

L'HUMAIN ET LA TECHNOLOGIE

COMMENT NOTRE COGNITION FAÇONNE ET EST FAÇONNÉE PAR LA TECHNOLOGIE :

COMPRENDRE LES INTERACTIONS HOMME-MACHINE
DU PASSÉ, DU PRÉSENT ET DU FUTUR

EMANUELLE REYNAUD, JORDAN NAVARRO & FRANÇOIS OSIURAK

1. Introduction

Il y a 80 ans, lorsque vous, ou plutôt vos arrière-grands-parents, souhaitiez qu'une automobile démarre, il fallait avoir recours à un outil physique : la manivelle, et réaliser une action avec cet outil, plus ou moins longue, plus ou moins pénible et surtout plus ou moins fructueuse. Nos voitures modernes, équipées de démarreurs électriques, ne nous demandent plus qu'une simple pression sur un bouton pour le même résultat. D'ici quelques dizaines d'années, peut-être nous suffira-t-il même de penser à ce résultat pour qu'il se concrétise, éliminant toute dépense physique superflue. Ces différents modes d'interaction illustrent les modifications constantes qui s'appliquent sur notre technologie, en évolution permanente. Ce phénomène est caractéristique de l'espèce humaine (BOYD & RICHERSON, 1985). Un objectif de la recherche dans ce domaine est d'identifier les processus cognitifs qui sont impliqués dans ces différents modes d'interaction. La présente contribution est une première étape vers cet objectif ambitieux, et propose un cadre commun, basé sur l'idée que les hommes façonnent leur technologie, qui en retour les façonne également.

Cet article sera organisé en trois sections, décrivant tour à tour comment nous interagissons avec nos outils physiques (Passé), sophistiqués (Présent), et symbiotiques (Futur). Le gradient temporel introduit ici implique que, au niveau de l'espèce, les technologies physiques¹ sont antérieures aux technologies sophistiquées, qui sont elles-mêmes antérieures aux technologies symbiotiques. Ainsi, la proportion théorique d'utilisation de chacune de ces technologies est censée évoluer avec le temps (Figure 1). La distinction proposée ici entre ces différents types de technologies est également dicible au niveau cognitif : puisque nos intentions guident nos actions sur le monde, nous devons d'abord sélectionner une solution pratique (c.-à-d., le niveau pratique), et enfin la sélection et l'application d'une action technique (c.-à-d., le niveau technique ; Figure 2). Le point de vue que nous défendons ici est que l'évolution depuis les technologies physiques vers les technologies sophistiquées et symbiotiques tend à supprimer progressivement ces niveaux technique et pratique.

1 Les termes outil et technologie seront ici utilisés de façon interchangeable et dans une acception large pour référer à n'importe quel objet environnemental utilisé pour améliorer les capacités sensorimotrices ou cognitives de l'utilisateur (OSIURAK et coll., 2010).

Nous devons maintenant alerter le lecteur sur trois points. D'abord, il n'y a pas de vue globale dans la littérature scientifique qui synthétise les processus cognitifs impliqués dans notre relation avec les outils et la technologie. Ce manque reflète l'absence d'un cadre permettant d'unifier et d'organiser ce champ, afin de faciliter les échanges entre chercheurs travaillant sur des sujets divers (par exemple, les outils en pierre ou les interfaces cerveau-machines). Cela nécessiterait des développements théoriques et épistémologiques pouvant aboutir à un cadre de travail exhaustif et unique. L'objectif de notre article est de pallier ce manque en proposant dans un premier temps une structure potentielle permettant d'organiser la littérature sur ce sujet, en se basant sur l'évolution de notre technologie à travers le temps. Cette tentative pourrait être ensuite la pierre angulaire à partir de laquelle nous pourrions bâtir un cadre unificateur dans le futur. La seconde mise en garde concerne le nombre de processus cognitifs impliqués

lorsque nous envisageons la relation de l'homme avec sa technologie et ses outils. Nous nous sommes centrés ici sur deux processus centraux, à savoir le raisonnement technique et le raisonnement pratique, mais d'autres processus cognitifs sont bien entendu impliqués, et ceux-ci nécessiteraient des développements théoriques complétant cette première analyse. Enfin, à l'instar de nos interactions avec d'autres humains, nos interactions avec les outils et technologies peuvent prendre différentes formes selon le rôle que l'on attribue à la technologie (c.-à-d., compétition, collaboration). Ces différents niveaux d'interaction qui ont trait à l'aspect social seront discutés, au moins en partie, dans la troisième partie de cette contribution. Nous reconnaissons néanmoins la nécessité d'une revue plus profonde qui pourrait compléter la présente, en se focalisant sur les parallèles potentiels à tirer entre interactions sociales et interactions avec des agents artificiels (par exemple les technologies).

