



HAL
open science

Inscription corporelle des dynamiques cognitives et leur impact sur la liberté de l'humain en société

Mehdi Khamassi, Jean Lorenceau

► To cite this version:

Mehdi Khamassi, Jean Lorenceau. Inscription corporelle des dynamiques cognitives et leur impact sur la liberté de l'humain en société. *Intellectica - La revue de l'Association pour la Recherche sur les sciences de la Cognition (ARCo)*, 2021, 75, pp.33-72. hal-03656562

HAL Id: hal-03656562

<https://hal.science/hal-03656562>

Submitted on 5 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Inscription corporelle des dynamiques cognitives et leur impact sur la liberté de l'humain en société

Mehdi KHAMASSI* & Jean LORENCEAU[#]

RÉSUMÉ. L'objet de cet article est d'examiner comment les connaissances issues de la psychologie et des neurosciences cognitives sur les automatismes comportementaux que notre corps acquière par interaction avec notre environnement peuvent nous aider à devenir plus libres. Pour cela, nous dressons un parallèle avec des positionnements philosophiques selon lesquels la liberté est possible à l'humain par degré, notamment celui de Spinoza où la connaissance rend plus libre, et celui de Bergson où le temps de délibération et d'invocation de la mémoire rend plus libre. Plus précisément, notre thèse est qu'un examen critique régulier de tout ce qui favorise nos automatismes comportementaux augmente notre liberté. Ceci nous permet de ne garder que des automatismes choisis, et de réduire l'influence des stimuli externes sur nos décisions. Pour cela, nous insistons sur la notion d'apprentissage de modèles internes issus des neurosciences computationnelles. Ces modèles nous permettent de simuler mentalement les conséquences possibles de nos actions avant de décider, et donc de délibérer en fonction de nos buts et de nos valeurs. Ainsi, nous pouvons prendre des décisions qui nous ressemblent davantage et que nous avons moins de chances de regretter par la suite. Enfin, il s'agit de soumettre à un examen critique tous les éléments de notre environnement qui nous poussent à agir par automatismes (stimuli conditionnés, contextes particuliers, publicités, messages politiques simplistes, pression sociale, etc.).

Mots-clés : Décision, action, système 1/système 2, temps de délibération, dynamiques cognitives, biais cognitifs, métacognition, l'humain en société.

ABSTRACT. Embodied Cognitive Dynamics and their Impact on Humans' Freedom within the Society. The purpose of this article is to examine how knowledge from psychology and cognitive neuroscience about the behavioral automatism that our bodies acquire through interaction with our environment can help us become freer. For this, we draw a parallel with philosophical positions according to which freedom is possible for humans by degree, in particular that of Spinoza where knowledge makes people freer, and that of Bergson where the time for deliberation and invocation of memory makes more free. Specifically, our thesis is that a regular critical examination of anything that promotes our behavioral automatism increases our freedom. This allows us to keep only selected automatism, and to reduce the influence of external stimuli on our decisions. For this, we emphasize the notion of learning internal models, as promoted in computational neuroscience. These models allow us to mentally simulate the possible consequences of our actions before deciding, and therefore to deliberate according to our goals and

* Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, Sorbonne Université, CNRS, Paris. mehdi.khamassi<at>upmc.fr

[#] Integrative Neuroscience and Cognitive Center, Université de Paris, CNRS, Paris, France.

our values. This way, we can make decisions that are more like us and that we are less likely to regret later. Finally, we propose to examine all the elements of our environment that prompt us to act automatically (conditioned stimuli, particular contexts, advertisements, simplistic political messages, social pressure, etc.).

Keywords: Decision-making, action, system 1/system 2, deliberation time, cognitive dynamics, cognitive bias, metacognition, human in society.

INTRODUCTION

Le corps, notre contenant et notre contenu, notre forme comme notre fond, est l'instrument de toutes nos expériences vécues, réelles et concrètes autant qu'imaginées. Il est la contrainte incontournable de nos possibles. Le bien connaître, le bien utiliser, le bien accepter, est la seule voie pour étendre la liberté qu'il limite. C'est lui qui impose d'abord « sa loi », ses contraintes, le champ des possibles, ... avant les lois des sociétés où il vit.

Ce corps est le corps construit par le temps de l'évolution, ce temps qui l'a modelé, de millénaire en millénaire, et qui s'impose à chacun de celles et ceux qui naissent. Ce corps donné pour un temps à la vie, est un corps qui se façonne, un fleuve qui creuse son lit, au gré des vents de l'expérience, et du temps. Une expérience et un temps qui s'imposent, et se choisissent... peut-être.

Ce corps fait des choses, et peut-être lui faisons-nous (Nous ? Je ?) faire des choses. Sensations, perceptions, décisions, actions, émotions passent par lui, qui est à nous, d'où émerge notre conscience, mais qui reste étranger. Étranger, car ce corps reste mystérieux, senti mais incompris encore pour une grande part, mais part qui diminue avec l'accumulation de nos savoirs et nos connaissances. Il est notre objet d'expérience. Il doit alors être aussi notre objet d'étude, si l'on ne veut subir ses contraintes informulées. Si l'on veut gagner une liberté des possibles.

Un exemple ? Ce vase que Rubin a dessiné, est-il un vase, ou deux profils qui se font face ? La (ma) perception alterne à « son » (mon) rythme entre l'un et les autres, instable, sans que « Je » l'ai choisi, sans que j'impose au corps – à « mon » corps – cette perception qui est pourtant « mienne » (mienne car non partagée, et impartageable).

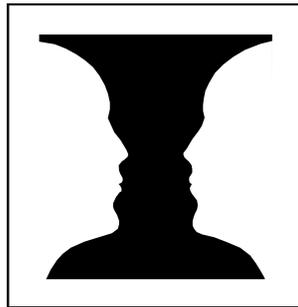


Figure 1
Illusion de Rubin.

Qui impose ce rythme ? Qui décide ? Qui choisit ? Pourquoi ? Est-ce la volonté d'un autre, un complot ourdi à « mon » insu, une expression transcendante ou divine ?

Ou le fruit d'une physiologie bercée par les mécanismes du corps, la fluidité d'un métabolisme complexe et instable, hors maîtrise, mais tellement matériel (c'est « mon » corps) ?

D'aucuns, épris de la liberté de l'ignorance (et donc habités de croyances), préféreront le miracle, l'influence d'une force inconnue qui détermine, maintenant et à chaque instant, ce que je vois, ce que je sens, ce que je suis, ce que je pense, superpuissance impalpable, immatérielle, à laquelle « j' » accorde tous les pouvoirs.

Les autres sauront qu'il n'en est rien. La perception instable du vase de Rubin est le fruit du mariage d'un métabolisme qui se fatigue, et d'un métabolisme qui varie, au gré du chaos des boutons synaptiques qui s'enchevêtrent et relâchent, par instant, des médiateurs chimiques dans l'espace cérébral. Un mariage que l'on peut mesurer, simuler et que l'on peut alors comprendre (Rodriguez *et al.*, 1999). « Ma » perception, c'est bien « moi », « mon » corps qui vit, qui vit encore.

L'objet de cet article est d'examiner comment les connaissances issues de la psychologie et des neurosciences cognitives sur les automatismes comportementaux que notre corps acquière par interaction avec notre environnement peuvent nous aider à devenir plus libres. Plus précisément, notre thèse est qu'un examen critique régulier de tout ce qui favorise nos automatismes comportementaux augmente notre liberté, nous permettant de ne garder que des automatismes choisis, triés. Devenir plus libre non seulement en se connaissant mieux soi-même¹, mais également en donnant plus de temps à la délibération avant une décision pour réduire l'influence des stimuli externes de notre environnement immédiat. Comme nous le verrons, les neurosciences cognitives ont accumulé des connaissances sur les mécanismes par lesquels les processus de délibération explicite² permettent à la fois de se remémorer des expériences passées (processus rétrospectif) et de simuler mentalement des conséquences futures possibles de nos actions avant de décider (processus prospectif). Nous verrons comment la notion de *modèles internes*, acquis par interaction avec l'environnement et affinés par la réflexion, est une clef pour favoriser ces modes de délibération.

Nous examinerons à la fois les automatismes décisionnels et nos actions habituelles. Nous passerons en revue dans un premier temps les éléments favorisant les automatismes, en distinguant les causes endogènes et exogènes de nos routines comportementales. Puis nous discuterons comment limiter l'impact de ces éléments. D'un côté, inhiber nos habitudes non souhaitées et éliminer tout ce qui nous presse à décider rapidement et stéréotypiquement (ces stéréotypes ayant souvent été définis ou construits par d'autres que nous-mêmes). Ainsi, ne garder que des automatismes choisis, et remplacer les autres

¹ Notamment en connaissant mieux ses propres biais cognitifs, ce qui est examiné dans l'article de Mathias Pessiglione dans ce même numéro (Pessiglione, 2021).

² Par opposition aux processus décisionnels implicites sous-jacents à nos automatismes comportementaux.

par une délibération qui prend en compte à la fois notre mémoire propre et une anticipation des conséquences de l'action, permet de prendre des décisions qui nous ressemblent davantage, et qu'on a moins de chances de regretter par la suite. De l'autre côté, il s'agit de soumettre à l'examen critique tous les éléments de notre environnement qui nous poussent à agir par automatismes (stimuli conditionnés, contextes particuliers, publicités, messages politiques simplistes, pression sociale, etc.). Nous concluons sur une discussion d'un ensemble de mesures qui contribueraient complémentaiement à augmenter notre liberté : mieux se connaître soi-même, mieux connaître son environnement, prendre davantage de temps avant de décider dans le présent, et davantage de temps pour réfléchir à nos décisions passées et futures, et enfin changer certains éléments de notre environnement et certaines caractéristiques de la structure actuelle de nos sociétés humaines³.

Comme l'écrivait Rémy Versace dans son introduction au numéro 74 d'*Intellectica* sur la cognition incarnée (Versace, 2021) : « L'idée d'une projection dans le temps vient de la conception fondamentalement mnésique de la cognition. Le cerveau, mais aussi le corps, gardent des traces de nos expériences sensori-motrices, modifiant ainsi leurs potentialités ou dispositions à répondre ultérieurement, conditionnant ainsi l'émergence des états mentaux et plus largement la dynamique cognitive 'ici et maintenant' ».

1 – PRÉMISSES : UNE LIBERTÉ PAR DEGRÉS

Tout en abordant la question de la liberté du point de vue de la psychologie et des neurosciences, nous allons ici tenter de relier des données expérimentales avec des positionnements philosophiques existants. Cela permet à la fois de resituer le matériel mentionné ici dans le débat sur le « libre arbitre », et d'inviter au dialogue entre ces disciplines.

Tout d'abord, nous nous plaçons ici dans un cadre philosophique dans lequel la liberté d'action s'offre à l'humain par degrés, et est donc modulable. Expliquons-nous.

Nous préférons le terme « liberté » à celui de « libre arbitre », ce dernier ayant une histoire et une connotation dualistes depuis Descartes. Il suppose en effet l'existence, en parallèle du système nerveux, de quelque chose d'immatériel, qui échappe aux règles causales du monde matériel tout en étant capable d'influer sur notre cerveau (donc sur le domaine matériel) pour lui faire prendre des décisions et déclencher des actions qui reflètent notre liberté la plus pure. Comme Spinoza, nous considérons ici corps et esprit comme « *une seule et même chose* » (Spinoza, 1677, E III, proposition 2, scolie), comme deux attributs d'une substance unique (*op. cit.*, E I, définition 6), c'est-à-dire deux attributs de la Nature (*op. cit.*, E IV, proposition 4). De ceci ressort

³ Notons que si cet article ne comptera que quelques exemples où les émotions interviennent, il ne s'agit pas ici de tomber dans le 100% raison 0% émotion. L'un ne va pas sans l'autre dans la cognition (Spinoza, 1677 ; Thompson & Varela, 2001 ; Damasio, 2006). La thèse de l'article n'empêche pas, par exemple, de préférer vivre l'amour sans être trop rationnel, et se laisser porter par l'instant présent dans sa vie amoureuse. Mais il faut pour être réellement libre que ce choix ait été a minima réfléchi et délibéré hors des moments vécus, pour ne pas que le laisser-aller dans l'instant ne se transforme en imitation inconsciente d'actions stéréotypées non choisies mais vues ailleurs. Voir la partie sur les propositions visant à nous rendre plus libre.

qu'il n'y a pas de notion de causalité entre corps et esprit « le corps ne peut déterminer l'esprit à penser, ni l'esprit déterminer le corps au mouvement, ni au repos, ni à quelque chose d'autre (si ça existe) » (*op. cit.*, E III, proposition 2). Comme nous l'écrivions en introduction du numéro 70 d'Intellectica sur « Éthique et Sciences Cognitives », cela revient à considérer que « les deux [esprit et corps, chose pensante et étendue matérielle] sont la même chose, deux façons de représenter le même événement ou le même état dans deux espaces de description différents. » (Khamassi *et al.*, 2019).

En outre, nous nous plaçons dans un cadre déterministe (a minima un déterminisme faible qui se résume au principe de causalité, sans avoir besoin d'invoquer un déterminisme finaliste⁴). Dans ce cadre, le monde est régi par des lois qui permettent de décrire les influences causales exercées par et sur notre corps à différentes échelles, c'est-à-dire à nouveau dans différents espaces de description que l'humain peut utiliser pour tenter de mieux comprendre ces lois (physique des particules ; chimique au niveau des molécules, ions, etc. ; biologique au niveau des neurones ; biologique au niveau des réseaux neuronaux ; psychologique ; social). Comme l'expliquent certains philosophes (par ex., Russell, 1935), et comme le rappellent certains articles de ce numéro (Bedminster ; Dolbeault ; Pessiglione, ce numéro), ce positionnement n'est rien d'autre qu'un positionnement scientifique, car s'il n'y a aucune causalité alors il n'y a aucune régularité, aucune loi, donc rien qui puisse être étudié ni compris par les sciences.

À partir de là, nous pouvons représenter différents degrés de liberté selon un segment gradué (Figure 2), comme un spectre des possibles en termes d'« autonomie décisionnelle » (Khamassi, 2021) ou d'« autonomie psychologique » (Bonicalzi & Haggard, 2019) qui s'offre à l'humain. Nous ne chercherons pas à discuter ici si le déterminisme est total (*i.e.*, tout serait déjà fixé à l'avance ; ce que le sens commun pourrait être tenté d'associer à l'extrémité gauche de ce segment) ou s'il existe des indéterminismes. Comme le souligne Jean-Baptiste Guillon dans ce numéro, la physique n'a pas encore déterminé s'il existe un indéterminisme incompressible au niveau quantique ; les neurosciences cognitives n'ont pas établi de façon convaincante que la liberté n'existe pas ; et les débats philosophiques depuis des décennies n'ont pas tranché la question. Notons tout de même que certains philosophes empiristes ne voient pas d'incompatibilité entre déterminisme et liberté (voir Guillon, ce numéro). Même si, comme le souligne Bertrand Russell dans *Sciences et religion* (1935), nos préférences et désirs ont des causes, nous disposons d'une marge de manœuvre pour faire coller plus ou moins nos actes à nos préférences. Pour paraphraser Bergson (1889), actes et préférences peuvent être d'autant mieux alignés que nous prenons le temps de délibérer avant de prendre une décision. De plus, comme nous allons le souligner ici en s'ancrant sur les neurosciences computationnelles, plus nous délibérons longtemps avant de décider, plus notre décision peut prendre en considération

⁴ Voir l'article de Joël Dolbeault dans ce même numéro pour une discussion de différentes formes de déterminisme et l'identification d'un déterminisme faible au seul « principe de causalité universelle », qui affirme que tout ce qui existe a une cause (ou un ensemble de causes) (Dolbeault, ce numéro). Voir également l'article de Bernard Feltz dans ce même numéro qui rappelle la distinction entre « réductionnisme constitutif » et « réductionnisme explicatif » (Feltz, ce numéro).

un grand nombre de décisions alternatives, ce qui est un des éléments qui peuvent contribuer à davantage de liberté décisionnelle sans entrer en contradiction avec le déterminisme (Nioche, 2017). Enfin, du point de vue éthique, notons que même s'il y a déterminisme total, plusieurs éléments font que les décisions humaines restent non complètement prévisibles : « l'effet papillon » dans les systèmes chaotiques, les phénomènes d'émergences des systèmes complexes, les phénomènes de causalité descendante (Feltz, ce numéro), et les approximations nécessaires à toute explication scientifique d'un phénomène impliquant un changement d'échelle de description (par ex., de l'atomique au neuronal, du neuronal au psychologique, du psychologique au social, et vice versa). Même dans un déterminisme total, nous découvrons nos décisions au fur et à mesure du vécu, et c'est également le cas pour tout observateur humain, aussi perfectionnés que soient son équipement technique et son matériel d'observation. Du point de vue de la loi, le simple fait (1) de savoir quelles sont les conséquences d'une action, (2) de savoir que l'action préméditée est éventuellement jugée comme mauvaise du point de vue des normes morales de la société, et (3) d'effectuer tout de même l'action, suffisent pour considérer que notre degré de liberté nous confère une responsabilité juridique (Bigenwald & Chambon, 2019).

