

■ Revues générales

L'intelligence artificielle : ce qu'elle permet et les perspectives pour la pratique pédiatrique dans un avenir proche

RÉSUMÉ : La médecine est certainement l'un des domaines où l'intelligence artificielle (IA) est la plus attendue. L'étendue des connaissances est devenue si vaste qu'y accéder sans une aide est devenu quasi impossible, ce que l'intelligence artificielle pourrait grandement améliorer. De même, pour le diagnostic et la prise en charge optimum des maladies, son aide semble prometteuse à moyen terme. Dans le domaine de la pédiatrie, la plupart des avancées réalisées grâce à l'IA chez l'adulte seront également bénéfiques aux enfants. Au quotidien, des logiciels permettront d'améliorer la précision diagnostique. On peut déjà commencer à envisager certaines spécificités comme un rôle dans l'identification plus précise et rapide de pathologies rares en génétique ou en maladies métaboliques, en permettant de créer des cohortes de patients ayant ces pathologies. En reliant entre elles de grandes bases de données, il serait possible de mieux connaître ces maladies et ainsi améliorer leur prise en charge.



F. DESPERT
Pédiatre endocrinologue, CHU TOURS.

Dans ce bref article, il n'est pas possible de détailler les mécanismes sous-tendant l'intelligence artificielle (IA). Retenons que, jusqu'aux années 2010, les ordinateurs fonctionnaient selon des techniques d'analyse algorithmique programmées. Depuis, une technique totalement innovante a été développée, capable d'analyser finement des données puis les comparer avec celles des *big data*. Les algorithmes sont devenus alors en mesure d'optimiser leurs calculs au fur et à mesure qu'ils effectuent des traitements, la rapidité des ordinateurs permettant ces analyses. Nous ne pouvons pas présenter ici ces techniques de *machine learning* ou de *deep learning* : d'excellents ouvrages permettent de le faire, nous en citons quelques-uns dans la bibliographie [1-4].

■ Des progrès fantastiques

Depuis les années 1940, les progrès considérables de la micro-électronique ont permis la mise au point de calculateurs aux capacités gigantesques (**fig. 1**). Il est vain de comparer la puissance de calcul des premiers ordinateurs en 1938, réalisant une opération par seconde, avec celle des outils récents comme le *Taihulight* chinois qui en réalise 93 millions de milliards, en attendant les années 2020 où ce sera un milliard de milliards par seconde...

Parallèlement sont apparues des technologies nouvelles, regroupées sous le sigle NBIC [1], dont les moyens sont mis en commun en vue d'objectifs trans-humanistes, développées par les géants

Revue générale



Fig. 1 : Quelques repères montrant l'évolution exponentielle de la puissance informatique.

du web qui sont connus aux États-Unis sous l'acronyme GAFAM – Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft – et BATX en Chine – Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi. NBIC se décompose ainsi : N comme nanotechnologies, B... biotechnologies, I... informatique, C... sciences cognitives. Le terme de transhumanisme correspond au projet porté par les promoteurs de NBIC de modifier profondément l'homme actuel en vue de faire naître un homme totalement nouveau, maître d'un avenir conçu comme sans aucune limite.

Les objectifs de NBIC :

- la disparition de la mort ;
- l'augmentation des capacités cognitives humaines ;
- la fabrication d'intelligence artificielle ;
- la création de vie en éprouvette ;
- la colonisation du cosmos par l'homme.

Ces cinq objectifs sont actuellement l'objet de recherches intensives par des équipes extrêmement compétentes aux moyens financiers quasiment illimités. Nous ne développerons pas ici tous ces secteurs, nous limiterons notre propos

aux conséquences du développement de l'intelligence artificielle en médecine et tenterons de voir si, dans le secteur de la pédiatrie, des avancées spécifiques sont envisageables.

... comme informatique et intelligence artificielle

En 1950, Alan Turing (le décodeur d'Enigma) publie dans la revue *Mind* un article : "L'ordinateur et l'intelligence". Il est à l'origine du concept d'intelligence artificielle. Pour identifier une intelligence artificielle, il propose un test : "Un juge dialogue par l'intermédiaire de textes dactylographiés, à la fois avec un humain et avec le système informatique à tester. Pour réussir, ce dernier doit leurrer le juge en répondant d'une façon aussi convaincante qu'un humain..." Pour lui, cette machine existera à la fin du xx^e siècle mais, malgré le travail acharné de nombreux chercheurs, aucun résultat objectif permettant de parler d'IA n'a pu être réalisée avant le début du xxi^e siècle.

