

Le dossier – L'intelligence artificielle et le cardiologue

Quoi de neuf en numérique, santé connectée et intelligence artificielle ?

Une nouvelle ère médicale s'ouvre avec l'arrivée des technologies numériques et de l'intelligence artificielle. La santé connectée repose sur les applications mobiles, les capteurs portables et les dispositifs médicaux connectés, facilitant la surveillance en temps réel des patients et l'amélioration des soins. L'IA, notamment *via le machine learning* et le *deep learning*, joue un rôle clé dans l'analyse des données médicales, l'automatisation des tâches et le soutien aux décisions cliniques, tout en présentant des défis en matière d'intégration clinique et de transparence. La télésanté, qui inclut la téléconsultation, la télésurveillance et le télésoin, élargit l'accès aux soins, particulièrement pour les patients atteints de maladies chroniques. Toutefois, le développement de ces technologies nécessite qu'une attention particulière soit prêtée à la sécurité des données, à la transparence des algorithmes et à la supervision humaine pour garantir un usage éthique et sécurisé. La transformation numérique des soins de santé est prometteuse mais doit être équilibrée pour maximiser ses bénéfices tout en gérant les risques associés.



B. LEQUEUX

CHU POITIERS.

Président de la Commission numérique du Syndicat national des cardiologues.

La santé connectée, propulsée par le numérique et l'intelligence artificielle (IA), transforme en profondeur notre approche des soins. Elle englobe un vaste éventail de technologies et de services numériques conçus pour améliorer la santé et le bien-être des individus. Cette numérisation croissante des données de santé ouvre de nouvelles perspectives, tout en soulevant des défis importants.

Composante et écosystème de la santé connectée

La santé connectée s'appuie sur divers outils numériques pour le suivi, la gestion et l'amélioration de la santé [1-2].

>>> Applications mobiles. Elles sont un élément central de la santé connectée. Elles permettent aux utilisateurs de surveiller leur activité physique, leur alimentation, leur sommeil et de bénéficier de téléconsultations. Ces applications peuvent servir de plateformes de gestion personnalisée de la santé, intégrant des rappels de prise de médicaments ou des conseils de prévention.

>>> Capteurs portables. Par exemple, les montres connectées et les bracelets d'activité mesurent en continu des données comme la fréquence cardiaque, le nombre de pas et la saturation en oxygène. Leur popularité croissante repose sur leur capacité à fournir des alertes en temps réel, par exemple en cas de rythme cardiaque anormal, permettant une inter-

vention rapide. Ces dispositifs peuvent mesurer et enregistrer divers paramètres, transférant les données vers une interface utilisateur partageable.

>>> Dispositifs médicaux connectés. Comme les tensiomètres ou les glucomètres intelligents, ils transmettent directement les données aux professionnels de santé ou les stockent sur des *clouds* sécurisés. Cela facilite le suivi des patients atteints de pathologies chroniques, comme l'hypertension ou le diabète, et améliore l'ajustement des traitements. Ces dispositifs peuvent également servir à la gestion des maladies chroniques, à l'observance du traitement et à la prise de médicaments à domicile, ainsi qu'aux soins des personnes âgées [3].

>>> Plateformes de télésurveillance. Elles jouent un rôle clé pour les patients atteints de maladies chroniques [1]. En collectant et en analysant des données en continu, elles permettent aux professionnels de santé d'intervenir de

manière préventive, réduisant ainsi le risque de complications et les hospitalisations. La télésurveillance peut utiliser des algorithmes pour détecter des événements cardiaques potentiels plus rapidement qu'un clinicien. Les appareils de thérapie de resynchronisation cardiaque (CRT) peuvent détecter l'impédance intrathoracique, ce qui contribue à prédire les hospitalisations chez les patients souffrant d'insuffisance cardiaque. Les algorithmes basés sur les données des défibrillateurs CRT ont démontré une sensibilité de 70 % dans la prédiction d'hospitalisation.

