

# ANALYSE SECTORIELLE APPROFONDIE

Cette partie présente une analyse approfondie de 4 secteurs économiques clés pour l'intelligence artificielle : la santé, l'industrie, le transport, l'énergie et l'environnement.

## Santé

### Economie du secteur

Les industries de santé anticipent et apportent des réponses en matière de prévention, diagnostic, compensation du handicap et traitement des maladies. Sur 18 000 pathologies recensées par l'OMS, 12 000 n'ont pas encore de réponse médicale satisfaisante<sup>151</sup>.

La dépense courante de santé publique et privée en France s'est élevée à **256,9 Mds d'euros** en 2014, soit environ **11%** du PIB national<sup>152</sup>. Par ailleurs, selon le LEEM, le chiffre d'affaire annuel généré par les industries du médicament représentait **54,1 Mds d'euros** en 2017 dont 25 Mds d'euros à l'export.

Le secteur reste en croissance constante et possède un potentiel important de création d'emplois. En France, les industries de santé représentent près de 2 millions d'emplois<sup>153</sup> directs et indirects, soit 9% de la population active. Des nouveaux métiers voient le jour aussi bien dans les services que dans l'industrie et la maintenance, créant de nombreux emplois directs et indirects. En France, les industries de santé regroupent 211 000 salariés directs dont 104 000 pour l'industrie du médicament.

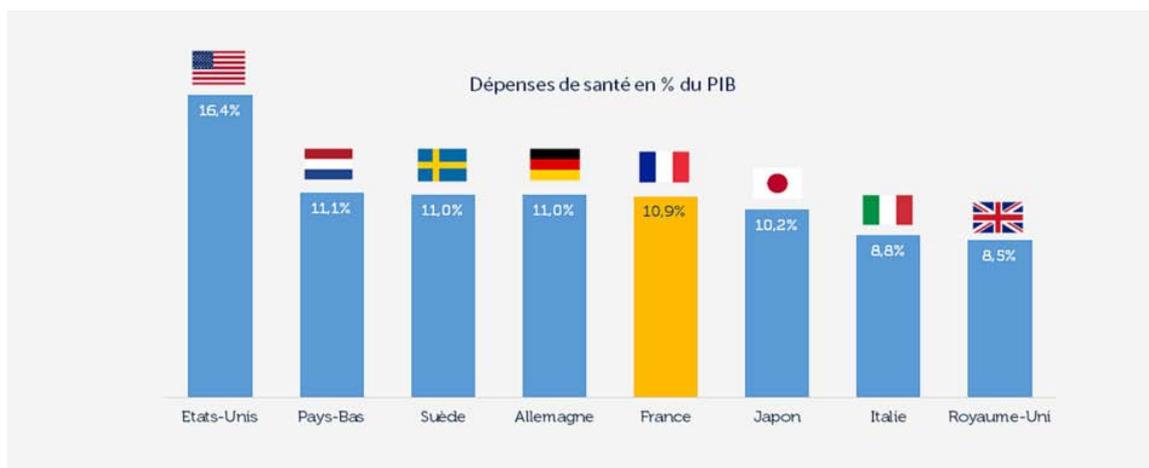


Figure 133 - Dépenses mondiales de soins de santé<sup>154</sup>

Les principales typologies d'acteurs de santé sont les suivants :

- **Les fabricants de médicaments (laboratoires)** qui sont plus de 270 et représentaient un chiffre d'affaires de 53 Mds d'euros en 2013 (26 Mds d'euros à l'exportation). Ils emploient plus de 20 000 personnes en recherche et développement.
- **Les structures de soins** sont plus de **3 000** établissements (en 2014) qui assurent le diagnostic, la surveillance et le traitement des malades. Le financement de ces établissements de santé s'élève à 76,9 Mds d'euros.
- **Les fabricants d'appareils de soins** qui ont produit entre 800 000 et 2 millions de dispositifs médicaux utilisés en 2011. Leur marché global était évalué à 20 Mds d'euros en 2015<sup>155</sup>.

<sup>151</sup> FEFIS (Fédération Française des Industries de Santé)

<sup>152</sup> <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/ficheb.pdf>

<sup>153</sup> Source : Rapport ATTALI

<sup>154</sup> Institut Montaigne 2017

Entreprises	Créations (2016)	Evolutions 2015 / 2016
Sociétés	3 000	+ 19 %
Entreprises individuelles	24 300	+ 1 %
Micro entrepreneurs	14 700	+ 11.5 %
Total	42 000	5,6 %

Tableau 39 - Évolution du nombre d'entreprise dans le secteur de la santé<sup>156</sup>

En 2016, les créations d'entreprises ont augmenté de 5,6 % dans le domaine de la santé par rapport à l'année précédente.

<sup>155</sup> <https://www.qualitiso.com/dispositifs-medicaux-chiffres-france/>

<sup>156</sup> <https://www.entreprises.gouv.fr/etudes-et-statistiques/chiffres-cles-des-professions-liberales>

## Usages et adoption

### Digitalisation du secteur

Le marché de l'e-santé en France représentait **2,7 Mds d'euros** en 2014<sup>157</sup>. Ce potentiel est important et attire de nombreux entrepreneurs dans différents domaines : applications mobiles et objets connectés, traitement de la donnée, réseaux sociaux et plateformes dédiées à cette thématique. La santé digitale occupe la première place en nombre de dossiers soutenus par BPIFRANCE. Le numérique est en train de bouleverser la filière avec le développement d'applications mobiles, la bio-informatique, la télémédecine et le maintien à domicile des patients.

