



**HAL**  
open science

## L'intelligence artificielle en médecine : intérêts et limites

Laurent Brocker, Claire Fazilleau, David Naudin

### ► To cite this version:

Laurent Brocker, Claire Fazilleau, David Naudin. L'intelligence artificielle en médecine : intérêts et limites. Oxymag, 2019, 32, pp.8 - 13. <10.1016/j.oxy.2019.06.003>. <hal-03487963>

**HAL Id: hal-03487963**

**<https://hal.science/hal-03487963v1>**

Submitted on 20 Jul 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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

## Dochead dossier

### Sous-dochead Aide à la décision clinique

# L'intelligence artificielle en médecine : intérêts et limites

**Laurent Brocker<sup>a</sup>**

Digital Learning Manager

**Claire Fazilleau<sup>b</sup>**

Cadre supérieure de santé

**David Naudin<sup>a,\*c</sup>**

Coordonnateur du pôle de la recherche paramédicale en pédagogie du CFDC, PhDs

<sup>a</sup> Assistance publique – Hôpitaux de Paris, Centre de la formation et du développement des compétences, Pôle numérique de la formation, 2, rue Saint-Martin, 75004 Paris, France

<sup>b</sup> Assistance publique – Hôpitaux de Paris, Département d'anesthésie-réanimation, Hôpital Pitié-Salpêtrière, 47-83, boulevard de l'Hôpital, 75651 Paris Cedex 13, France

<sup>c</sup> Laboratoire Éducatifs et pratiques en santé (LEPS – EA 3412), Université Paris 13 – Campus Bobigny, 74, rue Marcel-Cachin, 93017 Bobigny Cedex, France

\* *Auteur correspondant.*

Adresse e-mail : david.naudin@aphp.fr (D. Naudin).

## Résumé

L'intelligence artificielle (IA), branche de l'informatique qui vise à créer des logiciels qui pourraient remplacer dans certaines situations l'intelligence humaine, a été développée dans le domaine de la santé afin d'aider les professionnels à améliorer leur efficacité, leur productivité et leur constance dans la qualité des soins apportés aux patients.

L'utilisation de l'intelligence artificielle dans des domaines tels que l'imagerie ou encore la gestion des médicaments a montré son efficacité. Sans nul doute, elle dépasse la capacité d'analyse humaine.

Dans bien d'autres domaines, l'IA ne peut pourtant égaler l'intelligence humaine dont la complexité ne peut être copiée.

La capacité du cerveau à s'adapter, la conscience et la subjectivité ainsi que les qualités essentielles à la prise de décision comme l'empathie restent encore le propre de l'homme.

© 2019

**Mots clés** – *deep learning* ; intelligence artificielle ; *machine learning* ; prise de décision

**Summary** à venir

© 2019

**Keywords** à venir

Les concepts, techniques et outils de l'intelligence artificielle (IA) sont utilisés dans les applications médicales depuis plus de quatre décennies. L'utilisation de l'IA a été développée dans la perspective d'améliorer les soins en aidant les professionnels de la santé à améliorer leur efficacité, leur productivité et leur constance dans la qualité des soins apportés aux patients. L'amélioration de la précision et de l'efficacité des techniques d'IA n'a cessé de s'accroître et de s'intégrer dans les outils destinés à aider les soignants confrontés à des problèmes de plus en plus complexes. Les progrès technologiques ont contribué à rendre disponibles des algorithmes et ont permis l'adoption de l'IA pour de nombreuses applications médicales. Ces algorithmes d'IA ont été appliqués avec succès et couvrent un large éventail de domaines de la médecine. Ils concernent des applications médicales traditionnelles comme l'aide au diagnostic, à la décision thérapeutique et à l'imagerie médicale. Cependant, des applications plus récentes explorent des domaines aussi variés que la prédiction de survenue de maladie, la programmation hospitalière, la robotique médicale, ou la simulation chirurgicale.

