



Évaluation

L'IA générative en médecine et en soins de santé : promesses, opportunités et défis

Peng Zhang¹ et Maged N. Kamel Boulos^{2,*} ¹ Department of Computer Science and Data Science Institute, Vanderbilt University, Nashville, TN 37240, États-Unis² École de médecine, Université de Lisbonne, 1649-028 Lisbonne, Portugal

* Correspondance : mnkboulos@ieee.org

Résumé : L'IA générative (intelligence artificielle) fait référence à des algorithmes et des modèles, tels que ChatGPT d'OpenAI, qui peuvent être incités à générer différents types de contenu. Dans cette revue narrative, nous présentons une sélection d'exemples représentatifs d'applications de l'IA générative en médecine et en soins de santé. Nous discutons ensuite brièvement de certaines questions associées, telles que la confiance, la véracité, la sécurité et la fiabilité cliniques, la confidentialité, les droits d'auteur, la propriété et les opportunités, par exemple, les interfaces utilisateur conversationnelles basées sur l'IA pour une interaction homme-ordinateur plus conviviale. Nous concluons que l'IA générative jouera un rôle de plus en plus important dans la médecine et les soins de santé à mesure qu'elle évoluera et qu'elle sera mieux adaptée aux contextes et aux exigences uniques du domaine médical et que les lois, les politiques et les cadres réglementaires entourant son utilisation commenceront à prendre forme.

Mots-clés : IA générative ; grands modèles linguistiques ; ChatGPT ; intelligence artificielle ; médecine ; soins de santé ; santé humaine



Référence : Zhang, P. ; Kamel Boulos, M.N. Generative AI in Medicine and Healthcare : Promises, Opportunities and Challenges. *Future Internet* **2023**, *15*, 286. <https://doi.org/10.3390/fi15090286>

Rédacteur académique : Matthew Pedititis

Reçu : 1er août 2023

Révisé le 11 août 2023

23 AOÛT 2023

Publié : août 2023.



Copyright : © 2023 par les auteurs. Titulaire de la licence MDPI, Bâle, Suisse. Cet article est un article en libre accès distribué selon les termes et conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Au fil des ans, l'intelligence artificielle (IA) a propulsé des avancées révolutionnaires dans divers secteurs, et son influence sur les soins de santé peut être particulièrement profonde. Parmi les technologies d'IA en évolution rapide, les modèles d'IA générative, tels que les modèles Generative Pre-trained Transformer (GPT) développés par OpenAI avec le modèle populaire ChatGPT qui reçoit le plus d'attention, sont apparus comme des outils puissants avec le potentiel de remodeler le paysage des soins de santé en raison de leur capacité remarquable pour le traitement du langage naturel (NLP) [1,2]. Ces modèles de langage avancés affichent une capacité étrange à comprendre et à générer du texte de type humain, ce qui en fait des candidats idéaux pour de nombreuses applications, en particulier la médecine et les soins de santé. En tirant parti de vastes quantités de données et de connaissances médicales, les modèles GPT peuvent transformer divers aspects de l'industrie des soins de santé, offrant une nouvelle ère d'aide à la décision clinique, de communication avec les patients et de gestion des données. Leur capacité à traiter et à interpréter des informations médicales complexes a suscité l'optimisme quant à leur impact transformateur sur les pratiques de soins de santé.

Grâce à leurs applications dans l'aide à la décision clinique, les modèles GPT peuvent aider les professionnels de la santé à formuler leurs suggestions pour optimiser leur prise de décision, conduisant à de meilleurs résultats pour les patients et à la qualité globale

des services de santé [3]. Par exemple, en analysant de vastes ensembles de données médicales, les modèles GPT peuvent aider au diagnostic et au pronostic de la maladie pour identifier et prédire diverses conditions médicales, facilitant ainsi une détection plus précoce et des stratégies de traitement personnalisées. Combinés à un outillage complet, les modèles GPT peuvent aider les radiologues dans le diagnostic clinique avec l'interprétation des images médicales pour améliorer la précision du diagnostic et réduire le temps d'interprétation [4]. En tirant parti de leur capacité à

prévenir les interactions moléculaires complexes, les modèles GPT peuvent également révolutionner les processus de découverte de médicaments en prédisant les candidats-médicaments potentiels avec une plus grande probabilité d'efficacité et d'innocuité, accélérant ainsi le développement de nouvelles thérapies et traitements [5].

En plus d'améliorer l'efficacité et la qualité des services médicaux, les modèles GPT présentent le potentiel de révolutionner la communication avec les patients. En tant que langage d'IA interactif

modèles, les modèles GPT peuvent dialoguer avec les patients, fournir des ressources éducatives et répondre aux questions médicales, favorisant ainsi un meilleur engagement des patients et leur autonomisation dans la gestion de leur santé [6]. En outre, la capacité des modèles GPT à rationaliser la gestion des dossiers de santé électroniques (DSE) et la documentation clinique présente un moyen potentiel d'alléger les charges administratives, permettant aux médecins de se concentrer davantage sur les soins aux patients [7].

Malgré le potentiel transformateur des modèles génératifs, leur intégration en médecine et en soins de santé n'est pas sans défis et considérations éthiques. Assurer l'exactitude et la fiabilité des décisions basées sur l'IA reste une préoccupation essentielle, en particulier dans les contextes médicaux critiques. La nature de « boîte noire » de certains modèles d'IA, y compris les modèles génératifs, soulève des questions sur l'interprétabilité des décisions qu'ils génèrent, appelant à plus de transparence et d'explicabilité dans les systèmes d'IA utilisés dans les soins de santé. De plus, les considérations éthiques concernant la confidentialité des données, la confidentialité des patients et les biais potentiels dans les modèles d'IA nécessitent une attention particulière [8]. Comme ces modèles interagissent avec des informations médicales sensibles, la confidentialité des patients et la sécurité des données sont primordiales pour maintenir la confiance du public dans les solutions de soins de santé basées sur l'IA.

À la lumière des développements récents, cet article de synthèse donne un aperçu des efforts existants de l'industrie et de la recherche pour appliquer des modèles d'IA générative en médecine et en soins de santé. En soulignant leur vaste potentiel, leurs avantages, leurs défis et leurs considérations éthiques, cette étude cherche à contribuer au dialogue en cours sur l'exploitation responsable des capacités de transformation de l'IA pour l'amélioration de la pratique médicale et du bien-être des patients. Alors que nous explorons l'impact des modèles génératifs sur les soins de santé et la médecine, il est crucial de naviguer dans le paysage de l'IA en constante évolution avec un engagement envers les principes éthiques, les soins centrés sur le patient et une approche collaborative entre les développeurs d'IA, les professionnels de la santé et les décideurs.

2. Contexte

La PNL est un sous-domaine essentiel de l'intelligence artificielle (IA) qui se concentre sur l'interaction entre les ordinateurs et le langage humain. Son objectif principal est de permettre aux machines de comprendre, d'interpréter et de générer un langage humain de manière significative et contextuellement pertinente. La PNL englobe un large éventail de tâches, y compris la traduction linguistique, l'analyse des sentiments, la reconnaissance vocale, la synthèse de texte, la réponse aux questions, etc., chacune conçue pour combler le fossé entre la communication humaine et la compréhension informatique [9].

La PNL a été largement mise en œuvre dans les soins de santé, démontrant sa remarquable capacité à extraire et à analyser des informations précieuses à partir de vastes quantités de données cliniques non structurées, y compris les DSE, la littérature médicale et le contenu généré par les patients [10]. En particulier, la PNL s'est révélée très prometteuse dans la conversion de notes cliniques non structurées en données structurées, aidant à identifier les conditions médicales, les médicaments et les noms de tests de laboratoire grâce à des tâches telles que la reconnaissance d'entités nommées [11,12]. De même, la PNL a été appliquée à des données de DSE non structurées pour identifier et détecter les événements indésirables liés aux médicaments à l'aide de médicaments identifiés et de leurs interactions [13]. Les modèles axés sur la PNL ont également contribué à la détection précoce de la maladie, permettant des interventions en temps opportun et améliorant les résultats pour les patients [14].

Dans le domaine de la PNL, les modèles GPT sont apparus comme un développement remarquable lancé par OpenAI. Les modèles GPT constituent une famille de modèles linguistiques sophistiqués conçus pour exploiter le potentiel des réseaux neuronaux d'apprentissage profond. L'architecture du transformateur, proposée pour la première fois par Vaswani et al. en 2017 [15], sous-tend le fonctionnement des modèles GPT. Cette architecture de réseau neuronal excelle dans le traitement de données séquentielles, en particulier de texte, en utilisant l'« auto-attention ». L'auto-attention permet au modèle de comprendre l'importance et les relations entre les mots individuels dans une phrase pendant le traitement, ce qui lui permet d'accorder

une plus grande attention aux mots sémantiquement liés et de transporter plus d'informations contextuelles. L'aspect révolutionnaire des transformateurs réside dans leur capacité à gérer efficacement les dépendances à longue portée au sein des séquences de langage, améliorant ainsi leur maîtrise de la compréhension contextuelle du langage et de la compréhension sémantique.

Depuis leur réception, le développement et l'évolution des modèles GPT ont connu des progrès rapides sur une période relativement courte. La chronologie des modèles GPT commence avec l'introduction du GPT-1 original en juin 2018 par OpenAI. GPT-1 a démontré le potentiel de la préformation de modèles de transformateurs à grande échelle sur de grandes quantités de données textuelles pour générer un langage cohérent et contextuellement pertinent. S'appuyant sur le succès de GPT-1, OpenAI a publié GPT-2 en février 2019. GPT-2 était une avancée significative, avec un nombre impressionnant de 1,5 milliard de paramètres, mais sa publication a soulevé des inquiétudes quant à une utilisation abusive potentielle en raison de sa capacité à générer des textes de type humain, y compris des fausses nouvelles et de la désinformation. En conséquence, OpenAI a initialement limité la sortie de GPT-2, ne donnant accès qu'à des versions plus petites du modèle. En novembre 2019, OpenAI a entièrement publié le modèle GPT-2, le rendant ainsi largement accessible aux chercheurs et aux développeurs. Ce mouvement a conduit à une explosion de la recherche et de l'expérimentation, entraînant le développement rapide et le réglage fin de GPT-2 dans divers domaines, y compris la génération de texte, les chatbots, la traduction linguistique, et plus encore [1,16].