Les big data [5-6]

Les avancées dans ce domaine sont récentes, datant des années 2010, quand la puissance des ordinateurs a permis d'utiliser les énormes quantités d'informations recueillies stockées et utilisables par l'outil du web, les *big data*, jusque-là inutilisées par manque de puissance analytique.

Donnons quelques ordres de grandeurs concernant cette énorme masse d'informations. Chaque minute, on compte environ 15 millions de textos qui sont envoyés dans le monde, 2 millions de posts sur les blogs, 277 000 connexions sur Facebook, 3,6 millions de recherches sur Google. L'unité de transfert est l'octet qui est le regroupement de 8 bits (*binary digit*) codant pour une information binaire 0 ou 1. Un octet permet de représenter $2^8 = 256$ valeurs différentes. 1 octet : 11100110 ou 11100010, etc. On les désigne selon les puissances de 10, allant du kilooctet 10^3 , au zettaoctet 10^{21} ou même yottaoctet 10^{24} .

En 2010, nous produisons tous les deux jours autant d'informations qu'entre le début de la culture humaine et 2003 ! Cela ne préjuge en rien de la qualité des informations archivées... En 2018, on estime que 90 % des données disponibles dans le monde ont été créées dans les deux dernières années. Toute cette production de données se fait au sein d'un réseau unifié, Internet, utilisant le même protocole IP (*Internet Protocole*) pour véhiculer l'information. Actuellement 3,8 milliards d'humains sont branchés sur le web et la puissance informatique d'un smartphone est supérieure à celle du programme ayant permis à Apollo de se poser sur la Lune.

Tous les jours, des machines génèrent des signaux de tous types renseignant sur de multiples aspects de l'activité humaine : l'environnement, la médecine, les sciences, les agents économiques, etc. (*tableau 1*). Toutes ces données sont interconnectables et la plupart d'entre

Nature des data

- Données signalétiques et sociodémographiques
- Données comportementales (utilisation du téléphone, de la carte bancaire, du véhicule...)
- Données CRM (*Customer Relationship Management* = gestion de la relation client) : carte de fidélité
- Données provenant de l'administration, *open data* ou des mégabases de données privées
- Informations en provenance de capteurs industriels, routiers, climatiques, puces, objets connectés (compteurs divers, etc.), voitures...
- Géolocalisation par GPS ou adresse IP
- Données de tracking sur Internet (sites visités, mots clés de recherche)
- Contenus partagés sur le Net (blog, photos, vidéos)
- Opinions exprimées sur les réseaux sociaux

Tableau I : Origines multiples des *data*.

elles sont accessibles à tous. Et pourtant, jusqu'à maintenant, elles ont été très peu utilisées alors qu'elles auraient pu rendre de grands services. Il a fallu l'apparition d'ordinateurs très puissants capables de gérer ces *data* des milliers de fois plus vite qu'auparavant. Ces technologies permettant l'analyse et le croisement de multiples données en des temps extrêmement brefs, on parle des trois **V : volume, vitesse, variété**. De plus, en 2025, il y aura 50 à 100 milliards d'objets connectés produisant des données : les *data* véhiculées par le réseau.

Nous voyons concrètement dans notre quotidien les conséquences de ces avancées : reconnaissance des visages, interfaces machines-hommes (standards téléphoniques automatiques...), amélioration de la qualité des traductions, tant écrites qu'orales, etc. Mais cette intelligence artificielle est considérée comme "faible", dite de type 1, car encore totalement sous la maîtrise de l'homme. Pour certains, une intelligence artificielle forte dite de type 2 est envisagée, qui rendrait les machines conscientes et qui poserait, si cela était possible, d'énormes problèmes éthiques...

Quelles *big data* en médecine ? [7]

Chaque individu a ses propres données concernant sa situation de santé mais, en pratique, les médecins utilisent au quoti-

dien très peu de *big data* : un bref résumé de la vie du patient, quelques informations sur les antécédents médicaux et le mode de vie, une courte histoire de la maladie, quelques données biologiques et radiologiques et les données du rapide examen clinique, sans oublier tout ce que le patient a omis de dire plus ou moins volontairement avec les conséquences parfois catastrophiques que cela peut avoir.

