



ORDRE NATIONAL DES MÉDECINS  
Conseil National de l'Ordre

# MÉDECINS ET PATIENTS DANS LE MONDE DES DATA, DES ALGORITHMES ET DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

---

Analyses et recommandations  
du Cnom

# Remerciements

La rédaction de ce livre blanc a été une entreprise collégiale du Groupe numérique<sup>1</sup> du Conseil national de l'Ordre des médecins, sous la coordination du Dr Jacques LUCAS et du Dr Serge UZAN.

Nous avons entendu dans le cours des travaux préalables à la rédaction des personnalités particulièrement qualifiées dans le domaine de la médecine, de la santé, du numérique, de l'enseignement, de la recherche, de la réflexion éthique. Nos écrits ne les engagent pas, mais nous leur exprimons tous nos remerciements pour avoir nourri nos réflexions.

Par ordre de leurs auditions au Conseil national :

Philippe CINQUIN, TIMC Imag ; Marie-Christine JAULENT, LIMICS ; Jacques MARESCAUX, IRCAD ; Fabrice DENIS, Institut inter-régional de cancérologie Jean-Bernard ; Guy FAGHERAZZI, Institut Gustave Roussy ; Raja CHATILA, ISIR ; Roman ROUZIER, Institut Curie ; Catherine TOURETTE-TURGIS, Université des patients ; Agnès BUZYN, Haute Autorité de santé ; Didier MENNECIER, Service de santé des Armées ; Olivier MANGIN, Assistant Chef de Clinique AP-HP ; Alain LOUTE et Jean-Philippe COBBAUT, Centre d'éthique médicale Université de Lille ; Brigitte SEROUSSI, UPMC, Limics, DSSIS ; Rand HINDI, Conseil national du Numérique ; Jean-Luc DUBOIS-RANDE, Conférence des Doyens de Médecine ; Jérôme LELEU, Interaction Healthcare ; Olivier PALOMBI, Université numérique de l'enseignement en santé et en sport.

Que soient également remerciées les représentations des organisations siégeant à la Commission jeunes médecins, invitées lors d'une audition : ANEMF, ISNI, REAGIR, ISNAR-IMG, ISNCCA.

Nous remercions enfin très chaleureusement les professeurs Jean-Gabriel GANASCIA et Guy VALLANCIEN, qui ont bien voulu nous faire part de leurs réflexions dans le « Libres propos » figurant en appendice de ce livre blanc.

---

1. Jacques LUCAS. Serge UZAN. Jean-Marie FAROUDJA. François SIMON. Bernard GUERRIER. Jean-Marcel MOURGUES. Pierre MAURICE. Bernard LE DOUARIN. Gérard ICHTERTZ. François ARNAULT. Anne-Marie TRARIEUX. Bruno KEZACHIAN. Bruno BOYER. René LUIGI. Jacques MORALI. André RAYNAL. Andrée PARRENIN. Jean-Michel BERAL. Aboobakar ABDULLA. Alex MOZAR. Jean-François CERFON.  
**Les membres du groupe remercient Madame Dominique LEHALLE pour son assistance rédactionnelle.**

# Sommaire

◆ Avant-propos \_\_\_\_\_ p.3

◆ Introduction \_\_\_\_\_ p.5

1 **TRANSFORMATIONS,  
INNOVATIONS,  
« RÉVOLUTIONS »  
TECHNOLOGIQUES :  
DE QUOI PARLE-T-ON ?** \_\_\_\_\_ p.8

1. La médecine du futur est déjà là... \_\_\_\_\_ p.9
2. Intelligence artificielle et algorithmes \_\_\_\_\_ p.10
3. Pas d'IA sans big data \_\_\_\_\_ p.12
4. La robotique \_\_\_\_\_ p.13
5. Les interfaces et l'interaction homme-machine \_\_\_\_\_ p.15

2 **EXERCER LA MÉDECINE  
À L'ÈRE NUMÉRIQUE** \_\_\_\_\_ p.18

1. Rêve ? Cauchemar ?  
Un enjeu en tous cas \_\_\_\_\_ p.19
2. Les outils du futur médecin  
« augmenté » \_\_\_\_\_ p.20
3. Docteur IA  
ou Docteur + IA ? \_\_\_\_\_ p.20
4. Le patient modélisé \_\_\_\_\_ p.22
5. Thérapies numériques \_\_\_\_\_ p.24
6. Collaboration augmentée \_\_\_\_\_ p.26

