

L'intelligence artificielle en cardiologie : une évolution du rôle du praticien ?

AI in cardiology: the evolving role of the physician

A. Azarine*, F. Beckers**

L'adoption généralisée des outils d'intelligence artificielle (IA) dans le domaine de la santé est une perspective passionnante, qui suscite cependant quelques inquiétudes quant au rôle des cliniciens : ne risque-t-il pas de disparaître un jour au profit des technologies de pointe ?

Facebook, pour la reconnaissance vocale dans Siri, etc. L'**encadré 1** reprend quelques définitions utiles concernant l'IA.

Quels rôles pourrait jouer l'IA en cardiologie ?

L'objectif de l'IA est d'aider les cardiologues à traiter mieux et plus rapidement les données complémentaires innombrables et pluridisciplinaires concernant le patient, incluant la génétique, la biologie, la pharmacie, la rythmologie, l'imagerie, les dernières recommandations des sociétés savantes, les données sociales, administratives et comptables, tout autant d'éléments dont ils ont besoin pour poser le diagnostic le plus précis et choisir le parcours thérapeutique le mieux adapté et "informé", réduisant ainsi la variabilité et la subjectivité de la prise en charge du patient.

Des algorithmes décisionnels et d'interprétation sont déjà fonctionnels depuis un certain temps en cardiologie (**encadré 2**), notamment en ce qui concerne l'interprétation de l'ECG, la génétique et certains domaines de l'imagerie, mais dont la fiabilité en clinique était jusqu'à récemment insuffisante. L'arrivée du *machine learning*, qui correspond à l'apprentissage par la machine des pratiques et de la façon de travailler du médecin "opérateur", a permis à ces algorithmes de progresser et de devenir plus efficaces et plus utiles (**encadré 1**). L'émergence ces dernières années du *deep learning* a été un nouveau saut technologique, offrant la promesse d'algorithmes qui peuvent être constamment améliorés par un apprentissage "supervisé" mais également "non supervisé", grâce à des milliers de données et d'exams chargés et analysés dans le *cloud* par des experts à travers le monde. Ceci rend le *deep learning* de plus en plus précis et reproductible, en utilisant un modèle imitant le

Qu'entend-on par intelligence artificielle ?

L'IA est un moyen d'automatiser des tâches fastidieuses et chronophages de façon automatique, rapide et précise. Différents procédés lui permettent l'apprentissage de ces comportements, regroupés sous le label "*machine learning*". Depuis 6 ans, le "*deep learning*" est devenu la méthode en vogue, qui s'est le plus développée, et sera de plus en plus employé en médecine comme ailleurs (**figure**). En effet, cette technique est déjà amplement utilisée pour la reconnaissance faciale sur les iPhone ou dans

* Imagerie cardiovasculaire, département de radiologie, hôpital Saint-Joseph, Paris.

** Société Arterys, San Francisco.

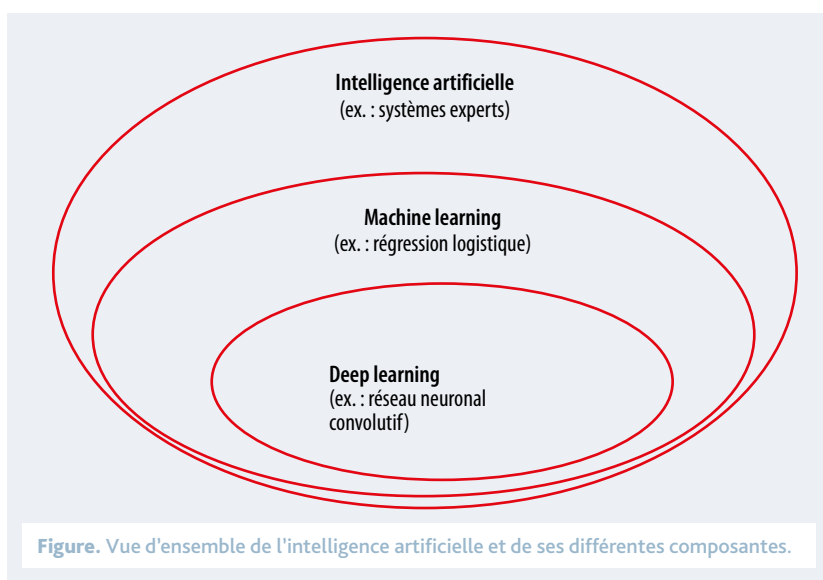


Figure. Vue d'ensemble de l'intelligence artificielle et de ses différentes composantes.

