



ÉTUDES ÉCONOMIQUES

# PROSPECTIVE

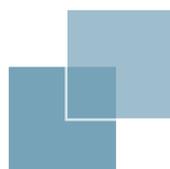
Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives  
pour la France

Rapport final

Date de parution : février 2019  
Couverture : Hélène Allias-Denis, Brigitte Baroin  
Édition : Martine Automme, Nicole Merle-Lamoot

ISBN : 978-2-11-152634-1  
ISSN : 2491-0058

# Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives pour la France



Rapport final

**Le Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques (Pipame)** a été créé en 2005. Son objectif est d'éclairer, à un horizon de cinq à dix ans, les mutations qui transforment les principaux secteurs économiques.

La mondialisation transforme les entreprises et les pousse à s'adapter à une concurrence accrue sur des marchés plus diversifiés et lointains. Le numérique, avec l'essor de la robotique, de l'intelligence artificielle, des objets connectés, etc. transforme les entreprises tant dans le secteur de l'industrie que dans celui des services.

Dans ce contexte, le PIPAME apporte aux acteurs publics et privés des éléments d'alerte et de compréhension de ces mutations. Il propose des préconisations d'actions à court, moyen et long terme, afin d'accroître la compétitivité des entreprises françaises. Le Pôle aide les professionnels et les pouvoirs publics dans leur prise de décision.

Le secrétariat général du Pipame est assuré par la sous-direction de la Prospective, des Études et de l'Évaluation Économiques (P3E) de la direction générale des Entreprises (DGE).

**Les départements ministériels participant au Pipame sont :**

- le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation,
- le ministère des Armées,
- le ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les Collectivités territoriales,
- le ministère de la Culture,
- le ministère de l'Économie et des Finances,
- le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation,
- le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères,
- le ministère de l'Intérieur,
- le ministère des Solidarités et de la Santé,
- le ministère des Sports,
- le ministère de la Transition écologique et solidaire,
- le ministère du Travail.

## Avertissement

La méthodologie utilisée dans cette étude ainsi que les résultats obtenus relèvent de la seule responsabilité du prestataire ayant réalisé cette étude, *Atawao Consulting*. Ils n'engagent ni le PIPAME, ni la Direction générale des entreprises (DGE), ni le Commissariat général à l'égalité des territoires, ni TECH IN France. Les parties intéressées sont invitées, le cas échéant, à faire part de leurs commentaires à la DGE.



## MEMBRES DU COMITÉ DE PILOTAGE

Cédric NOZET	Direction générale des entreprises, Ministère de l'économie et des finances
Alice METAYER-MATHIEU	Direction générale des entreprises, Ministère de l'économie et des finances
Soufiane DAHBI	Direction générale des entreprises, Ministère de l'économie et des finances
Anne FAURE	Commissariat général à l'égalité de territoires, Ministère de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales
Eric MENARD	Responsable Etudes & Stratégie, TECH IN France

La conduite des entretiens et la rédaction du présent rapport ont été réalisées par la société de conseil :

### **ATAWAO CONSULTING**

Tour Montparnasse  
33 avenue du Maine  
BP 05 - 75755 PARIS Cedex 15  
Tél. : +33 (0)1 83 62 67 60  
[www.atawao.com](http://www.atawao.com)

Consultants :

Antoine DUBOIS,	Directeur de mission.
Demba DIALLO,	Directeur.
Stéphan CLEMENCON,	Responsable du groupe S2A, maître de la chaire de ML de Telecom ParisTech.
Iyed KHAMMASSI,	Consultant.
Adama DIALLO,	Consultante.



# SOMMAIRE

---

<b>SOMMAIRE</b>	<b>9</b>
<b>RÉSUMÉ</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>14</b>
Le contexte	15
La demande de l'étude	16
<b>ÉTAT DE L'ART TECHNOLOGIQUE</b>	<b>17</b>
Introduction	17
Les technologies en intelligence artificielle	19
Les infrastructures de calcul	20
Les technologies algorithmiques	39
L'interface homme / machine	85
Synthèse du chapitre	104
<b>CLASSEMENT SECTORIEL</b>	<b>106</b>
Méthodologie générale de classement sectoriel	106
Classement sectoriel international	108
Transposition du classement international à la France	113
Synthèse du chapitre	116
<b>ANALYSE MACROSCOPIQUE SECTORIELLE</b>	<b>117</b>
Administrations publiques	117
Services financiers	124
Agriculture	131
Services juridiques	137
Sécurité des biens et des personnes	145
Commerce de détail	152
Professions libérales et services professionnels	162
Télécommunications	168
Loisirs et médias	173
Synthèse du chapitre	180
<b>ANALYSE SECTORIELLE APPROFONDIE</b>	<b>181</b>
Santé	181
Industrie	195
Transport et Mobilité	207

Énergie et Environnement	223
Synthèse du chapitre	237
<b>IA, POSITIONNEMENT DE LA FRANCE ET STRATÉGIES TERRITORIALES</b>	<b>239</b>
Préambule : quelques limites préalables	239
Attractivité dans le monde et positionnement de la France	239
Usages innovants d'IA à l'échelle des territoires	244
<b>OPPORTUNITÉS POUR LA FRANCE ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>254</b>
Opportunités pour la France	254
Recommandations sectorielles	261
Recommandations transverses	273
Projets scientifiques et technologiques à mener	276
<b>ANNEXES</b>	<b>279</b>
Introduction	279
Détails du classement sectoriel	280
Intelligence artificielle et emploi	283
Analyse technologique prospective	286
Recherche et innovation	301
Compléments sur le commerce de détail	316
Sigles	318
Index des tableaux	319
Index des figures	320
Bibliographie	323
Remerciements	327

# RÉSUMÉ

---

Depuis son point de départ dans les années 1950 avec les travaux du mathématicien Alan TURING, l'intelligence artificielle, discipline mathématique et technique destinée à reproduire l'intelligence humaine, s'est développée par cycles successifs parallèlement à la croissance de la puissance de calcul informatique disponible.

Dans les années 1980, le concept d'apprentissage automatique (« *Machine Learning* ») se développe permettant à une machine de déduire une « règle à suivre » uniquement à partir de l'analyse de données. Cette période voit apparaître la majorité des algorithmes « apprenants » utilisés aujourd'hui (réseau de neurones, apprentissage par renforcement, machines à vecteurs de support, etc...). Ces avancées se concrétisent notamment par le succès de l'ordinateur Deep Blue face au grand maître d'échecs, Gary KASPAROV en 1992.

À partir des années 2000, un nouveau cycle d'innovations en IA se met en place avec le formidable développement d'internet et des très grandes infrastructures de calcul, offrant un accès à un volume de données encore jamais atteint dans l'histoire humaine. Avec cette capacité nouvelle, le développement des techniques d'apprentissage profond (« *deep learning* ») permet aux machines de commencer à surpasser les performances des meilleurs experts humains dans des domaines comme la reconnaissance visuelle, l'analyse documentaire ou la traduction.

Grâce à ces premiers vrais succès cognitifs des machines, une formidable dynamique mondiale d'innovation s'est mise en place depuis cinq ans avec un investissement multiplié par dix pour atteindre plus de 5 Mds d'euros en 2017<sup>1</sup>. L'innovation s'attaque à reproduire les trois grandes catégories de tâches cognitives : la perception de l'environnement, la compréhension d'une situation et la prise de décision. Le développement des technologies de vision par ordinateur ou de traitement automatique du langage (TAL) a déjà permis d'atteindre un niveau remarquable de maturité en perception et quelques succès intéressants pour des tâches de compréhension comme la traduction automatique.

Pour autant, malgré ces premiers succès, l'immense majorité des tâches de compréhension et de décision réalisées par les humains reste hors de portée des systèmes actuels en intelligence artificielle. Aucun véhicule autonome n'est aujourd'hui capable d'anticiper une situation de conduite « non apprise », alors qu'il s'agit d'une tâche relativement banale pour un humain.

La compréhension des différences entre les mécanismes d'apprentissage des machines et ceux des humains est un sujet majeur de recherche en IA. Actuellement, les performances de l'IA reposent sur la disponibilité d'un grand nombre d'événements (souvent plusieurs milliers) et une puissance de calcul importante pour l'apprentissage avec un résultat peu généralisable à d'autres situations. De son côté, le cerveau humain apprend souvent une situation avec très peu d'exemples (moins d'une dizaine) et avec une excellente capacité de généralisation à d'autres situations. Cette capacité de « généralisation » à partir de peu « d'événements » est au cœur de la recherche actuelle. Elle va de pair avec des recherches sur la « robustesse » d'un modèle apprenant, sa capacité à fournir des réponses stables malgré des événements parasites. Cela correspond à la notion « d'expérience » chez les humains.

Ces contraintes limitent l'usage de technologies d'apprentissage sans disponibilité de réseau de communication et d'infrastructure de calcul performants. Les acteurs majeurs dans la recherche en intelligence artificielle comme GOOGLE ou AMAZON disposent des plus grandes infrastructures de calcul de la planète. Pour améliorer les performances de l'IA, la R&D matérielle (processeurs, stockage, réseau) est également très dynamique : processeur neuromorphique, réseau mobile à très faible niveau de latence, etc.

## **Constituer et donner accès à de très grands jeux de données de qualité**

En intelligence artificielle, les technologies algorithmiques sont très largement « open source » et ne constituent pas une barrière à l'entrée. Pour l'ensemble des secteurs économiques, l'accès aux données métier de qualité (images, texte ou données numériques) est le principal facteur d'accélération ou de limitation des innovations. Une législation contraignante et une crispation globale des acteurs français (tous secteurs confondus) qui possèdent des données, obligent beaucoup d'innovateurs à rechercher des données d'expérimentation et les conduisent même parfois à partir à l'étranger pour développer leurs produits ou services. Sans changement et volonté de distinguer, par exemple le besoin de données à des fins d'expérimentation et d'innovation, de l'usage

---

<sup>1</sup> CB Insights

qui pourrait en être fait après la commercialisation d'un produit ou d'un service, ce phénomène ne fera que s'accroître.

L'accès à des données massives, corrélées, complètes, qualifiées, historisées est une **clé technologique majeure** de mise au point de technologies d'intelligence artificielle aujourd'hui. Ces données doivent pouvoir être créées si elles n'existent pas ou rendues accessibles très rapidement si elles sont disponibles. Sans volonté publique ou privée majeure pour lever l'ensemble des restrictions ou complications d'accès à ces données (pendant toute la phase expérimentale), aucune technologie d'intelligence artificielle ne sera développée durablement en France.

Les données existantes dans le domaine de la santé par exemple doivent être accessibles à des fins d'expérimentation de manière beaucoup plus simple et rapide qu'aujourd'hui (c'est-à-dire en quelques jours). Pour les données manquantes, l'État doit encourager la création de bases de référence sectorielles (transport, industrie, énergie par exemple) qui seront à disposition des acteurs innovants et qui permettront de comparer la performance des algorithmes d'intelligence artificielle entre eux. La base de données ImageNet sert de référence mondiale pour suivre l'évolution de la performance des algorithmes de reconnaissance d'image.

## **Capitaliser sur les usages sectoriels de l'IA**

Même si la grande majorité des investissements est réalisée sur des technologies d'IA génériques, une dynamique d'usage sectoriel commence également à se développer, notamment en santé et en transport. En santé, à partir de données cliniques, des algorithmes apprenants commencent à diagnostiquer des pathologies ou à imaginer un traitement personnalisé approprié. En transport, un véhicule apprend à « percevoir » et à « comprendre » son environnement immédiat (signalisation, véhicules, obstacles, piétons, etc.) petit à petit pour l'ensemble des situations de conduite qui peuvent se produire : respect de la signalisation, conduite sur voie rapide, entrée sur voie rapide, embouteillage, rond-point, véhicule en double file, etc... En mobilité, l'IA commence également à apprendre à optimiser les flux de transport en fonction des capacités des différents modes, d'informations environnementales ou d'actualités (accident, grève).

Dans le secteur de l'industrie, traditionnellement utilisateur de systèmes d'optimisation, des systèmes apprenants reproduisent plus fidèlement le fonctionnement d'une machine en conditions réelles. Ils commencent à identifier des facteurs d'utilisation non optimale ou de dysfonctionnement qui échappent aux experts humains et permettent de mieux anticiper une maintenance. Dans le domaine de la transition énergétique, repérer les multiples facteurs d'intermittence de la production et de la consommation électrique constitue un enjeu important pour les technologies apprenantes. Cela permettra de mieux « anticiper » la production solaire ou éolienne ou encore d'optimiser la distribution.

Dans le secteur des affaires juridiques, des systèmes apprenants sont capables d'analyser une jurisprudence pour identifier les arguments clés, fournir un conseil juridique sur la qualité d'un contrat ou la probabilité de gagner un contentieux avec un niveau de performance comparable à un juriste professionnel. Dans le domaine de la sécurité, la reconnaissance faciale, déjà performante, devrait réaliser un nouveau bond en avant. La Chine va développer cette technologie à partir de plus de 20 millions de caméras installées sur son territoire.

Plus globalement dans les usages numériques grand public, les grands acteurs technologiques américains ont largement investi le champ de l'IA pour cibler utilisateurs et contenus avec un niveau de précision très souvent « supérieur » aux attentes des consommateurs eux-mêmes. Une société comme AMAZON, retient le départ d'un camion de livraison de quelques minutes, car elle « anticipe » qu'un autre consommateur va probablement commander un produit dans les prochaines minutes dans la même zone de livraison que le camion.

## **Une nécessité d'être ambitieux sur l'expérimentation**

Pour relever le défi de l'IA en France, le principal enjeu est de favoriser au maximum **l'expérimentation** de ces technologies sur le territoire. La notion d'expérimentation en environnement et conditions réelles est clé pour fédérer largement tous les acteurs : acteurs publics, laboratoires de recherche, enseignement, écosystèmes innovants, startups, grands groupes, financeurs et grand public. Ce besoin d'expérimenter est au cœur de l'initiative SIDEWALKS<sup>2</sup> de GOOGLE par exemple avec la ville de TORONTO.

Dans le domaine de la santé, l'accès simplifié à une ou plusieurs structures de soins pour expérimenter à grande échelle des solutions innovantes accélérerait leur mise au point. Pour une structure qui souhaite expérimenter (un

---

<sup>2</sup> [www.sidewalklabs.com](http://www.sidewalklabs.com)

laboratoire de recherche, une startup ou un grand groupe), un accès simplifié signifierait : la signature d'une convention simple d'expérimentation, le déploiement rapide pendant le temps nécessaire à l'expérimentation au sein d'un service hospitalier, l'accès régulier aux experts et à des données médicales en volume.

Dans le domaine des transports et de la mobilité, une ville entière de plusieurs milliers d'habitants pourrait être transformée pour servir de champ d'expérimentation à l'ensemble des technologies innovantes du véhicule autonome. Une infrastructure pourrait être mise en place pour fournir des données et une cartographie de très grande précision nécessaires à la mise au point de toutes les situations conduites. En dehors d'une ville, d'autres zones d'expérimentation pourraient être mises en place comme une portion d'autoroute de plus de 100 km, une zone montagneuse pour la conduite sur route sinueuse, etc...

Dans le domaine de l'énergie, un ou plusieurs éco-quartiers regroupant l'ensemble des technologies de transition énergétique (production énergétique intermittente, gestion intelligente de la demande, véhicules électriques, etc...) pourraient être mis à disposition des sociétés souhaitant développer des technologies d'IA dans le domaine.

## **Un manque de corpus de formation en ligne de référence en français sur l'IA**

La mise au point d'algorithmes apprenants repose sur des données qui sont le reflet de phénomènes réels qui comportent une part d'aléa. Météo France prévient sur son site<sup>3</sup> que la prévision à 24h comporte un aléa d'environ 10%. La mise au point d'algorithmes de Machine Learning fait un usage important des **probabilités** dans le raisonnement. En dehors de formations spécialisées (comme l'ENSAE), cette discipline est insuffisamment enseignée de manière générale. Cela constitue une étape d'adaptation difficile à passer aujourd'hui pour toutes les équipes opérationnelles voulant travailler sur l'intelligence artificielle et développer des compétences dans le domaine.

Pour favoriser cette adaptation et développer des expertises, un effort majeur de formation doit être entrepris comme cela a été abondamment souligné dans les rapports « Stratégie France IA » et « Donner un sens à l'intelligence artificielle ». Pour accélérer cette formation, un effort particulier devrait être fait rapidement dans le domaine des MOOCs (Massive Open Online Course), des formations en ligne pour créer le corpus de référence en langue française sur l'IA.

---

<sup>3</sup> <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/la-prevision-du-temps/les-performances-des-previsions>

# INTRODUCTION

---

Ce document constitue le rapport d'étude prospective dans le domaine de l'Intelligence Artificielle – État de l'art et Perspectives pour la France. Ce document est structuré selon les parties suivantes :

- Des définitions et un état de l'art technologique de l'intelligence artificielle. Les technologies algorithmiques des systèmes apprenants sont détaillées (machine learning) mais également des technologies de support comme les infrastructures de calcul, les processeurs, les réseaux de communication et les interfaces homme / machine simples (plateformes) et évoluées (la robotique). Cette partie présente également la recherche actuelle en intelligence artificielle et les principaux verrous technologiques.
- Un classement sectoriel de l'impact de l'intelligence artificielle. Ce classement s'appuie sur un équilibre entre des critères socio-économique (PIB, emploi) et des critères d'innovation dans le domaine de l'IA (nombre de startups, montants investis, usages déployés). Deux classements sectoriels sont proposés, un classement international et un classement national. Les 2 classements diffèrent par l'importance des forces et faiblesses de chaque secteur en France par rapport à d'autres pays.
- Une analyse des principaux usages de l'intelligence artificielle dans 9 secteurs économiques et des enjeux associés. Les 9 secteurs sont les suivants : Agriculture, Commerce de détail, Loisirs et média, Sécurité des biens et des personnes, Services financiers, Services juridiques, Services professionnels, Services Publics et Télécommunications.
- Une analyse approfondie de 4 secteurs économiques (Santé, Transport & Mobilité, Industrie, Energie & Environnement), notamment sur la demande, l'offre, les écosystèmes et les cas d'usage les plus significatifs.
- Des recommandations et des propositions d'actions susceptibles d'être mises en œuvre par des acteurs privés et publics. Ces recommandations peuvent porter sur des activités de Recherche et développement, des politiques publiques pour stimuler l'innovation ou accélérer le déploiement des usages.
- Une partie des recommandations concerne notamment le besoin d'expérimentation de l'intelligence artificielle sur le territoire. A ce titre, plusieurs projets d'expérimentation locale sont proposés pour permettre d'amplifier des dynamiques déjà en cours : R&D, infrastructures adaptées, modes de coopération à mettre en place.

## Le contexte

Depuis quelques années, l'intelligence artificielle (IA) connaît un regain d'intérêt et une progression de ses performances, notamment grâce aux progrès dans les infrastructures de traitement « infiniment » scalables<sup>4</sup>.

Les technologies d'IA couvrent un champ d'application extrêmement large et permettent d'apporter des solutions à des problèmes dont la complexité rendait, jusqu'à peu, leur résolution inaccessible. Elles confèrent aux systèmes dans lesquels elles sont intégrées la capacité de prendre des décisions de manière autonome et réalisent certaines tâches avec une précision supérieure aux meilleurs experts humains (Cf. l'IA ALPHAZERO<sup>5</sup>, dérivée d'ALPHAGO qui a réussi à battre le meilleur programme d'échec STOCKFISH en 4 heures d'apprentissage en 2017).

Les usages possibles de l'IA laissent envisager un potentiel économique important pour les entreprises et les investisseurs. Mais ces usages sont également source d'inquiétudes concernant, par exemple, leur incidence sur l'emploi et sur les modèles d'activité de différentes organisations. Ils suscitent également des questions d'ordre éthique, moral et juridique auxquelles des réponses devront être apportées. A terme, l'impact social et économique de l'IA pourrait être conséquent et il est important de préparer l'ensemble des acteurs économiques et la société en générale à son irruption.

De nombreux gouvernements ont déjà lancé des réflexions et des initiatives nationales sur l'IA. En mars 2016, la Corée du Sud a annoncé un plan IA doté de l'équivalent de 765 millions d'euros dans le cadre duquel un centre de recherche national sera créé sous la forme d'un partenariat public-privé. En octobre 2016, le gouvernement des États-Unis a rendu public, d'une part, un rapport dressant un constat des avancées actuelles et des possibles applications de l'IA, et listant plusieurs domaines d'action, et d'autre part, un plan stratégique national de recherche et développement en IA.

Le 20 juillet 2017, la Chine a rendu public un plan de développement national de l'intelligence artificielle, visant à faire passer son poids économique dans l'économie nationale, de plus de 22 Mds de dollars à l'horizon 2020 à 59 Mds de dollars d'ici 2025, puis 150 Mds de dollars en 2030, selon des chiffres du Conseil d'État. Avec un tel plan, la Chine souhaite rivaliser avec les États-Unis.

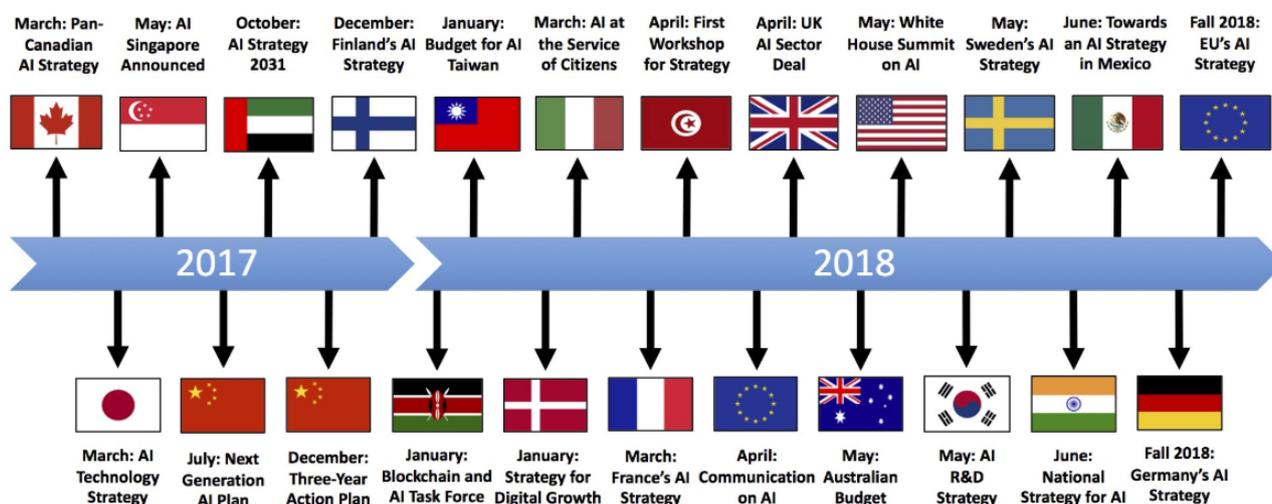


Figure 1 - Date de publication stratégies en IA des États<sup>6</sup>

En France, le gouvernement a lancé en janvier 2017 l'initiative #FRANCE IA, qui a mobilisé pendant deux mois la communauté française de l'IA (acteurs institutionnels, académiques, industriels) et a permis d'organiser une première réflexion autour de thèmes clés : recherche, formation, transfert de la recherche, développement des écosystèmes, préparation d'un cadre favorisant le développement de l'IA et prenant en compte ses impacts économiques et sociaux. Par ailleurs, suite à une mission confiée au député et mathématicien Cédric VILLANI, le gouvernement a présenté en mars 2018 une ambitieuse stratégie articulée autour de 6 chantiers majeurs pour positionner la France comme un acteur leader en intelligence artificielle dans le monde.

<sup>4</sup> Capable de s'adapter à un changement d'ordre de grandeur et de maintenir ses fonctionnalités et ses performances en cas de forte demande.

<sup>5</sup> <https://arxiv.org/pdf/1712.01815.pdf>

<sup>6</sup> TIM Dutton, Politics + AI, 2018

## La demande de l'étude

L'étude identifie les technologies clés de demain pour l'IA, leur maîtrise par les acteurs, approfondit l'impact de l'irruption de l'IA dans certains secteurs d'activité et les actions à mettre en œuvre pour que le territoire national en retire le plus de bénéfices. Dans une première partie, l'étude établit un panorama des technologies génériques de l'IA et des écosystèmes qui les portent au niveau français et mondial. Dans une seconde partie, l'étude classe les secteurs d'activité sur lesquels l'irruption de l'IA nécessite une attention particulière du fait de ses impacts potentiels et des leviers d'actions existants.

L'étude adresse en particulier les objectifs suivants :

- **Evaluer précisément les dynamiques économiques induites par l'IA**

Au-delà de l'engouement médiatique autour de l'IA, cette technologie représente potentiellement une rupture clé pour plusieurs secteurs économiques. L'un des objectifs de l'étude est d'évaluer précisément les secteurs prioritairement affectés par l'IA et l'impact sur les territoires et les entreprises françaises.

- **Développer l'attractivité des territoires dans le domaine de l'IA**

Les évolutions technologiques impactent le milieu civil et leur usage se généralise dans la vie quotidienne de chacun. L'IA n'échappe pas à la règle. Des applications civiles se développent dans tous les domaines qui touchent à l'automatisation de la prise de décision et à la robotisation des tâches. Si la France ne suit pas de façon volontariste l'évolution de ces nouvelles technologies afin de les intégrer quand cela est pertinent, un décalage technologique pourrait être constaté avec les autres nations.

- **Identifier les actions clés à réaliser**

Un facteur clé de succès consiste à identifier et prioriser les actions indispensables pour favoriser le développement de l'écosystème français dans le domaine de l'IA. Ces choix d'actions sur le court et moyen terme sont à conduire pour ne pas fragiliser les capacités industrielles et technologiques clés de la France, nécessaires à son autonomie stratégique sur le long terme.

# ÉTAT DE L'ART TECHNOLOGIQUE

## Introduction

L'intelligence artificielle (IA) correspond à un ensemble de technologies qui permet de simuler l'intelligence et accomplir automatiquement des tâches de perception, de compréhension et de prise de décision. Ces techniques font particulièrement appel à l'utilisation de l'informatique, de l'électronique, des mathématiques (notamment statistiques), des neurosciences et des sciences cognitives.

Historiquement, les travaux en IA démarrent dans les années 1950 avec les travaux d'Alan TURING. L'IA est devenue un domaine de recherche à l'été 1956, lors de la première conférence des pionniers de cette discipline, notamment John MCCARTHY, Marvin MINSKY, Allen NEWELL, Herbert SIMON ou Donald MICHIE. Avant 2000, les limites imposées par les capacités de calculs et de stockage n'ont pas permis de réaliser des avancées significatives dans le domaine de l'IA. Il faut attendre le début des années 2000 pour voir apparaître les principaux facteurs de ruptures technologiques qui ont permis les avancées actuelles :

- **Le réseau internet** et l'usage partagé de données qui ont permis de créer des technologies comme les moteurs de recherches ou les architectures décentralisées et hyperscalables.
- **Une croissance exponentielle de la quantité de données** : L'espace de stockage offert pour 1€ double tous les 14 mois<sup>7</sup>.
- **Une croissance exponentielle des capacités de calcul** : La quantité totale de données créée chaque année double tous les 2 ans<sup>8</sup>.

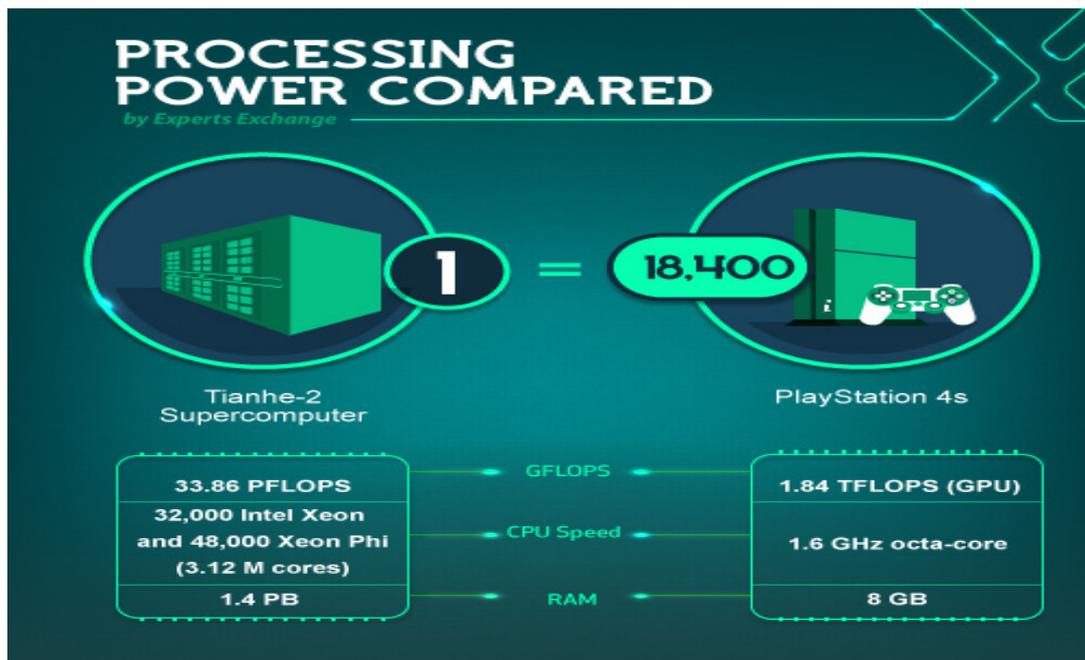


Figure 2 - La puissance de calcul des machines en 2015<sup>9</sup>

- **La mobilité** et le développement des objets connectés qui favorisent l'accès à des flux de données en temps réel : en 2020, il y aura 50 milliards d'objets connectés, qui produiront 10% du total des données créées<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> En 1956, un disque dur de la taille d'un réfrigérateur contenait 3.75 MB (la taille d'une musique au format MP3) et coûtait 28.000 \$. Aujourd'hui un petit disque dur à moins de 100€ contient 1 To, soit 267.000 musiques MP3 (plus de 3.000 albums).

<sup>8</sup> En 2020 elle atteindra 44 Zeta-octets (44 milliards de disques durs à 1 To). Sur YouTube, 300 heures de vidéo sont uploadées chaque minute.

<sup>9</sup> <https://www.place4geek.com/blog/2015/05/infographie-levolution-de-puissance-de-nos-machines-de-1956-a-2015/>

<sup>10</sup> Cisco

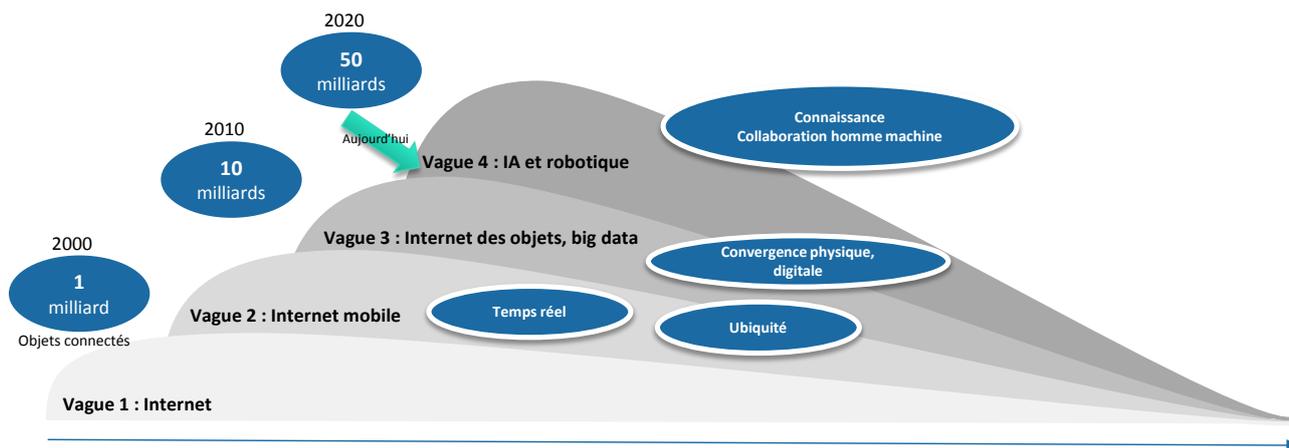


Figure 3 - Chronologie des évolutions numériques

En conséquence, l'intelligence artificielle s'est développée très fortement depuis plus de 10 ans avec une accélération dans les 5 dernières années, pour permettre notamment des usages comme :

- **La perception visuelle** : reconnaissance d'un objet ou description de scènes.
- **La compréhension du langage naturel écrit ou parlé** : traduction automatique, production automatique d'articles de presse, analyse de sentiments.
- **L'analyse automatique** en « comprenant » une requête et en renvoyant des résultats pertinents, même si ce résultat ne contient pas les mots de la requête.
- **La prise de décision autonome** pour battre les humains aux échecs ou au Go.

L'IA nécessite pour le moment des ressources considérables en données et en puissance de calcul pour apprendre efficacement. La recherche développe maintenant des techniques pour réduire la consommation d'énergie et limiter le besoin de données, et d'autres techniques pour permettre de généraliser une solution à plusieurs usages ou pour rendre l'IA robuste face à un évènement isolé perturbateur.

En dehors des aspects technologiques, l'IA pose également des questions nouvelles en termes d'éthique et de risque : dépendance à l'automatisation, mauvais usage ou erreur liés à des données « contaminées », impact sur la vie privée, etc.

Ces questions imposent de réfléchir à la définition du cadre de confiance à mettre en place au fur et à mesure du développement de ces technologies.

# Les technologies en intelligence artificielle

Même si l'intelligence artificielle est principalement associée à une discipline mathématique et des techniques algorithmiques, elle inclut également d'autres briques pour répondre à un usage complet. Les principaux éléments constitutifs d'un système d'IA sont les suivants :

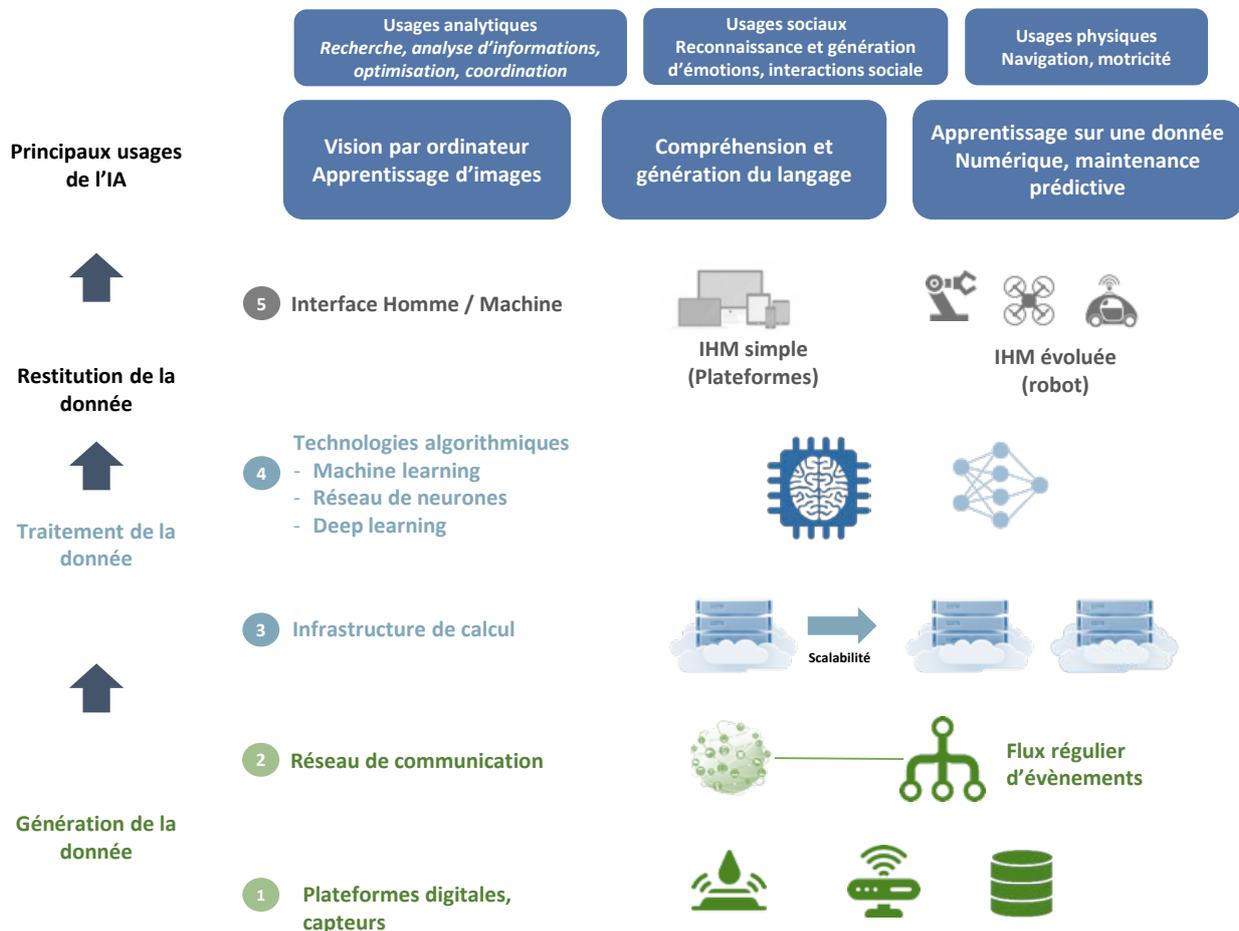


Figure 4 - Briques technologiques de l'IA

1. **Des plateformes digitales (données utilisateurs) ou des infrastructures de capteurs (données machines ou environnementales)** pour générer des flux réguliers de données/évènements.
2. **Un réseau de communications** pour permettre la collecte des données/évènements utilisés par l'IA. Ces données doivent être suffisamment représentatives du cas d'usage que l'on cherche à adresser.
3. **Une infrastructure de calcul hyperscale<sup>11</sup>** de traitement pour stocker et exploiter les flux de données dans un délai raisonnable.
4. **Des technologies algorithmiques** d'intelligence artificielle (machine learning, deep learning, réseau de neurones, etc...), une mesure de la performance, une mesure de l'erreur et un ensemble d'évènements de référence pour l'apprentissage.
5. **Une interface homme / machine** simple de type plateforme accessible via mobile ou ordinateur pour les usages de type « aide à la décision » ou une interface évoluée (drone, robot, véhicule autonome) pour les usages de type « décision autonome ». La plateforme est l'élément qui associe une technologie algorithmique à un usage sectoriel.

<sup>11</sup> A très grande échelle de calculs.

# Les infrastructures de calcul

Le périmètre technologique couvert adresse les technologies de stockage et de calcul les plus porteuses ainsi que les infrastructures distribuées de type hyperscale (cloud).

Le cloud computing est l'exploitation de la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet. Ces serveurs sont loués à la demande, le plus souvent par tranche d'utilisation selon des critères techniques (puissance, bande passante, volume de stockage...). Le cloud computing est un basculement majeur de tendance. Il constitue un des leviers essentiels de l'accélération de la performance métier des entreprises. Le cloud permet de construire rapidement et à coût optimisé de grandes plateformes numériques. Ces plateformes permettent un passage à l'échelle des usages expérimentaux de l'IA.

Tous les acteurs majeurs en intelligence artificielle (AMAZON, GOOGLE, ALIBABA, APPLE, IBM, etc...) disposent d'infrastructures de calcul performantes. L'infrastructure d'AMAZON repose sur plus de 30 data Centers hébergeant chacun plus de 60 000 serveurs. Le nombre total de serveurs dont dispose AMAZON n'est pas connu mais oscille entre 1,5 millions et 5,6 millions de serveurs (plus d'un million de serveurs en 2013 pour GOOGLE).

AMAZON s'intéresse de près à l'intelligence artificielle, car cette technologie répond à un besoin métier clé : « la recommandation ». Du fait de la disponibilité d'un grand nombre de données et d'un problème simple à modéliser « la recommandation », AMAZON s'est lancée très tôt sur ce type de technologie. La société emploie actuellement plus de 200 chercheurs en Allemagne par exemple pour le développement d'algorithmes innovants en intelligence artificielle (dont le Deep Learning).

Par ailleurs, AMAZON a été le dernier géant de la technologie à rendre disponible en open source son moteur de recommandation baptisé DSSTNE. Toute entreprise, chercheur ou développeur peut l'utiliser pour ses propres applications. L'initiative d'AMAZON est la dernière d'une série de projets ouverts récemment par les grandes entreprises de technologie : GOOGLE (TENSOR FLOW), FACEBOOK (CAFFE, CAFFE2) et MICROSOFT (COGNITIVE TOOLKIT).

La France dispose de 143 datacenters<sup>12</sup> répartis sur 41 sites, dont 30% en région parisienne et un seul acteur de référence européen, OVH.



Figure 5 - Répartition des datacenters français par niveau de performance<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Datacentermap

<sup>13</sup> Les Echos

OVH (4% de part de marché en Europe, 21 datacenters) est le **quatrième acteur européen** derrière AWS (Américain, 18%), RACKSPACE (Américain, 5%) et HETZNER (Allemand, 5%). C'est le seul acteur national d'envergure au niveau européen. L'importance majeure de cet opérateur est très largement sous-estimée par les entreprises en France aujourd'hui. Par exemple aux États-Unis l'armée est sur le point de conclure un accord pouvant atteindre 10 milliards de dollars avec AWS pour ses infrastructures de calcul.

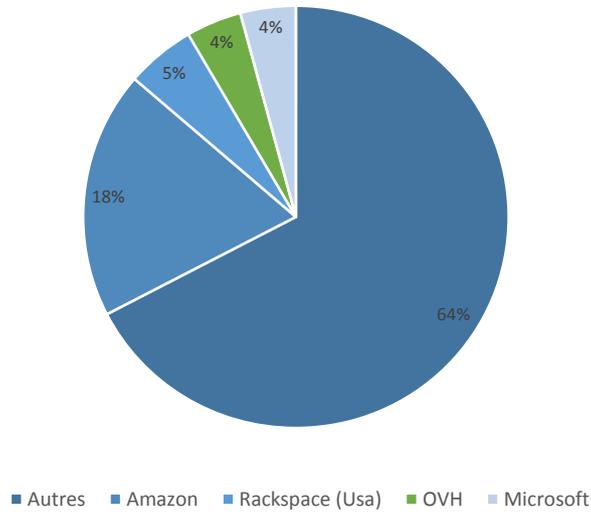


Figure 6 - Répartition de la part de marché en Europe des fournisseurs d'infrastructure<sup>14</sup>

<sup>14</sup> MetisFiles & Statista 2015

Les gestionnaires de cloud, offrent en général tout ou une partie des services suivants :

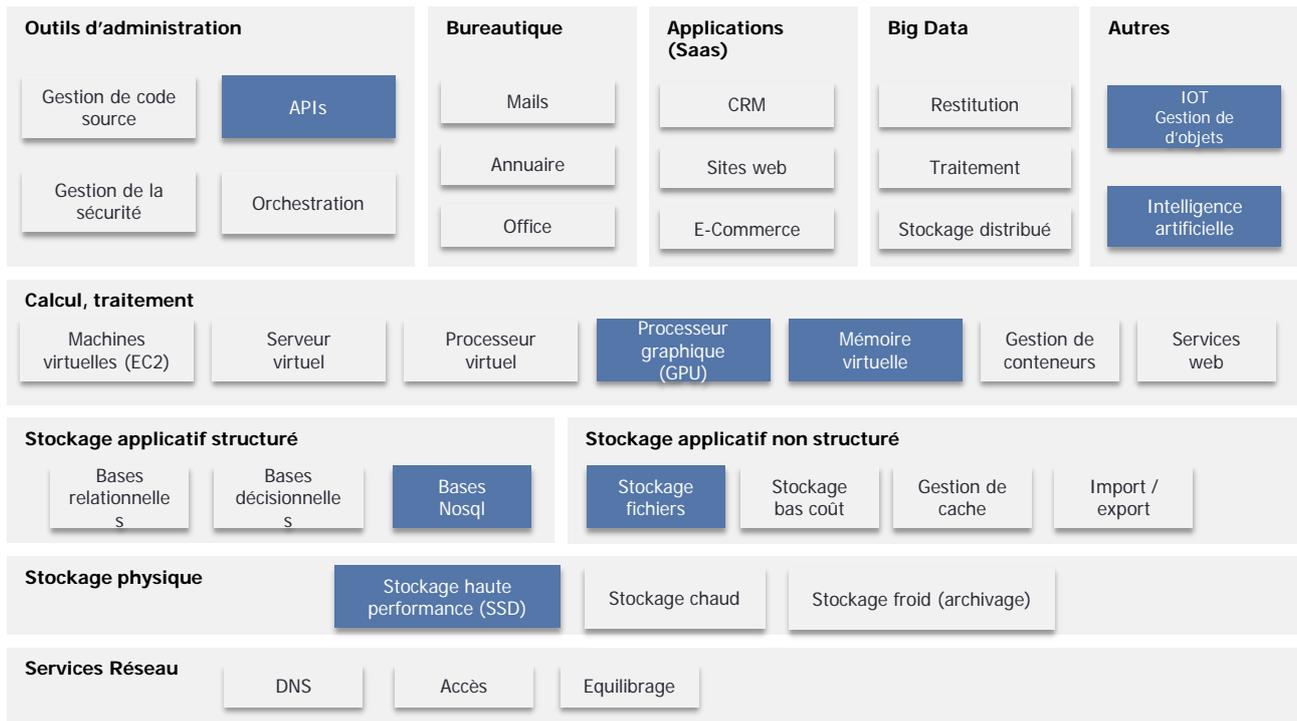


Figure 7 - Services d'infrastructures typiques (en bleu, les services clés en IA)

Les services en bleu foncé sont les services clés en IA offerts ou non par les prestataires de cloud :

- Une capacité de stockage non relationnelle (base orientée graphe) pour le stockage des événements.
- Une capacité de stockage et de traitements de données de capteurs (bibliothèque IOT).
- Une capacité de traitement sur processeur graphique (GPU) pour accélérer les temps de calculs.
- Une bibliothèque de fonctions permettant de gérer automatiquement une scalabilité (montée en charge des ressources de calcul) en fonction de l'arrivée de nouvelles de données de flux ou de la demande.
- Des bibliothèques de services d'IA directement accessibles comme la traduction ou la reconnaissance automatique d'images.

## Le stockage

Le marché du stockage est en baisse régulière depuis 7 ans. Globalement, le marché du stockage externe traditionnel subit le développement du cloud et la montée en puissance du stockage sur serveurs. 424 millions d'unités de stockage ont été vendues en 2016 dans le monde, un chiffre en recul de plus de 9 % sur un an<sup>15</sup>. Cette baisse accompagne également celle des ventes d'ordinateurs fixes et portables depuis un certain nombre d'années.

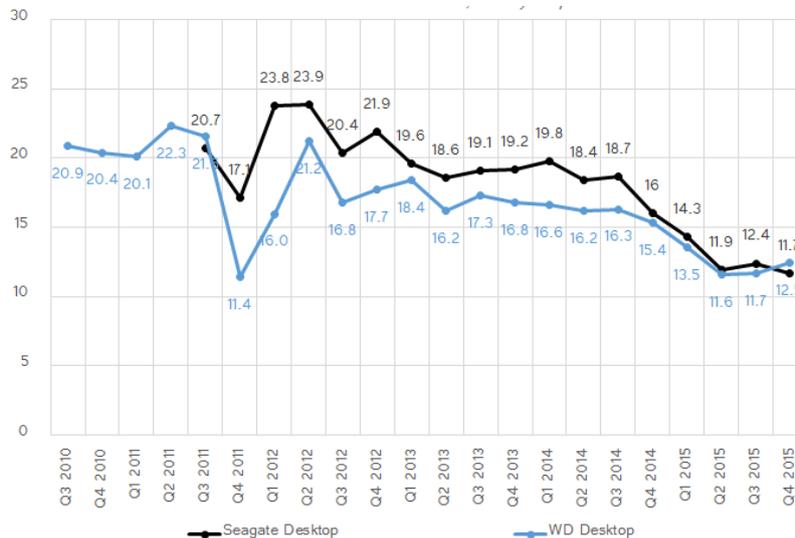


Figure 8 - Évolution des ventes de HDD de Seagate et Western Digital (80% de PDM globale)

Les capacités de stockage (de 5 Mo en 1956 à plusieurs dizaines de To aujourd'hui) et les vitesses de lecture/écriture (15.000 tr/min pour les plus rapides) ont fortement évolué.

La technologie initiale des disques mécaniques est concurrencée depuis 2008 par les disques SSD (Solid State Drive) constitués de plusieurs puces de mémoire flash et qui ne contiennent aucun élément mécanique. Les capacités de stockage et les prix des SSD ne cessent d'évoluer (128 Go en 2009 pour 350 USD, 1To en 2016 pour 300 USD).

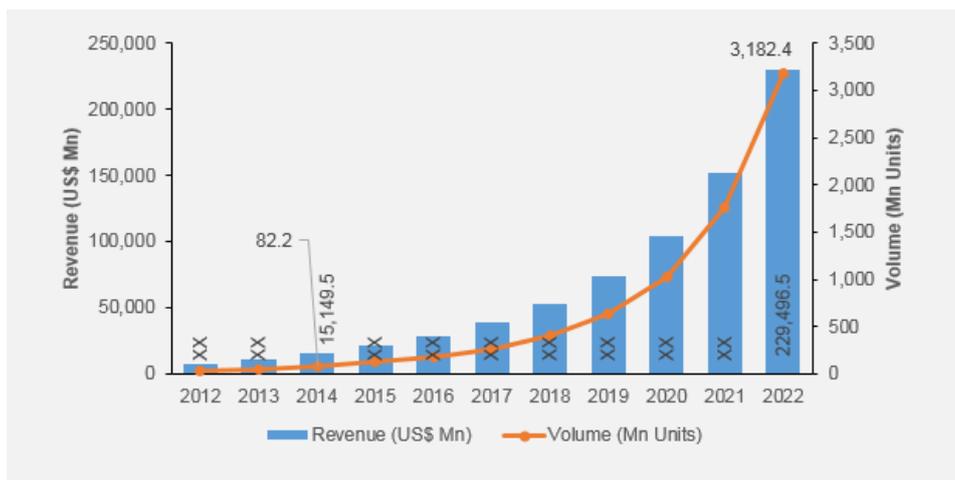


Figure 9 - Évolution du marché des Solid state drive<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Trendfocus 2017

<sup>16</sup>TMR analysis 2015

La performance d'un système de stockage réside dans sa capacité de lecture / écriture par seconde (IOPS). Le remplacement progressif des disques durs mécaniques par des disques SSD répond à un besoin croissant de performance. Un disque SSD atteint facilement 75 000 IOPS<sup>17</sup>, contre 150 IOPS pour un disque mécanique. En outre cette performance reste stable quelle que soit la charge de travail.

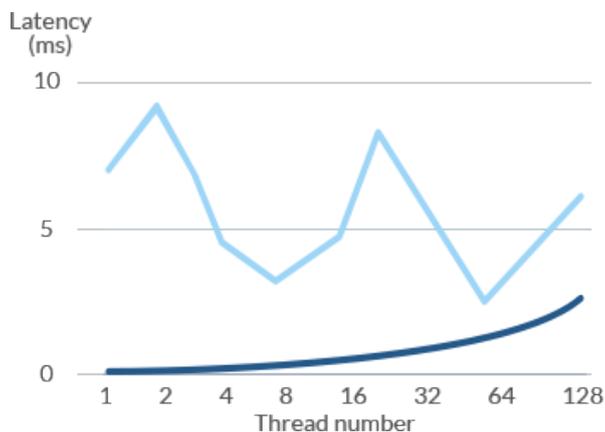


Figure 10 - Comparaison des latences SSD et HDD classiques<sup>18</sup>

En intelligence artificielle, un stockage performant est un besoin clé récurrent. Dans ce domaine, la performance n'évolue pas aussi vite que celle des processeurs de calcul. Pour répondre à ce besoin, sont apparues en 2012, les architectures informatiques de type « **hyper-convergente** »<sup>19</sup>.

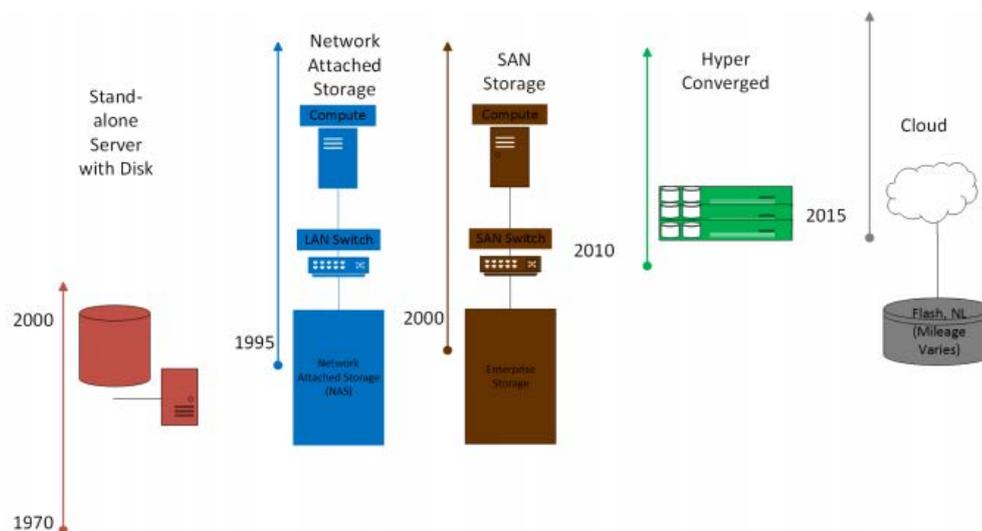


Figure 11 - Évolution des architectures de stockage

En calcul haute performance (HPC), l'hyper convergence est une évolution des infrastructures convergées qui « regroupent plusieurs composants informatiques en une seule solution optimisée »<sup>20</sup>. Pour le stockage, l'hyper-convergence intègre un stockage réparti sur les différents nœuds de calcul, dédoublé<sup>21</sup>, compressé et optimisé, en positionnant les blocs les plus accédés sur SSD. Le principe est de consolider sur une seule pile matérielle tous les composants. L'intérêt est de permettre une croissance linéaire en fonction des besoins, sans remettre en cause l'architecture globale<sup>22</sup>.

<sup>17</sup> IOPS (Opérations d'entrée-sortie par seconde) est une unité de mesure commune en informatique.

<sup>18</sup> OVH

<sup>19</sup> L'hyper-convergence est un type d'architecture informatique matérielle qui intègre de façon étroitement liée les composants de traitement, de stockage, de réseau et de virtualisation.

<sup>20</sup> Wikipedia

<sup>21</sup> "La déduplication des données, aussi appelée « compression intelligente » ou « stockage d'instance unique », réduit les besoins de stockage en supprimant les données redondantes". Source : [www.lemagit.fr](http://www.lemagit.fr)

<sup>22</sup> Cela permet de limiter les contentions d'entrée-sortie (IOPS).

Les architectures hyper convergentes sont devenues un enjeu important de performance pour les sociétés d'infrastructure. Depuis 2016, OVH s'est notamment associé à VMWARE pour proposer des architectures hyper convergentes. GOOGLE a fait de même en s'associant à la société HYPERSCALE. L'intérêt réside dans la simplicité de mise en œuvre (tous les composants sont intégrés) et peut favoriser l'émergence de cloud privés au détriment des offres de cloud public (AWS, GOOGLE, OVH, etc...) et donc le développement de services d'entreprises plus performants et mieux maîtrisés.

Une autre tendance des systèmes de stockage correspond au développement des interfaces d'échanges de données de type **Non Volatile Memory Express** (NVME). NVME est une API permettant d'accéder de façon performante à la mémoire flash sans passer par le protocole disque SCSI actuel. Théoriquement NVME permettrait d'atteindre 3 millions d'IOPS, là où l'interface actuelle SATA plafonne à 150 000 IOPS. Cette interface devrait se déployer dans l'ensemble des systèmes de stockage d'ici une dizaine d'années.

## Les processeurs de calcul (CPU)

Les CPU sont des microprocesseurs chargés des calculs dans les ordinateurs. Pour améliorer les performances de calcul, la tendance actuelle repose sur le développement des processeurs graphiques (GPU). Le schéma suivant présente l'évolution actuelle et future de la performance des processeurs. Petit à petit les processeurs graphiques remplacent les processeurs CPU.

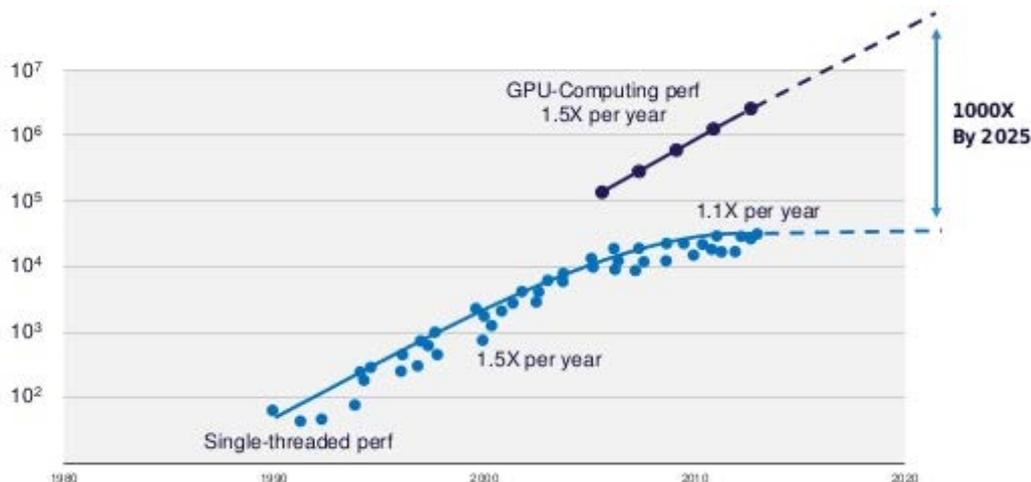


Figure 12 - Évolution des performances des processeurs (milliers de transistors)<sup>23</sup>

Un processeur graphique, ou GPU est un circuit intégré assurant les fonctions de calcul et d'affichage. Un processeur graphique a une structure hautement parallèle qui le rend efficace pour une large palette de tâches graphiques comme le rendu 3D, en Direct3D, en OpenGL, la gestion de la mémoire vidéo, le traitement du signal vidéo, la décompression MPEG et également les calculs d'intelligence artificielle. Les GPU sont un matériel initialement dédié au marché du jeu-vidéo (processeurs graphiques 2D/3D). Depuis 10 ans, ce type de matériel a évolué pour utiliser la puissance disponible pour du calcul générique. On distingue deux grands acteurs : NVIDIA et AMD, chacun portant un standard différent : CUDA et OpenCL. Le futur sera probablement un hybride, les SOC (Socket on Chip) mélangeant des cœurs classiques et des cœurs de type GPU/FPGA pour des traitements de masses. La dernière génération de processeurs graphiques PASCAL de NVIDIA disponible en 2016 multiplie par 2 les performances de la génération précédente MAXWELL en 2014. Les processeurs GPU constituent désormais une offre intégrée de la majorité des acteurs de CLOUD que ce soit en France ou à l'étranger.

Par ailleurs, commence à se développer une génération de processeurs spécifiquement dédiés aux usages de l'intelligence artificielle. GOOGLE a annoncé<sup>24</sup> qu'il développait depuis plusieurs années un processeur dédié au Machine Learning en implémentant directement sur un processeur l'environnement TensorFlow. Ces **TensorFlow processor Unit** (TPU) ont déjà fait leurs preuves (amélioration de la qualité des cartes de Maps, victoire d'AlphaGo sur le champion Lee Sedol). GOOGLE a l'intention d'utiliser ce développement pour améliorer sensiblement tous ses services profitant de l'intelligence artificielle. GOOGLE a commencé à intégrer des processeurs TPU dans son infrastructure depuis 2015, notamment pour optimiser ses services, comme Image Search, Photos ou l'API Cloud Vision. Les spécifications pour une seconde génération de processeur TPU, TPU v2 ont été publiées en 2017. Cette nouvelle version est constituée d'un ensemble de 4 processeurs TPU. Dans ce domaine GOOGLE se révèle plus rapide que les électroniciens historiques comme IBM qui travaille depuis plusieurs années sur une puce dédiée à l'intelligence artificielle.



Figure 13 - GOOGLE Tensor Processor Unit (TPU)<sup>25</sup>

<sup>23</sup> Horowitz, Labonte, Shacham, Olukotun, Hammond and Batten

<sup>24</sup> conférence Google I/O mai 2016

<sup>25</sup> Google

GOOGLE estime que ce développement constitue un bon de 3 générations par rapport à la loi de Moore (soit 7 ans) et pourrait concurrencer INTEL et NVIDIA sur le marché des GPU avec ratio performance/ consommation énergétique treize fois supérieur à ceux d'un GPU traditionnel.



Figure 14 - Performance comparée des processeurs<sup>26</sup>

De son côté INTEL s'est associé à FACEBOOK pour développer un processeur, le Nervana Neural Network Processor dédié aux applications d'intelligence artificielle. Ce développement fait suite à l'acquisition de la société NERVANA SYSTEMS qui a créé ce processeur.

Une autre approche correspond au développement des processeurs de type **field-programmable gate array** (FPGA). Le FPGA est un processeur susceptible d'être reprogrammé / reconfiguré après sa fabrication. La société MICROSOFT s'est lancée dans l'utilisation de processeurs de ce type pour son projet D'IA BRAINWAVE en 2016, notamment pour permettre l'utilisation d'IA temps réel sur son infrastructure AZURE. La société annonce avoir atteint une performance de calcul de 39.5 TFLPOS en temps réel. L'apport de la technologie FPGA est de permettre de moduler la précision d'exécution de calculs sur certaines couches d'un réseau de neurones, ce qui permettrait d'atteindre des performances plus importantes qu'avec un processeur à la programmation figée comme le GPGU. Les grands acteurs d'infrastructures (AMAZON, BAIDU, OVH) commencent à tester ce type d'architecture. En France, la société KALRAY développe un processeur sur ce type de technologie pour permettre des calculs en situation de mobilité (véhicule autonome par exemple).

Une dernière approche correspond au développement de processeurs avec une architecture proche du fonctionnement du cerveau humain, **les processeurs neuromorphiques**. Les puces neuromorphiques trouvent leur origine avec la découverte d'un nouveau composé électronique passif le memristor, théorisé en 1971, mais réellement développé en 2008 par une équipe de chercheurs de la société HP. L'un des intérêts du memristor est d'avoir un fonctionnement proche de celui d'une synapse biologique, c'est-à-dire une capacité à traiter et à stocker en parallèle plusieurs flux de données. Le processeur neuromorphique pourrait être une voie de recherche intéressante pour réduire l'encombrement et la consommation d'énergie des processeurs actuels. En 2017, Intel a commencé à expérimenter un processeur neuromorphique (LOIHI) composé de 128 cœurs, chaque noyau comportant 1024 neurones artificiels, soit 130 millions de connexions synaptiques (80 milliards pour un cerveau humain). La puce pourrait être utilisée pour résoudre le problème de l'apprentissage en temps réel. Cette puce devrait être mise à disposition d'universités ou de centres de recherche au cours de 2018. Aucune performance ou application n'est à ce jour communiquée.

Les processeurs quantiques restent un domaine de recherche aujourd'hui et ne constituent pas encore une approche commerciale viable. En France, depuis 2017, la société ANOTHER BRAIN envisage de développer et commercialiser des puces de ce type.

Dans le domaine des processeurs mobiles, QUALCOMM est le premier à avoir introduit un SDK en 2016, le Neural Processing Engine (NPE) dédié aux traitements en intelligence artificielle sur ces processeurs mobiles DSP. L'objectif est d'aider les développeurs à incorporer les frameworks d'IA de type (TensorFlow ou Caffe2) sur des appareils mobiles, tout en optimisant la consommation énergétique. Facebook prévoit d'utiliser cette bibliothèque pour améliorer les performances de reconnaissance faciale de son application. De son côté, APPLE a

<sup>26</sup> Google benchmark

introduit dans la version 2017 de son IPHONE, le **Neural engine**, un processeur à 6 cœurs dédié à l'intelligence artificielle. Apple annonce des performances de calcul à 600 Mds d'opérations par seconde. En 2017, HUAWEI a également annoncé la présence d'une unité de calcul dédiée à l'intelligence artificielle présente dans le KIRIN 970.

En synthèse, les processeurs de type GPU (NVIDIA en tête) dominent actuellement le marché des accélérateurs d'IA. Les autres approches technologiques sont encore à un stade de recherche et de développement. Tout comme le GPU qui a mis une dizaine d'années à s'imposer, les solutions devraient être disponible à horizon 2020 / 2025. Elles se focalisent sur la résolution de problèmes spécifiques de l'IA, une fois la phase d'apprentissage terminée comme la phase d'inférence (FPGA) ou l'utilisation en consommation contrainte (QUALCOMM) sur mobile.

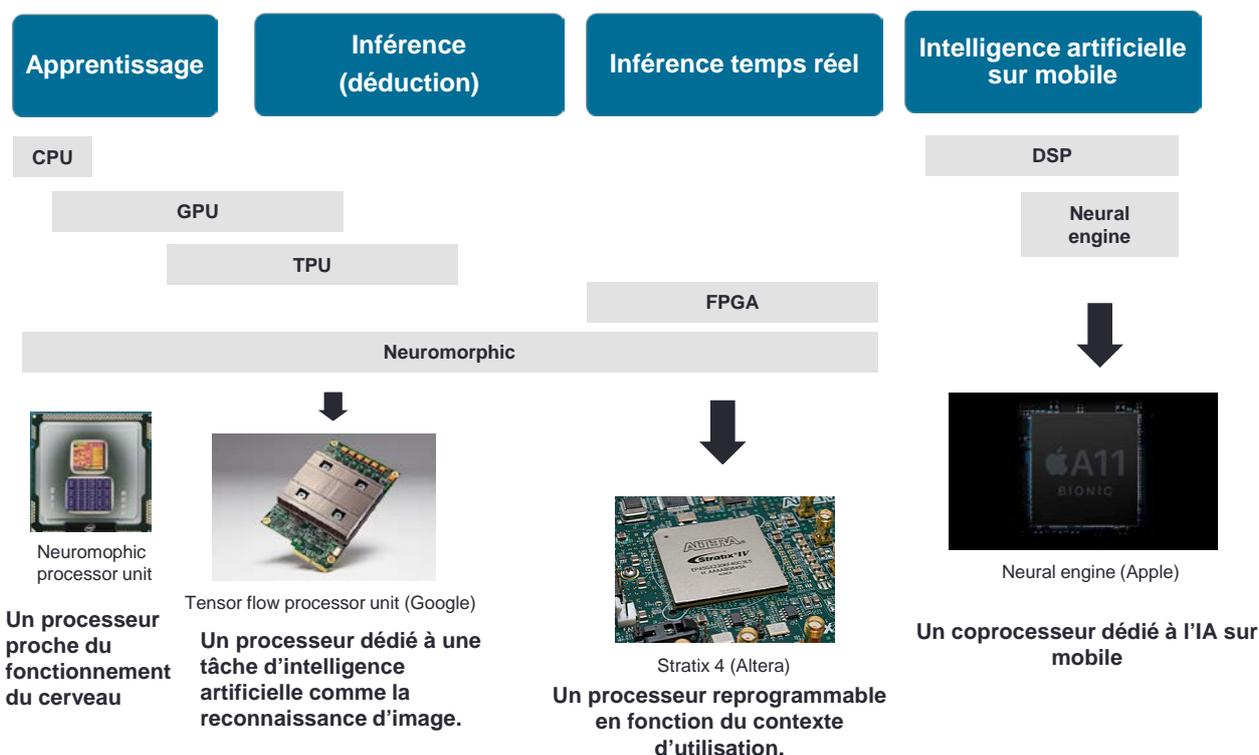


Figure 15 - Usage d'IA des processeurs en fonction de leur architecture

Par ailleurs, le schéma suivant présente l'évolution des ventes de processeurs par secteur économique sur les dernières années.

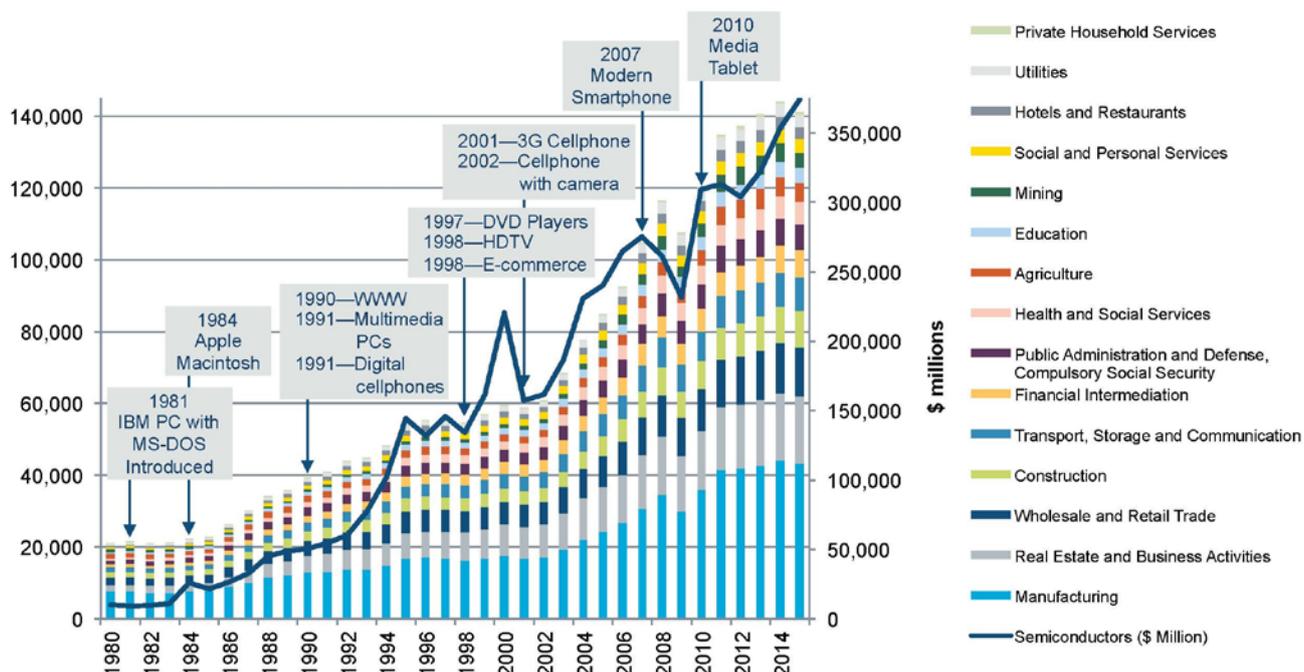


Figure 16 - Evolution des ventes sectorielles de processeurs (Mds de dollars et millions d'unités à droite)<sup>27</sup>

Les secteurs industriels, tertiaires (dont les services financiers) et commerce sont les 3 secteurs plus consommateurs de puces. Ce nombre est globalement en croissance pour l'ensemble des secteurs en dehors de la crise économique de 2008.

## La distribution locale des ressources de calcul : Edge Computing

A côté du développement des infrastructures CLOUD, se développe également de manière plus confidentielle, un autre paradigme correspondant à l'edge computing. Ce paradigme correspond à essayer de traiter les données à la périphérie du réseau pour éviter de saturer la bande passe, au plus près de la source des données. Cette approche permet d'utiliser des ressources de calculs qui ne sont pas connectées en permanence à un réseau. Ce paradigme est notamment popularisé avec le développement de traitements coopératifs en mode pair à pair (peer to peer).

Par rapport au cloud, l'edge computing possède les intérêts suivants :

- Une réduction considérable du coût de transmission et des goulots d'étranglement associés au réseau.
- Une sécurisation possible au plus près de la source de données.

Les sociétés INTEL et ALIBABA cherchent à développer des services d'IA Pour les parcs IOT en se basant sur ce paradigme. INTEL fournit les processeurs et une plateforme de machine Learning OPENVINO (Open Visual Inference & Neural Network Optimization) et ALIBABA un outil de développement d'application IOT, LINK EDGE. Cette plateforme a fait l'objet d'un premier déploiement chez l'industriel YUMELI, spécialiste du moulage d'aluminium pour aider à la maintenance prédictive.

Le marché du Edge computing devrait atteindre moins de 3 Mds d'Euros en 2025<sup>28</sup> contre plus de 350 Mds d'euros pour le Cloud computing en 2020<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> IHS

<sup>28</sup> <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-edge-computing-market>

<sup>29</sup> <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2017/10/18/cloud-computing-market-projected-to-reach-411b-by-2020/#4d2c0d6878f2>

## Les réseaux de communication

### Les réseaux fixes

Lancé en février 2013, le **Plan France Très Haut débit** vise à couvrir l'intégralité du territoire (logements, entreprises et administrations) en très haut débit d'ici 2022. Pour atteindre cet objectif, un investissement de **20 Mds** d'euros est mobilisé pour une durée de dix ans, dont **3,3 Mds** d'euros de l'État, pour déployer les infrastructures de l'Internet très haut débit sur tout le territoire.

Le déploiement de réseaux de fibre optique sur le territoire français a démarré depuis une vingtaine d'années. Au 30 juin 2017, environ 30 millions de lignes de cuivre sont éligibles au haut débit (technologies xDSL) et 16,7 millions de logements et locaux à usage professionnel bénéficient du très haut débit fixe. Ce nombre de logements recouvre différentes offres de très haut débit : les offres à très haut débit sur des réseaux en fibre optique jusqu'à l'abonné (Fibre to the Home ou FTTH), les offres à très haut débit sur des réseaux avec une partie terminale en câble coaxial et les offres à très haut débit sur le réseau de cuivre fondées sur la technologie VDSL2, lorsque l'abonné est situé suffisamment près de l'équipement actif de l'opérateur pour bénéficier d'un débit égal ou supérieur à 30 Mbit/s.

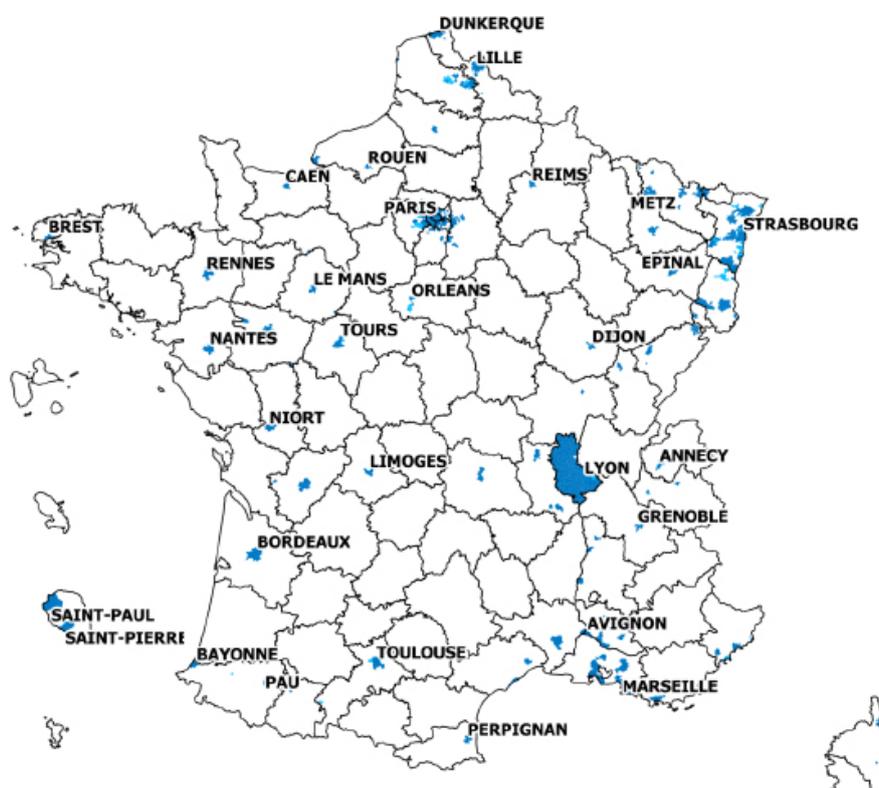


Figure 17 - Carte du déploiement Haut Débit (bleu clair) et Très haut débit (bleu foncé)<sup>30</sup>

Le nombre total de logements éligibles aux offres à **très haut débit (supérieur à 30 Mbit/s)** toutes technologies confondues, s'élevait au 30 juin 2017 à environ **16,7 millions de logements**, dont **10,9 millions** se situent **en dehors des zones très denses**. L'éligibilité des logements à des débits **supérieurs à 100 Mbits/s** s'élevait à **12,3 millions de logements**.

Au sein des 16,7 millions de logements éligibles au très haut débit, **8,9 millions** étaient éligibles aux offres à très haut débit en fibre optique jusqu'à l'abonné (FTTH), ce qui correspond à une **hausse de 9 % en un trimestre et de 37 % en un an**. Parmi ces logements, 4,4 millions sont situés en-dehors des zones très denses, et 1 million sont éligibles via des réseaux d'initiative publique.

<sup>30</sup> ARCEP 2016

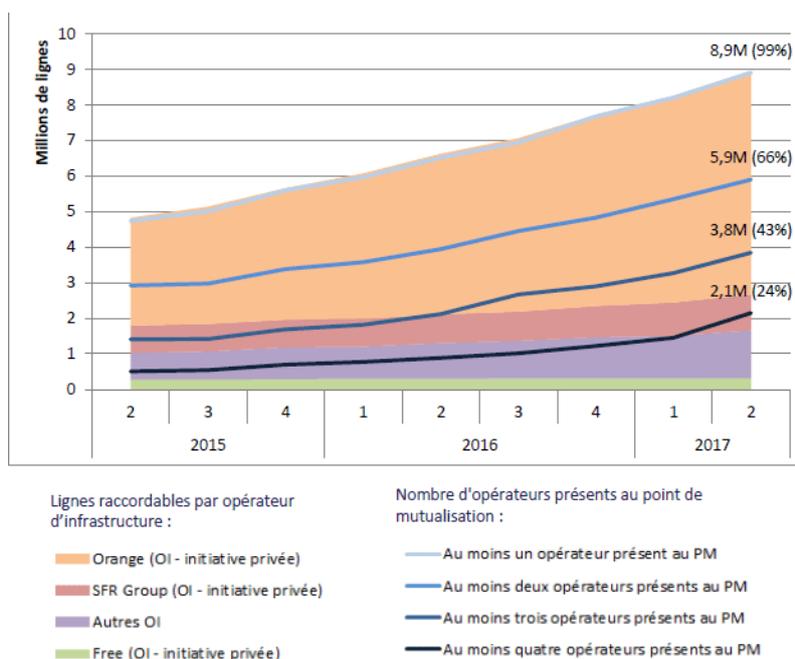


Figure 18 - Avancement du déploiement du très haut débit en France <sup>(31)</sup>

Sur les réseaux à terminaison en **câble coaxial**, **9 millions** de logements étaient éligibles à des offres à **très haut débit** et, parmi eux, **3,9 millions** sont situés **en-dehors des zones très denses**. Au sein de ce parc de 9 millions de logements, **8,5 millions** étaient éligibles à des offres à très haut débit **supérieur à 100 Mbit/s** (réseaux FTTLA) et 0,5 million à des offres à très haut débit compris entre 30 Mbit/s et 100 Mbit/s (réseaux FTTLA et HFC). Cette dernière catégorie diminue (60 % en un an) avec la modernisation des réseaux câblés au profit de la première catégorie (+12 % en un an).

Au 30 juin 2017, le nombre d'abonnements Internet à haut et très haut débit sur réseaux fixes atteint 28,1 millions, soit une croissance nette de 145 000 abonnements au cours du trimestre. Sur un an, l'accroissement net s'élève à 835 000 (+3,1%).

Tandis que le nombre d'abonnements à haut débit (21,9 millions) diminue au rythme d'environ 160 000 par trimestre, la croissance du nombre d'accès à très haut débit continue de progresser et cette progression s'intensifie sensiblement : au 30 juin 2017, le nombre d'abonnements à très haut débit atteint 6,2 millions, soit une croissance annuelle nette de 1,4 million, contre 1,2 million au deuxième trimestre 2016. La croissance du très haut débit est majoritairement portée par l'augmentation du nombre d'abonnements en fibre optique de bout en bout. **Plus de 2,6 millions d'accès sont désormais en fibre optique** jusqu'au logement, en croissance de 215 000 en un trimestre.

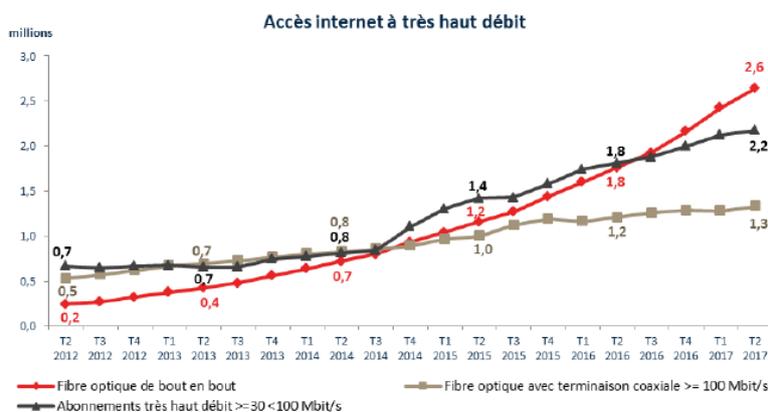


Figure 19 - Évolution des abonnements au très haut débit en France <sup>31</sup>

<sup>31</sup> ARCEP 2016

Compte tenu de l'accroissement actuel, les foyers seront majoritairement équipés d'un accès à très haut débit d'ici les 10 prochaines années.

## Exemple du lien entre réseau et intelligence artificielle

**« APOGEE, une intelligence artificielle au cœur du dispatching, qui permet d'optimiser la gestion des flux d'électricité circulant sur le réseau »**



Figure 20 - Conduite d'exploitation électrique RTE<sup>32</sup>

RTE (entreprise de service qui gère le réseau public de transport d'électricité haute tension en France) équipe les lignes de capteurs, reliés aux salles de dispatching grâce à un réseau de fibres optiques. Les capteurs envoient en temps réel des données sur la température, sur des pannes éventuelles ainsi que sur des risques de congestion des lignes. RTE connaît mieux les capacités réelles de transport de chaque ligne au moment même de la production. Il peut y faire passer plus d'électricité lorsque c'est possible, sans compromettre la sécurité. Cependant, la multiplication des capteurs, signifie aussi la multiplication des données. À partir d'un certain seuil, le réseau remonte une telle quantité d'informations aux salles de dispatching qu'il devient difficile de les traiter et d'optimiser la distribution d'électricité. Demain, avec ces nouvelles technologies, un million de données pourront être traitées en temps réel.

C'est là qu'intervient APOGEE, un système d'intelligence artificielle que RTE teste actuellement. Il s'agit d'une intelligence artificielle qui va absorber les données issues des capteurs, les analyser grâce à son algorithme et les utiliser de la même façon que le ferait le pilote automatique d'un avion. APOGEE va effectuer toutes les opérations de routine chronophages, détecter les anomalies, et s'il rencontre un problème trop complexe pour lui, il alertera l'opérateur.

Les réseaux fibres sont indispensables au transfert rapide de vastes quantités de données vers les infrastructures Cloud qui sont les seules à disposer des ressources de calcul et de stockage nécessaires au fonctionnement des différents services de l'IA.

<sup>32</sup> RTE

## Les réseaux mobiles

Pour les réseaux mobiles, la 4G est en cours de déploiement. Pour le moment, la couverture des réseaux 4G est très loin de rivaliser avec celle des réseaux 2G et 3G. La couverture 2G varie de 91% (BOUYGUES TELECOM) à 98% (ORANGE) du territoire, et celle de la 3G de 80% (BOUYGUES TELECOM) à 92% (ORANGE). Ces chiffres restent sensiblement stables depuis 2015. Démarrée en 2013, la couverture 4G atteint entre 21% (SFR) et 35% (ORANGE) du territoire en 2016. La couverture a progressé de 7 points entre juillet 2015 et avril 2016. Au rythme actuel, la couverture 4G du pays devrait être achevée entre 2020 et 2025.



Figure 21 - Évolution de la couverture mobile<sup>33</sup>

Avec la 5G, trois grandes catégories d'usages avec leurs exigences respectives et potentiellement incompatibles entre elles sont en train d'émerger :

- MMTC – Massive Machine Type Communications, communications entre une grande quantité d'objets avec des besoins de qualité de service variés. L'objectif de cette catégorie est de répondre à l'augmentation exponentielle de la densité d'objets connectés ;
- EMBB – Enhanced Mobile Broadband, connexion en ultra haut débit en extérieur et en intérieur avec uniformité de la qualité de service, même en bordure de cellule ;
- URLLC – Ultra-reliable and Low Latency Communications, communications ultra-fiables pour les besoins critiques avec une très faible latence, pour une réactivité accrue.

Le premier groupe (MMTC) englobe principalement tous les usages liés à l'Internet des objets. Ces services nécessitent une couverture étendue, une faible consommation énergétique et des débits relativement restreints. L'apport annoncé de la 5G par rapport aux technologies actuelles réside dans sa capacité à connecter des objets répartis de manière très dense sur le territoire.

L'ultra haut débit (EMBB) concerne les applications et services qui nécessitent une connexion rapide, pour permettre par exemple de visionner des vidéos en ultra haute définition (8K) ou de « streamer » sans-fil des applications de réalité virtuelle ou augmentée.

Les communications ultra-fiables à très faible latence (URLLC) regroupent toutes les applications nécessitant une réactivité extrêmement importante ainsi qu'une garantie très forte de transmission du message. Ces besoins se retrouvent principalement dans les transports (temps de réaction en cas de risque d'accident, par exemple), dans la médecine (télé chirurgie) et, de manière générale, pour la numérisation de l'industrie. C'est le domaine le plus important pour le développement de services de conduite autonome fiable.

<sup>33</sup> ARCEP 2016

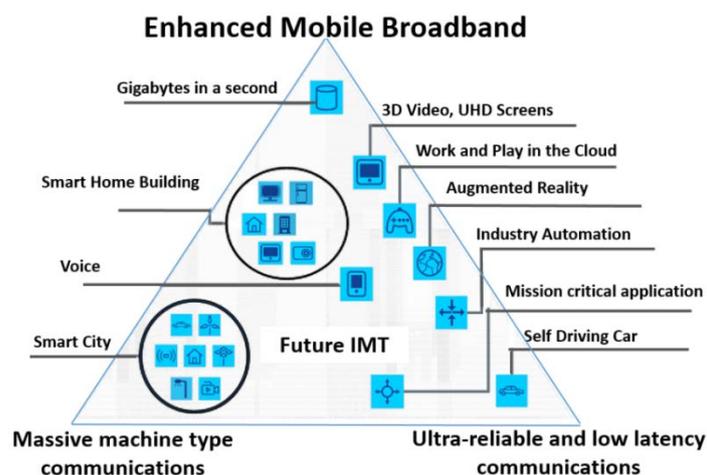


Figure 22 - Répartition des usages par technologie 5G<sup>34</sup>

Le déploiement de la 5G n'a pas encore démarré. Il devrait commencer entre 2020 et 2025 en fonction des pays et se déployer sur une dizaine d'années.

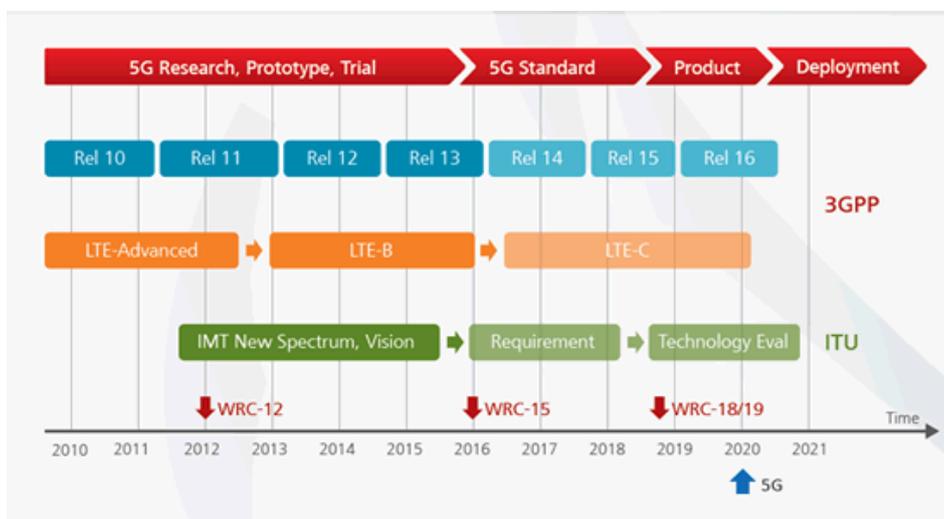


Figure 23 - Feuille de route du déploiement de la 5G<sup>35</sup>

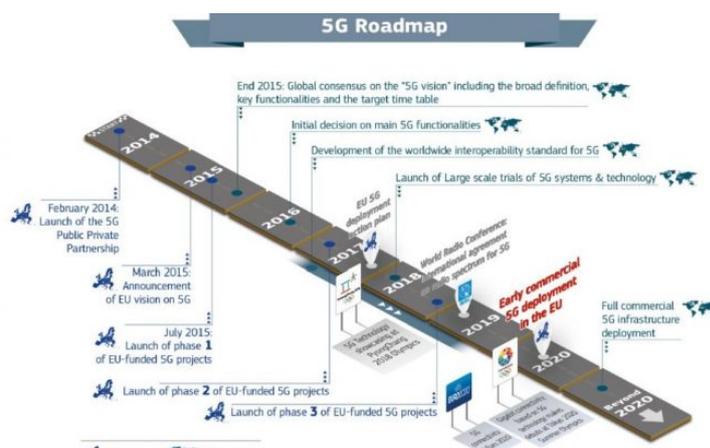


Figure 24 - Feuille de route européenne du déploiement de la 5G<sup>36</sup>

<sup>34</sup> ECC Newsletter September 2017

<sup>35</sup> HUAWEI

<sup>36</sup> 5GCity

## Les réseaux IOT

Les réseaux de capteurs sans fil sont sans aucun doute une des technologies clés associées à l'émergence de l'intelligence artificielle notamment dans le domaine des transports (véhicules autonomes) ou dans le domaine de la gestion intelligente des infrastructures.

L'objectif est de créer un réseau réparti de capteurs intelligents qui peuvent mesurer plusieurs paramètres en flux continu. Toutes les données sont transmises en temps réel aux systèmes en charge du traitement et de l'analyse.

Sur le territoire français le réseau est développé par les grandes compagnies de télécommunication.

BOUYGUES est officiellement actif dans le secteur depuis février 2016 avec sa filiale OBJENIOUS qui développe et déploie le réseau bas débit **LORA**<sup>37</sup>. Depuis septembre 2017, ce réseau couvre 95% de la population et 86% du territoire, soit plus de 30 000 communes. OBJENIOUS se limitera aux objets connectés en bas débit: objets qui s'échangent des messages très courts concernant l'environnement, la localisation ou l'utilisation de biens.

BOUYGUES, à travers OBJENIOUS, propose deux plateformes permettant de gérer les objets déployés, et de visualiser et exploiter les données produites par ceux-ci. Le groupe de télécommunications développe des partenariats avec les producteurs de capteurs pour satisfaire les besoins de différents types d'industries.

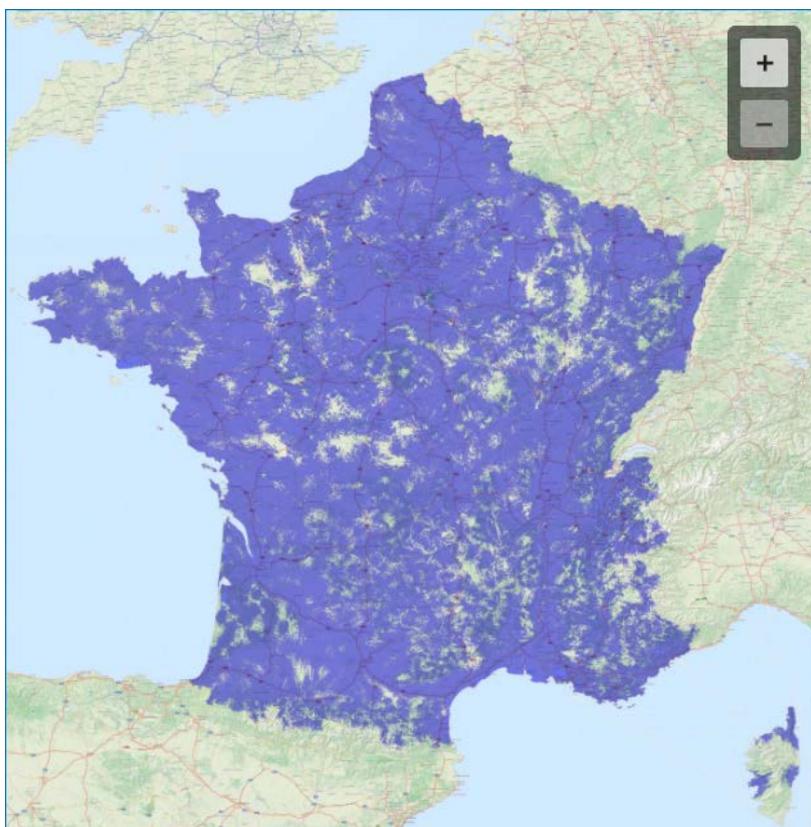


Figure 25 - Déploiement du réseau LoRa en France, Janvier 2017 <sup>38</sup>

À travers son ORANGE BUSINESS SERVICE (OBS), ORANGE fournit des solutions aux entreprises désireuses de se développer dans l'IoT. En novembre 2015, la société a également ouvert deux plateformes d'analyse de données aux entreprises de tous secteurs :

- LIVE OBJECTS permet aux entreprises de sélectionner des objets connectés et des capteurs sur catalogue, de les doter du type de connectivité (LoRa, réseau cellulaire) approprié mais aussi de stocker, de traiter les données et de les visualiser ;
- FLEXIBLE DATA, un environnement complet de traitement de données capteurs.

<sup>37</sup> Une technologie qui permet aux objets connectés d'échanger des données de faible taille en bas débit.

<sup>38</sup> BYTEL, 2017

En mai 2016, Orange a annoncé adopter la norme LORAWAN<sup>39</sup> qui est également adoptée par des acteurs comme IBM, CISCO, BOUYGUES TELECOM, ACTILITY, SCHNEIDER ou BOSCH. LORAWAN est un réseau global LPWAN (Low Power Wide Area Network) qui assure une connectivité de longue portée, à bas débit et à basse consommation entre les capteurs et les stations de base.

À l'image de la majorité des opérateurs, SFR ALTICE se développe sur l'IOT. Pour mettre en communication les capteurs et les petits objets, ALTICE s'appuie sur un partenariat signé avec SIGFOX WIRELESS (France) qui opère déjà 7 millions d'objets dans 14 pays.

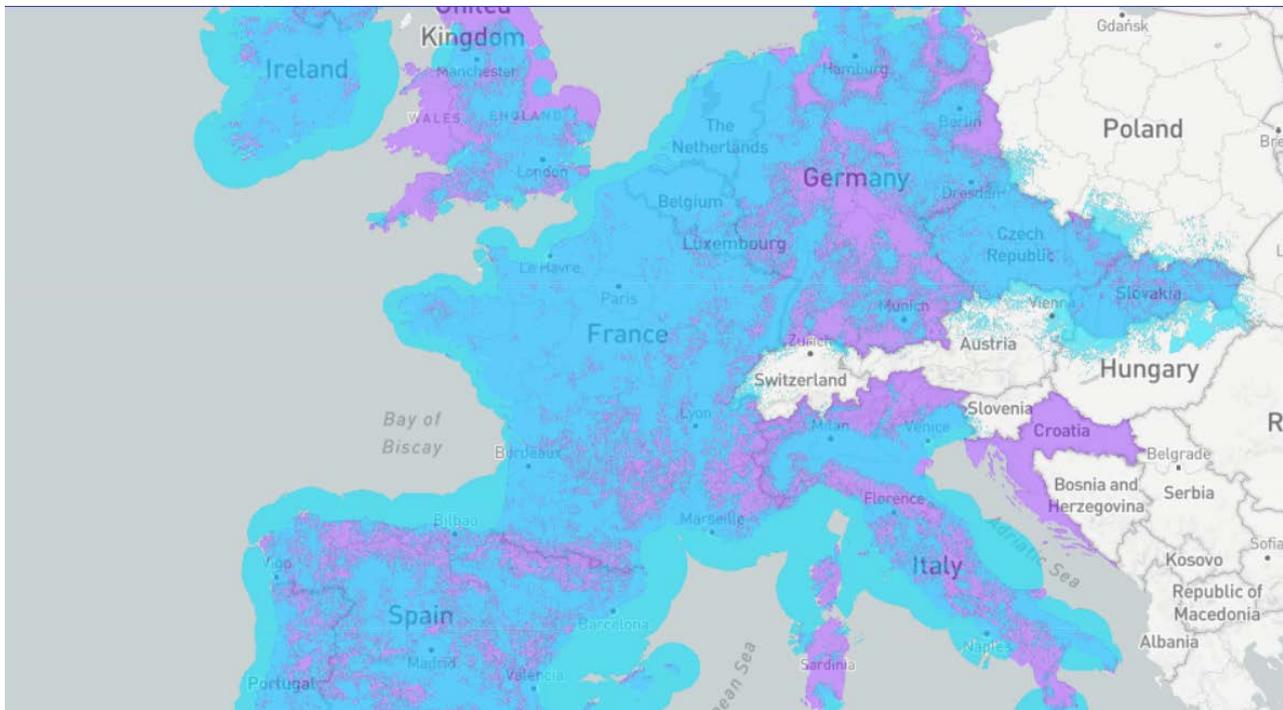


Figure 26 - Déploiement du réseau SigFox<sup>40</sup>

Aujourd'hui, il y aurait 15 milliards d'objets connectés au niveau mondial. Il y en avait 4 milliards en 2010. En 2020, leur nombre pourrait atteindre 50 Mds et 300 Mds de dollars de chiffre d'affaires d'après Gartner. La valeur proviendrait surtout des services créés à partir du traitement massif des données (Big Data).

Avec l'Internet des objets et la croissance générale du trafic de données mobiles, les besoins en matière de transmission de données augmentent et pourraient à terme peser sur la capacité des réseaux. Ces derniers devraient, en effet, connecter 10 à 100 fois plus de terminaux et acheminer 1 000 fois plus de données. D'ici 1 à 2 ans le trafic mobile à lui seul pourrait être multiplié par un facteur compris entre 10 et 25.

<sup>39</sup> LoRaWAN est un protocole de télécommunication permettant la communication à bas débit communiquant selon la technologie LoRa  
<sup>40</sup> SIGFOX 2017

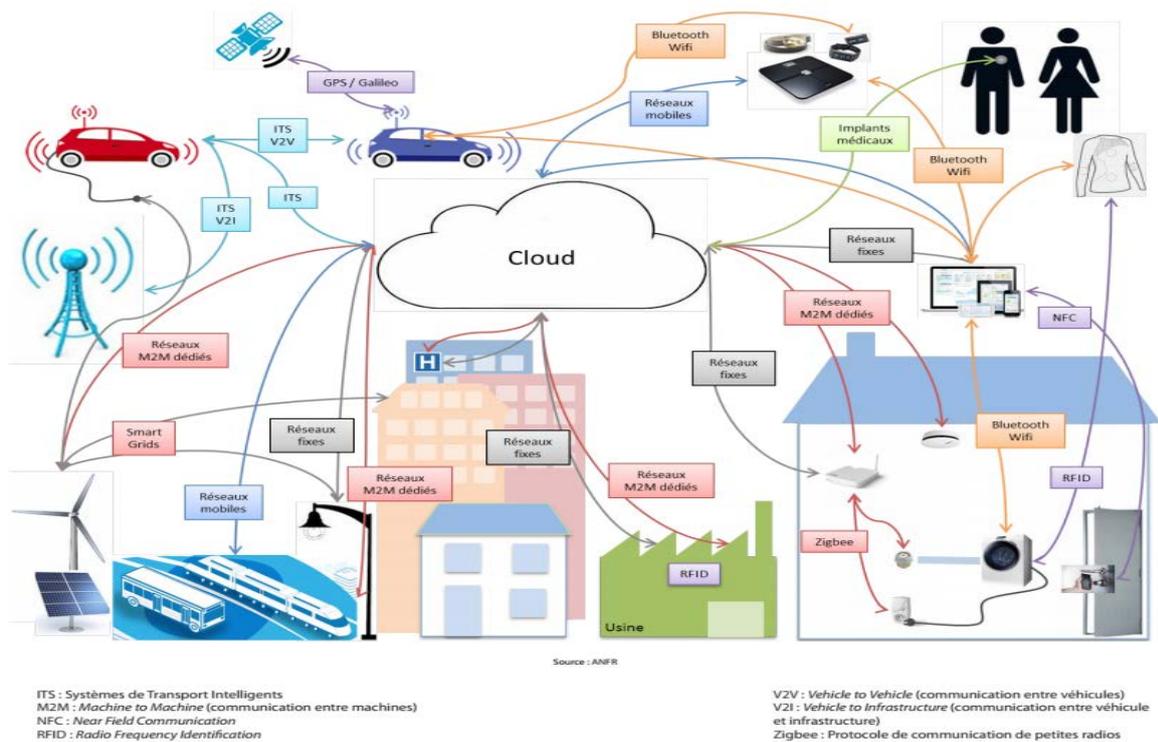


Figure 27 - Les objets connectés et le cloud<sup>41</sup>

Les réseaux IOT constituent un enjeu majeur pour les usages de l'intelligence artificielle qui reposent sur un vecteur (drone, voiture) et une décision autonome. Pour tous les usages nécessitant une décision en temps réel (conduite autonome, pilotage à distance d'infrastructures critiques, etc.), il est essentiel de fournir un réseau de type URLLC (très fiable niveau de latence, très forte fiabilité). Ce réseau URLLC est un objectif. La décision autonome est l'une des trois tâches cognitives que l'on cherche à automatiser avec l'intelligence artificielle.

Pour répondre à ce besoin, deux concepts technologiques s'affrontent : un réseau dédié de type DSRC (Dedicated Short Range Communications) utilisé aujourd'hui pour les transports ou un réseau généraliste comme la 5G avec une couche de services dédiés pour les échanges entre véhicules ou entre véhicule et infrastructure. Les technologies dédiées sont matures et déjà utilisées dans les transports (télépéage).

Les acteurs télécoms misent plutôt sur la technologie 5G qui sera disponible et déployée dans une dizaine d'années. Pour le moment, le secteur des télécommunications est encore en retrait. La 4G se déploie lentement et présente des lacunes pour être le vecteur privilégié de connexion dans le véhicule connecté par exemple.

De leur côté, pour le véhicule autonome, les constructeurs et les équipementiers font la promotion d'un réseau dédié basé sur le protocole **802.11p**, technologie DSRC (*Dedicated short Range communications*) aux États-Unis ou C-ITS (*Cooperative Intelligent Transport Systems*) en Europe. En décembre 2016, le département américain des transports<sup>42</sup> a demandé la généralisation de dispositifs de communication Vehicle-to-Vehicle ou vehicle to infrastructure (V2V, V2I, V2X) sur technologie DSRC dans toutes les automobiles et le département NHTSA (National Highway Transportation Security Administration) précisait qu'il allait publier un guide à destination de toute l'industrie du transport pour permettre les communications directes entre les infrastructures de transports (feux de circulation, panneaux de signalisation routière fixes ou mobiles, etc..) et véhicule. DSRC et C-ITS sont prévus pour des applications V2X. C'est une technologie de communication à courte distance à latence très basse, capable de diffuser de l'information entre plusieurs véhicules, à grande vitesse et en temps réel. Le réseau mobile actuel ne permet pas d'atteindre ces performances. Un véhicule équipé d'un système V2X peut ainsi automatiquement évaluer les risques en parlant avec les véhicules autour de lui et la signalisation routière et éventuellement déclencher les alertes ou gérer la conduite de façon à empêcher ou réduire les conséquences d'une collision.

<sup>41</sup> Source : ANFR

<sup>42</sup> <https://www.auto-talks.com/u-s-department-transportation-announces-decision-move-forward-vehicle-vehicle-communication-technology-light-vehicles/>

Comme le déploiement de cette norme prend du temps, les opérateurs mobiles tentent un pari pour la prendre de vitesse. Le déploiement de la technologie LTE (4G, 5G) et les premières discussions autour de la définition de la 5G ont poussé des opérateurs à faire des incursions fortes dans le monde de l'automobile et plus globalement dans celui de l'internet des objets. Par ailleurs, la bataille fait déjà rage dans l'IoT où les évolutions de la 5G entrent en concurrence avec des standards plus ou moins établis comme LORA et des systèmes propriétaires comme SIGFOX.

Certains partisans de la 5G pensent que ce nouveau standard en gestation qui comporte des caractéristiques de latence très réduite à côté d'une bande passante très élevée pour gérer d'énormes flux de données, détient tous les atouts qui répondent parfaitement aux besoins de base du V2X et des ADAS (Advanced Driver Assistance Systems).

Les réseaux IOT à faible niveau de latence représentent un enjeu important pour le développement d'applications fonctionnant en temps réel (véhicule autonome, drone, pilotage à distance d'infrastructures critiques de type smart grid, etc...). Un lien est possible avec des techniques de l'intelligence artificielle lorsqu'une application « temps réel » nécessite d'être associée à une « prise de décision ». C'est le cas par exemple du véhicule autonome où les informations de l'environnement immédiat influent directement et immédiatement sur les décisions de conduite. Il faut associer « rapidité » de remontée d'information avec une « complexité » de calcul permettant une prise de décision autonome. Pour ce type d'usage, les réseaux IOT à faible niveau de latence sont importants à développer.

# Les technologies algorithmiques

Cette partie présente les techniques algorithmiques de l'intelligence artificielle et en particulier les techniques de Machine Learning. Ces techniques algorithmiques permettent de développer des capacités d'analyse, de prédiction, de décision et de s'adapter intelligemment et en permanence aux situations à partir de données déjà acquises et en cours d'acquisition.