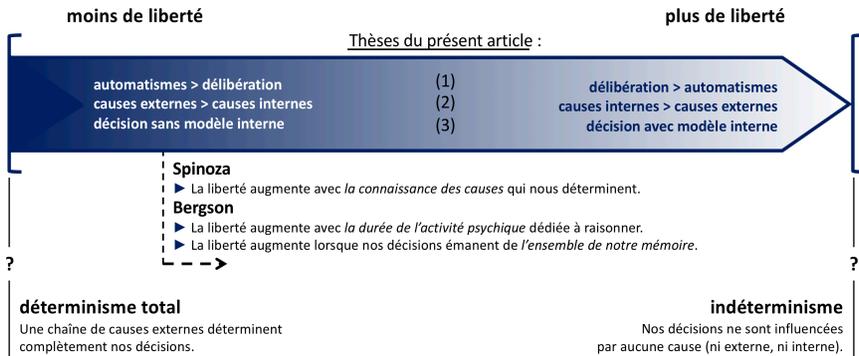


Figure 2

Une liberté par degrés, mise en relation avec les propositions philosophiques de Spinoza et de Bergson. Ici, la thèse du présent article est que la liberté augmente (1) avec la réduction des automatismes comportementaux, (2) à mesure que les causes de la décision sont internes plutôt qu'externes, (3) lorsque les décisions sont fondées sur un modèle interne. Aux deux extrémités de cette échelle, le sens commun a tendance à associer : que le déterminisme total s'accompagne d'un degré nul de liberté, tandis que l'indéterminisme total correspond au degré le plus haut de liberté. Pourtant, certaines positions philosophiques considèrent qu'il ne peut y avoir de liberté sans déterminisme, et qu'indéterminisme veut dire décider au hasard, ce qui ne rend pas plus libre (voir une revue dans Guillon, ce numéro).

Par contre, nous pouvons éliminer ce que le sens commun aurait tendance à associer à l'extrémité droite du segment, à savoir une autonomie totale, sans aucune influence causale externe ou interne. Comme le rappelle Joël Dolbeault dans ce numéro, « parler de volonté sans cause revient à parler de volonté produite par hasard, et non de volonté libre, *i.e.* produite par le moi. » (Dolbeault, ce numéro). Le même raisonnement est tenu par Noam Chomsky

dans le domaine du langage : c'est parce que le langage a des règles, qui nous imposent des contraintes, que nous sommes libres d'y exprimer notre créativité (Chomsky & Foucault, 1971). Sans règles, sans contraintes, c'est le néant (selon Hegel, cité par Feltz 2021, ce numéro) où aucune liberté ne peut s'exprimer. Comme l'écrivent Kathinka Evers et Bernard Feltz dans ce numéro : « le déterminisme n'implique pas la nécessité mais permet une variabilité des résultats » (traduction personnelle, Evers, 2021, ce numéro) ; « la détermination n'est pas obstacle à la liberté, elle est condition de possibilité de la liberté. [...] Bien connaître son corps rend plus libre. » (Feltz, ce numéro).

Entre les deux extrémités du segment s'offrent différents degrés de liberté, que nous allons ici examiner du point de vue de la psychologie expérimentale et des neurosciences cognitives, tout en essayant d'établir des liens avec deux approches philosophiques particulières : (1) celle de Spinoza pour qui la connaissance adéquate du monde augmente la liberté. Même si le monde est pour lui parfaitement déterministe et que le « libre arbitre » est une illusion, la connaissance rend plus libre car elle permet de mieux connaître les causes qui affectent nos décisions ; (2) celle de Bergson pour qui le temps modifie notre mémoire de sorte que nous ne sommes pas identiques entre deux décisions dans le même contexte ; et pour qui la durée de délibération offre davantage de liberté en permettant d'invoquer l'ensemble de notre mémoire et ainsi de faire « que nos actes émanent de notre personnalité entière » (Bergson, 1889).

L'analogie psychologique avec ces visions philosophiques que nous développons ici est que si des stimuli externes peuvent déclencher et déterminer certains de nos actes (notamment par le résultat d'un conditionnement), la délibération permet d'augmenter le nombre et la force de causes internes pouvant participer à la décision, et ainsi de réduire l'influence relative de ces stimuli externes sur nos décisions. Parmi ces causes internes, le rappel mnésique ou la simulation mentale (*mental time traveling* ; Suddendorf & Corballis, 2007) permettent de se représenter mentalement les conséquences probables de l'action, d'évaluer le degré de conformité de ces conséquences avec nos désirs et nos valeurs, et de décider en conséquence. Dans ces processus, appelés en psychologie « comportements dirigés vers des buts », c'est la conséquence attendue de l'action qui a un effet prépondérant sur la décision par opposition aux stimuli externes (Dickinson, 1985).

Nous insistons néanmoins sur le fait que nous ne faisons pas une dichotomie caricaturale entre une délibération qui nous permettrait toujours d'être rationnels et des automatismes qui nous rendraient toujours irrationnels. Nous faisons parfois des délibérations erronées avec des mauvaises prémisses, ou lorsque nous réduisons la complexité des problèmes rencontrés, ou encore lorsque nous faisons intervenir le regard des autres (Appourchaux, 2014). Et certains de nos automatismes peuvent être choisis pour leur utilité, et leur meilleure efficacité par rapport à la délibération. Par exemple, le musicien qui en concert joue son morceau par habitude sans réfléchir peut être plus précis et avoir moins de chances de faire une erreur que s'il se met à réfléchir à son prochain geste. Il s'agit donc ici plutôt de proposer de trier nos automatismes, pour ne choisir que ceux qui nous conviennent, les rendant compatibles avec nos buts et nos valeurs (causes internes), et éviter ceux qui nous maintiennent

inconsciemment enchaînés aux stimuli de l'environnement (causes externes). De plus, construire nos automatismes de manière consciente, réfléchie, ou sous une vigilance consciente, permet à ces automatismes d'endosser notre responsabilité consciente.

Trois propriétés importantes en lien avec l'accroissement de liberté sont à noter dans ce processus de transfert de la détermination par une cause externe (le stimulus) à une détermination par des causes internes (l'estimation de la conséquence de l'action, l'appétence de l'individu pour cette conséquence, etc.) : 1) Même si les causes internes ont elles-mêmes des causes, dont certaines sont externes, la chaîne de causalité augmente en longueur et en complexité. Ainsi, la décision n'est plus simplement déclenchée et déterminée par une cause (externe), mais par une constellation de causes, dont la pondération pourra être modulée subjectivement pendant la phase de délibération. 2) Plus le temps de délibération s'allonge, plus de nouvelles causes pourront être invoquées et participer à la pondération, comme par exemple le souvenir d'une situation similaire ou la simulation mentale d'une variante de l'action envisagée, etc. 3) Une cause interne telle que l'estimation de la conséquence de l'action est dans le jargon des neurosciences computationnelles comprise comme un *processus d'inférence* à partir d'un *modèle interne* construit par expérience (voir la partie 3 plus bas). Ce n'est donc pas quelque chose de figé ni de stéréotypique, comme peut l'être un stimulus externe, mais quelque chose de **construit**. Par exemple, à partir de toutes les histoires qu'on m'a lues étant petit, de tous les films vus, de toutes les choses transmises par bouche à oreille, des éventuelles situations dont j'ai été témoin oculaire, et par mes propres expériences plus ou moins similaires, je peux m'imaginer ce qui se passe si je saute du 1^{er} étage d'un immeuble. Cette conséquence estimée sera propre au modèle interne que je me suis construit, et dépendra aussi de la robustesse estimée de mon corps (donc également du modèle interne de mon propre corps). Et plus j'aurai réfléchi à ce type d'activité à mes heures perdues, plus mon modèle interne sera affiné au moment de la prise de décision. Ainsi, ces causes internes de la décision ont un caractère construit, hautement subjectif, donc ressemblant davantage à ma personnalité (au sens de Bergson). Elles permettent de plus un accroissement d'autonomie au sens où ma décision n'est plus directement contrôlée par quelque chose d'externe, mais bien par un processus interne⁵.

Que nous disent la psychologie expérimentale et les neurosciences cognitives sur la bascule entre modes de décision automatiques et modes dirigés vers un but ? Que nous disent-elles sur l'utilisation de modèles internes pendant la phase de délibération ? Et que peut-on en déduire sur les ingrédients internes et externes qui favorisent les automatismes ou au contraire les atténuent ?

La prochaine section dresse un panorama des théories et résultats expérimentaux sur la distinction entre comportements automatiques de type

⁵ Par autonomie, nous faisons ici référence à la définition de McFarland (1995) : « L'autonomie implique la liberté par rapport à un possible contrôle externe [...]. Un agent autonome doit avoir un certain degré de motivation et de cognition organisés d'une façon qu'un agent extérieur ne puisse pas obtenir suffisamment d'information pour contrôler l'agent autonome. »

stimulus-réponse et comportements dirigés vers des buts. La partie suivante décrira les connaissances issues des neurosciences computationnelles sur la construction de modèles internes pour la prise de décision, et quels principes mathématiques semblent actuellement le mieux décrire la bascule entre décisions avec et sans modèle. Enfin, nous examinerons et discuterons l'impact de ces connaissances sur la manière dont notre liberté peut être affectée par les stimuli de notre environnement.

2 – HABITUDES DU CORPS ET AUTOMATISATION DE NOS DÉCISIONS

Notre corps, ce corps, n'est jamais à l'arrêt. Animal, anima, il bouge sans cesse. Il bouge de 1000 actions simultanées : mouvements internes liés à notre physiologie, (« on » est vivant sous l'influence du système nerveux autonome, battements de cœur, de cils, contractions de muscles (blancs et rouges)), mouvements visibles qui changent notre conformation (sous l'influence du système somato-sensoriel, modifications des positions relatives de nos membres). Est-il un « décideur » qui choisit chaque action, à chaque instant ? Un grand « coordinateur » qui gère les synergies entre fibres musculaires pour produire des mouvements complexes (tendre le bras) ?

Dois-je « décider » que mon cœur doit battre, et à quel rythme ? Que mon diaphragme doit dilater mes poumons ? Le pourrais-je ? Pourrais-je l'éviter ?

Cette mouche qui virevolte autour de moi décide-t-elle de chacun de ses virages, de chaque battement d'aile ? Si c'était le cas, pourrait-elle voler ? Il lui faudrait alors un « décideur » plus rapide que ses battements d'ailes. Cette mouche pourrait-elle faire autre chose que « penser » à voler. Et si ce n'est pas « moi » qui décide chacune de « mes » actions, est-ce que ces actions n'ont que faire d'une décision, d'un choix, et ne sont que le résultat de « contraintes » (homéostasie physiologique) ? Contraintes internes (faim, peur) ? Ou externes, et guidées « d'ailleurs » (Dieu) ? Ou, plus simplement, d'automatismes végétatifs, propres à ce corps façonné par l'évolution ?

Mais alors, ces automatismes privent-ils de tout « libre arbitre », de choix ? Ce bébé qui s'agite est-il – exclusivement – guidé par ses sensations (internes et externes), ou prend-il chaque fois une « décision » délibérée ? Ce bébé qui vient de naître a-t-il un « libre arbitre » ? Ou son développement – involontaire – (celui de son système nerveux, de ses muscles) permet-il l'émergence progressive de propriétés nouvelles de circuits cérébraux qui permettent d'échapper à ces contraintes « physiologiques » : émergence d'un « libre arbitre » ? D'une part, en « automatisant » ses mouvements (en créant des circuits pour gérer les mouvements de son corps, par l'expérience de contingences sensorimotrices, en créant des « habitudes cognitives ». Et d'autre part, comme dans le rêve, en dissociant l'action et la pensée.

Pour tester cette hypothèse⁶, je décide de lever le bras, quand bon me semble. Et puis non, je décide que ce n'est pas la peine. « Je sais » que je peux décider de lever le bras. Ai-je décidé, en toute liberté, de penser cela ? Ai-je décidé de mettre en branle le réseau neuronal – conduisant à libérer des neuromédiateurs pour activer telles et telles synapses –, qui sous-tend cette pensée ? Ai-je pensé à ce qui se passe dans mon corps pour effectuer ou non ce

⁶ Empiriquement, à titre individuel.

mouvement du bras ? N'est-ce pas ce paradoxe « je fais ou pense quelque chose sans même savoir comment » le cœur de la question ? Paradoxe apparent. Par exemple, je ne sais rien des photons qui excitent ma rétine, mais je vois. Je ne sais rien de la texture moléculaire de ce que je touche, mais je sens que je touche.

Par extension, ce partage entre ce qui s'automatise (habitudes) et ce qui relève de décisions délibérées, concerne toutes les fonctions cognitives, des plus simples en apparence (le mouvement d'un bras, la marche), aux plus complexes (parler, raisonner, choisir un métier, voter, etc.). À titre d'exemple, on apprend à parler (automatisation) mais on décide (souvent, parfois... semble-t-il) de ce que l'on dit. Si l'on n'y prête attention, on perd néanmoins facilement en liberté lorsque l'on répète inconsciemment des expressions entendues récemment (*priming*), lorsque l'on fait des lapsus, etc.

Si le corps est l'ensemble qui porte nos décisions tout en les contraignant, et en retour si ce corps évolue grâce au (à cause du ?) résultat de nos décisions, alors il nous faut commencer par examiner les propriétés qui font que le corps en vient parfois (souvent) à exprimer des habitudes comportementales (se reposer sur des « automatismes »).

Étude des modes décisionnels automatiques en psychologie et en neurosciences

Plusieurs distinctions sont étudiées en psychologie et en neurosciences entre des modes de décision plus ou moins automatiques et des modes décisionnels ancrés dans la délibération.

L'une des plus connues par le grand public est la distinction proposée par Daniel Kahneman et Amos Tversky entre les décisions prises par le « Système 1 » et le « Système 2 » (Kahneman & Tversky, 1979). Le premier est un système qui prend des décisions rapides en s'ancrant sur un certain nombre d'heuristiques, sortes de "raccourcis mentaux" que les gens ont construits au cours de leur existence et qui permettent de réagir de façon plutôt adaptée à certains problèmes qui ressemblent à des situations déjà rencontrées. Par exemple : considérer que tous les éléments d'un ensemble ont les mêmes propriétés (considérées comme caractéristiques de l'ensemble), sans l'avoir vérifié pour chaque élément. Le système 2 est au contraire un système qui prend davantage de temps de délibération, qui est supposé prendre des décisions plus « rationnelles » et qui a moins de chances de tomber dans les pièges que peuvent tendre la formulation d'un énoncé ou le contexte dans lequel il est posé. Cette distinction a été mise en évidence dans un champ à l'interface entre psychologie expérimentale et économie, où des sujets doivent faire des choix entre des « loteries » (ex. : préférez-vous (A) avoir 80% de chances de gagner 4000€ et 20% de chances de ne rien gagner, ou (B) être sûr de gagner 3000€ ?⁷). Dans ce cadre, contrairement aux prescriptions de la théorie économique, les humains prennent fréquemment des décisions apparemment « irrationnelles » dues à des biais cognitifs tels que l'aversion à

⁷ Voir une analyse de plusieurs exemples de loteries suivie d'une présentation des modèles computationnels dans Collins & Khamassi (2021).

la perte, l'asymétrie entre les gains et les pertes, ou encore la surestimation de la probabilité des événements rares. Si le caractère « irrationnel » des décisions fondées sur des heuristiques a été amplement critiqué et discuté (par ex., Gigerenzer, 1996) – ces heuristiques s'avérant en fait souvent adaptées à la variété des situations écologiques dans lesquelles les humains ont évolué –, la distinction importante à retenir ici, qui est commune aux autres distinctions en psychologie, est celle entre des décisions rapides ancrées dans des calculs approximatifs et des décisions plus lentes émanant d'un véritable processus de délibération explicite (Kahneman, 2011). Toutefois, les loteries ne permettent d'étudier qu'un type restreint de décisions, dites « décisions à partir de descriptions » et ne se généralisent donc pas nécessairement aux décisions basées sur l'expérience (Hertwig *et al.*, 2004). C'est pourquoi nous allons nous intéresser à d'autres distinctions psychologiques sur les modes de prise de décision.