En 2014, les investissements de BPIFRANCE se sont élevés à **232 M€** (187 M€ d'aides à l'innovation et 45 M€ d'investissements en fonds propres directs) dont **121 M€** en technologies médicales pour 170 projets. En 2016, le ministre de la Santé a annoncé l'augmentation du financement (de 100 m€ à 340 m€) du fond accélération biotech santé (**Fabs**), créé pour aider les startups spécialisées dans l'innovation médicale.

La France est devenue l'un des premiers producteurs européens de technologies innovantes en santé avec par exemple CARMAT créée en 2008 (conception du premier cœur artificiel) ou MEDTECH (robot Rosa d'assistance à la chirurgie) et THERACLION (traitement des tumeurs par ultra-sons).

### L'intelligence artificielle en santé

Le marché mondial de l'intelligence artificielle dans le secteur de la santé est en plein essor, porté par les géants de la Silicon Valley mais aussi des startups. Il pourrait atteindre **6,6 Mds de dollars** en 2021, contre **634 M\$** en 2014<sup>158</sup>. En 2017, le cabinet CB Insights a dénombré **106 startups** spécialisées dans la santé utilisant le **Machine Learning** et **l'analyse prédictive** et selon une étude menée par IDC, **30%** des fournisseurs de santé utiliseront les analyses cognitives d'ici **2019**.

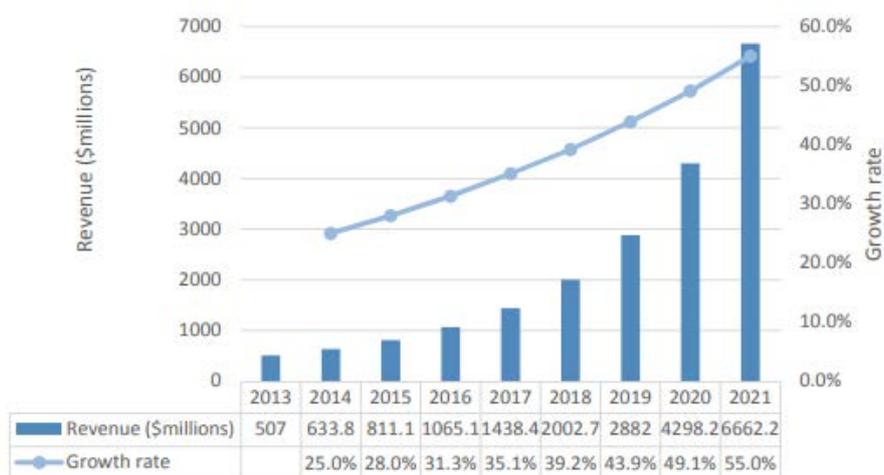


Figure 134 - Évolution des revenus en IA dans le secteur de la santé

L'intelligence artificielle peut permettre de faciliter la pratique clinique : médecine de prévention, aide au diagnostic et au choix des traitements, coaching patient, épidémiologie, chirurgie autonome, médecine augmentée, etc. L'énorme potentiel de l'intelligence artificielle réside dans sa capacité à reconnaître et corréler des facteurs biologiques ou physiologiques dans de grands volumes d'histoires de patients, images médicales, statistiques épidémiologiques et autres données. Avec l'extraction d'informations d'une large population de patients, de revues médicales, de manuels et de pratiques cliniques, l'IA peut aider à faire des inférences personnalisées sur des risques ou fournir aux médecins une aide à la décision optimale. Dans certains cas, l'IA pourrait sauver des vies. La détection du mélanome en utilisant des techniques de ML par exemple, pourrait faire monter le taux de survie à **98 %** chez les personnes atteintes de ce cancer<sup>159</sup>.

<sup>157</sup> Etude PIPAME E-santé : faire émerger l'offre française 2016

<sup>158</sup> Cabinet Frost & Sullivan.

<sup>159</sup> Revue Nature : <https://www.nature.com/nature/volumes/542>

Le groupe américain PATHWAY GENOMICS développe une technologie de test sanguin pour détecter de manière précoce certains cancers. De son côté, la société américaine LUMIATA a développé des outils pour faire des prédictions relatives aux symptômes, diagnostics, procédures et médicaments pour les patients. GOOGLE VERILY LIFE SCIENCES s'intéresse aussi au sujet, notamment avec DEEPMIND, qui utilise l'IA pour aider les médecins à évaluer les risques de propagation de cancer et développer les traitements de radiothérapie adéquats. La société a présenté en février 2018, un algorithme de détection de risque cardiovasculaire basé sur une analyse d'image rétinienne.

## Les usages de l'IA en santé

Les principaux usages de l'IA en santé sont les suivants :