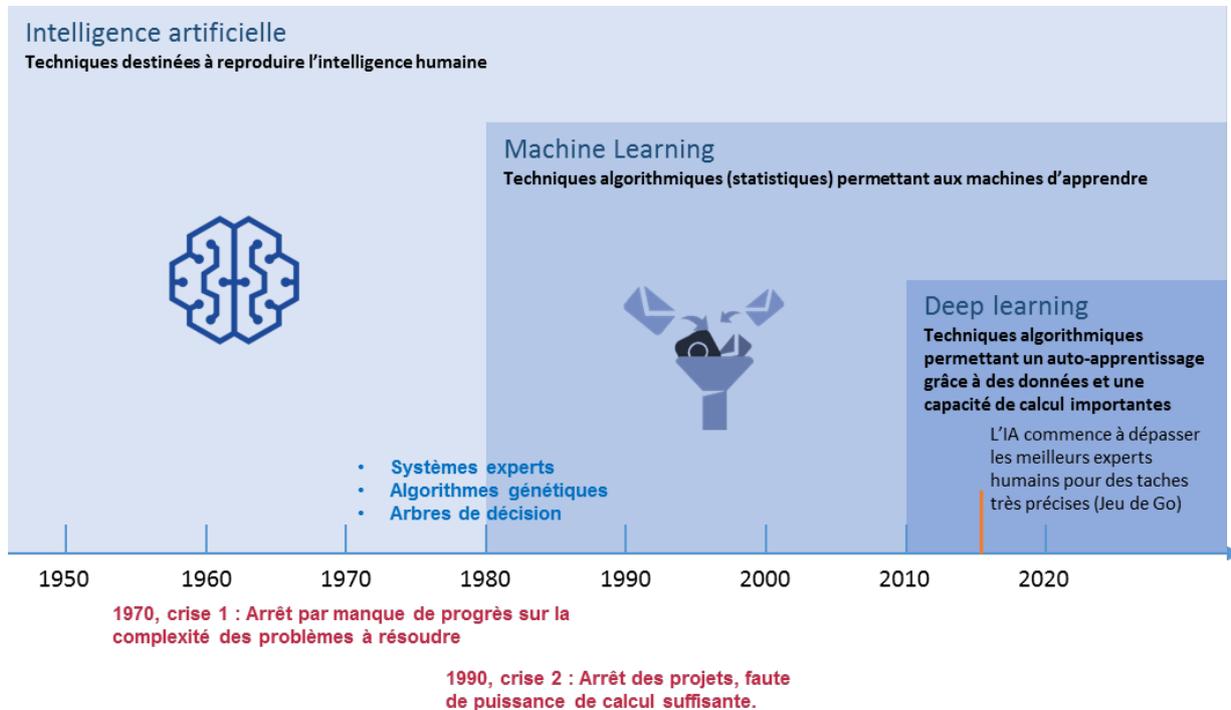


Figure 28 - Chronologie des techniques algorithmiques d'intelligence artificielle<sup>43</sup>

Le processus général de travail d'un problème d'intelligence artificielle est le suivant :

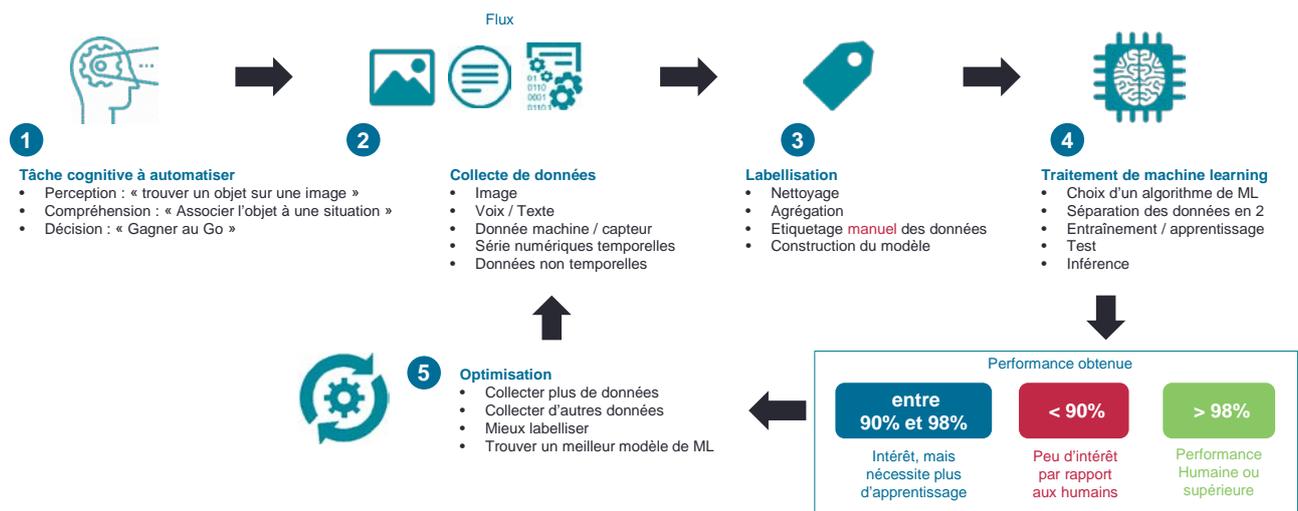


Figure 29 - Processus de machine learning (43)

On commence par définir une tâche cognitive à automatiser. Cela peut être une tâche de perception, de compréhension ou de décision (par niveau de complexité croissante). On identifie les données de flux susceptibles de répondre à la problématique posée. La problématique à résoudre et le type de données disponibles conditionnent souvent le type d'algorithme d'IA que l'on va pouvoir utiliser. Une fois les données

<sup>43</sup> Traitement ATAWAO

collectées, une tâche de mise en qualité est nécessaire comme pour tout projet de data science et une tâche d'étiquetage (labelling) propre aux projets d'IA sont nécessaires. La tâche de labellisation permet « d'apprendre » à l'algorithme l'information que l'on recherche. Cette tâche est aujourd'hui manuelle et très consommatrice de temps. De nombreux projets de recherche visent à essayer de l'automatiser. Une fois la mise en forme effectuée, on identifie un algorithme d'IA pour faire de l'apprentissage sur une partie des données. En fonction de la performance obtenue on cherche à optimiser tous les paramètres : évolution de la tâche à accomplir pour la simplifier, identification en données de meilleure qualité, amélioration de la précision de labellisation, optimisation des algorithmes d'IA, etc.

Par ailleurs, la qualité de l'automatisation repose invariablement sur le triptyque suivant : des données, une expertise en Machine Learning pour modéliser et une expertise métier pour définir l'usage et interpréter les résultats.

## La modélisation des tâches cognitives

L'intelligence artificielle cherche à modéliser trois grandes catégories de tâches cognitives : **la perception, la compréhension et la décision**. Les tâches de perception et de compréhension sont des tâches de précision. La performance d'une tâche de perception repose majoritairement sur un volume de données. Aujourd'hui elle est supérieure à 99% pour les humains et les machines. La performance d'une tâche de compréhension repose sur une capacité à comprendre un contexte autour d'une donnée et à raisonner par rapport aux données disponibles. Les humains atteignent facilement des performances de 99%, ce qui est loin d'être le cas pour les systèmes d'IA.

Une tâche de décision n'est pas une tâche de précision. Elle correspond à un équilibre à trouver entre un risque et un gain. C'est une tâche qui repose sur la précision des données disponibles ET l'intuition en cas absence de donnée ou de manque de temps. C'est une tâche pouvant nécessiter de la robustesse ou de l'explicabilité.



Figure 30 - Exemple de scène à analyser<sup>44</sup>

<sup>44</sup> PXHERE

Complexité croissante de l'IA	Tâche cognitive	Exemple
Mature	Perception	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reconnaître le chien sur l'image</b></li> <li>• <b>Reconnaître la route sur l'image</b></li> </ul>
	Compréhension	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Comprendre que le chien est à côté d'une route</b></li> <li>• <b>Comprendre que le chien est imprévisible</b></li> <li>• <b>Comprendre que le chien pourrait sauter sur la route</b></li> <li>• <b>Comprendre que l'on est dans une situation à risque</b></li> </ul>
Recherche, exploratoire	Décision	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Décider de ralentir</b></li> </ul>

Figure 31 - Intelligence artificielle appliquée aux tâches cognitives<sup>45</sup>

La grande majorité des usages qui se développent en intelligence artificielle aujourd'hui correspondent à des tâches cognitives de **perception** (détection d'une information dans un ensemble de données) ou de **compréhension** (analyse d'un contexte autour d'une donnée). En dehors de quelques tâches très précises (jeux d'échecs ou de Go, autorisation de paiement, robotique autonome...), les tâches cognitives de décision restent totalement hors de portée des systèmes actuels. L'automatisation de tâches de décision est très majoritairement le fait de systèmes experts (« intelligents », mais « non apprenants ») notamment pour le développement du véhicule autonome.

Par ailleurs, les usages cognitifs qui se développent aujourd'hui s'appuient majoritairement sur une technologie d'intelligence artificielle transverse présentée ci-dessous.

Technologie	Usages qui se développent
<b>Vision par ordinateur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perception - Reconnaissance d'images (Ex : radiologie en santé, image satellite en agriculture, caméra en transport ou sécurité)</li> <li>▪ Compréhension - Analyse automatique de scène</li> <li>▪ Décision - Robotique autonome</li> </ul>
<b>Traitement naturel de la voix et du langage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Compréhension - Analyse de la parole</li> <li>▪ Compréhension - Analyse de textes</li> <li>▪ Compréhension - Production de documents</li> <li>▪ Compréhension - Production de recommandations</li> </ul>
<b>Interaction intelligente autonome</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Compréhension - Traitement automatisé des interactions humaines</li> <li>▪ Compréhension - Support d'accueil, aide à une démarche</li> <li>▪ Décision – Autorisation de paiement ou de prêt</li> </ul>
<b>Analyse probabiliste améliorée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perception - Recommandations d'usages ou d'achat</li> <li>▪ Perception - Scoring de consommateurs ou de services</li> <li>▪ Perception – Repérage d'anomalie cardiologique sur un ECG</li> <li>▪ Compréhension – Matching molécule / pathologie</li> <li>▪ Compréhension – Détermination des causes de défaut (maintenance)</li> </ul>

Tableau 1 - Usages en IA (45)

<sup>45</sup> Traitement ATAWAO

## Le machine Learning

**Le machine Learning** (ML) est le domaine d'étude de l'intelligence artificielle qui permet aux ordinateurs d'apprendre sans programmation explicite. Le ML s'applique à plusieurs domaines : le marketing (segmentation client, tendances d'achat, etc.), la détection d'évènements et de problèmes (fraude, anomalies, pannes, etc.) ou la prévision d'évènements (trafic, consommation, etc.).

Un cas d'usage de ML est formalisé par trois caractéristiques : Un ensemble de tâches cognitives à résoudre, une mesure de performance et un flux de données (on parlera « d'expérience » de données).

### Une tâche ou un ensemble de tâches

Le ML permet de résoudre différents types de tâches telles que :

- le regroupement (de choses ou de personnes) via des méthodes de classification automatique ;
  - la prédiction (prédire une valeur à partir d'autres valeurs) via des méthodes de régression par exemple ;
  - la détection d'anomalies ou la recherche de signaux faibles ;
  - la recommandation (recommander des items en se basant sur des comportements) via du filtrage collaboratif.
- 
- **Exemple de méthode de regroupement : La classification (clustering)**

C'est la problématique la plus courante. Elle correspond à chercher à diviser un ensemble de données en différents « paquets » homogènes. A partir d'un ensemble d'éléments (a), on choisit plusieurs points dans l'espace (b), on sépare l'ensemble des éléments en fonction de la proximité des points choisis (c), on calcule le centre gravité de chaque ensemble (d) qui servent comme nouveaux points de départ pour l'itération suivante (e). L'itération se termine quand les centres de gravité ne varient plus. On a réalisé la meilleure classification possible.

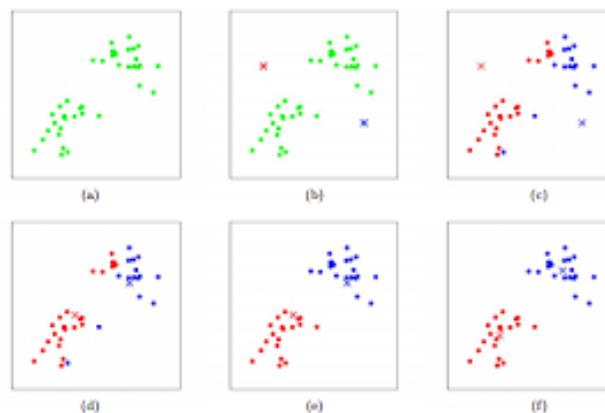


Figure 32 - Exemple de classification en 2 ensembles

- **Exemple de méthode de prédiction : La régression**

Cette problématique consiste à prédire une certaine grandeur (exemple : la taille d'une personne) en fonction d'autres grandeurs numériques (taille de ses parents, âge, etc...). A partir d'un ensemble d'éléments (mathématiquement, un nuage de points) on essaie de trouver la meilleure règle possible par approximation successive (mathématiquement la meilleure loi possible) en essayant de minimiser à chaque approximation, l'erreur sur le résultat (mathématiquement, la fonction d'erreur).

Dans l'exemple suivant, on essaie d'identifier la droite en rouge (régression linéaire) la plus proche de l'ensemble des points.

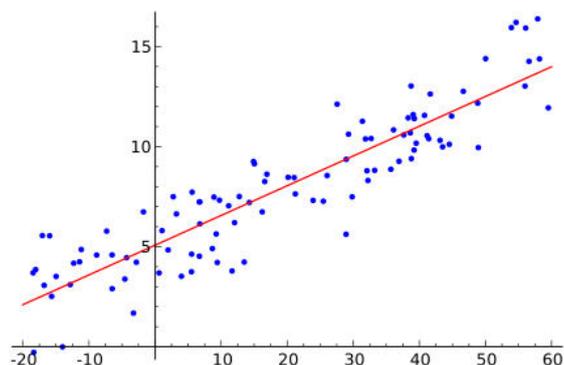


Figure 33 - Exemple de régression linéaire

- **Exemple de recherche de signal faible : Détection de fraude**

L'objectif de cette tâche est d'identifier les données qui sont atypiques. Dans la détection des fraudes, par exemple, toute dépense par carte de crédit très inhabituelle est suspecte. Les variations possibles sont si nombreuses qu'il n'est pas possible d'apprendre à quoi ressemble une activité frauduleuse. L'approche adoptée pour la détection des anomalies consiste à apprendre à quoi ressemble une activité normale (à l'aide d'un historique des transactions non frauduleuses) et à identifier tout ce qui est significativement différent.

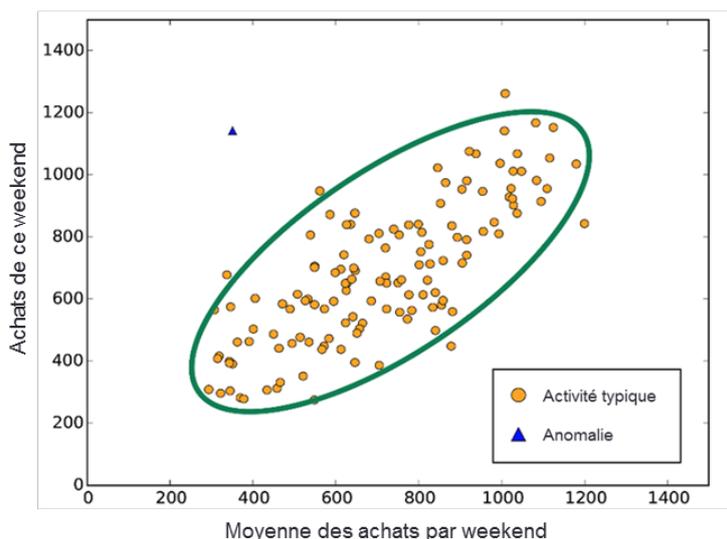


Figure 34 - Exemple de détection de fraude<sup>46</sup>

- **Exemple de méthode de recommandation : Le Filtrage collaboratif**

Cette technique vise à regrouper des personnes par éléments communs (affinités). On associe à chaque élément (film, musique, produits) des notes attribuées par chaque utilisateur, ses notes évoluant dans le temps. Le lien entre les notes de l'utilisateur et celles des autres utilisateurs permet de proposer une action pertinente : Vous avez aimé le film 1, les utilisateurs qui ont aimé le film 1 aiment également le film 2, on vous recommande l'action suivante : regarder le film 2. Par exemple, NETFLIX a lancé un concours pour améliorer son algorithme de recommandation de 10% pour un million de dollars, il y a 3 ans. Ce concours a été remporté par YAHOO et TNT.

<sup>46</sup> <https://docs.microsoft.com/fr-fr/azure/machine-learning/studio/algorithm-choice>

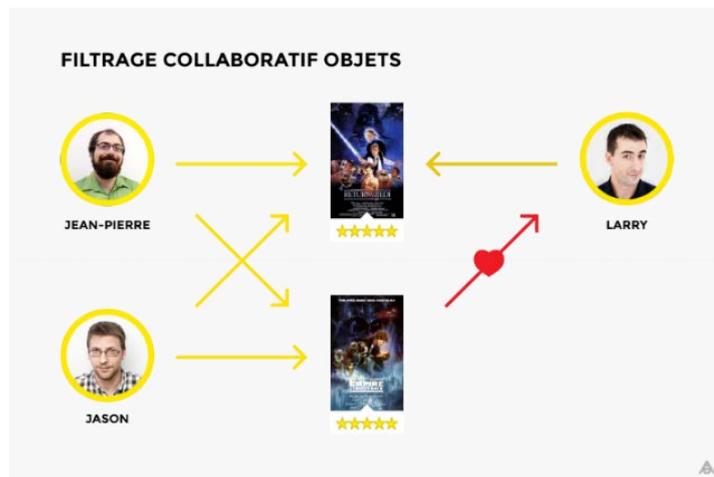


Figure 35 - Recommandation : exemple de filtrage collaboratif<sup>47</sup>

Le processus est simple. On calcule la ressemblance de deux éléments en se basant sur les notes données par les utilisateurs. Jean-Pierre et Jason ont tous les deux apprécié les films « Le Retour du Jedi » et « L’empire contre-attaque ». Nous pouvons en déduire que la majorité des utilisateurs qui apprécient le premier film apprécieront également le second. Il est donc pertinent de suggérer « L’empire contre-attaque » à Larry, qui a adoré « Le retour du Jedi ».

Méthodes de ML	Applications
<b>Régression</b>	<b>BRIGHTCOVE</b> (Plateforme de vidéo online).
<b>Classification</b>	<b>PIZZA HUT</b> pour la définition des meilleurs points de livraison.
<b>Recherche d’anomalie</b>	<b>FRAUGSTER</b> (Détection de fraude)
<b>Filtrage collaboratif</b>	Moteurs de recommandation de <b>NETFLIX</b> ou <b>AMAZON</b> .

Tableau 2 - Exemple d’usages

## La mesure de performance

La performance correspond à la définition d’un résultat cible et mesurable, comme la reconnaissance d’un objet spécifique dans une image avec un taux d’erreur inférieur à X%.

Cependant, la performance obtenue avec un jeu de données particulier (performance passée) n’est pas garantie avec un nouveau jeu de données (performance future). Pour tenir compte de cette caractéristique, on sépare systématiquement les données de travail en 2 groupes, un groupe **d’apprentissage** et un groupe de **test**. Le groupe de test permet de vérifier la performance obtenue avec le groupe d’apprentissage. Si le groupe de test produit des résultats qui divergent beaucoup des données d’apprentissage, la performance d’apprentissage est mauvaise.

<sup>47</sup> <https://blog.arcbees.com/fr/2017/02/08/introduction-aux-systemes-de-recommandation/>

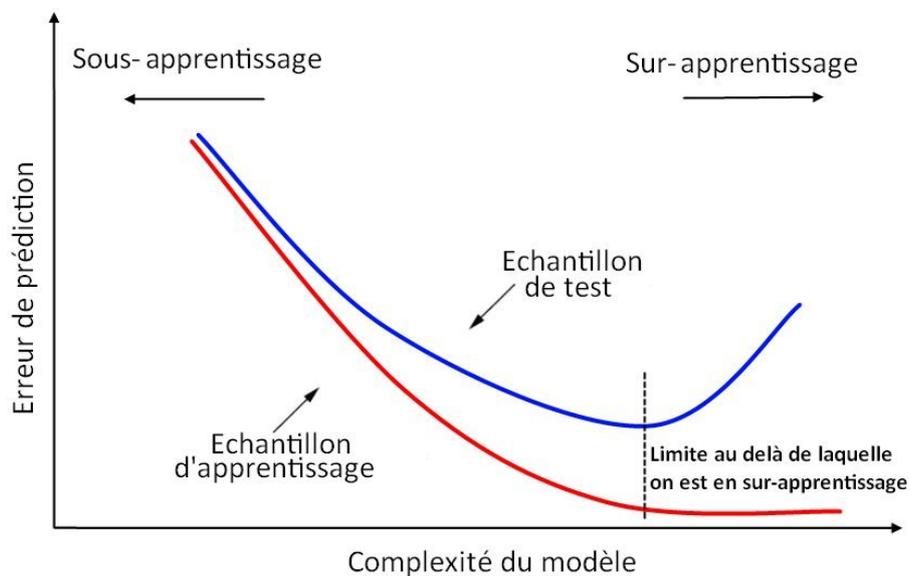


Figure 36 - Évaluation de la performance d'apprentissage <sup>48</sup>

## Les données expérimentales (ensemble des données disponibles)

Les données expérimentales correspondent d'une part aux données disponibles (numériques, symboliques, images, textes, etc...) et d'autre part au mode d'acquisition de ces données (flux, batch, série temporelle, transitoire, etc...). Les données sont utilisées pour « apprendre » et « tester » un résultat.

L'expérience de données disponible conditionne le type de technique de ML qui sera mise en œuvre pour résoudre la tâche demandée avec le meilleur niveau de performance possible.

## La contrainte spécifique de Machine Learning : Trouver le bon niveau de complexité

Le ML cherche à résoudre des problèmes complexes. La complexité repose sur deux contraintes particulières que l'on cherche à optimiser : le nombre de dimensions d'analyse et la capacité de généralisation et de robustesse du modèle.

- **Le nombre de dimensions d'analyse**

Cette contrainte correspond au rapport entre le nombre de données et les dimensions d'analyse de ces données. Par exemple, l'analyse d'un groupe de 50 utilisateurs ne doit pas reposer sur 50 dimensions d'analyse. Dans ce cas, on s'éloigne d'un réel mécanisme d'apprentissage (apprentissage par cœur). On cherche plutôt à analyser un groupe de 50 utilisateurs en se basant par exemple sur 3 ou 4 dimensions d'analyse. On cherche à minimiser le ratio : Nombre de dimensions d'analyse / nombre d'éléments à analyser.

Pour réduire les dimensions d'analyse, on fait des hypothèses sur les données ou les relations entre ces données sous forme de fonction mathématique. On cherche à éliminer par exemple les variables redondantes dans un ensemble de données. On peut également définir des règles a priori, comme par exemple : une taille humaine est nécessairement inférieure à 3 mètres ou alors, il existe nécessairement une relation entre ma taille et celle de mes parents ou alors un individu a nécessairement des goûts communs avec d'autres individus, etc...

Un bon ratio de complexité est atteint, lorsque le résultat des données de test est proche du résultat des données d'apprentissage.

<sup>48</sup> Conception d'heuristiques d'optimisation pour les problèmes de grande dimension. Application à l'analyse de données de puces à ADN

- **La capacité de généralisation et la stabilité du modèle défini**

On dit qu'un modèle est généralisable et stable lorsque la performance sur les données de tests est proche de la performance sur les données d'apprentissage.

Une fois le modèle d'apprentissage défini, on vérifie qu'il produit des résultats performants en utilisant d'autres données du même type par exemple.

## L'apprentissage

L'apprentissage est une notion clé et spécifique au ML. L'apprentissage correspond à extrapoler une loi à partir d'un ensemble de données par itération successive en ajustant les règles en fonction de l'erreur obtenue à chaque itération. **C'est le mécanisme qui remplace la programmation a priori d'un ensemble de règles.**

Il existe plusieurs modes d'apprentissage. Le choix d'un mode d'apprentissage dépend des données disponibles (beaucoup ou peu de données) et du problème que l'on cherche à résoudre (reconnaissance de forme, classification automatique, etc.).

Les modes d'apprentissage les plus courants sont les suivants :

- **Apprentissage supervisé**

L'apprentissage se fait à partir de données étiquetées disponibles. L'apprentissage supervisé est très utilisé pour les problèmes de reconnaissance d'image par exemple.

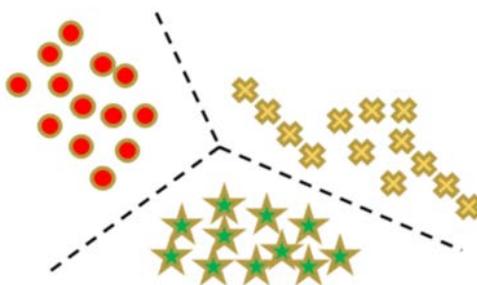


Figure 37 - Apprentissage supervisé à partir d'ensemble prédéfinis (rouge, vert, jaune)

- **Apprentissage non supervisé**

L'apprentissage se fait sans données étiquetées. L'algorithme doit découvrir par lui-même le meilleur découpage possible des données. L'apprentissage non supervisé est utilisé par exemple pour les problèmes de classification (clustering).

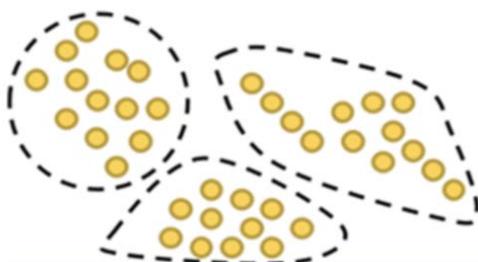


Figure 38 - Apprentissage non supervisé sans données étiquetées

- **Apprentissage semi supervisé**

L'apprentissage se fait à la fois sur une partie des données qui sont étiquetées et une partie des données non étiquetées. L'utilisation d'une combinaison de données référencées et non référencées permet d'améliorer la qualité de l'apprentissage. Le référencement de données nécessite toujours l'intervention d'un utilisateur.

Lorsque les jeux de données deviennent très grands, cette opération peut s'avérer fastidieuse. Dans ce cas, l'apprentissage semi-supervisé, qui ne nécessite que quelques références, a un intérêt pratique évident.

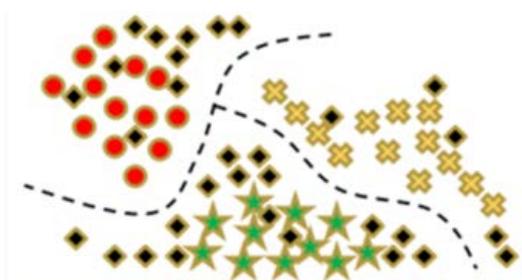


Figure 39 - Apprentissage semi supervisé à partir des ensembles rouges, jaunes et verts

- **Apprentissage par renforcement**

C'est la technique d'apprentissage la plus dynamique aujourd'hui. Il s'agit de la forme d'apprentissage la plus utilisée en robotique notamment. C'est le mode d'apprentissage mis en œuvre dans les programmes de jeux comme AlphaGo notamment.

L'apprentissage par renforcement correspond à apprendre par interaction avec l'environnement à partir de l'observation des résultats de certaines actions, de façon à optimiser une récompense mesurable au cours du temps. Il permet à des machines de déterminer automatiquement le comportement idéal dans un contexte spécifique.

Dans l'exemple suivant, le robot cherche à identifier un chemin de sortie du labyrinthe. Il effectue un test de chemin complet jusqu'à trouver la sortie ou une impasse. S'il tombe sur une impasse, le robot refait un test de chemin complet en tenant compte du résultat négatif du test précédent et ainsi de suite.

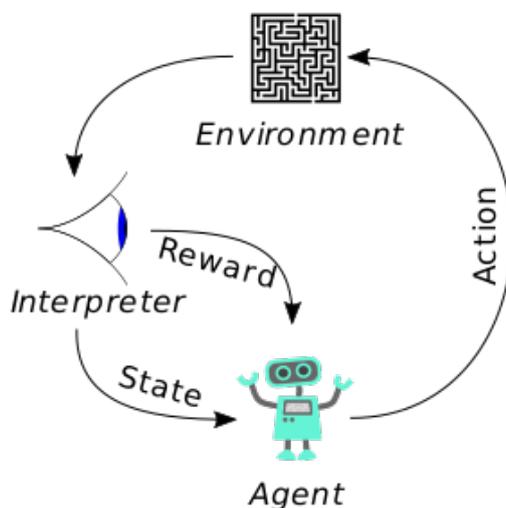


Figure 40 - Apprentissage par renforcement, test de sortie de labyrinthe<sup>49</sup>

- **Apprentissage actif**

L'étiquetage de données se fait pendant l'apprentissage. L'algorithme détecte les données non étiquetées dont il aurait le plus besoin pour améliorer la qualité de l'apprentissage. Il fait étiqueter de manière active les exemples qui apporteront le plus d'informations. L'utilisation de cette méthode peut se justifier par la motivation de vouloir apprendre à moindre coût.

<sup>49</sup> Traitement Atawao

L'apprentissage actif permet d'effectuer diverses tâches classiques dans le domaine de l'apprentissage automatique telles que la classification ou la régression.

C'est une thématique de recherche importante actuellement.

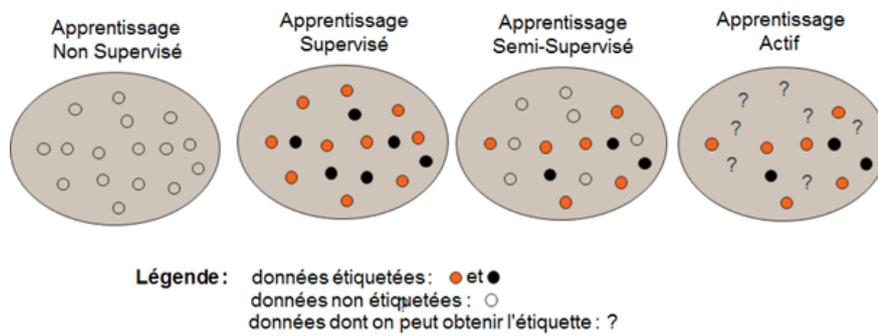


Figure 41 - Principaux types d'apprentissage<sup>50</sup>

Type d'apprentissage	Exemple d'application
<b>Supervisé</b>	Reconnaissance d'image.
<b>Non supervisé</b>	Associer des maladies à divers facteurs explicatifs.
<b>Semi-supervisé</b>	Filtrage de bruit sur une image.
<b>Par renforcement</b>	Robotique autonome, apprentissage d'une tâche manuelle.
<b>Actif</b>	Les Chatbots (TALN).

Tableau 3 - Exemple d'usages selon le mode d'apprentissage

<sup>50</sup> <https://recherche.orange.com/learning-zoo/>

## Les tendances actuelles dans les techniques d'apprentissage

- **Generative adversarial networks (GAN)**

Un **GAN** est un système d'apprentissage profond non supervisé qui consiste à mettre en concurrence deux réseaux de neurones. Un premier réseau, le **générateur**, crée des données fausses qui ressemblent exactement à l'ensemble de données réelles. Le deuxième réseau, le **discriminateur**, prend des données réelles et synthétiques. Au fil du temps, chaque réseau s'améliore, permettant à la paire d'apprendre la distribution entière de l'ensemble de données.

- **Lean and augmented data learning**

Cette technique essaie de résoudre le problème de l'absence de disponibilité de grands volumes de données labellisées pour réaliser un apprentissage pertinent. Deux techniques se développent pour solutionner ce problème: la génération automatique de nouvelles données et le transfert d'un modèle déjà formé pour une tâche à une autre tâche. On essaye par exemple de créer de nouvelles données en les simulant ou par interpolation de données existantes.

- **Probabilistic programming**

Cette technique est un langage de programmation de haut niveau permettant de décrire simplement un modèle mathématique probabiliste et de l'utiliser pour faire de l'apprentissage et de l'inférence. Le langage de programmation probabiliste prend en charge une modélisation interactive et fournit une couche d'abstraction nécessaire pour favoriser l'inférence générique et efficace.

Les langages de programmation probabilistes ont la capacité de pouvoir travailler avec des informations incertaines et incomplètes très courantes.

- **Automated machine learning (AutoML)**

Le développement de modèles d'apprentissage automatique nécessite aujourd'hui un travail d'expertise chronophage qui comprend : la préparation des données, la sélection des fonctionnalités, la sélection de modèles et de techniques de ML, l'apprentissage et l'optimisation.

Le concept d'AutoML vise à simplifier et à rendre interactif la mise au point d'une usine de ML. L'objectif est d'industrialiser et d'automatiser ce flux de travail en combinant dans un pipeline de travail un certain nombre de techniques déjà développées : préparation de données, nettoyage, entraînement, etc. C'est une extension des pipelines de travail dans le domaine de la manipulation de données (flux ESB, gestion des entrepôts de données, etc.)

- **Jumeau numérique (Digital Twin)**

C'est un modèle virtuel utilisé pour faciliter l'analyse détaillée en continu de systèmes physiques.

Le concept du jumeau numérique est né dans le monde industriel où il a été largement utilisé pour modéliser, simuler et analyser. En ML, la modélisation est basée sur la construction d'agents qui interagissent (une foule qui se déplace, des personnes qui dialoguent, des cellules qui interagissent, etc...) pour accélérer la mise au point de modèles.

## Les réseaux de neurones et les réseaux profonds

Un réseau de neurones est un objet mathématique comprenant plusieurs couches de neurones. Le réseau est généralement structuré en trois types de couches de neurones (entrée, sortie et cachée). Lorsque le réseau possède plusieurs couches cachées on parle d'un réseau de neurones profonds (deep neural network) et donc de mécanisme d'apprentissage profond (deep learning).

### Un neurone

Un neurone est un système constitué des éléments suivants :

- Des données en entrée (par exemple des images) : X1, X2, X3.
- Une somme pondérée de ses données (un score pour chaque image) :  $X1 * W1 + X2 * W2 + X2 * W3$ .
- Une sortie qui est la probabilité d'appartenance à une classe finale (67% d'être une voiture) : % de Y.

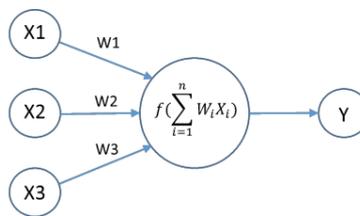


Figure 42 - Neurone

### Un réseau de neurones

Un réseau de neurones est un système composé d'un ensemble de neurones. On caractérise un réseau de neurones par :

- son type (en couches, complets. . .) ;
- son niveau de complexité (le nombre de neurones) ;
- la fonction d'activation, une fonction mathématique qui permet de transformer un signal entrant dans un neurone en signal de sortie ;
- chaque connexion reliant deux neurones à un poids ( $w1, w2, w3$ ) ;
- l'objectif visé : apprentissage supervisé ou non, optimisation, systèmes dynamiques. Le but est de trouver les poids corrects des connexions.

Les neurones sont organisés en couche successive : une couche d'entrée qui représente les données, des couches cachées qui représentent des résultats d'analyse intermédiaires et une couche de sortie qui représente le résultat.

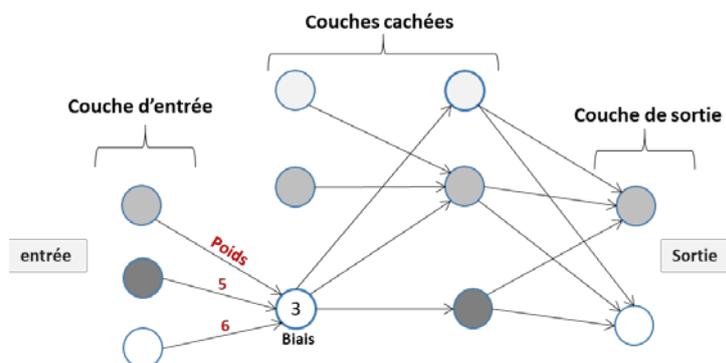


Figure 43 - Exemple de réseau de neurones<sup>51</sup>

<sup>51</sup> Traitement Atawao

Chaque neurone intermédiaire représente une somme pondérée des valeurs des neurones de la couche précédente.

## Un réseau de neurones profonds (deep neural network et deep learning)

Le réseau de neurones profonds est un type de réseau de neurones. C'est le réseau le plus utilisé en reconnaissance d'images. L'apprentissage profond (deep learning) est la méthode d'apprentissage d'un réseau de neurones profonds.

Le deep learning correspond à un ensemble de méthodes mathématiques basées sur la « compréhension » de phénomènes (reconnaissance d'une image) à partir de phénomènes du même type (à partir d'une banque d'images). Ces techniques ont permis des progrès importants et rapides dans les domaines de l'analyse du signal sonore ou visuel et notamment de la reconnaissance faciale, de la reconnaissance vocale, de la vision par ordinateur, du traitement automatisé du langage (Facebook, IBM, GOOGLE).

Par exemple, pour faire un gâteau (la cible), il faut du beurre, du sucre et de la farine (des données) et une personne qui décide à la fin s'il est bon ou non (une mesure objective de satisfaction). Pour faire un gâteau en utilisant une technique culinaire de DL, on procède de la façon suivante :

- On commence par choisir au hasard une quantité pour le beurre, le sucre et à farine.
- On cuisine le gâteau et on fait goûter le résultat pour savoir s'il est bon ou non.
- S'il n'est pas bon, on change les quantités en fonction du goût du gâteau (réduire l'erreur dans la recette).
- Par exemple, si le gâteau est trop sucré on sait que l'on doit diminuer la quantité de sucre (on dit que le sucre a un gradient positive) mais on ne sait pas exactement de combien, on connaît juste la tendance.
- À l'inverse si le gâteau ne contient pas assez de farine, on doit augmenter sa quantité (on dit que la farine a un gradient négatif).
- On choisit de nouvelles quantités en fonction de la tendance identifiée et on recommence.
- La recette est réussie lorsque la satisfaction est atteinte, le gâteau est bon.

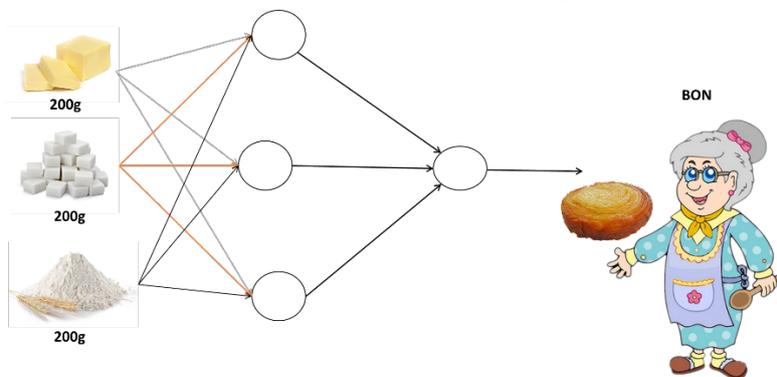


Figure 44 - Exemple simplifié de deep Learning<sup>52</sup>

Typiquement, on peut être amené à faire des millions de tests pour avoir un bon résultat, même avec seulement 3 ingrédients. Pour des exemples plus complexes comme la reconnaissance d'une seule classe d'images de 48\*48 pixels (voitures), on va utiliser plus de 2000 paramètres, c'est la définition du **deep Learning**.

## Exemple de fonctionnement d'un réseau de neurones

On considère comme exemple d'étude une analyse des sentiments sur des photographies : à partir d'une image on veut prédire le sentiment exprimé par la personne photographiée.

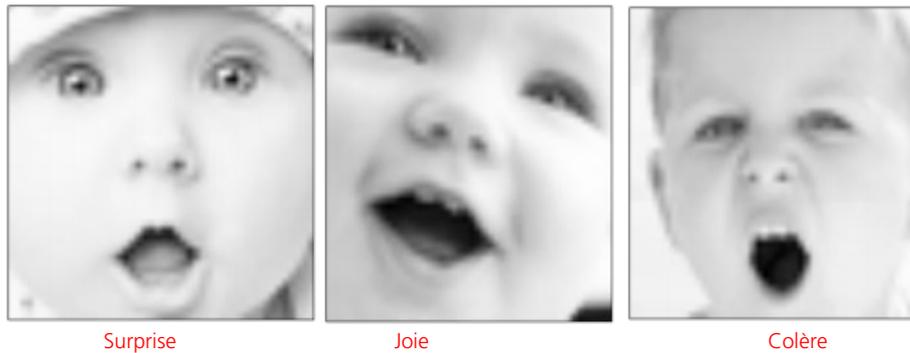


Figure 45 - Exemple de sentiment exprimé<sup>52</sup>

Nos données sont des images de taille : 48 pixels \* 48 pixels (30 000 images labellisées). On cherche à classer les images par nature de sentiment exprimé par un visage. On définit 7 classes correspondant à 7 sentiments différents : colère, dégoût, peur, joie, tristesse, surprise et neutre. La performance humaine moyenne pour cette tâche est de 60 à 70% de réussite. On entraîne un réseau de neurones pour obtenir une performance supérieure aux humains (donc plus de 70% au minimum).

Notre réseau de neurones le plus simple sera composé de 2 couches :

- Une couche de sortie : 7 neurones qui représentent les sentiments.
- Une couche d'entrée : Un vecteur de 2 304 pixels pour représenter l'image.

Chaque neurone représente une somme pondérée de toutes les entrées.

Notre objectif est de bien choisir les poids pour associer la couche d'entrée à l'un des 7 neurones de sortie, soit le bon sentiment. La dernière couche est normalisée afin d'avoir 7 valeurs entre 0 et 1 (Les probabilités d'appartenance à nos classes de sentiment).

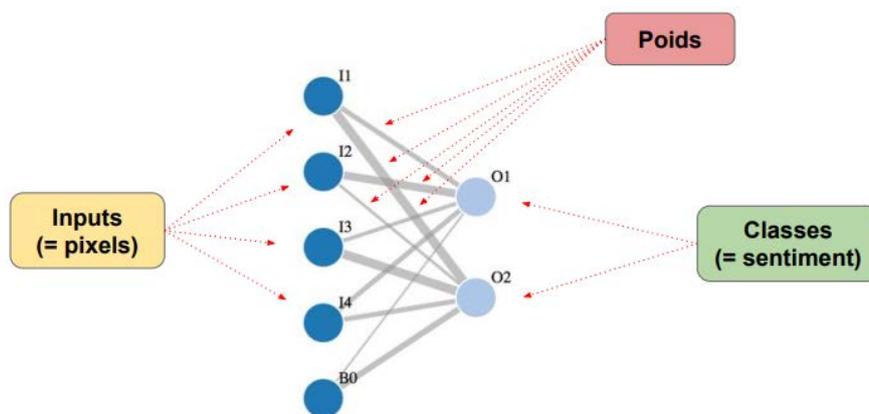


Figure 46 - Réseau de neurones simples<sup>52</sup>

On calcule la sortie de notre réseau par une multiplication entre le vecteur et la matrice de poids. Pour notre exemple l'apprentissage est supervisé puisque on part d'une base de 30 000 images labellisées.

<sup>52</sup> Traitement Atawao

- **L'entraînement**

Le réseau de neurones doit être entraîné. Pour se faire, on utilise les images référencées (on dit « labellisées »). On passe la matrice de pixel (chaque image) dans notre réseau de neurones et on compare les sorties aux bonnes réponses indiquées par les labels. Si les réponses correspondent, le réseau garde cette réussite en mémoire et s'en servira plus tard pour reconnaître les sentiments des images de tests. Dans le cas contraire, le réseau prend note de son erreur et ajuste le poids placé sur les différents neurones pour corriger son erreur. Le processus est répété des milliers de fois jusqu'à ce que le réseau soit capable de reconnaître un sentiment sur une photo. Le réseau est entraîné de bout en bout : à chaque exemple, tous les paramètres de tous les modules sont ajustés de manière à rapprocher la sortie produite par le système de la sortie désirée.

Cet ajustement correspond à essayer de minimiser une fonction d'erreur calculée comme étant la distance entre le résultat souhaité et le résultat trouvé. La valeur d'ajustement de l'erreur choisie s'appelle **le gradient**.

- **Rétro-propagation du gradient**

Le gradient correspond à la valeur d'ajustement de l'erreur. On propage cette erreur le long du réseau de neurones selon un mécanisme appelé la **rétro propagation**. On corrige le niveau d'erreur selon son importance : les poids qui contribuent à engendrer une erreur importante se verront modifiés de manière plus significative que les poids qui ont engendré une erreur marginale.

Pour notre exemple, on initialise les poids aléatoirement et avec le résultat obtenu on met à jour les poids d'une façon rétroactive à partir de l'erreur obtenue.

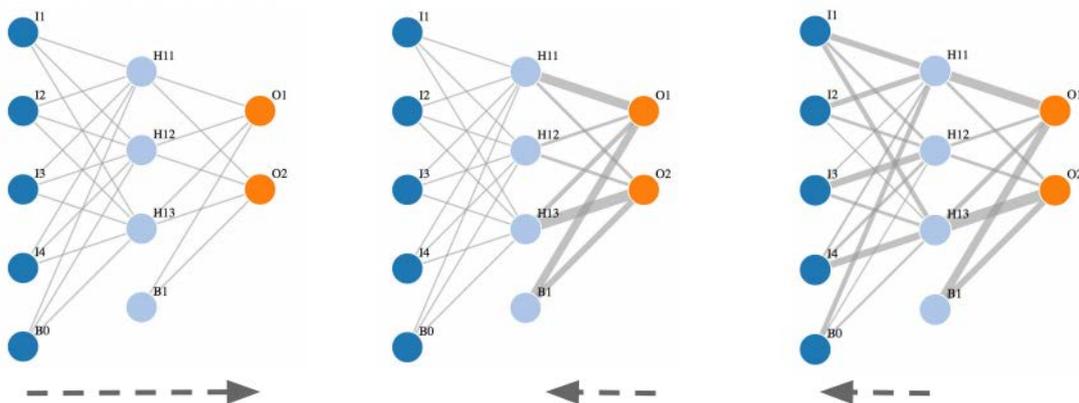


Figure 47 - Rétro-propagation<sup>52</sup>

Avec ce simple réseau de neurones, on obtient une réussite de **44,5 %** ce qui est très inférieur à la performance humaine.

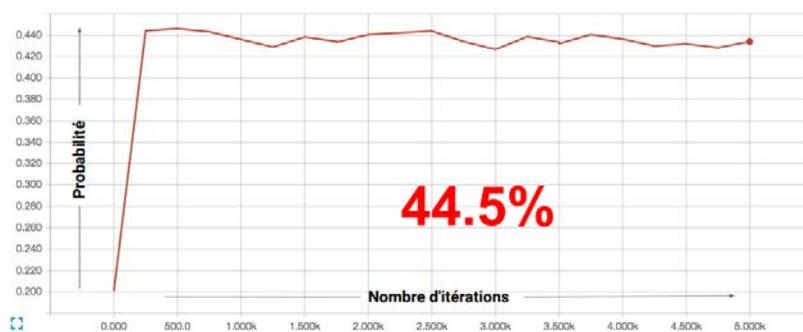


Figure 48 - Performance de l'apprentissage pour un réseau simple<sup>52</sup>

Pour améliorer significativement la performance, on doit ajouter des couches de neurones. On doit passer d'un réseau simple à un réseau plus complexe en ajoutant une couche intermédiaire.

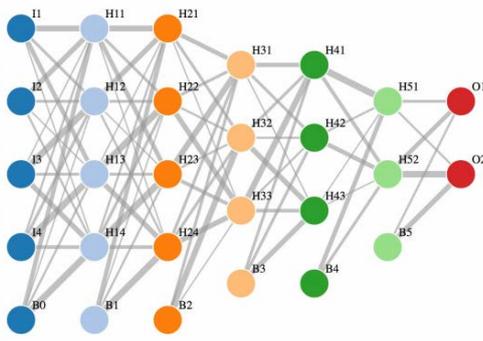


Figure 49 - Réseau de neurones à plusieurs couches cachées<sup>52</sup>

Dans notre exemple, on ajoute une couche intermédiaire ce qui permet d'atteindre une performance de **56%**.

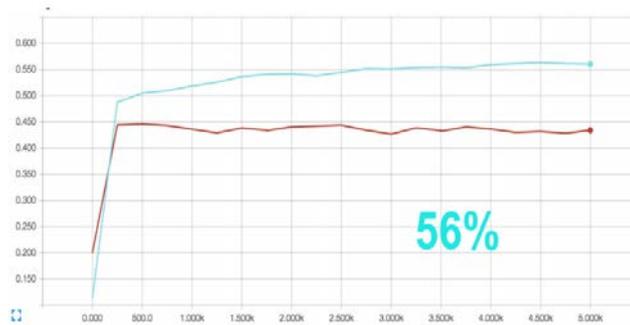


Figure 50 - Performance d'un réseau de neurones avec une couche cachée<sup>52</sup>

Pour améliorer la performance on continue à ajouter des couches cachées.

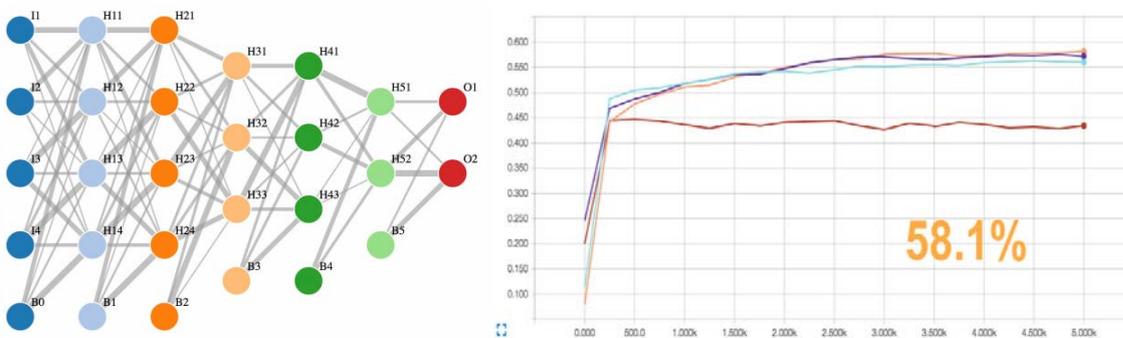


Figure 51 - Performance d'un réseau de neurones à plusieurs couches cachées<sup>52</sup>

Cependant, en rajoutant encore des couches, le résultat ne varie pas comme prévu (**56%, 58.1%**). L'évolution de performance se met à stagner.

- **Le problème du « Vanishing gradient »**

Théoriquement, un réseau plus profond permet d'apprendre des fonctions plus complexes. Mais plus le réseau est « profond » plus on se heurte à de nouvelles contraintes (la complexité a un coût de performance) :

- Chaque couche possède une vitesse d'apprentissage différente.
- Le gradient est très petit dans les premières couches donc les premières couches sont très lentes à entraîner. Mais les premières couches sont aussi les plus importantes, ce sont celles qui permettent d'extraire les caractéristiques principales. Par exemple pour la reconnaissance d'une image, la première couche est responsable de la construction des contours du dessin comme les traits du visage.

- Un réseau important possède plusieurs optimums possibles. En entraînant le réseau, on peut trouver un de ces optimums et ne plus être capable d'identifier les autres qui pourraient être meilleurs.

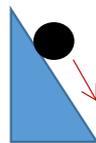
**Exemple :** Pour la reconnaissance d'image les premières couches sont les plus importantes parce qu'elles sont responsables de la détection des principaux blocs. Si la première couche n'est pas bien entraînée la première information qui construit les principaux traits du visage sera imprécise.



Figure 52 - Le visage réel et les traits du visage définis avec une première couche mal entraînée<sup>52</sup>

La performance de l'apprentissage est une recherche de compromis entre une **durée** et une **précision**. C'est la fonction de gradient qui règle le compromis durée / précision. Si le gradient est grand, l'entraînement sera rapide mais la précision sera faible. Si le gradient est petit, l'entraînement sera très long mais le résultat très précis.

**Pente grande :** (grand gradient)  
Entraînement rapide mais résultat de mauvaise qualité.



**Pente petite :** (petit gradient)  
Entraînement lent mais résultat efficace.



Figure 53 - Problème de gradient<sup>52</sup>

Le problème d'une fonction de gradient mal ajustée s'appelle le **vanishing gradient**. Il peut conduire à bloquer le mécanisme d'apprentissage. Pour pallier ce problème on cherche à modifier la fonction d'activation ou changer l'architecture du réseau.

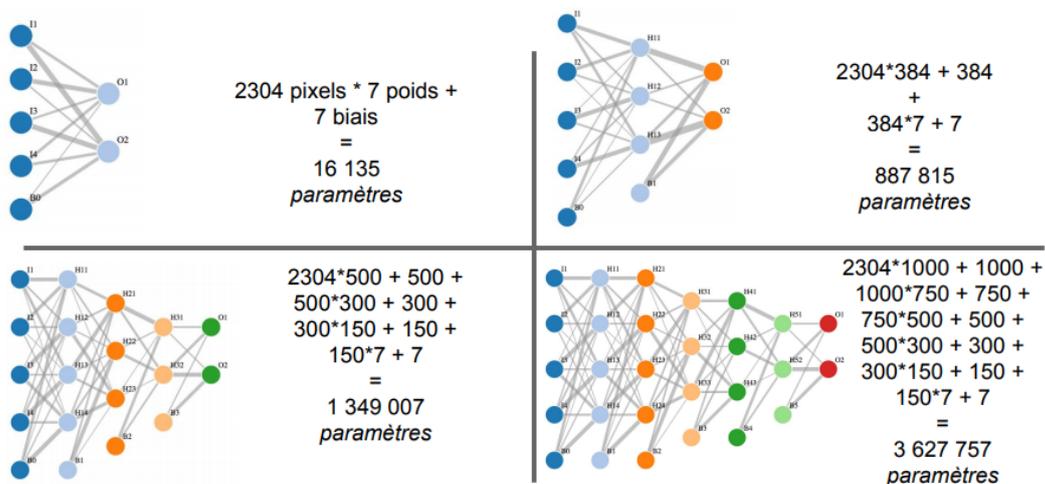


Figure 54 - Nombre de paramètres d'un réseau de neurones pour une image 48 \* 48 pixels<sup>52</sup>

## Les types de réseau de neurones

Il existe plusieurs types de réseau de neurones. On choisit un type de réseau en fonction des données disponibles et de la problématique à résoudre.

### Machine de Boltzmann restreinte

Il s'agit d'un type de réseau de neurones artificiels utilisé pour l'apprentissage non supervisé. Il est couramment utilisé pour avoir une estimation de la distribution probabiliste d'un jeu de données.

Une machine de Boltzmann est composée d'une couche de neurones, qui reçoit l'entrée et une couche de neurones cachée. Si les neurones d'une même couche sont indépendants entre eux, on appelle cette configuration **une machine de Boltzmann restreinte (RBM)**.

Dans la RBM, chaque nœud de la couche visible est connecté à tous les nœuds de la couche cachée. Pendant l'activation, chaque entrée est combinée avec un poids spécifique et le résultat est passé à la couche cachée qui peut être activée ou non. Pendant la rétro propagation, il y a une comparaison de la reconstruction de la donnée d'entrée avec la valeur de sortie et le résultat est comparé à l'entrée originale. On modifie les poids en fonction de l'erreur et on répète cette procédure.

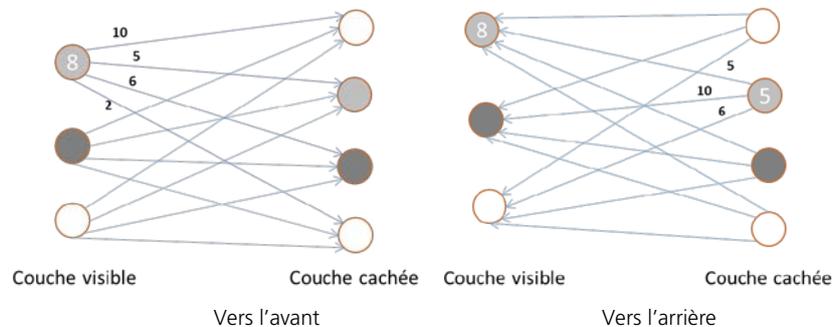


Figure 55 - Exemple d'entraînement<sup>52</sup>

### Réseau de neurones profonds (Deep belief network)

Un DBN possède la même structure qu'un réseau de neurones profonds mais l'entraînement est différent. C'est une pile de plusieurs machines de Boltzmann restreintes.

Le premier RBM est entraîné et la couche visible du deuxième est entraînée en utilisant les sorties du premier entraînement. Ce processus est répété pour chaque pile de RBM.

La première partie du DBN est constituée d'un ensemble de couches qui convertissent les données d'entrée en une représentation abstraite. La seconde partie convertit cette représentation en labels de classification.

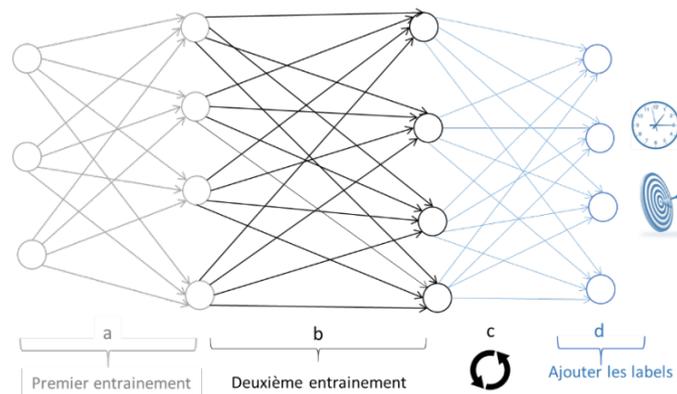


Figure 56 - Exemple de réseau de neurones profond<sup>52</sup>

Chaque couche de la première partie contient une représentation plus abstraite (ou compressée) que la précédente : la première couche stockera les niveaux de gris de l'image (l'équivalent de la rétine), la seconde contiendra un encodage des lignes ou des zones de contraste, la troisième détectera l'existence de certaines formes géométriques simples comme des cercles, la quatrième identifiera certains agencements particuliers comme celles qui représentent un '8' formé de deux cercles juxtaposés, etc...

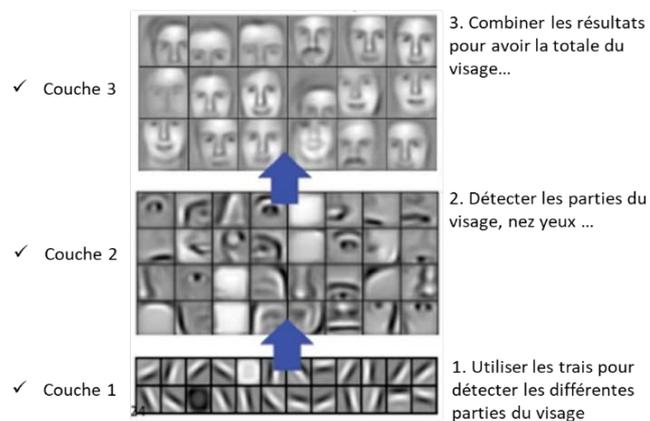


Figure 57 - Reconnaissance faciale<sup>52</sup>

Le rôle de la seconde partie du DBN est de convertir la représentation abstraite et obscure en labels.

L'entraînement du DBN est considéré comme achevé lorsque la performance évaluée sur un ensemble de validation distinct de l'ensemble d'entraînement ne progresse plus significativement.

## **Réseau de neurones à convolution (Convolution neural network)**

Les réseaux de neurones à convolution (**CNN**) sont à ce jour les modèles les plus performants pour classer des images.

La première partie d'un CNN est la partie convolutive qui fonctionne comme un extracteur de caractéristiques des images. Une image est passée à travers une succession de filtres (ou noyaux de convolution) créant de nouvelles images appelées cartes de convolutions. Au final, les cartes de convolutions sont mises à plat et concaténées en un vecteur de caractéristiques, appelé code CNN. Ce code CNN en sortie de la partie convolutive est ensuite branché en entrée d'une deuxième partie, constituée de couches entièrement connectées. Le rôle de cette partie est de combiner les caractéristiques du code CNN pour classer l'image.

Schématiquement, cela correspond à déplacer un filtre sur une image pour reconnaître des parties.

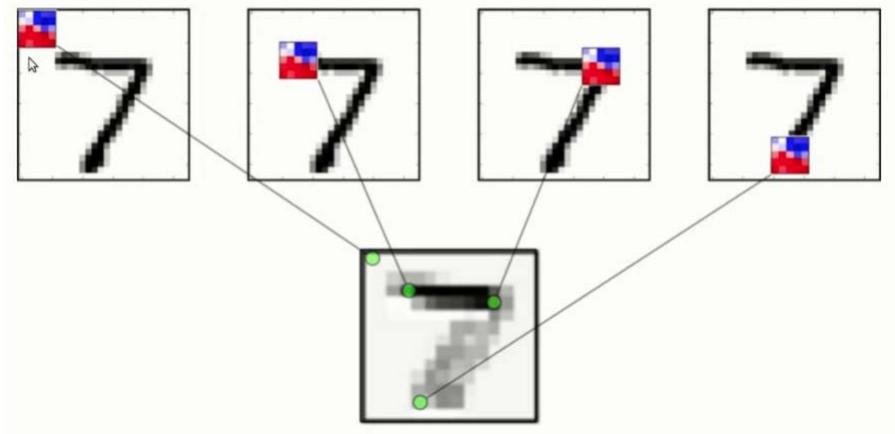


Figure 58 - Résultat de la convolution

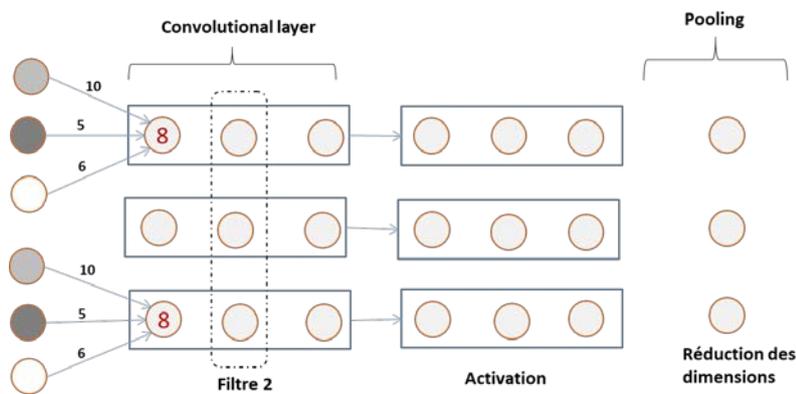


Figure 59 - Exemple de réseau de neurones à convolution

Dans ce type d'architecture les pixels ne sont pas connectés à tous les neurones cachés et les connexions sont faites dans des petites zones localisées de l'image. On prend les mêmes poids et biais pour tous les neurones d'une même couche pour détecter le même motif.

Il n'y a pas de règle absolue sur les structures de réseaux de neurones qui fonctionnent le mieux. Pour avoir des bons résultats il faut configurer intelligemment le réseau de neurones en exploitant au mieux la structure des données.

Avec une structure CNN pour notre exemple d'étude de reconnaissance de sentiment on arrive à un résultat satisfaisant :

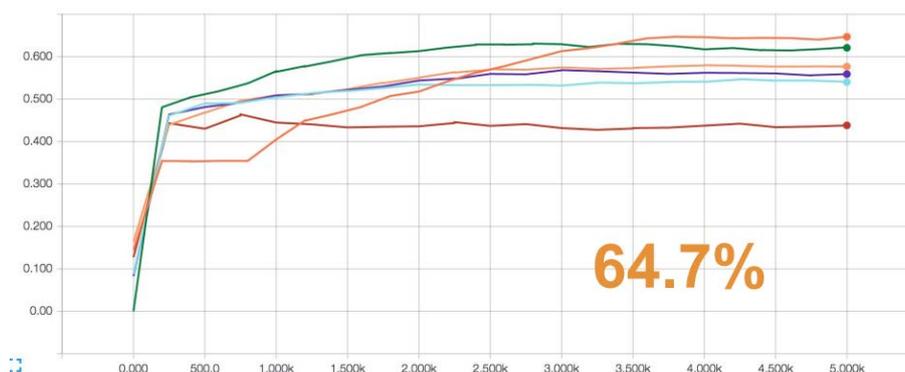


Figure 60 - Performance d'un réseau de neurones à convolution

## Réseau de neurones récurrents (Recurrent neural network)

Le réseau de neurones récurrents (RNN) est un type de réseau qui adresse plusieurs limitations des réseaux précédents, comme le nombre des entrées et des sorties fixes ou la difficulté de modéliser des séries temporelles. Les RNN sont adaptés pour des données d'entrée de taille variable. Ils conviennent en particulier pour l'analyse de séries temporelles. Ils sont utilisés en reconnaissance automatique de vidéo, de la parole ou de l'écriture, en reconnaissance de formes ou encore en traduction automatique.

Exemple : « Iyed part en vacances en France, il décide d'apprendre le ... ». Pour trouver le mot qui manque, la partie de la phrase avant la virgule est nécessaire.

Un réseau de neurones récurrents (RNN) est constitué d'unités (neurones) interconnectés interagissant non-linéairement et pour lequel il existe au moins un cycle dans la structure. La sortie d'un neurone est une combinaison non linéaire de ses entrées.

Les techniques d'entraînement du RNN sont les mêmes que pour les réseaux classiques. Un RNN se heurte au problème de « vanishing gradient » pour apprendre à mémoriser des événements passés. Des architectures particulières répondent à ce dernier problème, on peut citer en particulier les réseaux de type **Long short-term memory**.

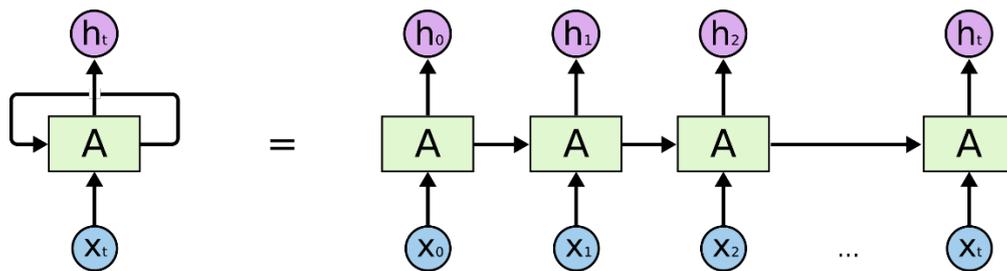


Figure 61 - Exemple de réseau de neurones récurrent

- **X<sub>t</sub>** : entrée.
- **A** : couche cachée.
- **H<sub>t</sub>** : sortie.

Ce qui caractérise le réseau récurrent c'est qu'à un instant **t**, une couche dépend du contenu actuel **t** et du contenu des étapes précédentes **t-1**. Dans ce cas, la rétro-propagation de l'erreur prend en compte la dimension spatiale (couche précédente au temps **t**) et la dimension temporelle (état de la couche à **t-1**). C'est un réseau à mémoire.

## Capsule networks

C'est un type de réseau de neurones profonds qui prend en compte les relations hiérarchiques ou spatiales entre les objets. Les réseaux convolutifs ne tiennent pas compte de cette hiérarchie entre objets, ce qui entraîne souvent une plus mauvaise classification et un taux d'erreur plus élevé.

Par exemple, pour prendre en compte la position relative des caractéristiques dans l'image (les yeux au-dessus du nez), l'approche est basée sur la suppression de certaines connexions entre neurones de deux couches consécutives, en d'autres termes, un arbre syntaxique est « sculpté » de façon dynamique à partir d'un réseau de neurones multicouches.

Chaque couche est divisée en petits groupes de neurones appelés capsule. Au sein de chaque capsule, les neurones représentent les propriétés d'une caractéristique de l'image pouvant inclure différents paramètres comme la position, la taille ou l'orientation.



Figure 62 - Détection de visage

Un réseau de type **Capsule network** est utilisé pour classifier les images de la base **MNIST** (un jeu de données, qui regroupe 60 000 images d'apprentissage et 10 000 images de test). Il a permis de faire passer le taux d'erreur de **39%** obtenu avec un CNN classique à **25%**.

## Les usages associés à chaque type de réseau de neurones

Généralement, on utilise pour le traitement de texte et la reconnaissance de parole qui nécessitent des séries temporelles, un réseau récurrent et pour la reconnaissance d'image et de la forme, un réseau de convolution.

Néanmoins, en fonction des données disponibles ou du problème que l'on cherche à résoudre, un type de réseau de neurones peut être plus adapté et utilisé qu'un autre pour une problématique différente de celle pour laquelle on l'emploie généralement. C'est le travail qui mobilise le plus de ressources d'expertise aujourd'hui : essayer de mettre au point le modèle de réseau de neurones le plus performant par rapport aux données dont on dispose. En outre, c'est un travail très peu généralisable à d'autres cas d'usage. En dehors du manque d'expertise disponible, c'est un facteur qui freine beaucoup l'adoption de l'IA dans les entreprises aujourd'hui.

Type	Modèle	Traitement du texte	Reconnaissance de la parole	Reconnaissance d'image	Reconnaissance de forme
<b>Supervisé</b>	Recursive Neural Tensor Network	OUI			
	Recurrent Network	OUI	OUI		OUI
	Deep belief network			OUI	
	Convolutional network			OUI	
<b>Non supervisé</b>	Restricted Boltzman Machine			OUI	

Tableau 4 - Exemples d'usage par type de réseau de neurones

## Les principaux frameworks de Machine Learning

Les frameworks de ML offrent des bibliothèques de fonctions qui accélèrent la mise au point d'un réseau de neurones pour un usage spécifique. Ces bibliothèques permettent par exemple de :

- Structurer et construire une représentation de données de travail.
- Préparer les données.
- Modéliser et construire un réseau de neurones.
- Modéliser les caractéristiques des objets à analyser.
- Organiser et exécuter les phases d'entraînement et de test.

Il existe aujourd'hui plusieurs dizaines de frameworks de ML mis au point par des laboratoires de recherche comme SCITKIT-LEARN (INRIA et TELECOM PARISTECH) ou des géants du web comme TENSORFLOW (GOOGLE).



Figure 63 - Exemples de bibliothèques Machine learning

### Caractéristiques des bibliothèques

On caractérise principalement les bibliothèques de ML par leur :

- **Capacité de modélisation CNN**

C'est l'efficacité et la flexibilité des fonctions offertes par la bibliothèque pour analyser les réseaux de neurones à convolution. Cette structure de réseau est utilisée pour la reconnaissance de l'image et le traitement du langage naturel. **TENSORFLOW**, **THEANO**, **CAFFE** et **MXNET** ont une bonne capacité de modulation CNN.

- **Capacité de modélisation RNN**

C'est l'efficacité et la flexibilité des matériaux offert par la bibliothèque pour analyser les réseaux de neurones récurrents. Cette structure de réseau est utilisée pour la reconnaissance de la parole et d'autres tâches qui nécessitent le traitement d'informations séquentielles. **CNTK** et **TORCH** sont les frameworks les plus adaptés aux problématiques RNN. **TENSORFLOW** possède aussi des capacités RNN intéressantes.

Bibliothèque	Langage	Tutoriel	Capacité CNN	Capacité RNN	Architecture	Rapidité	Support GPU multiple	Licence
<b>SCIKIT LEARN</b>	Python	++	++		++	++		BSD
<b>THEANO</b>	Python, C++	++	++	++	+	++	+	BSD
<b>TENSORFLOW</b>	Python	+++	+++	++	+++	++	++	Apache
<b>KERAS</b>	Python	+++	++	+++	++	++	++	MIT
<b>TORCH</b>	Python	+	+++	++	++	+++	++	BSD
<b>CAFFE</b>	C++	+	++		+	+	+	BSD
<b>MXNET</b>	R, Python, Julia, Scala	++	++	+	++	++	+++	Apache
<b>NEON</b>	Python	+	++	+	+	++	+	Apache
<b>CNTK</b>	C++	+	+	+++	+	++	+	MIT

Tableau 5 - Caractéristiques des bibliothèques deep Learning

Le tableau suivant présente l'évolution de la popularité GITHUB des frameworks de Machine Learning.

new contributors from 2017-02-11 to 2017-04-12			new forks from 2017-02-11 to 2017-04-12		
#1: 131	tensorflow/tensorflow		#1: 4192	tensorflow/tensorflow	
#2: 63	fchollet/keras		#2: 991	fchollet/keras	
#3: 51	pytorch/pytorch		#3: 810	BVLC/caffe	
#4: 49	dmlc/mxnet		#4: 517	deeplearning4j/deeplearning4j	
#5: 18	Theano/Theano		#5: 414	dmlc/mxnet	
#6: 11	BVLC/caffe		#6: 307	pytorch/pytorch	
#7: 11	Microsoft/CNTK		#7: 244	Microsoft/CNTK	
#8: 9	tflearn/tflearn		#8: 211	tflearn/tflearn	
#9: 9	pfnet/chainer		#9: 134	torch/torch7	
#10: 8	torch/torch7		#10: 131	Theano/Theano	
#11: 5	deeplearning4j/deeplearning4j		#11: 116	baidu/paddle	
#12: 4	NVIDIA/DIGITS		#12: 88	NVIDIA/DIGITS	
#13: 3	baidu/paddle		#13: 55	pfnet/chainer	

Tableau 6 - Popularité (contributeurs et nombre de projets) des framework de ML sur GITHUB, 2017

La majorité des bibliothèques de Machine Learning correspond à des projets open source. Même la bibliothèque TENSORFLOW de Google est devenue un projet open source en novembre 2015. Il y a de moins en moins d'enjeu économique à développer de nouvelles briques technologiques de base en machine learning. Les enjeux sur ces briques sont essentiellement scientifiques et techniques.

Pour les sociétés, l'enjeu technologique et économique porte aujourd'hui sur le développement de solutions adressant un usage transverse comme l'amélioration de la précision d'analyse des images (DEEPOMATIC en France) ou du langage (FACEBOOK) ou de plus en plus un usage sectoriel comme la détection de fraude dans les transactions financières (DREAMQUARK en France).

Les briques technologiques de base ont été mises au point et ont donné des résultats expérimentaux intéressants. On cherche maintenant à trouver à quels problèmes l'IA peut répondre concrètement. En santé, par exemple, la société THERAPIXEL a développé une solution d'analyse automatique des tumeurs dans le cancer du sein. Mais elle cherche encore son modèle économique. À l'inverse la société CARDIOLOGS a développé une technologie d'analyse automatique des arythmies cardiaques. C'est aujourd'hui une tâche d'analyse manuelle fastidieuse de 45 minutes pouvant être remplacée par une IA en quelques minutes. En réduisant fortement cette contrainte de temps, la société pense avoir trouvé son modèle économique.

## **Framework Scikit-Learn (INRIA, Telecom ParisTech)**

Lancé initialement en 2007 par des membres de la communauté scientifique Python, le projet Scikit-Learn est une bibliothèque open source en Python dédiée à l'apprentissage automatique. Elle est développée par de nombreux contributeurs notamment dans le monde académique par des instituts français d'enseignement supérieur et de recherche (INRIA et TELECOM PARISTECH).

Cette bibliothèque comprend notamment des fonctions pour estimer des forêts aléatoires, des régressions logistiques, des algorithmes de classification, et les machines à vecteurs de support.

Method/Classifieur	Library	Accuracy
Softmax Regression	TensorFlow	≈ 0.909
Gaussian Naive Bayes	scikit-learn	≈ 0.909
Blending	scikit-learn/custom	≈ 0.909
Random Forest	scikit-learn	≈ 0.864
Support Vector Machines	scikit-learn	≈ 0.864
Multilayer Perceptron	scikit-learn	≈ 0.864
Gradient Trees Boosting	scikit-learn	≈ 0.773
Convolutional Neural Network	TensorFlow	≈ 0.773

Figure 64 - comparaison de précision des bibliothèques<sup>53</sup>

En septembre 2018, INRIA et ses partenaires industriels ont lancé une initiative de fondation Scikit-Learn, en partenariat avec des entreprises utilisatrices pour intensifier les développements et développer plus rapidement la communauté des utilisateurs.

Voici quelques acteurs privés<sup>54</sup> qui utilisent la bibliothèque SCIKIT-LEARN : SPOTIFY, EVERNOTE, BOOKING.COM, DATA PUBLICA, DATAKU.

## **Framework TensorFlow (GOOGLE)**

C'est une bibliothèque logicielle pour l'apprentissage et les réseaux de neurones profonds, développée par l'équipe GOOGLE BRAIN en 2015. Ce projet est entièrement Open source. Sa popularité est justifiée par sa société d'origine, sa portabilité, sa flexibilité et une large communauté (plus de 10 000 utilisateurs et 3 000 projets). Les caractéristiques de ce framework sont les suivantes :

- Un entraînement distribué, une architecture flexible qui permet de distribuer facilement les calculs sur des processeurs CPU ou GPU.
- Plusieurs modèles pré-entraînés pour des usages transverses : Vision automatique, reconnaissance vocale, traduction automatique, etc...

En dehors de GOOGLE, les entreprises qui utilisent TensorFlow sont entre autres : AIRBNB, EBAY, INTEL, DROPBOX, DEEPMIND, AIRBUS, CEVA, SNAPCHAT, SAP, UBER, TWITTER. Des radiologues utilisent aussi TensorFlow pour identifier des signes de Parkinson grâce aux analyses de scans.

GOOGLE mène plusieurs de ses projets avec ce framework. On peut citer GOOGLE Translate ou WaveNet de DeepMind qui génère des comptes rendus audio à partir de textes (Text To speech).

<sup>53</sup> Source : Ali A. Faruqi

<sup>54</sup> Source : ScikitLearn

## **Framework SPARK (Fondation APACHE)**

Apache SPARK est un framework d'analyse de données open source créé en 2009 à l'université de BERKELEY. Il est désormais géré par DATABRICKS, entreprise fondée par les développeurs à l'origine du projet. Il est devenu un projet de la fondation Apache en juin 2013 et a obtenu le label « Apache Top-Level Project » en février 2014. Le projet réunit aujourd'hui plus de 200 contributeurs venant de plus de 50 entreprises.

SPARK est un framework de calcul distribué, utilisé pour effectuer un passage à l'échelle des grands projets de Machine Learning. Il s'appuie sur plusieurs bibliothèques comme HADOOP et son système de fichiers distribués HDFS et le gestionnaire de ressources systèmes YARN. L'un des points forts de SPARK réside dans sa capacité de stockage des données en mémoire plutôt que sur disque, ce qui accélère considérablement les performances de travail.

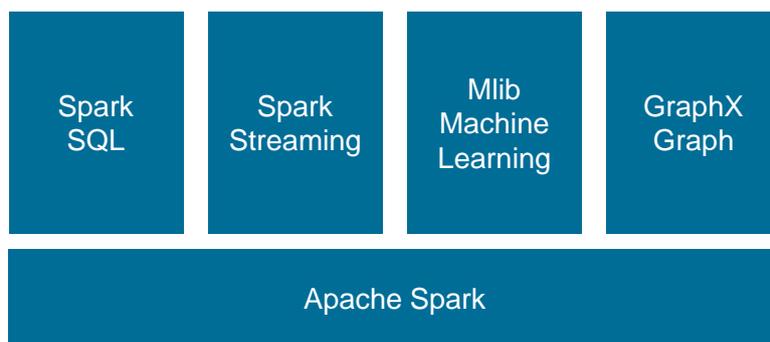


Figure 65 - Bibliothèque SPARK

Les banques utilisent SPARK pour accéder et analyser les profils de médias sociaux, les enregistrements d'appels, les courriels ou les contenus des forums de discussions par exemple pour améliorer leur segmentation ou détecter des fraudes. Une institution financière utilise SPARK pour réduire son taux de désabonnement de 25%. Une autre institution financière utilise SPARK pour analyser le texte de leurs rapports et aussi ceux des concurrents. SPARK est le principal moteur de machine learning utilisé pour les projets en production sur des architectures scalables.

ALIBABA a mis en place une infrastructure de ML basée sur SPARK pour analyser les interactions et transactions commerciales et améliorer le Matching produit / consommateur.

En santé, SPARK est utilisée dans le séquençage génomique pour réduire le temps nécessaire pour traiter les données du génome. On passe d'une durée de traitement de plusieurs semaines à quelques heures.

NETFLIX utilise SPARK pour le traitement de flux en temps réel afin de fournir des recommandations en ligne à ses clients. Il traite 450 milliards d'événements par jour avec son infrastructure.

Voici quelques acteurs privés qui utilisent la bibliothèque SPARK<sup>55</sup> : NETFLIX, ALIBABA, AMAZON, BAIDU, GROUPON, NOKIA, TENCENT, TRIPADVISOR.

---

<sup>55</sup> Spark

## **Framework WATSON (IBM)**

La société IBM a développé le logiciel d'IA WATSON avec l'équipe DEEPQA RESEARCH TEAM. L'application est un framework regroupant des technologies algorithmiques et de virtualisation (BLUEMIX). Initialement le programme a été conçu pour répondre à des questions formulées en langage naturel. WATSON est déjà déployé au sein de grandes entreprises françaises comme ORANGE ou le CREDIT MUTUEL.

WATSON est un framework de Machine Learning capable de travailler sur des images, du texte ou des séries numériques. Le framework est très utilisé pour des données non structurées. Il est capable de « lire » des articles de presse ou de recherche ou des tweets dans plusieurs langues. Concrètement, le système apprend à partir d'un corpus de données contextuelles (Ex. La recherche en oncologie). Au fur et à mesure du développement de connaissance nouvelle, celles-ci sont ajoutées au corpus pour améliorer les performances.

Les principaux services métiers de WATSON sont les suivants :

- **WATSON ANALYTICS.** Il offre de services d'exploration et de visualisation de données.
- **WATSON SANTE.** La première application commerciale de WATSON a été développée dans la santé. Cette solution vise à aider les médecins à trouver le traitement le plus approprié pour soigner un cancer. En oncologie l'application pose un diagnostic en analysant les données patient croisées avec l'ensemble des publications scientifiques.
- **WATSON BANKING.** L'application analyse les messages clients pour améliorer la rapidité et la qualité des réponses. Le Crédit Mutuel a déployé l'application auprès de 20 000 de ses conseillers clientèle dans 5 000 de ses agences. WATSON analyse de contenu de leur boîte mail pour prioriser les messages et aider à traiter les plus urgents en premier. L'application peut également répondre aux questions des salariés sur le contenu des produits d'épargne à vendre.
- **WATSON MARKETING.** L'IA aide les agences à créer des campagnes de publicité plus efficaces pour les marques. L'IA analyse les précédentes opérations, et le contenu des réseaux sociaux pour optimiser l'effet / effort des nouvelles campagnes.

Par ailleurs, IBM a décidé de rendre disponible une interface de programmation permettant de créer des applications comme des Chatbots spécialistes sur une thématique donnée.

Voici quelques acteurs privés en dehors d'IBM qui utilisent la bibliothèque WATSON<sup>56</sup> : CREDIT MUTUEL, AUTODESK, ORANGE BANK, ROYAL BANK OF SCOTLAND, MEMORIAL SLOAN KETERING.

---

<sup>56</sup> IBM

## Vision par ordinateur (Computer vision)

La vision par ordinateur (vision artificielle, vision numérique) est une branche de l'intelligence artificielle dont le but est d'analyser les informations sur une ou plusieurs images prises par un système d'acquisition (photo ou vidéo).

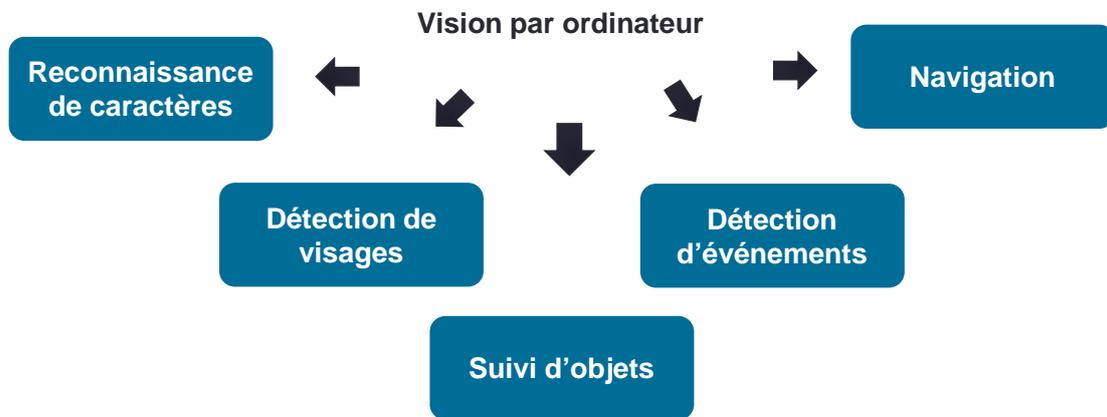


Figure 66 - Applications de la vision par ordinateur

La vision par ordinateur est l'une des applications majeures des techniques de machine learning. Cette technique ne cherche pas à reproduire la vision humaine mais à construire des modèles algorithmiques qui permettent de décrire les propriétés des images en fonction des cas d'usage : détection de piéton, reconnaissance automatique d'objets, classification d'images du même type, analyse de sentiment, reconnaissance de caractère, etc...

La vision par ordinateur se divise en deux catégories :

- **Le traitement d'images « bas niveau »** : la détection des contours, la segmentation, l'amélioration de résolution, la compression, la suppression des bruits, etc.

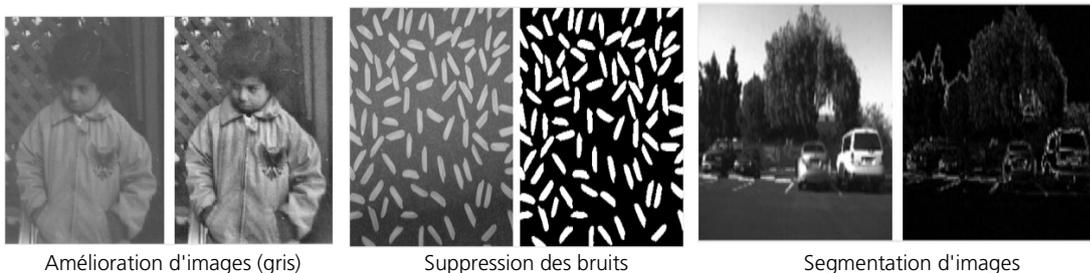


Figure 67 - traitement bas niveau des images

- **L'analyse d'image « haut niveau »** qui correspond aux techniques d'interprétation, de reconstruction et de compréhension d'une scène 3D à partir d'une ou plusieurs images 2D.



Figure 68 - Suivi et reconstruction 3D

Les principaux domaines d'application sont les suivants :

Domaine	Exemples d'application
<b>Téledétection</b>	Astronomie, Météo, reconnaissance de structures/activités humaines, Cartographie, appariement de cartes, classification et archivage de photos.
<b>Architecture</b>	Maquettes 3D à partir de photos, réalité virtuelle, réalité augmentée.
<b>Industrie</b>	Contrôle qualité, automatisation (contrôle de la vitesse d'une chaîne production).
<b>Imagerie médicale</b>	Reproduction d'organes en 3D à partir d'imagerie médicale, planification d'interventions, tomographie, Comptage de cellules.
<b>Sécurité</b>	Systèmes de surveillance, détection de mouvement, biométrie.
<b>Robotique</b>	Navigation autonome, suivi d'objets, interactions humains machines.

Tableau 7 - Applications de l'IA en imagerie

## Chronologie des progrès de la vision par ordinateur

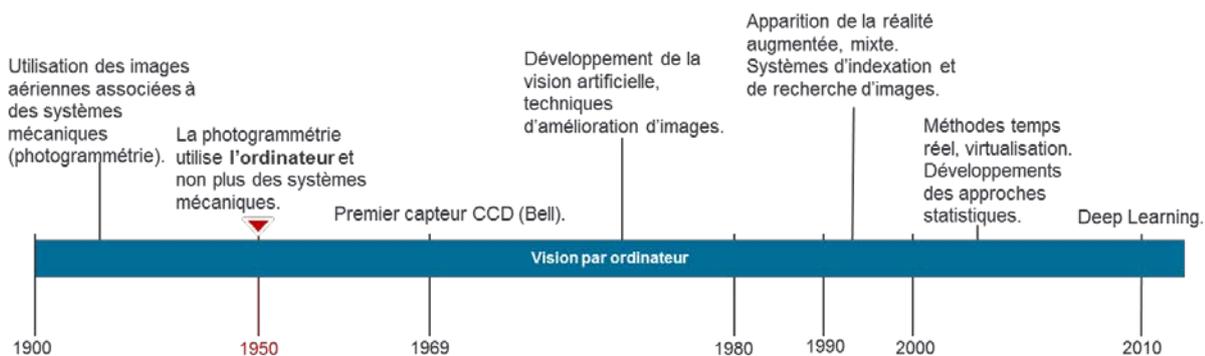


Figure 69 - Timeline de la vision par ordinateur<sup>57</sup>

Le besoin de traiter les images est apparu, dans les années 1950 en physique des particules où les scientifiques scrutent les composants ultimes de la matière en bombardant des atomes pour détecter des trajectoires de particules. Dans les années 1960, les chercheurs se sont intéressés à la lecture optique pour reconnaître les caractères dactylographiés d'un texte. Pour l'écriture manuscrite, il a fallu attendre une vingtaine d'années de plus pour que de telles techniques soient opérationnelles (par exemple pour lire les adresses postales ou les montants des chèques bancaires).

Jusqu'à la fin des années 60, les images (photos de satellites, des images d'ADN au microscope électronique ou des radiographies) étaient de mauvaise qualité, difficile à exploiter et surtout le traitement était très long. En 1969, le premier capteur CCD (Bell) est apparu ce qui a permis de développer les premières méthodes numériques. Dans les années 1990, suite au développement de la vision artificielle et des techniques d'amélioration d'images, l'extraction de primitives est devenue possible (contours, points d'intérêts).

<sup>57</sup> ATAWAO

La vision par ordinateur s'est ensuite développée à partir de reconnaissance de formes simples et abstraites comme des cubes ou des polyèdres dont on détectait les sommets et les côtés. Par la suite, des images numérisées ont progressivement été utilisées au gré des possibilités des ordinateurs.

## **Les étapes de l'analyse d'image**

L'image est acquise par un système optique (photos, caméras) et parfois dans des gammes de longueur d'onde que l'homme ne perçoit pas (infra-rouge, ultraviolet, rayon x, etc.). Les différentes étapes de l'analyse d'une image sont les suivantes :

1. Acquisition.
2. Traitement de base : filtrage et extraction de caractéristiques.
3. Traitement avancé : reconnaissance des formes, reconstruction, calculs de mouvements.

Les données de travail sont les suivantes :

- Les données de base de l'image (primitives) : pixels, contours, segments ...
- Les caractéristiques photométriques : niveau de gris, de couleurs.
- Les caractéristiques géométriques : emplacement de caméras, mouvements.
- Les caractéristiques d'exposition : luminance.

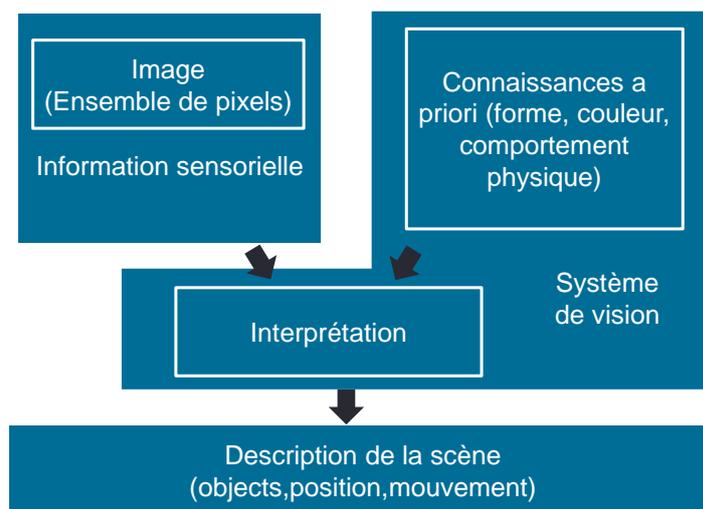


Figure 70 - Théorie de la vision

### ▪ **Les niveaux de complexité de l'analyse d'images**

En analyse d'image, chaque cas d'usage correspond à un niveau de complexité différent. Les principaux niveaux de complexité sont les suivants.

Niveau 1 : Amélioration des caractéristiques d'une image.

Niveau 2 : Extraction des caractéristiques.

Niveau 3 : Reconnaissance de primitives (tracking).

Niveau 4 : Incrustation d'objets (réalité augmentée), suppression d'objets (réalité diminuée).

Niveau 5 : Stéréovision (détection et localisation tridimensionnelle d'un objet en mouvement dans un environnement).

Niveau 6 : Acquisition de modèles et extraction de caractéristiques en temps réel.

## Les problèmes classiques en reconnaissance d'image

### ▪ La segmentation (Bas niveau)

La segmentation des parties d'une image est le principal problème du traitement d'images. Elle consiste à partitionner une image en régions connexes. Le partitionnement des régions permet ensuite d'extraire des caractéristiques de forme, position et taille. Une bonne segmentation contient les propriétés suivantes :

Stabilité: la segmentation obtenue ne doit pas varier beaucoup lorsque les conditions d'acquisition varient légèrement (bruit, illumination, point de vue,...).

Régularité: les régions obtenues doivent être simples à manipuler (taille suffisante, forme régulière,...).



Figure 71 - Exemples de problèmes en reconnaissance vidéo

### ▪ La reconstruction 3D (Haut niveau)

La reconstruction en 3 dimensions à partir d'images en 2 dimensions s'appuie sur plusieurs techniques. La **calibration** de la caméra (distance focale, centre de l'image, position, orientation) utilisée pour filmer une scène et construire une image est nécessaire pour comprendre comment les points de la scène se sont projetés sur l'image. Ensuite, il faut **associer** les points identiques présents sur plusieurs images. Une fois l'association réalisée, il faut **reconstruire** en déterminant les coordonnées 3D des points à partir des associations faites et des paramètres de calibration. Pour finir, il faut « trouver » les **surfaces** auxquelles appartiennent les points prélevés pour obtenir un modèle dense. Dans certains cas, le nuage de points formé suffit à définir visuellement la forme de l'objet mais la reconstruction est alors clairsemée.

## Les techniques utilisées en Vision par ordinateur

- **Transformée de HOUGH**

La transformée de HOUGH est une technique de reconnaissance de formes inventée en 1962 par Paul HOUGH et utilisée dans le traitement d'images numériques. L'application la plus simple permet de détecter les lignes présentes dans une image, mais des modifications peuvent être apportées à cette technique pour détecter d'autres formes géométriques (DUDA et Peter Hart en 1972).

- **Transformée de RADON et de FOURIER**

Le théorème de projection de RADON est la possibilité de reconstituer une fonction réelle à deux variables à l'aide de la totalité de ses projections selon des droites concourantes. C'est la fonction de base pour extraire une information ou caractéristique d'une image.

- **Apprentissage profond**

Les techniques d'apprentissage profond présentées précédemment ont permis des progrès importants et rapides dans les domaines de l'analyse du signal visuel et notamment de la vision par ordinateur.

## L'apport de l'intelligence artificielle

Comparées aux techniques traditionnelles de vision par ordinateur, les techniques de ML et en particulier d'apprentissage profond apportent un saut de performance majeur dans la précision de classification des objets. C'est ce qui explique l'engouement pour ces techniques aujourd'hui. Les réseaux de neurones sont «formés» à partir de l'énorme quantité d'images et de vidéos disponibles en libre accès sur internet. Par ailleurs, l'apprentissage profond offre une polyvalence supérieure aux algorithmes de vision basés sur des moteurs de règles.

Les algorithmes basés sur des règles sont matures, éprouvés et optimisés, tandis que ceux basés sur de l'apprentissage offrent plus de précision et de polyvalence, mais nécessitent de grandes quantités de ressources de calcul et de données. La solution actuelle est d'utiliser les approches hybrides, qui combinent la vision par ordinateur traditionnelle et l'apprentissage profond.

Dans une caméra de sécurité, un algorithme basé sur des règles peut détecter efficacement des visages ou des objets dans une scène. Ensuite, un segment plus petit de l'image où le visage ou l'objet a été détecté est traité par apprentissage profond pour la vérification d'identité ou la classification d'objet.

- **Reconnaissance faciale**

L'apprentissage profond a amélioré les systèmes de reconnaissance faciale. Sur des exemples extrêmement difficiles et dans des conditions d'éclairage arbitraire, le taux de reconnaissance s'est amélioré à plus de 95% avec un taux de faux positifs de 1 sur 10 000.

- **Correction géométrique**

Des algorithmes d'apprentissage pour détecter automatiquement et rectifier des photos de permis, cartes de crédit ou passeports commencent à se développer. Les photos de ces documents présentent des défis importants en raison de l'orientation arbitraire de la caméra, de l'éblouissement et des mauvaises conditions d'éclairage.

- **Détection de la vivacité**

L'apprentissage profond améliore considérablement les systèmes de détection de la vivacité pour savoir si on détecte bien un humain ou un objet. Ce sont des systèmes qui combinent un grand nombre de prises et cherchent une corrélation (indice de vivacité) entre ses prises de vue.

- **Analyse vidéo**

Les systèmes d'analyse vidéo basés sur de l'apprentissage profond réduisent considérablement le taux de fausses alarmes en améliorant notamment la capacité de suivi d'un même objet qui se déplace.

## MOBILEYE

C'est le système anticollision disposant de la technologie la plus avancée disponible sur le marché pour les véhicules. Ce système d'alerte de collision aide les conducteurs à garder un œil sur les cyclistes, piétons et motocyclistes difficiles à voir dans les angles morts.

Le système de vision par ordinateur de MOBILEYE se base sur des techniques d'apprentissage profond. Les algorithmes de détection utilisent un apprentissage supervisé. La startup israélienne a été acquise par INTEL en 2017 pour un montant de 15 Mds de dollars.



Figure 72 - MOBILEYE interprète un flux vidéo pour avertir les conducteurs des dangers imminents<sup>58</sup>

---

<sup>58</sup> Mobileye

## La recherche et les problèmes actuels posés par l'IA

- **Réduire le besoin de puissance de calcul**

Les avantages apportés par l'apprentissage profond ne sont pas sans compromis et défis. L'apprentissage en profondeur nécessite une énorme quantité de ressources informatiques pour la phase d'entraînement. Des recherches récentes montrent une relation étroite entre la puissance de calcul requise pour différents modèles d'apprentissage profond et leur précision.

Passer de 75% à 80% de précision dans une application basée sur la vision nécessite des milliards d'opérations mathématiques supplémentaires.

- **Améliorer la qualité de classification avec des images en résolution plus basse**

Les résultats du traitement de la vision à l'aide de l'apprentissage profond dépendent de la résolution de l'image. Atteindre des performances adéquates dans la classification des objets, par exemple, nécessite des images ou des vidéos hautes résolutions.

- **Associer des images visuellement différentes**

La recherche de corrélation entre 2 images d'un même objet ayant très peu de similarité visuelle est également un défi important dans la reconnaissance d'images.

- **Associer à un individu à plusieurs sources d'images**

La capacité d'identifier une personne qui se déplace sur plusieurs vidéos et dans des contextes de déplacement différents en prenant en compte des éléments de la scène autre que l'individu lui-même est également un problème ardu.

- **Reconnaître des éléments subjectifs**

Aujourd'hui, le problème de détection de scènes de violences se heurte à la définition même de la violence qui peut être différente pour deux personnes ou même pour des cultures différentes.

## Traitement automatique de la parole et du langage naturel (Natural Language Understanding and Processing)

Le traitement automatique du langage naturel (TAL ou NLU/NLP en anglais) parlé et écrit est un champ d'application important pour les techniques d'apprentissage de l'intelligence artificielle. C'est l'application de techniques informatiques à tous les aspects du langage humain : compréhension de la parole ou du texte, traduction et génération automatique. Les techniques de TALs traitent aujourd'hui efficacement les informations « naturelles » (documents écrits ou sonores) contenus dans les médias digitaux (mails, pages web, sms, boîtes vocales, etc.).

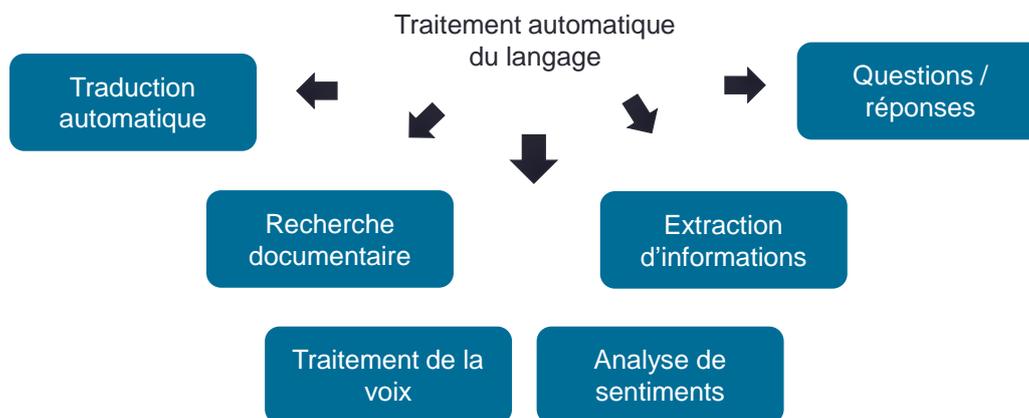


Figure 73 - Applications du TAL

### Chronologie des progrès du traitement du langage naturel

Historiquement, les premiers travaux importants dans le domaine du TAL ont porté sur la traduction automatique, avec, dès 1954, la mise au point du premier traducteur russe / anglais automatique. En 1962, la première conférence sur la traduction automatique est organisée au MIT. Les premiers travaux portent sur la construction de dictionnaires multi langues, car les premières techniques consistent essentiellement à traduire du mot à mot. Les premières recherches butent sur la difficulté de traduire un contexte, problème jugé insoluble.

Les années 70 voient le développement des approches sémantiques et ontologiques. L'importance du contexte pour comprendre un texte est mise en avant. On cherche à élaborer un cadre général de représentation des connaissances. A la fin des années 70 de nouvelles approches permettent d'obtenir une première compréhension de la grammaire. Mais jusqu'au début des années 90, les techniques de TAL butent sur la complexité de description préalable des connaissances (ontologie) pour permettre un traitement efficace du langage.

Ce problème spécifique est aujourd'hui en partie résolu par l'introduction de techniques d'apprentissage qui permettent d'effectuer des corrélations pertinentes sans avoir à décrire l'ensemble des connaissances. On cherche à modéliser uniquement l'apprentissage automatique du langage plutôt que l'ensemble des connaissances nécessaires.

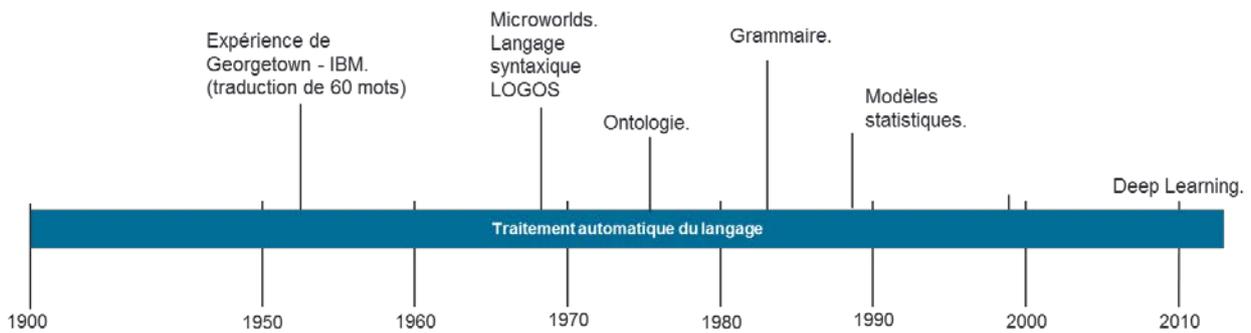


Figure 74 - Timeline du TAL<sup>59</sup>

Aujourd’hui, le TAL couplé au ML est un champ de recherche particulièrement actif. De nombreuses applications (traduction automatique, recherche documentaire, interfaces en langage naturel) ont atteint un niveau de performance proche des experts humains.

Le traitement de la parole est une discipline technologique dont l’objectif est la captation, la transmission, l’identification et la synthèse de la parole. Voici quelques techniques de traitement de la parole :

- Dynamic Time Warping.
- Modèles de Markov Cachés (Hidden Markov Models).
- Réseaux de neurones.

Un système de reconnaissance du locuteur comporte quatre éléments principaux :

- Un module d’acquisition et de paramétrage du signal.
- Un modèle d’apprentissage. Celui-ci crée une référence vocale à partir d’un échantillon de voix.
- Un module de calcul de ressemblance pour calculer la ressemblance entre un échantillon de signal et une référence correspondant à une personne donnée.
- Un module de décision qui associe le calcul de ressemblance à un locuteur.

Le traitement d’un texte correspond schématiquement aux étapes suivantes<sup>60</sup> :

- Segmenter un texte en unités lexicales (mots).
- Identifier les composants lexicaux et leurs propriétés (traitement lexical).
- Identifier des constituants (groupe) de plus haut niveau, et les relations (de dominance) qu’ils entretiennent entre eux. (traitement syntaxique).
- Construire une représentation du sens, en associant à chaque concept un objet ou une action dans un monde de référence. (traitement sémantique).
- Identifier la fonction dans le contexte particulier de la situation. (traitement pragmatique).

<sup>59</sup> ATAWAO

<sup>60</sup> LIMSI, introduction au TAL

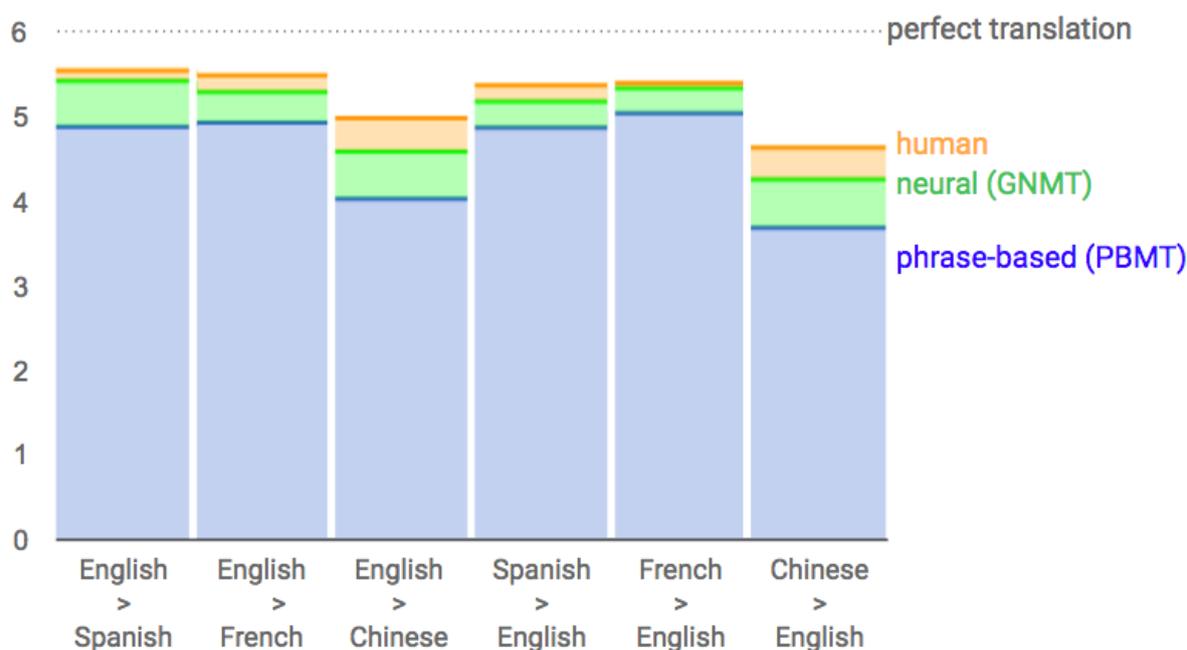


Figure 75 - Qualité de traduction de GOOGLE sans (bleu) et avec (vert) un réseau de neurones<sup>61</sup>

La recherche actuelle se focalise sur 2 difficultés importantes :

- **L'ambiguïté.** Le langage naturel est ambigu et c'est un trait caractéristique. Cette ambiguïté se manifeste par plusieurs interprétations possibles pour chaque groupe linguistique, phonème, mot ; phrase, etc... Par exemple, la prononciation de la lettre « u » est différente dans les mots « ou », « puits », « oiseau ».
- **L'implicite.** Le langage correspond essentiellement à un échange entre humains ayant une excellente compréhension du contexte et de l'environnement. Cette compréhension n'est pas naturellement accessible à une machine qui essaye de dialoguer ce qui rend la compréhension complète de la majorité des énoncés difficile, voire impossible. Dans les phrases, « *la personne présente un document à son directeur. Il présente. Il pose des questions. Il répond.* » Le premier « Il » fait implicitement référence à la personne et le second au directeur.