La possibilité d'accéder aux *big data* permet d'en savoir beaucoup plus sur chaque individu. On peut identifier pour chacun :

- le type d'alimentation grâce à la connaissance de son panier de supermarché (quantité, qualité) : viande, légumes, corps gras, alcool, etc. ;
- son mode de vie : activités sportives, vacances, voyages ;
- le type et le lieu de ses sorties : restaurants, cinémas ;
- le type de ses achats ou lectures ;
- ses fréquentations ;
- ses sujets d'intérêt grâce à ses requêtes ou ses achats sur le web ;
- ses orientations politiques ;
- et même sa vie sentimentale et affective et son évolution grâce à Facebook, WhatsApp, Instagram, etc.

Ainsi, la machine nous connaît mieux que notre médecin et même notre conjoint ! Le profil individuel étant ainsi mieux cerné, il pourrait permettre de mieux soigner le patient. Bien évidemment, la connaissance de toutes ces données doit

être protégée et rester confidentielle. Cédric Villani, en mars 2018, déclare que la France est "*l'un des premiers pays à se doter d'une base nationale de données médico-administratives*" qui couvre 99 % de la population française, avec 20 milliards de lignes de prestations.

Divers usages de l'IA en médecine

1. L'IA comme aide au diagnostic en médecine

>>> Ordinateur Watson [8]

La possibilité de pouvoir relever des données médicales sur de grandes populations a permis à IBM d'expérimenter Watson, un ordinateur conçu pour avoir un raisonnement se rapprochant de celui de l'homme et communiquer facilement avec lui. Il peut ajuster et corréliser de très nombreux paramètres à des fins diagnostiques. Il intègre les notifications du praticien, les données des entrevues avec le patient, les antécédents personnels et familiaux, les résultats d'analyses diverses. Il engage ensuite un échange avec le médecin pour proposer de compléter le dossier en réalisant des investigations non encore demandées puis, avec tous ces éléments, il ouvre sur un ou des diagnostics et les traitements paraissant les plus efficaces. Pour réaliser ce travail, Watson "mouline" toutes les informations concernant le patient et les confronte à sa gigantesque base de données.

Watson est également capable de faire l'analyse des données radiographiques en appuyant son diagnostic sur la comparaison du cas particulier à celui de millions d'autres du même type (voir *infra*). Ainsi, l'arrivée de systèmes experts performants aidant le médecin, tant dans l'enquête diagnostique que dans la thérapeutique, est maintenant imminente. Cependant, comme le dit Gilles Wainrib (cofondateur de la start-up Owkin) : "*Le chemin à parcourir est encore long et complexe avant que ces systèmes ne*

Revue générale

soient utilisés en routine... D'ici 4 à 5 ans, on peut espérer voir arriver les premiers outils d'IA en santé."

>>> Identification des mélanomes malins [9]

Un outil de Google baptisé Show and Tell utilise la technologie de l'IA pour identifier les mélanomes malins. Grâce à l'étude de 130 000 images prises sur le web, l'intelligence artificielle a "appris" à faire la différence entre plus de 2 000 maladies de la peau. Le diagnostic, fait à partir d'une photo de la lésion, est aussi précis que celui des dermatologues expérimentés et c'est dans le dépistage réalisé par des non-spécialistes que ce logiciel de diagnostic automatisé pourra trouver sa place.

>>> Analyse des mammographies [10]

Les radios étant pixellisées, il est possible de les analyser de façon beaucoup plus fine qu'avec l'œil humain, fut-il celui d'un excellent radiologue. En comparant les données fournies par une mammographie à celles d'une base de données comportant les images de milliers de pathologies mammaires identifiées, il est possible de porter un diagnostic précis, voir meilleur, qu'après lecture par deux radiologues expérimentés.

>>> Repérage et prédiction de la malignité d'un nodule pulmonaire [11]

Ils sont maintenant possible grâce à l'outil Imagia mis au point au Canada qui, de plus, apporte une aide thérapeutique en fonction des données analysées provenant de milliers de cas identiques. La mise en évidence de métastases pulmonaires de petite taille au cours de cancers du sein a été également rendue possible.

>>> Cancérologie [7]

Toutes les informations recueillies par TMD, IRM, échographie, TEP ont permis de définir un concept nouveau, la "radiomique", qui croise, grâce à l'IA,

toutes les caractéristiques de la tumeur et la compare à des cas similaires provenant de bases de données mondialisées concernant des dizaines de milliers de patients ayant le même diagnostic, ce qui permet de connaître le potentiel évolutif de la tumeur, sa réponse aux traitements, son devenir.