Les autres distinctions ont en commun de considérer les automatismes comme des réponses comportementales dont le déclenchement a été associé par apprentissage à des stimuli internes ou externes⁸. William James (1890) faisait déjà la distinction entre des actions idéomotrices (dont « le déclenchement suit immédiatement et sans hésitation leur notion dans l'esprit », prévenant ainsi toute réflexion entre la conception et l'exécution) et des actions volontaires. Ce qui caractérise les dernières, c'est la notion d'intention, d'anticipation d'un but souhaitable, et l'existence d'une phase de délibération pour déterminer les meilleures actions pour atteindre ce but (Waszak *et al.*, 2005 ; Khamassi et Pacherie, 2018). De même, une autre distinction importante, et que nous allons approfondir ici du fait de son lien fort existant avec les modèles computationnels, oppose les « comportements dirigés vers des buts » et les comportements « habituels » (Dickinson 1985 ; Balleine & Dickinson, 1998).

Ce qui est intéressant dans cette dernière distinction, c'est l'accent mis sur l'acquisition lente, par la répétition donc par l'expérience, d'habitudes comportementales sous forme d'associations (ou de chaînes d'associations) stimulus-réponse. Par exemple, du fait d'avoir effectué de nombreux déplacements quasi quotidiens de chez nous à notre lieu de travail, nous basculons dans un mode de navigation habituelle au sein d'un espace qui nous est familier (Khamassi & Humphries, 2012). Notre corps se tourne alors automatiquement aux bons croisements de rue, face aux mêmes stimuli et configurations de l'environnement (enseignes, feux de croisement, objets ou monuments caractéristiques, etc.). Cette navigation automatique peut se produire même lorsque nous sommes mal réveillés ou que nous discutons avec quelqu'un en marchant. Comme nous le discuterons plus tard, cette automatisa-tion comportementale peut être utile (lorsqu'elle est reconnue comme acceptable par l'individu lui-même) puisqu'elle permet de se

⁸ À noter que lors d'une séquence d'actions exécutées automatiquement (par ex., séquence de gestes pour faire du café à la machine le matin), la première action de la séquence peut être déclenchée par un stimulus externe (par ex., la perception de la machine en arrivant dans la cuisine) ou par un stimulus interne (l'envie de café), tandis que les actions suivantes peuvent être déclenchées automatiquement par la fin de l'exécution de l'action qui les précède (Dezfouli & Balleine, 2012).

« libérer » de calculs mentaux fastidieux alors que nous sommes confrontés aux mêmes suites d'actions dans le même environnement tous les jours.

Une deuxième propriété importante des comportements habituels est leur caractère rigide, leur forte inflexibilité (**Encadré 1**). Une fois qu'une habitude est acquise, il est difficile de s'en défaire, et elle se déclenche automatiquement dès lors que l'on refait face aux mêmes stimuli déclencheurs ou aux mêmes contextes. Cette inflexibilité fait qu'il est important d'y réfléchir de temps en temps, pour déterminer si l'habitude est acceptable, avant qu'elle ne devienne trop rigide et indéfaisable. Ainsi, dans le cadre de la navigation, il nous arrive de devoir emprunter une portion de route familière pour une destination inhabituelle (par exemple pour un entretien d'embauche), et d'oublier de tourner là où il fallait quitter cette route habituelle, pour ainsi finir par nous retrouver face à la porte de notre maison. On peut citer tout un ensemble d'exemples classiques d'habitudes inflexibles, comme le fait de persister avec son ancien code d'immeuble ou de carte bleue, de toujours fumer une cigarette avec le café après le déjeuner, ou encore de systématiquement attraper quelque chose à grignoter pour s'avachir un temps sur le canapé face à la télévision dès qu'on rentre chez soi.

Enfin, nous insistons sur la troisième propriété des automatismes comportementaux, qui permet de faire le lien le plus fort avec la question de la liberté : dans toutes les distinctions mentionnées, des stimuli déclenchent les automatismes comportementaux sans que l'on se figure mentalement l'effet de l'action, sans avoir besoin de réfléchir à la conséquence de l'action. À l'inverse, dans l'action volontaire, ou comme le rappelle l'expression « comportements dirigés vers des buts », c'est la représentation mentale explicite d'un but à atteindre, conforme à notre désir, et sa comparaison avec les conséquences attendues d'une ou plusieurs actions qui permet de décider quelle action est appropriée. Ainsi, quand le but change (par exemple parce que nous n'avons plus faim et qu'ainsi la nourriture se retrouve momentanément dévaluée ; voir le test de dévaluation dans l'**Encadré 1**), ou quand l'effet de l'action (*i.e.*, la « contingence » de l'action, dans le vocabulaire psychologique) change (par exemple parce qu'il y a des travaux sur la rue machin et qu'on ne peut provisoirement plus l'emprunter), nous pouvons donner du temps à la délibération pour trouver quelles sont les nouvelles actions les plus appropriées. À l'inverse, si je suis dans un contexte dans lequel mes comportements habituels prédominent, mes actions seront insensibles aux changements de but ou de contingence (par exemple, j'ai beau avoir trop mangé au repas de famille, j'ai pris l'habitude de prendre un chocolat dans la bonbonnière après avoir débarrassé la table).

Encadré 1 : comportements dirigés vers un but *versus* habitudes comportementales.

À partir du début des années 80, les chercheurs en psychologie cognitive vont donner une caractérisation opérationnelle des habitudes, en mesurant leur degré d'inflexibilité (Dickinson, 1985). Adams et Dickinson mettent au point un test chez le rat pour mesurer la sensibilité d'une réponse opérante (appuyer sur un levier pour obtenir

une boulette de nourriture) à une dévaluation de la récompense après conditionnement (soit sous forme de satiété : on donne une très grande quantité de cette nourriture au rat avant de le remettre face au levier ; soit sous forme de toxicité : on associe la consommation de cette nourriture à une injection qui rend le rat malade). Après cette dévaluation, on mesure le comportement de l'animal lors d'un test en extinction, c'est-à-dire un test où il n'y a plus de délivrance de nourriture en réponse à l'appui sur le levier, de façon à ne pas produire de rappel de l'association levier-nourriture (tout doit reposer sur la mémoire de l'animal). On se rend alors compte que les rats qui ont été surentraînés (>600 essais) au conditionnement instrumental initial deviennent insensibles à la dévaluation : ils continuent de presser « habituellement » le levier alors que celui-ci a été précédemment associé à une nourriture dorénavant indésirable. C'est donc le simple contexte et le stimulus conditionné qui déclenchent ce comportement habituel. À l'inverse, les rats modérément entraînés cessent de presser le levier : on dit que leur comportement reste « dirigé vers un but », c'est-à-dire reposant sur une délibération à partir des contingences action-conséquence mémorisées, ce qui permet à l'animal de réprimer une action dont il ne désire pas la conséquence estimée (Adams & Dickinson, 1981 ; Balleine, 2005).

Application chez l'humain

Ce paradigme expérimental a ensuite été étendu à l'humain (Tricomi *et al.*, 2009) et continue d'être utilisé aujourd'hui en combinaison avec l'imagerie cérébrale pour étudier les bases neurales de l'alternance entre décisions dirigées vers un but et décisions habituelles. Le protocole de dévaluation de la récompense chez l'humain comporte deux récompenses possibles (deux types de friandises), dont l'une sera dévaluée après l'entraînement et pas l'autre (pour tester la spécificité de la dévaluation) (Tricomi *et al.*, 2009). Un groupe de participants effectue un long entraînement (144 essais) tandis que le groupe contrôle n'est que modérément entraîné sur la tâche (24 essais). Pendant l'entraînement, des images fractales servent de stimuli conditionnés, les touches du clavier servent de « leviers », et la récompense est délivrée sous forme d'une présentation d'une photo de friandise. Les participants étaient au préalable instruits du fait qu'ils auraient à consommer le cumul des friandises « gagnées » à la fin de l'expérience. Après l'entraînement, une des friandises est choisie pour être dévaluée (de manière contrebalancée parmi les participants) : il est demandé aux participants de consommer autant qu'il faut de cette friandise pour qu'elle leur devienne déplaisante. Enfin, le test en extinction est réalisé pour mesurer dans quelle mesure les participants continuent de répondre habituellement en réponse aux stimuli conditionnés (*i.e.*, ils appuient sur la touche de clavier associée à une friandise, même si celle-ci a été dévaluée). Comme chez le rat, les participants humains modérément entraînés (groupe contrôle) baissent significativement leurs réponses aux stimuli prédicteurs de la friandise dévaluée, tandis que ceux qui ont été plus longtemps entraînés ne montrent pas de baisse significative, illustrant ainsi l'inflexibilité de leur

réponse devenue habituelle. Il est intéressant de noter le temps nécessaire ici au phénomène d'habituation : 120 essais de plus que le groupe contrôle (dont seulement ~40-50 pour le stimulus conditionné prédicteur de la friandise qui sera dévaluée), répartis sur 3 jours d'entraînement, ont été suffisants pour que les participants du groupe test montre une réponse significativement plus inflexible pendant la phase de test.

Substrats neurobiologiques

Il est particulièrement intéressant de noter que ces distinctions ne sont pas seulement pertinentes au niveau psychologique, mais recouvrent aussi une certaine réalité neurobiologique. Il y a en effet un certain degré de modularité dans le cerveau entre des réseaux qui contrôlent l'acquisition et l'expression des habitudes comportementales, des réseaux qui sont impliqués dans les comportements dirigés vers des buts, et des réseaux qui pourraient jouer le rôle de bascule entre ces modes de décisions – comme diraient certains, ils jouent le rôle d'« arbitre » (Lee *et al.*, 2014), de « système 3 » exerçant un contrôle inhibiteur sur les systèmes 1 et 2 (Houdé, 2020), ou de « méta-contrôleur » (Dollé *et al.*, 2018).

Au niveau cérébral, le développement d'une habitude comportementale s'explique en effet par une bascule du contrôle de l'action d'un réseau à un autre. Plus précisément, les comportements dirigés vers un but impliquent un réseau d'aires cérébrales telles que le cortex préfrontal (plus précisément le cortex préfrontal dorsolatéral chez les primates), l'hippocampe, et les territoires associatifs des ganglions de la base, tandis que le déclenchement des habitudes implique le cortex prémoteur et les territoires sensori-moteurs des ganglions de la base (Khamassi & Humphries, 2012). Au cours d'un entraînement dans une tâche donnée, les deux réseaux opèrent en parallèle, permettant aux associations stimulus-réponse d'être lentement renforcées dans les boucles sensori-motrices reliant le cortex aux ganglions de la base (Thorn *et al.*, 2010). Une fois ces associations stabilisées, le réseau impliqué dans les comportements orientés vers un but ne sous-tend plus le processus décisionnel, de sorte que des lésions ou des inactivations de l'hippocampe, du cortex préfrontal ou des territoires associatifs du striatum n'ont plus d'impact sur les actions effectuées par l'animal (voir Khamassi & Humphries, 2012 pour une revue). De façon frappante, un troisième réseau impliquant le cortex prélimbique et infralimbique chez le rat, ou le cortex dorsomédian chez les primates (Khamassi *et al.*, 2011), est impliqué dans l'arbitrage entre comportements orientés vers un but et habitudes : sans altérer la mémorisation des associations stimulus-réponse elles-mêmes, une lésion du cortex infralimbique empêche la formation d'habitudes, de sorte que le comportement reste sensible à la dévaluation de récompense même après un entraînement intensif (Coutureau & Killcross, 2003) ; symétriquement, sans altérer la mémorisation des contingences action-conséquences elles-mêmes, une lésion du cortex prélimbique empêche l'animal d'avoir recours à des comportements dirigés vers un but, de sorte que son comportement semble aussi inflexible qu'une habitude même après un entraînement modéré (Killcross & Coutureau,

2003). Ce troisième réseau semble donc jouer le rôle d'arbitre, ou dans ce qu'on appelle un « méta-contrôleur » en modélisation (Dollé *et al.*, 2018).

3 – DÉCISION AVEC OU SANS MODÈLE INTERNE

Nous allons maintenant nous intéresser à l'éclairage que les modèles computationnels nous aident à faire sur les mécanismes neuronaux contribuant à la bascule entre automatismes comportementaux et délibération. En particulier, nous allons nous intéresser à la notion de « modèle interne » que notre système nerveux semble construire tout au long de nos expériences d'interaction avec l'environnement, et dont l'utilisation est rendue possible particulièrement dans les phases de délibération pour estimer les conséquences possibles de nos actions.

Par convention, nous allons ici employer le terme de « modèle interne » pour une fonction construite par expérience permettant d'approximer les statistiques d'effets d'une action. Dans le domaine du contrôle moteur, on parle de modèle « forward » pour désigner la fonction mise en place par le système nerveux pour estimer (donc anticiper) quelle va être la nouvelle configuration de mon corps et de l'environnement après un mouvement (Wolpert *et al.*, 1998 ; Caligiore *et al.*, 2017). Grâce à un tel modèle, je peux non seulement décider que l'action X est appropriée car elle amènera ma main à une position désirée de l'espace, mais je peux aussi me rendre compte des erreurs de prédiction qui peuvent être dues à des changements de l'environnement. En effet, si un modèle interne me permet de prédire qu'appuyer sur un interrupteur doit allumer la lumière, je suis surpris quand la lumière ne s'allume pas malgré mon action. Cela produit une erreur de prédiction (Friston, 2005) et permet de mobiliser mon attention pour analyser la situation puis déterminer si cette situation requière persistance ou adaptation. De même, pour reprendre un exemple connu, c'est grâce à un modèle interne que je peux ressentir un effet de surprise en montant sur un tapis roulant à l'arrêt : j'anticipais une sensation de mouvement qui ne se produit pas.

Pour faire d'entrée de jeu le lien avec la question de la liberté, ce qui nous semble intéressant est qu'un modèle interne est à la fois une connaissance acquise sur les effets d'une action, qui peut donc rendre plus libre de par son statut de connaissance selon Spinoza, et à la fois une synthèse de nos expériences passées avec une certaine action sous forme d'une mémoire construite et spécifique à notre vécu, qui peut donc nous rendre plus libre au sens de Bergson en ce qu'il nous permet d'invoquer davantage d'éléments en mémoire qui nous sont propres, donc qui nous ressemblent, avant de prendre une décision.

Il est donc particulièrement pertinent pour l'objet de cet article de décrire les connaissances sur les mécanismes neurobiologiques que l'on pense sous-tendre notre capacité à faire basculer, dans un contexte donné, le contrôle de l'action par des stimuli externes vers le contrôle de l'action par le résultat de calculs utilisant un ou des modèle(s) interne(s). En d'autres termes, comprendre ces mécanismes nous permettrait de mieux entrevoir la façon dont l'action pourrait être moins le résultat d'un déclenchement automatique par un stimulus que le fruit d'une délibération dans laquelle la cause interne de l'action est le double calcul de (1) mon estimation propre de la conséquence de

l'action et de (2) la désirabilité de cette conséquence à mes yeux. En psychologie cognitive, la première s'appelle la contingence action-conséquence, la deuxième la valeur du but, et la combinaison des deux pour la décision est ce qui correspond à la définition d'un *comportement dirigé vers un but*, par opposition à un comportement de type *stimulus-réponse* (Dickinson, 1985).

Qu'est-ce qu'un modèle interne ?