La chronologie a fait un autre bond en avant en juin 2020 avec la sortie de GPT-3. Ce modèle était une réalisation monumentale, composée de 175 milliards de paramètres, ce qui en fait le plus grand modèle de langage jamais créé à cette époque. GPT-3 a démontré des capacités de génération de langage inégalées, y compris la capacité d'effectuer des tâches telles que la traduction, la synthèse, la réponse aux questions et même la rédaction créative. Le succès de GPT-3 a suscité un intérêt accru pour les LLM, conduisant à de nombreuses percées dans la recherche et applications commerciales [1]. En novembre 2022, OpenAI a lancé un autre modèle révolutionnaire ChatGPT en tant qu'IA conversationnelle avancée alimentée par l'architecture GPT-3.5. Il est conçu pour engager des conversations naturelles et dynamiques, ce qui en fait un outil polyvalent et utile pour diverses applications. Les utilisateurs peuvent s'engager avec ChatGPT en fournissant des invites textuelles ou des questions. En réponse, ChatGPT génère des réponses cohérentes et contextuellement pertinentes sur la base de ses connaissances acquises à partir des données de pré-formation. Cinq mois plus tard, GPT-4 a été introduit en mars 2023 en tant que grand modèle multimodal qui accepte les entrées d'image et de texte, ce qui a encore amélioré les performances par rapport à ChatGPT. Compte tenu de la grande échelle de l'étape de pré-formation, ces modèles formés sont également connus sous le nom de grands modèles linguistiques (LLM) [16].

La nature « générative » inhérente à ces modèles leur confère la capacité extraordinaire de produire un texte de type humain de manière autonome, ce qui a des implications importantes dans un large éventail de domaines, y compris les soins de santé. La préformation est une étape cruciale dans la création de modèles GPT. Au cours de cette phase, le modèle est exposé à un corpus massif de textes et d'ensembles de données divers, ce qui lui permet d'acquérir une solide compréhension des modèles et des structures linguistiques. La fusion de la pré-formation et de l'architecture du transformateur donne aux modèles GPT la capacité d'exceller dans diverses tâches de PNL, facilitant la génération de texte avec une grande fluidité et une cohérence contextuelle similaire à celle des humains [17].

Le pré-formation s'apparente à la phase initiale d'acquisition des connaissances, où GPT apprend de grandes quantités de données textuelles non étiquetées pour développer une solide compréhension de la langue. Par la suite, le réglage fin, la prochaine phase de la formation au modèle GPT, a lieu à l'aide de données étiquetées spécifiques à la tâche [17], telles que les données sur les soins de santé. Ce processus adapte le modèle pré-entraîné pour effectuer des tâches PNL spécifiques pertinentes pour les soins de santé, telles que la réponse aux questions médicales, la classification des textes cliniques ou la traduction linguistique des dossiers médicaux.

La confluence des capacités de compréhension de la langue de GPT, associée à la préformation et à la mise au point, permet aux connaissances linguistiques médicales acquises par le modèle d'exceller dans un large éventail de tâches de PNL de soins de santé en aval. Cela conduit à une performance améliorée du modèle et réduit le temps et les ressources nécessaires à une formation complète sur le modèle. En générant du texte de type humain et en tirant parti de leurs connaissances linguistiques dans des tâches spécifiques aux soins de santé, les LLM ont démontré un potentiel énorme pour faire progresser les solutions de soins de santé basées sur l'IA. L'intégration de l'IA générative

dans les soins de santé est prometteuse pour améliorer l'aide à la décision clinique, améliorer la communication avec les patients et accélérer le diagnostic de la maladie, ouvrant ainsi de nouvelles voies pour les solutions de soins de santé basées sur l'IA qui peuvent aider les professionnels de la santé à prendre des décisions éclairées et à améliorer les soins aux patients [7].

3. Efforts actuels d'application de l'IA générative et des LLM en médecine et en soins de santé

Cette section passe en revue les efforts actuels et les initiatives de recherche visant à appliquer l'IA générative et les LLM pour améliorer divers aspects de la pratique médicale, allant de la fourniture d'un soutien à l'administration clinique à la fourniture de ressources pour la formation professionnelle des prestataires et des patients. L'intégration de ces technologies de pointe est très prometteuse pour augmenter les soins aux patients, faciliter la recherche médicale et alléger la charge de travail des professionnels de la santé. En étudiant les dernières avancées dans ce domaine, nous cherchons à mieux comprendre le potentiel transformateur des modèles de langage d'IA de pointe pour façonner le paysage futur des soins de santé.

3.1. Soutien administratif

Une application importante des modèles d'IA générative dans les soins de santé est l'automatisation de la documentation clinique qui fournit un soutien à l'administration clinique. Les cliniciens occupés, souvent chargés de prises de notes approfondies, peuvent tirer parti des capacités de ChatGPT pour générer des ébauches de notes cliniques rapidement et avec précision. En fournissant un bref résumé verbal (une « invite ») ou des données pertinentes sur les patients (étant donné que la confidentialité des données est respectée), une documentation clinique complète et contextuellement pertinente peut être générée pour faire gagner du temps aux cliniciens. Microsoft Copilot [18] est un outil d'entreprise qui intègre l'IA générative dans des outils de tous les jours comme Word, PowerPoint, Teams et autres pour améliorer la productivité. Cette intégration a un potentiel puissant pour faciliter la collaboration multidisciplinaire entre les équipes de soins de santé. Par exemple, lorsque vous travaillez avec des cas complexes impliquant plusieurs spécialités, un outil de réunion basé sur l'IA générative peut aider à créer des ordres du jour de réunion, à identifier les membres de l'équipe appropriés pour des actions de suivi et à résumer les points clés des réunions.

Les solutions de soins de santé basées sur l'IA proposées par Nuance améliorent l'efficacité et l'efficience des professionnels de la santé dans divers contextes cliniques. La technologie de reconnaissance vocale de Nuance joue un rôle important dans l'amélioration de la documentation clinique, permettant aux cliniciens de dicter leurs notes directement dans le système de DSE. Cela permet non seulement de gagner du temps, mais également d'améliorer la précision de la saisie des informations sur les patients. Par exemple, l'outil pourrait transcrire les résultats rapportés verbalement par un hématologue lorsqu'il examine les frottis sanguins en temps réel [19]. De même, Suki Assistant [20] automatise la création de notes cliniques en écoutant les interactions clinicien-patient, réduisant ainsi les charges administratives. Il offre des options d'interaction flexibles, telles que la dictée ou la génération de notes ambiantes, et fournit des suggestions de code de diagnostic. Par exemple, un hématologue peut utiliser Suki pour capturer et créer automatiquement des notes cliniques lors d'une consultation pour la leucémie lymphoïde chronique, ce qui pourrait permettre plus de temps pour le visage du patient. Cela simplifie les tâches de documentation, ce qui laisse plus de temps pour les soins aux patients et la lutte contre l'épuisement professionnel des médecins. Les applications de Suki Assistant illustrent le potentiel de l'IA générative pour améliorer les flux de travail cliniques et améliorer l'efficacité et le bien-être des professionnels de la santé.

Corti [21] est un autre outil qui utilise l'IA générative pour offrir des capacités de transcription, de guidage et de codage en temps réel sur une variété de canaux de communication. Grâce à la transcription automatisée des dialogues des patients en temps réel et dans plusieurs langues, Corti assure la préservation des informations critiques, minimisant le risque d'erreurs ou de retards de transcription manuelle. De plus, la capacité de Corti à extraire des détails essentiels des dialogues transcrits, y compris des symptômes spécifiques, des médicaments mentionnés et des questions critiques, simplifie l'examen des faits saillants essentiels de la rencontre. En tirant parti des informations extraites, l'IA de Corti fournit des recommandations pour des soins optimaux aux patients, en tirant parti d'une vaste base de données de divers points de données pour déterminer les prochaines étapes les plus appropriées. De plus, en suivant la rencontre avec le patient, Corti aide à documenter l'interaction en codant automatiquement les codes de procédure et de diagnostic, tels que la CIM-10 et le CPT,

ce qui permet de gagner du temps et de minimiser le risque d'erreur humaine. Cela garantit l'exactitude des dossiers des patients et facilite des procédures de facturation efficaces [21].

Google Bard [22], propulsé par Med-PaLM 2, offre des applications passionnantes dans le domaine de la santé, en particulier pour fournir un soutien 24/7 aux patients et aider les cliniciens. Formé à diverses informations médicales, y compris les journaux, les manuels, les notes cliniques et les dossiers des patients,

Med-PaLM 2 améliore les capacités de Google Bard à générer du contenu médical. L'outil peut aider à répondre aux questions des patients, à suggérer des diagnostics possibles et à soutenir les plans de traitement. En hématologie, il peut fournir des informations et un soutien aux patients atteints de troubles sanguins, offrant des réponses immédiates et recommandant des soins médicaux professionnels si nécessaire. Cependant, il est essentiel d'utiliser les réponses générées par l'IA à des fins d'information uniquement et non comme substitut à un avis médical professionnel. Alors que Google Bard continue de se développer, son potentiel à révolutionner les interactions de soins de santé et à améliorer les soins aux patients reste prometteur.

