite. Nous y reviendrons lors des conséquences liées au corps et à l'environnement en éducation. De plus, au sujet de l'attention en classe, remarquons que l'attention aussi est (en partie) quelque chose de social. L'attention partagée, le contact visuel, la capacité de diriger l'attention des personnes apprenantes sont certainement des atouts¹⁵. On peut stimuler l'attention

¹⁵ Ceci pourrait expliquer en partie pourquoi les cours à distance comme nous le vivons actuellement en 2020 ne réussissent pas si bien et que les personnes sont aussi inattentives dans ce genre de contexte.

en classe en misant sur ce penchant social. Guider l'attention par diverses activités sociales comme celles tout juste mentionnées est certainement possible. Évidemment, autant en ce qui a trait à l'attention dans l'inférence active qu'à l'attention partagée, tâcher de ne pas distraire les personnes qui apprennent (parler ou leur donner d'autres directives) lorsqu'elles sont concentrées sur une autre tâche (écrire des notes par exemple) ou encore ne pas se distraire soi-même (réseaux sociaux à proximité) va de soi et est très bien justifié par le phénomène de l'attention dans le TP énaïviste qui explique assez bien, comme on l'a vu précédemment, la cécité attentionnelle.

Deux des « maximes » que propose Dehaene sont en lien avec son deuxième pilier : « Rendons l'enfant actif, curieux, engagé, autonome » et « Enrichissons l'environnement » (315-6). Ainsi, une des conséquences évidentes est celle de devoir revoir les méthodes d'enseignement telles que pratiquées aujourd'hui dans les différents niveaux du système d'éducation (et plus particulièrement dans les cégeps et les universités). En prenant comme appui le TP énaïviste, on peut justifier ces maximes de manière élégante. En effet, dans la mesure où la cognition n'est pas désincarnée, si elle advient dans un corps qui agit dans le monde, alors au niveau éducatif, on doit corriger le tir. Si le but de l'enseignement est de faire en sorte que les personnes qui sortent des cours aient réellement appris quelque chose dont elles vont se souvenir longtemps et dont elles vont pouvoir se servir, alors le cours magistral traditionnel ne semble pas être la meilleure méthode d'y parvenir. Le TP pragmatique nous donne une justification solide pour l'engagement actif. L'action, étant au cœur de la cognition, doit être au fondement d'un apprentissage réussi. Avoir quelques périodes de discussion, des ateliers où les gens travaillent ensemble à résoudre un problème ou à comprendre les différents concepts enseignés, ou encore seulement appliquer la *pause procedure* de quelques minutes pour que les étudiants puissent comparer leurs notes et ce qu'ils ont compris semble porter fruit dans le processus d'apprentissage et devraient donc être pris en considération dans l'élaboration du cours. Ce genre de travail en groupe semble même augmenter la motivation des personnes en classe (Cicuto &

Torres 2016). En ce sens, John Dewey voyait juste lorsqu'il arguait que l'on devait prendre l'environnement en compte et faire en sorte que les personnes apprenantes s'engagent et aient des expériences pertinentes pour l'apprentissage avec lesquelles elles en bâtiront d'autres (Dewey LW13). Le corps et l'environnement ont un rôle à jouer dans la cognition et il en va de même avec l'apprentissage.

C'est en ce sens que l'on peut et doit aller plus loin que Dehaene lorsqu'il est question d'action et d'environnement. Voici ce que Dehaene entend par « enrichir l'environnement » :

Sur le plan de l'apprentissage, le cerveau de l'enfant demeure le plus puissant des superordinateurs. Respectons-le en lui fournissant, dès le plus jeune âge, des données à la hauteur : jeux de mots ou de construction, histoires, défis, casse-tête... Parlons-lui avec sérieux, répondons à ses questions, même les plus ardues, sans hésiter à employer un vocabulaire élaboré. Expliquons-lui le monde qui l'entoure. (Dehaene 2018, p.315)

Bien que tout ceci soit juste, on peut faire des recommandations qui vont plus loin, pour réellement inclure le corps et l'environnement, qui ont un rôle important à jouer dans la cognition et que Dehaene semble laisser de côté. Nous l'avons vu à maintes reprises, la cognition n'est pas quelque chose de désincarné : elle advient dans (et avec) le corps et dans les interactions avec l'environnement physique et social (Varela et al. 1997, Clark 2011, 2016, Gallagher 2017) et, de ce fait, le corps et les interactions environnementales sont probablement cruciaux dans l'apprentissage. Il s'agit donc, comme nous l'avons préalablement dit, de prendre l'engagement actif tel que le comprend Dehaene ci-dessus et de le « gonfler » du corps et de l'environnement. D'ailleurs, la cognition incarnée et l'énactivisme commencent à apparaître dans la littérature sur l'apprentissage et l'éducation (Weisberg et Newcombe 2017 ; Sullivan 2018). En effet, l'accent mis sur le corps dans la cognition a mené les sciences cognitives à réfléchir sur le rôle des outils incarnés (*embodied tools*), sur des méthodes d'enseignement et d'apprentissage qui découleraient de la conception incarnée de la cognition. Ainsi, il faut réussir dans le processus d'apprentissage, même lorsqu'il est

question de concepts abstraits, à lier ce qui est à apprendre au corps. Ce genre d'outils et plus généralement le cadre de travail incarné peuvent offrir des bénéfices dans l'apprentissage : « *Embodied cognition approaches to learning [...] predict that sensorimotor processes, including perception and action, should strengthen learning when included in a structured lesson, given their close and unique relationship to the cognitive system* » (Weisberg et Newcombe 2017, p.2). Ce genre de renforcement de l'apprentissage peut se produire de plusieurs façons. Une de ces façons serait d'utiliser les « analogies corporelles » pour faire un lien entre un domaine inconnu et un domaine plus familier, en passant de l'abstraction à l'action. Ainsi, on pourrait par exemple réussir en faisant des mises en situation concrète, ou encore en faisant des jeux de rôle, réussir à enseigner des concepts physiques tels que la « gravité » ou même des concepts philosophiques plus abstraits comme celui de « justice » : laisser des enfants s'engager corporellement avec des objets pour constater ce qu'est la gravité, ou encore des mises en situation ou des jeux de rôles avec les enfants qui peuvent expliquer à partir de cas concrets d'où émerge le concept de justice, et tout ceci en les encadrant, en réussissant à attirer leur attention sur les éléments importants, et, bien entendu, en faisant de toutes ces activités incarnées et énonciatives des moments agréables qui sauront piquer leur curiosité, les enthousiasmer et les valoriser.

On peut réussir en partant de concepts familiers qui se comprennent en termes sensorimoteurs de les lier à des concepts plus abstraits : une sorte de manière d'ancrer les symboles. Ce genre de méthode a été utilisée avec succès particulièrement dans le domaine des mathématiques (Tran et al. 2017, Nathan et Walkington 2017). Le fait d'ancrer des symboles abstraits dans les modalités sensorielles pourrait bien être un facteur d'amélioration de l'apprentissage. En mathématique, faire des gestes, des mouvements du corps et de la manipulation d'objet sont des manières de ramener les concepts au corps et à l'environnement pour un meilleur apprentissage : « *Integrating the body into the learning experience can [...] improve mathematical understanding by providing a connection between concrete referents and abstract concepts* » (Tran et al.

