

MÉDECINE DU FUTUR ET DE LA TECHNOLOGIE

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, NOUVEAU SCALPEL DE LA MÉDECINE

2^{ÈME} PARTIE : APPLICATIONS MÉDICALES, DÉFIS ET PERSPECTIVES

KOLH PH (1, 2), BELLAVIA S (2)

RÉSUMÉ : Devenue incontournable dans les hôpitaux et les cabinets médicaux du monde entier, les systèmes d'intelligence artificielle (IA) assistent, désormais, les prestataires de soins en analysant des quantités massives de données médicales et proposent des diagnostics et des recommandations de traitement personnalisées. Mais au-delà de ces applications courantes, des initiatives plus audacieuses voient le jour. Les chercheurs explorent, par exemple, comment l'IA pourrait aider à prédire les épidémies ou à personnaliser les traitements en fonction du patrimoine génétique unique de chaque individu. Cependant, ces avancées ne sont pas sans défis. Des questions éthiques émergent, telles que la confidentialité des données ou encore la responsabilité morale des décisions prises par les algorithmes. Ces problématiques exigent une réflexion approfondie des acteurs du changement. Il est également crucial de ne pas perdre de vue l'aspect humain des soins de santé, en veillant à ce que l'IA complète plutôt qu'elle ne remplace la relation médecin-patient. En embrassant ces technologies avec prudence et responsabilité, nous pouvons contribuer à façonner un avenir où l'IA soutient les soins de santé de manière éthique, équitable et efficace, pour le bien-être de tous.

MOTS-CLÉS : *Intelligence artificielle - Innovation - Éthique - Applications médicales - Aide à la décision*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, THE NEW SCALPEL OF MEDICINE
PART II : MEDICAL APPLICATIONS, CHALLENGES, AND PERSPECTIVES

SUMMARY : A staple in hospitals and doctors' offices worldwide, artificial intelligence (AI) systems now assist healthcare providers by analyzing massive amounts of medical data and offering personalized diagnoses and treatment recommendations. But beyond these common applications, bolder initiatives are emerging. For example, researchers are exploring how AI could help predict epidemics or personalize treatments based on everyone's unique genetic characteristics. However, these advances are not without challenges. Ethical questions are emerging, such as data privacy and the moral responsibility for decisions made by algorithms. These issues require careful consideration from those involved in change. It is also crucial not to lose sight of the human aspect of healthcare, ensuring that AI complements rather than replaces the doctor-patient relationship. By embracing these technologies with caution and responsibility, we can help shape a future where AI supports healthcare ethically, equitably, and effectively, for the well-being of all.

KEYWORDS : *Artificial Intelligence - Innovation - Ethic - Medical applications - Decision support*

INTRODUCTION

L'intelligence artificielle (IA) s'est imposée comme une force transformatrice dans le domaine des soins de santé, avec le potentiel de révolutionner de nombreux aspects de la pratique médicale (1). Nous avons rappelé, dans un premier article, quelques définitions et concepts clé relatifs à l'IA ainsi que dressé un aperçu historique du développement de l'IA au cours des dernières décennies (2).

Ce second article vise à explorer l'impact multifactoriel de l'IA dans les soins de santé, en approfondissant ses diverses applications, de l'amélioration du diagnostic des maladies à l'optimisation des stratégies thérapeutiques. Il

examine, en outre, les avantages et les défis associés à l'intégration de ces technologies de pointe, ainsi que les considérations éthiques qui doivent être abordées à mesure que ce domaine progresse.

APPLICATIONS DE L'IA EN MÉDECINE

DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT

Les systèmes alimentés par l'IA ont démontré des capacités remarquables pour aider les professionnels de santé dans le diagnostic et le traitement de diverses affections médicales. Ces systèmes peuvent analyser un large éventail de données de patients, notamment des images médicales, des résultats de laboratoire et des dossiers de santé électroniques, afin d'identifier des motifs complexes et de fournir des informations précieuses qui peuvent considérablement aider à la détection précoce des maladies, orienter les décisions de traitement

(1) Département des Sciences Biomédicales et Précliniques & GIGA Cardio-Vascular Sciences, ULiège, Belgique.

(2) Département de la Gestion du Système d'Information, CHU Liège, Belgique.

personnalisé et permettre le développement de plans de soins sur mesure pour chaque patient.

En tirant parti de la puissance de l'IA, les fournisseurs de soins de santé peuvent améliorer la précision et l'efficacité de leur processus de prise de décision clinique, avec de meilleurs résultats pour les patients et une prestation de soins plus efficace.

EXEMPLE

Un exemple concret d'application de l'IA en médecine est l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique pour prédire le risque de sepsis chez les patients hospitalisés. Un diagnostic et un traitement précoces du sepsis, pouvant provoquer une défaillance multi-organe et le décès, sont essentiels pour améliorer les chances de survie des patients. Des systèmes d'IA peuvent être entraînés sur de grandes quantités de données de patients (constantes vitales, résultats de laboratoire, antécédents médicaux, etc.) pour identifier des schémas prédictifs du sepsis (3-5). Le système d'IA analyse en continu les données des patients hospitalisés. Lorsqu'il détecte un schéma suggérant un risque élevé de sepsis, il alerte le personnel médical. Cela permet aux médecins d'intervenir rapidement et d'administrer un traitement approprié, avant même que les symptômes du sepsis ne se manifestent pleinement.

La **Figure 1** illustre les corrélations des caractéristiques pour les cohortes avec et sans sepsis (6).