Résumé

Les nouvelles technologies en médecine, notamment en imagerie médicale, permettent de collecter des données de plus en plus diverses, riches et volumineuses (*big data*), demandant, d'une part, des capacités de stockage importantes et, d'autre part, des analyses sophistiquées requérant des puissances de calcul colossales. Des solutions existent aujourd'hui, rendues possibles par le *cloud computing* et l'intelligence artificielle (IA), pour autant que les données des patients soient protégées. Des données de natures diverses peuvent être agrégées dans une même base de données, permettant aux médecins de bénéficier d'un référentiel de données longitudinales, aux patients de bénéficier d'un parcours de soin optimisé, et aux institutions sanitaires de mieux allouer leurs ressources et améliorer leur productivité. L'IA est donc en passe de devenir le meilleur assistant du médecin : à portée de main n'importe où et n'importe quand, elle a pour vocation d'aider les médecins à mieux traiter des données de plus en plus complexes. Mais que deviendra le rôle du praticien de demain ?

Mots-clés

Intelligence artificielle
Réseau neuronal artificiel
Big data
Machine learning
Deep learning
Cloud computing

L'IA en quelques définitions :

- Intelligence artificielle : capacité d'une machine à imiter un comportement humain intelligent.
- Réseau de neurones convolutifs : réseau de neurones artificiels acycliques dont le motif de connexion est inspiré du cortex visuel des animaux.
- *Big data* : ensemble de données volumineuses qui dépasse l'intuition et les capacités humaines d'analyse ainsi que celles des outils informatiques classiques.
- *Cloud computing* : consiste à exploiter la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques via un réseau (Internet).
- Diagnostic assisté par ordinateur : l'ordinateur fournit un diagnostic, éventuellement accompagné d'un diagnostic différentiel, pour le médecin.
- Apprentissage supervisé : tâche d'apprentissage automatique guidée par un chercheur à partir d'exemples prédéfinis (exemple : est-ce que l'ECG révèle un rythme sinusal ou une tachycardie ventriculaire ?).
- Apprentissage non supervisé : on extrait à partir d'une population des classes ou groupes d'individus ayant des caractéristiques communes non prédéfinies. La force de cette méthode est de découvrir certains liens ou "motifs cachés".
- *Machine learning* : sous-domaine de l'intelligence artificielle permettant aux machines d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmées pour.
- *Deep learning* : apparu avec le développement des puissantes cartes graphiques 3D (GPU), il utilise des couches de réseaux neuronaux artificiels cachés et complexes, avec différents niveaux d'abstraction, pour réaliser une tâche d'apprentissage représentationnel (supervisé et non supervisé) permettant de découvrir des liens ou motifs cachés.

Encadré 1.

fonctionnement biologique appelé "réseau neuronal convolutif" (en anglais, "*convolutional neural network*"). L'IA apprend et intègre ainsi en continu notre façon de travailler et celle d'autres experts sélectionnés à travers le monde, en trouvant parfois des liens et des "motifs cachés" qui nous avaient

Les applications actuelles de l'IA en cardiologie :

- L'ECG, où l'IA est utilisée pour détecter, en temps réel, les troubles du rythme chez les patients qui portent des holters ou d'autres dispositifs de surveillance, en particulier en ambulatoire ou en soins externes.
- La génétique, où l'IA est utilisée pour mieux définir les profils et les facteurs de risques pour les pathologies cardiaques, ainsi que la réponse aux traitements.
- L'échocardiographie, où l'IA est appliquée pour permettre aux opérateurs moins qualifiés de positionner correctement la sonde à ultrasons. Elle permet également de réaliser certains calculs fonctionnels complexes ou des modélisations.
- L'imagerie en coupe, le scanner et, surtout, l'IRM, où l'IA permet de gagner du temps et de l'efficacité sur certains posttraitements chronophages.