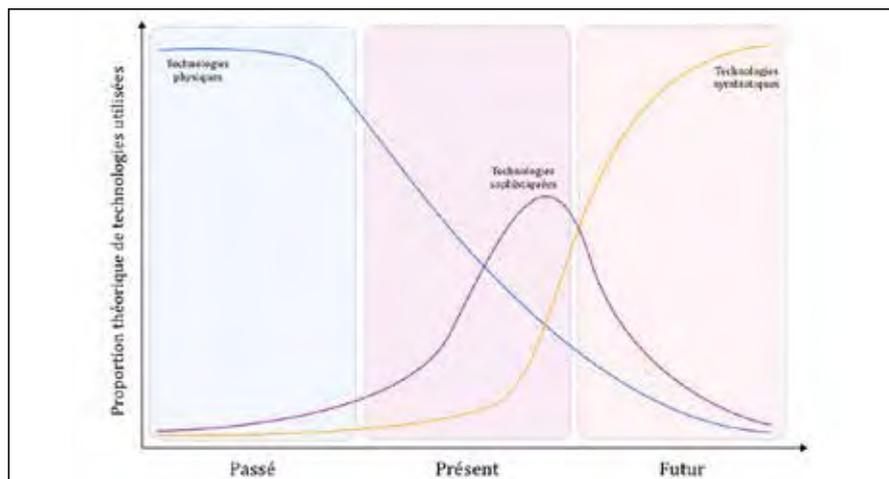


Figure 1. Proportion théorique des technologies physiques, sophistiquées et symbiotiques en fonction du temps. L'idée est que, au niveau de l'espèce, les technologies physiques sont antérieures aux technologies sophistiquées, qui elles-mêmes sont antérieures aux technologies symbiotiques. Avec le temps, les technologies physiques (par exemple les outils en pierre, le couteau, le marteau) ont tendance à disparaître et pourraient être complètement absentes dans un futur proche. Les technologies sophistiquées sont apparues plus tard et sont maintenant une grande partie des technologies que nous utilisons (par exemple les technologies basées sur des interfaces). Là encore, nous posons l'hypothèse que ce type de technologies sera de moins en moins utilisé. Enfin, les technologies symbiotiques se développent maintenant même si elles demeurent rarement utilisées (par exemple les interfaces cerveau machine). Dans un futur lointain, nous pouvons penser que les humains utiliseront uniquement, et ceci, de façon courante, ces technologies. Les trois panneaux colorés correspondent aux trois périodes de temps (Passé, Présent, Futur). La couleur associée à chaque type de technologie correspond à la technologie dominante pour la période (Passé : le règne des technologies physiques, Présent : le règne des technologies sophistiquées, Futur : le règne des technologies symbiotiques).

