

# Les Echos SPÉCIAL

**Innovation** Les remèdes de l'intelligence artificielle pour le monde de la santé // P. 2 | **Interview** Jean-David Zeitoun : « Le besoin en médecine est quasiment illimité » // P. 3 | **Infographie** Médecine et hôpital : les promesses de l'intelligence artificielle // PP. 4-5 |

**Régulation** Les données de santé, la mère des batailles // P. 6 | **Imagerie** Quand l'algorithme est autorisé à poser un diagnostic // P. 7 |

## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE Une révolution pour la santé

### Médecine augmentée

L'ÉDITORIAL de Benoit Georges



**F**aut-il encore former des étudiants en médecine ? A l'heure où le plan santé présenté par la ministre Agnès Buzyn prévoit enfin d'en finir avec le système du *numerus clausus*, la question peut sembler incongrue. Pourtant, au regard des récents progrès spectaculaires de l'intelligence artificielle, certains n'hésitent pas à affirmer que, au même titre que les chauffeurs Uber ou les caissières de supermarché, les généralistes et les spécialistes seront demain victimes de l'automatisation. Après tout, si les machines savent détecter une tumeur mieux qu'un radiologue, si des chatbots questionnent les patients comme le ferait un médecin de famille, si des logiciels sont capables de prédire les chances de guérison d'un patient atteint d'un cancer, si des robots chirurgiens opèrent le cerveau avec une précision millimétrique, à quoi bon passer dix ans à étudier l'anatomie, les soins d'urgence et les interactions entre médicaments ?

Sauf que, dans la santé comme dans bien d'autres domaines, les prophètes de la fin du travail oublient que les choses ne sont jamais aussi simples. D'abord parce que les progrès évoqués précédemment, s'ils existent, sont encore loin de devenir la règle – il faudra souvent de longues études pour s'assurer de leur pertinence et de leur innocuité, et certaines pistes aujourd'hui vues comme prometteuses aboutiront à des impasses. Ensuite parce qu'automatiser une tâche – l'analyse d'une radio ou la lecture d'un électrocardiogramme, par exemple – ne signifie pas que l'on détruit un emploi : c'est oublier la dimension relationnelle du travail du médecin, qui aura juste plus d'outils, ou des outils plus efficaces, à sa disposition. Enfin parce que le monde du XXI<sup>e</sup> siècle manque de médecins : c'est déjà vrai dans les campagnes et les petites villes de nos pays développés, et ce l'est encore plus dans les autres nations où les besoins sont immenses. Demain, comme par le passé, tout ce qui permettra de traiter plus de monde, mieux, plus vite et moins cher sera bienvenu.

Oui, l'intelligence artificielle porte la promesse de soigner autrement, mais rien ne dit qu'elle permettra de le faire sans médecin. ■

**INNOVATION** // La santé est sans doute le domaine dans lequel l'intelligence artificielle suscite à la fois les plus grands espoirs, mais aussi les craintes les plus vives.

# Les remèdes de l'intelligence artificielle pour le monde de la santé

Frank Niedercorn  
@FNiedercorn  
— Correspondant à Bordeaux

**P**our le médecin, l'intelligence artificielle (IA) sera-t-elle demain aussi banale que le stéthoscope ? Un simple outil de plus à sa disposition, en quelque sorte. A moins... qu'elle ne le remplace. Comme d'autres secteurs, celui de la santé pourrait bien être transformé par les progrès de l'intelligence artificielle. Avec à la clef la promesse d'une amélioration des soins de santé ou d'une réduction des coûts. Mais aussi de nombreuses craintes.

Dans certains domaines où l'information est déjà numérisée, comme l'imagerie médicale, la cardiologie, l'ophtalmologie ou l'oncologie, la recherche a fait des progrès spectaculaires (voir notre infographie pages 4 et 5). Deux facteurs ont joué : l'amélioration des capacités de calculs des ordinateurs et les progrès d'une partie de l'intelligence artificielle, utilisant les réseaux de neurones et leur capacité d'apprentissage.

Une fois entraîné sur des bases de dizaines de milliers d'images, un algorithme peut identifier un mélanome de la peau ou une tumeur cancéreuse. Les performances sont spectaculaires pour l'identification d'une maladie de la rétine : la rétinopathie diabétique. Un pas a été franchi avant l'être avec l'autorisation par la Food and Drug Administration, l'agence de santé américaine, du dépistage automatique de cette maladie grâce à un système d'intelligence artificielle (lire page 7).

**Vers l'analyse exhaustive**  
Les avancées sont loin d'être aussi rapides dans tous les domaines. « Ces systèmes sont très verticaux et spécifiques. Cela ne concerne actuellement que quelques pathologies, comme la détection de mélanomes à partir de photographies. Pour d'autres affections comme la sclérose en plaque, les performances de détection des lésions dans les IRM sont très en dessous de celles des radiologues »,



Dans certains domaines où l'information est déjà numérisée, la recherche a fait des progrès spectaculaires. Photo U-T San Diego/Zuma/REA

analyse Emmanuel Barbier, chercheur à l'Inserm, qui a mis au point avec l'Inria un programme capable de localiser et d'identifier différents types de tumeurs cérébrales.

Mais ces limitations ne seront peut-être que temporaires. La start-up israélienne Zebra Medical Vision affirme avoir développé une technologie permettant de détecter dans les radios des pathologies concernant aussi bien les poumons que les os ou le système cardiovasculaire. « Je ne pensais pas voir arriver un système d'analyse exhaustif avant cinq ans », avoue Olivier Clatz, PDG de Therapixel (lire page 7).

Les espoirs vont bien au-delà de l'imagerie. « A court terme, ces technologies vont permettre de faire plus précisément et plus rapidement ce que sait déjà faire l'homme », précise Joëlle Bouet, associée du cabinet OpusLine, chargé par Bercy d'une étude sur l'impact du numérique sur les industries de santé. Au-delà, la promesse de l'intelligence arti-

cielle est d'éclairer sur des sujets qu'on ne comprend pas, de résoudre des questions sans réponse. Existe-t-il, par exemple, une corrélation entre les perturbateurs endocriniens et l'explosion observée du diabète à travers le monde ? Aujourd'hui c'est une suspicion, mais on est incapable de le démontrer. »

La robotique va constituer l'autre domaine d'excellence de l'intelligence artificielle. En début d'année,

**« A court terme, ces technologies vont permettre de faire plus précisément et plus rapidement ce que sait déjà faire l'homme. »**

JOËLLE BOUET  
Associée du cabinet OpusLine

sur les dix innovations sélectionnées dans le monde par l'observatoire Netexplo, trois relevaient de ce domaine. Les Australiens du projet Stentrode travaillent à un dispositif implantable dans le cerveau permettant de piloter un exosquelette par la pensée. A l'université de Columbia, une équipe développe une prothèse auditive intelligente utilisable dans les environnements bruyants. Quant à l'université de Newcastle, elle met au point une prothèse de main bionique qui, grâce à sa caméra, choisit la façon la plus appropriée de saisir un objet.