2017, p.3). Cathy Tran et ses collègues passent en revue une série d'études qui montrent que les gestes, la manipulation et les mouvements du corps peuvent réellement aider l'apprentissage mathématique (et on peut penser, étant donné ce que nous dit le TP énonciviste, qu'il en sera de même dans d'autres domaines) en donnant une représentation mathématique additionnelle ancrée dans le corps qui permet un meilleur encodage et en réduisant la charge cognitive pour laisser plus des ressources cognitives pour d'autres tâches (Tran et al. 2017, p.15). On peut ainsi penser qu'offrir de l'expérience riche pour mettre les étudiantes et les étudiants dans ce qui pourrait être autrement perçu comme étant des contextes abstraits peut augmenter leur engagement, leur attention et même générer de l'excitation et de l'enthousiasme (Johnson-Glenberg & Romanowicz 2017). Du côté des personnes enseignantes, le fait même de faire des gestes pertinents en donnant l'information (en étant actives, en écrivant sur le tableau, etc.) a aussi des répercussions plus positives sur l'apprentissage et la rétention en mémoire que si ces informations sont données sur une diapositive par exemple¹⁶ (Sullivan 2018 ; Fiorella & Mayer 2016).

Nous avons vu à l'intérieur du TP énonciviste que la cognition était pour l'action et qu'il y a un couplage cerveau-corps-environnement dans lequel le cerveau interagit de manière dynamique avec le corps, et le corps avec l'environnement. Ainsi, ce dernier devient tout aussi important que le corps dans l'apprentissage. L'environnement pédagogique doit stimuler l'action. On peut penser que mettre dans l'espace différents endroits pertinents à l'intérieur de l'environnement vers lesquels les personnes apprenantes se déplacent pour y effectuer une tâche, pour manipuler des objets, pour interagir et discuter sur un sujet particulier, etc., est probablement une manière de faire en sorte que l'on favorise et vivifie l'inférence active. Par ailleurs, l'environnement

¹⁶ Ceci (et l'absence d'action, l'absence d'engagement dans l'environnement des personnes apprenantes) pourrait bien encore une fois donner une autre raison qui explique pourquoi les cours à distance sur un écran d'ordinateur ne fonctionnent pas si bien dans le contexte actuel de 2020.

peut aussi servir à « décharger » une partie du fardeau cognitif. En effet, il est possible de faire en sorte que les personnes apprenantes puissent mettre dans l'environnement une partie de l'information, ce qui permettrait de libérer des ressources cognitives pour faire autre chose, pour mettre leur attention sur un nouvel élément à apprendre, à maîtriser. Dans la mesure où ne réagit pas seulement à l'environnement, mais qu'on le façonne aussi, on devrait faire en sorte que les personnes apprenantes l'utilise en ce sens, pour libérer des ressources cognitives et propulser l'apprentissage. Les travaux de Guillaume Beaulac et Tim Kenyon (Beaulac & Kenyon 2014 ; Beaulac & Kenyon 2018) nous viennent en tête ici. En effet, dans la sphère de la philosophie du raisonnement, Beaulac soutient la thèse selon laquelle on peut très bien se servir de l'environnement pour raisonner et réduire nos biais cognitifs, et que ceci devrait être implémenté dans les salles de classe.

L'approche traditionnelle sur le raisonnement insiste sur la manière dont, individuellement, nous devons penser et raisonner pour réduire nos biais. Elle consiste, entre autres, à expliquer différentes sortes d'erreurs de raisonnement aux gens et à leur demander ensuite de les éviter. Bref, une des intuitions qui est au fondement de cette approche est celle selon laquelle « une personne avertie en vaut deux » (Beaulac & Kenyon 2014, p.345). Toutefois, corriger nos biais cognitifs sans aide dans les contextes où ils sont imminents est extrêmement difficile. L'idée de Beaulac et Kenyon est que l'on peut non seulement faire intervenir l'environnement en y mettant des signaux — en fournissant aux gens des « petits coups de pouce » (*nudges*) —, mais également (pour aller plus loin) en utilisant l'environnement pour annuler complètement la source du biais. Ces deux manières permettent de réduire le fardeau cognitif des personnes qui raisonnent en envoyant une partie de leur cognition dans l'environnement. Ainsi, Beaulac soutient qu'il faut étendre dans l'environnement les stratégies de correction de biais et leur enseignement. Prenons l'exemple d'un comité d'embauche où il y a de fortes chances que les hommes blancs soient favorisés. Pour réduire les chances de biais, en plus d'avoir appris les différents types de biais et les

outils pour les corriger, les gens siégeant au comité mettent un signe visible dans l'environnement, par exemple une note apparente et explicite sur la table, pour qu'ils se souviennent de la possibilité d'avoir des préjugés et pour qu'ils y soient attentifs. Cette correction de biais diminue le risque de réponses heuristiques, dans ce cas-ci une évaluation injustifiée de personnes dont le nom est celui d'une femme ou d'une minorité ethnique par exemple.

Encore une fois, et c'est ceci qui est intéressant, on peut aller plus loin (en utilisant l'environnement) et rendre anonymes toutes les candidatures en cachant les noms, et les informations personnelles des personnes candidates ; on s'assure donc d'embaucher les meilleures personnes seulement, sans privilégier qui que ce soit d'une quelconque façon. Un autre exemple allant en ce sens est celui où l'on met un tapis sur le plancher et où l'on sépare les personnes musiciennes et les juges par un paravent lors d'une audition, les rendant ainsi anonymes. Les études démontrent qu'avec cette méthode, les probabilités qu'une femme soit embauchée grimpent de 60 % (Beaulac & Kenyon 2014, p.359). C'est avec ce genre de stratégies que Guillaume Beaulac nous propose d'étendre le raisonnement et de réduire les biais cognitifs.¹⁷ On peut ainsi enseigner ces structures (raisonnements et corrections de biais qui font intervenir l'environnement) dans les cours de pensée critique. Et on peut, plus généralement, faire intervenir l'environnement dans les salles de classe. On peut utiliser l'environnement pour mieux apprendre (pour mieux raisonner dans cet exemple-ci), et, en tant que personne enseignante, on peut également utiliser l'environnement pour favoriser la participation de tout le monde, en particulier des femmes, en offrant par exemple plus d'une façon de participer, en créant de petits groupes de discussion à l'intérieur de la

¹⁷ Fait intéressant, Beaulac et Kenyon (2014, p.358-9) répondent à l'objection selon laquelle ceci n'est pas réellement du raisonnement en mentionnant que nier ceci serait également nier que « *the lifelong alcoholic who cultivates a preference for badminton as an alternative to hanging out in a pub is not demonstrating a willful continence regarding alcohol when she remains sober for years on end by spending time at the gym.* »

classe, en créant un climat propice et en encourageant explicitement la participation de tout le monde (Lindsay 2019, voir aussi Benétreau-Dupin & Beaulac 2015). L'environnement doit être propice à l'apprentissage d'un côté, en effet, mais on peut aussi apprendre à façonner l'environnement pour déployer de meilleures stratégies d'apprentissage.

Bref, on peut construire et utiliser l'environnement d'une manière à ce que les personnes apprenantes puissent bouger, puissent mieux communiquer entre elles. On peut aussi miser, par l'intermédiaire des interactions environnementales physiques, sociales et culturelles, sur la créativité, l'innovation et la coopération. Il s'agit d'instaurer des classes dynamiques riches en affordances éducatives. Laisser les enfants assis à un pupitre à écouter une personne enseignante parler n'est certainement pas une bonne méthode. Il est mieux de les placer en groupe dans une classe où l'environnement stimulant leur permet de se déplacer, d'aller chercher ce dont ils ont besoin à des « stations d'apprentissages », d'interagir avec le matériel disposé un peu partout et avec le personnel enseignant et les autres élèves. Il faut être en mesure de favoriser l'inférence active, de favoriser l'engagement, de favoriser un environnement propice aux apprentissages, et qui promeut les émotions positives et valorisantes particulièrement importantes dans l'apprentissage.