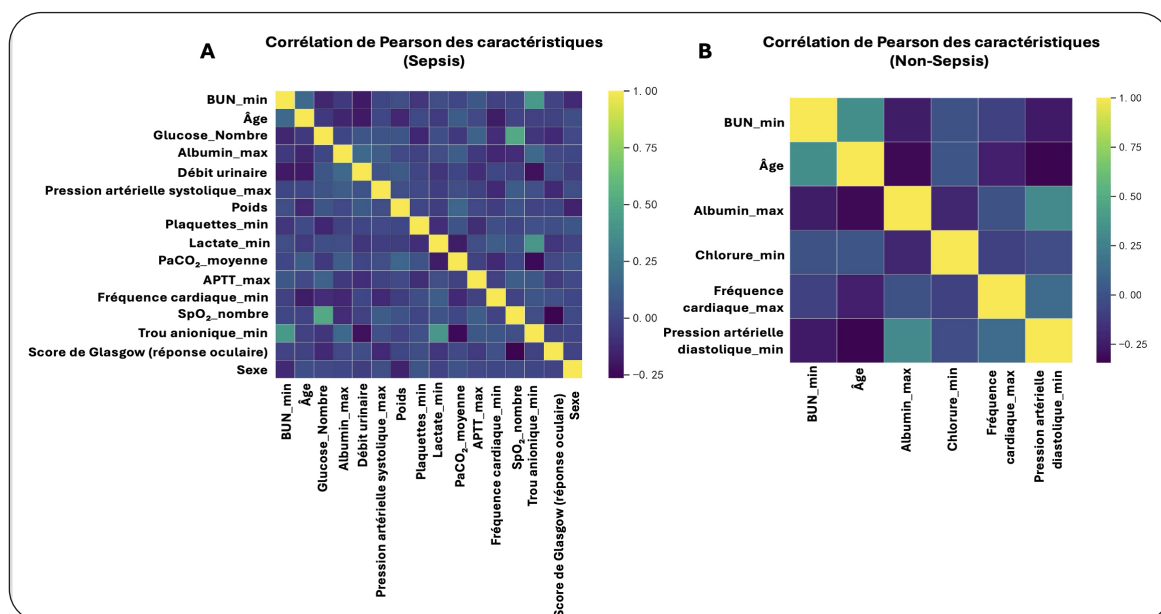
AVANTAGES

- **Détection précoce** : l'IA permet d'identifier les patients à risque de sepsis plus précocement que les méthodes traditionnelles, améliorant la prise en charge.
- **Surveillance continue** : le système d'IA peut surveiller en permanence les données des patients, ce qui est difficilement réalisable pour le personnel médical.
- **Réduction de la mortalité** : une intervention précoce grâce à l'IA peut réduire significativement la mortalité liée au sepsis.
- **Optimisation des ressources** : l'IA peut aider à identifier les patients qui nécessitent une attention immédiate, permettant une meilleure allocation des ressources médicales.

AUTRES EXEMPLES

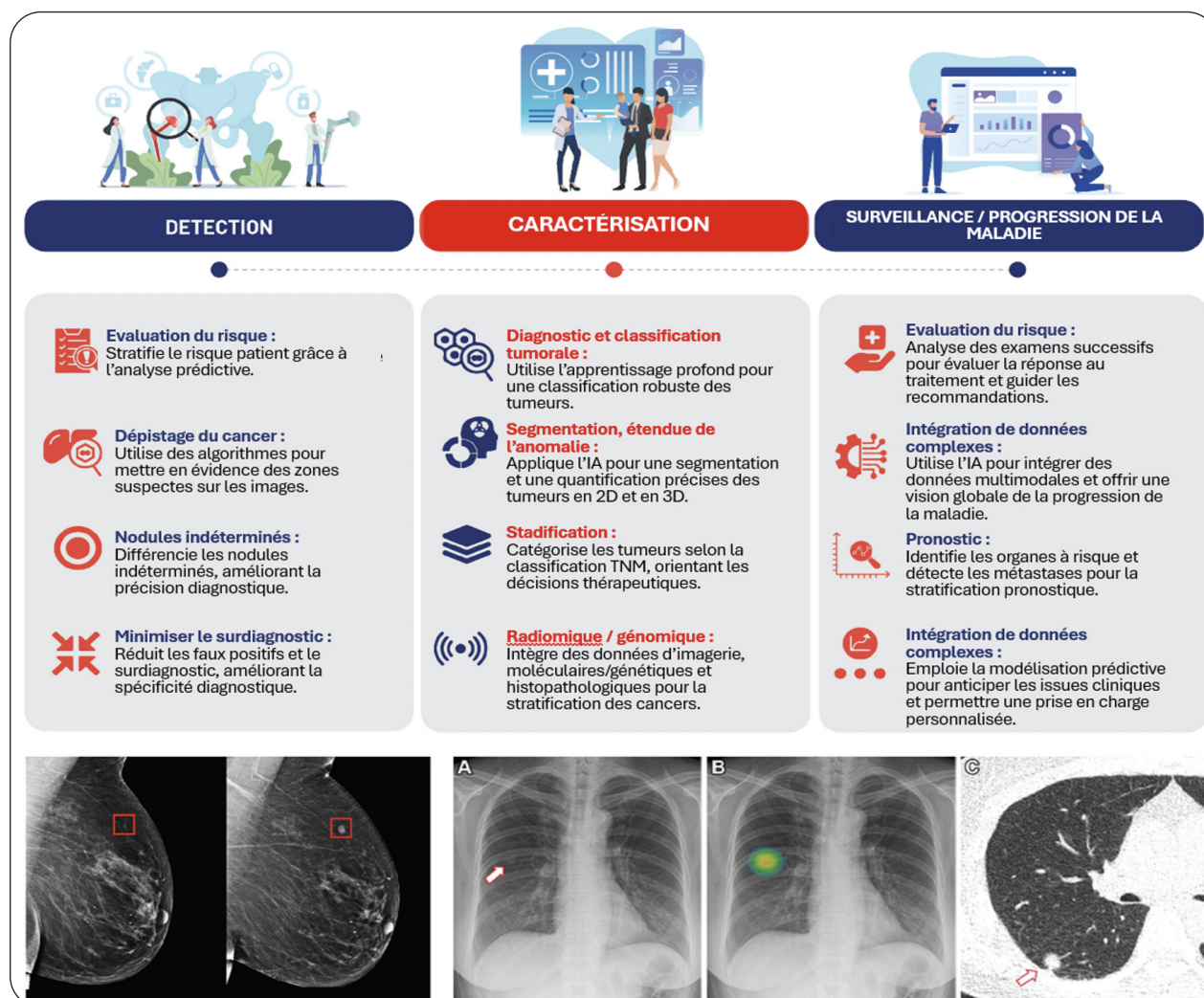
- **Prédiction de la réponse aux traitements** : l'IA peut aider à prédire l'efficacité de différents traitements pour un patient donné, selon ses caractéristiques individuelles (7, 8).
- **Développement de nouveaux médicaments** : l'IA est utilisée pour accélérer la découverte et le développement de nouveaux médicaments,