Encadré 2.

échappé, liens non exprimés dans les différentes modélisations tentées auparavant. Étant connecté et se servant de multiples serveurs à la fois, le *cloud computing* (encadré 1) augmente la puissance de l'IA, sa vitesse de calcul et l'étendue des paramètres qu'elle peut traiter. L'IA est ainsi capable de donner plus d'éléments objectifs et comparatifs au praticien presque en temps réel, lui libérant plus de temps médical, pour une réflexion éclairée auprès du patient, et ce à partir de données traitées de façon de plus en plus optimale. Ces arbres décisionnels pourront être mis à jour en tenant compte de l'état de l'art et des dernières recommandations des sociétés savantes. L'impact sera donc a priori positif sur la pénibilité du travail du praticien, sur le temps médical et décisionnel qu'il passera avec le patient, et probablement sur ses décisions et sur le pronostic du patient, avec un coût sans doute moindre étant donné que tout sera connecté, sans avoir à investir dans un parc informatique surpuissant. Il est important de préciser que ces algorithmes et logiciels n'apprennent pas d'eux-mêmes et requièrent le téléchargement de beaucoup de données ; ils doivent par ailleurs respecter les normes et réglementations européennes (CE) et de la *Food and Drug*

Summary

Cloud computing and AI will prove to be key technologies that allow health systems to better use healthcare resources, maximizing outcomes and minimizing waste. Using Big Data and advanced analytics, clinicians can quickly obtain accurate longitudinal measurements and gather other relevant data for each patient. Users can quickly compare data, leveraging real-world data to better inform clinical decisions. AI will become the radiologist's best assistant, at their fingertips anytime, anywhere, bringing physicians the information they need to make the most accurate and informed diagnosis, and ultimately reducing variability and subjectivity.

Keywords

Artificial Intelligence
Convolutional Neural Network
Big Data
Machine Learning
Deep Learning
Cloud computing

Administration (FDA) : dans le cadre d'une utilisation clinique, ils ne peuvent être mis en œuvre ou mis à jour sans une phase de validation et de contrôle qualité obligatoire.

La force de l'IA réside-t-elle seulement dans une amélioration de la productivité ?

En effet, le stockage de données complexes et lourdes en poids de mémoire, ou *"big data"*, et les capacités d'analyse et de traitement sur des serveurs informatiques distants, par l'intermédiaire d'Internet, permet de multiplier la puissance de calcul (*"cloud computing"*). Ceci peut réduire considérablement les coûts du service informatique de l'hôpital, d'une part, et, d'autre part, permettre l'automatisation de nombreuses mesures et calculs parfois compliqués et longs pour arriver plus rapidement à des résultats fiables et reproductibles. Ces bénéfices sont importants dans un système de santé où les coûts ne cessent d'augmenter. Mais la véritable valeur de l'IA et du *cloud* est ailleurs : l'amélioration sur le long terme de la qualité des soins prodigués aux patients. Grâce à l'IA, ces outils d'automatisation peuvent constituer une aide au diagnostic et au traitement, en veillant à ce que les évaluations des patients soient exactes et cohérentes.

Les craintes des médecins : IA versus cardiologue ?

Cette puissance de calcul et d'apprentissage tentaculaire engendre bien des fantasmes et des craintes chez les praticiens. L'évolution vers une médecine déshumanisée fonctionnant sur des algorithmes, la négligence du sens clinique et de l'intuition du praticien devant son patient, la surveillance continue de notre pratique, la dépendance à la "machine", et enfin le remplacement, tout simplement, du praticien par un "robot intelligent" sont les hantises et les craintes plus ou moins justifiées à l'égard de l'IA.