Ensuite, trois autres maximes de Stanislas Dehaene vont comme suit : « Encourageons les efforts », « Acceptons et corrigeons les erreurs » et « Révisons, encore et encore » (p.317). On peut faire tourner ces trois maximes autour du thème de l'erreur. Une conséquence que l'on peut faire sortir de ceci est celle suivant laquelle il faut peut-être revoir la manière dont nous voyons l'évaluation. Au lieu de la voir comme un outil pour mesurer le niveau des élèves, on pourrait et devrait s'en servir comme outil d'apprentissage. En effet, comme nous l'avons précédemment mentionné, on a remarqué que la récupération active renforce la mémoire. Depuis Ebbinghaus au moins, on sait qu'il y a un processus d'oubli, ou plutôt la « non-complétion » d'un processus

d'apprentissage, qui nous fait perdre très rapidement jusqu'à 70 % de ce que l'on a entendu ou lu. Il faut contrer ce processus. Récupérer l'information en mémoire activement permet de contrer ce processus, et ceci fait parfaitement sens dans le TP énaïvistique. En effet, pour apprendre, pour que les modèles puissent se mettre à jour, il est nécessaire de s'activer, d'agir, de générer des prédictions qui, elles, généreront des erreurs, qui généreront à leur tour d'autres actions, qui généreront à leur tour d'autres erreurs, et ainsi de suite. C'est à l'intérieur de ce processus que les modèles se mettent à jour, que le cerveau apprend. Il y a plusieurs manières d'implémenter ceci, le test en est une bonne. Le *Testing Effect* peut lui-même s'implémenter de plusieurs manières. En effet, en allant du côté des recommandations de Brown et collaborateurs (2014), on peut par exemple tester les personnes apprenantes avec un court quiz au début et à la fin de chaque cours, et faire également un quiz de révision 24 heures avant chaque examen. On peut aussi demander aux élèves d'écrire sur une feuille 10 choses qu'ils ignoraient au début du cours et qu'ils ont maintenant apprises ; ou encore, demander de dire ou d'écrire dans leur mot un passage lu en classe.

On pourrait penser à première vue que les tests fréquents seraient mal perçus par les personnes qui assistent au cours, qu'ils augmenteraient leur niveau de stress et d'anxiété. Or, on remarque plutôt l'inverse. Les personnes apprenantes ne sont pas plus anxieuses face à tous ces tests. Au contraire, les tests réduisent leur anxiété face à l'examen et leur donnent l'impression de mieux apprendre (Agarwal & al 2014 ; McDaniel & al 2011). D'un point de vue du TP énaïvistique, on pourrait dire que les situations de test permettent au cerveau de développer et de corriger des modèles des situations de test, lesquels permettent de générer moins d'erreurs de prédictions lors de ces situations, ce qui pourrait rendre la «trame affective» subjective (vraisemblablement via les prédictions intéroceptives) plus agréable et plus propice à l'apprentissage lors de période de «test». Ceci permettrait par le fait même de meilleurs résultats aux examens. Sur une note plus intuitive, encore à valider dans le cadre TP pragmatique, on peut aussi penser qu'en plus de faire savoir aux personnes

apprenantes ce qu'elles ne connaissent pas correctement et de consolider l'apprentissage, la récupération active par tests en classe permettrait de réduire l'absentéisme et l'inattention en classe en plus de leur donner une maîtrise progressive du sujet tout au long de l'année scolaire. On arriverait ainsi à la fin du semestre avec une maîtrise de la matière et on n'aurait pas à se torturer pendant des heures la veille à essayer de tout mémoriser (pour ensuite tout oublier dès l'examen terminé), pour se préparer à l'examen final. Enfin, pour la personne enseignante, c'est aussi un bon moyen de savoir où en est l'apprentissage de son groupe, de voir ce qui est compris de ce qui ne l'est pas, de ce qui marche bien de ce qui marche moins bien, et d'ajuster son cours en conséquence.

Toujours en lien avec les trois maximes de Dehaene mentionnées plus haut, il faut aussi être en mesure de dédramatiser l'erreur. On l'a vu, l'erreur est primordiale dans l'apprentissage selon le TP énoncé qui lie étroitement les quatre piliers de Dehaene en mettant l'accent sur le rôle fondamental de l'action, du corps et de l'environnement dans lequel les apprentissages ont lieu. Ainsi, on ne doit pas percevoir l'erreur négativement. Une rétroaction est importante pour corriger le tir, mais un retour sur l'erreur ne doit pas être l'équivalent d'une punition, point sur lequel d'ailleurs Dehaene met lui-même l'accent. La manière dont on donne de la rétroaction a de l'importance. La rétroaction ne devrait pas être teintée de mépris ou de réprimande, mais bien être neutre et surtout la plus informative possible. Nous y arrivons plus bas, mais remarquons que si l'on veut garder une trame affective optimale pour l'apprentissage, une rétroaction seulement négative, ou une simple note (« C » par exemple) est loin d'être informative, d'être en mesure d'aider à stimuler l'engagement et est par-dessus tout décourageant pour la personne qui apprend. On devrait prendre le temps de donner une bonne rétroaction, d'expliquer aux personnes apprenantes que l'erreur est non seulement normale, mais essentielle à l'apprentissage, ce qui pourrait les motiver et les activer, au lieu de les décourager, et pourrait même réduire le niveau d'anxiété de certaines d'entre-elles.

En allant dans le sens de la maxime « Laissons dormir les enfants » (Dehaene 2018, p.318), on pourrait et on devrait enseigner certaines bonnes habitudes de vie, en particulier l'importance du sommeil dans l'apprentissage, pour que le cerveau puisse mettre ses modèles génératifs à jour. Les personnes apprenantes pourraient ainsi comprendre pourquoi il n'est pas bénéfique d'étudier toute la matière le matin même de l'examen. Des séries d'études favorisant l'inférence active (test ou autre) espacées avec des périodes de sommeil sont une stratégie beaucoup plus gagnante pour retenir l'information, pour un apprentissage plus profond et plus durable. Il serait également pertinent d'ajuster les écoles secondaires aux heures naturelles de sommeil des adolescentes et adolescents pour qu'ils puissent pleinement profiter des bienfaits du sommeil sur leurs études. Et rappelons-nous, il ne s'agit pas seulement d'étudier ou de pratiquer quelque chose, et ensuite aller dormir pour que le tout soit consolidé. Le processus de consolidation est un processus plus lent qui nécessite comme nous l'avons vu préalablement avec le TP énonciviste des répétitions et des périodes de sommeil. Ainsi, il faut également réussir à expliquer aux personnes apprenantes que d'étudier seulement la veille d'un examen n'est pas non plus une stratégie gagnante (surtout si l'on veut se rappeler des informations pendant longtemps). Répéter et se tester sur plusieurs jours est beaucoup plus gagnant. Et ceci implique aussi que les personnes enseignantes ajustent leur cours en conséquence. Si l'on cherche à donner des compétences, des connaissances, des savoir-faire dont les personnes vont se souvenir et utiliser dans le futur, alors pourquoi leur enseigner quoi que ce soit que ces personnes auront de toute façon oublié quelques semaines plus tard ? Conséquemment, faire en sorte que ce qui a été vu à un moment dans la session soit revu plusieurs fois en faisant en sorte que les personnes apprenantes soient obligées de s'appropriier l'information (en discutant, en posant des questions, en écrivant des commentaires, en étant testées, etc.) est une meilleure façon de construire un cours si l'on veut que la matière soit retenue et que les gens qui quittent à la fin du semestre ou d'une année scolaire puissent s'en servir ensuite dans leur vie de tous les jours, dans la société.