La distinction entre l'apprentissage d'une tâche par le biais d'un modèle et l'apprentissage sans modèle nous vient de l'ingénierie. Par exemple, un robot doit amener son bras à une position (x_1, y_1, z_1) de l'espace. Il peut l'apprendre par essai-erreur, donc par *apprentissage par renforcement* (Sutton et Barto, 1998), jusqu'à trouver la série d'ordres à donner à ses différents moteurs (par ex., les moteurs qui contrôlent les rotules de son épaule, de son coude, de son poignet) pour que son bras fasse le mouvement correct jusqu'à atteindre cette position. Dans ce cas, il n'a pas besoin de modèle interne. Il se contente de mémoriser quels mouvements étaient appropriés pour la tâche, et quels mouvements n'étaient pas appropriés. Les premiers voient leur valeur renforcée dans le contexte de cette tâche. Les seconds voient leur valeur réduite⁹. Il est à noter que cette stratégie sans modèle requière une longue phase d'apprentissage par essai-erreur et ne permet ensuite pas au robot de prédire les conséquences d'une action donnée. Mais l'intérêt réside dans le fait qu'une décision peut ensuite être rapide, évitant au robot d'effectuer les longs calculs requis s'il devait manipuler un modèle interne : le robot se contente de sélectionner le mouvement qui a la plus forte valeur à un moment donné de manière réactive en réponse à la reconnaissance de l'état de la tâche au moment de chaque décision (par exemple en reconnaissance d'un stimulus) (Khamassi, 2020a).

À l'inverse, le robot peut apprendre un modèle interne de ce qu'on appelle la « cinématique inverse », c'est-à-dire connaître les propriétés statistiques du système dynamique comprenant son bras et l'environnement, de sorte que le lien entre la position cible (x_1, y_1, z_1) et une série d'ordres moteurs permettant de l'atteindre puisse être déduit sans avoir besoin d'exécuter cette série d'ordres moteurs. De cette façon, le robot peut connaître le résultat attendu d'une action avant même de l'exécuter, et ensuite décider si ce résultat est souhaitable ou non. L'inconvénient est que l'utilisation d'un modèle interne pour prendre une décision est très long et coûteux en calculs s'il y a un grand nombre de séquences d'actions possibles à examiner avant de décider. Par exemple, pour le jeu d'échec ou le jeu de go, il y a beaucoup de calculs à faire si l'on doit tester mentalement tous les coups possibles en se projetant de nombreux coups à l'avance dans chaque cas, pour trouver quelles séquences de coups amènent à la victoire. Pour donner une idée au lecteur, même l'algorithme AlphaGo de Deepmind ne choisit à chaque phase de décision qu'une seule branche de son arbre de décision à dérouler jusqu'au bout pour estimer si cette branche peut

⁹ Voir Collins & Khamassi (2021) pour une initiation à la modélisation computationnelle, avec du code source ouvert permettant de re-simuler soi-même ce type d'apprentissage.

mener à la victoire ou pas (Silver *et al.*, 2016), tant les calculs seraient trop importants s'il fallait explorer plusieurs branches possibles.

D'une façon plus générale que le seul mouvement, l'idée du modèle interne est d'apprendre l'effet le plus probable statistiquement d'une action, voire de mémoriser toute la distribution de probabilité sur les effets possibles. Par exemple, je peux avoir gardé en mémoire qu'appuyer sur le bouton « on/off » de la télécommande défectueuse de ma chaîne hifi a environ 25% de chances d'allumer ma chaîne, 25% de ne pas l'allumer tout en faisant une étincelle, et 50% de chances de ne produire aucun effet.

Avant de voir comment cette notion de modèle interne peut être utilisée pour expliquer une part des processus de délibération chez les humains, regardons quelques exemples de modèles internes que nous pouvons apprendre dans notre vie de tous les jours.

La Figure 3 illustre deux types de situations impliquant une série d'actions pour entrer dans un lieu : des entrées d'appartements (A, B) et des entrées de couloirs d'hôpitaux (D, E). Les quatre exemples illustrés représentent les souvenirs d'expériences vécues par un même individu, le bonhomme à cravate jaune. On suppose ici que cet individu a stocké en mémoire épisodique une décomposition de ces épisodes vécus en une série d'actions discrètes suivies de leurs effets respectifs, et qu'il a oublié toutes les choses qui n'étaient ni pertinentes pour l'action, ni particulièrement surprenantes sur le coup. Par exemple, il est capable de se remémorer deux épisodes distincts au cours desquels il était entré dans deux appartements différents dans lesquels il a vécu : (Fig. 3A) pour entrer dans son ancien appartement à porte jaune, il avait (1) tourné la clef dans la serrure pour la déverrouiller, puis (2) abaissé la poignée de la porte pour faire se rétracter le loquet, puis (3) poussé la porte pour l'ouvrir, puis (4) marché pour pénétrer à l'intérieur de l'appartement, et enfin (5) appuyé sur l'interrupteur pour allumer la lumière. Il se souvient particulièrement bien de cet épisode car en allumant la lumière, il avait été surpris de voir apparaître des nouvelles plantes que sa compagne avait achetées et installées dans l'entrée. De plus, ce souvenir a été d'autant plus renforcé que l'individu se l'a remémoré à l'issue du deuxième épisode décrit au paragraphe suivant.

Le deuxième souvenir que cet individu est capable de se remémorer (Fig. 3B) est lié à une des fois où il est entré dans son nouvel appartement à porte bleue. Cette fois-là, il avait d'abord effectué la même série habituelle de quatre actions (1-4), avant de tenter en vain d'allumer la lumière en appuyant sur l'interrupteur supposé (par habitude) se trouver à droite en entrant (5). Mais dans son nouvel appartement, l'interrupteur était situé à gauche en entrant. Pressé, l'individu n'avait pas pris le temps de chercher davantage et avait décidé de progresser dans l'obscurité. C'était sans compter sur la présence d'un ballon laissé par terre par sa fille. S'en était suivie une chute mémorable ayant généré chez lui une forte émotion (d'où la présence en mémoire de ce souvenir saillant)¹⁰.

¹⁰ En plus d'aider à clarifier la distinction entre souvenirs en mémoire épisodique et modèles internes, notons que cet exemple nous permet aussi d'illustrer comment l'émotion renforce la mémorisation, et va ainsi privilégier certains éléments mnésiques qui viendront contribuer aux décisions futures.

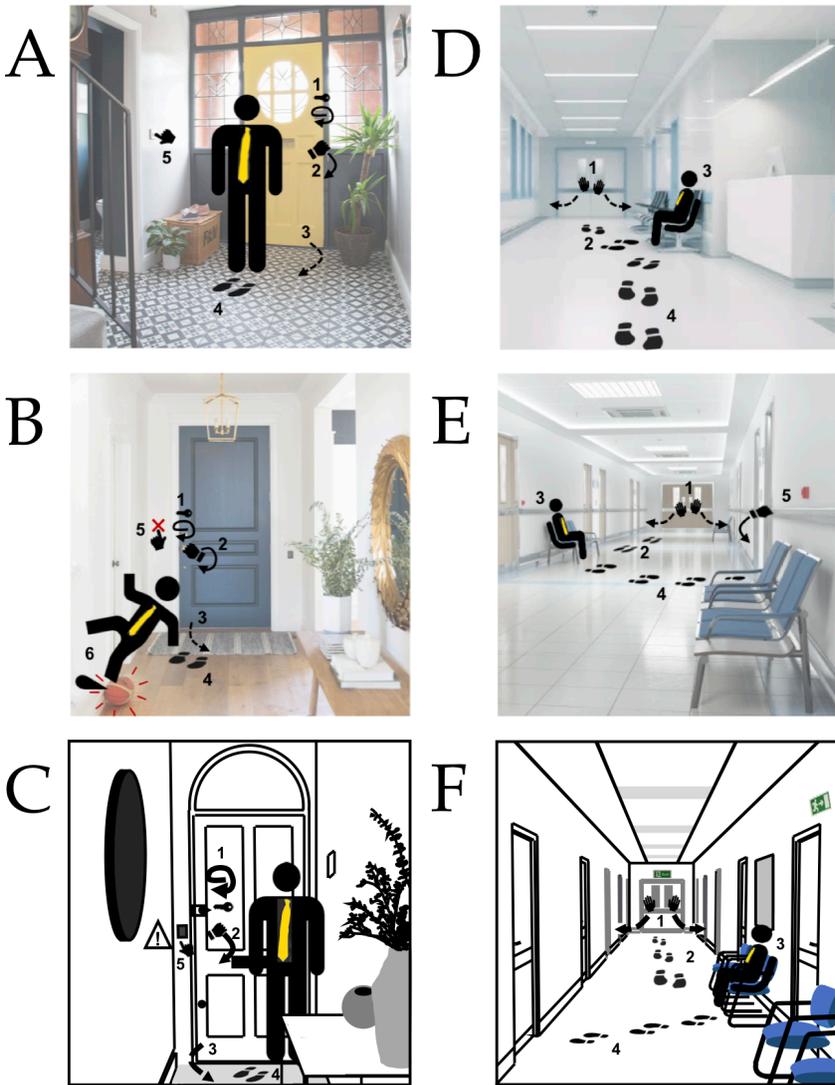


Figure 3

Souvenirs stockés en mémoire épisodique par un individu à cravate jaune de (A, B) deux séquences d'actions effectuées dans des entrées d'appartement, et (D, E) deux séquences d'actions effectuées dans des entrées de couloirs d'hôpitaux. Les parties C et F montrent de façon schématique les modèles internes construits mentalement par cet individu pour ces deux types de séries d'actions, respectivement.

À l'issue de ce dernier souvenir, l'individu avait mis à jour son modèle interne des actions à effectuer en rentrant chez soi (Fig. 3C) : il y avait renforcé l'importance de l'action (5) consistant à appuyer sur un interrupteur pour

chercher la lumière. On peut éventuellement imaginer que son modèle interne représente dorénavant que l'action (5) peut être parfois dirigée vers le mur de droite, parfois vers le mur de gauche (par commodité ce caractère probabiliste n'est pas représenté sur la figure). Quel que soit le côté où se trouve l'interrupteur, son modèle interne inclut le fait qu'il sera situé toujours à peu près à mi-hauteur, entre la hauteur du bassin et la hauteur du torse.

La partie droite de la figure 3 représente (D, E) deux autres souvenirs valant pour des entrées dans des couloirs d'hôpitaux, et (F) le modèle interne correspondant. Ce qu'il est intéressant de noter ici est que l'on peut apprendre deux modèles internes différents pour des séries d'action visant le même but (entrer dans une zone intérieure construite par les humains), du moment qu'elles réfèrent à des contextes différents. L'individu aurait pu apprendre un seul et unique modèle pour ces deux types de situations. Mais par expérience il s'est rendu compte (de façon non nécessairement consciente) que des actions différentes étaient requises : les portes d'hôpital s'ouvrent sans abaisser de poignée, simplement en poussant avec les mains ; dans un couloir d'hôpital on s'assied en arrivant, en attendant qu'un soignant vienne nous chercher. Il y a donc besoin d'apprendre deux modèles différents et de les associer à deux contextes différents identifiables : l'étroitesse du couloir, et la présence éventuelle de tapis, de plantes et d'objets décoratifs sont caractéristiques des entrées d'appartements ; la largeur du couloir, les lumières au plafond, la présence de chaises, de panneaux verts de sortie et de panneaux d'affichage, sont caractéristiques des hôpitaux (Fig. 3C,F).

Insistons une dernière fois sur le caractère subjectif et dépendant du vécu des modèles internes appris et de leurs distinctions. Un individu qui aurait vécu aussi bien en France qu'en Angleterre pourrait avoir construit des modèles distincts pour les appartements moyens de ces deux pays. En France, on fait se rétracter le loquet en appuyant sur une poignée, tandis qu'en Angleterre on fait tourner une boule dentelée qu'on saisit entre le pouce et l'index. Les entrées anglaises se distinguent également par la fente à lettres en milieu de porte, et l'escalier couvert de moquette auquel on fait souvent face en entrant, etc. À l'inverse, un individu qui n'aurait vécu que dans un seul pays n'aurait probablement qu'un seul modèle interne d'entrée d'appartements. De même, un individu qui n'aurait jamais mis les pieds dans un hôpital, ni jamais vu aucun film ou série où l'action se passe dans un hôpital, aurait tendance à appliquer son modèle interne d'entrée d'appartement lors de sa première visite à un parent hospitalisé.

Ce qui est important à retenir sur la décision à partir d'un modèle interne, c'est que la réflexion préalable permet de se représenter mentalement (de se simuler) toute la chaîne d'actions et leurs conséquences possibles (estimées grâce au modèle), avant même d'exécuter ces actions. Le modèle permet donc de se projeter dans le futur, de se projeter sur la conséquence escomptée des actions, de façon à évaluer si cette conséquence correspond au but désiré avant d'agir. Le modèle interne permet même de comparer deux chaînes d'actions qui aboutiraient à la même conséquence, de façon à choisir la séquence qui nous semble préférable avant d'agir, en fonction de l'effort estimé pour chaque séquence, de la violation éventuelle de valeurs morales par certaines actions, etc. Plus le temps de réflexion est long, plus je peux envisager un nombre

important de séquences alternatives, ce nombre étant bien sûr contraint par les limites de mon modèle interne. Dans un cas idéal, si je prends un temps suffisamment long de réflexion pour ma délibération, je peux même avoir considéré toutes les possibilités offertes par mon modèle interne, donc ne pas pouvoir faire de choix mieux informé que ce que peut offrir ma mémoire. En ce sens, et pour caricaturer le propos de cet article, ma décision serait alors la plus libre possible que permet l'état actuel de mes connaissances. Je n'ai alors rien à regretter car je ne pouvais pas faire mieux en matière de délibération, contrairement à des décisions rapides où je pourrais regretter *a posteriori* d'avoir bâclé la délibération et d'avoir ainsi négligé certains aspects qu'il aurait pu être important de considérer avant de prendre une décision (par ex., que telle ou telle action aurait pu produire un effet de bord non désirable). Notons aussi que nous avons ici considéré une situation extrême d'utilisation complète du modèle interne au moment de la réflexion préalable, ou au moment de délibérer avant d'agir. Ceci n'est possible que si l'on dispose d'un temps suffisamment long de réflexion et si le modèle interne est de taille limitée (donc ne contient pas un trop grand nombre de ramifications avec des situations légèrement différentes dont l'examen mental pourrait être utile à la présente décision à prendre)¹¹. Enfin, dans ces exemples nous avons supposé qu'il n'y avait pas d'autres causes internes ou externes qui pourraient venir chacune apporter une influence plus ou moins forte : l'état éventuel de stress de l'individu, la présence de stimuli externes qui pourraient venir biaiser certaines actions qui leur sont habituellement associées, ou encore la prédisposition dans laquelle l'individu est, et qui pourrait aussi venir biaiser ses choix (Pessiglione, ce numéro). En l'absence de tous ces autres ingrédients, nous pouvons qualifier cet exemple de « caricatural », mais néanmoins utile pour illustrer le propos de l'article.

La Figure 3 nous permet également de mettre en avant une nuance entre types de mémoire qui font écho aux distinctions invoquées par Bergson entre mémoire épisodique et mémoire à long-terme (il parle de souvenir « sémantique » ; voir Dolbeault, ce numéro). En effet, avant de décider de sa prochaine action, un individu pourrait soit (i) se remémorer des souvenirs en mémoire épisodique correspondant à un contexte similaire (Fig. 3A-B, D-E), soit (ii) utiliser un modèle interne pour évaluer les conséquences probables de l'action (Fig. 3C, F), soit (iii) n'utiliser ni l'un ni l'autre, c'est-à-dire décider sans réelle délibération, en se reposant sur les associations stimulus-réponse apprises par répétition (ce que nous appellerons « décision sans modèle », ou

¹¹ Pour parer à cette limitation dans des situations plus réalistes, une solution consiste à réfléchir aux actions possibles dans différents contextes en dehors des moments où nous sommes plongés dans ces contextes, en plus de la délibération au moment d'agir. On dispose alors de davantage de temps pour examiner toutes les possibilités et on peut ainsi prémâcher le travail de délibération pour la prochaine fois où elle s'appliquera. Notons également que dans l'éducation à l'esprit critique, nous pensons que l'exposition préalable à des histoires réelles où des gens ont pris des décisions difficiles qu'ils ont regrettées après permet d'affiner son modèle interne, de se simuler mentalement en train de faire la même chose, pour ainsi être mieux préparé si l'on est soi-même confronté à des décisions similaires dans le futur (par ex., des scientifiques éduqués, diplômés et reconnus comme imminents ont néanmoins contribué à la conception de la bombe atomique ou du gaz moutarde et l'ont regretté après ; Khamassi & Décremps, 2019).