>>> Écosystème de la santé connectée. L'Internet des objets (IoT) est un réseau de dispositifs qui échangent et stockent des données, ce qui permet aux professionnels de santé de surveiller leurs patients à distance en temps réel [1]. L'IoT peut être utilisé pour collecter des données telles que la pression artérielle, le pouls, la saturation en oxygène et l'ECG simultanément. Un système basé sur l'IoT comprend trois couches : une couche de détection, une couche de transport et une couche d'application. L'intelligence artificielle (IA) peut être utilisée pour analyser des données et améliorer le diagnostic et la détection des maladies cardiovasculaires. Les systèmes d'IA sont classés en quatre

niveaux de risque, allant du risque inacceptable au risque minimal [4]. Un principe de "garantie humaine" est reconnu à l'échelle française, européenne et internationale, assurant le développement éthique des intelligences artificielles dans le domaine de la santé [5]. La transformation numérique des systèmes de santé a permis de développer des outils numériques fiables, sécurisés et interopérables avec les logiciels métiers. La télésanté et la santé connectée sont essentielles pour construire la médecine du XXI^e siècle.

L'intelligence artificielle au cœur de la transformation

L'IA permet d'exploiter d'importants volumes de données de santé pour offrir des solutions plus précises et personnalisées [1]. Sa mise en œuvre, plus ou moins facile, intervient à différents niveaux du parcours médical (fig. 1).

>>> L'automatisation des tâches et la réduction des erreurs humaines. L'IA automatise les tâches répétitives telles que la création de plannings et le codage du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) [5]. Cela libère du temps pour les professionnels de santé, leur permettant de se concen-

trer sur l'interaction humaine avec les patients. En automatisant ces tâches, l'IA contribue également à réduire les erreurs humaines.

>>> Machine learning et deep learning (fig. 2). Le *machine learning* (ML) est une méthode d'apprentissage automatique qui permet de faire des prédictions à partir de flux de données comme la détection précoce de la cardiopathie amyloïde [6], et plus généralement, de tendances pathologiques, comme dans l'analyse des électrocardiogrammes (ECG) [1].

Le *deep learning* (DL) est une forme plus avancée de ML qui utilise des réseaux neuronaux pour traiter des tâches complexes [6]. Le DL est notamment employé dans l'analyse d'images médicales comme les IRM et les échographies cardiaques, permettant l'identification d'anomalies subtiles. Ces modèles de DL apprennent de manière autonome à partir des données historiques, améliorant ainsi leur précision au fil du temps. Les algorithmes de DL peuvent être utilisés pour analyser les données d'échocardiographie, avec une précision comparable à celle des cliniciens, pour quantifier la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) [7]. L'analyse automatisée par IA peut ainsi être effec-

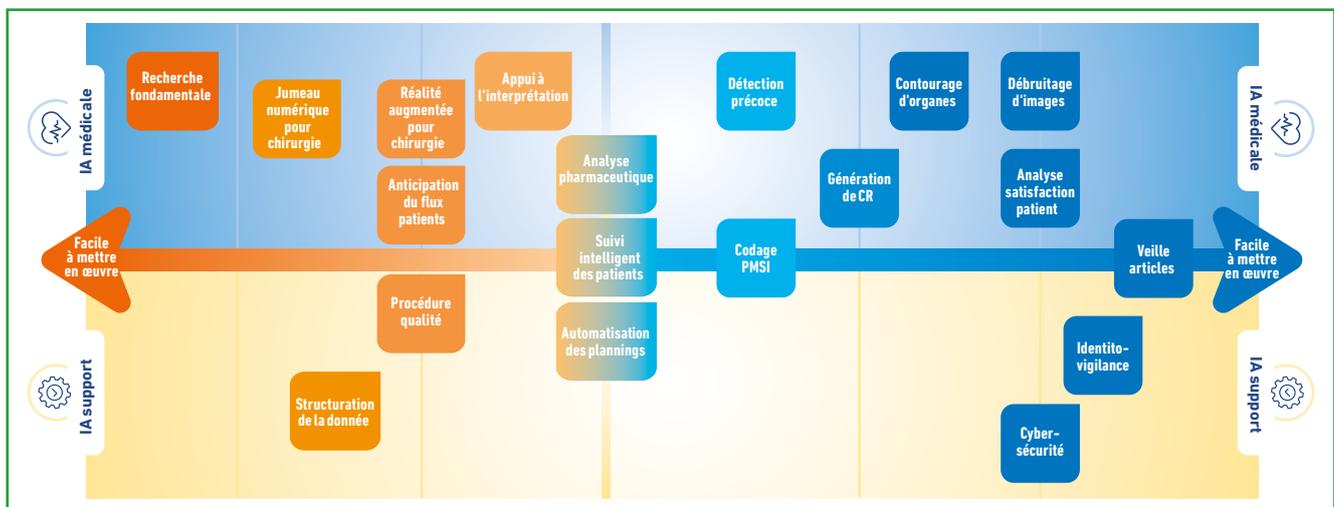


Fig. 1 : Implémentation de l'IA dans le parcours médical (source : ANAP).