L'intelligence artificielle concerne aussi l'hôpital et son fonctionnement. La Fédération hospitalière de France (FHF), qui regroupe les hôpitaux publics, prend le sujet à bras-le-corps. Elle vient de lancer une étude sur deux ans pour estimer l'impact de l'intelligence artificielle sur les 241 métiers recensés dans un hôpital, représentant 3.000 tâches différentes. L'ambition est de « savoir si

l'IA peut nous aider et quel est son degré d'acceptabilité », explique Enguerrand Habran, qui dirige le Fonds recherche et innovation de la FHF. Cette dernière soutient aussi plusieurs projets de terrain, comme celui du Groupe Hospitalier Bretagne Sud, dont le service d'urgence accueille 90.000 patients par an et beaucoup de personnes âgées. En analysant les données sur plusieurs années et sur plusieurs milliers de patients (parcours, pathologie, actes médicaux...), l'objectif serait il temps de faire faire baisser les temps d'attente et d'améliorer l'organisation globale du système de santé territorial en anticipant le besoin de lits, dans l'hôpital lui-même et en dehors pour la convalescence.

Dans la foulée du rapport Villani sur l'intelligence artificielle, la France est décidée à jouer son rôle, notamment en facilitant l'accès aux données de santé pour les industriels. Jusqu'à présent, lancer un projet d'étude à partir du Système natio-

nal des données de santé supposait d'attendre une autorisation de la CNIL, ce qui pouvait prendre plusieurs mois. Désormais, l'absence de retour après quatre mois vaudra pour acceptation (lire page 6).

Pour aller plus loin, le gouvernement a mis sur les rails le Health Data Hub. Objectif : faire travailler ensemble des spécialistes qui en avaient peu l'habitude : industriels, médecins, biologistes, data scientists... « La maîtrise de la donnée en quantité massive pour la recherche, pour la surveillance sanitaire ou l'épidémiologie, c'est de la responsabilité des Etats et cela se joue au niveau européen. C'est un enjeu d'indépendance sanitaire face aux géants du Web », insiste Joëlle Bouet.

## Quel rôle pour le docteur ?

Quel paysage de la santé cette irruption de l'intelligence artificielle va-t-elle nous dessiner ? Et, d'abord, quel sera le rôle du médecin ? « La machine peut faire un diagnostic certain à 95 % ou même 99 %. Ce doit être le médecin qui décide en dernier ressort. Nous imaginons une intelligence artificielle auxiliaire du médecin plutôt qu'en compétition avec lui. Ce sera le praticien augmenté », estime Olivier Froch, associé du cabinet OpusLine.

Le professeur Israël Nisand, gynécologue obstétricien du CHU de Strasbourg et spécialiste de bioéthique, voit, quant à lui, se dessiner un avenir dans lequel l'intelligence artificielle jouera un rôle de filtre : « Internet sera là, à qui on pourra énumérer ses symptômes. Les robots vous poseront quelques questions complémentaires, vous demanderont de montrer une lésion devant le smartphone et vous proposeront diagnostic, pronostic et traitement avec ordonnance par retour d'e-mail. » Du coup, poursuit le praticien, « la consultation médicale en présence d'un médecin deviendra rare. Cela pourrait devenir une offre pour citoyens aisés, une sorte de "sur mesure" de la médecine alors que le "prêt à soigner", réservé à la "plèbe", sera numérique et automatique, en plus d'être gratuit ». ■

## LES FORCES EN PRÉSENCE

### Google mène le peloton des Gafa

Et si les Gafa devenaient aussi des géants de la santé ? Google a tenté d'enfler la blouse blanche il y a plus de dix ans. Après l'échec de Google Health, son dossier médical en ligne abandonné en 2012, la firme est revenue en force avec sa filiale DeepMind Health, en faisant ce qu'elle sait faire de mieux : collecter et traiter les données. En l'occurrence celles de patients d'hôpitaux, notamment britanniques. Les choses ont toutefois été plus difficiles que prévu avec le Royal Free Hospital Trust, qui lui permettait d'accéder à l'historique médical de 1,6 million de patients. L'accord a été dénoncé quand les autorités britanniques ont constaté que ces données n'avaient pas été anonymisées et avaient été utilisées dans un cadre plus large que prévu. Mais Google a plusieurs fers au feu. Son projet Baseline

a l'ambition de « cartographier » la santé humaine, en recueillant les données de santé de 10.000 volontaires grâce à des objets connectés. Sa dernière initiative en date, Cityblock, vise à offrir des services médicaux et à faire de la prévention en direction des titulaires des minima sociaux américains. Les autres géants du Web ne sont pas inactifs. Amazon se lance dans l'assurance santé, et Facebook AI Research (Fair), après avoir recruté Yann LeCun, l'un des pères du « deep learning », a embauché en début d'année Jérôme Pesenti, un ancien responsable du programme Watson d'IBM. Apple confirme aussi son intérêt pour la santé avec sa montre Apple Watch Series 4, le premier appareil grand public doté d'un capteur et d'un algorithme susceptibles de détecter un incident cardiaque. — F. N.

### Les start-up, moteur de l'innovation

« Un médecin 24 heures sur 24. » C'est la promesse de Babylon Health, une jeune entreprise britannique qui a levé 50 millions de livres depuis sa création en 2014 et développé un service de consultation basé sur une application smartphone. Le monde des start-up mettant en œuvre l'intelligence artificielle pour innover dans la santé est foisonnant : le cabinet CB Insights a recensé 481 deals, pour un montant total de 3,6 milliards de dollars investis sur les cinq dernières années. Dans l'Hexagone, bpifrance a dénombré une soixantaine de jeunes pousses nées après 2010 et utilisant le « machine learning », le « deep learning » ou les systèmes experts. Pour les jeunes entreprises, l'une des difficultés reste l'accès aux données. C'est justement l'originalité de Owkin, une start-up spécialiste du « machine

learning » et de la recherche en oncologie dans laquelle a investi Google Ventures. « Nous collaborons avec la recherche publique en mettant en œuvre le principe d'apprentissage fédéré. Cela permet d'échanger des algorithmes pour les entraîner sans avoir à faire sortir les données », résume Thomas Clozel, cofondateur de Owkin. La jeune entreprise a annoncé, le 4 octobre, le lancement avec Apricity, une autre start-up spécialiste de la recherche sur la fertilité, d'un projet collaboratif baptisé « Substra », financé à hauteur de 10 millions d'euros par bpifrance. L'ambition est de mettre au point avec six grands instituts de recherche publique une plateforme de traitement sécurisée, et ainsi de faire tourner leurs algorithmes prédictifs dans leurs domaines de prédilection : anatomopathologie, dermatologie et fertilité. — F. N.