Enfin, une autre maxime est la suivante : « Faisons de chaque jour d'école un plaisir » (Dehaene 2018, p.316). Or, non seulement le TP énonciviste nous permet de rendre compte de cette maxime, mais il propose d'aller plus loin et d'en faire en quelque sorte un pilier en soi. Tout d'abord, remarquons que les expériences émotionnelles sont omniprésentes dans la nature (Tyng et al. 2017). Selon les modèles de la cognition que nous avons vus précédemment, les émotions sont inséparables de la perception, de la cognition et de l'action (Damasio 1995 ; Barrett 2016, 2017 ; Seth 2013, Clark 2016). Souvenons-nous, selon le TP énonciviste, il y a toujours une certaine trame affective qui caractérise les états subjectifs, et ceux-ci ne peuvent être laissés de côté. De cette manière, elles sont importantes, voire même cruciales dans la façon dont on agence les classes, dans la façon dont on enseigne et apprend. En effet, on peut faire l'argument que les émotions modulent à peu près tous les aspects de notre cognition et que par conséquent elles doivent être considérées sérieusement comme propulseurs ou inhibiteurs de l'apprentissage. Les examens, les fins de session, les présentations, les cours eux-mêmes, les discussions, les ateliers, l'environnement lui-même, etc., peuvent mener à différentes émotions qui à leur tour influencent les processus cognitifs dans l'apprentissage. Il faut ainsi les prendre en compte dans notre explication de la manière dont nous apprenons. D'ailleurs, Chai M. Tyng et son équipe (Tyng et al. 2017) font une revue de la littérature qui montre l'influence claire des émotions sur l'apprentissage et la mémoire. Selon ces auteurs, les émotions influencent la formation d'un système de mémoire dépendant de l'hippocampe qui exerce un impact à long terme sur la mémoire et l'apprentissage. On a remarqué dans certaines études que l'amygdale s'active avec l'hippocampe durant l'encodage en mémoire à long terme d'informations ayant une dimension émotionnelle, ce qui serait associé à une meilleure rétention. Par conséquent, nous devrions nous assurer en classe que les personnes apprenantes sont dans un état émotionnel propice à l'apprentissage.

Évidemment, il semble aller de soi que les émotions positives facilitent l'apprentissage et contribuent à la réussite scolaire. En effet, comme le remarquent les autrices

Christina Siry et Michelle Brendal (2016) de l'Université du Luxembourg concernant l'enseignement et l'apprentissage des sciences, l'apprentissage de la science est un processus éactif et incarné, un processus qui est vécu dans la pratique, dans l'interaction avec l'environnement et qui ne doit pas exclure les émotions (et en prenant le TP éactiviste comme modèle qui met l'action au cœur de la cognition, on pourrait faire l'argument que tout apprentissage est en soi incarné et éactif : ce ne serait donc pas uniquement la science, mais pratiquement tout domaine). Ces deux chercheuses, à travers les années, ont pu observer la connexion profonde entre les émotions, l'enseignement et l'apprentissage en science, une connexion qui va beaucoup plus loin que les dimensions cognitives de l'apprentissage. Les autrices racontent une anecdote en classe où les enfants s'amuse et expérimentent avec des bassins d'eau. Selon elles, la curiosité est incarnée. Les enfants utilisent des gestes, des mouvements, leur corps, l'environnement, des expressions, des sons de différentes intensités pour mettre l'accent sur leurs découvertes. Lorsque les enfants s'engagent dans des expérimentations, leurs idées bougent, changent. Il s'agit là de quelque chose que l'on peut constater en regardant les nouvelles façons dont ils expérimentent d'essai en essai. On voit le lien étroit ici que l'on peut faire entre l'engagement actif, l'action, l'attention, l'erreur et les émotions. Les enfants sont concentrés parce que ce qu'il se passe dans la classe, ce qu'ils font dans le moment présent, les intéresse. Ceci les motive à agir, à continuer à expérimenter, à faire des erreurs dans le processus (à provoquer des « surprises »), tout cela dans la bonne humeur parce que l'environnement le permet. Quand ce genre de rituel en groupe est positif, les membres peuvent expérimenter une énergie émotionnelle positive, ce qui après un certain temps renforce le sentiment d'appartenance (Siry & Brendal 2016, p.808), ce qui, pourrait-on arguer, à son tour, renforce l'engagement dans l'expérimentation des enfants, et ce qui, au final, favorise l'apprentissage — et ici on reconnaît l'intuition de Dewey lorsqu'il disait qu'il fallait construire une sorte de « communauté éducative » (Dewey LW13).

Pour terminer et pour boucler la boucle, on peut faire voir que les idées proposées ici peuvent se retrouver dans l'œuvre du pragmatisme. En effet, celui-ci, et plus particulièrement John Dewey (MW9, LW13), prend en compte l'expérience des personnes étudiantes et le monde, l'environnement (constamment changeant), dans lequel leurs expériences ont lieu. Mettons l'accent sur la notion d'expérience qui est particulièrement importante. Celle-ci ne doit pas seulement être conçue de manière internaliste, comme étant à l'intérieur d'une personne : elle doit également inclure l'environnement. De plus, chaque expérience que nous vivons, selon Dewey, possède toujours une certaine dimension agréable ou désagréable (Dewey LW13:13) (notre « trame » affective). Elle est en partie construite de ce que nous avons vécu préalablement et modifiera d'une certaine façon nos expériences futures : « *The basic characteristic of habit is that every experience enacted and undergone modifies the one who acts and undergoes, while this modification affects, whether we wish it or not, the quality of subsequent experiences* » (Dewey LW13:18) (et l'on peut faire le lien ici entre prédictions, erreurs et mises à jour des modèles). En ce sens il y a toujours « continuité » dans l'expérience.

L'accumulation de diverses expériences poussera un organisme à chercher certaines situations et à en repousser d'autres. Il faut donc miser sur des expériences favorables à la personne apprenante, en stimulant la curiosité, en renforçant les initiatives et en suscitant des buts précis. Pour une personne enseignante, il s'agit d'utiliser sa propre expérience pour en donner d'autres aux personnes apprenantes en utilisant l'environnement qui favorisent l'implication, l'engagement, la curiosité pour élaborer des expériences de valeur (Dewey LW 13, 22), ce n'est donc pas de la « pédagogie de la découverte ». Et l'expérience étant toujours interaction avec l'environnement (il y a toujours continuité et interaction dans l'expérience), il faut être en mesure de sélectionner le bon environnement dans lequel les interactions ont lieu, car l'environnement peut tout aussi bien nuire à l'éducation d'une personne. Ceci va pleinement dans le sens des conséquences auxquelles nous mène le TP énaïvistique, qui

n'oublie pas et met l'accent sur le rôle de l'environnement dans l'apprentissage. L'aspect social a également une importance majeure. Étant naturellement sociables (voir à cet effet Laland 2017), les êtres humains peuvent fonder une sorte de vie communautaire éducative sur ce penchant naturel, le tout encadré d'un certain plan, d'une certaine ligne directrice, une certaine organisation, établi par la personne enseignante. Le développement de l'expérience (l'apprentissage) ne peut se faire que par interaction, ce qui fait de l'éducation un processus social : « *When education is based upon experience and educative experience is seen to be a social process, [...] The teacher loses the position of external boss or dictator but takes on that of leader of group activities* » (LW13:37).

On remarque à quel point ce très bref aperçu de la philosophie de l'éducation de Dewey résonne avec ce dont il a été question dans cette dernière section. La théorie pragmatiste du fonctionnement de l'esprit résonne également avec les approches incarnées, énaclives et prédictives de la cognition. Et ces modèles, lorsqu'appliqués à l'apprentissage, ne sont pas sans conséquence. Nous avons tenté ici d'en relever quelques-unes et de montrer qu'en dernière analyse on peut retrouver ses idées dans les intuitions pragmatistes. Comme le TP énacliviste, le pragmatisme mettait l'accent sur le corps, les émotions, l'action et l'environnement dans l'apprentissage. L'attention, l'engagement actif, l'erreur et la consolidation sont impliqués dans ces éléments. Et le TP énacliviste, inspiré des idées pragmatistes, nous permet d'expliquer tout ceci d'une manière particulièrement élégante. Avec des émotions positives (le caractère agréable de l'expérience), on porte plus attention, on s'engage plus, en s'engageant plus avec l'environnement (autant physique que social dirait Dewey) regorgeant d'affordances éducatives, on fait plus d'erreurs (qui ne doit pas mener à des expériences négatives), ce qui mène, tout en continuant à donner et vivre de bonnes « expériences », mènera à de meilleurs apprentissages.