3 **QUELLE FORMATION  
POUR LES ÉTUDIANTS  
EN MÉDECINE ET LES  
MÉDECINS** \_\_\_\_\_ p.28

1. Cnom et Conférence  
des Doyens de médecine :  
une vision partagée \_\_\_\_\_ p.29
2. Les enjeux \_\_\_\_\_ p.31
3. Former avec le numérique \_\_\_\_\_ p.32
4. Former au numérique \_\_\_\_\_ p.35
5. Gros plan sur l'Uness \_\_\_\_\_ p.36

4 **RÉINVENTER  
LA RECHERCHE** \_\_\_\_\_ p.38

1. Vers une médecine  
de précision \_\_\_\_\_ p.39
2. Données et modélisation \_\_\_\_\_ p.40
3. Une approche  
transdisciplinaire \_\_\_\_\_ p.41
4. Le patient au centre de la  
recherche épidémiologique \_\_\_\_\_ p.44
5. Les risques \_\_\_\_\_ p.45

5 **LES RELATIONS ENTRE  
LES PATIENTS ET LES  
MÉDECINS : QUESTIONNEMENT  
ÉTHIQUE DANS LA SOCIÉTÉ  
NUMÉRIQUE** \_\_\_\_\_ p.48

1. Les patients acteurs  
du changement \_\_\_\_\_ p.49
2. Le questionnement éthique \_\_\_\_\_ p.52

6 **SYNTHÈSE ET  
RECOMMANDATIONS  
DU CNOM** \_\_\_\_\_ p.56

7 **Tribunes  
en libre propos** \_\_\_\_\_ p.62

« L'IA, le big data et les dogmes  
scientifiques » par Jean Gabriel  
Ganascia \_\_\_\_\_ p.62  
« Et l'Homme créera le Monstre ! »  
par le Pr Guy Vallancien \_\_\_\_\_ p.64

## 2 Les outils du futur médecin « augmenté »

**E**xplorer les voies actuellement empruntées par la R&D et observer l'émergence de nouvelles pratiques, aujourd'hui limitées (voire confidentielles) mais appelées à se répandre, donne des pistes pour identifier l'exercice médical de demain.

En voici quelques illustrations, de la collaboration médecin-IA à l'utilisation des tech-

nologies de réalité virtuelle et augmentée et des « jeux sérieux », en passant par la simulation sur des avatars virtuels de patients modélisés.

En outre, les innovations et évaluations se poursuivent en matière de systèmes d'information et de santé connectée, qui laissent augurer une plus grande facilité d'adoption des outils numériques dans le contexte de la relation patients-professionnels et des collaborations interprofessionnelles.

## 3 Docteur IA ou docteur + IA ?

**L'**automatisation du dépistage et des diagnostics ? Bien qu'apparus il y a une cinquantaine d'années, les systèmes informatisés d'aide au diagnostic et à la décision médicale ont longtemps vu leur usage freiné pour des raisons à la fois scientifiques, sociologiques et technologiques. Les frontières technologiques sont désormais repoussées... apparemment sans limites (cf. chap. 1). Les études et publications scientifiques se succèdent désormais, qui comparent les performances respectives des médecins et des algorithmes dans leurs capacités de diagnostic.

L'enjeu actuel consiste à établir la meilleure alliance possible entre l'humain et la machine (Docteur + IA), à « augmenter » le potentiel du médecin grâce à l'usage de la technologie.

L'intelligence artificielle a en effet la capacité de travailler considérablement plus vite et sur des volumes de données incom-

mensurablement supérieurs, mais sur une tâche bien précise, bien délimitée, alors que le cerveau humain conserve la suprématie quand il s'agit de raisonner, d'analyser son environnement, de communiquer.

### ♦ La « rivalité » médecin-IA

Elle se joue le plus souvent sur les données d'imagerie. Fin 2016, le *JAMA* publiait une étude portant sur le test d'un algorithme de machine learning pour la détection des rétinopathies diabétiques... signée des ingénieurs de Google. Après avoir appris à reconnaître les fonds d'œil pathologiques sur une base de 128 000 images, l'algorithme a produit un diagnostic correct avec des résultats comparables à ceux obtenus par des ophtalmologistes bien entraînés.

Quelques mois plus tard, la revue *Nature* faisait sa une sur les résultats d'une équipe américaine ayant réussi à rendre un algorithme aussi performant qu'un dermatologue expérimenté pour distinguer grains de beauté et mélanomes, cela après l'avoir

entraîné sur une banque de plus de 100 000 images de lésions cutanées associées à quelque 2 000 pathologies.