Figure 1. Corrélation de Pearson des caractéristiques pour les cohortes avec et sans sepsis
Adapté de (6)



(A) Coefficients de corrélation de Pearson entre toutes les caractéristiques chez les patients atteints de sepsis. (B) Coefficients de corrélation de Pearson entre les caractéristiques sélectionnées chez les patients sans sepsis.

L'échelle de couleur indique la force de la corrélation, de -0,25 à 1,00.

Figure 2. Applications de l'apprentissage automatique en imagerie oncologique. Adapté de (12)

en analysant de grandes quantités de données biomédicales.

- **Analyse de données génomiques :** l'IA peut aider à identifier des mutations génétiques associées à des maladies et à développer des thérapies géniques personnalisées (9, 10).

- **Assistance à la prise de décision clinique :** l'IA peut fournir aux médecins des informations pertinentes et des recommandations pour les aider à prendre des décisions éclairées (11).

IMAGERIE MÉDICALE

Les algorithmes d'analyse d'images basés sur l'IA ont démontré des capacités remarquables pour améliorer l'interprétation et l'analyse d'un large éventail de données d'imagerie médicale.

Ces technologies peuvent automatiser la détection, la classification et la quantification de

diverses anomalies et caractéristiques pathologiques dans les images médicales. Cette automatisation permet non seulement d'aider les professionnels de santé à poser des diagnostics plus précis et cohérents, mais aussi des délais de traitement plus rapides, une reproductibilité accrue et la possibilité d'identifier des motifs subtils que l'œil humain pourrait avoir du mal à détecter.

Ainsi, l'intégration de l'analyse d'images pilotée par l'IA dans les *workflows* cliniques peut conduire à de meilleurs résultats pour les patients grâce à une détection plus précoce des maladies, une planification des traitements plus personnalisée et un meilleur suivi de l'évolution de la maladie ou de la réponse aux traitements.

La Figure 2 illustre les applications de l'apprentissage automatique en imagerie oncologique (12).

EXEMPLE

La rétinopathie diabétique est une complication grave du diabète qui peut entraîner la cécité si elle n'est pas diagnostiquée et traitée à temps. Le diagnostic traditionnel repose sur l'examen du fond d'œil par un ophtalmologiste, ce qui peut être coûteux et difficile d'accès pour certains patients.

Des systèmes d'IA ont été développés pour analyser des images de la rétine et détecter automatiquement les signes de rétinopathie diabétique (13-15). Ces systèmes sont entraînés sur de vastes ensembles de données d'images étiquetées par des experts, leur permettant d'apprendre à identifier les anomalies caractéristiques de la maladie. La photographie du fond d'œil est analysée par le système d'IA, qui identifie les zones suspectes et fournit un diagnostic probabiliste. Si la probabilité de rétinopathie diabétique est élevée, le patient est orienté vers un ophtalmologiste pour un examen plus approfondi et une confirmation du diagnostic.

AVANTAGES

- **Détection précoce** : l'IA permet de détecter la rétinopathie diabétique à un stade précoce, même avant l'apparition de symptômes (16, 17).
- **Accessibilité accrue** : le système d'IA peut être déployé dans des environnements où l'accès à un ophtalmologiste est limité, permettant un dépistage plus large de la population (18).
- **Efficacité et rapidité** : l'analyse des images par l'IA est beaucoup plus rapide que l'examen manuel par un spécialiste, ce qui permet de traiter un plus grand nombre de patients.
- **Amélioration de la précision** : dans certains contextes contrôlés, l'IA a montré des performances comparables ou supérieures à celles des experts humains, bien que ces résultats dépendent fortement de la qualité des données et des protocoles de validation (14, 19).

GÉNÉRATION DE DONNÉES SYNTHÉTIQUES

Les techniques de génération de données pilotées par l'IA peuvent être utilisées pour créer des données de patients synthétiques qui peuvent servir à entraîner des modèles d'apprentissage automatique et à compléter les ensembles de données du monde réel, par nature limités (20).

Cette approche est particulièrement précieuse dans le domaine de la santé où les préoccupations en matière de confidentialité des données et la rareté des grands ensembles de données diversifiées peuvent poser des défis pour le développement de modèles d'IA solides.

La génération de données de patients synthétiques permet de créer des ensembles de données réalistes mais anonymisés, qui peuvent être utilisés pour entraîner des modèles d'IA sans compromettre la vie privée des patients. En complétant les données du monde réel par ces échantillons synthétiques, les chercheurs et les développeurs peuvent construire des ensembles de données plus complets et représentatifs, conduisant au développement de systèmes d'IA mieux équipés pour gérer les complexités et les variations inhérentes aux données médicales.

Cette approche permet non seulement de résoudre le problème de la rareté des données, mais aussi d'explorer les populations de patients rares ou sous-représentées, améliorant davantage l'inclusivité et la généralisation de modèles d'IA plus réalistes et représentatifs.

EXEMPLE

Génération d'images synthétiques de tumeurs cérébrales pédiatriques.