Le dossier – L'intelligence artificielle et le cardiologue



Fig. 2 : Les différents types d'IA (source : ANAP).

tuée par du personnel non spécialisé et de manière plus rapide que l'analyse manuelle par des experts.

>>> Gestion des flux et allocation des ressources. L'IA est aussi utilisée dans la gestion des flux hospitaliers, en anticipant les pics d'activité aux urgences [5]. Elle permet également d'optimiser l'allocation des ressources au sein des établissements de santé grâce à l'anticipation des flux de patients en utilisant des données historiques et des prévisions climatiques.

>>> Recherche et systèmes d'aide à la décision clinique. Dans les projets de recherche, l'IA structure et analyse les données cliniques et biologiques à une vitesse inégalée [5]. Cela accélère le développement de nouvelles thérapies. Elle peut être intégrée aux systèmes d'aide à la décision clinique (AI-CDSS) pour fournir des recommandations aux médecins. Ces systèmes s'appuient sur des analyses de données multidimensionnelles afin de guider les choix thérapeutiques de manière personnalisée. Un

système hybride combinant l'expertise humaine et l'apprentissage automatique peut augmenter la précision des diagnostics. Des algorithmes d'IA peuvent analyser des données génomiques pour améliorer la prédiction des risques cardiovasculaires mais aussi contribuer à l'identification de variants génétiques pathogènes [8].

>>> Autres applications de l'IA en cardiologie. Elle est également utilisée pour l'interprétation automatisée des angiographies coronaires et l'estimation des sténoses [9]. Elle peut être appliquée à l'imagerie de perfusion myocardique pour améliorer la qualité des images et la prédiction des événements cardiovasculaires [10]. L'IA peut également aider à prédire la thérapie de resynchronisation cardiaque [11] mais aussi évaluer automatiquement la fonction systolique cardiaque à partir d'angiographies coronaires [12]. L'IA peut être appliquée à la correction d'atténuation virtuelle pour améliorer l'imagerie SPECT de perfusion myocardique [13].

Des techniques d'IA, comme les réseaux neuronaux convolutionnels, sont employés pour l'analyse d'images de résonance magnétique cardiaque (IRM) afin d'automatiser la segmentation d'images et de quantifier des volumes et la masse du ventricule gauche [3].

>>> Limites et défis de l'IA. Malgré ses avantages, il existe un écart important entre la recherche sur l'IA et son intégration clinique. Les raisons de cet écart incluent le décalage entre les caractéristiques des données d'entraînement et les données réelles, ainsi qu'un manque de prise en compte du contexte opérationnel. Les modèles d'IA peuvent produire des réponses incorrectes, voire inventer de fausses informations. Par conséquent, la supervision humaine demeure essentielle. Un contrôle humain effectif de toutes les solutions déployées est nécessaire pour assurer la conformité de l'utilisation de ces systèmes. En résumé, l'IA est un outil puissant qui a le potentiel de révolutionner de nombreux aspects de la médecine, de la prévention au traitement en passant par la recherche. Toutefois, son déploiement doit être encadré afin de maximiser ses bénéfices tout en limitant les risques.

La télésanté : une pratique essentielle

La télésanté transforme la dispensation des soins en permettant une interaction médicale à distance tout en assurant un suivi de qualité. Elle englobe plusieurs pratiques complémentaires : la téléconsultation, la téléexpertise, la télésurveillance et le télésoin [14].

>>> Téléconsultation. Elle permet une consultation à distance *via* des plateformes sécurisées et offre aux patients une prise en charge rapide, par exemple dans l'adaptation des traitements antihypertenseurs, ce qui est particulièrement utile dans les déserts médicaux. Elle est remboursée en France mais encore peu utilisée en cardiologie.

>>> Téléexpertise. Elle facilite le partage de cas complexes entre professionnels [15]. Elle renforce ainsi les diagnostics et les stratégies thérapeutiques. Asynchrone, elle permet un avis d'expertise sans être dérangé pendant ces consultations. Elle est tracée et facturable pour le requérant et le requéré.