CONCLUSION

Apprendre est sans aucun doute une des spécialités de l'espèce humaine et une bonne compréhension des mécanismes qui sous-tendent cette spécialité peut certainement aider à développer de meilleures stratégies d'apprentissage, de meilleures méthodes pédagogiques, de meilleurs outils d'enseignement. C'est en ce sens que Stanislas Dehaene nous a proposé ses quatre piliers de l'apprentissage qui sont, selon lui, au fondement d'un apprentissage réussi, plus profond et plus durable. Dans ce mémoire, nous sommes partis des données fournies dans l'ouvrage de Dehaene et avons passé en revue les quatre piliers en question. Nous avons ainsi vu, étudés à l'appui, l'importance de ces quatre piliers.

Or, nous avons montré que Dehaene, malgré l'importance et la justesse de son propos sur l'apprentissage, laisse de côté certains éléments pertinents en ce qui a trait à l'apprentissage et à la cognition plus généralement. Le corps, l'environnement et les émotions pourraient être mieux (et plus) inclus dans les facteurs qui influencent l'apprentissage, dans ce qui caractérise la cognition. Pour cette raison, nous nous sommes tournés vers les neurosciences cognitives qui subissent actuellement ce que certains ont nommé un « tournant pragmatique » (Engel et al. 2013). Nous avons commencé par montrer en quoi ce tournant pouvait trouver ses racines dans le pragmatisme. Les sciences cognitives incarnées et éenactives ont ensuite été introduites comme alternative à la première génération en sciences cognitives qui faisaient du cerveau quelque chose de désincarné, un engin à manipuler des symboles, à faire de la computation. Le traitement prédictif (le TP) a également été introduit comme modèle du fonctionnement du cerveau qui, lorsque mis en perspective avec le principe de l'énergie libre, se marie bien avec les considérations éenactivistes. Nous avons ainsi vu

que le rôle du cerveau (et de la cognition) n'est pas de se former une image véridique du monde, que le cerveau ne doit pas être considéré comme un genre de scientifique en herbe (Bruineberg et al. 2018). La cognition a pour but de servir l'action, de maintenir l'homéostasie, en donnant à l'organisme les outils pour pouvoir s'adapter à son environnement, et lui permettre de façonner son environnement pour adapter celui-ci à l'organisme. Et en ce sens, la cognition ne peut être séparée du corps dans lequel elle advient et de l'environnement dans lequel ce corps agit.

Avec ce cadre théorique en main, nous sommes retournés aux quatre piliers de l'apprentissage de Stanislas Dehaene pour les réinterpréter à l'intérieur du TP énaïviste. Nous avons ainsi vu que non seulement les quatre piliers cadrent parfaitement bien à l'intérieur du TP énaïviste, mais que celui-ci nous pousse à aller plus loin et à y inclure de manière plus fondamentale le corps, l'environnement et les émotions. L'attention devient le processus par lequel le cerveau d'un organisme augmente (ou diminue) le gain sur l'erreur de prédiction de façon à maximiser son adaptation et son apprentissage ; l'engagement actif est expliqué par la primauté de l'inférence active qui donne à l'action un rôle premier dans la cognition et l'apprentissage ; le retour sur erreur devient le processus par lequel les modèles génératifs sont mis à jour dans le but de mieux servir l'action ; la consolidation est le processus d'émondage synaptique dans le but d'améliorer les connaissances incluses dans le modèle génératif en les simplifiant et en les rendant plus généralisables ; et enfin, nous avons vu à travers ces quatre piliers que les émotions étaient omniprésentes, qu'il y avait toujours une certaine trame affective planant sur le ressenti subjectif en raison de signaux intéroceptifs ascendants et descendants.

Nous avons finalement considéré les conséquences pratiques que pouvait avoir un tel cadre théorique. En effet, la question était de savoir ce qu'il fallait retenir de tout ceci en ce qui concerne la pédagogie. À partir des maximes de Dehaene, nous avons fait quelques suggestions, quelques recommandations, pour le monde de l'éducation. Nous

avons également vu que le TP énaïviste nous dictait par moment de dépasser les maximes du chercheur en neuroscience. Ainsi, il a été question de l'attention en classe, du rôle de l'action et de l'environnement, de la nécessité de dédramatiser l'erreur, d'expliquer les bonnes habitudes de vie en matière d'apprentissage, et l'importance d'essayer de faire en sorte que l'expérience émotionnelle en classe soit positive.

Nous avons présenté les théories incarnées et énaïvistes de la cognition comme faisant partie d'un tournant pragmatique en neurosciences cognitives qui est apparu il y a quelques années. Ce tournant pragmatique prend ses sources en partie dans le pragmatisme classique en philosophie dont nous avons brièvement parlé. Or, le travail de recherche effectué dans ce mémoire nous a fait voir que le pragmatisme classique pourrait avoir une plus grande importance, un plus grand rôle à jouer dans les sciences cognitives que ce à quoi on pourrait s'attendre à première vue. Des auteurs comme William James, George Herbert Mead et plus particulièrement John Dewey ont beaucoup à nous apprendre sur la manière dont on peut concevoir la cognition humaine. Les sciences cognitives et la philosophie de l'éducation gagneraient à aller puiser dans ces idées. Nous croyons que les sciences cognitives énaïvistes pourraient être une manière privilégiée de le faire.

Or, les liens entre le pragmatisme et les sciences cognitives commencent à peine à émerger. Beaucoup de travail reste à faire pour expliciter les fondements pragmatistes des neurosciences cognitives énaïvistes, et c'est ce que plusieurs personnes ont commencé à faire (Gallagher 2014, 2017, 2020 ; Williams 2018). Nous croyons qu'il serait possible de faire la démonstration que le pragmatisme philosophique peut servir de fondement non seulement aux sciences cognitives, mais également à une science et une philosophie de l'éducation inspirée par les neurosciences incarnées et énaïvistes, ce qui permettrait ainsi leur unification dans un cadre théorique et méthodologique commun. En ce sens, alors que certains, comme nous l'avons vu et comme nous l'avons soutenu dans ce mémoire, parlent d'un tournant « pragmatique » en sciences cognitives

(Engel et al. 2013), nous croyons que l'on devrait plutôt défendre l'importance d'y effectuer un tournant franchement « pragmatiste ». Ce « genre » de sciences cognitives du tournant « *pragmatiste* » pourrait également nous éclairer en ce qui concerne l'éducation. Il serait ainsi possible de faire suite et de répondre à l'argument selon laquelle une philosophie de l'éducation pragmatiste n'existe pas réellement, que même la philosophie de l'éducation de Dewey n'est pas réellement pragmatiste comme le soutient Randall Curren :

it requires a great deal of selectivity and oversight to accept Dewey's philosophy of education as the essence of what pragmatism yields in the domain of philosophy of education. It is organized around some pragmatist themes, but it would be quite a leap to regard it as typical of what one could construct from pragmatist starting points. It does not depend fundamentally on any distinctively pragmatist doctrines, and it does depend on a good deal that is not essentially pragmatist—above all, the legacy of Rousseau, filtered through a tradition of pedagogical experiments and the writings of Spencer. [...] It is thus hard to see anything distinctively pragmatist in a commitment to Dewey's starting points. By contrast, the doctrines that do remain distinctively pragmatist—such as Dewey's insistence that inquiry does not reveal an independently existing world, but instead alters and makes it what it is in the interaction—play no significant role in his philosophy of education. (Curren 2009, p.500-1)

Si l'on accepte les propos de Curren, une réelle philosophie pragmatiste de l'éducation resterait encore à faire. Pour y arriver, il faudrait réussir à prendre comme point de départ les idées centrales du pragmatisme classique qui sont fondamentalement et littéralement « *pragmatistes* ». En amorçant ce tournant *franchement pragmatiste* en sciences cognitives, c'est-à-dire en mettant certaines des idées centrales du pragmatisme classique au fondement même des neurosciences incarnées et énaclives, et de même en fondant un nouveau pragmatisme, un pragmatisme 2.0, sur les neurosciences cognitives contemporaines, il serait possible de construire une philosophie de l'éducation inspirée par ce type de neurosciences cognitives qui serait enfin *authentiquement pragmatiste*. Ce travail reste évidemment à faire. Nous pensons qu'il est possible de non seulement établir un lien théorique (sur papier) entre le

pragmatisme et les sciences cognitives, mais que ce lien peut (et ici nous osons être nous-mêmes réellement « pragmatistes ») améliorer les choses, pour *pragmatiquement* bâtir un monde meilleur...