Pour répondre au défi posé par la rareté des données cliniques, des chercheurs ont utilisé des réseaux antagonistes génératifs (GANs) afin de créer des images synthétiques de gliomes de bas grade pédiatriques. Une étude récente a démontré la faisabilité de cette approche en générant des régions tumorales 3D réalistes à partir d'IRM cérébrales, permettant ainsi d'augmenter artificiellement la taille des ensembles d'entraînement pour des algorithmes de détection automatique. Les modèles d'IA entraînés sur ces données synthétiques ont montré une capacité améliorée à généraliser leurs prédictions, tout en préservant la confidentialité des patients. Cette méthode a été validée expérimentalement et publiée dans une revue scientifique indexée, illustrant son potentiel pour surmonter les limitations des données réelles en imagerie médicale (21).

RECHERCHE PHARMACEUTIQUE

L'IA transforme également le processus de découverte et de développement de médicaments. Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être utilisés pour analyser de vastes quantités de données chimiques, pharmaceutiques et biologiques, afin d'identifier de nouvelles cibles thérapeutiques potentielles, de faire des prédictions sur l'efficacité et la toxicité des médicaments candidats. Cela permet d'accélérer les phases de test et d'approbation du processus de développement de médicaments (22, 23).

En exploitant les capacités de l'IA pour identifier des motifs complexes dans ces ensembles de données massifs, les chercheurs peuvent explorer un nombre beaucoup plus important de composés et de voies biologiques, ce qui permet de générer de nouvelles hypothèses et d'orienter les efforts de recherche de manière plus efficace. L'application de l'IA à la recherche et au développement pharmaceutiques peut ainsi conduire à des cycles de développement de médicaments plus rapides, plus rentables et plus productifs, offrant de meilleures options thérapeutiques aux patients (24).

La **Figure 3** illustre les méthodes d'apprentissage automatique utilisées pour analyser un anticorps thérapeutique (25).

EXEMPLE

Des chercheurs ont utilisé l'IA pour identifier une molécule candidate pour le traitement de la maladie d'Alzheimer qui cible une protéine spécifique impliquée dans la formation des plaques amyloïdes. Cette molécule, qui a montré des résultats prometteurs dans des études

précliniques, est en cours d'évaluation dans des essais cliniques. L'utilisation de l'IA dans ce cas a permis d'accélérer le processus de découverte et de développement de cette molécule.

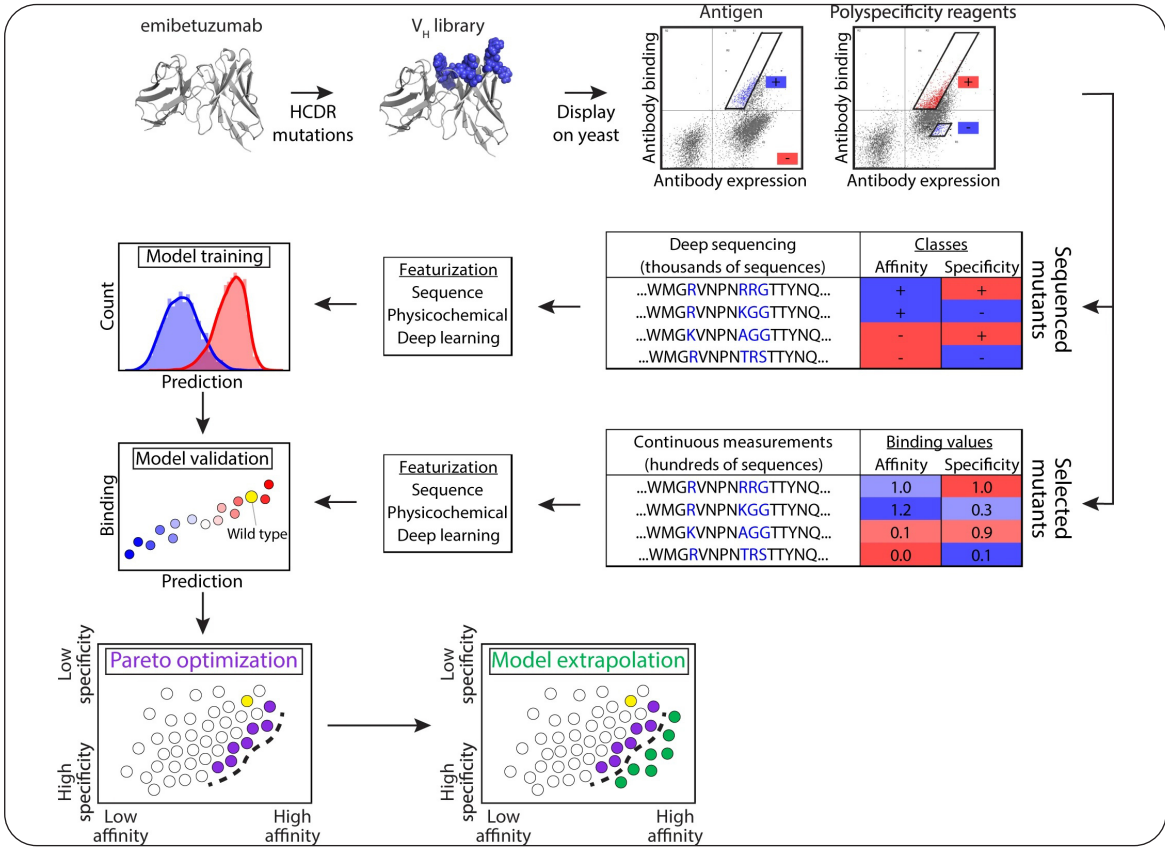
Cependant, il est important de noter que la validation scientifique est un processus continu. Les résultats prometteurs obtenus grâce à l'IA doivent être confirmés par des études cliniques rigoureuses avant de pouvoir être traduits en traitements efficaces pour les patients. De plus, l'IA en recherche pharmaceutique est un domaine relativement nouveau, et les meilleures pratiques sont encore en cours d'élaboration.