Historiquement, l'idée que les ordinateurs pourraient aider à évaluer les probabilités diagnostiques alternatives n'est pas neuve et remonte aux années 1960 [1]. Les premières applications ont vu le jour concrètement au début des années 1970 en réponse à l'augmentation de la demande de services médicaux de qualité et à l'accroissement des connaissances médicales. Les systèmes d'IA devaient pouvoir

aider les professionnels de la santé dans le diagnostic, le traitement et le pronostic. Pour exemple, les premiers travaux sur les applications médicales de l'IA, portaient sur le diagnostic automatisé du dysfonctionnement thyroïdien [2]. Déjà, à l'époque, se posaient les questions d'ordre social, psychologique, organisationnel, juridique, économique et technique, liées à l'utilisation de l'IA. Toutes ces questions sont toujours d'actualité aujourd'hui. Dès les années 1980, Clancey et Shortliffe [3] ont exposé un certain nombre de points liés à l'utilisation de l'IA dans le monde médical. Ces points saillants sont toujours d'actualité et concernent les méthodes d'acquisition et de traitement des données. Précurseurs, ces auteurs exposaient les défis liés à l'intégration des systèmes d'IA dans l'environnement de travail des professionnels de la santé, notamment l'interface homme-ordinateur. Les espoirs étaient portés sur les avantages offerts par l'IA en médecine comme l'amélioration de la précision (les ordinateurs faisant moins d'erreurs). Ces machines étaient censées diminuer le coût et l'efficacité (pas de fatigue liée à la machine, pas de problème de distraction), et auraient permis la réplication de tâches à l'identique (gain de temps). À l'époque, les technologies d'IA n'ont pas été aussi probantes et leur intégration a nécessité plus de temps car des limites ont rapidement été atteintes. Aujourd'hui, la plupart des systèmes d'IA en médecine sont encore semi-autonomes, et nécessitent la supervision humaine qui demeure nécessaire pour assurer un diagnostic et un traitement appropriés. Ces systèmes qui peuvent, aujourd'hui, aider ne remplacent pas encore totalement les professionnels. Ainsi, de multiples systèmes d'IA sont intégrés dans les outils de surveillance de paramètres cliniques et paracliniques des patients. Ces outils permettent de faire des suggestions et de proposer des solutions alternatives.

Pour preuve d'un engouement certain, les publications sur le sujet de l'IA en médecine ne cessent d'augmenter. Sur PubMed, 85 175 résultats sont obtenus avec les mots clés "intelligence artificielle". Des conférences sur l'IA en médecine sont organisées partout dans le monde et une revue est spécifiquement dédiée à ce sujet<sup>1</sup>. Les sources en ligne se multiplient. Cependant, concrètement, dans la pratique quotidienne des professionnels de santé, qu'en est-il ?

La première partie de cet article vise à apporter une clarification : Qu'est-ce que l'IA ? Que tente-t-elle de reproduire de spécifique à l'intelligence humaine ? La seconde

partie donnera une description des différentes formes IA et des potentialités mais aussi des limites actuelles de cette irrémédiable évolution technologique.

### **T1 Intelligence artificielle et intelligence humaine : une clarification**

L'intelligence artificielle est une branche de l'informatique qui vise à créer des logiciels informatiques qui émulent l'intelligence humaine. John McCarthy [4] a inventé le terme en 1955. Il le définit comme "la science et l'ingénierie de la fabrication de machines intelligentes". Les algorithmes d'IA imitent de nombreux aspects de l'intelligence humaine, comme le raisonnement, l'utilisation de connaissances, la planification de tâche, l'apprentissage, la communication, la perception et la capacité de déplacer et de manipuler des objets. Les algorithmes développés visent donc à reproduire, émuler, simuler l'intelligence naturelle humaine. En d'autres termes, la question de l'IA est celle de la réplique par des machines de tâches réputées intelligentes. Or, cette définition entretient le flou car elle ne précise pas ce qu'est l'intelligence, n'en donne pas de définition ni de périmètre.

Pour comprendre ce que l'IA cherche à reproduire, il faut, tout d'abord, exposer rapidement quelques-unes des propriétés du cerveau humain.

Une des caractéristiques de l'esprit humain concerne donc la capacité de développer des concepts pour décrire le monde. Un enfant de 2 ans associe, par exemple, des caractéristiques (de l'eau, qui tombe du ciel), au concept de pluie. Rapidement, il distingue différents concepts et son esprit peut discriminer la pluie de la douche ou de l'arrosage automatique du jardin. Ainsi, dans notre cerveau, s'organisent des catégorisations du monde mais aussi des catégorisations de l'effet de nos actions sur celui-ci. Les concepts peuvent être concrets (la pluie) mais aussi symboliques comme les valeurs (l'argent, le pouvoir, les interdits, l'art, etc.) qui participent au jugement moral [5]. Ces valeurs sont le centre d'un processus de socialisation et d'apprentissage partagé dans une perpétuelle interaction entre l'individu et le monde. Grâce à son activité au sein de son environnement (espace physique et social) d'une part, et à la capacité de son cerveau à s'adapter (plasticité cérébrale) d'autre part, l'individu élabore et transforme son système de valeurs au fil du temps.