Ellen AI [23], un algorithme complétant les outils d'IA générative comme ChatGPT, a des applications précieuses dans le domaine de la santé. En fournissant une couche d'interaction texte-voix, Ellen AI offre des explications auditives pour soutenir les soins aux patients. Les cliniciens de santé peuvent tirer parti de leurs capacités pour améliorer la communication et l'accessibilité des patients en convertissant les instructions écrites en contenu oral de haute qualité. Pendant ce temps, les vastes propriétés génératives de l'IA de ChatGPT ont un potentiel dans les tâches cliniques et administratives, y compris l'analyse des données, l'aide à la décision et la compréhension et l'adhésion au plan de traitement. La combinaison d'Ellen AI et de ChatGPT offre des opportunités prometteuses pour améliorer les soins aux patients et l'efficacité des soins de santé grâce à des interactions vocales innovantes et à la génération de textes intelligents [24].

3.2. Aide à la prise de décision clinique

Compte tenu de la compréhension avancée du langage humain et de la connaissance plus fine du domaine, les modèles GPT ont également le potentiel de soutenir la prise de décision clinique. Glass AI [25] est un outil expérimental alimenté par LLM qui offre une aide à la décision clinique. Il sert d'assistant de diagnostic pour générer une liste de diagnostics possibles et de plans de traitement adaptés à un public clinique. Par exemple, lorsqu'un patient présente des symptômes tels que la fatigue, l'essoufflement et la pâleur, un fournisseur peut saisir ces symptômes dans Glass AI [26]. Le système peut alors produire un diagnostic différentiel complet, suggérant potentiellement des conditions telles que l'anémie, la leucémie ou les syndromes myélodysplasiques. En outre, Glass AI peut aider à formuler un plan clinique, guidant les prochaines étapes de l'hématologue pour d'autres tests ou traitements.

Regard [27] est un outil d'IA intégré aux systèmes de DSE. En analysant les données des patients, il suggère des diagnostics, rédige des notes cliniques et fournit rapidement des informations pertinentes, optimisant ainsi les soins aux patients. Il automatise certaines tâches administratives liées aux DSE, ce qui permet aux cliniciens de se concentrer davantage sur les patients et moins sur la recherche à travers les écrans. Les capacités génératrices d'IA de Regard aident au processus de diagnostic, générant une liste de diagnostics différentiels plausibles et nouveaux basés sur les données des patients. Cela aide les professionnels de la santé (PS) à explorer différentes possibilités, à confirmer ou à exclure les diagnostics et à optimiser les plans de traitement. Pour les médecins de soins primaires, les hématologues-oncologues, les dermatologues et autres spécialistes, Regard fournit des suggestions fondées sur des preuves, ce qui permet de gagner du temps et d'améliorer la spécificité du diagnostic. En tant que copilote intelligent, Regard améliore l'utilisation des DSE par les professionnels de la santé, en favorisant une prise de décision plus rapide et plus éclairée tout en soulignant qu'il soutient, plutôt que de remplacer, leur jugement clinique et leur expertise. Dans le cadre de programmes pilotes, Regard a démontré des avantages importants en termes de gain de temps et d'amélioration de la précision du diagnostic pour les médecins.

L'outil de segmentation rapide automatisé de Redbrick AI (F.A.S.T) [28] offre des applications importantes en imagerie médicale, aidant les professionnels de la santé à annoter et à segmenter les tomodensitogrammes, les images IRM et les ultrasons. Redbrick AI fournit une plate-forme SaaS pour annoter les données d'images médicales et propose F.A.S.T pour une utilisation en radiologie en utilisant le modèle Segment Anything de Meta [29], présentant une solution possible pour améliorer la précision et la rapidité du diagnostic dans les soins de santé. Sa nature adaptative simplifie la segmentation précise sans données supplémentaires, ce qui la rend précieuse pour la segmentation des objets et des caractéristiques visibles en radiologie. L'interaction en temps réel de l'outil permet aux cliniciens d'assister au calcul des masques, ce qui

simplifie la segmentation. F.A.S.T. automatise la segmentation manuelle, améliorant la précision et la rapidité du diagnostic en radiologie.

Paige FullFocus [30], alimentée par l'IA générative, permet aux professionnels de la santé de visualiser, de gérer et de partager des diapositives numériques d'échantillons de tissus, fournissant de nouvelles informations pour les décisions de traitement et améliorant la précision, l'efficacité et la confiance diagnostique. Il excelle dans l'identification et l'analyse de modèles tissulaires complexes, facilitant des diagnostics précis dans des cas difficiles comme le comptage des cellules cancéreuses dans les biopsies de la prostate et du sein et l'identification de biomarqueurs pour la sélection du traitement. De plus, FullFocus soutient la pratique clinique et l'éducation des professionnels de la santé, leur permettant d'étudier divers modèles tissulaires, d'élargir leurs connaissances sur les conditions hématologiques et oncologiques et de se tenir au courant des dernières avancées en pathologie. Avec FullFocus, les professionnels de la santé peuvent affiner leurs compétences diagnostiques, approfondir leur expertise et améliorer les soins aux patients grâce à l'apprentissage continu. La capacité prometteuse des outils Paige à fournir un diagnostic plus précis de la tumeur a été démontrée dans une étude de recherche sur le cancer de la prostate menée par Raciti et al. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||[31].|||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||

Kahun [32] est un outil de vérification des symptômes alimenté par un chatbot conversationnel intégré au DSE. L'outil fournit des évaluations cliniques des patients en produisant des diagnostics différentiels classés et des options de bilan basées sur les données du patient et les connaissances médicales. Le moteur d'inférence d'IA de Kahun fournit une liste classée des diagnostics potentiels, accélérant le processus de diagnostic et économisant du temps. Ben-Shabat et al. ont démontré la performance supérieure de Kahun par rapport à un ensemble sélectionné de vérificateurs de symptômes d'IA similaires [33]. D'autres options de bilan sont suggérées pour une évaluation complète du patient. Le réseau croissant de relations entre les troubles, les complications et les résultats de Kahun permet aux professionnels de la santé de se tenir au courant des dernières connaissances médicales.

3.3. Participation du patient

Hippocratic AI [34] se concentre sur la création d'un LLM adapté aux soins de santé. Il vise à offrir une approche centrée sur le patient, donnant la priorité à l'empathie, aux soins, à la compassion et à la génération de réponses adaptées aux patients, améliorant ainsi l'engagement et la sensibilisation des patients. Cette notion importante d'« empathie génératrice de l'IA » a été démontrée dans une étude menée par Ayers et al., qui ont rapporté que les réponses des chatbots alimentés par LLM (ChatGPT) étaient préférées aux réponses des médecins et évaluées de manière significativement plus élevée pour l'empathie [35].

En se concentrant sur des applications non diagnostiques et orientées vers le patient, Hippocratic AI valorise la sécurité des patients tout en améliorant l'accès aux soins de santé et les résultats. L'IA hippocratique s'avère bénéfique pour augmenter les tâches administratives et gérer des complexités telles que le codage médical et les examens de licence. De plus, ses certifications de conformité démontrent la fiabilité dans le maintien des normes de soins de santé. En milieu clinique, les performances exceptionnelles du modèle sur divers examens de certification médicale confirment son applicabilité dans le monde réel. En fournissant un soutien précis et empathique aux professionnels de la santé, Hippocratic AI enrichit les soins aux patients, favorisant un environnement de soins de santé fiable et efficace.

Gridspace [36] est une solution d'entreprise alimentée par une IA générative qui automatise la sensibilisation des patients en traitant les appels téléphoniques, en répondant aux questions et en effectuant des tâches administratives. Il permet un engagement des patients évolutif, accessible 24h/24, 7j/7 et rentable, en recevant des appels entrants et en téléphonant aux patients. Gridspace automatise les tâches administratives de routine telles que la planification des rendez-vous, les rappels aux patients, la vérification des assurances, etc. En transférant ces demandes aux robots vocaux, les professionnels de la santé peuvent gagner du temps et se concentrer sur les tâches critiques de soins aux patients. En outre, Gridspace peut trier et diriger les demandes des patients en temps réel, fournissant des informations précieuses. Ses applications illustrent le potentiel de l'IA génératrice dans la transformation des interactions avec les patients, la rationalisation des processus administratifs et

l'amélioration de l'efficacité globale des soins de santé et de la satisfaction des patients.

3.4. Génération de données synthétiques

Syntegra Medical Mind [37] utilise l'IA générative pour produire des dossiers de patients synthétiques réalistes à partir de données de soins de santé réelles comme les DSE tout en protégeant la vie privée des patients. Les professionnels de la santé peuvent accéder à ces données et les analyser à des fins de recherche, d'éducation et de prise de décision sans compromettre la confidentialité. Les enregistrements synthétiques correspondent aux propriétés statistiques des données originales, y compris les cohortes rares et les valeurs aberrantes, aidant les spécialistes à comprendre

divers schémas de maladies. Syntegra s'attaque également aux biais de données et améliore l'équité algorithmique, en promouvant des plans de traitement équitables. La couche de données synthétiques brise les obstacles à l'accès aux données, favorisant l'innovation et améliorant les soins aux patients. Muniz-Terrera et al. [38] ont démontré le potentiel de faire progresser la recherche sur la démence grâce à des cohortes virtuelles synthétisées avec Syntegra.

DALL-E 2 [39] est un autre modèle OpenAI pour la génération texte-image. Il a été formé sur des milliards de paires texte-image pour apprendre à créer des images synthétiques réalistes. Grâce à sa formation préalable approfondie, DALL-E 2 a le potentiel passionnant de créer ou d'augmenter des données médicales souvent rares ou limitées dans la recherche médicale et l'éducation sans compromettre la vie privée des patients. Adams et al. [40] ont étudié les connaissances du domaine de ^{DALL-E 2} en radiologie en testant les images médicales de sortie générées à partir de courtes descriptions et celles de la reconstruction d'images radiologiques existantes avec des zones manquantes. L'étude a montré que même si les performances de génération ont souffert pour des images complexes telles que la tomodensitométrie, l'IRM et l'échographie, DALL-E 2 pouvait produire des images radiographiques qui maintenaient un style et des proportions anatomiques similaires aux images authentiques, étant donné qu'elles étaient sans pathologies. Malgré les capacités limitées d'application directe de DALL-E 2 dans la génération d'images médicales, il a montré un potentiel prometteur pour être affiné davantage avec les données médicales et la terminologie connexe afin de créer un modèle personnalisé pour la génération et l'augmentation des données radiologiques.