### IBM, pionnier des industriels

Watson Health est-il parti trop tôt ? Dès 2011 et la victoire de son système d'IA dans le jeu Jeopardy!, IBM avait ciblé le marché de la santé et notamment la recherche sur le cancer. Le programme, qui fonctionne comme une aide au diagnostic, a été entraîné en absorbant une bonne partie de la littérature scientifique anglophone concernant l'oncologie. Selon IBM et en fonction des formes de cancers, ses recommandations de traitement vont dans le même sens que celles des médecins dans au moins 8 cas sur 10, et même à 96 % pour le cancer du poumon. Pourtant, depuis l'an dernier, des doutes sont apparus sur la fiabilité de ses conseils. L'un des projets phares, mené avec le MD Anderson Cancer Center de l'université du Texas, a été abandonné. Chez IBM, on plaide la jeunesse du système. « Il y a un vrai sujet autour de la représentativité des données. Watson est utilisé pour le traitement de 84.000 patients

majoritairement américains et européens et ses recommandations s'appliquent moins aux patients originaires d'Asie ou d'Afrique. Changer d'échelle et passer à 1 million de sujets va demander beaucoup de moyens », explique Silvano Sansoni, responsable des ventes d'IBM France. Big Blue revendique 230 hôpitaux utilisateurs dans le monde, contre 55 l'an dernier. S'il n'a pas de partenaire hospitalier en France, il a signé en juillet un accord avec les français Guerbet, spécialiste des produits de contraste en radiologie, pour mener des recherches sur le cancer du foie. Parmi les grands industriels de la santé, notamment ceux de l'imagerie médicale, Philips est probablement le plus actif. Le groupe vient de créer à Paris un centre d'expertise en intelligence artificielle employant une trentaine de chercheurs. L'objectif est notamment de parier sur les partenariats avec les start-up et les hôpitaux. — F. N.



INTERVIEW // JEAN-DAVID ZEITOUN Médecin et docteur en santé publique

# « Le besoin en médecine est quasiment illimité »

- Les géants de la tech ne gagneront pas forcément la bataille de l'IA en santé.
- Les professionnels du secteur et les start-up ont une carte à jouer.

Propos recueillis  
par **Benoit Georges**  
@bengeorges  
et **Rémy Demichelis**  
@RemyDemichelis

**Les premières expérimentations d'intelligence artificielle appliquées à la santé remontent à près d'un demi-siècle...**  
Cela fait au moins quarante ans que des personnes éminentes comme Robert Califf, grand chercheur et ancien commissaire de la FDA [Food and Drug Administration, NDLR], écrivent sur l'interaction entre le médecin et la machine et sur la possibilité d'induire des risques ou des diagnostics à partir de grandes quantités de données. Mais aujourd'hui, l'IA en médecine est en phase de maturation. D'abord parce que les technologies d'IA ont connu des progrès importants, en particulier depuis 2012. Ensuite, parce que les médecins sont de plus en plus prêts à accueillir ces technologies et à modifier leurs pratiques.

**C'est dans le diagnostic que l'on voit aujourd'hui les progrès les plus spectaculaires, notamment grâce à la reconnaissance d'images.**  
Qu'est-ce que cela va changer ? On a déjà des études de très bon niveau méthodologique qui montrent que les algorithmes égalent les performances des ophtalmologues, des anatomo-pathologistes ou des dermatologues. Donc on a déjà une applicabilité presque immédiate de ces technologies. Reste la question de l'implémentation pratique et du business model.

**Certains en déduisent que les radiologues, par exemple, vont disparaître...**  
Ce thème du remplacement des métiers n'est pas exclusif à la santé. Premièrement, je pense que les médecins vont résister assez fortement parce qu'ils ont les connaissances et l'influence pour le faire. Deuxièmement, le besoin en médecine est quasiment illimité, les gens en voudront toujours plus et il y aura une demande qui sera colossale. Donc, si les radiologues passent moins de temps à lire les mammographies – je n'ai pas dit « arrêtez de les lire » – ce n'est pas grave, il y aura toujours une demande en face. On n'aura, par exemple, plus forcément besoin de deux radiologues pour analyser une mammographie, mais il y en aura toujours un.

**« Pour que les algorithmes fassent la meilleure prédiction possible, il ne faut pas simplement leur donner les images. »**

**Ce qui étonne, les autorisations de mise sur le marché de ces produits d'IA arrivent très rapidement...**  
Elles sont maintenant à la hauteur du niveau de preuve qui a été généré par les études. Si les études sont bien faites, il n'y a aucune raison pour que les agences n'autorisent pas ces produits. Il y a des principes clés qui ne sont pas différents par rapport aux médicaments ou aux dispositifs médicaux. C'est un équilibre entre les bénéfices et les risques et c'est toujours un certain niveau de preuve qui doit être démontré.

**C'est aussi pour cela qu'il faudra toujours des médecins ?**  
Oui, ces études ne peuvent pas être faites uniquement chez Google, il faut bien à un moment aller dans les centres de soins pour les réaliser. Et pour que les algorithmes fassent la meilleure prédiction possible, il ne faut pas simplement leur donner les images. Il faut leur fournir aussi les données cliniques et c'est là où les médecins sont incontournables. Pour certaines anomalies à l'électrocardiogramme (ECG), vous ne pouvez pas les interpréter de façon optimale sans avoir le contexte clinique. Vous pouvez avoir la même image ECG chez un malade qui est en train de faire un infarctus et chez un malade qui a fait un infarctus il y a quinze ans. Les géants de la tech et les start-up ont besoin des données cliniques, donc c'est un atout majeur pour que les médecins puissent garder la main s'ils se débrouillent bien et s'ils se font eux-mêmes entrepreneurs.

**« Les géants de la tech et les start-up ont besoin des données cliniques, donc c'est un atout majeur pour que les médecins puissent garder la main. »**

**Les géants du Web vont-ils s'accaparer le secteur de la santé et de l'IA ?**  
Personne ne le sait, mais ce n'est pas gagné pour eux. [...] Je pense qu'on a des atouts pour faire des start-up de qualité. Dans le médicament, quand vous prenez du retard, vous ne le rattrapez pas parce qu'il y a la propriété intellectuelle. C'est le premier qui a déposé le brevet qui va commercialiser le médicament. Mais en IA, comme il n'y a quasiment pas de propriété intellectuelle, le retard est théoriquement rattrapable. Si Google commercialise aujourd'hui son produit, vous, dans un an ou deux, vous pouvez en commercialiser un autre.

**Peut-on imaginer que toutes les maladies seront un jour diagnostiquées par l'IA, comme avec le tricordeur de « Star Trek » ?**  
Cela n'est pas évident. Il y a toujours des débats pour certaines pathologies, par exemple sur les standards diagnostiques d'une infection ou d'une polyarthrite rhumatoïde. Pour d'autres maladies, il n'y a pas de débat : quand vous avez une tumeur cancéreuse, vous avez une tumeur cancéreuse. Mais sur certains diagnostics, les lignes sont encore floues entre le normal et le pathologique.

**Quelles sont les autres limites auxquelles l'IA sera confrontée en médecine ?**  
Je pense qu'il va y avoir beaucoup de prédictions qui seront fausses ou futiles. Fausses pour les raisons invoquées plus haut, ou futiles soit parce qu'on n'aura pas les traitements (si je vous dis que vous avez un risque de 10 % de développer la maladie de Parkinson, ça ne va rien changer à votre vie, il n'y a rien à faire), soit parce qu'on disposera de traitements mais qu'on ne connaîtra pas la meilleure stratégie thérapeutique à adopter.