Pour s'adapter, le cerveau évalue en permanence la fiabilité des représentations qu'il porte sur le monde. Il effectue des calculs statistiques probabilistes (dit bayésiens)

permettant de mesurer des écarts entre des résultats attendus et les résultats perçus réellement. Lionel Naccache [6] pose clairement le problème de l'interprétation des croyances : « *Dans différentes situations, nous élaborons des interprétations de l'univers qui lui apportent de la causalité, nous croyons à ces interprétations et la réalité extérieure ne nous envoie pas d'informations décisives qui permettent de valider ou d'invalider ces interprétations. Que se passe-t-il alors ? Plutôt que de douter, ou de nuancer nos opinions, nous continuons à accorder une croyance souvent forte à ces interprétations que rien ne vient contredire de manière irrévocable.* » Parfois, plusieurs interprétations sont possibles pour une croyance. Le lobe frontal droit aurait comme fonction d'évaluer la viabilité et la crédibilité des interprétations et sélectionnerait alors l'interprétation jugée la plus acceptable de la croyance [7].

Ceci explique que l'individu régénère sa perception de manière cyclique et rétroactive avec son action. Les neurosciences montrent que le cortex préfrontal latéral permet aux individus la mise en cohérence des pensées et des actions au regard des intentions [8]. Ce travail intégratif permet au cerveau de simuler une séquence d'événements et leurs conséquences. La mesure de l'écart entre le résultat attendu et le résultat réel est qualifiée d'"erreur de prédiction". Celle-ci peut être positive, neutre ou négative [9,10]. Lorsque l'écart est conforme aux attentes, la prédiction conforte l'action et renforce la croyance. Lorsque l'écart est négatif, l'erreur de prédiction peut avoir valeur d'apprentissage et permet secondairement l'ajustement de la prédiction : ainsi la représentation mentale peut être modifiée et un nouvel apprentissage est possible. Par exemple, ce sera l'adaptation posologique si la réponse à l'injection d'éphédrine n'est pas conforme avec l'objectif thérapeutique.

Nous cherchons toujours à réduire (consciemment ou inconsciemment) au maximum cette erreur de prédiction de sorte que nous maintenons une certaine cohérence entre nous et l'environnement. D'un point de vue didactique, nous pourrions parler d'un puzzle mental formé par nos croyances, nos connaissances, nos valeurs qui s'ajustent dans une cohérence relative. Cette cohérence est liée à la faculté du cerveau d'associer des stimuli et leurs conséquences possibles.

Les émotions jouent un rôle majeur dans le codage et l'attribution d'une valeur en permettant de former les préférences. Dans la théorie proposée par Rolls, les émotions « *sont des états suscités par des récompenses et des punitions* » [11].

Dans cette perspective, récompenses et punitions jouent le rôle de renforcement instrumental dans la genèse de l'émotion et *in fine* dans l'attribution de valeurs. Dans ce système, l'amygdale permet la reconnaissance d'une récompense (comme la réussite à un examen) mais également l'évaluation des bénéfices associés à cette récompense (par exemple la reconnaissance sociale). Il existe ici une association de stimuli à une récompense et donc une attribution de valeur générant une préférence pour ces stimuli. Cela est l'hypothèse d'un monde valencé [12], polarisé entre des marqueurs positifs ou négatifs tels qu'Antonio Damasio les avait décrits [13].

Nous avons très brièvement présenté quelques-uns des processus cognitifs permettant l'acquisition, le stockage, la transformation et l'utilisation des connaissances. Les capacités cognitives mobilisent des ressources telles que des capacités de perception, d'analyse, la capacité d'inférence, la mobilisation de la mémoire à court et long termes, la prise de décision. On entrevoit ici ce que tente de reproduire l'IA mais aussi les difficultés liées à cette tâche. Si le traitement, l'extraction des données brutes, leur mise en lien pour en faire une information, la connaissance et une certaine forme d'intelligence sont accessibles aux machines, la conscience et la subjectivité restent encore le propre de l'homme (*figure 1*). L'intelligence naturelle est encore inégalée par la machine, notamment pour les situations complexes où de multiples paramètres, et particulièrement des facteurs humains, entrent en jeu. Cependant, l'IA est extrêmement puissante sur des tâches spécifiques, précises et ciblées, et peut battre le cerveau humain (citons par exemple les échecs<sup>2</sup> ou le Go). La question se pose ici d'exposer les diverses formes d'IA, leurs perspectives et les limites.