3.5. Formation professionnelle

Un guide de démarrage rapide de l'UNESCO publié en avril 2023 décrit un certain nombre de cas d'utilisation potentiels de l'IA générative, tels que ChatGPT, dans l'enseignement supérieur, y compris des exemples d'application dans l'enseignement et l'apprentissage et la recherche universitaire [41]. Bien qu'elles soient axées sur l'enseignement supérieur en général sans mention spécifique de l'éducation médicale, bon nombre de ces applications peuvent être adaptées aux contextes spécifiques de l'éducation médicale aux niveaux du premier cycle, du troisième cycle et de la formation médicale continue (FMC) (et même à l'éducation des patients et à l'éducation sanitaire du grand public).

Le deuxième auteur de cet article a récemment été invité à éditer un numéro thématique pour *JMIR Medical Education* sur le thème « ChatGPT et modèles de langage génératif dans l'éducation médicale ». Le numéro a attiré des dizaines de soumissions en quelques mois, dont plus d'une douzaine déjà publiées en ligne au 31 juillet 2023, couvrant un éventail de sujets d'IA générative dans la formation médicale et professionnelle [42].

Unlearn.AI [43] utilise l'IA générative pour créer des « jumeaux numériques » de patients individuels, offrant un modèle complet de résultats potentiels pour la santé dans différents scénarios. Les professionnels de la santé peuvent personnaliser les plans de traitement, suivre les progrès des patients et prendre des décisions éclairées pour améliorer les résultats des patients. Les jumeaux numériques simulent les effets de divers traitements sur la biologie d'un patient à l'aide de données du monde réel, aidant à des plans de traitement personnalisés et à la recherche clinique. En hématologie, par exemple, les cliniciens peuvent utiliser des jumeaux numériques pour simuler la progression de la maladie sous différentes thérapies, guidant ainsi les choix de traitement. De plus, les jumeaux numériques optimisent les essais cliniques, fournissant des informations sans grands groupes témoins. DÉSAPPRENDRE ! L'approche de l'IA rationalise les processus, soutient la formation des cliniciens et améliore le suivi des patients. L'étude de Bertolini et al. a également démontré la précision de la capture de la progression de la maladie, faisant des jumeaux numériques un outil précieux pour faire progresser les pratiques de soins de santé [44].

Alors que les patients enregistrent de plus en plus les visites de leur médecin, des recherches sont en cours pour utiliser ces transcriptions afin d'obtenir des informations pour les patients et d'extraire des données structurées pour enrichir les DSE. Abridge [45] est un outil numérique qui utilise l'IA générative pour documenter les dialogues médicaux, sauvant ainsi les médecins de la prise de notes manuelle. Abridge joue un rôle

essentiel dans l'éducation des patients en envoyant des résumés après la visite aux patients via son application grand public, dans le but d'accroître leur engagement et leur adhésion aux soins. Dans des cas comme la polycythémie vraie, les patients peuvent avoir du mal à se souvenir de tous les détails discutés lors de leurs rendez-vous. Abridge s'attaque à ce problème en fournissant une transcription complète de la conversation pour que les patients puissent l'examiner plus tard. La plateforme met également en évidence les informations essentielles du dialogue et

simplifie le jargon médical complexe en un langage plus compréhensible. Cela garantit que les patients ont une compréhension claire de leur diagnostic, de leurs choix de traitement et de leurs actions futures, favorisant ainsi une meilleure observance du patient et des résultats positifs pour la santé.

De plus, Krishna et al. ont présenté des méthodes de bout en bout pour générer des résumés cliniques longs et semi-structurés appelés notes SOAP à partir de conversations cliniques en collaboration avec Abridge [46]. Leur approche s'est appuyée sur un corpus unique de transcriptions et de notes SOAP associées. Les méthodes se concentrent sur la décomposition des tâches de synthèse en sous-tâches extractives et abstraites, déplaçant progressivement la charge de travail de la composante abstraite à la composante extractive.

3.6. Exemples d'Europe et d'Asie

Les exemples d'outils d'IA générative décrits ci-dessus (sous 3.1 à 3.5) ont été principalement développés aux États-Unis, mais l'Europe et l'Asie rattrapent rapidement leur retard. Par exemple, le géant néerlandais de la technologie médicale Philips développe actuellement (au moment de la rédaction) des applications d'IA génératives pour améliorer ses capacités de traitement et de diagnostic d'images PACS (Picture Archiving and Communication System) et simplifier les flux de travail cliniques [47], tandis qu'en Asie, SayHeart, une startup basée en Malaisie et à Singapour, a lancé un nouvel algorithme en août 2023 qui peut traduire de manière transparente le jargon médical, les rapports de santé et l'imagerie complexe en contenu visuel facilement accessible [48]. De plus, Riken, un grand institut de recherche scientifique au Japon fondé en 1917, s'est lancé dans un programme de recherche générative en IA de huit ans (2023–2031) pour générer des hypothèses médicales et scientifiques en tirant des enseignements des documents de recherche et des images [49].

4. Discussion

L'IA générative est sur le point de révolutionner la médecine dans les années à venir [50]. Les exemples d'application présentés dans cet article sont un aperçu de ce qui va arriver. Une requête rapide PubMed utilisant le terme « ChatGPT » a récupéré 924 enregistrements de publication au 31 juillet 2023 (4 enregistrements en 2022 et 920 enregistrements au cours des sept premiers mois de 2023 ; la même requête a récupéré 1049 enregistrements lorsqu'elle a été répétée 18 jours plus tard, le 18 août 2023) [51]. Bien que ChatGPT ait sans aucun doute dominé la scène de l'IA générative en 2023, il convient de noter qu'il ne s'agit que d'un exemple de l'architecture et des modèles GPT. Nous nous attendons à ce que l'IA générative poursuive sa tendance au cours des mois et des années à venir. La discussion suivante abordera certaines préoccupations communes, les défis et les opportunités générales associées à l'IA générative et aux produits connexes tels que ChatGPT.

4.1. Pouvons-nous faire confiance à l'IA générative ? Est-il cliniquement sûr et fiable ?

La confiance et la validation sont essentielles au succès de l'adoption de l'IA générative en médecine et en soins de santé. Les réponses de ChatGPT ont montré une fluctuation importante et surtout imprévisible de la qualité et de la véracité. Cette « imprévisibilité » est le principal obstacle au succès de l'adoption, car nous ne savons pas quand elle va renvoyer une bonne réponse et quand ses réponses vont être fausses ou trompeuses, ou en d'autres termes, quand faire confiance à l'IA générative et quand ne pas lui faire confiance, en particulier lorsque l'utilisateur n'est pas suffisamment qualifié pour évaluer la qualité (exactitude et exhaustivité) d'une réponse donnée. ChatGPT (au moment de la rédaction), par exemple, est connu pour inventer et citer des articles académiques qui n'existent pas [52–54]. Ce phénomène, également connu sous le nom de « hallucinations » génératives de l'IA, peut être réduit à l'aide de techniques telles que la génération augmentée par récupération (RAG) [55]. L'IA générative est également sujette à diverses formes de préjugés en fonction de la façon dont elle a été formée [41] et peut ne pas toujours fonctionner aussi bien dans différentes langues [56].

Cette discussion sur la confiance aborde également les questions connexes de la sécurité et de la fiabilité cliniques. Tant que nous n'aurons pas une IA générative correctement formée et validée (ChatGPT, par exemple, n'est pas spécifiquement formé médicalement), il y aura toujours ces questions interdépendantes de confiance, de

sécurité et de fiabilité entravant toute utilisation médicale sérieuse de celle-ci. Par formé médicalement, nous entendons un modèle qui a été spécifiquement et complètement formé à l'aide d'un corpus

de textes médicaux de qualité fondés sur des preuves qui couvrent suffisamment un domaine de spécialisation médical donné.

4.2. Défis de l'évaluation clinique, de la réglementation et de la certification

Le problème est aggravé par la nature en constante évolution des connaissances médicales/cliniques, qui nécessitent une forme correspondante d'IA générative qui peut être continuellement et de manière fiable formée et mise à jour. En outre, l'évolution rapide des grands modèles linguistiques et de l'IA générative remet en question leur évaluation clinique, leur réglementation et leur certification.

Par exemple, nous avons déjà plusieurs versions du ChatGPT d'OpenAI, par exemple GPT3.5, GPT-4 et DALL-E 2 (images) [57], et des offres de Meta (Llama 1 et 2, en partenariat avec Microsoft [58]) et Google (Bard [59], qui ne peut toujours pas fournir de réponses à des cas cliniques spécifiques au moment de la rédaction, probablement une limitation artificielle imposée par Google). Plus la version d'un modèle est récente, plus elle a tendance à être performante, par exemple [60], mais ce n'est pas toujours garanti [61]. Nous nous attendons à ce que les grands modèles linguistiques dédiés et formés médicalement et l'IA générative aient de la même manière plusieurs versions successives sur de courtes périodes lorsqu'ils seront introduits dans un proche avenir.