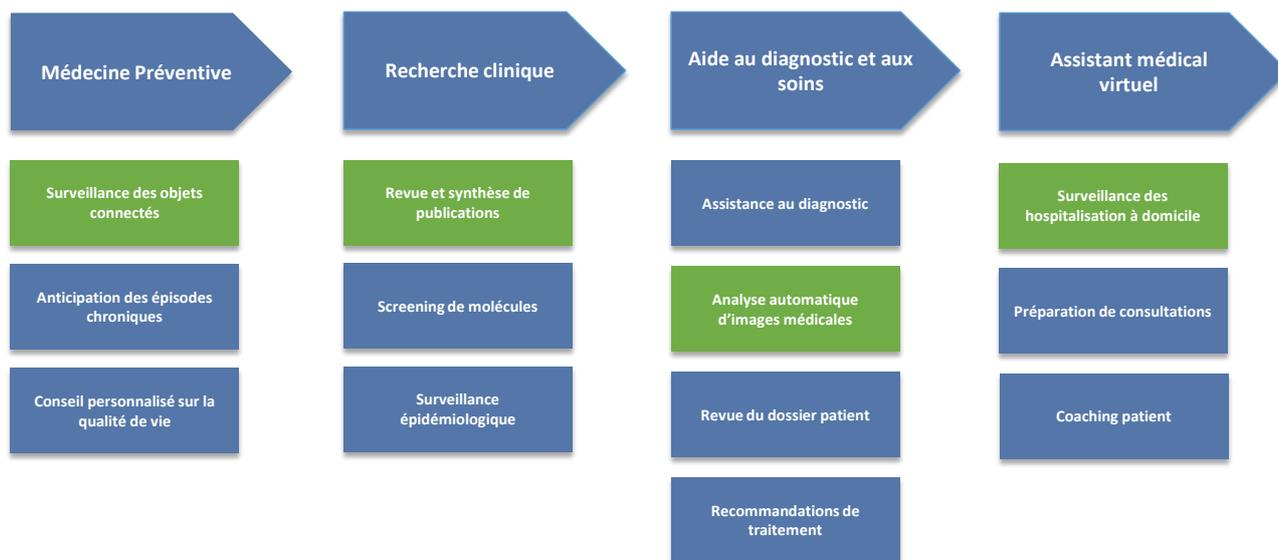


Figure 135 - Typologie des usages en IA en santé (vert = mature)

### ▪ Médecine préventive

L'intelligence artificielle en médecine préventive est l'une des branches qui se développe le plus compte tenu de la facilité pour les grands acteurs de l'IA comme les GAFAs de collecter des données médicales (électrocardiogramme) ou de bien-être (cycles du sommeil) et les transformer en services de prévention. L'IA permettra de passer progressivement d'une médecine curative à une médecine préventive, l'objectif étant d'éviter une maladie. Les enjeux sont colossaux, qu'ils soient médicaux ou économiques.

Des chercheurs du GEORGIA INSTITUTE of TECHNOLOGY ont développé une technique d'apprentissage sur des dossiers patients pour prévoir une insuffisance cardiaque avant qu'elle ne se produise. Les premiers résultats démontrent une prédiction d'insuffisance cardiaque un à deux ans avant qu'elle ne se produise.

GOOGLE a créé en 2014, la cohorte « Baseline » ([www.projectbaseline.com/](http://www.projectbaseline.com/)) de 10 000 patients pour une durée de 4 ans. L'objectif est d'identifier des biomarqueurs prédictifs de maladies comme le diabète, cancer, etc... La société collecte toutes les données possibles en se basant sur des capteurs physiques (activité, sommeil, etc..) et physiologiques (rythme cardiaque, analyse de sang, etc...). Les données sont extrêmement qualifiées. L'objectif est de créer des corrélations entre maladies et facteurs prédictifs. Baseline représente un investissement de 100 millions de dollars. APPLE a également annoncé le développement de services de médecine préventive basés sur des objets connectés comme l'APPLE WATCH.

La société Suisse BE.CARE développe un protocole d'analyse de données d'objets connectés (cardio-fréquence mètre, balance impédance mètre) pour évaluer la forme physiologique et proposer des exercices d'amélioration. La société a notamment réalisé une étude pour adapter la charge de travail de manutentionnaires en fonction de leur physiologie. Plus récemment la startup américaine LOSE IT a développé une application permettant de faire de la reconnaissance d'image d'aliments pour traquer ses calories.

## ▪ Recherche clinique

La surveillance épidémiologique est le suivi continu de l'évolution du nombre de cas d'une maladie pour détecter les phénomènes anormaux. C'est l'une des premières applications de techniques d'apprentissage développée par GOOGLE pour prédire le développement des épidémies de grippe. En France, le centre d'épidémiologie clinique de l'Hôtel Dieu à Paris travaille notamment sur l'IA appliquée à l'épidémiologie des maladies chroniques et aide les pouvoirs publics à évaluer l'efficacité des politiques de santé mises en place.

AIME (Artificial Intelligence in Medical Epidemiology) est une société américaine créée en partenariat avec des chercheurs de GOOGLE pour essayer de détecter des épidémies portées par des insectes trois mois avant qu'elle ne se déclenche réellement. Testée au Brésil et en Malaisie, AIME a repéré le début d'une épidémie du virus ZIKA et de la dengue avec près de 90% de précision. L'algorithme utilise la météo, l'urbanisation, la mortalité due à la dengue pour créer une zone probable de propagation.

Face à un nombre sans cesse croissant de publications médicales (chaque jour, plus de 2000 citations sont ajoutées à la base de données MEDLINE du NIH), les chercheurs se tournent de plus en plus vers l'intelligence artificielle pour analyser ces données et identifier des axes de recherches prometteurs.

Plusieurs instituts de recherche ou laboratoires pharmaceutiques commencent à utiliser des technologies d'IA comme outil prospectif pour analyser l'ensemble des publications scientifiques. L'IA formule des propositions de pistes de recherche ou thérapeutiques de même qualité qu'un groupe de chercheurs en quelques minutes contre plusieurs jours de travail pour les humains.

## ▪ Aide au diagnostic

Une aide au diagnostic médical est un outil composé de deux parties : une base de données (publications médicales, données épidémiologiques, données patients, etc...) et un moteur de recherche qui donne accès aux informations de cette base de données. C'est un domaine qui possède déjà des applications pratiques en radiologie notamment.