GESTION HOSPITALIÈRE

Les systèmes alimentés par l'IA peuvent aider les établissements de santé à optimiser divers aspects de leurs opérations, notamment la gestion du flux des patients, l'allocation des ressources et la logistique de la chaîne d'approvisionnement.

En tirant parti de l'analyse prédictive et de l'automatisation, ces technologies peuvent

Figure 3. Méthodes d'apprentissage automatique utilisées pour analyser un anticorps thérapeutique (25)



Reproduite avec la permission de Makowski EK et coll. (25).

contribuer à améliorer l'efficacité, à réduire les coûts opérationnels et à améliorer la qualité globale des soins dispensés aux patients. Cela peut impliquer l'optimisation des plannings du personnel, la rationalisation des achats et de la distribution des fournitures médicales, ainsi que l'amélioration du débit des patients et des temps d'attente, contribuant ainsi à un système de santé plus efficace et centré sur le patient.

EXEMPLE

Un exemple de l'utilisation de l'IA pour la gestion hospitalière est l'optimisation de la gestion des lits (26, 27). La gestion des lits d'hôpital est un défi complexe. Il faut s'assurer que les patients soient admis dans les unités appropriées, minimiser les temps d'attente et optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Une gestion non-optimale des lits peut entraîner des retards dans les soins, une augmentation des coûts et une diminution de la satisfaction des patients. Des systèmes d'IA peuvent être utilisés pour prédire la durée de séjour des patients, anticiper les besoins en lits et optimiser l'affectation des patients aux lits disponibles (28). Ces systèmes utilisent des algorithmes d'apprentissage automatique entraînés sur des données historiques de l'hôpital, telles que les diagnostics, les traitements, les durées de séjour et les transferts entre unités.

AVANTAGES POTENTIELS

- **Réduction des temps d'attente** : réduction des temps d'attente pour les patients admis aux urgences ainsi que pour ceux qui attendent un transfert vers une autre unité.
- **Augmentation du taux d'occupation des lits** : optimisation de l'utilisation des lits disponibles, augmentant le taux d'occupation et la capacité d'accueil de l'hôpital.
- **Amélioration de la satisfaction des patients** : une meilleure gestion des lits se traduit par une expérience plus positive pour les patients.
- **Réduction des coûts** : l'optimisation de l'utilisation des ressources permet de réduire les coûts opérationnels de l'hôpital.

DÉFIS ET LIMITES DE L'IA

BIAIS ET DISCRIMINATION

Comme toute technologie, les systèmes d'IA peuvent involontairement perpétuer ou même amplifier les biais qui pourraient être présents dans les données d'entraînement ou les algo-

rithmes utilisés pour les développer. Il s'agit d'une préoccupation critique qui nécessite une réflexion approfondie et des stratégies d'atténuation pour s'assurer que les processus décisionnels médicaux basés sur l'IA soient conçus et mis en œuvre de manière juste, équitable et inclusive.

Une attention particulière doit être accordée pour réduire le potentiel de discrimination et de dommages involontaires aux populations de patients vulnérables, telles que les minorités raciales/ethniques, les personnes âgées, les personnes handicapées ou celles issues de milieux socio-économiques défavorisés.

Des mesures proactives, notamment des tests approfondis de biais, la constitution de jeux de données diversifiés et l'intégration de principes éthiques dans le développement des systèmes d'IA peuvent aider à relever ces défis et à promouvoir une utilisation responsable et équitable des technologies d'IA dans le domaine de la santé.

CONFIDENTIALITÉ ET SÉCURITÉ DES DONNÉES

La nature sensible et confidentielle des données médicales nécessite la mise en place de cadres de gouvernance des données robustes et de mesures de sécurité complètes pour protéger la vie privée des patients et prévenir tout accès non autorisé, mauvaise utilisation ou exploitation de ces informations critiques.

Des protocoles de confidentialité des données, des techniques de cryptage et des contrôles d'accès solides doivent être en place pour préserver l'intégrité et la confidentialité des données des patients. Ces démarches sont essentielles afin que les fournisseurs de soins de santé et les systèmes puissent collecter, stocker et utiliser ces informations sensibles de manière sécurisée pour offrir des soins de haute qualité et personnalisés, tout en respectant pleinement les droits à la vie privée des patients.

Cela implique de se conformer à des réglementations strictes en matière de protection des données, comme le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) et la loi américaine sur la portabilité et la responsabilité en matière d'assurance maladie, qui exigent la mise en place de mesures de sécurité rigoureuses et la gestion responsable des informations sensibles des patients (29, 30).

DÉPENDANCE TECHNOLOGIQUE

L'évolution des technologies alimentées par l'IA dans le domaine de la santé peut conduire à une dépendance grandissante à ces systèmes,

soulevant des préoccupations quant aux risques de pannes de système, de cyberattaques ou de dysfonctionnements imprévus susceptibles de perturber les soins aux patients.

Alors que les organisations de soins de santé deviennent de plus en plus dépendantes des technologies basées sur l'IA pour des fonctions critiques telles que le diagnostic, la planification du traitement et l'allocation des ressources, il est essentiel de mettre en place des plans de contingence solides et des systèmes de sauvegarde pour assurer la continuité des soins en cas de perturbations ou de défaillances du système.

En outre, les prestataires de soins de santé doivent être formés pour naviguer et interpréter efficacement les résultats des systèmes d'IA, tout en maintenant leur expertise clinique et leurs capacités de prise de décision comme une sauvegarde contre une trop grande dépendance à la technologie.

DÉFIS ÉTHIQUES ET JURIDIQUES

L'intégration de l'IA en médecine soulève une multitude de considérations éthiques et juridiques qui doivent être soigneusement étudiées et évaluées. Cela inclut des questions de responsabilité pour les décisions prises par l'IA qui peuvent avoir des implications importantes pour les prestataires de soins de santé, les patients et le système médical dans son ensemble (31).