### **T1 Différentes formes, perspectives et limites de l'IA**

On oppose traditionnellement deux types d'IA. L'IA faible est un algorithme qui se concentre uniquement sur la tâche pour laquelle il a été programmé. À l'opposé, l'IA forte n'existe pas et relève encore de la science-fiction et repose sur des algorithmes possiblement dotés de conscience.

Aujourd'hui, plusieurs types d'algorithmes d'IA existent (*figure 2*). Les algorithmes les plus courants et les plus basiques n'évoluent pas et se réfèrent à des bases de données conséquentes. Les systèmes experts font partie de ce genre d'IA. Les

règles sont programmées et sont censées reproduire le raisonnement d'un expert *via* des boucles "si... et... alors...". Ces systèmes sont très utiles dans des tâches spécifiques mais manquent de souplesse. Dès que le problème à résoudre varie un peu, ils peuvent être mis en défaut.

D'autres algorithmes, eux, permettent à la machine d'apprendre et de corriger les erreurs. On parle de *machine learning* ou de *deep learning*. Un des exemples est l'apparition des défibrillateurs semi-automatiques capables de prendre une décision engageant le pronostic vital. À partir d'algorithmes de reconnaissance et d'analyse du tracé ECG, ils possèdent une sensibilité (la capacité à détecter un rythme nécessitant une défibrillation) et une spécificité (la capacité à éviter une défibrillation inadaptée).

Ces algorithmes copient les capacités du cerveau à faire des prédictions et permettent à la machine d'apprendre en fonction du résultat. Ces nouvelles approches dans la conception d'algorithmes ont permis un "autoapprentissage" des machines à partir de données. L'apprentissage est dit "supervisé" lorsque les données ont déjà été catégorisées. Dans ce cas, les algorithmes peuvent prédire un résultat en vue de pouvoir le faire plus tard lorsque les données ne seront plus catégorisées. On implémente des centaines d'images et on indique par exemple la présence d'une anomalie de sorte que la machine « apprend » à reconnaître l'anomalie. L'apprentissage non supervisé est plus complexe et repose sur la détection des similarités et des invariants. L'algorithme va lui-même élaborer des corrélations. Cette façon de procéder est moins consommatrice de temps humain. Cet apprentissage profond (*deep learning*) est possible grâce au développement de réseau "de neurones artificiels" [14]. Les résultats donnés par les premiers "neurones" vont servir de départ aux calculs des deuxièmes et ainsi de suite. L'*adversarial training* est la dernière tendance de développement de l'IA. Il s'agit toujours d'apprentissage supervisé mais il est juste indiqué à la machine si la réponse est bonne ou non, elle apprend en utilisant un autre algorithme d'apprentissage pour construire des contre-exemples qui vont rendre progressivement l'algorithme initial plus robuste. Par exemple, les réseaux sociaux utilisent ainsi des données collectées comme des photos postées par les utilisateurs pour les passer au crible d'un réseau d'apprentissage profond (dit "réseau

convolutif”) pour reconnaître les objets contenus dans les images [15]. Cependant des difficultés liées à la perception demeurent comme en témoigne la figure 3.

Ces mêmes principes sont utilisés dans le domaine de l'imagerie médicale. L'accélération des capacités de calcul a été exponentielle et la puissance des machines s'est donc considérablement accrue en même temps que les capacités de stockage d'information augmentaient<sup>3</sup>. Les machines disposent donc d'une grande puissance de calcul et de stockage permettant l'analyse d'une grande quantité de données. Dans le cadre du diagnostic par imagerie médicale, des centaines d'images déjà analysées par des spécialistes sont implémentées et permettent aux machines d'apprendre à détecter des anomalies (comme des tumeurs), que, parfois, l'œil humain n'aurait pas vues. Ce qui est ici possible avec des clichés anatomiques est bien évidemment applicable à l'infiniment petit et au noyau cellulaire. Ainsi, la classification des données concernant l'acide désoxyribonucléique (ADN), les incessantes découvertes de mutations génétiques et les données de la génomique constituent des bases de données que seule une IA peut exploiter. Les bénéfices attendus sont importants et seront en lien avec la qualité des techniques d'IA permettant l'analyse de ces *big data*.