>>> Télésurveillance. Elle joue un rôle essentiel dans la gestion des maladies chroniques. Elle combine des dispositifs connectés avec des algorithmes intelligents pour un suivi en temps réel des paramètres physiologiques des patients. En cardiologie, deux types de télésurveillance sont remboursés : la télésurveillance rythmologique (PM/DAI) et la télésurveillance d'insuffisance cardiaque (IC), rentrée dans le droit commun depuis le 1^{er} juillet 2023 avec des critères simples d'inclusion (hospitalisation dans les moins de 12 mois ou NYHA >= 2 et NtPROBNP > 1 000 ou BNP > 100). Les preuves scientifiques sont nombreuses sur l'intérêt de la télésurveillance IC en termes de morbidité [16].

Par ailleurs, un algorithme basé sur les données de défibrillateurs CRT a montré une sensibilité de 70 % dans la prédiction d'hospitalisation. La détection de l'impédance intrathoracique *via* des dispositifs de thérapie de resynchronisation cardiaque (CRT) peut aider à prédire l'hospitalisation chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque. Un questionnaire téléphonique de triage peut éliminer les faux positifs dans la prédiction de l'insuffisance cardiaque. On trouve également d'autres dispositifs expérimentaux comme un capteur non invasif placé sur la poitrine du patient qui peut enregistrer l'ECG, l'accélérométrie sur 3 axes, l'impédance cutanée, la température corporelle et la posture, transférant les données *via* Bluetooth vers un téléphone portable et un *cloud* pour analyse. Les variations des signes vitaux sont surveillées grâce à un indice de changement multivarié (de -1 à 1) qui permet de distinguer les changements

physiologiques des variations normales dues à l'activité physique.

>>> Télésoin. Il élargit l'accès à des soins paramédicaux, comme la rééducation ou l'accompagnement psychologique [15]. Il renforce la continuité des soins. Les soins hybrides, qui combinent présentiel et télésoin, gagnent en popularité pour leur capacité à répondre aux besoins spécifiques des patients tout en réduisant les contraintes logistiques. La télésanté améliore l'accès aux soins pour les populations isolées ou vulnérables. Elle s'intègre de manière fluide au parcours de soins global. Les études montrent que ces approches réduisent les taux d'hospitalisation. Elle optimise la qualité de vie des patients et renforce la collaboration interprofessionnelle. Les parcours de soins hybrides alternant soins distanciels et présentiels caractérisent la médecine du XXI^e siècle. Ces parcours permettent une meilleure prise en charge des patients par une équipe de soins grâce à l'alliance de la clinique et des technologies. La télésanté a été utilisée dans différents types de consultation pendant la pandémie de COVID-19, notamment pour la gestion des patients atteints de maladies chroniques et de leurs traitements.

>>> Conditions de succès de la télésanté. Pour atteindre leur plein potentiel, ces pratiques doivent être soutenues par des infrastructures numériques robustes. Des formations adaptées pour les soignants et une sensibilisation des patients à ces nouveaux outils sont nécessaires. L'utilisation de Mon Espace Santé (MES), et en particulier du Dossier Médical Partagé (DMP), est nécessaire pour garantir la qualité et la sécurité des soins distanciels. Ceux-ci doivent être adaptés au parcours de santé hybride du patient. L'évaluation des organisations professionnelles pour les soins à distance doit être faite par des études contrôlées et randomisées qui démontrent leur non-infériorité par rapport aux soins en présentiel. La participation des patients à ces évaluations (PREMs et PROMs) est essentielle pour évaluer la qualité et l'im-

pact des parcours de soins hybrides sur leur état de santé.

>>> Développement et perspectives. La transformation numérique des systèmes de santé a permis de "réinventer" les pratiques de télésanté à partir de 2022. La période de la pandémie a permis de conforter et d'étendre la médecine hybride dans de nombreuses spécialités médicales. Les professionnels de santé (libéraux, établissements de santé, structures de prévention, établissements médico-sociaux, etc.) doivent désormais développer des parcours de soins hybrides coordonnés par le médecin traitant qui associent soins distanciels et présentiels. Ils doivent bénéficier en premier lieu aux patients atteints de maladies chroniques.