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, F. and Aizawa, K. (2010). The value of cognitivism in thinking about extended cognition. *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 9(4): 579–603.
- Agarwal, P., Bain, K., & Chamberlain, P. (2012). The Value of Applied Research: Retrieval Practice Improves Classroom Learning and Recommendations from a Teacher, a Principal, and a Scientist. *Educational Psychology Review*, 24(3), 437-448.
- Agarwal, P., D'antonio, L., Roediger, H., Mcdermott, K., & Mcdaniel, M. (2014). Classroom-based programs of retrieval practice reduce middle school and high school students' test anxiety. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(3), 131-139.
- Ahissar, M., & Hochstein, S. (1993). ATTENTIONAL CONTROL OF EARLY PERCEPTUAL-LEARNING. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of Ame*, 90(12), 5718-5722.
- Allaire-Dagenais, L. (1983). *Jean Piaget et l'éducation*. Québec français, (49), 72–73.
- Anderson, M. & Chemero, T. (2013). The problem with brain GUTs: Conflation of different senses of "prediction" threatens metaphysical disaster. *The Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 204-205.
- Anderson, M. (2014). *After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain*. Cambridge MA: MIT Press.
- Anderson, M. (2017). Of Bayes and Bullets : An Embodied , Situated, Targeting-based account of Predictive Processing. Dans Metzinger & Wiese (Eds), *Philosophy and Predictive Processing*: MIND group.
- Barrett, L. & Bar, M. (2009). See it with feeling: Affective predictions during object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1521),1325–34.
- Barrett, L. (2016). *How emotions are made : The secret life of the brain*. Houghton Mifflin Harcourt.

- Barrett, L. (2017). The theory of constructed emotion: An active inference account of interoception and categorization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(1), 1-23.
- Beaulac, G. et Kenyon, T. (2014). Critical Thinking Education and Debiasing, dans : *Informal Logic*, 34(4)341-363
- Beaulac, G. et Kenyon, T. (2018). The scope of debiasing in the classroom. *Topoi : An International Review of Philosophy*, 37(1), 93–102.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. et Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science* 275 (5304), 1293–5.
- Bediou, B., Adams, D., Mayer, R., Tipton, E., Green, C. et Bavelier, D. (2018). Meta-Analysis of Action Video Game Impact on Perceptual, Attentional, and Cognitive Skills. *Psychological Bulletin*, 144(1), 77-110.
- Beebe, D., Rose, D. et Amin, R. (2010). Attention, Learning, and Arousal of Experimentally Sleep-restricted Adolescents in a Simulated Classroom. *Journal Of Adolescent Health*, 47(5), 523-525.
- Benétreau-Dupin, Y. et Beaulac, G. (2015). Fair Numbers. What Data Can and Cannot Tell Us About the Underrepresentation of Women in Philosophy, *Ergo*, 2(3): 59-81.
- Berkers, R., Ekman, M., Van Dongen, E., Takashima, A., Barth, M., Paller, K. et Fernández, G. (2018). Cued reactivation during slow-wave sleep induces brain connectivity changes related to memory stabilization. *Scientific Reports*, 8(1), 16 958.
- Bessa, C., Maciel, P. et Rodrigues, A. (2013). Using *C. elegans* to Decipher the Cellular and Molecular Mechanisms Underlying Neurodevelopmental Disorders. *Molecular Neurobiology*, 465-489.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, (94),115-147.
- Bjork, R., Dunlosky, J. et Kornell, N. (2013). Self-Regulated Learning: Beliefs, Techniques, and Illusions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 417-444.
- Brown, P., Roediger, H. et McDaniel, M. (2014). *Make it stick: The science of successful learning*, Cambridge, Massachusetts : The Belknap Press of Harvard University Press.

- Brown, P., Roediger H. et McDaniel, M. (2016). *Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives*, Anne Viguier (trad.), Genève : Éditions Markus Haller.
- Bruineberg, J. et Rietveld, E. (2014). Self-organization, free energy minimization, and optimal grip on a field of affordances. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- Bruineberg, J., Kiverstein, J. et Rietveld, E. (2018). The anticipating brain is not a scientist: the free-energy principle from an ecological-enactive perspective. *Synthese*, 195(6), 2417–2444.
- Carpenter, S., Cepeda, K., Rohrer, N., Kang, J. et Pashler, D. (2012). Using Spacing to Enhance Diverse Forms of Learning: Review of Recent Research and Implications for Instruction. *Educational Psychology Review*, 24(3), 369-378.
- Cepada, N. J., Pasler, E., Vul, E., Wixted, J. T. et Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks : A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin*, (132), 354-380.
- Cicuto, C. et Torres, B. (2016). Implementing an Active Learning Environment to Influence Students' Motivation in Biochemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1020-1026.
- Clark, A. (1997). *Being there : putting brain, body, and world together again*. MIT Press.
- Clark, A. (2011). *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*, Oxford: Oxford University Press.
- Clark, A. (2013). Whatever next? predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 181–204.
- Clark, A. (2016). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*, Oxford: Oxford University Press.
- Clark, A. et Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58(1), 7–19.
- Curren, R. (2009). Pragmatist Philosophy of Education. In Siegel (ed) *The Oxford Handbook of Philosophy of Education*. Oxford: Oxford University Press, 489-507
- Damasio, A. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. New York: Putnam.

- Danziger, S., Levav, J. et Avnaim-Pesso, L. (2015) . « Qu'a Mangé Le Juge À Son Petit-Déjeuner ? » De L'impact Des Conditions De Travail Sur La Décision De Justice. *Les Cahiers de la Justice*, 4(4), 579–579.
- Bavelier, D., Shawn Green, C., Han, D. H., Renshaw P. H., M. Merzenich, M. et A. Gentile, D. (2011). Brains on video games. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 763-768.
- Dehaene, S. (2014). *Le code de la conscience*. Paris : Odile Jacob.
- Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines*. Paris : Odile Jacob.
- Dehaene, S. (dir.) (2011). *Apprendre à lire : Des sciences cognitives à la salle de classe*, Paris : Odile Jacob.
- Dewey, J. (1896). The Reflex Arc Concept in Psychology, *Psychological Review* 3(1), 357–370.
- Dewey, J. (1916/2008). *The Middle Works Vol 9, Democracy and Education*, J. A. Boydston (ed), Carbondale : Southern Illinois University Press.
- Dewey, J. (1925/2008). *The Later Works, Vol 1, Experience and Nature*, J. A. Boydston (ed), Carbondale : Southern Illinois University Press.
- Dewey, J. (1938-39/2008). *The Later Works Vol 13, Experience and Education, Freedom and Culture, Theory of Valuation, and Essays*, J. A. Boydston (ed), Carbondale : Southern Illinois University Press.
- Di Paolo, E. A. (2005). Autopoiesis, adaptivity, teleology, agency. *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 4(4): 429–52.
- Di Paolo, E. A., Buhrmann, T. et Barandiaran, X. E. (2017). *Sensorimotor Life: An Enactive Proposal*. Oxford: Oxford University Press.
- Di Paolo, E., & Thompson, E. (2014). The enactive approach. Dans : L. Shapiro (Ed.), *Routledge handbooks in philosophy. The Routledge handbook of embodied cognition* (p. 68–78). Routledge/Taylor & Francis Group.
- Engel, A., Maye, A., Kurthen, M. et König, P. (2013). Where's the Action? The Pragmatic Turn in Cognitive Science, *Trends in Cognitive Sciences*, 17(5), 202-209.
- Falconer, J. (2016). *Why not try active learning?* *AIChE Journal*, 62(12), 4174-4181.