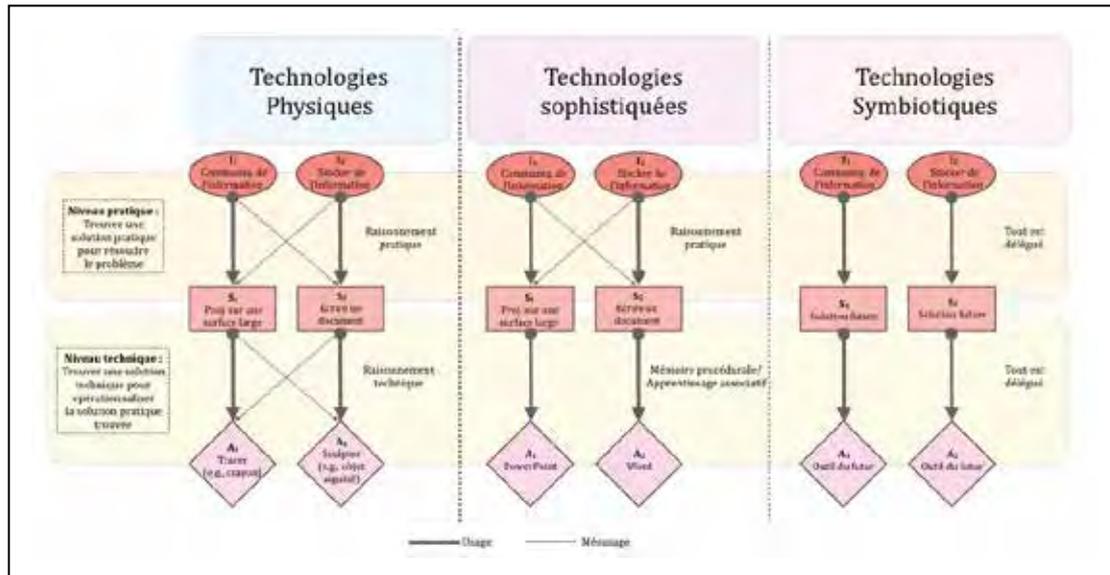


Figure 2. Processus neurocognitifs impliqués dans les technologies physique, sophistiquée et symbiotique. L'idée centrale est que les humains développent des technologies pour satisfaire des intentions (I). Pour cela, ils doivent choisir une solution pratique appropriée (S), ce qui les conduit à sélectionner et à appliquer des actions techniques (A). Pour les technologies physiques, l'intention peut être de communiquer de l'information (I1). Ceci peut être réalisé en projetant l'information sur une surface large (S1), ou en écrivant un document (S2). Il n'y a pas de bijection entre le « domaine » des intentions et le « domaine » des solutions pratiques : une intention donnée peut être réalisée par deux solutions pratiques différentes, et, inversement, une solution pratique donnée peut servir plusieurs intentions. A ce niveau pratique, les humains doivent imaginer la solution pratique la plus appropriée. Ensuite, une fois que la solution pratique est sélectionnée (par exemple S1), il faut alors l'opérationnaliser en appliquant un certain nombre d'actions techniques. Par exemple, si la solution pratique est de projeter l'information sur une surface large (S1), la solution technique peut être d'utiliser un crayon sur un mur. Là encore, il n'y a pas de bijection entre le domaine des solutions pratiques et le domaine des actions techniques. Pour les technologies physiques, les humains doivent raisonner d'un point de vue technique pour sélectionner et appliquer les actions appropriées. Cependant, pour les technologies sophistiquées, ce niveau technique est supprimé : les humains ont simplement à apprendre la procédure pensée par le concepteur pour interagir avec la technologie (par exemple, presser un bouton pour activer une fonction particulière). De façon intéressante, pour les technologies sophistiquées comme physiques, les utilisateurs sont toujours libres de raisonner à un niveau pratique afin de sélectionner la solution à adopter. Pour les technologies symbiotiques, ce niveau pratique est supprimé : l'intention est directement implémentée, sans avoir à décider entre plusieurs solutions pratiques, et en résultat entre des actions techniques. Les lignes grasses et fines représentent respectivement les usages et les mésusages, c'est-à-dire les chemins usuels ou non usuel que peut emprunter un utilisateur pour satisfaire une intention. Les technologies sophistiquées tendent à supprimer les mésusages au niveau technique, parce que les utilisateurs n'ont pas d'autre possibilité que d'activer la procédure pour réaliser la fonction (par exemple cliquer sur une icône pour lancer PowerPoint). Néanmoins, ils peuvent toujours divertir l'usage préétabli de PowerPoint pour satisfaire une autre intention (par exemple, comme un outil de mémoire externe). Pour les outils symbiotiques, les raisonnements techniques et pratiques de l'utilisateur pourraient être supprimés, car celui-ci n'intervient ni au niveau technique, ni au niveau pratique.