« habitude » dans la partie suivante). Or, lorsque Bergson invite à faire reposer une décision sur l'ensemble de notre mémoire, de façon à ce « que nos actes émanent de notre personnalité entière » (Bergson, 1889), comme l'explique Joël Dolbeault dans ce numéro, il ne veut pas dire qu'il faille ré-examiner un à un tous ses souvenirs stockés en mémoire épisodique au moment de décider. Ce serait beaucoup trop long et fastidieux. Il invite au contraire à se reposer sur nos connaissances plus générales, construites par nos expériences passées et stockées en mémoire « sémantique », ce qui correspond ici à la synthèse de nos connaissances sur une action particulière dans un contexte donné que confère un modèle interne. Or, d'un point de vue mathématique, il a été montré que pour des problèmes bien délimités, si l'on a une mémoire épisodique « parfaite » (sans oubli), où tous les souvenirs ont la même force, alors il est équivalent de décider après avoir rejoué tous ses souvenirs en mémoire épisodique ou de décider à partir d'un modèle interne (van Seijen & Sutton, 2015) : les deux aboutissent sur les mêmes préférences d'action puisque le modèle interne est la moyenne des expériences vécues et racontées (éventuellement avec différentes pondérations entre les deux). En pratique, du fait d'une mémoire limitée et approximative, les deux processus différeront (voir des exemples de simulations sur des problèmes de navigation dans [Cazé, Khamassi *et al.*, 2018]). Ces deux processus décisionnels impliquent en tout cas une phase de délibération dans laquelle on évalue la pertinence d'une action en fonction de ses conséquences estimées avant de l'exécuter : dans le premier cas, on cherche dans le passé un souvenir d'une expérience similaire (processus rétrospectif) ; dans l'autre cas, on cherche dans un futur possible (processus prospectif).

Revenons maintenant à la manière dont la distinction entre décision avec ou sans modèle a été appliquée à la psychologie cognitive et aux neurosciences. Ceci nous permettra ensuite de présenter ce que l'on comprend à l'heure actuelle des possibilités de bascule d'un mode décisionnel à l'autre (d'une décision avec à une décision sans modèle, et *vice versa*) dans des situations plus réalistes où des stimuli externes peuvent être présents.

L'habitude comme comportement décidé sans modèle (et sans mémoire épisodique)

Il y a une vingtaine d'années, des chercheurs ont appliqué le principe venant de l'ingénierie consistant à distinguer l'apprentissage avec et sans modèle interne, pour tenter d'apporter une distinction fonctionnelle entre les comportements dirigés vers des buts et les habitudes, tels qu'ils sont catégorisés en psychologie (Doya, 1999 ; Daw *et al.*, 2005). Le double constat de départ est que (1) l'apprentissage avec modèle est plus flexible que l'apprentissage sans modèle, de la même manière que les comportements dirigés vers des buts sont plus flexibles que les habitudes ; et (2) la décision d'un système avec modèle repose sur l'estimation des conséquences de l'action grâce au modèle, tandis qu'une décision d'un système sans modèle est directement déclenchée par la reconnaissance de la configuration (on parle alors plutôt d'« état ») de l'environnement propice au déclenchement de l'action. La propriété (1) est due à la lenteur de tout système d'apprentissage par renforcement, lenteur requise pour la stabilité du système (Sutton & Barto,

1998) : à chaque essai, si l'action a fonctionné, je renforce légèrement sa valeur, et si l'action a abouti à une erreur, je baisse légèrement la valeur. Les modifications ne sont que légères à chaque fois, car si je renforce l'action fortement et si l'environnement est stochastique (dans le sens où les actions ont une certaine probabilité de ne pas toujours donner le même résultat), alors le moindre bruit (au sens statistique) dû à un événement rare me fait renforcer fortement l'action dans une mauvaise direction. Un système sans modèle apprend donc lentement la valeur de chaque action en réponse à chaque « état » (ou à chaque stimulus). Par exemple, après apprentissage, le système a appris que l'action « appuyer sur le bouton pour faire couler le café » a une forte valeur une fois que la tasse est posée, mais une faible valeur quand il n'y a pas de tasse devant le robinet de la machine à café. De façon intéressante, un système sans modèle est encore plus lent pour s'adapter après un changement que lors de l'apprentissage initial : après le changement, on ne part pas de zéro mais plutôt d'un comportement inadapté à la nouvelle situation, de façon cohérente avec l'inflexibilité reconnue des habitudes. Par exemple, si je viens d'acheter une nouvelle machine à café où il n'y a pas besoin de placer une tasse car un gobelet descend automatiquement avant que le café coule, j'aurais tendance à persister à vouloir mettre une tasse par habitude avant d'appuyer sur le bouton de la machine. Pour donner un autre exemple, cette fois-ci lié à la navigation : si mon nouvel appartement parisien est situé sur la rive gauche de la Seine, alors que l'ancien était sur la rive droite, j'ai une probabilité encore plus faible d'atteindre mon nouvel appartement en suivant ma vieille habitude de longer la rive droite de la Seine en marchant, plutôt qu'en me déplaçant au hasard dans Paris.

Une troisième propriété est intéressante à noter, car elle fait un lien avec le temps de délibération invoqué par Bergson : (3) un système sans modèle prend une décision très rapidement puisqu'il lui suffit de comparer un ensemble fini de valeurs (celles des actions en compétition dans la situation donnée) pour choisir l'action à la plus forte valeur (subjective). À l'opposé, un système avec modèle prend des décisions d'autant plus lentement qu'il lui faut estimer toutes les conséquences possibles d'une même action plusieurs coups à l'avance (par exemple lorsqu'on l'on joue aux échecs) et qu'il y a beaucoup d'actions possibles (Khamassi, 2020a).

Rappelons par souci de clarté que quand nous parlons ici de décision sans modèle, nous voulons dire à la fois décision sans simulation mentale prospective en utilisant un modèle interne, et décision sans examen rétrospectif d'éléments en mémoire épisodique (chacun de ces éléments en mémoire pouvant être considérés comme un « mini » modèle à une seule action, car je n'ai pas un souvenir parfait mais trié de ce moment vécu, comme nous l'avons vu plus haut). Une décision sans modèle correspond ici à une décision réactive où je me contente de déclencher l'action qui a été la plus fortement associée par apprentissage à un certain *état* de la tâche (au sens de configuration de mon corps dans l'environnement qui m'entoure), cet *état* de la tâche étant parfois indiqué par un stimulus (par exemple dans les tâches de conditionnement).

Sur cette base, il a été proposé que les comportements dirigés vers des buts puissent être bien compris comme des processus décisionnels utilisant un modèle interne, tandis que les habitudes et tous les automatismes décisionnels

de type stimulus-réponse puissent être compris comme des processus sans modèle interne (Daw *et al.*, 2005). Toute une littérature a été développée depuis, avec tout un ensemble d'expériences pour vérifier que sous certaines contraintes on peut favoriser un système plutôt que l'autre (Lee *et al.*, 2019), pour élucider les bases neurales de chacun des mécanismes élémentaires de ces systèmes (Daw & Dayan, 2014), et pour comprendre quels principes computationnels régissent la bascule entre le contrôle par l'un ou l'autre système (Lee *et al.*, 2014) (**Encadré 2**). L'histoire est bien sûr plus compliquée et plus nuancée qu'une simple dichotomie entre décisions avec et sans modèle (Dezfouli et Balleine, 2012 ; Miller *et al.*, 2019). Mais cette distinction est globalement robuste et se généralise à de nombreux domaines où nous avons à prendre des décisions. Nous avons par exemple passé en revue un ensemble de données expérimentales sur la navigation avec et sans modèle (Khamassi & Humphries, 2012). Et en plus des situations de conditionnement instrumental/opérant (Daw & Dayan, 2014) et de conditionnement Pavlovien/classique (Lee *et al.*, 2019), il semble que l'acquisition d'un type d'habitudes comportementales qui nous évitent de réfléchir aux conséquences de l'action se généralise à de nombreuses situations, comme dans de nombreux gestes du quotidien (faire la cuisine, se laver, ranger, faire des courses, etc.), ou encore dans les gestes habituels de tout expert (artisan, sportif, musicien, etc.).

Encadré 2 : Modèles computationnels de l'arbitrage entre systèmes décisionnels dans le système nerveux.

Les chercheurs en psychologie expérimentale et en neurosciences cognitives se posent depuis longtemps la question de savoir quels sont les mécanismes qui régissent la bascule d'un mode décisionnel « dirigé vers un but » (GDB, pour « goal-directed behaviors ») à un mode décisionnel « habituel ». Les travaux en neurosciences précédemment cités (par ex., Thorn *et al.*, 2010) ont montré que le renforcement des actions qui deviennent plus tard habituelles commence dès le début d'un apprentissage dans un nouveau contexte, et continue d'essai et en essai en parallèle du comportement initialement GDB. Il faudra de nombreux essais pour que le système habituel renforce suffisamment une action pour qu'elle devienne habituelle, et puisse être déclenchée sans que le système GDB n'intervienne dans la décision. Mais qu'est-ce qui détermine quand le renforcement est suffisant ? Quels principes computationnels permettent le mieux de décrire et de prédire à quel moment s'opère une bascule vers un comportement habituel dans différentes situations expérimentales ?

Il a été proposé que l'incertitude relative liée aux valeurs d'actions apprises par chacun des deux systèmes (GDB *vs.* habituel) peut être un critère efficace de coordination (Daw *et al.*, 2005) : à un moment donné, le système le moins incertain prend la main sur les décisions de l'individu. Or, c'est parce qu'une habitude prend du temps et de la répétition pour être apprise que son incertitude diminue lentement, et donc que le comportement montre initialement les propriétés de flexibilité et de lenteur de délibération du système GDB.

Cette comparaison d'incertitudes relatives de deux systèmes provient d'un cadre mathématique Bayésien qui a le mérite d'être normatif : face à un problème bien défini, il prescrit la manière « optimale » (*i.e.*, la plus efficace pour maximiser la récompense) de prendre des décisions. Bien sûr, le problème n'est pas toujours bien défini à l'avance, nous n'avons pas toujours des ressources de calcul illimitées, et nous ne cherchons pas toujours seulement à maximiser la récompense – on peut aussi montrer des motivations dites intrinsèques, comme la curiosité pour la nouveauté, par opposition aux récompenses extrinsèques. Aussi des variantes de ce principe de coordination ont été proposées et comparées (voir Khamassi, 2020a pour une revue). Dans la suite du texte, nous nous contenterons de garder ce principe général qui reste valable dans de multiples situations (O'Doherty *et al.*, 2020).

Ce qui est intéressant avec ce principe computationnel, c'est qu'il permet non seulement de bien expliquer les actions choisies par des sujets humains lors de tâches simples de conditionnement instrumental, mais également de prédire les moments où les participants ralentissent pour prendre davantage de temps de délibération, ou encore les moments où leur temps de décision diminue car leur prise de décision est en train de s'automatiser par acquisition d'habitude (Viejo *et al.*, 2015). On se rend également compte qu'il y a des différences inter-individuelles de sorte que les paramètres du modèle computationnel que l'on utilise pour analyser le comportement donnent différentes pondérations du système habituel dans les décisions d'un individu à l'autre (Daw *et al.*, 2011 ; Lesaint *et al.*, 2014). On observe également que la pondération du système GDB est plus faible chez les enfants que chez les adolescents, et plus faible chez les adolescents que chez les adultes, indiquant qu'une des facettes du développement cognitif consiste à délibérer de plus en plus en fonction des conséquences futures estimées de l'action (Decker *et al.*, 2016), ce qui pourrait être lié au développement d'une capacité d'inhibition des automatismes comportementaux avec la maturation du cortex préfrontal (Houdé, 2020).

Enfin, toute la littérature sur le *contrôle cognitif* – qui correspond à la faculté d'interrompre des automatismes comportementaux lorsqu'ils ne sont plus appropriés à la tâche pour re-déclencher une phase de délibération (Miller & Cohen, 2001 ; Khamassi *et al.*, 2011) –, suggère que tout un ensemble de facteurs vient moduler notre tendance à basculer des habitudes vers les décisions GDB. Parmi ces facteurs, la fatigue et la perspective d'un effort cognitif peuvent réduire notre motivation à nous engager dans des processus délibératifs (voir Pessiglione, ce numéro ; Zénon 2021). La charge cognitive peut réduire la contribution des modèles internes à la décision (Cogliati-Dezza *et al.*, 2019). Enfin, l'humeur et les prédispositions dans lesquelles nous sommes avant d'effectuer une décision peuvent moduler les valeurs sur lesquelles reposent nos décisions et rendre ces dernières plus ou moins impulsives (voir Pessiglione, ce numéro).

Tous ces travaux computationnels nous suggèrent en tout cas des pistes pour analyser et quantifier la part de nos automatismes dans nos

diverses décisions. Ils laissent également penser que nous disposons d'une marge de manœuvre pour donner différentes pondérations aux habitudes dans les choix, notamment en réfléchissant à l'incertitude de nos connaissances sur nos comportements automatiques relativement à celles issues de nos modèles internes. Nous pensons en outre qu'en plus de devoir s'accompagner d'une plus faible confiance (au sens de plus fort scepticisme) vis-à-vis de nos automatismes comportementaux, cela doit venir avec une plus forte confiance de l'individu dans sa capacité à prendre de meilleures décisions grâce à la délibération et à l'acquisition de nouvelles connaissances.

4 – IMPACTS ÉTHIQUES ET SOCIÉTAUX DES HABITUDES DU CORPS

Qu'est-ce que toutes ces connaissances sur les automatismes comportementaux impliquent d'un point de vue sociétal ? Afin de répondre à cette question, il convient de rappeler la part importante des automatismes dans nos actions du quotidien, puis d'examiner ce que chacune des propriétés des automatismes peut impliquer dans le contexte et l'époque dans lesquels nous vivons.

Il est important de commencer par rappeler à quel point les automatismes comportementaux jouent un rôle prépondérant dans le guidage de nos décisions et de nos actions au quotidien (Lopez-Persem & Khamassi, 2021). Le postulat sur lequel repose une société démocratique est que les individus prennent des décisions informées et ancrées sur la rationalité, c'est-à-dire sur des délibérations et raisonnements logiques tournés vers leur intérêt, l'intérêt d'autrui, de la société, de l'environnement, etc. Or, l'écrasante majorité de nos décisions quotidiennes sont automatiques et ne reposent pas sur une quelconque délibération. Il y a en effet tout un ensemble de décisions implicites, d'habitudes non réfléchies, que nous effectuons sans en prendre conscience. On considère en effet qu'un individu prend des milliers de décisions par jour sans s'en rendre compte (Sahakian & Labuzetta, 2013). Par exemple, rien que concernant la nourriture, nous prenons plus de 220 décisions par jour en moyenne, alors qu'il nous semble n'en prendre qu'une quinzaine (Wansink & Sobal, 2007). De même, dans nos gestes du quotidien nous prenons de nombreuses décisions implicites comme d'orienter le regard vers divers éléments statiques ou en mouvements du décor, comme décider de ne pas se lever pour ramasser un objet aperçu par terre, comme décider de regarder ses emails, comme décider de continuer de travailler encore un peu avant d'aller déjeuner, ou simplement décider à quoi penser à chaque instant. En guise de dernier exemple, l'activité quotidienne de conduite d'un véhicule implique des centaines de décisions qui se répartissent en plusieurs catégories, de la préparation du voyage, comme quand partir et par quel chemin, à des réactions aux événements comme éviter un camion ou changer de file, en passant par du contrôle et de la surveillance réguliers (par ex., accélérer, diriger le volant, surveiller le rétroviseur, etc.) (Choudury & Ben-Akiva, 2013). Or, une grande part de ces décisions sont automatiques et l'on n'a pas conscience de les prendre.

D'une façon générale, on estime que la grande majorité de nos décisions quotidiennes sont prises de façon non délibérées, que ce soit des décisions

concernant des domaines dans lesquels nous sommes devenus experts par la pratique répétée, ou des domaines généraux du quotidien. Par exemple, la recherche sur la prise de décision interactive dans le contexte scolaire a mis en évidence des prises de décisions conscientes par les enseignants dans seulement 25% de leurs pensées rapportées (cité par Yinger, 1986). Dans nos propres travaux étudiant des séries de décisions chez l'humain dans une tâche instrumentale simple, l'analyse du comportement par le biais des modèles computationnels prédit que même au plus haut de son mode délibératif, le comportement des participants ne s'explique que par une contribution de 20% du système délibératif par opposition au système habituel (Viejo *et al.*, 2015). Plus généralement, certains estiment que 95% de nos activités quotidiennes sont régies par les décisions de notre Système 1 – que nous avons décrit plus haut comme prenant des décisions rapides ancrées sur des raccourcis mentaux – (Lakoff *et al.*, 1999).