Deux ans d'expérience dans le domaine de l'IA

Deux ans d'expérience dans le domaine de l'IA nous ont permis de nous rendre compte que malgré l'ap-

port et le potentiel de celle-ci, le rôle du clinicien est vital pour le diagnostic et demeure beaucoup trop complexe pour être remplacé.

Nous ne sommes conscients que d'une partie de notre activité cérébrale et de notre puissance complexe d'analyse. L'intuition illogique, la créativité et la sérendipité dans notre démarche et notre réflexion sont autant d'éléments qui échappent à l'IA et qui ont pourtant été à l'origine des plus grandes découvertes scientifiques ou médicales. Ce sera toujours l'examen clinique, la relation patient-praticien qui permettront de s'orienter vers de nouvelles pistes.

Actuellement, l'IA nous offre un meilleur flux de travail, avec une analyse assez précise, comme si un interne averti nous avait préparé le travail. Éventuellement, quelques changements minimes seraient nécessaires de la part de l'expert, tout en sachant que les performances de la machine s'améliorent depuis 2 ans qu'on l'utilise : les données reproductibles deviennent plus précises pour les décisions, le tout avec moins de fatigue pour le praticien. In fine, on passera paradoxalement moins de temps derrière l'ordinateur et plus de temps médical avec le patient. Plus récemment, l'IA, appliquée à l'imagerie cardiaque, a commencé à nous donner accès en clinique courante à certains paramètres avancés qui étaient plutôt du domaine de la recherche, grâce à sa vitesse et à sa puissance de calcul.

Perspectives et évolutions de l'IA

Le suivi rigoureux et précis d'un cas complexe demande du temps et beaucoup d'éléments ; les cliniciens ne sont pas toujours en mesure de posséder tous ces éléments lorsqu'ils sont en face du patient, et donc de détecter assez tôt l'évolution d'une pathologie a priori stable. Grâce aux *big data* et aux outils d'analyse avancée, les cliniciens peuvent obtenir rapidement des mesures longitudinales précises et recueillir d'autres données pertinentes pour suivre, voire prédire, l'évolution de cas similaires.

Le réel avantage du *cloud*, des *big data* et de l'automatisation en médecine sera donc d'aider les médecins à orienter leur décision vers le meilleur parcours de soin possible pour leurs patients, plus rapidement, avec une plus grande certitude et un coût global probablement moins élevé.

Les études réalisées en dermatologie et en ophtalmologie comparant un panel d'experts à l'IA ont

montré surtout que le domaine biomédical est assez complexe et que la récupération de données biomédicales ne l'est pas moins. Or, un très grand nombre de données traitées doit être intégré dans le *cloud* avant que l'IA puisse s'y appliquer pour bénéficier de cette grande capacité de calcul. Ceci reste bien sûr un facteur limitant du développement rapide de l'IA en médecine.

Toutefois, en agrégeant les données et en créant un véritable pôle de connaissances à travers le monde, le *deep learning* permettra probablement d'identifier des cas similaires non suspectés, de mieux stratifier certains risques du patient, peut-être non encore étiquetés, et prédire la progression de la pathologie et la réponse au traitement. Cette faculté à gérer des quantités de données colossales en un temps record sur un *cloud* pourra aussi trouver son utilité dans la recherche et les études multicentriques.

Des études cliniques avec des cohortes de patients beaucoup plus importantes que celles possibles aujourd'hui pourront alors voir le jour.

Cette base de données croissante et accessible aidera les cliniciens à prendre des décisions informées sur les traitements les mieux adaptés à chaque patient. Elle aidera également à mieux identifier les patients à haut risque de non-réponse au traitement.

Le *cloud computing* et l'IA sont des technologies clés qui permettront aux institutions sanitaires de mieux gérer leurs ressources, afin d'optimiser leurs résultats et de minimiser le gaspillage. Aujourd'hui, il n'existe pas de système standardisé qui garantisse un suivi rigoureux des patients et qui soit capable de collecter suffisamment d'informations pour proposer des parcours de soin optimisés. Les technologies avancées d'IA basées sur le *cloud* peuvent résoudre ce problème. On peut s'attendre à des bénéfices économiques importants induits par une efficacité accrue et une collecte de données facilitée, limitant les pertes d'information.