2. Le Passé: les outils physiques

Les outils physiques peuvent être définis comme les outils nous permettant d'accroître nos capacités sensorimotrices (VIRGO et coll., 2017). Même si nous utilisons toujours une large palette d'outils physiques de nos jours (le marteau, le couteau, etc.) nous pouvons considérer qu'ils correspondent aux premiers outils fabriqués et utilisés par l'homme pendant la préhistoire. Sur le plan cognitif, l'utilisation de ces outils physiques demande la compréhension des principes physiques (par exemple le principe du levier, la percussion, etc.). Les caractéristiques des premiers outils en pierre taillée indiquent que leurs fabricants possédaient une maîtrise basique des mécanismes de taille de pierre (HOVERS, 2012). L'utilisation que fait l'homme moderne de ces outils physiques requiert également cette forme de compréhension du monde physique (BRIL et coll., 2010).

Certains patients présentent des difficultés dans l'utilisation des outils du quotidien suite à une lésion cérébrale dans l'hémisphère gauche (OSIURAK & ROSETTI, 2017). Ces difficultés concernent non seulement la sélection de l'outil approprié, mais également l'action mécanique à réaliser par l'outil (par exemple, tenter d'enfoncer un clou en le frottant plutôt qu'en le percutant avec un marteau). Ces mêmes difficultés peuvent être observées lorsqu'on leur demande de résoudre des problèmes mécaniques en utilisant des nouveaux outils (GOLDENBERG & HAGMANN, 1998 ; Jarry et coll., 2013). Considérés ensemble, ces faits semblent indiquer que l'utilisation d'outils physiques trouve sa base dans la capacité à raisonner sur les propriétés physiques des outils et des objets, en appui sur les connaissances mécaniques. C'est ce que nous appelons le « raisonnement technique » (OSIURAK et al., 2010; OSIURAK & BADETS, 2016). Cette forme de raisonnement est centrale pour former une représentation mentale de l'action mécanique intentée. C'est aussi le processus qui nous permet de générer des exemples de « mésusage technique » (Figure 2) également appelé « détournement d'usage », et qui correspond à l'usage d'un outil pour un but non-usuel (OSIURAK et coll., 2009). De tels exemples peuvent être observés relativement tôt chez les humains. Un enfant de deux ans peut par exemple utiliser une petite cuillère pour marteler un morceau de fromage dans sa purée et appeler la cuillère « un marteau ». L'enfant sait que la

cuillère n'est pas un marteau, mais s'amuse de ce martèlement et trouve pratique d'utiliser la cuillère pour cela, à ce moment précis.

Le raisonnement technique pourrait être unique à l'espèce humaine (PENN et coll., 2008), ce qui pourrait permettre d'expliquer un certain nombre de nos spécificités, par exemple notre capacité à utiliser un outil pour créer un autre outil, ou encore l'utilisation d'outils complexes pour transformer notre énergie motrice en différentes énergies mécaniques (OSIURAK et coll., 2017). Des faits convergents, issus de la neuropsychologie et des neurosciences cognitives particulièrement, suggèrent que le raisonnement technique pourrait engager l'aire PF, dans le cortex pariétal inférieur gauche (GOLDENBERG & SPATT, 2009; REYNAUD et al., 2016), qui n'existe pas chez les macaques ou d'autres primates non humains (ORBAN & CARUANA, 2014).

Avant de poursuivre avec la section suivante, un aspect important doit être considéré. Le raisonnement technique est fondamental pour la fabrication de n'importe quelle technologie, qu'elle soit physique, sophistiquée, ou symbiotique. Pour les technologies physiques, il n'y a pas de distance entre le fabricant et l'utilisateur de la technologie : l'utilisateur a besoin de fabriquer mentalement la technologie avant de s'en servir (OSIURAK & HEINKE, 2017). Si vous souhaitez couper une tomate, vous êtes libre de choisir parmi une large gamme d'outils. Néanmoins, votre sélection sera basée sur les propriétés physiques de la tomate, vous amenant à choisir un outil avec les propriétés physiques appropriées relativement à la tomate. D'une certaine façon, vous fabriquez tout d'abord votre outil *mentalement* (en pensant à quelque chose d'assez solide et d'assez tranchant), puis vous le sélectionnez *réellement*. Les choses sont différentes pour les technologies sophistiquées, qui correspondent en gros aux technologies basées sur une interface (par exemple les ordinateurs). Une caractéristique centrale de ces technologies est que le fabricant ou le designer a conçu la technologie de façon à, en principe, faciliter l'interaction avec cette technologie, pour que l'utilisateur n'ait plus à comprendre les principes physiques qui en gouvernent l'usage. Dans ce cas, l'utilisateur ne fabrique pas mentalement l'outil avant de s'en servir, mais apprend plutôt la relation arbitraire entre l'action motrice et son effet. Le corollaire est que les technologies sophistiquées peuvent s'affranchir des capacités de raisonnement technique (Figure 2), en utilisant plutôt des processus cognitifs plus basiques