La reconnaissance de caractéristiques sur des images médicales (radio, scanner, IRM, échographe) est l'un des champs de recherche les plus actifs en diagnostic. L'apprentissage automatique permet de voir plus de détails que des yeux humains. La société française THERAPIXEL applique ce type de technique pour détecter des tumeurs cancéreuses sur des mammographies. CARDIOLOGS en France ou ULTROMICS au Royaume Uni appliquent également des techniques de ML pour identifier des arythmies cardiaques sur des électrocardiogrammes. La société INFERVISION a développé l'une des premières plateformes chinoise en IA. La société essaye d'appliquer des techniques de ML à la détection de tumeurs du cancer du poumon sur des scanners.

Une équipe de chercheurs japonais de l'école de médecine de la SHOWA UNIVERSITY au Japon a développé une IA capable de diagnostiquer un cancer colorectal avec un taux de précision de 86%. MAYO CLINIC, la fédération hospitalo-universitaire et de recherche américaine, dispose d'un programme d'apprentissage automatique capable d'identifier rapidement et de manière fiable les anomalies génétiques des différents types de tumeurs cérébrales.

## Exemple : Intelligence artificielle en oncologie

Une étude publiée en 2017 révèle que l'American Cancer Society a mis en place un réseau de neurones pour détecter les différents cancers de la peau par reconnaissance d'image. L'apprentissage dans la reconnaissance de pathologies a été mené à partir de 130.000 images cliniques (prises par des smartphones notamment) représentant plus de 2 000 anomalies.

L'objectif qui fut atteint, était de démontrer qu'une telle IA pouvait reconnaître et différencier deux formes de cancers tout en indiquant s'ils étaient bénins ou malins sans l'intervention d'un oncologue ou d'un dermatologue.

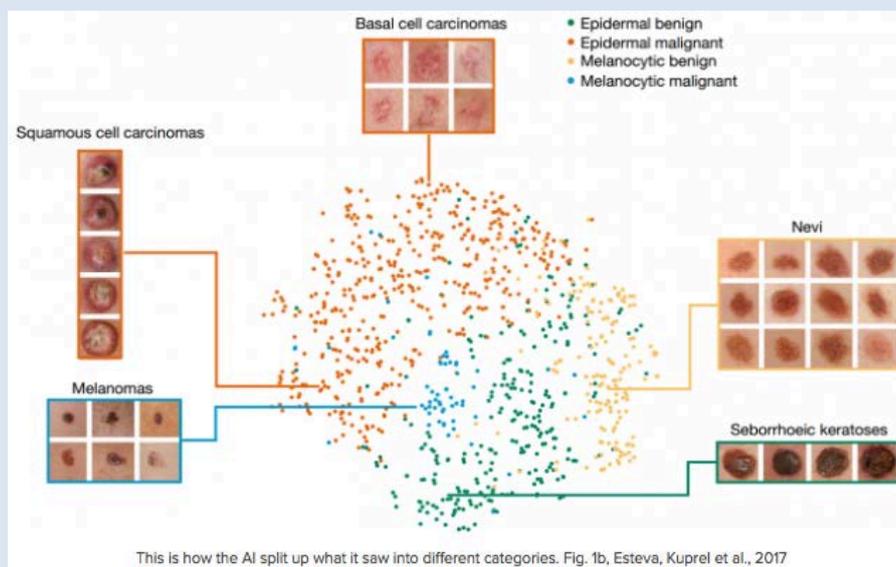


Figure 136 - Détection des différents cancers de la peau<sup>160</sup>

Ce type d'application en santé risque de profondément bouleverser le secteur en transformant le rôle des médecins spécialistes dans le diagnostic des pathologies. De plus, ce type de technologie pourra également contribuer à résoudre le problème des déserts médicaux et occuper une fonction de pré-diagnostic qui définirait s'il y a nécessité de se déplacer pour consulter un médecin physique.

### ▪ Recommandations de traitement

Les traitements sur mesure peuvent réduire les dépenses de santé de 5% à 10%. À l'échelle mondiale, l'impact économique pourrait être de plusieurs milliards. L'intelligence artificielle appliquée à la médecine de précision et la médecine personnalisée permettent d'adapter un traitement en comparant les caractéristiques physiologiques du patient ou celles de sa maladie à celles des patients ayant eu les meilleurs résultats de guérison. C'est un domaine encore assez exploratoire plutôt développé sur des pathologies complexes comme le cancer.

L'Hôpital Universitaire de Lausanne développe des techniques de ML pour analyser les images des cellules tumorales et identifier les caractéristiques distinctives de chaque type de tumeur pour sélectionner le traitement le plus efficace pour chacun.

La société américaine GINGER.IO utilise des techniques d'apprentissage pour recommander le meilleur moment pour prendre des médicaments en fonction du métabolisme de chaque patient.

Une application sur le diabète SUGAR.IQ développée par IBM et MEDTRONIC utilise les données de glycémie en temps réel et une saisie d'informations du patient pour se renseigner sur la façon dont des aliments spécifiques ou des actions et événements liés à la thérapie impactent le niveau de glucose du patient. En suivant les tendances, SUGAR.IQ émet des prévisions de niveau de glucose sanguin.

<sup>160</sup> Kuprel et al, 2017

- **Assistant médical virtuel**

Un assistant virtuel en médecine peut aider un patient à diagnostiquer une pathologie à partir de symptômes physiques ou cliniques ou encore accompagner un patient pendant une thérapie pour évaluer au fur et à mesure les résultats d'un traitement sur la qualité de vie. Le développement de techniques de traitement automatique du langage couplées à des algorithmes apprenant simplifie la conduite automatisée d'entretien d'évaluation via une interface mobile pour le patient.

À l'avenir, les assistants virtuels devraient être en mesure de mener des consultations et même de prescrire des médicaments. Si l'assistant manque d'informations il pourrait proposer un examen supplémentaire et le planifier avec le patient. À l'hôpital, un assistant d'accueil pourrait enregistrer le dossier d'un patient et identifier le médecin approprié pour la consultation. L'assistant pourrait également aider à la réalisation de démarches administratives ou gérer le planning des rendez-vous dans le cadre de maladies chroniques.