Cependant, l'évaluation clinique et la certification sont des processus qui prennent traditionnellement un temps relativement long à compléter, il y a donc toujours ce risque qu'au moment où une évaluation est terminée, l'IA évaluée ait déjà considérablement changé avec la publication d'une nouvelle version nécessitant une nouvelle évaluation. Les organismes de réglementation tentent de suivre le rythme en mettant en œuvre les mécanismes nécessaires pour traiter l'IA en tant que dispositif médical [62]. Cependant, les LLM apportent de nouveaux défis par rapport aux technologies basées sur l'IA déjà réglementées et nécessiteront donc des adaptations réglementaires supplémentaires [63].

4.3. Questions de confidentialité

En avril 2023, l'Italie a bloqué l'accès à ChatGPT dans le pays en raison de problèmes de confidentialité, notamment de sa collecte et de son stockage de données personnelles des utilisateurs pour former davantage son modèle [64]. Quelques semaines plus tard, l'accès a été rétabli en Italie [65] à la suite de l'introduction de nouvelles fonctionnalités dans ChatGPT qui permettaient aux utilisateurs de désactiver l'historique des discussions et de choisir ainsi quelles conversations pouvaient ou ne pouvaient pas être utilisées pour former les modèles sous-jacents [66]. Néanmoins (et jusqu'à ce que les organisations de soins de santé puissent se permettre [67] et gérer leurs propres instances entièrement hébergées et gérées localement de ces modèles et outils auxquels on peut faire confiance pour ne pas envoyer d'informations à des sociétés ou fournisseurs externes pour traitement), il est toujours fortement recommandé (sinon obligatoire dans le cas d'informations confidentielles sur les patients, par exemple) que les utilisateurs ne mettent jamais d'informations sensibles ou de données personnelles dans ces outils [68]. (D'un autre côté, les éducateurs médicaux pourraient trouver l'IA générative texte-image utile pour produire des images d'enseignement de qualité photo illustrant diverses conditions cliniques sans les préoccupations de confidentialité et de consentement associées à l'utilisation de vraies photos de patients, en particulier lorsque des images du visage entier sont nécessaires).

Il n'y a toujours pas d'ouverture ou de transparence sur les données de formation de ces modèles ou le code utilisé pour les former [69]. L'accès non autorisé (sans consentement) à des sources de données, y compris éventuellement des sources de données privées et confidentielles, pour l'apprentissage et la formation génératifs en IA fait actuellement (au moment de la rédaction) l'objet d'une action en justice intentée aux États-Unis [70]. Certains chercheurs recommandent déjà que les modèles d'IA respectent les lois sur la protection de la vie privée, y compris le « droit à l'oubli » et la capacité d'oublier ou de désapprendre ce qu'ils ont appris sur des situations ou des personnes spécifiques [71].

4.4. Questions de droit d'auteur et de propriété

L'action en justice « accès sans consentement » susmentionnée attire l'attention sur d'éventuels problèmes de droit d'auteur liés aux données utilisées pour former ces modèles [72]. Il existe également d'autres questions non résolues sur le droit d'auteur et

la propriété intellectuelle concernant le contenu généré par ces modèles, par exemple, de nouvelles images radiologiques générées par DALL-E 2 en réponse aux invites de texte de l'utilisateur [40]. À qui appartiennent les droits d'auteur sur le contenu généré par l'IA ? Qui devrait être tenu responsable de tout dommage ou perte qu'il pourrait causer ? Ces problèmes deviennent plus complexes lorsque

Le contenu généré par l'IA est basé sur des matériaux protégés par le droit d'auteur [73,74]. Il est intéressant de noter que Microsoft a ajouté une nouvelle section sur les services d'IA à son contrat de services global à compter du 30 septembre 2023, dans laquelle il a élargi la définition de « Votre contenu » pour inclure « le contenu généré par votre utilisation de nos services d'IA » [75].

4.5. Pas de solution à l'horizon.

Comme pour d'autres technologies émergentes et en développement rapide, les lois et réglementations correspondantes sont souvent à la traîne et ont besoin de temps pour rattraper leur retard. Certains problèmes d'IA générative liés à la confiance, à la sécurité, à la fiabilité, à la confidentialité, aux droits d'auteur et à la propriété ne sont pas encore entièrement résolus (pas de réponses ou de solutions définitives au moment de la rédaction), mais cela ne signifie pas qu'ils sont insurmontables. Ils seront progressivement traités au fil du temps à mesure que la technologie évoluera et mûrira et que les lois, les politiques et les cadres réglementaires entourant son utilisation commenceront à prendre forme.

L'utilisation de l'IA, y compris l'IA générative, dans l'Union européenne (UE) est sur le point d'être réglementée par une nouvelle loi sur l'IA [76], la première loi complète sur l'IA au monde qui devrait entrer en vigueur vers la mi-2024 avec un délai de grâce supplémentaire de 24 à 36 mois avant que ses principales exigences ne deviennent contraignantes. La loi de l'UE sur l'IA introduit de nouvelles exigences de transparence pour l'IA générative, y compris la nécessité de publier des résumés des données protégées par le droit d'auteur utilisées pour la formation. Dans le même temps, les organismes de réglementation médicaux et de soins de santé, tels que la Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (MHRA) au Royaume-Uni, introduisent de nouveaux cadres réglementaires et/ou mettent à jour ceux existants pour traiter spécifiquement l'IA en tant que dispositif médical [62]. Cependant, les algorithmes d'IA médicale continueront souvent à apprendre des nouvelles données après l'approbation réglementaire initiale et, par conséquent, peuvent nécessiter une réapprobation continue à intervalles réguliers, un processus qui n'a pas encore été déterminé et mis en œuvre par les régulateurs.

4.6. Possibilités de solutions personnalisées et d'interfaces utilisateur nettement améliorées

Les développeurs tiers sont désormais en mesure de créer facilement leurs applications et solutions personnalisées à l'aide d'API (Application Programming Interface) et de plugins proposés par les principaux fournisseurs d'IA générative, tels que OpenAI [77–79] et Google [80]. Par exemple, GPT-trainer, un SaaS (Software-as-a-Service) de Petal/Paladin Max, Inc., permet aux utilisateurs de construire et de déployer leurs propres assistants ChatGPT formés avec leurs données sans codage [81].

Les interfaces utilisateur (IU) conversationnelles basées sur le langage naturel et basées sur l'IA (de type ChatGPT) sont prêtes à devenir la prochaine grande chose dans l'évolution de la conception de l'expérience utilisateur, tout comme la façon dont les interfaces souris/pointer-cliquer, vocales et tactiles ont révolutionné nos interactions avec les ordinateurs et les appareils mobiles [82]. Au lieu de demander aux utilisateurs de s'adapter et de maîtriser des interfaces plutôt rigides (préprogrammées) et moins indulgentes, les interfaces utilisateur s'adapteront plus facilement et plus naturellement aux besoins des utilisateurs. Les utilisateurs seront simplement invités à décrire à leur manière et avec des mots ce qu'ils doivent faire (Figure 1). GPT-OSM applique ce concept à OpenStreetMap, permettant aux utilisateurs de découvrir intuitivement des fonctionnalités sur OpenStreetMap à l'aide de requêtes en langage naturel sans avoir besoin d'apprendre des langages de requête ou une syntaxe complexes [83]. De nombreuses IU de soins de santé bénéficieraient de la même approche, par exemple, interroger les IU des dossiers électroniques des patients et leurs agrégats et améliorer les IU pour interroger les jumeaux numériques de santé (HDT) [84]. Dans le cas des HDT, une interface utilisateur de type ChatGPT peut aider à combler le fossé entre les données/modèles HDT complexes et la compréhension et les besoins de leurs utilisateurs humains (les utilisateurs comprennent des personnes en bonne santé, des patients et des cliniciens).

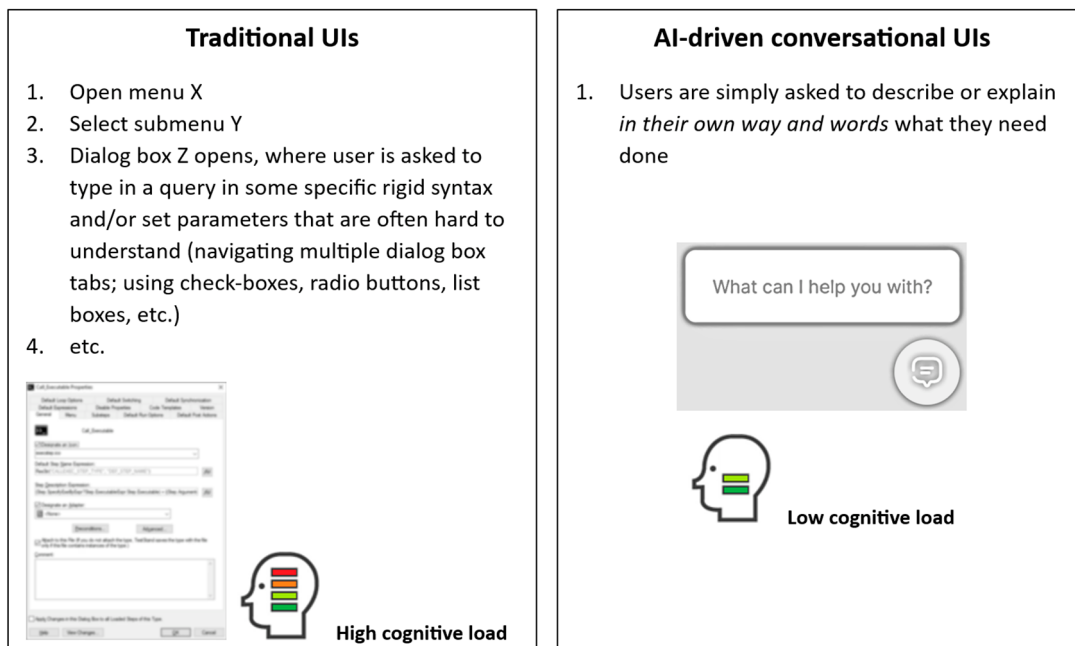


Figure 1. Les interfaces utilisateur traditionnelles par rapport aux interfaces utilisateur conversationnelles basées sur l'IA.