**Les études de médecine sont synonymes de bachotage. Cela doit-il évoluer ?**  
Oui, et avec la réforme annoncée, cela devrait être le cas. Mais il ne faut pas croire pour autant que le médecin sera dispensé d'acquiescer d'immenses quantités de connaissances sous prétexte que la machine les détient. Un scénario possible est au contraire qu'il nous faille devenir meilleurs pour challenger la machine à bon escient. Je pense que la tendance va nous obliger à élever notre niveau, et ça vaut pour tout le monde.

**Les rôles des généralistes et des spécialistes vont-ils évoluer ?**  
Sur les dix-quinze ans à venir, la grande mission du généraliste sera de faire en sorte que les différents traitements ne viennent pas entrer en collision entre eux. Et le rôle du spécialiste sera d'avoir le plus haut degré d'expertise possible. Les maladies sont considérées comme de plus en plus compliquées parce qu'on les connaît mieux – il n'y a pas un diabète, il y a quinze diabètes. Donc la surspécialisation est une tendance déjà réelle qui devrait inéluctablement s'accroître. ■



Gastro-entérologue à l'hôpital Saint-Antoine et diplômé de Sciences Po Paris, Jean-David Zeitoun a fondé le start-up Inato. Photo DR

**BIENVENUE  
DANS LA NOUVELLE  
ECHOSNOMIE**

Dans un monde en pleine mutation, Les Echos vous aide à identifier les nouvelles opportunités.

**Les Echos**  
NEWS • TALKS • COACHING

News = Informations / Talks = Echanges

© MKT CORPORATE - Paris 8 rue de la Harpe 75001







### IRM

Le projet «FastMRI» de NY University et FAIR cherchent à raccourcir la durée des examens IRM en utilisant l'intelligence artificielle pour réduire la quantité de données nécessaires. A la clé : une expérience moins pénible pour l'utilisateur (bruit, étroitesse...) et des examens moins chronophages.

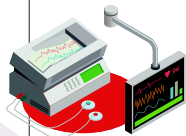
### ONCOLOGIE

Un logiciel analyse les données génétiques générées par le séquençage de l'ADN des patients pour diagnostiquer les cancers et suivre leur évolution. La start-up Grail, associée au leader mondial de séquenceurs ADN Illumina, développe, par exemple, des biopsies liquides pour dépister les cancers à un stade microscopique.



### CARDIOLOGIE

**LECTURE D'ÉLECTROCARDIOGRAMMES**  
Un algorithme d'intelligence artificielle dans le cloud analyse les ECG pour diagnostiquer un grand nombre de pathologies cardiaques courantes.



Portée par les progrès de la vision artificielle et des réseaux de neurones, l'imagerie médicale est un des secteurs où l'intelligence artificielle présente les premières applications concrètes.

### OPHTHALMOLOGIE

#### DIAGNOSTIC DES MALADIES DE L'ŒIL

A partir d'une image (fond d'œil) le logiciel IDx-DR repère les signes de rétinopathie diabétique (lésions, œdème) avec un taux de précision de 90%, comparable ou légèrement supérieur aux performances d'ophtalmologues.



### DERMATOLOGIE

A partir de photos, un algorithme peut apprendre à distinguer mélanomes et grains de beauté (naevi), après avoir été entraîné avec des milliers d'images annotées comme bénignes ou suspectes/malignes. La même équipe a aussi démontré des taux de performance remarquables dans la distinction entre carcinome épidermoïde de la peau (autre grand cancer de la peau) et lésions bénignes mais ressemblantes.



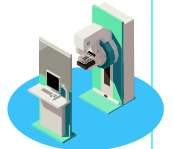
### GASTRO-ENTÉROLOGIE

Lors d'une coloscopie, un système d'intelligence artificielle, entraîné à repérer les polypes, peut alerter le praticien en cas d'images suspectes.



### MAMMOGRAPHIE

Les systèmes de vision artificielle permettent de repérer des tumeurs dans des radiographies avec une performance équivalente à celle des radiologues.



### PNEUMOLOGIE

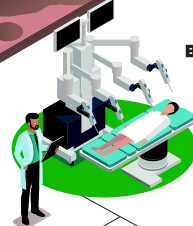
Des systèmes similaires sont utilisés dans l'analyse de radios des poumons, par exemple pour la tuberculose.



### BLOC OPÉRATOIRE

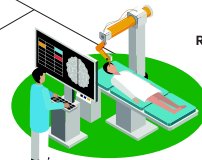
#### DA VINCI, PIONNIER DES ROBOTS

Depuis le début des années 2000, des robots chirurgiens sont utilisés dans les salles d'opération - mais ils ne sont pas autonomes : ils sont en réalité pilotés à distance par les chirurgiens.



#### ROSA, LE ROBOT DU CERVEAU

Utilisé pour les opérations du cerveau et de la moelle épinière, ce bras robotisé permet une navigation assistée et un guidage des instruments, toujours sous le contrôle du chirurgien.