La société BABYLON HEALTH (R.-U) a levé en 2017 plus de 50 m€ pour développer un agent conversationnel susceptible de détecter certaines formes de démence et au-delà pour assister les médecins pendant le diagnostic d'autres maladies à partir de symptômes. La startup anglaise et allemande ADA vient également de lever 47 m€ pour développer un agent conversationnel permettant de diagnostiquer une maladie et faire des recommandations.

## **L'adoption de l'IA dans le secteur**

Si l'intelligence artificielle permet de faire des progrès majeurs dans le domaine de la santé et ouvre des pistes prometteuses, les questions de fiabilité ou d'explicabilité des prévisions, de responsabilité juridique ou encore de protection des données médicales se posent de plus en plus et présentent des obstacles pour son développement.

- **Difficulté d'accès aux données de santé**

L'accès aux données de santé, nécessaire à la mise au point d'algorithmes pertinents est le **frein majeur actuel** de développement d'une filière d'intelligence artificielle en France. Toutes les personnes interrogées dans des structures de recherche publique ou des acteurs privés révèlent un véritable parcours du combattant pour accéder à des données de santé. Aucun cadre de travail simple n'existe pour accélérer la mise à disposition de données. Ce problème majeur freine considérablement le développement et l'adoption de l'IA dans la santé.

Au-delà de ce problème d'accès, la législation ne permet pas de fusionner facilement l'information médicale fragmentée résidant dans des référentiels divers « systèmes de laboratoire et d'imagerie, notes médicales et assurance-maladie réclamations... ». Or cette fusion est indispensable pour comprendre des phénomènes de santé qui sont par nature multi factoriels. L'analyse des données de santé d'une cohorte de patient doit pouvoir se faire par rapport à la localisation géographique des patients pour déterminer par exemple l'importance des facteurs environnementaux dans l'apparition d'une pathologie. C'est légalement impossible aujourd'hui<sup>161</sup>.

Fusionner cette information en grandes bases de données intégrées est nécessaire pour habilitier l'IA à développer la compréhension profonde des maladies et de leurs remèdes.

En mars 2018, le gouvernement américain a annoncé l'initiative MyHealthData qui vise à fournir aux patients un accès simplifié à l'ensemble de leurs données de santé et permettre de les partager avec les organismes de leur choix. Cette initiative vise à fluidifier l'échange de données de santé.

En France, en juin 2018, le ministère de la Santé a lancé une mission le «Health Data Hub» pour permettre l'exploitation de données de santé<sup>162</sup> à des fins de recherche et d'innovation. La construction d'une procédure légale, simple et rapide d'accès aux données de santé doit être l'un des principaux objectifs de cette initiative.

---

<sup>161</sup> <https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A12616>

<sup>162</sup> [https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/180612\\_-\\_cp\\_-\\_health\\_data\\_hub.pdf](https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/180612_-_cp_-_health_data_hub.pdf)

- **Difficulté d'explicabilité des résultats**

Le fonctionnement actuel des technologies d'intelligence artificielle ne permet pas d'expliquer « comment » un réseau de neurones fait un diagnostic ou propose un plan de traitement. La qualité de l'algorithme repose sur la quantité et la qualité des données d'apprentissage et notamment des publications médicales.

En oncologie, l'IA WATSON a été majoritairement entraînée avec les données du Memorial Sloan Kettering (MSK) Cancer Center. Cependant, les médecins affirment que la formation a causé un biais dans le système, parce que les recommandations de cet hôpital ne sont pas toujours conformes aux pratiques des médecins ailleurs dans le monde. Les médecins du MSK ont reconnu leur influence sur WATSON : « *Nous n'hésitons pas à insérer notre parti pris* ». Selon Martijn van OIJEN, épidémiologiste hollandais au centre académique Medical Center, WATSON n'a pas été mis en œuvre en raison des différences de traitement au niveau des pays.

En théorie, l'IA est moins susceptible de faire des erreurs qu'un clinicien humain. En revanche, la cause de l'erreur n'est pas toujours explicable simplement. Par ailleurs, pour le moment, un algorithme d'IA travaille souvent à partir d'un seul type de données, celui qui est disponible. Cela correspond à un nombre limité d'usages possibles, par exemple la radiographie ou l'analyse d'électrocardiogramme comme source unique de diagnostic d'une pathologie. Cela ne permet pas de diagnostiquer automatiquement des maladies multi factorielles, ce qui est souvent la norme en médecine.

L'apprentissage en parallèle sur un ensemble diversifié de données et l'explicabilité des résultats sont des enjeux importants de fiabilisation des travaux de recherche en intelligence artificielle.