Challengés par une plateforme d'analyse de symptômes, les médecins restent cependant deux fois plus capables de poser d'emblée le bon diagnostic, selon une étude menée à Harvard Medical School<sup>25</sup>. Les chercheurs ont en outre noté que l'écart entre les performances humaines et celles des logiciels est moins important lorsqu'il s'agit de pathologies courantes, alors que les médecins font mieux face à des signes peu communs et sévères. Sachant que ces derniers sont toutefois susceptibles de commettre des erreurs (dans 15 % des cas), les scientifiques concluent... que les professionnels seraient encore plus performants en s'adjoignant les services des algorithmes. CQFD.

Si les prouesses des géants numériques comme Google (avec Deep Mind) et IBM (connu pour ses investissements dans l'IA Watson, en oncologie notamment) sont régulièrement mises en avant, elles ne doivent pas occulter les efforts de recherche et développement d'un grand nombre de jeunes sociétés (voire des « vieilles » entreprises du secteur santé !). Et pas seulement dans la Silicon Valley.

#### ♦ Et les start-up?

En France, les start-up sont en effet de plus en plus nombreuses à explorer le potentiel de l'IA en médecine ; le plus souvent, elles rassemblent autour des projets médecins, informaticiens et ingénieurs, ou tissent les liens les plus étroits possible avec les centres de recherche clinique implantés en milieu hospitalier.

Ainsi une jeune société<sup>26</sup> issue de la plateforme de neuro-imagerie Cati<sup>27</sup> a l'ambition d'utiliser l'intelligence artificielle pour aider au diagnostic, prédire l'évolution clinique et mesurer l'efficacité des traitements des maladies du système nerveux central. Elle déploie actuellement dans les hôpitaux un premier outil qui permet aux radiologues et aux neurologues d'affiner leur diagnostic dès le début de la maladie : elle exploite les données IRM du patient afin de mesurer automatiquement des biomarqueurs, paramètres ensuite comparés aux informations des

bases de données hospitalières. Un second outil, en cours de développement, visera à prédire l'évolution du patient.

Une autre start-up, incubée à l'Institut de la vision<sup>28</sup>, développe une solution de diagnostic automatisé de la rétinopathie diabétique grâce à un algorithme de deep learning entraîné sur un échantillon d'un million d'images. Elle envisage de le décliner par la suite pour détecter d'autres pathologies oculaires et travaille également sur un nouvel algorithme avec le projet d'expliquer les mécanismes conduisant son modèle mathématique à poser tel ou tel diagnostic.

À l'hôpital Necker, les médecins commencent à utiliser un moteur de raisonnement créé par une jeune pousse parisienne<sup>29</sup> pour améliorer le suivi des patients atteints d'insuffisance rénale chronique. La solution fonctionne sur un principe similaire à celui du Watson d'IBM.

Pour l'analyse des ECG, un cardiologue et deux polytechniciens se sont alliés afin de concevoir une IA basée sur les réseaux de neurones<sup>30</sup>, qui vient d'être homologuée par la Food and Drug Administration (FDA). Entraînée sur une base de données de plus de 500 000 ECG, elle a vocation à assister les médecins dans le repérage des fibrillations atriales et autres arythmies.

À Bordeaux, un jeune médecin de santé publique du CHU, chercheur à l'Inserm et titulaire d'un master en informatique, peaufine un assistant virtuel d'aide à la prescription : « *Nous visons des outils intégrant toutes les sources d'information sur les médicaments (recommandations des sociétés savantes, rapports, articles scientifiques...), traçables et mises à jour* », déclarait-il récemment au Monde<sup>31</sup>.

Les exemples ne manquent pas de chercheurs, médecins, mathématiciens, informaticiens... aujourd'hui sur le pont pour concevoir la nouvelle génération d'outils d'aide à la décision médicale. Difficile pour autant de prédire à quelle échéance ils seront réellement disponibles en pratique quotidienne. Les exemples que nous avons cités n'ont qu'une simple valeur d'illustration de notre propos.





#### ♦ Évaluer, former

En juillet 2017, le cardiologue et prospectiviste américain Eric Topol<sup>32</sup> a résumé dans le Lancet<sup>33</sup> les avancées et limites actuelles de l'IA en matière d'aide au diagnostic. « *Imaginez un individu communiquant avec un médecin virtuel* », raconte-t-il, décrivant la capacité des futures applications à réaliser un diagnostic sur la seule base d'une voix, d'un enregistrement vidéo, de la transmission de photos... « *Les professionnels de santé resteront au cœur de la prise en charge médicale*, assure-t-il. *L'IA augmentera leurs capacités de diagnostic en leur faisant gagner du temps sur l'observation fastidieuse des images* ».