Toutes ces techniques permettent non seulement la détection d'anomalie (Computer Aided Detection ou CADe), mais aussi la caractérisation des anomalies détectées (Computer Aided Diagnosis ou CADx) et le suivi de l'évolution du patient. L'IA est aussi prévue comme un outil d'optimisation des interventions préventives et curatives. Par exemple, les algorithmes sont programmés pour permettre une prévention personnalisée *via* l'exploitation d'une multitude de paramètres permettant la prédiction de risque pour un patient donné. Des robots conversationnels (appelés “chatbot”) peuvent commencer à remplacer le suivi traditionnel des appels téléphoniques en chirurgie ambulatoire. D'autres robots permettent d'aider des actes chirurgicaux *via* des technologies de réalité augmentée : casque HoloLens® par exemple.

Un des défis pour l'IA consiste à mettre au point des systèmes hybrides qui peuvent combiner de façon efficace et efficiente l'expérience des professionnels de la santé et les attributs que les logiciels d'IA peuvent fournir. Ainsi, l'interaction homme-machine est encore au cœur des perspectives à venir. Une de ces évolutions concerne des systèmes d'aide à la décision. Même si les équipes sont de moins en

moins méfiantes en ce qui concerne l'IA, son acceptation et l'utilisation en milieu clinique continuent de poser d'importants défis. Au premier rang de ces défis figurent les questions de facilité d'utilisation et les menaces perçues à l'autonomie professionnelle par les cliniciens, notamment en ce qui concerne les systèmes d'aide à la décision clinique. Cependant, les outils permettent un soutien rapide et précis au diagnostic et au traitement des patients. Ces systèmes semblent donc essentiels pour améliorer l'accessibilité, la transparence, l'efficacité et l'efficacité des soins de santé.

Cette perspective mène à un changement de paradigme qui consiste à s'éloigner de la conception des systèmes d'aide à la décision comme technologie d'outil de référence, isolée de l'interaction humaine. Bien au contraire, ces outils devraient être perçus comme un moyen de communication et de coopération entre les multiples équipes interprofessionnelles qui participent aux soins des patients. En effet, l'hypertechnicité et l'hyperspécialisation ont conduit à une prise en charge segmentée. Dans cette vision, les systèmes d'aide à la décision sont un outil collaboratif pour les équipes interprofessionnelles, d'autant plus que ces systèmes devraient être capables d'apprendre par le biais d'interactions en équipe et d'assurer la liaison entre le personnel clinique et le personnel administratif, et de soutien en technologie de l'information (TI).

À l'heure actuelle, de nombreux systèmes de gestion des médicaments servent d'outil de référence et d'alerte en matière de sécurité. À ce titre, les principaux rôles de ces systèmes d'aide à la décision sont des outils de référence avant la prise de décision (lors de la vérification de l'interaction médicamenteuse par exemple) ou des outils pour analyser de façon rétrospective la qualité des décisions qui ont été prises.

## **T1 Conclusion**

Les possibilités d'applications sont nombreuses dans le champ de l'anesthésie-réanimation. Elles concernent tout le processus de prise en charge depuis la consultation *via* la prédiction des risques spécifiques, le développement de système de surveillance et d'alerte en fonction des risques identifiés à la consultation, en périopératoire et jusqu'en réanimation : amélioration de la surveillance multiparamétrique, détection d'anomalies *via* des systèmes experts, aide à la

décision en fonction des anomalies détectées, gestion optimisée de l'anesthésie, gestion de l'arrêt de l'anesthésie, gestion de la douleur, etc.