Or, si un grand nombre de nos décisions automatiques quotidiennes sont sans enjeu majeur évident (décider de quels habits mettre, de boire du café ou du thé, vers quels stimuli de l'environnement orienter notre regard, quand aller déjeuner, que manger), et si l'acquisition d'habitudes comportementales (triées et choisies !) dans ces cas peut être utile pour nous permettre d'économiser de l'énergie et du temps dans des contextes stables, familiers et sans danger (nous y reviendrons plus loin), d'autres décisions peuvent avoir des conséquences non négligeables (quand passer la troisième vitesse dans la voiture, quel journal ou site d'information consulter et quand, transmettre ou non une information reçue via un réseau social, que dire à nos enfants lorsqu'ils font une bêtise, que prévoir pour les prochains jours dans notre activité professionnelle, etc.).

À la lumière de cette prépondérance de nos automatismes comportementaux, il est frappant de constater que la société actuelle inclut un ensemble de mécanismes et d'éléments qui favorisent les automatismes au détriment de la délibération : multiples stimuli incitateurs à consommer, pression temporelle à décider vite, discours politiques simplistes suscitant l'émotion, etc. Examinons maintenant quelles propriétés des automatismes comportementaux les rendent facilement exacerbables et exacerbés dans la société dans laquelle nous vivons.

Nous avons vu tout d'abord que moins nous avons de temps pour délibérer, plus notre décision a de chances d'être automatique. Elle sera davantage influencée voire causée par des stimuli externes, reposera sur la considération d'un plus petit nombre de souvenirs et d'informations dont nous pourrions disposer dans notre mémoire et dans nos modèles internes. En somme, elle sera moins informée, et si l'on veut paraphraser Bergson, elle nous ressemblera moins. Toute pression ou incitation à décider vite est donc réductrice de liberté. Or nous vivons dans une époque où la gestion du temps et la quête de performance font que nous avons très (trop) souvent l'impression de manquer de temps. Le sujet de discussion revient souvent sur les lèvres : nous disposons de toujours davantage de technologies sensées automatiser pour nous certains processus, donc nous faire gagner du temps, et pourtant nous avons l'impression de disposer d'encore moins de temps. Plusieurs causes actuelles de ce phénomène ont été identifiées. Dans le milieu universitaire, on souligne

depuis longtemps l'alourdissement des charges administratives, du *reporting* et des préparations des différentes réponses aux appels à financement (Ughetto, 2020). Une autre cause, plus générale à l'ensemble de la société, concerne la captation de notre attention à des fins mercantiles par des interfaces numériques conçues par design pour nous accaparer le plus longtemps possible : pages sans fins, flux infinis, vidéos qui se lancent tout seules, pop-up, publicités saillantes, récompenses sociales calibrées, etc. (Forestier *et al.*, 2021). Mais ce phénomène ne date pas d'hier, et les plus de 3h30 passés en moyenne par jour devant un écran de télévision ont depuis longtemps été pointées du doigt comme accaparant notre temps au détriment d'autres activités plus fertiles pour notre vie cognitive (interaction sociale, lecture, temps de réflexion ; Desmurget, 2011 ; Bach *et al.*, 2013). Dans sa quête de performance, l'individu a aussi sa part de responsabilité : sa motivation à faire toujours plus, vivre davantage d'expériences, dépasser les indicateurs, etc.

Prenons un exemple de décision fortement lié au principe même de la démocratie : le vote lors d'une élection. Heureusement, certes, les élections sont annoncées à l'avance et nous sommes censés avoir le temps d'y réfléchir. Mais qui n'a jamais repoussé le moment de décider face à un choix qu'on sait parfois devoir être difficile ? Surtout si l'on considère qu'on a d'autres choses urgentes à faire pendant cette période. À titre d'exemple, pour la primaire écologiste de 2021, l'un des auteurs de cet article, ayant longtemps hésité, a repoussé jusqu'au dernier moment l'examen de la profession de foi des candidats et la lecture de quelques articles analysant leur programme. Ainsi, la délibération de l'auteur n'a finalement pas été interrompue parce qu'il avait jugé avoir suffisamment réfléchi, mais parce que l'heure limite de vote devenait trop proche et qu'il fallait bien prendre une décision.

Ensuite nous avons vu que l'exposition répétée aux mêmes stimuli externes pouvait favoriser l'acquisition de réponses comportementales automatiques par conditionnement, c'est-à-dire par renforcement progressif d'associations stimulus-réponse. Après conditionnement, une nouvelle exposition à ces stimuli va avoir tendance à court-circuiter nos processus de délibération pour déclencher automatiquement la réponse conditionnée. Cela veut dire qu'exposer un individu de façon répétée à un même stimulus externe réduit sa probabilité de délibérer avant de prendre une décision, et donc réduit mécaniquement sa liberté. De plus, s'additionne un phénomène de simple exposition qui fait que revoir de nombreuses fois un même stimulus (un visage d'homme ou de femme politique, le logo d'une marque, etc.) augmente mécaniquement notre sentiment de familiarité ainsi que notre appréciation positive de ce stimulus (Zajonc, 1968), favorisant ainsi notre absence de ressenti d'un besoin de délibérer en réponse à ce stimulus. Enfin, il est important de noter que l'influence de stimuli externes conditionnés sur nos automatismes se produit même lorsque la conséquence de l'action a été dévaluée, c'est-à-dire même lorsque l'individu considère que cette conséquence n'est plus souhaitable pour lui (Holland, 2004). Cela veut dire que les stimuli externes conditionnés peuvent pousser l'individu à agir en contradiction avec ses souhaits et désirs, puisqu'ils réduisent notre probabilité de nous engager dans une délibération consciente. Les exemples classiques qui ont été beaucoup étudiés en psychologie concernent les stimuli prédictifs de

nourriture, et les situations où les gens ne peuvent s'empêcher de consommer davantage de nourriture bien qu'ils souhaiteraient pouvoir se retenir (Kelly & Barker, 2016).

Or, « nous vivons dans une société marchande »¹² où la place faite aux multiples stimuli incitatifs à consommer est prépondérante. Ces stimuli sont non seulement présents sous forme de publicités relayées par divers médias (télévision, radio, presse, internet, publicité extérieure, cinéma), mais également sous formes d'enseignes réparties de façon privilégiées dans les zones urbaines les plus passantes (centres villes, gares, aéroports, couloirs du métro, etc.) et sous forme de *merchandising* (t-shirts, sacs, goodies) diffusés par les individus eux-mêmes sur la place publique. L'exposition répétée à ces multiples stimuli favorise nos comportements consommatoires automatiques (par ex., Courbet & Fourquet-Courbet, 2019), et par là même réduit notre liberté.

Dans une tribune publiée dans Libération en décembre 2020 (Khamassi, 2020b), nous insistions sur le fait que les réponses automatiques pouvaient être d'autant plus difficiles à réprimer que les stimuli étaient liés à des besoins physiologiques primaires : photos géantes de hamburgers, de frites ou de glaces en gros plan sans aucune information textuelle sur le produit ; photos de bouteilles de soda dont la fraîcheur les fait ruisseler de gouttes à côté de visages montrant une forte émotion de soulagement suite à la désaltération ; photos de femmes en petites tenues en positions de soumission ; etc. Comme nous le soulignons déjà dans cette tribune, il est absurde d'attendre des individus qu'ils réussissent à réduire drastiquement leur surconsommation de nourriture (dont la production conduit pourtant à davantage d'émission de CO₂), leur consommation de produits et services fortement émetteur de CO₂, ou tout simplement leur consommation de produits à faible utilité pour leur vie de tous les jours, face aux multiples incitations à consommer auxquels ils sont exposés. Avec le présent article, nous montrons en effet que **les individus sont d'autant moins libres de décider de moins consommer que leur environnement contient de multiples stimuli favorisant les automatismes comportementaux.**

Nous avons également vu que l'état de fatigue conduit à réduire la volonté de s'engager dans une délibération au coût cognitif potentiellement élevé. La fatigue favorise l'expression des automatismes comportementaux et est donc un état dans lequel la liberté décisionnelle est réduite. Or, les publicitaires ont déjà compris et mis en pratique le constat que dans les moments de fatigue (par ex., le soir en rentrant du travail), l'exposition à une publicité peut renforcer la confiance du « consommateur » dans son attitude vis-à-vis de la marque concernée. Dans les cas d'une impression initialement positive ou neutre pour une marque, la personne sera plus encline à passer à l'acte d'achat après

¹² Comme l'avait rétorqué un juge du tribunal de grande instance de Lille en 2017, suite à l'exposé de l'un des auteurs sur les influences connues scientifiquement de la publicité répétée sur nos comportements. Nous ne discuterons pas ici du coût pour la société induit en contrepartie du bénéfice pour quelques-uns (par ex., surcoût en termes d'obésité ; Veerman *et al.*, 2009), nous l'avons déjà fait ailleurs (Khamassi, 2020c). Ici nous nous focalisons sur le coût pour la société en termes de réduction de la liberté des individus qui la constituent.

exposition à une publicité pour cette marque en état de fatigue (Wan *et al.*, 2010).

Une autre propriété très importante des automatismes que nous avons amplement décrite est leur grande inflexibilité. Lorsque l'environnement change ou que notre désir change, et qu'un comportement n'est alors plus approprié, nous avons davantage de difficultés à nous en défaire s'il s'agit d'un automatisme comportemental (*i.e.*, d'une habitude) que s'il s'agit d'un comportement dirigé vers un but (c'est-à-dire résultant d'une délibération au cours de laquelle nous confrontons mentalement la conséquence attendue de l'action avec nos désirs, nos intentions, nos valeurs). Cela veut dire qu'en plus d'être moins libres de par le fait que la décision liée à ce comportement est le fruit d'un automatisme, nous sommes également moins libres de déconstruire cet automatisme lorsque nous souhaitons nous en débarrasser. À titre d'exemple, qui n'a jamais souhaité mettre fin à certaines de ses mauvaises habitudes sans réussir à y parvenir ?

En effet, un certain nombre de nos habitudes sont non-souhaitées par nous-mêmes, et persistent alors qu'elles nous sont néfastes (*par ex.*, le grignotage entre les repas). Reposer moins sur les habitudes et davantage sur la délibération dans certains contextes, maintenir une vigilance consciente, réfléchir et trier les habitudes que nous acceptons de développer dans d'autres contextes, c'est se donner la possibilité de faire mieux reposer nos décisions sur nos estimations des conséquences de l'action, et donc sur un réel choix en fonction d'une conséquence souhaitée ou non. Nous avons argumenté que cela permet à nos décisions de nous ressembler davantage, car elles incorporent ainsi davantage d'éléments issus de notre propre délibération – délibération avant de décider sur le moment, pour nos comportements dirigés vers des buts ; ou délibération pendant la réflexion et le tri hors contexte pour nos habitudes choisies. D'un point de vue philosophique, cela permet à nos décisions d'incorporer davantage de nos connaissances selon Spinoza et de notre mémoire tout entière selon Bergson. Non pas que nos habitudes ne nous ressemblent pas. Elles finissent par nous ressembler, et nous finissons par ressembler à nos habitudes. Elles contribuent parfois à nous caractériser. Nous nous identifions à elles, parfois, en partie. C'est acceptable si nous ressemblons à nos habitudes choisies. Mais nombre de nos habitudes ont été acquises/induites par l'interaction avec l'environnement et notamment avec de nombreux stimuli externes auxquels nous sommes exposés sans les avoir choisis, et dont nous n'avons souvent pas conscience (*par ex.*, les produits sur les étagères des supermarchés disposés selon des « architectures de choix », Thaler *et al.*, 2013 ; la publicité, Veerman *et al.*, 2009 ; le *marketing* digital, Buchanan *et al.*, 2017). Qui a réellement choisi a priori de prendre du poids en commençant à acquérir une habitude de grignotage ? Et malheureusement, il semble que sur ces questions, l'éducation à l'esprit critique ou aux médias ne suffisent pas à empêcher les enfants de développer de mauvaises habitudes alimentaires (Mehta *et al.*, 2010).

Une dernière propriété importante de nos automatismes au regard de leur inscription dans la société est qu'ils nous rendent davantage sujets à des raccourcis mentaux, à des biais cognitifs (Kahneman, 2011 ; Gigerenzer, 1996), et par là même davantage influençables par des messages politiques ou

commerciaux simplistes, par les appels à l'émotion, par la propagande, la manipulation (Kozyreva *et al.*, 2020). Par exemple, la captation automatique de notre attention lors de nos interactions avec des interfaces numériques diminue la probabilité que nous nous engagions dans un processus de vérification de la fiabilité de l'information, et augmente donc notre propension à partager des *fake news*. Autre exemple, les « architectures de choix » ou encore les *dark patterns* sont conçus pour guider nos décisions automatiques vers les intérêts commerciaux du concepteur au détriment de notre propre intérêt (Kozyreva *et al.*, 2020).

En conclusion de cette partie, si certains de nos automatismes comportementaux et habitudes peuvent nous être utiles dans notre quotidien, il nous est souvent difficile de nous défaire de ceux dont nous souhaitons nous débarrasser, et ils peuvent nous rendre plus vulnérables dans nos interactions avec la société. En retour, il y a tout un ensemble d'éléments de notre environnement qui contribuent à la domination progressive des comportements habituels et automatiques dans notre quotidien : la gestion du temps par nos sociétés, le centrage sur la consommation, le culte de la performance (principalement économique, et en tout cas le plus souvent mono-critère), mais aussi certains éléments des interfaces (numériques ou pas) qui sont conçues *by design* pour susciter et développer nos automatismes. Le phénomène a été particulièrement bien étudié dans le cadre des jeux de casino conçus pour développer des addictions, avec des stratégies de conception qui s'étendent aujourd'hui à certains jeux vidéo et réseaux sociaux (Schüll, 2012 ; Courtwright, 2019). **Tous ces processus réduisent mécaniquement notre liberté.**

5 – DISCUSSION

Dans cet article, nous avons voulu faire un pont entre des positionnements philosophiques sur la liberté des individus à prendre des décisions et tout un ensemble de connaissances issues de la psychologie expérimentale et des neurosciences cognitives. En particulier, nous avons décrit les mécanismes cérébraux et computationnels qui permettent aux individus de basculer de modes décisionnels automatiques ou habituels vers des modes décisionnels impliquant une réelle délibération.

Nous nous sommes placés dans un cadre déterministe où le principe de causalité s'applique et où la liberté de l'individu est envisagée par degrés. Suivant Spinoza, l'individu peut être d'autant plus libre qu'il acquière une meilleure connaissance des causes qui influent sur nos décisions. Pour Bergson, l'individu est d'autant plus libre qu'augmente la durée qu'il donne à sa vie psychique avant de prendre une décision, et qu'il invoque une plus grande part de sa mémoire pour que sa décision lui ressemble vraiment.

Nous avons ensuite dressé un panorama des distinctions psychologiques qui existent entre différents modes de décision chez l'humain, toutes ces distinctions s'appuyant schématiquement sur la dichotomie entre des décisions impliquant une réelle délibération consciente et des décisions reposant sur des automatismes acquis de type stimulus-réponse. Nous avons mis l'accent sur la distinction qui nomme les premiers des comportements dirigés vers un but – car les décisions liées impliquent une représentation mentale explicite du but à

atteindre et une considération des actions qui peuvent mener à ce but, de leur valeur pour l'individu (valeur économique, valeur épistémique, valeur morale, valeur sociale, etc.) – et qui nomme les seconds des habitudes (Dickinson, 1985).