par exemple l'apprentissage associatif et la mémoire procédurale (OSIURAK & HEINKE, 2017). Au moins deux sources de preuves concourent à supporter cette idée. D'abord, les technologies basées sur les interfaces (par exemple les écrans tactiles) peuvent facilement être maîtrisées par les enfants, malgré leurs capacités plus que modérées à utiliser les outils physiques (BECK et coll., 2011). De la même manière, beaucoup d'animaux non humains, comme les babouins, peuvent maîtriser les écrans tactiles très rapidement, malgré l'absence de tout signe d'utilisation d'outils physiques (CLAIDIÈRE et coll., 2014). Ensuite, les patients avec une lésion du cortex pariétal inférieur gauche ont des difficultés à utiliser des outils physiques, mais ils n'ont aucun problème à utiliser des technologies basées sur des interfaces. Le pattern opposé peut être observé chez des patients présentant des déficits de la mémoire procédurale (par exemple dans le cas de la maladie de Parkinson), indiquant de ce fait une dissociation entre les capacités à utiliser des technologies physiques versus sophistiquées (OSIURAK, 2014, 2017).

3. Le Présent: les outils sophistiqués

Faire taire la sonnerie de son réveil, prendre un tramway, conduire une voiture, prendre l'ascenseur, pianoter sur son smartphone, etc. Avec la sophistication des outils et l'avènement des outils cognitifs (par exemple les tableurs informatisés) la distance entre le fabricant de l'outil et son utilisateur s'est énormément creusée, et nous utilisons désormais nombre d'outils que nous ne pourrions jamais construire de notre vivant. Ceci ne modifie pas la façon dont nous interagissons avec nos outils : le but de l'outil n'est pas dans l'outil lui-même, mais bien dans les intentions de celui qui l'utilise. Un écran d'ordinateur peut être utilisé tour à tour comme un panneau à post-it, comme un paravent permettant de s'isoler des regards, ou même comme un rétroviseur. C'est ce que nous avons appelé le détournement d'usage technique. Quelle que soit la nature de l'outil considéré, cela perdure, depuis un outil en pierre très simple jusqu'au plus évolué des smartphones pouvant tout de même être utilisé comme simple réflecteur. Ces outils sophistiqués limitent néanmoins la liberté de leurs utilisateurs au niveau technique, puisque ceux-ci, pour accéder à leurs fonctionnalités usuelles, doivent maîtriser un certain nombre de procédures précises préétablies (voir ci-dessus).

Certains outils sophistiqués que l'on peut appeler des outils automatiques (de l'Anglais *automation* qui décrit à la fois sur l'automatisme lui-même et le processus d'automatisation) n'ont pas pour ambition d'étendre les capacités des humains, mais plutôt de les remplacer (YOUNG et coll., 2007), et sont mal acceptés par les utilisateurs (NAVARRO et coll., 2011). La conception de tels outils pose des questions sur le rôle des humains dans nos sociétés, et sur ce qui doit être automatisé ou pas. Par exemple, effectuer une tâche hautement automatisée est souvent considéré comme déshumanisant (COECKELBERGH, 2015). Les gens choisissent également de réaliser automatiquement une tâche seulement si cela est beaucoup plus efficace que de la réaliser manuellement (NAVARRO & OSIURAK, 2015, 2017; OSIURAK et coll., 2013), comme si les humains tentaient de se prémunir contre la perte de libertés associée aux outils sophistiqués (Figure 2).