Les études en génomique, épigénomique et transcriptomique des tissus tumoraux biopsiés [7] permettent l'identification des types de mutation et des chaînes métaboliques en cause dans le développement des tumeurs et de choisir des thérapeutiques validées et les biomédicaments adaptés, grâce à l'analyse en IA de milliers de cas similaires. Sont également identifiés les mécanismes en cause dans la diminution des défenses immunitaires constatées dans les cancers et leur éventuelle réactivation par des biothérapies adaptées.

Les avancées qui s'annoncent en cancérologie ne sont possibles que grâce au croisement d'énormes masses de données concernant le patient lui-même, mais aussi des cohortes de patients qui, dans le monde, ont le même type de pathologie ainsi que les données de la littérature les concernant devenues accessibles, et ce de façon quasi immédiate et exhaustive !

>>> Examen du fond d'œil (FO) chez les diabétiques de type 2 [12]

Le programme IDx-DR est capable de détecter précocement des anomalies en analysant des clichés détaillés de la rétine du patient. Doté d'une intelligence artificielle, il ne se contente pas de réaliser les photos : il les analyse ensuite pour établir seul un diagnostic. Le IDx-DR est le premier appareil autorisé à la commercialisation par la FDA ([Food and Drug Administration] en 2018) qui fournit un dépistage sans qu'un clinicien interprète l'image ou les résultats, ce qui le rend utilisable par des professionnels de santé qui ne sont normalement pas impliqués dans les soins oculaires (fig. 2).



Fig. 2 : Photo du fond d'œil, puis transfert sur un site utilisant l'IA.

>>> Anatomopathologie [7]

La lecture des lames se fait sur des coupes scannerisées, ce qui permet une analyse automatique des images et complète les données obtenues par le microscope optique. Cela permet un meilleur dépistage des micro-métastases dans des ganglions (99 contre 70 %). Cette technique permet une analyse très fine des biopsies et une meilleure classification des cancers, permettant de prédire plus précisément leur agressivité. Elle permet également de faire lire rapidement les lames par des spécialistes à distance : mise en place de réunions de "télépathologie" internationales.

2. Aide au traitement chirurgical

Aux États-Unis, le robot Star est en cours d'expérimentation chez l'animal : il pourrait être utilisé dans des chirurgies mineures de l'intestin, commettant moins d'erreur qu'un humain et ses points de suture étant de meilleure qualité [13].

Au CHU de Strasbourg, l'équipe du Pr J. Marescaux étudie l'intégration de l'IA à la pratique des chirurgiens. Dans ce domaine, l'expérience du praticien est essentielle, aussi ont été analysées par l'IA des centaines de vidéos réalisées à l'occasion d'une ablation de la vésicule biliaire et, très rapidement, l'ordinateur a été capable de lancer une alerte au chirurgien en cas de geste inapproprié. On peut ainsi envisager l'encadrement de toutes

les chirurgies dites réglées. Déjà, la robotique chirurgicale avait permis d'améliorer grandement la qualité du geste.

3. Avancées en pédiatrie

Beaucoup des techniques présentées précédemment pourront bénéficier aux enfants. Nous en présenterons quelques-unes qui leur sont spécifiques et qui, pour beaucoup d'entre elles, sont encore en cours de développement, permettant d'envisager des avancées diagnostiques et thérapeutiques majeures à moyen terme. Ces techniques devraient permettre d'aider le clinicien pédiatre au quotidien dans son approche diagnostique et thérapeutique.

>>> Diagnostic de maladies infectieuses chez l'enfant [14]

Un algorithme d'intelligence artificielle s'est montré aussi efficace que des pédiatres pour diagnostiquer des maladies communes chez des enfants. Le programme s'est entraîné à partir des données provenant de plus d'1,3 million de consultations de jeunes patients dans un grand centre médical pédiatrique de Canton, dans le sud de la Chine. L'expérience s'est traduite par "un niveau de pertinence très élevé" pour le diagnostic de maladies communes comme la grippe (à 94 %), la varicelle (93 %), mais s'est également montrée efficace pour reconnaître des maladies graves telles que la méningite bactérienne (93 %).