« *Plusieurs obstacles ralentissent l'adoption de l'IA*, poursuit-il cependant. *Le premier réside dans la disponibilité des données nécessaires pour nourrir les algorithmes de deep learning et la collecte du volume indispensable d'images validées par les spécialistes de chaque pathologie spécifique. [...] Il faudra ensuite mettre en œuvre les essais cliniques permettant d'évaluer l'efficacité diagnostique des algorithmes d'apprentissage*. » Sans oublier, « *pour réussir cette révolution, de former les futurs professionnels aux bases du machine learning* » si l'on veut qu'ils intègrent effectivement ces technologies dans leur pratique.

Enfin, « *l'IA n'est pas près de remplacer les médecins rapidement* », ajoute Eric Topol, tant

qu'elle ne fournit aucune capacité d'explication des causes de ce qu'elle observe. « *Dans les années à venir, cependant, l'IA pourrait devenir le complément infatigable et rentable des médecins en leur donnant plus de temps pour se concentrer sur la complexité de chaque patient pris individuellement* ».

25. Publiée en décembre 2016 :

[https://jamanetwork.com/journals/](https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2565684)

[jamainternalmedicine/article-abstract/2565684](https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2565684)

26. Qynapse

27. Centre d'acquisition et de traitement d'images (Cati) pour la maladie d'Alzheimer, s'appuie sur la mise en réseau d'une cinquantaine d'imageurs IRM et TEP répartis sur le territoire.

28. DreamUp Vision

29. Khresterion

30. Cardiologs 31. Edition du 8 mai 2017

31. Édition du 8 mai 2017

32. Auteur de *The Patient Will See You Now* :

*The Future of Medicine Is in Your Hands*, en 2015 et *The Creative Destruction of Medicine* :

*How the Digital Revolution Will Create Better Health Care*, en 2012

33. Avec ses collègues du Scripps Translational Science Institute

<http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2817%2931764-6/fulltext>

## 4

# Le patient modélisé

**D**es interventions personnalisées grâce au jumeau numérique du patient? Avec le développement de la robotique, les chirurgiens ont d'abord bénéficié, depuis le début des années 2000, d'une assistance au geste.

Aujourd'hui, ce sont les progrès de l'imagerie qui transforment le plus radicalement les pratiques chirurgicales. Tandis que l'im-

pression 3D promet déjà de repousser encore les limites.

#### ♦ Les technologies de l'image numérique

Elles contribuent à l'apparition d'une chirurgie personnalisée, où chaque patient sera doté de son avatar virtuel, de son « jumeau numérique ». En facilitant la modélisation des organes en trois dimensions, elles aident le chirurgien à planifier la stratégie opératoire, à se préparer en répétant son geste sur une

maquette 3D ou un clone virtuel de l'organe. Bientôt, la combinaison 3D, robotique et réalité augmentée permettra aussi de modifier cette stratégie en temps réel si nécessaire.

Ces évolutions doivent beaucoup aux travaux menés à l'Institut de recherche contre les cancers de l'appareil digestif (Ircad), créé en 1994 par le Pr Jacques Marescaux et maintenant étroitement lié à l'Institut de chirurgie guidée par l'image (ICI) à l'IHU de Strasbourg (cf. p. 26 le verbatim du Pr Marescaux). Elles reposent également sur les recherches menées par Nicolas Ayache et son équipe de l'Inria.

Depuis, une société *spin-off* de l'Ircad<sup>34</sup> a vu le jour qui propose un service de modélisation et de cartographie 3D en ligne à partir d'images de scanner ou d'IRM.

La chirurgie digestive a été pionnière dans l'utilisation de la réalité augmentée et le congrès 2016 de l'Association française de

chirurgie (AFC) dénombrait quelque 150 interventions de ce type en trois ans, plaçant la France parmi les acteurs de pointe dans le monde.

Les principales pistes d'amélioration sont d'ores et déjà explorées, notamment l'intégration de la déformation des organes dans les modélisations et la mise au point d'un standard mondial de la vidéo chirurgicale afin de surmonter les problèmes d'interopérabilité des équipements d'imagerie, qui freinent le développement de la chirurgie hybride.

Les salles hybrides se multiplient un peu partout en France. Mais encore peu de plateformes combinent soins et recherche à l'instar de l'IHU de Strasbourg ou encore de Ther-A Image, inaugurée en 2013 à Rennes, pour associer les équipements et compétences du CHU, du laboratoire



## Des images médicales au patient numérique

Considéré comme le pionnier de la recherche sur l'analyse automatisée des images médicales et la construction de modèles numériques personnalisés du patient, Nicolas Ayache a été titulaire de la chaire Informatique et sciences numériques du Collège de France, où sa leçon inaugurale, en avril 2014, portait sur l'évolution « Des images médicales au patient numérique ».