■ Enjeux et défis majeurs

Cette transformation a un impact majeur sur les professionnels de santé et les patients, redéfinissant leurs rôles respectifs. Les professionnels de santé peuvent désormais automatiser de nombreuses tâches administratives et cliniques grâce à l'intelligence artificielle, comme la planification des consultations ou l'analyse préliminaire de certains résultats médicaux. Cela leur permet de consacrer davantage de temps à l'interaction humaine, essentielle pour l'écoute active, la prise de décisions complexes et les soins centrés sur le patient.

Les patients, quant à eux, deviennent des acteurs centraux de leur propre santé. Grâce aux outils connectés, ils peuvent suivre leurs indicateurs en temps réel, ajuster leur comportement et participer activement à la gestion de leur parcours de soins. Les plateformes numériques leur offrent également une transparence accrue, leur permettant d'accéder à leurs données de santé et de mieux comprendre les recommandations médicales.

Cependant, cette transformation repose sur un échange clair d'informations et

Le dossier – L'intelligence artificielle et le cardiologue

le consentement éclairé des patients. Il est impératif que les utilisateurs soient informés de la manière dont leurs données sont collectées, utilisées et protégées, en particulier lorsqu'il s'agit de l'IA [5]. Cette transparence est essentielle pour instaurer une confiance durable entre les patients et les professionnels de santé, garantissant ainsi une adoption généralisée et responsable des innovations technologiques. Le développement de la santé connectée s'accompagne de défis cruciaux et nécessite une approche équilibrée pour garantir un déploiement responsable. La transparence et l'intelligibilité des systèmes d'IA sont des priorités majeures pour instaurer la confiance entre les différents acteurs. Les patients et les professionnels doivent comprendre comment les algorithmes fonctionnent, pourquoi ils recommandent certaines décisions et quels sont leurs éventuels biais. La qualité des données est une pierre angulaire du succès des algorithmes d'IA. Des données représentatives et diversifiées permettent de réduire les biais et d'améliorer la fiabilité des analyses. Cependant, l'interopérabilité des systèmes reste un défi important : les plateformes doivent communiquer efficacement entre elles pour éviter la fragmentation des données et garantir une prise en charge coordonnée des patients.

La sécurité et la confidentialité des données médicales sont primordiales, nécessitant une stricte conformité au RGPD. Le Règlement Européen sur l'IA (RIA) [4] vient compléter cette approche en encadrant les pratiques à haut risque, notamment en matière de transparence et de documentation des algorithmes. L'impact énergétique des systèmes d'IA est une préoccupation croissante [17], car les centres de données et l'entraînement des modèles consomment d'importantes ressources énergétiques. L'optimisation des algorithmes et l'utilisation d'énergies renouvelables sont des pistes à privilégier pour réduire l'empreinte carbone de l'IA.

POINTS FORTS

- **La santé connectée révolutionne la prise en charge médicale** grâce aux applications mobiles, capteurs portables, dispositifs connectés et télésurveillance, les patients bénéficient d'un suivi personnalisé, en temps réel, améliorant leur qualité de vie et réduisant les hospitalisations.
- **L'intelligence artificielle optimise** les diagnostics, les prédictions cliniques et la gestion des ressources, tout en automatisant les tâches répétitives. Elle s'avère particulièrement performante dans l'analyse d'images médicales et les systèmes d'aide à la décision clinique.
- **La télésanté, une pratique essentielle et intégrée** : la téléconsultation, la téléexpertise et le télésoin complètent la télésurveillance pour un parcours de soins hybride, accessible même dans les zones médicalement isolées, tout en renforçant la coordination interprofessionnelle.
- **Des défis majeurs à relever** : la protection des données, la transparence des algorithmes, l'interopérabilité des systèmes et la supervision humaine sont essentiels pour garantir un déploiement responsable et éthique des technologies de santé.
- **Un enjeu clé pour l'avenir de la médecine** : en associant technologies numériques et éthique, la santé connectée et l'IA transforment le système de santé, plaçant les patients et les professionnels au centre d'un écosystème innovant, fiable et durable.

Enfin, l'IA n'est pas infaillible et peut produire des erreurs. Une supervision humaine accrue est essentielle pour valider les décisions critiques [18], et une formation des professionnels de santé à l'utilisation et aux limites des outils numériques est nécessaire. Les patients doivent être accompagnés pour mieux comprendre ces technologies et participer activement à leur parcours de soins hybrides. Le principe de "garantie humaine" assure une supervision humaine continue.