En Europe, le RGPD impose des exigences strictes en matière de protection des données personnelles, y compris les données de santé. Les systèmes d'IA doivent se conformer à ces règles pour garantir la confidentialité et la sécurité des informations des patients. Aux États-Unis, la Food and Drug Administration (FDA) régule les dispositifs médicaux basés sur l'IA. Les technologies d'IA doivent passer par des processus rigoureux de validation et d'approbation pour garantir leur sécurité et leur efficacité avant d'être mises sur le marché. De nombreux autres pays, comme le Japon et la Chine, ont également mis en place des cadres réglementaires spécifiques pour superviser le développement et l'utilisation des technologies d'IA dans le secteur de la santé.

Il est essentiel que les systèmes d'IA soient transparents et explicables. Les professionnels de santé et les patients doivent comprendre comment les décisions sont prises par les algorithmes d'IA. Cela nécessite des politiques qui encouragent le développement de modèles d'IA interprétables. De plus, il est crucial d'établir des normes claires pour l'évaluation et la validation des technologies d'IA. Des critères de

performance et des protocoles de test rigoureux doivent être établis pour garantir que les systèmes d'IA soient sûrs et efficaces. Les législateurs doivent également clarifier les responsabilités en cas d'erreurs ou de défaillances des systèmes d'IA, incluant la définition des responsabilités des développeurs, des fournisseurs de soins de santé et des utilisateurs finaux (32).

Enfin, la formation continue des professionnels de santé sur l'utilisation des technologies d'IA doit être promue. Cela inclut des programmes de sensibilisation pour informer les patients sur les avantages et les risques associés à l'IA en médecine.

PERSPECTIVES ET DIRECTIONS FUTURES

INTÉGRATION DE L'IA DANS LES SYSTÈMES DE SANTÉ

Alors que les technologies basées sur l'IA continuent d'évoluer, leur intégration transparente dans les systèmes de santé existants sera cruciale pour assurer leur déploiement efficace et responsable. Cela nécessitera une étroite collaboration entre les fournisseurs de soins de santé, les développeurs d'IA et les décideurs politiques afin d'établir des directives claires, des normes et des cadres de gouvernance.

Ces efforts de collaboration devraient se concentrer sur l'élaboration de stratégies globales pour l'intégration de l'IA dans les soins de santé, en abordant les considérations techniques, réglementaires et éthiques. Cela comprend l'établissement de directives claires pour la validation et la certification des technologies médicales alimentées par l'IA, ainsi que la définition de normes pour le partage des données, la protection de la vie privée et la transparence algorithmique.

Les décideurs politiques et les organismes de réglementation doivent travailler en étroite collaboration avec les acteurs de l'industrie pour créer un cadre solide et adaptable qui puisse suivre le rythme des progrès rapides de l'IA et assurer son application responsable et bénéfique dans le secteur de la santé.

FORMATION ET ÉDUCATION

L'adoption réussie des technologies d'IA en médecine dépend, en grande partie, de la formation et de l'éducation des professionnels de santé. Il est important que ces professionnels

soient bien préparés pour utiliser ces nouvelles technologies de manière efficace et éthique (33).

Les programmes de formation médicale doivent intégrer des cours sur l'IA et ses applications en médecine. Cela inclut des modules sur les principes de base de l'IA, les algorithmes d'apprentissage automatique et les applications cliniques spécifiques.

Outre la formation initiale, les professionnels de santé doivent avoir accès à des programmes de formation continue pour se tenir à jour avec les dernières avancées en matière d'IA. Cela peut inclure des ateliers, des séminaires et des cours en ligne. L'utilisation de simulations et de pratiques supervisées peut aider les professionnels de santé à se familiariser avec les technologies d'IA. En particulier, les environnements de simulation permettent de tester et d'affiner les compétences sans risquer la sécurité des patients.

Cependant, plusieurs défis sont associés à la formation des professionnels de santé à l'utilisation de l'IA. Certains professionnels peuvent être réticents à adopter de nouvelles technologies. Il est important de surmonter cette résistance par des programmes de sensibilisation et de démonstration des avantages de l'IA. La complexité des technologies d'IA peut également représenter un obstacle à leur adoption. Les programmes de formation doivent simplifier ces concepts et les rendre accessibles à tous les professionnels de santé, quel que soit leur niveau de compétence technologique. Les établissements de santé peuvent avoir des ressources limitées pour investir dans la formation et l'éducation. Il est essentiel de développer des solutions de formation rentables et accessibles, telles que des cours en ligne et des ressources éducatives gratuites.

Enfin, la formation doit également aborder les aspects éthiques de l'utilisation de l'IA en médecine. Les professionnels de santé doivent être formés à identifier et à gérer les biais algorithmiques, à garantir la confidentialité des données et à maintenir une relation de confiance avec les patients. En abordant ces aspects, les professionnels de santé seront mieux préparés à intégrer les technologies d'IA dans leur pratique quotidienne, améliorant ainsi la qualité des soins et les résultats pour les patients (13).

PROGRÈS DES MODÈLES ET ALGORITHMES D'IA

Les efforts de recherche et de développement en cours se concentrent sur l'amélioration de la précision, de la fiabilité et de la robustesse des modèles d'IA utilisés dans les applications de santé.

En relevant des défis tels que la rareté des données, l'interprétabilité des modèles et la conformité réglementaire, ces progrès permettront une adoption plus répandue de l'IA dans divers domaines médicaux. Plus précisément, les chercheurs travaillent à développer des modèles d'IA capables d'être précis et cohérents, même avec des données d'entraînement limitées, offrant ainsi une plus grande flexibilité et applicabilité dans des contextes de soins de santé diversifiés.

Des efforts sont également en cours pour améliorer la transparence et l'interprétabilité de ces systèmes d'IA, permettant ainsi aux professionnels de santé de mieux comprendre le raisonnement derrière les recommandations et les décisions des modèles. Ceci est essentiel pour établir la confiance et assurer un déploiement responsable des technologies d'IA dans la pratique clinique.