L'utilisation n'a pas un effet nul sur l'utilisateur : les outils changent évidemment la façon dont les humains font les choses, mais les outils changent également les humains eux-mêmes (HANCOCK, 2007). Toutes les données disponibles sur Internet nous donnent un accès facile et instantané à l'information. Mais cela altère également la façon dont nous mémorisons : sur le net, plutôt que l'information elle-même, nous mémorisons plutôt le lieu où accéder à cette information (SPARROW et coll., 2011). Ceci est-il bénéfique ou néfaste ? Cette question n'est pas nouvelle, au moins dans le champ de l'ergonomie cognitive. PARASURAMAN et RILEY (1997) énonçaient que l'automatisation d'une tâche préalablement réalisée manuellement "change la nature du travail réalisé par les hommes, souvent par des modifications qui n'ont pas été anticipées ou souhaitées par les concepteurs de cette automatisation" (p. 231). L'usage décrit ici réfère à la prédisposition toute humaine de détourner un usage d'outil automatique lorsque celle-ci est disponible. Outre une utilisation correcte, mais inattendue des outils automatiques, le mésusage (par exemple par excès de confiance envers l'outil automatique), et le désusage (du terme anglais *disuse*, par exemple par sous-utilisation de l'outil automatique) ont été rapportés. Ainsi, l'humain raisonne sur ses interactions avec les outils sophistiqués afin d'ajuster son comportement, non seulement en fonction du contexte, mais également en fonction de ses propres objectifs (LEPLAT, 1990). Par exemple, l'usage d'un outil automatique dépend

d'un équilibre entre la confiance que l'humain place dans l'outil et la confiance qu'il a en lui-même (LEE & MORAY, 1994). Ces données peuvent être interprétées si l'on convoque la propension humaine à continuer à raisonner en se basant sur des évaluations externes et internes (c'est à dire à réaliser des raisonnements pratiques). C'est à cela que nous faisons référence avec le détournement d'usage pratique, qui est la capacité à diverger de l'utilisation préétablie d'un outil (par exemple, utiliser PowerPoint comme moyen de communication instantanée), afin de satisfaire une intention alternative (Figure 2). Une question reste entière : celle des bases neuronales qui supportent ce raisonnement pratique. Sont-elles en partie les mêmes que celles requises par le raisonnement technique ? Sont-elles reliées à celles associées au raisonnement logique général ? Impliquent-elles des aires que l'on sait engagées dans des interactions avec d'autres humains, qui pourraient être recyclées pour raisonner sur des interactions homme-machine ?

Un autre aspect des outils sophistiqués est que la perception ou l'inférence des fonctions d'un outil peut parfois être compliquée à cause de la distance entre le fabricant et l'utilisateur de l'outil. Ceci peut alors favoriser l'occurrence d'usages inappropriés et/ou inefficaces. Pour contrer ce phénomène, une conception centrée sur l'humain a été proposée (BILLINGS, 1991). Ce processus de conception, largement utilisé dans de nombreux domaines, est basé sur l'idée que les concepteurs d'un outil devraient prendre en considération autant que possible la logique de l'utilisateur ainsi que ses caractéristiques dans toutes les étapes de conception de l'outil. D'une certaine façon, considérer l'utilisateur dans le processus de conception tend à réduire la distance entre l'utilisateur et le fabricant. Néanmoins, si nous supposons que les humains sont enclins à raisonner pratiquement, cette quête est nécessairement vaine, puisqu'il n'y a pas de processus de raisonnement universel et, donc, pas non plus d'interaction homme-machine universelle, ni d'interactions naturelles avec des outils sophistiqués. Au contraire, l'interaction homme-outil est plutôt artificielle parce qu'elle se base sur un artifice : l'outil sophistiqué, dont l'utilisateur ignore, au moins en partie, la philosophie de conception et les principes de fonctionnement.

4. Le Futur: Les Outils symbiotiques

Enfant #1 : Tu veux dire qu'il faut se servir de ses mains ?

Enfant #2 : Ça ressemble à un jouet pour bébés !

Retour vers le Futur, Part II

Prédire le futur de notre technologie pourrait incomber aux arts divinatoires, s'il n'y avait pas eu quelques grands romans et films d'anticipation qui ont fasciné des générations. Les inventions géniales que contiennent ces œuvres se nourrissent de la science contemporaine, des aspirations de notre société, et produisent en retour des concepts que des entreprises et des laboratoires rêvent de développer. Des voitures autonomes volantes de *Blade Runner 2*, en passant par les interfaces basées sur les gestes de *Minority Report* ou les hoverboards de *Retour vers le Futur*, la fiction préfigure souvent des outils du futur. Certains ne seront jamais créés, par manque de technologie, de budget ou de faisabilité, mais certains seront peut-être part intégrante de notre vie d'ici 30 ans, comme les appels vidéo du film *Blade Runner 1* le sont aujourd'hui.