Il expliquait alors : « Les images préopératoires servent à construire un modèle numérique et personnalisé du patient, qui permet de planifier et de simuler des interventions avec des logiciels de réalité virtuelle. Celle-ci permet par exemple de simuler les gestes de chirurgie laparoscopique (ou coelioscopique) sur un foie virtuel avec un retour visuel et un retour d'effort, ou bien de s'entraîner à l'embolisation d'un anévrisme par voie endovasculaire, ou encore de se former à la délicate chirurgie de la cataracte de l'œil. Pendant l'intervention, éventuellement robotisée, les images peropératoires sont combinées aux images préopératoires grâce à des logiciels de *réalité augmentée*. Celle-ci permet de rendre le patient virtuellement transparent afin d'aider le praticien (chirurgien, endoscopiste ou radiologue) à ajuster ses instruments dans son corps. »

Le bloc du futur ouvert par l'IHU de Strasbourg est une illustration de cette « *médecine computationnelle à venir* » selon les termes du chercheur.



(Université-Inserm) et de l'industrie médicale afin d'explorer de nouvelles approches dans le domaine cardiovasculaire. Imagerie médicale et progrès de la modélisation ont également ouvert la voie à une chirurgie naviguée dont les technologies continuent de se perfectionner.

#### ♦ Bilan de ces évolutions

Des interventions complexes facilitées, avec des gestes techniques plus précis, plus sûrs et moins invasifs, des complications et douleurs post-opératoires réduites... L'équipe chirurgicale est toujours présente mais dans une dimension tout autre que ce qu'elle est dans une activité chirurgicale plus traditionnelle, quand bien même cette dernière conserve encore toutes ses qualités.

Dernière révolution en cours : l'impression 3D de dispositifs médicaux sur mesure, à laquelle plusieurs équipes françaises ont déjà fait appel ces cinq dernières années, particulièrement pour la chirurgie maxillo-faciale.

**Le développement du patient modélisé ou virtuel ne joue pas seulement sur le geste chirurgical ou en radiologie interventionnelle, il impacte bien sûr la formation (cf. chap. 3) mais aussi la recherche clinique (cf. chap 4).**

34. Visible Patient

## 5

# Thérapies numériques

**L**es jeux sérieux entrent dans l'arsenal thérapeutique. Parmi les études cliniques en cours, à Nice, le Pr Philippe Robert, coordonnateur du Centre mémoire de ressources et de recherche (CMRR) du CHU, est un précurseur de la conception de « jeux sérieux » (serious games) destinés à stimuler les personnes atteintes de troubles cognitifs à un stade léger. L'un de ces jeux<sup>35</sup> est aujourd'hui reconnu dispositif médical (classe I) : il installe le patient aux commandes d'un sous-marin et l'entraîne dans une bataille navale où il doit déployer ses capacités cognitives et physiques. Il présente aussi l'intérêt de faciliter la mesure de l'évolution de la pathologie et aide au maintien du lien social via le développement des interactions entre joueurs et avec le thérapeute. Il constitue donc d'ores et déjà un véritable complément aux traitements traditionnels.

« Les jeux vidéo ne guériront jamais la maladie d'Alzheimer, avertit le Pr Robert. Mais ils

peuvent avoir un impact important en améliorant l'autonomie dans certaines activités de vie quotidienne et la qualité de vie. »

La société éditrice du jeu<sup>36</sup> travaille au sein d'un laboratoire commun (Brain e-Novation) avec l'Institut de cerveau et de la moelle épinière (ICM) à la mise au point des « thérapies numériques de demain ». Elle compte plusieurs études cliniques en cours portant, par exemple, sur un jeu visant à la rééducation du membre supérieur pour les victimes d'AVC et un autre permettant de réduire les troubles de la marche et de l'équilibre des patients souffrant de la maladie de Parkinson. Les serious games en santé se limitent encore le plus souvent à un rôle informatif, de sensibilisation, sur des thèmes de prévention. Ils peuvent aussi aider le patient à gérer sa maladie au quotidien... tout en s'amusant. Le cas du diabète est exemplaire, où l'on a vu les propositions de programmes se multiplier, à l'intention des enfants et adolescents notamment.

Le jeu vidéo a commencé à investir le champ de l'éducation thérapeutique. Ap-