## L'apport de l'intelligence artificielle

L'un des premiers apports de l'IA et des réseaux de neurones correspond à la représentation d'un mot dans un réseau de neurones à 2 dimensions. L'intérêt est de pouvoir associer un ensemble de contextes possibles pour l'utilisation d'un mot. On parle de transformation de mot en vecteur ou de méthode « Word2Vec ». L'exemple suivant présente une représentation de ce type.

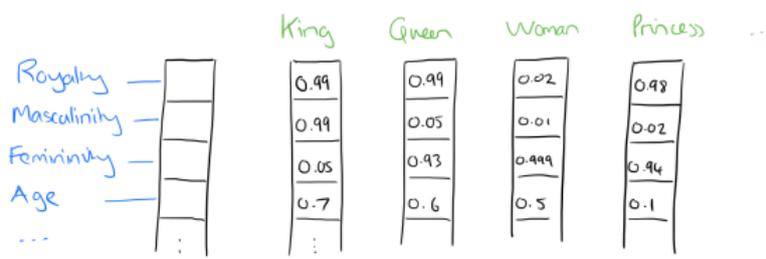


Figure 76 - Représentation de type Word2vec<sup>62</sup>

<sup>61</sup> Google

<sup>62</sup> <https://blog.acolyer.org/word2vec-distributed-representation/>

Une fois la représentation d'un mot finalisée, le prochain travail correspond à trouver des algorithmes d'IA permettant de prendre en compte la dépendance syntaxique des mots entre eux. Le premier concept de ce problème a été proposé avec l'introduction d'algorithme de type RNN (Recurrent Neural Network) qui prend en compte correctement l'ordre des mots dans une phrase. Le problème est que ce type d'algorithme peut s'avérer très long à entraîner. Pour pallier ce problème d'autres modèles se développent comme les Long Short Term Memory qui prennent en compte des séquences longues sans complexifier l'entraînement.

Néanmoins, même si ces modèles sont adaptés, certains acteurs utilisent des réseaux de type convolutionnel (CNN) adaptés plutôt aux données non temporelles comme les images. Facebook utilise un réseau de ce type pour son algorithme de traduction par exemple. GOOGLE développe également un nouveau modèle appelé Transformer plus performant qu'un modèle RNN ou CNN.

L'IA permet de résoudre les problèmes suivants, par ordre de complexité croissante :

- **L'analyse de sentiments.** Un modèle de réseau de type CNN permet facilement de déterminer un caractère positif, neutre ou négatif d'une publication.
- **La classification de documents.** C'est une généralisation du problème précédent à d'autres catégories.
- **La traduction automatique.** C'est un problème différent et plus compliqué. Cela nécessite de prévoir une séquence complète de mots et non plus une seule catégorie. Dans ce domaine, des réseaux de type RNN sont utilisés en général.
- **Le résumé de texte.** Dans ce modèle on cherche à extraire les éléments importants d'un texte. C'est tout l'enjeu de l'analyse automatique utilisée en due diligence automatique par exemple. Dans ce cas, c'est un concept de type **Attention Mechanism** qui est utilisé.
- **Questions / réponses.** C'est le problème le plus complexe à résoudre. Cela nécessite une compréhension de la question, une recherche d'information pertinente et une production de réponse adapté.

## La recherche actuelle en intelligence artificielle en France

La recherche actuelle en techniques algorithmiques s'oriente vers l'application des techniques de ML et de DL à des usages réellement exploitables, à l'amélioration de la compréhension des réseaux de neurones et de la performance des algorithmes au sens large. Selon le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, environ 268<sup>63</sup> équipes en France ont des activités dans le domaine de l'IA. Les principaux organismes de recherche en IA en France à portée internationale sont les suivants :



Figure 77 - Exemples de laboratoires de recherche en IA en France<sup>64</sup>

Les recherches adressent notamment les objectifs suivants :

### Une optimisation des calculs (deep learning optimisation, on device AI)

Ce travail a pour objectif d'essayer de réduire les besoins de puissance de calcul ou d'essayer de faire un meilleur usage de la mémoire disponible. Elle correspond par exemple à proposer des modèles de réseaux de neurones plus performants en réduisant les dimensions des « *feature maps* » (le résultat d'une convolution) sans perdre de précision ou en optimisant les calculs via une technique de type Memory-efficient Computation (MEC). Un autre exemple correspond à fournir une bibliothèque applicative déjà entraînée comme celle fournie par APPLE, COREML pour développer des applications d'IA pour mobile.

Une équipe de recherche de MICROSOFT en Inde a mis au point des modèles d'arbres de décision qui exécutent du ML dans des dispositifs à forte contrainte de ressource comme les capteurs ou avec moins de 2 Ko de RAM.

Une troisième approche développée par GOOGLE, notamment pour la gestion de son clavier sous ANDROID, correspond à essayer de décentraliser l'apprentissage. GOOGLE appelle cette approche du « Federated learning », chaque appareil mobile réalisant une tâche simple d'apprentissage. L'ensemble des tâches est ensuite concaténé au fil de l'eau et remis à disposition des utilisateurs.

### La compression des réseaux de neurones : l'intelligence artificielle embarquée

Le principe de la compression des réseaux de neurones est qu'au lieu de centraliser les données et de les traiter dans le cloud, on les décentralise complètement en les traitant directement sur l'appareil.

Cette technologie permet ainsi d'utiliser l'appareil sans connexion, de réduire les fuites de données et la surveillance. Les technologies de traitement de la voix en local existent déjà.

<sup>63</sup> <http://m.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

<sup>64</sup> Sénat. ISAI, Paul Strachman

## Une utilisation plus efficace des données d'apprentissage

L'efficacité actuelle des algorithmes d'apprentissage repose sur la fourniture d'un ensemble de milliers de données du même type. C'est une méthode inefficace et très coûteuse en temps machine. C'est une méthode qui ne correspond pas au mode d'apprentissage d'un être humain qui n'a en général besoin que de quelques exemples pour comprendre leurs caractéristiques (« *sur les exemples, un chien a 4 pattes* ») et les généraliser à l'ensemble des exemples de même nature (« *l'espèce canine possède 4 pattes* »).

Dans ce domaine, plusieurs approches se développent. Le meta learning (également one-shot learning ou few-shot learning) est une approche basée sur la fourniture de concepts et de quelques exemples plutôt que d'essayer de fournir une exhaustivité d'exemples. C'est une approche développée notamment par VEDECOM pour reconnaître un piéton sur une image. C'est une approche adaptée à la reconnaissance de situations dans un environnement très ouvert et très changeant.

Une autre approche correspond à apprendre en testant avec peu ou pas de données préalables. Ce sont les approches par renforcement. L'algorithme COACH (Convergent Actor-Critic by Humans) intègre un feedback réalisé par des humains après la réalisation d'une tâche pour améliorer sa précision. Une équipe de BERKELEY développe le concept de Constrained Policy Optimisation (CPO) qui fixe uniquement des règles de sécurité à respecter, la machine réalisant son apprentissage en respectant l'ensemble de ces règles.

Une troisième approche correspond à essayer d'utiliser l'ensemble des données disponibles à un moment donné et non plus un certain type de données. L'objectif n'est plus la performance de précision, mais la rapidité avec un niveau de performance variable en fonction des situations. L'intérêt est de permettre à une intelligence artificielle de prendre une décision autonome, ce que l'on ne sait pas faire aujourd'hui en dehors des jeux de GO ou d'Échecs. C'est une approche très utilisée pour la recherche sur le véhicule autonome.

La structuration des données numériques pour répondre à des besoins non déterministes pour tenir compte d'incertitude forte par exemple, est également un thème de recherche important.

- **La difficulté à disposer de données représentatives**

La difficulté de développement d'IA en santé vient du fait que le corps humain, son anatomie et sa variabilité sont très complexes. La complexité est encore plus grande parce que les maladies sont souvent déclenchées ou modulées par la génétique, qui est unique à chaque individu. Mesurer avec précision un processus biologique est une autre difficulté spécifique. Une dernière difficulté est liée à la présence de plusieurs maladies chez un patient, ce qui peut souvent fausser les prévisions. Enfin, les facteurs relatifs au mode de vie et à l'environnement jouent également un rôle important mais sont rarement disponibles.

Pour répondre à ces défis spécifiques, plusieurs structures de santé commencent à créer des cohortes de données beaucoup plus riches que les données actuellement disponibles : la base de données BIOBANK au Royaume Uni (100 000 patients) ou la plateforme de données en cancérologie MOONSHOT aux États-Unis. Certaines startups comme ENLITIC ou RESONANCE HEALTH adressent spécifiquement ce problème de la qualité des données de santé.

## La compréhension des mécanismes d'apprentissage : l'explicabilité

Les réseaux de neurones sont actuellement des «boîtes noires», offrant peu ou pas d'informations sur la façon dont les performances sont atteintes. L'IA explicable est un mouvement visant à développer des techniques d'apprentissage automatique qui produisent des modèles plus explicables tout en maintenant la précision de la prédiction. Une intelligence artificielle explicable, prouvable et transparente sera essentielle pour établir la confiance, encourager une large adoption et vérifier qu'elle respecte loi, règle ou règlement.

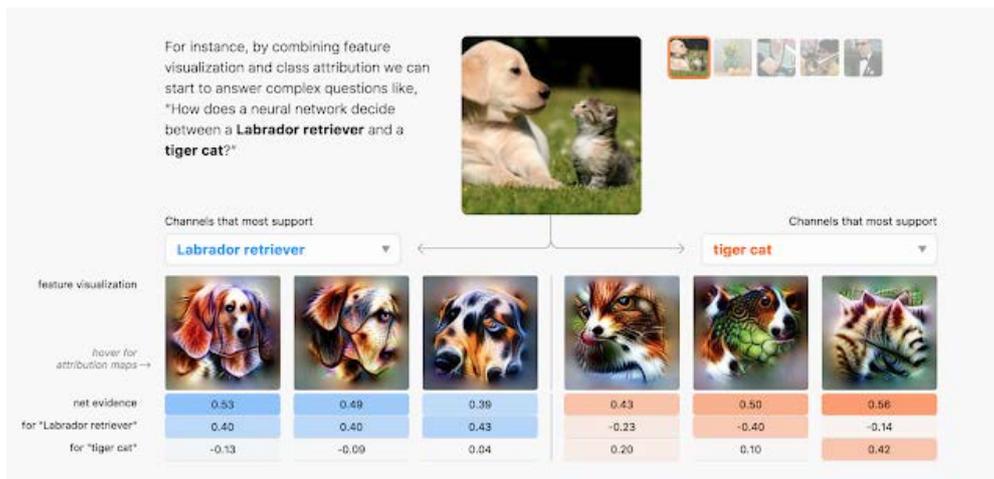


Figure 78 - Papier de recherche de Google sur l'explicabilité de mars 2018

## La résolution de tâches de compréhension évoluée : l'IA intégrative

Cette tendance correspond à différentes méthodes et techniques (reconnaissance d'image, reconnaissance de textes, interactions sociales) pour résoudre des problèmes cognitifs évolués comme le développement d'agents d'accompagnement pour des personnes en situation de dépendance par exemple.

On appelle cela de l'innovation par l'intégration. C'est une approche d'autant plus pertinente que les techniques actuelles sont souvent très empiriques et nécessitent beaucoup d'expérimentation et d'ajustements.



Figure 79 - Chat sur une valise<sup>65</sup>

Sur l'image précédente, n'importe quel humain ou système apprenant sait reconnaître un chat et une valise (perception). Mais aucun système apprenant au monde aujourd'hui ne sait dire si le chat peut tenir dans la valise, question à laquelle n'importe quel humain sait également répondre rapidement.

<sup>65</sup> iStock photo

## **La robustesse et la stabilité des modèles**

La robustesse d'un modèle est sa capacité à rester stable face à des perturbations externes. Cela correspond à la notion « *d'expérience ou de sens commun* » chez un humain. Plus un humain est expérimenté dans un domaine, plus il sait faire face à une situation anormale par rapport à sa propre expérience et distinguer effectivement ce qui est important de ce qui ne l'est pas.

Sur les systèmes apprenants, on cherche à distinguer les événements atypiques mais avec une vraie valeur pour l'analyse (recherche d'un virus dans un flux de donnée), des événements qui déstabilisent l'analyse comme de confondre un objet pour un autre. Les recherches sur la « robustesse » développent une capacité du système à rendre des résultats performants, même si une partie des données utilisées est fautive par exemple.

## Les verrous technologiques

### Le fléau de la grande dimension

Cette expression désigne une problématique majeure qui apparaît souvent en data science, lorsqu'on se retrouve avec un grand nombre de caractéristiques pour analyser efficacement les observations. L'exemple le plus courant pour illustrer le problème des dimensions est le suivant : 100 observations dans un espace à une dimension peuvent permettre d'obtenir des corrélations pertinentes pour une nouvelle observation. En revanche, dans un espace à 10 dimensions, les 100 observations précédentes sont des points isolés dans un vaste espace vide. Pour réaliser une couverture équivalente à celle des 100 points dans une dimension, il faudrait  $10^{20}$  observations ce qui est pratiquement impossible. Le fléau de la dimension est un obstacle majeur dans l'apprentissage automatique, qui revient souvent à tirer des inférences d'un nombre réduit d'observations dans un espace de possibilités de dimension élevée. Il devient nécessaire d'injecter des informations a priori de manière à contraindre le système d'apprentissage pour obtenir des inférences, ce qui revient à introduire des biais et donc des erreurs d'inférence.

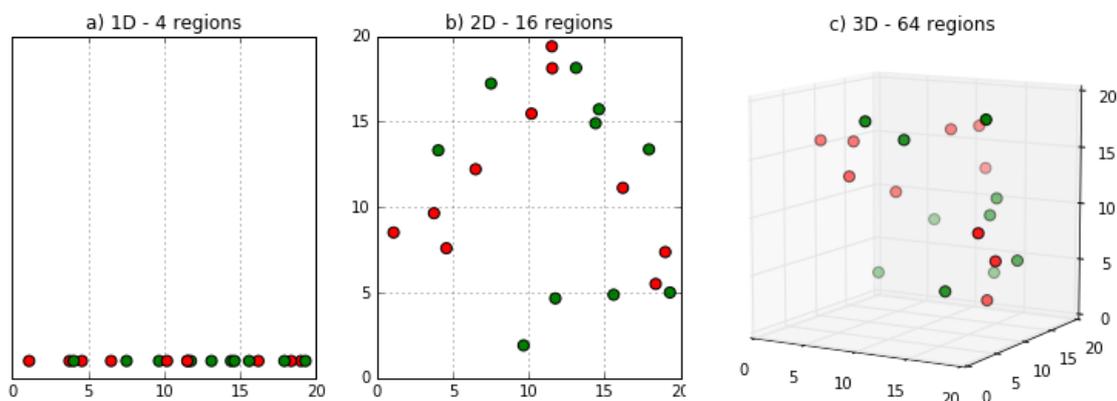


Figure 80 - Exemple de problème de l'augmentation des dimensions

### Le problème de la « perception » efficace du monde réel

Le raisonnement des machines est basé aujourd'hui majoritairement sur l'analyse de données et non sur une perception en continue de l'environnement comme les humains le font. La qualité des technologies d'intelligence artificielle augmentera fortement dès lors que leur perception se rapprochera de la capacité des humains dans ce domaine.

### Le problème de l'apprentissage sans supervision humaine

L'apprentissage d'un ordinateur nécessite aujourd'hui beaucoup d'exemples et donc du temps / homme pour être efficace. Cela freine considérablement le développement du potentiel. La mise au point de techniques d'apprentissage autonome (sans humain et sans supervision) permettra d'accélérer considérablement les usages de l'IA.

## Les plateformes et les challenges

Compte tenu de la spécificité des problèmes à résoudre en machine learning et de l'importance d'avoir une performance mesurable à défaut d'une explicabilité des modèles, l'écosystème organise de plus en plus le travail de recherche ou de développement en « plateformes de données » et en « challenges ».

Une même plateforme de données centralisée sur un thème (santé, données gouvernementales, données de transport, etc...) garantit une comparaison dans le temps des résultats produits par différents algorithmes de ML. L'organisation régulière de challenges fixe un niveau de performance que les équipes de Data science cherchent à battre régulièrement.

C'est un mode d'organisation clé pour améliorer régulièrement l'apprentissage. Les Gafa ou les grandes universités organisent la compétition en ML autour de challenges.

### **CHALLENGE.GOV, DATASCIENCECHALLENGE.GOV**

Challenge.gov est une liste de défis fournis par plus de 100 agences gouvernementales américaines pour stimuler l'innovation, notamment dans les problèmes ardues de ML. Plus de 740 défis ont été relevés depuis le lancement en 2010. À ce jour, les organismes fédéraux ont offert plus de 250 millions de dollars en prix.

De la même manière le gouvernement britannique a créé en 2017, le site du datascienceChallenge.org pour stimuler la recherche en data science. Le site est notamment soutenu par le Ministère de la Recherche, la Défense et les agences de renseignement britanniques.



Figure 81 - Sites de challenge.gov et datasciencechallenge des gouvernements américains et anglais

### **KAGGLE**

Créée en 2010, KAGGLE est la plus grande plateforme web privée organisant des compétitions en science des données et en machine learning. Sur cette plateforme, les entreprises proposent des problèmes en science des données et offrent un prix aux data scientistes obtenant les meilleures performances.

Selon WIKIPEDIA, en mai 2016, KAGGLE comptait plus de 536 000 utilisateurs enregistrés. La communauté s'étend sur 194 pays. Les compétitions de KAGGLE attirent régulièrement plus de mille équipes et individus. La communauté KAGGLE est active et engagée, avec 4 000 messages sur le forum par mois et plus de 3 500 soumissions de concours par jour. Il comprend également de nombreux chercheurs parmi les plus connus au monde, notamment des membres de l'équipe gagnante d'IBM Watson, JEOPARDY, et de l'équipe travaillant sur DeepMind de GOOGLE.

### **IMAGENET**

IMAGENET est une base de données d'images annotées, à destination des travaux de recherche en vision par ordinateur. Cette base est gérée par l'université de STANFORD. En 2016, plus de dix millions d'URLs ont été annotées à la main pour indiquer quels objets sont représentés dans l'image.

Depuis 2010, ImageNet organise un challenge annuel : ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC), ou "Compétition ImageNet de Reconnaissance Visuelle à Grande Échelle". Cette compétition de data science a pour but de détecter et classifier précisément des objets et des scènes dans les images naturelles. C'est

ce challenge qui est à l'origine de l'engouement pour le ML, lorsque des algorithmes de ce type ont permis du jour au lendemain de surclasser les algorithmes non apprenants.

Rang	Société	Taux d'erreur	Description
1	U. TORONTO	15.3 %	Deep learning
2	U. TOJYO	26.1 %	Machine Learning
3	U. OXFORD	26.9 %	Machine Learning
4	XERIX / INRIA	27.0 %	Machine Learning

Tableau 8 - Classement ILSVRC 2012

Les années 2010 ont vu des progrès spectaculaires dans le domaine du traitement d'images. En 2011, les plus faibles taux d'erreur de classification de la compétition ILSVRC étaient d'environ 25%. En 2012, la révolution de l'apprentissage profond permet de faire baisser subitement ce record à 16%. Les deux années suivantes verront le taux d'erreur baisser drastiquement à quelques pourcents.

En 2014, plus de cinquante institutions ont participé à la compétition ILSVRC. En 2016, le challenge a été remporté par l'équipe chinoise de CUI Image (Shang Tang Technology et Hong Kong Chinese).

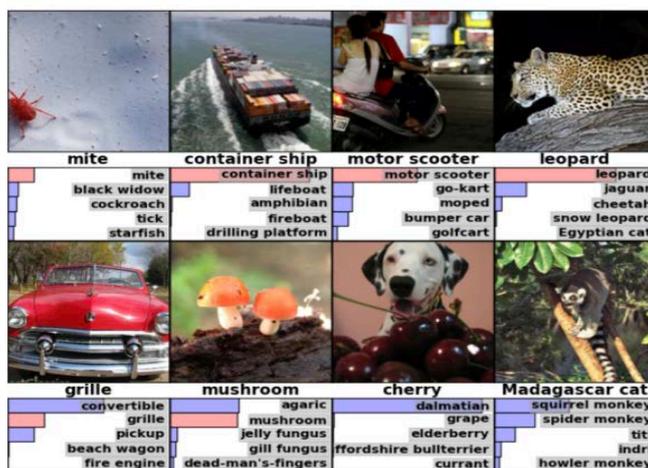


Figure 82 - Classification ImageNet avec un Réseau de neurones à convolution<sup>66</sup>

## NIST

Le National Institute of Standards and Technology, ou NIST, est une agence du département du Commerce des États-Unis. Son but est de promouvoir l'économie en développant des technologies, la métrologie et des standards de concert avec l'industrie. Cette agence a pris la suite en 1988 du National Bureau of Standards fondé en 1901 avec substantiellement les mêmes missions.

De juin à septembre 2017, le NIST a évalué 41 algorithmes de reconnaissance faciale de 16 développeurs. Les algorithmes ont été appliqués aux jeux de données de photographies 2D de deux manières: vérification des images de photojournalisme «sauvage» et des médias sociaux, et identification des visages de vidéos de surveillance.

Le Défi du Prix de Reconnaissance de Visages (FRPC) vise à mesurer la précision de la reconnaissance automatique des visages avec des images sous-optimales par exemple. Les images sous-optimales sont caractérisées par une pose de la tête non frontale, une faible résolution, un éclairage médiocre et inégal, une expression faciale non neutre, etc.

<sup>66</sup> ImageNet

Par ailleurs, l'association française FRENCHDATA organise depuis quelques années, le concours du « *meilleur data scientifique de France* ». L'édition 2018 a réuni 400 participants sur un cas d'usage sociétal.

## L'interface homme / machine

L'Interface Homme machine représente l'ensemble des dispositifs permettant d'interagir avec un système comme un ordinateur. Comme tout autre programme informatique, l'intelligence artificielle nécessite une IHM pour communiquer ses résultats. L'IA permet deux types d'usages : des usages d'« aide à la décision » et des usages de type « décision autonome ».

Dans le premier cas où l'IHM est en général un ordinateur ou un support mobile, nous présentons ici un panorama de plateformes applicatives sectorielles (Commerce, réseau social, réservation touristique) dans lesquelles les technologies d'apprentissages se développent.

Pour le second cas, l'IHM correspond à un robot (voiture, drone, robot industriel, etc..) pour exécuter les tâches accompagnant la prise de décision autonome.

## Les usages de type « Aide à la décision », les plateformes applicatives

Cette partie présente les catégories de plateformes applicatives existantes (e-commerce, réseau social, systèmes experts, etc..) les plus impactées par les technologies d'intelligence artificielle. Ces plateformes ne sont pas toutes liées à un secteur économique particulier. Elles représentent les usages les plus matures d'Internet. Ces plateformes adressent principalement les usages suivants :

Domaine	Exemple d'usage
Santé	Aide au diagnostic et aux soins pour les professionnels.
Services financiers	Trading, analyse de marché, conseiller financier (robo-advisor) ou évaluation de risques.
Commerce	Recommandations, support clients, soit en interaction directe automatique avec l'utilisateur (Chatbot), soit en service d'analyse et de conseil pour les personnes en charge de ce support.
Ressources humaines	Matching annonce/candidat, évaluation automatique de candidatures ou prévisions de succès à un poste ou encore motivation d'un employé sur la durée.
Médias, contenu	Publication autonome de contenus et d'actualités, recommandation (matching contenu / utilisateur).

### **SANTE**

*Usages clés : Aide au diagnostic, aide à la recherche clinique.*

En santé, les principales plateformes de données adressent les usages de gestion de la recherche clinique (CRO) ou de gestion des malades (dossier patient) et notamment ses données d'imagerie.

L'intelligence artificielle est utilisée avec les données disponibles de ces plateformes pour améliorer :

- la recherche clinique. Les sociétés OWKIN (France) ou BENEVOLENTAI adressent ce besoin. Elles identifient des pistes de recherche nouvelles à partir des données de recherche disponibles au sein des laboratoires.
- Le diagnostic avec des services comme ceux proposés par WATSON en oncologie, THERAPIXEL (France) en imagerie ou CARDIOLOGS (France) en cardiologie.

L'intelligence artificielle est utilisée pour produire une corrélation entre des données cliniques de même nature comme l'ensemble des publications médicales traitant d'une pathologie ou l'ensemble des radiologies du cerveau. Plusieurs dizaines de milliers de données sont utilisées. Dans certains cas, comme l'analyse de clichés en dermatologie, le score de l'IA dépasse les performances des meilleurs humains dans le domaine.

## **SERVICES FINANCIERS**

*Usages clés : Opérations FrontOffice (automatisation des échanges clients), opérations backoffice (optimisation de portefeuilles, analyse de marchés, calculs de crédits), plateformes de trading ou encore respect de la réglementation.*

Le secteur financier est très digitalisé, les données disponibles sont importantes.

Dans le domaine FrontOffice, le développement des agents conversationnels plus intelligents favorise la collecte de données de consommation ou la réalisation d'opérations courantes comme l'ouverture de compte. ORANGE BANK a acquis la technologie WATSON pour faciliter le travail courant des chargés de clientèle et préparer automatiquement des réponses aux questions courantes. BANK OF AMERICA a également lancé la plateforme ERICA basée sur de l'intelligence artificielle pour aider le client à faire ses démarches.

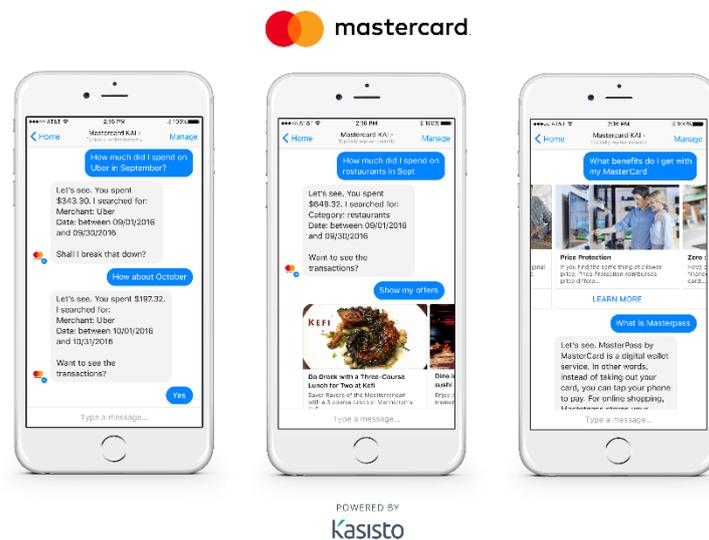


Figure 83 - Agent conversationnel IA KAI de Mastercard

En backoffice, le calcul de scores de crédits fait déjà appel à des algorithmes statistiques (arbres de décision, régression, etc..) sur l'historique des paiements. Dans ce domaine l'intelligence artificielle est utilisée pour enrichir les modèles de scoring par des analyses sur des données semi ou non structurées (activité sur les médias sociaux, messages textuels, mails, etc...). L'application de l'IA permet d'obtenir des analyses comportementales comme les habitudes de consommation ou la motivation à rembourser un prêt. L'IA peut aussi être utilisée pour faciliter l'accès au crédit, lorsque qu'un historique de données est peu disponible.

L'IA est utilisée pour optimiser les modèles de risques comme ceux de stress tests. Par exemple, une banque américaine a développé un modèle d'IA non supervisé pour vérifier la qualité de ses modèles d'investissements

de ses produits dérivés. L'algorithme « apprend » à évaluer les projections dans le temps qui semblent anormales et prévient les services concernés.

Dans le domaine du trading, l'IA est utilisée pour analyser les habitudes de trading des clients de la banque pour essayer d'anticiper les prochains ordres d'achat ou de vente. La startup japonaise ZAISAN a commencé à déployer auprès de l'institution financière SMBC NIKKO SECURITIES, sa technologie d'IA qui prédit le cours d'une action 30 minutes dans le futur.



Figure 84 - Prédiction future du cours du bitcoin avec la technologie de ZAISAN

En détection automatique des fraudes, CITY BANK a acquis la société FEEDZAI spécialisée en data science pour améliorer la détection automatique des fraudes. L'algorithme de ML de FEEDZAI analyse en temps réel d'énormes quantités de données structurées et semi structurées pour identifier des « patterns » de fraudes.

La startup DREAMQUARK (France) était élue le 8 décembre 2017 Fintech de l'année. Sa plate-forme d'intelligence artificielle pour le développement d'applications autour de la segmentation client, de l'octroi de crédit ou encore de la rétention client, est utilisée par une dizaine de clients majeurs de la banque et de l'assurance (BNP Paribas et AG2R La Mondiale).

## **COMMERCE**

*Usages clés : Recommandations d'achat, ciblage produit / utilisateur, support client, recherche améliorée de produits.*

Le secteur du commerce est très digitalisé aujourd'hui et largement dominé par les acteurs américains comme AMAZON ou chinois comme BAIDU. Un volume de données important est disponible.

La personnalisation du commerce est le sujet majeur de l'IA dans le commerce. La personnalisation n'est pas nouvelle mais elle se base généralement sur les données relatives aux best-sellers, l'historique de consultation et d'autres paramètres d'agrégation. L'intelligence artificielle permet de mettre en place une expérience client plus personnalisée en fournissant des recommandations en fonction de leurs préférences réelles. L'IA possède la capacité d'apprendre les intérêts, les passions et les déclencheurs qui rendent plus susceptible un consommateur d'effectuer un achat.

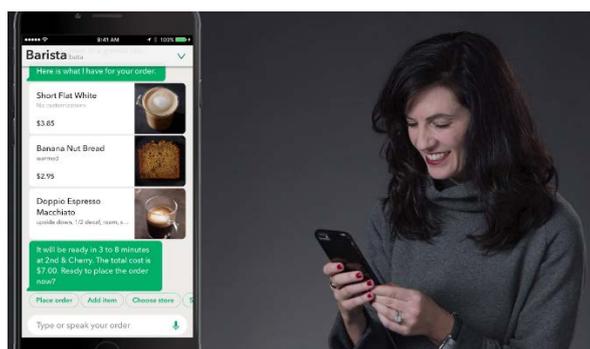


Figure 85 - Agent intelligent Starbucks Barista<sup>67</sup>

La société STARBUCKS a récemment lancé « My Starbucks Barista », qui utilise l'IA pour permettre aux clients de passer des commandes vocalement ou via une messagerie. L'algorithme s'appuie sur les préférences du client, l'historique des achats, les données tierces et les informations contextuelles.

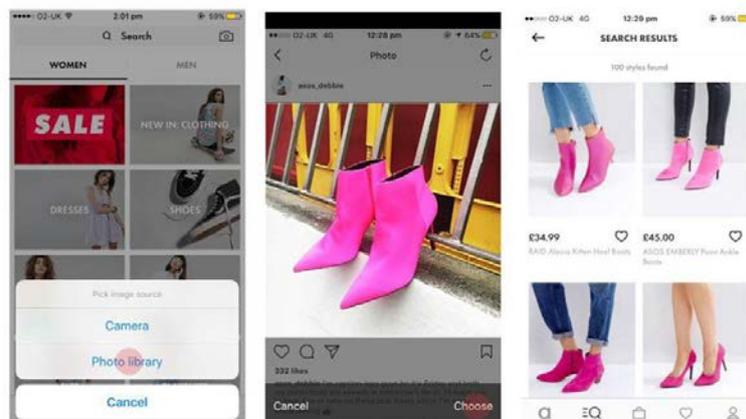
Dans le commerce de détail, l'intelligence artificielle est par exemple utilisée avec la reconnaissance faciale pour capturer les comportements d'un client dans un magasin. Si un consommateur s'attarde devant un produit cette information sera stockée pour être utilisée lors de sa prochaine visite. À mesure que l'IA s'améliore et se développe, un client pourra voir des offres spéciales sur l'écran de son ordinateur en fonction de son temps d'attente. MICROSOFT a développé le service « Mall kiosk », qui recommande des produits grâce à la reconnaissance faciale ou vocale des réactions de consommateurs.



Figure 86 - Kiosque produit Microsoft<sup>68</sup>

Les assistants virtuels constituent également une tendance importante pour « assister » un consommateur pendant sa phase d'achat. MONA, l'assistant commercial virtuel développé par d'anciens employés d'AMAZON simplifie les achats mobiles et propose des offres adaptées à ses préférences. Plus l'utilisateur passe du temps à interagir avec MONA, mieux il le connaît.

Le machine learning améliore les résultats de recherche pour les consommateurs. Le ML peut également générer un classement de recherche, ce qui permet au site de trier les résultats de recherche par pertinence, au lieu de mots clés. Sur un site de commerce, un moteur de recherche performant entraîne un développement du chiffre d'affaires. Des plateformes comme ASOS ou EBAY intègrent des moteurs de reconnaissance d'image basés sur des techniques d'IA qui permettent de localiser rapidement un produit à partir d'une photo prise.



<sup>67</sup> Starbucks

<sup>68</sup> Microsoft

L'application « Snap Find Shop » permet aux utilisateurs de prendre des photos d'objets dans le monde réel, puis de les retrouver dans un catalogue.

## **RESSOURCES HUMAINES**

*Usages clés* : Matching annonce/candidat (Pomato), évaluation automatique de candidatures ou prévisions de succès à un poste ou encore motivation d'un employé sur la durée.

Les ressources humaines sont très digitalisées aujourd'hui.

Déjà plus d'une trentaine de startups (ARYA, AVRIO, CYRA(UK), ENGAGETALENT(US), ENTELO(US), GOHIRE(UK), POMATO(US), YATEDO(FR), CLUSTREE(FR), METEJOB(FR), etc...) proposent une technologie permettant d'évaluer la qualité d'un recrutement avec un poste. Pour l'analyse, les algorithmes utilisent des techniques de traitement automatique du langage (Natural Language Understanding NLU et Natural Language Generation NLG) renforcées par des techniques d'apprentissage. Les techniques actuelles fonctionnent quel que soit le format du document de départ. Le document non structuré est décomposé, analysé et stocké en information structurée (données personnelles, expérience, éducation, compétences, etc...). Une fois le traitement NLU effectué, le moteur d'apprentissage labellise les éléments d'informations pour créer des classes d'analyses souhaitées. Typiquement, un million de CVs de références peuvent être utilisés pour entraîner le moteur et définir les classes pertinentes qui permettront de discriminer ensuite les CVs réels reçus.

Par exemple, la société américaine ENTELO<sup>70</sup> analyse les réseaux sociaux pour identifier les candidats intéressants et les plus motivés à changer de job. Une autre société californienne TALENTSONAR<sup>71</sup> utilise des techniques de ML pour modifier automatiquement une annonce de manière à ce qu'elle matche avec un profil candidat intéressant. Plus étonnant la startup FAMA<sup>72</sup> analyse les risques d'une candidature vis-à-vis d'un recrutement (est ce que le candidat est raciste ou misogyne par exemple) à partir du contenu de réseaux sociaux accessible publiquement. FAMA a demandé à plusieurs milliers d'étudiants de labelliser du texte, des photos ou des vidéos pour identifier les risques associés. La société HIREVUE utilise des algorithmes de reconnaissance faciale pour analyser la gestuelle et la communication non verbale d'un candidat pendant un entretien vidéo.

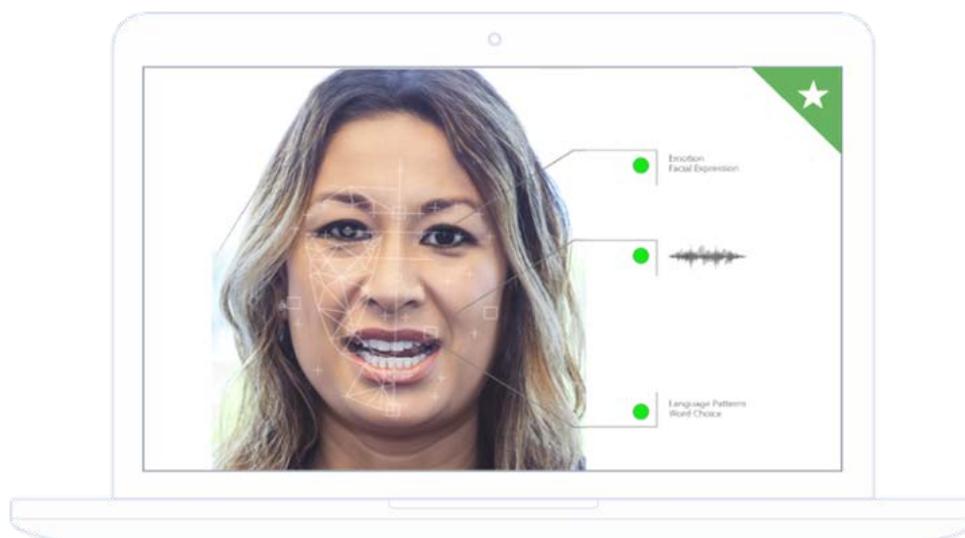


Figure 88 - Reconnaitance faciale pendant un entretien vidéo<sup>73</sup>

<sup>69</sup> Asos

<sup>70</sup> [www.entelo.com](http://www.entelo.com)

<sup>71</sup> [www.talentsonar.com](http://www.talentsonar.com)

<sup>72</sup> [www.fama.io](http://www.fama.io)

<sup>73</sup> Hirevue

De son côté GOOGLE a introduit en 2016 l'API CLOUDJOBS qui met en relation les chercheurs d'emploi et les annonces en utilisant des techniques d'apprentissage. GOOGLE annonce avoir créé une classification sémantique de plus de 250 000 occupations professionnelles et de plus de 50 000 compétences.

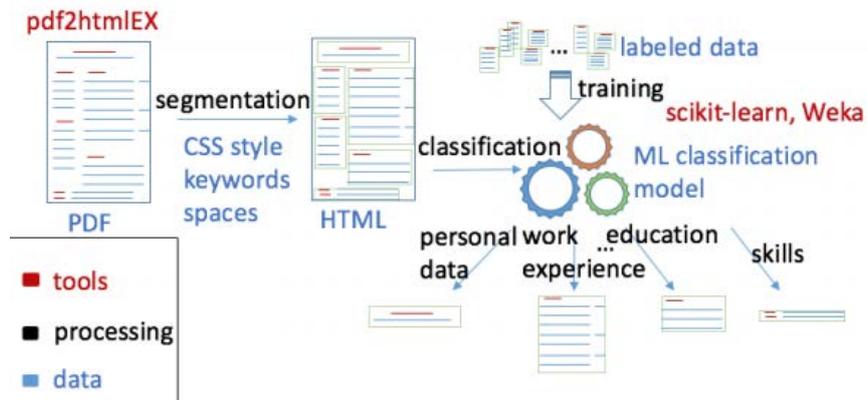


Figure 89 - Etapes de traitement d'un CV avec des algorithmes de ML

En ressources humaines, l'IA s'attaque également au processus de recrutement lui-même. La startup américaine PARADOX ([www.paradox.ai](http://www.paradox.ai)) a développé un assistant personnel qui pose directement des questions à un candidat pour construire et évaluer son CV pour un poste donné. Le moteur évalue et répond à la majorité des questions d'un candidat.

## MEDIAS / CONTENUS

*Usages clés : Analyse automatique de fils d'actualité, publication autonome de contenus et d'actualités, matching contenu / utilisateur.*

Les medias est un secteur très digitalisé. Beaucoup de données sont disponibles.

Les médias intègrent des intelligences artificielles pour produire automatiquement du contenu d'actualité pour certains sujets non essentiels. La société SYLLABS (France) propose des solutions automatisées de création de textes et d'optimisation de contenus. Les groupes médias Associated Press et la BBC ont lancé un service de production automatique d'actualité basé sur l'intelligence artificielle de la société américaine WORDSMITH. L'algorithme génère des actualités en langage naturel à partir de données comme le résultat des compétitions sportives.

```

{
  "data": {
    "league": "SP1",
    "date": "11/8/15",
    "hometeam": "Sevilla",
    "awayteam": "Real Madrid",
    "final_home_goals": 3,
    "final_away_goals": 2,
    "ht_home_goals": 1,
    "ht_away_goals": 1,
    "ht_result": "D",
    "home_shots": 14,
    "away_shots": 28,
    "home_shots_on_tar": 5,
    "away_shots_on_tar": 10,
    "home_fouls": 13,
    "away_fouls": 11,
    "home_corners": 4,
    "away_corners": 6,
    "home_yellow_cards": 1,
    "away_yellow_cards": 1,
    "home_red_cards": 0,
    "away_red_cards": 0
  }
}

```

**No lack of goals as Sevilla defeats Real Madrid 3-2**

It was an exciting game for supporters as an abundance of goals were scored by both sides. A back and forth first half saw the teams go into the halftime intermission tied at one.

While both teams were in good attacking form, it was the host who ultimately prevailed. The home side finished on the winning end of a 3-2 scoreline and took the three points.

Despite the victory, Sevilla were outshot by Real Madrid 28-14

Wordsmith.

Figure 90 - Exemple d'article généré par WORDSMITH

En Angleterre, en juillet 2017, la société de presse PRESS ASSOCIATION avec le concours de la startup URBS MEDIA a gagné un prix de 700 k€ proposé par GOOGLE pour produire des actualités automatiquement.

Les journalistes produisent des modèles d'actualités pour les faits divers, l'économie, le sport, etc... et les algorithmes d'analyse de texte et de production de données en langage naturel écrivent automatiquement plus de 30 000 histoires mensuelles à partir de bases ouvertes de fils d'actualités. L'un des objectifs de ce projet est de produire beaucoup plus d'actualités très locales par exemple.



Figure 91 - Processus de production d'URBS MEDIA

Un autre exemple correspond aux algorithmes de recommandations pour favoriser l'accès à du contenu média personnalisé.

L'interactivité se développe également et permet par exemple aux interfaces de type SIRI, GOOGLE HOME ou ALEXA de lire de contenu d'actualités personnalisé et de répondre à différents types de questions.

## Les usages de type « décision autonome » : La robotique

La robotique associe plusieurs technologies comme la mécanique, la mécatronique, l'électronique, le contrôle-commande en association avec les techniques d'IA comme la perception, les sciences cognitives, la collaboration et le raisonnement.

Les progrès en robotique sont devenus impressionnants. Les robots peuvent marcher, courir, se déplacer dans des environnements connus ou inconnus, saisir des objets ou manipuler certains appareils. Certains robots sont capables de reproduire les comportements d'êtres vivants (insectes, oiseaux, reptiles, rongeurs...).

Sur le plan cognitif, les robots peuvent jouer de la musique, accueillir les visiteurs dans des centres commerciaux, parler avec des enfants. Avec des fonctions de coordination de groupe, les robots sont capables de jouer au football ensemble. Des véhicules autonomes peuvent rouler sans danger sur de longues durées.

Dans ce domaine, la recherche en IA sur les robots et les véhicules autonomes traite notamment des problèmes de compréhension de situation par perception multi capteurs, de raisonnement prenant en compte l'incertitude et de résilience pour la prise de décision. Pour une prise de décision autonome, un robot doit fonctionner continuellement, sans intervention humaine et sur la durée. Le principal problème de décision provient alors des données utilisées, qui sont par nature incertaines, insuffisantes ou encore fractionnées en raison des différents temps et modes d'acquisition. En fonction des besoins les équipes de recherche développent 2 types d'approches complémentaires : la prise de décision immédiate avec les informations disponibles et la prise de décision basée sur de la redondance d'analyse.

La robotique susceptible d'incorporer des technologies d'IA se compose de 2 segments : la robotique industrielle et la robotique de service (assistance à la personne, robot compagnon, robot de surveillance, robot de transport).

### La robotique industrielle

Aujourd'hui, près de 1,8 millions de robots industriels sont opérationnels. La région Asie Pacifique concentre 55% de ces robots opérationnels, l'Europe 25% et l'Amérique 16%. Les ventes mondiales ont atteint un record en 2016 avec près de 300 000 unités vendues.

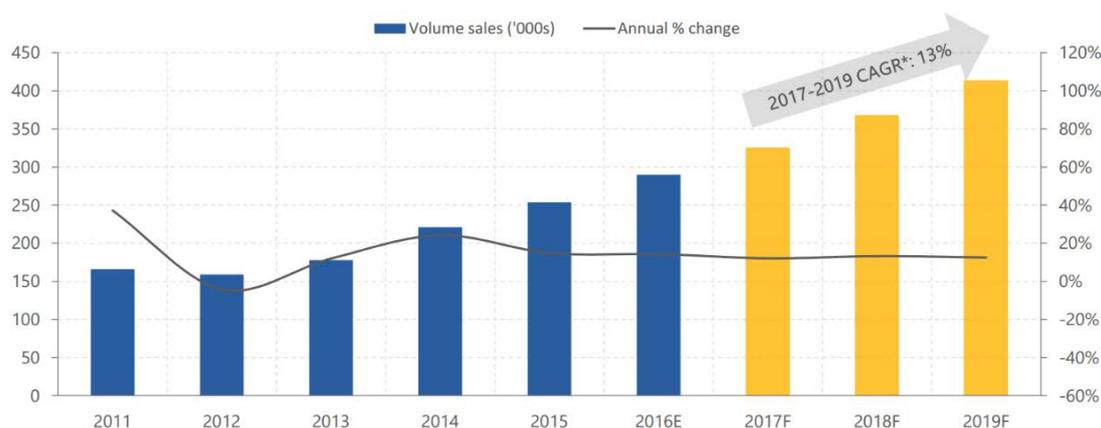


Figure 92 - Evolution des ventes de robots industriels<sup>74</sup>

<sup>74</sup> The global robotic industry, Xerfi 2016

Avec 600 000 unités, la Corée du sud est le pays qui compte le plus de robots opérationnels aujourd'hui. La moyenne mondiale de densité de robots est de 69 robots pour 10 000 habitants. La Corée du sud est le pays avec la plus forte densité (530), devant le Japon (509), l'Allemagne (147), les États-Unis (76) et la Chine (49).

Le secteur automobile concentre la plus forte densité de robots avec un peu plus d'un millier pour 10 000 habitants pour le Japon, les États-Unis et l'Allemagne.

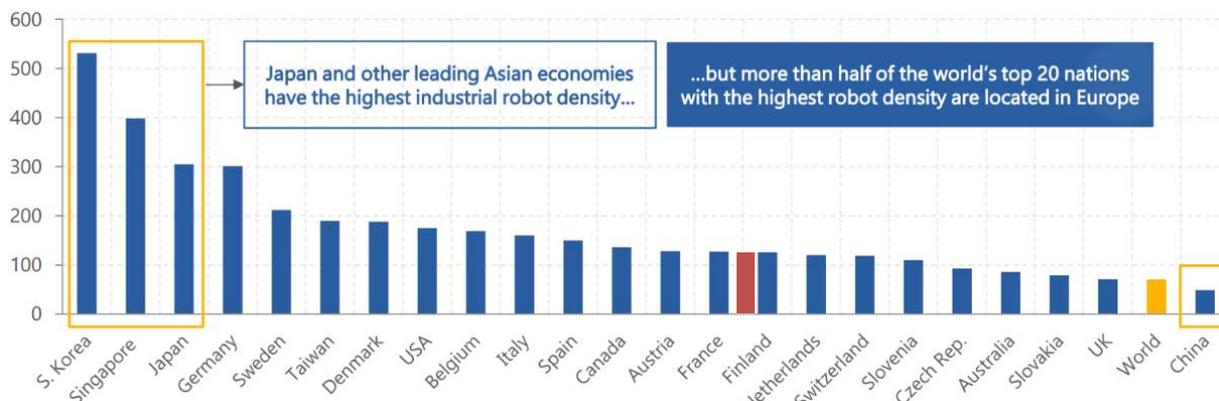


Figure 93 - Densité de robots pour 10 000 habitants<sup>75</sup>

Plus d'un million et demi de robots industriels devraient être installés d'ici les 3 prochaines années ce qui devrait permettre de doubler le parc actuel. 5 pays fortement industrialisés concentrent 75% des ventes dans les secteurs de l'industrie automobile (100 000 unités vendues), l'électronique (~60 000), la métallurgie (~30 000) et la chimie (~20 000). La Chine est le principal pays demandeur de robots (31% des demandes, 9% aux États-Unis et 7% en Allemagne) et devrait représenter 40% des demandes en 2019, même si elle demeure aujourd'hui loin derrière les économies développées en termes de densité de robot (nombre de robots pour 10 000 habitants).

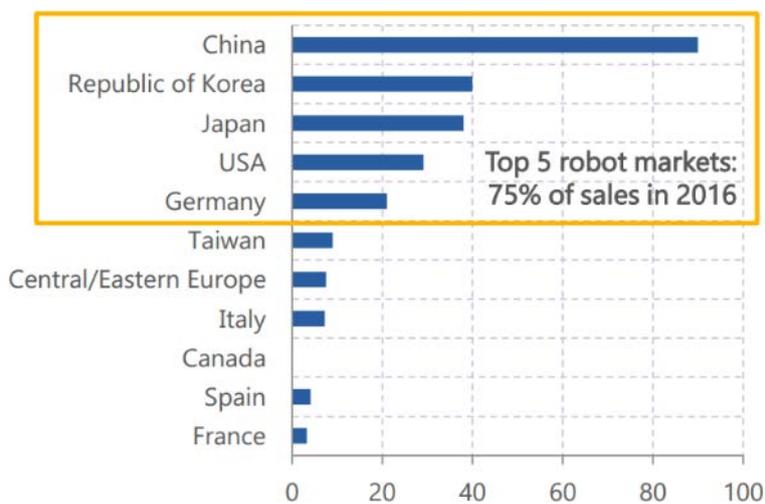


Figure 94 - Nombre d'unités vendues en 2016 (milliers)<sup>76</sup>

La robotique est un secteur dont l'innovation est en pleine croissance pour répondre à une forte expansion géographique et une diversification des besoins notamment de services qui est le segment naissant aujourd'hui. Les sociétés spécialisées en robotique ont augmenté leurs dépenses de R&D qui représentent aujourd'hui plus de 4% de leur chiffre d'affaire. Le Japon reste le principal pays d'innovation dans le domaine de la robotique, mais la Chine et l'Allemagne ont également une politique très dynamique dans ce domaine. En 2016, les États-Unis ont représenté près de 45% des montants investis dans les 31 acquisitions les plus importantes réalisées dans l'année, contre 16% pour la Chine. La Chine a réalisé le plus large investissement (3,9 Mds d'euros) avec le rachat de la société allemande KUKA. Cela illustre la différence de stratégie entre les États-Unis qui ont concentré leurs acquisitions sur des startups et la Chine sur les grands acteurs du domaine.

<sup>75</sup> The global robotic industry, Xerfi 2016

<sup>76</sup> The global robotic industry, Xerfi 2016

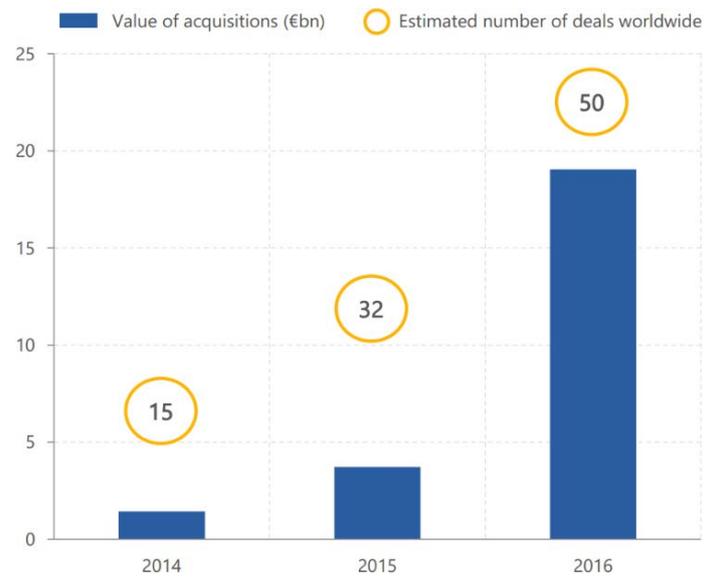


Figure 95 - Evolution du nombre d'acquisitions de sociétés en robotique<sup>77</sup>

Le Japon regroupe la majorité des acteurs du secteur.

COMPANY	Country	Revenues	Main activities
Mitsubishi Electric		9.84	Diversified electric conglomerate
ABB		7.65	Robots, automation, power equipment & technologies
Fanuc		4.64	Industrial robots, automation solutions
Dürr		3.77	Robots, mechanics, plant engineering
Yaskawa		3.06	Robots, engineering, IT
Kuka <sup>*</sup>		2.97	Robots and automation systems
Omron		2.50	Robots & automation systems, mechanics, electronics
Comau		1.95	Industrial robots, automation solutions
Nachi-Fujikoshi		1.63	Robots, machine equipment, components
Kawasaki H. I.		0.99	Diversified industrial conglomerate

Tableau 9 - CA des principaux acteurs en robotique en m€ en 2015<sup>78</sup>

<sup>77</sup> The global robotic industry, Xerfi 2016

<sup>78</sup> The global robotic industry, Xerfi 2016

\*Le chinois Midea détient 94,55% des actions Kuka.

## La robotique de service

La robotique de service est en plein développement actuellement aussi bien sur les segments grands publics que professionnels.



Figure 96 - Evolution des ventes de robots de services (millions d'unités à gauche et Mds d'euros à droite)<sup>79</sup>

Le marché des robots de service comprend de nombreux types de robots. Pour le grand public, ils sont utilisés pour des tâches domestiques ou à des fins de loisirs et de divertissement. Au niveau professionnel, la robotique de service a commencé à faire son entrée dans les secteurs de l'agriculture, la construction, l'assistance médicale, la logistique ou l'hôtellerie.



Figure 97 - Robot d'assistance médicale Da Vinci, Intuitive Surgical

Les usages actuels correspondent par exemple à des robots de type : nettoyage, tondeuses à gazon, traite, télé présence, assistant chirurgical ou compagnon social.

Fin 2016, la base installée de robots de service représentait 29,6 millions d'unités<sup>80</sup> dans le monde avec un segment très majoritaire (80% du total) celui des robots de nettoyage, équivalent à 23,8 millions d'unités. Les deux autres grands segments correspondent aux drones (4 millions d'unités) et aux tondeuses à gazon (1,6 millions d'unités). L'ensemble des autres segments (chirurgie, assistance à la personne, surveillance, etc..) représentait fin 2016 moins de 50 000 unités installées.

<sup>79</sup> The global robotic industry, Xerfi 2016

<sup>80</sup> Berg Insight



Figure 98 - Robot de nettoyage industriel testé gare de Lyon en 2016

Le nombre de robots de service actifs dans le monde devrait atteindre 264,3 millions<sup>81</sup> d'ici 2026, soit une croissance de 24% par an en moyenne.

L'intelligence artificielle représente aujourd'hui avant tout un potentiel nouveau pour la robotique. L'implantation de technologies d'apprentissage dans un robot est un secteur très dynamique, notamment dans le véhicule autonome. Les ressources sont essentiellement concentrées sur des activités de R&D.



Figure 99 - Robot humanoïde développé par la firme HONDA

## **Intelligence artificielle et déplacement autonome**

Dans le domaine des véhicules autonomes, les principales annonces concernent les expérimentations de véhicules autonomes sur route ouverte, ce qui tend à penser que les technologies commencent à être suffisamment mures pour envisager la phase d'industrialisation avec un niveau d'autonomie au moins égal à 3. En octobre 2016, la société NAVYA, constructeur de bus autonome a annoncé une levée de fond de 30 millions d'euros avec l'entrée au capital de VALEO et KEOLIS. En octobre 2017, RENAULT et TRANSDEV ont annoncé la mise en service à Rouen d'un service expérimental de test de voiture autonome ZOE sur route ouverte. Un mois plus tard, RENAULT annonce avoir mis au point via sa filiale américaine une technologie d'évitement fiable qui équipera sa flotte de véhicule autonome en 2018. BALYO, la société française fondée en 2005, spécialiste de la robotisation des chariots de manutention a levé près de 19 millions d'euros depuis sa création.

Par ailleurs, les centres d'expérimentations se développent sur le territoire comme le centre de l'université Paul SABATIER à Toulouse qui devrait voir le jour en 2018, les pistes d'essai pour véhicules autonomes de l'UTAC-CERAM en région parisienne financé par BPI France à hauteur de 7,4 M€ ou encore TRANSPOLIS, plateforme d'innovation dédiée aux transports collectifs urbains de marchandises et de personnes.

---

<sup>81</sup> Berg Insight

Avec le développement de la voiture autonome, une norme américaine (5 niveaux) et une norme européenne (6 niveaux) se sont créées pour définir le niveau d'autonomie. Le découpage se fait sur le nombre de fonctions prises en charge par le véhicule de manière autonome.

- **Niveau 0** : Le conducteur garde totalement le contrôle sur toutes les fonctions du véhicule. L'ordinateur peut assister le conducteur via des alertes sonores.
- **Niveau 1** : L'assistance renforcée. L'ordinateur peut gérer la vitesse ou la direction, le conducteur gardant la main sur l'autre fonction et le contrôle total du véhicule. Le régulateur de vitesse adaptatif est un exemple de conduite autonome de niveau 1.
- **Niveau 2** : L'automatisation partielle. La voiture peut prendre le contrôle de la vitesse et de la direction. Le « park assist » est un exemple d'autonomie de niveau 2. Le conducteur doit garder les mains sur le volant et reprendre le contrôle en cas de défaillance car sa responsabilité est toujours entièrement engagée. L'autopilote de TESLA est une automatisation de niveau 2.
- **Niveau 3 (actuel)** : L'automatisation conditionnée. Le conducteur délègue totalement la conduite dans des situations et des environnements prédéfinis. La conduite déléguée a cependant ses limites dans ce cadre prédéfini et le conducteur doit être capable de reprendre la main lorsque le véhicule le lui demande. La fonction "embouteillage" du XC90 Volvo est classée dans cette catégorie.
- **Niveau 4** : L'automatisation élevée. Le conducteur peut déléguer la conduite au véhicule dans des situations et des environnements prédéfinis. Le véhicule est capable de gérer toutes les situations et aléas dans le cadre de ce périmètre. En termes d'application par exemple, le valet de parking est considéré comme un niveau 4 d'automatisation (le véhicule se déplace dans la zone de parking jusqu'à son emplacement, se gare en total autonomie et peut également faire la manœuvre inverse). En termes d'expérimentation sur route ouverte au publique, on peut citer par exemple le concept car SYMBIOZ de RENAULT présenté au dernier Salon de Francfort en 2017, un démonstrateur fonctionnel de niveau 4 qui a été expérimenté sur autoroute avec zone de péage, ou encore le Range Rover de niveau 4 équipé par Valeo que ce dernier a fait circuler en 2018 dans Paris, et notamment sur les quais de Seine. Par ailleurs, aux États-Unis, WAYMO, la filiale d'Alphabet (société mère du groupe Google) vient de passer le cap des 10 millions de miles (plus de 12 millions de kilomètres) parcourus par ses véhicules dans 25 villes américaines.
- **Niveau 5**. L'automatisation complète. Le système de conduite accomplit la totalité de la conduite dans toutes les circonstances sans la nécessité d'une intervention du conducteur.

L'évolution de ces technologies dépendra de la vitesse à laquelle nous accepterons de les adopter. Les estimations prévoient plutôt la mise au point d'un véhicule totalement autonome dans une dizaine d'années.

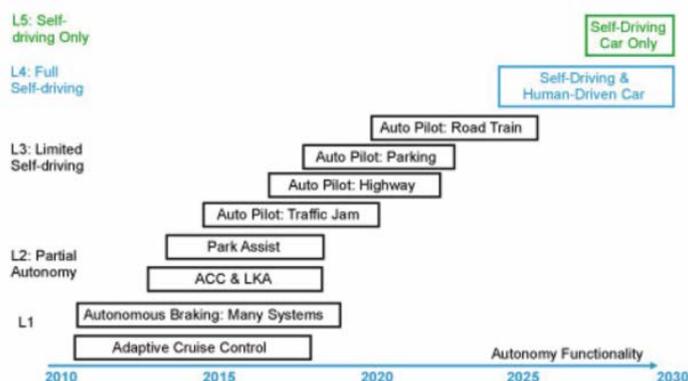


Figure 100 - Roadmap d'autonomie des véhicules autonomes<sup>82</sup>

<sup>82</sup> IHS

Le véhicule autonome repose aujourd’hui essentiellement sur des technologies de vision par ordinateur pour « reconnaître » son environnement et prendre des décisions. Les projets de GOOGLE, UBER, TESLA et des constructeurs automobiles reposent sur l’analyse temps réel de données de capteurs. Créée en 2015, la startup américaine AIMOTIVE<sup>83</sup> est pratiquement la seule à développer une approche de conduite autonome basée sur des technologies d’intelligence artificielle. Actuellement, sa technologie fonctionne sur des scénarios simples de conduite sur autoroute.



Figure 101 - L’ordinateur qui fournit la puissance de calcul du véhicule AIMOTIVE

L’exemple suivant correspond au projet PILOTNET de NVIDIA. Ce projet est l’un des premiers à essayer d’associer une perception visuelle de l’environnement à une décision de conduite « tourner le volant » et ce sans cartographie. Aujourd’hui, tous les véhicules autonomes s’appuient sur une perception de leur environnement pour éviter les obstacles ET une cartographie de grande précision pour se diriger. Le projet PILOTNET cherche à effectuer une conduite uniquement à partir d’éléments visuels comme le ferait un humain.



Figure 102 - Projet PilotNet de NVIDIA<sup>84</sup>

<sup>83</sup> <https://aimotive.com/>

<sup>84</sup> NVIDIA

L'exemple montre ce que la caméra de la voiture utilise (les éléments en surbrillance) pour se diriger, soit les mêmes éléments qu'un conducteur humain (les balises de voie, les bords de route et autres voitures). PILOTNET apprend à évaluer les parties importantes dans l'environnement de conduite de la même façon qu'un élève dans une auto-école.

Néanmoins, l'intelligence artificielle est une technologie clé dans la mise au point de conduite autonome performant. Elle est nécessaire pour interpréter rapidement et avec un minimum d'erreurs des données partielles en provenance de nombreux capteurs et anticiper un problème pour prendre la bonne décision. Depuis un an, les constructeurs de véhicule autonome s'intéressent au potentiel de l'IA dans ce domaine, mais les défis technologiques sont nombreux à commencer par l'étape initiale d'apprentissage. Le véhicule autonome de GOOGLE génère 1 Go de données par seconde. Sur une flotte de 100 véhicules (ce sont les tailles de flottes annoncées par GOOGLE ou Chrysler par exemple), les données collectées sur plusieurs millions de kilomètres de tests ont généré probablement plus de 700 000 To de données par an :  $1 \text{ Go} * 3600 \text{ secondes} * 8 \text{ heures} * 260 \text{ jours} * 100 \text{ véhicules} = 748 \text{ 000 To}$  par flotte de véhicule. L'entraînement de 700 To de données sur un réseau de neurones avec une architecture de type ALEXNET nécessiterait 147 jours avec une station NVIDIA DGX1 avec 1 processeur à 8 GPU<sup>85</sup>.

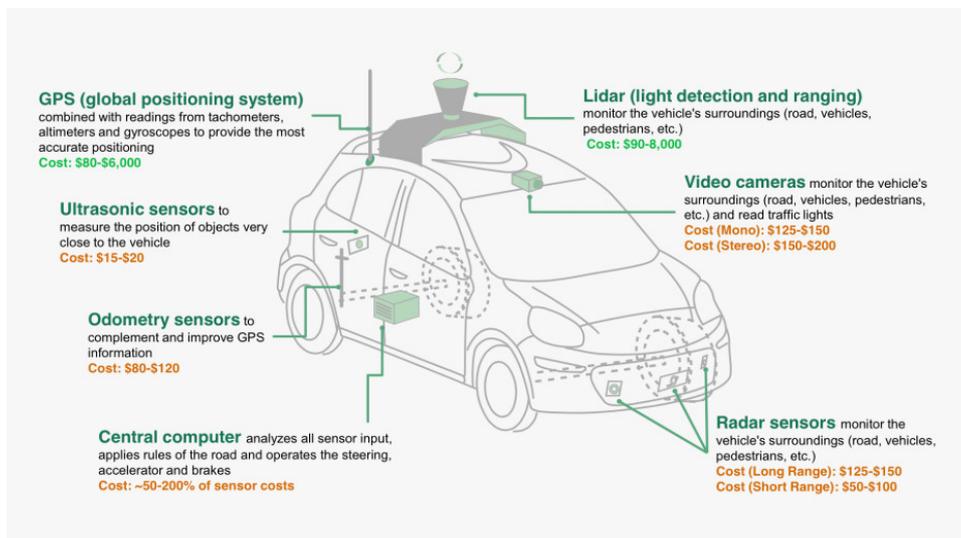


Figure 103 - Capteurs à bord d'un véhicule autonome<sup>86</sup>

Depuis 2 ans, les annonces d'investissements en IA pour le véhicule autonome se succèdent : Investissement d'un milliard de dollars de TOYOTA, création de la société AURORA par Chris URMSON, le patron du projet GOOGLE Car chez GOOGLE, investissement d'un (1) Md\$ sur 5 ans par FORD dans la startup ARGO IA, association entre RENAULT et MICROSOFT pour développer une intelligence artificielle dans le véhicule autonome, annonce de partenariat entre BMW et IBM et entre CONTINENTAL et l'université d'Oxford.

En France, de nombreuses expérimentations sont en cours pour commencer à valider les technologies du véhicule autonome. Quelques exemples ci-dessous :

- PSA a signé un partenariat d'expérimentation technique, avec ERICSSON et ORANGE. Pour ce projet, PSA mène des tests dans l'Est de la France sur un aérodrome en Haute-Saône. La société teste également depuis deux ans, des C4 Picasso autonomes sur routes ouvertes en France.
- Après avoir circulé avec succès sur le boulevard périphérique et certaines avenues de la capitale, le Range Rover autonome réaménagé par VALEO a été expérimenté pendant quelques jours en juillet et en octobre 2017 sur la traversée de la place de l'Etoile.
- RENAULT a testé sur piste fermée aux États-Unis, un prototype de ZOE autonome. Dans le cadre du programme « Rouen Normandy Autonomous Lab », la société teste 4 ZOE électriques autonomes dans un quartier de Rouen. TRANSDEV fait de même pour une navette autonome EASY MILE. RENAULT a également lancé la SYMBIOZ DEMO expérimentée sur l'A13 entre Paris et Caen.

<sup>85</sup> <https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/training-self-driving-vehicles-challenge-scale/>

<sup>86</sup> Google

- Les navettes autonomes de la société NAVYA ont été testées dans les rues de Paris au printemps 2018. La startup lyonnaise avait déjà lancé une navette autonome, en phase d'expérimentation à Lyon, depuis un an et à la Défense depuis septembre 2017.
- Les navettes autonomes de la société EASY MILE sont également testées sur voies ouvertes à la circulation publique à Verdun, à Rouen ou encore en région parisienne.

L'expérimentation en environnement ouvert devrait considérablement se développer, selon les annonces faites par le Président de la République en mars 2018 :

*« D'ici 2022, un cadre de régulation permettant la circulation des véhicules autonomes sera mis en place. En bout de chaîne, j'ai la volonté de poser au plus vite le cadre d'homologation des véhicules autonomes, en mobilisant à la fois la puissance publique et le secteur privé. Parce que précisément, ce mouvement des véhicules autonomes exige une courbe d'apprentissage, nous financerons un programme national d'expérimentation impliquant les territoires, les constructeurs et les équipementiers. Et donc nous aurons très rapidement des expérimentations sur des territoires, qui seront volontaires, en en définissant le cadre juridique d'exception, et je souhaite que nous puissions mettre autour de la table l'ensemble de ces acteurs nationaux pour travailler sur des sujets que sont, justement, les bases de données de tests, la cartographie. »<sup>87</sup>*

En dehors de la route, les recherches se développent également pour les déplacements à environnement piéton. Comme sur la route, les piétons suivent certaines règles sociales en se déplaçant : rester à droite, passer à gauche, maintenir une distance respectable, être prêt à changer de cap pour éviter un obstacle etc... et ceci en continuant à se déplacer. C'est ce type de défi qui a conduit les ingénieurs du MIT à développer un robot autonome doté d'une « navigation socialement responsable », capable de suivre le rythme de la circulation piétonnière. Cette capacité permettrait aux robots d'effectuer des livraisons de manière autonome ou de transporter des personnes handicapées dans un hôpital, un centre commercial ou une gare par exemple. L'équipe a utilisé une technique d'apprentissage par renforcement pour former un robot à prendre certains chemins, compte tenu de la vitesse et de la trajectoire des autres objets. L'équipe a également incorporé les normes sociales dans l'entraînement pour encourager le robot à passer à droite plutôt qu'à gauche. Les chercheurs ont permis au robot d'évaluer son environnement et d'ajuster sa trajectoire tous les dixièmes de seconde. De cette façon, le robot peut continuer à rouler dans un couloir à une vitesse de marche typique de 1,2 mètre par seconde, sans s'arrêter.

## **Intelligence artificielle et robotique industrielle**

Jusqu'à présent, la robotique industrielle était organisée autour de la machine et de son environnement. Le robot est programmé pour fonctionner dans un environnement avec des variations très minimes. L'intelligence artificielle permet de développer l'autonomie. Cette autonomie se divise en perception, planification et exécution (manipuler, naviguer, collaborer). L'intelligence artificielle vise à optimiser son autonomie par apprentissage. Les robots commencent à effectuer des tâches autonomes spécialisées : conduite, transport de matériels, natation, ramassage, tri et dépôt d'objets.

La perception permet de créer un sens artificiel de la conscience de soi. Les robots peuvent sentir leur environnement en s'appuyant sur des capteurs et des techniques de vision par ordinateur. Cela permet de développer des interactions sociales appliquées aux interactions hommes machines (compréhension de la communication non verbale) ou à la robotique cognitive (apprentissage par imitation et expérience).

Dans le domaine de la robotique industrielle, les premiers robots disposant de capacités d'apprentissage ont commencé à être produits de manière industrielle. Les techniques d'apprentissage sont utilisées pour copier des tâches humaines ou trouver sans programmation comment réaliser une tâche par exemple. Dans ce domaine l'innovation est plutôt portée par les acteurs traditionnels de la robotique industrielle.

La société allemande KUKA, l'un des leaders dans la fabrication de robots industriels, a développé en 2016 LBR IIWA un robot sensitif apte à la collaboration homme-robot. Le robot est connecté au Cloud AZURE de Microsoft et utilise les algorithmes d'apprentissage par imitation pour améliorer sa dextérité et ses gestes au fur et à mesure de son utilisation. De la même manière la société de robotique japonaise FANUC a également développé un robot industriel intelligent en utilisant une approche d'apprentissage par renforcement. Sans intervention humaine, le robot se voit confier une tâche, comme choisir un objet dans une boîte et le placer dans une autre boîte, et il passe ensuite la nuit pour déterminer comment le faire. Le matin la machine maîtrise le geste comme s'il avait été programmé par un expert.

<sup>87</sup> Annonce du gouvernement en mars 2018



Figure 104 - Robot IWA de la société allemande KUKA

Le secrétaire d'État aux Affaires, à l'Énergie et à la Stratégie industrielle du Royaume-Uni, Greg CLARK a lancé le Fonds pour le défi de la stratégie industrielle (ISCF) qui s'engage à investir plus de 1 milliard de livres sterling dans des technologies de pointe pour les quatre prochaines années. Sur ce milliard, 110 M€ seront consacrés à la robotique et l'intelligence artificielle.

La gestion de tâches logistiques en entrepôt constitue également un domaine dynamique pour la robotique intelligente notamment portée par les efforts d'AMAZON qui organise depuis 2015 l'AMAZON Robotic Challenge pour réaliser le plus efficacement la tâche de « picking ». Ce domaine vise à créer un bras robot intelligent permettant d'effectuer toutes les tâches humaines d'un entrepôt : identification d'un produit, tri, rangement, préparation de commande, déplacement en tenant compte de son environnement. La startup américaine KINDRED créée en 2013 a développé un robot qui prépare physiquement automatiquement les commandes. Le système détecte, trie et range les objets d'une commande plus de 200 fois plus vite qu'un humain.

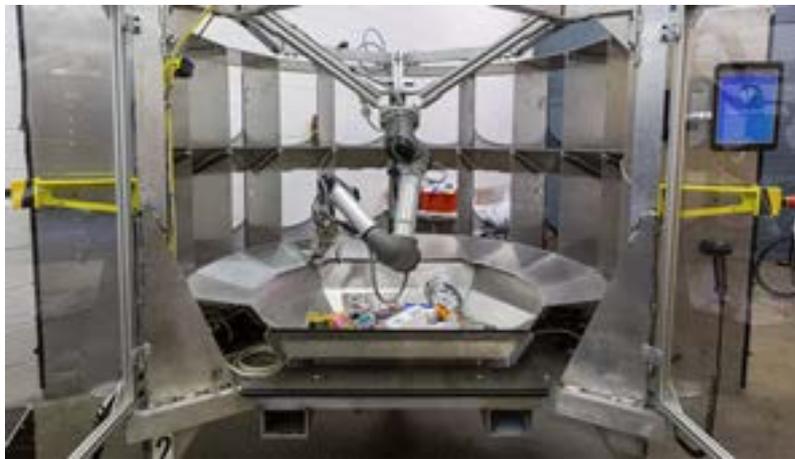


Figure 105 - Robot préparateur KINDRED<sup>88</sup>

En 2017, la startup américaine EMBODIED INTELLIGENCE a levé 7 M\$ pour développer un bras robot avec la même intelligence qu'un bras humain. OCADO (UK) travaille également sur un concept similaire. Les progrès réalisés pourraient avoir un effet important si les robots se mettent à travailler quel que soit la configuration de l'entrepôt. L'évolution progresse particulièrement vite dans ce domaine compte tenu de la maturité des techniques de reconnaissance d'image. Le dernier vainqueur du challenge AMAZON le robot CARTMAN a remporté le prix avec un robot coûtant moins de 24 000 \$ et susceptible de reconnaître un article inconnu à partir d'un entraînement basé sur 7 images uniquement.

<sup>88</sup> The verge

Les développements commencent également à sortir du périmètre de l'entrepôt. Créée en 2014 par les fondateurs de SKYPE, la startup anglaise STARSHIP TECHNOLOGIES a levé 17 M€ en 2017 pour développer son robot de livraison de denrées comme des repas par exemple. Le robot a déjà effectué plus de 10 000 km de test pour livrer des colis dans un rayon de 6 km de sa base. Plusieurs laboratoires développent des robots autonomes se déplaçant dans des environnements piétons comme le JACKRABBOT de l'université de Stanford.

## **Intelligence artificielle et robotique de service**

L'intelligence artificielle en robotique de service est très active dans le domaine de la Recherche et Développement. La capacité de déplacement autonome au sol, en l'air ou en mer concentre une partie significative de la recherche dans le domaine. Par exemple, GE a investi dans la société AVITAS SYSTEMS qui met au point des drones autonomes d'inspection pour les environnements industriels et basé sur des protocoles d'intelligence artificielle. De la même manière la société australienne LITTLE RIPPE<sup>89</sup> spécialisé dans les drones autonomes en milieu marin en partenariat avec l'université de technologie de Sydney a commencé à entraîner un drone aérien pour reconnaître des mammifères marins et détecter des requins proches de côtes (le SHARK SPOTTER).



Figure 106 - Robot d'inspection autonome de la société AVITAS système

Un autre axe de recherche correspond au domaine des robots compagnons. Ces robots utilisent des techniques d'IA en vision par ordinateur ou reconnaissance vocale pour comprendre les besoins de leurs interlocuteurs et proposer une interaction riche aussi proche que possible de celle d'un humain. Par exemple la société japonaise SEGWAY a fait une première tentative pour commercialiser un robot compagnon le LOOMO qui sera disponible en 2019. Grâce à ses algorithmes d'intelligence artificielle (vision par ordinateur, mobilité autonome, interaction vocale) LOOMO offre des services de : patrouille autonome pour la sécurité d'un périmètre, inventaire automatique, assistant d'achat dans un magasin ou d'assistant personnel pour les personnes âgées. La société SOFTBANK ROBOTICS, créée à Paris en 2005 sous le nom D'ALDEBARAN ROBOTICS, est une société de robotique japonaise parmi les leaders mondiaux dans le domaine de la robotique humanoïde avec des grands projets comme NAO, PEPPER et ROMEO. Dans ce domaine la startup israélienne INTUITION ROBOTICS est un autre exemple de robot compagnon. La société vient de lever 20 M\$ en 2017 pour développer le robot ELLIQ (vision autonome, interaction vocale), qui vise à stimuler les fonctions cognitives des personnes âgées et à les aider dans l'utilisation au quotidien des nouvelles technologies.

<sup>89</sup> <http://littleripper.com/innovation-technology/about-us-2-3/>



Figure 107 - Robot intelligent ELLIQ

En synthèse la robotique intelligente progresse avant tout à partir des innovations principales en intelligence artificielle : machine learning, vision par ordinateur, reconnaissance des objets. Ces innovations permettent d'interagir plus efficacement avec leur environnement ou d'apprendre des tâches par imitation comme les humains.

## Les usages qui se développent en robotique intelligente

Les tendances de recherche pour associer robotique industrielle ou de service et techniques d'apprentissage sont les suivantes :

Le développement de **la vision robotique** comme une extension des techniques de vision par ordinateur. Les technologies de reconnaissance d'images permettent de faire émerger du guidage ou de l'analyse robotique pour de l'inspection automatique, de l'identification, du tri d'objets, de la détection d'anomalie. Le laboratoire allemand BIOMIMETIC ROBOTICS a développé un robot apprenant capable de trouver et d'évaluer des failles dans des plaquettes de silicium.

**L'apprentissage par imitation** devient peu à peu une partie intégrante de la robotique mobile de terrain. Les caractéristiques particulières de mobilité dans des environnements tels que le chantier de construction, le champ, les zones de sinistre ou le champ de bataille se prêtent bien à des techniques d'apprentissage par imitation. Ce domaine se prête également à l'éducation des robots humanoïdes, notamment pour développer la fonction de préhension.

**L'apprentissage auto supervisé.** Cet apprentissage permet au robot de générer des exemples d'apprentissage conforme ou de situation anormale. Watch-Bot, créé par des chercheurs de Stanford, utilise une caméra et un pointeur laser pour détecter une activité humaine périodique et la classer en conforme ou non. Lors des premiers tests, le robot a réussi à alerter les humains dans 60% des cas sur des comportements comme l'oubli de fermeture d'une porte de réfrigérateur et ce sans avoir aucune idée de ce qu'il faisait ou pourquoi. Ce type d'apprentissage fait l'objet de nombreuses recherches pour le véhicule autonome.

**L'apprentissage autonome.** En santé, les progrès dans les méthodologies d'apprentissage automatique progressent rapidement. En 2016, en utilisant des innovations dans l'apprentissage autonome et la détection 3D, le robot STAR (Smart Tissue Autonomous Robot) de l'université John HOPKINS a été capable de coudre ensemble des "intestins de cochon" avec une précision et une fiabilité supérieures à celles des meilleurs chirurgiens humains.

**L'apprentissage multi agents pour effectuer des tâches coordonnées.** Les chercheurs du MIT ont développé un modèle multi-agents pour explorer un bâtiment. Les robots ont développé seuls un modèle d'exploration bien meilleur que celui imaginé par un seul robot. Ce type d'apprentissage automatique permet aux robots de comparer des résultats d'exploration, de renforcer les observations mutuelles et de corriger les omissions ou les généralisations excessives. Ce type d'innovation devrait se développer dans les systèmes d'observation aériens notamment.

## Synthèse du chapitre

L'intelligence artificielle correspond à un ensemble de technologies qui permettent de simuler l'intelligence et d'accomplir des tâches d'apprentissage, de perception, de compréhension et de prise de décision plus efficacement et plus rapidement qu'un humain.

Historiquement, les travaux en IA démarrent dans les années 1950 avec Alan TURING, mais il faut attendre le début des années 2000 pour voir apparaître les principaux facteurs de ruptures technologiques qui ont permis les avancées actuelles : **Le réseau internet, une croissance exponentielle des quantités de données et des objets connectés.**

Même si l'intelligence artificielle est principalement associée à une discipline mathématique, au machine learning et à des techniques algorithmiques comme le deep learning, elle doit être associée également à d'autres briques technologiques pour permettre un usage final complet.

Les infrastructures de calcul fournissent les composants matériels (processeur, stockage) nécessaires aux traitements d'apprentissage et d'inférence. Les performances de stockage progressent peu depuis la mise au point des disques à état solide. À l'inverse, les processeurs font l'objet d'une dynamique d'innovation très forte pour proposer une alternative aux composants graphiques GPU massivement utilisés aujourd'hui : processeur reprogrammable en fonction des usages (FPGA), processeur « mimant » le fonctionnement d'un neurone humain (neuromorphique) ou processeur massivement multi-cœur à faible consommation d'énergie". (KALRAY).

L'infrastructure d'échange et d'intégration de données (réseau) se déploie pour permettre la collecte croissante des données/événements utilisés par l'IA. En France, la 4G et la fibre sont en cours de déploiement. La génération suivante (5G), en cours de définition, devrait commencer à se déployer dans trois à cinq ans. L'enjeu de la prochaine génération est double : augmenter significativement les débits proposés et fournir un niveau de latence inférieur à 5 ms pour fournir en temps réel une information environnementale précise et augmenter les capacités de « décision autonome d'une intelligence artificielle. Dans cette compétition, deux groupes d'acteurs sont en compétition, les partisans de réseaux généralistes (opérateurs) et les acteurs sectoriels qui militent pour un réseau dédié (transport notamment).

Dans le domaine algorithmique, les systèmes apprenants se décomposent en plusieurs couches techniques :

- Des briques de base open source permettant de choisir une fonction statistique, entraîner un réseau de neurones, tester sa performance et l'utiliser (SCIKIT LEARN, TENSORFLOW, CAFFE, etc...)
- Des réseaux de neurones déjà entraînés (Ex : TENSORFLOW INCEPTION) avec plusieurs millions de données d'un certain type (image, caractère, texte écrit, texte traduit, etc...). Ces réseaux sont réentraînaibles rapidement avec des données correspondant à un cas d'usage différents.
- Des briques de plus haut niveau adressant des usages transverses : la vision par ordinateur (GOOGLE CLOUD VISION, MICROSOFT VISION API, CLARIF.AI, etc...) ou le traitement automatique du langage.

Les grandes catégories de tâches confiées à ces algorithmes sont des tâches statistiques comme : la classification, la recherche de tendances, l'identification de signal faible (exception, événement anormal) ou le filtrage collaboratif (moteur de recommandation de NETFLIX). Les usages actuels découlent directement de ces capacités : *trouver un objet sur une image, reconnaître un spam ou un virus dans un flux de données, recommander un achat, traduire un texte, analyser un sentiment, etc...*

La performance actuelle des algorithmes dépend majoritairement aujourd'hui de la qualité des données utilisées. Elles doivent posséder plusieurs caractéristiques qui, dans la réalité, sont très peu disponibles aujourd'hui.

- Les données doivent posséder une information représentative du problème à résoudre. Les données de l'assurance maladie de la base SNIIRAM sont représentatives de la consommation de médicaments des Français et pas directement de leurs maladies. Elles sont peu utiles pour apprendre à faire du diagnostic automatique.
- Le nombre de données doit avoir une distribution bien représentative du problème que l'on cherche à décrire. Dans la mise au point de la conduite autonome, on doit disposer de données pour chaque situation de conduite (rond-point, feu stop, limitation de vitesse, conduite de nuit sur route glacée en montagne, etc...)

- Les données doivent être « labellisées » très précisément pour expliquer à l'IA la réponse correcte de la réponse incorrecte. En reconnaissance d'image par exemple, tous les acteurs, GOOGLE y compris, utilisent un nombre considérable de personnes pour étiqueter chaque image et chaque information pertinente sur une image avant de l'utiliser dans une intelligence artificielle.

La dynamique de recherche actuelle est très élevée. L'efficacité actuelle des algorithmes d'apprentissage repose sur la fourniture d'un ensemble de milliers de données du même type. C'est une méthode inefficace et très coûteuse en temps machine. L'optimisation de ressources de calculs est une tendance de fond. Elle correspond par exemple à proposer des réseaux de neurones en réduisant les dimensions sans perdre de précision. Elle correspond également à essayer de distribuer le travail sur un grand nombre de plateformes mobiles. La recherche correspond également à utiliser peu de données associées à une modélisation préalable des connaissances. L'explicabilité de l'IA est également un thème de recherche important. Les algorithmes d'IA sont actuellement des « boîtes noires », offrant peu ou pas d'informations sur la façon dont les performances sont atteintes. On cherche à développer des modèles dont les résultats produits sont explicables simplement par un expert du domaine.

Une autre tendance correspond à associer différentes techniques (reconnaissance d'image, reconnaissance de textes, interactions sociales) pour résoudre des problèmes génériques comme le développement d'agent d'accompagnement pour des personnes en situation de dépendance.

La majorité des bibliothèques de Machine Learning correspond à des projets open source. Même la bibliothèque TENSORFLOW de Google est devenue un projet open source en novembre 2015. Il y a de moins en moins d'enjeu économique à développer de nouvelles briques technologiques de base en machine learning. Les enjeux sur ces briques sont essentiellement scientifiques et techniques. Il n'y a pas d'enjeu pour la France à investir dans ce domaine.

Pour les sociétés, l'enjeu économique porte aujourd'hui sur le développement de solutions adressant un usage transverse comme l'amélioration de la précision d'analyse des images ou du langage et de plus en plus un usage sectoriel comme la détection de fraude dans les transactions financières.

Les briques technologiques de base ont été mises au point et ont donné des résultats expérimentaux intéressants. On cherche maintenant à trouver à quels problèmes, l'IA peut répondre concrètement.

Un des enjeux économiques et technologiques majeurs auquel la France doit faire face réside dans le développement des infrastructures pour entraîner de grands réseaux de neurones avec des données massives. Cela nécessite des infrastructures numériques pour collecter des données à grande échelle (réseaux) et les traiter (centres de données). L'État doit encourager les opérateurs de télécommunications et les grands opérateurs CLOUD à développer leurs propres infrastructures.

# CLASSEMENT SECTORIEL

---

Cette partie présente un classement des quinze secteurs de l'économie française les plus impactés par l'IA. L'impact correspond à la présence de leviers d'actions disponibles pour la puissance publique, susceptibles d'être mis en œuvre à court terme (0-3 ans) et avec des bénéfices. L'objectif est de :

- Proposer une méthodologie de classement sectoriel.
- Faire ressortir les quinze secteurs de l'économie française les plus impactés par l'IA.
- Identifier 4 secteurs prioritaires.

## Méthodologie générale de classement sectoriel

La méthodologie a pour finalité d'objectiver, dans la mesure du possible, la classification des secteurs économiques français les plus susceptibles d'être impactés par l'IA. La méthodologie retenue repose sur l'analyse systématique des résultats de rapports et enquêtes de référence à l'échelle internationale, existants à fin 2017.

70 études internationales ont été analysées. 18 ont été retenues<sup>90</sup>, dont 12 portant prioritairement sur l'adoption de l'IA au sein des secteurs économiques et 6 sur les investissements en innovation dans ce domaine. Ces études ont été réalisées sur une grande échelle et par des acteurs de référence (sociétés d'études de rang mondial, grandes banques d'affaires, sociétés de capital-risque, acteurs internationaux spécialisés dans l'analyse de données technologiques).

Une **première étape** a permis de dégager un consensus international sur les secteurs les plus impactés par l'IA au niveau mondial. Chaque secteur s'est ainsi vu attribuer une « note » basée sur deux critères principaux :

- Un critère **d'adoption de l'IA par la demande**, c'est à dire par les entreprises utilisatrices. Il traduit la perception des décideurs sur l'évolution des usages de l'IA et la transformation de leurs activités sur les prochaines années.
- Un critère **d'offre d'innovations** qui évalue la mise sur le marché de nouvelles offres reposant sur des technologies IA. Ce critère repose sur l'analyse des flux d'investissements dans les startups financées par des fonds de capital-risque et la ventilation sectorielle de ces startups.

Cette première étape permet d'identifier et de hiérarchiser les secteurs mondiaux les plus impactés par l'IA.

Une **seconde étape** a consisté à adapter ces résultats internationaux au cas de la France, en prenant en compte les spécificités nationales. En effet, il paraît nécessaire de pondérer l'analyse mondiale à travers :

1. Le poids du secteur dans le PIB national.
2. La contribution du secteur à l'emploi national.
3. Les atouts spécifiques de la France dans la compétition mondiale sur certains secteurs.
4. La présence de plateformes hégémoniques dans le secteur.
5. Les marges de manœuvre de l'État pour stimuler les usages IA.

Chacun de ces 5 critères est ensuite pondéré, en fonction de son importance relative dans l'étude d'impact. Pour étayer les résultats, des recherches et analyses complémentaires ont été conduites, en particulier à travers la revue des données intra-sectorielles sur l'industrie et le commerce de détail ainsi que la revue de travaux nationaux menés sur l'impact de l'IA et de l'automatisation<sup>91</sup>.

Cette seconde étape de l'étude permet de dégager un classement hiérarchisé de quinze secteurs de l'économie nationale les plus impactés par l'IA.

Le schéma ci-dessous, illustre les grandes étapes de la méthodologie de classement sectoriel adoptée par l'étude.

---

<sup>90</sup> Annexe

<sup>91</sup> Par exemple, le rapport « Automatisation, numérisation et emploi » du Conseil d'Orientation pour l'Emploi (COE), 2017

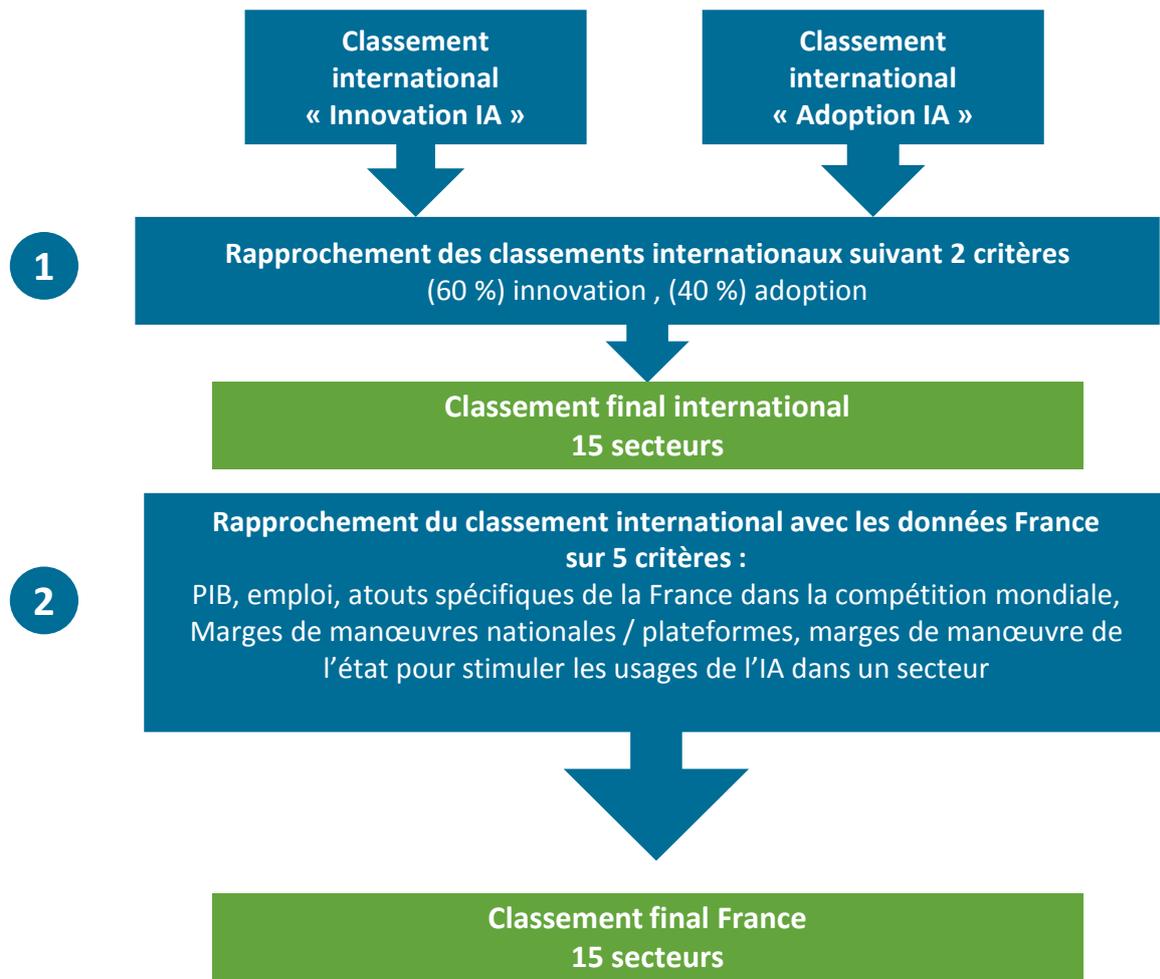


Figure 108 - Méthodologie de classement sectoriel

## Classement sectoriel international

Pour qualifier le consensus international sur les secteurs de l'économie mondiale les plus touchés par l'IA, l'étude évalue chaque secteur selon deux dimensions : l'**adoption** de l'IA au sein des secteurs et la diffusion de l'**innovation** IA, évaluée à partir des flux d'investissements dans ce domaine.

### Classement d'adoption de l'IA

La notion d'adoption fait référence aux perceptions des entreprises sur l'évolution des usages de l'IA dans leur secteur d'activité et sur la transformation de leurs organisations du fait de l'essor de l'IA.

La méthodologie adoptée s'appuie sur une revue des 12 rapports de référence suivants en trois étapes :

- La détermination de l'étendue de l'analyse selon une grille de critères objectifs communs et systématiques, qui permet de dégager une note dite « d'évaluation ».
- La prise en compte du rang de classement de chaque secteur, permettant de qualifier une note dite de « rang ».
- La détermination d'une note « globale d'adoption IA » à partir de ses notes « d'évaluation » et de « rang ».

#### Adoption de l'IA au sein des secteurs économiques - Rapports et enquêtes de référence

**Artificial Intelligence: the Next Digital Frontier?** MCKINSEY Global Institute (MGI). Jacques BUGHIN, Eric HAZAN, SREE RAMASAMI, DC Michael CHUI, Tera ALLAS, Peter DAHLSTRÖM, Nicolaus HENKE, and Monica TRENCH (2017)

**Reshaping Business With Artificial Intelligence, Closing the Gap Between Ambition and Action.** MIT Sloan Management Review and BCG. Sam RANSBOTHAM, David KIRON, Philipp GERBERT and Martin REEVES (2017)

**Turning AI into concrete value: the successful implementers' toolkit.** CAPGEMINI CONSULTING. Christopher STANCOMBE, Anne-Laure THIEULLENT, Ron TOLIDO and Jerome BUVAT (2017)

**The Real Consequences of Artificial Intelligence,** The GOLDMAN SACHS GROUP, Takafumi HARA, Greg DUNHAM and Alexander BLOSTEIN (2015)

**Real World Problem Simplification Using Deep Learning / AI.** NVIDIA. Dr. Ettikan KANDASAMY KARUPPIAH (2017)

**The Coming Artificial Intelligence Tsunami in Vertical Industries.** GARTNER (2017)

**How AI Boosts Industry Profits and Innovation.** ACCENTURE. Mark PURDY and Paul DAUGHERTY (2017)

**Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies.** TATA CONSULTANCY SERVICES. Jyothi NAIR, Ami MALIK, Sonalika SHARMA, Shona DIAS, Reema PAWA, Meirah BHASTEKAR (2016)

**Amplifying Human Potential Towards Purposeful Artificial Intelligence.** INFOSYS. Vishal SIKKA (2016)

**Artificial Intelligence and Life in 2030.** One hundred year study on artificial intelligence. STANFORD University (2016)

**Artificial Intelligence in the real world.** The ECONOMIST. Matteo BERLUCCHI, Paul CLARKE, Eric COLSON, Chris GELVIN, Ben GOERTZEL and James HENDLE (2016)

**What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?** Price Waterhouse COOPERS. Anand S. RAO and Gérard VERWEIJ (2017)

Tableau 10 - Liste des études utilisées pour le classement adoption

### Évaluation de l'étendue d'analyse de chaque étude de référence

Afin de pondérer les résultats des études les uns par rapport aux autres, chaque rapport est analysé selon une grille de 7 critères objectifs communs. Le but est ici d'attribuer un poids plus fort aux résultats sectoriels issus des études les plus étendues. Chaque rapport a été évalué selon :

- L'étendue et la profondeur de l'enquête menée, définies en fonction de la taille de l'échantillon, des choix méthodologiques adoptés et des principaux axes d'analyses retenus.
- L'importance accordée à des études de cas approfondies.
- La prise en compte d'interviews d'experts en nombre.
- La prise en considération des données relatives à l'importance des investissements.
- La couverture géographique mondiale, continentale ou centrée sur un pays ou une région.
- La couverture sectorielle, évaluée en fonction du nombre de secteurs considérés.
- L'étendue de la base documentaire et des autres ressources utilisées.

Sur la base de ces appréciations, une note « d'évaluation » sur une échelle de 1 à 3 est proposée pour chaque rapport. Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous et les détails sous-jacents à chaque appréciation sont proposés en annexe.

Rapport	Auteur	L'enquête	Les études de cas	La couverture des points de vue d'experts	Prise en compte des flux d'investissements	Base documentaire	Couverture géographique	Couverture sectorielle	Evaluation
<b>Artificial Intelligence: the Next Digital Frontier?</b>	Mckinsey Global Institute	Large	Large	Large	Oui	Large	Large	Large	3
Reshaping Business With Artificial Intelligence, Closing the Gap Between Ambition and Action	Boston Consulting Group	Large	Large	Large	Oui	Moyenne	Large	Large	3
<b>Turning AI into concrete value: the successful implementers' toolkit</b>	Cap Gemini Consulting	Moyenne	Large	Moyenne	Non	Large	Moyenne	Large	2
The Real Consequences of Artificial Intelligence	Goldman Sachs	Peu étendue	Peu étendue	Moyenne	Oui	Peu étendue	Peu étendue	Large	2
<b>Real World Problem Simplification Using Deep Learning / AI</b>	Nvidia	Large	Peu étendue	Large	Non	Large	Large	Large	3
The Coming Artificial Intelligence Tsunami in Vertical Industries	Gartner	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Non	Peu étendue	Large	Moyenne	2
<b>How AI Boosts Industry Profits and Innovation</b>	Accenture	Moyenne	Moyenne	Large	Oui	Moyenne	Large	Large	2
Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies	TCS	Large	Moyenne	Moyenne	Oui	Large	Large	Large	3
<b>Amplifying Human Potential Towards Purposeful Artificial Intelligence</b>	Infosys	Moyenne	Peu étendue	Moyenne	Oui	Large	Large	Large	2
Artificial Intelligence and Life in 2030	Stanford University	Peu étendue	Peu étendue	Moyenne	Non	Large	Peu étendue	Moyenne	1
<b>Artificial Intelligence in the real world</b>	The Economist	Peu étendue	Peu étendue	Moyenne	Non	Peu étendue	Moyenne	Moyenne	1
What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?	Price Waterhouse Coopers	Moyenne	Large	Moyenne	Oui	Peu étendue	Large	Moyenne	2

Tableau 11 - Évaluation qualitative de l'étendue de l'analyse

## Rang de chaque secteur dans les études de référence

Pour chaque rapport, une « note » de 1 à 4 est attribuée à chacun des quatre premiers secteurs du classement. La note attribuée reflète le rang du secteur dans le classement de l'étude dont il est question : la note de 4 pour le secteur classé au premier rang et celle de 1 pour celui classé au quatrième rang.

Les résultats font ressortir 13 secteurs les plus souvent retenus par le consensus international, les plus impactés par l'IA. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de cette évaluation.

Secteur	Mckinsey Global Institute	Boston Consulting Group	Cap Gemini Consulting	Goldman Sachs	Nvidia	Gartner	Accenture	TCS	Infosys	Stanford University	The Economist	Price Waterhouse Coopers
Télécommunications et technologies	4	4	4	2	1	4	4	1	2			
Santé					2	3			4	3	4	4
Industrie manufacturières, dont automobile	3			4			3		3		2	3
Services financiers	2	2	2		1	1	2				1	2
Commerce de détail et distribution		3	3					4			3	
Utilités dont énergie	1		1					3	1			
Transport et mobilité										4		1
Professions libérales et services professionnels		1				2	1					
Éducation et recherche					4							
Gouvernement				3								
Internet (pure player)					3							
Assurances								2				
Industries minières				1								

Tableau 12 - Classement international des secteurs selon les études

## Résultats : classement sectoriel « d'adoption de l'IA » au niveau mondial

Une note « globale d'adoption de l'IA » est estimée pour chaque secteur. Elle est obtenue selon la méthode suivante :

Note Globale d'adoption IA du secteur  $n$  = (Note d'évaluation du rapport  $i$  \* Note de rang du secteur  $n$  dans le rapport  $i$ )

Les secteurs sont classés par ordre décroissant, selon la valeur de leur note « globale d'adoption de l'IA ». Le tableau ci-dessous présente les résultats de cette étape de l'analyse.

Secteur	Mckinsey Global Institute	Boston Consulting Group	Cap Gemini Consulting	Goldman Sachs	Nvidia	Gartner	Accenture	TCS	Infosys	Stanford University	The Economist	Price Waterhouse Coopers	Note Globale d'Adoption IA
Télécommunications et technologies	12	12	8	4	3	8	8	3	4				62
Industrie manufacturières, dont automobile	9			8			6		6		2	6	37
Santé					6	6			8	3	4	8	35
Services financiers	6	6	4		3	2	4				1	4	30
Commerce de détail et distribution		9	6					12			3		30
Utilities dont énergie	3		2					9	2				16
Education et recherche					12								12
Professions libérales et services pros		3				4	2						9
Education et recherche					9								9
Transport et mobilité										4		2	6
Gouvernement				6									6
Assurances								6					6
Industries minières				2									2

Tableau 13 - Classement international de l'adoption de l'IA

Cette méthodologie permet de qualifier et de classer 12 secteurs de l'économie internationale qui font consensus au niveau mondial, quant à l'impact de l'IA sur leurs dynamiques de fonctionnement actuelles et futures.

Le tableau ci-dessous présente le classement international des secteurs issus de l'analyse.

Secteur	Classement
<b>Télécommunications et technologies</b>	1
<b>Industrie manufacturières, dont automobile</b>	2
<b>Santé</b>	3
<b>Services financiers</b>	4
<b>Commerce de détail et distribution</b>	5
<b>Utilities dont énergie</b>	6
<b>Education et recherche</b>	7
<b>Professions libérales et services pros</b>	8
<b>Transport et mobilité</b>	9
<b>Gouvernement</b>	10
<b>Assurances</b>	11
<b>Industries minières</b>	12

Tableau 14 - Classement sectoriel international d'adoption de l'IA

## Classement d'innovation en IA

Ce classement reflète le dynamisme et la rapidité de développement de l'écosystème d'innovation (par exemple startups, pôles de compétitivité, incubateurs et accélérateurs, ...). Il s'appuie sur les 6 rapports de références suivants. Une description détaillée de chaque rapport est précisée en annexe.

Innovation en IA au sein des secteurs économiques - Rapports et enquêtes de référence
<b>Artificial Intelligence, Deep Tech &amp; Venture Capital in Europe.</b> DEALROOM. Yoram WIJNGAARDE, Daryia PALIKSHA, Irina ANIHIMOVSKAYA and Marco SQUARCI (2017)
<b>Artificial Intelligence Investment Landscape</b> Global and India Perspective. PI VENTURES and TRAXCN (2016)
<b>The Artificial Intelligence Rush: A comprehensive study of +270 fundraising rounds</b> in 2016 for AI and Data driven startups. SERENA CAPITAL (2016)
<b>Artificial Intelligence : The Ultimate Technological Disruption Ascends.</b> WOODSIDE CAPITAL PARTNERS. Takashi Niino, Isamu KAWASHIMA and Katsumi EMURA (2017)
<b>The State of Artificial Intelligence.</b> CB INSIGHT. Andrew NG and Stuart RUSSELL (2017)
<b>Winning Strategies for Applied AI Companies.</b> POINT NINE (2017)

Tableau 15 - Liste des études utilisées pour le classement innovation

Le périmètre d'analyse concerne en particulier les flux d'investissements des fonds de capital-risque de référence sur une période de temps de 0 à 7 ans. La méthodologie adoptée est la même que pour le classement d'adoption IA. Cependant, suite à l'analyse de critères communs et objectifs, tous les rapports ont obtenus la note de 3. Ce critère n'étant pas discriminant, seule la note de rang de chaque secteur dans chaque rapport a été prise en compte.

### Résultats : classement sectoriel «d'innovation en IA » au niveau mondial

Le rang de classement de chaque secteur dans chaque étude est pris en compte. Une note de 1 à 13 est attribuée, avec la note de 13 pour le secteur classé au 1<sup>er</sup> rang et celle de 1 pour celui classé au dernier rang. Ce classement fait ressortir 15 secteurs dynamiques en termes d'innovation.