Ces outils du futur, tels qu'ils sont envisagés dans la fiction, semblent avoir une chose en commun : ils sont utilisés de façon fluide et pratique par l'utilisateur, en réduisant ou en abolissant quatre grandes contraintes : les contraintes liées à la mécanique, à l'espace, au temps, et à l'effort (OSIURAK, 2014). Les drones autonomes, les voitures volantes, les navettes de voyage spatial, les androïdes domestiques, les objets du quotidien dotés d'intelligence artificielle et censés subvenir à nos moindres besoins, seront censés remplir notre vie quotidienne et ne jamais nous submerger cognitivement. Ainsi, le futur dépeint par la science-fiction est toujours plus gouverné par la technologie, que l'homme opère sans peine en intégrant lui-même le système homme-machine, dans le rôle du Commandant en chef.

Ces fantastiques outils qui nous attendent sont, dans leur majorité, opérés par la pensée, la voix ou le geste. Puisque l'interaction homme-machine médiée par des souris ou des claviers est finalement lente, inefficace et parfois irréalisable, l'idée d'une communication avec des machines directement par la pensée a alors émergé (SCHALK, 2008). Le domaine des Interfaces Cerveau-Machine (ICM) (WOLPAW et al, 2002)

a d'abord débuté en s'impliquant dans des recherches visant à restaurer des capacités motrices pour des handicaps moteurs (CHAUDHARY et coll., 2016), puisque l'objectif premier des ICM est de traduire l'activité cérébrale ("les pensées") en commandes interprétables par une machine. Pour cela, l'activité cérébrale est recueillie à l'aide de capteurs, prétraitée, et associée à une action correspondante finalement réalisée par la machine. Cette association se fait par le système artificiel à l'aide d'un algorithme adaptatif qui apprend à reconnaître différentes formes de signaux cérébraux recueillis (BISHOP, 2006; MITCHELL, 1997). Une interaction ICM est précédée d'une phase d'apprentissage, chargée d'accorder la technologie avec les spécificités cognitives de l'utilisateur. L'hétérogénéité qui existe entre les activités cérébrales de plusieurs individus, celle qui existe également entre les anatomies de leurs cerveaux, et même celle qui peut survenir entre le fonctionnement cérébral d'un individu à deux instants donnés vont demander des algorithmes d'apprentissage très spécifiques et très adaptés à un individu en particulier.

Pour poursuivre cet objectif, ces promesses alléchantes d'outils opérés par le corps et l'esprit et répondant aux intentions de l'utilisateur s'accompagnent d'un besoin d'individualiser la technologie qui opère la machine. La communication cerveau-machine demande, pour être efficace, une vraie adaptation à chaque individu spécifique, de façon à ce que ces formes de signaux cérébraux puissent être décodées en pensées puis en commandes. Cette technologie ultra-individualisée demande finalement que l'outil et son utilisateur ne forment qu'un, dans un système d'interdépendance, où chacun a besoin de l'autre pour « performer » correctement. L'outil est alors incarné dans l'utilisateur lui-même, et le système qu'ils forment est ce que LICKLIDER puis BRANGIER ont appelé un « système symbiotique » (BRANGIER & HAMMES-ADELÉ, 2011; LICKLIDER, 1960). Dans cette interaction osmotique, l'humain génère l'intention, puis l'outil opère les choix technique et pratique : le raisonnement technique et pratique de l'utilisateur est suppléé par la machine (Figure 2).