### ONCOLOGIE

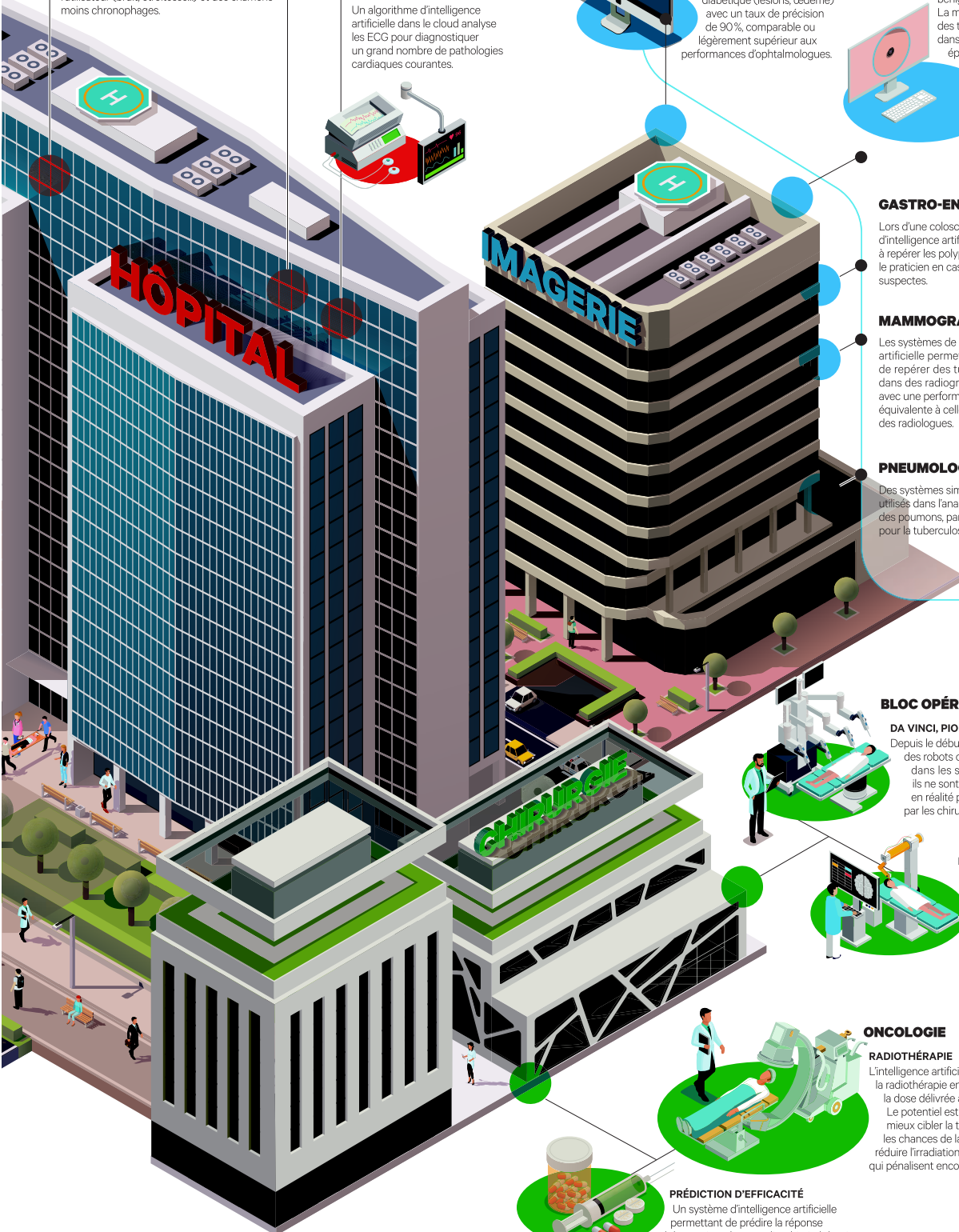
#### RADIOTHÉRAPIE

L'intelligence artificielle est utilisée pour optimiser la radiothérapie en adaptant, en permanence, la dose délivrée au patient au cours de la séance. Le potentiel est énorme car on pourra d'une part mieux cibler la tumeur et donc augmenter les chances de la neutraliser et d'autre part réduire l'irradiation des tissus sains environnants qui pénalisent encore beaucoup de patients.



#### PRÉDICTION D'EFFICACITÉ

Un système d'intelligence artificielle permettant de prédire la réponse thérapeutique à une radio-chimiothérapie préopératoire chez des patients suivis pour un cancer du rectum.



**RÉGULATION** // Si l'accès légal et technique aux données de santé ne devient pas plus facile en France, les chercheurs en intelligence artificielle risquent de se tourner vers d'autres pays.

# Les données de santé, la mère des batailles

Jacques Henno  
@jhennoparis

**V**ous connaissez le Sniiram ? Sans doute pas, mais lui vous connaît ! Le Système national d'information inter-régimes de l'Assurance-maladie est en effet une gigantesque base de données qui collecte tous les remboursements de la Sécurité sociale. Il couvre 99 % de la population française et comprend 20 milliards de lignes de prestations !

Rassurez-vous, votre nom n'y figure pas ; il a été remplacé par un pseudonyme... Heureusement pour vous, car ce fichier, ainsi que les milliers d'autres bases de données médicales, de toutes tailles, hébergées en France, devraient, en théorie, être beaucoup sollicités à l'avenir, au nom de l'intelligence artificielle (IA). Depuis quelques mois, le Sniiram est mouliné dans tous les sens par des algorithmes de statistiques et d'IA, à la demande de la Caisse nationale de l'Assurance-maladie (CNAM). Objectifs ? Identifier les médicaments qui augmentent le risque de chutes chez les personnes âgées ; détecter les médecins ou les pharmaciens qui prescrivent un peu trop facilement des substituts aux drogues, comme le Subutex, etc.

Amélioration de la qualité des soins, réduction des coûts, accélération des essais thérapeutiques, veille sanitaire... « L'intelligence artificielle en santé ouvre des perspectives très prometteuses », résumait le mathématicien et député Cédric Villani dans son rapport sur l'IA remis en mars dernier au Premier ministre. Mais pour fonctionner correctement, l'IA a besoin d'énormes masses de données. « Si la France ne va pas assez vite sur la donnée, elle n'ira pas assez vite sur l'IA », prévient Jean-Yves Robin, actuel directeur général d'OpenHealth, une entreprise spécialisée dans l'analyse des données de santé.

## Risque de pénurie

Or, en France, dans le domaine des données de santé, en dehors de la Sécurité sociale et de quelques équipes pluridisciplinaires spécialisées dans le traitement du cancer, seuls trois secteurs ont organisé avec méthode la numérisation de leurs travaux : les cabinets de radiologie, les laboratoires de biologie et les spécialistes du génome. Deux raisons expliquent cette pénurie de données : d'abord, dans l'Hexagone, ces informations sensibles sont extrêmement protégées ; ensuite, s'il existe un grand nombre de bases de données médicales en France, peu d'entre elles sont structurées pour la recherche ou interopérables.

Depuis la loi de janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, le traitement des « données concernant la santé » est très encadré : par exemple, toute demande d'accès aux données



Depuis la loi de janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, le traitement des « données concernant la santé » est très encadré. Photo Shutterstock

publiques doit répondre à un motif d'intérêt public. Pour faciliter leur consultation, toutes les informations de santé pseudonymisées collectées par des organismes publics, dont le fameux Sniiram, ont été regroupées, en 2017, au sein du SNDS, le Système national des données de santé (lire l'interview de Valérie Edel ci-contre).

Pour utiliser un de ces fichiers, il faut montrer patte blanche, en détaillant les données souhaitées et les objectifs attendus de la recherche. « Il faut déposer une demande sur le site de l'INDS », commente Hélène Guimiot-Bréaud, cheffe du service santé de la CNIL. Le dossier est transmis au Ceréès, le Comité d'expertise pour les recherches, les études et les évaluations dans le domaine de la santé, qui examine les aspects méthodologiques et scientifiques de la demande, avant de la transmettre à la CNIL, qui prend la décision finale. »

Premier problème : un des intérêts des programmes d'intelligence artificielle est de pouvoir être lancés sans savoir précisément ce que l'on cherche... « Nous ne voulons pas d'un consentement général donné par les patients qui permettrait d'utiliser les données de santé pour faire tout et n'importe quoi au nom de l'IA », répond Alexis Vervialle, chargé de mission nationale offre de soins à France Assos Santé, l'Union natio-

nale des associations agréées d'usagers du système de santé. « Les responsables de l'INDS sont conscients de cette difficulté et de la nécessité de faire évoluer, en accord avec la CNIL, la doctrine d'utilisation », reconnaît Julie Galland, cheffe du bureau des industries de santé, à la Direction générale des entreprises, au ministère de l'Économie et des Finances. Par exemple, des bases de données pourraient être spécialement conçues, à partir des fichiers existant, pour servir de « bacs à sable » aux logiciels de Big Data et d'IA.