- **Difficulté d'acceptabilité sociale**

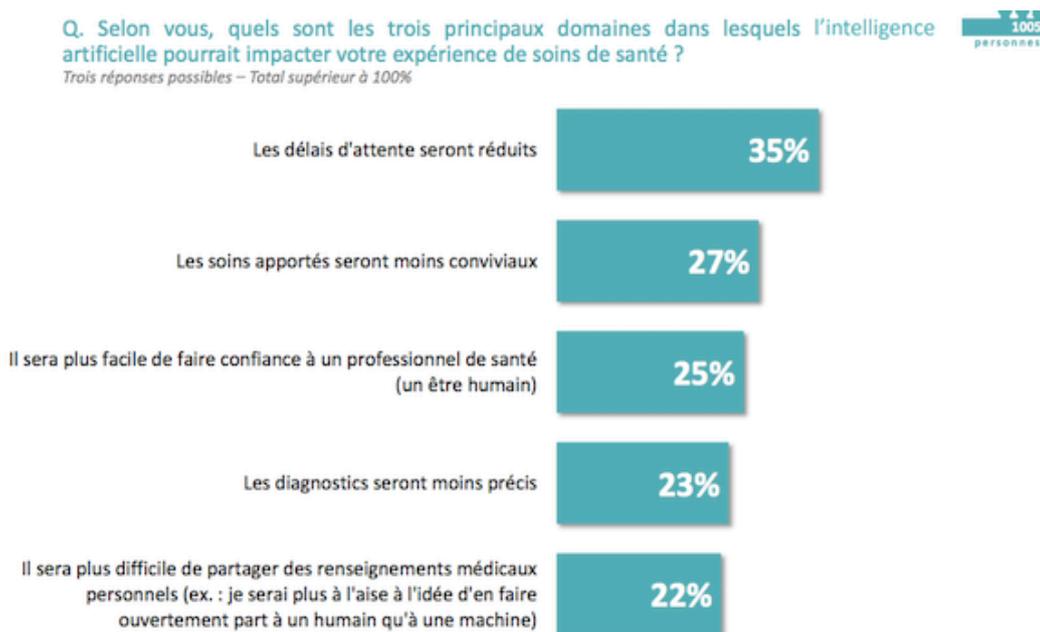


Figure 137 - Etude d'impact de l'intelligence artificielle<sup>163</sup>

**51%** des répondants disent ne pas envisager de se fier à un diagnostic médical établi sans intervention humaine, contre seulement **21%** de réponses positives (27% ne se prononcent pas). Cette méfiance s'explique par le fait qu'il est, selon 22% des répondants, plus difficile de partager des renseignements personnels avec une machine qu'avec un humain, mais aussi, pour **27%** des répondants, beaucoup moins convivial de ne plus échanger avec des humains. Pourtant, l'automatisation des tâches soulagerait un bon nombre de professionnels dans le secteur et les patients en sont bien conscients : **35%** d'entre eux estiment ainsi que cela permettrait de réduire les délais d'attente.

<sup>163</sup> Etude d'OpinionWay réalisée pour VMware

## Les acteurs de l'IA en santé

### Les besoins

L'Alliance pour la Recherche et l'Innovation des Industries de Santé (ARIIS) est un organisme créé en 2010 pour décloisonner la recherche privée et amplifier les synergies entre les médicaments, les technologies médicales, les diagnostics et les biotechnologies. Selon l'ARIIS, l'IA en santé est une révolution incontournable qui va changer complètement la médecine notamment en imagerie, robotique chirurgicale ou aide au diagnostic.

Néanmoins, selon la majorité des personnes interrogées, même si un effort de R&D très important est effectué actuellement en IA, le succès des recherches dépend fondamentalement de la disponibilité de données de qualité. Cette disponibilité est largement insuffisante aujourd'hui en dehors de quelques niches (imagerie, électrocardiogramme, greffe, publication médicale). Les organismes / sociétés possédant des données ne les partagent pas, ce qui limite la capacité à développer des services basés sur des techniques d'apprentissage.

Une prise de conscience devrait arriver pour comprendre que les problèmes sont difficiles à résoudre avec les données actuelles insuffisantes. Plusieurs milliers de données seraient nécessaires pour chaque problème médical. Selon les personnes interviewées : Aux États-Unis, il faut en moyenne 72 heures à un organisme de recherche, pour obtenir des données, contre plusieurs années en France avec un succès plus qu'incertain.

Pour autant, des bases de données de santé à large échelle existent en France, même si un effort important de qualification et de structuration sera nécessaire.

La législation en matière de protection rend aujourd'hui pratiquement impossible la mise au point de services fiables basés sur des techniques d'apprentissage. La législation ne distingue pas suffisamment la phase de mise au point d'un service innovant qui devrait faciliter l'accès aux données, de la phase d'exploitation à grande échelle pour éviter effectivement tous les problèmes liés à l'exploitation des données personnelles.

L'autre problème correspond à la disponibilité insuffisante des expertises notamment en mathématiques ou ingénierie pour mettre au point les technologies d'IA en santé. Ce problème est renforcé par la capacité des GAFAs à dépeupler la recherche française pour travailler sur leurs propres problématiques. C'est un problème commun à plusieurs secteurs.

Le problème de l'explicabilité des réseaux de neurones est également clé dans la mise au point d'algorithmes d'aide au diagnostic ou au traitement. Plusieurs travaux de recherche portent notamment sur le développement d'algorithmes qui permettent d'expliquer le résultat d'un réseau de neurones et de faire comprendre à un médecin comment l'algorithme a pris sa décision. Dit autrement, on construit un algorithme de « justification » en parallèle d'un algorithme d'IA pour permettre une acceptation de la proposition proposée.

En dehors de ROCHE et le programme de recherche EPIDEMIUM<sup>164</sup>, globalement, les industriels en santé notamment en France, démarrent depuis seulement quelques mois des premiers travaux de recherche et des collaborations avec des startups en intelligence artificielle.

---

<sup>164</sup> Première en France, le projet Epidemium construit en partenariat avec les Laboratoires Roche est un programme de recherche scientifique qui vise, à partir du Big Data et de l'Open Data, à repenser l'épidémiologie du cancer. La plateforme Challenge4Cancer (C4C) qu'il a permis de constituer compte environ 21 000 jeux de données. Elle a donné naissance à 15 projets avec 300 participants. 12 meet-ups ont été organisés réunissant plus de 800 personnes autour des données.