Enfin, l'IA permettra aux cliniciens et aux chercheurs de tirer parti de toutes ces précieuses données dans le cadre de collaborations scientifiques à grande échelle, grâce à l'accessibilité des données et à la possibilité de les partager facilement. La multiplication des études multicentriques améliorera notre compréhension des pathologies et pourra changer la façon dont nous diagnostiquons et traitons les patients. L'imagerie cardiovasculaire étant aujourd'hui considérée comme un domaine complexe et chronophage, elle est déjà l'objet de convoitises de la part de différentes sociétés développant l'IA en cardiologie.

Le rôle du cardiologue du futur

Certes, la communauté médicale redoute l'arrivée de l'IA en médecine. Cependant, avec la complexification des pathologies, l'augmentation de la population et de la quantité de données concernant chaque individu, les médecins n'ont ni le temps ni la "bande passante" nécessaire pour recueillir et analyser les énormes quantités de données qu'ils pourraient exploiter pour mieux informer leurs décisions cliniques. La promesse de l'IA est de recueillir des informations génomiques clés, des biomarqueurs, des données de traitement et des informations d'imagerie multimodale, fournissant ainsi aux cliniciens une vision complète de leurs patients pour prendre des décisions de traitement en toute confiance. Et c'est bien sûr le médecin qui prend la décision finale.

En effet, la plupart des études publiées dans le domaine comparent les médecins aux algorithmes. Sans les opposer, la complémentarité et la collaboration apporteront de meilleurs résultats, en allégeant la pénibilité du travail d'analyse des dossiers, réduisant ainsi les erreurs commises au cours des tâches fastidieuses. L'IA pourra s'occuper de tâches chronophages telles que récupérer et gérer les données et les antécédents du patient provenant des différents et innombrables logiciels, mesurer, comparer et analyser. Les mises à jour du système garderont les connaissances du médecin "up to date", il pourra ainsi approfondir son expertise grâce à l'ensemble des renseignements délivrés par l'IA tout en gardant son instinct et sa créativité que l'IA ne pourra automatiser.

Le rôle du médecin évoluera donc vers un modèle plus centré sur le patient, avec plus de recul sur l'interprétation des résultats et pour l'imagination d'un parcours de soin adapté au patient.

L'IA ne remplacera pas le médecin : ils feront ensemble un couple idéal !

Ce mariage de raison peut être un peu forcé au départ, mais tout laisse penser qu'assez rapidement leur complémentarité améliorera l'efficacité et la qualité du soin aussi bien que de la recherche médicale. En effet, dans tous les domaines, et en particulier en médecine et en cardiologie, tout converge vers l'utilisation de l'IA. Étant donné l'étendue croissante des données à gérer en médecine et en cardiologie pour une prise

Référence bibliographique

1. Johnson KW, Torres Soto J, Glicksberg BS. Artificial intelligence in cardiology. *J Am Coll Cardiol* 2018;71(23):2668-79.

en charge optimale du patient, l'IA deviendra probablement le meilleur assistant des médecins, à portée de main, n'importe où et n'importe quand. Mais l'IA aura besoin du recul, de l'expérience, de la validation, de l'instinct et du sens créatif du médecin.

Les logiciels de posttraitement avancés permettront aux médecins d'être mieux informés et plus efficaces, et par conséquent de voir davantage de patients, d'identifier plus tôt les soins qui leur sont

adaptés et de consacrer plus de temps aux cas complexes. En un mot : d'avoir plus de temps médical. Rassurez-vous, ce n'est pas non plus pour tout de suite, même si ça va très vite ; on a un peu de temps pour s'adapter : développer et commercialiser les outils d'IA prend un temps et une énergie colossaux. ■

A. Azarine déclare faire partie du board medical de Arterys.

F. Beckers déclare être le fondateur et PDG de Arterys.