**La France est riche de milliers de bases de données médicales, mais très peu de ces fichiers ont été organisés pour la recherche.**

Second problème, qui pourrait conduire à une « pénurie » de données de santé : leur structure et leur manque d'interopérabilité. La France est riche de milliers de bases de données médicales, constituées par des hôpitaux, des universités, des laboratoires pharmaceutiques, la CNAM, etc. Mais très peu de ces fichiers ont été, dès le départ, organisés pour la recherche. « Il nous a fallu trois ans pour rendre

les données du Sniiram exploitables par le Big Data », révèle Emmanuel Bacry, mathématicien, enseignant à Polytechnique et Paris-Dauphine, directeur de recherche au CNRS et qui travaille sur cette pépite de la CNAM.

## Nomenclatures communes

Les fichiers n'ont pas, non plus, été conçus pour être versés dans un immense « entrepôt » de données, comme le Health Data Hub, une gigantesque plate-forme regroupant des données médicales de toutes origines, que le rapport Villani appelle de ses vœux. « Jusqu'à présent, en France, on cherchait à échanger des données entre différents acteurs d'un parcours de soins », explique Gérard Domas, vice-président de l'association InteropSanté, qui milite pour des standards d'échange de données de santé entre éditeurs de systèmes d'information. « Aujourd'hui, le paradigme a changé : on veut pousser les données en dehors des parcours de soins pour les utiliser à des fins de recherche... »

La solution passe, bien sûr, par l'adoption de nomenclatures communes (même unité, même valeur pour une donnée échangée). Mais aussi par la mise en commun des pratiques de restructuration et d'appariement des données, parfois fort complexes, au sein du futur Health Data Hub. ■



**3 QUESTIONS À VALÉRIE EDEL**  
Directrice adjointe de l'INDS (Institut national des données de santé)

## « La France dispose d'un fichier unique au monde »

**L**e fichier Sniiram, qui rassemble les remboursements de la Sécurité sociale, couvre toute la population française depuis 2006. Ses données agrégées sont en partie accessibles via un portail Internet.

### 1 Quel est le rôle de l'INDS ?

L'INDS, créé en avril 2017 à partir de l'IDS (Institut des données de santé), est un guichet unique destiné aux organismes souhaitant obtenir l'autorisation d'effectuer des recherches à partir de jeux de données extraits des dossiers médicaux conservés dans les hôpitaux français ou extraits du SNDS. Ce Système national des données de santé comprend uniquement des données médico-administratives : les remboursements de la Sécurité sociale (le fichier Sniiram), l'activité des hôpitaux (le fichier PMSI) et les causes médicales de décès (CépiDc). Le Sniiram est un fichier unique au monde, puisqu'il couvre toute la population française depuis 2006. Il ne contient que des données, non pas anonymisées, mais pseudonymisées : il existe donc un risque de retrouver l'identité exacte de la personne. C'est pourquoi l'accès au SNDS doit être extrêmement encadré.

### 2 A quoi peuvent servir ces données médico-administratives ?

Du point de vue de la recherche médicale, elles obtiennent toute leur valeur lorsqu'elles sont recoupées avec des données cliniques, comme les dossiers médicaux des hôpitaux ou les résultats des examens médicaux. Cet appariement peut se faire de façon probabiliste (il y a une forte probabilité que telle personne qui s'est vue rembour-

ser tel médicament soit atteinte de telle affection) ou, dans des conditions d'anonymisation extrêmement drastiques, grâce au numéro de Sécurité sociale. Pour favoriser l'application de l'intelligence artificielle aux données de santé, la future plate-forme Health Data Hub préconisée par le rapport Villani sur l'IA doit aller encore plus loin, en rassemblant aussi des données venues d'organismes privés. Une mission de préfiguration de ce Health Data Hub a été confiée à trois experts, dont la présidente de l'INDS, Dominique Polton. Elle doit rendre son rapport dans les prochains jours.

### « L'accès doit être extrêmement encadré. »

### 3 Qui peut avoir accès au SNDS ?

Tout organisme français ou disposant d'un représentant en France et souhaitant effectuer des recherches médicales n'impliquant pas la personne humaine et ne visant ni la commercialisation de produits de santé, ni la sélection du risque par les assureurs. En à peu près un an, nous avons reçu 500 demandes, dont 170 concernaient le SNDS et quelque 250 les dossiers médicaux au sein des hôpitaux. L'accès au SNDS n'est toujours donné que pour des extraits des fichiers qu'il contient, par exemple les remboursements de tel médicament. Ces jeux de données sont mis à disposition sur un portail Internet d'où il n'est possible d'exporter que des données agrégées, comme des moyennes.

Propos recueillis par J. H.

## Cryptage et tatouage pour protéger les informations de santé

**Indispensables pour entraîner les algorithmes d'intelligence artificielle, les données de santé devront circuler entre différents intervenants. Mais comment s'assurer qu'elles ne tomberont pas chez des acteurs mal intentionnés ?**

Il y a encore quelques mois, les jeux de données extraits des grandes bases de données médico-administratives françaises pouvaient être obtenus... sous forme de CD-ROM ! Un support physique dont il est difficile d'empêcher la copie. Un pre-

mier progrès a été réalisé grâce à Internet : pour éviter toute copie de ces informations, celles-ci ne sont plus accessibles désormais que via des plates-formes informatiques d'où toute exportation de données brutes est impossible.

Mais la multiplication des acteurs publics ou privés, français ou d'origine étrangère (plusieurs Gafa ont récemment multiplié les investissements en France dans le domaine de l'IA et de la santé) et leur volonté de faire tourner des algorithmes d'intelligence artificielle sur des données de santé ne pourront que multiplier les

échanges de fichiers entre systèmes informatiques. Comment s'assurer que les informations transmises seront utilisées à bon escient et ne se retrouveront pas entre des mains inattendues ?

### Empêcher les copies

Il faut tout d'abord assurer leur sécurité. « Une piste que nous explorons est l'externalisation de ces données sous une forme chiffrée, mais de façon à pouvoir continuer à faire des calculs entre elles », explique Gouenou Coatrieux, professeur au département image et traitement de l'information d'IMT (Institut

Mines-Télécom) Atlantique et membre du Latim (Laboratoire de traitement de l'information médicale), une unité de recherche associant l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale), l'université de Bretagne Occi-

**Chaque jeu de données possède un marquage unique qui permet de savoir qui l'a éventuellement recopié ou revendu.**

dentale (UBO), IIMT Atlantique et le CHRU de Brest. Le principe ? Les données A et B sont envoyées sous formes cryptées au service de cloud qui va, par exemple, « faire » leur addition ; seul le résultat sera décrypté et connu en clair par l'organisme de recherche.