Secteur	PI Ventures	CB Insight	Woodside Capital	Serena Capital	Deal room	Point Nine	Total	Classement sectoriel
<b>Santé</b>	12	12	12	12	12	12	72	1
<b>Télécommunications et technologies</b>	13	13	13	13	13		65	2
<b>Services financiers</b>	11	11		9	11	13	55	3
<b>Industries manufacturières dont automobile</b>		10	10	7	7	8	42	4
<b>Commerce de détail et distribution</b>		9	11	4			24	5
<b>Transport et mobilité</b>	10			3		11	24	6
<b>Sécurité</b>				11	9		20	7
<b>Agriculture</b>	9			10			19	8
<b>Entertainment</b>					10	9	19	9
<b>Services juridiques</b>	7		9	2			18	10
<b>Education et recherche</b>	8			1	8		17	11
<b>Gouvernement</b>						10	10	12
<b>Environnement</b>				8			8	13
<b>Utilities dont énergie</b>				5			5	14
<b>Industries minières</b>						4	4	15

Tableau 16 - Classement sectoriel international en innovation en IA

## Classement international des secteurs

Le consensus international sur le classement des secteurs a été déterminé selon la méthode suivante :

$$\text{Note Globale Internationale du secteur} = [\text{Note d'adoption IA du secteur} \times (40\%)] + [\text{Note d'innovation IA du secteur} \times (60\%)]$$

Par exemple le secteur du Commerce a obtenu 30 points au classement adoption IA et 24 points au classement innovation IA. La note globale internationale du Commerce, se calcule comme étant  $(30 \times 0,4 + 24 \times 0,6) = 26$  points.

Une pondération plus importante (60%) est attribuée à la dimension d'innovation (vs. 40% pour la dimension d'adoption). Cela met en exergue les secteurs où les investissements et la dynamique d'innovation sont les plus forts et donc aussi ceux où les transformations à moyen terme seront les plus importantes. Cette pondération donne plus d'importance aux développements en cours dans les startups qu'à la perception de grands acteurs économiques.

### Résultats : classement sectoriel international en intelligence artificielle

Le résultat du consensus international sur le classement des quinze secteurs les plus impactés par l'IA est synthétisé dans le tableau suivant.

Secteur	Total	Classement sectoriel
<b>Télécommunications et technologies</b>	63.8	1
<b>Santé</b>	57.2	2
<b>Services financiers</b>	45	3
<b>Industries manufacturières dont automobile</b>	40	4
<b>Commerce de détail et distribution</b>	26.4	5
<b>Transport et mobilité</b>	16.8	6
<b>Education et recherche</b>	15	7
<b>Sécurité</b>	12	8
<b>Agriculture</b>	11.4	9
<b>Loisirs et média</b>	11.4	10
<b>Services juridiques</b>	10.8	11
<b>Utilities dont énergie</b>	9.4	12
<b>Gouvernement</b>	8.4	13
<b>Environnement</b>	4.8	14
<b>Professions libérales et services professionnels</b>	3.6	15

Tableau 17 - Classement sectoriel international en IA

Ce classement international nous a permis de :

- disposer d'une méthode permettant de comparer l'ensemble des études analysées les unes par rapport aux autres sur le volet des impacts sectoriels de l'IA
- révéler 15 les secteurs considérés comme les plus impactés par l'IA à l'échelle internationale, comme demandé par le cahier des charges de l'étude
- disposer d'une liste de secteurs à analyser et à pondérer à travers les critères retenus pour une transposition du classement international à la France

## Transposition du classement international à la France

Cette étape correspond à « localiser » le classement sectoriel international en prenant en compte les spécificités nationales. Il paraît nécessaire de pondérer l'analyse mondiale par les caractéristiques particulières de l'économie française.

Chaque secteur a été analysé et évalué selon cinq critères, à savoir :

- **Le poids du secteur dans le PIB national**, mesurée en Mds d'euros de valeur ajoutée. La valeur ajoutée est évaluée sur une échelle de 1 à 4, avec 1 = 0 – 20 Mds d'euros, 2 = 21-40 Mds d'euros, 3 = 41 – 60 Mds d'euros et 4 >60 Mds d'euros (source : données INSEE 2015).
- **La contribution du secteur à l'emploi**, mesurée en pourcentage sectoriel de l'emploi total avec 1 = 0 - 2%, 2 = 2-4%, 3 = 4-6%, 4 = >6% (source : données INSEE 2015).
- **Les atouts spécifiques de la France dans la compétition mondiale**, évalués de façon qualitative au regard de l'existence de grands groupes de rang européen ou mondial ou du niveau de régulation du secteur, ou encore de la facilité d'accès aux données.
- **L'existence de plateformes hégémoniques dans le secteur**, qui conditionnent les marges de manœuvres dont disposent les opérateurs privés et publics de ce secteur. Plus le secteur est dominé par des plateformes fortes et plus les acteurs sont contraints dans leurs choix stratégiques. L'évaluation qualitative permet de dégager une note de 4 lorsque les marges de manœuvre sont fortes et de 1 dans le cas contraire.
- **Les marges de manœuvre de l'action publique pour stimuler les usages IA**, avec 1 : faible, 4 : fort.

Chaque critère est pondéré selon les pourcentages suivants :

- |   |      |
|---|------|
| ▪ Contribution au PIB France                                  | 10 % |
| ▪ Emploi  | 10 % |
| ▪ Atouts spécifiques de la France                             | 25 % |
| ▪ Marges de manœuvre vs plateformes                           | 30 % |
| ▪ Marges de manœuvre de l'État pour impulser des usages en IA | 25 % |

Enfin, une « Note Globale France » de chaque secteur est calculée selon le principe suivant :

$$\text{Note Globale France du secteur} = [\text{Note PIB} \times (10\%)] + [\text{Note Emploi} \times (10\%)] + [\text{Note Atouts France} \times (25\%)] + [\text{Note Plateformes} \times (30\%)] + [\text{Note Marges de Manœuvres État} \times (25\%)]$$

Les secteurs sont ensuite classés, selon la valeur de leur Note Globale France, par ordre décroissant (de la plus forte à la moindre notation).

## Résultats : classement sectoriel français en intelligence artificielle

Le tableau suivant présente les résultats de l'évaluation de chaque secteur sur chaque critère.

Secteur	Contribution au PIB France	Emploi	Atouts spécifiques de la France	Marges de manœuvre vs. Plateformes	Marges de manœuvre de l'État	Evaluation Globale Pondérée
<b>Santé</b>	4	4	4	4	4	4.0
<b>Industries manufacturières dont automobile</b>	4	4	4	4	4	4.0
<b>Transports et mobilité</b>	4	3	4	4	4	3.9
<b>Utilities dont énergie</b>	3	1	4	4	4	3.6
<b>Environnement</b>	2	1	4	4	4	3.5
<b>Administration publique (hors Défense)</b>	4	4	1	4	4	3.3
<b>Services financiers</b>	4	2	4	1	4	2.9
<b>Agriculture</b>	2	2	1	4	4	2.9
<b>Secteurs Juridiques</b>	2	1	4	4	1	2.8
<b>Sécurité</b>	1	1	4	4	1	2.7
<b>Commerce de détail et distribution</b>	4	4	4	1	1	2.4
<b>Professions libérales et services pros</b>	3	2	1	4	1	2.2
<b>Education et recherche</b>	2	1	4	1	1	1.9
<b>Télécommunications et technologies</b>	4	2	1	1	1	1.4
<b>Loisirs et média</b>	3	2	1	1	1	1.3

Tableau 18 - Évaluation sectorielle nationale en IA

A partir de ces résultats, le classement français des 15 secteurs les plus impactés par l'IA est le suivant :

Secteur	Classement sectoriel
<b>Santé</b>	1
<b>Industries manufacturières dont automobile</b>	2
<b>Transports et mobilité</b>	3
<b>Utilities dont énergie</b>	4
<b>Environnement</b>	5
<b>Administration publique (hors Défense)</b>	6
<b>Services financiers</b>	7
<b>Agriculture</b>	8
<b>Secteurs Juridiques</b>	9
<b>Sécurité</b>	10
<b>Commerce de détail et distribution</b>	11
<b>Professions libérales et services pros</b>	12
<b>Education et recherche</b>	13
<b>Télécommunications et technologies</b>	14
<b>Loisirs et média</b>	15

Tableau 19 - Classement sectoriel national de l'IA

Le tableau ci-dessous met en lumière les écarts entre le classement des 15 secteurs les plus impactés par l'IA à l'échelle internationale et ceux identifiés à l'échelle française :

International		France	
Rang	Secteurs	Rang	Secteurs
1	Technologies IA génériques	1	Santé
2	Santé	2	Industries Manufacturières
3	Services financiers	3	Transports et mobilité
4	Industrie (particulièrement industrie automobile)	4	Services d'utilité publique (électricité, eau, gaz)
5	Commerce	5	Environnement
6	Transport et Logistique	6	Administration publique (hors Défense) et sécurité sociale obligatoire
7	Enseignement supérieur et recherche	7	Services financiers
8	Sécurité	8	Agriculture
9	Agriculture	9	Secteur juridique
10	Loisirs	10	Sécurité des biens et des personnes
11	Secteur juridique	11	Commerce
12	Services d'utilité publique (électricité, eau, gaz)	12	Professions libérales, services professionnels
13	Gouvernement	13	Recherche-Développement scientifique
14	Environnement	14	Télécommunications, logiciels, services informatiques et relations clients
15	Professions libérales, services professionnels	15	Loisirs

Figure 109 - les secteurs les plus impactés par l'IA à l'international et en France

## Choix des secteurs français prioritaires pour l'analyse approfondie

Dans la suite du document, l'impact de l'essor de l'IA fait l'objet d'une analyse approfondie sur les quatre secteurs suivants :

- Santé
- Industries manufacturières
- Transport et logistique
- Energie-Environnement

Si les 3 premiers secteurs correspondent au résultat factuel du classement général, le quatrième secteur proposé (Energie-Environnement), est issu d'une reconstruction suite à une analyse additionnelle :

- le secteur qui ressortait au quatrième rang dans le classement général est celui des « Utilities ». Mais en étudiant de plus près les analyses sur la digitalisation et l'IA de ce secteur, le sous-secteur le plus significatif est celui de l'Energie. Dans celui-ci, les transformations les plus importantes sont liées à la transition énergétique (utilisation du digital et de l'IA en contribution au changement des modes de production et de consommation de l'énergie).
- Le secteur qui apparaît au cinquième rang est celui de l'Environnement. Dans ce secteur, un des enjeux clés est la maîtrise du changement climatique et des effets induits. Il y a une corrélation forte entre la maîtrise des gaz à effets de serre et la transition énergétique par exemple.
- En conséquence, nous avons lié les 2 secteurs pour la suite de l'analyse. Le quatrième secteur issu de cette orientation est donc le secteur « Energie-Environnement ».

Pour chacun des dix autres secteurs, une analyse macroscopique des enjeux et des usages de l'IA est présentée.

## Synthèse du chapitre

Ce chapitre présente une méthodologie et un classement objectif des secteurs de l'économie française, les plus impactés par l'IA dans les prochaines années.

La méthodologie suivie est basée sur l'analyse systématique des résultats de 18 rapports et enquêtes produits par des sociétés de conseils et d'analyse financière de référence. Une première étape permet de dégager un consensus international des secteurs les plus impactés. L'évaluation se base sur 2 critères :

- L'adoption de l'IA par les entreprises, leur perception de l'évolution des usages de l'IA.
- L'innovation en l'IA qui évalue le montant des investissements et la rapidité de diffusion des innovations.

Une seconde étape adapte ces résultats à la France, en prenant en compte les spécificités nationales selon 5 critères.

- Le poids du secteur dans le PIB national, mesurée en Mds d'euros de valeur ajoutée.
- La contribution du secteur à l'emploi, mesurée en pourcentage sectoriel de l'emploi total.
- L'existence de grands groupes de rang européen ou mondial.
- L'existence de plateformes hégémoniques dans le secteur, qui conditionnent les marges de manœuvres.
- Les marges de manœuvre de l'action publique pour stimuler les usages IA.

Cette seconde étape permet de dégager un classement des 15 secteurs sur lesquels l'IA aura le plus de répercussions :

- Santé
- Industries manufacturières
- Transport et mobilité
- Services d'utilité publique
- Environnement
- Administration publique (hors Défense)
- Services financiers
- Agriculture
- Secteur juridique
- Sécurité des biens et des personnes
- Commerce de détail et distribution
- Professions libérales, services professionnels
- Education et recherche
- Télécommunications et technologies
- Loisirs et média

Les 4 premiers secteurs font l'objet d'une analyse approfondie dans l'étude : **Santé, industries manufacturières, transport et mobilité et énergie et environnement**. Les autres secteurs font l'objet d'une analyse macroscopique des enjeux et des principaux usages de l'IA.

# ANALYSE MACROSCOPIQUE SECTORIELLE

Cette partie présente le développement de l'intelligence artificielle sur 9 secteurs économiques. Les secteurs retenus correspondent à un choix des commanditaires de l'étude parmi les 15 secteurs du classement précédent. 4 autres secteurs, considérés comme majeurs, font l'objet d'une analyse approfondie au chapitre suivant.

Pour chaque secteur, une présentation est faite des besoins et usages qui se développent, des offres et solutions qui permettent d'y répondre et de l'opportunité pour la France à encourager le développement de l'Intelligence artificielle dans ce secteur. Les opportunités les plus importantes sont regroupées dans la partie des recommandations du rapport.

Par ailleurs, pour chaque secteur une proposition de scénario économique est faite. La méthodologie utilisée est décrite pour le premier secteur 'Administrations publiques' et s'applique ensuite aux 8 autres secteurs.

Il est à noter que les impacts de l'IA sur l'emploi ne sont pas instruits dans les analyses sectorielles. En effet, il s'agit d'un sujet particulièrement complexe et spécifique, qui n'est pas l'objet de cette étude PIPAME. Toutefois, quelques réflexions et hypothèses sur l'impact de l'intelligence artificielle sur l'emploi sont présentées, à titre introductif, en annexe.

## Administrations publiques

### Les besoins du secteur

Le secteur des administrations publiques comprend les administrations publiques centrales, les administrations publiques locales et les administrations de sécurité sociale<sup>92</sup>. La valeur ajoutée du secteur des administrations publiques est estimée à environ 158 Mds d'euros<sup>93</sup> et un taux d'emploi d'un peu moins de 9% de la population active totale en 2016.

Les usages de l'IA dans ce secteur sont les suivants. Ils se retrouvent tout au long de la chaîne de valeur des politiques publiques.



Figure 110 - Segmentation des usages en IA dans le domaine des services publics

<sup>92</sup> <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1244>

<sup>93</sup> INSEE

## **Construction des politiques publiques**

L'intelligence artificielle permet d'identifier les problèmes prioritaires des citoyens grâce à l'analyse des données. L'analyse prédictive peut permettre à l'État de prédire des problèmes économiques et sociaux et d'anticiper les mesures à prendre.

Dans la mise au point de politiques publiques, l'IA permet d'évaluer les résultats bénéfiques ou non de nouvelles mesures politiques<sup>94</sup>. Au-delà de la simple formulation de politiques, l'IA permet de cibler les politiques en identifiant les besoins selon le type d'acteurs (94). Par exemple, le département de santé publique de CHICAGO a mis en place un modèle permettant de mieux détecter les maisons ayant des niveaux de plomb dangereux pour les enfants (94). Ce type de modèle a aussi été utilisé dans le domaine de la prévention de la délinquance dans les écoles. Cette méthode permet de cibler les zones d'interventions et *in fine* d'allouer de manière plus efficace les ressources<sup>95</sup>.

## **Mise en œuvre de politiques publiques**

Les techniques d'IA permettent le passage de la « formulation sur le papier » à « l'application »<sup>96</sup>. Cette étape est fondamentale en politiques publiques. En effet, la réussite d'une politique dépend fortement de la maîtrise des différentes étapes d'application et de ses modalités. L'IA aide à déterminer les meilleures stratégies d'implémentation ou à choisir les meilleurs canaux de communication pour mobiliser sur un sujet<sup>97</sup>.

En France, la Direction de l'Information Légale et Administrative (DILA) française a lancé un appel à projet pour une expérimentation des agents conversationnels sur le site du service public. Le lancement des premiers tests est prévu pour le premier trimestre 2019<sup>98</sup>.

Voici quelques exemples de cas d'usage et niveau d'intégration de l'intelligence artificielle aux États-Unis par domaine d'activité gouvernementale<sup>99</sup>. Certains usages, notamment dans le domaine de la justice, posent de nombreuses questions éthiques complexes à adresser.

---

<sup>94</sup> Exploring the impact of Artificial Intelligence on Government, Centre for Public Impact ABCGfoundation , septembre 2017 / Savard, J. F., and Banville, R. (2012)

<sup>95</sup> Exploring the impact of Artificial Intelligence on Government, Centre for Public Impact ABCGfoundation , septembre 2017

<sup>96</sup> Savard, J.F and Banville, R. (2012) ; « CDC Policy Process » (2015) / Exploring the impact of Artificial Intelligence on Government, Centre for Public Impact ABCGfoundation , septembre 2017

<sup>97</sup> Stern, S. (2013) ; Glowacki, M. (2016) ; Exploring the impact of Artificial Intelligence on Government, Centre for Public Impact ABCGfoundation , septembre 2017

<sup>98</sup> Direction de l'information légale et administrative

<sup>99</sup> Pour une transformation de l'action publique. Réussir la réforme à l'ère du numérique. Institut de l'entreprise & EY

DOMAINE	BÉNÉFICE MAJEUR	CAS D'USAGE ET NIVEAU D'INTÉGRATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE
<b>Justice</b>	Réduction de la population carcérale, aide à la décision, réduction du risque de récidive	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Outil de prédiction du risque lié à une libération sous caution, utilisé par 29 juridictions dont 3 États (programme PSA « Public Safety Assessment-Court »)</li> <li>▪ Aide à la décision pour la détermination des sentences à partir des antécédents et du crime commis en Pennsylvanie</li> </ul>
<b>Enseignement</b>	Enseignements plus adaptés aux besoins individuels des étudiants	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formation personnalisée du personnel de l'US Air Force aux procédures en cas d'incident de vol (programme SHERLOCK)</li> <li>▪ Apprentissage personnalisé d'une langue avec un support vocal, par exemple pour travailler l'accent (programme CARNEGIE SPEECH)</li> </ul>
<b>Sécurité</b>	Adaptation des efforts de contrôles aux risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse des données de délinquance à des fins prédictives (police de Los Angeles)</li> <li>▪ Prédiction du niveau de risque associé à un passager d'un vol commercial et proposition d'un niveau de contrôle adéquat (projet DARMS)</li> </ul>
<b>Santé</b>	Amélioration de la qualité des soins et limitation des coûts	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prédiction d'éventuelles complications médicales et amélioration du traitement de lésions de combat pour les anciens combattants (US DEPARTMENT of VETERAN AFFAIRS)</li> </ul>
<b>Relation usagers</b>	Réponses plus rapides et pertinentes aux attentes usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apport d'informations sur les divers services digitaux fournis par le gouvernement via la plateforme DIGITALGOV du GSA (General Service Administration).</li> </ul>

Tableau 20 - Usages de l'IA dans les services publics

## L'offre en IA

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services et des solutions en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>100</sup>
<b>Monde</b>	Plus de 50
<b>États-Unis</b>	Entre 10 et 50
<b>Europe</b>	Entre 10 et 50
<b>France</b>	Moins de 10

Tableau 21 - Répartition géographique des sociétés

<sup>100</sup> Crunchbase

Typologie des services	Sociétés
<b>Construction des politiques publiques</b>	SWIFTERA, HERASPACE
<b>Mise en œuvre de politiques publiques</b>	QUCIT (France), PREDINA, ROADBOTICS , CAPE ANALYTICS

Tableau 22 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

- SWIFTERA fournit des données géo spatiales aux municipalités leur permettant de mieux planifier leur programme d'urbanisme.
- HERASPACE. Cette compagnie anglaise spécialisée en analyse d'image satellitaire (satellite COPERNICUS), utilise des techniques d'intelligence artificielle sur des modèles océanographiques pour identifier des zones de pêche légales et qui respectent des principes de développement durable.
- En France, le laboratoire du CEA, le LIST, a créé un algorithme DEEP MANTA spécialisé en analyse d'image vidéo par apprentissage pour reconnaître les véhicules sur l'aire urbaine et faciliter leur gestion par les services de voirie ou de transport.
- QUCIT (France) applique l'intelligence artificielle pour optimiser le fonctionnement des villes. L'entreprise travaille avec les villes et les entreprises pour les aider à avoir la bonne équipe au bon endroit au bon moment et à faire le bon choix pour assurer le bon fonctionnement des services urbains : du réaménagement de la flotte de vélos en passant par l'intervention d'urgence sur les autoroutes.
- PREDINA. Cette société développe des modèles prédictifs d'évaluation des risques d'accident sur une route. Cela permet notamment au gouvernement de mettre en place des politiques de prévention routière ciblée sur les zones à plus fort risque.
- ROADBOTICS surveille et gère les routes grâce à une technologie d'IA qui identifie et évalue automatiquement et précisément un large éventail de conditions routières : fissures, nids de poule, signalisation, végétation, débris, etc... Cette technologie a été développée à l'Institut de robotique de l'Université Carnegie Mellon dans le but d'apporter de la transparence aux infrastructures routières.
- Dans un autre domaine, la société CAPE ANALYTICS utilise l'imagerie aérienne et des techniques de vision par ordinateur pour évaluer précisément les limites de propriétés entre des bâtiments ou des maisons.

## 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>▪ Amélioration des échanges entre le citoyen et l'administration.</li> <li>▪ Focalisation des ressources publiques.</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatisation accrue de certaines tâches et processus pouvant entraîner une réduction d'emploi.</li> <li>▪ Une gestion du changement lourde à mettre en œuvre.</li> <li>▪ Des risques sociaux importants, notamment sur les questions éthiques associées à une décision de justice faite par une IA.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Traitement automatique du langage (NLU/NLP).</li> <li>▪ Traitement de la vision.</li> <li>▪ Réseaux de capteurs IOT et imagerie satellitaire.</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forte.</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Publique et privée.</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>Mise en œuvre de politiques publiques :</b> Amélioration et simplification des procédures administratives pour le citoyen.</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Favoriser l'accès aux données administratives.</li> <li>▪ Développer un écosystème d'acteurs susceptibles de mettre au point des services dans ce domaine</li> </ul>
Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Projets lauréats du premier appel à projets du fonds pour la transformation de l'action publique dont la liste a été dévoilée le 20 juin 2018 <sup>101</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ministère du Travail – Pôle emploi : installer l'intelligence artificielle au sein de Pôle emploi comme levier d'accélération au retour à l'emploi durable.</li> <li>○ Ministère de l'Action et des Comptes Publics – DGFIP : améliorer l'efficacité du contrôle fiscal en renforçant le ciblage des dossiers contrôlés grâce au datamining et à l'intelligence artificielle.</li> <li>○ Ministère de l'Intérieur : Amplifier l'activité du laboratoire scientifique (Datalab) créé en 2016 par le ministère de l'Intérieur afin de systématiser les démarches d'analyse stratégique par la donnée, et favoriser l'émergence de l'intelligence artificielle au profit de l'ensemble des missions du Ministère de l'Intérieur</li> <li>○ Ministère des solidarités et de la santé – DREES : créer une infrastructure de données « big data » en santé ainsi qu'à réunir des outils et compétences permettant d'améliorer significativement l'efficacité de notre système de santé.</li> <li>○ Ministère de la Transition écologique et solidaire – Météo France : mobiliser des technologies innovantes (« machine learning ») pour une meilleure prévision des phénomènes météorologiques et de leurs impacts.</li> </ul> </li> <li>▪ Lancement par le gouvernement d'un appel à manifestation d'intérêt « Pour le développement de l'intelligence artificielle dans l'administration »<sup>102</sup>. Sélection en cours.</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui : *Faible potentiel marché et infrastructure de calcul de l'État peu développée.*

<sup>101</sup> <http://www.modernisation.gouv.fr/action-publique-2022/actualites/investir-pour-transformer-decouvrez-les-17-laureats-du-premier-appel-a-projets-du-ftap>

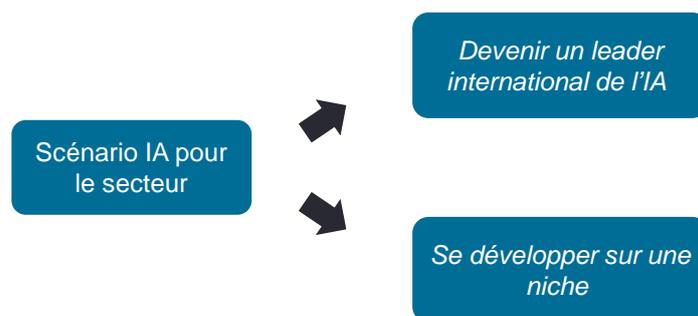
<sup>102</sup> <http://www.modernisation.gouv.fr/salle-de-presse/communiqués-de-presse/le-gouvernement-lance-l'expérimentation-de-l'intelligence-artificielle-dans-l'administration>

## Proposition de scénario stratégique

### Introduction méthodologique

La méthodologie de scénario présentée est appliquée pour chaque secteur économique analysé.

Compte tenu de l'analyse précédente, cette partie qui va se retrouver dans l'analyse de chaque secteur, propose un ou plusieurs scénarios de développement de l'IA en France pour ce secteur. Les propositions concernent le développement d'un scénario de type « *devenir un leader international de l'IA* » ou de type « *créer une niche en se focalisant sur un type d'usage particulier* » pour le secteur en question.



Devenir un **leader** revient à créer en France ou en Europe :

- Un pôle universitaire permettant de former l'ensemble des personnels qualifiés pour inventer, mettre au point, développer, faire fonctionner et maintenir l'ensemble des technologies qui entrent dans les produits ou services en IA du secteur.
- Un pôle de recherche dynamique attirant et fidélisant les meilleurs chercheurs mondiaux. Une production régulière et significative de travaux de recherche pour lever les verrous scientifiques nécessaires à la mise au point des technologies d'IA du secteur
- Des infrastructures hyperscalables permettant la collecte, le stockage et le traitement d'immenses flux de données.
- Une mobilisation régulière de ressources financières publiques et privées pour innover et faire naître de nouveaux produits et services sur l'ensemble de la filière.
- De grands acteurs économiques pour accélérer l'innovation et industrialiser les nouveaux produits et services.
- Un marché réceptif à l'innovation.

Se focaliser sur une **niche** revient à encourager le développement d'acteurs pour résoudre quelques problèmes spécifiques sur la durée. La focalisation sur une niche favorisera la concentration et la mise en réseau d'acteurs (chercheurs, startups, grandes entreprises) autour d'une problématique.

## Scénario retenu pour le 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	Moyenne
Qualité de l'infrastructure technologique	Faible
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Faible
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	
Développer des initiatives de niche	Recommandé

Un scénario de niche est à privilégier. Ce scénario pourrait encourager par exemple, le développement de technologies d'IA à destination des citoyens. Les technologies **d'assistant intelligent** pour renseigner les citoyens pourraient améliorer la qualité et l'efficacité des services publics.

# Services financiers

## Les besoins du secteur

Les services financiers sont aujourd'hui l'un des secteurs les plus matures dans l'usage des technologies de Machine Learning. Ce secteur est déjà très digitalisé et investit régulièrement dans les technologies informatiques, ce qui favorise le développement d'une filière d'intelligence artificielle.

L'intelligence artificielle peut être utilisée dans les domaines suivants :

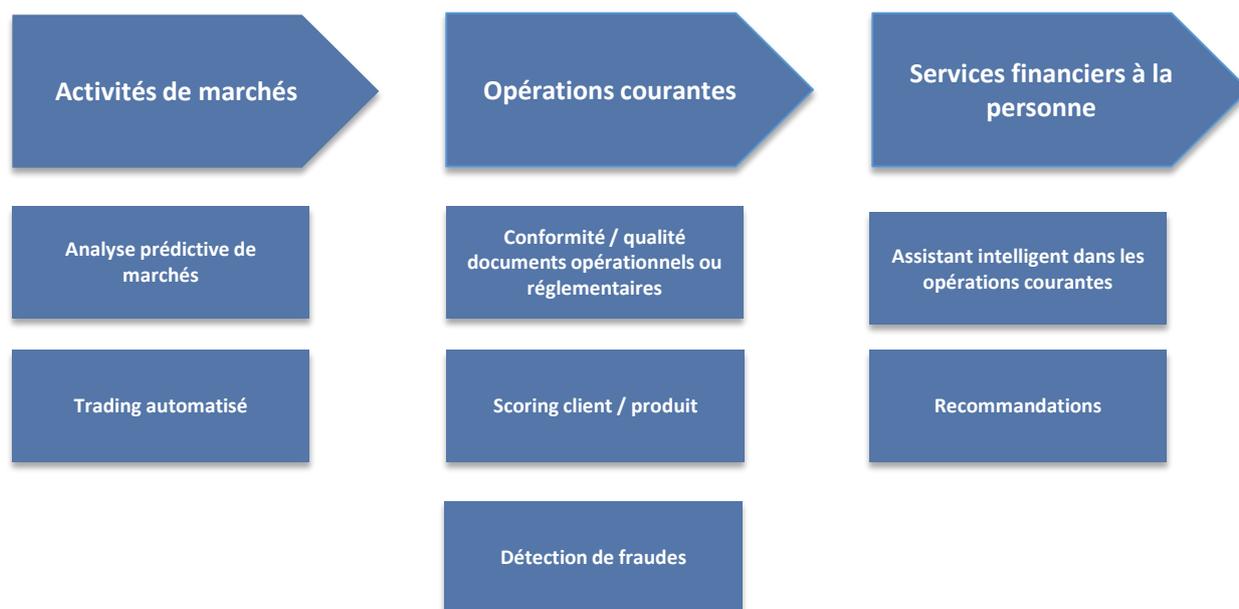


Figure 111 - Typologie de services IA dans le domaine financier

## Activités de marché

En banque d'investissement, l'intelligence artificielle est déjà utilisée depuis plusieurs années en analyse prédictive de tendances et en trading. La banque GOLDMAN SACHS a investi dès 2014 dans la startup KENSHO, spécialisée en Text Mining. L'algorithme de KENSHO permet notamment d'identifier des tendances de marché en fournissant des réponses à des questions de type : *Quels sont les stocks de ciment qui montent le plus quand un ouragan de catégorie 3 frappe la Floride ?*

Par ailleurs, des robots de trading intégrant des technologies de Machine Learning commencent à se développer. La banque ING a développé l'assistant KATANA qui aide les traders à fixer le meilleur prix des actions. La banque affirme que les premiers tests effectués à Londres en 2017 lui ont permis de réduire de 25% ses coûts de transaction.

La banque UBS a également développé un robot pour analyser et traiter les demandes d'allocations de trading de ses clients. Le système propose des allocations à partir des souhaits clients, les traite et exécute les transactions. Selon la banque, cela permet d'effectuer une tâche de 45 minutes en seulement 2 minutes. Actuellement, la banque développe un second assistant pour construire et proposer automatiquement des stratégies d'investissements tenant compte de la volatilité d'un marché. UBS fait notamment appel à la société finlandaise TRADELEGS pour développer son nouveau système.

BLACK ROCK, l'un des plus grands fonds d'investissement au monde, vient d'annoncer en 2018, la création d'un laboratoire d'innovation en intelligence artificielle à PALO ALTO. L'objectif de la recherche actuelle correspond à apprendre aux algorithmes des stratégies de trading pertinentes.

Fondé en 2001, EUREKAHEDGE est une société d'analyse financière qui étudie notamment la performance des fonds d'investissement. Depuis 2011, la société calcule un indice de performance des fonds utilisant de l'intelligence artificielle dans leurs opérations de trading par rapport aux autres fonds opérant avec des traders humains. L'évolution de cet indice est présentée ci-dessous.

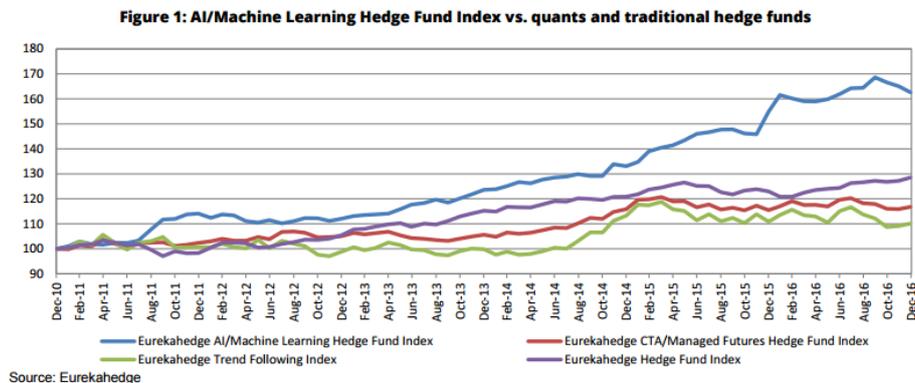


Figure 112 - Performance (bleue) des fonds utilisant de l'intelligence artificielle

EUREKAHEDGE a enregistré en février 2018 la plus mauvaise performance des intelligences artificielles de trading depuis leur création. Les algorithmes actuels sont développés pour suivre une tendance générale du marché et non des événements atypiques ou brusques, ce qui pourrait expliquer cette contre-performance sur la détection de retournement de tendance.



Figure 113 - Exemple de stratégie de trading à modéliser

Plus récemment, La société OPENBLOCK a développé un premier agent de trading automatique de crypto monnaies basé sur de l'intelligence artificielle.

L'intelligence artificielle peut également être utilisée pour améliorer le contrôle des marchés. En février 2017, la bourse de TOKYO a annoncé le développement d'une IA dans les opérations de surveillance du marché, en utilisant des technologies développées par NEC et HITACHI.

## Opérations courantes

Les banques développent des outils d'IA pour essayer d'optimiser l'ensemble de leurs opérations avec déjà plusieurs outils qui sont passés d'un stade de R&D à un stade d'utilisation en production. BNP PARIBAS a créé en 2017 un laboratoire d'une trentaine de personnes, dédié aux projets en intelligence artificielle notamment pour automatiser toutes les tâches et rendre la banque 'scalable'. L'un des objectifs est d'apprendre à traiter de la donnée non structurée comme du texte ou des images.

L'intelligence artificielle est utilisée dans les processus de vente de produits financiers pour décider ou non d'accorder un prêt ou pour conseiller un investissement. Dans le domaine du scoring pour l'octroi de crédit, les banques développent des modèles basés sur des réseaux de neurones. Le modèle obtenu offre une analyse du risque plus fine et permet de donner un avis positif à des clients qui précédemment étaient exclus du crédit. Le challenge actuel correspond à expliquer pourquoi et comment le modèle fonctionne, notamment pour savoir s'il sera robuste en cas de crise systémique.

L'analyse documentaire (contrat, réglementation, rapport d'étude) est un champ d'application important pour l'IA. La banque JPMORGAN a lancé en 2017 COIN, un bot capable d'analyser des contrats juridiques complexes plus rapidement et plus efficacement que les avocats humains. Selon la banque, depuis son lancement, le robot a aidé à économiser plus de 360 000 heures de main-d'œuvre.

En France, la SOCIETE GENERALE développe un moteur de scoring pour détecter les clients susceptibles de quitter la banque. Selon la banque, depuis son lancement, elle a multiplié par 4, le nombre de clients détectés susceptibles de partir.

## **Assurance et intelligence artificielle**

Dans l'assurance, l'intelligence artificielle peut intervenir pour les opérations backoffice par exemple : gestion des contrats, évaluation des primes, remboursement des sinistres. En tirant parti de l'intelligence artificielle, les assureurs peuvent automatiser une partie du processus de traitement des réclamations et des fraudes. De plus, les modèles d'apprentissage peuvent évaluer la gravité d'un sinistre et prédire les coûts de réparation.

L'assureur NATIXIS confie la résiliation des contrats et le traitement des mails à un robot. AVIVA fait également partie des assureurs qui ont adopté ce concept. La compagnie propose un reclassement de ses employés dont le travail serait menacé par un robot. Elle évalue ainsi la possibilité de confier les tâches liées aux centres d'appel et au calcul des primes à un système d'intelligence artificielle.

## **Services financiers à la personne**

Une majorité de banques développe des outils de marketing et de service à la clientèle basés sur des assistants. BANK OF AMERICA a lancé en 2017, l'assistant ERICA, un Chatbot vocal et textuel conçu pour aider les clients à prendre des décisions bancaires plus intelligentes. ERICA envoie des notifications aux clients, identifie les domaines où ils peuvent économiser de l'argent, fournit des mises à jour sur leur score de notation de crédit, et facilite le paiement des factures.

Les assistants les plus avancés permettent d'interagir avec la voix ou le texte pour vérifier des indicateurs bancaires comme des taux d'intérêts, consulter des historiques de transactions, effectuer des opérations courantes de transfert d'argent, recevoir des conseils sur les dépenses réalisées ou des opérations de placement et répondre à plusieurs milliers de questions bancaires courantes.

En France, le CREDIT MUTUEL (tri de mails) ou ORANGE BANK ont notamment adopté WATSON, tout comme CITYGROUP, la Banque Royale d'Ecosse ou l'assureur japonais FUKOKU dans le monde.

## L'offre en IA

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>103</sup>
Monde	Plus de 200
États-Unis	Plus de 100
Europe	Plus de 100
France	Moins de 10

Tableau 23 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Sociétés
<b>Analyse prédictive</b>	AYASDI, NUMENTA, TURI, TRUEACCORD, KENSHO, PENTATION ANALYTICS, JAMES, QUANTCUBE (France)
<b>Détection de fraudes</b>	FEEDZAI, BIOCATCH, DREAMQUARK (France), SHIFT TECHNOLOGY (France)
<b>Assistant IA / Chatbot</b>	TRIM, PENNY, INSURIFY, CLEO, KASISTO
<b>Scoring client/ produit</b>	TYPESCORE, ZESTFINANCE, ADF, CREAM FINANCE, KABBAGE, DREAMQUARK (France), SIDETRADE (France)
<b>Trading automatisé</b>	ALPACA, CLONE ALG, WALNUT ALGORITHMS (France), BINATIX

Tableau 24 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

### ▪ Analyse prédictive

KENSHO utilise l'analyse de données et l'intelligence artificielle pour fournir des applications de calcul statistique et d'analyse des risques financiers. Cette startup vise à réduire le risque dans la prise de décision humaine. Grâce au Machine Learning, KENSHO est capable de répondre à plusieurs millions de questions formulées en langage naturel.

TRUEACCORD utilise l'apprentissage automatique et l'analyse comportementale pour fournir des services de recouvrement de créances. La technologie explore les données publiques des débiteurs et choisit automatiquement l'approche de recouvrement la plus susceptible pour les convaincre de coopérer.

JAMES applique l'IA aux risques de crédit. Son outil de gestion des risques a été adopté par des institutions financières en Europe, aux États-Unis et en Amérique latine. L'outil JAMES est utilisé par les responsables des risques pour les aider à atteindre des taux de défaut plus bas. L'interface vise à donner aux professionnels un pouvoir prédictif supérieur grâce à l'apprentissage automatique et à l'optimisation avancée.

### ▪ Détection de fraude

FEEDZAI utilise l'intelligence artificielle pour sécuriser les transactions en ligne et éviter les fraudes. L'algorithme scanne, en temps réel, toutes les informations disponibles sur le web à propos d'un acheteur potentiel. Avec ces informations le dispositif cherche à vérifier s'il existe des données suspectes et alerte le vendeur sur la fragilité de la transaction.

<sup>103</sup> Crunchbase

BIOCATCH utilise la biométrie comportementale pour détecter les menaces en ligne et arrêter la fraude financière. La plate-forme distingue les véritables utilisateurs des fraudeurs en fonction de leur comportement cognitif. La technologie identifie grâce à l'apprentissage les comportements qui sont compatibles et unique à un individu.

- **Scoring client/ produit**

AIRE utilise des algorithmes d'apprentissage pour attribuer des scores aux utilisateurs afin de les aider à se qualifier pour les produits financiers. La solution proposée permet aux entreprises d'accéder à de nouveaux marchés tout en optimisant les coûts d'acquisition. Elle est utilisée en complément d'un moteur de décision automatisé lorsqu'il est incapable de prendre une décision.

KABBAGE utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour des données provenant des informations publics sur Internet afin d'évaluer les profils des clients et autoriser le prêt d'argent pour les petites entreprises.

- **Assistant IA / Chatbot**

KASISTO permet aux institutions financières d'ajouter des assistants virtuels et des robots intelligents à leurs applications mobiles, sites Web et plates-formes de messagerie. Son CHATBOT KAI répond par exemple à des questions sur les finances personnelles d'un utilisateur.

L'IA est entraînée avec des données financières et bancaires. Elle peut répondre aux demandes des clients, résoudre les problèmes, prévoir les besoins et améliorer les performances grâce à l'apprentissage automatique.

D'autres acteurs proposent des logiciels basés sur l'intelligence artificielle pour améliorer l'expertise des conseillers bancaires. Le logiciel collecte les informations nécessaires sur le client puis détermine le produit le plus adapté. Il indique au conseiller comment expliquer pourquoi le produit est le plus adapté aux besoins du client, quels sont ses avantages, ses inconvénients et ses risques.

- **Trading automatisé**

La société française WALNUT ALGORITHMS met le Machine Learning et les mathématiques appliquées au service de la gestion d'investissements sur les marchés financiers. La startup utilise des techniques d'apprentissage avec une expertise financière pour générer des stratégies d'investissement à fort rendement. Elle développe des modèles de trading capables d'apprendre et de s'améliorer continuellement. Les stratégies sont conçues pour identifier les tendances significatives qui se forment sur les marchés financiers avec un haut niveau de confiance.

## 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>▪ Un secteur très mature technologiquement.</li> <li>▪ Une forte digitalisation du secteur.</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un travail d'analyse qui peut être délégué à des intelligences artificielles</li> <li>▪ Une complexité de définition d'une stratégie de trading optimale.</li> <li>▪ Une réduction de la main d'œuvre nécessaire à l'analyse ou aux contrôles des opérations de routine.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Traitement automatique du langage (TAL).</li> <li>▪ Modèles probabilistes.</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forte</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée</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>Services financiers à la personne</b> : Un « coach » contrôleur de gestion / conseiller financier personnalisé pour les consommateurs.</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Encourager des projets de développement d'outils financiers intelligents pour les consommateurs pour répondre au développement d'outils intelligents pour les professionnels.</li> </ul>

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

Les acteurs innovants sont majoritairement étrangers et le secteur est déjà mature pour l'intelligence artificielle.

## 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	Forte
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Moyenne
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Moyenne
Digitalisation du secteur, accès aux données	Forte

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

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

Le scénario de leader n'est pas privilégié car les acteurs le plus innovants sont internationaux (USA et anglais en particulier) et déjà matures dans les produits et les services reposant sur l'intelligence artificielle.

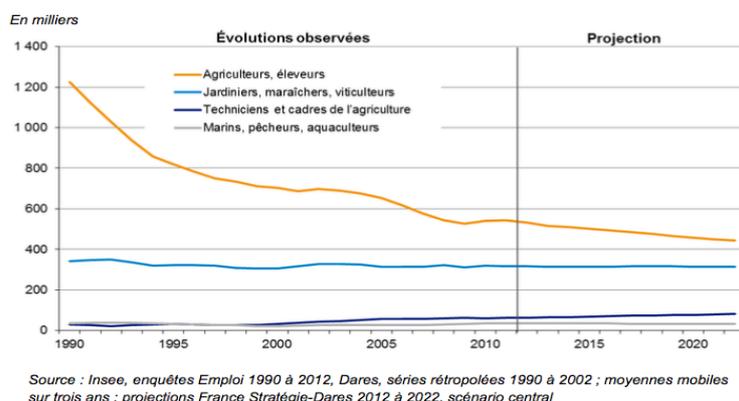
Un scénario de niche est à privilégier pour encourager, par exemple, le développement de technologies d'IA à destination des consommateurs. Les technologies **d'assistant intelligent pour les consommateurs** seront probablement les technologies développées le moins rapidement par les acteurs professionnels qui vont plutôt chercher à optimiser en premier lieu leurs propres opérations. Un assistant financier permettrait de challenger efficacement les offres des professionnels ou de fournir des conseils pertinents de gestion personnelle.

# Agriculture

## Les besoins du secteur

En 2016, la valeur de la production du secteur agricole était estimée à 25 Mds d'euros<sup>104</sup>. La contribution du secteur à la valeur ajoutée brute totale reste en hausse au cours de la période 2010 - 2015 mais ce poids reste faible au regard de la moyenne européenne<sup>105</sup>.

Un peu moins de 3% des emplois en France sont dans le secteur agricole en 2016. D'après l'étude Prospectives des métiers et qualifications menée conjointement par France Stratégie et la DARES, la diminution du nombre d'emplois dans le secteur agricole observée au cours de ces dernières années devrait continuer à horizon 2022 mais à un moindre rythme. Les métiers du secteur agricole sont classés parmi les métiers en « Forte baisse à horizon 2022 ». Quel que soit le scénario pris en compte, le nombre d'agriculteurs et d'éleveurs continuera de diminuer entre -1,7% et 2%, avec une création nette d'emploi négative : de 90 000 emplois.



En effet, les métiers de l'agriculture ont un fort potentiel d'automatisation car ils sont souvent très physiques et répétitifs et donc *in fine* l'IA risque d'avoir un fort impact dans le secteur. L'intelligence artificielle aura surtout un impact sur la productivité du travail en remplaçant certaines activités par des drones et des robots, le temps de travail consacré à certaines tâches sera réduit. Le McKinsey Global Institute estime qu'aux États-Unis 57% des emplois agricoles ont un risque d'automatisation.

En France selon les estimations<sup>106</sup> du Conseil d'orientation de l'emploi, parmi les emplois cumulant de manière importante des caractéristiques les exposant dans un contexte d'automatisation et de numérisation (l'indice d'automatisation retenu est d'au moins 0,7), les agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs et bûcherons représenteraient 2,1% soit un impact sur 31 000 emplois.

L'intelligence artificielle en agriculture adresse la demande pour une agriculture de précision. Ce segment représentait mondialement un marché de 2,6 Mds d'euros<sup>107</sup> en 2015 et devrait représenter 6,4 Mds d'euros en 2022, soit une croissance moyenne annuelle de plus de 13%. Les États-Unis représentent 40% de ce marché et l'Europe 30%. En France, ce marché est très embryonnaire et représente moins de 1% du marché mondial<sup>108</sup>. Le marché français est centré sur la commercialisation de robots de traite qui représentent 90% des robots agricoles commercialisés.

<sup>104</sup> Comptes nationaux de l'INSEE

<sup>105</sup> Tableau de l'Économie Française, Fiches sectorielles de l'INSEE

<sup>106</sup> Automatisation, numérisation et emploi, Conseil d'orientation pour l'emploi Edition 2017

<sup>107</sup> marketsandmarkets

<sup>108</sup> Xerfi

Les différents segments de l'agriculture de précision sont les suivants :

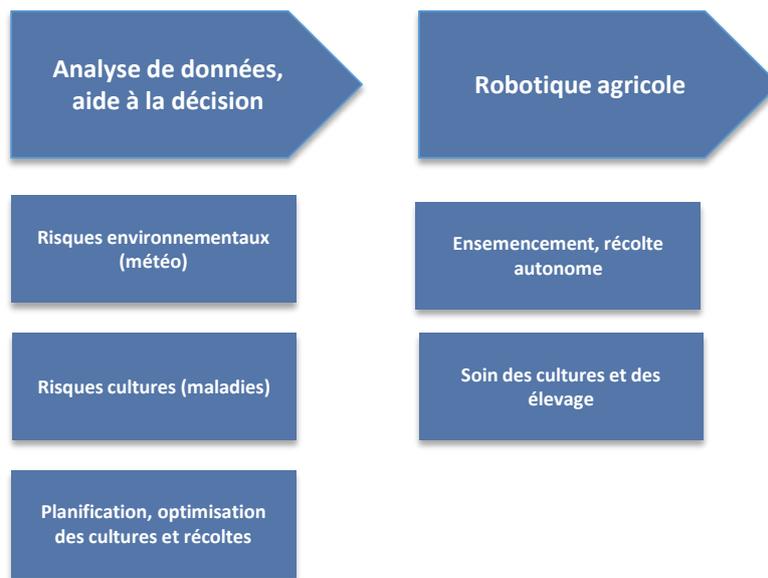


Figure 114 - Typologie des usages en IA dans l'agriculture

L'aide à la décision utilisant de grands flux de données (météo, capteurs) est déjà très impactée par l'intelligence artificielle. La demande est importante pour optimiser l'ensemencement, la surveillance des cultures ou des animaux vis-à-vis des risques et les périodes de récoltes en fonction de la météo ou de la demande du marché.

Les progrès réalisés en analyse d'images devraient faciliter le diagnostic automatique de maladies sur les végétaux et les animaux et permettre la supervision automatique des cultures (stades de croissance, état des sols, carences). Des robots agricoles pourront réaliser des analyses et décider de l'action à mener en adoptant des traitements à une échelle très locale. L'IA devrait aussi permettre d'optimiser la gestion d'une entreprise agricole pour maximiser les revenus issus de la vente des produits.

Par exemple, la société NATURESWEET (USA) a commencé à déployer un système de caméras qui suivent la croissance des plans de tomates. Un algorithme de Machine Learning analyse les photos collectées et détecte automatiquement les signaux précurseurs de maladies végétales. Installé en 2016, le système aurait permis une augmentation de la production de 2 à 4 %.

## L'offre en IA

Sur les 5 dernières années, les startups technologiques agricoles ont levé au niveau mondial plus de 800 M\$<sup>109</sup> (En particulier dans le domaine de la robotique. Le montant pour la partie IA est difficile à estimer, mais il est inférieur à 100 M\$). Plus d'une centaine de startups (essentiellement américaines) développent des services basés sur des techniques d'intelligence artificielle. Elles adressent majoritairement les 2 premiers segments de l'agriculture de précision : acquisition et analyse de données.

En France, le nombre de capteurs en agriculture dépassera les 50 millions en 2020<sup>110</sup>.

Zone géographique	Nombre <sup>111</sup>
Monde	De 50 à 100
États-Unis	De 10 à 50
Europe	De 10 à 50
France	Moins de 10

Tableau 25 - Répartition géographique des startups en IA

Typologie des services	Sociétés
<b>Aide à la décision à partir de données satellites</b>	FARMLOGS, AGRIBLE, AGRALOGICS, FARMERSEEDGE, ORBITAL INSIGHT, AWHERE
<b>Aide à la décision basée sur la reconnaissance d'images</b>	BOWERY FARMING, GAMAYA, PEAT, AGRIBLE, PIX4D, MICASENSE, CARBON BEE
<b>Aide à la décision basée sur des données chimiques et biologiques (composition des sols)</b>	SOLUM, CROPX, SEMIOS, EDYN, CARBON BEE, PLENTY
<b>Aide à la décision basée sur des données physiques (température, météo)</b>	POWWOW, CLIMATE FIELDVIEW, CLIMATEMINDER, MELIXA, PLENTY
<b>Robotique autonome</b>	ECOROBOTIX (France), BLUE RIVER TECHNOLOGY, SOFT ROBOTICS, ZYMERGEN, NAI0 TECHNOLOGIES (France)

Tableau 26 - Typologie de services IA en Agriculture

- **Aide à la décision**

L'analyse basée sur des images représente la majorité des offres actuelles d'IA.

Dans le domaine de l'analyse d'image, la société israélienne PROSPERA Technologies propose une solution d'analyse de la croissance et de la santé des végétaux (tomates). La solution effectue un apprentissage sur les prises de vue régulières pour détecter des motifs comme des maladies ou des parasites. La société vient faire une levée de fonds de 15 M\$ auprès de QUALCOMM pour poursuivre son développement. Dans le même domaine, la société BLUE RIVER utilise du ML pour détecter la présence de mauvaises herbes autour des cultures et déterminer le traitement approprié. Le système a été implanté dans un robot capable de pulvériser un herbicide. La solution permet de réduire de 80% le besoin de produits chimiques. La société vient d'être acquise par le leader mondial des machines agricoles JOHN DEERE. Aux États-Unis, la société californienne, VINEVIEW réalise de l'imagerie par drone et applique des techniques d'apprentissage pour détecter des maladies ou des besoins d'irrigation. En Europe, la société allemande PEAT a développé également une solution de ML pour monitorer et

<sup>109</sup> CBinsights

<sup>110</sup> Terre-net

<sup>111</sup> Crunchbase

détecter des maladies sur les végétaux. Les sociétés prétendent obtenir des performances de détection supérieures à 90%. La plate-forme de l'entreprise américaine BOWERY utilise également de la vision par ordinateur, de l'automatisation et de l'apprentissage automatique pour surveiller les plantes afin d'en tirer les meilleures conditions de croissance. CARBON BEE développe une offre similaire.

Les données satellitaires (images, radars) permettent également de développer des offres d'analyse de risques environnementaux basés sur de l'IA. La société américaine AWHERE a développé un service d'analyse de la qualité des cultures. Elle utilise des données météorologiques et des images de cultures elles-mêmes pour faire une prévision de risques. Les analyses permettent d'anticiper les maladies par exemple. En Europe, la société Suisse GAMAYA a développé une offre similaire basée sur l'analyse de données multi spectrales.

Dans le domaine de l'analyse chimique et biologique, le laboratoire américain ILLUMINA a développé un outil de ML pour analyser de la qualité des sols. L'offre évalue les bactéries, champignons et microbes contenus dans les sols et compare les profils obtenus à ses bases existantes pour établir des risques de maladies ou la qualité des sols.

#### ▪ Robotique autonome

Dans le domaine de la robotique, la société française ECOROBOTIX a développé un premier robot entièrement autonome de désherbage.



Figure 115 - Robot de désherbage ECOROBOTIX

L'INRA de Toulouse, l'un des plus grands centres de recherche agronomique en Europe et le seul à disposer d'un Datacenter, développe plusieurs axes de recherche sur l'IA, notamment en partenariat avec le pôle de compétitivité Aerospace Valley. Le projet SUNRISE, un logiciel d'IA développé par le laboratoire MIAT de l'INRA a permis de finaliser en 2016, le séquençage du génome du Tournesol et permet d'envisager la mise au point de plants plus résistants. L'INRA développe également des outils d'aide à la décision pour l'élaboration des vins (VINNEO) ou l'automatisation de tâches agricoles (NAIO Technologies).

L'INRA pour les cultures, comme certains instituts CARNOT (SMILES à Jussieu) développe également des modèles épidémiologiques (bio-informatique) basés sur des techniques d'apprentissage pour comprendre les modes de propagation des maladies.

## 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>▪ Quelques sociétés comme SEDE (VEOLIA) possèdent de très grandes bases de données d'analyse de sols.</li> <li>▪ Une offre d'images satellitaire en cours de démocratisation qui rend de plus en plus accessible les données nécessaires à la prévision agricole.</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faible disponibilité des réseaux mobiles dans les zones agricoles.</li> <li>▪ Une innovation en robotique agricole plutôt faite par des sociétés étrangères.</li> <li>▪ Un faible niveau de recherche digitale en France dans le domaine agricole.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capteurs / internet des objets : collecte en continu de données physiques (températures, images) et chimiques (composition des sols).</li> <li>▪ Réseaux mobiles : Transfert des données collectées in situ (champs, sites d'élevage)</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Faible</b></li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée et 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>Analyse de données, aide à la décision</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Accroissement de la production agricole.</li> <li>○ Réduction de la consommation d'intrants</li> <li>○ Surveillance automatisée des cultures (maladies, rendement).</li> </ul> </li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Favoriser / encourager le déploiement de réseaux IOT pour le monde agricole pour générer de la donnée de qualité.</li> <li>▪ Favoriser par exemple l'accès aux bases de données d'analyses de sols dispersées dans les organismes publics et privés (VEOLIA SEDE).</li> </ul>
Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ INRA de Toulouse, mise en place d'une infrastructure de calcul pour développer des projets en IA ou en robotique.</li> <li>▪ Projet 1000 fermes connectées en 2020 par l'union des coopératives In Vivo.</li> <li>▪ Portail AGGATE (confié à l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture), projet en cours de transfert à la société API-AGRO.</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui même si la sécurité alimentaire reste un enjeu important : *faible poids économique du secteur, faible digitalisation, dynamique d'innovation numérique limitée.*

## 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.

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	Faible
Qualité de l'infrastructure technologique	Faible
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Fort
Digitalisation du secteur, accès aux données	Faible

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

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

Dans ce secteur, la filière en intelligence artificielle est naissante et peu de données en flux sont disponibles en dehors de l'information météorologique.

Un scénario de niche est à privilégier en se concentrant par exemple sur l'analyse des données de sols ou météo (eau, intrants agricoles, maladies, etc..). Une partie de ces données est déjà disponible chez de grands acteurs (VEOLIA) ou peuvent être créées en favorisant le déploiement d'infrastructures de capteurs sur les surfaces agricoles.

# Services juridiques

## Les besoins du secteur

### Automatisation des services juridiques

« L'intelligence artificielle est de plus en plus utilisée dans le monde du droit pour automatiser et rationaliser les recherches et les tâches répétitives, pour prédire les chances de succès d'un procès et le montant des dommages-intérêts à espérer obtenir pour orienter les stratégies judiciaires mais aussi par la justice notamment pour évaluer les risques de récidive de prévenus. Le traitement des données de masse en droit est ingérable humainement. Le développement de l'intelligence artificielle et du machine learning facilite le traitement des données<sup>112</sup> ».

### L'intelligence artificielle

Dans un article publié le 24 octobre 2016<sup>113</sup> une équipe de chercheurs américains et britanniques a mis en place un algorithme qui prévoit dans 79% des cas observés, les décisions de la justice. En effet, les avancées technologiques dans les domaines du traitement du langage naturel et de l'apprentissage automatique, ont facilité le développement de la justice prédictive<sup>114</sup>.

Dans une interview accordée à Sylvie ROZENFELD en Janvier 2017, Rubin SFADJ a énuméré les principaux usages de l'IA dans le domaine juridique :

« **Le domaine du contentieux**<sup>115</sup> : plus précisément pendant la phase du «discovery» qui nécessite d'analyser des masses de documents pour savoir ce qu'on doit ou non transmettre à la partie adverse. Aujourd'hui, des logiciels sont capables de le faire de manière plus précise et plus rapide que les humains. Par conséquent, l'usage de l'intelligence artificielle va entraîner une réduction des coûts de production mais aussi affecter les métiers de « collaborateurs ».

Par exemple la solution ROSS basée sur Watson l'ordinateur cognitif d'IBM permet d'accéder rapidement à l'information, juste en lui posant des questions, même très techniques, par mots clés. Cet outil a été souscrit par de grands cabinets tels que LATHAN & WATKINS ou BARKERHOSTELER, les universités sont aussi très intéressées.

**La prévision** : elle est axée sur deux volets. D'une part l'intelligence artificielle est utilisée afin de réaliser des prévisions sur les chances de réussite ou non d'un procès. Cela permet d'estimer la probabilité de réussite d'une action en justice en se basant sur l'analyse massive de la jurisprudence existante. D'autre part, elle est aussi utilisée pour estimer les coûts économiques d'un projet : la prédiction quantitative à savoir l'aspect financier du procès.

Par exemple, la startup américaine LEGALIST qui utilise ces outils de prévision peut évaluer à la fois le taux de réussite d'un procès et le montant probable de dommages-intérêts. A partir de ces données, LEGALIST propose des solutions de financement de procès, surtout à des PME. Le client livre les données de sa situation et de son problème, et l'algorithme va évaluer l'affaire et déterminer les chances de la procédure ainsi qu'une prévision de dommages-intérêts. Ensuite, une décision d'acceptation ou de refus du dossier sera prise, sur la base du résultat de l'algorithme, afin de financer le procès en contrepartie d'un pourcentage sur les futurs dommages-intérêts. Cette technologie s'adresse à la fois aux justiciables et aux avocats.

---

<sup>112</sup> Interview de Rubin SFADJ, magazine Expertises des SI n°420, janvier 2017

<sup>113</sup> N. ALETRAS, V. LAMPOS, D. TSARAPATSANIS, D. PREOTJUC-PIETRO, « Predicting Judicial Decisions of the European Court of Human Rights: a Natural Language Processing Perspective », *Peer Journal of Computer Science* 24 oct. 2016

<sup>114</sup> Boris Barraud. Un algorithme capable de prédire les décisions des juges: vers une robotisation de la justice?. *Les Cahiers de la justice*, Dalloz, 2017, pp.121-139. <[http://www.dalloz-revues.fr/revues/Les\\_cahiers\\_de\\_la\\_justice-47.htm](http://www.dalloz-revues.fr/revues/Les_cahiers_de_la_justice-47.htm)>. <hal-01404518v2>

<sup>115</sup> Interview de Rubin Sfadj, magazine Expertises des SI n°420, janvier 2017

**La stratégie judiciaire** : elle concerne plus les avocats. Par exemple aux États-Unis l'existence d'un double degré juridictionnel (étatique et fédéral) nécessite une réflexion sur le choix de la juridiction lorsque l'affaire touche deux ou plusieurs États. La startup CASETEXT, qui se fonde sur une base documentaire importante, détermine entre autres dans quel État attaquer pour avoir le plus de chances de gagner un procès. Ses algorithmes déterminent les stratégies mises en place avec le plus de succès, mais aussi celles généralement adoptées par la partie adverse. Elle va aussi récupérer les conclusions du cas qui se rapproche le plus d'un contentieux pour prévoir les arguments développés en face.

**La gestion des tâches administratives et quotidiennes.** La rédaction des contrats en ligne, le suivi des dossiers, etc.

La notion de justice préventive soulève la question de l'évolution des professions judiciaires vers un remplacement des hommes par des machines « intelligentes » disant le droit automatiquement (ou de manière plus précise), ou vers une association des hommes et de ces machines. »

## Digitalisation du secteur

Le développement de l'intelligence artificielle est facilité par la normalisation du langage du droit et par la numérisation des décisions de justice. La loi pour une République Numérique promulguée en octobre 2016 a mis en place des mesures qui facilitent l'accès aux données<sup>116</sup>. La loi prévoit que « les décisions rendues par les juridictions judiciaires sont mises à la disposition du public à titre gratuit dans le respect de la vie privée des personnes concernées ». Par ailleurs, MADDYNESS, en collaboration avec Actualités du droit, a recensé en 2017 91 LegalTechs (sociétés juridiques et technologiques) inscrites au registre du commerce et des sociétés. Parmi ces LegalTechs, 16,5% ont réalisé une levée des fonds pour un montant total de 12,8 M€ en 2017<sup>117</sup>.

## La demande

Selon Thomson Reuters, 579 brevets en LegalTechs ont été déposés en 2016 (contre 99 en 2012, soit une augmentation de 484%). Trois pays dominent le marché actuellement, les États-Unis (38% des brevets), la Chine (34%) et la Corée du Sud (15%). Les services technologiques qui se développent le plus rapidement correspondent à la gestion : des contrats, des contentieux, de la conformité et des connaissances juridiques (jurisprudence).

Les applications technologiques en droit permettent de normaliser et d'automatiser de manière efficace des tâches à forte intensité de main-d'œuvre faites par des avocats. Une transformation est d'ailleurs déjà en cours dans les directions juridiques des entreprises qui recherchent avant tout des solutions d'amélioration de la productivité chez les cabinets d'avocats et moins des services d'expertise. Il y a 20 ans, les cabinets d'avocats étaient le principal fournisseur de services juridiques et traitaient les questions de bout en bout.

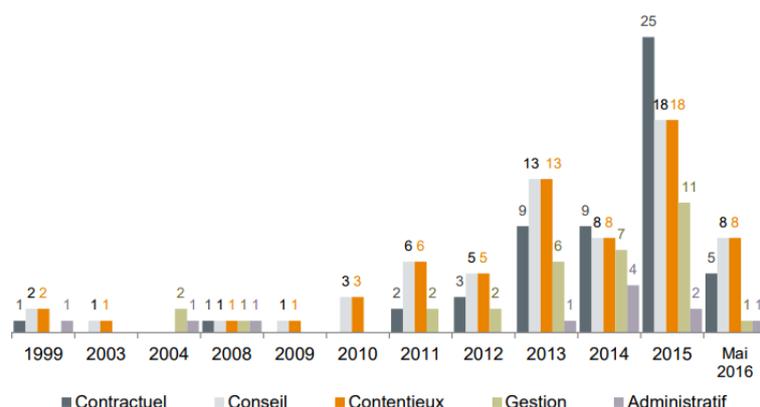


Figure 116 - Évolution mondiale des créations de sociétés de legalTechs par typologie de services<sup>118</sup>

En France, les professions juridiques ont commencé à prendre le virage du numérique, notamment depuis 2013 avec l'arrivée des LegalTechs regroupant des juristes et des ingénieurs et capables de réduire les prix des prestations juridiques par automatisation. Des outils favorisant l'accès et l'échange de documents digitalisés se

<sup>116</sup> Regard sur les « promesses » de la justice prédictive Auréa Martinay Marie Mazens

<sup>117</sup> Maddyne

<sup>118</sup> Etude Day One, 2017

déploient dans les entreprises. Les cabinets d'avocat subissent de plus en plus de pressions pour faire des économies et réduire le nombre d'heures facturées et beaucoup doivent investir en technologie.

Le traitement du texte et de la parole est un axe de développement majeur de l'intelligence artificielle. A ce titre, il aura impact significatif sur les métiers du droit, très consommateurs de temps d'analyse et de production de documents écrits. Les activités manuelles centrées sur la recherche et le classement de documentation juridique et de jurisprudence devraient disparaître avec le développement de l'IA. Néanmoins l'IA en LegalTechs reste pour le moment un secteur prometteur très peu développé.

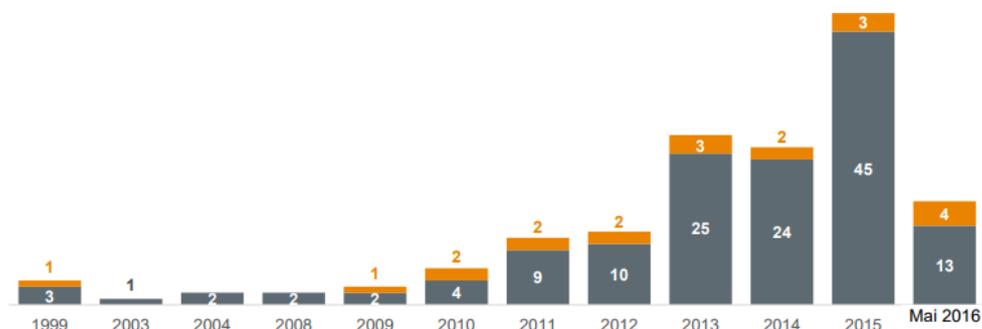


Figure 117 - Répartition des legaltechs analysées selon leur degré d'automatisation, par année<sup>119</sup>

L'IA commence à être utilisée pour répondre aux besoins suivants des entreprises :

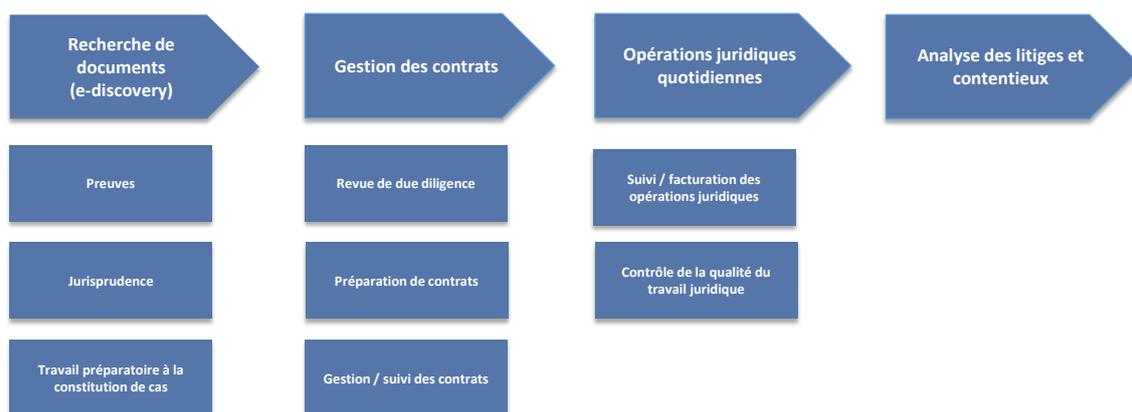


Figure 118 - Typologie des services en IA dans le domaine juridique<sup>120</sup>

- **La recherche de documents.** Cette partie correspond à la recherche des documents les plus pertinents pour la constitution d'un cas juridique. Cela correspond à une recherche documentaire (jurisprudence, informations légales de l'entreprise) et une analyse pour trier et grouper les documents les plus pertinents pour le cas juridique à traiter.
- **La gestion des contrats.** Cette partie correspond à l'ensemble du cycle contractuel, l'analyse automatique des documents constitutifs, la préparation des documents contractuels et le suivi du respect des clauses après signature.
- **Le suivi des opérations juridiques quotidiennes.** Le suivi de la production juridique est majoritairement manuel aujourd'hui. Il repose sur une analyse qualitative et quantitative de documents écrits très volumineux. C'est une activité très consommatrice pour les entreprises.
- **L'analyse automatique de litiges et contentieux.** C'est l'évaluation des risques de gains ou de pertes dans le cas d'un contentieux. Il est basé sur l'historique des éléments traçables.

<sup>119</sup> Etude Day One, 2017

<sup>120</sup> ATAWAO

Toutes ces activités font aujourd’hui l’objet de développement de services basés sur de la reconnaissance d’image ou de texte, de l’analyse automatique par apprentissage et de la création automatique de documents légaux pertinents : analyse de matériel juridique, contrats pré remplis, traçabilité du respect des clauses contractuelles, etc....

Actuellement, la demande est plutôt faite par les cabinets d’avocats et de conseil pour leur permettre d’accélérer leur analyse ou garantir le plus haut niveau de services dans l’analyse de risques. Par exemple, la société LUMINANCE (UK) vient de déployer au sein du cabinet d’avocats espagnol ARAOZ & RUEDA (5,6 M€ de CA en 2015), sa solution d’analyse automatique de documents de fusions et acquisitions. La revue manuelle de documents de diligence raisonnable (due diligence) de plusieurs jours est maintenant réalisée en quelques minutes. La solution reconnaît automatiquement les concepts de droit espagnol après apprentissage et sans programmation. Le cabinet JP MORGAN travaille sur le développement du programme d’IA COIN (Contract intelligence) qui vise à remplacer 360 000 heures d’analyse par quelques secondes de temps machine.

En France, le cabinet international DENTONS (6 600 avocats, plus d’un milliard d’euros de CA) a noué en 2016 un partenariat avec la startup PREDICTICE sur le développement d’une application de justice prédictive pour les litiges commerciaux et sociaux. Aux États-Unis, ce cabinet s’est associé avec IBM WATSON pour développer NEXTLAWLABS. Cet outil aura pour objectif de répondre aux requêtes formulées verbalement par les avocats en utilisant toutes les données disponibles pour leur proposer des solutions.

Des grands acteurs du droit des affaires, comme FRESHFIELDS BRUCKHAUS DERINGER commencent à utiliser KIRA, un logiciel d’IA développé par la société canadienne KIRASYSTEMS qui peut scanner des contrats et identifier les points pouvant poser problème. Le logiciel est particulièrement approprié pour les opérations transactionnelles telles que les fusions-acquisitions ou l’immobilier.

Le droit reste largement une affaire nationale. Les cultures juridiques très différentes entre pays de « *common law* » et pays de droit romain par exemple, mobilisent des raisonnements différents et donc des technologies différentes, ce qui limite l’expansion de startups étrangères en France. A contrario cela limitera le développement de startups françaises à l’étranger.

En France, on peut souligner l’initiative « Open Law »<sup>121</sup> qui est un programme de co-crédation numérique destiné à mettre en valeur le droit ouvert, à accompagner globalement l’ouverture des données juridiques et stimuler l’innovation collaborative autour des données juridiques ouvertes. La communauté regroupe aujourd’hui 2000 professionnels du droit et a mis en place plus d’une centaine d’actions depuis sa création en 2014.

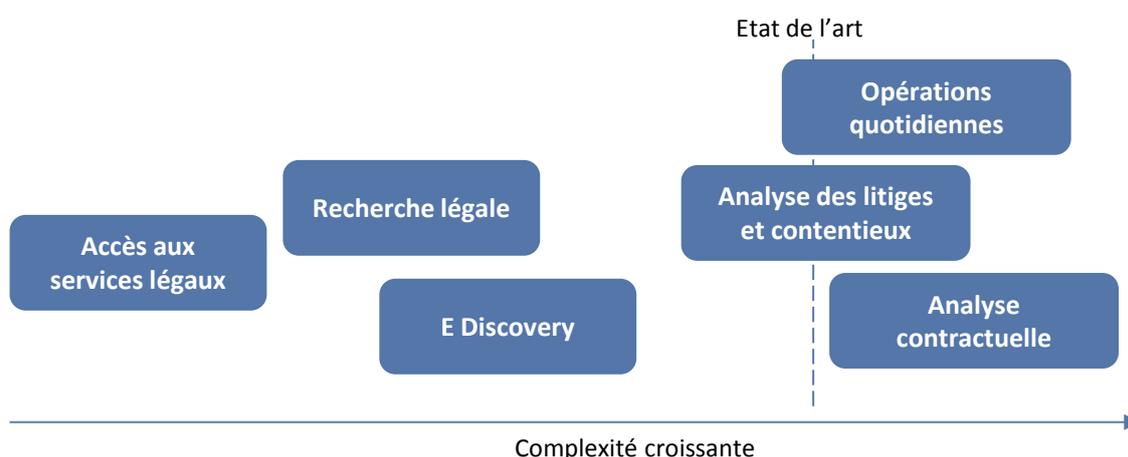


Figure 119 - Maturité des cas d’usage IA dans les services juridiques

<sup>121</sup> <https://openlaw.fr/>

## L'offre en IA

C'est un secteur particulièrement dynamique depuis 2 ans, même si seulement 8% des sociétés de LegalTechs développent des offres d'intelligence artificielle en France<sup>122</sup>. La complexité du droit français est vue comme un levier de création de valeur.

Les LegalTechs représente un marché en croissance de **16 Mds de dollars** aux États-Unis. L'intelligence artificielle transforme la pratique quotidienne du droit, en changeant la profession et les compétences requises par les avocats. Aux États-Unis, plus de **40** entreprises développent des offres d'intelligence artificielle (Recherche de preuve, Prédiction, Due diligence automatisée, Revue de contrat, Expertise automatisé, Découverte électronique).

Zone géographique	Nombre <sup>123</sup>
Monde	Plus de 100
États-Unis	De 10 à 100
Europe	De 10 à 100
France	Moins de 10

Tableau 27 - Répartition géographique des startups en IA

Typologie des services	Sociétés
<b>Recherche de documents</b>	<b>Preuves</b> : KNOMOS, ROSS, JUDICATA, CASETEXT, BLUEJ LEGAL, IOOM ANALYTICS, DOCTRINE (France), OPENTEXT, EVERLAW, CATALYST <b>Documents</b> : LEGAL ROBOT, BEAGLE, THOUGHTRIVER, LAWGEEX
<b>Analyse de litiges et contentieux</b>	RAVEL, DOCKET ALARM, LEXPREDICT, PREMONITION, LEX MACHINA, COIN
<b>Gestion de contrats</b>	DILIGEN, RAVEN, LEVERTON, LUMINANCE, LEGALSIFTER, LITLQ
<b>Opérations juridiques quotidiennes</b>	NEOTA LOGIC, AUTO , RIVERVIEW LAW, ROBOT LAWYER LISA

Tableau 28 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

Voici quelques exemples détaillés de solutions en intelligence artificielle dans le secteur du droit.

- **DOCTRINE**

Doctrine propose aux avocats et juristes l'une des plus importantes base de décisions de justice en ligne. Elle est alimentée par trois sources de données principales : les contenus des juridictions partenaires, les cabinets d'avocats et leurs clients et des robots (conçus par la startup) qui parcourent le web pour collecter les décisions de justice. En agrégeant des milliers de décisions, en facilitant les recherches et en s'appuyant sur les avancées en traitement automatique du langage naturel, DOCTRINE commence à offrir un service de documentaliste automatisé. Depuis février 2016, DOCTRINE a rassemblé **plus de 5 000 avocats** sur sa plateforme, soit près d'un tiers du **Legal500 France**, avec la promesse de leur faire gagner plusieurs heures de travail de recherche par semaine.

<sup>122</sup> Observatoire permanent de la legalTech et des startups du droit.

<sup>123</sup> Crunchbase

- **ROSS (IBM)**

ROSS propose un service de documentaliste similaire à DOCTRINE. L'application a été achetée notamment par le cabinet d'avocats américain BAKER & HOSTETLER en 2016. Doté de la technologie IBM « Watson », Ross peut traiter **un milliard** de documents par seconde. Le robot met à jour sa base de données au fur et à mesure de l'évolution de la jurisprudence sur un secteur.

- **PREMONITION**

La plateforme américaine PREMONITION est un système d'intelligence artificielle qui exploite des données pour identifier quel avocat gagne généralement devant quel juge. Elle propose ainsi d'optimiser le choix de son avocat pour avoir les meilleures chances de succès. Le service s'adresse aussi bien aux justiciables qu'aux avocats.

- **LUMINANCE**

LUMINANCE a été fondée par une équipe de juristes, d'experts des fusions-acquisitions et de mathématiciens. Sa technologie, basée sur les travaux de recherche de l'Université de Cambridge, permet de lire et comprendre de manière automatisée des documents juridiques complexes. Cela permet aux entreprises d'exécuter rapidement des tâches de **due diligence**.

- **LEGAL ROBOT**

LEGAL ROBOT transforme le langage juridique complexe en expressions numériques pour appliquer ensuite des techniques de statistiques et d'apprentissage automatique. LEGAL ROBOT est assistant intelligent automatisé, qui améliore ou remplace entièrement des processus juridiques tels que l'analyse et la révision de contrats. L'assistant signale les problèmes et suggère des améliorations en prenant en compte les meilleures pratiques, la jurisprudence ou les facteurs de risque.

- **AUTTO**

AUTTO est une plateforme multi usages pour les services juridiques. C'est une boîte à outils d'intelligence artificielle pour cartographier et automatiser les processus juridiques.

- **ATRIUM**

ATRIUM est une startup technologique californienne créée en 2017 et qui emploie 34 ingénieurs. Elle a été enregistrée comme cabinet d'avocats aux États-Unis. Elle compte automatiser entièrement le métier d'avocat à destination des PME, notamment en se basant sur des techniques d'intelligence artificielle.

## 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 pression très forte sur les prix pratiqués par les sociétés de conseil juridiques qui force à se digitaliser.</li> <li>▪ Une analyse documentaire très fortement manuelle.</li> <li>▪ Des technologies de reconnaissance et d'analyse du texte très matures.</li> <li>▪ Un droit national souvent différent d'un pays à un autre qui freine l'expansion internationale de sociétés étrangères.</li> <li>▪ Une complexité du droit français perçue comme une opportunité pour le développement de services innovants.</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une innovation dans le domaine juridique peu dynamique en France</li> <li>▪ Des acteurs étrangers déjà matures sur ce créneau (IBM WATSON)</li> <li>▪ Un risque important sur l'emploi juridique (notamment, tout le travail d'analyse documentaire faiblement qualifié).</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Traitement automatisé du langage naturel (TAL)</li> <li>▪ Reconnaissance automatisée d'images.</li> <li>▪ Représentation des connaissances (taxonomie, sémantique)</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moyenne</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée et 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>▪ La recherche et l'analyse de documents juridiques en langue française pour accélérer le traitement des affaires juridiques.</li> <li>▪ L'analyse de documents contractuels en langue française pour détecter anomalies et fraudes.</li> <li>▪ L'analyse automatique de litiges et contentieux en langue française pour réduire les erreurs et les risques.</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Développement / création d'un écosystème innovant en France dans les technologies LegalTechs.</li> <li>▪ Augmenter le nombre d'acteurs innovants en LegalTechs en France.</li> </ul>
Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programme d'innovation ouverte OPEN LAW soutenu par la Direction de l'information légale et administrative (DILA).</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui : *écosystème innovant naissant en France et maturité des acteurs innovants étrangers.*

## 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	Faible
Qualité de l'infrastructure technologique	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Forte
Digitalisation du secteur, accès aux données	Forte

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

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

Les legalTechs sont une filière émergente en France et elle ne possède pas d'acteur français significatif dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Un scénario de niche est à privilégier en se concentrant par exemple sur les cas d'usage du secteur (contrat, contentieux, etc..) uniquement en langue francophone. L'agrégation de l'ensemble de données juridiques en langue francophone nécessaires à la mise au point des algorithmes d'IA juridiques est un objectif qui devrait pouvoir être atteint.

# Sécurité des biens et des personnes

## Les besoins du secteur

Dans ce secteur, la demande est globalement très forte pour les systèmes de sécurité électronique. Tous les grands acteurs du secteur comme SECURITAS (SWE), BRINKS (EU), LOOMIS (SWE), SERIS (FR) proposent une offre de sécurité électronique (télésurveillance, biométrie, etc...) dans leurs services.

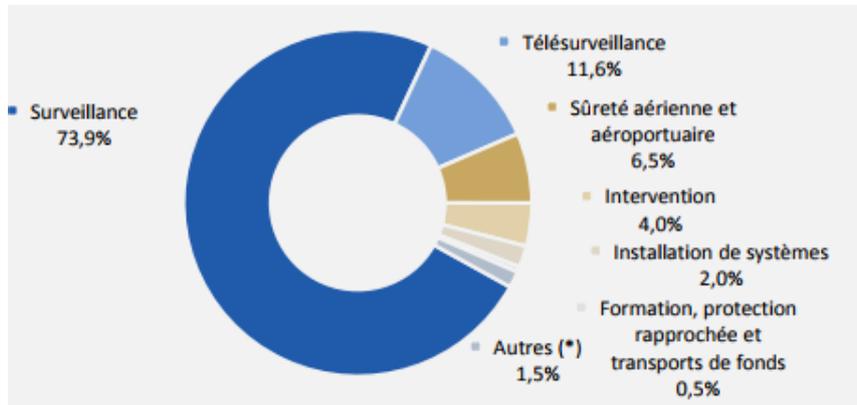


Figure 120 - Répartition du Chiffre d'affaire France du marché de la sécurité<sup>124</sup>

Déjà fortement présentes en biométrie et vidéo surveillance, les technologies de vision par ordinateur sont de plus en plus couplées avec des algorithmes d'apprentissage qui renforcent très fortement la précision de l'analyse.

Dans ce secteur, l'intelligence artificielle peut être utilisée dans les domaines suivants :

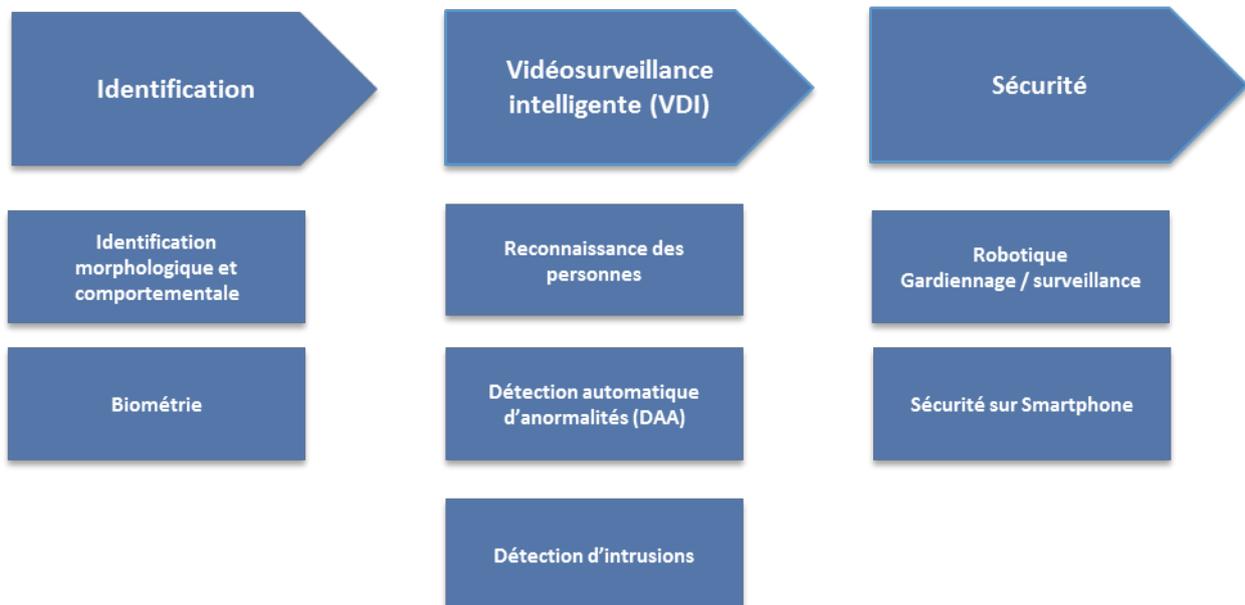


Figure 121 - Typologie des services en IA dans le domaine de la sécurité<sup>125</sup>

<sup>124</sup> Xerfi

<sup>125</sup> ATAWAO

## **Biométrie**

Cette partie correspond aux technologies permettant d'identifier et d'authentifier une personne par ses caractéristiques biologiques (ADN), morphologiques (empreintes digitales, œil, visage, voix, etc...) et comportementales (démarche, frappe au clavier, signature). La biométrie est utilisée pour établir une identité civile, sécuriser des transactions ou encore faciliter les démarches d'enquête et de sécurité publique. Pour les leaders du secteur comme IDEMIA (France) ou AURORA, l'intelligence artificielle est déjà une composante technologique importante de leurs solutions.

Le contrôle aux frontières et aux aéroports est déjà un segment mature pour les technologies de biométrie. Depuis 2017, plusieurs aéroports comme celui de DUBAI, BRISBANE, MONTREAL ou encore PARIS CDG expérimentent des techniques de reconnaissance de visage, basées sur de l'IA pour supprimer le besoin de sortir ses papiers d'identité. L'objectif est de faire disparaître les goulots d'étranglement que sont le contrôle de sécurité et celui de l'immigration. L'objectif de l'expérimentation est d'intégrer de manière efficace, une reconnaissance faciale, rétinienne et d'empreinte. En arrivant à l'aéroport, les voyageurs se rendent à un kiosque d'identification de visage qui capture les informations biométriques et associe les données avec le passeport. La société SITA qui développe le système affirme que 29% des aéroports et 25% des compagnies aériennes sont intéressés par un système de ce type.

L'État de New York a déployé un système de reconnaissance pour comparer les images de permis de conduire avec celles contenues en base de données pour détecter les fraudes au permis. Elle a procédé à 4 000 arrestations depuis 2010 avec ce système. L'État américain annonce détenir près de 50% des photos de la population américaine dans ses bases d'analyse faciale pour améliorer la qualité d'entraînement de ses algorithmes.

La sécurité des transactions est également un domaine important pour la biométrie. Dans ce domaine, les progrès en biométrie comportementale réalisées depuis 3 ans permettent aux banques de commencer à analyser l'utilisation des téléphones ou tablettes pour créer un profil identifiable notamment avec : la force de frappe sur l'écran, les angles de balayage, la vitesse ou les habitudes de frappe sur un clavier.

## **Vidéosurveillance**

Cette partie regroupe les technologies et usages d'analyse d'images vidéo. Elles visent à identifier dans une scène, des caractéristiques particulières comme l'identification d'une personne ou d'un objet particulier, l'analyse de situations anormales comme une bagarre, un vol ou la détection d'intrusion dans un périmètre.

Dans ce domaine, l'intelligence artificielle joue un grand rôle dans le développement de « l'analyse comportementale » des images. L'objectif est d'identifier des propriétés visuelles caractéristiques d'une situation, comme une voiture garée sur un emplacement interdit par exemple. En août 2017, la société chinoise BAIDU a annoncé avoir réussi le challenge ACTIVITYNET en labellisant les actions des humains (laver une voiture, promener un chien, etc...) dans 300 000 vidéos avec une précision de 87%.

Plusieurs villes commencent à expérimenter des technologies d'IA dans leur système de vidéosurveillance. La ville de Moscou déploie le système de la société russe NTECHLAB. Le système aurait déjà conduit à 6 interpellations. En Chine près de 170 millions de caméras de vidéosurveillance sont en activité (450 millions prévues en 2020, 75% du marché mondial en 2018) et plusieurs villes comme GUIYANG ou JINAN testent des systèmes d'IA. La Chine prétend avoir déjà déployés 20 millions de caméras avec un système d'analyse.

En France, plusieurs services de sécurité dont la préfecture de police de Paris, Toulouse et la DGSE testent la technologie de la société SPIKENET, une société issue de la recherche au CNRS et rachetée par la société australienne BRAINCHIP. Par ailleurs, la SNCF teste dans plusieurs gares franciliennes des dispositifs de ce type avec la technologie de la société française SMARTME UP.

Un système intelligent peut également permettre de prévenir des accidents. Par exemple, la compagnie West JAPAN RAILWAY a découvert que 60% des personnes percutées par un train étaient ivres. Suite à ce constat, le système de vidéosurveillance cherche en particulier des personnes avec un comportement d'une personne en état d'ébriété. L'IA recherche des personnes qui font la sieste sur des bancs, trébuchent, tombent ou restent immobiles pendant de longues périodes. Ils avertissent des personnes proches qui peuvent ensuite vérifier si la personne risque de se faire du mal.

Plusieurs travaux sont en cours pour améliorer l'analyse et l'extraction automatique d'informations sur les vidéos en temps réel. Les forces israéliennes testent actuellement un système de transcription automatique de vidéo en langage textuel.

## **Robotique**

Cette partie regroupe les technologies robotiques de surveillance automatisée.

La société californienne de robots mobiles autonomes SMP ROBOTICS, a lancé en 2017 une nouvelle génération de robots de sécurité S5 disposant de capacités d'analyse d'image via la plateforme de NVIDIA JETSON TX2. Cette plate-forme permet aux robots de sécurité de recueillir des informations sur leur environnement et de prendre des décisions en fonction de ce qui se passe autour d'eux. Les robots apprennent de leur environnement et peuvent éviter les obstacles sur leur itinéraire de patrouille. La fonction de reconnaissance des objets et des visages permet d'identifier des plaques d'immatriculation pour déterminer les voitures stationnées illégalement. Les robots intelligents sont capables de détecter les uniformes des gardes de sécurité, de reconnaître les visages des personnes d'une entreprise et de les distinguer des intrus.

La société américaine COBALT a lancé en 2018, un robot similaire pour patrouiller dans des environnements fermés comme des musées ou des centres commerciaux, la nuit et détecter des situations anormales.

La société SEGWAY a dévoilé au CES de LAS VEGAS en 2018, le robot patrouilleur NIMBO susceptible de prendre des vidéos de situations jugées dangereuses et même de transporter à 15 km/h un officier de sécurité sur un lieu de délit en tenant compte des itinéraires appris.



Figure 122 - Robot de patrouille NIMBO de la société SEGWAY<sup>126</sup>

Une expérience tentée par la ville de San Francisco pour déployer un robot de surveillance de la société KNIGHTSCOPE (US), s'est soldée par le retrait du robot fin 2017. La tentative a été jugée trop intrusive de la part des habitants. Par ailleurs, un robot de cette société a terminé une patrouille dans une fontaine d'un centre commercial, ce qui montre que la mise au point de robots autonomes en milieu ouvert nécessitera encore une recherche importante.

UAVIA (FR) permet aux entreprises d'utiliser des drones à des fins d'inspection ou de surveillance aérienne. Cette solution permet à plusieurs utilisateurs de se connecter en simultanément à la plate-forme cloud et d'exploiter en temps réel les données captées.

---

<sup>126</sup> Turing Vidéo

## L'offre en IA

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>127</sup>
Monde	Plus de 100
États-Unis	Entre 50 et 100
Europe	Entre 10 et 50
France	Entre 10 et 50

Tableau 29 - Répartition géographique des startups en IA

Typologie des services	Sociétés
<b>Identification</b>	<b>Identification morphologique et comportementale</b> : AVATA INTELLIGENCE, EXABEAM, CYBERX, SPHERICAL DEFENSE, FIFTH DIMENSION, DEEPOMATIC
<b>Vidéosurveillance</b>	<b>Biométrie</b> : VERIDU, VU SECURITY, SECUREDTOUCH, TWOSENSE, IDEMIA (France), LL VISION CANARY, BOULDER AI, IC REALTIME, UNCANNY VISION, NEOSENSYS (France), AI-MERGENCE (France), BRAINCHIP
<b>Sécurité</b>	<b>Sécurité sur Smartphone</b> : APPTHORITY, SENTTEGRITY, SKYCURE, ZIMPERIUM

Tableau 30 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

- **Identification morphologique et comportementale**

FIFTH DIMENSION est un système de détection en temps réel d'anomalies dans de grandes quantités de données à partir des images ou dans des enregistrements audio pour identifier un visage ou une voix particulière et rechercher des éléments de preuve par rapport à une enquête en cours.

DEEPOMATIC effectue de la détection de situations violentes en entraînant des modèles sur des situations non violentes afin qu'il reconnaisse à l'opposé les situations anormales comme une bagarre. La société entraîne également des modèles pour détecter des objets particuliers comme des véhicules ou des navires.

- **Vidéosurveillance**

BRAINCHIP est une société spécialisée dans la reconnaissance faciale. Elle utilise une technique d'apprentissage non supervisé et un réseau de neurones particulier dit impulsif (Spiking neural network) avec un excellent niveau de performance. C'est une des premières sociétés dans le domaine de la surveillance civile. BRAINCHIP propose également des circuits intégrés reprogrammables facilement et intégrables à des serveurs ou caméras pour multiplier la vitesse et la précision de son logiciel.

IC REALTIME a développé une plate-forme qui utilise l'IA pour analyser les flux vidéo et les rendre instantanément consultable. Elle a développé un moteur de requêtes en langage naturel qui permet de rechercher des séquences spécifiques (« des personnes portant des vêtements d'une certaine couleur ou des marques et modèles de voitures individuelles »).

<sup>127</sup> Crunchbase

AI-MERGENCE développe un robot de protection indoor. Grâce à ses algorithmes d'IA, il arrive à détecter une situation anormale, comme une fenêtre ouverte alors que vous êtes absent, un bruit suspect en pleine nuit, un départ de feu, une fuite d'eau. Le système peut également vous prévenir si votre femme de ménage est présente à votre domicile alors qu'elle n'était pas censée l'être.

- **Gestion d'identité (Biométrie)**

IDEMIA (Ex MORPHO) est l'un des leaders mondiaux dans le domaine de la biométrie et en particulier de la biométrie par apprentissage. La société travaille notamment sur le projet indien AADHAAR dont l'objectif est de fournir un numéro unique à 12 chiffres à chaque citoyen indien après l'enregistrement de leurs données biométriques (iris, empreintes digitales, portrait pour 1,4 milliard de personnes).

LL VISION a mis au point des lunettes qui permettent de scanner une foule pour identifier un individu, grâce à un système de reconnaissance faciale. L'outil est connecté à la fois à un smartphone dans les mains de l'agent de police, et à un écran dans le commissariat. Spécialisée dans la vérification d'identité, ONFIDO utilise l'apprentissage automatique pour valider un document d'identité d'une personne avec sa biométrie faciale.

Spécialisée dans la vérification d'identité, ONFIDO utilise l'apprentissage automatique pour valider un document d'identité d'une personne avec sa biométrie faciale.

## 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>▪ Un leader mondial en France dans le domaine de la Biométrie (IDEMIA).</li> <li>▪ La sécurité est un enjeu majeur pour les services publics et les sociétés.</li> <li>▪ Des technologies de détection automatiques plutôt matures.</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un secteur en très fort développement en Chine avec un accès à un volume de données considérable (Plus d'un milliard de personnes).</li> <li>▪ Une difficulté de reconnaissance de situation « subjective » comme la violence.</li> <li>▪ Un besoin de puissance de calcul considérable</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vision par ordinateur.</li> <li>▪ Processeurs GPU pour le traitement des images.</li> <li>▪ Infrastructures de calcul à haute performance (HPC).</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moyenne (manque de diversité humaine des données)</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée et 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>Biométrie</b> : Amélioration de la gestion des identités.</li> <li>▪ <b>Vidéosurveillance intelligente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reconnaissance automatique de « situations » comme un fait de violence.</li> <li>○ Réduction de délits ou des faits de violence.</li> <li>○ Surveillance et alerte précoce de situations à risque.</li> </ul> </li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simplifier l'accès à des données de sécurité (vidéosurveillance, fichiers biométriques) <b>pour mettre au point et expérimenter</b> des algorithmes de détection / reconnaissance performant.</li> <li>▪ Lever les verrous technologiques des biais des systèmes actuels : mauvaise reconnaissance de visages féminins ou de certaines ethnies qui conduisent à qualifier les algorithmes de « racistes », faible capacité d'analyse de situations (une bagarre), etc...</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 les usages de vidéosurveillance et de biométrie en France aujourd'hui : *grands acteurs industriels, qualité de la recherche, bonne digitalisation du secteur et enjeux de sécurité.*

## 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	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Forte Faible en robotique
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Moyenne
Digitalisation du secteur, accès aux données	Forte

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	

En dehors de la filière robotique très peu développée en France, le secteur de la sécurité des biens et des personnes (vidéo surveillance, biométrie) bénéficie d'un environnement favorable à l'émergence d'une filière leader en intelligence artificielle.

La filière bénéficie d'un acteur international majeur (IDEMIA), de plusieurs startups dynamiques dans le domaine de la vision par ordinateur ou l'analyse de données numériques, d'une digitalisation importante des données et d'un engouement global pour les solutions de sécurité.

# Commerce de détail

## Les besoins du secteur

L'émergence de nouveaux comportements d'achats des consommateurs et les nouveaux usages numériques ont fortement impactés le secteur du commerce de détail français<sup>128</sup> qui a totalisé en 2015 un chiffre d'affaire de 430,5 Mds euros<sup>129</sup> soit 30% de l'ensemble du secteur commerce (1 411 Mds d'euros).

Le commerce de détail français qui est l'un des plus importants avec près de 11% du total des emplois du secteur marchand (hors secteur agricole et financier) est largement devancé en termes de classement par les concurrents américains et allemands. En 2016, la France ne comptait que CARREFOUR dans le top 10 du classement mondial des distributeurs<sup>130</sup> et seulement 12 sociétés parmi les 250 premiers distributeurs mondiaux : AUCHAN (18), CASINO (24), LECLERC (25), INTERMARCHE (33), SYSTEME U (50), ADEO (LEROY MERLIN, ZODIO...54), DECATHLON (86), FNAC DARTY (117), ....

Top 250 rank	Change in rank	Name of company	Country of origin	FY2016 Retail revenue (US\$M)	FY2016 Retail revenue growth	FY2016 Net profit margin	FY2016 Return on assets	FY2011-2016 Retail revenue CAGR*	# Countries of operation	% Retail revenue from foreign operations
1	↔	Wal-Mart Stores, Inc.	US	485,873	0.8%	2.9%	7.2%	1.7%	29	24.3%
2	↔	Costco Wholesale Corporation	US	118,719	2.2%	2.0%	7.2%	6.0%	10	27.1%
3	↔	The Kroger Co.	US	115,337	5.0%	1.7%	5.4%	5.0%	1	0.0%
4	↔	Schwarz Group	Germany	99,256	5.3%	n/a	n/a	7.3%	27	61.7%
5	↔	Walgreens Boots Alliance, Inc.	US	97,058	8.3%	3.6%	5.8%	6.1%	10	13.7%
6	↑ +4	Amazon.com, Inc.	US	94,665	19.4%	1.7%	2.8%	17.6%	14	36.8%
7	↓ -1	The Home Depot, Inc.	US	94,595	6.9%	8.4%	18.5%	6.1%	4	8.5%
8	↔	Aldi Group	Germany	84,923 <sup>e</sup>	4.8%	n/a	n/a	7.7%	17	67.0%
9	↓ -2	Carrefour S.A.	France	84,131	-0.4%	1.1%	1.8%	-1.1%	34	53.2%
10	↑ +2	CVS Health Corporation	US	81,100	12.6%	3.0%	5.6%	6.4%	3	0.8%
<b>Top 10<sup>1</sup></b>				<b>1,355,656</b>	<b>4.5%</b>	<b>3.0%</b>	<b>6.4%</b>	<b>4.5%</b>	<b>14.9<sup>2</sup></b>	<b>27.3%</b>
<b>Top 250<sup>1</sup></b>				<b>4,410,828</b>	<b>4.1%</b>	<b>3.2%</b>	<b>3.3%</b>	<b>4.8%</b>	<b>10.0<sup>2</sup></b>	<b>22.5%</b>
<b>Top 10 share of Top 250 retail revenue</b>				<b>30.7%</b>						

Figure 123 - Top 10 des retailers en 2016<sup>131</sup>

Déjà contraints par leurs faibles marges, les distributeurs traditionnels français voient arriver sur leurs marchés des acteurs numériques (GAFA, startups). Le marché du e-commerce français a réalisé 81,7 Mds d'euros<sup>132</sup> de chiffre d'affaire en 2017 soit une part de marché de 8,5% du commerce de détail.

La France est désormais le troisième marché du commerce en ligne en Europe avec 37 millions de cyberacheteurs recensés qui dépensent en moyenne 2 200 euros/an essentiellement par carte bancaire pour des achats de produits d'habillement, culturel, voyage, jeux, chaussure ou électroménager<sup>133</sup>.

En termes de création d'emploi, l'e-commerce a généré 49 000 postes l'année dernière. 56 000 nouveaux emplois devraient être créés en 2018 soit 28% des créations d'emploi marchand prévues en France<sup>134</sup>.

Hors distribution alimentaire<sup>135</sup>, AMAZON occupe la première place de l'e-commerce français (18,9 % du marché), DISCOUNT (8,2 %), VENUE-PRIVEE.COM (3,9 %), SHOWROOMPRIVE (2,6 %), FNAC (2,4 %) et DARTY (2,1 %).

<sup>128</sup> Définition INSEE Commerce : ce secteur regroupe les postes 45 (commerce et réparation d'automobiles et de motocycles), 46 (commerce de gros) et 47 (commerce de détail) de la nomenclature d'activités française (NAF). Définition INSEE Commerce de détail : ce sous-secteur regroupe les établissements ayant pour activité la vente de produit alimentaire, d'équipements de la maison, d'équipements de la personne et autres catégories.

<sup>129</sup> DGE. Chiffres clés du Commerce. Edition 2017.

<sup>130</sup> <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/consumer-business/articles/global-powers-of-retailing.html>

<sup>131</sup> Deloitte

<sup>132</sup> <https://www.fevad.com/wp-content/uploads/2018/06/Chiffres-Cles-2018.pdf>.

<sup>133</sup> Fevad

<sup>134</sup> Oxatis

<sup>135</sup> Kantar Worldpanel

Pour ne pas rater le virage de l'omni canal, les acteurs historiques français s'engagent en plus de une stratégie d'innovation et dans des alliances avec des acteurs du numérique afin de pouvoir offrir aux consommateurs une expérience d'achat intégrée :

- Le géant chinois ALIBABA et AUCHAN ont noué en décembre 2017 un partenariat<sup>136</sup> en Chine pour mutualiser leurs expertises en commerce physique et digital afin d'offrir au consommateur chinois une nouvelle expérience de courses phygiales.
- CARREFOUR, premier distributeur alimentaire européen et TENCENT, géant chinois des réseaux sociaux et médias, opèrent en commun depuis mai 2018 un supermarché<sup>137</sup> connecté à Shanghai, dénommé «Le Marché».
- Le groupe CASINO s'est allié<sup>138</sup> en novembre 2017 au britannique OCADO pour lui confier l'e-commerce de MONOPRIX. Cette alliance inclut la construction d'un entrepôt automatisé, la mise en œuvre d'une solution logicielle intégrée, l'optimisation de la livraison du dernier kilomètre, la gestion en temps réel des données clients et l'intégration de technologies tierces comme GOOGLE HOME pour faciliter les commandes des clients.

Parmi les technologies innovantes utilisées, figure l'intelligence artificielle qui s'applique à l'ensemble de la chaîne de valeur avec des usages comme la robotisation de la logistique, l'optimisation des stocks en entrepôts, la digitalisation des magasins, la recommandation d'achat personnalisée, la réduction du coût d'acquisition client, l'optimisation des assortiments, etc.....

L'avance technologique des GAFA est impressionnante. Elles investissent considérablement en R&D interne et acquisitions.

- AMAZON est l'entreprise qui a les dépenses de R&D les plus importantes au monde (16 Mds de dollars de dépenses annuelles<sup>139</sup>). Ce montant représente près de 2,5 fois la somme des dépenses de R&D de l'ensemble du secteur du service en France (qui est de 6,9 Mds d'Euros environ) ou encore plus que la somme de 4 secteurs industriels français (automobile + aéronautique/spatial + chimie + pharmacie)<sup>140</sup>.
- EBAY qui revendique plus de 150 millions d'utilisateurs à travers le monde a acquis ces dernières années plusieurs sociétés : EXPERTMAKER spécialisée dans l'IA qui automatise et optimise les décisions et les processus guidés par les données pour le commerce de détail, la fabrication et l'Internet des objets, SALESPREDICT fournisseur des solutions d'analyse prédictive ou encore CORRIGON spécialisée dans la vision par ordinateur.