En outre, les chercheurs collaborent avec les organismes de réglementation pour établir des lignes directrices et des normes claires pour la validation, la certification et la mise en œuvre de solutions médicales alimentées par l'IA, facilitant ainsi leur intégration sûre et efficace dans les systèmes de santé.

Cette intégration nécessitera une approche multidisciplinaire, impliquant une étroite collaboration entre les professionnels de la santé, les informaticiens, les éthiciens, les décideurs politiques et d'autres parties prenantes pertinentes (34, 35). En favorisant cette collaboration interdisciplinaire, l'industrie des soins de santé pourra naviguer dans le paysage complexe des technologies alimentées par l'IA et assurer leur intégration responsable et bénéfique dans les soins aux patients (31, 36).

CONCLUSION

Au cours des dernières années, l'IA a connu des progrès remarquables, ouvrant des perspectives significatives pour le secteur des soins de santé (15, 37). Elle a démontré un potentiel impressionnant pour aider les professionnels de santé dans le diagnostic et le traitement de diverses affections médicales (14). En analysant les données des patients, les images médicales et les résultats de laboratoire, ces systèmes identifient les tendances et fournissent des informations essentielles pour la détection précoce, la prise de décision thérapeutique et les soins personnalisés (3).

L'imagerie médicale est un domaine où l'IA excelle particulièrement. Les algorithmes

d'analyse d'images automatisés simplifient la détection et la classification des anomalies, améliorant ainsi la précision et la cohérence des diagnostics (18).

En outre, la technologie de l'IA peut créer des données synthétiques de patients, répondant ainsi au manque de jeux de données du monde réel et aux préoccupations en matière de confidentialité et permettant l'entraînement de modèles d'apprentissage automatique plus robustes et fiables pour les applications de santé.

L'IA révolutionne également la découverte et le développement de nouveaux médicaments. En analysant de vastes quantités de données chimiques et biologiques, les algorithmes d'apprentissage automatique identifient les candidats médicamenteux prometteurs et optimisent les phases de conception et de test, accélérant ainsi la disponibilité de nouvelles thérapies (38). Dans le domaine de la gestion hospitalière, l'IA optimise le flux des patients, l'allocation des ressources et la logistique, améliorant l'efficacité, réduisant les coûts et renforçant la qualité des soins (26).

L'intégration de l'IA dans les soins de santé soulève cependant des défis. L'équité, l'impartialité et l'inclusivité dans les processus de prise de décision basés sur l'IA sont essentielles pour prévenir la discrimination.

La réussite de l'intégration de l'IA dans les soins de santé nécessite une formation complète pour les prestataires de soins de santé à tous les niveaux. Il est essentiel que ceux-ci comprennent les capacités et les limites de l'IA, ainsi que la manière d'interpréter et d'utiliser les informations générées par l'IA dans la prise de décision clinique (16). La formation doit porter non seulement sur les aspects techniques de l'IA, mais aussi sur les implications éthiques, juridiques et sociales de son utilisation. Une main-d'œuvre compétente en matière d'IA permettra d'optimiser les avantages de ces technologies tout en atténuant les risques. La formation continue et l'adaptation aux nouvelles avancées en matière d'IA sont également cruciales pour maintenir la pertinence des compétences et garantir des soins de haute qualité.

Du point de vue législatif, la protection des données médicales sensibles nécessite des mesures de sécurité solides pour garantir la confidentialité des patients (17). La dépendance technologique, les défaillances des systèmes et l'impact sur la relation patient-soignant sont également des sujets de préoccupation à aborder (19).

Malgré ces défis, le potentiel de l'IA dans les soins de santé est immense. Son évolution continue et son intégration croissante promettent de transformer en profondeur la prestation des soins, d'améliorer de manière significative les résultats pour les patients et d'accroître considérablement l'efficacité des systèmes de santé. À mesure que la technologie de l'IA continuera à progresser, elle jouera un rôle de plus en plus essentiel dans la transformation des soins de santé, révolutionnant fondamentalement la façon dont les professionnels médicaux diagnostiquent, traitent et gèrent les soins apportés aux patients.

BIBLIOGRAPHIE

1. Davenport TH, Glaser J. Factors governing the adoption of artificial intelligence in healthcare providers. *Discover Health Syst* 2022;1:4.
2. Kolh P, Bellavia S. Médecine du futur et de la technologie : L'intelligence artificielle, nouveau scalpel de la médecine. 1^{ère} partie : Définitions, concepts clé et aperçu historique. *Rev Med Liege* 2025;80:671-5.
3. Loh HW, Ooi CP, Seoni S, et al. Application of explainable artificial intelligence for healthcare: A systematic review of the last decade (2011–2022). *Comput Methods Programs Biomed* 2022;226:107161.
4. Giuste F, Shi W, Zhu Y, et al. Explainable artificial intelligence methods in combating pandemics: A Systematic Review. *IEEE Rev Biomed Eng* 2023;16:5-21.
5. Tanna A. Reliable, valuable and clinically useful AI. *LinkedIn Articles* 2023. Available from: <https://www.linkedin.com/pulse/reliable-valuable-clinically-useful-ai-amit-tanna>.
6. Jiang Z, Bo L, Xu Z, et al. An explainable machine learning algorithm for risk factor analysis of in-hospital mortality in sepsis survivors with ICU readmission. *Comput Methods Programs Biomed* 2021;204:106040.
7. Azuaje F. Artificial intelligence for precision oncology: beyond patient stratification. *NPJ Precis Oncol* 2019;3:6.
8. Rösler W, Altenbuchinger M, Baeßler B, et al. An overview and a roadmap for artificial intelligence in hematology and oncology. *J Cancer Res Clin Oncol* 2023;149:7997-8014.
9. Álvarez-Machancoses Ó, De la Vega JF, Fernández-Martínez JL, et al. On the role of artificial intelligence in genomics to enhance precision medicine. *Pharmgenomics Pers Med* 2020;13:105-19.
10. Parekh AD, Shaikh OA, Simran S, et al. Artificial intelligence (AI) in personalized medicine: AI-generated personalized therapy regimens based on genetic and medical history: short communication. *Ann Med Surg (Lond)* 2023;85:5831-3.
11. Wang L, Chen X, Zhang L, et al. Artificial intelligence in clinical decision support systems for oncology. *Int J Med Sci* 2022;20:79-85.
12. Najjar R. Redefining radiology: a review of artificial intelligence integration in medical imaging. *Diagnostics (Basel)* 2023;13:2760.
13. Matuchansky C. Intelligence clinique et intelligence artificielle. *Med Sci (Paris)* 2019;35:797-800.
14. Kumar Y, Koul A, Singla R, Ijaz MF. Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *J Ambient Intell Humaniz Comput* 2023;14:8459-87.
15. Briganti G, Moine OL. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. *Front Med* 2020;7:27.