Conclusion

La santé connectée offre des perspectives prometteuses pour améliorer les soins et le bien-être, mais son déploiement doit être responsable, en tenant compte des enjeux éthiques, juridiques, environnementaux et des risques liés à l'IA et à la protection des données. À travers une

approche intégrée et durable, ces innovations peuvent transformer la médecine au bénéfice de tous.

Cet article a fait l'objet d'une aide à la rédaction par NotebookLM.

BIBLIOGRAPHIE

1. YASMIN F, SHAH SMI, NAEEM A *et al.* Artificial intelligence in the diagnosis and detection of heart failure: the past, present, and future. *Rev Cardiovasc Med*, 2021;22:1095-1113.
2. CUNNINGHAM JW, ABRAHAM WT, BHATT AS *et al.* Artificial Intelligence in Cardiovascular Clinical Trials. *J Am Coll Cardiol*, 2024;84:2051-2062.
3. KARATZIA L, AUNG N, AKSENTJEVIC D. Artificial intelligence in cardiology: Hope for the future and power for the present. *Front Cardiovasc Med*, 2022;9:945726.
4. CNIL. Règlement européen sur l'IA : <https://www.cnil.fr/fr/entree-en-vigueur-du-reglement-europeen-sur-lia-les-premieres-questions-reponses-de-la-cnil> [Internet].

5. ANAP. DÉPLOYER L'IA EN TOUTE CONFIANCE Stratégie et bonnes pratiques.
6. KAMEL MA, ABBAS MT, KANAAN CN *et al.* How Artificial Intelligence Can Enhance the Diagnosis of Cardiac Amyloidosis: A Review of Recent Advances and Challenges. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2024;11:118.
7. SUN X, YIN Y, YANG Q *et al.* Artificial intelligence in cardiovascular diseases: diagnostic and therapeutic perspectives. *Eur J Med Res*, 2023;28:242.
8. ELIAS P, JAIN SS, POTERUCHA T *et al.* Artificial Intelligence for Cardiovascular Care-Part 1: Advances: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*, 2024;83:2472-2486.
9. AVRAM R, OLGIN JE, AHMED Z *et al.* CathAI: fully automated coronary angiography interpretation and stenosis estimation. *NPJ Digit Med*, 2023;6:142.
10. PAPANDRIANOS NI, APOSTOLOPOULOS ID, FELEKI A *et al.* AI-based classification algorithms in SPECT myocardial perfusion imaging for cardiovascular diagnosis: a review. *Nucl Med Commun*, 2023;44:1-11.
11. HOWELL SJ, STIVLAND T, STEIN K *et al.* Using Machine-Learning for Prediction of the Response to Cardiac Resynchronization Therapy: The SMART-AV Study. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021;7:1505-1515.
12. AVRAM R, BARRIOS JP, ABREAU S *et al.* Automated Assessment of Cardiac Systolic Function From Coronary Angiograms With Video-Based Artificial Intelligence Algorithms. *JAMA Cardiol*, 2023;8:586-594.
13. HAGIO T, POITRASSON-RIVIÈRE A, MOODY JB *et al.* "Virtual" attenuation correction: improving stress myocardial perfusion SPECT imaging using deep learning. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022;49:3140-3149.
14. DGOS. SEGUR de la santé <https://esante.gouv.fr/segur> [Internet].
15. SIMON P. Think Tank Numérique: <https://www.telemedaction.org> [Internet].
16. DE LATHAUWER ILJ, NIEUWENHUYNS WW, HAFKAMP F *et al.* Remote patient monitoring in heart failure: A comprehensive meta-analysis of effective programme components for hospitalization and mortality reduction. *Eur J Heart Fail*, 2025.
17. Ecologie et IA: <https://reporterre.net/L-insoutenable-cout-ecologique-du-boom-de-l-ia> [Internet].
18. LE CALME S. IA et Hallucinations: <https://intelligence-artificielle.developpez.com/actu/364536/OpenAI-et-le-defi-des-hallucinations-une-etude-d-OpenAI-revele-que-meme-ses-meilleurs-modeles-donnent-de-mauvaises-reponses-dans-une-tres-large-proportion-la-concurrence-ne-se-porte-pas-forcement-mieux/> [Internet].

L'auteur a déclaré le lien d'intérêt suivant: consultant pour l'entreprise Viatrix.