En outre, en rendant le codage plus facile ou presque automatisé, l'IA générative peut accélérer le développement de certaines applications de santé. Par exemple, ChatGPT a pu coder avec succès un remake de Beat Saber, un exergame de réalité virtuelle bien connu [85]. Tao et Xu ont démontré la création de cartes thématiques dans ChatGPT à l'aide de données géospatiales données ou publiques. ChatGPT a produit avec succès tout le code nécessaire pour générer les cartes [86] (cf. le projet OSM-GPT susmentionné).

L'IA générative est également prometteuse pour l'Internet des objets médicaux (IoMT [87]). Par exemple, il peut aider à générer de nouvelles conceptions pour les dispositifs médicaux et de surveillance de la santé basés sur les bords [88]. Certaines des tâches de développement logiciel (codage) associées peuvent en outre exécuter certains de ces dispositifs en apprenant continuellement les préférences de l'utilisateur (par exemple, le patient ou le clinicien), en s'y adaptant et en fournissant de meilleures interfaces utilisateur et une expérience utilisateur globale [89,90]. En outre, il peut générer des données synthétiques et augmentées pour tester et améliorer la précision des algorithmes d'apprentissage automatique (alimentant de nombreux dispositifs médicaux intelligents) sans nécessiter d'accès aux données réelles du patient [90] ou lorsque celles-ci ne sont pas suffisantes [91]. La sécurité IoMT est un autre domaine où l'IA générative peut potentiellement aider ; par exemple, en générant automatiquement des activités d'atténuation appropriées en réponse à diverses menaces [92].

5. Conclusions

Dans cet article, nous avons examiné une sélection d'exemples représentatifs d'applications de l'IA générative en médecine et en soins de santé. Nous avons ensuite brièvement discuté de certaines questions et préoccupations associées, telles que la confiance, la véracité, la sécurité et la fiabilité cliniques, la confidentialité, les droits d'auteur et la propriété, ainsi que la possibilité d'utiliser la technologie pour créer des interfaces utilisateur conversationnelles plus conviviales basées sur l'IA pour les applications de santé et de soins de santé. Nous nous attendons à ce que toutes ces préoccupations discutées soient progressivement abordées avec le temps, au fur et à mesure que les lois, les politiques et les cadres réglementaires entourant l'utilisation de l'IA générative commenceront à prendre forme. Nous partageons la conviction de Lee, Goldberg et Kohane [47] que l'IA générative jouera un rôle de plus en plus important dans la médecine et les soins de santé à mesure qu'elle évolue et qu'elle est mieux adaptée aux contextes et aux exigences uniques du domaine médical. Les années à venir verront l'introduction de nouveaux modèles spécifiquement et complètement formés à

l'aide de corpus de textes médicaux de qualité fondés sur des preuves qui couvrent suffisamment divers domaines cliniques de spécialité. Ces modèles seront d'une grande aide pour les professionnels de la santé et leurs patients

de la rejoindre dans un futur pas loin. Plutôt que l'IA remplaçant les humains (cliniciens), nous la voyons comme « des cliniciens utilisant l'IA » remplaçant « des cliniciens qui n'utilisent pas l'IA » dans les années suivantes [93].

Contributions de l'auteur : M.N.K.B. a conçu l'idée du manuscrit et sa portée et a invité P.Z. à contribuer en tant que co-auteur. Les deux auteurs ont contribué de manière égale à la revue de la littérature et à la rédaction et à l'édition des manuscrits. P.Z. a écrit les sections 1 et 2 et la majeure partie de la section 3. M.N.K.B. a écrit les sections 4 et 5 et des parties de la section 3. La figure 1 a été dessinée par M.N.K.B. Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche n'a reçu aucun financement externe.

Déclaration de disponibilité des données : Aucune nouvelle donnée n'a été créée ou analysée dans cette étude. Le partage de données n'est pas applicable à cet article.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Références

- Dale, R. GPT-3: À quoi cela sert-il? *Nat. Lang.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||Eng. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END||| **2021**, 27, 113–118.
- Aydın, Ö.; Karaarslan, E. *OpenAI ChatGPT Generated Literature Review: Digital Twin in Healthcare*; SSRN 4308687; SSRN: Rochester, NY, USA, 2022; Disponible en ligne : https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4308687 (consulté le 29 décembre 2022).
- Liu, S.; Wright, A.P.; Patterson, B.L.; Wanderer, J.P.; Turer, R.W.; Nelson, S.D.; McCoy, A.B.; Sittig, D.F.; Wright, A. Utilisation des suggestions générées par l'IA de ChatGPT pour optimiser l'aide à la décision clinique. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||J. Am. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||Med. Informer |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||Assoc. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END||| **2023**, 30, 1237–1245. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||[CrossRef]|||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||
- Lecler, A.; Duron, L.; Soyer, P. Revolutionizing radiology with GPT-based models: Current applications, future possibilities and limitations of ChatGPT. *Diagn. METH. Imagerie* **2023**, 104, 269–274.
- Savage, N. Les sociétés de découverte de médicaments personnalisent ChatGPT: Voici comment. *Nat.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||Biotechnol. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END||| **2023**, 41, 585–586.
- Eysenbach, G. The role of ChatGPT, generative language models, and artificial intelligence in medical education: A conversation with ChatGPT and a call for papers. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||JMIR Med. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||Educ. **2023**, 9, e46885. [CrossRef] [PubMed]
- Xue, V.W.; Lei, P.; Cho, W.C. The potential impact of ChatGPT in clinical and translational medicine. *Clin. Transl. Med.* **2023**, 13, e1216. [CrossRef] [PubMed]
- Sallam, M. ChatGPT utility in healthcare education, research, and practice: Systematic review on the promising perspectives and valid concerns. *Healthcare* **2023**, 11, 887.
- Patel, A.; Arasanipalai, A. *Applied Natural Language Processing in the Enterprise: Teaching Machines to Read, Write, and Understand*; O'Reilly Media: Sebastopol, CA, USA, 2021; ISBN 9781492062578. Disponible en ligne : <https://www.oreilly.com/library/view/applied-natural-language/9781492062561/ch01.html> (consulté le 11 mai 2021).
- Kilicoglu, H.; Shin, D.; Fiszman, M.; Rosemblat, G.; Rindflesch, T.C. SemMedDB: A PubMed-scale repository of biomedical semantic predications. *Bioinformatique* **2012**, 28, 3158–3160. [CrossRef] [PubMed]
- Wu, Y.; Xu, J.; Jiang, M.; Zhang, Y.; Xu, H. A Study of Neural Word Embeddings for Named Entity Recognition in Clinical Text. In *AMIA Annual Symposium Proceedings*; American Medical Informatics Association: Bethesda, MD, USA, 2015; Volume 2015, pp. 1326–1333.
- S'niegula, A.; Poniszewska-Marańda, A.; Choma ? tek, Ł. Vers les méthodes de reconnaissance des entités nommées dans le domaine biomédical. En *SOFSEM 2020: Theory and Practice of Computer Science, Proceedings of the 46th International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, SOFSEM 2020, Limassol, Cyprus, 20–24 January 2020*; Proceedings 46; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 375–387.
- Chen, L.; Gu, Y.; Ji, X.; Sun, Z.; Li, H.; Gao, Y.; Huang, Y. Extracting medicines and associated adverse drug events using a natural language processing system combining knowledge base and deep learning. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||J. Am. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||Med. Informer |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||Assoc. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END||| **2020**, 27, 56–64. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||[CrossRef]|||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||
- Wu, S.T.; Sohn, S.; Ravikumar, K.E.; Waghlikar, K.; Jonnalagadda, S.R.; Liu, H.; Juhn, Y.J. Automated chart review for asthma cohort identification using natural language processing: An exploratory study. *Ann.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||Allergy Asthma Immunol. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END||| **2013**, 111, 364–369. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||[CrossRef]|||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||
- Vaswani, A.; Shazeer, N.; Parmar, N.; Uszkoreit, J.; Jones, L.; Gomez, A.N.; Kaiser, Ł.; Polosukhin, I. L'attention est tout ce dont vous avez besoin. In *Advances in Neural Information Processing Systems*; NIPS 2017; NIPS: Denver, CO, USA, 2017; p. 30. Disponible en ligne : https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf (consulté le 12 juin 2017).
- VanBuskirk, A. A Brief History of the Generative Pre-Trained Transformer (GPT) Language Models (31 mars 2023). Disponible

- en ligne : <https://blog.wordbot.io/ai-artificial-intelligence/a-brief-history-of-the-generative-pre-trained-transformer-gpt-language-models/> (consulté le 26 juillet 2023).
17. O’Laughlin, D. AI Foundations Part 1 : Transformers, Pre-Training and Fine-Tuning, and Scaling (11 avril 2023). Disponible en ligne : <https://www.fabricatedknowledge.com/p/ai-foundations-part-1-transformers> (consulté le 26 juillet 2023).