Le chemin vers un futur où la technologie et l'homme formeront un système symbiotique est pavé de questions qui restent ouvertes. La première est celle de l'acceptation de ces technologies (DAVIS, 1989). Sommes-nous conçus pour nous apparier avec des systèmes synthétiques ? Pouvons-nous, et devons-

nous, accepter d'être partie d'un système homme-machine ? Les outils du présent doivent être acceptés par leurs utilisateurs. Ceux du futur demanderont à être incorporés. La seconde série de questions est reliée aux limites cognitives du système humain en terme de communication cerveau machine. Pour fonctionner aussi parfaitement que dans le film *Avatar* par exemple, nombre de problèmes techniques doivent être résolus de la part des concepteurs de ces technologies : les capteurs doivent être miniaturisés, implantés, et les algorithmes doivent devenir plus rapides, plus fiables, etc. (LEBEDEV & NICOLELIS, 2006).

Si les problèmes liés au versant « machine » seront sans aucun doute résolus dans un certain temps, seulement quelques recherches se sont intéressées aux problèmes liés au versant « humain » de la communication cerveau-machine. Les signaux neuronaux qui encodent nos pensées peuvent-ils être assez spécifiques est assez fiables pour être traduits de façon claire en une commande ? Pendant combien de temps pouvons-nous maintenir un état mental qui correspond à une commande que l'on souhaite soutenue dans le temps ? Sommes-nous tous potentiellement de bons commandeurs d'ICM ? Et cela, à n'importe quel instant ? Certaines études montrent en effet que 20 % d'entre nous ne peuvent pas, à l'heure actuelle, produire des signaux cérébraux pouvant être compris par une machine (VIDAURRE & BLANKERTZ, 2010). Leurs systèmes cognitifs sont-ils atypiques ? Les techniques sont-elles encore trop immatures ?

Ces questions sont liées à une énigme fondamentale posée par le système cognitif : comment nos pensées, pour le moins complexes, nos rêves, notre imaginaire, nos sentiments, notre créativité, notre instinct peuvent-ils être encodés dans 1015 (au mieux) signaux ? Comment ce monde mental, infini et inexploré, peut-il trouver un support matériel et fini ? La naissance de la neuroergonomie (HANCOCK & SZALMA, 2003; PARASURAMAN, 2003) aidera certainement à répondre à ces questions, ainsi qu'à développer également des canaux de communication efficaces avec la technologie.

5. Conclusion

Dans cette contribution nous avons dépeint trois différents modes d'interaction avec les outils physiques, sophistiqués et symbiotiques. L'idée centrale est qu'il pourrait y avoir une tendance à supprimer

graduellement notre implication, en tant qu'humains, dans les niveaux techniques et pratiques liés à l'utilisation de ces outils (Figure 2). De façon intéressante, lorsque l'on considère les outils symbiotiques, l'utilisateur pourrait être cantonné, un jour, à n'être que producteur d'intentions, et à déléguer les efforts et choix nécessités par leurs mises en œuvre aux machines. Une question importante est alors de savoir si cette restriction peut être considérée comme une source de liberté ou au contraire de privation. Après tout, si ce scénario s'avère, à quoi passer alors notre temps de cerveau disponible ? Nous sommes également conscients que cette contribution est biaisée par notre capacité à imaginer les outils du futur, et comment, dans un futur lointain, la technologie pourra évoluer. Notre conception des outils symbiotiques est peut-être limitée lorsque nous considérons seulement des outils capables de transformer nos pensées conscientes en commandes.

Nous serons peut-être un jour capables de développer des technologies qui pourront produire des commandes basées sur des pensées inconscientes, traduisant des besoins que nous ne pouvons formuler clairement, ou les anticipant même. Une question critique pour la recherche à venir sera de déterminer si l'évolution de notre culture technologique atteindra une asymptote, ou si d'autres formes d'interactions technologiques émergeront et transformeront notre cognition en retour, dans un futur lointain, très lointain...

Emanuelle REYNAUD,

Jordan NAVARRO

François OSIURAK

Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs

(EA 3082), Université Lyon 2

Institut Universitaire de France, Paris,

Tous les auteurs ont contribué de façon équivalente à ce travail

Remerciements

Ce travail est supporté par un financement de l'ANR (Agence Nationale pour la Recherche; Projet "Cognition et économie liée à l'outil" ECOTOOL; ANR-14-CE30-0015-01), et a été réalisé dans le cadre du LABEX CORTEX (ANR-11-LABX-0042) (Université de Lyon), dans le programme "Investissements d'Avenir" (ANR-11-IDEX-0007) de l'ANR.