---

<sup>136</sup> <https://www.auchan-retail.com/fr/newsroom/articles/alibaba-group-auchan-retail-et-ruentex-concluent-une-alliance-strategique-en-chine>

<sup>137</sup> <https://www.retaildetail.eu/en/news/food/carrefour-and-tencent-launch-high-tech-store-shanghai>

<sup>138</sup> <https://www.groupe-casino.fr/wp-content/uploads/2018/04/2017-11-28-Annonce-d-un-accord-international-de-e-commerce-entre-Ocado-Solutions-et-le-Groupe-Casino.pdf>

<sup>139</sup> <https://www.latribune.fr/technos-medias/amazon-champion-mondial-des-depenses-en-recherche-et-developpement-755809.html>

<sup>140</sup> [http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2017/81/4/NI\\_RetD\\_2017-11\\_num\\_873814.pdf](http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2017/81/4/NI_RetD_2017-11_num_873814.pdf)

Dans ce secteur, l'intelligence artificielle est utilisée pour adresser les besoins suivants :

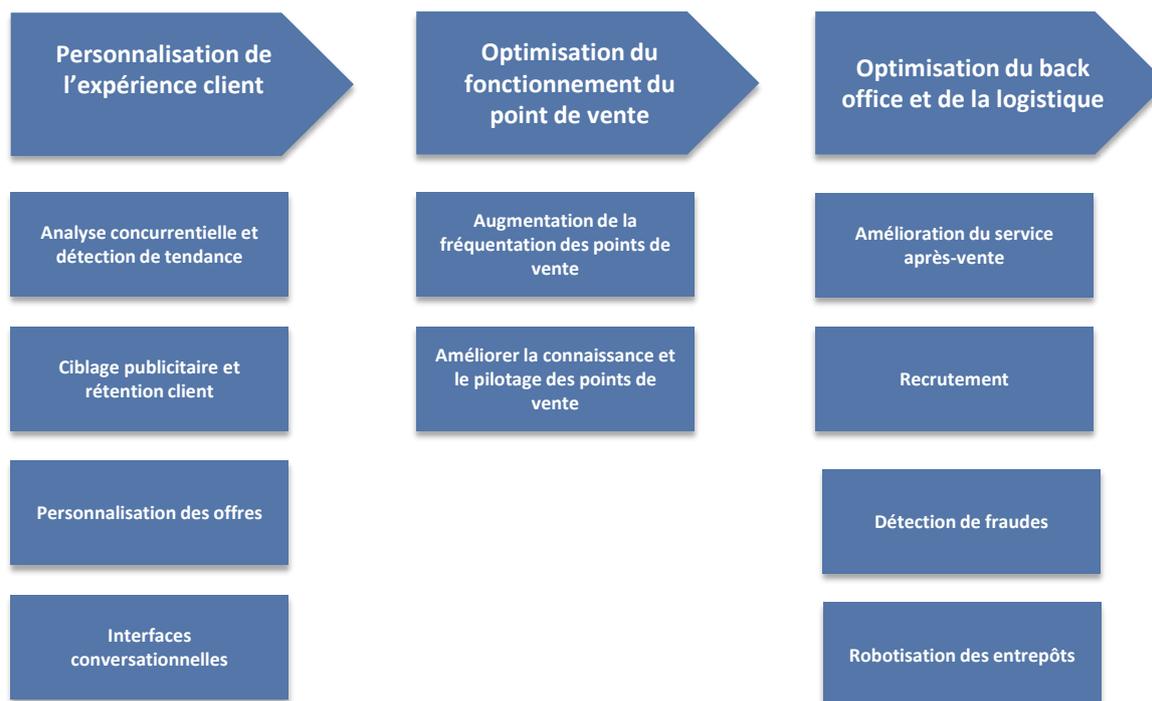


Figure 124 - Segmentation des usages en IA dans le domaine du commerce de détail

Les principaux cas d'utilisation typiques de l'intelligence artificielle sont les suivants :

### **Personnalisation de l'expérience client**

L'intégration de l'intelligence artificielle dans l'expérience client apporte une analyse plus fine du comportement des consommateurs en temps réel et permet de mieux anticiper leurs besoins, donc de vendre plus. Les modèles s'appuient sur l'historique des données de navigation ou d'achats, les facteurs extérieurs comme la météo ou les actualités et de plus en plus sur des informations issus d'objets connectés comme le géo positionnement. Ils permettent d'adapter l'argumentaire sur les besoins et les intentions pour ensuite améliorer et mieux adapter les offres commerciales. C'est une logique de personnalisation qui s'appuie sur les comportements et l'émotion.

### **Optimisation du fonctionnement du point de vente**

L'intelligence artificielle permet de créer de nouvelles expériences de vente comme un magasin intelligent qui permet aux vendeurs d'avoir, en temps réel, des informations sur leurs clients, leurs produits, leurs stocks ou leurs équipes. L'IA est utilisée aussi pour reconnaître client et produit et aider à sécuriser la transaction.

SOFTBANK ROBOTICS (anciennement ALDEBARRAN) a développé en France un robot humanoïde, PEPPER, capable d'interagir avec des clients. PEPPER est déployé dans 140 magasins mobiles du groupe SOFTBANK et utilisé comme représentant du service clientèle. Selon le groupe, PEPPER a engendré une augmentation de 70% du trafic piétonnier dans certains magasins et 50% des ventes de certains articles peuvent être attribuées directement au robot.

L'IA permet également d'améliorer les analyses de point de vente à partir des achats réalisés et de leur moment : fréquentation, heures de pointe, stocks, démographie des clients, etc. Elle permet à l'entreprise d'adapter ses offres et ses ressources en fonction de ces éléments.

## **Optimisation du backoffice et de la logistique**

L'IA permet d'automatiser la gestion de requêtes effectuées au service client comme répondre aux questions courantes : statut d'une commande en cours, facture, prise de rendez-vous pour la livraison et l'installation, etc... L'IA est également utilisée pour filtrer l'ensemble des messages adressés à un service client que ce soit des mails ou des appels. L'analyse par traitement du langage naturel permet de rediriger les demandes vers le bon canal de traitement.

Dans un autre domaine, l'IA permet d'analyser de manière plus rapide les transactions et les activités en ligne afin de détecter les potentielles fraudes. Les techniques d'IA supervisées comme l'identification de signaux faibles et l'analyse comportementale permettent de capter les tentatives de fraude organisée.

Dans la gestion de la chaîne logistique, l'IA apporte des bénéfices sur la chaîne elle-même (gestion des stocks en temps réel, optimisation du routage du trafic de livraison pour diminuer la consommation de carburant et améliorer les délais, etc..), mais également sur la gestion de la demande avec 2 types de besoins. Le premier correspond à une meilleure anticipation de la demande avec des modèles prédictifs et le second à une automatisation via Chatbot des appels aux sociétés clientes pour savoir si elles ont besoin d'une nouvelle livraison ou à l'inverse pour connaître l'état d'une commande. Par exemple la société UNIVIRED a développé un Chatbot qui fournit des réponses aux demandes concernant le statut des commandes et des expéditions, la disponibilité des stocks ou les prix et permet de passer une commande.

## L'offre en IA

- **Les startups**

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>141</sup>
<b>Monde</b>	Plus de 900 (plus de 500 en e-commerce)
<b>États-Unis</b>	Plus de 400
<b>Europe</b>	Plus de 300
<b>France</b>	De 10 à 50

Tableau 31 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Sociétés
<b>Personnalisation de l'expérience client</b>	FUTURESCORE.IO (France), DACO (France), HEURITECH (France), TINYCLUES (France), INFLUANS (France), UNTIENOTS (France), CRITEO (France), TIMEONE GROUP (France), AB TASTY (France), NUUKIK (France), TARGET2SELL (France), PAYLEAD (France), SLIDETRADE (France), AKENEO (France), EPTICA (France), CLUSTAAR (France), ALCMEON (France), HUBWARE (France), IADVIZE (France)
<b>Optimisation du fonctionnement du point de vente</b>	TEEMO (ex DATABERRIES) (France), VECTORY (France), SINGLESLOT (France), ARMIS (France), S4M (France), ANGUS.AI (France), OCCI (France), WASSA (France), WYND, YOOBIC (France)
<b>Optimisation du back office et de la logistique</b>	REVERS.IO (France), MERITO (France), SKAPANE (France), CYPHEME (France), EXOTEC SOLUTIONS (France)

Tableau 32 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

<sup>141</sup> Crunchbase

## **Personnalisation de l'expérience client**

### ▪ **Analyse concurrentielle et détection de tendance**

SCRAMBLED, cabinet d'innovation du Groupe ETAM a initié le projet FUTURESCORE.IO qui utilise les enquêtes clients et IA pour mesurer et localiser le futur potentiel commercial des produits des enseignes.

DACO utilise la reconnaissance d'image pour aider les retailers à avoir la meilleure vision de leur environnement concurrentiel par une analyse approfondie de l'offre, des prix et des stratégies de promotion proposés sur les sites des concurrents.

La startup HEURITECH fondée en 2013 propose le même type de service. Elle utilise le deep learning en reconnaissance d'image pour détecter les tendances online du Retail grâce à l'analyse quotidiennes de plusieurs millions d'images sur les réseaux sociaux. En Juin 2017, HEURITECH a remporté le LVMH INNOVATION AWARD.

### ▪ **Ciblage publicitaire et rétention client**

TINYCLUES<sup>142</sup> présent à Londres et New York, a développé des outils de marketing prédictif utilisant le deep learning pour aider les enseignes et les grandes marques à améliorer leur ciblage publicitaire sur les différents canaux tels que l'email, les notifications mobiles, le courrier, les centres d'appel ou les réseaux sociaux. Depuis sa création en 2010, l'entreprise française a mobilisé plus de 20 millions d'euros pour accompagner sa croissance.

Fondée en 2016, UNTIENOTS utilise l'intelligence artificielle pour personnaliser les programmes de fidélité des distributeurs en valorisant les données des cartes, la géolocalisation et la navigation internet des consommateurs. AUCHAN intègre cette solution pour gamifier et optimiser sa fidélisation dans le cadre de sa campagne "Défis WAAOH".

CRITEO, cotée au NASDAQ, spécialiste du ciblage publicitaire, édite plusieurs solutions utilisant les technologies de machine learning pour les distributeurs. La société a créé en juin 2018 le CRITEO AI LAB, centre d'excellence dédié à la création, l'expérimentation et le déploiement à grande échelle de technologies de Machine Learning. Le Lab est soutenu par un investissement de 20 millions d'euros sur 3 ans.

### ▪ **Personnalisation des offres**

AB TASTY propose des solutions de type « A/B Testing », basé sur des algorithmes prédictifs qui permettent de mieux comprendre le parcours client en ligne et personnaliser une offre produit pour améliorer le taux de conversion.

Grace à un partenariat avec l'INRIA, la startup NUUKIK, met en œuvre des algorithmes de machine learning permettant de personnaliser un catalogue produit qu'il soit en ligne ou sur papier.

Créée en 2012, TARGET2SELL, spécialisée dans l'analyse comportementale en ML permet aux e-commerçants de personnaliser les produits à la vente selon des profils de leurs clients. La solution est déployée dans plus de 20 pays sur plus de 300 sites comme AUCHAN, SEPHORA, MONOPRIX, MICROMANIA, BUT, VIVARTE, CAMAÏEU, CATIMINI, PRINCESSE TAM TAM, RAJA, MANUTAN, LAPEYRE, DIGITICK.

PAYLEAD est une plateforme d'intelligence artificielle permettant d'adresser des offres personnalisées aux clients des banques et des distributeurs en fonction de leurs comportements d'achat et de leurs données sociodémographiques.

Le nantais AKENEO, intègre la technologie IA de la société israélienne SIGMENTO, pour offrir aux distributeurs une solution PIM (Product Information Management) améliorant la description des informations produits en fonction du canal de consultation.

---

<sup>142</sup> <https://www.tinyclues.com/>

- **Interfaces conversationnelles**

Spécialiste du traitement automatique du langage naturel, EPTICA<sup>143</sup>, fournit des solutions conversationnelles et collaboratives pour améliorer l'expérience client sur tous les canaux d'échange (self-service, Chatbot, chat, Messenger, email, réseaux sociaux).

La startup CLUSTAAR a développé un moteur de machine learning en B2B pour les distributeurs qui automatise les conversations avec les clients via des bots sur des conseils d'achat ou des questions après-vente.

La technologie IA d'ALCMEON permet aux grandes marques et aux distributeurs de transformer leurs comptes TWITTER, FACEBOOK ou MESSENGER en service client automatisé (bot), capable d'absorber les pics d'interactions et les crises. La solution de « conseiller augmenté » aide les équipes grâce à un moteur de suggestion qui analyse en continu les contenus des informations du client.

## **Optimisation du fonctionnement du point de vente**

- **Augmentation de la fréquentation des points de vente**

TEEMO (ex DATABERRIES) édite une plateforme Drive-to-Store qui permet d'attirer davantage de consommateurs dans les magasins des retailers en combinant données de géolocalisation et algorithmes IA. La startup a été fondée en 2014 par une équipe entrepreneuriale provenant de GOOGLE et de CRITEO. ISAI et INDEX VENTURES ont injecté 15 millions d'euros dans la société au printemps 2017.

VECTORY propose un outil qui collecte et analyse chaque jour les données de géolocalisation en temps réel à 25 millions de mobinautes français pour permettre aux commerçants de mieux piloter leurs investissements marketing et d'améliorer leur connaissance clients. Les marques et les commerçants peuvent ainsi proposer des publicités ciblées aux consommateurs en fonction de leurs déplacements. VECTORY a levé il y a quelques mois 20 millions d'euros auprès de JOLT CAPITAL.

Pour augmenter l'efficacité des campagnes drive-to-store des commerçants, SINGLESPOT<sup>144</sup> a reçu 6 millions d'euros d'IRIS CAPITAL pour proposer aux détaillants des solutions de marketing mobile basées sur une audience de 12 millions de mobinautes, une technologie de géolocalisation et des algorithmes prédictifs.

- **Améliorer la connaissance et le pilotage du point de vente**

La startup ANGUS.AI spécialisée dans la reconnaissance d'images utilise les caméras présentes dans les magasins pour : identifier une longue file d'attente en caisse, repérer un client hésitant, estimer l'âge et le sexe d'un client, anticiper les ruptures de stocks en rayon, etc... Grâce à ces informations, les gestionnaires de magasins peuvent optimiser le fonctionnement opérationnel de leurs surfaces de ventes.

La startup OCCI propose une solution permettant aux distributeurs d'analyser les déplacements des clients en magasin et d'interagir avec eux de façon ciblée. Les clients sont identifiés par les signaux émis par leurs smartphones via wifi ou bluetooth et peuvent recevoir des messages promotionnels.

WASSA développe pour les retailers des solutions digitales s'appuyant sur les images extraites de caméras et d'intelligence artificielle pour identifier des genres, des tranches d'âges et d'analyser les flux de déplacement des personnes (zones chaudes, zones froides, etc.).

Partant du constat que 76% des décisions d'achat sont prises en magasin, YOOBIC, startup présente à Paris, Londres et Tel Aviv, commercialise une solution IA de pilotage en temps réel des opérations en points de vente qui analyse les photos prises avec une tablette ou un smartphone en vue de corriger des anomalies d'agencements des boutiques. La société a effectué il y a quelques mois une seconde levée de fonds de 25 millions de dollars auprès de D'INSIGHT VENTURE PARTNERS (New York) et FELIX CAPITAL (Londres).

---

<sup>143</sup> <https://www.eptica.com/fr>

<sup>144</sup> <https://www.singlespot.com/fr>

## Optimisation du back office et de la logistique

- **Amélioration du service après-vente**

La startup parisienne SAV GROUP propose de digitaliser le service après-vente des retailers avec sa plate-forme REVERS.IO<sup>145</sup> un moteur d'intelligence artificielle qui gère un processus logistique et administratif adapté à chaque client. LA REDOUTE, LA FNAC ou encore RUE DU COMMERCE sont des utilisateurs de la solution.

- **Recrutement**

Créée en 2016, MERITO utilise des outils de matching à base de ML pour permettre aux recruteurs des métiers de la distribution de trouver la bonne adéquation entre leurs besoins et un candidat et de réduire ainsi le turnover et l'absentéisme. L'algorithme IA « *analyse la localisation et la disponibilité mais aussi les recommandations du précédent manager et ses évaluations* ». <sup>146</sup>

- **Détection de fraudes**

SKAPANE a été lancée en 2015 dans le domaine du big data et a été accélérée à EURATECHNOLOGIES. La société propose plusieurs produits dont des algorithmes intelligents de détection de fraudes.

Créée en 2015, la startup CYPHEME a développé un système d'intelligence artificielle basé sur une caméra de smartphone permettant de détecter les produits de contrefaçon en analysant la microstructure de l'emballage.

- **Robotisation des commandes dans les entrepôts**

Basée à Lille, EXOTEC SOLUTIONS a développé une solution robotisée capable d'évoluer en trois dimensions dans les entrepôts. Les robots de préparation permettent de traiter un flux cinq fois plus rapide que le picking traditionnel grâce à un système de scanner laser basé sur l'intelligence artificielle. L'entreprise a récemment levé 15 millions € pour être en mesure de fabriquer 1 000 robots en 2019.

- **Optimisation des stocks en entrepôts et en magasins**

Editeur de solutions supply chain en SaaS, VEKIA, qui compte près de 50 collaborateurs, conçoit des algorithmes d'Intelligence Artificielle pour la gestion prévisionnelle des approvisionnements des retailers qui permettent de réduire le besoin en fond de roulement (BFR) et d'augmenter les marges. Après une première levée de 2,4 millions d'euros en 2015, la startup lilloise a mobilisé l'année dernière 12 millions d'euros auprès d'investisseurs comme SERENA CAPITAL, BPIFRANCE, PLEIADE VENTURE, CAPHORN INVEST et ZTP.

SYMPHONY RETAIL AI entreprise française à l'origine, est spécialisée dans la gestion de la supply chain de grands groupes de commerce. Avec un effectif de 1 000 personnes, la société gère les systèmes de commande et de réapprovisionnement automatique.

---

<sup>145</sup> <https://revers.io/>

<sup>146</sup> <https://www.forbes.fr/entrepreneurs/chronique-deffectuation-10-merito-contre-la-trime-qui-ne-paie-pas/>

## 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>▪ Un secteur très mature technologiquement.</li> <li>▪ Une forte digitalisation du secteur.</li> <li>▪ Un volume de données de commerce qui va continuer à augmenter.</li> <li>▪ Un nombre important de sociétés innovantes</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'Europe est très en retard dans le e-commerce</li> <li>▪ Un investissement en cours de la part des acteurs nord-américains et chinois difficile à rattraper pour la France et même pour l'Europe.</li> <li>▪ Aucun acteur français ou européen avec des capacités d'investissements comparables à celles des GAFAs.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infrastructures de calcul haute performance (HPC).</li> <li>▪ Traitement automatique du langage (Chatbot).</li> <li>▪ Reconnaissance automatisée d'images.</li> <li>▪ Processeurs GPU pour le traitement des images.</li> </ul>
Digitalisation du secteur (Disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forte</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée</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>▪ Amélioration de l'expérience client.</li> <li>▪ Optimiser le back office et la chaîne logistique.</li> <li>▪ Robotisation des entrepôts.</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Encourager des projets de développement d'outils de e-commerce.</li> <li>▪ Faciliter l'insertion des chercheurs dans les entreprises.</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui, malgré le nombre importants d'acteurs innovants : *marché déjà mature, acteurs internationaux leaders en IA, faible innovation digitale des grandes entreprises en France.*

## 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	Faible
Qualité de l'infrastructure technologique	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Moyenne
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Faible
Digitalisation du secteur, accès aux données	Forte

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

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

Le scénario global n'est pas privilégié car les acteurs leaders mondiaux dans la recherche en IA dans le secteur du commerce sont internationaux (USA et Chine). Avec des moyens considérables, ces acteurs mènent la course aux innovations en intelligence artificielle dans le domaine du commerce.

Un scénario de niche est à privilégier. Comme pour les services financiers, ce scénario pourrait encourager par exemple, le développement de technologies d'IA pour améliorer et personnaliser l'information consommateur par rapport : aux offres accédées, aux contraintes de santé pour des produits alimentaires ou encore par rapport à leur qualité environnementale.

# Professions libérales et services professionnels

## Les besoins du secteur

Ce secteur regroupe l'ensemble des professions libérales et des services professionnels en dehors des professions juridiques traitées dans le secteur juridique et des professions de santé traitées dans le secteur de la santé.

Le marché des services est majeur pour l'économie mondiale. En Europe, il compte pour 68% de la valeur et 71% des emplois<sup>147</sup>. Au sein de ce secteur, les services professionnels et les professions libérales représentent la part la plus importante et comptent pour environ 13% de la valeur et 13% de l'emploi<sup>147</sup>. La dynamique de compétition et d'innovation est très différente au sein des catégories de services professionnels. Le schéma suivant présente le taux d'attrition (différence entre sociétés créées et sociétés fermées sur une période) des sociétés pour chaque catégorie de services professionnels. Plus le taux est élevé plus la catégorie est dynamique du point de vue de l'innovation.

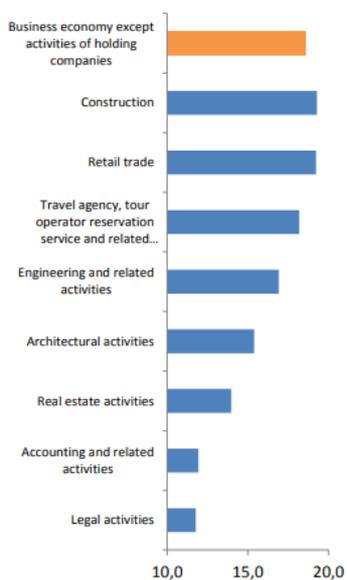


Figure 125 - Taux d'attrition des sociétés en Europe<sup>147</sup>

Construction, Retail et Tourisme représentent les 3 secteurs les plus dynamiques du marché des services. Dans ce secteur, l'intelligence artificielle peut être utilisée pour automatiser une partie du travail dans les domaines suivants :

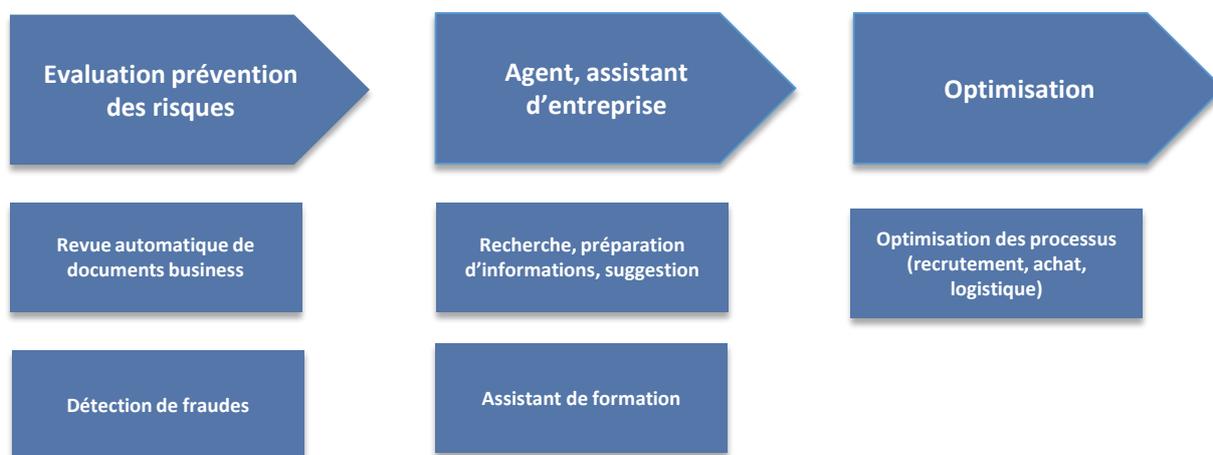


Figure 126 - Segmentation des usages en IA dans le domaine des services professionnels

<sup>147</sup> European SEMESTER THEMATIC FACTSHEET SERVICES MARKETS décembre 2017.

## Évaluation, prévention des risques

L'évaluation des risques est une activité de plus en plus importante pour les entreprises. L'apport de l'intelligence artificielle repose sur la capacité à traiter rapidement de grands volumes de données semi structurées et à corrélérer efficacement plusieurs sources pour mettre en évidence un niveau de risque particulier qu'il soit commercial, légal, humain ou autre. L'IA facilite les audits en passant en revue des niveaux de dépenses et en les comparant avec les résultats d'activités issus de ses dépenses. L'IA peut également permettre de détecter des activités de blanchiment ou de délits financiers, évaluer des risques de liquidité ou analyser les impacts des changements réglementaires.

Les médias digitaux imposent également des exigences supplémentaires de mesure de risques. Certaines solutions AI peuvent supprimer des commentaires, des publications ou des posts dangereux avant que des problèmes puissent survenir.

Les techniques de traitement automatique du langage ou du texte, couplées avec des mécanismes d'apprentissage, sont particulièrement efficaces dans la détection de fraudes en évitant de fixer des règles a priori qui génèrent trop de faux positifs. La décision de l'algorithme d'IA (Fraude confirmée ou non) est validée par un humain, ce qui permet à la machine « d'apprendre » ce qui est réellement une fraude et ce qui ne l'est pas.

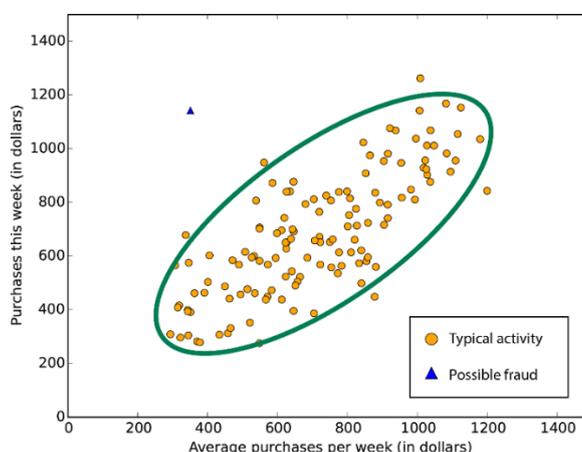


Figure 127 - Exemple d'apprentissage de détection de fraude

Des sociétés comme YELP ou AIRBNB utilisent déjà des techniques de ML pour se protéger contre les contenus et les promotions abusives, les fraudes de paiement, les faux comptes utilisateurs ou l'usurpation de compte. Compte tenu du caractère changeant des techniques de fraude, la recherche en IA dans ce domaine est particulièrement sensible sur la coopération entre humain et machine, soit pour apprendre en amont à la machine les cas d'usage à détecter, soit pour valider en aval d'une détection s'il s'agit d'une fraude ou d'une erreur de détection.

## Agent, assistant d'entreprise

Les agents intelligents permettant d'assister un salarié dans une partie de ses activités régulières pour rechercher, suggérer, contrôler une information, est un sujet d'innovation particulièrement dynamique en intelligence artificielle. Le sujet a commencé à se développer avec les assistants grand public pour mobile des géants du WEB depuis 2 ans : CORTANA (MICROSOFT), SIRI (APPLE), GOOGLE Assistant, NEWTON (SALESFORCE) ou encore ALEXA (AMAZON). AMAZON vient même de lancer en 2018 ALEXA for Business avec un objectif plus versatile que l'outil Cortana centré sur les interactions sur PCs. L'assistant doit permettre d'organiser la logistique de réunions de travail, ouvrir une demande de support, gérer des appels téléphoniques ou encore autoriser ou non l'accès à des informations sécurisées.

Les agents intelligents centrés sur une tâche d'expertise commencent à se développer. Les services de support client cherchent à implémenter des Chatbots intelligents pour fournir à leurs clients l'information la plus pertinente possible et élargir la gamme de questions adressables. L'opérateur de communication AVAYA vient par exemple d'acquérir la société SPOKEN COMMUNICATION spécialisée dans les Chatbots intelligents. Même si une IA n'est pas capable de remplacer un humain, elle peut déjà prioriser les messages entrants, router intelligemment, enrichir des modèles de réponses et interagir avec l'opérateur pour déléguer ou traiter une tâche en fonction de sa complexité.



Figure 128 - Exemple de typologie d'agents

Dans le domaine de la formation, commencent à apparaître des bots d'enseignement basés sur des techniques d'IA. En 2016, l'université américaine de Georgia Tech a introduit un assistant de formation JILL développé avec la technologie WATSON d'IBM. JILL répond aux questions fréquentes des étudiants sur les formations en cours. L'université prétend que près de 40% des étudiants ne s'aperçoivent pas que JILL est une IA virtuelle. Aux États-Unis, la société CAMPUS MANAGEMENT a développé le service Retention360, incluant une IA personnelle pour les étudiants. En France, la startup DOMOSCIO développe des algorithmes d'apprentissage adaptatifs pour sélectionner le contenu adapté à la capacité d'apprentissage de chacun et d'ancrage mémoriel pour tester si un étudiant est en train d'oublier ou s'il est vraiment en train de mémoriser de manière durable.

## **Optimisation, aide à la décision**

Ce domaine regroupe l'ensemble des outils de recherche et d'aide à la décision. L'intelligence artificielle couplée à des agents conversationnels est vue comme un facteur de productivité en améliorant la qualité des interactions entre individus dans les processus de travail. Dans un ensemble de tâches confiées à un individu, l'IA doit permettre de remplacer les plus répétitives pour permettre aux individus de se concentrer sur les plus critiques.

En 2017, SALESFORCE a fait la démonstration d'Einstein, son moteur IA, pour les processus de ventes et de marketing. Einstein peut extraire des informations pour évaluer les prospects et les opportunités les plus rapides à convertir. Cela concentre les efforts de vente.

## L'offre en IA

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>148</sup>
Monde	Plus de 100
États-Unis	Plus de 100
Europe	Entre 50 et 100
France	Entre 10 et 50

Tableau 33 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Sociétés
<b>Évaluation, prévention des risques</b>	WORKUSION, SOCURE, ONFIDO, GEOQUANT
<b>Agent, assistant d'entreprise</b>	KITT.AI, SNIPS.AI (France), KASISTO, PYPESTREAM, INBENTA, BOTFUEL (France), LINAGORA (France)
<b>Optimisation, aide à la décision</b>	ACTIONIQ, PRACT, ENIGMA, DATASIFT, IPSOFT

Tableau 34 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

- **Évaluation, prévention des risques**

GEOQUANT réalise des analyses de risque pays. Les analyses se basent sur plusieurs types de données pour faire des évaluations des risques. La société utilise des données d'institutions comme les banques et les organisations non gouvernementales ou des données de réseaux sociaux et des sondages d'opinion. La société est soutenue par un investissement de 4 millions de dollars d'ALEPH VC et de XL INNOVATE.

- **Agent, assistant d'entreprise**

Les solutions de PYPESTREAM sont axées sur le service client avec des chatbots IA. La société promet de réduire le coût des services à la clientèle de 80%. De manière sécurisée et privée, la plate-forme permet de conduire des transactions par messagerie tout en offrant des promotions et un contenu multimédia riche.

- **Optimisation, aide à la décision**

WORKFUSION, propose des produits avec une intelligence artificielle qui automatise le processus métier de production / validation des produits.

---

<sup>148</sup> Crunchbase

## 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>▪ Un enjeu majeur d'efficacité, perçu par les entreprises</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un secteur peu développé pour l'IA pour le moment.</li> <li>▪ Une mesure de la performance / risque qui n'est pas suffisamment définie.</li> <li>▪ Une problématique d'optimisation peu ou pas assez définie selon les secteurs.</li> <li>▪ Un enjeu fort d'économie de ressources et donc de réduction d'emploi</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Traitement automatique du langage naturel (NLU/NLP)</li> <li>▪ Robot Processus Automation (RPA)</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variable selon les secteurs</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée</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>Optimisation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Amélioration de l'efficacité opérationnelle</li> <li>○ Réduction du besoin de ressources</li> </ul> </li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Continuer à digitaliser l'ensemble des échanges entre l'administration et les entreprises.</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui : *usages très hétérogènes en fonction de la maturité des entreprises.*

## 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	Faible
Qualité de l'infrastructure technologique	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
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	
Développer des initiatives de niche	Recommandé

Le scénario global n'est pas privilégié compte tenu du caractère très hétérogène des usages ou des données et de la présence de processus et outils de gestion souvent matures dans les entreprises.

Un scénario de niche est à privilégier en favorisant par exemple le développement d'outils intelligent d'évaluation automatique de la fraude ou du respect de règles de compliance. L'État peut encourager leur développement en lançant des marchés pour ses besoins propres par exemple.

L'État peut également encourager les entreprises à rendre accessible par l'intermédiaire d'agents conversationnels (Chatbot), la documentation publique des entreprises (rapport d'activité, rapport financier, conventions publiques, etc...), souvent disséminée dans différents sites de l'entreprise ou publics.

# Télécommunications

## Les besoins du secteur

Dans le secteur des télécommunications, les applications en IA se développent dans les domaines suivants.

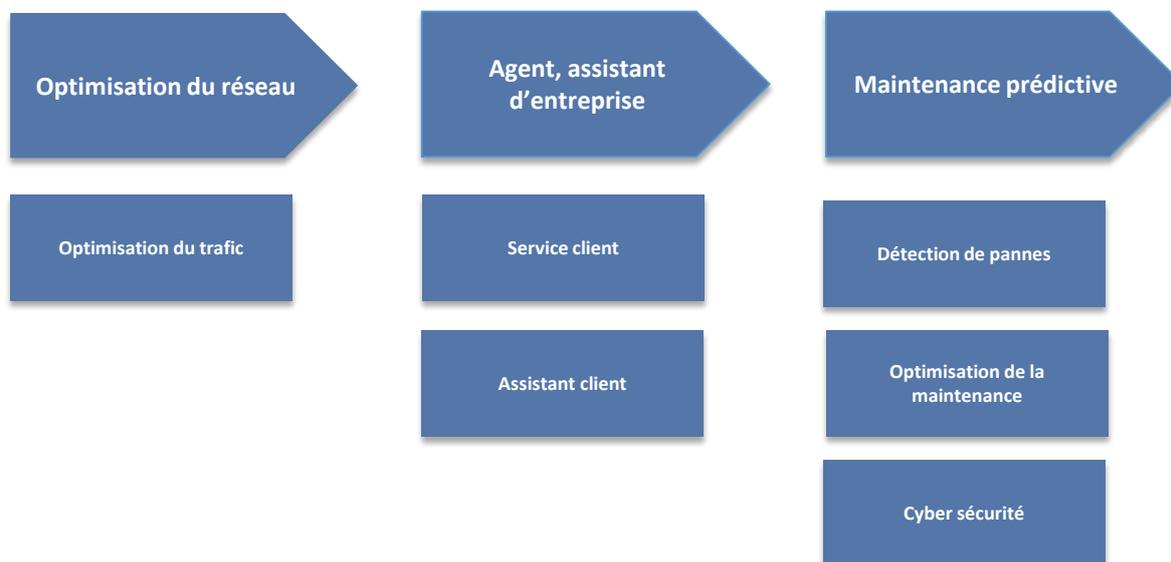


Figure 129 - Segmentation des usages en IA dans le domaine des télécommunications

### Optimisation du réseau

Les réseaux des opérateurs de télécommunications se virtualisent notamment avec le concept de Software Defined Network (SDN). Les SDN permettent une optimisation fine des volumes et trafic réseau, ce qui s'accompagne de paramétrages plus complexes. Pour répondre à ce problème, des solutions d'optimisation sur des techniques d'apprentissage font l'objet de recherches actives. Elles permettent d'optimiser l'équilibrage du réseau, de détecter des intrusions ou d'améliorer la qualité de service pour les flux vidéo par exemple (près de 50% de l'usage Internet actuellement).

### Agents intelligents

Les agents intelligents se développent dans tous les domaines nécessitant un service client ou un service de support : service après-vente, support informatique, agent d'accueil, etc... Ces agents permettent d'automatiser une partie des questions / réponses simples, d'acheminer des clients vers le bon agent en fonction du type de demande et même d'assister les conseillers clients dans leurs réponses. Ces agents sont déjà omniprésents au sein des opérateurs et ceux incorporant des techniques d'apprentissage (Ex DJINGO chez ORANGE, TOBI chez VODAFONE). Ces services permettent également à des clients d'acheter des services multimédias (musique, film, options téléphoniques) à partir d'échanges vocaux avec des assistants (type ALEXA) plutôt que par l'intermédiaire d'un site web ou mobile.

### Maintenance prédictive

Ce domaine correspond à la détection de signaux entraînant une défaillance matérielle avant qu'elle ne survienne.

FACEBOOK, DEUTSCHE TELECOM et TELEFONICA ont cofondé la société TELECOM INFRA PROJECT (TIP) en 2016 pour travailler spécifiquement l'usage de l'intelligence artificielle dans les réseaux de communication. Depuis sa création, une dizaine d'acteurs majeurs des télécommunications dont ORANGE ont rejoint TIP. Le groupement adresse les problématiques d'optimisation de la croissance du réseau, du volume de trafic, de la complexité des services, de la maintenance du réseau et même des contraintes dues aux véhicules autonomes.

## L'offre en IA

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>149</sup>
Monde	Plus de 200
États-Unis	Plus de 100
Europe	Entre 50 et 100
France	Entre 10 et 50

Tableau 35 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Sociétés
<b>Optimisation du réseau</b>	APSTRA, ZEROSTACK, S K TELECOM, IVOIP (France)
<b>Assistants intelligents mobiles</b>	IPSOFT, VODAFONE, NUGU
<b>Maintenance prédictive</b>	<b>Maintenance prédictive</b> : GREATHORN, REECE, AT&T, VERISON, DC BRAIN (France). <b>Cyber sécurité</b> : DARKTRACE, SHAPE, ENDGAME, CROWDSTRIKE, VERSIVE, CYBELANGEL (France)

Tableau 36 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

- **Optimisation du réseau**

Les solutions en intelligence artificielle développées reposent sur un apprentissage de la qualité du trafic réseau. Elles cherchent à identifier les facteurs qui influencent la qualité du réseau (type de débit, événements, externes, maintenance, etc...).

SK TELECOM a déployé un réseau assisté par une intelligence artificielle (TANGO) avec des fonctionnalités d'analyse de données volumineuses et d'apprentissage automatique pour améliorer l'expérience client grâce à la détection, au dépannage et à l'optimisation automatisée des réseaux mobiles.

APSTRA travaille sur l'automatisation des opérations en Datacenter. Le système utilise des agents logiciels situés au-dessus de chaque périphérique réseau pour optimiser le trafic.

ZEROSTACK développe un logiciel basé sur des techniques d'apprentissage pour piloter les ressources de clouds privés.

- **Assistants intelligents mobiles**

VODAFONE a lancé son Chatbot TOBI basé sur l'intelligence artificielle pour aider les clients à trouver des réponses à leurs questions. VODAFONE étudie également l'intégration de son assistant avec ALEXA d'AMAZON. DJINGO, le conseiller virtuel d'ORANGE BANK, réalise en moyenne près de 24.000 conversations par semaine et son niveau de compréhension de 85% est qualifié d'« excellent » par Jean-Philippe DESBIOLLES.

IPSOFT développe un agent AMELA qui remplace les agents du centre de services et du service clientèle en imitant l'intelligence humaine. Il interagit naturellement avec les gens et apprend par observation pour déterminer les mesures à prendre pour résoudre les problèmes et répondre aux demandes.

<sup>149</sup> Crunchbase

- **Maintenance prédictive**

Les solutions en intelligence artificielle développées reposent sur un apprentissage par rapport à plusieurs millions d'évènements comme des mails, des évènements de sécurité ou des traces réseaux (usages, anomalies). Elles cherchent à anticiper un problème conduisant à une baisse ou une rupture de qualité de service.

GREATHORN développe une intelligence artificielle entraînée sur plusieurs millions de menaces pour les détecter dans des mails. La solution analyse des facteurs externes (les domaines suspects et les enregistrements DNS) ou internes comme la valeur de la cible pour surveiller et détecter automatiquement les messages suspects.

REECE entraîne une intelligence artificielle pour identifier avec précision et gérer de manière autonome des fraudes, résoudre des causes de défaillances d'un routeur et planifier efficacement le déploiement de réseaux d'entreprises.

AT&T et VERISON développent des applications d'intelligence artificielle pour anticiper les pannes d'un réseau et améliorer la maintenance. Les algorithmes détectent par exemple les signaux qui précèdent les pannes dans des tours de téléphonie cellulaire ou dans les lignes de communication. L'IA permet de minimiser les impacts sur les clients suite à une panne et pendant sa réparation.

DARKTRACE utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour détecter et répondre aux cyber-menaces dans divers environnements numériques (Les réseaux cloud et virtualisés, IoT et les systèmes de contrôle industriel). DARKTRACE possède une capacité unique à détecter en temps réel des menaces non identifiées auparavant.

SHAPE propose deux produits : SHAPE DEFENSE qui lutte contre les cyber-attaques (fraude à grande échelle, prise de contrôle de compte, vol de contenu ou déni de service). Il utilise l'apprentissage automatique pour améliorer les défenses au fil du temps. L'intelligence artificielle alimente également le produit BLACKFISH, conçu pour empêcher les pirates d'utiliser des mots de passe volés pour accéder aux comptes. La plateforme exploite les capacités d'apprentissage automatique de SHAPE pour détecter automatiquement des attaques par force brute.

En France, la société CYBELANGEL vient de lever 10 m€ pour se déployer outre-Atlantique après avoir testé le marché. La société propose une solution de gestion de risques pouvant détecter tout type de fuite de données à partir d'algorithmes apprenants.

## 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>▪ Un secteur très mature technologiquement.</li><li>▪ Une forte digitalisation du secteur.</li><li>▪ Un risque de sécurité informatique majeur et croissant à adresser, notamment avec le déploiement de réseaux de capteurs.</li><li>▪ Un trafic réseau qui va continuer à exploser.</li></ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Une concurrence très forte des États-Unis et de l'Asie au niveau des équipementiers.</li></ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Infrastructures de calcul haute performance (HPC).</li><li>▪ Réseaux à faible latence.</li></ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Forte</li></ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Privée</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>Maintenance prédictive</b><ul style="list-style-type: none"><li>○ Détection de pannes.</li><li>○ Détection de menaces de cyber sécurité.</li></ul></li></ul>
---------------------------------	---

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui. En effet, la majorité des acteurs innovants sont étrangers (USA, Asie) et le secteur est déjà mature pour l'intelligence artificielle.

## 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	Forte
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Moyenne
Digitalisation du secteur, accès aux données	Forte

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

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

Le scénario global n'est pas privilégié car les acteurs les plus innovants sont internationaux.

Un scénario de niche est à privilégier. Pour le secteur des télécommunications lui-même, un scénario de niche correspondrait à favoriser le déploiement d'innovations dans le domaine de la cyber sécurité. La protection active des infrastructures numériques est devenue au fil du temps, un enjeu majeur pour l'économie et la souveraineté.

# Loisirs et médias

## Les besoins du secteur

L'industrie des loisirs et des médias numériques s'est emparée très rapidement des technologies d'intelligence artificielle, notamment avec NETFLIX qui a été un précurseur dans les algorithmes de recommandation. Il est logique que les industries médias et créatives prennent la tête en ce qui concerne l'adoption et l'expérimentation de l'IA, compte tenu du très fort taux de digitalisation du secteur.

Dans le domaine des loisirs, l'intelligence artificielle peut être utilisée dans les domaines suivants :

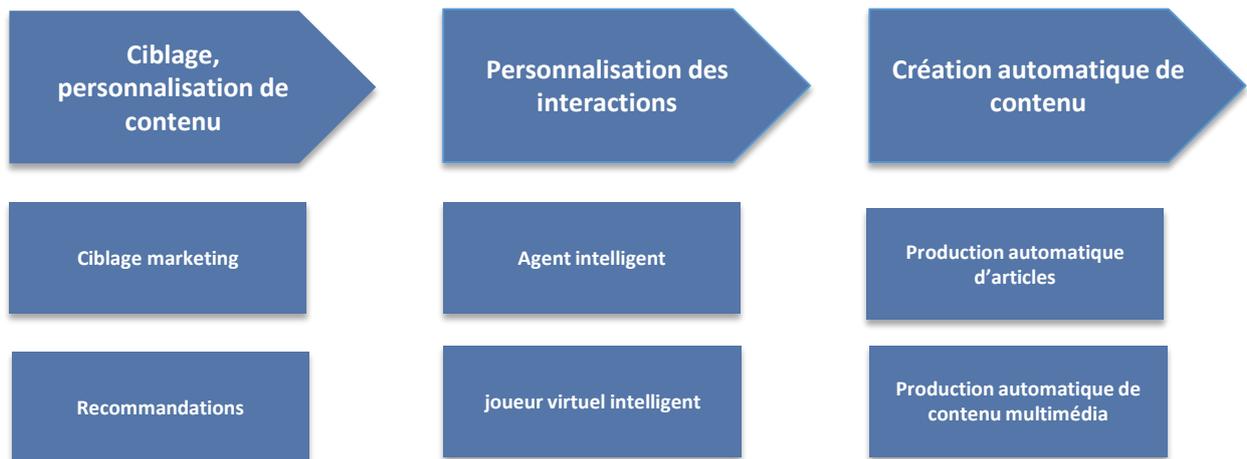


Figure 130 - Typologie des services en IA dans le domaine des loisirs

## Ciblage et personnalisation de contenu

Le Machine Learning est l'outil idéal d'aide à la personnalisation de contenu et donc au ciblage marketing. Des entreprises comme CRITEO (framework ML IRMA) ou NETFLIX (framework MASON) par exemple ont mis en place des usines de ML qui exécutent quotidiennement un grand nombre de tâche d'apprentissage automatique pour être en mesure de cibler très efficacement ce que nous souhaitons consommer ou regarder.

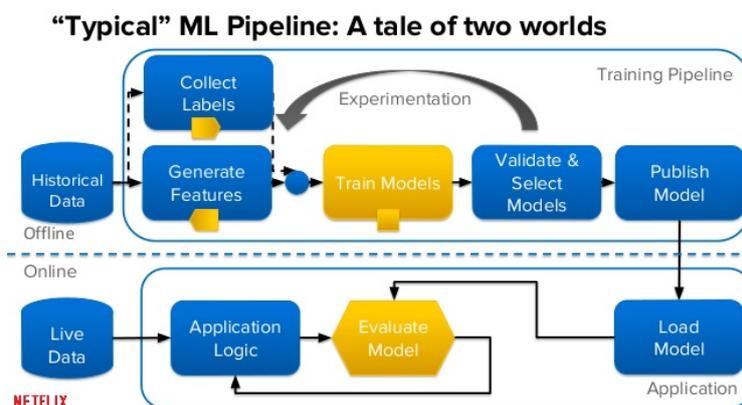


Figure 131 - Pipeline de données de NETFLIX

Les applications d'apprentissage automatique sont également utilisées pour affiner la présentation visuelle des résultats aux utilisateurs. En utilisant des données basées sur des facteurs tels que l'historique des abonnements, les interactions précédentes avec le contenu et même les caractéristiques contextuelles telles que l'heure ou l'appareil utilisé, le contenu et l'emplacement sur une interface utilisateur peuvent être modifiés pour un effet maximum.

Dans le secteur de la publicité, l'IA commence à être utilisée comme directeur créatif. Une agence de publicité londonienne M&C SAATCHI a créé un affichage publicitaire vidéo dans un abribus incorporant des techniques de

reconnaissance faciale et d'IA. La publicité présentait une marque de café fictive avec des images différentes qui évoluaient en fonction de la façon dont les personnes « jugeaient » (drôle, triste ou neutre) la publicité. Le système changeait également les couleurs ou les polices de caractère pour « apprendre » quelles publicités suscitaient le plus d'engagement et de réaction.

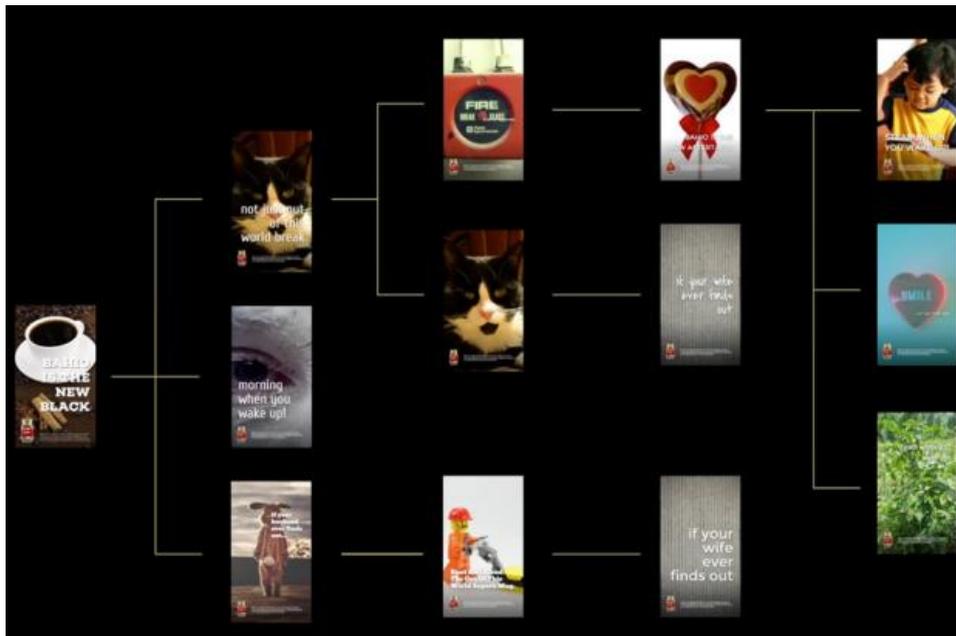


Figure 132 - Enchaînement des écrans de publicité ciblée

## **Personnalisation des interactions**

Au-delà du ciblage ou de la recommandation, l'intelligence artificielle commence à se développer pour personnaliser l'expérience utilisateur dans le domaine des interactions ludiques comme le jeu vidéo ou le tourisme.

Dans le domaine du jeu vidéo, l'intelligence artificielle est utilisée pour proposer une expérience de jeu de qualité, par exemple en conférant aux personnages non-joueurs un comportement s'approchant de celui de l'être humain, ou en proposant des stratégies permettant de battre les meilleurs humains (échecs, Go et plus récemment DOTA 2 et probablement bientôt STARCRAFT 2 avec les efforts de DEEPMIND) ou à l'inverse en limitant les compétences du programme afin de donner au joueur un sentiment d'équité.

Michael COOK, un chercheur à l'Université de Falmouth en Angleterre, a construit une IA capable d'imaginer de nouveaux jeux vidéo à partir de zéro. Depuis 2011, l'IA ANGELINA a créé plusieurs centaines de jeux vidéo expérimentaux dont le jeu TO THAT SECT primé en 2013. AMAZON a développé une application particulière dans son assistant ALEXA pour les joueurs de DESTINY 2. Cet assistant aide les joueurs à accéder à du contenu pendant le jeu.

MICROSOFT a démarré en 2015, le développement du projet MALMO pour créer un agent collaboratif pour les joueurs de MINECRAFT. Dans le même ordre d'idée, les créateurs du moteur de jeu UNITY ont lancé en septembre 2017, le framework Machine Learning Agents. L'objectif est d'apprendre le comportement des joueurs face à tout type d'élément interactif mis à sa disposition : un ennemi, un personnage non joueur, une machine, un robot, etc...

Dans le secteur du tourisme également plusieurs expériences sont en cours pour personnaliser les séjours à l'hôtel par exemple. Les hôteliers commencent à développer des usages à base de technologie vocale. L'hôtel WYNN à Las Vegas a équipé 5 000 chambres avec l'assistant ECHO D'AMAZON. L'assistant permet de contrôler les principales fonctions de la chambre (lumière, chauffage, etc...). Le MARRIOTT de Boston est également en cours d'implémentation de ce type de technologie.

Au Japon, la société BESPOKE INC a développé l'agent intelligent BEBOT qui se comporte comme un concierge virtuel et permet de localiser un point d'intérêt proche d'un hôtel ou de réserver un restaurant.

## Création automatique de contenu

La génération automatique de contenu est un des domaines clés de l'application des techniques d'apprentissage. La génération automatique d'article de presse à partir de données (météo, résultats sportifs) est déjà un service déployé opérationnellement, notamment en France avec la société SYLLABS.

Mais, par ailleurs, plusieurs expérimentations visent à créer directement du contenu Multimédia. IBM a utilisé sa plateforme WATSON pour créer automatiquement une bande annonce de film d'horreur «Morgan». L'IA a visionné des centaines de bandes annonces de films d'horreur existants pour savoir ce qui maintenait les spectateurs en alerte. L'analyse a permis de sélectionner 10 moments clés, puis un humain a finalisé la bande-annonce à partir des extraits sélectionnés. L'ensemble du processus a duré environ 24 heures, comparativement à une édition manuelle de 10 à 30 jours. Plus étonnant, le développement du projet sur KICKSTARTER « *impossible Things* » vise à recréer une intrigue de film à partir de milliers de résumés d'intrigues de films corrélées à leur performance au box-office. Le résultat est de produire automatiquement une intrigue conduisant à un succès au box-office.

## L'offre en IA

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>150</sup>
Monde	Plus de 300
États-Unis	Plus de 100
Europe	Entre 50 et 100
France	Entre 10 et 50

Tableau 37 - Répartition géographique des startups en IA

Typologie des services	Sociétés
<b>Marketing, personnalisation de contenu</b>	CRITEO (France), TIMEONE (France), AB TASTY (France), SOLOCAL (France), IBM, MACANN ERICKSON JAPAN, BLUESHIFT INFLUENTIAL, M&C SAATCHI, PREDICTIVEBID, ALBERT, RAPIDMINDER, BIRST, SISENSE, DATABERRIES (France)
<b>Personnalisation des interactions</b>	NETFLIX, IRIS.TV, YOUTUBE, BYTEDANCE ROCKSTAR NEW ENGLAND, MINKONET, STATESPACE, STRATAGEM, EA4T (France), RECAST (France), VIAVOO (France), XBRAIN (France) SNIPS (France), SYNAPSE Développement (France), GOOGLE, AMAZON, APPLE
<b>Création automatique du contenu</b>	FIREDROP, JUKEDECK, GLIACLOUD, SYLLABS (France)

Tableau 38 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

- **Marketing et personnalisation de contenu**

La publicité programmatique correspond à l'optimisation de la publicité interactive sur CRITEO, GOOGLE (AdWords), FACEBOOK et TWITTER en fonction de la cible. Des sociétés israéliennes comme PREDICTIVEBID ou ALBER utilisent l'intelligence artificielle pour améliorer la programmation publicitaire (programmatique).

Des entreprises comme RAPIDMINDER, BIRST, SISENSE développent des algorithmes de prédiction basés sur du ML. En raison du volume élevé et de la nature quantifiable des données marketing (clics, vues, time-on-page, achats, réponses par e-mail, etc.), les modèles peuvent souvent être entraînés très rapidement et l'entraînement est plus efficace.

L'algorithme d'apprentissage développé par MACANN ERICKSON JAPAN a été entraîné sur des émissions de télévision et de radio avec un historique de plus d'une dizaine d'années. Le système peut proposer des idées, des thèmes de campagne publicitaire ou des moments de diffusion adaptés à chaque type de client.

- **Personnalisation des interactions**

Grace à l'intelligence artificielle, un moteur de recommandation peut analyser de nombreuses données nuancées afin de tirer des conclusions de comportements, d'actions, etc. NETFLIX ne se contente pas de prendre en compte les films regardés par une personne, ni les classements attribués à ces films, l'algorithme analyse également les films regardés plusieurs fois, rembobinés, transférés rapidement, etc. Ces comportements multiples sont corrélés et évalués sur des millions d'autres utilisateurs en s'appuyant sur des algorithmes d'apprentissage.

<sup>150</sup> Crunchbase

IRIS.TV offre un service pour aider les entreprises à suivre et améliorer l'interaction des clients avec leur contenu numérique. La plateforme associe le contenu aux utilisateurs en fonction de leurs préférences. Les algorithmes sont entraînés pour apprendre ce que les utilisateurs veulent regarder et recommandent un contenu similaire.

- **Création automatique du contenu**

En France, la société SYLLABS spécialisée dans le traitement automatique du langage, a développé un moteur de rédaction qui collecte, trie et organise des données (textes, résultats de matchs, etc...) en contenu rédactionnel. La société a pour clients des acteurs du tourisme, du e-commerce, de l'immobilier ou des médias comme Le Monde.

## 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>▪ Un secteur des loisirs très développé en France (tourisme).</li> <li>▪ Un secteur du jeu vidéo fortement développé en France.</li> <li>▪ Une forte digitalisation du secteur.</li> <li>▪ Une démocratisation des interfaces évoluées (réalité virtuelle et augmentée).</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un secteur déjà largement dominé par les GAFAs.</li> <li>▪ L'IA permet de réduire l'usage de main d'œuvre pour produire du contenu interactif de qualité.</li> <li>▪ Un impact sur l'emploi des professionnels de la production de contenu (journaliste).</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Traitement automatique du langage naturel (NLU/NLP)</li> <li>▪ Réalité virtuelle</li> <li>▪ Réalité augmentée (verrous technologiques à lever)</li> <li>▪ Accélérateurs GPU (traitements d'images et vidéos)</li> <li>▪ Infrastructures de calcul et réseau</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forte</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée</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>Personnalisation des interactions</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Une personnalisation extrême des expériences consommateurs.</li> <li>○ Le développement de « coachs » personnalisés dans de nombreux domaines : loisir, santé, etc.</li> </ul> </li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une levée des verrous technologiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Labellisation automatique de situations</li> <li>○ Algorithmes de compréhension de scène ou de situation</li> </ul> </li> <li>▪ Précision des interfaces de réalité augmentée</li> </ul>

Compte tenu des éléments présentés dans le chapitre, l'encouragement au développement de l'IA dans ce secteur représente un intérêt **limité** pour la France aujourd'hui : en dehors du jeu vidéo, *grands acteurs (plateformes) favorisant l'industrialisation majoritairement étrangers et une R&D largement dominée par les GAFAs et un déficit de grandes infrastructures de calcul en France.*

## 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	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Moyenne
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation (secteur touristique et jeu vidéo)	Faible Forte
Digitalisation du secteur, accès aux données	Forte

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

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

Le secteur des loisirs et médias représente un poids économique faible en France. Par ailleurs, la majorité des grands acteurs innovants sont américains (NETFLIX, GOOGLE avec YOUTUBE).

Un scénario de niche est à privilégier en se concentrant par exemple sur le secteur du tourisme et sur des usages d'agents intelligents permettant de personnaliser l'expérience des voyageurs dans les lieux visités.

## Synthèse du chapitre

La dynamique en intelligence artificielle est très différente selon les secteurs économiques. Elle est très corrélée à la digitalisation d'un secteur et donc à la disponibilité des données pour permettre l'apprentissage.

Les secteurs les plus matures sont aujourd'hui **le commerce, les services financiers et la sécurité des biens et des personnes**. Ces secteurs se caractérisent par un accès à de grandes quantités de données, des technologies déjà matures pour adresser des usages commerciaux et des sociétés commercialisant déjà des produits ou des services dans plusieurs pays.

Le secteur du **commerce en ligne** est le principal secteur d'application de technologies d'apprentissage au niveau mondial. Il concentre un accès à des données illimitées, les investissements majeurs de géants du Web comme AMAZON et ALIBABA par exemple et un objectif très clair de développement des ventes. AMAZON a créé un institut de recherche de plus de 100 personnes en intelligence artificielle à TÜBINGEN à côté de l'institut MAX PLANCK. La majorité des usages en commerce correspond à un « matching » entre un produit et un client potentiel. À l'inverse, si on se limite à la France, le secteur est très peu mature en intelligence artificielle. Aucun acteur de commerce français n'est à même de rivaliser avec les Léviathans mondiaux. Le secteur des **services financiers**, très digitalisé, est également l'un des plus matures dans les technologies de Machine Learning. Les usages se déploient en trading (analyse prédictive ou trading automatisé), pour les opérations courantes (scoring client, conformité, fraude) ou les services de support à la clientèle. Ces services sont majoritairement fournis par des acteurs étrangers. Le secteur de la **sécurité des biens et des personnes** est également très dynamique car beaucoup de services reposent sur de l'analyse d'images, l'un des domaines les plus matures pour le machine learning et le deep learning. L'analyse automatique de scène de vidéosurveillance est le thème de recherche qui se développe le plus vite. La France possède l'un des leaders mondiaux dans ce domaine, la société IDEMIA (Ex MORPHO).

En dehors des secteurs matures, plusieurs secteurs émergent. Ces secteurs sont dans une phase expérimentale des usages de l'IA à partir des technologies mises au point. Les sociétés qui innovent adressent déjà un premier cas d'usage, mais cherchent encore leur modèle économique. Il s'agit des secteurs des professions juridiques, des loisirs, des télécommunications, des services professionnels et des administrations publiques. Pour **les professions juridiques**, les usages se développent en droit commercial (anglo-saxon) pour préparer, analyser et évaluer automatiquement les risques d'un contrat. La jurisprudence est largement digitalisée, ce qui permet de regrouper rapidement les éléments juridiques constitutifs d'un cas : création d'un contrat, analyse des clauses ou préparation de contentieux. Les sociétés du domaine technologique et juridique ne sont pas encore très développées en France. Dans le secteur des **loisirs**, ce sont les mêmes usages que le commerce qui se développent. Majoritairement, ils permettent d'associer un contenu multimédia à un consommateur pour proposer une expérience interactive très personnalisée. Dans le domaine des télécommunications, les usages se développent sur l'optimisation des ressources réseau ou la maintenance prédictive des équipements. Dans les **services professionnels**, trois types d'usages se développent : l'évaluation ou la détection d'un risque, l'assistant de recherche ou de formation personnalisé ou l'optimisation d'un mode de travail. L'enjeu d'efficacité est toujours important dans les entreprises, ce qui devrait favoriser les usages de l'IA. Les usages se développent plus lentement car les données sont plus fragmentaires et la question d'optimisation est plus compliquée à adresser. Dans les **administrations publiques**, les usages se développent pour évaluer plus rapidement l'impact d'une politique publique ou pour répondre aux questions des citoyens.

L'application de l'intelligence artificielle est plus difficile à évaluer pour **l'agriculture**. En dehors de la météorologie, le manque de très grands jeux de données annotées aisément accessibles rend difficile pour le moment l'application de techniques d'apprentissage, même s'il existe des enjeux importants de conservation des ressources naturelles. Par ailleurs, la superficie importante (53% du territoire métropolitain) rend également le travail de collecte de données via un réseau de communication plus difficile.

# 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.

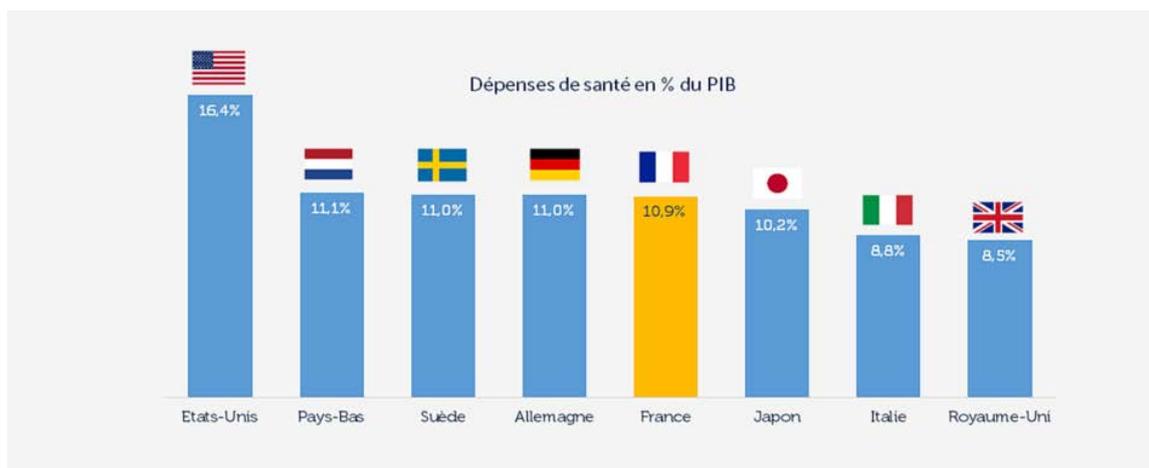


Figure 133 - Dépenses mondiales de soins de santé<sup>154</sup>

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**.

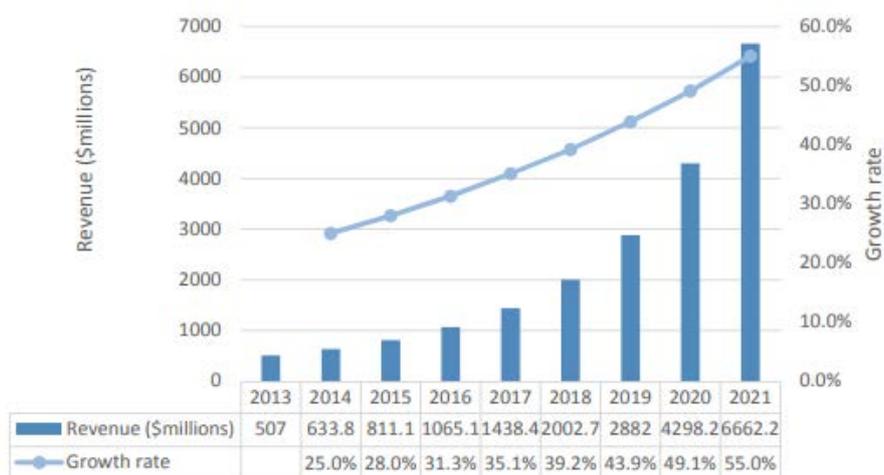


Figure 134 - Évolution des revenus en IA dans le secteur de la santé

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 :

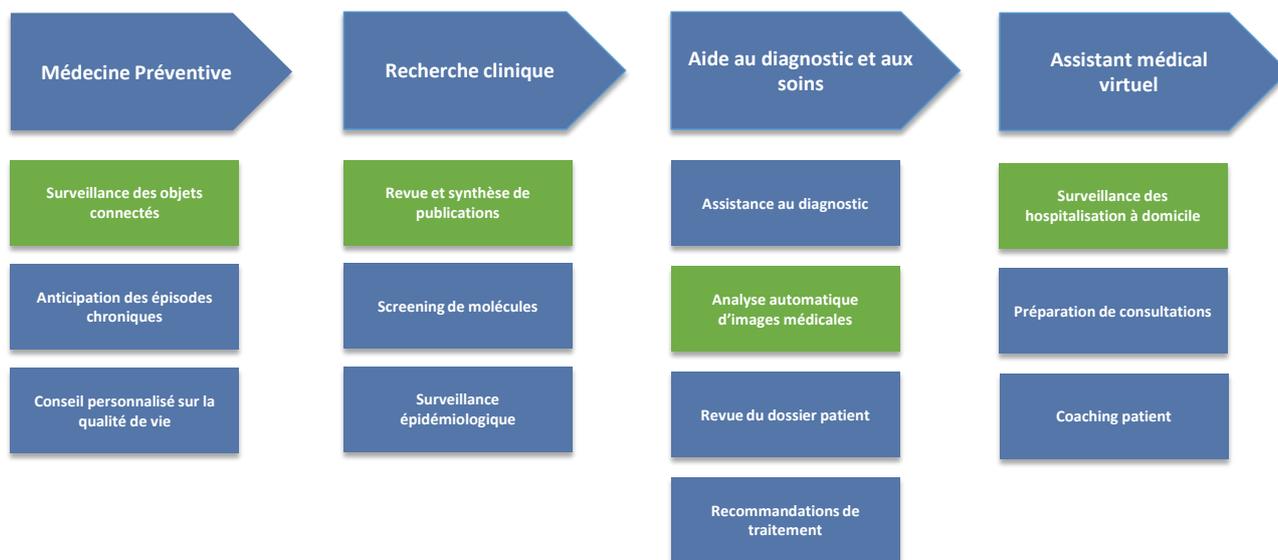


Figure 135 - Typologie des usages en IA en santé (vert = mature)

### ▪ 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.

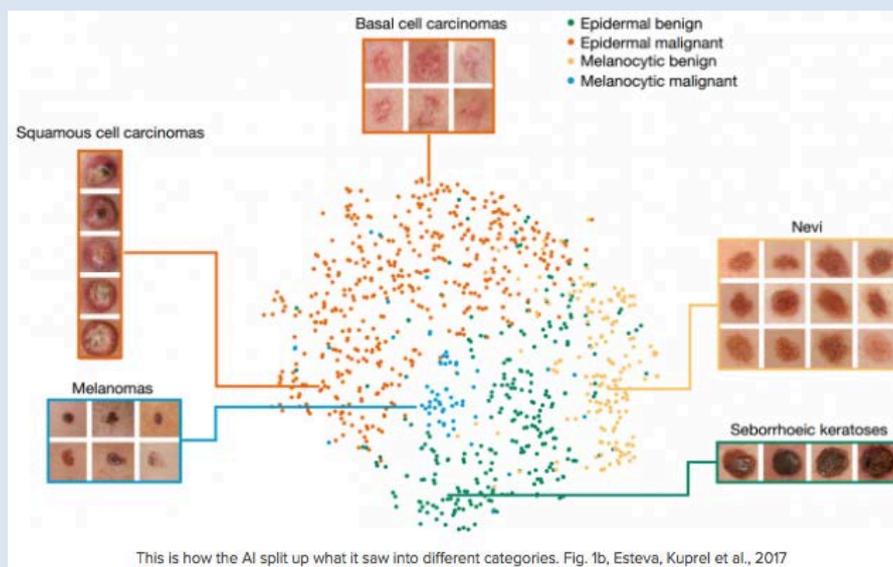


Figure 136 - Détection des différents cancers de la peau<sup>160</sup>

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**

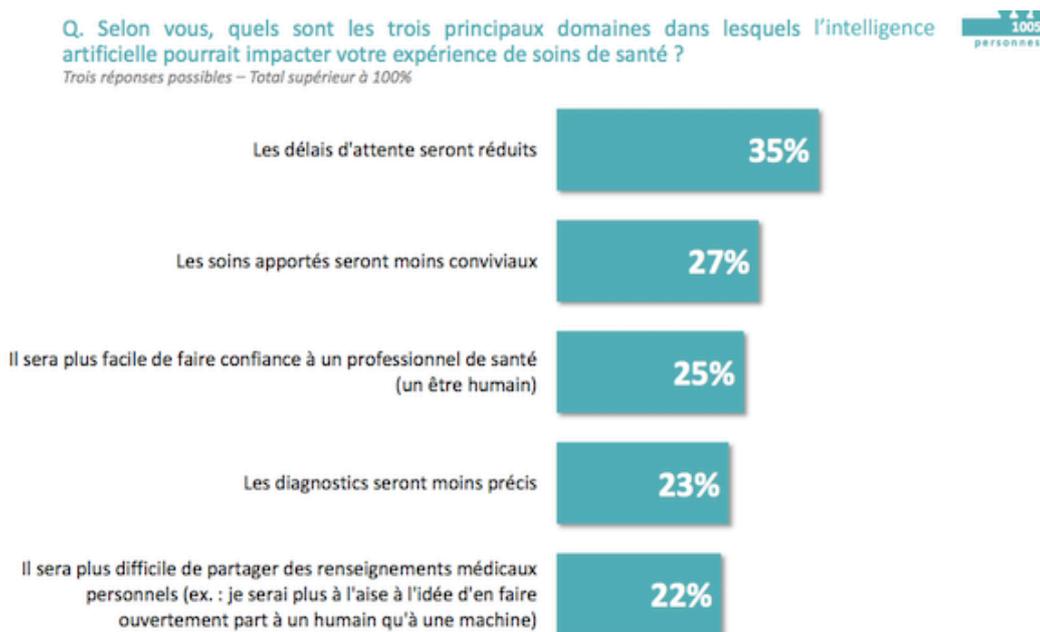


Figure 137 - Etude d'impact de l'intelligence artificielle<sup>163</sup>

**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 GAFA 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'algorithme 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.

# Industrie

## Economie du secteur

Cinquième puissance manufacturière mondiale, la France est la deuxième puissance industrielle en Europe avec un secteur industriel représentant 12,6% du PIB national (2016)<sup>166</sup> loin derrière les leaders chinois, américain, japonais ou allemand, chez lesquels l'industrie représente deux fois plus en contribution au PIB.

En 2016, l'industrie manufacturière nationale<sup>167</sup> a réalisé un chiffre d'affaire de près de 870 Mds d'euros et a investi 52 Mds d'euros (investissements corporels bruts hors apports)<sup>168</sup>. L'industrie joue un rôle important dans l'économie française avec une part de 69 % des dépenses totales de R&D ainsi qu'au niveau des exportations avec 68% de la valeur totale.

Le poids des différentes branches de l'industrie manufacturière<sup>169</sup> varie de 2,2 % pour l'industrie textile à 19,8 % pour l'industrie agro-alimentaire, en passant par 12,9 % pour l'industrie chimique et pharmaceutique, 5,2 % pour le secteur bois, papier et imprimerie ou encore 11,3 % pour la métallurgie et les produits métalliques.

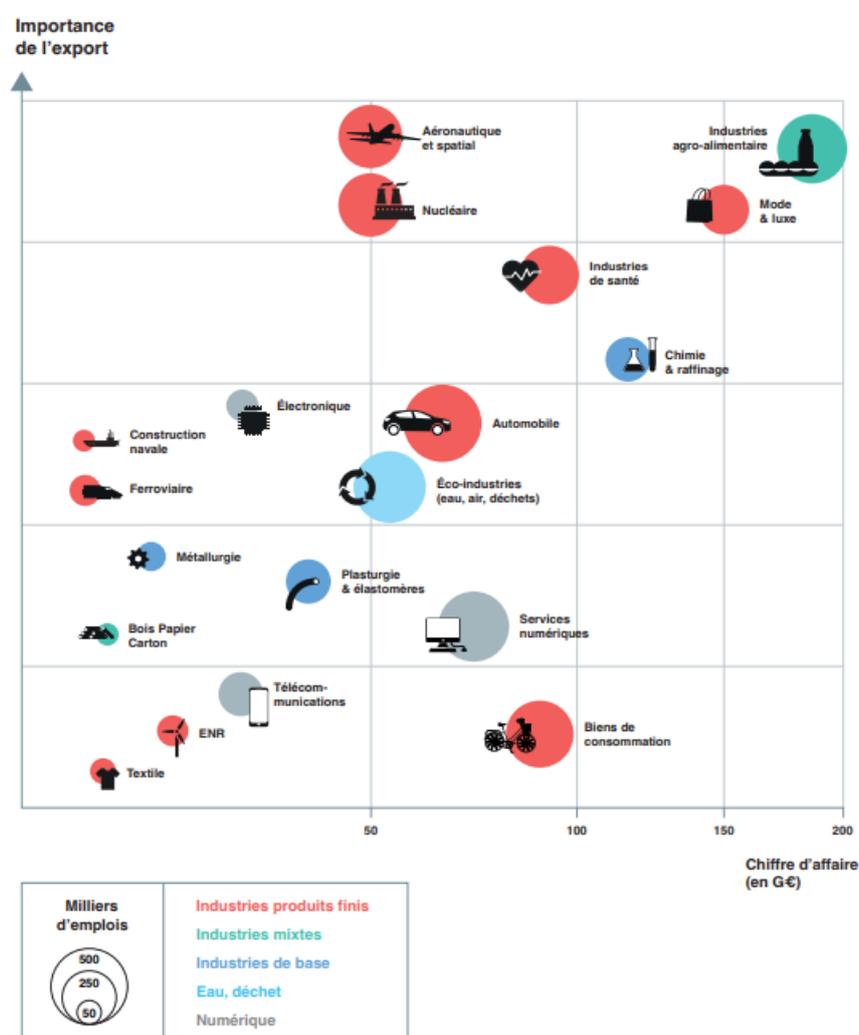


Figure 139 - Poids des filières industrielles dans l'économie française (166)

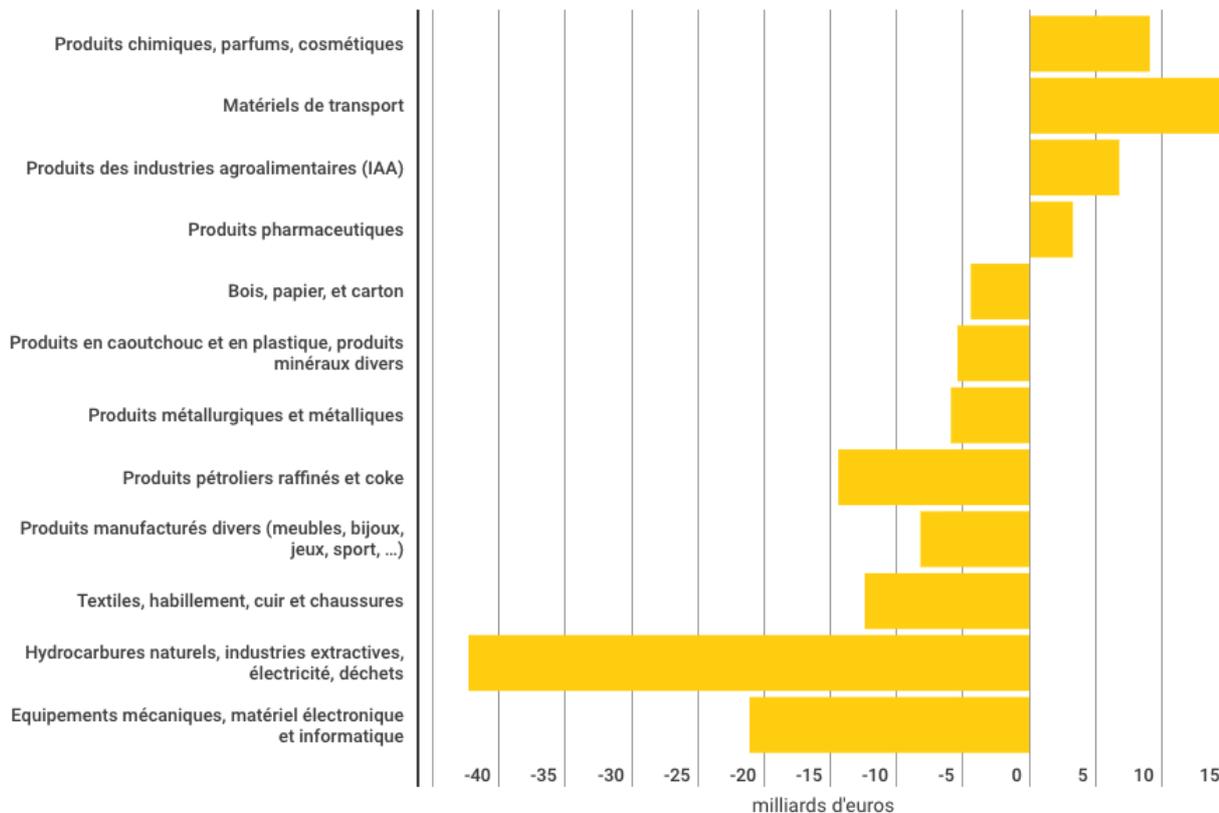
<sup>166</sup> Groupe des Fédérations industrielles (GFI) - <http://gfi.asso.fr/chiffres-cles/>

<sup>167</sup> Notre ambition pour l'industrie Conseil National de l'Industrie - 20 novembre 2017

<sup>168</sup> Définition Insee : investissements corporels hors apports sont la somme des dépenses consacrées par les entreprises à l'acquisition ou à la création de moyens de production : bâtiments, terrains, ouvrages existants, matériels et outillage, matériel de transport, construction et génie civil. C'est le flux qui alimente le stock des immobilisations. Il comprend les immobilisations en cours, mais exclut les immobilisations incorporelles et financières et les équipements financés par crédit-bail.

<sup>169</sup> Chiffres clés de l'industrie manufacturière Direction Générale des entreprises Editions 2017

Le déficit commercial manufacturier a atteint 50,7 Mds d'euros en 2017<sup>170</sup>. Seuls 4 secteurs industriels ont pu afficher un solde commercial positif entre 2010 et 2015<sup>171</sup> : la chimie, la pharmacie, l'agroalimentaire et les matériels de transports. Le secteur des matériels de transport représente à ce jour le meilleur atout de la France à l'export avec un excédent moyen de 14,7 Mds d'euros entre 2010 et 2015.



Source : Insee / Traitement : La Fabrique de l'industrie

Figure 140 - Industrie manufacturière française : Solde commercial moyen (2010-2015) <sup>172</sup>

Au deuxième trimestre 2017<sup>173</sup>, l'industrie manufacturière employait 2,8 millions de salariés soit 11,1 % de l'emploi salarié total. 570 000 d'entre eux travaillent dans l'industrie agroalimentaire et 379 000 dans la métallurgie et les produits métalliques. Un emploi industriel génère en moyenne 3 à 4 emplois hors industrie.

Une des principales faiblesses du secteur manufacturier français est le coût horaire de la main-d'œuvre. En effet, la France est l'un des pays européens dans lequel le coût horaire de la main d'œuvre industriel est le plus élevé : au 3e trimestre 2018, il était de 39,6€ contre 34,0€ en moyenne pour l'ensemble de la zone euro<sup>174</sup>.

<sup>170</sup> Les 4 pages de la DGE n°82 avril 2018

<sup>171</sup> La Fabrique de l'industrie <https://www.la-fabrique.fr/fr/chiffre-cle/679-milliards-deuros-2/>

<sup>172</sup> Douanes 2016

<sup>173</sup> Chiffres clés de l'industrie manufacturière Direction Générale des entreprises Editions 2017

<sup>174</sup> Les coûts de la main-d'oeuvre dans l'Union européenne au 3e trimestre 2018 , Rexecode, Décembre 2018

## Usages et adoptions

### Digitalisation du secteur

Malgré des atouts importants, le Conseil National de l'Industrie<sup>175</sup> a estimé que le tissu industriel français est soumis à de nombreuses contraintes dont :

- Un taux de robotisation faible : 1,3 robot pour 100 emplois pour 3 en Allemagne et au Japon, 2,1 en Suède, 1,8 aux États-Unis, 1,6 en Italie et 1,5 en Espagne.
- Une diffusion du numérique en retard par rapport à la moyenne de l'Union Européenne. La transformation digitale arrive seulement à la neuvième place des enjeux stratégiques<sup>176</sup> pour les entreprises de moins de 250 salariés.
- Un niveau de qualification de la main d'œuvre moins élevé que dans les pays de l'OCDE et avec un accès inférieur à la formation continue, une obsolescence rapide des compétences acquises.
- Un tissu d'entreprises marqué par un double déficit : trop peu d'entreprises exportatrices (deux fois moins qu'en Italie et trois fois moins qu'en Allemagne) et trop peu d'ETI (4 600 contre 8 000 au Royaume-Uni et 10 000 en Allemagne).

La révolution digitale constitue un puissant levier pour retrouver une compétitivité forte à court terme. Pour contribuer à répondre à ces enjeux, le gouvernement<sup>177</sup> a mis en place une stratégie permettant de répondre à ces défis :

- **Défi n°1, la transformation de l'industrie avec la French FAB** : qu'il s'agisse de la transition numérique du tissu industriel, de son internationalisation et d'une meilleure intégration des enjeux de développement durable, la French FAB est au cœur de ces mutations. Elle doit montrer le dynamisme et l'excellence de l'industrie française. Elle a vocation à devenir une nouvelle bannière fédératrice de l'offre française à l'export.
- **Défi n°2, le renforcement du potentiel d'innovation** : le crédit impôt recherche sera sanctuarisé. Le Gouvernement créera un fonds pour l'innovation et l'industrie qui sera doté de 10 Mds d'euros. Il produira entre 200 et 300 millions d'euros chaque année, qui seront investis dans des projets d'innovation de rupture.
- **Défi n°3, les compétences et la réforme de la formation professionnelle** : dans un contexte de forte évolution des métiers et des technologies. Le Grand Plan d'Investissement de 57 Mds d'euros dévoilé le 25 septembre par le Premier ministre consacre 15 Mds à la formation d'un million de jeunes éloignés de l'emploi, sans formation ni qualification. Plus généralement, la formation professionnelle et la formation initiale seront rénovées en profondeur.

Selon le Baromètre EY de l'Industrie du futur 2018<sup>178</sup> auprès de 152 entreprises françaises, 80% des entreprises industrielles interrogées se disent engagées dans la transformation de leur modèle d'entreprise. Le niveau d'appropriation et de mise en œuvre de la démarche « Industrie du Futur »<sup>179</sup> pourrait atteindre en France, d'ici deux ou trois ans, le niveau connu aujourd'hui en Allemagne :

- 1 industriel sur 2 a formalisé ou est en cours de formalisation de sa feuille de route en 2017, contre 1 sur 3 en 2016.
- 40 % des sociétés interrogées prévoient de multiplier par 2 leurs gains de productivité grâce à ces investissements Industrie du Futur.
- 1/3 des personnes interrogées ont identifié des services digitaux susceptibles de créer de la valeur ajoutée et également d'améliorer l'expérience client.

<sup>175</sup> Communication sur l'industrie. Réussir la nouvelle révolution industrielle. Février 2017

<sup>176</sup> Baromètre Deloitte / Usine Nouvelle

<sup>177</sup> Notre ambition pour l'industrie Conseil National de l'Industrie - 20 novembre 2017

<sup>178</sup> [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-barometre-industrie-du-futur/\\$FILE/ey-barometre-industrie-du-futur.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-barometre-industrie-du-futur/$FILE/ey-barometre-industrie-du-futur.pdf)

<sup>179</sup> Le terme « industrie 4.0 » ou « Industrie du futur » est apparu la première fois en 2011 au Forum mondial de l'Industrie de Hanovre. L'Allemagne a été le premier pays à mettre en œuvre une politique industrielle focalisée sur ce concept d'usine connectée, robotisée et intelligente. L'objectif était de définir les paramètres pouvant positionner le secteur manufacturier allemand comme le plus performant en matière de productivité et de flexibilité

## Un environnement peu perméable aux innovations digitales

L'industrie de manufacture a pour finalité la production d'un objet physique tangible (produit), à usage soit directement des consommateurs finaux (B2C), soit d'autres industries (B2B).

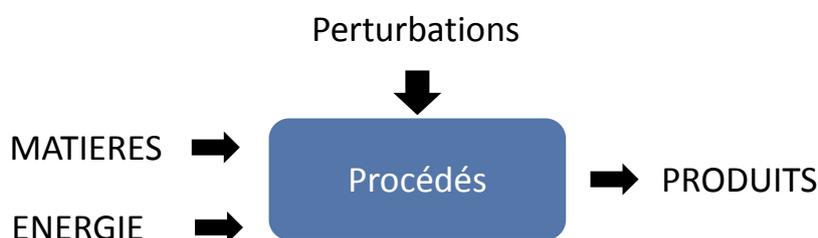


Figure 141 - Finalité d'une industrie de manufacture<sup>180</sup>

Une manufacture réalise, de manière très synthétique, l'une ou l'autre de ces fonctions :

- **L'élaboration/la synthèse de matériaux** : production d'acier à partir de minerais de fer, de verre à partir de matières premières vitrifiables, de sucre à partir de betterave ou de canne à sucre, de carburants par distillation du pétrole brut, etc...
- **La transformation / mise en forme de ces matériaux en vue de les fonctionnaliser** : mise en forme de bobines d'acier pour produire des éléments de carrosserie automobile ou d'habillage électroménager, production de rails ferroviaires par laminage, fabrication de flexibles moulés en caoutchouc, etc...
- **L'intégration de sous-systèmes fournis par d'autres industriels** (composants ou équipements issus des opérations citées précédemment) : pour fabriquer un nouvel objet fonctionnel ou consommable : centrale électrique, voiture, lanceur, chaussure, yoghourt, etc...

Toute manufacture fabrique ainsi un produit fini ou semi fini. Pour cela, elle s'appuie sur son outil de **mise en œuvre de procédés** c'est-à-dire la **mise en œuvre de phénomènes physiques** (mélange, chauffage, refroidissement, etc...).

Cette **prédominance de la physique**, par opposition aux industries de services (tourisme, loisir, e-commerce...) plus dépendantes de la sociologie (culture, nouveaux modes de vie...) et de la psychologie (envies, habitudes et comportements individuels différenciés) explique partiellement le niveau actuel encore faible de mise en œuvre des innovations numériques basées sur le traitement massif et les corrélations de données.

Si automatisation et robotisation sont des réalités industrielles depuis les années 1970 (on fait ici référence à la définition traditionnelle de la robotique : machine programmable munie de capteurs et capable d'accomplir de façon autonome les tâches qui lui sont confiées – l'utilisation intensive des bras articulés des usines automobiles et autres chaînes de montages en sont une illustration), **la digitalisation et son corolaire, la transition vers l'intelligence artificielle sont encore peu présentes dans l'industrie**. De nombreux facteurs expliquent cette situation.

**L'exigence de compréhension et de maîtrise du procédé est fondamentale et très forte en industrie.**

Une usine fonctionne selon des procédés maîtrisés et plutôt déterministes : toutes les transformations réalisées obéissent aux lois de la physique (écoulement, transferts thermiques, transformations chimiques, électromagnétisme, résistance des matériaux etc...). Ces lois ont présidé au dimensionnement des équipements et gouvernent la production. Elles sont invariantes lorsqu'elles sont connues.

**Une complémentarité à trouver entre approche déterministe des sciences physiques et probabiliste en data science.** Depuis une décennie, l'émergence du machine learning et les innovations qu'elles ont entraînées au niveau de « l'expérience client » dans le domaine des services en ligne (ventes en ligne, communication au travers des réseaux sociaux etc...) suscitent des excès d'enthousiasme sur les perspectives d'application immédiate de ces techniques à l'industrie.

<sup>180</sup> Traitement ATAWAO

Si l'hypothèse est faite que les données de procédés existent (hypothèse forte non réalisée dans bien des industries), leur traitement permettrait, dans un raisonnement poussé à l'extrême, de s'affranchir totalement du recours aux lois de la physique : les corrélations descriptives et prédictives issues de données permettraient de concevoir des systèmes et de les exploiter. Les lois de la physique seraient implicites dans les données et ne nécessiteraient pas leur formulation explicite. Seules leurs applications numériques suffiraient pour fabriquer/produire. Ce raisonnement erroné tendrait à substituer les modèles physiques par des modèles basés exclusivement sur de la donnée numérique. Il existerait alors deux manières, au choix, d'aborder la physique : par des lois fondamentales (approche traditionnelle) ou par les data sciences associées à des données numériques exhaustives (approche innovante). Une concurrence s'installerait entre physique et data science. Ces oppositions en apparence irrémédiables, sont factices en réalité.

En effet, les corrélations de données peuvent aider au dimensionnement d'un produit ou d'équipements ou à l'amélioration des performances d'exploitation d'une installation industrielle mais ne peuvent se substituer aux lois physiques. Car les données, aussi abondantes soient-elles, sont généralement récoltées autour d'un même point de fonctionnement du procédé (faibles variations autour d'une consigne nominale).

- Une installation industrielle repose sur des équipements dimensionnés pour un point de fonctionnement précis faiblement variable.
- Les données sur un point ne permettent pas d'extrapoler pour des variations importantes en raison du caractère souvent non linéaire des lois de la physique.
- Toute extrapolation (prédiction) loin du point de fonctionnement connu pourrait compromettre la qualité du produit et la sécurité des personnes et des biens. Ce qui explique l'ouverture prudente des industriels aux applications du Machine Learning.

À l'heure actuelle on assiste à un essor des data science utilisées à des fins d'optimisation de procédés. La dimension cognitive (apprentissage, décision) est encore peu présente dans ces développements. L'activité industrielle est soumise à des exigences **fortes de fiabilité**. La maîtrise (au sens compréhension fine) du procédé reste le leitmotiv fort. L'industriel n'est pas prêt à « laisser la main » à des algorithmes d'intelligence artificielle dont il ne maîtrise pas l'explicabilité (boîtes noires). Comme le dit un expert de SAFRAN : « *un mauvais conseil de NETFLIX sur le choix d'un film à visionner est différent d'une erreur sur un avion* ». Il est délicat de laisser un programme de ML formuler le superalliage d'un disque de turbine de réacteur d'avion ou d'une cuve de réacteur nucléaire. Le recours à des algorithmes non explicables est source d'inquiétude.

L'activité industrielle est soumise à des exigences de sécurité fortes. Le zéro accident est la cible. Les procédés sont dimensionnés et exploités en conséquence. L'intelligence décisionnelle (finalité de toute évaluation de risque) est une réalité omniprésente dans l'industrie. Tout équipement est dimensionné avec des marges qui sont la conséquence d'évaluation de risques : épaisseur d'un matériau pour résister à un chargement mécanique ou des conditions thermiques, soupape ou clapet de sécurité pour pallier une explosion, système de refroidissement pour pallier une surchauffe etc.... Le procédé global est piloté avec des marges de sécurité introduites dans le système de contrôle-commande (DCS, SCADA, PLC...). Par sécurité, les systèmes de régulation ne sont pas reliés directement à Internet (certaines données, notamment sur les rejets de polluants peuvent être remontées en temps réel aux autorités de contrôle). Cette architecture traditionnelle héritée des années pré-internet explique la faible perméabilité des usines aux innovations digitales.

En synthèse, les **difficultés culturelles** (inquiétudes de perte de contrôle sur le procédé et/ou débats sur physique versus data sciences ou scepticisme sur le tout data) et structurelles (architecture systèmes de régulation et non connexion à internet) constituent un frein au développement de l'IA dans l'industrie. L'émergence de l'IA dans l'industrie se fera par une approche spécifique et pas par transposition des solutions présentes dans les services.

## Une insuffisance voire une absence de données

La disponibilité des données est **très variable** selon le type d'industrie. Dans l'aéronautique, des données de vols sont remontées en temps réel pour certains aéronefs à très forts enjeux (ex. A380) et partagées entre la compagnie aérienne et l'avionneur (AIRBUS) et le motoriste. Les turboréacteurs sont instrumentés et tous les paramètres moteurs enregistrés durant un vol complet.

Dans l'industrie lourde (chimie, métallurgie, verre, ciment etc...) bien que des mesures participent, au quotidien, à la régulation des procédés, celles-ci sont souvent insuffisantes pour alimenter des algorithmes d'apprentissage d'IA :

- Impossibilité de réaliser des mesures dans l'état actuel des connaissances (procédés à haute température).
- Instrumentation des équipements insuffisante pour mesurer certains paramètres mesurables.
- Mesures existantes utilisées en régulation mais non sauvegardées dans un système d'acquisition de données.
- Résolution temporelle faible pour faire des corrélations sur le comportement dynamique des systèmes etc....

Les données utiles à la compréhension de l'empreinte environnementale et sanitaire des industries manufacturières sont également insuffisantes. L'activité industrielle est soumise à des réglementations environnementales très strictes de limitation des impacts négatifs (et généralement en conséquence sur la santé humaine). L'usine doit contrôler ses rejets de polluants (émissions polluantes de COV, NOx, SOx, NH3 etc...). Les mécanismes de génération de polluants sont très complexes et font encore l'objet de nombreuses recherches. Les données utiles à la compréhension de ces phénomènes n'existent pas à ce jour.

## L'intelligence artificielle dans l'industrie manufacturière

L'IA peut déjà être mise en œuvre à différentes fins :



Figure 142 - Typologie des usages dans l'industrie

- **Contrôle qualité** : dans ce domaine, l'industrie peut directement bénéficier des avancées en vision par ordinateur. Une inspection par IA du produit fini par capteur optique peut permettre de remplacer l'intervention humaine (rapidité, fiabilité de l'observation). L'IA peut augmenter la qualité du produit final et la productivité (cadences d'inspection). L'IA permet également d'avoir moins recours à l'expert pour comprendre un problème de non qualité. C'est un aspect important du développement de l'IA avec l'échec régulier des programmes de capitalisation des connaissances en entreprise.
- **Maintenance** : l'IA peut aider à la planification de la maintenance si elle est couplée à un monitoring (observation continu) des équipements. Elle peut aussi permettre la levée d'alertes en cas de dysfonctionnement. L'utilisation en maintenance prédictive est un souhait exprimé par de nombreuses industries. L'enjeu de maintenance souligne l'importance d'échanger les données entre exploitants et équipementiers. Paradoxalement, l'équipementier et l'intégrateur possèdent plus de données relatives au fonctionnement d'un procédé que l'exploitant lui-même qui se trouve démuné pour réaliser des traitements de Machine Learning.
- **Exploitation (ou production)** : des bénéfices de l'IA sont attendus (qualité, précision, augmentation de la productivité) de l'usage de robots intelligents et de Cobots (robots collaborant avec l'homme) dans les usines. En France, les sociétés SEPRO ROBOTIQUE ou STAUBLI développent des Cobots avec des startups dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Exemple : HUTCHINSON instrumente ses lignes de productions et déploie des techniques de ML pour optimiser les paramètres de procédés (réglage machine). Mais les opérateurs sont réticents et la réglementation exige une analyse de risque approfondie pour valider cet usage, ce qui ralentit l'adoption par l'industrie. L'algorithme fournit des recommandations que l'opérateur est libre d'appliquer. Cela devrait évoluer vers une automatisation complète.

- **Optimisation des procédés** (qualité du produit, performances environnementales ou performances énergétiques de l'unité de production) : la contribution potentielle de l'IA dans l'augmentation des performances, réside dans la réduction des marges de sécurité définies en ingénierie (réduction des marges en vue de bénéfices sur la qualité, la consommation d'énergie, ou la réduction des émissions polluantes). Cette opération est extrêmement délicate, peu d'industries sont capables de le faire, en raison de l'appréhension de conséquences graves. Cela présuppose une analyse de risques approfondie et une validation humaine permettant de vérifier la consistance des résultats avec les lois de la physique.
- **Prototypage rapide**. L'IA peut permettre, en R&D, de revisiter les approches de prototypage rapide (High Throughput) apparues à la fin des années 90 avec le développement des moyens de calculs et de l'automatisation. Ces méthodes permettent de développer un produit ou d'optimiser ses propriétés/performances en balayant différentes formulations possibles et en réalisant des corrélations entre formulations et propriétés afin de déterminer la formulation optimale. Ces méthodes peuvent tirer profit d'un couplage avec des algorithmes d'apprentissage. PSA effectue actuellement des travaux de recherche et innovation qui s'y apparentent : l'objectif est de relâcher, par machine learning, les contraintes techniques structurelles prises en compte dans la définition du design (géométrie, esthétique) d'un véhicule (extension du champ des réalisations possibles). PSA explore également le couplage de méthode de machine learning aux modélisations numériques (recherche exploratoire). SAFRAN mentionne la possibilité de recourir à l'IA pour effectuer de la veille scientifique et technique ou même pour améliorer les modélisations numériques.
- **Régulation des procédés**. Une véritable avancée des applications de l'IA dans l'industrie présuppose la redéfinition complète de l'architecture et des outils des systèmes de régulation. En effet, dans le contexte d'aujourd'hui, les algorithmes recourant à de l'IA sont généralement introduits dans « le niveau 2 » du système de régulation afin de définir des « consignes intelligentes ». Ces avancées sont restrictives et ne permettent pas de tirer pleinement parti de l'intelligence numérique car elles s'appuient sur une architecture pénalisante et non évolutive : le niveau 1. En effet, pour rappel : Les algorithmes de régulation (de contrôle-commande) sont structurés aujourd'hui en différentes couches superposées permettant des stratégies de régulation de plus en plus évoluées.
  - La couche de base (appelée niveau 1) est un algorithme permettant de minimiser à tout instant l'écart entre une consigne imposée par l'opérateur et une mesure via un organe de régulation (vanne, variateur électrique etc...). Le niveau 1 agit pour maintenir un paramètre de procédé à la valeur de consigne définie par l'opérateur. Cette opération est quasi-exclusivement réalisée par un algorithme standard appelé : régulateur PID.
  - Dans le niveau 2, la consigne est calculée par un autre algorithme (et non saisie par l'opérateur) qui calcule automatiquement une valeur pour une régulation encore plus fine du procédé (via modèle physique ou corrélations de données s'appuyant aussi sur des mesures). Le niveau 2 n'est qu'une extension du niveau 1 (surcouche permettant des stratégies de régulation et d'optimisation de conduite de procédés plus évoluées qu'avec une approche de niveau 1 uniquement).
  - On peut rencontrer dans la littérature des stratégies de niveau 3 également. Mais elles reposent toutes fondamentalement sur la boucle de niveau 1 fondée sur l'algorithme PID.

Aujourd'hui, la plupart des usines dans le monde, régulent leurs procédés par des algorithmes PID (définis à la fin des années 50). **Une révolution de l'IA en industrie serait la refonte complète du niveau 1 (cœur du système de régulation industrielle actuelle) avec un recours à d'autres méthodes de régulation plus « intelligentes » avec par exemple la disparition de l'algorithme PID standard.** Des sociétés comme GE ou Siemens travaillent activement sur cette conception de systèmes de régulation du futur.

## Les acteurs de l'IA dans l'industrie

Voici quelques exemples de startups françaises en intelligence artificielle en industrie<sup>181</sup>.

Startup	Application	Usage IA
<b>CARTESIAM</b>	Solution non invasive (application IA intégrée sur un microcontrôleur dans un boîtier posé par aimant sur une machine) qui analyse les vibrations de manière totalement autonome et reconnaît, la signature des vibrations normales ou anormales.  En cas de problème (ou de dérive) il transmet une alerte (résultat de son analyse) vers une console de supervision.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> <li>Traitement du langage</li> </ul>
<b>ENERGIENCY</b>	Logiciel d'analyse des données massives issues de l'Internet des Objets Industriel permettant d'économiser jusqu'à 20% de la facture d'énergie sans investissement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> </ul>
<b>SIMSOFT INDUSTRY</b>	Les assistants vocaux SIMSOFT ont pour mission de guider des opérateurs de fabrication, d'assemblage, de maintenance, ou de contrôle qualité dans la réalisation de leurs tâches et dans la remontée d'information lors de leurs interventions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> <li>Traitement du langage</li> </ul>
<b>DATAPRED</b>	Valorisation des volumes de données pour résoudre des problèmes complexes d'analyse, d'optimisation et de prédiction.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> </ul>
<b>COSLING</b>	Algorithmes de planification et d'ordonnancement pour créer des outils d'aide à la décision : configurateur de produits et services, optimisation des transports, optimiseur de ressources.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> </ul>
<b>SCORTEX</b>	Inspection intelligente afin d'automatiser les contrôles qualité de haute complexité. SCORTEX déploie actuellement sa solution dans des usines du secteur automobile, des biens de consommation et dans les fonderies à travers l'Europe.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> <li>Deep learning</li> </ul>
<b>DEEPOMATIC</b>	Technologie en mode SAAS permettant aux industriels de concevoir et de construire en interne leur propre solution de reconnaissance d'images ou de scènes. Cas d'usages : détection de défauts et autres avaries dans l'environnement industriel, facturation automatique de péages autoroutiers, détection de place libre dans les trains.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vision par ordinateur</li> </ul>
<b>O2QUANT</b>	Prestation de service en intelligence artificielle, machine learning particulièrement en deep learning. Parmi les réalisations de la startup, on compte des algorithmes de prédiction de pannes pour un industriel, un logiciel de recommandation de produits aux clients pour un géant de l'aéronautique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> <li>Deep learning</li> </ul>
<b>JALGOS</b>	Outil de manipulation de données massives : maintenance prédictive - prédiction de pannes, optimisation industrielle, cross-device tracking, classification de documents web avec analyse des sentiments...	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> <li>Deep learning</li> </ul>
<b>FIELDBOX.AI</b>	Solution IA qui permet aux industriels d'améliorer l'efficacité de leurs opérations industrielles. Quelles références : anticipation et optimisation du fonctionnement d'équipements de forages pétroliers pour Total, prédiction de flux de bagages pour Aéroports de Paris.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> </ul>
<b>TELLMEPLUS</b>	Editeur de logiciel pour automatiser la création et le déploiement de modèles d'analyse prédictive permettant d'améliorer l'efficacité des processus industriels.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine Learning</li> <li>Traitement du langage</li> </ul>

<sup>181</sup> Dix pépites de l'IA au service de l'industrie. Usine Nouvelle 12/04/2018 / Top 100 Digital France 2018

Startup	Application	Usage IA
<b>BRAIN CUBE</b>	La société propose une plate-forme IA en mode cloud, pour l'optimisation de la performance industrielle. Parmi ses clients on compte ARCELOR MITTAL, ENGIE, ERAMET ou SAFRAN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>PROBAYES – LA POSTE</b>	Rachetée par LA POSTE, cette société propose des techniques IA (réseaux bayésiens, réseaux de neurones, méthodes ensemblistes..) pour la prévision et l'optimisation logistique, la maintenance prédictive ou conditionnelle, le contrôle du process et la qualité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>DATASWATI</b>	Elle est spécialisée dans l'intelligence artificielle au service des processus industriels (productivité, qualité, consommation d'énergie).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>
<b>OPTIMISTIK</b>	La plateforme d'analyse permet aux sites industriels, fabricants et opérateurs d'unités et systèmes industriels d'exploiter leurs données afin d'améliorer leur procédé de fabrication.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse des données</li> </ul>

Tableau 42 - Startups industrie

De grands acteurs du numérique investissent également massivement en développement d'applications IA pour l'industrie : IBM, GE, SIEMENS, INTEL, FANUC, KUKA, BOSCH, NVIDIA, MICROSOFT et DASSAULT SYSTEMES (France).

Entreprise	Application	Usage IA
<b>DASSAULT SYSTEMES</b>	La plateforme 3DEXPERIENCE agrège les différents outils numériques de DASSAULT SYSTEMES afin d'accompagner les industriels dans la conception, l'ingénierie, la CAO 3D (CATIA, SOLIDWORKS), la modélisation, la simulation (SIMULIA), la gestion des données (EXALEAD) et des processus (DELMIA).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Services IA</li> <li>Infrastructure de données</li> </ul>
<b>IBM WATSON</b>	Développement de la plateforme IOT for MANUFACTURING pour exploiter la donnée machine disponible. C'est une plateforme de données avec des algorithmes d'apprentissage.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine learning</li> <li>Infrastructure de données</li> </ul>
<b>GE</b>	PREDIX est une plate-forme cloud qui permet de récupérer les données de tout équipement industriel connecté puis de les analyser pour mieux gérer les opérations.  ACCENTURE, AT&T, CISCO, SOFTBANK ou VODAFONE ont été partenaires de GE dès le lancement de PREDIX, à l'été 2015. D'autres les ont officiellement rejoints : INTEL, INFOSYS, TCS, DELOITTE DIGITAL, ou encore l'indien WIPRO.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastructure de données</li> </ul>
<b>SIEMENS</b>	MINDSPHERE est une plateforme permettant d'optimiser le pilotage et les performances de la production via la collecte et l'analyse de données industrielles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastructure de données</li> </ul>
<b>FANUC</b>	FANUC Intelligent EDGE LINK & DRIVE du leader mondial de la commande numérique et de la robotique industrielle est une nouvelle plateforme qui relie des machines-outils, des robots et des capteurs permettant aux entreprises de valoriser la grande quantité de données disponibles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastructure de données</li> </ul>
<b>NVIDIA<sup>182</sup></b>	Plateforme ISAAC dont l'objectif est d'apporter de l'intelligence artificielle à la prochaine génération de robots autonomes utilisés dans les domaines de la production industrielle, de la logistique, de l'agriculture, de la construction.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vision par ordinateur</li> <li>Infrastructure de données</li> </ul>

<sup>182</sup> <https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/industries/robotics/>

Entreprise	Application	Usage IA
<b>BOSCH</b>	<p>Le nouveau BOSCH CENTER for ARTIFICIAL INTELLIGENCE a débuté ses activités l'année dernière avec pour objectif de se renforcer dans le domaine de l'intelligence artificielle.</p> <p>Le BCAI emploiera initialement une centaine d'experts en Inde (BANGALORE), aux États-Unis (PALO ALTO) et en Allemagne (RENNINGEN). En 2021, BOSCH aura investi 300 millions d'euros dans l'expansion du centre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Services en IA</li> </ul>

Tableau 43 - Grands acteurs innovants en digital dans l'industrie

## 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>Volonté conjointe des pouvoirs publics et des acteurs des différentes filières manufacturières de tirer parti des innovations actuelles pour relancer l'industrie nationale</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>La France est majoritairement spécialisée dans des industries de moyenne gamme où la compétition est vive et les marges étroites. Les investissements requis par les projets de digitalisation et d'expérimentation IA pourraient être difficiles à mobiliser pour de nombreux acteurs.</li> <li>Les réflexions et initiatives IA sont limitées à quelques cas d'usage.</li> <li>Une insuffisance de vision (en particulier chez les PMI) sur les changements induits par la digitalisation et l'IA et les opportunités associées.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internet des objets appliqué au domaine industriel</li> <li>Reconnaissance d'images</li> <li>Algorithmes apprenants ciblés sur de faibles volumes de données pour les usages sur microcontrôleurs</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faible</li> <li>Peu de données disponibles, mais une capacité à créer rapidement de la donnée machine.</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>Privée</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bénéfices attendus sur l'optimisation des processus de conception, d'exploitation et de maintenance</li> <li>Driver clé pour les évolutions : adaptations normatives et réglementaires</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>Amélioration de la productivité</li> <li>Réduction des coûts de maintenance</li> <li>Meilleure maîtrise des risques industriels : risques procédés et risques environnementaux</li> <li>Continuum de la manufacture aux services et boucle de retour : meilleure anticipation des besoins clients et meilleure adaptation à leur variété</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bénéfices attendus sur l'optimisation des processus de conception, d'exploitation et de maintenance</li> <li>Driver clé pour les évolutions : adaptations normatives et réglementaires (par exemple, sur les conditions d'utilisation de l'internet industriel<sup>183</sup> en usine en France et en Europe)</li> </ul>
Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>CONNECT, un centre d'opération unique dans l'industrie des gaz industriels, mis en œuvre par Air Liquide, permet de piloter à distance la production de 22 unités du Groupe en France, d'optimiser leurs consommations énergétiques et de renforcer leur fiabilité. CONNECT est localisé à Saint-Priest (Rhône)</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.