18. Spataro, J. Introducing Microsoft 365 Copilot—Your Copilot for Work. Blog officiel de Microsoft. Mars 2023 Disponible en ligne : <https://news.microsoft.com/reinventing-productivity/> (consulté le 22 juillet 2023).
19. Nuance. Nuance Dragon Medical One. Disponible en ligne : <https://www.nuance.com/healthcare/provider-solutions/speech-recognition/dragon-medical-one.html> (consulté le 22 juillet 2023).
20. Appelle Suki Assistant Disponible en ligne : <https://www.suki.ai/technology/> (consulté le 22 juillet 2023).
21. Corti Triage des patients alimenté par l'IA. Disponible en ligne : <https://www.corti.ai/solutions/engage> (consulté le 22 juillet 2023).
22. Rahman, M.S. ; Ahsan, M.M. ; Anjum, N. ; Rahman, M.M. ; Rahman, M.N. *La course à l'IA est lancée ! Google's Bard et OpenAI's ChatGPT Head to Head : An Opinion Article* ; SSRN 4351785 ; SSRN : Rochester, NY, USA, 2023 ; Disponible en ligne : https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4351785 (consulté le 8 février 2023).
23. Ellen, A.I. Your Smart AI Companion with Voice. Disponible en ligne : <https://round-spear-8489.typedream.app/> (consulté le 22 juillet 2023).
24. Conseil de l'innovation. Irene: Disponible en ligne : <https://healthcare.boardofinnovation.com/ellen-ai/> (consulté le 22 juillet 2023).
25. Conseil de l'innovation. AI en verre. Disponible en ligne : <https://healthcare.boardofinnovation.com/glass-ai/> (consulté le 22 juillet 2023).
26. Santé du verre. AI en verre. Disponible en ligne : <https://glass.health/ai> (consulté le 22 juillet 2023).
27. Regard. Le Torrance Memorial Medical Center réduit l'épuisement professionnel des médecins, augmente les revenus annuels de 2 millions de dollars avec l'aide de l'étude de cas Regard (septembre 2022). Disponible en ligne : <https://withregard.com/case-studies/tmmc-reduces-burnout> (consulté le 22 juillet 2023).
28. Sharma, S. F.A.S.T. — Meta AI's Segment Anything for Medical Imaging. RedBrick AI 10 avril 2023. Disponible en ligne : <https://blog.redbrickai.com/blog-posts/fast-meta-sam-for-medical-imaging> (consulté le 22 juillet 2023).
29. Kirillov, A. ; Mintun, E. ; Ravi, N. ; Mao, H. ; Rolland, C. ; Gustafson, L. ; Xiao, T. ; Whitehead, S. ; Berg, A.C. ; Lo, W.Y. ; et al. Segmentez n'importe quoi. *arXiv* **2023**, arXiv :2304.02643.
30. Paige Paige FullFocus. Disponible en ligne : <https://paige.ai/clinical/> (consulté le 22 juillet 2023).
31. Raciti, P. ; Sue, J. ; Retamero, J.A. ; Ceballos, R. ; Godrich, R. ; Kunz, J.D. ; Casson, A. ; Thiagarajan, D. ; Ebrahimzadeh, Z. ; Viret, J. ; et al. La validation clinique du diagnostic de pathologie assistée par l'intelligence artificielle démontre des gains importants en matière de précision diagnostique dans la détection du cancer de la prostate. *Arch. Pathol. Lab. Med.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||**2022**. |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||
32. Kahun. Une IA fondée sur des données probantes conçue pour le raisonnement clinique. Disponible en ligne : <https://www.kahun.com/technology> (consulté le 22 juillet 2023).
33. Ben-Shabat, N. ; Sharvit, G. ; Meimis, B. ; Joya, D.B. ; Sloma, A. ; Kiderman, D. ; Shabat, A. ; Tsur, A.M. ; Watad, A. ; Amital, H. Assessing data gathering of chatbot based symptom checkers-a clinical vignettes study. *J. Med.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||*Inform.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||**2022**, 168, 104897. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||[CrossRef]|||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||
34. Hippocratic, A.I. Benchmarks. Disponible en ligne : <https://www.hippocraticai.com/benchmarks> (consulté le 22 juillet 2023).
35. Ayers, J.W. ; Poliak, A. ; Dredze, M. ; Leas, E.C. ; Zhu, Z. ; Kelley, J.B. ; Faix, D.J. ; Goodman, A.M. ; Longhurst, c.a. ; Hogarth, M. ; et al. Comparaison des réponses des médecins et des chatbots d'intelligence artificielle aux questions des patients publiées sur un forum public des médias sociaux. *JAMA Intern. Med.* **2023**, 183, 589–596.
36. Gridspace. Explorez les moyens de créer une meilleure expérience client avec l'IA conversationnelle. Disponible en ligne : <https://resources.gridspace.com/> (consulté le 22 juillet 2023).
37. Syntegra. Innovation basée sur les données grâce à l'IA avancée. Disponible en ligne : <https://www.syntegra.io/technology> (consulté le 22 juillet 2023).
38. Muniz-Terrera, G. ; Mendelevitch, O. ; Barnes, R. ; Lesh, M.D. Virtual cohorts and synthetic data in dementia : An illustration of their potential to advance research. *RECTO: Artif. Intell.* **2021**, 4, 613956. [CrossRef] [PubMed]
39. OpenAI. E-2 Disponible en ligne : <https://openai.com/dall-e-2> (consulté le 22 juillet 2023).
40. Adams, L.C. ; Busch, F. ; Truhn, D. ; Makowski, M.R. ; Aerts, H.J.W.L. ; Bressen, K.K. Que sait DALL-E 2 sur la radiologie ? *J. Med.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_START|||*Internet Res.* |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||**2023**, 25, e43110.
41. Sabzalieva, E. ; Valentini, A. ChatGPT et l'intelligence artificielle dans l'enseignement supérieur : Guide de démarrage rapide. UNESCO : 2023 Disponible en ligne : https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2023/04/ChatGPT-and-Artificial-Intelligence-in-higher-education-Quick-Start-guide_EN_FINAL.pdf (consulté le 22 avril 2023).
42. Venkatesh, K. ; Kamel Boulous, M.N. (Eds.) Thème : ChatGPT et modèles de langage génératif dans l'éducation médicale. Medical education. Disponible en ligne : <https://mededu.jmir.org/themes/1302-theme-issue-chatgpt-and-generative-language-models-in-medical-education> (consulté le 31 juillet 2023).
43. Unlearn, A.I. AI-Powered Digital Twins of Individual Patients. Disponible en ligne : <https://www.unlearn.ai/technology> (consulté le 22 juillet 2023).
44. Bertolini, D. ; Loukianov, A.D. ; Smith, A.M. ; Li-Bland, D. ; Pouliot, Y. ; Walsh, J.R. ; Fisher, C.K. Modeling Disease Progression in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease with Digital Twins. *arXiv* **2020**, arXiv :2012.13455.
45. raccourcir raccourcir Disponible en ligne : <https://www.abridge.com/our-technology> (consulté le 22 juillet 2023).
46. Krishna, K. ; Khosla, S. ; Bigham, J.P. ; Lipton, Z.C. Generating SOAP notes from doctor-patient conversations using modular summarization techniques. In Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and