16. Gévaudan C. Médecine du futur : avec l'IA, l'algorithme sous la peau. Libération 2023. Disponible sur : https://www.libération.fr/forums/medecine-du-futur-avec-lia-lalgorithme-sous-la-peau-20221209_FPB5HHHRMNFDFPKUZUWEATNISI/.
17. Deluzarche C. Santé et intelligence artificielle: quelle révolution nous attend ? Futura Sciences 2021. Disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/sante/questions-reponses/corps-humain-sante-intelligence-artificielle-revolution-nous-attend-14432/>.
18. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, et al. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer* 2018;**18**:500-10.
19. Alami H, Lehoux P, Auclair Y, et al. Artificial intelligence and health technology assessment: anticipating a new level of complexity. *J Med Internet Res* 2020;**22**:e17707.
20. Chaix B. Impact de l'intelligence artificielle dans la recherche clinique et la collecte de données en vie réelle. *Actual Pharm* 2018;**57**:22-5.
21. Zhou M, Wagner MW, Tabori U, et al. Generating 3D brain tumor regions in MRI using vector-quantization Generative Adversarial Networks. *Comput Biol Med* 2025;**185**:109502.
22. Kapetanović IM. Overview of current drug discovery and development with an eye towards the future. In: *Drug Discovery*. InTechOpen; 2011. Available from: <https://www.intechopen.com/books/671>.
23. Gal J, Milano G, Bailleux C, al. Optimisation du processus de développement d'un nouveau médicament par modélisation et simulation: état des lieux et enjeux. *EMC* 2016;**64**:1-9.
24. Vora LK, Gholap AD, Jetha K, et al. Artificial intelligence in pharmaceutical technology and drug delivery design. *Pharmaceutics* 2023;**15**:1916.
25. Makowski EK, Kinnunen PC, Huang J, et al. Co-optimization of therapeutic antibody affinity and specificity using machine learning models that generalize to novel mutational space. *Nat Commun* 2022;**13**:3788.
26. Arnaud E, Elbattah M, Ammirati C, et al. Use of artificial intelligence to manage patient flow in emergency department during the COVID-19 pandemic: a prospective, single-center study. *Int J Environ Res Public Health* 2022;**19**:9667.
27. Omarov B, Abdrakhmanov R, Koishiyeva T, et al. Smart hospital: automation of business processes in medical centers. *J Health Med Informat* 2021;**11**:106-11.
28. Varnosfaderani SM, Forouzanfar M. The role of AI in hospitals and clinics: transforming healthcare in the 21st Century. *Bioengineering (Basel)* 2024;**11**:337.
29. Koeppe D. Towards guidelines for medical professionals to ensure cybersecurity in digital health care. In: Christen M, Gordijn B, Loi M, editors. *The ethics of cybersecurity*. 1st ed. Cham; Springer; 2020. p. 331-45.
30. Sanchini V, Marelli L. Data protection and ethical issues in european P5 eHealth. In: Pravettoni G, Triberti S, editors. *P5 eHealth: an agenda for the health technologies of the future*. 1st ed. Cham; Springer; 2019. p. 173-90.
31. Reddy S, Allan S, Coghlan S, Cooper P. A governance model for the application of AI in health care. *J Am Med Inform Assoc* 2019;**27**:491-7.
32. Pujari S, Reis A, Zhao Y, et al. Artificial intelligence for global health: cautious optimism with safeguards. *Bull World Health Organ* 2023;**101**:364-70.
33. Sapci AH, Sapci HA. Artificial intelligence education and tools for medical and health informatics students: systematic review. *JMIR Med Educ* 2020;**6**:e19285.
34. Pailaha AD. The impact and issues of artificial intelligence in nursing science and healthcare settings. *SAGE Open Nurs* 2023;**9**:237796082311789.
35. Chan CY, Petrikat D. Strategic applications of artificial intelligence in healthcare and medicine. *J Med Health Stud* 2023;**4**:58-64.
36. Pesapane F, Bracchi DA, Mulligan JF, et al. Legal and regulatory framework for AI solutions in healthcare in EU, US, China, and Russia: new scenarios after a pandemic. *Radiation* 2021;**1**:261-78.
37. Soferman R. The transformative impact of artificial intelligence on healthcare outcomes. *J Clin Eng* 2019;**44**:123-8.
38. Gal J, Milano G, Bailleux C, et al. Optimisation du processus de développement d'un nouveau médicament par modélisation et simulation: état des lieux et enjeux. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2016;**64**:179-87.

À noter que cet article a été rédigé avec l'assistance de Jenni.ai pour la structuration et la gestion des références. Toutes les analyses et interprétations restent sous la responsabilité des auteurs.

Jenni.ai est une plateforme d'IA conçue pour améliorer la productivité en matière de recherche et de rédaction. Jenni.ai offre des fonctionnalités telles que la génération de texte, la recherche sémantique et la gestion de références, facilitant ainsi la création de contenu académique de haute qualité.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Pr Kolh Ph, Département des Sciences Biomédicales et Précliniques, ULiège; Belgique.
Email : philippe.kolh@uliege.be