<sup>183</sup> <https://www.iiconsortium.org/vertical-markets/energy-utility.htm>

## 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	Moyenne
Qualité de l'infrastructure technologique	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Forte
Digitalisation du secteur, accès aux données	Faible

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 l'industrie, les 2 scénarios peuvent être envisagés. Le secteur bénéficie d'une main d'œuvre d'ingénieurs bien formés qui pourront se mettre à niveau rapidement vis-à-vis des technologies d'IA. Le secteur bénéficie également de grands acteurs internationaux qui peuvent accélérer le déploiement de technologies d'IA.

À l'inverse le secteur souffre de retard en termes de digitalisation et de développement de services innovants basés sur de la donnée. Le secteur souffre également d'une absence de filière robotique, un des usages importants pour les technologies d'IA.

Pour réussir à devenir un acteur majeur de l'IA, les freins suivants doivent être adressés rapidement sous peine de voir des acteurs internationaux innover plus vite.

- Une crispation des industriels à partager leurs données avec les écosystèmes innovants.
- Compte tenu de cette situation, un écosystème pas suffisamment dynamique.

Si ces freins ne sont pas levés, un scénario de niche serait à privilégier, en se focalisant par exemple sur les usages de **maintenance prédictive** plus simple à optimiser que l'optimisation de processus de production. Dans ce domaine, l'intelligence artificielle pourrait permettre l'IA de réduire le nombre de pannes et donc d'accidents et de réduire les surcoûts d'immobilisation induits.

# Transport et Mobilité

## Economie du secteur

Pratiquement toutes les entreprises, commerciales ou industrielles, utilisent un service de transport (en propre ou non) ou de logistique pour faire voyager des personnes, acheminer des matières premières ou des produits finis et gérer des stocks. Avec la globalisation des échanges mondiaux, le secteur est en croissance internationale forte.

En France, le transport des personnes représentait en 2016 une dépense de 360 Mds d'euros<sup>184</sup>, soit 16,7 % du PIB. Les ménages y contribuent pour plus de la moitié. Sur ces 360 Mds d'euros, près de 76 % sont consacrées à la route, 8 % au transport ferroviaire, 7 % au transport aérien et le reste aux transports fluviaux et maritime.

Avec plus de 140 000 entreprises, le secteur représentait en 2016, 1,6 % des entreprises actives en France métropolitaine, 4,8 % des effectifs salariés pour un chiffre d'affaires de 192,1 Mds d'euros. Le secteur compte 82,2 % de TPE, dont près de 50 % d'entrepreneurs individuels.

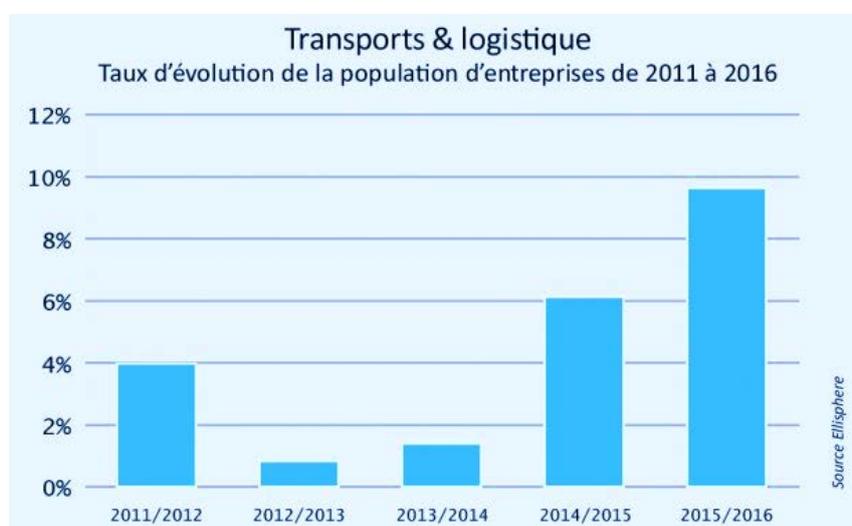


Figure 143 - Évolution du nombre d'entreprises dans le secteur du transport et logistique<sup>185</sup>

## Le transport de voyageurs

Le transport de voyageurs croît sensiblement de 2,1 % (en moyenne annuelle entre 2003 et 2013<sup>186</sup>). Il se répartit en transport routier (87,2 %), ferroviaire (11,3 %) et aérien (1,5 %).

	2000	2005	2010	2015
Transport individuel	697,6	717,2	709,8	738,0
Transport collectif	152,0	159,0	180,0	189,9
Ensemble du transport de voyageurs	849,5	876,2	889,8	927,9

Tableau 44 - Variation du nombre de voyageur (en milliards de voyageurs-km) par mode<sup>187</sup>

En 2015, 928 Mds de voyageurs-kilomètres ont été transportés sur le territoire français : 738 Mds en véhicule individuel, 105 Mds en transport ferré, le reste en bus ou en avion.

<sup>184</sup> Chiffres clés du transport, commissariat général au développement durable, 2018

<sup>185</sup> Ellisphere 2017

<sup>186</sup> Insee Références, édition 2016

<sup>187</sup> SOeS, CCTN 2016.

Pour le transport ferroviaire, malgré l'ouverture à la concurrence internationale, la SNCF assure la quasi-totalité du trafic. Pour le transport maritime, en 2015, 31,9 millions de passagers ont fréquenté les ports maritimes français. Pour le transport aérien, contrairement à l'international qui croit très rapidement, le transport aérien intérieur a fortement chuté depuis 2000 avec le développement des lignes ferroviaires à grande vitesse.

## Le transport de marchandises

### ▪ Transport routier

Entre 1995 et 2015, la longueur du réseau routier est passée de 962 000 km à 1 078 000 km en France métropolitaine, soit une progression de 12 % en 20 ans.

Le transport routier de marchandises a généré un chiffre d'affaire de 39,1 Mds € en 2016 et l'évolution de son activité est la suivante :

	2000	2005	2010	2015
Véhicules français	203,0	214,5	196,5	172,2
Véhicules étrangers	73,8	100,2	104,7	109,2
<b>Total</b>	<b>276,8</b>	<b>314,7</b>	<b>301,2</b>	<b>281,4</b>

Tableau 45 - Variation du nombre de véhicules en milliards de tonnes-km<sup>188</sup>

188 SOeS, CCTN 2016.

### ▪ Transport aérien

Le fret aérien demeure très faible avec 2,2 millions de tonnes de marchandises traitées dans les aéroports français. Il concerne essentiellement le transport international de marchandises. Avec le développement des LGV, en métropole, le transport aérien intérieur a fortement chuté jusqu'en 2010.

	2000	2005	2010	2015
Intérieur	130	130	110	161
International	1 250	1 290	1 390	2 088
<b>Total</b>	<b>1 380</b>	<b>1 420</b>	<b>1 500</b>	<b>2 249</b>

Tableau 46 - Marchandises au départ et à l'arrivée des aéroports français en milliers de tonnes<sup>189</sup>

### ▪ Transport ferroviaire

La longueur totale des lignes ferroviaires exploitées a diminué de 11 % entre 1996 et 2016, malgré la mise en service de plus de 870 kilomètres de lignes à grande vitesse. Le transport conventionnel (qui n'est réalisé ni en conteneurs, ni par des véhicules routiers embarqués sur des trains) représente 73 % du transport ferroviaire et il est en croissance depuis 2010 (2,1 % en moyenne annuelle).

	2008	2010	2012	2015
Combiné	9,2	7,2	9,2	9,0
Uniquement ferroviaire	31,2	22,8	24,5	25,3
<b>Total</b>	<b>40,4</b>	<b>30,0</b>	<b>33,7</b>	<b>34,3</b>

Tableau 47 - Transport ferroviaire de marchandise par conditionnement en milliards de tonnes-km (189)

### ▪ Transport maritime

Après une baisse de près de 10 % des marchandises traitées en 2009 et une nouvelle baisse de 5 % en 2012, le niveau d'activité est reparti à la hausse avec 350 millions de tonnes de marchandises traitées en 2015.

L'activité portuaire est concentrée dans les grands ports (Marseille, Le Havre, Dunkerque, Nantes, Rouen, La Rochelle, Bordeaux et à Calais) où entrent et sortent plus de 90 % des marchandises.

	2000	2005	2010	2015
Ensemble des ports	340	365	355	350
Grands ports et Calais	310	/	312	305
Autre ports métropolitains	30	/	32	12

Tableau 48 - Activité des ports français (entrées et sorties) en millions de tonnes (189)

189 SOeS, CCTN 2016.

## Usages et adoptions

### Digitalisation du secteur

Véhicules électriques, véhicules autonomes, drones, les moyens de transport et la mobilité sont en pleine révolution grâce à des innovations technologiques qui ont atteint le stade de maturité nécessaire pour entrer dans la vie quotidienne, aussi bien privée que professionnelle. 77% des entreprises de secteur de transport et la logistique considèrent qu'elles doivent s'équiper de leviers digitaux<sup>190</sup>. Elles visent à améliorer leurs services, processus internes et relation client en investissant 5% de leur revenu annuel dans le digital d'ici 2020, soit 97 Mds de dollars entre 2015 et 2020. Les transformations sont dues à plusieurs tendances qui bouleversent actuellement le marché<sup>191</sup> ou le feront fortement évoluer dans les prochaines années :

- L'impression 3D qui, dans les prochaines années, pourrait raccourcir les transports de certains types de produits, en favorisant l'implantation locale des usines, au plus proche des marchés stratégiques.
- Le e-commerce qui impose un rythme de livraison plus rapide.
- La désintermédiation des relations entre utilisateurs et fournisseurs de transport.

Avec le développement du e-commerce, le monde du transport évolue pour s'adapter à de nouveaux modes de livraisons plus nombreux et plus flexibles et avec un grand volume de données à gérer. Parallèlement à cette révolution, les flux de marchandises explosent.

Les priorités pour **20,7%** des acteurs du secteur sont les coûts de livraison et pour **17%** les options de livraison. Il faut trouver de nouvelles options de livraison en particulier pour effectuer le « dernier kilomètre ».

Les opérateurs logistiques estiment que leur secteur est actuellement digitalisé à **28%**<sup>190</sup> et les entreprises qui réussissent leur transition numérique sont **26%** plus rentables<sup>192</sup>.

Les freins importants de la digitalisation sont<sup>193</sup> :

- Le manque d'intégration des systèmes internes.
- Le manque de clarté sur ce qu'il faut faire.
- Le manque de ressources informatiques et de budget.
- Le manque de compréhension du retour sur investissement.
- Le manque de priorités par la direction.

---

190 Etude PwC 2016, Industry 4.0

191 Classement GSL 100 France 2017

192 Etude de Capgemini Consulting et du MIT

193 Enquête de JDA Software Group

## L'intelligence artificielle

Comme dans d'autres domaines, l'intelligence artificielle va permettre de relever le défi de la complexité (exploitation de grands volumes de données) en fournissant des indicateurs plus fiables pour optimiser capacités et demandes.

Les coûts de la main-d'œuvre dans ce secteur diminueront continuellement avec l'utilisation de l'IA. La question des longues heures de conduite et des arrêts pour une pause ne sera plus un problème avec les flottes entièrement automatisées.

Au-delà des simples coûts de main-d'œuvre, la sécurité et les accidents de la circulation seront fortement affectés par l'IA. Certains camions intelligents peuvent prédire des accidents en détectant des problèmes de santé comme une crise cardiaque des personnes dans le véhicule.

La mise en œuvre de véhicules autonomes nécessitera le développement d'infrastructures communicantes en temps réel (faible niveau de latence) entre véhicules (V2V) ou entre infrastructure et véhicule (V2I). Les pays peu développés vont faire face à d'énormes défis dans l'utilisation de ces solutions, car leur infrastructure n'est pas suffisamment moderne.

Le secteur du transport et de la logistique est traditionnellement un utilisateur important de technologies logicielles à base de moteurs de règles pour optimiser les flux. L'apport des technologies de ML peut être considérable pour relever le défi de la complexité et pouvoir exploiter de grands volumes de données.

- **Le positionnement optimal des ressources**

L'intelligence artificielle est capable d'optimiser le positionnement des ressources. L'objectif est d'apprendre à partir de l'historique de données à anticiper les lieux de forte probabilité de demande en fonction du jour de la semaine, de l'heure de la journée, de la météo ou de tout type d'événement (sportif, culturel, etc.).

Ce principe de positionnement intelligent peut s'appliquer à toutes les ressources de transport.

- **L'assurance d'être livré à temps**

La flexibilité est l'un des principaux facteurs de performance et d'efficacité dans la gestion du transport. Le calcul des prévisions se heurte à la complexité et aux volumes de données à prendre en compte. Pour minimiser les coûts de livraison, il est nécessaire d'anticiper les pics (par exemple en période de soldes) pour mieux dimensionner et répartir ses ressources pour absorber les livraisons.

Pour limiter les frais, l'entreprise peut, grâce à l'intelligence artificielle, orienter le consommateur sur l'option la plus avantageuse économiquement par rapport aux ressources disponibles. L'IA permet aussi d'anticiper les livraisons en fonction des délais et des points de livraison (points relais, livraison à domicile, conciergerie, ...). Elle peut également favoriser une meilleure planification du temps de travail des chauffeurs.

- **L'optimisation de la flotte de moyens de transports**

L'IA peut permettre d'influencer un choix de moyen de transport pour se rendre du point de départ au point d'arrivée. Cette influence peut optimiser la flotte des moyens de transports en anticipant la demande pour un mode de transport par rapport à un autre.

- **L'orchestration des livraisons**

La gestion des tournées de livraison est une tâche complexe et fragmentée qui fait souvent l'objet de marges d'optimisation importantes mais peu exploitées.

Les algorithmes d'intelligence artificielle permettent d'anticiper les pics de demandes et de prévoir quelles catégories de produits seront plus ou moins commandés en fonction des périodes et des facteurs exogènes. L'IA pourra par exemple conseiller d'attendre avant de lancer une tournée car elle anticipera d'autres commandes imminentes à livrer dans les mêmes zones, permettant ainsi d'optimiser à la fois le remplissage des camions et les tournées.

L'IA peut également être utilisée pour reconfigurer un réseau de manière dynamique après un évènement inattendu comme un accident.

- **Le camion autonome**

En France, un chauffeur ne peut pas conduire plus de 9 heures par jour et doit respecter des temps de repos à des endroits appropriés. Selon une étude PWC de 2016, les camions autonomes permettraient de réduire les coûts des transporteurs de 30 % d'ici 2030.

WAYMO, filiale d'ALPHABET (Projet de Google), avait développé un minibus autonome pour le transport des voyageurs en utilisant des technologies d'IA. Pour faire rouler un camion autonome, la société a réutilisé la même intelligence artificielle (déjà entraînée) que celle du mini bus pour bénéficier de son expérience sur des milliers les kilomètres parcourus. En octobre 2016, UBER a annoncé le lancement d'un camion autonome construit par OTTO qui a parcouru 200 kilomètres entre Fort Collins et Colorado Springs (Colorado) en empruntant l'autoroute<sup>194</sup>. DAIMLER TRUCKS a également développé un camion semi-autonome de 18 roues avec un système de pilotage automatique. La startup suédoise EINRIDE annonce un concept de camion T-Pod autonome 100 % électrique.



Figure 144 - T-POD, premier camion autonome et électrique

---

<sup>194</sup> Transport Magazine division de Groupe Pageau

## Les usages de l'IA en transport et mobilité

Les cas d'utilisation typiques de l'intelligence artificielle sont les suivants :

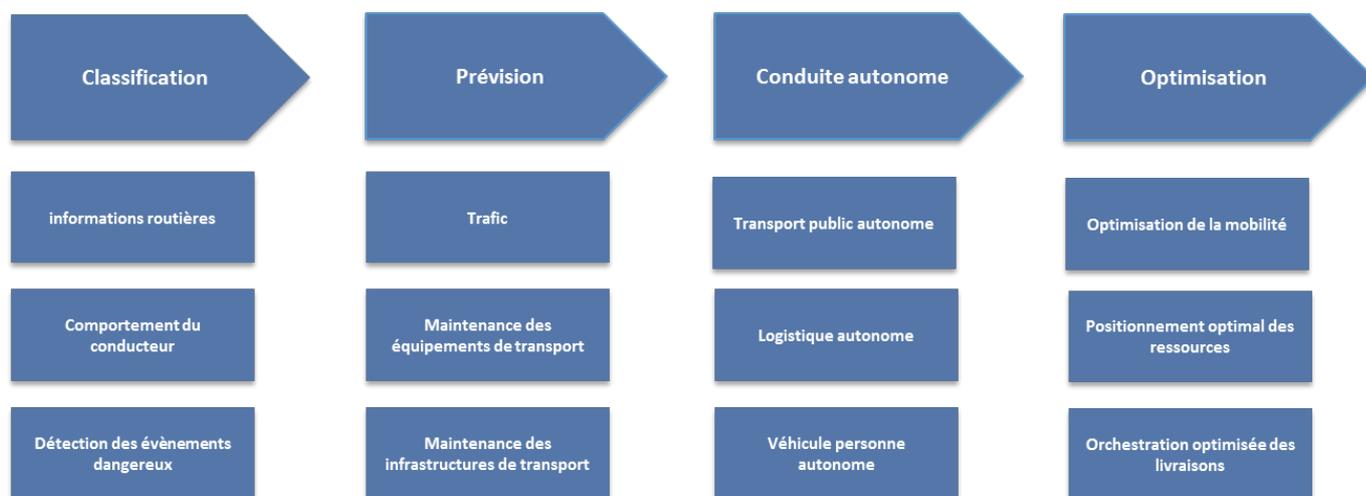


Figure 145 - Typologie des usages en transport et mobilité<sup>195</sup>

### ▪ Classification des panneaux de signalisation

Il existe des dispositifs qui peuvent détecter, reconnaître et suivre les panneaux de signalisation routière à partir d'un véhicule en mouvement. La reconnaissance se fait par segmentation des couleurs et des formes en utilisant des techniques d'apprentissage à base de réseaux de neurones profonds.

Une difficulté demeure néanmoins dans la capacité à distinguer un panneau avec une information incomplète ou modifiée (cassé en partie, avec un autocollant ou un tag, recouvert de boue ou de neige, etc...). Un travail de labellisation important de ce type d'exception est toujours en cours.

### ▪ Prévision de trafic

A partir de données de circulation, l'IA permet de rationaliser les schémas de trafic et de réduire sensiblement la congestion. On croise des données temps réel de circulation avec les algorithmes intelligents de gestion des feux de circulation. Par exemple, le système SURTRAC de la société américaine RAPID FLOW utilise des réseaux neuronaux pour évaluer en temps réel embouteillage ou changement météo et proposer l'itinéraire le plus rapide et le moins dangereux.

### ▪ Conduite autonome

Une voiture autonome est équipée de beaucoup de capteurs pour pouvoir se situer dans l'espace. Ces capteurs peuvent être des lasers LIDAR, des radars ou des caméras. Ils permettent à la voiture autonome de modéliser son environnement en 3D et d'identifier les éléments qui le composent (bâtiments, véhicules, piétons, signalisation, marquage au sol...) afin de se guider en respectant les règles de circulation et en évitant les obstacles.

Toutes ces informations ainsi que d'autres (trafic, GPS, ...) peuvent être traitées par une intelligence artificielle pour définir la situation de conduite à un instant t (Ex : panneau de limitation de vitesse qui passe de 110 km/h à 90 km/h). Une fois la situation définie, un moteur de règles décide des manœuvres à effectuer.

Actuellement, dans les essais en cours, l'utilisation de techniques d'apprentissage pour « apprendre » les situations de conduite n'est pas réalisée pendant que le véhicule roule faute de moyens de calculs suffisants et de la complexité des tâches à réaliser.

<sup>195</sup> ATAWAO – réflexion en propre de l'équipe

En 2017, la société NVIDIA a tenté avec le projet PILOTNET, une première expérience pour faire prendre une décision de conduite à une intelligence artificielle. Uniquement à partir de données de capteurs fournies à un réseau de neurones, celui-ci prend la décision de tourner le volant pendant la conduite. Le résultat montre que PILOTNET apprend des caractéristiques qui "ont du sens" pour un humain, tout en ignorant les structures des images de la caméra qui ne sont pas pertinentes pour la conduite.

Dans la mise au point du véhicule autonome, la majorité des grands constructeurs automobiles et des acteurs technologiques se sont lancés dans la compétition.

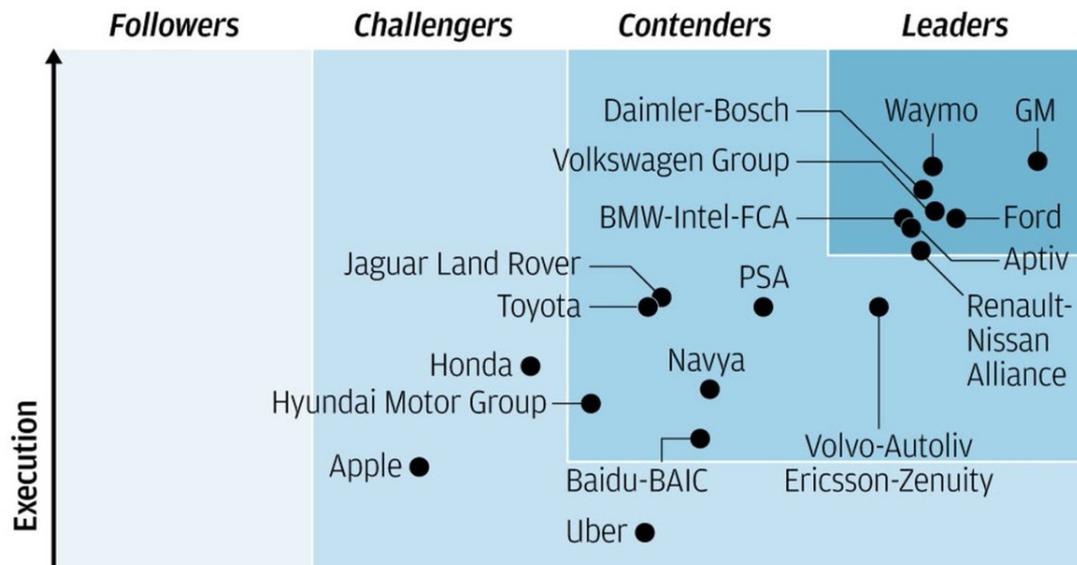


Figure 146 - Position des acteurs dans la mise au point du véhicule autonome<sup>196</sup>

▪ **Optimisation de la logistique**

En utilisant le Machine Learning et en analysant un grand volume de données, on peut optimiser la logistique en fonction de l'offre et la demande, du positionnement des ressources, des délais et des types de points de livraison (points relais, livraison à domicile, conciergerie, ...) et du temps de travail déjà effectué par un chauffeur par exemple.

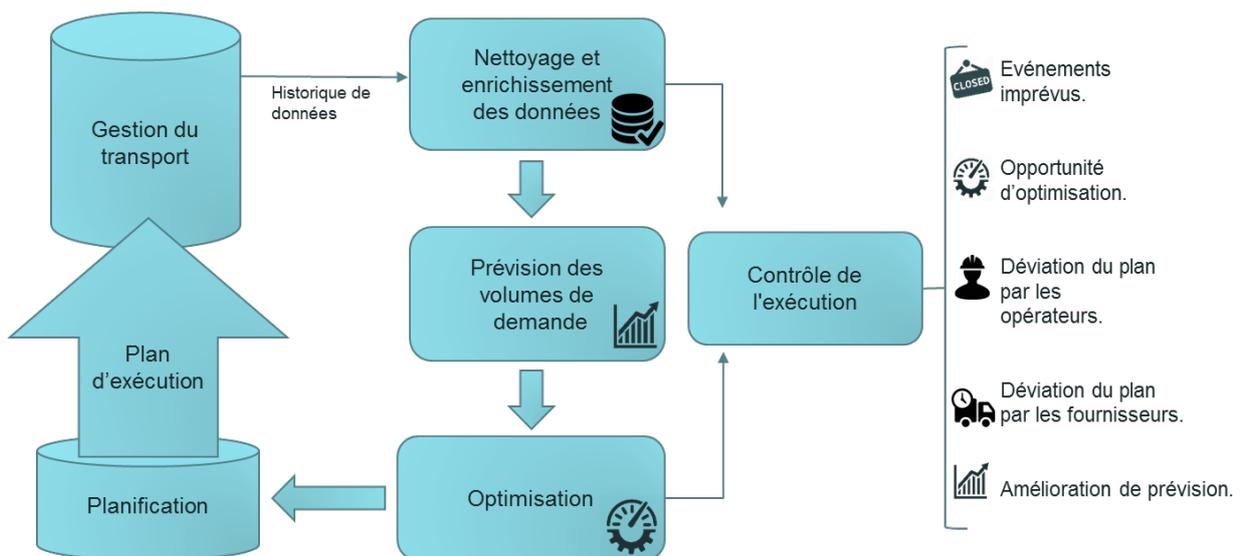


Figure 147 - Exemple de processus d'optimisation logistique<sup>197</sup>

<sup>196</sup> Navigant research 2017

<sup>197</sup> Atawao

Pour optimiser la planification en utilisant des techniques d'IA, le processus passe par les étapes suivantes :

- **Étape 1** - Nettoyage et enrichissement des données. De nombreuses données d'expéditions sont incomplètes. Les données sont générées à des multiples endroits physiques, ce qui ne permet pas d'améliorer facilement leur qualité à la source. L'IA permet d'améliorer la qualité des données en comparant les données historiques entre elles et en distinguant celles qui sont de qualité et celles qui ne le sont pas. L'IA est ensuite capable de créer des données manquantes dans certains cas de figure et donc d'améliorer la qualité.
  
- **Étape 2** – Prévisions. Une fois les données nettoyées, enrichies (notamment avec des données externes comme la météo ou des événements saisonniers) et structurées, l'IA permet de créer un modèle de prévisions de meilleure qualité que ceux utilisés actuellement basés sur des moteurs de règles.
  
- **Étape 3** – Optimisation. De la même manière, L'IA est utilisée pour fournir des suggestions de changement de capacité de meilleure qualité que les modèles actuels.
  
- **Étape 4** - Contrôle de l'exécution. L'IA mesure de manière plus fine la performance du modèle et les écarts avec la réalité.

## Les acteurs de l'IA en transport et mobilité

### Les besoins

- **Un manque de données labellisées en nombre suffisant**

Selon la majorité des personnes interrogées, même si un effort de R&D très important est effectué actuellement en IA en transport et mobilité, le succès dépend fondamentalement de la qualité des données de situations de conduite et donc de la capacité à labéliser un grand volume de données acquises pendant les phases de roulage. Cette labélisation doit être réalisée manuellement aujourd'hui ce qui ne permet pas d'atteindre la performance souhaitée rapidement.

Par ailleurs, l'infrastructure de capteurs de mobilité en France est très insuffisante pour obtenir des données fiables et positionner un véhicule avec une très bonne performance.

Les grandes structures possèdent les données des voyageurs mais ne les rendent pas suffisamment accessibles pour le moment. Le projet de loi d'orientation des mobilités, qui doit être présenté début novembre devrait organiser la mise à disposition des données de l'ensemble des modes, non seulement publics mais aussi privés.

- **Un manque de disponibilité d'expertises (commun à plusieurs secteurs)**

Un autre problème correspond à la disponibilité insuffisante des expertises notamment en mathématiques ou ingénierie pour mettre au point les technologies d'IA en transport et mobilité. Ce problème est renforcé par la capacité des GAFAs à récupérer les chercheurs et les méthodologies financées par la France au niveau académique pour travailler sur leurs propres problématiques.

- **Un manque de cadre et d'environnement d'expérimentation à grande échelle**

Pour le véhicule autonome, les grands groupes ont besoin d'un environnement de confiance pour réaliser des expérimentations à grande échelle et confirmer la performance des systèmes de transport autonome. Ces environnements d'expérimentation doivent être « ouverts » à la circulation des véhicules courants. Le déploiement du véhicule autonome se fera nécessairement progressivement et en parallèle de la circulation de véhicules non autonomes.

- **Des difficultés pour collaborer avec le monde de la recherche académique (commun à plusieurs secteurs)**

Les acteurs privés éprouvent des difficultés pour mettre en place des projets en collaboration avec des chercheurs. Un dispositif de partenariat sur le long terme devrait être défini pour permettre aux entreprises et aux chercheurs de comprendre les contraintes de part et d'autre.

Par ailleurs, le traitement de la propriété intellectuelle dans un contrat de recherche est un processus administratif beaucoup trop long et beaucoup trop complexe pour encourager le développement de partenariats.

## Quelques exemples d'usages de l'IA au sein des grands groupes

### ▪ **AMAZON (logistique)**

AMAZON est le premier distributeur non alimentaire en France en termes de chiffre d'affaires.

AMAZON investit massivement dans le domaine de l'intelligence artificielle. Une partie de ses systèmes internes repose sur des algorithmes d'apprentissage notamment pour l'optimisation d'itinéraires. AMAZON parvient grâce à une chaîne d'approvisionnement sophistiquée (gestion des retours, entrepôts intelligents...) à livrer en moyenne en 3 jours, alors que la moyenne du secteur est à 5,5 jours.

AMAZON exploite toutes les données de la chaîne d'approvisionnement et utilise les algorithmes d'apprentissage pour avoir une prédiction de la demande, optimiser les itinéraires et améliorer l'orchestration des livraisons.

### ▪ **VALEO (France)**

VALEO est un grand équipementier automobile. Le groupe a réalisé en 2016 un chiffre d'affaires de 16.5 Mds d'euros.

VALEO a annoncé en 2017, la création du premier centre mondial de recherche consacré à l'intelligence artificielle et à l'apprentissage profond dans les applications automobiles. Regroupées à Paris au sein d'une communauté VALEO.AI, une centaine de personnes travaillent dans les domaines des algorithmes et des infrastructures pour les applications automobiles. VALEO est impliqué dans 5 fonds d'investissement pour identifier les startups les plus prometteuses en IA, en Chine, aux États-Unis ou en Israël.

### ▪ **AIR FRANCE (France)**

AIR FRANCE est un acteur mondial dans le transport de personnes, le fret et la maintenance aéronautique. La compagnie opère des vols vers 320 destinations et 118 pays.

Aujourd'hui, l'IA fait partie intégrante de la transformation digitale de la compagnie. L'IA est déjà utilisée pour la maintenance prédictive des pannes techniques, l'automatisation de tâches cognitives et l'exploitation de données textuelles (exemple : analyse de la satisfaction client).

### ▪ **AMADEUS (France)**

En France, AMADEUS est le leader mondial des solutions de traitement des réservations pour l'industrie du voyage.

AMADEUS travaille sur des projets de recherche en intelligence artificielle depuis 2008. Le travail s'est accéléré depuis 3 ans et maintenant tous les domaines d'AMADEUS incorporent une technologie d'intelligence artificielle. Depuis 2016, Amadeus a même créé une équipe de recherche scientifique « Amadeus AI Research » pour analyser l'état de l'art en ML et essayer de l'appliquer au secteur du transport et tourisme. Les principaux usages de l'IA correspondent à :

- Systèmes de recommandation pour les produits de voyage.
- Reconnaissance vidéo, image et voix.
- Optimisation des clics et des conversions pour les produits de voyage et les campagnes de publicité en ligne.
- Analyse des médias sociaux (p. Ex., Analyse des sentiments et profilage).
- Alerte et surveillance.
- Création d'offres dynamiques de produits de voyage.
- Segmentation et regroupement de passagers.
- Détection de fraude.
- Enrichissement des données de voyage.
- Prévisions de revenus.

## Les offres qui se développent

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>198</sup>
Monde	Plus de 400
États-Unis	Plus de 100
Europe	Plus de 50
France	De 10 à 50

Tableau 49 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Exemple de sociétés
<b>Classification</b>	MOBILEYE, TERRALOOP, NEXAR, CORTICA, VECTOR.AI, OXBOTICA
<b>Prévisions</b>	WAYCARE, TRANSVOYANT, VIVACITY LABS
<b>Conduite autonome</b>	TUSIMPLE, GE TRANSPORT, UBER, PONY.AI, EASYMILE (France), NAVYA (France), EASY MILE (France), RENAULT (France), PSA (France), Valeo (France), AIMOTIVE, AIDRIVING, NUTONOMY, POLYSYNC
<b>Optimisation</b>	TOOLSGROUP, LOGINEXT, EVERTRACKER, OPTIBUS, DEEPOMATIC (France), TRAVELAI, SPIROPS (France)

Tableau 50 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services

Voici quelques exemples de startups dans le domaine.

- **MOBILEYE**

Fondée depuis 1999 en ISRAEL et rachetée depuis par INTEL, MOBILEYE développe une IA capable d'identifier une très large variété de dangers sur la route. Son système de vision intelligent est capable de mesurer la distance relative et les vitesses des objets, calculer les risques de collision en temps réel et avertir le conducteur en cas de danger. C'est aujourd'hui le système de détection de piéton qui commet le moins d'erreur.

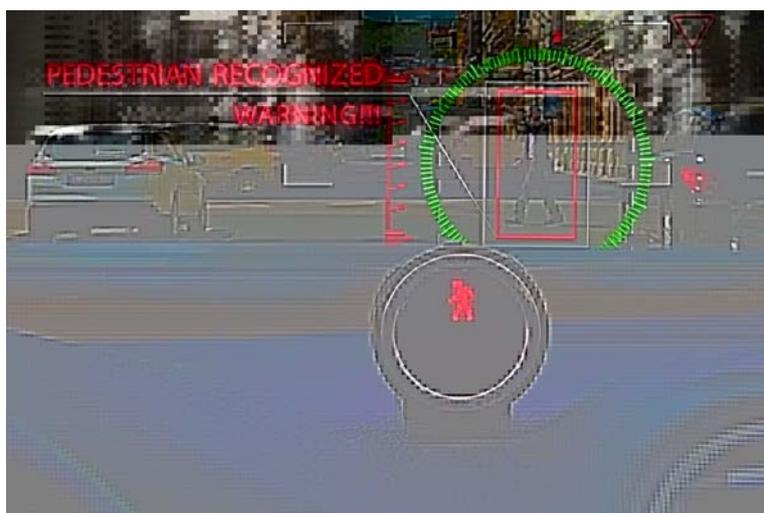


Figure 148 - MOBILEYE

<sup>198</sup> Crunchbase

- **EASY MILE<sup>199</sup>, NAVVYA<sup>200</sup>**

Ces 2 startups françaises ont été créées en 2014. Elles ont, chacune mis au point un bus autonome d'une dizaine de places. Ces solutions de transport autonomes sont conçues pour compléter un réseau de transport sur les derniers kilomètres.



Figure 149 - Bus EZ10 de la société EASYMILE

- **WAYMO (GOOGLE)**

Le projet de véhicule autonome de GOOGLE a été lancé en 2005 à la suite d'un challenge remporté par une équipe de l'université de Stanford. En octobre 2010, GOOGLE annonce avoir parcouru plus de 200 000 km sans accident.

Depuis, GOOGLE a développé son propre véhicule présenté en 2014. Il s'agit d'un véhicule électrique d'une autonomie maximale de 130 kilomètres et pouvant atteindre la vitesse de 40 km/h. Comme la majorité des véhicules autonomes en cours de conception, le système de pilotage automatique utilise plusieurs caméras et capteurs lidars, radars, Gps et d'odométrie.

En novembre 2015, GOOGLE a révélé qu'en six ans d'activité, il y a eu « 17 accidents mineurs » sur plus de 2 millions de miles (3,2 millions de kilomètres) parcourus avec ces véhicules. En 2016, GOOGLE reconnaît une responsabilité dans un accident survenu à faible vitesse entre sa Lexus RX450h11 et un bus.



Figure 150 - véhicule WAYMO

<sup>199</sup> Les navettes autonomes de la société EASY MILE sont également testées sur voies ouvertes à la circulation publique à Verdun, à Rouen ou encore en région parisienne.

<sup>200</sup> Les navettes autonomes de la société NAVVYA ont été testées dans les rues de Paris au printemps 2018.

Actuellement le projet continue à apprendre régulièrement de nouvelles situations de conduites : « véhicules en double file », « piéton dans une tranchée », etc. Mais beaucoup de situations de conduite restent à mettre au point.

- **TUSIMPLE**

TUSIMPLE est une startup chinoise fondée en 2015 qui a réussi un test de conduite autonome de plus de 300 kilomètres pour un camion sans chauffeur. Selon la société, son système de conduite repose sur un apprentissage profond simulant des dizaines de millions de kilomètres de conduite sur route.

- **GE TRANSPORT**

GE TRANSPORT, une filiale de General Electric a développé des locomotives autonomes avec des technologies d'IA. La locomotive de fret est équipée de capteurs comme des caméras qui analysent la voie ou l'intérieur de la cabine. Les données sont transmises pour prendre des décisions en temps réel.

- **VIVACITY**

La société anglaise est spécialisée dans les techniques de vision par ordinateur. Elle utilise cette technique pour collecter de l'information les véhicules, les vélos ou les piétons en mouvement dans une zone. L'usage est celui de l'optimisation de flux en temps réel.

L'IA de VIVACITY permet de suivre en temps réel l'évolution du trafic sur les principales artères de la ville, ainsi que l'occupation des places de stationnement et ce à partir des informations fournies par une caméra de vidéosurveillance. Le système peut-être asservi à ceux de régulation de trafic. L'IA peut alors piloter en direct les feux pour rediriger le trafic routier ou favoriser le trafic de véhicules d'urgence.

- **WAYCARE**

Fondée en 2016 en ISRAEL, WAYCARE développe un service de gestion des transports basé sur l'intelligence artificielle. Le système fonctionne en fusionnant plusieurs sources de données dont des images et des données numériques.

Le logiciel prédictif regroupe les données historiques et en temps réel de diverses sources (les systèmes de véhicules, les stations météorologiques, les caméras vidéo et les capteurs routiers) pour anticiper les embouteillages et rediriger le trafic vers d'autres endroits.

- **TOOLSGROUP**

Le logiciel de TOOLSGROUP optimise les niveaux de stock et les plans de réapprovisionnement de produits nouveaux en le comparant aux ventes de produits similaires. L'algorithme fait une première prévision pour le nouveau produit et apprend ensuite à réajuster les stocks partir des premières ventes.

- **TRANSVOYANT**

L'IA de la startup américaine TRANSVOYANT collecte et analyse des milliards d'événements journaliers à partir de capteurs, satellites, radars, caméras vidéo et smartphones pour calculer l'heure d'arrivée estimée d'une marchandise.

L'algorithme tient compte par exemple des conditions météorologiques, de la congestion portuaire et des catastrophes naturelles.

## 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>▪ Un développement d'expertises en intelligence artificielle déjà en cours dans les groupes de transport</li> <li>▪ Un objectif de mise au point de véhicule autonome très simple à formuler et donc très mobilisateur</li> <li>▪ Quelques acteurs français (EASY MILE, NAVVYA) en pointe dans le domaine</li> <li>▪ Un vrai gain d'optimisation des flux de transports attendu avec l'IA. Une opportunité de réduire la consommation d'énergie du secteur transport</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une très forte compétition mondiale</li> <li>▪ Un manque de coopération des acteurs de mobilité qui cherchent à se positionner en acteur global de mobilité, quel que soit leur métier d'origine.</li> <li>▪ Une rupture de chaîne d'information entre les acteurs de mobilité ou de logistique qui empêche de développer des solutions d'optimisation performantes.</li> <li>▪ Plusieurs verrous technologiques complexes à résoudre dans la mise au point de la conduite autonome</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vision par ordinateur</li> <li>▪ Internet des objets</li> <li>▪ Réseaux de communication à faible latence</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moyenne</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Majoritairement privée</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>Véhicule autonome</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cadre d'expérimentation à grande échelle et législation d'expérimentation à construire</li> <li>○ Mise en place des grandes zones d'expérimentation pour le véhicule autonome</li> <li>○ Labélisation automatique</li> <li>○ Explicabilité des résultats fournis par des réseaux de neurones</li> <li>○ Infrastructure de communication pour les capteurs à construire</li> </ul> </li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Garantir la mise à disposition de cartographies de très haute précision sur l'ensemble du territoire et ensuite en Europe en encourageant l'IGN à publier les spécifications d'une cartographie adaptée au véhicule autonome</li> <li>▪ Faciliter le partage de données logistiques pour avoir le point de départ et le point d'arrivée d'une marchandise</li> </ul>
Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ VEDECOM (Versailles). Institut de recherche public / privé, pluri disciplinaires sur le véhicule autonome.</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	Moyenne
Qualité de l'infrastructure technologique	Faible
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Forte
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Forte
Digitalisation du secteur, accès aux données	Faible

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	

Pour le secteur des transports et de la mobilité, un scénario de leader est à privilégier. En France et en Europe, le secteur bénéficie d'un écosystème innovant dynamique en intelligence artificielle aujourd'hui, notamment sur les usages de conduite autonome. Plusieurs acteurs (EASYMILE, NAVVYA) possèdent même déjà des solutions commercialisables. L'intelligence artificielle sera même une composante clé de la gestion du chargement électrique des véhicules à terme.

Mais pour réussir à devenir un acteur majeur de l'IA en transport, les freins suivants doivent être adressés rapidement :

- L'absence de zones d'expérimentations à très large échelle.
- Un manque de volonté des acteurs pour collaborer efficacement et partager leurs données de mobilité.
- Un effort de R&D significatif pour lever les problèmes concrets d'explicabilité ou de labellisation de données nécessaires à la navigation.

Si ces freins ne sont pas levés, un scénario de niche serait à privilégier, en se focalisant par exemple sur le transport collectif en environnement semi-ouvert, le transport aérien ou maritime. Dans ce domaine, l'intelligence artificielle serait plus simple à développer technologiquement.

# Énergie et Environnement

Comme expliqué dans le chapitre sur le classement sectoriel, le rapprochement des secteurs Énergie et Environnement est motivé par l'enjeu du changement climatique. En effet, l'ensemble des pays de la planète est confronté à une transition à la fois énergétique et écologique pour lutter contre le réchauffement climatique, ainsi que le rappelle le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat du GIEC <sup>201</sup>.

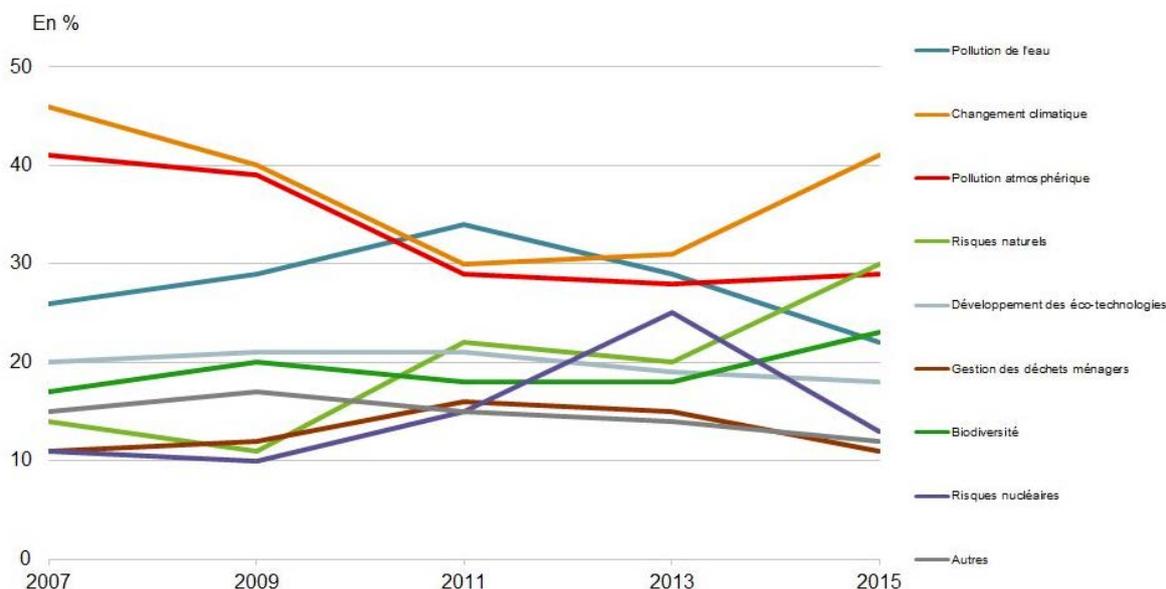
Dans le cas de l'Europe et de la France, cela se traduit, entre autre par :

- Des objectifs ambitieux de maîtrise des gaz à effet de serre et de maîtrise des autres formes de pollutions.
- Le développement des énergies renouvelables avec un objectif de neutralité carbone.
- Le développement accéléré d'une filière verte (promotion des écotechnologies et des services liés).
- Plus généralement, une meilleure optimisation des ressources naturelles et un meilleur respect de la biodiversité.

## Économie du secteur <sup>202</sup>

En France, les services d'utilité publique (production et distribution d'électricité de gaz, de vapeur et d'air conditionné et la production et la distribution de l'eau) représentaient en 2016 environ 176 Mds d'euros de valeur ajoutée brute. Le nombre d'emploi dans le secteur est estimé à environ 175 000 personnes, soit un peu plus de 0,5 % de l'emploi intérieur total en 2016<sup>203</sup>. Il compte de très grands groupes de rang mondial dont EDF et ENGIE.

Le secteur de l'Environnement représente 32 Mds d'euros en valeur ajoutée brute en 2016. Le secteur est un sujet d'intérêt et de préoccupation de plus en plus fort pour l'opinion publique et d'un ensemble d'activités économiques pour partie liées au secteur de l'énergie et à la transition énergétique (ex : énergies renouvelables, réduction des émissions de gaz à effet de serre). L'environnement mobilise particulièrement l'opinion publique.



<sup>201</sup> [http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf)

<sup>202</sup> Extraits en partie des analyses de l'INSEE et du ministère de l'environnement et du Credoc

<sup>203</sup> Données INSEE

<sup>204</sup> SOES, CREDOC, enquête sur les conditions de vie des français

2 enjeux principaux progressent de 10 points entre 2013 et 2015 : la lutte contre le changement climatique et la prévention des risques naturels. La sauvegarde de la biodiversité reste également une des préoccupations des français.<sup>205</sup> Les activités économiques liées à l'environnement sont portées par des grands groupes nationaux de rang mondial comme VEOLIA et SUEZ.

## Usage et adoption de l'IA

### Explosion des données et opportunité pour l'IA, le cas de l'énergie électrique

Depuis 10 ans, le secteur de l'énergie se digitalise profondément avec, par exemple :

- Le développement des SmartGrids ou réseaux électriques intelligents comprenant notamment le déploiement de compteurs intelligents<sup>206</sup>, de réseaux de capteurs, de postes de transformations numérisés, de nouvelles générations de SCADA<sup>207</sup> pour une meilleure exploitation.
- La digitalisation de la maintenance des installations : meilleur équipement des techniciens sur le terrain en outils de mobilité pour la remontée des données d'intervention, automatisation de l'inspection avec l'émergence des drones, etc....

On prévoit une multiplication des données disponibles à des fins d'analyse et d'aide à la décision chez un énergéticien d'un facteur de 1 500 sur 15 ans (de 1 TB en moyenne en 2010, à 1500 TB prévu en 2025).

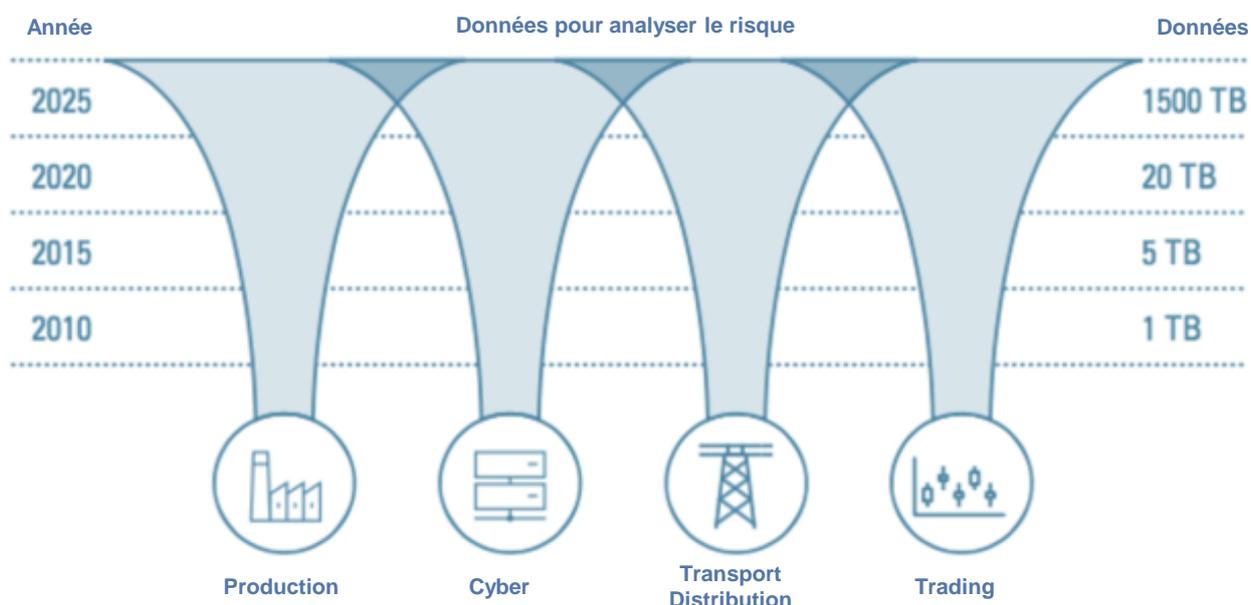


Figure 152 - Besoin en données pour les réseaux électriques<sup>208</sup>

<sup>205</sup> SOeS, enquête sur les conditions de vie et aspirations des Français (Credoc)

<sup>206</sup> Compteur énergétique capable de suivre en détail et en temps réel la consommation électrique d'un bâtiment, d'une entreprise ou d'un foyer. Il peut transmettre ces données de consommation en amont et en aval via différents canaux de communication

<sup>207</sup> SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition (Système de contrôle et d'acquisition de données)

<sup>208</sup> Spark Cognition, Artificial Intelligence and the Internet of Energy (IoE)

## Les SmartGrids, une réponse aux fortes contraintes des réseaux électriques

Les SmartGrids sont des réseaux électriques qui peuvent intégrer intelligemment le comportement et les actions de tous les utilisateurs connectés (producteurs, consommateurs et ceux qui exercent les deux activités) dans le but de fournir l'électricité de manière efficace<sup>209</sup>.

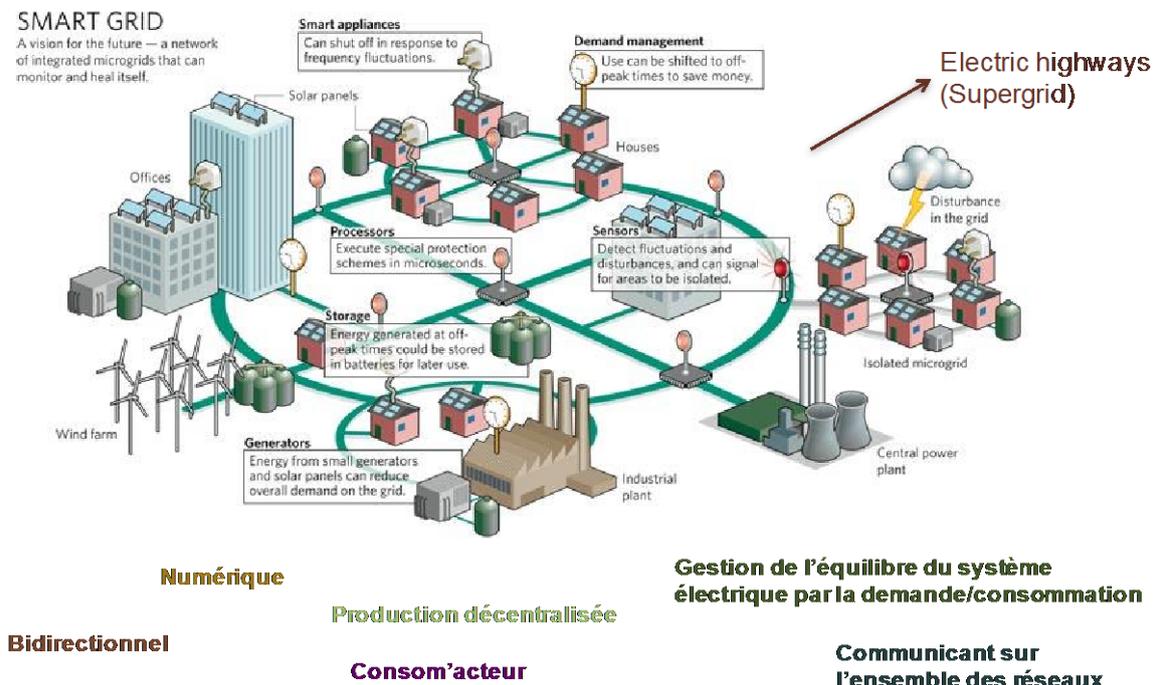


Figure 153 - Smartgrid<sup>210</sup>

Un SmartGrid doit intégrer les caractéristiques ou permettre d'atteindre les performances suivantes<sup>211</sup> :

- Etre auto-cicatrisant vis-à-vis des événements perturbateurs.
- Permettre la participation active des consommateurs modifiant leur demande.
- Réagir et se protéger contre les attaques physiques et les piratages informatiques.
- Fournir une électricité de qualité adaptée à tous les besoins.
- Accueillir toutes les technologies de production ou de stockage.
- Permettre l'émergence de nouveaux produits, services et marchés.
- Optimiser l'utilisation et la gestion des actifs.

De plus en plus dans le futur, les échanges d'énergie électrique seront pilotés en temps réel, optimisés à différentes échelles (locales, nationales, européennes) et faisant intervenir de nouveaux acteurs dans les équilibres du fait de l'imbrication de systèmes hétérogènes : autoconsommation, micro-réseaux, réseaux, super-réseaux (grands réseaux européens).

Ces évolutions, qui se traduisent par une mutation profonde de systèmes autrefois centralisés, linéaires et prévisibles, vers des systèmes bidirectionnels et très flexibles, constituent une opportunité pour le déploiement de nombreuses applications utilisant de l'IA : optimisation de la consommation, meilleure surveillance des réseaux, anticipation des gisements de flexibilité, meilleure articulation des moyens de stockage et du véhicule électrique aux réseaux, etc.

<sup>209</sup> European Technology Platform SmartGrids - <https://www.edsofsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/smart-grids-european-technology-platform/>

<sup>210</sup> "Upgrading the grid," Nature, vol. 454, pp. 570–573, 30 July 2008

<sup>211</sup> <https://www.energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0>

## Usages IA dans l'Énergie

Dans le domaine de l'énergie l'IA peut être utilisée dans les usages suivants :

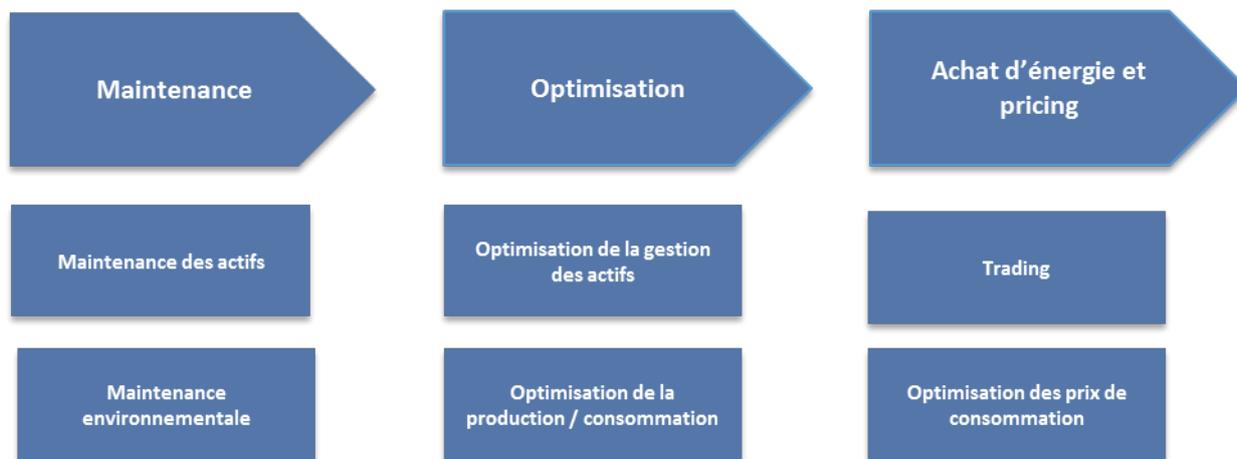


Figure 154 - Typologie des usages de l'IA dans l'énergie

### ▪ Maintenance prédictive et optimisation de la gestion des actifs

La plateforme d'intelligence artificielle et de gestion de l'internet des objets de la société californienne C3 IoT<sup>212</sup>, suite à des analyses des données remontées par les compteurs intelligents toutes les 15 minutes, a permis de mettre en lumière, chez un de ses clients énergéticiens aux États-Unis, que 80% des transformateurs de distribution utilisaient moins de 10% de leur puissance nominale<sup>213</sup>. La prise en compte de cette information dans la stratégie de gestion des actifs se traduit par une optimisation des dépenses d'investissement de l'ordre de 50 millions de dollars par an.

Les dernières turbines à gaz de SIEMENS contiennent plus de 500 capteurs qui enregistrent en permanence les conditions de pression, les températures ou les charges des différents composants. Grâce à un logiciel intelligent, toutes les données récoltées sont interprétées et aident les opérateurs à déchiffrer facilement les principaux paramètres d'exploitation. Mais ces données peuvent également servir à créer un «jumeau numérique», double digital d'un objet physique<sup>214</sup>, permettant par exemple, de mieux simuler et anticiper la détection et la résolution d'anomalies de maintenance. Les experts de Siemens Corporate Technology (CT) ont réalisé cette image virtuelle en 2017 sur la base des données d'exploitation récoltées par les capteurs d'une turbine à gaz de dernière génération du groupe. SIEMENS peut ainsi simuler le fonctionnement actuel d'une turbine et utiliser des programmes d'intelligence artificielle pour représenter d'autres données difficilement accessibles.<sup>215</sup>



Figure 155 - Turbine à gaz de SIEMENS. Optimisation de maintenance par IA

<sup>212</sup> <https://c3iot.ai>

<sup>213</sup> Electric Light & Power, Insight, Powergrid International, 10/16/2015

<sup>214</sup> Définition du CETIM (Centre technique des industries mécaniques) : "Le jumeau numérique, c'est l'exploitation de la maquette numérique d'un objet (composant, système, usine ...), qui évolue en temps réel grâce aux informations captées sur l'objet". [http://www.cetim.fr/fr/Mecatheque/Veille-technologique/Fiche-de-Veille-Le-Jumeau-numerique/\(language\)/fre-FR](http://www.cetim.fr/fr/Mecatheque/Veille-technologique/Fiche-de-Veille-Le-Jumeau-numerique/(language)/fre-FR)

<sup>215</sup> [https://www.siemens.ch/monitor/article\\_fr/496](https://www.siemens.ch/monitor/article_fr/496)

L'utilisation d'IA pour l'optimisation des turbines, a été mise en place par SIEMENS dans un autre objectif : la réduction à la pollution aux oxydes d'azote. Le système propriétaire utilisé (Gas Turbine Autonomous Control Optimizer – GT-ACO) a permis de réduire le niveau d'émission de 20%. Le système est apprenant. En quelques semaines d'apprentissage sur le fonctionnement de chaque turbine, il procède de manière autonome, à des ajustements en continu<sup>216</sup>.

Dans l'exploration pétrolière, l'intelligence artificielle est notamment utilisée pour détecter les risques de fuite. GE génère chaque année environ 1000 kilomètres carrés d'images prises à l'intérieur de pipelines grâce à des robots dotés de caméras. Analyser ces images sans recours à l'intelligence artificielle reviendrait à passer à la loupe dix fois la surface de Paris, pour y trouver une fissure de la taille d'un brin d'herbe, tâche impossible à réaliser manuellement. Pour y arriver, GE utilise l'intelligence artificielle : ce sont des logiciels qui parcourent l'ensemble de ces images, afin de signaler les anomalies potentielles à des opérateurs humains qui n'ont qu'à confirmer ou infirmer ces alertes.

Autre exemple appelé à se développer : les corrélations de données d'exploitation avec des données environnementales et de contexte. Aujourd'hui, très peu d'énergéticiens analysent – hors crises - les événements remontés par les SCADA (système d'acquisition et de contrôle de données) de manière systématique, et encore moins, ne corrélient ces analyses à d'autres paramètres (autres données d'exploitation, données de gestion de la végétation, données météorologiques, historique des opérations de maintenance, etc.). Autant de données, qui exploitées avec des algorithmes d'IA, permettraient de s'orienter vers une maintenance plus prédictive contribuant à une optimisation de la gestion des actifs.

- **Achat d'énergie et pricing**

Les activités de trading et de pricing d'énergie pourront de plus en plus être automatisées en rapprochant, grâce à la constitution et à l'exploitation de bases de données quasi-temps réel, des événements conjoncturels (ex : situation géopolitique) avec les décisions d'achats ou de ventes.

En 2017, aux Pays-Bas, SHELL a expérimenté des algorithmes d'IA (PRICECAST Fuel) développés par A2I SYSTEMS A/S, une entreprise danoise permettant de mettre à jour ses prix à la pompe plus de 20 fois par jour. L'IA a été greffée à plus de 15 sources de données aussi variées que les prévisions météorologiques, le volume et la distribution du trafic dans les villes, les prix des concurrents, les niveaux d'inventaires des dépôts carburants par imagerie satellite ou encore les volumes de transactions de consommateurs. Le résultat : une marge brute qui a progressé de l'ordre de 20 à 30% suite à l'expérimentation.

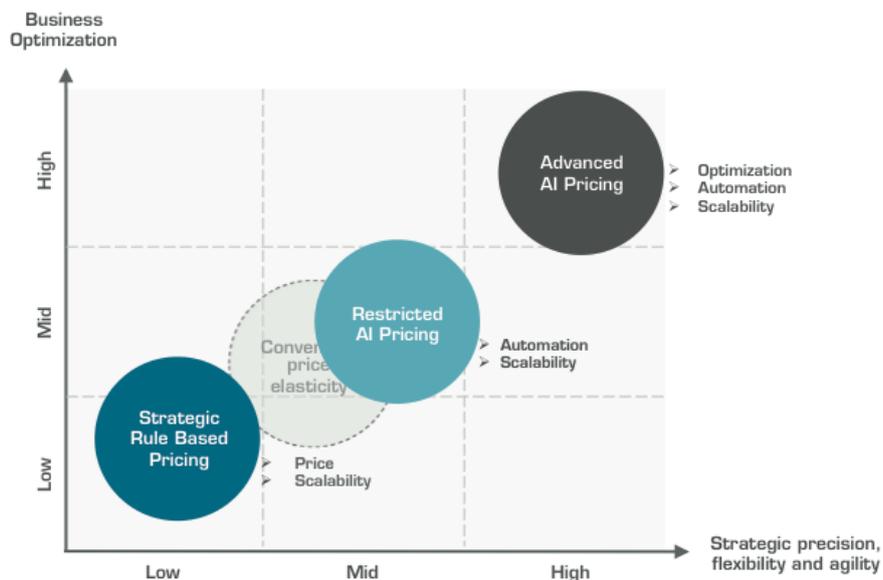


Figure 156 - Fixation dynamique du prix à la pompe grâce à une IA<sup>217</sup>

<sup>216</sup> <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/autonomous-systems-ai-at-gasturbines.html>

<sup>217</sup> <http://www.a2isystems.com/news.html>

## Usages IA dans l'Environnement

La digitalisation des processus et métiers du secteur de l'environnement s'est sensiblement accrue au cours de la dernière décennie. Cette numérisation couplée à la généralisation progressive des capteurs (IOT) a entraîné une augmentation des données permettant aux technologies d'IA de mieux suivre les paramètres environnementaux et de mieux prédire et anticiper leurs évolutions.

En environnement, l'intelligence artificielle adresse des besoins d'évaluation des risques environnementaux (réchauffement climatique, propagation d'agents pathogènes, disparition de la faune et de la flore) et de protection contre ces risques. L'apport de l'IA permet d'améliorer la prédictibilité des modèles environnementaux ou de mieux anticiper les effets climatiques sur les différents écosystèmes.

Dans le domaine environnemental, l'intelligence artificielle peut être utilisée dans les domaines suivants :

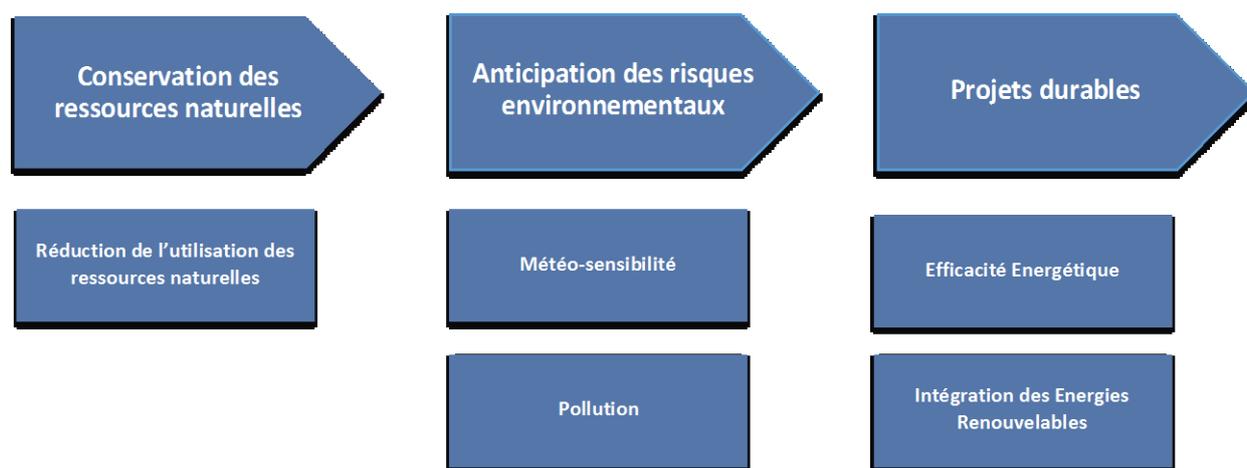


Figure 157 - Segmentation des usages en IA dans le domaine de l'environnement

### ▪ Conservation des ressources naturelles

En combinant l'imagerie satellitaire, les capteurs et l'apprentissage automatique, les entreprises et les gouvernements réduisent la consommation d'eau dans leurs activités et identifient les variables qui mènent à une meilleure santé du sol. Un important exploitant viticole américain (E. & J. Gallo Winery), a créé un système d'irrigation cognitif capable de fournir de l'eau d'une manière qui soit situationnelle, locale, automatisée et auto-adaptative, ce qui l'aide à réduire sa consommation d'eau de 25%<sup>218</sup>. « La totalité du vignoble a été découpée en une grille de parcelles de 30 mètres sur 30, alignée sur l'image satellite de la Nasa. Un plan d'irrigation, fondé sur les données météo et les niveaux d'humidité du sol, a alors été appliqué à chaque bloc de vigne. Ce mode d'irrigation très pointu et contrôlé a permis de réduire la consommation d'eau et d'améliorer la qualité du raisin en permettant à tous les grains de mûrir à la même vitesse »<sup>219</sup>.

Autre illustration, le 20 avril 2017, KAGGLE (plateforme web organisant des compétitions en science des données) a lancé le concours « Planète : comprendre l'Amazonie depuis l'espace ». L'objectif est de comprendre la déforestation en l'Amazonie.

### ▪ Anticipation des risques environnementaux

**Météo sensibilité.** En France, 70 % des secteurs d'activité<sup>220</sup> (exemples : agriculture, énergie, tourisme, commerce de détail, assurances, ...) sont dits "météo-sensibles", c'est-à-dire qu'ils sont affectés par les variations de température ou de précipitations. Les risques météorologiques sont amplifiés par le changement climatique et ses conséquences. On estime que de ce fait, environ 25 % du PIB français est affecté par l'évolution du climat. C'est dans ce cadre que de nouvelles activités sont créées par des startups notamment, pour créer des solutions permettant d'anticiper et de limiter ces risques.

<sup>218</sup> <https://www.ibm.com/watson/stories/ejgallo/>

<sup>219</sup> <http://lesclesdedemain.lemonde.fr/>

<sup>220</sup> <http://www.climpact.com/>

METIGATE par exemple, startup française créée en 2016, a développé un logiciel, fondée sur des algorithmes d'intelligence artificielle, capable de déterminer entre autres, les tendances de ventes d'un produit selon la météo. METIGATE récolte les données de 26 sources météo, dont Météo France, ainsi que d'autres types de données (données clients, réseaux sociaux,...). METIGATE a également créé des stations météo virtuelles grâce à la simulation numérique pour compléter le maillage des stations réelles.

**Anticipation de la pollution.** Les scientifiques utilisent beaucoup de modèles prédictifs sur l'environnement. Ceux-ci sont particulièrement utiles pour évaluer les risques possibles en termes de danger (ou de toxicité) et d'exposition de produits chimiques pour les humains, les animaux ou l'ensemble de l'écosystème.

- **Mise en œuvre de projets durables**

**Efficacité énergétique.** L'efficacité énergétique, c'est à dire, la maîtrise et/ou la réduction de la consommation d'énergie pour un même niveau de service rendu est aujourd'hui accélérée dans un grand nombre d'usages énergétiques, grâce à des applications d'intelligence artificielle : consommation énergétique des bâtiments, des véhicules, des usines, des réseaux d'énergie, etc.

La réduction de la consommation d'énergie dans les centres de données améliore leur efficacité sur le plan énergétique et réduit les émissions globales induites de gaz à effet de serre. Un exemple emblématique qui a récemment fait l'objet d'une publication scientifique est celui de DEEPMIND, filiale de GOOGLE spécialisée en IA. Emblématique, car les datacenters, dont Google constitue le premier détenteur à l'échelle mondiale, sont les objet d'application de l'IA par DEEPMIND pour la recherche d'efficacité énergétique. Au total, la consommation énergétique des datacenters de GOOGLE a été réduite de 40% en 2 ans<sup>221</sup>.

**Intégration des énergies renouvelables.** L'un des principaux obstacles à l'utilisation généralisée des énergies renouvelables porte sur les incertitudes liées à la précision des prévisions. L'augmentation des capacités de production éolienne et solaire amplifie ce phénomène.

Les Smart Grid apportent une fiabilité supplémentaire dans l'intégration de ces énergies renouvelables intermittentes dans le réseau électrique grâce notamment aux modèles de suivi et de prévision de la production intermittente qui utilisent certains services IA pour exploiter des données multiples (données météorologiques, climatiques, données de capteurs).

---

<sup>221</sup> [deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40](https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40)

## Les acteurs de l'IA

### Les offres qui se développent dans l'énergie

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>222</sup>
Monde	Plus de 100
États-Unis	De 50 à 100
Europe	De 10 à 50
France	Moins de 10

Tableau 51 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Sociétés
<b>Maintenance</b>	SMART CLOUD
<b>Optimisation</b>	BUILDINGIQ, OPEN ENERGI, DC BRAIN (France), ENERGIENCY (France)
<b>Achat d'énergie et pricing</b>	EVOLUTION ENERGY (France)

Tableau 52 - Typologie de services IA

Voici quelques exemples de startups proposant de l'IA.

- **OPOWER.** Leader américain des services numériques d'efficacité énergétique s'appuyant sur des algorithmes d'IA appliqués aux comparaisons entre résidents d'un même quartier.
- **BUILDINGIQ.** Optimisation intelligente de la consommation énergétique des bâtiments tertiaires.
- **SMART CLOUD.** Gestion de situations complexes et critiques au sein des systèmes Internet des objets (IoT) pour l'énergie, l'eau, le pétrole et le gaz, le gouvernement, etc.
- **ENERGIENCY (France).** Plateforme IA d'analyse de la performance du processus industriel permettant d'économiser jusqu'à 20% de la facture d'énergie sans investissement.
- **OPEN ENERGI (R-U).** Exemple d'application de l'IA : identification de gisements de flexibilité chez des clients tertiaires ou industriels, optimisation de la consommation et agrégation de la demande pour les énergéticiens.
- **EVOLUTION ENERGY (France).** Une start-up spécialisée dans la gestion des achats d'énergie pour les industriels. Sa solution logicielle « FLEXINERGY » permet aux clients de disposer d'outils et de ressources additionnelles pour une maîtrise autonome de leurs opérations sur leurs contrats et sur les marchés de l'énergie.
- **DC BRAIN (France).** Développement d'une solution IA pour surveiller les réseaux de fluides et optimiser leur gestion.

<sup>222</sup> Crunchbase

## Les offres qui se développent dans l'environnement

Dans ce domaine, les sociétés proposant des services en IA sont les suivantes.

Zone géographique	Nombre <sup>223</sup>
Monde	Plus de 200
États-Unis	Entre 50 et 100
Europe	Entre 10 et 50
France	Moins de 10

Tableau 53 - Répartition géographique des sociétés

Typologie des services	Sociétés
<b>Conservation des ressources naturelles</b>	AQUASPY, EMAGIN, WATERHUB, MTELL, VODA, INATURALIST, EBIRDS, DEEPDIVE, WILDTRACK, CONSERVATIONFIT
<b>Anticipation des risques</b>	ORBITAL INSIGHT, AIRTICK, METEO FRANCE, ELICHENS, PLUME LABS (France), ARIA TECHNOLOGIES (France)
<b>Projets durables</b>	SUNIBRAIN (France), ELUM (France), IMMERSIVE ROBOTICS (France)

Tableau 54 - Typologie de services IA

### Acteurs utilisant l'IA dans la gestion de l'eau

IBM et VEOLIA ont signé<sup>224</sup> en 2014 un accord pour déployer des solutions numériques Big Data et IA aux entreprises du secteur public et privé de l'eau. Cette plateforme de supervision<sup>225</sup> assure l'intégration et l'optimisation de l'analyse de l'ensemble des données liées à la gestion de l'eau.

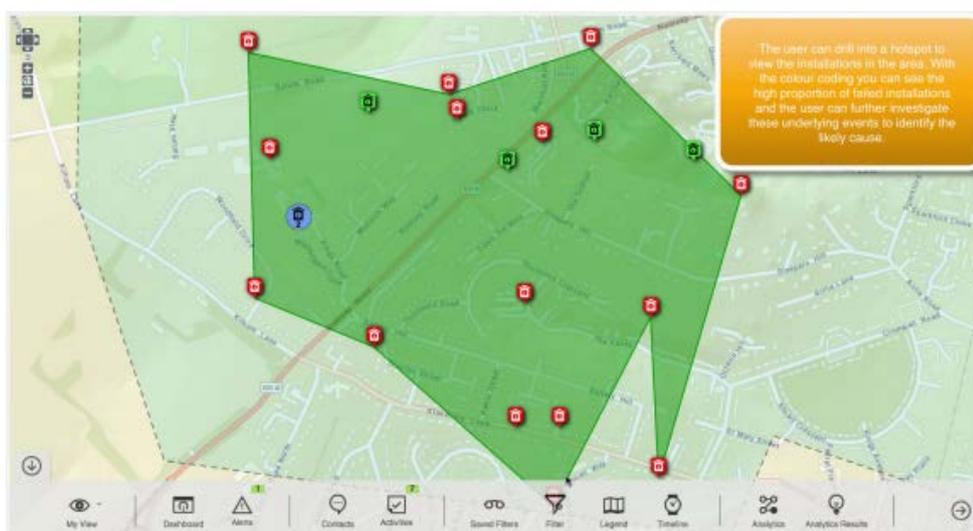


Figure 158 - Détection de problème sur le système WATERNAMICS de VEOLIA IBM

<sup>223</sup> Crunchbase

<sup>224</sup> <https://www.veolia.com/fr/groupe/medias/communiqués-de-presse/ibm-et-veolia-s-associent-pour-mettre-les-technologies-numeriques-au-service-de-la-gestion-de-l-eau-de-l-energie-et-des-dechets-dans-les-villes>

<sup>225</sup> [https://www.veolia.com/anz/sites/g/files/dvc1131/f/assets/documents/2017/07/Veolia\\_VIC\\_Waternamics\\_Brochure\\_V5.pdf](https://www.veolia.com/anz/sites/g/files/dvc1131/f/assets/documents/2017/07/Veolia_VIC_Waternamics_Brochure_V5.pdf)

- **Acteurs utilisant l'IA dans la gestion des déchets**

SNCF Gares & Connexions expérimente dans plusieurs grandes gares, un robot poubelle de la startup IMMERSIVE ROBOTICS (France). Doté d'une intelligence artificielle et de capteurs, le robot B.A.R.Y.L apprend progressivement à détecter un client qui veut lui remettre un déchet et à se diriger vers lui. Une fois plein, il retourne à sa base et alerte un agent d'entretien pour être vidé.

La société BULK HANDLING SYSTEMS (USA) a développé un robot de tri qui applique l'intelligence artificielle aux usines de recyclage pour augmenter leur productivité. Les robots trieurs utilisent un système de vision et des algorithmes de « deep learning », pour diriger le bras robotisé vers les éléments voulus.

La startup SIGRENEA, acquise par Suez en 2016 développe des capteurs intelligents pour conteneurs de déchets permettant de faire baisser de 15 à 30% le coût de la collecte. Ses algorithmes prédictifs intègrent des données comme la météo ou les périodes de vacances qui ont un impact sur la production de déchets.

L'équipementier télécom chinois HUAWEI et VEOLIA ont mis en place un partenariat mondial<sup>226</sup> de collaboration sur les Smarts Cities qui se basent sur des capteurs IoT et les technologies Big Data et IA. En combinant les services de VEOLIA avec les technologies numériques de HUAWEI, le groupe vise à offrir des solutions de bout en bout dans le domaine des villes intelligentes.

- **Acteurs utilisant l'IA pour la qualité de l'air**

PLUME LABS<sup>227</sup> (France) a développé l'application Plume Air Report, qui permet d'être informé de la qualité de l'air et de la pollution première cause de décès évitables dans le monde. A partir des données atmosphériques, des algorithmes de machine learning permettent de prévoir en temps réel les niveaux de pollution.

La startup grenobloise ELICHENS développe des solutions d'analyse et à la prédiction de la qualité de l'air.

La startup française PARTNERING ROBOTICS, a créé le robot DIYA ONE, le premier robot équipé de neurones artificiels qui ambitionne ainsi d'apporter du bien-être au travail en veillant à la qualité des environnements intérieurs en matière d'air, d'énergie, de température et de luminosité. Ce robot dispose de capteurs lui permettant de se déplacer de manière autonome dans les bureaux et de capturer des particules fines.

- **Acteurs utilisant l'IA pour la conservation des ressources naturelles**

La NASA utilise l'apprentissage automatique en se basant sur les données de l'imagerie satellitaire pour comprendre la distribution des volumes de phytoplancton et prédire ses conditions actuelles et futures.

EMAGIN utilise l'IA pour analyser et apprendre à partir des données collectées par les services d'eau via des capteurs. Le système peut prédire la consommation d'eau future et faire des recommandations pour maximiser l'efficacité.

EBIRDS (Cornell Lab of Ornithology) collecte des données des experts sur les espèces rencontrées pour suivre leur population et applique un apprentissage automatique pour prédire les écosystèmes favorables et les schémas de migration.

INATURALIST (California Academy of Sciences) utilise les réseaux de neurones à convolution profonds pour réduire la quantité d'expertise requise pour reconnaître des plantes. Ses algorithmes sont capables de faire une identification d'espèce et de plante avec une erreur inférieure à 20%.

- **Acteurs utilisant l'IA pour l'anticipation des risques**

ORBITAL INSIGHT a clôturé mi-mars 2017 une levée de fonds de 8,7 millions de dollars. La société vend des services de données prédictifs basés sur l'analyse des images satellite et des données collectées à partir de drones. Parmi les services offerts figurent des renseignements commerciaux sur le moment idéal pour effectuer les récoltes, des prévisions de ventes au détail extrapolées en comptant les voitures dans les parcs de stationnement des centres commerciaux et des prévisions de pétrole en observant les niveaux de réservoirs et l'activité des camion-citerne. Ces services sont souvent vendus sous forme d'abonnements.

---

<sup>226</sup> <https://www.usine-digitale.fr/article/veolia-s-allie-a-huawei-pour-rendre-intelligentes-les-poubelles-du-monde-entier.N432022>

<sup>227</sup> <https://fr.blog.plumelabs.com/2017/08/01/une-api-pour-trouver-lair-pur/>

- **Acteurs utilisant l'IA en appui à l'intégration des énergies renouvelables**

La startup ELUM (France) a pour objectif de baisser la facture électrique de ses clients. La startup vient de réaliser avec la société BONIMA-STERI (Maroc), son premier projet qui comprend un système intégré de gestion et de stockage d'énergie électrique et solaire. Il est composé d'un ensemble de panneaux solaires, de batteries et d'un module électronique intelligent permettant de lisser les pics de consommation. C'est cet élément intelligent qui constitue la pièce maîtresse et où réside la valeur ajoutée d'ELUM. Le système dispose d'une intelligence artificielle qui lui permet de choisir la configuration optimale en termes de consommation électrique.

La startup toulousaine SUNIBRAIN, pionnière de « l'énergie digitale », a imaginé un système écologique pour nettoyer et refroidir les panneaux des grandes centrales photovoltaïques. La startup a confié à l'Institut de recherche en informatique de Toulouse, spécialiste des systèmes complexes et auto-adaptatifs, le développement d'une solution d'intelligence artificielle. Le logiciel intègre une multitude d'informations et de données issues du Cloud, comme les prévisions météorologiques à plusieurs jours ou le prix de rachat de l'électricité. Et il devra aussi gérer des paramètres parfois contradictoires tels qu'une température élevée et le besoin d'arrosage, des réserves d'eau réduites et une nécessité d'économie. Grâce à cette solution, SUNIBRAIN assure qu'il est possible d'améliorer les rendements des panneaux photovoltaïques de 6 à 8 %.

## 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>▪ Un secteur Energie et des activités Environnement qui s'appuient déjà fortement sur la collecte et la modélisation de données.</li> <li>▪ Un développement des énergies renouvelables qui va favoriser la recherche d'équilibre entre production intermittente et consommation.</li> <li>▪ Un besoin de gestion durable des ressources environnementales.</li> </ul>
Menaces / risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une faible disponibilité de données environnementales à grande échelle autres que des images (satellites ou de prise de vue) ou météorologiques.</li> </ul>
Technologies clés	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Internet des objets (réseaux de capteurs)</li> </ul>
Digitalisation du secteur (disponibilité des données)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forte pour l'Energie</li> <li>▪ Faible pour l'Environnement</li> </ul>
Propriété des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Privée et publique</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une législation favorisant la collecte à grande échelle de données environnementales.</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>▪ Une contribution aux grands enjeux de transition énergétique : maîtrise des émissions de CO2, insertion des énergies renouvelables, nouveaux modèles de marché (agrégation, effacement, ...).</li> <li>▪ Une meilleure utilisation et conservation des ressources naturelles.</li> <li>▪ Une anticipation des risques environnementaux (pollution, maladie, surconsommation de ressources environnementales). Gestion efficace des réseaux intermittents.</li> </ul>
Besoins à adresser pour favoriser le développement de l'IA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une législation favorisant la collecte à grande échelle de données environnementales.</li> <li>▪ Transposer des innovations IA dans le secteur Energie-Environnement dans d'autres secteurs, pour disposer d'effets d'échelles plus importants et de modèles économiques plus robustes, pour les entreprises qui en sont à l'origine. Par exemple, les usages innovants intégrant l'IA à des systèmes d'information géographique peuvent aussi être utiles pour la sécurité publique ou pour l'agriculture. De même, les usages innovants intégrant l'IA à des systèmes de maintenance prédictive, peuvent aussi intéresser le secteur industriel</li> </ul>

Usages IA repérés sur les territoires (illustrations)<sup>228</sup>

- FLEXGRID (Conseil régional de Provence-Alpes-Côte d'Azur)<sup>229</sup>,
- SMILE (Conseil régional de Bretagne, en lien avec les Pays-de-la-Loire)<sup>230</sup>,
- YOU & GRID (métropole européenne de Lille, en lien avec le Nord-Pas-de-Calais)<sup>231</sup>.
- EDF LAB LES RENARDIÈRES (SEINE-ET-MARNE). Y est reconstitué un éco-quartier sur les technologies de rupture pour les énergies renouvelables et le stockage, en passant par les Smart Grids.

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.

---

<sup>228</sup> Flexgrid, Smile et You&Grid sont trois projets phares du déploiement des réseaux électriques intelligents en France (intégration flexible des énergies renouvelables et des véhicules électriques, optimisation de la consommation énergétique des bâtiments, etc.). Ils ont été sélectionnés en 2016, par l'État, à la suite d'un appel à projet. Ils s'étalent sur 4 ans (2017 et 2020): [https://www.sigtv.fr/FLEXGRID-SMILE-et-YOU-GRID-en-Réseaux-electriques-intelligents-laureats\\_a320.html](https://www.sigtv.fr/FLEXGRID-SMILE-et-YOU-GRID-en-Réseaux-electriques-intelligents-laureats_a320.html).

<sup>229</sup> Flexgrid contraction signifiant "réseau flexible", vise au déploiement de projets de réseaux électriques intelligents en Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur. il ambitionne d'être le plus important projet de réseau électrique intelligent en Europe: <http://www.flexgrid.fr/>.

<sup>230</sup> SMILE (SMart Ideas to Link Energies) vise au déploiement de projets de réseaux électriques intelligents dans les régions Bretagne et Pays de la Loire. Etalé sur 4 ans, il concerne 4 départements (Loire-Atlantique, Vendée, Morbihan, Ille-et-Vilaine) et les îles du Finistère (Ouessant, Sein et Molène) : <https://smile-smartgrids.fr/fr/presentation/les-smart-grids.html>.

<sup>231</sup> You&Grid vise au déploiement de projets de réseaux électriques intelligents dans les Hauts de France : <https://www.enedis.fr/yougrid>

## 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	Moyenne
Ecosystème existant d'acteurs innovants	Faible
Grands acteurs économiques favorisant l'industrialisation	Forte
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	

Pour ce secteur Energie-Environnement, la France dispose de 3 atouts clés, offrant la possibilité d'un scénario de leader sur la double transition énergétique et écologique :

- Des grands groupes leaders mondiaux (EDF, ENGIE, VEOLIA, SCHNEIDER ELECTRIC, LEGRAND,...) et de grands pôles de recherche (CEA par exemple).
- Une position de premier plan en Europe sur les projets de digitalisation des infrastructures énergétiques et urbaines : réseaux électriques intelligents (SmartGrids), compteurs intelligents d'eau, villes intelligentes (Smart Cities).
- Un écosystème dynamique de PME et de start-ups.

L'intelligence artificielle est clé pour ces acteurs, à la fois pour leurs processus de digitalisation en propre (meilleure anticipation des consommations, maintenance prédictive, meilleure anticipation des prévisions climatiques et des évolutions de la biodiversité), mais aussi pour assurer la transition énergétique et écologique.

La mise en œuvre d'un scénario de leader suppose pour ces acteurs appuyés par les puissances publiques, de répondre aux enjeux suivants :

- Identifier et remonter automatiquement via des réseaux de communication, l'ensemble des données dont ils disposent aujourd'hui.
- Mailler en réseaux de capteurs l'ensemble de leurs infrastructures et leur environnement proche.
- Mieux collecter et partager ces données entre acteurs producteurs et consommateurs de la filière.
- Inventer les modèles économiques post transition énergétique et écologique.

## Synthèse du chapitre

Le secteur de la santé est aujourd'hui l'un des secteurs les plus dynamiques en intelligence artificielle que ce soit en médecine préventive ou en diagnostic médical. Cette dynamique s'explique par un accès à des volumes importants de données. La **médecine préventive** bénéficie de données transmises par un nombre croissant d'objets connectés (mouvement, rythme cardiaque ou poids) et par l'effort de R&D majeur des GAFAs (Apple et GOOGLE en tête) dans ce domaine. L'IA permet de fournir des conseils personnalisés de qualité de vie ou d'anticiper un épisode chronique (BE.CARE). **L'aide au diagnostic et au soin** est le second domaine de recherche majeur en IA notamment grâce aux données déjà majoritairement digitalisées (imagerie, électrocardiogramme ou publications médicale). L'apprentissage sur des données d'imagerie ou des électrocardiogrammes fournit déjà pour certaines pathologies comme l'arythmie cardiaque ou la mammographie, un niveau de performance supérieur à 98% soit celui des meilleurs spécialistes humains. L'apprentissage sur des publications médicales fournit des résultats plus aléatoires pour le moment dus par exemple à des biais de généralisation des études cliniques ou à des règles de médecine qui s'appliquent différemment d'un pays à un autre. Dans l'aide aux soins, l'IA est utilisée pour réduire les risques en contrôlant automatiquement via un agent conversationnel l'état d'un patient à la place d'une infirmière ou via une analyse d'image, les gestes d'un chirurgien pendant une opération. Dans le domaine du contrôle des risques, les résultats sont particulièrement prometteurs. L'IA est également utilisée **en recherche clinique** pour des études épidémiologiques ou pour accélérer la mise au point de nouvelles molécules.

Pour développer les usages de l'IA en santé, l'accès à des données en volume et en qualité est une clé de performance majeure. En France, la santé est le secteur où les données disponibles sont à la fois très nombreuses par rapport à d'autres pays et en même temps le plus difficilement accessibles pour les innovateurs du fait de la législation en vigueur. C'est le frein majeur en IA aujourd'hui qui conduit les personnes souhaitant innover à se tourner vers l'étranger.

Le secteur des transports et de la logistique devrait pouvoir relever des défis majeurs grâce à l'intelligence artificielle : conduite autonome, innovation de rupture dans l'optimisation de la mobilité et de la logistique. Le développement du **véhicule autonome** fait l'objet d'une compétition mondiale entre les constructeurs automobiles traditionnels et les géants technologiques (GOOGLE, TESLA et APPLE en tête). Plus de 80 Mds de dollars ont déjà été investis depuis quatre ans<sup>232</sup>, soit plus de 10% des dépenses mondiales annuelles de R&D. La France est particulièrement en pointe dans le domaine des véhicules de transport en commun (NAVYA, EASYMILE) avec des offres déjà commercialisées. Les grands industriels du transport comme RENAULT ont également une dynamique d'innovation importante. Dans le domaine de la logistique, les bénéfices de l'intelligence artificielle seront beaucoup plus difficiles à capter à court terme. Une chaîne logistique complète entre 2 points est souvent le fait de plusieurs acteurs avec des ruptures de système d'information et donc d'accès aux données tout au long de la chaîne. De ce fait, il est déjà pratiquement impossible d'optimiser une chaîne logistique multi-acteurs et donc d'utiliser une intelligence artificielle pour le faire. Le partage de données entre acteurs logistiques est une condition préalable au développement de l'intelligence artificielle dans ce secteur.

Pour le secteur industriel, bien que l'évolution des modèles économiques induise une remontée de la chaîne de valeur du produit vers des services, une activité manufacturière repose toujours sur des usines et des procédés. Même si l'IOT est en plein développement, la digitalisation de ce secteur s'effectue lentement. Le potentiel de gisement d'applications IA est très variable selon le type d'industrie, à la fois pour des aspects culturels, mais aussi en raison des fortes contraintes de fiabilité, sécurité et sûreté. Ces contraintes se traduisent par des réglementations strictes limitant les approches probabilistes de type « boîte noire » sur des procédés critiques.

Pour autant, la donnée machine est peut-être générée rapidement en volume important ce qui fait de l'industrie un secteur très prometteur pour l'intelligence artificielle. Des applications IA (exemples : contrôle qualité, **maintenance prédictive**) existent aujourd'hui déjà et sont appelées à se développer. La mutation actuelle vers l'industrie 4.0 crée de nouveaux défis à relever : nouvelles architectures industrielles, nouveaux systèmes de monitoring, nouvelles approches de régulation industrielle, intégration plus forte avec l'amont et l'aval, nouvelles exigences environnementales ou de cyber sécurité.

<sup>232</sup> Brookings Institute 2017

Les secteurs de l'énergie et de l'environnement constituent dès à présent des lieux d'application à fort impact de l'IA. C'est le cas par exemple des apports de l'IA pour : le pilotage des **réseaux électriques intelligents**, les stratégies d'efficacité énergétique ou encore l'anticipation des chocs météorologiques ou de celui du changement climatique.

La France recèle de nombreux atouts dans ces domaines : outre la présence sur le sol national de grands groupes leaders mondiaux (ex : EDF, ENGIE, LEGRAND, VEOLIA,...), ainsi que de PME (ex : SOCOMEC) et de startups innovantes (exemples : DC BRAIN, ENERGENCY sur toute la chaîne de valeur, le pays compte aussi de grands centres de recherche publics (exemple : CEA). Ces atouts se sont traduits pour l'heure dans la mise en œuvre de nombreux projets et démonstrateurs intégrant des composantes d'IA. Cette base solide pourrait constituer le socle d'une ambition nationale plus forte et plus ciblée de l'IA pour l'énergie et l'environnement, dans le cadre de stratégies partenariales public-privé à amplifier par la dimension européenne.

# IA, POSITIONNEMENT DE LA FRANCE ET STRATÉGIES TERRITORIALES

---

## Préambule : quelques limites préalables

L'IA est un sujet émergent. Analyser ses impacts sur les territoires, revient à analyser dans les années 90, l'impact spatial de la diffusion de l'internet mobile. Les acteurs interrogés n'ont pas encore de vision des impacts sur les territoires de la diffusion de l'IA ou sur l'attractivité d'entreprises en IA. Vouloir analyser de manière très spatialisée les effets de l'IA nécessiterait des études précises et localisées.

En conséquence, pour étudier le lien entre IA et territoires, l'approche retenue permet d'illustrer quelques expériences territoriales emblématiques à l'échelle mondiale et de faire le parallèle avec le territoire national. La méthode utilisée est la suivante :

- Etude des territoires les plus compétitifs à l'échelle mondiale sur les sociétés innovantes et les talents en IA.
- Illustration de l'attractivité de talents et d'investissements de ces territoires.
- Identification des usages innovants d'IA pour comprendre quelles actions locales peuvent être entreprises.
- Etablissement des principaux constats et des recommandations associées.

Pour ce faire, la réflexion est articulée en deux parties :

- Une présentation des territoires les plus compétitifs à l'échelle mondiale, du point de vue de l'attractivité de startups IA et une analyse du positionnement relatif de la France par rapport à ceux-ci.
- Une revue de quelques usages innovants à l'échelle des territoires et une proposition de pistes d'actions.

## Attractivité dans le monde et positionnement de la France

Le nombre de startups IA dans un pays est un bon critère témoin de la dynamique d'innovation et d'attractivité économique. Cet indicateur est complexe à bâtir car la plupart des bases de données sont auto-déclaratives (ex : CRUNCHBASE, ANGELLIST ou FRANCEISAI par exemple) ou fournies par les capitaux risques et ne concernent que les levées de fond. Pour pallier ces insuffisances, dans une étude récente<sup>233</sup>, le cabinet de conseil en stratégie ROLAND BERGER s'est associé à un investisseur en capital risque spécialisé exclusivement sur la thématique IA, pour :

- Collecter des données de startups utilisant des technologies IA.
- Retenir uniquement celles réellement utilisatrices de technologies IA.
- Ventiler géographiquement ces données.

Le résultat est le suivant : il y a **3 645 startups** appartenant au domaine IA dans le monde. Les 5 pays qui réunissent le plus grand nombre de startups IA sont : Les États-Unis (40% du total), la Chine (11%), Israël (10%), le Royaume-Uni (7%) et le Canada (3,7%). Avec **109 startups**, la France est au septième rang mondial (3,1%) proche du Canada, du Japon et de l'Allemagne.

---

<sup>233</sup> Artificial Intelligence – A strategy for European startups, ROLAND BERGER, ASGARD, 2018

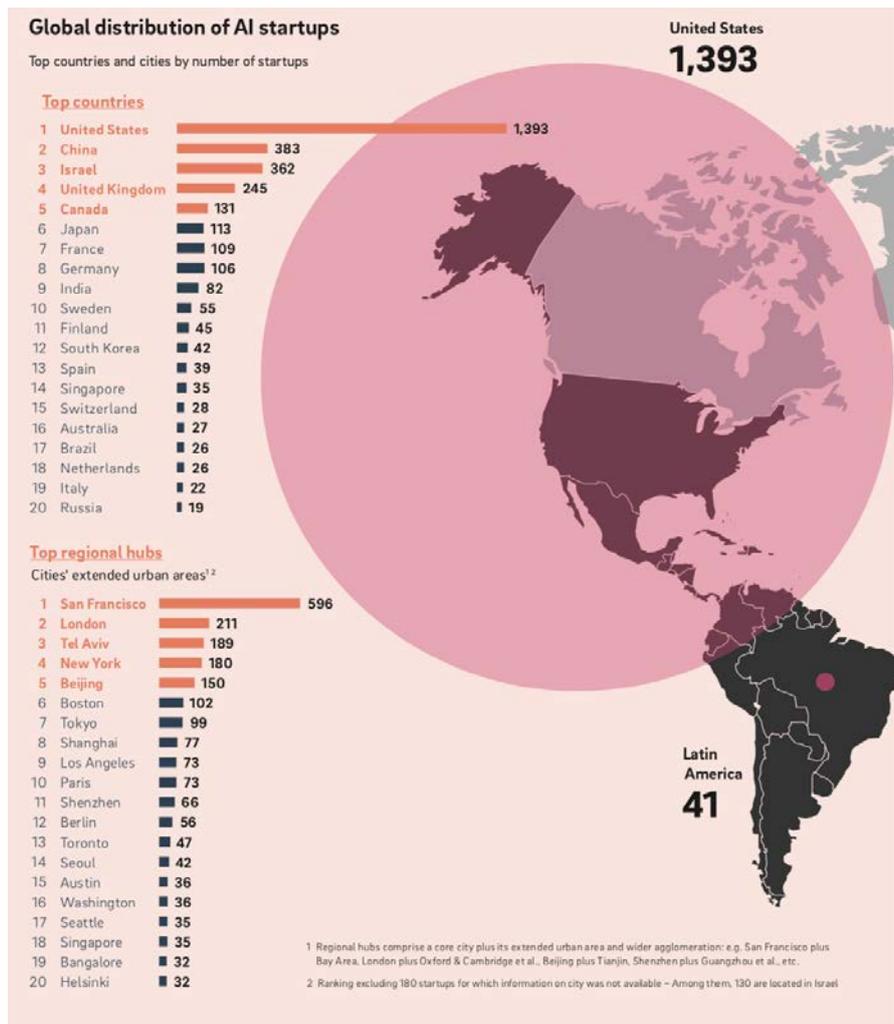


Figure 159 - Distribution mondiale des startups IA<sup>234</sup>

## Une nette domination américaine

Cette suprématie américaine se retrouve au niveau de la concentration de startups dans 2 villes américaines : San Francisco, premier pôle IA au monde (17%) et New-York, quatrième pôle (5%), c'est-à-dire près de 6 fois et 2 fois plus que la France.

Les usages IA les plus importants sont développés par des entreprises à San Francisco et dans la Silicon Valley (GOOGLE, FACEBOOK, TWITTER, LINKEDIN, etc.) et maintenant dans la région de New-York également du fait des applications dans la publicité, le marketing ou les FINTECH par exemple.

Les universités produisant le plus grand nombre d'entrepreneurs dans le numérique y sont aussi (Stanford, Berkeley). Les montants investis par les fonds d'investissements et aussi les moyens dont disposent les universités sont sans commune mesure à l'échelle mondiale. Certaines universités américaines<sup>235</sup> comme le Massachusetts Institute of Technology (MIT), Carnegie Mellon University sont considérées comme les meilleures du monde en IA. Ces universités, qui entretiennent de fortes relations avec le secteur privé renforcent leur pôle d'expertise IA. Le MIT a annoncé le 15 octobre 2018, un investissement d'1 Md de dollars dans le lancement de son College of Computing<sup>236</sup>.

<sup>234</sup> Asgard Capital Verwaltung GmbH since 2014

<sup>235</sup> <https://www.timeshighereducation.com/data-bites/which-countries-and-universities-are-leading-ai-research>

<sup>236</sup> <http://news.mit.edu/2018/mit-resapes-itself-stephen-schwarzman-college-of-computing-1015>

La recherche en IA est également très active dans les agences de l'administration fédérale de l'énergie et de la défense avec la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) qui a initié le programme AI NEXT<sup>237</sup> de 2 Mds de dollars ou la NASA<sup>238</sup> qui dispose d'entités dans les principaux pôles technologiques du pays dont la Silicon Valley.

Les États-Unis attirent les meilleurs talents de la planète avec l'attractivité de leurs universités et des salaires dans les entreprises IA, les plus élevés au monde. Selon Bloomberg, New York affiche le pourcentage le plus élevé d'offres d'emploi pour une seule région métropolitaine et la Silicon Valley représente 20% des offres d'emploi nationales<sup>239</sup>. Les meilleurs talents IA au niveau mondial sont attirés par un « package » de rémunération<sup>240</sup> qui peut atteindre 6 chiffres (300 000 à 500 000 de dollars).

## La Chine, second pôle mondial : une stratégie affirmée à l'échelle des territoires

La domination américaine est challengée par l'émergence de la Chine qui a pour ambition d'être d'ici 2030 le premier centre mondial d'innovation en IA. Le pays dispose d'atouts pour dépasser les États-Unis : des financements publics massifs, la population la plus importante au monde et une communauté de chercheurs de plus en plus performante.

De plus, la Chine protège son marché intérieur en limitant sur son territoire les services des GAFAs, ce qui a permis un développement de près de 383 startups IA dont une partie est à même d'assurer la compétition au niveau mondial comme CLOUDWALK spécialiste de la reconnaissance faciale, CAMBRICON, SENSETIME<sup>241</sup>, UBTECH ROBOTICS ou DJI.

Conformément à la vision 2030 de l'État Central, les gouvernements de 18 provinces et municipalités ont publié leurs stratégies pour promouvoir les écosystèmes IA au niveau local<sup>242</sup>. Le gouvernement de Tianjin prévoit de créer un fonds de 16 Mds de dollars pour soutenir le développement de l'IA<sup>243</sup>.

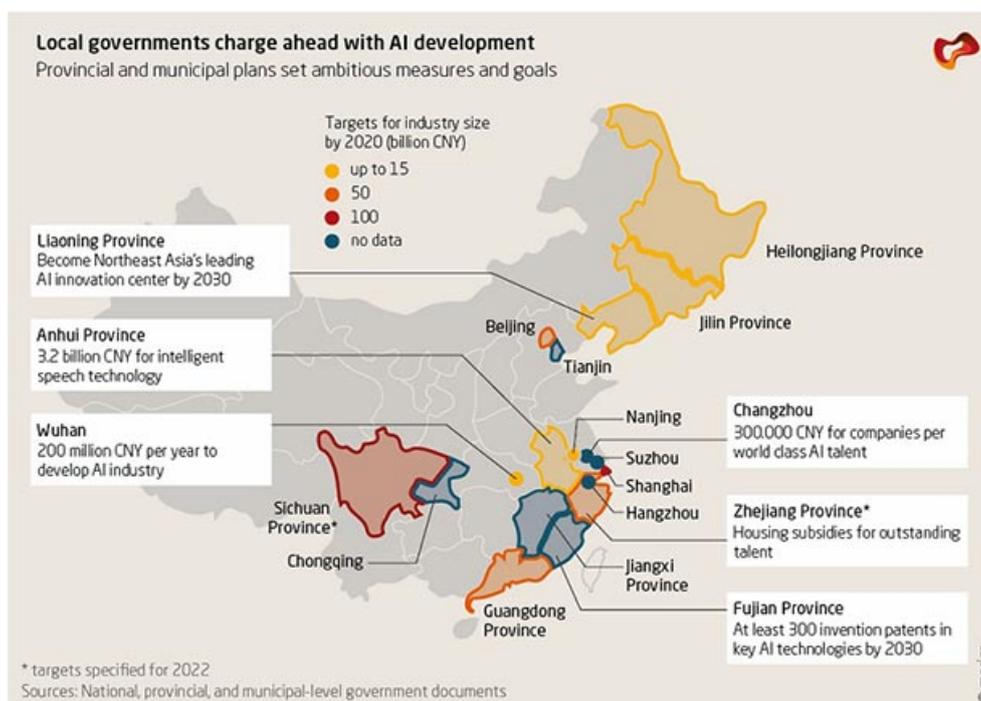


Figure 160 - Les gouvernements locaux prennent de l'avance sur le développement d'IA<sup>244</sup>

<sup>237</sup> <https://www.darpa.mil/work-with-us/ai-next-campaign>

<sup>238</sup> <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/nasa-explores-artificial-intelligence-for-space-communications>

<sup>239</sup> <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-08-23/new-york-is-the-capital-of-a-booming-artificial-intelligence-industry>

<sup>240</sup> <https://www.nytimes.com/2017/10/22/technology/artificial-intelligence-experts-salaries.html>

<sup>241</sup> <https://www.sensetime.com/>

<sup>242</sup> <https://www.merics.org/cn/node/6851>

<sup>243</sup> <https://www.reuters.com/article/us-china-ai-tianjin/chinas-city-of-tianjin-to-set-up-16-billion-artificial-intelligence-fund-idUSKCN11I0DD>

<sup>244</sup> MERICS (Mercator Institute for China Studies)

ALIBABA, a annoncé un investissement de 15 Mds de dollars sur trois ans pour déployer notamment DAMO Academy<sup>245</sup> un programme de R&D en intelligence artificielle dans deux grandes villes chinoises (Beijing, Hangzhou), mais aussi dans les principaux hubs IA mondiaux. Néanmoins ALIBABA annonce aussi qu'une partie significative de cet investissement est destiné à des rachats de startups.

Plusieurs pôles IA émergent. Beijing abrite 43 % de toutes les startups IA chinoises. Elle bénéficie d'institutions de recherche de renom comme les universités de TSINGHUA ou BEIHANG. GOOGLE a récemment ouvert un centre d'IA à Beijing. Shenzhen accueille 20 % des startups IA chinoises. Elle bénéficie de grandes entreprises comme TENCENT ou HUAWEI par exemple.