>>> Identification des détresses vitales de l'enfant [15]

Au Canada, le Pr P. Juvet développe un système utilisant l'IA pour identifier les situations de détresses vitales chez l'enfant. Elle permettra la reconnaissance précoce de la détresse vitale (respiratoire, neurologique ou cardiovasculaire) grâce à une analyse en temps réel des signes vitaux et du comportement des patients. Elle sera également une aide à l'organisation des soins dans les services

cliniques pour assurer une répartition optimale des patients et leur prise en charge optimum. Enfin, à moyen terme, elle permettra d'avoir accès en temps réel aux recommandations diagnostiques et thérapeutiques les plus récentes basées sur l'analyse de l'ensemble des informations numériques.

>>> Identification du risque infectieux chez le prématuré [16]

En Europe se met en place le projet européen Digi-NewB, qui développe un système d'aide à la décision sur le risque infectieux, non invasif et en temps réel, basé sur une intelligence artificielle tenant compte des multiples données de la surveillance d'un nouveau-né prématuré. Les premiers scores de risque d'infection viennent d'être obtenus avec succès lors de deux enregistrements de 12 heures de nouveau-nés prématurés au CHU de Rennes.

POINTS FORTS

- Le terme intelligence artificielle (IA) ne doit pas nous abuser. Cette technique doit sa réussite à sa capacité de calcul qui est énorme, lui permettant de réaliser des prouesses supérieures à celle de l'intelligence humaine dans des domaines précis, choisis par l'opérateur. Mais par elle-même, elle ne peut rien concevoir.
- Les *big data* sont le matériel sur lequel travaille l'IA, elles sont convoitées par toutes les entreprises qui inventent de nouvelles applications. En matière de *big data* médicales, l'enjeu est l'anonymisation des données, ce qui est complexe. Cependant, leur utilisation est centrale en vue de faire avancer les divers outils attendus.
- Un domaine bénéficie particulièrement des performances de l'IA, la cancérologie, permettant le croisement de multiples données concernant un patient avec celles de milliers, voire de millions de patients ayant le même problème et ainsi de choisir les thérapeutiques optimums déjà évaluées.
- En pédiatrie, qui bénéficie déjà de toutes les avancées concernant l'adulte, des secteurs différents s'ouvrent concernant soit le diagnostic de maladies rares, soit le domaine du quotidien, en permettant d'identifier plus rapidement des situations à risque ou d'avancer sur des situations cliniques complexes.

>>> Identification des maladies génétiques en se basant sur des photos [17]

À l'aide du *deep learning*, une équipe internationale a mis au point une technique capable d'identifier des maladies génétiques en utilisant la reconnaissance faciale. Les algorithmes se basent uniquement sur une photographie. Plus de 17 000 images ont servi de base d'apprentissage au programme pour diagnostiquer quelque 200 maladies. Dans plus de 90 % des cas, DeepGestalt a été capable d'identifier la maladie concernée, faisant plutôt mieux que les spécialistes.

>>> Un algorithme décoderait les pleurs de bébé [18]

Des chercheurs de l'université *Northern Illinois* et du *College of New Jersey* affirment avoir mis au point un algorithme permettant d'identifier la cause d'un pleur prolongé d'un nourrisson : si les

I Revues générales

pleurs de chaque bébé sont uniques, expliquent-ils dans un communiqué, ils ont aussi des modulations communes quand ils ont la même cause, des modulations que l'intelligence artificielle est apparemment en mesure de décoder.

>>> Le robot HAL permet de former les étudiants en médecine [19]

HAL est un robot destiné à l'éducation des futurs médecins en soins pédiatriques. Toutes les fonctions intégrées à son corps lui permettent de mettre à l'épreuve des soignants en pédiatrie : il respire comme un humain, il pleure et peut verser des larmes, et peut même saigner. La pupille peut se contracter si elle est exposée à la lumière, le regard peut suivre un objet. Il peut être intubé, simuler un arrêt cardiaque et être réanimé avec un véritable électrochoc.

Quelle place pour le médecin dans l'avenir ?

L'introduction de ces technologies nouvelles peut être un sujet d'inquiétude pour les médecins. Si l'IA est si performante, ne risque-t-elle pas de réduire le rôle du médecin à une simple interface malade/machine, voire même à le voir à terme disparaître, la machine étant plus performante en termes de diagnostic et de thérapeutique ?