Un des challenges de l'IA est de pouvoir, un jour, égaler les capacités de simulation et d'émulation du cerveau. Nous l'avons exposé, l'IA est supérieure à l'homme sur des tâches très précises (comme la reconnaissance de tumeurs). Cependant, le cerveau humain est encore bien supérieur à l'IA dans bien des domaines. D'une part, il a intégré, quasiment dès la naissance, une certaine conception du monde en général que l'IA, dans l'état actuel de son développement, ne pourra atteindre car cet apprentissage nécessiterait trop de données et trop de temps. En outre, le cerveau humain n'a pas besoin d'être exposé à des millions d'exercices pour généraliser un concept ou une règle, là où l'IA a besoin de *big data*; les machines ont nécessairement besoin d'être exposées à des multitudes de données, à la différence du cerveau. D'autre part, le cerveau est capable de simuler mentalement des actions et d'en prédire les conséquences. Il projette sur le monde des préperceptions, des préconceptions et les mets à l'épreuve. De ce point de vue, le cerveau possède des mécanismes anticipateurs qui permettent de choisir et de décider rapidement "intuitivement" de l'action [16]. L'IA acquiert, grâce au *deep learning*, ces capacités d'inférences, de conséquences de choix. Des travaux sont conduits sur des algorithmes simulant des croyances et des préférences humaines se développent mais là encore sur des tâches extrêmement précises. L'IA ne peut pourtant pas encore égaler le cerveau qui est aussi un puissant émulateur [17]. Cette émulation est selon le neuroscientifique Alain Berthoz [17] la capacité du cerveau de procéder à la création d'un monde qui peut même être imaginaire. Il s'agit là d'une des facultés extraordinaires du cerveau. Cette capacité de composer et de recomposer des informations : « *penser c'est relier* », disait Kant. Cette mise en lien des informations, des souvenirs, des procédures, est une des propriétés fondamentales du cerveau. Elle permet de prendre des décisions en intégrant une multitude de paramètres, y compris des informations sur son propre état, des informations sur le monde, l'intégration de la valeur (la pondération de l'intérêt à agir), la mémoire, l'intégration des émotions. La mémoire, mais aussi les émotions, sont en ce sens de puissants outils de prédiction et autorisent une capacité d'anticipation de l'avenir. Un autre point essentiel et développé dans l'article précédent de ce dossier ([ref citer l'article : Importance des fonctions exécutives à compléter](#)) concerne le filtre réflexif, ou la

métacognition dont pour l'instant les IA sont dépourvues ; cette capacité à avoir une réflexion sur l'action (avant, pendant et après), notamment dès que l'on a affaire à des actions métacognitives qui engagent la conscience de soi ou des aspects de la morale [18]. Enfin, les neurosciences et la psychologie cognitive démontrent comment l'empathie repose sur la capacité d'un individu à adopter le point de vue des autres tout en restant soi-même. La fonction de l'empathie est essentielle dans la prise de décision. Comprendre les intentions, les émotions de l'autre est une propriété essentielle dans la prise de décision, que l'IA n'est, en tous les cas, pour l'instant pas encore totalement en mesure de reproduire. De fait, l'IA est un enjeu suscitant beaucoup d'espoir mais aussi une source de craintes et de fantasmes. Des réflexions éthiques seront nécessaires pour protéger et renforcer le droit des patients (loi de bioéthique prévue pour juin 2019, rapport Jean-Louis Touraine en janvier 2019).

Une partie de cet article fait l'objet de la thèse en Science de l'éducation de David Naudin, sous la codirection des professeurs Gérard Reach et Rémi Gagnayre au sein du Laboratoire Éducation et pratiques en santé (LEPS EA 3412) Paris 13.

## Notes

<sup>1</sup> Artificial Intelligence in Medicine.

<sup>2</sup> AlphaZero : l'IA de Google DeepMind devient imbattable aux échecs. [www.futura-sciences.com/tech/actualites/technologie-alphazero-ia-google-deepmind-devient-imbattable-echecs-61409/](http://www.futura-sciences.com/tech/actualites/technologie-alphazero-ia-google-deepmind-devient-imbattable-echecs-61409/)

<sup>3</sup> Cette loi édictée par Gordon Moore qui stipulait que la puissance des composantes doublerait tous les ans a été réel jusque dans les années 2000. Cependant, la miniaturisation *via* les nanotechnologies qui a permis la portabilité de cette puissance de calcul a été également un frein à cette croissance exponentielle, et le gain en puissance actuel est limité par des contraintes techniques.

## Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

## Références

- [1] Ledley RS, Lusted LB. The use of electronic computers in medical data processing: aids in diagnosis, current information retrieval, and medical record keeping. *IRE Trans Med Electron.* 1960;ME-7(1):31-47.
- [2] Nordyke RA, Kulikowski CA, Kulikowski CW. A comparison of methods for the automated diagnosis of thyroid dysfunction. *Comput Biomed Res.* 1971;4(4):374-89.
- [3] Clancey WJ, Shortliffe EH. Readings in medical artificial intelligence. The first decade. coll. The Addison-Wesley series in artificial intelligence. Reading (États-Unis): Addison-Wesley; 1984. .
- [4] McCarthy J. From here to human-level AI. *Artificial Intelligence.* 2007;171(18):1174-82.
- [5] Renfrew C. Neuroscience, evolution and the sapient paradox: the factuality of value and of the sacred. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2008;363(1499):2041-7.
- [6] Naccache L. Le nouvel inconscient. Freud, Christophe Colomb des neurosciences. coll. Sciences. Paris: Odile Jacob; 2006.
- [7] Coltheart M, Cox R, Sowman P et al. Belief, delusion, hypnosis, and the right dorsolateral prefrontal cortex: A transcranial magnetic stimulation study. *Cortex.* 2018;101:234-48.
- [8] Barbey AK, Grafman J. An integrative cognitive neuroscience theory of social reasoning and moral judgment. *Wiley Interdiscip Rev: Cogn Sci.* 2011;2(1):55-67.
- [9] Schultz W. Dopamine reward prediction-error signalling: a two-component response. *Nat Rev Neurosci.* 2016;17(3):183-95.
- [10] Schultz W. Reward prediction error. *Curr Biol.* 2017;27(10):R369-71.
- [11] Rolls ET. Emotion and decision-making explained. First edition. Oxford (États-Unis): Oxford University Press; 2014.
- [12] Baddeley A, Banse R, Huang YM, Page M. Working memory and emotion: Detecting the hedonic detector. *J Cogn Psychol.* 2012;24(1):6-16.
- [13] Damasio AR. The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1996;351(1346):1413-20.

- [14] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521(7553):436-44.
- [15] LeCun Y, Bengio Y. Convolutional networks for images, speech, and time series. In: Arbib MA. *The handbook of brain theory and neural networks*. Cambridge (Angleterre): The MIT Press; 1995;3361(10):1995.
- [16] Frith C. *Making up the mind. How the brain creates our mental world*. Malden (États-Unis): Blackwell Publishing; 2007.
- [17] Berthoz A. *La Vicariance. Le cerveau créateur de mondes*. Paris: Odile Jacob; 2013.
- [18] Dehaene S, Le Cun Y, Girardon J. *La plus belle histoire de l'intelligence. Des origines aux neurones artificiels : vers une nouvelle étape de l'évolution*. Paris: Robert Laffont; 2018.

#### Figure1\_Naudin

© D. Naudin/Elsevier Masson SAS

**Figure 1. Les 5 niveaux de la pyramide cognitive d'après Bernard Georges.**

#### Figure2\_Naudin

© D. Naudin/Elsevier Masson SAS

**Figure 2. Comprendre la différence entre IA, *machine learning* et *deep learning*.**

#### Figure3\_Naudin

© D. Naudin/Elsevier Masson SAS

**Figure 3. Chihuahua ou muffin ? (d'après Karen Zack on Twitter®).**

**conscience**

Faculté de ressentir et de subjectiver  
Capacité de penser

**intelligence**

Faculté de prospecter et d'abstraire  
Capacité de comprendre

**connaissance**

Corrélation mémorisée d'informations  
Capacité d'apprendre

**information**

Donnée signifiante  
Capacité de modéliser

**donnée**

Représentation  
Capacité de figurer quelque chose

The diagram consists of three concentric circles. The outermost circle is teal and labeled 'Intelligence artificielle'. Inside it is a red circle labeled 'Machine learning'. The innermost circle is teal and labeled 'Deep learning'. This illustrates that Deep Learning is a subset of Machine Learning, which is a subset of Artificial Intelligence.

**Intelligence artificielle**

**Machine learning**

**Deep learning**

Technique qui permet de tenter d'imiter le comportement humain

Utilise des techniques statistiques qui permettent aux machines de s'améliorer dans des tâches avec de l'expérience

Algorithmes qui permettent au logiciel de s'entraîner à effectuer des tâches, en exposant des réseaux de neurones multicouches à de grandes quantités de données