### **Tel Aviv, troisième pôle mondial, la moitié des startups israéliennes**

Le pays et ses principales villes dont Tel Aviv et les grandes universités comme le TECHNION sont très connectées aux États-Unis. Créée en 2015, LEMONADE, startup israélienne à cheval entre Tel Aviv et New York dans l'Insurtech vaut à présent près de 500 millions de dollars. L'IA est au cœur de ses services.

L'écosystème innovant israélien est dynamisé par la présence de plus de 300 centres de R&D de multinationales, de liens étroits entre l'armée (avec de nombreux usages dans l'analyse de données et la sécurité) et le monde académique et d'une forte culture entrepreneuriale. Israël a pu prendre une avance considérable sur le marché de l'IA. Israël compte 362 startups IA (52% à Tel-Aviv), soit 10,4% du total mondial, un chiffre très proche de celui de la Chine (11%).

Parmi les startups montantes, on peut citer MOBILEYE, rachetée par Intel en mars 2017 pour 15,3 Mds de dollars, qui fournit le meilleur système de détection de piétons pour le véhicule autonome, présent chez pratiquement tous les constructeurs.

### **Le Canada, deux pôles de rang mondial, Montréal et Toronto**

La Canada a contribué au développement de l'IA dès les années 1990 et se positionne comme un acteur mondial dans la recherche académique. La stratégie publique est très soutenue par le secteur privé. Plusieurs géants du numérique se sont récemment implantés dans les territoires emblématiques en IA.

Montréal possède un écosystème dynamique avec l'Institut de la valorisation des données (IVADO<sup>246</sup>) avec 4 centres de recherches de renommée internationale dont l'Institut d'apprentissage des algorithmes de Montréal (MILA) où officie Yoshua BENGIO, également cofondateur de la société ELEMENT.AI. Cette entreprise a effectué en 2017 une levée de fonds record de 93 millions d'euros.

La région de Toronto, dispose également d'un écosystème IA très dynamique, du fait de la renommée de ses chercheurs (Geoffrey HINTON par exemple, Université de Toronto et GOOGLE BRAIN) et de la présence de l'Institut de l'Intelligence Artificielle, le VECTOR INSTITUTE.<sup>247</sup> UBER a annoncé en septembre 2018 un plan d'investissement de 150 millions de dollars<sup>248</sup> dans son centre de recherche de Toronto spécialisé dans le développement du véhicule autonome. NVIDIA a annoncé son intention d'ouvrir un centre de recherche à Toronto sur l'intelligence artificielle pour explorer de nouvelles approches de l'apprentissage profond<sup>249</sup>.

### **Londres, plus que Paris et Berlin réunies**

Londres possède le nombre le plus important de startups européennes et bénéficie de l'effet d'aubaine de la présence d'un leader mondial, DEEPMIND, racheté par Google en 2014. La société dispose d'un effectif en IA unique au monde et contribue à créer des effets d'entraînement (développement de startups dans son sillage). Londres compte plus de 200 startups IA, plus que les villes de Paris (73), Berlin (56) et Helsinki (32) réunies.

### **La France et Paris, premier rang européen continental pour l'attractivité en IA**

Selon le rapport ROLAND BERGER-ASGARD, la France est la première nation continentale européenne et Paris la première ville européenne, en termes d'attractivité des startups IA. La France arrive avant l'Allemagne (huitième) et Paris devant Berlin (douzième).

---

<sup>245</sup> <https://damo.alibaba.com/about/>

<sup>246</sup> <https://ivado.ca/chercheurs/centres/>

<sup>247</sup> <https://vectorinstitute.ai/>

<sup>248</sup> <https://www.usine-digitale.fr/article/uber-investit-150-millions-de-dollars-a-toronto-et-se-reve-en-plate-forme-multimodales.N741614>

<sup>249</sup> <https://blogs.nvidia.com/blog/2018/06/13/nvidia-ai-research-lab-toronto/>

Paris localise les 2 tiers des startups (73 sur 109). C'est aussi à Paris que sont localisés les centres de R&D en IA de FACEBOOK ou GOOGLE. En mars 2018, le CNRS, L'INRIA, l'Université PSL, AMAZON, CRITEO, FACEBOOK, FAURECIA, GOOGLE, MICROSOFT, NAVER LABS, NOKIA BELL LABS, PSA, SUEZ et VALEO, se sont associés pour créer l'Institut PRAIRIE pour PaRis Artificial Intelligence Research InstitutE<sup>250</sup>. Plus largement, 45% des laboratoires français publics et privés, disposant de compétences IA sont localisés en Ile de France.

Cette dynamique autour de l'IA en Ile de France, se traduit par une augmentation des demandes de profils qualifiés. Selon l'Association pour l'emploi des cadres (APEC), le nombre d'offres d'emploi pour des projets d'intelligence artificielle a doublé en 2017<sup>251</sup> avec 2 398 postes dont 63% des entreprises en Ile-de-France. L'annonce récente faite par la Région Ile de France du lancement du Plan « IA 2021 » devrait renforcer cette polarisation autour de Paris et de sa région<sup>252</sup>. Cet état de fait n'est pas anormal. Car même à l'échelle de très grands pays comme les États-Unis ou la Chine, les principaux pôles d'attractivité de l'innovation IA sont limités (7 aux États-Unis et 2 en Chine).

Une ambition atteignable serait d'arriver au niveau du Canada, voire de dépasser celui-ci. Ce pays possède 2 villes dans le peloton de tête mondial.

Dans les régions françaises, plusieurs grandes villes commencent à s'organiser sur la thématique IA (Lyon, Lille, Marseille, Toulouse...). Avec l'aide de la puissance publique pour amplifier les efforts et dans le cadre d'une stratégie bien ciblée, Lyon pourrait rejoindre le peloton de tête mondial.

Le fait d'apparaître dans le classement de tête de la localisation de l'innovation IA, représenté notamment par le volume de startups spécialisées sur la thématique a pour vertu d'envoyer un signal aux différents acteurs (investissements, talents) pour contribuer à les attirer.

---

<sup>250</sup> [http://www2.cnrs.fr/sites/communique/fichier/cp\\_prairie\\_2018\\_03\\_30vf.pdf](http://www2.cnrs.fr/sites/communique/fichier/cp_prairie_2018_03_30vf.pdf)

<sup>251</sup> [https://presse.apec.fr/files/live/mounts/media/fichiers/Note\\_Apec\\_juin%202018\\_Intelligence\\_artificielle%20v11.pdf](https://presse.apec.fr/files/live/mounts/media/fichiers/Note_Apec_juin%202018_Intelligence_artificielle%20v11.pdf)

<sup>252</sup> <https://www.iledefrance.fr/presse/la-region-ile-de-france-presente-plan-regional-l-intelligence-artificielle-ia-2021-les>

# Usages innovants d'IA à l'échelle des territoires

Le déploiement d'usages innovants IA à l'échelle des territoires a plusieurs avantages :

- Inventer de nouvelles réponses à des défis locaux nouveaux (ex : complexité accrue de la congestion urbaine, transition énergétique et environnementale, lutte contre la criminalité, gestion de crise, etc.). Ces nouvelles réponses ont un impact positif sur la qualité de vie et contribuent à l'attractivité du territoire.
- Attirer de grandes firmes technologiques sur le territoire et développer un leadership sur une thématique qui peut attirer des startups pour développer des services complémentaires.

Les illustrations ci-dessous sont complémentaires à celles mises en relief dans la section « Usages IA repérés sur les territoires » présente dans chacun des tableaux de synthèse « Opportunités pour l'IA dans ce secteur », que l'on retrouve à la fin de chacune des 4 analyses sectorielle approfondies.

## Quelques illustrations à l'international

**Smart Cities.** GOOGLE a lancé une initiative structurante sur la thématique « smart cities » en signant avec la ville de Toronto un projet de construction d'un nouveau quartier<sup>253</sup> sur une friche portuaire de 5 hectares. Le contrat, confié à SIDEWALK LABS sera opérationnel à horizon 2022 et pourrait créer jusqu'à 5 500 emplois. Ce nouveau quartier écologique abritera le siège social canadien de GOOGLE et utilisera massivement la collecte des données pour des services autour de la mobilité urbaine ou la gestion intelligente des bâtiments et de l'énergie.

**Optimisation de l'intervention des secours médicaux.** En Chine, dans la ville de Hangzhou, ALIBABA expérimente un dispositif IA<sup>254</sup> pour résoudre les problèmes qui entravent l'intervention rapide des ambulances comme les embouteillages, les longues files d'attente de patients et le manque de médecins.

**Assurer une prise en charge optimale de la santé des seniors.** Au Japon, l'IA et la robotique sont au cœur des réflexions de la ville de Yokohama, par exemple, pour répondre aux besoins spécifiques des seniors qui représenteront 30% de la population de la ville en 2025. Déjà de grands groupes comme FUJITSU<sup>255</sup> ont développé une solution à base de capteurs multiples et d'IA pour rendre les robots soignants plus adaptatifs et faciliter le travail du personnel soignant.

**Accroître la sécurité urbaine.** THALES a déployé sa solution de sécurité SAFE CITY<sup>256</sup> à Mexico basée sur le déploiement de 15 000 caméras (en plus des 7 000 déjà existantes) et de technologies IA. Le temps moyen d'intervention est passé de 12 à 2 minutes. En 5 ans, la criminalité a été réduite de 56% et les primes d'assurance de 30%, ce qui a considérablement renforcé l'attractivité économique de Mexico<sup>257</sup>.

**Fluidifier le trafic routier.** La ville de Pittsburgh aux États-Unis utilise la solution SURTRAC<sup>258</sup> pour optimiser de 25% le temps de déplacement des véhicules grâce à la gestion automatisée des signaux et feux tricolores. De même, la ville de Milton Keynes au Royaume-Uni collabore avec VIVACITY LABS<sup>259</sup> à la mise en œuvre d'une solution d'analyse d'image des caméras pour gérer les priorités entre les différents usagers et réduire les embouteillages.

**Faciliter la mobilité urbaine grâce aux voitures autonomes.** San Francisco a instauré en 2014 un cadre réglementaire qui permet aujourd'hui à plus de 50 sociétés (AURARA, ZOOX, TESLA, GENERAL MOTORS, TOYOTA, VOLKSWAGEN GOOGLE, APPLE, UBER...) d'entamer des essais de conduite de voitures autonomes<sup>260</sup>. Les besoins économiques et les fortes contraintes géographiques ont conduit Singapour à élaborer le Singapore Autonomous Vehicle Initiative (SAVI)<sup>261</sup> pour pouvoir sécuriser l'introduction des véhicules autonomes.

<sup>253</sup> [https://www.itespresso.fr/smart-cities-google-toronto-187066.html?inf\\_by=5bba5cfe671db8fb278b4e75](https://www.itespresso.fr/smart-cities-google-toronto-187066.html?inf_by=5bba5cfe671db8fb278b4e75)

<sup>254</sup> <http://saudigazette.com.sa/article/537852>

<sup>255</sup> <http://www.fujitsu.com/sg/about/resources/news/press-releases/2017/fcal-20172103.html>

<sup>256</sup> <https://www.thalesgroup.com/en/activities/security/city/urban-security>

<sup>257</sup> <https://www.journaldunet.com/economie/services/1192572-thales-place-la-securite-connectee-smart-city/>

<sup>258</sup> <https://www.smartcitiesdive.com/news/this-ai-traffic-system-in-pittsburgh-has-reduced-travel-time-by-25/447494/>

<sup>259</sup> <https://vivacitylabs.com/>

<sup>260</sup> [https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/02/28/la-californie-ouvre-la-voie-aux-taxis-autonomes\\_5263565\\_3234.html](https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/02/28/la-californie-ouvre-la-voie-aux-taxis-autonomes_5263565_3234.html)

<sup>261</sup> <https://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/roads-and-motoring/managing-traffic-and-congestion/intelligent-transport-systems/savi.html>

## Quelques illustrations en France

**Développer la prévention santé.** AIRPARIF, l'organisme de mesure de la qualité de l'air en Ile de France a développé l'application grand public ITINER'AIR 262 qui informe en temps réel des niveaux de pollution, permettant ainsi à chacun de choisir l'itinéraire le moins exposé.

**Encourager le transport multimodal avec un calculateur prédictif pour les usagers.** Les applications telles que CITYMAPPER, OPTYMOD'LYON263 ou MOOVIT permettent le calcul en temps réel du meilleur itinéraire, selon différents modes de transport. WAZE l'application de navigation automobile a lancé en France, Connected Citizens, un programme d'échange de données permettant d'avoir une vision exhaustive du trafic. WAZE fournit à plus de trente partenaires (villes, entreprises) des données sur les accidents et les ralentissements signalés par les Wazers. En échange, ces derniers communiquent sur les routes fermées, les accidents, les travaux de voiries...

**Optimiser la mobilité urbaine.** La start-up girondine QUCIT a développé des applications prédictives permettant de prédire les places de stationnement disponibles en parking ou en voirie. QUCIT a aussi développé un outil de mesure d'impact sur le ressenti et la perception des usagers (confort, le stress, etc.) sur les équipements urbains.

**Optimiser les services hospitaliers.** Les Hospices civils de Lyon ont lancé un projet avec MICROSOFT, comportant différents objectifs auxquels contribueront des technologies d'IA : aide au diagnostic, simplification du travail des soignants, médecine prédictive<sup>264</sup>.

---

<sup>262</sup> <http://www.airparif.asso.fr/actualite/detail/id/175>

<sup>263</sup> <https://www.cityway.fr/realisation/optymodlyon-calculateur-multimodal/>

<sup>264</sup> <https://www.ladepeche.fr/article/2018/05/30/2807871-les-hopitaux-de-lyon-testent-l-intelligence-artificielle.html>

# Formations et recherche en intelligence artificielle en France

## Données générales

D'après les données collectées par FRANCEISAI<sup>265</sup>, la France compte : 68 laboratoires de R&D et plus de 13 250 chercheurs travaillant sur des problématiques IA ou connexes.

La carte ci-dessous illustre la présence de ces acteurs publics et privés sur le territoire national :

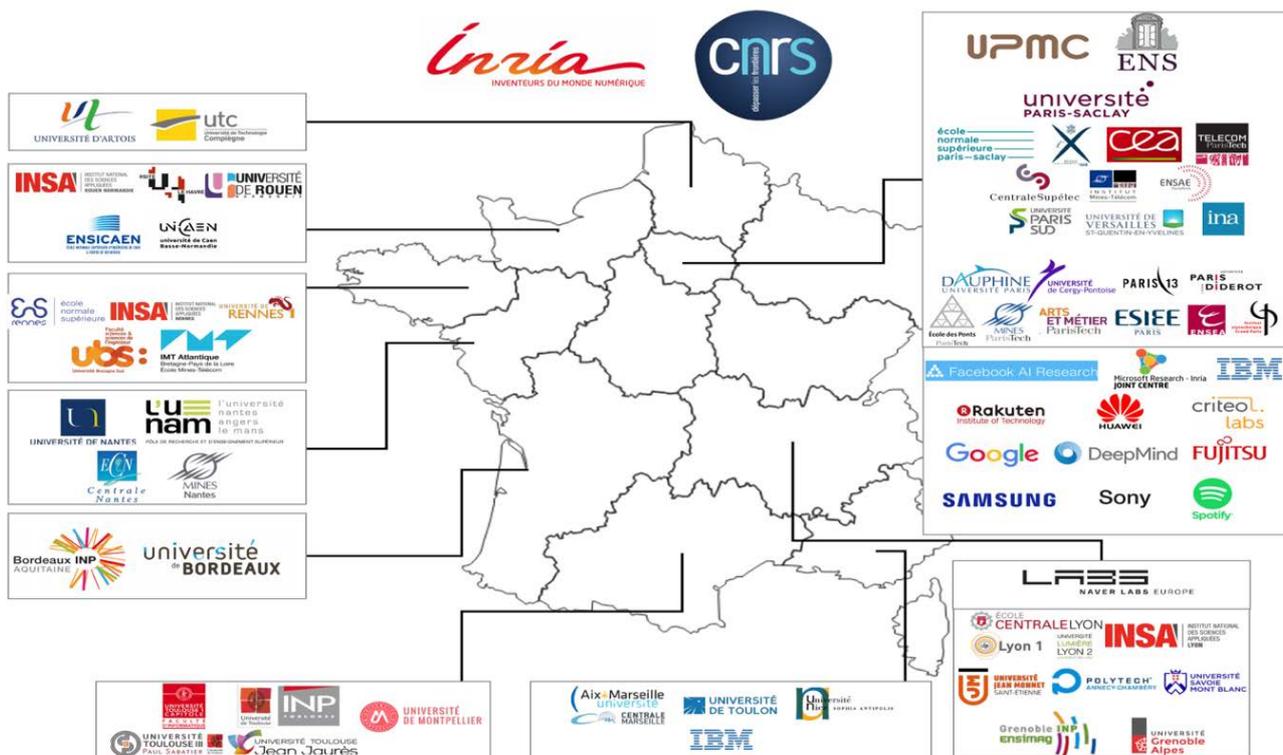


Figure 161 - principaux acteurs de la recherche IA en France

Une analyse plus poussée des données recueillies a été menée conjointement par LEJOURNALDUNET et FRANCEISAI. L'essentiel (86%) de ces 68 centres de recherche correspond à des structures publiques qui ne sont pas dédiées à l'IA. Elles ont des spécialités multiples (mathématiques, informatique, physique ...) au croisement de thématiques IA.

Seulement 9 centres de recherche sont privés dont seulement 3 français (CRITEO, MICHELIN et ORANGE). Les autres sont issues d'entreprises américaines (FACEBOOK, GOOGLE, MICROSOFT, XEROS,...) ou asiatiques (SONY ou HUAWEI) par exemple.

Comme l'illustre le tableau ci-dessous, près de la moitié (43%) des 68 centres de recherche sont situés en Ile de France, principalement à Paris (13 sites) et sur le plateau de Saclay (8 sites)<sup>266</sup>. La distribution des centres de recherche sur le reste du territoire est très hétérogène. Les principaux lieux de concentration en dehors de Paris sont localisés autour de grandes métropoles (Lille, Strasbourg, Rennes, Toulouse, Marseille et Lyon).

<sup>265</sup> <https://franceisai.com/research>

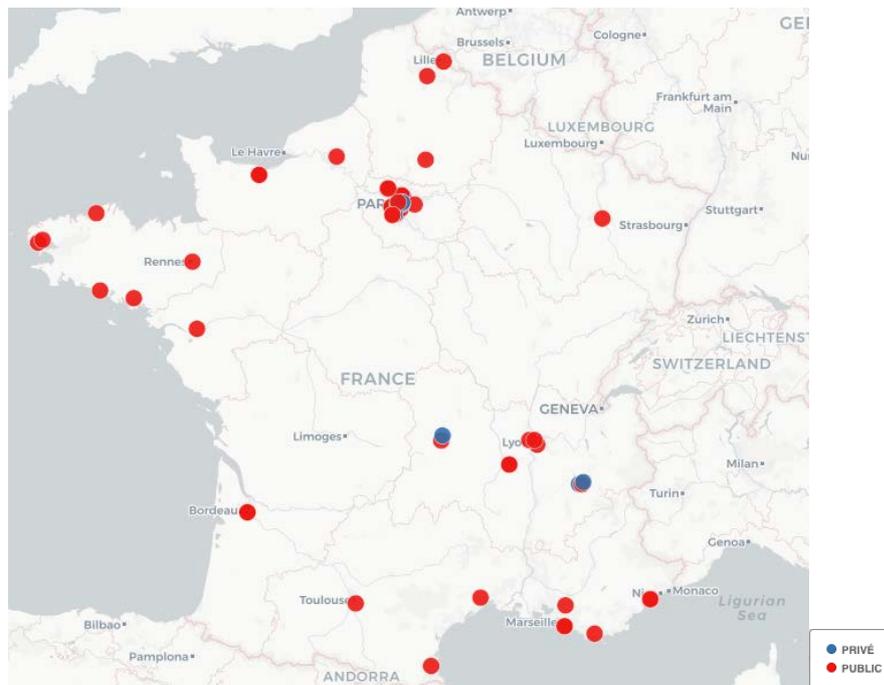


Figure 162 - Polarisation de la recherche IA en France

## Point de vue des acteurs rencontrés dans le cadre de l'étude

Les 50 interlocuteurs rencontrés dans cette étude collaborent majoritairement avec les 10 institutions suivantes :

- 6 grandes écoles : ENS ULM, ENS Cachan, Ecole Polytechnique, Telecom ParisTech, Mines ParisTech, Ecole Centrale de Paris.
- 2 universités : Pierre et Marie-Curie, Dauphine.
- 2 instituts de recherche nationaux à vocation mondiale : INRIA et CEA.

## Activités de recherche au sein de six grandes écoles citées lors des entretiens

Voici quelques activités de recherche phares de ces institutions, autour de l'IA, sont introduites ci-dessous.

Instituts	Exemples de centres de recherche intégrant de l'IA	Quelques initiatives significatives autour de l'IA
<b>ENS ULM</b>	<b>SIERRA</b> : Laboratoire de recherche en machine learning (conjoint ULM, INRIA, CNRS). L'équipe traite notamment les sujets suivants : apprentissage supervisé, apprentissage non supervisé, optimisation, ...	<p>L'école a inauguré fin 2016, une nouvelle Chaire « <i>Modèles et Sciences des Données</i> » en partenariat avec la Fondation CFM pour la Recherche.</p> <p>Il s'agit d'une chaire pluridisciplinaire fondée sur la collaboration des départements de Biologie, Économie, Informatique, Géophysique, Mathématiques, Physique, Sciences Cognitives ainsi que plusieurs départements de Sciences Humaines et Sociales.</p> <p>Le Master M1 de Normale Sup Ulm dédié à l'informatique, comprend un module machine learning qui introduit au M2 de l'ENS CACHAN, le Master MVA.</p>
<b>ENS CACHAN</b>	<p><b>Centre de mathématiques et de leurs applications (CMLA)</b>. Le CMLA, unité mixte de recherche, comprend des équipes pluridisciplinaires travaillant sur des données réelles et des cas d'usage issus des sciences et de l'industrie.</p> <p>Parmi ses axes de recherche, on retrouve le thème « Apprentissage statistique et données massives » (scoring, ranking, inférence, prédiction, autres méthodes de machine learning et applications sectorielles)</p>	<p>Créé en 1996, le Master MVA (Mathématiques-Vision-Apprentissage) est l'un des plus demandés et l'un des plus sélectifs en France. Un tiers des étudiants de l'Ecole Polytechnique suit cette formation<sup>267</sup>.</p>
<b>ECOLE POLYTECHNIQUE</b>	<p><b>Centre de mathématiques appliquées (CMAP)</b>. Au sein du CMAP, l'équipe de statistique apprentissage et simulation image travaille, entre autres, autour du traitement numérique des données (data science, apprentissage) ou des modèles aléatoires (simulation, probabilités numériques)</p>	<p>Début 2018, l'Ecole Polytechnique a créé, en association avec l'INRIA, l'ENSTA PARISTECH et TELECOM PARISTECH, un « Graduate degree » de niveau master associant intelligence artificielle et traitement des informations visuelles (Visual Computing)</p> <p>En mai 2018, ENEDIS a annoncé s'associer pour contribuer au financement et à l'alimentation en données de cette formation<sup>268</sup>.</p> <p>L'École héberge le centre d'excellence d'intelligence artificielle de FUJITSU depuis 2017 et a annoncé en mars 2018, avec GOOGLE, la création d'une chaire internationale d'enseignement et de recherche en intelligence artificielle : « Artificial Intelligence and Visual Computing »<sup>269</sup>.</p> <p>L'X dispose en partenariat avec TELECOMPARISTECH, d'un Master 2 : Parcours data Science.</p>
<b>TELECOM PARISTECH</b>	<p><b>Le Département Image, Données, Signal (IDS)</b> est structuré autour de différents axes de recherche dont celui portant sur l'étude et le développement d'algorithmes et de méthodes de traitements statistique pour l'apprentissage, l'optimisation et l'analyse de données.</p>	<p>La Chaire Machine Learning for Big Data a été créée en 2013 avec le soutien de la Fondation Télécom, CRITEO, PSA, SAFRAN et BNP PARIBAS, rejoints en 2017 par VALEO.</p> <p>Telecom ParisTech dispose en cycle Ingénieur, d'une filière « Science des données » et de différents masters spécialisés autour des Data Sciences. L'Ecole a également mis en place des cycles de formation continue.</p>

<sup>267</sup> <https://www.usinenouvelle.com/article/partenaire-de-l-industrie-nicolas-vayatis-directeur-du-cmla-et-du-master-mva-de-l-ens-de-paris-saclay.N648498>

<sup>268</sup> <https://www.polytechnique.edu/fr/content/lx-noue-un-partenariat-en-intelligence-artificielle-avec-enedis>

<sup>269</sup> <https://www.polytechnique.edu/fr/content/google-et-lx-lancent-une-chaire-en-intelligence-artificielle>

<b>ECOLE DES MINES DE PARIS</b>	<p><b>Le centre de recherche Mathématiques et Systèmes</b> comporte plusieurs départements qui intègrent des compétences en IA (Centre de robotique, centre de bio-informatique, centre de morphologie mathématique, etc.).</p> <p>Le Centre de robotique, par exemple, développe de nouveaux concepts, outils ou algorithmes utilisés dans des systèmes réels, notamment les systèmes de transport intelligents.</p>	<p>En mai 2018, avec différents partenaires nationaux et internationaux, MINES PARISTECH a créé un Master spécialisé (MS) intitulé "Intelligence artificielle et mouvement, dans les industries et la création". Il vise à former des experts et Chefs de projet en ingénierie du mouvement (capture du mouvement, apprentissage artificiel et interaction par le geste). Les industries concernées sont l'usine du futur, les industries de l'automobile et le véhicule autonome, le médical et les industries culturelles et créatives<sup>270</sup></p>
---------------------------------	---	--

## Activités de recherche au sein de deux universités citées lors des entretiens

Instituts	Exemples de centres de recherche intégrant de l'IA	Quelques initiatives significatives autour de l'IA
<b>Université Pierre et Marie-Curie</b>	<p>ISIR : L'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), unité mixte UPMC et CNRS, est un laboratoire de recherche pluridisciplinaire qui rassemble des chercheurs issus des disciplines des Sciences de l'Ingénieur et de l'Information ainsi que des Sciences du Vivant.</p> <p>Le laboratoire a notamment développé une très forte expertise en robotique évolutionniste et en apprentissage d'affordance (apprendre l'utilisation intuitive d'un objet sans utilisation d'un mode d'emploi).</p> <p>LIP6 : au sein de ce laboratoire, le Département «Données et Apprentissage Artificiel» traite de : Apprentissage automatique, statistique ou symbolique, intelligence computationnelle et logiques floues, recherche d'information (texte, image, multimédia, flux),...</p>	<p>L'UPMC dispose d'un Master en Intelligence Artificielle et Décision (IAD) et a mis en place une formation continue en Machine Learning et IA.</p>
<b>Université Paris-Dauphine</b>	<p>Le Laboratoire d'analyse et de modélisation de système pour l'aide à la décision (LAMSADE), est structuré autour de différents pôles autour de l'aide à la décision et l'optimisation combinatoire algorithmique.</p>	<p>L'Université intègre différents masters et un programme de formation continue intégrant de l'IA ou entièrement consacrés à l'IA : par exemple, le Master en Modélisation Optimisation, Décision et Organisation (MODO), en partenariat par les MINES PARISTECH et AGROPARISTECH ou l'Executive Master Intelligence Artificielle et Science des Données.</p>

<sup>270</sup> <http://www.mines-paristech.fr/Formation/Masteres-Specialises/Masteres-Specialises-temps-plein/AIMOVE/>

## Activités de recherche au sein d'institutions de recherche citées lors des entretiens

Instituts	Exemples de centres de recherche intégrant de l'IA	Quelques initiatives significatives autour de l'IA
<b>INRIA</b>	<p>L'INRIA, un centre de recherche à vocation mondiale dispose de plus de 160 équipes projets réparties au sein de huit centres de recherche. Il est très actif sur tous les domaines de l'IA.</p> <p>L'INRIA est basée à Lille, Grenoble, Bordeaux, Nancy, Paris, Rennes, Saclay et à Nice.</p>	<p>Chacun des centres de recherche de l'INRIA a participé à l'élaboration des projets d'Instituts 3IA (Instituts interdisciplinaires d'intelligence artificielle (3IA))<sup>271</sup>.</p>
<b>CEA</b>	<p>Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le CEA intervient dans quatre domaines : la défense et la sécurité, les énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), la recherche technologique pour l'industrie et la recherche fondamentale (sciences de la matière et sciences de la vie). Le CEA est implanté sur 9 centres répartis dans toute la France :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hauts-de-France (Lille)</li> <li>▪ Grand Est (Metz)</li> <li>▪ Région Sud PACA (Cadarache et Gardanne)</li> <li>▪ Occitanie Pyrénées-Méditerranée (Toulouse)</li> <li>▪ Nouvelle-Aquitaine (Bordeaux)</li> <li>▪ Pays de la Loire (Nantes)</li> <li>▪ Différents pôles de recherche du CEA utilisent des technologies d'intelligence artificielle, parmi lesquelles le LIST</li> </ul>	<p>En mars 2018, Siemens et le CEA ont annoncé la création du MINDSPHERE CENTER : un centre de R&amp;D dédié au digital et à la data intelligence à Paris-Saclay.</p> <p>En juillet 2018, Bertin IT, ainsi que l'ENSIE (École nationale supérieure d'informatique pour l'industrie et l'entreprise) ont rejoint Atos, l'ENS Paris-Saclay et le CEA sur la chaire Machine learning</p>

<sup>271</sup> <https://www.inria.fr/actualite/actualites-inria/quatre-projets-3ia-retenus>

# Stratégies territoriales IA en France

## Plan IA 2021 de la Région Ile de France

Souhaitant tirer parti de ses atouts (localisation en Ile de France de la grande majorité des startups IA du pays, présence d'écoles et de centres de recherche de premier plan, sièges de grandes entreprises, etc.), la région Ile de France a présenté courant 2018, un plan de développement de l'IA. Baptisé IA 2021, celui-ci est structuré en 4 axes et 15 mesures :

### **1. Mettre IA au service de l'économie francilienne, et en particulier de son industrie**

- Mesure 1 : Faciliter l'usage de l'IA pour les PME et ETI franciliennes
- Mesure 2 : Rendre lisible l'offre et les services en IA et rapprocher offreurs et utilisateurs
- Mesure 3 : Favoriser l'innovation en IA en mutualisant les données industrielles
- Mesure 4 : Donner accès à une puissance de calcul et de stockage compétitive et souveraine
- Mesure 5 : Proposer une offre de recherche en IA pour les PME, les ETI et les startups : le Projet INRIATECH, et favoriser le recrutement en doctorants
- Mesure 6 : Mettre en place des formations bac +2 en IA accessibles aux jeunes et aux demandeurs d'emploi
- Mesure 7 : Créer le premier lycée IA de France

### **2. Conforter le leadership et l'attractivité internationale de l'Île de France en matière d'IA**

- Mesure 8 : Un soutien au projet DIGIHALL
- Mesure 9 : Accélérer les coopérations internationales avec le Québec, la Bavière et la Corée du Sud
- Mesure 10 : Une stratégie de communication internationale autour de « AI PARIS région » avec PRE et les « ambassadeurs de l'IA »

### **3. Lever les verrous technologiques sur les filières régionales prioritaires**

- Mesure 11 : l'IA au service de la Santé – Challenge IA Oncologie et déploiement de l'Hôpital du futur
- Mesure 12 : l'IA au service de l'Industrie – Challenges « IA de confiance » et « transfer learning »
- Mesure 13 : l'IA au service des citoyens – Challenge IA emploi
- Mesure 14 : Innov'Up : doper et adapter les aides régionales à l'innovation pour favoriser l'usage de l'IA

### **4. Piloter et évaluer**

- Mesure 15 : Mettre en place une gouvernance fédératrice et structurée

Figure 163 - Plan IA2021<sup>272</sup>

Le budget total de ce plan est de 20 millions d'euros. Un grand nombre de questions se posent sur la mise en œuvre opérationnelle de ce plan (portage des actions, coordination des chantiers les uns par rapport aux autres et mise en perspective des actions nationales et européennes, ...).

Le dispositif de pilotage prévu devrait permettre d'affiner les chantiers au fil de l'eau.

<sup>272</sup> Plan régional sur l'intelligence artificielle IA 2021, Région Île-de-France

## **L'IA, un sujet récent et émergent, peu intégré à date, aux stratégies de développement économique et d'innovation des territoires**

La France ne fait pas exception aux constats que l'on peut faire à l'échelle internationale, au sein de grandes nations industrielles ou émergentes : les développements récents et les promesses de l'IA étant des opportunités assez nouvelles et peu matures, les politiques publiques dédiées, commencent seulement elles aussi, à apparaître. Elles commencent à être conçues à l'échelle des pays (politiques publiques nationales) et existent peu aux échelles locales.

En effet, à l'échelle mondiale, à part quelques grandes régions (la région Ile de France par exemple ou les exemples chinois cités plus haut) et de très grandes métropoles (Londres comme illustré plus haut), très peu de territoires ont conçu des politiques publiques spécifiquement tournées vers la promotion de l'IA.

En France, le constat est le même : la région Ile de France est la seule, à date, à avoir conçu des politiques publiques IA transverses à l'économie du territoire (développement des usages IA, attraction de talents et d'entreprises IA, enrichissement d'autres domaines numériques ou scientifiques avec de l'IA,...) avec pour ambition, une contribution potentielle de l'IA au rayonnement économique du territoire.

Par ailleurs, l'examen des différents instruments de développement économique des territoires que sont le SR2I (Schéma régional de développement économique d'innovation et d'internationalisation), les pôles de compétitivité ou encore les TIGA (Territoires d'Innovation- Grande Ambition), n'a pas permis de dégager des orientations fortes des régions en matière d'IA.

Ces différents dispositifs intègrent tous le numérique, comme levier d'innovation et de développement économique. A titre d'exemple, plusieurs pôles de compétitivité sont spécialisés autour de cette thématique et comportent probablement divers projets collaboratifs intégrant de l'IA.

Par contre, compte-tenu du potentiel de forte transformation apporté par l'IA sur un grand nombre d'activités, il est souhaitable que les territoires s'emparent spécifiquement de cette thématique et mettent en œuvre des diagnostics visant à identifier leurs forces et faiblesses avant de concevoir des stratégies adaptées.

Cela a été l'une des conclusions des échanges menés dans le cadre de cette étude avec Régions de France<sup>273</sup> d'une part et avec la FNCCR<sup>274</sup> de l'autre.

Par ailleurs, comme échangé avec la FNCCR, l'accès aux données partagées (par exemple autour de la gestion de l'eau) sur un territoire étant également un sujet clé pour le développement de l'IA, ce sujet doit également être adressé (gouvernance des données sur les territoires avec identification des rôles et responsabilités, inclusion d'un volet dédié à la question des données aux cahiers des charges de délégation de gestion d'infrastructure, répartition des coûts entre les différentes parties prenantes pour la collecte et la diffusion des données, réflexion sur le modèle économique pour leur valorisation, etc.).

---

<sup>273</sup> <http://regions-france.org/>

<sup>274</sup> Fédération nationale des collectivités concédantes et régies.

## Quelques pistes d'action

Voici quelques pistes d'actions pour dynamiser l'IA au sein des territoires. Celles-ci sont complémentaires de celles que l'on retrouve dans le chapitre des « Recommandations » qui comporte plusieurs propositions qui ont vocation à être mises en œuvre dans des collectivités locales volontaires.

### **S'assurer que les projets de type smart cities et smart grids tirent parti de l'IA**

Voici quelques exemples de projets qui pourraient bénéficier de l'IA.

La ville d'Issy Les Moulineaux est engagée pendant 3 ans dans le programme POLIVISU (Policy Development based on Advanced Data Analytics)<sup>275</sup> impliquant une douzaine d'acteurs publics et privés de différents pays européens. L'objectif est de développer des outils prédictifs en temps réel d'aide à la décision sur la circulation<sup>276</sup> à partir de données de différentes sources (open data, capteurs, réseaux sociaux).

Dijon métropole a lancé ONDIJON, un projet de smart city qui sera opérationnel en 2019 avec la mise en œuvre d'un poste de pilotage centralisé de gestion unifiée de l'espace public et équipements urbains connectés de 24 communes (feux de circulation, éclairage, vidéo-protection, services de voirie...).<sup>277</sup>

Depuis 2008, la France mène une politique volontariste dans les Smart Grids. Plusieurs dizaines de démonstrateurs ont vu le jour. La Commission Européenne a classé la France en première position des nations ayant investi dans le domaine. En 2016, FLEXGRID en PACA, SMILE en Bretagne et Pays de la Loire, YOU & GRID à Lille ont remporté l'appel à projets lancé par le gouvernement pour soutenir le déploiement à grande échelle de réseaux électriques intelligents.

### **Créer une thématique IA transversale aux différents pôles de compétitivité**

A la fois pour dynamiser encore plus les usages IA sur les territoires, contribuer à repérer les talents et les entreprises spécialisées, faire de la fertilisation croisée entre les projets sur la thématique, il pourrait être utile de tracer dans les différents pôles, les usages et acteurs IA.

### **Pour les territoires volontaires, mettre en œuvre des études IA ciblées**

Londres a mené une étude spécifique sur le développement d'une vision IA propre au territoire<sup>278</sup>. Ces études ad hoc, à lancer par des territoires volontaires, pourraient avoir une double finalité : dresser un état des lieux et établir une stratégie.

Des ateliers de travail ciblés, menés dans le cadre de cette étude avec Régions de France et avec la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), ont contribué à montrer la variété des situations (territoires urbains vs territoires ruraux besoins, grandes métropoles vs petites villes) pouvant apparaître sur les territoires du point de vue de la diffusion de l'IA.

### **Dans certains cas, la question des infrastructures sera un prérequis**

Dans la plupart des cas, les infrastructures actuelles suffisent à mettre en œuvre des usages innovants IA à l'échelle des territoires. Mais dans certains cas, la mise en œuvre d'infrastructures spécifiques sera un prérequis notamment pour le véhicule autonome.

INVIVO, premier groupe coopératif agricole français, a lancé en 2017 un programme numérique sur 1 000 fermes pour répondre aux défis de l'agriculture de demain : optimiser la rentabilité, diminuer l'empreinte environnementale et améliorer la qualité de la production. Une utilisation de technologies IA dans ces projets nécessitera l'assurance de disposer de données. Cela pose la question des capteurs, du réseau de communication et de l'infrastructure de traitement à mettre en œuvre.

<sup>275</sup> <http://www.issy.com/taxonomy/term/748/projet-polivisu--le-big-data-au-service-de-la-smart-mobilité>

<sup>276</sup> <https://www.polivisu.eu/>

<sup>277</sup> <https://www.caissedesdepotsdesterritoires.fr/cs/ContentServer?pagename=Territoires/Articles/Articles&cid=1250281051560>

<sup>278</sup> <https://www.em360tech.com/tech-news/london-europe-cognitionx/>

# OPPORTUNITÉS POUR LA FRANCE ET RECOMMANDATIONS

---

Cette partie présente des propositions d'actions susceptibles d'être mises en œuvre par des acteurs privés et publics.

## Opportunités pour la France

### Développer et sécuriser la recherche en Intelligence Artificielle en France

Nous sommes encore au tout début de la révolution de l'intelligence artificielle. Les techniques développées jusqu'à maintenant ne soutiennent pas la comparaison avec les performances cognitives évoluées des humains. Les progrès actuels spectaculaires pour certains usages très spécifiques ne peuvent masquer l'immense chantier de recherche à produire sur les 20 prochaines années pour reproduire efficacement les capacités d'apprentissage uniques des humains.

C'est l'une des premières opportunités pour la France. L'enjeu est double : former et retenir en France les meilleurs chercheurs en intelligence artificielle. Cela suppose de développer des efforts dans plusieurs domaines :

- Prioriser les investissements sur des champs de recherche actifs (apprentissage avec peu de donnée, robustesse des modèles face à la perturbation, explicabilité, etc.).
- Stimuler les collaborations transdisciplinaires dans les appels à projet, car l'IA est une discipline qui nécessite une forte collaboration entre expertise scientifique, métier et informatique.
- S'assurer que les aides et dispositifs fiscaux de soutien à la R&D ciblent des verrous scientifiques et technologiques prioritaires et non des travaux d'ingénierie sans dépassement de l'état de l'art.
- Valoriser la recherche appliquée en stimulant par exemple la production d'algorithmes documentés en support à la recherche et pas seulement de publications scientifiques.
- Inciter les entreprises privées à compléter fortement les financements publics insuffisants en IA. Lorsque le MIT annonce une décision d'investissement d'1 milliard de dollars dans l'IA<sup>279</sup>, – on comprend qu'elle ne peut pas être traitée à égalité avec les autres thématiques académiques.
- Encourager le secteur privé à mettre en place une R&D à long terme sur l'intelligence artificielle. Ils disposent des données, de l'expertise métier, et des enjeux à adresser. En développant une R&D forte sur ce sujet, il aidera à faire monter en puissance la recherche académique.
- Mettre en lumière (visibilité dans les grands congrès scientifiques, développement de chaires de recherche, etc.) l'élite des centres de recherche français pour structurer autour d'eux des équipes de pointe dans le domaine.
- Inscire la trajectoire de la recherche française dans une perspective européenne pour mutualiser les efforts. Il s'agira ici non seulement de s'inscrire dans des lignes directrices proposées par la Commission européenne pour générer une masse critique d'efforts de recherche, mais aussi d'approfondir certains sujets avec des pays volontaires. Compte-tenu de l'importance du Royaume-Uni sur la thématique IA en Europe, il est crucial que ce pays fasse partie de cette alliance.

---

<sup>279</sup> <https://www.technologyreview.com/the-download/612293/mit-has-just-announced-a-1-billion-plan-to-create-a-new-college-for-ai/>

## Généraliser les offres de formations

Les technologies IA sont des GPT (General Purpose Technologies), c'est à dire, des technologies transverses à effet de rupture comme la machine à vapeur, l'électricité, internet, ... Aujourd'hui, les technologies étant majoritairement en open source, le défi le plus urgent est dans le développement des compétences.

De ce fait, il est crucial pour accompagner leur diffusion, d'intensifier la formation du plus grand nombre d'effectif possible pour que chaque secteur dispose de compétences pertinentes pour ses propres applications.

La France dispose d'atouts importants : grand nombre et variété des écoles d'ingénieur, enseignement mathématique d'excellent niveau, autres formations pouvant développer des compétences de développement logiciel et de Machine Learning (ex : formations courtes de type BTS ou IUT pour les premiers niveaux, universitaires généralistes dans des disciplines scientifiques pour des formations plus avancées,...).

## Se focaliser sur les applications sectorielles de l'IA

Les technologies algorithmiques de base en intelligence artificielle sont largement open source et accessibles à l'ensemble des innovateurs. Elles sont mises au point dans les laboratoires de recherche académiques comme l'INRIA avec SciKit-Learn et contribuent au développement des connaissances. Ces technologies concernent tout ce qui est transversal : traitement du texte, de l'image, transformations mathématiques, modélisation des réseaux de neurones, etc. Encourager le développement de ces technologies répond essentiellement à des enjeux scientifiques.

Les enjeux économiques se portent de plus en plus sur des usages sectoriels de l'intelligence artificielle : *diagnostic médical, maintenance préventive, détection automatique de piéton, vidéosurveillance automatisée, aide à la vente, etc...*

Pour les secteurs grand public (bien-être et prévention en santé, moteur de recommandation pour le Retail, moteurs de recherche, assistants vocaux, etc.), compte-tenu de la domination des GAFAM/BATX (ex : AMAZON a une équipe de plus de 5 000 personnes sur les assistants ALEXA et ECHO<sup>280</sup>) et de l'importance des moyens investis, la France ne dispose pas d'atouts spécifiques. Il n'est pas impossible que des acteurs nationaux de premier plan apparaissent, mais la probabilité est faible et les besoins de ressources conséquents. En conséquence, l'État doit focaliser son accompagnement et ses ressources sur des secteurs B2B ou B2B2C. À l'échelle mondiale, le niveau de maturité des acteurs est sensiblement équivalent dans les secteurs B2B.

L'IA pour la gestion de l'attrition client ou de la fraude dans le secteur bancaire ou pour la maintenance préventive dans l'industrie possède un niveau de maturité proche de celui d'un voisin européen ou d'un acteur nord-américain. Sur ces segments, la France dispose déjà de grands acteurs établis (DASSAULT SYSTEMES) ou récents (CRITEO), mais surtout d'un écosystème prometteur de startups de premier plan (DATAIKU, SHIFT TECHNOLOGY, NAVYA, EASYMILE, STANLEY ROBOTICS, PROPHESEE, etc.).

À l'aide de la BPI, il faut structurer autour de ces startups un écosystème complet (autres startups, grandes entreprises, centres académiques, clients,...) pour accroître les passerelles et coopérations entre acteurs, rendre visible et attractive les filières d'excellence française et mettre en lumière un potentiel pour le recrutement.

## Encourager massivement le développement d'infrastructures numériques

Les acteurs majeurs dans le domaine de l'Intelligence artificielle sont aussi ceux qui disposent des plus grandes infrastructures de calcul à leur disposition et ce n'est pas une coïncidence. Dans la course à l'automatisation de tâches cognitives avec des performances comparables aux humains, les leaders s'appuient sur des infrastructures qui permettent un passage à l'échelle des modèles de réseaux de neurones mis au point. Ces infrastructures permettent d'entraîner les modèles avec plusieurs millions de données dans un temps acceptable.

L'Europe et la France en particulier, accusent un **retard très important sur l'utilisation de grandes infrastructures de calcul**. Très peu d'acteurs ont compris l'importance stratégique de ce sujet technologique. Pour faire une analogie avec la géographie, les États-Unis, l'Europe ou la Chine représentent chacun autour de 7% de la superficie du globe. En géographie numérique représentée par les centres de données hyperscales, sur

<sup>280</sup> <https://www.cnn.com/2017/09/27/amazon-has-5000-people-on-echo-and-alexa-more-than-fitbit-and-gopro.html>

400 infrastructures<sup>281</sup> de ce type dans le monde, 44% sont aux États-Unis, 20 % en Europe, 8% en Chine et moins de 1% en France. Les États-Unis numériques représentent plus de 6 fois leur taille géographique réelle.

Au-delà de ces chiffres, encourager massivement le développement des acteurs d'infrastructures numériques en Europe et en France est fondamental pour comprendre et maîtriser le résultat de l'entraînement des modèles. La compréhension des mécanismes d'entraînement, c'est-à-dire l'explicabilité, permet de vérifier si une intelligence artificielle respecte contraintes, lois, règles, règlements ou l'éthique. Dans le cas contraire, l'IA devient une boîte noire, sans que l'on puisse identifier quelles données ont servi à l'entraînement et si ces données respectent toutes les contraintes de diversité, complétude ou précision nécessaires. Un centre de données hyperscale est le lieu où sera mis au point l'ensemble des intelligences artificielles de production.

## Lancer des expérimentations ambitieuses

Le principal objectif des actions proposées est de favoriser au maximum **l'expérimentation** de technologies d'intelligence artificielle sur le territoire. La notion d'expérimentation en environnement et conditions réelles est clé pour fédérer largement tous les acteurs impliqués : acteurs publics des administrations centrales et territoriales, laboratoires de recherche, enseignement, écosystèmes innovants, startups, grands groupes, financeurs et grand public. Ce besoin d'expérimentation à grande échelle est notamment à l'œuvre dans le cadre de la mise au point d'un véhicule autonome et mobilise déjà largement l'ensemble des acteurs en ordre plus ou moins dispersé. C'est une dynamique qui est pertinente à reproduire dans le cadre d'autres domaines d'application de l'IA. Ces zones d'expérimentation offriraient un cadre administratif et légal, une infrastructure produisant de la donnée en volume et en flux et une organisation permettant de tester (utilisateurs, experts, etc...).



Figure 164 - Robot Pepper en expérimentation dans un hôpital

Dans le domaine de la santé par exemple, l'accès simplifié à une ou plusieurs structures de soins pour expérimenter à grande échelle des solutions innovantes accélérerait leur mise au point. Pour une structure qui souhaite expérimenter (un laboratoire de recherche, une startup ou un grand groupe), un accès simplifié signifierait : un processus simple de signature d'une convention d'expérimentation, le déploiement rapide pendant le temps nécessaire à l'expérimentation au sein d'un service hospitalier, l'accès régulier aux experts métiers et à des données de l'hôpital. Pour améliorer l'accès aux données, une infrastructure pourrait compléter les systèmes existants pour garantir la disponibilité d'un maximum de données.

Dans le domaine des transports et de la mobilité, une ville entière de plusieurs milliers d'habitants pourrait être transformée pour servir de champ d'expérimentation à l'ensemble des technologies innovantes du véhicule autonome. Une infrastructure pourrait être mise en place pour fournir des données et une cartographie de très grande précision nécessaires à la mise au point de toutes les situations de conduite. En dehors d'une ville, d'autres zones d'expérimentation pourraient être mises en place comme une portion d'autoroute de plus de 100 km, une zone montagneuse, etc.

Dans le domaine de l'énergie, un ou plusieurs éco-quartiers regroupant l'ensemble des technologies de transition énergétique (production énergétique intermittente, gestion intelligente de la demande, véhicules électriques, etc...) pourraient être mis à disposition des sociétés souhaitant développer des technologies d'IA dans le domaine.

<sup>281</sup> Synergy Research Group 2018

## Faciliter un accès rapide aux données

Le second objectif des actions vise à **rendre le plus accessible possible toutes les données** disponibles pendant la phase de recherche et de développement de technologies d'intelligence artificielle. Les actions proposées visent à créer une distinction explicite et légale entre la phase d'expérimentation et celle de l'usage commercial de données. Cette distinction peut permettre de simplifier considérablement l'accès aux données pendant les phases de mise au point.

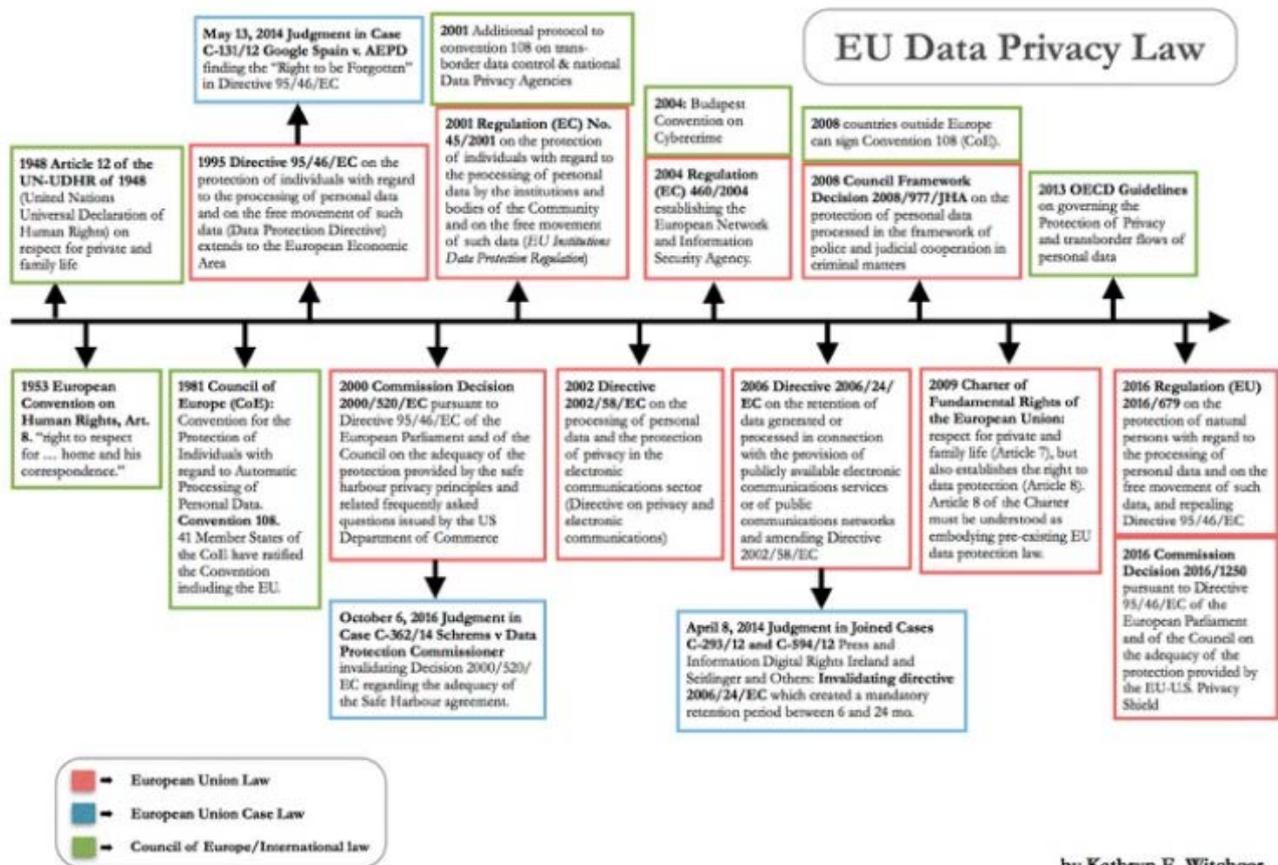


Figure 165 - Un corpus de lois sur la protection de données qui se développe en Europe

L'accès à des données massives, corrélées, complètes, qualifiées, historisées est une **clé technologique majeure** de mise au point de technologies d'intelligence artificielle. Ces données doivent pouvoir être créées si elles n'existent pas ou rendues accessibles très rapidement (moins d'un mois) si elles sont disponibles. Sans volonté publique majeure pour lever l'ensemble des restrictions ou complications d'accès à ces données (pendant toute la phase expérimentale), aucune technologie d'intelligence artificielle ne sera développée durablement en France. Elles seront mises au point dans les pays où ces données sont le plus accessibles, comme c'est le cas actuellement. En santé par exemple, la très grande majorité des technologies d'IA développées par des startups françaises l'ont été avec des données fournies par d'autres pays que la France.

Les enjeux de données sont différents d'un secteur à un autre. La législation permettant un accès ou non aux données est différente. Le tableau suivant présente les principales différences sectorielles identifiées et les enjeux actuels autour de la donnée.

Secteur	Données	Restriction	Disponibilité
Santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée publique et centralisée</li> <li>Volume important de données médico-économiques</li> <li>Parcours administratif beaucoup trop contraignant pour accéder aux données. Dans les faits, toutes les personnes interrogées renoncent</li> <li>Législation à créer pour la rendre accessible</li> <li><b>Fort enjeu d'explicabilité<sup>282</sup></b></li> </ul>	<b>Forte restriction d'accès</b>	<b>Forte disponibilité</b>
Energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée publique et centralisée</li> <li>Volume important de données disponibles</li> <li>Législation d'accessibilité en cours (INSPIRE)</li> <li>Législation d'accès réalisée ou en cours</li> <li>Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible restriction d'accès</b>	<b>Forte</b>
Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée privée</li> <li>Législation d'accès en cours</li> <li>En cours de construction pour les données de roulage</li> <li><b>Fort enjeu d'explicabilité</b></li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Moyenne</b>
Gouvernement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée publique et centralisée</li> <li>Législation d'accès réalisée ou en cours</li> <li>Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Forte</b>
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée privée et publique</li> <li>Infrastructure IOT de collecte nécessaire</li> <li>Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Faible disponibilité</b>
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée privée</li> <li>Infrastructure IOT de collecte nécessaire</li> <li>Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Faible</b>
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée privée</li> <li>Faible volonté de partage chez les acteurs, domaine du secret</li> <li><b>Fort enjeu d'explicabilité</b></li> </ul>	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>
Services financiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée privée</li> <li>Faible volonté de partage chez les acteurs</li> <li>Exigence de confidentialité des acteurs</li> <li>Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>
Secteur juridique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Donnée publique et privée</li> <li>Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Forte</b>

<sup>282</sup> Fort enjeu d'explicabilité : Le résultat produit par apprentissage doit être fortement prouvé.

Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Donnée privée</li> <li>▪ Exigence de confidentialité des acteurs</li> <li>▪ Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Forte</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Télécommunications</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Donnée privée</li> <li>▪ Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Forte</b>
Commerce	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Donnée privée</li> <li>▪ Exigence de confidentialité des acteurs</li> <li>▪ Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>
<b>Loisirs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Donnée privée</li> <li>▪ Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Forte</b>
Services professionnels	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Donnée privée</li> <li>▪ Peu d'enjeu d'explicabilité</li> </ul>	<b>Faible</b>	<b>Moyenne</b>

Tableau 55 - Restriction d'accès aux données

## Typologie générale des recommandations

Des recommandations d'actions sont proposées dans plusieurs domaines. Elles sont structurées en projets.

- **Des recommandations sectorielles.** Ce sont des actions qui favorisent le développement de l'intelligence artificielle dans un secteur particulier. Elles concernent les secteurs où une dynamique d'innovation en intelligence artificielle existe en France et dans le monde.
- **Des recommandations transverses.** Les actions transverses adressent plusieurs domaines : la recherche à favoriser pour lever les verrous technologiques, le développement de capacités à grande échelle (infrastructures de calcul ou réseau), évolution de l'environnement économique, évolution de la législation, etc...

La figure suivante présente une structuration des recommandations selon la capacité à créer de la donnée pour les modèles apprenants ou à développer de l'expertise.

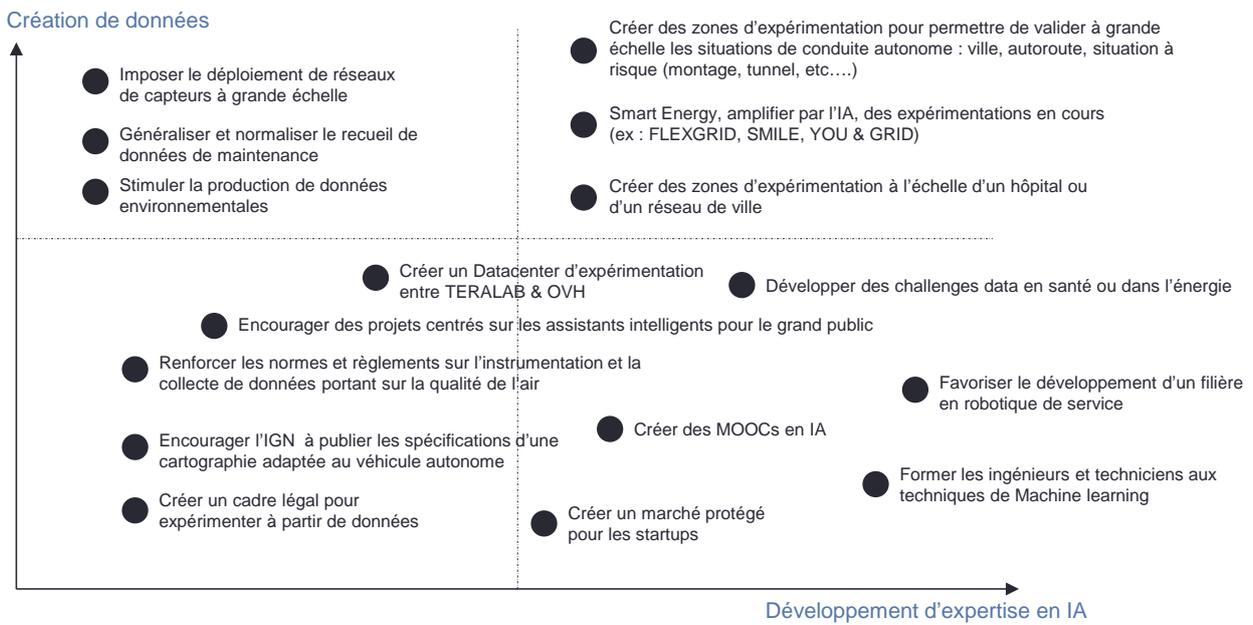


Figure 166 - Recommandations d'actions en IA

Toutes les recommandations proposées favorisent la création ou l'accès à des données en flux (indispensable à la mise au point d'algorithmes d'apprentissages performants) et/ou favorisent également le développement d'expertises nationales en Intelligence artificielle en développant les lieux d'expérimentation de technologies d'IA.

# Recommandations sectorielles

## Secteur de la santé

### **Créer des zones d'expérimentation à l'échelle d'un hôpital ou d'un réseau de soins d'une ville**

Cette recommandation correspond à créer plusieurs zones d'expérimentation accessible à tous les acteurs innovants, notamment en intelligence artificielle. Chaque zone d'expérimentation permettrait d'accéder à un cadre administratif défini, une infrastructure communicante, des données et des acteurs disponibles pour tester des innovations.

Un premier type d'expérimentation pourrait consister à transformer un ou plusieurs hôpitaux existants en centre d'expérimentation de technologies numériques dont l'intelligence artificielle. Un investissement en infrastructure serait réalisé dans l'hôpital pour rendre accessible l'ensemble des données médico économiques aux sociétés voulant innover. Chaque service de l'hôpital devra accepter de tester des innovations pendant une période de plusieurs mois. La dimension légale serait également totalement prise en compte par l'hôpital expérimental pour éviter aux acteurs innovants un travail lourd et fastidieux de mise en conformité.

Un second type d'expérimentation correspond à rendre accessible l'ensemble des données des professionnels de santé à l'échelle d'une ville de plusieurs milliers d'habitants : pharmacie, médecine, générale, structures de soins, hospitalisation à domicile, etc... L'objectif serait le même, permettre à des acteurs innovants d'expérimenter facilement et rapidement des technologies d'intelligence artificielle. Les investissements seraient de même nature que pour l'hôpital (infrastructure communicante entre les acteurs, données, cadre légal d'expérimentation, etc...)

Ces expérimentations nécessiteraient plusieurs types d'investissements de nature différente :

- La définition d'un cadre administratif et légal particulier et standardisé permettant d'expérimenter sur le lieu.
- Un investissement en infrastructure numérique (capteurs, réseaux, Datacenter) pour permettre à l'ensemble des équipements de santé de fournir des données numériques sur leur usage, les mesures cliniques et biologiques qu'ils permettent, les statuts de fonctionnement, etc.
- La fourniture d'un système d'information capable de collecter ces données pour les rendre disponibles.
- Une organisation dédiée à l'expérimentation pour accueillir tous les acteurs souhaitant innover.

Cette recommandation vise à créer les conditions permettant de tester des innovations en IA avec des délais de mise en œuvre les plus réduits possibles.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Développer les technologies d'aide au diagnostic et au soin (médecin ou infirmière virtuels)</li> <li>▪ Disposer d'un lieu de mise au point de technologies d'IA en santé</li> <li>▪ Mesurer en conditions réelles, l'amélioration de la performance grâce à l'IA</li> <li>▪ Développer une culture technologique auprès de professionnels de santé</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Expérimentation</li> <li>▪ Technologique</li> <li>▪ Gestion du changement</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chercheurs</li> <li>▪ Acteurs privés</li> <li>▪ Médecins</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Paris (Ex : Saint Joseph), Strasbourg (IHU)</li> <li>▪ Un réseau de ville de 50 000 à 100 000 habitants</li> <li>▪ Projet innovant à confier à un Groupement Hospitalier des Territoires (GHT)</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>2 ans</b></li> <li>▪ Identifier l'hôpital cible et préparer le projet 6 mois</li> <li>▪ Créer une structure d'innovation dans l'hôpital 3 mois</li> <li>▪ Instrumenter l'hôpital 12 mois</li> <li>▪ Former l'ensemble des personnels 3 mois</li> </ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 à 10 m€ pour l'infrastructure communicante</li> </ul>

## Créer un cadre légal d'expérimentation à partir de données

La recommandation correspond à créer un cadre légal rendant accessible plus rapidement et facilement des données des structures de santé pour expérimenter des services basés sur leur usage. La législation permettrait aux structures de soins en France de fournir rapidement leurs données aux chercheurs ou aux acteurs innovants qui en feraient la demande.

Le cadre pourrait être basé sur la création d'une liste de lieux d'expérimentations disponibles pour tous les acteurs souhaitant innover. C'est un mécanisme qui existe déjà pour la gestion de la liste des hébergeurs de données de santé par exemple. La gestion de cette liste est l'une des missions de l'Agence Française pour la santé numérique (ASIP SANTE). Une mission supplémentaire pourrait être confiée à cette agence pour créer et maintenir une liste des acteurs pouvant utiliser des données cliniques ou biologiques dans le cadre d'expérimentation.

Cette initiative pourrait s'inscrire dans le cadre de France Expérimentation, créée en 2016, qui vise à simplifier le processus administratif pour les acteurs souhaitant innover. Elle doit être l'une des missions prioritaires du « Health Data Hub » annoncé par le ministère de la santé en juin 2018.

Les données seraient fournies à titre expérimental, pour une durée limitée par exemple.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Accélérer la mise au point des technologies d'Intelligence artificielle.</li><li>▪ Favoriser la mise au point d'algorithmes d'IA reposant sur des règles de médecine et des données françaises ou européenne et pas uniquement américaine.</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Réglementaire et administrative</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Chercheurs</li><li>▪ Tout acteur européen innovant en santé</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ A définir</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Non applicable</li></ul>

## Développer les challenges de données en santé

Cette recommandation correspond à développer les challenges de données en santé sur le même modèle que le challenge EPIDEMIUM en cancérologie. Un challenge en santé permet de mesurer l'évolution de la performance des algorithmes de diagnostic ou de suivi thérapeutique dans le temps.

Un nouveau challenge pourrait être structuré par aire thérapeutique (diabète, maladies cardiovasculaires, maladies du foie, etc...) et confié à l'institut référent en santé dans chaque domaine comme l'institut du cerveau et de la moelle épinière.

En termes d'investissement important, chaque challenge nécessiterait la création d'un Dataset multidimensionnel (physiologie, environnement, génétique, etc...) pour tester les algorithmes développés. Comme pour EPIDEMIUM, l'organisation portant le challenge regrouperait laboratoires, structures de recherche et innovateurs.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mesurer l'évolution de la performance des algorithmes d'IA en santé.</li><li>▪ Favoriser l'expérimentation d'algorithmes d'IA sur des données endogames (concernant les populations locales)</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Projet public</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Chercheurs</li><li>▪ Grands groupes</li><li>▪ Tout acteur européen innovant en santé</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ A définir (structure de recherche en pointe sur l'aire thérapeutique concernée)</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 6 mois</li></ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ &lt; 500 k€ par challenge, pour la création d'un Dataset de référence</li></ul>

## Créer un marché protégé pour les startups en santé

La structure de remboursement des soins en France ne favorise pas le développement de services payants indispensables au financement des startups dans la durée.

Cette recommandation correspond à créer une législation motivant les structures de soins à réaliser une partie de leurs achats technologiques auprès de structures européennes de petite taille. L'objectif est de créer un environnement de marché propice à l'émergence de sociétés viables économiquement. Ce type d'initiative a déjà été mis en place par le conseil régional d'Ile de France en mars 2017<sup>283</sup>. Cette initiative de type « *small business act* » impose d'investir 2% de la commande publique francilienne dans des achats auprès de startups innovantes.

Un tel dispositif pourrait être mis en place pour le secteur de la santé de manière à créer un débouché pour les startups.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Accélérer la création de startups en IA en santé.</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Réglementaire et administrative</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Startups</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Non applicable</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1 an</li></ul>

<sup>283</sup> <https://www.iledefrance.fr/toutes-les-actualites/un-small-business-act-faciliter-l-acces-tpe-pme-aux-marches-publics-regionaux>

## Secteur des transports

### **Créer des zones d'expérimentation de véhicules autonomes à l'échelle d'une ville ou d'une situation de transport à risque (autoroute, zone montagneuse)**

Cette recommandation correspond à créer plusieurs zones d'expérimentation accessible à tous les acteurs innovants dans le domaine de la conduite autonome. Plusieurs collectivités comme la ville de Rouen ont déjà des projets matures ou non dans ce sens.

Une première zone d'expérimentation correspondrait à une ville d'au moins 50 000 habitants, représentative de situations de conduites en milieu urbain, mais avec une taille qui limiterait le besoin d'investissement en infrastructure communicante.

Une seconde zone d'expérimentation correspondrait à une situation de conduite particulière :

- Une autoroute (plus de 100 km) pour les situations de conduite rapide.
- Une zone montagneuse pour les situations de conduite sur routes sinueuses, à forte déclinaison et/ou en conditions hivernales.

Ce projet nécessitera plusieurs types d'investissements de nature différente :

- La définition d'un cadre administratif et légal particulier et standardisé permettant d'expérimenter sur les lieux.
- Un investissement en infrastructure numérique (capteurs, réseaux, Datacenter) pour permettre à l'ensemble des équipements de transport (signalisation, mesure du trafic, etc...) de fournir des données numériques sur leur usage, leur statut de fonctionnement, etc.
- La fourniture d'un système d'information capable de collecter ces données pour les rendre disponibles.
- Une organisation dédiée à l'expérimentation pour accueillir tous les acteurs souhaitant innover

Cette recommandation nécessitera de créer les conditions permettant de tester rapidement une innovation dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuer à mettre au point un véhicule autonome</li> <li>▪ Disposer d'un lieu de mise au point de technologies d'IA en transport</li> <li>▪ Mesurer en conditions réelles, l'amélioration de la performance grâce à l'IA</li> <li>▪ Développer une culture technologique auprès du grand public</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Expérimentation</li> <li>▪ Technologique</li> <li>▪ Gestion du changement</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chercheurs</li> <li>▪ Acteurs privés</li> <li>▪ Pouvoirs publics</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Toute ville d'au moins 50 000 habitants candidate</li> <li>▪ Toute portion d'autoroute de plus de 100 kms</li> <li>▪ Toute zone montagneuse de taille d'un département</li> <li>▪ Tout type de zone jugée caractéristique de situations de conduite</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>2 ans par zone d'expérimentation</b></li> <li>▪ Identifier une zone cible et préparer le projet 6 mois</li> <li>▪ Associer toutes les structures d'innovation mois 6 à 12</li> <li>▪ Instrumenter la zone d'expérimentation 12 mois</li> <li>▪ Mettre en place l'organisation et former les citoyens et personnes 3 mois</li> </ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10 à 50 M€ par zone d'expérimentation</li> </ul>

## Encourager l'IGN à publier les spécifications d'une cartographie adaptée au véhicule autonome

La recommandation correspond à créer une norme cartographique adaptée au véhicule autonome. Cette norme serait développée par l'IGN en s'appuyant sur une consultation avec les industriels développant le véhicule autonome et les acteurs de mobilité au sens large.

Cette norme comporterait l'ensemble des éléments cartographiques à faire figurer sur un dispositif de conduite autonome. En outre, si certains éléments d'infrastructures sont manquants (bornes de guidage), le travail permettrait également à l'IGN de définir une roadmap de mise à niveau de l'infrastructure pour permettre aux véhicules autonomes de se déplacer.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Commencer à créer un cadre de sécurité pour les déplacements du véhicule autonome.</li> <li>▪ Développer la cartographie de haute précision.</li> <li>▪ Encourager l'investissement dans les infrastructures routières</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réglementaire et administrative</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tous les acteurs de la mobilité</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IGN</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 12 mois</li> </ul>

## Secteur de l'énergie et de l'environnement

### Amplifier les zones d'expérimentation à l'échelle d'un éco quartier

Cette recommandation correspond à créer plusieurs zones d'expérimentation correspondant à la taille d'un éco quartier de plusieurs milliers habitants. Cet éco quartier comprendra l'ensemble des technologies de transition énergétique : smart city, production et consommation intermittente, véhicule électrique, transport en commun électrique, etc....

Cette recommandation pourra être reliée à un des programmes Smart Energy en cours en vue de contribuer à amplifier par l'IA, des expérimentations déjà lancées :

- FLEXGRID (Conseil régional de Provence-Alpes-Côte d'Azur),
- SMILE (Conseil régional de Bretagne, en lien avec les Pays-de-la-Loire) et
- YOU & GRID (métropole européenne de Lille, en lien avec le Nord-Pas-de-Calais)

Cela nécessitera plusieurs types d'investissements de nature différente :

- La définition d'un cadre administratif et légal particulier et standardisé permettant d'expérimenter sur les lieux.
- Un investissement en infrastructures numériques (capteurs, réseaux, Datacenter) pour permettre à l'ensemble des équipements de fournir des données numériques sur leur usage, leurs statuts de fonctionnement, etc.
- La fourniture d'un système d'information capable de collecter ces données pour les rendre disponibles.
- Une organisation dédiée à l'expérimentation pour accueillir tous les acteurs souhaitant innover

Cette recommandation nécessite de créer les conditions permettant de tester rapidement une innovation dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuer à mettre au point les technologies de transition écologique (énergie et environnement)</li> <li>▪ Disposer d'un lieu de mise au point de technologies d'IA en environnement</li> <li>▪ Mesurer en conditions réelles, l'amélioration de la performance grâce à l'IA</li> <li>▪ Développer une culture technologique auprès du grand public</li> <li>▪ Réduire la consommation énergétique globale.</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Expérimentation</li> <li>▪ Technologique</li> <li>▪ Gestion du changement</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chercheurs</li> <li>▪ Acteurs privés</li> <li>▪ Pouvoirs publics</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Toute ville avec un éco quartier de plus de 3000 habitants</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>2 ans par zone d'expérimentation</b></li> <li>▪ Identifier une zone cible et préparer le projet 6 mois</li> <li>▪ Associer toutes les structures d'innovation mois 6 à 12</li> <li>▪ Instrumenter la zone d'expérimentation 12 mois</li> <li>▪ Mettre en place l'organisation et former les citoyens et personnes 3 mois</li> </ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10 à 50 m€ par zone d'expérimentation</li> </ul>

## **Renforcer les normes et règlements sur l'instrumentation et la collecte de données portant sur la qualité de l'air**

Cette recommandation consiste à favoriser le déploiement plus systématique d'instruments (capteurs, robots) de collecte de données environnementales portant sur la qualité de l'air, de manière massive à des fins de traitement par des algorithmes d'intelligence artificielle.

Les mesures de pollution atmosphérique aujourd'hui effectuées par AIRPARIF par exemple, couvrent une soixantaine de polluants parmi lesquels seulement une quinzaine fait l'objet de réglementation. Les seuils et le périmètre des réglementations existantes sont très limités du fait de la non prise en compte des énormes apports potentiels de l'internet des objets, de la robotisation et de l'intelligence artificielle.

Il s'agit de tirer parti de ces innovations qui étaient très faibles au moment où les lois et règlements étaient décidés par rapport à la période actuelle où les principales sources de pollutions sont en cours d'instrumentation de masse. Aujourd'hui les modèles mathématiques sont alimentés par des données recueillies lors de campagnes ponctuelles obtenues à partir de laboratoires mobiles (camion, remorques et armoires). Quelques exemples permettant de faire beaucoup mieux en tirant parti des innovations actuelles pour à la fois gagner sur le volume, la variété et la fraîcheur des données recueillies à des fins de traitement par IA : possibilités apportées par le déploiement de véhicules connectés, la digitalisation de l'industrie, les smart cities, les capteurs déployés sur les smartphones de chacun,...

Grâce à des lois, règlements et normes incitatives, l'objectif est de favoriser l'émergence de modèles économiques et stimuler l'écosystème innovant pour mieux :

- Prédire et anticiper les effets des pollutions anthropiques sur la santé humaine et la mortalité associée.
- Prédire et anticiper les effets des pollutions sur la biodiversité.
- Améliorer la qualité de vie des citoyens.
- Piloter les politiques publiques.
- Contribuer à renforcer l'attractivité de la France comme destination touristique de premier plan.
- Faire de la France un leader mondial de la qualité de l'air.

Aujourd'hui, la concentration de PM2.5 (fines particules atmosphériques polluantes qui peuvent pénétrer et endommager les poumons) est de 13,4 microgrammes par mètre cube en France, un niveau comparable à ceux enregistrés dans la plupart des pays de l'OCDE (13,9 microgrammes)<sup>284</sup>. Grâce à des collectes de données de masse et à des applications IA, la France pourrait être rapidement un leader dans le domaine. Cela aurait plusieurs intérêts :

- Assurer un leadership par l'exemple après les Accords de Paris et le ONE PLANET SUMMIT.
- Assurer un modèle économique aux startups et autres entreprises innovantes sur ces thématiques
- Développer une niche d'exportation « French Tech » qui pourrait rencontrer un écho favorable dans des grandes nations industrialisées confrontées aux mêmes enjeux, mais aussi et prioritairement dans des grands pays émergents très pollués comme la Chine.

---

<sup>284</sup> <http://www.oecdbetterlifeindex.org/fr/countries/france-fr/>

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuer à faire de la France un leader des technologies pour l'amélioration de la santé publique et de la qualité de vie.</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Expérimentation</li> <li>▪ Technologique</li> <li>▪ Gestion du changement</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Principales métropoles. En particulier celles qui se positionnent comme leaders nationales sur les smart-cities.</li> <li>▪ Industriels.</li> <li>▪ Secteur du transport et de la logistique.</li> <li>▪ Startups.</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pilote à lancer prioritairement à l'échelle de toute la ville de Paris avant déploiement progressif dans les plus grandes métropoles nationales</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 à 2 ans</li> </ul>

## Secteur de l'industrie

### Généraliser et normaliser le recueil de données de maintenance

Cette recommandation vise à inciter les acteurs industriels à accélérer la mise d'un cadre global (infrastructures numériques, compétences, processus), favorisant le développement des activités de maintenance prédictive.

Alors que la refonte des systèmes de pilotage des usines du futur intégrant des algorithmes d'IA sera probablement dominée par les grands acteurs actuels (SIEMENS, BOSCH,...), les innovations qui touchent à la maintenance sont plus variées (ex : applications non invasives de machine learning pour capter et analyser en temps réel des données des machines). Elles offrent un potentiel plus fort pour des startups et PME nationales. Certaines connaissent déjà un développement prometteur (ex : TELLMEPLUS, CARTESIAM, SCORTEO, ...).

Les activités de maintenance sont profondément transformées par le déploiement progressif et conjoint de l'internet industriel (internet des objets appliqué au domaine industriel), de plateformes de Big Data et d'applications d'IA. Grâce à ces mutations, des domaines d'activités, des processus et des données en silo vont pouvoir être rapprochés et des équipements jusque-là faiblement suivis, pourront l'être davantage.

L'enjeu est de mieux comprendre le comportement des équipements et anticiper les défaillances éventuelles, de disposer d'informations en temps réel permettant un meilleur pilotage humain, économique et financier des opérations de maintenance (gestion des interventions, gestion des stocks, relation client,...).

La puissance publique pourrait :

- favoriser les échanges entre les acteurs pour renforcer les normes portant sur les activités de maintenance, intégrant plus systématiquement l'instrumentation par l'internet industriel et l'analyse prédictive. Les bénéfices à mettre en avant auprès des industriels pour susciter leur adhésion sur cette évolution sont nombreux : gains économiques liés à une optimisation des opérations de maintenance, réduction des risques industriels et des coûts associés en sécurité, etc.
- financer sur la base d'appels à projet, les premiers pilotes.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Contribuer à assurer à la France une position de premier plan sur un des segments les plus porteurs de l'industrie du futur : celui de la maintenance prédictive</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Expérimentation</li><li>▪ Technologique</li><li>▪ Gestion du changement</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pouvoirs publics</li><li>▪ Acteurs privés industriels (grands groupes et PMI)</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sites industriels pertinents et volontaires à identifier</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1 an</li></ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1-2 M€</li></ul>

## Stimuler la production de données environnementales chez les industriels

Cette recommandation est complémentaire à celle présentée dans les recommandations pour le secteur Energie-Environnement, intitulées : « renforcer les normes et règlements sur l'instrumentation et la collecte de données portant sur la qualité de l'air ». Elle vise à enrichir sensiblement la quantité, la variété, le degré de finesse et la fraîcheur des données relatives à la pollution industrielle.

L'industrie manufacturière est responsable du rejet d'un grand nombre de polluants atmosphériques. Elle est notamment le premier émetteur de zinc, de sélénium, de plomb, de mercure, de chrome, de cadmium, d'arsenic, de SF6 (hexafluorure de soufre), de PFC (per fluorocarbures) et de composés organiques volatiles dans l'air.

Plusieurs maladies graves (cancers, troubles du développement chez le fœtus, affections ORL complexes, etc.) sont corrélées à ces émissions avec des risques à la fois pour les salariés et les riverains.

Aujourd'hui, les pouvoirs publics émettent des lois et règlements a priori, vérifiés par des audits ponctuels.

La recommandation correspond à favoriser, dans les usines, le déploiement plus systématique d'instruments (capteurs, robots) de collecte de données environnementales sur les rejets dans l'atmosphère à des fins de traitement par des algorithmes d'intelligence artificielle.

La recommandation s'appuierait sur 2 leviers : la normalisation et le co-financement de pilotes d'expérimentation.

- Faire effet de levier sur la normalisation.
  - Augmenter les mesures : promouvoir le monitoring par des incitations spécifiques
  - Revisiter/réviser les normes existantes avec une vision digitalisation et IA
- Contribuer au financement des expérimentations.
  - Concevoir et mettre en œuvre un crédit d'impôt pour investissement sur le monitoring sur des usines existantes
  - Lancer des appels à projet

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mieux maîtriser les pollutions industrielles atmosphériques</li><li>▪ Contribuer à faire de la France un leader des technologies pour l'amélioration de la santé publique et de la qualité de vie</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Expérimentation</li><li>▪ Technologique</li><li>▪ Gestion du changement</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pouvoirs publics</li><li>▪ Acteurs privés industriels (grands groupes et PMI)</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sites industriels pertinents et volontaires à identifier<ul style="list-style-type: none"><li>○ 1<sup>er</sup> pilote dans une commune d'au moins 10.000 habitants</li></ul></li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1 à 2 ans</li></ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 0,5 M€</li></ul>

## **Former rapidement techniciens, ingénieurs et décideurs de l'industrie aux cas d'usages et aux techniques probabilistes de l'IA**

Cette recommandation vise à acculturer et à former le grand nombre de dirigeants, ingénieurs et techniciens du secteur industriel, en particulier, dans sa composante Petites et Moyennes Industries (PMI) aux apports potentiels de l'intelligence artificielle. Cette formation devrait porter sur :

- Le partage d'expérience autour de cas d'usage concrets : Visites de sites ayant déployé des applications IA, plateforme de partage de cas d'usage et espaces de discussion.
- Les méthodes probabilistes, les acteurs et les outils informatiques disponibles pour déployer des usages.

Pour être efficaces et ciblées, ces démarches de formation pourraient être :

- Promues par les pouvoirs publics.
- Mises en œuvre en partenariat entre l'Alliance Industrie du Futur, les différents syndicats industriels et des acteurs spécialisés du numérique.
- Déployées sur le terrain avec l'aide des collectivités locales et des chambres de commerce et d'industrie.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Développer rapidement une expertise de projets en IA pour l'industrie</li><li>▪ Intégrer l'IA et plus généralement le numérique dans la stratégie des entreprises</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Technologique</li><li>▪ Gestion du changement</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pouvoirs publics</li><li>▪ Industriels</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Toutes les régions</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Au fil de l'eau à partir de 2018</li><li>▪ A déployer dans tous les segments industriels sur 2 ans</li></ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 0,5 M€ - 1M€/an</li></ul>

## Recommandations transverses

### Favoriser le développement d'une filière en robotique de services en France

La robotique de service autonome est une technologie de R&D avec un potentiel de développement économique considérable. À l'inverse de la filière robotique industrielle très mature et dominée par l'Allemagne ou le Japon, la robotique de service reste un domaine à conquérir. Il n'existe pas de filière ou de pôle de compétitivité dans ce domaine.

Le développement d'appels à projets en robotique de service favoriserait la création à terme d'une filière.

Ces projets pourraient porter sur :

- Le développement de technologies spécifiques (perception de l'environnement, planification des tâches, manipulation autonome, navigation autonome et collaboration).
- Les modes d'apprentissage des robots notamment par renforcement ou imitation.
- Les usages de services (logistique, gestion de l'accueil, surveillance, coaching, etc...).

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Accélérer le développement de sociétés en robotique de services</li><li>▪ Motiver des acteurs à venir créer des entreprises au sein de la filière</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Politique publique d'aide au développement économique</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Startups et PME</li><li>▪ Grands groupes</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Fédération française des clusters de la robotique</li><li>▪ AQUITAINE ROBOTICS</li><li>▪ COBOTEAM (Rhône Alpes)</li><li>▪ PROXINNOV (Pays de Loire)</li><li>▪ ROBOTICS PLACE (Occitanie)</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1 à 2 ans pour mobiliser les acteurs</li></ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1 m€ annuel de budget de fonctionnement</li></ul>

### Créer un Datacenter de projets en data science en s'appuyant sur les expertises d'OVH et de TERALAB

Selon l'étude réalisée par l'association ALLISTENE regroupant notamment le CEA, l'IMT, le CNRS et l'INRIA, la France ne dispose pas d'infrastructure de calcul pour réaliser des projets en IA permettant de répondre aux défis actuels : gestion des SmartGrids, changement climatique, mise au point du véhicule autonome, etc...

L'une des plus grandes infrastructures publiques, le Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie (CRIANN) dispose d'une puissance de 600 TFLOPS (CPU), 170 TFLOPS (GPU) et 2,5 Po de capacité de stockage. Le système de transcription de la parole DEEPSPEECH de BAIDU (un réseau de neurones comportant entre 18 et 100 millions de neurones selon le modèle) a nécessité l'entraînement de plus de 500 modèles, chaque modèle mobilisant 50 TFLOPS sur des processeurs GPU. Ramené aux capacités du CRIANN, l'entraînement aurait mobilisé l'ensemble des ressources pendant plus d'un an, ce qui n'est pas réaliste.

Pour répondre aux besoins d'entraînement de très grands réseaux de neurones, nous recommandons de créer une infrastructure de data science hyperscale, souveraine et capable d'adresser tous les problèmes d'IA. Le projet ne vise pas à créer une nouvelle infrastructure de données, mais à s'appuyer sur des initiatives et moyens déjà largement disponibles. Concrètement, le projet pourrait reposer sur un partenariat entre la structure de TERALAB et l'infrastructure de la société OVH, chacun disposant des expertises complémentaires nécessaires.

TERALAB, de par l'expérience acquise depuis 6 ans sur des projets de recherche en data science avec de grands acteurs privés, assurerait la maîtrise d'ouvrage du projet. OVH, en tant que seul acteur majeur européen d'infrastructure serait responsable de la maîtrise d'œuvre du projet.

L'infrastructure offrirait des services de stockage et de calcul haute performance, simples, sécurisés et abordables pour tous les projets en data science. A terme, une partie des moyens de calculs des universités pourrait basculer sur cette infrastructure.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disposer d'une infrastructure scalable et souveraine de classe mondiale.</li> <li>Créer un cadre de confiance permettant de partager des données</li> <li>Offrir un environnement de recherche en data science pour le territoire.</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projet technologique</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chercheurs</li> <li>Innovateurs (startups, grands groupes)</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>TERALAB et OVH</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>6 à 12 mois</li> <li>Définir une entité juridique mixte publique / privée – 3 à 6 mois</li> <li>Mettre en place l'infrastructure et migrer les projets existants – 3 à 6 mois</li> </ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"> <li>5 à 10 m€ par an</li> </ul>

## Encourager des projets centrés sur les assistants intelligents pour le grand public

L'intelligence artificielle dans le traitement du langage naturel est l'un des axes les plus dynamiques aujourd'hui : recherche vocale, assistant du conseiller, assistant d'achat, etc...). Mais la grande majorité des innovations dans ce domaine viennent des GAFAs qui adressent leurs propres besoins ou de startups qui adressent les besoins de grandes entreprises (B2B).

L'assistant intelligent réellement à l'usage des besoins quotidiens du grand public ne bénéficie pas de la même dynamique, compte tenu notamment de la plus grande difficulté pour trouver un modèle économique rentable. Un tel assistant serait utile pour, par exemple :

- Faciliter la comparaison d'offres complexes comme des prêts ou des propositions contractuelles.
- Simplifier une démarche administrative.
- Aider à gérer sa santé.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Développer des usages peu adressés aujourd'hui par les GAFAs</li> <li>Faciliter l'accès du grand public aux technologies d'IA</li> </ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projets</li> </ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Startups</li> </ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Partout</li> </ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 à 6 mois pour lancer des projets</li> </ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non applicable</li> </ul>

## Créer des formations en ligne (MOOC) sur l'IA et les produits numériques

Compte tenu du caractère récent de l'IA, la majorité des acteurs interrogés manquent de profils adaptés à des projets d'intelligence artificielle, en particulier et en data science en général. Ces profils devraient posséder une triple expertise métier, mathématique et technologies digitales. Le besoin est urgent et nécessite un effort de formation rapide au moins pour travailler sur des problèmes simples de machine learning (classification, régression) à partir de données disponibles.

Un effort de formation pourrait être réalisé au travers de contenus de formation en ligne (MOOC) adressant les principaux sujets : problèmes de data science, bases statistiques, principales techniques de machine learning, outils et framework, passage à l'échelle des problèmes de data science, conception de produits numériques, etc...

Ces contenus de formation n'existent pas en nombre et en qualité suffisante en langue française. Les contenus de qualité proviennent de sociétés (COURSERA) ou d'organismes universitaires américains (cours de ML d'Andrew NG à STANFORD UNIVERSITY).

Un projet de MOOC sur les sujets clés d'IA pourrait être confié à un ensemble d'universités et de grandes écoles qui ont toutes des initiatives de travail dans le domaine.

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Développer rapidement un premier niveau d'expertise de projets en IA pour les entreprises</li><li>▪ Accélérer le déploiement d'expertises dans le domaine de l'IA</li><li>▪ Favoriser le rayonnement scientifique des universités et écoles nationales</li><li>▪ Développer une culture produit numérique inexistante en France</li></ul>
Type d'action	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formation</li></ul>
Cible	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Etudiants, entreprises</li></ul>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Globale</li></ul>
Délais / jalons	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Projet de formation</li></ul>
Budget	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 100 à 500 k€ par MOOC</li></ul>

# Projets scientifiques et technologiques à mener

## Axes de recherche, verrous à lever

Les sujets suivants constituent des pistes de recherche sur des verrous à lever ou des paliers technologiques à atteindre dans les prochaines années. Ils pourraient faire l'objet d'appels à projets spécifiques.

Domaine	Sujet de recherche
<b>Processeurs</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Processeur optimisé pour des réseaux de neurones.</li><li>▪ Processeur à très faible consommation énergétique (usages en mobilité) optimisé pour les réseaux de neurones.</li><li>▪ Calculateur quantique.</li></ul>
<b>Données</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Créer et labelliser des référentiels de plus de 100 000 données dans les domaines suivants :<ul style="list-style-type: none"><li>○ Situations de transport (piéton, rond-point, entrée d'autoroute, etc...)</li><li>○ Dossiers patients</li><li>○ Production / consommation énergétique à des différentes échelles : maison / immeuble / quartier / ville</li><li>○ Usages d'une infrastructure (usine, route, bâtiment industriel, etc...)</li></ul></li></ul>
<b>Techniques de machine Learning</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Réduction de la charge de labellisation de données</b> C'est un travail qui est essentiellement manuel aujourd'hui. Le développement de techniques d'automatisation de la labellisation de données, notamment par apprentissage est un enjeu de recherche majeur.</li><li>▪ <b>Généralisation d'un modèle apprenant</b> Le développement de modèles généralisables est un axe de recherche majeur notamment via des techniques d'apprentissage par renforcement ou imitation.</li><li>▪ <b>La compréhension des mécanismes d'apprentissage : l'explicabilité</b> Les réseaux de neurones sont actuellement des «boîtes noires», offrant peu ou pas d'informations sur la façon dont les performances sont atteintes. L'IA explicable est un mouvement visant à développer des techniques d'apprentissage automatique qui produisent des modèles plus explicables tout en maintenant la précision de la prédiction.</li></ul>

<b>Vision par ordinateur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Améliorer la qualité de classification avec des images en résolution plus basse</b></li> </ul>
	<p>Les résultats du traitement de la vision à l'aide de l'apprentissage profond dépendent de la résolution de l'image. Atteindre des performances adéquates dans la classification des objets avec des images ou des vidéos basses résolutions est un axe de recherche important.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Associer des images visuellement différentes</b></li> </ul>
	<p>La recherche de corrélation entre 2 images d'un même objet ayant très peu de similarité visuelle est un sujet de recherche important dans la reconnaissance d'images.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Associer un individu à plusieurs sources d'images</b></li> </ul>
	<p>La capacité d'identifier une personne qui se déplace sur plusieurs vidéos et dans des contextes de déplacement différents en prenant en compte des éléments de la scène autre que l'individu lui-même est un problème ardu.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Reconnaître des éléments subjectifs</b></li> </ul>
	<p>Le problème de détection de scènes de violences se heurte à la définition même de la violence qui peut être différente pour deux personnes ou même pour des cultures différentes.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>L'ambiguïté</b></li> </ul>
	<p>Le langage naturel est ambigu et c'est un trait caractéristique. Cette ambiguïté se manifeste par plusieurs interprétations possibles pour chaque groupe linguistique, phonème, mot ; phrase, etc...</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>L'implicite</b></li> </ul>
	<p>La compréhension du contexte et de l'environnement n'est pas naturellement accessible à une machine qui essaye de dialoguer ce qui rend la compréhension complète de la majorité des énoncés difficile.</p>
<b>Traitement automatique du langage naturel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Transcription de la parole vers le texte (En particulier pour la langue Française)</b></li> </ul>
	<p>Transcription de la parole multi-langues (Anglais-Français) ou dialectique (Français non natif).</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Traduction automatique évoluée (En particulier pour la langue Française)</b></li> </ul>
	<p>Traduction d'un texte contenant du langage familier, de l'humour ou des codes éthiques et sociétaux.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Synthèse vocale (génération de la parole à partir de l'écrit)</b></li> </ul>
	<p>La Synthèse vocale instantanée en tenant compte des émotions.</p>

## Réseaux de capteurs de données

Les projets suivants correspondent à encourager le déploiement de réseaux de capteurs permettant de collecter à l'échelle de l'ensemble du territoire des données d'utilité pour la mise au point de services en intelligence artificielle.

Secteur	Capteurs à déployer à large échelle
<b>Agriculture</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Consommation d'eau dans les cultures</li><li>▪ Qualité des sols</li></ul>
<b>Environnement</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Volumes de déchets</li><li>▪ Qualité de l'air dans les agglomérations (1 capteur par km<sup>2</sup>)</li><li>▪ Qualité des sols</li></ul>
<b>Energie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Consommation énergétique des bâtiments tertiaires</li><li>▪ Consommation énergétique des bâtiments industriels</li><li>▪ Suivi de la production / consommation intermittente</li></ul>
<b>Transport</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Données d'infrastructure de circulation urbaine</li><li>▪ Données d'infrastructure de circulation routière</li><li>▪ Données de circulation de véhicules de transport de personnes ou logistique</li></ul>
<b>Tourisme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Volume de fréquentations de lieux touristiques</li></ul>

# ANNEXES

---

## Introduction

Cette partie correspond aux annexes du rapport. Elle présente les éléments suivants :

- **Un détail du classement sectoriel.** Cette partie présente le détail méthodologique du classement et les études ayant servi à établir ce classement.
- **Impacts de l'IA sur l'emploi.** Cette partie présente quelques hypothèses et réflexions de l'impact de l'intelligence artificielle sur l'emploi.
- **Analyse technologique prospective.** Ce chapitre présente une évolution possible de variables socio-économiques sur les prochaines années. Pour chaque variable, plusieurs évolutions possibles sont proposées. Elles conduisent à construire 3 scénarios (optimiste, pessimiste ou probable) de mise à disposition de technologies associées à l'intelligence artificielle.
- **R&D.** Cette partie présente une analyse quantitative (publications, brevets) des travaux de recherche et développement en intelligence artificielle. Elle présente ces données pour les secteurs économiques où elles étaient disponibles.
- **Commerce de détail.** Cette partie présente un complément d'analyse sur le secteur du commerce de détail.
- **Bibliographie.** Cette partie présente les principaux éléments bibliographiques utilisés dans l'étude.
- **Remerciements.** Cette partie présente les remerciements pour les personnes ayant contribué à cette étude.

## Détails du classement sectoriel

Cette partie présente le détail des critères de classement sectoriel.

- **Critères d'analyse macroéconomiques et échelle de notation**

Critères d'analyse macroéconomiques		PIB	Emploi	
<b>Pondération</b>		10%	10%	
<b>Indicateur d'analyse</b>	Valeur ajoutée en Mds d'euros		Contribution du secteur à l'emploi total	
	Note	PIB en Mds	Note	Emploi
<b>Échelle de notation</b>	1	0 - 20	1	0 à 2%
	2	21 - 40	2	2 à 4 %
	3	41 - 60	3	4 à 6 %
	4	61	4	<6%

- **Contribution des secteurs à la valeur ajoutée en 2015**

Secteurs	Valeur ajoutée en Mds 2015	Notation
<b>Industries manufacturières dont automobile</b>	226,3	4
<b>Commerce de détail et distribution</b>	81,0	4
<b>Santé</b>	117,2	4
<b>Transports et mobilité</b>	93,8	4
<b>Services financiers</b>	88,0	4
<b>Gouvernement</b>	130,1	4
<b>Loisirs et média</b>	51,8	3
<b>Utilities dont énergie</b>	49,6	3
<b>Agriculture</b>	30,6	2
<b>Professions libérales (hors juridique) et services professionnels</b>	43,5	3
<b>Télécommunications et technologies</b>	72,3	4
<b>Environnement</b>	29,9	2
<b>Services juridiques</b>	30,1	2
<b>Education et recherche</b>	34,1	2
<b>Sécurité des biens et des personnes</b>	6,8	1

- Contribution des secteurs à l'emploi total en 2015

Secteurs	Contribution à l'emploi total en 2015	Notation
Industries manufacturières dont automobile	9,7%	4
Commerce de détail et distribution	7,5%	4
Santé	7,0%	4
Transports et mobilité	4,9%	3
Services financiers	2,9%	2
Gouvernement	8,3%	4
Loisirs et média	3,0%	2
Utilities dont énergie	1,1%	1
Agriculture	2,7%	2
Professions libérales (hors juridique) et services professionnels	2,5%	2
Télécommunications et technologies	2,1%	2
Environnement	1,6%	1
Services juridiques	1,2%	1
Education et recherche	1,7%	1
Sécurité des biens et des personnes	0,6%	1

- Adoption de l'IA - Analyse détaillée de l'évaluation de l'étendue d'analyse de chaque étude de référence

SOURCE	METHODOLOGIE ET OBJECTIFS		ENQUETE		
Rapport	Auteur	Objectif	Approches méthodologiques principales	Taille de l'échantillon d'enquête	Principaux axes d'analyse
Artificial Intelligence: the Next Digital Frontier?	McKinsey Global Institute	Evaluer l'adoption de l'IA	Enquête, étude de cas, interview d'experts	3 073 entreprises (de 10 à 10 000 employés)	1) Taux d'adoption d'applications IA. 2) Impact actuel et futur de l'IA dans le secteur et identification des technologies IA prioritaires. 3) % des investissements IA vs. total investissements digital. 4) Impact organisationnel et humain lié au déploiement de l'IA (effectif, qualifications, etc)
Reshaping Business With Artificial Intelligence, Closing the Gap Between Ambition and Action	Boston Consulting Group	Evaluer l'adoption de l'IA et permettre aux entreprises de se comparer	Enquête et interview d'experts	3 000 managers exécutifs et analystes, 21 entreprises dont les 2/3 sont hors des USA	Impact de l'IA dans l'entreprise quant à 1) son organisation aujourd'hui et à moyen terme 2) son offre
Turning AI into concrete value : the successful implementers' toolkit	Cap Gemini Consulting	Guider les entreprises sur leurs décisions d'investissements IA	Enquête, étude de cas, interview d'experts	Management de 993 entreprises issus de 7 secteurs économiques	1) Bénéfices générés par l'IA aujourd'hui et usages les plus bénéfiques 2) Comment orienter leurs investissements 3) Plan d'action pour mettre en oeuvre l'IA au sein d'une entreprise
The Real Consequences of Artificial Intelligence	Goldman Sachs	Evaluer l'adoption de l'IA et les ruptures qu'elle implique	Interview d'experts	NA	
Real World Problem Simplification Using Deep Learning / AI	Nvidia	Présenter les applications et usages deep learning / IA	Enquête	3 400 clients ayant déployé des GPU (graphic processor unit) dédié au Machine Learning	
The Coming Artificial Intelligence Tsunami in Vertical Industries	Garbar	Evaluer l'adoption de l'IA	Enquête	2 944 DSI et autres top manager en charge du digital	
How AI Boosts Industry Profits and Innovation	Accenture	Evaluer l'impact de l'IA dans 12 pays développés	Modélisation à partir de recherches existantes	NA	1) Taux d'adoption de l'IA 2) Impact sur la croissance et potentiel économique 3) Impact de l'IA sur les profits 4) Meilleure stratégie pour appliquer l'IA
Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies	TCS	Evaluer l'adoption de l'IA	Enquête	835 entreprises utilisant déjà l'IA ou prévoyant de le mettre en oeuvre d'ici 2022	1) Nb d'entreprises du secteur utilisant l'IA 2) Départements d'application 3) Investissement actuels et plan à 2020 4) Avantages commerciaux anticipés
Amplifying Human Potential Towards Purposeful Artificial Intelligence	Infosys	Etude de l'attitude des décideurs de grands groupes envers l'IA.	Enquête	1 600 décideurs IT, entreprises de plus de 1000 employés et chiffre d'affaire annuel > 500 M\$	1) Mesure de l'impact de l'IA pour en permettre l'intégration dans la stratégie d'entreprise 2) Challenges éthiques liés à l'emploi de l'IA 3) Impact sur les talents (compétences et flexibilité nécessaires)
Artificial Intelligence and Life in 2030	Stanford University	Synthétiser les points de vue d'experts sur l'impact de l'IA aux Etats Unis dans 8 secteurs	Interview d'experts		
Artificial Intelligence in the real world	The Economist	Evaluer l'adoption de l'IA	Peu étendue	203 dirigeants d'entreprise, dont 50% avec un chiffre d'affaires annuel > 1 Md\$	Impact de l'IA dans le secteur
What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?	Price Waterhouse Coopers	Evaluer le potentiel économique de l'IA	Phases de cas		% d'adoption de l'IA dans le secteur

SOURCE	ETUDES DE CAS				FLUX D'INVESTISSEMENTS		
Rapport	Auteur	Evaluation de l'étendue	Etude sectorielle approfondie?	Périmètre d'analyse	Evaluation de l'étendue	Base d'analyse	Evaluation de l'étendue
Artificial Intelligence: the Next Digital Frontier?	Mckinsey Global Institute	Large	Oui	Données de 160 enquêtes et bases de données publiques et privée	Large	Bases de données Capital IQ, Pitchbook, Dealogic, S&P sur les transactions de Venture Capital	Oui
Reshaping Business With Artificial Intelligence, Closing the Gap Between Ambition and Action	Boston Consulting Group	Large	Non		Large	Non	Oui
Turning AI into concrete value : the successful implementers' toolkit	Cap Gemini Consulting	Moyenne	Oui	Données issues de 50 enquêtes	Large	Non	Non
The Real Consequences of Artificial Intelligence	Goldman Sachs	Peu étendue	Non		Peu étendue	Base de données du Goldman Sachs Global Investment Research	Oui
Real World Problem Simplification Using Deep Learning / AI	Nvidia	Large	Non		Peu étendue	Non	Non
The Coming Artificial Intelligence Tsunami in Vertical Industries	Gartner	Moyenne	Oui	Etude de quelques secteurs	Moyenne	Non	Non
How AI Boosts Industry Profits and Innovation	Accenture	Moyenne	Oui	Etude approfondie de 3 secteurs: Commerce de gros et détail, Santé, Industrie	Moyenne	Base de données : Bureau of Labor Statistics, ILO, US Bureau of Economic Analysis, International Federation of Robotics, Google, IDC	Oui
Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies	TCS	Large	Oui	Etude de quelques secteurs	Moyenne	Données publiques (presse, articles, sites web) et présentations d'analystes	Oui
Amplifying Human Potential Towards Purposeful Artificial Intelligence	Infosys	Moyenne	Non		Peu étendue	Questions du sondage propre à l'enquête portant sur les flux d'investissement	Oui
Artificial Intelligence and Life in 2030	Stanford University	Peu étendue	Oui	Etude de quelques secteurs	Peu étendue		Non
Artificial Intelligence in the real world	The Economist	Peu étendue	Non		Peu étendue		Non
What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?	Price Waterhouse Coopers	Moyenne	Oui	Analyse de 300 usages de IA	Large		Oui

SOURCE	EXPERTS		BASE DOCUMENTAIRE			COUVERTURE GEO GRAPHIQUE		COUVERTURE SECTORIELLE	
Rapport	Auteur	Interview d'experts?	Evaluation de l'étendue	Taille/étendue des Réf. bibliographiques utilisés	Evaluation de l'étendue	Couverture	Evaluation de l'étendue	Nbre de secteurs couverts par l'étude	Evaluation de l'étendue
Artificial Intelligence: the Next Digital Frontier?	Mckinsey Global Institute	Interviews d'experts dans 5 secteurs pour comprendre les utilisations actuelles et future de IA	Large	Env. 20 réf.	Large	Monde - 3 continents (Europe, Amérique et Asie), 10 pays, +75 villes	Large	13	Large
Reshaping Business With Artificial Intelligence, Closing the Gap Between Ambition and Action	Boston Consulting Group	Interview de 30 experts, analystes et chercheurs spécialisés en IA	Large	Env. 10 réf.	Moyenne	Monde - 112 pays	Large	8	Large
Turning AI into concrete value : the successful implementers' toolkit	Cap Gemini Consulting	Interviews d'experts et chercheurs IA	Moyenne	Env. 15 réf.	Large	Monde - 9 pays: Etats-Unis, Royaume-Uni, Australie, France, Allemagne, Inde, Italie, Pays Bas, Espagne	Moyenne	7	Large
The Real Consequences of Artificial Intelligence	Goldman Sachs	Interviews d'experts et chercheurs IA	Moyenne	3 réf. Principales + base de données de brevets	Peu étendue	Etats - unis	Peu étendue	17	Large
Real World Problem Simplification Using Deep Learning / AI	Nvidia	Interviews d'experts et chercheurs IA	Large		Large	Monde	Large	8	Large
The Coming Artificial Intelligence Tsunami in Vertical Industries	Gartner	Interview de quelques experts	Moyenne		Peu étendue	Monde	Large		Moyenne
How AI Boosts Industry Profits and Innovation	Accenture	Collaboration avec Frontier Economics et 250 chercheurs et analystes	Large	Env. 10 réf.	Moyenne	Monde - 12 pays représentant 50% du PIB mondial	Large	16	Large
Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies	TCS	Points de vue de quelques experts	Moyenne	Env. 50 réf.	Large	Monde - 13 pays à travers 3 continents : Europe, Amérique et Asie avec env. 75% des sondés provenant d'Amérique du Nord et d'Europe	Large	13	Large
Amplifying Human Potential Towards Purposeful Artificial Intelligence	Infosys		Moyenne	Env. 160 réf.	Large	Monde - 7 pays : Chine, Etats Unis, UK, Australie, Inde, Allemagne, France	Large	10	Large
Artificial Intelligence and Life in 2030	Stanford University	Interview de 16 experts et universitaires de plan mondial	Moyenne	Env. 50 réf.	Large	Villes nord-américaines	Peu étendue	8	Moyenne
Artificial Intelligence in the real world	The Economist	Questionnaires et entretiens avec 16 experts de référence	Moyenne	Aucune	Peu étendue	2 continents (Amérique et Asie)	Moyenne	4	Moyenne
What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?	Price Waterhouse Coopers		Moyenne	Non connue	Peu étendue	Base de données de leurs clients	Large	8	Moyenne

# Intelligence artificielle et emploi

Cette partie présente quelques hypothèses sur l'impact de l'intelligence artificielle sur l'emploi.