Nous avons ensuite expliqué les grands principes des modèles computationnels qui permettent de rendre compte des mécanismes de bascule d'un mode décisionnel à l'autre dans le système nerveux. En particulier, nous avons insisté sur la notion de modèle interne, que l'individu construit au sein de sa mémoire à long-terme par l'expérience progressive d'interaction avec le monde, et qui permet d'estimer les effets des actions dans chaque contexte connu. Grâce à ces modèles, l'individu peut faire de la simulation mentale pour décider des actions qui lui conviennent en fonction de son but avant d'agir. Nous avons également décrit comment ce mode délibératif prospectif (puisque l'on simule des futurs possibles avant de décider) se distingue de la réactivation de souvenirs d'expériences similaires vécues grâce à sa mémoire épisodique (processus rétrospectif). Dans les deux cas, il y a néanmoins une délibération dans laquelle on évalue l'adéquation d'actions possibles avec le but et les valeurs de l'individu. Enfin, nous avons rappelé comment l'acquisition d'habitudes de type stimulus-réponse se construit lentement, par la répétition dans des contextes stables, mais rend le comportement inflexible et plus influençable par les stimuli extérieurs, donc moins libre si ces habitudes ne sont pas réfléchies et choisies délibérément par l'individu pour leur adéquation avec ses buts et ses valeurs.

Dans la dernière partie, nous avons discuté tout un ensemble d'enjeux éthiques qui nous apparaissent au regard de la structure et des priorités de la société dans laquelle les humains vivent actuellement avec ces propriétés psychologiques. Au sein de cette société, nous avons envisagé des manières d'augmenter la liberté par la réflexion de l'individu sur ses propres décisions (métacognition) et par l'aménagement de la société pour réduire les stimuli favorisant les automatismes comportementaux, de façon complémentaire aux solutions technologiques pour augmenter la liberté envisagées par François Kammerer dans ce même numéro (Kammerer, ce numéro).

La réflexion proposée ici soulève un certain nombre de questions et de perspectives qui méritent d'être discutées. Certaines concernent les implications de cette vision, et comment elles pourraient contribuer à augmenter la liberté des individus en démocratie. D'autres concernent la démarche elle-même, tant dans sa contribution au dialogue entre les neurosciences, la psychologie et la philosophie, que dans son positionnement par rapport à la question du déterminisme et du « libre arbitre ». Rappelons que ces deux derniers questionnements sont le sujet central du présent numéro d'*Intellectica* sur « Liberté et cognition », auquel contribuent des psychologues, des neurobiologistes et des philosophes.

Il est intéressant de noter que Bernard Feltz développe dans ce numéro (Feltz, ce numéro) l'argument selon lequel le langage offre une liberté plus grande que sans langage, du fait des représentations abstraites du monde qu'il permet. Ces représentations abstraites, construites dans l'expérience propre de l'individu avec son environnement et partagées socialement, enrichissent sa pensée par « causalité descendante ». Et comme nous l'avons souligné ici pour

d'autres types de représentations (non langagières), elles lui offrent une richesse de représentations mentales lui permettant d'anticiper les conséquences de ses actions avant d'agir. Ici, sans aller jusqu'au langage, nous soulignons que la construction de modèles internes par notre activité psychique nous permet déjà d'abstraire des représentations générales à plusieurs situations similaires. Cela nous permet de plus de faire de la simulation mentale pour anticiper les conséquences de nos actions, ce qui est appelé du « comportement dirigé vers un but » en psychologie (Dickinson 1985). Même si Feltz a raison lorsqu'il écrit que le langage permet de « produire de l'imaginaire [...] d'ouvrir à la nouveauté et à l'inventivité », il est important de prendre en considération que même sans langage les modèles internes le permettent déjà, à un degré certes moindre. Nous défendons ici que le saut qualitatif de l'accès à l'imaginaire et à la créativité ne se fait pas entre avec langage et sans langage, mais entre avec et sans modèle interne (voir Cazé, Khamassi *et al.*, 2018 pour un exemple chez le rat dans une situation de navigation). De plus, ceci n'est pas le propre de l'humain mais existe déjà chez d'autres mammifères comme les grands primates (de Waal & Ferrari, 2010), les rats (Tolman, 1948), peut-être aussi chez les dauphins (qui peuvent planifier leurs actions ; Kuczaj II *et al.*, 2010), et peut-être sous forme de capacités cognitives minimales de planification de l'action et de projection dans le futur chez l'ensemble des animaux terrestres (Mugan & MacIver, 2020). Cette vision des choses nous paraît particulièrement importante car elle fait le lien direct avec nos processus de prise de décision pour l'action, et apporte donc un éclairage vif sur l'éventail des libertés possiblement offertes à nos décisions, ainsi que sur les façons dont notre liberté peut se retrouver réduite lorsque nos automatismes comportementaux sont favorisés.

La notion de modèle interne mise en avant ici est intéressante pour penser la liberté à plusieurs titres. Tout d'abord, comme nous l'avons précisé plus haut, un modèle interne est *une fonction* qui décrit les effets estimés de nos actions. Or, si dans le domaine du contrôle moteur, cette fonction peut représenter de façon numériquement continue et du coup difficilement verbalisable les trajectoires produites par nos mouvements dans l'espace, lorsque de telles fonctions s'appliquent à nos représentations discrètes de nos actions et de leurs effets (comme dans les exemples présentés dans cet article), cela peut permettre une représentation symbolique qui augmente l'explicabilité (notamment verbale) des effets de nos actions (Schank & Abelson, 1977 ; Chaput *et al.*, 2021). Or, en nous rapprochant de la *mémoire sémantique* invoquée par Bergson, ceci facilite le raisonnement éthique, la délibération sur le caractère acceptable ou non pour nous de tel ou tel comportement, et favorise donc la liberté. On se situe ici dans un processus analogue à ce qui est appelé un « raisonnement à partir de cas », et plus précisément un « raisonnement à partir d'expériences tracées » en ingénierie des connaissances (Cordier *et al.*, 2014), qui offre toute une décomposition en un cycle de raisonnement tenant compte des différents contextes, qui pourrait venir enrichir les approches décrites ici. Néanmoins, par cette abstraction de nos actions et de leurs effets, le modèle interne représente une schématisation mentale, une approximation des expériences vécues dans le monde. En cela, il sera moins précis, et donc parfois moins adéquat, que les automatismes comportementaux que nous aurons acceptés d'acquérir dans certains contextes (par ex., musique,

sport, artisanat, gestes quotidiens sans enjeux), car ceux-ci ne reposent pas nécessairement sur une discrétisation de nos représentations d'action. C'est pourquoi remplacer purement et simplement tous nos automatismes comportementaux par une délibération à partir d'un modèle interne ne rendrait pas toujours plus libre. En particulier, cela rendrait moins libre dans les cas où les automatismes sont plus adéquats pour l'effet recherché et jugés acceptables par nous-mêmes. On retrouve ici l'idée de Spinoza que seules les connaissances adéquates rendent plus libres. C'est la raison pour laquelle nous avons proposé un examen critique et un tri de nos automatismes.

Sur l'impact sociétal que pourraient avoir les réflexions menées dans cet article, et dans ce numéro d'Intellectica dans son ensemble, il est intéressant de contraster les discours sur « la liberté de l'individu » mis en avant de façon particulièrement forte dans une économie de marché, où la consommation est un des rouages du système, avec le déterminisme méthodologique de l'approche scientifique en général, et l'accent mis en particulier en psychologie sur l'importance des causes externes (telles que des stimuli) sur nos décisions. À ce titre, nous nous devons de réfléchir sur le paradoxe d'une philosophie économique qui glorifie la liberté en discours et pourtant se retrouve en pratique à promouvoir des mécanismes comme la publicité ou la propagande (Bernays, 1925) qui de facto contribuent à accentuer la dimension stimulus-réponse des comportements humains et ainsi à réduire leur liberté. Bertrand Russell (1935) avertissait déjà sur l'exploitation possible par les moralistes et les gouvernants du concept de « libre-arbitre » à leur avantage. De même, dans *Le crépuscule des idoles* (1889), Nietzsche associait l'idée du libre-arbitre à un « tour de passe-passe théologique le plus suspect qu'il y ait, pour rendre l'humanité 'responsable' [...], dépendante des théologiens [...], pour pouvoir être jugés et punis, pour pouvoir être coupables ».

D'après Joël Dolbeault dans ce numéro, on pourrait considérer que le déterminisme a minima faible adopté ici (principe de causalité universelle mais pas nécessairement un futur prévu entièrement à l'avance, encore moins dans le domaine des représentations mentales) pourrait s'apparenter à la position de Bergson (Dolbeault, ce numéro). Bergson rejette en effet le déterminisme tout en adoptant le principe de causalité universelle. Mais il considère que si « pour le physicien, la même cause produit toujours le même effet [... car] le physicien pourra se retrouver en présence de conditions élémentaires identiques [...] pour un psychologue [...] une cause interne profonde donne son effet une fois, et ne le produira jamais plus [... du fait de] l'hétérogénéité radicale des faits psychologiques profonds, et l'impossibilité pour deux d'entre eux de se ressembler tout à fait. » (Bergson, 1889). Nous voudrions néanmoins nuancer un peu ce propos. En effet, même si nous sommes d'accord qu'il y a une différence de degrés de variabilité entre des pensées d'une part, et des états de la plupart des objets physiques d'autre part (les premiers pouvant être simplement dus à une différence de complexité du support physique de ces pensées : le système nerveux), il n'y a pas nécessairement de différence qualitative en termes informationnels entre le cerveau et n'importe quel système complexe que pourrait étudier le physicien (Oizumi *et al.*, 2014). En effet, dans notre vision des choses, il est tout à fait possible de ramener un participant humain dans une situation expérimentale approximativement

répétée à l'identique d'essai en essai, de façon à pouvoir retrouver la même tendance dans le comportement que réalise le participant. Les exemples de résultats expérimentaux sur la prise de décision chez l'humain présentés par Mathias Pessiglione dans ce numéro l'illustrent bien (Pessiglione, ce numéro). C'est également ce que met en lumière la psychologie expérimentale depuis plus d'un siècle. Et même si l'état du système nerveux d'un participant n'est pas exactement le même d'un essai à l'essai suivant, du fait qu'il vient d'accumuler une expérience de vie supplémentaire correspondant à la durée de l'essai précédent (comme le souligne Bergson), nous sommes dorénavant tout à fait capables de concevoir de bons modèles computationnels du processus d'apprentissage qui résulte en une modification de la mémoire du participant d'un essai à l'autre (Collins & Khamassi, 2021). Même si ces mécanismes d'apprentissage ne peuvent pas prendre en compte toutes les modifications qui se produisent dans le système nerveux d'un essai à l'autre, et font donc des approximations importantes, ils ont néanmoins un pouvoir prédictif très important et permettent de rendre compte très justement (bien mieux que le hasard) de l'action que va effectuer le participant à l'essai suivant dans des tâches simples de laboratoire. Ce type d'approches computationnelles est parfois même pertinent hors du laboratoire, dans la société, notamment à une échelle où les phénomènes observés résultent de l'agrégation au niveau collectif de décisions individuelles (congestion du trafic routier, tendances de la mode, résultats d'élections, etc.). Ce paragraphe nous permet donc de mettre en avant une nouvelle fois et d'une autre façon comment on peut vouloir exacerber la liberté de l'individu sans avoir besoin de rejeter le déterminisme. Pour rappel, l'absence totale de causes sur nos décisions (indéterminisme total) ne nous rendrait pas plus libres, contrairement à ce que pourraient nous suggérer nos intuitions (voir Feltz, ce numéro ; Guillon, ce numéro).

Enfin, pour pousser la réflexion jusqu'au bout sur la question du déterminisme, on pourrait nous rétorquer que la méta-décision de prendre davantage de temps de délibération avant une décision, ou de moins nous reposer sur nos habitudes, est elle-même déterminée, et donc que nous ne sommes in fine toujours pas libres pour autant. Certes, il y a des causes qui ont fait que vous avez décidé de lire cet article, et il y a d'autres causes qui font qu'après lecture vous allez décider ou non de prendre davantage de temps de délibération pour vos prochaines décisions. En d'autres termes, mon souhait de prendre davantage le temps de la réflexion, d'injecter tel ou tel souvenir ou telle réflexion, est lui-même le résultat d'un déterminisme, nous dit la science. Mais il n'entrave pas ma liberté de suivre ma volonté de réfléchir, même si cette volonté vient de quelque part, tout en m'aidant à bouger le curseur loin de mes habitudes comportementales. Et alors, aux sens philosophiques que Spinoza ou Bergson donnent à la liberté, nous nous retrouvons avec davantage de connaissances adéquates sur le monde et sur nous-mêmes, et davantage de mémoire invoquée dans nos décisions. Nous en devenons donc plus libres. Pour paraphraser Bertrand Russell dans *Science et Religion* (1935) : même si nos désirs ont eux-mêmes des causes, nous restons libres tant que nous ne sommes pas contraints d'agir en contradiction avec nos désirs. Une question éthique se pose néanmoins quand nous nous retrouvons à agir en contradiction avec nos désirs. Sans évoquer ici le cas extrême des systèmes totalitaires, ces situations peuvent se produire dans les sociétés démocratiques lorsque le

résultat du marketing publicitaire nous fait désirer des produits contraires à nos goûts (McClure *et al.*, 2004).

6 – POST-SCRIPTUM : LE CORPS AUTONOME, QUAND LA NÉCESSITÉ FAIT SA LOI

J'ai faim, j'ai soif. Je ne l'ai pas choisi ! Pourrais-je jamais choisir d'avoir faim ou d'avoir soif ? Pire, je suis faim, je suis soif. Ce sont les conditions de la vie. Là, tout échappe ! Le corps s'exprime en toute autonomie, et submerge toute tentative d'un contrôle. Un accident d'avion dans la montagne péruvienne conduit la faim et la soif à toutes les transgressions par la faim et la soif (cannibalisme après le crash du Vol Fuerza Aérea Uruguaya 571).

Les addictions, si diverses et nombreuses dans les sociétés fondées sur l'incitation permanente à la consommation – d'objets, de nourriture, d'informations, de médicaments –, sont elles-aussi caractérisées par ce « corps autonome », celui que la raison ne sait plus contrôler, imperméable aux argumentaires les plus sophistiqués ou les plus pessimistes (Fumer tue !).

Ce corps, régit par une physiologie qui fait que la faim, la soif, le besoin impérieux doivent être satisfaits, s'impose à tous.

À l'opposé de la délibération intérieure, de l'exploitation intelligente de la mémoire, d'une réflexion éclairée sur nos habitudes et ou nos expériences passées, le corps autonome, de guide spirituel, devient un dictateur sans scrupule. La libre nécessité, pour ce corps *addict*, est celle imposée par des circuits hors contrôle. De là les interdits multiples énoncés par les sociétés humaines (inceste, cannibalisme, crime) ou choisis par certains (abstinence, jeûne, chasteté) accompagnés sans relâche par leurs contreparties transgressives. Alors, la nécessité n'est plus libre, mais emprisonnée dans des circuits physiologiques, bouclage récurrent du système nerveux sur lui-même, que des thérapies (comportementales, de substitution, d'hypnose) peinent à briser.

Ce corps drogué (par ses hormones, son homéostasie dérégulée, ses neuromédiateurs en folie) n'est plus guidé par une délibération salvatrice et éclairante, mais asservi par une physiologie qui impose son agenda et guide les choix, accompagnés parfois de stratégies sophistiquées de contournement et d'évitement. C'est aussi ce corps qui, malade, impose sa déraison, ses nécessités, sans échappatoire possible.

Chacun de nous a ses addictions, chacun a faim, chacun a soif. La libre nécessité bien comprise est un éclairage intermittent qui ne saurait étouffer les émotions, les désirs, les douleurs... Cette libre nécessité est une inscription temporelle de l'esprit, une façon pour chacun de nous projeter sur le devenir du corps en un sens et des raisons de le faire vivre, une porte sur une liberté d'être et d'agir, une possibilité d'inscrire un moment bref dans une éternité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Camille Lakhlifi pour son aide précieuse sur les figures, et Sophie Archambault de Beaune, Virginie Beauconsin, Alain Mille et Cyril Monier pour leurs suggestions et commentaires sur une première version de l'article.