- Fiorella, L. et Mayer, R. E. (2016). Effects of observing the instructor draw diagrams on learning from multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, *108*(4), 528–546.
- Fisher, A., Godwin, K. et Seltman, H. (2014). Visual Environment, Attention Allocation, and Learning in Young Children: When Too Much of a Good Thing May Be Bad. *Psychological Science*, *25*(7), 1362-1370.
- Foster, M. I. et Keane, M. T. (2019). The Role of Surprise in Learning: Different Surprising Outcomes Affect Memorability Differentially. *Topics in Cognitive Science*, *11*(1), 75-87.
- Foster, M. et Keane, M. (2015). Why some surprises are more surprising than others: Surprise as a metacognitive sense of explanatory difficulty. *Cognitive Psychology*, *81*(C), 74-116.
- Freeman, S., Eddy, S., Mcdonough, M., Smith, M., Okoroafor, N., Jordt, H. et Wenderoth, M. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(23), 8410-8415.
- Freeman, S., Haak, D. et Wenderoth, M. (2011). Increased Course Structure Improves Performance in Introductory Biology. *CBE — Life Sciences Education*, *10*(2), 175-186.
- Friston, K. (2009). The free-energy principle: A rough guide to the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(7), 293-301.
- Friston, K. (2010). The Free-Energy Principle: A Unified Brain Theory? *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(2), 127-138.
- Friston, K. (2012). Predictive coding, precision and synchrony. *Cognitive Neuroscience*, *3*(3-4), 238–9.
- Friston, K. J., Bastos, A. M., Pinotsis, D. et Litvak, V. (2015). Lfp and oscillations-what do they tell us? *Current Opinion in Neurobiology*, *31*, 1–6.
- Gallagher, S. (2014). Pragmatic interventions into enactive and extended conceptions of cognition. *Philosophical Issues*, *24*(1), 110–126.
- Gallagher, S. (2017). *Enactivist Interventions: Rethinking the Mind*. Oxford : Oxford University Press.
- Gallagher, S. (2020). *Action and Interaction*. Oxford: Oxford University Press

- Gallagher, S. and Varga, S. (2014). Social constraints on the direct perception of emotions and intentions. *Topoi* 33(1): 185–99.
- Galli, G., Sirota, M., Gruber, M., Ivanof, B., Ganesh, J., Materassi, M.,... Craik, F. (2018). Learning facts during aging: The benefits of curiosity. *Experimental Aging Research*, 44(4), 311-328.
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Green, C. et Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Current Biology : CB*, 22(6), R197-R206.
- Grimaldi, P. et Karpicke, J. (2012). When and why do retrieval attempts enhance subsequent encoding? *Memory & Cognition*, 40(4), 505-513.
- Gruber, M., Gelman, B. et Ranganath, C. (2014). States of Curiosity Modulate Hippocampus-Dependent Learning via the Dopaminergic Circuit. *Neuron*, 84(2), 486-496.
- Held, R., & Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56(5), 872-876.
- Hobson, J. A. et Friston, K. J. (2012). Waking and dreaming consciousness: Neurobiological and functional considerations. *Progress in Neurobiology*, 98(1), 82-98.
- Hohwy, J. (2013). *The Predictive Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Hohwy, J. (2016). The self-evidencing brain. *Nous*, 50(2), 259–285.
- Horikawa, Tamaki, Miyawaki et Kamitani. (2013). Neural decoding of visual imagery during sleep. *Science* (New York, N.Y.), 340(6132), 639-642.
- Huber, R., Ghilardi, M., Massimini, M. et Tononi, G. (2004). Local sleep and learning. *Nature*, 430(6995), 78-81.
- Huelser, B. et Metcalfe, J. (2012). Making related errors facilitates learning, but learners do not know it. *Memory & Cognition*, 40(4), 514-527.
- Hutto, D. D. et Myin, E. (2018). Going Radical. In Newen, De Bruin, & Gallagher (Eds), *The Oxford Handbook of 4E Cognition*. Oxford: Oxford University Press, 95-115

- Imuta, K. et Scarf, D. (2014). When too much of a novel thing may be what's "bad": Commentary on Fisher, Godwin, and Seltman (2014). *Frontiers in Psychology*, 5, 1444.
- James, W. (1890/1950). *The Principles of Psychology* (2 volumes), New York : Dover.
- James, W. (1992). *Psychology: Briefer Course, The Will to Believe and Other Essays in Popular Philosophy, Talks to Teachers on Psychology and to Students on Some of Life's Ideals Selected Essays*. New York: Library of America.
- James, W. (2010). *Le pragmatisme*. Traduction Nathalie Ferron. Paris: Flammarion.
- Jiang, X., Shamie, I., K. Doyle, W., Friedman, D., Dugan, P., Devinsky, O., . . . Halgren, E. (2017). Replay of large-scale spatio-temporal patterns from waking during subsequent NREM sleep in human cortex. *Sci Rep*, 7(1), 17 380.
- Johnson, David W., Johnson, Roger T. et Smith, Karl A. (1998). Cooperative Learning Returns To College What Evidence Is There That It Works? *Change : The Magazine of Higher Learning*, 30(4), 26-35.
- Johnson-Glenberg, M. C. et Romanowicz, C. (2017). Embodied science and mixed reality: How gesture and motion capture affect physics education. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 24.
- Karni, Tanne, Rubenstein, Askenasy et Sagi. (1994). Dependence on REM-sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science*, 265(5172), 679-682.
- Karpicke, J. D., Butler, A. C. et Roediger, H. L. (2009). Metacognitive strategies in student learning: Do students practice retrieval when they study on their own?. *Memory*, 17, 471-479.
- Karpicke, J. et Roediger, H. (2008). The critical importance of retrieval for learning. *Science* (New York, N.Y.), 319(5865), 966-968.
- Kiefer, A. et Hohwy, J. (2018). Content and misrepresentation in hierarchical generative models. *Synthese*, 195(6), 2387-2415.
- Kirschner, P. et Van Merriënboer, J. (2013). Do Learners Really Know Best? Urban Legends in Education. *Educational Psychologist*, 48(3), 169-183.
- Kirszenblat, L. et Van Swinderen, B. (2015). The Yin and Yang of Sleep and Attention. *Trends in Neurosciences*, 38(12), 776-786.
- Lakoff, G. et Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press.

- Lakoff, G. et Johnson, M. (1999). *Philosophy In The Flesh: The Embodied Mind And Its Challenge To Western Thought*. New York: Basic Books.
- Laland, K. N. (2017). *Darwin's unfinished symphony : how culture made the human mind*. Princeton University Press.
- Lewis, M. D. et Todd, R. (2005). Getting emotional - a neural perspective on emotion, intention, and consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 12(8-10), 210–235.
- Linsay, S. (2019). 5 Strategies for Empowering Women in the Classroom. *CBE International*. <https://www.cbeinternational.org/resource/article/mutuality-blog-magazine/5-strategies-empowering-women-classroom>
- Lupyan, G. et Clark, A. (2015). Words and the World: Predictive Coding and the Language-Perception-Cognition Interface. *Current Directions in Psychological Science*, 24(4), 279-284.
- Madzia, R. et Jung, M. (2017). Introduction : What a Pragmatist Cognitive Science Is and What It Should Be. Madzia & Jung (eds), *Pragmatism and Embodied Cognitive Science*, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, 17-34.
- Maturana, H. R. et Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge : the biological roots of human understanding*. Shambhala.
- McClelland, J., McNaughton, B. et O'Reilly, R. (1995). Why There Are Complementary Learning Systems in the Hippocampus and Neocortex: Insights From the Successes and Failures of Connectionist Models of Learning and Memory. *Psychological Review*, 102(3), 419-457.
- McDaniel, M., Agarwal, P., Huelser, B., McDermott, K. et Roediger, H. (2011). Test-Enhanced Learning in a Middle School Science Classroom: The Effects of Quiz Frequency and Placement. *Journal of Educational Psychology*, 103(2), 399-414.
- Mead, G. H. (1934/2015). *Mind, Self, and Society. The Definitive Edition*, C. W. Morris (ed), Chicago & London: University of Chicago Press.
- Metcalf, J. (2017). Learning from Errors. *Annual Review of Psychology*, 68(1), 465-489.
- Metcalf, J. et Xu, J. (2018). Learning from one's own errors and those of others. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 402-408.
- Nathan, M. J. et Walkington, C. (2017). Grounded and embodied mathematical cognition: Promoting mathematical insight and proof using action and language. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 9.