## Les offres qui se développent

Au cours des cinq dernières années, le nombre de sociétés de santé numériques employant une certaine forme d'intelligence artificielle a considérablement augmenté. En 2017, CB Insights a suivi 100 entreprises de soins de santé axées sur l'IA et a noté que 50 d'entre elles avaient effectué leurs premières levées boursières depuis janvier 2015. **21%** des startups d'IA les mieux financées aux États-Unis adressent le secteur de la santé.

	France	USA	Chine	Monde
IA Startups	136	2 905	709	5 125
IA Healthcare	26	~ 600 (20%)	~ 100 (14%)	~ 900 (18%)
Financement Total IA(2012-2016)	280 m€	15 000 m€	2 100 m€	20 000 m€
Financement IA pour la santé (2012-2016)	56 m€	3 000 m€	364 m€	3 600 m€

Tableau 40 - IA Startups

Voici quelques exemples de startups françaises en intelligence artificielle en santé.

Startup	Application	Usage IA
<b>KAPCODE</b>	Propose des solutions dans les domaines des maladies respiratoires et de la surveillance des signaux de santé via les médias sociaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>KHRESTERION</b>	Développe un logiciel axé sur le diagnostic médical et l'assistance sur ordonnance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traitement d'images</li> </ul>
<b>MENSIATECH</b>	Développe une technologie permettant la surveillance et l'entraînement du cerveau en temps réel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>OWKIN</b>	Construit des algorithmes capables d'interpréter les données visuelles, les bio statistiques et les profils de patients, afin d'accélérer la découverte de médicaments et la médecine de précision.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traitement d'image</li> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>QYNAPSE</b>	Fournit une technologie innovante pour mesurer l'efficacité des médicaments et prédire les résultats de la maladie en neurologie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>THERAPIXEL</b>	Vise à transformer le diagnostic radiologique avec l'intelligence artificielle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traitement d'images</li> </ul>
<b>CARDIOLOGS</b>	Développe des algorithmes d'analyse des anomalies cardiaques à partir de lecture automatique d'électrocardiogrammes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse de données</li> </ul>
<b>RYTHM</b>	Développe le casque DREEM qui enregistre l'activité cérébrale nocturne et permet de réduire les troubles du sommeil.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse de données</li> </ul>

Tableau 41 - Exemple de startups Françaises

La startup française THERAPIXEL, spécialisée dans le traitement des images médicales, est fondée par Olivier CLATZ et Pierre FILLARD qui travaillaient comme chercheurs à l'INRIA de Sophia Antipolis et de Saclay. Cette startup était Lauréate du concours national de création d'entreprise en 2013, du projet 3D SURG en 2015, de l'initiative NETVA en 2016 et a remporté un concours de référence sur le sujet « Digital Mammography Challenge » organisé entre autres par SAGE BIONETWORKS, IBM et des centres de recherche américains.

Aux États-Unis, de nombreuses startups adressent également les mêmes problématiques : aide à l'analyse de données de santé pour la recherche ou la mise au point de nouveaux protocoles de soins et aide au diagnostic. Ces sociétés développent des algorithmes d'apprentissage basés soit sur des données d'imagerie (vision par ordinateur), soit sur la littérature disponible (traitement du langage naturel) soit sur des données biologiques lorsqu'elles sont disponibles. Cette dernière source de données n'est pas suffisamment accessible (pas assez digitalisée, incomplète, peu volumineuse) pour permettre la mise au point de techniques réellement pertinentes.

ENLITIC, par exemple, est une startup basée dans la Silicon Valley qui utilise l'apprentissage en profondeur pour analyser les radiographies ainsi que d'autres données d'imagerie telles que la tomodensitométrie et l'IRM. TWOXAR utilise sa plate-forme de découverte de médicaments DUMA pour évaluer de grands ensembles de données pour corréler les médicaments et les maladies et identifier des pistes de traitements avec une forte probabilité de succès. La startup canadienne DEEPGENOMICS utilise la technologie d'apprentissage pour exploiter de grands ensembles de données génétiques et de dossiers médicaux afin d'identifier les liens entre les mutations génétiques et une pathologie. TEMPUS LAB est une société créée en 2015 qui permet aux médecins d'analyser rapidement l'ensemble des données médicales disponibles en temps réel et aider à un diagnostic thérapeutique.

Début 2018, l'agence américaine du médicament (FDA) a autorisé pour la première fois une intelligence artificielle à poser un diagnostic sans médecin sur des images rétinienne pour détecter des risques de rétinopathie diabétique. Le dispositif IDX-DR développé par la société IDX évalue correctement 90% des images analysées dans un essai clinique auprès de 900 patients.



<sup>165</sup> [www.eyediagnosis.net/idx-dr](http://www.eyediagnosis.net/idx-dr)

## Opportunités pour l'IA dans ce secteur

Les principaux éléments d'opportunités ou de menaces pour ce secteur sont les suivants :

Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une donnée médico / économique, centralisée et digitalisée d'excellente qualité en France.</li> <li>▪ Un système de soins qui favorise la création de données de santé.</li> <li>▪ Une organisation académique et de recherche d'excellente qualité et une volonté de créer des centres d'expertises dans le domaine de l'IA (Paris, Strasbourg, etc..).</li> <li>▪ Une recherche en IA dans le domaine de la santé, déjà active</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un manque de données cliniques et biologiques riches et accessibles pour la mise au point d'algorithmes pertinents.</li> <li>▪ Absence d'un cadre législatif incitatif pour les structures hospitalières qui favoriserait l'accessibilité de la donnée de santé pour la mise au point de services d'IA</li> <li>▪ Une absence de motivation et de législation simple pour les structures hospitalières leur permettant de rendre accessible la donnée de santé pour la mise au point de services d'IA.</li> <li>▪ Un retard à combler par rapport aux grands acteurs innovants américains, déjà en cours de déploiement dans plusieurs instituts et sociétés en santé en France.</li> <li>▪ Une volonté des GAFAs de récupérer les expertises disponibles en IA en France pour mettre au point leurs propres services.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vision par ordinateur (imagerie)</li> <li>▪ Traitement automatique du langage (TAL) pour les documents écrits</li> <li>▪ Internet des objets.</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moyenne.</li> <li>▪ Un nombre considérable de données médico / administratives disponibles.</li> <li>▪ Un grand nombre de données disponibles de manière dispersée dans les différents systèmes de soins et avec un historique souvent insuffisant.</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Majoritairement publique</li> </ul>

Les usages à développer en priorité en France sont les suivants :

Usages à développer en priorité	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Aide au diagnostic et aux soins</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Diagnostic plus précoce de maladies chroniques.</li> <li>○ Pronostic de rejet de greffe.</li> <li>○ Personnalisation des traitements</li> <li>○ Meilleure gestion du lien patient / professionnel de santé.</li> <li>○ Meilleure gestion de l'observance et des effets secondaires.</li> <li>○ Prise en compte des impacts sur la qualité de vie des patients.</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Recherche clinique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Screening de molécules.</li> <li>○ Matching patients / traitements.</li> <li>○ Jumeau numérique.</li> </ul> </li> </ul>
---------------------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Assistant médical personnalisé</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Suivi hospitalisation à domicile</li> <li>○ Anticipation des risques (rechute, ré-hospitalisation, etc.).</li> </ul> </li> </ul>
<p>Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Accès aux données de santé à simplifier considérablement au moins pendant la phase de mise au point des algorithmes d'intelligence artificielle pertinents</li> <li>▪ Evolution de la législation pour permettre <b>d'expérimenter</b> simplement et rapidement avec de la donnée de santé</li> <li>▪ Création d'un ou de plusieurs <b>hôpitaux d'expérimentation numérique</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Déploiement de réseaux de capteurs au sein de l'hôpital pour capter l'ensemble des données de santé de l'hôpital</li> <li>○ Développement d'un système de santé, centralisant l'ensemble des données collectées.</li> <li>○ Simplification d'accès à toute structure (startup, laboratoire) souhaitant innover avec les données créées.</li> <li>○ Par exemple, mise en place d'un protocole permettant de tester en moins de 30 jours toute innovation numérique développée</li> <li>○ Formation des personnels de la structure concernée au numérique</li> <li>○ Mise en place de protocoles de test / validation des innovations numériques pour un déploiement à grande échelle.</li> </ul> </li> <li>▪ Un modèle économique d'innovation à créer dans un pays de médecine gratuite.</li> <li>▪ Une législation à construire de télémédecine par intelligence artificielle</li> <li>▪ Une notion « d'explicabilité » à définir juridiquement</li> </ul>
<p>Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Paris BIOTECH SANTE, incubateur de nombreuses startups en intelligence artificielle dédiée à la santé.</li> <li>▪ IRCAD à Strasbourg. Ouverture d'un centre de recherche dédié à l'intelligence artificielle en chirurgie.</li> <li>▪ La création d'un laboratoire d'exploration des données de santé : Health Data Hub.</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **majeur** pour la France aujourd'hui.

## Proposition de scénario stratégique

Compte tenu de l'analyse précédente, cette partie propose un ou plusieurs scénarios de développement de l'IA en France pour ce secteur.

Dans ce secteur, les facteurs qui vont influencer le choix d'un scénario sont les suivants :

Facteur	Situation de la France par rapport à l'international
Qualité de la formation et de la recherche en IA	Forte
Qualité de l'infrastructure technologique	Faible
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Forte
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Moyenne
Digitalisation du secteur, accès aux données	Moyenne

Compte tenu de ces éléments, le scénario à privilégier pour ce secteur est le suivant :

Scénario	
Créer un écosystème leader en IA	Recommandé
Développer des initiatives de niche	Recommandé

Pour le secteur de la santé, les 2 scénarios peuvent être envisagés. Le secteur bénéficie d'un écosystème innovant dynamique en intelligence artificielle aujourd'hui, notamment sur les usages d'aide au diagnostic. Par ailleurs, le système de soins français a favorisé la création de données de soins à grande échelle dans certains domaines.

Mais pour réussir à devenir un acteur majeur de l'IA en santé, les freins suivants doivent être adressés rapidement (dans les prochains mois) sous peine de voir des acteurs internationaux avec un environnement public et économique local plus favorable, innover plus vite. Les principaux freins en santé sont les suivants :

- Une législation sur l'accès aux données personnelles et de santé vécue comme beaucoup trop contraignante pour innover et expérimenter.
- Une absence d'incitation pour les structures hospitalières pour créer de la donnée à des fins d'expérimentation de l'IA.
- Un investissement très faible dans les infrastructures de calcul.
- Compte tenu du mode de financement des soins en France, une absence de modèle économique viable pour les startups.

Si ces freins ne sont pas levés, un scénario de niche serait à privilégier, en se focalisant par exemple sur les usages de télémédecine en cours de développement. Dans ce domaine, l'intelligence artificielle pourrait permettre un suivi intelligent des patients à distance pour éviter l'apparition précoce d'un épisode chronique et une hospitalisation d'urgence. L'IA en tant que « coach patient » nécessitera un lien avec les systèmes de santé des structures hospitalières, ce qui est plus difficile à mettre en œuvre pour un acteur étranger par exemple.