RÉFÉRENCES

- Adams, C. D. & Dickinson, A. (1981). Instrumental responding following reinforcer devaluation. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 33(2b), 109-121.
- Appourchaux, K. (2014). *Un nouveau libre arbitre*. Paris, CNRS Éditions.
- Bach, J.F., Houdé, O., Léna, P. & Tisseron, S. (2013). *L'enfant et les écrans. Un Avis de l'Académie des sciences*. Paris, Le Pommier.
- Balleine, B.W. & Dickinson, A. (1998). Goal-directed instrumental action: contingency and incentive learning and their cortical substrates. *Neuropharmacology*, 37(4-5), 407-419.
- Balleine, B.W. (2005). Neural bases of food-seeking: affect, arousal and reward in corticostriatolimbic circuits. *Physiology & Behavior*, 86(5), 717-730.
- Bedminster, J.H. (2021). L'impuissance de la volonté et le déterminisme causal. Discussion du libre arbitre et de l'irresponsabilité morale. *Intellectica*, 75. Ce numéro.
- Bergson, H. [1889]. *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Presses Universitaires de France, 2007.
- Bernays, E. [1925]. *Propaganda: The Public Mind in the Making*. Aurora, OH, Findaway World. Reédition, 2018.
- Bigenwald, A. & Chambon, V. (2019). Criminal Responsibility and Neuroscience: No Revolution Yet. *Frontiers in Psychology*, 10:1406.
- Bonicalzi, S & Haggard, P (2019). From *Freedom From* to *Freedom To*: New Perspectives on Intentional Action. *De face. Psychol.* 10: 1193.
- Buchanan L, Kelly B & Yeatman H (2017) Exposure to digital marketing enhances young adults' interest in energy drinks: An exploratory investigation. *PLoS One*, 12(2): e0171226.
- Caligiore, D., Pezzulo, G., Baldassarre, G., Bostan, A.C., Strick, P.L., Doya, K., ... & Herreros, I. (2017). Consensus paper: towards a systems-level view of cerebellar function: the interplay between cerebellum, basal ganglia, and cortex. *The Cerebellum*, 16(1), 203-229.
- Cazé, R., Khamassi, M., Aubin, L. & Girard, B. (2018). Hippocampal replays under the scrutiny of reinforcement learning models. *Journal of Neurophysiology*, 120(6), 2877-2896.
- Chaput, R., Cordier, A. & Mille, A. (2021). Explanation for Humans, for Machines, for Human-Machine Interactions? In *AAAI-2021, Explainable Agency in Artificial Intelligence WS*.
- Chomsky, N. & Foucault, M. (1971). *The Chomsky-Foucault Debate: on Human Nature*. New York, NY, The New Press, 2015.
- Choudhury, C.F. & Ben-Akiva, M.E. (2013) Modelling driving decisions: a latent plan approach. *Transportmetrica A: Transport Science*, 9:6, 546-566
- Cogliati Dezza, I., Cleeremans, A. & Alexander, W. (2019). Should we control? The interplay between cognitive control and information integration in the resolution of the exploration-exploitation dilemma. *Journal of Experimental Psychology: General*, 148(6), 977.
- Collins, A., & Khamassi, M. (2021). Initiation à la modélisation computationnelle. In Khamassi, M. (Ed.), *Neurosciences cognitives*. Paris, de Boeck Supérieur.
- Cordier, A., Lefevre, M., Champin, P.A., Mille, A., Georgeon, O.L. & Mathern, B. (2014). Connaissances et raisonnement sur les traces d'interaction. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 28(2-3), 375-396.
- Courbet, D. & Fourquet-Courbet, M.-P. (2019). Usages des écrans, surpoids et obésité. *Obésité*, 14:131-138.
- Courtwright, D.T. (2019). *The Age of Addiction*. Cambridge, MA, Harvard University Press.

- Coutureau, E. & Killcross, S. (2003). Inactivation of the infralimbic prefrontal cortex reinstates goal-directed responding in overtrained rats. *Behavioural Brain Research*, 146(1-2), 167-174.
- Damasio, A.R. (2006). L'erreur de Descartes: la raison des émotions. Paris, Odile Jacob.
- Daw, N.D., Niv, Y. & Dayan, P. (2005). Uncertainty-based competition between prefrontal and dorsolateral striatal systems for behavioral control. *Nature neuroscience*, 8(12), 1704-1711.
- Daw, N.D. & Dayan, P. (2014). The algorithmic anatomy of model-based evaluation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1655), 20130478.
- Daw, N.D., Gershman, S.J., Seymour, B., Dayan, P. & Dolan, R.J. (2011). Model-based influences on humans' choices and striatal prediction errors. *Neuron*, 69(6):1204-1215.
- Decker, J.H., Otto, A.R., Daw, N.D. & Hartley, C.A. (2016). From creatures of habit to goal-directed learners: Tracking the developmental emergence of model-based reinforcement learning. *Psychological Science*, 27(6):848-858.
- Desmurget, M. (2011). TV lobotomie : la vérité scientifique sur les effets de la télévision-Essais-documents. Paris, Max Milo.
- Dezfouli, A. & Balleine, B. W. (2012). Habits, action sequences and reinforcement learning. *European Journal of Neuroscience*, 35(7), 1036-1051.
- Dickinson, A. (1985). Actions and habits: the development of behavioural autonomy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 308(1135), 67-78.
- Dolbeault, J. (2021). La libre volonté selon Bergson : éclaircissements conceptuels et confrontation aux expériences de type Libet. *Intellectica*, 75. Ce numéro.
- Dollé, L., Chavarriaga, R., Guillot, A. & Khamassi, M. (2018). Interactions of spatial strategies producing generalization gradient and blocking: A computational approach. *PLoS computational Biology*, 14(4), e1006092.
- Doya, K. (1999). What are the computations of the cerebellum, the basal ganglia and the cerebral cortex? *Neural Networks*, 12(7-8), 961-974.
- Evers, K. (2021). Variable determinism in social applications: translating science to society. *Intellectica*, 75. Ce numéro.
- Feltz, B. (2021). Liberté, déterminisme et neurosciences. *Intellectica*, 75. Ce numéro
- Forestier, F., Broadbent, S., Khamassi, M. & Zolynski, C. (2021). *D'une économie de l'attention à une culture de l'attention : 14 propositions pour reprendre le contrôle de notre attention et favoriser la capacité à penser par soi.* Livre blanc dans le cadre du colloque « Quelle culture numérique pour donner un nouveau souffle au projet d'émancipation des Lumières ? » à l'Assemblée Nationale. Projet Technologies Émergentes et Sagesse Collective, Académie des Sciences Morales et Politiques.
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1456), 815-836.
- Gigerenzer, G. (1996). On narrow norms and vague heuristics: A reply to Kahneman and Tversky (1996). *Psychological Review*, 103(3), 592-596.
- Guillon, J.-B. (2021). Libre arbitre et déterminisme dans les débats entre philosophie analytique et neurosciences. *Intellectica*, 75. Ce numéro.
- Hertwig, R., Barron, G., Weber, E.U. & Erev, I. (2004). Decisions from experience and the effect of rare events in risky choice. *Psychological Science* 15(8), 534-539.
- Holland, P.C. (2004). Relations Between Pavlovian-Instrumental Transfer and Reinforcer Devaluation. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 30(2), 104-117.
- Houdé, O. (2020). *L'inhibition au service de l'intelligence : penser contre soi-même.* Paris, Presses universitaires de France-Humensis.

- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New-York, Henry Holt and company.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-292.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. New York, NY, Macmillan.
- Kammerer, F. (2021). La liberté augmentée. *Intellectica*, 75. Ce numéro.
- Kelly, M.P. & Barker, M. (2016). Why is changing health-related behaviour so difficult? *Public Health*, 136, 109-116.
- Khamassi, M., Lallée, S., Enel, P., Procyk, E. & Dominey, P. F. (2011). Robot cognitive control with a neurophysiologically inspired reinforcement learning model. *Frontiers in Neurorobotics*, 5, 1.
- Khamassi, M., Wilson, C., Rothé, R., Quilodran, R., Dominey, P.F. & Procyk, E. (2011). Meta-learning, cognitive control, and physiological interactions between medial and lateral prefrontal cortex. In Mars, R., Sallet, J., Rushworth, M. & Yeung, N. (Eds.), *Neural Bases of Motivational and Cognitive Control*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Khamassi, M. & Humphries, M.D. (2012). Integrating cortico-limbic-basal ganglia architectures for learning model-based and model-free navigation strategies. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 6, 79.
- Khamassi, M. & Pacherie, E. (2018). Action. In D. Andler, T. Collins & C. Tallon-Baudry (éds.) *La cognition : du neurone à la société*. Paris, Gallimard.
- Khamassi, M. & Decremps, F. (2019). Apprentissage de la démarche scientifique et de l'esprit critique: un enseignement de Sorbonne Université pour les étudiants d'aujourd'hui, citoyens de demain. *Guider la raison qui nous guide : Agir et penser en complexité*, 76.
- Khamassi, M. (2020a). Adaptive coordination of multiple learning strategies in brains and robots. Proceedings of the 9th International Conference on the Theory and Practice of Natural Computing (TPNC 2020), Taoyuan, Taiwan. Cham, CH, Springer.
- Khamassi, M. (2020b). La publicité en pleine dérive pavlovienne. *Libération*, 15 décembre 2020.
- Khamassi, M. (2020c). Note de synthèse sur les effets de la publicité répétée sur le cerveau et le comportement pour la table ronde du 22 septembre 2020 à l'Assemblée Nationale, dans le cadre de la préparation de loi « *actant de premières mesures pour faire de la publicité un levier au service de la transition écologique et de la sobriété et pour réduire les incitations à la surconsommation* ».
- Khamassi (2021). Quelques questions éthiques autour du développement de l'autonomie décisionnelle en intelligence artificielle et en robotique. *Les Cahiers de TESaCo N°2*, Technologies Émergentes et Sagesse Collective, p. 23-34, Académie des Sciences Morales et Politiques.
- Killcross, S. & Coutureau, E. (2003). Coordination of actions and habits in the medial prefrontal cortex of rats. *Cerebral cortex*, 13(4), 400-408.
- Kozyreva, A., Lewandowsky, S. & Hertwig, R. (2020). Citizens versus the internet: Confronting digital challenges with cognitive tools. *Psychological Science in the Public Interest*, 21(3), 103-156.
- Kuczaj II, S.A., Xitco Jr, M.J. & Gory, J.D. (2010). Can dolphins plan their behavior? *International Journal of Comparative Psychology*, 23(4).
- Lakoff, G., Johnson, M., & Sowa, J. F. (1999). Review of Philosophy in the Flesh: The embodied mind and its challenge to Western thought. *Computational Linguistics*, 25(4).
- Lee, S.W., Shimojo, S. & O'Doherty, J.P. (2014). Neural computations underlying arbitration between model-based and model-free learning. *Neuron*, 81(3), 687-699.
- Lee, B., Gentry, R.N., Bissonette, G.B., Herman, R.J., Mallon, J.J., Bryden, D.W., Calu, D., Schoenbaum, G., Coutureau, E., Marchand, A., Khamassi, M. & Roesch,

- M.R. (2018). Manipulating the revision of reward value during the intertrial interval increases sign tracking and dopamine release. *PLoS Biology*, 16(9), e2004015.
- Lopez-Persem, A. & Khamassi, M. (2021). Décision et action. Dans Khamassi, M. (Ed.) *Neurosciences cognitives*. Paris, De Boeck Supérieur.
- McClure, S.M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L.M. & Montague, P. R. (2004). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron*, 44(2), 379-387.
- Mehta, K., Coveney, J., Ward, P., Magarey, A., Spurrier, N. & Udell, T. (2010). Australian children's views about food advertising on television. *Appetite*, 55(1), 49-55.
- McFarland, D. (1995). Opportunity versus goals in robots, animals, and people. In H.L. Roitblat & J.-A. Meyer (eds.), *Comparative Approaches to Cognitive Science*. Cambridge, MA, MIT Press, p. 416.
- Miller E.K. & Cohen J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci.*, 24:167-202.
- Miller, K. J., Shenhav, A. & Ludvig, E.A. (2019). Habits without values. *Psychological Review*, 126(2), 292.
- Mugan, U. & MacIver, M.A. (2020). Spatial planning with long visual range benefits escape from visual predators in complex naturalistic environments. *Nature communications*, 11(1), 1-14.
- Nietzsche, F. [1889]. *Crépuscule des idoles*. Coll. «Les Classiques Hatier de la philosophie» n° 21. *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger*, 193(1), édition de 2003.
- Nioche, A. (2017). *Exercer son libre arbitre : un processus décisionnel*. In J.-B. Guillon (Ed.). Paris, éditions du Collège de France.
- Oizumi, M., Albantakis, L. & Tononi, G. (2014). From the phenomenology to the mechanisms of consciousness: integrated information theory 3.0. *PLoS computational biology*, 10(5), e1003588.
- Pessiglione, M. (2021) Fais comme tu veux : le choix libéré. *Intellectica*, 75. Ce numéro.
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J.-P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F.J. (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397(6718):430-3.
- Russell, B. [1935]. *Sciences et religions*. Éditions Gallimard, Folio essais, Paris 1990.
- van Seijen, H. & Sutton, R. (2015). A deeper look at planning as learning from replay. In *International conference on machine learning* (p. 2314-2322). Paris, Presses Universitaires de France.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C.J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T. & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484-489.
- Sahakian, B. & LaBuzetta, J. N. (2013). *Bad Moves: How Decision Making Goes Wrong, and the Ethics of Smart Drugs*. Oxford University Press.
- Schank, R.C. & Abelson, R.P. (1977). *Scripts, Plans, Goals, and Understanding: An Inquiry into Human Knowledge Structures*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associate.
- Schüll, N. (2012) *Addiction by Design: Machine Gambling in Las Vegas*. Princeton, NJ, Princeton University Press.
- Spinoza, B. [1677]. *Éthique*. Traduction de Bernard Pautrat. Paris, Éditions Seuil, 1988.
- Suddendorf, T. & Corballis, M. C. (2007). The evolution of foresight: What is mental time travel, and is it unique to humans? *Behavioral and Brain Sciences*, 30(3), 299-313.

- Thaler, R.H., Sunstein, C.R. & Balz, J.P. (2013). Choice architecture. In *The Behavioral Foundations of Public Policy* (p. 428-439). Princeton, NJ, Princeton University Press.
- Thompson, E. & Varela, F.J. (2001). Radical embodiment: neural dynamics and consciousness. *Trends in cognitive sciences*, 5(10), 418-425.
- Thorn, C.A., Atallah, H., Howe, M. & Graybiel, A.M. (2010). Differential dynamics of activity changes in dorsolateral and dorsomedial striatal loops during learning. *Neuron*, 66, 781-795.
- Tolman, E.C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological review*, 55(4), 189.
- Tricomi, E., Balleine, B.W. & O'Doherty, J.P. (2009). A specific role for posterior dorsolateral striatum in human habit learning. *European Journal of Neuroscience*, 29(11), 2225-2232.
- Ughetto, P. (2020). La charge de travail administrative va-t-elle faire craquer les enseignants-chercheurs ? Partie 1. *Metis, correspondances européennes du travail*. hal-03085284.
- Veerman, J.L., Van Beeck, E.F., Barendregt, J.J., & Mackenbach, J.P. (2009). By how much would limiting TV food advertising reduce childhood obesity? *European Journal of Public Health*, 19(4), 365-369.
- Versace, R. (2021). L'espace-temps cognitif. Introduction au volume. In Versace Rémy (Eds), *Mémoire et cognition incarnée : comment le sens du monde se construit-il dans nos interactions avec l'environnement ? Intellectica*, 74, (p.7-22),
- Viejo, G., Khamassi, M., Brovelli, A. & Girard, B. (2015). Modelling choice and reaction time during instrumental learning through the coordination of adaptive working memory and reinforcement learning. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9:225.
- de Waal, F.B. & Ferrari, P.F. (2010). Towards a bottom-up perspective on animal and human cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(5), 201-207.
- Wan, E.W., Rucker, D.D., Tormala, Z.L. & Clarkson, J.J. (2010). The effect of regulatory depletion on attitude certainty. *Journal of Marketing Research*, 47, 531-541.
- Wansink, B. & Sobal, J. (2007). Mindless eating: The 200 daily food decisions we overlook. *Environment and Behavior*, 39(1), 106-123.
- Waszak, F., Wascher, E., Keller, P., Koch, I., Aschersleben, G., Rosenbaum, D.A. & Prinz, W. (2005). Intention-based and stimulus-based mechanisms in action selection. *Experimental Brain Research*, 162(3), 346-356.
- Wolpert, D.M., Miall, R.C. & Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(9), 338-347.
- Yinger, R.J. (1986). Examining thought in action: A theoretical and methodological critique of research on interactive teaching. *Teaching & Teacher Education*, 2(3):263-282.
- Zajonc, R.B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 9(2, Pt. 2), 1-27.
- Z non, A. (2021). *Formalisation of Cognitive Resources as Information Gain*. Habilitation   Diriger des Recherches. Universit  de Bordeaux.