- Newell, A. et Simon, H. (1976). Computer science as empirical inquiry: symbols and search. *Communications of the Acm*, 19(3), 113–126.
- Newen, A., De Bruin, L. et Gallagher, S. (2018). 4E Cognition: Historical Roots, Key Concepts, and Central Issues. Dans : Newen, De Bruin, et Gallagher (Eds), *The Oxford Handbook of 4E Cognition*. Oxford: Oxford University Press, 3-15
- Noë, A. (2008). Experience Without the Head. in Lycan, W.G. and Prinz J.J. (eds), *Mind and Cognition : An Anthology*. 3rd ed. Malden, MA: Blackwell. 760-75
- Noë, A. 2004. *Action in Perception*. Cambridge, MA: MIT Press.
- O'Regan, K. et Noë, A. 2001. A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences* 23, 939–73.
- O'Reilly, R., Bhattacharyya, R., Howard, M. et Ketz, N. (2014). Complementary Learning Systems. *Cognitive Science*, 38(6), 1229-1248.
- O'Reilly, R. C. et Norman, K. A. (2002). Hippocampal and Neocortical Contributions to Memory: Advances in the Complementary Learning Systems Framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 505-510.
- Orlandi, N. (2016). Bayesian Perception Is Ecological Perception. *Philosophical Topics*, 44(2), 327-352
- Orlandi, N. (2018). Predictive Perceptual System. *Synthese*, 195, 2367–2386
- Peirce, C. S. (1992). *The Essential Peirce: Selected Philosophical Writings*. Houser, Kloesel et the Peirce Edition Project (eds.), Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press
- Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, Vol.93(3), pp.223-231.
- Rasch, B., Büchel, C., Gais, S. et Born, J. (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science* (New York, N.Y.), 315(5817), 1426-1429.
- Rihm, Julia S., Diekelmann, S., Born, J. et Rasch, Björn. (2014). Reactivating Memories during Sleep by Odors: Odor Specificity and Associated Changes in Sleep Oscillations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(8), 1806-1818.
- Roediger, H. et Karpicke, J. (2006). Test-Enhanced Learning: Taking Memory Tests Improves Long-Term Retention. *Psychological Science*, 17(3), 249-255.

- Roediger, H., Agarwal, P., McDaniel, M. et McDermott, K. (2011). Test-Enhanced Learning in the Classroom: Long-Term Improvements From Quizzing. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17(4), 382-395.
- Ruhl, K., Hughes, C. et Schloss, P. (1987). Using the Pause Procedure to Enhance Lecture Recall. *Teacher Education and Special Education*, 10(1), 14-18.
- Sekeres, M., Moscovitch, M. et Winocur, G. (2017). Mechanisms of Memory Consolidation and Transformation. Axmacher, Nikolai, & Rasch, Björn. (eds). *Cognitive Neuroscience of Memory Consolidation*, Cham: Springer International Publishing, 17-44.
- Seth, A. K. (2013). Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(11), 565-573.
- Seth, A. K. (2015). The Cybernetic Bayesian Brain: From Interoceptive Inference to Sensorimotor Contingencies. In Metzinger & Windt (Eds), *Open MIND*: 35 (T). Frankfurt: MIND Group.
- Seth, A. K. et Friston, K. J. (2016). Active interoceptive inference and the emotional brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 371(1708).
- Simons, D. et Chabris, C. (1999). Gorillas in our midst: sustained inattentive blindness for dynamic events. *Perception*, 28, 1059-1074.
- Siry, C. et Brendel, M. (2016). The inseparable role of emotions in the teaching and learning of primary school science. *Cultural Studies of Science Education*, 11(3), 803-815.
- Spelke, E., Breinlinger, K., Macomber, J. et Jacobson, K. (1992). Origins of Knowledge. *Psychological Review*, 99(4), 605-632.
- Stahl, A. et Feigenson, L. (2015). Cognitive development. Observing the unexpected enhances infants' learning and exploration. *Science* (New York, N.Y.), 348(6230), 91-94.
- Stahl, A., & Feigenson, L. (2017). Expectancy violations promote learning in young children. *Cognition*, 163, 1-14.
- Stahl, A. et Feigenson, L. (2019). Violations of Core Knowledge Shape Early Learning. *Topics in Cognitive Science*, 11(1), 136-153.
- Stapleton, M. (2013). Steps to a 'properly embodied' cognitive science. *Cognitive Systems Research*, 22(3), 1-11.

- Stone, James V. (2013). *Bayes' Rule: A Tutorial Introduction to Bayesian Analysis*. Sheffield: Sebtel Press.
- Sullivan, J. (2018). Learning and Embodied Cognition: A Review and Proposal. *Psychology Learning & Teaching, 17*(2), 128-143.
- Susanne Diekelmann, et Jan Born. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience, 11*(2), 114-126.
- Thompson, E. (2007). *Mind in Life: Biology, Phenomenology and the Sciences of Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Tran, C., Smith, B. et Buschkuehl, M. (2017). Support of mathematical thinking through embodied cognition: Nondigital and digital approaches. *Cognitive Research: Principles and Implications, 2*(1), 16.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind, 59*(236), 433–460.
- Tyng, C.M., Amin, H. U., Saad, M. N. M. et Malik A.S. (2017). The Influences of Emotion on Learning and Memory. *Frontiers in Psychology, 8*, 1454.
- Varela F, Thompson E. et Rosch E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Veen, W., Ehlers, U., & Schneckenberg, D. (2010). The Homo Zappiens and its Consequences for Learning in Universities. In *Changing Cultures in Higher Education: Moving Ahead to Future Learning*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 323-337.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wagner U., Steffen Gais, Hilde Haider, Rolf Verleger et Jan Born. (2004). Sleep inspires insight. *Nature, 427*(6972), 352-355.
- Wamsley, E., & Stickgold, R. (2019). Dreaming of a learning task is associated with enhanced memory consolidation: Replication in an overnight sleep study. *Journal of Sleep Research, 28*(1), E12749.
- Weisberg, S. et Newcombe, M. (2017). Embodied cognition and STEM learning: Overview of a topical collection in CR : PI. *Cognitive Research : Principles and Implications, 2*(1), 1-6.
- Wilcox, T., Nadel, L. et Rosser, R. (1996). Location memory in healthy preterm and full-term infants. *Infant Behavior and Development, 19*(3), 309-323.

- Wilkinson, S., Deane, G., Nave, K. et Clark, A. (2019). Getting Warmer: Predictive Processing and the Nature of Emotion. L. Candiotta (ed.), *The Value of Emotions for Knowledge*, Palgrave Macmillan, 101-19.
- Williams, D. (2018). Pragmatism and the predictive mind. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 17(5), 835-859.
- Wilson, R. A. et Foglia L. (2017). Embodied Cognition. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.).