La réponse à cette question ne peut se concevoir que si l'on considère globalement l'homme non pas comme une machine à réparer, mais comme un humain inquiet, souffrant, interrogeant et désireux d'une relation avec un professionnel lui permettant d'écouter, d'expliquer, de rassurer, d'aider son patient à décider ce qu'il souhaite dans sa démarche de prise en charge. Deux mots clés différencient le médecin et la machine : l'intuition et l'empathie. Comme l'écrit Cédric Villani : "S'il n'est pas question de remplacer les médecins par la machine, l'enjeu est de bien organiser des interactions vertueuses entre

l'expertise humaine et les apports de l'IA dans l'exercice quotidien de la médecine." [20] On parle alors d'une médecine nouvelle dite **4P : prédictive, préventive, personnalisée, participative.**

Conclusion

Les progrès des sciences et des techniques sont extrêmement rapides dans tous les domaines et, si l'on en voit déjà les conséquences dans notre quotidien, nous ne voyons encore que la pointe émergée de l'iceberg. Tout ce qui encore invisible va déboucher très rapidement sur un bouleversement considérable de nos vies et de nos pratiques. Dans le domaine médical, on peut en attendre une amélioration de la qualité de la santé passant par des capacités diagnostiques améliorées, mais aussi par la mise au point de thérapeutiques plus personnalisées et performantes. Grâce à une meilleure analyse de la situation personnelle de chaque individu, une réelle prévention pourra se mettre en place.

Chez les enfants, l'application précoce de ces techniques ne pourra qu'améliorer leur situation sanitaire car ils bénéficieront prioritairement de l'apport de la médecine prédictive et prédictive. Bien évidemment, ces outils nouveaux ne devront jamais faire perdre de vue que l'homme est un tout avec ses diverses composantes biologiques, psychiques et spirituelles que les machines ne sauraient en aucun cas réduire...

Mais attention, n'oublions jamais l'interpellation de Rabelais dans *Pantagruel* : "Science sans conscience n'est que ruine de l'âme."

BIBLIOGRAPHIE

1. ALEXANDRE L. *La mort de la mort*. JC Lattès, 2011.
2. DEHAENE S, LE CUN Y, GIRARDON J. *La plus belle histoire de l'intelligence*. Robert Laffont, 2018.
3. Intelligence artificielle. *L'essentiel de la science*, 2018;40.

4. SADIN E. *L'intelligence artificielle ou l'enjeu du siècle*. L'échappée, 2018.
5. BABINET G. *Big data. Penser l'homme et le monde autrement*. Le Passeur, 2015.
6. *Big data*, Vers une révolution de l'intelligence ? *Pour la Science*, 2018.
7. NORLINGER B, VILLANI C. *Santé et intelligence artificielle*. Ed CNRS, 2018.
8. LEROUX H. Watson plus fort que Dr House. *Science et Vie*, 2016;1190: 93-96.
9. ESTEVA A, KUPREL B, NOVIOA RA *et al*. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 2017;542:115-118.
10. DHEEBA J, SINGH A, SEVI T. Computer-aided detection of breast cancer on mammograms: A swarm intelligence optimized wavelet neural network approach. *J Biomed Inform*, 2014;49: 45-52.
11. LI X, GUO F, ZHOU Z *et al*. Performance of deep-learning-based artificial intelligence on detection of pulmonary nodules in chest CT. *Zhongguo Fei Ai Za Zhi*, 2019;22:336-340.
12. KHOJASTEH P, APARECIDO L, CARVAHLO T *et al*. Exsudate detection in fundus images using deeply-learnable features. *Comput Biol Med*, 2019;104:62-69.
13. Smart Tissue Autonomous Robot : www.ouest-france.fr/sciences/star-un-robot-autonome-capable-de-recoudre-les-intestins-4217322
14. LIANG H, TSUI BY, NI H *et al*. Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence. *Nat Med*, 2019;25:433-438.
15. nouvelles.umontreal.ca/article/2018/11/29/l-ia-va-changer-la-prise-en-charge-medicale-des-enfants-en-detresse-vitale/
16. www.univ-rennes1.fr/actualites/bebes-prematures-quand-lintelligence-artificielle-aide-prevenir-les-infections
17. www.rtf.fr/flash/quand-lintelligence-artificielle-detecte-maladies-rares/article
18. www.ledroit.com/actualites/un-algorithme-decoderait-les-pleurs-de-bebe-44baf032659f1fc3acd3ab2f33e4a71e
19. www.planeterobots.com/2018/09/11/ce-robot-hal-est-un-enfant-robot-qui-se-fait-porter-pale/
20. VILLANI C. *Donner un sens à l'intelligence artificielle*. Rapport de la mission parlementaire, 2018.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.