Autre problème : comment s'assurer, une fois que des données de santé ont été confiées à un organisme extérieur, que ce dernier ne va pas les recopier et les divulguer à des tiers ? Une préoccupation valable également pour tous les données confidentielles, qu'il s'agisse de données bancaires, militaires, indus-

trielles... C'est là qu'intervient le principe du tatouage : introduire une petite modification dans la base de données ; sa présence ne va pas en gêner l'exploitation, et elle sera connue du propriétaire du fichier. « Nous avons breveté le tatouage à grande échelle », affirme Gouenou Coatrieux. Dès qu'un utilisateur fait une requête, les données sont tatouées à la volée avant de lui être confiées. » De ce fait, chaque jeu de données possède un marquage unique qui permet de savoir qui l'a éventuellement recopié ou revendu. Prochaine étape : mélanger cryptage et tatouage ! — J. H.



**IMAGERIE //** L'annonce a fait grand bruit début avril : aux Etats-Unis, un système d'IA a été autorisé à poser un diagnostic sur la rétinopathie diabétique par la FDA.

# Quand l'algorithme est autorisé à poser un diagnostic

Rémy Demichelis  
@RemyDemichelis

**L**e 11 avril 2018, la Food and Drug Administration (FDA), autorité américaine chargée des autorisations de mise sur le marché des dispositifs de santé, a donné pour la première fois son aval à un système d'intelligence artificielle permettant de diagnostiquer une maladie : l'IDX-DR. Il s'agit d'un algorithme qui repère les signes de la rétinopathie diabétique, c'est-à-dire des lésions ou un œdème au fond de l'œil. Dans le pire des cas, elle peut entraîner la cécité.

Le dispositif s'adresse principalement à certains diabétiques, pour lesquels il est conseillé d'être dépistés une fois par an. Le logiciel affiche un taux de précision de l'ordre de 90 %, alors que le seuil à dépasser pour autoriser la commercialisation avait été établi à 85 % par la FDA. Une pertinence supérieure à celle des ophtalmologistes en moyenne. Avec l'IDX-DR, lorsqu'une personne obtient un résultat positif à la rétinopathie diabétique, elle est

orientée vers un médecin. Ce dernier ayant toute liberté d'être en accord ou non avec la machine. François Pelen, ophtalmologiste français et cofondateur de Point Vision, ajoute un bémol sur ces systèmes en général : « La machine a des faux positifs ou faux négatifs qui ne sont pas les mêmes que ceux des médecins. Ce qui m'embête, c'est de laisser repartir des gens qui n'ont pas été diagnostiqués positifs par la machine alors qu'ils auraient dû l'être. Je suis prêt à équiper mes centres de ces outils, mais sous la supervision d'un médecin. »

**Laura de la FDA**  
L'annonce d'autorisation de la FDA avait suscité beaucoup d'intérêt de la part de la communauté scientifique. La rétinopathie diabétique toucherait plus de 30 % des diabétiques en France, soit environ 1 million de personnes.

Pourtant, l'IDX-DR bénéficie d'un « marquage CE », permettant sa commercialisation dans l'Espace économique européen, depuis 2013. L'Autriche ou les Pays-

Bas s'en servent déjà, et cette IA ne doit pas obligatoirement être utilisée en cabinet. « Concernant l'introduction de notre produit en France [...], nous répondons aux impératifs réglementaires, mais nous devons compléter la traduction de notre produit en français », précise Laura Shoemaker, directrice du marketing et de la communication chez l'IDX.

Pourquoi faire plus cas de l'autorisation de la FDA que de l'homologation européenne ? Déjà, l'autorité américaine semble rompre aux us des relations publiques. Pour l'IDX-DR, elle a publié un communiqué où elle précisait bien que c'était la première fois que ce type d'outil était autorisé. Ensuite, sa centralisation lui donne une meilleure visibilité : la FDA s'occupe des dispositifs médicaux, des médicaments, mais aussi de la sécurité alimentaire. « Les exigences sont plus nombreuses sur la partie évaluation produit aux Etats-Unis », ajoute Olivier Clatz, cofondateur de Therapixel.

En France, le fait qu'il y ait remboursement ou pas par l'Assurance-



Le logiciel IDX-DR affiche un taux de précision de l'ordre de 90 % dans le diagnostic de la rétinopathie diabétique, une pertinence supérieure à celle des ophtalmologistes en moyenne. Photo l'IDX

maladie est déterminant, et ce n'est pas encore le cas d'IDX-DR. Aux Etats-Unis, le fournisseur négocie avec les assurances. Tous les dispositifs et médicaments autorisés par la FDA ne sont pas automatiquement remboursés par Medicare, l'assurance-santé gérée par le gouvernement fédéral, mais ils sont tout de même 80 % à l'être. « En Europe,

le marché est compartimenté par pays, avec des différences de langues et de systèmes de remboursements, alors qu'aux Etats-Unis, c'est un boulevard », indique Catherine Martineau-Huynh, directrice de l'exploitation chez TheraPanacea. Outre-Atlantique, une autorisation donne accès à 320 millions d'habitants et une seule langue est nécessaire. ■

## Lexique

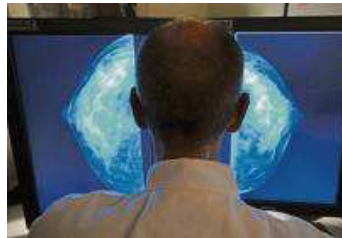
- **DIAGNOSTIC** Détermination par le médecin de la nature ou de la cause de la maladie. Il se fait généralement en fonction de la correspondance entre les symptômes du patient (et éventuellement les résultats d'examen complémentaires) et la classification des maladies (elle-même instable).
- **PRONOSTIC** Prédiction de l'évolution de la maladie jusqu'au résultat final – guérison totale, partielle (persistance d'un handicap) ou décès.
- **DONNÉES DE SANTÉ** N'importe quelle donnée liée directement ou indirectement à la santé d'un patient ou d'une population. Elles peuvent par exemple à la fois désigner des données de l'Assurance-maladie et des données cliniques, mais elles concernent le plus souvent les premières. Elles renseignent dans ce cas sur les actes pratiqués sur un patient ou les médicaments dispensés en pharmacie, mais elles ne donnent pas les résultats de ses examens.
- **DONNÉES CLINIQUES** Au sens restreint, il s'agit juste des données recueillies directement par le médecin en interrogeant et en examinant le patient. Au sens plus large (le plus courant), il s'agit de toutes les données qui concernent le patient. Elles sont utiles au diagnostic et au pronostic.
- **RÉSEAU DE NEURONES** Système d'IA capable d'apprendre automatiquement et reproduisant grossièrement le fonctionnement des neurones humains. Selon le type, le réseau a parfois besoin qu'un humain nomme les choses à apprendre (apprentissage supervisé), d'autres fois que l'humain lui dise simplement si ses réponses sont vraies ou fausses (apprentissage par renforcement), ou il peut être capable d'apprendre tout seul (apprentissage non supervisé).
- **TAUX DE SENSIBILITÉ** Lors d'un diagnostic, c'est la capacité à détecter les sujets malades.
- **TAUX DE SPÉCIFICITÉ** Lors d'un diagnostic, c'est la capacité à écarter les sujets sains.
- **TAUX DE PRÉCISION OU DE PERTINENCE** Terme non rigoureusement statistique servant à simplifier l'expression d'une moyenne entre taux de sensibilité et taux de spécificité.
- **VRAI POSITIF** Sujet malade correctement diagnostiqué. On dit qu'il s'agit d'un vrai positif, car le sujet est positif au test de dépistage ou au diagnostic et il est vraiment malade.
- **FAUX POSITIF** Sujet sain diagnostiqué comme malade par erreur. Le préjudice peut être triple : médical, car le patient peut être exposé à tort à des examens ou des traitements invasifs ; économique, car ces procédures génèrent du gaspillage ; d'angoisse, car le patient se croit malade à tort.
- **VRAI NÉGATIF** Sujet sain correctement diagnostiqué.
- **FAUX NÉGATIF** Sujet malade diagnostiqué comme sain. Le préjudice est essentiellement médical, puisque cela retarde le diagnostic réel d'une maladie et peut réduire les chances de guérison.