47. PHILIPS Philips s'associe à AWS pour intégrer le PACS d'imagerie Philips HealthSuite dans le cloud et faire progresser les outils basés sur l'IA à l'appui des cliniciens (17 avril 2023). Disponible en ligne : <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/standard/news/2023/20230417-philips-joins-forces-with-aws-to-bring-philips-healthsuite-imaging-pacs-to-the-cloud-and-advance-ai-enabled-tools-in-support-of-clinicians.html> (consulté le 18 août 2023).
48. SayHeart. SayHeart – Humanizing Health. Disponible en ligne : <https://sayheart.ai/> (consulté le 18 août 2023).
49. Matsuzoe, R. Japan to Develop Generative AI to Speed Scientific Discovery (30 juillet 2023). Nikkei Asia 2023. Disponible en ligne : <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/Japan-to-develop-generative-AI-to-speed-scientific-discovery> (consulté le 18 août 2023).
50. Lee, P. ; Goldberg, C. ; Kohane, I. *The AI Revolution in Medicine : GPT-4 and Beyond*, 1st ed.; Pearson : Londres, Royaume-Uni, 2023 ; ISBN-10: 0138200130/ISBN-13: 978-0138200138 ; Disponible en ligne : <https://www.amazon.com/AI-Revolution-Medicine-GPT-4-Beyond/dp/0138200130/> (consulté le 14 avril 2023).
51. Requête PubMed utilisant le terme « ChatGPT ». Disponible en ligne : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=chatgpt&sort=date> (consulté le 31 juillet 2023).
52. Strickland, E. Dr. ChatGPT Will Interface with You Now : Questioning the Answers at the Intersection of Big Data and Big Doctor (7 juillet 2023). IEEE Spectrum 2023. Disponible en ligne : <https://spectrum.ieee.org/chatgpt-medical-exam> (consulté le 28 juillet 2023).
53. Hillier, M. Pourquoi ChatGPT génère-t-il de fausses références ? Février 2023) Disponible en ligne : <https://teche.mq.edu.au/2023/02/why-does-chatgpt-generate-fake-references/> (consulté le 28 juillet 2023).
54. McGowan, A. ; Gui, Y. ; Dobbs, M. ; Shuster, S. ; Cotter, M. ; Selloni, A. ; Goodman, M. ; Srivastava, A. ; Cecchi, G.A. ; Corcoran, C.M. ChatGPT and Bard exhibit spontaneous citation fabrication during psychiatry literature search. *Psychiatry Res.* **2023**, 326, 115334. |||UNTRANSLATED_CONTENT_START||| [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] |||UNTRANSLATED_CONTENT_END|||
55. Proser, Z. Retrieval Augmented Generation (RAG) : Réduire les hallucinations dans les applications GenAI. Disponible en ligne : <https://www.pinecone.io/learn/retrieval-augmented-generation/> (consulté le 7 août 2023).
56. Seghier, M.L. ChatGPT : Toutes les langues ne sont pas égales. *Nature* **2023**, 615, 216.
57. OpenAI. Modèles Disponible en ligne : <https://platform.openai.com/docs/models/overview> (consulté le 28 juillet 2023).
58. Meta Meta et Microsoft présentent la prochaine génération de lamas (18 juillet 2023). Disponible en ligne : <https://about.fb.com/news/2023/07/llama-2/> (consulté le 28 juillet 2023).
59. Google Barde Disponible en ligne : <https://bard.google.com/> (consulté le 28 juillet 2023).
60. Moshirfar, M. ; Altaf, A.W. ; Stoakes, I.M. ; Tuttle, J.J. ; Hoopes, p.c. Artificial Intelligence in Ophthalmology : A Comparative Analysis of GPT-3.5, GPT-4, and Human Expertise in Answering StatPearls Questions. *Cureus* **2023**, 15, e40822.
61. Chen, L. ; Zaharia, M. ; Zou, J. Comment le comportement de ChatGPT change-t-il au fil du temps ? *arXiv* **2023**.
62. Medicines & Healthcare Products Regulatory Agency Software and Artificial Intelligence (AI) as a Medical Device (Guidance, Updated 26 July 2023). Disponible en ligne : <https://www.gov.uk/government/publications/software-and-artificial-intelligence-ai-as-a-medical-device/software-and-artificial-intelligence-ai-as-a-medical-device> (consulté le 28 juillet 2023).
63. Meskó, B. ; Topol, E.J. The imperative for regulatory oversight of large language models (or generative AI) in healthcare. *NPJ Digit. Med.* **2023**, 6, 120.
64. BBC News ChatGPT interdit en Italie pour des raisons de confidentialité (1er avril 2023). Disponible en ligne : <https://www.bbc.co.uk/news/technology-65139406> (consulté le 1er avril 2023).
65. BBC News ChatGPT à nouveau accessible en Italie (28 avril 2023). Disponible en ligne : <https://www.bbc.co.uk/news/technology-65431914> (consulté le 28 avril 2023).
66. OpenAI. Nouvelles façons de gérer vos données dans ChatGPT (25 avril 2023). Disponible en ligne : <https://openai.com/blog/new-ways-to-manage-your-data-in-chatgpt> (consulté le 26 avril 2023).
67. NVIDIA Corporation Supercalculateur NVIDIA HGX AI. Disponible en ligne : <https://www.nvidia.com/en-gb/data-center/hgx/> (consulté le 7 août 2023).
68. Secrétariat de la Présidence de la République. Guide à l'intention des fonctionnaires sur l'utilisation de l'IA générative (publié le 29 juin 2023). Disponible en ligne : <https://www.gov.uk/government/publications/guidance-to-civil-servants-on-use-of-generative-ai/guidance-to-civil-servants-on-use-of-generative-ai> (consulté le 21 juillet 2023).
69. Nolan, M. Llama et ChatGPT ne sont pas des LLM à code source ouvert - de nouveaux LLM apparemment à code source ouvert sont à la hauteur de la revendication d'ouverture. IEEE Spectrum 27 juillet 2023. Disponible en ligne : <https://spectrum.ieee.org/open-source-llm-not-open> (consulté le 28 juillet 2023).
70. Claburn, T. Microsoft, OpenAI poursuivi pour 3 milliards de dollars après avoir prétendument piétiné la vie privée avec ChatGPT. Le Registre du 28 juin 2023. Disponible en ligne : https://www.theregister.com/2023/06/28/microsoft_openai_sued_privacy/ (consulté le 29 juin 2023).
71. Zhang, D. ; Finckenberg-Broman, P. ; Hoang, T. ; Pan, S. ; Xing, Z. ; Staples, M. ; Xu, X. Right to be Forgotten in the Era of Large Language Models : Implications, Challenges, and Solutions. *arXiv* **2023**.
72. Thampapillai, D. Deux auteurs poursuivent OpenAI pour avoir formé ChatGPT avec leurs livres. Pourraient-ils gagner ? The Conversation 7 juillet 2023. Disponible en ligne : <https://theconversation.com/two-authors-are-suing-openai-for-training-chatgpt-with-their-books-could-they-win-209227> (consulté le 10 juillet 2023).
73. Rao, R. Generative AI's Intellectual Property Problem Heats up AIs producing Art or Inventions Have to Navigate a Hostile

Legal Landscape, and a Consensus Is Far Away. IEEE Spectrum 13 juin 2023. Disponible en ligne : <https://spectrum.ieee.org/generative-ai-ip-problem> (consulté le 15 juin 2023).

74. Ozcan, S. ; Sekhon, J. ; Ozcan, O. ChatGPT : What the Law Says About Who Owns the Copyright of AI-Generated Content. La Conversation 17 avril 2023. Disponible en ligne : <https://theconversation.com/chatgpt-what-the-law-says-about-who-owns-the-copyright-of-ai-generated-content-200597> (consulté le 18 avril 2023).
75. Microsoft Corporation Résumé des modifications apportées au contrat de services Microsoft - 30 septembre 2023. Disponible en ligne : <https://www.microsoft.com/en-us/servicesagreement/upcoming-updates> (consulté le 11 août 2023).
76. TRIBUNE POUR L'EUROPE - AVRIL 99 Loi sur l'IA de l'UE : Premier règlement sur l'intelligence artificielle (14 juin 2023). Disponible en ligne : <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence> (mise en ligne le 16 juin 2023).
77. OpenAI. API Référence-OpenAI API. Disponible en ligne : <https://platform.openai.com/docs/api-reference/introduction> (consulté le 30 juin 2023).
78. OpenAI. Plugins ChatGPT (23 mars 2023). Disponible en ligne : <https://openai.com/blog/chatgpt-plugins> (consulté le 24 mars 2023).
79. OpenAI. Plugins de chat - Introduction. Disponible en ligne : <https://platform.openai.com/docs/plugins/introduction> (consulté le 28 juillet 2023).
80. Naskar, R. Google Bard Extensions pourrait bientôt concurrencer ChatGPT. Neowin 18 juillet 2023. Disponible en ligne : <https://www.neowin.net/news/google-bard-extensions-may-be-coming-soon-to-compete-with-chatgpt/> (consulté le 18 juillet 2023).
81. Petal/Paladin Max, Inc. Formateur GPT. Disponible en ligne : <https://gpt-trainer.com/> (consulté le 14 juillet 2023).
82. Velvart, A. Comment l'IA affectera-t-elle les interfaces utilisateur ? linkedin ||| UNTRANSLATED_CONTENT_START ||| Available online: <https://www.linkedin.com/pulse/how-ai-affect-user-interfaces-andr%2525C3%2525A1s-velv%2525C3%2525A1rt/> (accessed on 26 July 2023). ||| UNTRANSLATED_CONTENT_END |||
83. Gautam, R. OSM-GPT : Un projet innovant combinant GPT-3 et l'API Overpass pour faciliter la découverte facile des fonctionnalités sur OpenStreetMap. Disponible en ligne : <https://github.com/rowheat02/osm-gpt> (consulté le 26 juillet 2023).
84. Venkatesh, K.P. ; Brito, G. ; Kamel Boulos, M.N. Health Digital Twins in Life Science and Health Care Innovation. *Annu. Rev. Pharmacol.* ||| UNTRANSLATED_CONTENT_START ||| *Toxicol.* ||| UNTRANSLATED_CONTENT_END ||| **2024**, 64. sous presse.
85. Le code de l'IA peut-il battre Saber ? Regardez ChatGPT Try (vidéo YouTube, 7 mai 2023). ||| UNTRANSLATED_CONTENT_START ||| Available online: <https://www.youtube.com/watch?v=E2rktIcLJwo> (consulté le 2 juin 2023). ||| UNTRANSLATED_CONTENT_END |||
86. Tao, R. ; Xu, J. Cartographie avec ChatGPT. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2023**, 12, 284.
87. Srivastava, J. ; Routay, S. ; Ahmad, S. ; Waris, M.M. Internet of Medical Things (IoMT)-Based Smart Healthcare System : Trends and Progress. *Calcul. Intell. Neurosci.* **2022**, 2022, 7218113.
88. Dilibal, C. ; Davis, B.L. ; Chakraborty, C. Generative Design Methodology for Internet of Medical Things (IoMT)-based Wearable Biomedical Devices. Dans Proceedings of the 2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), Ankara, Turquie, 11-13 juin 2021 ; IEEE : Piscataway, NJ, États-Unis, 2021. ||| UNTRANSLATED_CONTENT_START ||| [[CrossRef](#)] ||| UNTRANSLATED_CONTENT_END |||
89. Yellig, J. Where ChatGPT Fits in the Internet of Things (6 juillet 2023). IoT World Today (Informa) 2023. Disponible en ligne : <https://www.iotworldtoday.com/connectivity/where-chatgpt-fits-in-the-internet-of-things> (consulté le 16 août 2023).
90. Wong, B. ; Info-Tech Research Group. How Generative AI is Changing the Game in Healthcare (5 avril 2023). linkedin Disponible en ligne : <https://www.linkedin.com/pulse/future-here-how-generative-ai-changing-game-healthcare/> (consulté le 16 août 2023).
91. Candemir, S. ; Nguyen, X.V. ; Folio, L.R. ; Prevedello, L.M. Training Strategies for Radiology Deep Learning Models in Data-limited Scenarios. *Radiol. Artif. Intell.* **2021**, 3, e210014. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
92. Cynerio. Cynerio exploite le pouvoir de l'IA générative pour révolutionner la cybersécurité des soins de santé (27 juin 2023). Disponible en ligne : <https://www.cynerio.com/blog/cynerio-harnesses-the-power-of-generative-ai-to-revolutionize-healthcare-cybersecurity> (consulté le 16 août 2023).
93. Sabry Abdel-Messih, M. ; Kamel Boulos, M.N. ChatGPT in Clinical Toxicology. *Méd. Educ.* **2023**, 9, e46876.

Clause de non-responsabilité/Note de l'éditeur : Les déclarations, opinions et données contenues dans toutes les publications sont uniquement celles du ou des auteurs et contributeurs individuels et non de MDPI et/ou du ou des éditeurs. MDPI et/ou le (s) rédacteur(s) déclinent toute responsabilité pour toute blessure aux personnes ou aux biens résultant d'idées, de méthodes, d'instructions ou de produits mentionnés dans le contenu.