## ❖ TROIS EXEMPLES DE START-UP FRANÇAISES



### Cardiologs met l'IA au cœur des patients

Dans les séries télévisées qui se passent à l'hôpital, quand un patient fait un arrêt cardiaque, il y a toujours un plan sur un écran qui suit les battements du cœur, des « bips » qui deviennent bruyants et rapides. Cet outil qui indique les pulsations cardiaques est un électrocardiogramme (ECG). Outre les infarctus, il peut donner de nombreuses autres indications sur l'état du cœur. La start-up française Cardiologs a décidé en 2014 de créer un système d'intelligence artificielle capable de décrypter les courbes d'ECG. L'algorithme peut repérer des anomalies telles que les arythmies, l'hypertrophie ventriculaire gauche et une certaine d'autres. « Pour les cardiologues, le problème, c'est le temps, explique Yann Fleureau, cofondateur et PDG de la start-up. Ils doivent parfois analyser un mois d'ECG. L'idée, c'était de faire gagner du temps aux cardiologues. » Le logiciel de Cardiologs est loin d'être le premier destiné à ces praticiens, mais il a divisé par quarante le nombre de fausses alertes par rapport aux anciens systèmes. « C'était nécessaire pour encourager l'adoption », indique Yann Fleureau. Le programme, qui repose sur l'apprentissage profond, est actuellement en test en France et en Inde, et sa commercialisation a commencé aux Etats-Unis. « Chaque mois, des milliers de cas sont analysés. » L'outil de Cardiologs est utilisé en hôpital, mais aussi en ambulatoire, objectif sur lequel la start-up mise beaucoup parce que « ça permet d'aller plus vite ». Autre avantage : le marché n'est pas limité par le nombre de lits ou de consultations. « L'ECG est le capteur qui peut sortir de l'hôpital par excellence. » Yann Fleureau se réjouit d'ailleurs que la nouvelle montre connectée d'Apple, présentée à la mi-septembre, intègre un capteur ECG approuvé par le régulateur américain de la santé, la FDA : « On arrive à un moment où le patient va être facilement en mesure de générer des données cliniques en dehors de l'hôpital. » — R. D.



### Therapixel révolutionne la mammographie

En matière d'intelligence artificielle appliquée à la santé, c'est une des premières start-up françaises à s'être fait remarquer à l'international. Pourtant, Therapixel, créé en 2013, spin-off de l'Inria (Institut national de recherche en informatique et en automatique), ne vend aucun produit d'IA, ou du moins pas encore. Il développe un système qui permet de diagnostiquer des cancers du sein à partir de mammographies. Therapixel connaît un immense succès depuis qu'il a remporté, en 2017, le Digital Mammography Challenge, un concours lancé par des organisations américaines pour améliorer le dépistage. La même année, la Société française de radiologie lui attribua le prix de l'innovation. Le taux de pertinence de son système est équivalent à celui des humains. « Pour la commercialisation, ce sera plutôt fin 2020 », indique Olivier Clatz, cofondateur de Therapixel, qui prévoyait jusqu'à récemment de sortir un produit en 2019. « On commencera certainement avec les Etats-Unis. » Il prévoit, d'ailleurs, d'ouvrir un bureau à Chicago et de lancer un partenariat avec Advocate Health Care, un groupement d'établissements de santé. En France, les mammographies sont toujours lues par deux médecins. « Nous militons pour que la seconde lecture soit logicielle », ajoute Olivier Clatz. Ce qui annoncerait un bouleversement du métier et des coûts. Reste encore à obtenir les autorisations de la Food and Drug Administration et de l'Union européenne. Les demandes sont en cours et, malgré plus de 10.000 cancers analysés, il faut encore des études. L'une des prochaines, à paraître, montrera que, pour 30 % d'un groupe de femmes atteintes du cancer du sein, l'IA a été capable de détecter la tumeur sur des images prises un an avant qu'elle soit diagnostiquée. — R. D.



### TheraPanacea prédit et optimise les traitements

La start-up TheraPanacea a fait grand bruit cet été, avec la publication dans la prestigieuse revue « The Lancet Oncology » d'un article sur la prédiction de guérison des cancers avec un traitement par immunothérapie, une approche thérapeutique consistant à stimuler les défenses de l'organisme. L'étude était cosignée avec le centre européen de lutte contre le cancer Gustave-Roussy, qui est entré cette semaine au capital de l'entreprise. L'autre terrain sur lequel s'est lancé TheraPanacea est celui de l'optimisation de la radiothérapie. Ce traitement par radiations attaque les cellules cancéreuses, mais risque d'endommager les cellules saines et les organes avoisinants. Il faut donc bien dessiner la cible et trouver le bon dosage. « Actuellement, un médecin consacre entre une heure et trois heures par patient au contourage, explique Catherine Martineau-Huynh, directrice des opérations de la start-up. Il doit regarder 200 à 300 images de coupes anatomiques et dessiner manuellement les contours de la tumeur et de tous les organes avoisinants sur chaque coupe. Nous aimerions réduire ce processus à quelques secondes. » Le processus d'homologation par l'UE est en cours pour un premier produit qui sera commercialisé en Europe à la fin de l'année : ART-Plan. Il permettra de contourner automatiquement tous les organes à risques sur les images. « Mais l'objectif, c'est d'automatiser toute la chaîne de traitement, aussi bien les phases d'optimisation du traitement que son suivi. » Le plus grand défi technique auquel fait face la start-up est de prendre en compte les modifications anatomiques des patients : « Il peut y avoir 30 à 40 séances d'irradiation pour un patient en radiothérapie, avec plusieurs mois d'écart entre l'imagerie de départ et la dernière séance. Pendant ce temps, le patient va changer anatomiquement pendant cette période, ce qui induit de l'imprécision dans le ciblage de la tumeur. Il faudrait encore ajuster les plans en cours de traitement pour 25 % des patients si on voulait prendre en compte au mieux ces changements. » — R. D.

**SUR LE WEB**

● Retrouvez ce dossier, des contenus supplémentaires et tous nos articles sur la santé et l'IA dans la rubrique « intelligence artificielle » des Échos.fr : <https://www.lesechos.fr/intelligence-artificielle>