## Introduction et précaution méthodologique

L'étude PIPAME conduite ici ne porte pas sur l'emploi.

Il a néanmoins semblé nécessaire, compte-tenu de l'importance de ce sujet, de proposer quelques réflexions à ce sujet. Cela fait l'objet de ce qui suit.

L'évaluation du degré d'autonomisation des emplois est assez complexe comme l'illustrent divers travaux économiques qui prennent en compte de multiples paramètres (voir ci-dessous, l'exemple d'une étude OCDE prenant en compte une cinquantaine de paramètres) qui alimentent des modèles économétriques différents (voir ci-dessous, des exemples de modèles retenus par le Conseil d'orientation pour l'emploi) et des hypothèses sous-jacentes différentes d'une étude à l'autre.

code	Variable	mean	sd	min	max
gender	Gender	0.472	0.499	0.000	1.000
AGECSLFS	Agegroup	5.823	2.604	1.000	10.000
education	Education	2.264	0.695	1.000	3.000
pvlit	Literacy	277.447	44.096	119.735	406.088
pnum	Numeracy	263.608	50.170	74.333	415.966
ppsi	Problem Solving	279.890	39.473	124.798	411.289
D_Q03R	Sector	0.255	0.436	0.000	1.000
D_Q06aR	Firm Size	1.910	0.558	1.000	3.000
D_Q08a	Responsibility for Staff	0.670	0.470	0.000	1.000
D_Q12aR	Educational Job Requirements	0.377	0.485	0.000	1.000
D_Q12cR	Required Job Experience	0.513	0.500	0.000	1.000
D_Q16aR	Payment Scheme	0.414	0.492	0.000	1.000
G_Q04R	Computer Use at Work	0.224	0.417	0.000	1.000
G_Q06R	Level of Computer Use	0.629	0.483	0.000	1.000
F_Q01b	Cooperating with Others	3.713	1.355	1.000	5.000
F_Q02a	Exchanging Information	0.054	0.047	0.000	0.784
F_Q02b	Training Others	0.024	0.028	0.000	0.269
F_Q02c	Presenting	0.008	0.017	0.000	0.198
F_Q02d	Selling	0.018	0.032	0.000	0.476
F_Q02e	Consulting	0.038	0.031	0.000	0.342
F_Q03a	Planning Own Activities	0.039	0.036	0.000	0.500
F_Q03b	Planning Activities of Others	0.020	0.027	0.000	0.333
F_Q03c	Organizing Own Schedule	0.051	0.041	0.000	0.500
F_Q04a	Influencing	0.030	0.031	0.000	0.267
F_Q04b	Negotiating	0.024	0.028	0.000	0.226
F_Q05a	Solving Simple Problems	0.050	0.038	0.000	0.597
F_Q05b	Solving Complex Problems	0.023	0.024	0.000	0.280
F_Q06b	Working Physically for Long	0.048	0.064	0.000	1.000
F_Q06c	Using Fingers or Hands	0.068	0.063	0.000	1.000
F_Q07a	Not Challenged Enough	0.073	0.260	0.000	1.000
F_Q07b	More Training Necessary	0.788	0.409	0.000	1.000
G_Q01a	Reading Instructions	0.043	0.040	0.000	0.476
G_Q01d	Reading Professional Publications	0.013	0.018	0.000	0.172
G_Q01e	Reading Books	0.008	0.019	0.000	0.323
G_Q01f	Reading Manuals	0.022	0.024	0.000	0.240
G_Q02b	Writing Articles	0.001	0.006	0.000	0.072
G_Q02d	Filling Forms	0.033	0.034	0.000	0.330
G_Q03c	Calculating Shares or Percentages	0.029	0.031	0.000	0.329
G_Q03h	Complex Math or Statistics	0.003	0.011	0.000	0.163
G_Q05c	Internet Use for Work-Related Info	0.035	0.025	0.000	0.269
G_Q05g	Using Programming Language	0.003	0.011	0.000	0.103
G_Q06h	Using Communication Software	0.005	0.013	0.000	0.089
YEARLYINCPFR	Yearly Income (Percentile)	0.330	0.470	0.000	1.000

Figure 167 - Exemple de variables retenues par l'OCDE

Métiers manuels (*perception*) des services (*interactions sociales*)

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{flex_i + adapt_i + prslv_i}{3} + prec_i + intsoc_i}{3}$$

Métiers manuels (*perception*) de la manufacture

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{flex_i + adapt_i + prslv_i + intsoc_i}{4} + prec_i}{2}$$

Métiers non manuels des services (*interactions sociales*)

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{flex_i + adapt_i + prslv_i + intsoc_i}{3}}{2}$$

Métiers non manuels de la manufacture (*flexibilité*)

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{adapt_i + prslv_i + intsoc_i}{3} + flex_i}{2}$$

Figure 168 - Exemple de formules utilisées par le Conseil d'orientation pour l'emploi

Par ailleurs, ces études qui traitent des impacts potentiels de l'automatisation et de la digitalisation n'isolent pas spécifiquement ou très peu, l'intelligence artificielle qui en constitue une composante parmi d'autres (effets induits de la dématérialisation, de l'automatisation des processus, etc.).

Enfin, une analyse qualitative en termes de gains nets est nécessaire, afin d'évaluer les opportunités de création d'emploi (et pas seulement les menaces) pour les différents secteurs. C'est l'approche qu'a essayé de mettre en œuvre dans le rapport intitulé : « *Jobs lost, Jobs gained: workforce transitions in a time of automation* <sup>285</sup> ».

Un des axes de travail mis en place dans cette étude a consisté à passer en revue un certain nombre de métiers, pour en évaluer la composante cognitive (tâches de perception d'analyse, ...) et évaluer la probabilité d'automatisation envisageable compte-tenu de l'état de l'art technologique (cf. figure ci-dessous pour illustration).

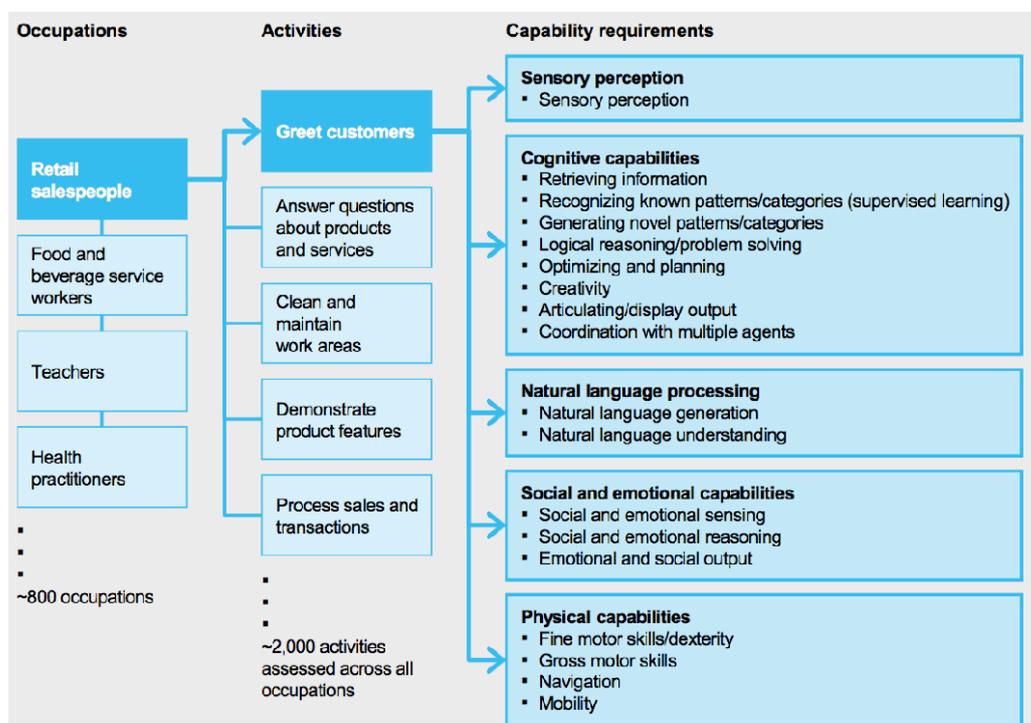


Figure 169 - Illustration des tâches cognitives d'une activité

Les réflexions proposées ci-dessous sont à considérer à l'aune de cette introduction.

<sup>285</sup> McKinsey, 2017

## **Est-ce que l'intelligence artificielle va plutôt créer ou supprimer des emplois ?**

L'intelligence artificielle moderne (le Machine Learning) est une discipline très jeune (moins de 5 ans). Elle est encore dans un stade de recherche et d'innovation. A ce titre, l'impact de l'IA sur l'emploi n'a pas encore pu être observé et n'a pas encore fait l'objet d'études objectives. Il est aujourd'hui impossible de conclure quel impact l'IA aura sur l'emploi.

Compte tenu des développements actuels, il est probable que de nombreux métiers vont être bouleversés par l'IA. Le métier de chauffeur devrait disparaître au fur et à mesure de la mise au point du véhicule autonome. De nombreux métiers backoffice de contrôle devraient également disparaître au fur et à mesure de la mise au point d'IA d'analyse performantes.

L'automatisation du travail physique a transféré l'emploi agricole vers l'emploi industriel et ensuite vers l'emploi de services. Logiquement, l'automatisation de tâches cognitives devrait également transférer une partie significative de l'emploi de services vers d'autres métiers qui n'existent pas aujourd'hui.

En 1915, aux États-Unis le pic de population de chevaux servant majoritairement au transport a été de plus de 26 millions d'animaux. En 2006 alors que la voiture est devenue le principal moyen de déplacement, la population de chevaux est tombée à un peu plus de 9 millions. L'homme n'a pas trouvé de métier de substitution aux chevaux après la mécanisation du transport.

## **Est-ce que l'intelligence artificielle apprenante peut être aussi performante qu'un humain ?**

Le mode d'apprentissage d'une IA et celui d'un humain sont fondamentalement différents aujourd'hui. La performance d'une IA moderne (Machine Learning) repose sur un volume important de données et une grande puissance de calcul. C'est très peu efficace sur le plan énergétique et s'adapte très mal à la gestion de tâches diversifiées. À l'inverse l'humain apprend avec un besoin énergétique très faible (moins de 20 W), peu d'exemples et son mode d'apprentissage s'adapte très bien à des tâches diversifiées.

Pour devenir aussi performante que les humains, l'intelligence artificielle peut s'orienter vers 3 modes d'apprentissage.

- Continuer à accumuler données et puissance de calcul pour améliorer ses performances. C'est la tendance actuelle de tous les usages qui se développent, notamment par la capacité toujours plus simple à créer de la donnée en volume et en qualité.
- Inventer de nouveaux modes d'apprentissage plus proches de celui des humains. C'est un domaine de Recherche et développement très dynamique aujourd'hui, mais particulièrement ardu qui nécessite de comprendre mieux le fonctionnement du cerveau humain.
- Apprendre à copier les humains. C'est également un thème de recherche dynamique aujourd'hui qui semble un peu plus simple à mettre en œuvre que le précédent.

Il n'est pas possible de prédire aujourd'hui lequel de ces 3 modes pourrait l'emporter.

# Analyse technologique prospective

L'évolution future des technologies présentée au chapitre sur l'état de l'art technologique dépend de plusieurs variables. Un scénario prospectif va être influencé par des variables (politiques, économiques, sociétales, environnementales ou juridiques) dont l'évolution influera sur la disponibilité future d'une technologie.

## Choix des variables

Nous avons identifié les variables ci-dessous qui pourraient avoir un impact sur les scénarios prospectifs.

Domaine	<b>Politique</b>
Variable	<b>Evolution du périmètre du domaine régalién (privatisations, réduction des missions régaliennes)</b>
Description	Cette variable correspond à l'évolution dans le temps du périmètre d'intervention de l'état. Le champ d'intervention de l'état sur les secteurs économiques évolue dans le temps ce qui a une influence sur le type et le niveau d'investissement réalisé dans les domaines technologiques de ces secteurs.

Domaine	<b>Economique</b>
Variable	<b>Hégémonie des acteurs technologiques privés</b>
Description	Cette variable correspond aux principaux moteurs de l'innovation technologique dans le domaine civil. Aujourd'hui ces innovations sont très largement portées par les grands acteurs technologiques comme GOOGLE, APPLE, AMAZON, FACEBOOK ou BAIDU et l'écosystème de startups qui utilise leurs services.  L'innovation est focalisée sur les axes de développement de ces sociétés. Cette variable explore leur influence sur les 10 prochaines années.

Domaine	<b>Sociétal</b>
Variable	<b>Diffusion/accès aux données</b>
Description	Cette variable correspond à la volonté des populations et des entreprises de rendre accessibles leurs données en échange de services à valeur ajoutée, souvent gratuit. Plusieurs innovations technologiques majeures (WEB 3.0) reposent sur l'accès libre à ces données.  L'accès aux données peut être fortement remis en question dans le cadre du développement de tendances à une plus grande sécurité.

Domaine	<b>Sociétal</b>
Variable	<b>Développement de l'influence de la production collaborative (crowdsourcing)</b>
Description	Cette variable correspond à la volonté des populations de collaborer pour développer des produits et des services plus pertinents. L'économie actuelle du web repose sur une circulation rapide des idées et des services sur toute la planète.  Cette variable explore l'évolution des tendances de partage sur les 10 prochaines années.

Domaine	<b>Légal</b>
Variable	<b>Réglementations et responsabilités associées aux robots autonomes</b>
Description	Cette variable explore le besoin de légiférer sur des systèmes robotiques de plus en plus autonomes et donc de plus en plus à même de prendre des décisions ayant une conséquence sur l'environnement humain.  Cette variable explore la rapidité de mise en place et le type de législation robotique dans les prochaines années.

Pour chaque variable précédente, nous avons envisagé 3 hypothèses d'évolutions pour la période couverte par l'étude (2018-2028) :

**STATU QUO** : La variable ne va pas évoluer par rapport à la situation actuelle. Par exemple « *la diffusion des données personnelles va continuer à être peu sécurisée* ».

**OPTIMISTE** : La variable évolue de manière favorable à l'innovation technologique, ce qui accélèrera la mise à disposition de services basés sur cette technologie. Par exemple « *la diffusion des données personnelles va être plus sécurisée, du fait de la sécurisation par défaut des fournisseurs de technologie, Apple et l'iPhone par exemple* ».

**PESSIMISTE** : La variable évolue de manière défavorable à l'innovation technologique, ce qui ralentira la mise à disposition de services basés dessus. Par exemple « *la diffusion des données personnelles va être totalement sécurisée, du fait de la volonté des populations de fermer l'accès à ces informations, ce qui va limiter la capacité à fournir un nombre suffisant de données d'apprentissage, nécessaires aux algorithmes de ML* ».

Le tableau suivant présente les hypothèses d'évolution des variables pour chaque scénario envisagé. Par exemple, une évolution 'OPTIMISTE' de chaque variable conduira au scénario optimiste décrit dans la partie suivante. Une variable évoluera de manière 'OPTIMISTE' si les hypothèses proposées se produisent effectivement dans le futur.

### **Variable : Périmètre du domaine régalien**

Scénario	
STATU QUO	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>La tendance actuelle de privatisation des services régaliens se poursuit lentement. L'Etat se désengage très progressivement en tant que maître d'œuvre de grands programmes technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>soit parce qu'ils sont couverts par un grand nombre de fournisseurs de services (pays industriels)</li> <li>soit parce qu'ils ne constituent pas une priorité stratégique</li> </ul> <p>La concurrence et les besoins du privé permettent un accès à un large panel de données à des prix qui restent concurrentiels.</p> <p>L'Etat garantit l'accès et la diffusion aux innovations technologiques sur l'ensemble des territoires en imposant des règles de « localisation » comme c'est le cas aux opérateurs de télécommunication.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>Des solutions alternatives doivent être trouvées pour assurer le maintien des capacités institutionnelles (localisation).</p> <p>Des solutions basées sur le recours à des moyens privés sont nécessaires pour satisfaire de nouveaux besoins et se maintenir à la hauteur des services privés.</p>
OPTIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>L'Etat investit et favorise fortement l'innovation dans le domaine de l'IA. Il devient lui-même un client important des technologies d'IA.</p> <p>L'IA institutionnelle reste la référence dans de nombreux secteurs réglementés comme la santé, les services publics, la sécurité des biens et des personnes. L'offre privée complète les capacités en répondant à des besoins spécifiques.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>Les ressources financières de l'état permettent de garantir une forte demande régalienne en technologies d'IA.</p>

	<p>L'Etat impose la mise à disposition des données permettant d'améliorer la pertinence des algorithmes d'IA.</p> <p>L'Etat développe une juridiction très favorable au déploiement d'une robotique autonome sur l'ensemble du territoire.</p> <p><b><u>Impact sur les technologies :</u></b></p> <p>Accélération de la mise à disposition d'algorithmes pertinents</p> <p>Accélération de la mise à disposition de robots autonomes</p>
PESSIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>L'Etat se désengage totalement en tant qu'acteur moteur pour l'intelligence artificielle. L'état devient un consommateur de produits et de services privés ou fournis par d'autres.</p> <p>L'Etat ne finance aucun programme d'innovation en IA.</p> <p>La capacité d'innovation en IA ne repose que sur des initiatives privées qui ne couvrent pas tous les besoins institutionnels.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>L'endettement des Etats et une politique de réduction des déficits publics conduisent à limiter les investissements et à favoriser la privatisation de certains services institutionnels.</p> <p>L'impact du capital-risque à vocation commerciale civile influence les choix de services des nouveaux acteurs.</p> <p><b><u>Impact sur les technologies :</u></b></p> <p>Ralentissement de la mise à disposition de robots autonomes, notamment dans le domaine militaire.</p>

## Variable : Hégémonie des acteurs privés dans les nouvelles technologies

Scénario	
STATU QUO	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Les Etats développent des partenariats avec des acteurs privés pour faire évoluer leurs services de manière à adresser des usages locaux et respectant les contraintes régaliennes.</p> <p>Les acteurs privés soutiennent une partie de la recherche institutionnelle pour favoriser le développement d'une expertise locale.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>L'intérêt des grands acteurs privés est de collaborer <i>a minima</i> avec les Etats pour éviter les effets négatifs sur leur cœur d'activité commercial (protectionnisme, fiscalité, cadre légal).</p> <p>Le développement de technologies libres est largement soutenu par les organismes institutionnels.</p> <p>Le développement de partenariats entre acteur public et privé est largement la norme actuellement.</p>
OPTIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>L'innovation en IA finit par échapper aux GAFAs et de nouveaux entrants en France notamment, développent la majorité des technologies pertinentes en IA.</p> <p>Des technologies et services clés se développent en France dans de nombreux secteurs économiques</p> <p>Des technologies et services clés disparaissent du catalogue des NTIC.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>Une nouvelle politique de soutien à l'innovation permet de faire émerger un tissu d'entrants favorables à une collaboration avec les états européens.</p> <p>La France développe des organisations efficaces d'incubation d'innovations spécifiques.</p> <p>Le coût de mise à disposition des technologies chute régulièrement ce qui rend l'innovation accessible.</p> <p><b><u>Impact sur les technologies :</u></b></p> <p>Ralentissement du rythme d'évolution des technologies d'IA (les GAFAs sont aujourd'hui les principaux moteurs de développement de l'IA).</p> <p>Mise à disposition à 10 ans plutôt qu'à 5 ans.</p> <p>Forte dynamique d'innovation des GAFAs qui va se stopper.</p>
PESSIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Les acteurs privés technologiques civils (largement dominés par les acteurs US et asiatiques) poursuivent leur développement et restent le moteur de l'innovation technologique et les principaux fournisseurs de technologies.</p> <p>Le réseau mondial Internet continue à se développer fortement ce qui accélère la diffusion des innovations et des technologies et la mise sur le marché rapide (moins de 3 ans) d'innovations.</p>

### **Hypothèses :**

L'écart entre l'investissement et la vitesse d'action des GAFA et celle des institutions continue de croître et rend caduque toute collaboration.

Les grandes sociétés deviennent de plus en plus des consommateurs de technologies ou éventuellement des co-créateurs en essayant d'influencer le développement de produits et de services des startups.

### **Impact sur les technologies :**

Apparition rapide d'usages commerciaux basés sur des technologies d'IA.

Majoritairement, les technologies avalisées par les GAFAS et connectées à leurs plateformes vont pouvoir se développer.

Forte dynamique d'innovation des GAFA qui va continuer.

## Variable : Diffusion des données

Scénario	
STATU QUO	<p><b>Présentation :</b></p> <p>Les utilisateurs ou les entreprises bloquent certaines de leurs données ce qui limite les opportunités offertes par les NTIC.</p> <p>Les technologies se développent (Blockchain) pour permettre d'autoriser facilement l'accès à aux données ou non.</p> <p><b>Hypothèses :</b></p> <p>Les utilisateurs et les entreprises restent méfiants sur l'utilisation de leurs données.</p> <p>Aucune garantie de qualité et de pérennité des services et applications basées sur l'exploitation des données ne peut être donnée.</p> <p>Le décalage entre le potentiel de développement qu'offrent le partage des données et l'offre de services fiables et pérennes reste important.</p> <p>Seuls les services existants aujourd'hui (info trafic, météo locale, marketing, ...) se renforcent mais aucun service innovant n'émerge.</p> <p>Le RGPD a un impact important sur l'usage de données personnelles.</p>
OPTIMISTE	<p><b>Présentation :</b></p> <p>Les données sont largement partagées.</p> <p>Les utilisateurs et entreprises se sentent en confiance et acceptent de partager de plus en plus leurs données.</p> <p>La diffusion de données est perçue comme un acte de création de valeur (« la géolocalisation permet d'informer sur l'état du trafic routier en temps réel »).</p> <p>Les états favorisent l'accès aux données.</p> <p><b>Hypothèses :</b></p> <p>Des solutions de protection des données ne se déploient pas (cryptage, etc..).</p> <p>Les retombées positives du partage des données sont clairement identifiées par les utilisateurs et les entreprises (optimisation de la précision et de la qualité des services proposés).</p> <p>La législation sécuritaire milite pour simplifier l'accès de l'état aux données.</p> <p><b>Impact sur les technologies :</b></p> <p>Accélération de la mise à disposition d'algorithmes d'IA pertinents.</p>
PESSIMISTE	<p><b>Présentation :</b></p> <p>Les utilisateurs et les entreprises ne partagent plus leurs données par crainte et lassitude au regard des dérives des NTIC (marketing ciblé, non sécurisation des données).</p> <p>Le besoin de sécurisation s'impose auprès de tous les acteurs technologiques. Les nouveaux standards du web en cours de déploiement rendent le net plus opaque sur l'exploitation des données.</p>

### **Hypothèses :**

Les dérives actuellement constatées sur l'exploitation des données s'accroissent (piratage, marketing, perturbation de l'action des services de secours lors des événements dramatiques, ...).

L'extension des réseaux sociaux et la diversité de la communauté qui y est connectée ne permet pas de fiabiliser certaines données issues de l'exploitation de l'information échangées sur ces réseaux.

### **Impact sur les technologies :**

Ralentissement du rythme de mise à disposition d'algorithmes performants de ML.

Indisponibilité grandissante des bases de données nécessaires à l'apprentissage du fait de la sécurisation des données.

## Variable : Développement de l'influence de la production collaborative (crowdsourcing)

Scénario	
STATU QUO	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Les services collaboratifs se développent mais permettent aux individus de contrôler plus strictement l'information collectée et diffusée. La collaboration se monétise plus fortement. L'information devient moins disponible mais sa pertinence et sa qualité augmentent.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>Prise de conscience des individus sur la sécurité et l'importance des données personnelles. Premiers procès sur l'usage frauduleux de données personnelles.</p> <p>Les risques identifiés de piratage des données personnelles et de « pollution » des données (appui sur le crowd sourcing) restent élevés et limitent l'émergence de services innovants dans ce domaine.</p> <p>Les services de crowdsourcing payants comme « Kaggle » dans le domaine de la data science se développent.</p>
OPTIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Les services collaboratifs continuent à se développer et fournissent une information média, riche, en temps réel et géo référencée à l'ensemble des acteurs.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>Développement régulier de nouveaux outils collaboratifs.</p> <p>Développement régulier de la population utilisatrice des outils (plus d'un milliard d'utilisateurs de Facebook).</p> <p>Développement régulier des infrastructures communicantes.</p> <p>Des solutions techniques permettant de fiabiliser ces données permettent de sécuriser leur usage dans certaines applications ayant des enjeux de sécurité (véhicules autonomes, météo, crowdsourcing ...).</p> <p><b><u>Impact sur les technologies :</u></b></p> <p>Accélération de la mise à disposition d'infrastructures de communication</p>
PESSIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Les états mettent en place des technologies et des organisations à grande échelle pour contrôler strictement l'information collectée et diffusée par la foule (CHINE).</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>Nouvelles menaces basées sur l'utilisation de technologies collaboratives.</p> <p>Renforcement du contrôle des échanges de données par les dictatures et certaines puissances émergentes.</p> <p>Développement des capacités de traitements d'informations à grande échelle (NSA).</p> <p>Volonté des états de contrôler le cyberspace.</p> <p>Fatigue des collaborateurs bénévoles vis-à-vis d'un retour sur investissement jugé insuffisant.</p>

Le potentiel de développement identifié pour les services s'appuyant sur le crowdsourcing est revu à la baisse.

**Impact sur les technologies :**

Ralentissement du rythme de mise à disposition d'intelligence artificielle par apprentissage.

Indisponibilité grandissante des bases de données nécessaire à l'apprentissage du fait de la sécurisation des données personnelles.

Ralentissement du déploiement des technologies de communication.

## Variable : Création de réglementations nouvelles vis-à-vis de technologies robotiques

Scénario	
STATU QUO	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Développement d'une réglementation couvrant seulement les activités B2B des véhicules autonomes : drones, transport logistique.</p> <p>Le développement d'une réglementation grand public est jugé trop risqué. (pas de véhicule autonome pour les individus).</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>La réglementation relative à l'utilisation des robots évolue de façon très progressive.</p> <p>La réglementation permet certaines activités limitées en termes de nature de l'activité (scénarios prédéfinis)</p> <p>La réglementation est différente suivant les zones géographiques (Europe, USA, ...).</p> <p>La réglementation relative à la protection de la vie privée reste très contraignante et freine l'émergence de solutions privées de surveillance de large zone par l'emploi de drone ou de moyens statiques</p> <p>Des premières solutions d'assurance des occupants et exploitants des véhicules autonomes sont adoptées</p> <p>Ces solutions sont très limitatives (zones d'application, type d'activité, exigence d'aménagement des itinéraires employés, .....).</p> <p>Le développement du véhicule autonome est freiné par la mise en place retardée d'une réglementation mondiale couvrant toutes les activités du véhicule autonome</p>
OPTIMISTE	<p><b><u>Présentation :</u></b></p> <p>Mise en place à l'horizon de 5 ans d'une réglementation couvrant toutes les activités robotiques autonomes. Cette réglementation autorise l'usage généralisé de technologies robotiques pour le déplacement terrestre, maritime et aérien.</p> <p><b><u>Hypothèses :</u></b></p> <p>La réglementation permet la navigation des robots sur l'ensemble du territoire de nombreux pays.</p> <p>La réglementation est commune sur de larges zones ce qui permet aux constructeurs et aux utilisateurs de robots de proposer leurs matériels et services sur la base de solutions techniques et organisationnelles communes</p> <p>La réglementation relative à la protection de la vie privée se met en place et permet l'émergence de solutions privées de surveillance de large zone par l'emploi de drone ou de moyens statiques</p> <p>De nombreux drones et systèmes WAS (Wide Area Surveillance) sont mis en service et génèrent une importante source de données image dont l'exploitation est autorisée sous certaines conditions parfaitement définies</p> <p>Des solutions d'assurance des occupants et exploitants des véhicules autonomes sont adoptées</p> <p>Ces solutions sont applicables dans tous les pays où le véhicule autonome est déployé</p> <p>Ces solutions couvrent l'ensemble des activités des véhicules autonomes (transport de personnel, de marchandise, sécurité, ...)</p> <p><b><u>Impact sur les technologies :</u></b></p> <p>Accélération de la mise à disposition de véhicules autonomes</p>

**Présentation :**

La réglementation bloque le développement du drone et de la surveillance permanente (WAS).

Refus complet de prise de responsabilité d'un acteur humain pour le compte d'un véhicule robotique.

**Hypothèses :**

Face à la complexité de la réglementation et à la lenteur de sa mise en application le développement des drones civils professionnels est stoppé et se limite au drone de loisir.

La mise en œuvre de la surveillance ne peut pas être mise en œuvre par des entreprises privées.

Le risque des véhicules autonomes est jugé trop élevé par le milieu des assureurs et aucune solution pour assurer les occupants et les exploitants des véhicules autonomes ne sont trouvées.

Les investisseurs abandonnent le projet de véhicule autonome (soit par risque excessif soit parce que cela remet en cause trop de sources de revenus).

**Impact sur les technologies :**

Ralentissement de la mise à disposition de technologies liées au véhicule autonome (robot, infrastructure d'échange de données V2V et V2I).

## Scénarisation des évolutions technologiques

En fonction du scénario d'évolution des variables précédentes, voici une hypothèse de disponibilité commerciale des principales technologies d'IA sur les 10 prochaines années. Par exemple, le scénario 'OPTIMISTE' repose sur une évolution optimiste de l'ensemble des variables décrites dans la partie précédente.

Technologie	Scénario STATU QUO			Scénario OPTIMISTE			Scénario PESSIMISTE		
	Actuel	Dans 5 ans	Dans 10 ans	Actuel	Dans 5 ans	Dans 10 ans	Actuel	Dans 5 ans	Dans 10 ans
<b>ROBOTIQUE AUTONOME</b>									
Véhicule autonome	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Drone autonome	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Robot de service autonome	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
<b>TECHNIQUES ALGORITHMIQUES</b>									
Explicabilité	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Apprentissage réaliste (peu de données)	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Robustesse	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Capacité à généraliser	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
<b>RESEAU DE COMMUNICATION</b>									
Réseaux en fibre optique	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Réseaux mobiles à faible latence (5G)	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Réseaux IOT à faible latence (802.11P)	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
<b>INFRASTRUCTURE DE CALCUL</b>									
Cloud Computing (architectures convergentes)	Dispo.	Dispo.	Dispo.	Dispo.	Dispo.	Dispo.	Dispo.	Dispo.	Dispo.
IA sur mobile	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Processeurs dédiés à l'IA	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.
Ordinateur quantique	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.	Non Dispo.

Tableau 56 - Disponibilité des technologies d'IA (traitement Atawao)

### Scénario optimiste

Le scénario optimiste repose sur la dynamique suivante :

Un fondement de l'économie numérique qui reste stable : innovation ouverte, partage des connaissances.

Le développement d'une infrastructure très favorable aux échanges de données entre robot autonome et infrastructure.

Une législation très volontariste dans le domaine robotique.

Une évolution importante de la dynamique d'innovation des grands acteurs technologiques civils (GOOGLE, Apple, etc...). Pour des raisons liées à leur taille, à un certain niveau de maturité de leurs activités et à une volonté des gouvernements de mieux contrôler leurs activités, nous partons de l'hypothèse que le cycle d'innovation de ces sociétés va se ralentir considérablement.

L'émergence d'un écosystème local innovant en IA et la mise à disposition des technologies plus utiles par des acteurs nouveaux locaux. Les GAFAs développent des services souvent gratuits dans le but de mieux « cibler » les internautes et proposer de la publicité plus pertinente. Les données issues de ces services ne sont pas commercialisées et donc ne sont pas accessibles pour des usages dans d'autres secteurs économiques.

En couplant, législation, infrastructure d'IA et partage de données et de connaissance, ce scénario devrait accélérer la mise à disposition de robots de services autonomes et favoriser la résolution des problèmes spécifiques actuels à l'IA.

Dans ce scénario :

Les technologies d'infrastructures permettant de faire de l'intelligence artificielle en temps réel et en situation de mobilité auront été mises aux points dans les 5 prochaines années, notamment grâce au développement de l'infrastructure de communication. En revanche la capacité de calcul en situation de mobilité devrait rester insuffisante pour permettre de faire de l'apprentissage.

Les principales difficultés algorithmiques actuelles de l'IA seront résolues dans les 5 prochaines années, à savoir : la capacité d'un réseau de neurones à expliquer les résultats produits, la capacité d'apprendre avec peu d'exemples, la robustesse ou la capacité à résister à des événements perturbants l'apprentissage et la capacité à généraliser, c'est-à-dire qu'un modèle répondant à une question puisse également répondre à d'autres questions du même type.

Toute une filière nouvelle de robotique de service autonome aura été développée. Elle commencera à se déployer dans 5 ans pour les environnements piétons, aériens ou marins et dans 10 ans pour le véhicule routier autonome.

Pour ce scénario, les efforts à fournir doivent se focaliser sur : la recherche algorithmique pour lever les verrous actuels (explicabilité, robustesse, etc...), la mise en place d'une filière de robotique de service et les infrastructures de communication pour permettre les échanges avec le parc de robots en cours de déploiement.

Durant les 2 prochaines années, dans le domaine des réseaux de communication, un effort particulier doit être porté sur le choix des normes de communication entre véhicules autonomes (V2V) et entre véhicule et infrastructure (V2I). Un choix doit être fait entre une norme généraliste (comme la 5G) probablement plus efficace du point de vue des coûts et une norme dédiée aux communications de transport probablement meilleure pour la sécurité routière.

## Scénario pessimiste

Le scénario repose sur un changement de paradigme relatif au réseau internet et aux technologies numériques. Aujourd'hui, Internet est un réseau ouvert qui se développe constamment et qui encourage le partage et l'échange d'information et de services à l'échelle mondiale. Ce paradigme accélère de manière importante la mise à disposition d'innovations technologiques.

Le tableau suivant (source ITU) qui présente le délai mis par un produit / service pour atteindre 100 millions d'utilisateurs illustre ce phénomène d'accélération lié au déploiement d'Internet.

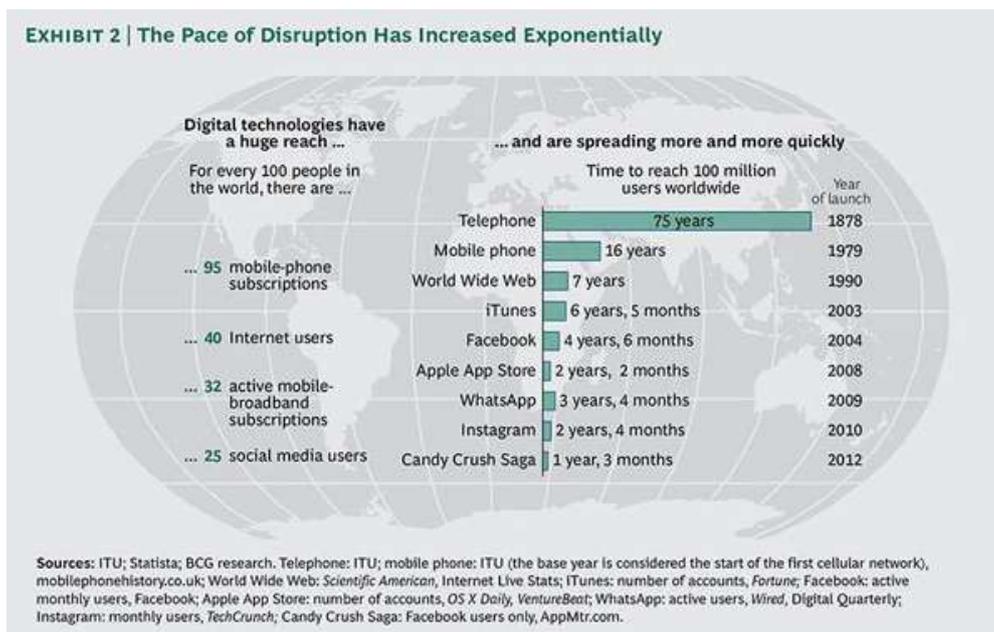


Figure 170 - Rapidité de diffusion des technologies<sup>286</sup>

Ce tableau montre qu'en 30 ans, nous sommes passés d'un délai de 75 ans à un délai d'un peu plus d'un an pour qu'une innovation atteigne 75 millions d'utilisateurs.

Le scénario pessimiste correspond au paradigme inverse, c'est-à-dire un cloisonnement ou une rupture du réseau internet. Ce nouveau paradigme va considérablement ralentir le développement de technologies qui reposent sur une collaboration à grande échelle.

<sup>286</sup> ITU

Par exemple, les technologies d'apprentissage pour la reconnaissance d'images ou d'analyse sémantique reposent sur la disponibilité de grandes bases de données d'images. Ces bases de données sont aujourd'hui générées par le partage des utilisateurs de réseaux sociaux et exploitées par les acteurs technologiques. Un cloisonnement diminuerait la disponibilité d'informations et le développement technologique associé.

Les technologies de réseaux de leur côté pâtiraient d'une volonté globale des états de mieux cloisonner leurs frontières numériques ou physiques (comme en Chine) et un ralentissement important de déploiement s'en suivrait. La Corée du Nord ne dispose pas de fournisseur internet privé et le pays ne revendique que 28 sites web en septembre 2016. Le site Vox faisait état de 1 024 adresses IP sur 25 millions de Nord-Coréens en 2015.

Ce scénario conduit à un nivellement par le bas des technologies d'IA et à une innovation faible dans le domaine. Dans ce scénario les recommandations devraient être orientées sur des mesures de maintien de compétences acquises et de consolidation de certaines technologies employées aujourd'hui, en analyse d'image ou de texte, donc plutôt à usage d'aide à la décision.

Dans ce scénario d'ici 10 ans :

Les technologies d'infrastructures permettant de faire de l'intelligence artificielle ne seront pas disponibles.

Les principales difficultés algorithmiques actuelles de l'IA ne seront toujours pas résolues. L'usage de l'IA continuera à se limiter à des tâches simples de perception (reconnaissance d'objet, traduction automatique, détection de virus, etc..) limitées par la quantité de données disponibles pour l'apprentissage.

Aucune filière de robotique de service autonome ne sera développée et aucun véhicule autonome ne roulera en environnement ouvert.

Pour ce scénario, les efforts à fournir doivent se focaliser sur le développement d'infrastructures de calcul pour stocker de plus en plus de données et permettre un apprentissage efficace sur des ensembles considérables d'événements en espérant atteindre un niveau de performance supérieur aux humains dans certains domaines.

Ce scénario est avant tout un prolongement des usages et des techniques actuelles de l'IA.

## **Scénario statu quo**

Le scénario probable repose sur la dynamique suivante :

Une politique publique stable par rapport à son fonctionnement actuel.

Un fondement de l'économie numérique qui reste stable : innovation ouverte, partage des connaissances.

Le développement d'une infrastructure communicante à faible latence qui suit la planification proposée par les opérateurs de télécommunication

Une législation qui évoluera lentement dans le domaine de la robotique

Les grands acteurs technologiques qui vont continuer leurs développements et accélérer la digitalisation de l'ensemble des secteurs économiques.

Dans ce scénario, les technologies d'IA atteindront un niveau de maturité et un déploiement dans la majorité des secteurs de l'économie d'ici une dizaine d'année. Les problèmes actuels d'accès à des données qualifiées (labellisées) en grand nombre, en flux et avec une précision importante pour répondre à des questions complexes de compréhension seront probablement résolus d'ici-là même en santé.

Les infrastructures de communication à faible latence nécessaires pour des prises de décision en temps réel (véhicule autonome) ne seront pas disponibles sur l'ensemble du territoire même si leur déploiement aura été initié.

Les technologies nécessaires de stockage et de traitement de données d'apprentissage sur mobile ne seront probablement pas suffisamment matures pour permettre un développement de l'intelligence artificielle en situation de mobilité.

Dans le domaine de la robotique industrielle, l'usage de l'intelligence artificielle améliorera considérablement la rapidité de déploiement de nouveaux robots, sans révolutionner les usages actuels. En robotique de services, l'intelligence artificielle permettra un déploiement généralisé de robots totalement autonomes en environnement aérien ou marin et en environnement terrestre fermé (parking, maison, bureau, hôpital) pour assister ou remplacer les humains dans leurs activités.

Ce scénario est proche du scénario optimiste, mais avec des technologies plutôt disponibles à 10 ans qu'à 5 ans.

Comme pour le scénario optimiste, les efforts à fournir doivent se focaliser sur : la recherche algorithmique pour lever les verrous actuels (explicabilité, robustesse, etc...), la mise en place d'une filière de robotique de service et les infrastructures de communication pour permettre les échanges avec le parc de robots en cours de déploiement.

Les efforts sont à reconsidérer sur les projets de mise au point du véhicule autonome qui ne sera pas disponible avant au moins 10 ans. Les efforts dans ce domaine doivent probablement se limiter à favoriser l'expérimentation en environnement ouvert.

# Recherche et innovation

## Investissements en R&D à l'échelle mondiale

Selon la Commission européenne<sup>287</sup> les 2500 sociétés dans 43 pays qui représentent 90% des dépenses mondiales de R&D ont investi en 2017 près de 740 Mds d'euros dont 26% pour l'Europe (3,4% pour la France), 39% pour les États-Unis, 14% pour le Japon et 8% pour la Chine. L'automobile, les technologies de l'information et la santé, concentrent près de 80% des dépenses de R&D.

En Europe et au Japon, les dépenses de R&D concernent majoritairement l'automobile (30%), les technologies de l'information (20%) et la santé (23%). Aux États-Unis, les dépenses se concentrent dans le domaine des technologies de l'information (50%) et la santé (26%). En Chine, les dépenses se concentrent essentiellement dans les technologies de l'information (44%). 567 sociétés européennes, 822 sociétés américaines, 376 sociétés chinoises et 365 sociétés japonaises ont des dépenses annuelles de R&D supérieures à 24 M€.

Dans le secteur automobile, la R&D concentre ses efforts sur la mise au point des technologies du véhicule électrique : propulsion, batterie, bornes de chargements, etc... et le développement de la conduite autonome d'ici 2025.

Dans le secteur de la santé, une grande partie des investissements en R&D adresse la mise au point de nouvelles thérapies : oncologie, immunothérapie, thérapie génique, recherche sur les cellules souches, etc...

Dans le secteur des technologies de l'information, la robotique et la mise au point de technologies d'intelligence artificielle concentrent la majorité des efforts de R&D. C'est un sujet dans lequel l'Europe est globalement en retard par rapport aux États-Unis ou à la Chine. Cela rend difficile le développement d'une stratégie permettant de rivaliser sur l'ensemble du périmètre des NTIC. Le schéma suivant présente les principaux efforts de R&D et les thématiques associées.

Technology	EU	US	JP	RoW	CN
High speed network	1.42	1.36	0.72	0.72	1.58
Mobile communication	1.60	1.22	0.62	0.84	1.64
Security	1.63	1.42	0.74	0.64	1.29
Sensor and device network	2.07	0.99	0.78	0.92	0.50
High speed computing	0.77	1.76	0.82	0.77	0.82
Large-capacity and high speed storage	0.60	1.06	0.97	1.32	0.33
Large-capacity information analysis	1.34	1.69	0.78	0.54	1.17
Cognition and meaning understanding	1.08	1.08	1.19	0.75	0.79
Human-interface	0.51	0.65	0.82	1.59	1.34
Imaging and sound technology	0.71	0.63	1.40	1.02	0.76
Information communication device	0.80	0.63	1.20	1.20	0.75
Electronic measurement	2.75	1.38	0.78	0.44	0.18
Others	0.37	0.82	1.31	1.20	0.44

Tableau 57 - Distribution thématique des efforts de R&D, par rapport à la moyenne égale à 1 (287)

Le domaine des sciences cognitives est un effort partagé par le Japon, l'Europe et les États-Unis. Le domaine de l'analyse de grandes capacités de données est un effort partagé entre l'Europe (Santé), les États-Unis (Santé, données web) et la Chine (Données Web).

En France, les dépenses globales de R&D se sont élevées à 32<sup>288</sup> Mds d'euros pour les entreprises en 2017 (dont 2,2 Mds d'euros pour les activités informatiques) et à 12,8 Mds d'euros pour la recherche publique<sup>289</sup> en 2016.

<sup>287</sup> 2017 EU Industrial R&D Investment Scoreboard

<sup>288</sup> Les dépenses de R&D des entreprises en 2016, Ministère de la Recherche

<sup>289</sup> MIREs

À titre de comparaison, AMAZON a dépensé près de 20 Mds d'Euros de R&D et GOOGLE 14 Mds d'euros<sup>290</sup> en 2017. Selon les annonces effectuées lors du rapport AI for Humanity, la France prévoit d'investir 1,5 Mds d'euros dans la R&D en IA sur 5 ans, soit 300 millions d'euros par an, un montant comparable à celui consenti par chaque GAFAM dans le domaine de l'IA. Compte tenu de la dynamique en cours, il faut privilégier les investissements de R&D en IA sur des domaines sur lesquels ces acteurs ne travaillent pas, comme tous les secteurs B2B.

La recherche en IA dans le secteur des technologies de l'information est présentée dans la partie technologique du rapport et spécifiquement dans chaque secteur économique étudié.

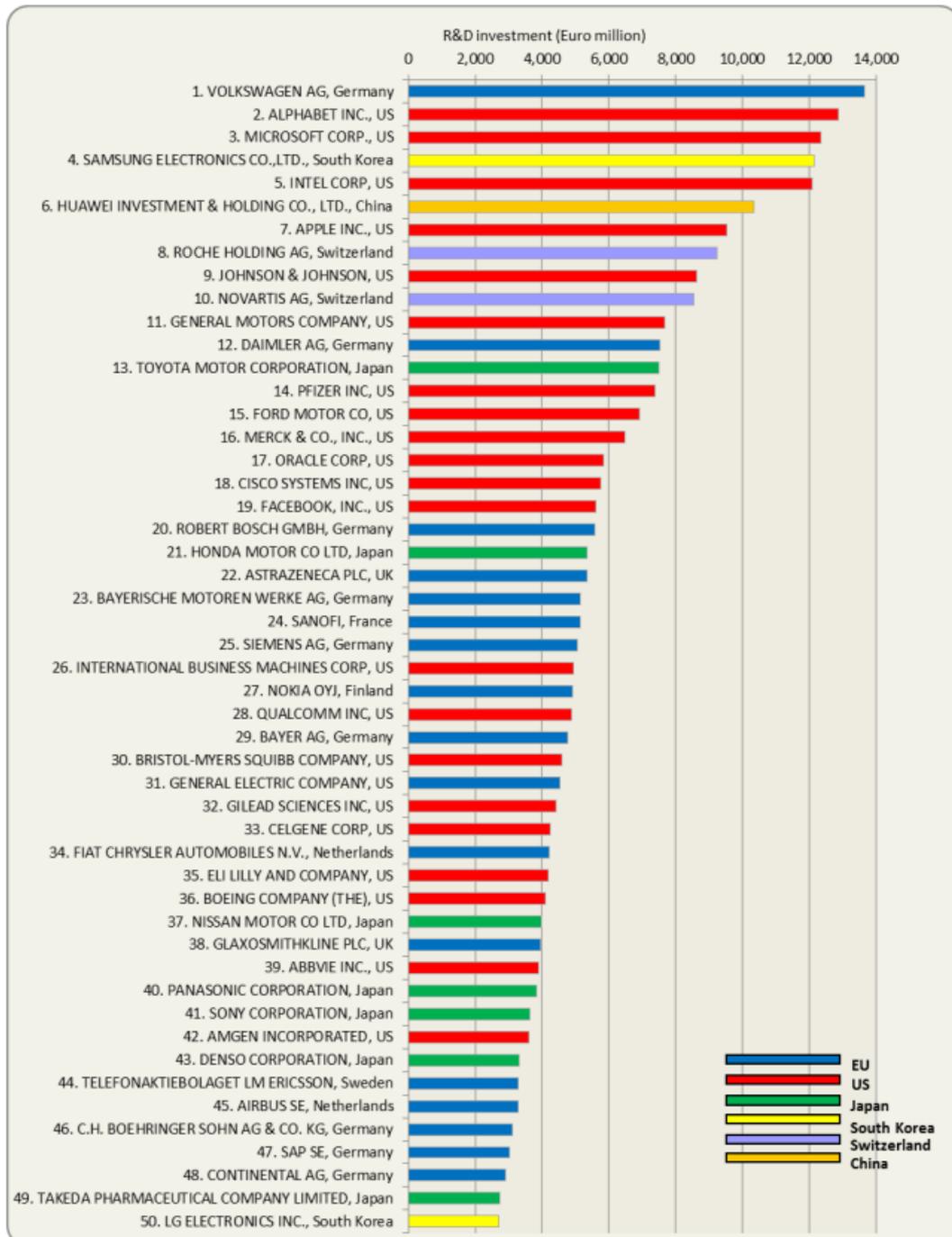


Figure 171 - Top 20 mondial des dépenses de R&D, 2017<sup>291</sup>

<sup>290</sup> Recode 2017

<sup>291</sup> 2017 EU Industrial R&D Investment Scoreboard

## R&D en santé

### Publications

Nous avons pris en compte les publications d'intelligence artificielle en santé qui ont un fort impact et une approche méthodologique liée aux techniques de l'intelligence artificielle. **GOOGLE Scholar** recense plus de **80 000** publications sur le thème de l'intelligence artificielle et de la santé. Les publications sur « l'apprentissage profond » ont doublé en 2016 par rapport à l'année précédente.

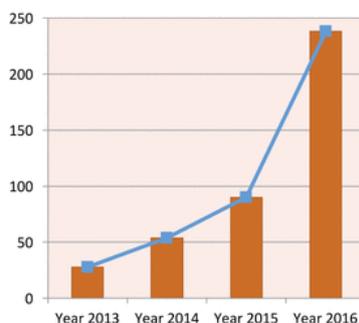


Figure 172 - Évolution du nombre d'articles publiés en deep learning en santé<sup>292</sup>

En IA, les principaux thèmes de publication portent sur :

- Le raisonnement et la prise de décision clinique et médicale.
- Le développement des connaissances et l'éducation de professionnels et patients.
- Le traitement du langage naturel en médecine.
- La recherche médicale et création de modèles pour la biomédecine.
- L'épidémiologie et les modèles prévisionnels de santé.

La majorité des publications porte sur l'analyse d'imagerie médicale, source de données déjà numérisée, disponible en volume important et avec une forte complexité d'interprétation pour un humain, ce qui permet d'envisager une amélioration de performance significative par un algorithme d'IA.

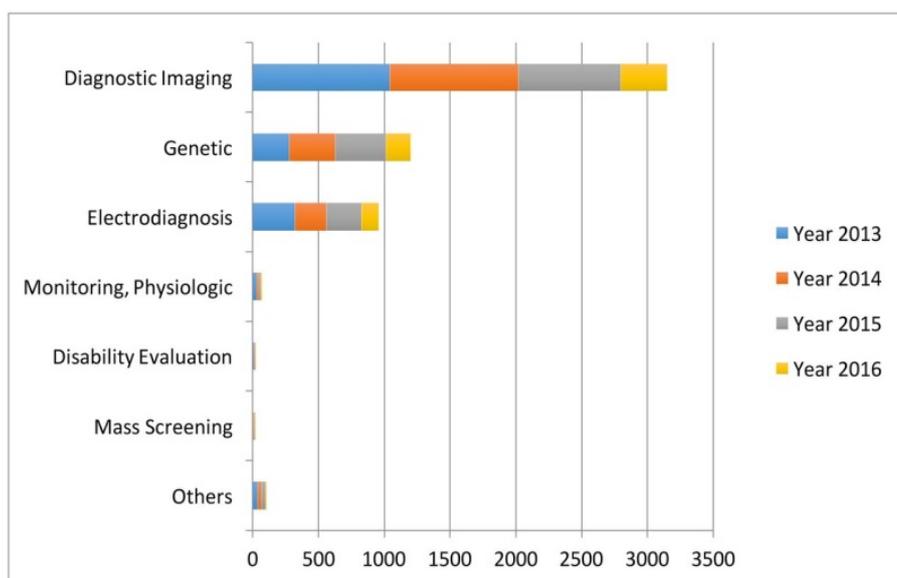


Figure 173 - Répartition des thèmes de travail en apprentissage profond (292)

<sup>292</sup> PUBMED, 2017

En dehors de l'imagerie médicale, les comptes rendus d'entretiens cliniques et les résultats d'exams biologiques sont les deux autres principales sources de données disponibles pour la mise au point d'algorithmes d'apprentissage. Les comptes rendus contiennent essentiellement du texte non structuré qui doivent être interprétés par des algorithmes de traitement automatique du langage (TAL) avant de les utiliser à des fins d'analyse.

La recherche en IA se concentre principalement sur quelques maladies comme le cancer, les maladies du système nerveux et les maladies cardiovasculaires.

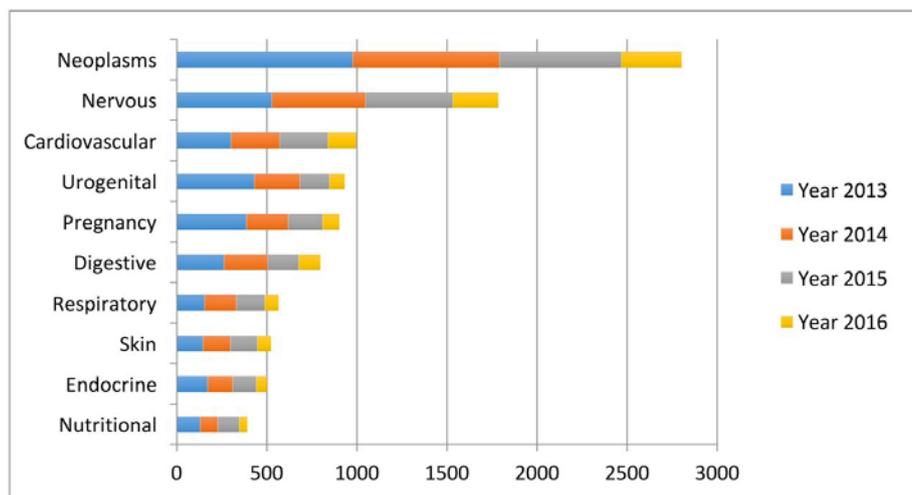


Figure 174 - Répartition des publications par maladie de la recherche en intelligence artificielle<sup>293</sup>

IBM effectue une recherche importante en cancérologie pour permettre à WATSON de proposer un diagnostic ou une stratégie thérapeutique. Des études réalisées avec la société américaine de recherche en oncologie (ASCO) mettent en valeur la précision de l'intelligence artificielle. Selon IBM, pour un diagnostic de cancer du poumon, WATSON et les médecins seraient d'accord à 96%, 93% pour un cancer du rectum et 81% pour un cancer du côlon. Plusieurs tests sont en cours en France avec WATSON dans des laboratoires comme IPSEN ou des instituts de recherche comme CURIE. L'IA se révèle aussi pertinente que les humains pour analyser les publications médicales et synthétiser la connaissance, mais beaucoup moins pour rendre un diagnostic, notamment en raison du manque de données d'entraînement disponible.

En neurologie, l'IA est utilisée pour aider à traiter des troubles psychiques ou des lésions neurologiques. La startup RYTHM utilise les techniques de polysomnographie et de l'apprentissage pour traiter les troubles du sommeil. Certaines modifications de comportement dans le sommeil pourraient être des précurseurs de la maladie d'Alzheimer. L'institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM) et la startup AI.MERGENCE ont développé un robot permettant d'aider les patients avec des lésions cérébrales dans leurs exercices de rééducation cognitive. Plusieurs projets de recherche visent à détecter des comportements dépressifs à partir des interactions entre un patient et ses outils digitaux.

En cardiologie, la startup CARDIOLOGS utilise des techniques d'apprentissage sur des relevés d'électrocardiogrammes pour détecter automatiquement des arythmies cardiaques. En 2018, l'Université de Californie à San Francisco a publié une étude sur les performances comparées des médecins et d'une intelligence artificielle dans l'analyse d'échocardiographie de faible qualité. Entraînée sur 180 000 échographies, l'IA a atteint une précision de 92%. Les humains n'ont obtenu que 79% de réponses correctes.

<sup>293</sup> PUBMED, 2017.

## Quelques écosystèmes d'innovation en santé sur l'IA

Aux États-Unis, les structures de recherche en intelligence artificielle sont issues de rapprochement entre centres de recherche en informatique et Mathématiques d'une part avec des centres de recherche en santé d'autre part. Le département de médecine de l'université de Stanford (CERC) a mis en place un partenariat avec le laboratoire d'AI du département de Computer Science. De la même manière en 2018, Stanford Médecine a également lancé un centre d'intelligence artificielle en imagerie pour mettre en commun les ressources de l'école de médecine et les programmes en informatique et ingénierie afin de développer de nouveaux algorithmes d'apprentissage pour l'imagerie médicale et l'analyse de texte. STANFORD dispose d'un hôpital de 600 lits avec 60,000 visites par an et un budget de 7 Mds de dollars. STANFORD développe également des coopérations avec le monde hospitalier et notamment en 2018 avec le campus de santé RAMBAM en Israël pour développer des technologies innovantes en santé.

Les GAFAs développent également des programmes de recherche en santé en mettant en place des collaborations avec des hôpitaux. IBM WATSON a mis au point son algorithme de diagnostic en cancérologie au MEMORIAL SLOAN KETTERING CANCER CENTER et à la CLEVELAND CLINIC. MICROSOFT collabore avec L'OREGON HEALTH & SCIENCE UNIVERSITY pour prédire les options de traitement les plus efficaces de plusieurs types de cancer. La plate-forme DEEPMIND de GOOGLE est utilisée par le NATIONAL HEALTH SERVICE en Grande Bretagne pour détecter certains risques pour la santé grâce à des données mobiles. DEEPMIND travaille également sur des algorithmes de vision par ordinateur pour détecter les tissus cancéreux.

Globalement des structures et des partenariats de recherche en intelligence artificielle en santé se mettent en place avec généralement 3 types d'acteurs :

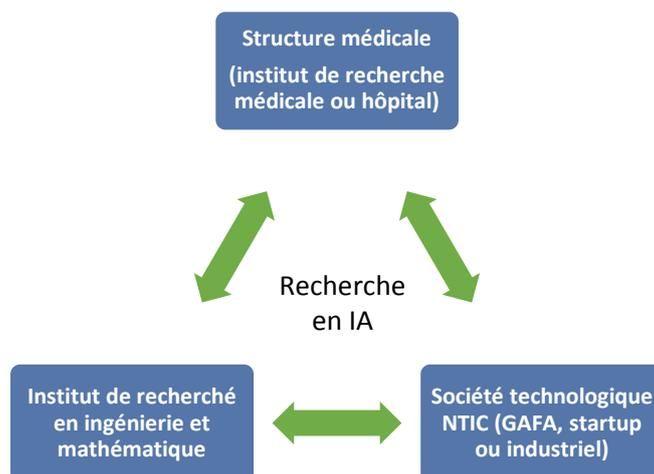


Figure 175 - Acteurs de la recherche en IA dans le domaine de la santé

En France, de nombreux incubateurs ou lieux d'innovation existent en santé. Nous présentons ici, quelques exemples de structures d'innovation avec une volonté de développement dans le domaine de l'intelligence artificielle.

- **PHILIPS**

Philips a annoncé le 10 avril la création d'un "centre d'expertise" spécialisé sur l'intelligence artificielle dans la santé. Situé dans les locaux de son siège français à Suresnes, il accueillera d'ici cinq ans 50 chercheurs et ingénieurs dans les domaines cliniques en maladies cardiovasculaires, oncologie et maladies rares.

- **L'INSERM**

Créé en 1964, l'Inserm avec ses 15 000 chercheurs est le principal organisme de recherche en santé en France. Aujourd'hui, l'Inserm est au premier rang européen des institutions académiques de recherche dans le domaine biomédical, avec près de 12 000 publications par an, et au deuxième rang mondial derrière les National Institutes of Health (NIH). L'Inserm est en outre le neuvième organisme public de recherche les plus innovants au monde, selon le classement Thomson-Reuters 2016.

Plusieurs structures de l'INSERM développent des programmes de recherche en intelligence artificielle. L'unité UMR 970 à Paris spécialisée dans la greffe développe un programme de prédiction des conditions de rejet d'une

greffe chez un patient. Par ailleurs l'INSERM vient de signer un partenariat de recherche avec la startup OWKIN pour améliorer la qualité de la plateforme de recherche SOCRATES. Cette plateforme utilise des techniques d'intelligence artificielle pour découvrir de nouvelles cibles thérapeutiques, prédire l'effet des molécules et aider les médecins à donner le bon traitement à la bonne personne.

- **Université de PARIS DESCARTES et incubateur Paris BIOTECH SANTE**

Créée en 2004 par la fusion des anciennes facultés de médecine « Necker-Enfants malades », « Broussais-Hôtel Dieu » et « Cochin Port Royal », la faculté de médecine Paris Descartes est l'une des premières UFR (Unité de Formation et de Recherche) de médecine de France par le nombre d'étudiants, d'enseignants, d'unités de recherche et de par ses résultats. Elle est une composante de l'université Paris Descartes.

Avec plus de 1 900 enseignants-chercheurs, 9 unités de formation et de recherche (UFR) et un institut universitaire de technologie (IUT), l'Université Paris Descartes forme 33 500 étudiants sur l'ensemble des connaissances en sciences de l'homme et de la santé. Elle possède l'un des plus importants potentiels de recherche de France et héberge 102 équipes de recherche le plus souvent liées aux grands organismes de recherche dont l'INSERM, le CNRS et l'IRD.

L'université possède plusieurs masters de formation en intelligence artificielle et collabore activement (notamment avec Paris BIOTECH) aux structures d'innovation en santé.

- **IRCAD à Strasbourg**

L'IRCAD a été créé en 1994 dans l'enceinte des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg. Depuis sa création, l'IRCAD est devenu mondialement connu en tant qu'institut de recherche et de formation en chirurgie. Chaque année, 5700 chirurgiens du monde entier y sont formés par une équipe de 800 experts internationaux.

Les travaux de recherche de l'IRCAD portent sur l'imagerie médicale, la modélisation d'opérations notamment en réalité virtuelle, la réalité augmentée pour assister le chirurgien et le développement de gestes chirurgicaux robotisés.

En 2018, l'IRCAD a lancé le développement d'une structure de recherche dédiée à l'intelligence artificielle. À l'IRCAD tous les blocs sont équipés de systèmes audiovisuels qui permettent de former les chirurgiens et d'alimenter la chaîne chirurgicale WEBSURG. L'institut dispose d'une capacité d'annoter des images et des vidéos, un travail nécessaire aux techniques de Machine Learning pour apprendre. Lancé il y a un an, un premier essai a été mené sur les images de 120 opérations sur la vésicule biliaire. Selon l'IRCAD, au bout de 50 interventions, l'ordinateur avait compris que cette opération se déroulait toujours en sept étapes. Au bout de 120, il était capable de lancer une alerte si un chirurgien ne prenait pas le bon instrument. L'objectif à terme est qu'une caméra puisse suivre une opération en temps réel et contrôler et alerter le chirurgien si un geste devenait risqué, soit parce qu'il ne correspondrait pas aux étapes attendues soit parce qu'il dévierait de la trajectoire définie lors d'une simulation.

- **Le programme de recherche participatif EPIDEMIUM**

Le programme de recherche participatif EPIDEMIUM a été lancé en 2015 par le laboratoire ROCHE et l'incubateur La PAILLASSE afin d'améliorer la recherche épidémiologique en cancérologie. Le laboratoire a développé une base de données ouverte en oncologie pour la mettre à disposition d'étudiants, de statisticiens, de biologistes et d'experts en data-visualisation dans le cadre d'un challenge intitulé CHALLENGE4CANCER (C4C).

Le C4C est un appel à projets ouvert à tous, autour des données et du cancer, encadré par un comité d'éthique et un comité scientifique. Les participants doivent concevoir et développer des solutions innovantes sur les thématiques suivantes :

- Comprendre la répartition du cancer dans le temps et dans l'espace.
- Les facteurs de risques et les facteurs protecteurs.
- Diagnostiquer / évaluer un cancer à partir de la littérature scientifique médicale.
- Identifier les facteurs environnementaux impliqués dans les cancers.

Depuis sa création, trois challenges de 6 mois ont été organisés. Les challenges 2 et 3 sont en cours. Le vainqueur du premier challenge est la société BASELINE dont le projet vise à modéliser l'incidence et la mortalité

du cancer à partir d'un grand nombre de facteurs (agents infectieux, facteurs comportementaux, environnementaux, etc...). Le projet a rassemblé plus de 5 millions de données et offre une vue panoramique et synthétique d'un nombre inédit de facteurs de risques du cancer, en couvrant près de 500 zones géographiques dans le monde. Ce travail permet de prédire l'évolution de l'incidence et de la mortalité de 34 types de cancers.

Le laboratoire PIERRE FABRE a organisé en 2017 en partenariat avec MICROSOFT un challenge similaire qui a réuni une quarantaine de sociétés. Le challenge a été remporté par la startup SENSOME (France) spécialisée dans les micro-capteurs permettant d'identifier tout type de tissu biologique et en particulier des caillots.

## **Brevets**

Des brevets sur l'intelligence artificielle, les réseaux de neurones et l'apprentissage profond ont été déposés auprès de l'office américain des brevets (USPTO), de l'Office européen des brevets (OEB) et de l'OMPI (demandes PCT) depuis plusieurs années. IBM, QUALCOMM, SIEMENS, MICROSOFT, GOOGLE ou FUJITSU sont les principaux acteurs de dépôts de brevets dans ce domaine.

La classification utilisée couvre les domaines suivants :

Classification	Description
<b>G06N3 : Modèles biologiques</b>	Systèmes basés sur des modèles biologiques, y compris des modèles de réseaux neuronaux, des modèles génétiques, des architectures, la réalisation physique, des méthodes d'apprentissage, des ordinateurs biomoléculaires et la vie artificielle.
<b>G06N5 : Modèles basés sur la connaissance</b>	Systèmes informatiques utilisant des modèles fondés sur la connaissance, y compris l'ingénierie des connaissances, l'acquisition de connaissances, l'extraction de règles à partir de données et les méthodes ou dispositifs d'inférence.
<b>A61B5/7264</b>	Classification of physiological signals or data, e.g. using neural networks, statistical classifiers, expert systems or fuzzy systems.
<b>A61B5/7267</b>	Involving training the classification device.

Ces travaux de recherche se divisent en deux branches, une branche virtuelle :

- Gestion de l'information en apprentissage profond.
- Contrôle des systèmes de gestion de la santé, y compris les dossiers de santé électroniques.
- Orientation active des médecins dans leurs décisions.

Et une branche physique :

- Robots utilisés pour aider le patient âgé ou le chirurgien traitant.
- Des nano robots ciblés.
- Système unique de délivrance de médicaments.

Notre recherche des brevets en IA s'est basée sur les mots clés suivants :

Rang	Mot clé
1	Artificial intelligence
2	Machine Learning
3	Deep Learning
4	Neural networks
5	Natural Language Processing
6	Machine intelligence
7	Image recognition
8	Speech recognition
9	Back propagation
10	Cognitive computing

En utilisant ces mots-clés couplés à ceux de la santé (classes ou mots-clés), on obtient les résultats suivants :

Stratégie	2012 à 2017 (5 ans)	2014 à 2017 (3 ans)
<b>10 mots clés IA ET (classes OU mots clés « Santé)</b>	2 571	2 076
<b>(10 mots clés IA OU classe G06N) ET (classes OU mots clés « Santé)</b>	3 893	3 073
<b>(10 mots clés IA OU classe G06N OU classe A61B5) ET (classes OU mots clés « Santé)</b>	5 630	4 468

## R&D dans les transports et la mobilité

La France est très active en matière de brevets liés au secteur du transport, avec 1 023 demandes de brevets européens en 2016 soit 12 % des demandes totales à l'OEB. Cela tient notamment aux positions fortes d'entreprises, comme VALEO (173 demandes dans le secteur des transports, +12 %, 4ème place), Renault (145 demandes, +13 %, 7e place) et PSA (128 demandes, 11e place).

De son côté, TOYOTA compte plus de 1 400 brevets sur les voitures autonomes, deux fois plus que toute autre société de ce secteur. Par exemple, TOYOTA accélère ses efforts pour proposer sur des véhicules classiques des systèmes de sécurité basés sur de l'IA.

Par ailleurs, AMAZON a déposé un brevet pour transformer des drones en véhicules de livraison : "Human Interaction with Unmanned Aerial Vehicles" (dépôt en 2016 et validation en 2018). Un autre brevet, intitulé "Speech Interaction For Unmanned Aerial Vehicles", accordé en août 2017, permet à des drones d'interagir avec des destinataires de commande.

La popularité des brevets en IA est la suivante :

Mots clés	Nombre de brevets
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic'	4131
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'prediction'	1794
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'optimization'	2503
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'clustering'	1213
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'machine Learning'	2103
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'image recognition'	2480
'Artificial intelligence', 'transport', 'autonomous vehicles'	26 865
'Artificial intelligence', 'autonomous vehicles'	27 178

Brevets<sup>294</sup>

En logistique, AMAZON a ouvert des centres de recherche en Espagne et en Allemagne pour développer des algorithmes d'apprentissage et de traitement du langage naturel (NLP) pour améliorer notamment sa logistique. AMAZON souhaite investir 1,25 Mds d'euros en robotique et intelligence artificielle.

<sup>294</sup> Google Patents

## Publications

La popularité des thèmes de publication en IA est la suivante :

Mots clés	Nombre de publications
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic'	45 100
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'prediction'	21 800
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'optimization'	24 200
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'clustering'	18 700
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'machine Learning'	22 000
'Artificial intelligence', 'transport', 'logistic', 'image recognition'	22 100
'Artificial intelligence', 'transport', 'autonomous vehicles'	48 500
'Artificial intelligence', 'autonomous vehicles'	186 000

Publications<sup>295</sup>

Le transport et la logistique correspond à un domaine extrêmement dynamique pour les publications en intelligence artificielle.

### VEDECOM, un écosystème innovant dans le domaine de l'IA en transport

C'est un Institut de recherche sur les transports (public / privé) mis en place dans le cadre du Plan d'Investissement d'Avenir dédié à la mobilité. Il fait partie du « Plan Véhicule Autonome » de la Nouvelle France Industrielle (NFI).

VEDECOM vise à créer en France un lieu d'innovation et de recherche appliquée pour les acteurs privés de la filière automobile, les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, les collectivités territoriales, les gestionnaires d'infrastructures et les urbanistes. L'objectif est de mettre au point les technologies de mobilité et de les déployer sur le terrain. Sa finalité est de développer des briques technologiques depuis l'idée jusqu'à la démonstration et le prototypage industriel. L'objectif est également de créer de nouveaux standards visant à faire évoluer le cadre réglementaire et normatif aux niveaux national et européen.

VEDECOM fait partie du pôle de compétitivité « **MOVEO** » ([www.pole-moveo.org](http://www.pole-moveo.org), 360 membres dont 180 PME). Les principaux partenaires de VEDECOM sont les suivants :

- **Académiques** : Université de Versailles-Saint-Quentin, CETIM, ESIGELEC, AAE ESTACA, IFP Énergies nouvelles, IFSTTAR, Institut CEA LIST, INRIA, Université de Cergy-Pontoise, IRSEEM, SUPMECA, Strate College, ParisTech (A&M, ENSTA, HEC, Mines, Polytechnique, Telecom).
- **Industriels** : PEUGEOT CITROËN AUTOMOBILES, RENAULT, SAFRAN, VALEO, AREP SNCF, ATOS, CADLM, CIVITEC, COFIROUTE – VINCI, CONTINENTAL AUTOMOTIVE, CONTROLSYS, EDF, EGIS MOBILITE, FONDATERRA, INDUCT, INTEMPORA, LE MOTEUR MODERNE, LMS IMAGINE, NEXYAD, SHERPA ENGINEERING, SOPEMEA, STMICROELECTRONICS, TE CONNECTIVITY, UTAC, VENTURI, VEOLIA ENVIRONNEMENT RECHERCHE ET INNOVATION, VEOLIA TRANSDEV, VEOLIA CAMPUS VEOLIA ENVIRONNEMENT, CASQY - Communauté de l'agglomération de Saint Quentin en Yvelines, CAVGP - Communauté d'agglomération Versailles Grand Parc, EPPS – Établissement Public Paris-Saclay.

---

295 Google Scholar

Ses activités principales sont les suivantes :

- **Véhicule électrique.** L'enjeu du domaine « électrification des véhicules » est de réduire fortement la consommation d'énergie et les émissions des véhicules actuels. Dans cette activité VEDECOM travaille sur la recharge et le moteur.
- **Véhicule autonome.** Le domaine « délégation de conduite et connectivité » adresse une deuxième rupture technologique majeure : l'introduction des modes de déplacement automatisés. Dans cette activité VEDECOM travaille dans 3 domaines : **la connectivité, la perception, le contrôle et planification.**
- **L'éco mobilité.** La mobilité vise à mieux partager la voirie et développer des services numériques d'aide à la mobilité (prédiction de trafic, covoiturage dynamique, paiement facilité).

Dans le domaine du véhicule autonome, l'équipe de VEDECOM travaille sur l'apprentissage de l'ensemble des situations de conduite dans le cadre d'un projet **VEH08** (Véhicule à conduite déléguée). C'est un projet de perception et de planification basé sur des techniques de machine Learning. Ce projet cherche à modéliser les règles de déplacement d'un véhicule dans son environnement. Il repose sur plusieurs axes de travail.

- **La définition des règles de conduite « non écrites ».** Dans ce projet on vise à définir les règles de conduite qui ne sont pas écrites et qui doivent être intégrées dans le véhicule autonome.
- **La création d'une base de roulage.** En coopération avec Renault, PSA et Valeo, une base de roulage est en cours de constitution. Les images sont prises régulièrement par un conducteur qui circule sur le réseau routier : 3 véhicules roulent dans le sud de paris, majoritairement sur autoroute puisque c'est le premier terrain applicatif. Plusieurs milliers d'heures ont été constituées depuis plus d'un an. La base s'enrichit sur d'autres types de routes comme de l'urbain.

L'objectif de ces activités est de travailler sur la planification et avoir une vision complète sur les différents aspects de la réalité (Priorité sur autoroute, éviter les bouchons).

Les problématiques suivantes sont adressées :

- **Verrou Piéton.** La détection du piéton est encore faible et il ne sera pas évident d'avoir une très bonne performance à cause des problèmes d'indexation (identifier tous les piétons sans erreur sur une image). Les performances actuelles atteignent environ 9% d'erreur de détection.
- **Verrou positionnement.** La capacité de positionner un véhicule avec une très bonne performance (il faut être à 10cm prêt) n'est pas encore atteinte.
- **Verrou apprentissage.** Développer un apprentissage continu avec des techniques de renforcement ou en faisant un transfert de connaissance : transposer l'apprentissage réalisé dans un contexte routier à un autre contexte routier.

## **NOVALOG, un écosystème innovant en logistique**

NOVALOG est un des pôles d'innovation dans le domaine de la logistique. Il a permis de développer plus de 200 projets depuis sa création et adresse les enjeux suivants :

- La compétitivité des entreprises industrielles et de services logistiques.
- La performance des flux pour fixer l'activité et la création de valeur sur les territoires.

En rapprochant les besoins métiers des opportunités portées par la recherche et les entreprises innovantes du pôle, NOVALOG consacre un effort important à l'émergence et à la construction de projets d'innovation logistique qui favorisent le développement économique des entreprises et l'attractivité des territoires.

L'axe Seine-Normandie représente un excellent terrain d'expérimentation des technologies d'IA pour l'optimisation de flux de transports multimodes.

## R&D dans le domaine de l'industrie

### ▪ Industrie 4.0

Avec la digitalisation, les frontières entre le monde physique et digital s'estompent pour créer un nouveau paradigme industriel et sociétal dans lequel les collaborateurs, les machines et les produits interagissent quelle que soit leur localisation géographique.

Le terme « industrie 4.0 » ou « Industrie du futur » est apparu la première fois en 2011 au Forum mondial de l'Industrie de Hanovre.

« Le choix du terme « Industrie 4.0 » exprime une recherche de continuité et de convergence entre la production de biens et des innovations servicielles induites par le 4.0. Elle repose sur l'intégration de l'ensemble du processus de production, grâce à une utilisation intensive des outils numériques. L'interconnexion entre les machines, la communication entre machines et produits ainsi qu'entre les différentes fonctions de l'entreprise, sont mises au service d'une production toujours plus flexible, dont le but est d'apporter une réponse personnalisée aux besoins des consommateurs, que ce soit en termes de produits, de services ou d'usage »<sup>296</sup>.

L'Allemagne a été le premier pays à mettre en œuvre une politique industrielle focalisée sur ce concept d'usine connectée, robotisée et intelligente. L'objectif était de définir les paramètres pouvant positionner le secteur manufacturier allemand comme le plus performant en matière de productivité et de flexibilité.

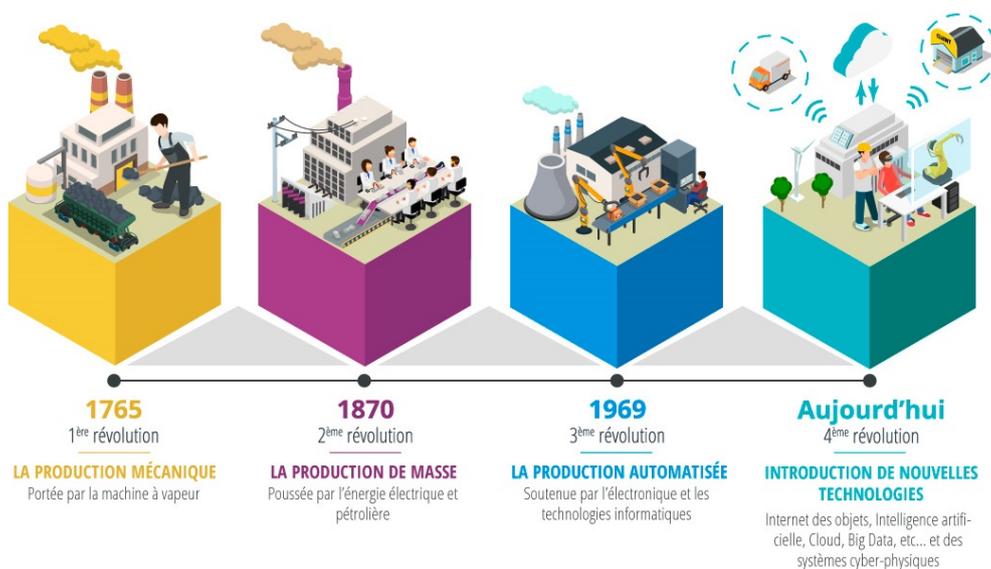


Figure 176 - Les étapes de la révolution industrielle

Le concept d'« Industrie 4.0 » avait été une réponse stratégique des autorités allemandes permettant de valoriser les « avantages compétitifs établis de l'industrie allemande (qualité, technologies liées aux produits, proximité avec le client...) pour faire évoluer celle-ci vers une production non standardisée avec un haut niveau de variabilité du produit et vers une plus grande intégration des produits et des services liés au business »<sup>297</sup>.

<sup>296</sup> INDUSTRIE 4.0, les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand. Dorothee Kohler, Jean-Daniel Weisz. P.5. La documentation Française

<sup>297</sup> INDUSTRIE 4.0, les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand. Dorothee Kohler, Jean-Daniel Weisz. Page 20. La documentation Française

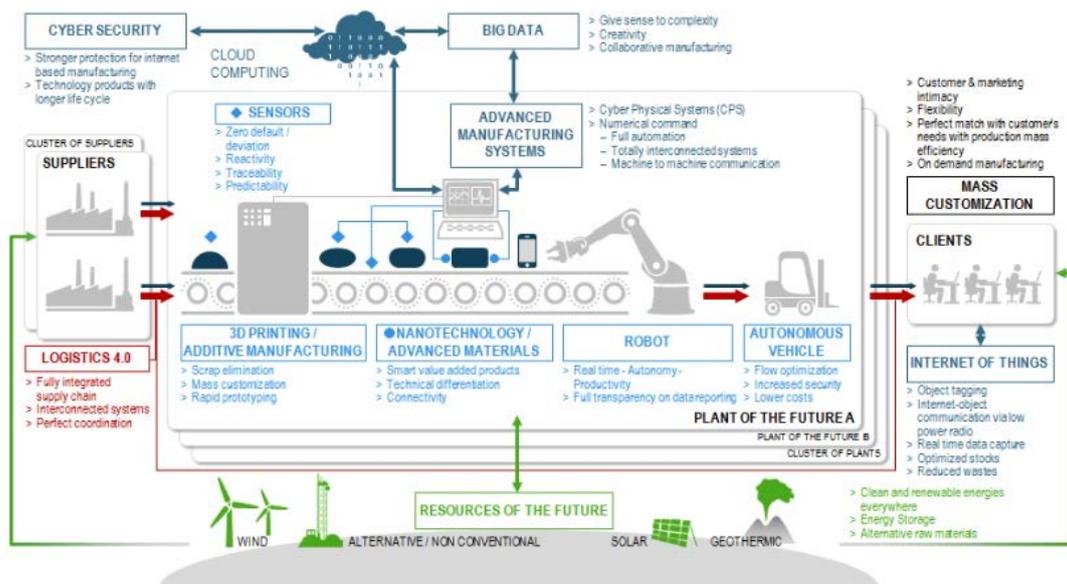


Figure 177 - Industrie 4.0 écosystème<sup>298</sup>

▪ **Déclinaison en France du concept Industrie 4.0 : l'« Industrie du futur »**

Créée en juillet 2015, l'Alliance Industrie du Futur (AIF), regroupe les organisations professionnelles de l'industrie et du numérique ainsi que des partenaires académiques, technologiques et de financements des entreprises. Émanant des 34 plans de la Nouvelle France industrielle impulsés par le ministre Arnaud Montebourg, devenus en 2015, les 10 solutions sur décision d'Emmanuel Macron, son successeur d'alors, l'AIF organise et coordonne, au niveau national, les initiatives, projets et travaux tendant à moderniser et à transformer l'industrie en France. Un premier bilan réalisé par la CETIM<sup>299</sup> a indiqué que 4 100 entreprises ont été accompagnées à fin 2016 pour un objectif initial de 2000, 80 PME aidées dans leur robotisation avec Robot Start PME et 22 vitrines de l'usine du futur ont été labellisées. Voici un exemple de projet labellisé par l'Alliance Industrie du Futur, intégrant des applications IA.

En 2017, AIR LIQUIDE a inauguré en France CONNECT<sup>300</sup>, un centre d'opération unique dans l'industrie des gaz industriels, permettant de piloter à distance la production de 22 unités du Groupe, d'optimiser leurs consommations énergétiques et de renforcer leur fiabilité. Labellisé Vitrine Technologique par l'Alliance Industrie du Futur, CONNECT représente un investissement de 20 millions d'euros. Grâce à l'analyse des données de masse 24h/24 de 22 sites, AIR LIQUIDE développe la maintenance prédictive des sites de production en identifiant les signaux faibles qui précèdent un dysfonctionnement. Des algorithmes permettent d'affiner les réglages des équipements pour optimiser les consommations d'énergie, en s'appuyant sur près de 15 ans de données enregistrées sur tous les sites industriels. Le centre d'opération et d'optimisation à distance a fait naître de nouveaux métiers : les « pilotes en temps réel » en contact permanent avec les sites et les « analystes » qui étudient la production et l'optimisation des consommations d'énergie.

Trois thématiques fortes permettent d'illustrer l'importance de la R&D et de l'Innovation utilisant des algorithmes d'IA dans les secteurs de l'énergie et de l'environnement :

- les réseaux électriques intelligents
- l'efficacité énergétique
- les enjeux météorologiques et climatiques

<sup>298</sup> Global success club

<sup>299</sup> <http://www.cetim.fr/fr/Actualites/En-France/A-la-une/Industrie-du-futur-4100-entreprises-accompagnees>

<sup>300</sup> <http://www.industrie-dufutur.org/Vitrines/projet-connect-un-centre-doperation-industriel-distance/> et

## R&D dans le domaine de l'énergie

- **Réseaux électriques intelligents ou SmartGrids**

Dans l'éventail de technologies en cours de déploiement nécessaires à leur mise en œuvre, les algorithmes d'intelligence artificielle représentent un large gisement d'applications potentielles pour amplifier le développement des réseaux électriques intelligents (optimisation de l'équilibre offre /demande, exploitation plus fine des flexibilités du réseau), et encourager l'implication des clients dans le pilotage du réseau (émergence des consommateurs – volet bidirectionnel des réseaux intelligents, etc.).

Illustration de ce potentiel : depuis 2008, la France mène une politique volontariste sur la R&D dans le domaine des Smart Grids / Smart Energy. Plusieurs dizaines de démonstrateurs ont vu le jour aux quatre coins du territoire français.

La Commission Européenne a classé la France en première position des nations ayant investi dans le domaine. Au total, ce sont plus de 500 millions d'euros qui ont été investis<sup>301</sup>.

En 2016, FLEXGRID en PACA, SMILE en Bretagne et Pays de la Loire, YOU & GRID à Lille et dans sa région, ont remporté l'appel à projets lancé par le gouvernement pour soutenir le déploiement à grande échelle de réseaux électriques intelligents<sup>302</sup>. Fin 2017, SMILE et FLEXGRID ont choisi de fédérer leurs savoir-faire.

Compte-tenu de l'avance de la France en la matière à l'échelle européenne et du leadership de grandes entreprises nationales (EDF, ENEDIS) et de PME (ex : SOCOMEC) dans les déploiements de projets innovants, ce sujet représente l'un des domaines de potentiel leadership européen et mondial pour le développement d'une filière IA dans l'énergie.

En effet, ce marché représente un chiffre d'affaires annuel de 30 Mds de dollars. Et on estime que dans le courant de la prochaine décennie, les investissements en la matière croîtront de 5 à 18% par an. La France est actuellement placée au 5<sup>ème</sup> rang mondial de la composante numérique du marché des SmartGrids<sup>303</sup>.

---

<sup>301</sup> <https://www.thinksmartgrids.fr/actualites/la-france-en-tete-des-investissements-dans-les-smart-grids-en-europe/>

<sup>302</sup> <http://les-smartgrids.fr/flexgrid-smile-rapprochement-initiatives/>

<sup>303</sup> <https://www.thinksmartgrids.fr/actualites/le-marche-mondial-des-smart-grids-vu-par-le-departement-du-commerce-americain/>

# Compléments sur le commerce de détail

## Économie du secteur<sup>304</sup>

Le secteur du commerce de détail est en progression et représente 4% de la valeur ajoutée française en 2016, notamment grâce au développement du commerce hors magasin (+ 3,9%) en volume. En 2016, le commerce de détail employait 1,3 millions de personnes, soit 8% de la population active<sup>305</sup>.

Le secteur du commerce de détail est principalement dominé par les réseaux d'enseigne. Un peu plus d'un quart des points de vente appartiennent à un réseau d'enseigne. Mais ces magasins réalisent plus des deux tiers du chiffre d'affaires et de la surface de vente. Ils emploient en moyenne 60% du secteur. Le chiffre d'affaires moyen par établissement est six fois plus élevé en réseau que hors réseau (2,8 millions d'euros contre 500 000 euros).

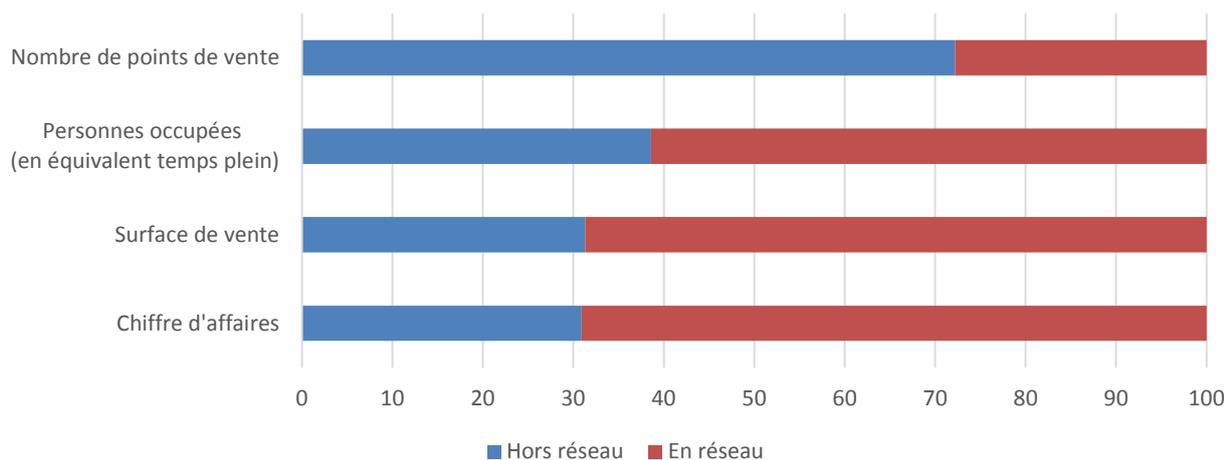


Figure 178 - Poids des réseaux dans le commerce de détail<sup>306</sup>

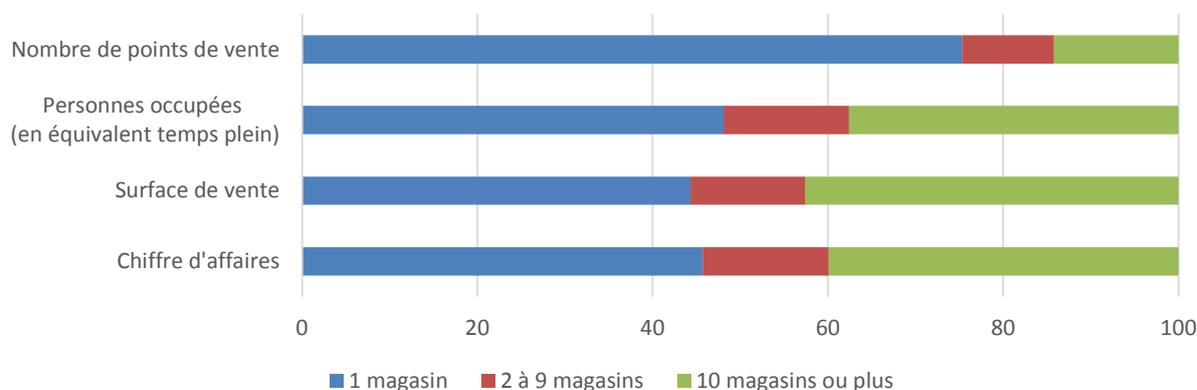


Figure 179 - Poids des entreprises selon leur nombre de magasins en % (306)

La France, comme les États unis en 2017, n'est pas épargnée par la vague de fermeture des magasins. CARREFOUR, AUCHAN ET CASINO annonçaient déjà en 2017 une restructuration en leur sein.

<sup>304</sup> Extraits en partie des analyses de l'INSEE

<sup>305</sup> <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2015051>

<sup>306</sup> Source : Insee Insee, DGFIP, enquête Points de vente 2014

## Quelques acteurs de l'écosystème français

### ▪ PICOM

Le PICOM est le seul pôle de compétitivité français dans le commerce et la distribution qui s'inscrit dans une logique de filière. Le pôle a été construit initialement autour des enseignes de la famille MULLIEZ et s'est étendu progressivement.

Le PICOM s'intéresse autant aux technologies qu'aux usages avec comme problématique : qu'est-ce que la technologie peut apporter à la filière ? (Par exemple en aidant au développement de collaboration entre écosystèmes de startups et adhérents du PICOM, mais aussi en partageant de la veille ou en aidant à structurer des réponses à appels à projet). Le PICOM s'inscrit dans une logique nationale avec une implantation parisienne et lilloise depuis 2006. Ils travaillent sur tous les sujets qui touchent l'omnicanalité et l'homogénéité de l'expérience client.

Les sujets de type IA et Big Data sont aujourd'hui peu présents chez les adhérents du PICOM, plutôt tournés vers de l'optimisation de processus et de l'interaction client en termes de scénarisation de produits. L'orientation des adhérents est généralement plus opérationnelle que stratégique et prospective. Il compte aujourd'hui plus d'adhérents et de formation.

### ▪ AFRC

L'Association Française de la Relation Client (AFRC) est un réseau de 300 entreprises et 3 500 membres construit dans une logique d'échanges conviviaux et de mutualisation d'expertises (stratégie, innovation, marketing, relation & expérience client, digital). Les missions, orientées autour de quatre axes, visent la transformation de l'entreprise par le biais de l'Expérience Client

- ✓ Offrir aux adhérents un réseau d'échanges professionnels unique et convivial
- ✓ Détecter les signaux faibles pour faire grandir l'expertise de nos adhérents
- ✓ Récompenser les professionnels exemplaires et valoriser les innovations fortes.
- ✓ Défendre les intérêts des professionnels de la Relation Client.

### ▪ FEVAD

La Fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) rassemble et fédère l'ensemble des acteurs du e-commerce et de la vente à distance, quels que soient leur secteur d'activité, leur nature (pure-players ou non) et les supports de communication utilisés.

Les membres de l'AFRC sont issus de 22 secteurs d'activité rassemblant annonceurs/marques, prestataires, offreurs de solutions, opérateurs, collectivités. Ils représentent toute la diversité des métiers de la Relation Client et toute la diversité du tissu économique français, des PME aux grands groupes. Ces hommes et femmes passionnés ont en commun de servir leur métier avec exigence et créativité.

L'AFRC accompagne les mutations de la Relation Client. Elle revendique à travers son engagement, ses actions et ses services, un contenu à haute valeur ajoutée. Elle contribue ainsi à la performance de ses adhérents et du secteur de la Relation Client en général.

## Sigles

AFA	Association Française de l'Aluminium
API	Application Programming Interface
AWS	AMAZON Web Service
CNN	Convolution Neural Network
CPU	Central Processing Unit
DGE	Direction générale des Entreprises
DL	Deep Learning
EMBB	Enhanced Mobile Broadband
FPGA	Field Programmable Gate Array
FTTH	Fiber To The Home
FTTLA	Fiber To The Last Amplifier
GAN	Generative Adversarial Networks
HPC	High performance computing (calcul haute performance)
IA	Intelligence artificielle
IOPS	Input/output operations per second
IOT	Internet Of Thing (internet des objets)
GPU	Graphical Processor Unit
LORA	Long Range
ML	Machine Learning
MMTC	Massive Machine Type Communications
NPE	Neural Processing Engine
NVME	Non Volatile Memory Express
RBM	Machine de Boltzman restreinte
RNN	Recurrent Neural Network
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
SCSI	Small Computer System Interface
SSD	Solid State Disk
TAL	Traitement automatique du langage
TPU	Tensorflow Processing Unit
URLLC	Ultra-reliable and Low Latency Communications
V2V	Vehicle to Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2X	Vehicle to Vehicle and infrastructure

# Index des tableaux

Tableau 1 - Usages en IA (45).....	41
Tableau 2 - Exemple d'usages.....	44
Tableau 3 - Exemple d'usages selon le mode d'apprentissage.....	48
Tableau 4 - Exemples d'usage par type de réseau de neurones.....	61
Tableau 5 - Caractéristiques des bibliothèques deep Learning.....	63
Tableau 6 - Popularité (contributeurs et nombre de projets) des framework de ML sur GITHUB, 2017.....	63
Tableau 7 - Applications de l'IA en imagerie.....	68
Tableau 8 - Classement ILSVRC 2012.....	84
Tableau 9 - CA des principaux acteurs en robotique en m€ en 2015.....	94
Tableau 10 - Liste des études utilisées pour le classement adoption.....	108
Tableau 11 - Évaluation qualitative de l'étendue de l'analyse.....	109
Tableau 12 - Classement international des secteurs selon les études.....	109
Tableau 13 - Classement international de l'adoption de l'IA.....	110
Tableau 14 - Classement sectoriel international d'adoption de l'IA.....	110
Tableau 15 - Liste des études utilisées pour le classement innovation.....	111
Tableau 16 - Classement sectoriel international en innovation en IA.....	111
Tableau 17 - Classement sectoriel international en IA.....	112
Tableau 18 - Évaluation sectorielle nationale en IA.....	114
Tableau 19 - Classement sectoriel national de l'IA.....	114
Tableau 20 - Usages de l'IA dans les services publics.....	119
Tableau 21 - Répartition géographique des sociétés.....	119
Tableau 22 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	120
Tableau 23 - Répartition géographique des sociétés.....	127
Tableau 24 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	127
Tableau 25 - Répartition géographique des startups en IA.....	133
Tableau 26 - Typologie de services IA en Agriculture.....	133
Tableau 27 - Répartition géographique des startups en IA.....	141
Tableau 28 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	141
Tableau 29 - Répartition géographique des startups en IA.....	148
Tableau 30 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	148
Tableau 31 - Répartition géographique des sociétés.....	156
Tableau 32 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	156
Tableau 33 - Répartition géographique des sociétés.....	165
Tableau 34 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	165
Tableau 35 - Répartition géographique des sociétés.....	169
Tableau 36 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	169
Tableau 37 - Répartition géographique des startups en IA.....	176
Tableau 38 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	176
Tableau 39 - Évolution du nombre d'entreprise dans le secteur de la santé.....	182
Tableau 40 - IA Startups.....	190
Tableau 41 - Exemple de startups Françaises.....	190
Tableau 42 - Startups industrie.....	203
Tableau 43 - Grands acteurs innovants en digital dans l'industrie.....	204
Tableau 44 - Variation du nombre de voyageur (en milliards de voyageurs-km) par mode.....	207
Tableau 45 - Variation du nombre de véhicules en milliards de tonnes-km.....	208
Tableau 46 - Marchandises au départ et à l'arrivé des aéroports français en milliers de tonnes.....	209
Tableau 47 - Transport ferroviaire de marchandise par conditionnement en milliards de tonnes-km (189).....	209
Tableau 48 - Activité des ports français (entrées et sorties) en millions de tonnes (189).....	209
Tableau 49 - Répartition géographique des sociétés.....	218
Tableau 50 - Exemples d'entreprises suivant les typologies de services.....	218
Tableau 51 - Répartition géographique des sociétés.....	230
Tableau 52 - Typologie de services IA.....	230
Tableau 53 - Répartition géographique des sociétés.....	231
Tableau 54 - Typologie de services IA.....	231
Tableau 55 - Restriction d'accès aux données.....	259
Tableau 56 - Disponibilité des technologies d'IA (traitement Atawao).....	297
Tableau 57 - Distribution thématique des efforts de R&D, par rapport à la moyenne égale à 1 (287).....	301

# Index des figures

Figure 1 - Date de publication stratégies en IA des États.....	15
Figure 2 - La puissance de calcul des machines en 2015.....	17
Figure 3 - Chronologie des évolutions numériques.....	18
Figure 4 - Briques technologiques de l'IA.....	19
Figure 5 - Répartition des datacenters français par niveau de performance.....	20
Figure 6 - Répartition de la part de marché en Europe des fournisseurs d'infrastructure.....	21
Figure 7 - Services d'infrastructures typiques (en bleu, les services clés en IA).....	22
Figure 8 - Évolution des ventes de HDD de Seagate et Western Digital (80% de PDM globale).....	23
Figure 9 - Évolution du marché des Solid state drive.....	23
Figure 10 - Comparaison des latences SSD et HDD classiques.....	24
Figure 11 - Évolution des architectures de stockage.....	24
Figure 12 - Évolution des performances des processeurs (milliers de transistors).....	26
Figure 13 - GOOGLE Tensor Processor Unit (TPU).....	26
Figure 14 - Performance comparée des processeurs.....	27
Figure 15 - Usage d'IA des processeurs en fonction de leur architecture.....	28
Figure 16 - Evolution des ventes sectorielles de processeurs (Mds de dollars et millions d'unités à droite).....	29
Figure 17 - Carte du déploiement Haut Débit (bleu clair) et Très haut débit (bleu foncé).....	30
Figure 18 - Avancement du déploiement du très haut débit en France <sup>(31)</sup> .....	31
Figure 19 - Évolution des abonnements au très haut débit en France.....	31
Figure 20 - Conduite d'exploitation électrique RTE.....	32
Figure 21 - Évolution de la couverture mobile.....	33
Figure 22 - Répartition des usages par technologie 5G.....	34
Figure 23 - Feuille de route du déploiement de la 5G.....	34
Figure 24 - Feuille de route européenne du déploiement de la 5G.....	34
Figure 25 - Déploiement du réseau LoRA en France, Janvier 2017.....	35
Figure 26 - Déploiement du réseau SigFox.....	36
Figure 27 - Les objets connectés et le cloud.....	37
Figure 28 - Chronologie des techniques algorithmiques d'intelligence artificielle.....	39
Figure 29 - Processus de machine learning (43).....	39
Figure 30 - Exemple de scène à analyser.....	40
Figure 31 - Intelligence artificielle appliquée aux tâches cognitives.....	41
Figure 32 - Exemple de classification en 2 ensembles.....	42
Figure 33 - Exemple de régression linéaire.....	43
Figure 34 - Exemple de détection de fraude.....	43
Figure 35 - Recommandation : exemple de filtrage collaboratif.....	44
Figure 36 - Évaluation de la performance d'apprentissage.....	45
Figure 37 - Apprentissage supervisé à partir d'ensemble prédéfinis (rouge, vert, jaune).....	46
Figure 38 - Apprentissage non supervisé sans données étiquetées.....	46
Figure 39 - Apprentissage semi supervisé à partir des ensembles rouges, jaunes et verts.....	47
Figure 40 - Apprentissage par renforcement, test de sortie de labyrinthe.....	47
Figure 41 - Principaux types d'apprentissage.....	48
Figure 42 - Neurone.....	50
Figure 43 - Exemple de réseau de neurones.....	50
Figure 44 - Exemple simplifié de deep Learning <sup>52</sup> .....	51
Figure 45 - Exemple de sentiment exprimé.....	52
Figure 46 - Réseau de neurones simples <sup>52</sup> .....	52
Figure 47 - Rétro-propagation <sup>52</sup> .....	53
Figure 48 - Performance de l'apprentissage pour un réseau simple <sup>52</sup> .....	53
Figure 49 - Réseau de neurones à plusieurs couches cachées <sup>52</sup> .....	54
Figure 50 - Performance d'un réseau de neurones avec une couche cachée <sup>52</sup> .....	54
Figure 51 - Performance d'un réseau de neurones à plusieurs couches cachées <sup>52</sup> .....	54
Figure 52 - Le visage réel et les traits du visage définis avec une première couche mal entraînée <sup>52</sup> .....	55
Figure 53 - Problème de gradient <sup>52</sup> .....	55
Figure 54 - Nombre de paramètres d'un réseau de neurones pour une image 48 * 48 pixels <sup>52</sup> .....	55
Figure 55 - Exemple d'entraînement <sup>52</sup> .....	56
Figure 56 - Exemple de réseau de neurones profond <sup>52</sup> .....	57
Figure 57 - Reconnaissance faciale <sup>52</sup> .....	57
Figure 58 - Résultat de la convolution.....	58
Figure 59 - Exemple de réseau de neurones à convolution.....	58

Figure 60 - Performance d'un réseau de neurones à convolution.....	58
Figure 61 - Exemple de réseau de neurones récurrent .....	59
Figure 62 - Détection de visage .....	60
Figure 63 - Exemples de bibliothèques Machine learning.....	62
Figure 64 - comparaison de précision des bibliothèques .....	64
Figure 65 - Bibliothèque SPARK.....	65
Figure 66 - Applications de la vision par ordinateur .....	67
Figure 67 - traitement bas niveau des images.....	67
Figure 68 - Suivi et reconstruction 3D.....	67
Figure 69 - Timeline de la vision par ordinateur .....	68
Figure 70 - Théorie de la vision.....	69
Figure 71 - Exemples de problèmes en reconnaissance vidéo.....	70
Figure 72 - MOBILEYE interprète un flux vidéo pour avertir les conducteurs des dangers imminents.....	72
Figure 73 - Applications du TAL .....	74
Figure 74 - Timeline du TAL.....	75
Figure 75 - Qualité de traduction de GOOGLE sans (bleu) et avec (vert) un réseau de neurones .....	76
Figure 76 - Représentation de type Word2vec .....	76
Figure 77 - Exemples de laboratoires de recherche en IA en France .....	78
Figure 78 - Papier de recherche de Google sur l'explicabilité de mars 2018 .....	80
Figure 79 - Chat sur une valise .....	80
Figure 80 - Exemple de problème de l'augmentation des dimensions.....	82
Figure 81 - Sites de challenge.gov et datasciencechallenge des gouvernements américains et anglais .....	83
Figure 82 - Classification ImageNet avec un Réseau de neurones à convolution .....	84
Figure 83 - Agent conversationnel IA KAI de Mastercard.....	86
Figure 84 - Prévision future du cours du bitcoin avec la technologie de ZAISAN .....	87
Figure 85 - Agent intelligent Starbucks Barista .....	88
Figure 86 - Kiosque produit Microsoft .....	88
Figure 87 - Outil de recherche visuelle de la société ASOS .....	89
Figure 88 - Reconnaissance faciale pendant un entretien vidéo .....	89
Figure 89 - Etapes de traitement d'un CV avec des algorithmes de ML.....	90
Figure 90 - Exemple d'article généré par WORDSMITH.....	90
Figure 91 - Processus de production d'URBS MEDIA.....	91
Figure 92 - Evolution des ventes de robots industriels.....	92
Figure 93 - Densité de robots pour 10 000 habitants .....	93
Figure 94 - Nombre d'unités vendues en 2016 (milliers) .....	93
Figure 95 - Evolution du nombre d'acquisitions de sociétés en robotique .....	94
Figure 96 - Evolution des ventes de robots de services (millions d'unités à gauche et Mds d'euros à droite) .....	95
Figure 97 - Robot d'assistance médicale Da Vinci, Intuitive Surgical .....	95
Figure 98 - Robot de nettoyage industriel testé gare de Lyon en 2016 .....	96
Figure 99 - Robot humanoïde développé par la firme HONDA.....	96
Figure 100 - Roadmap d'autonomie des véhicules autonomes .....	97
Figure 101 - L'ordinateur qui fournit la puissance de calcul du véhicule AIMOTIVE .....	98
Figure 102 - Projet PilotNet de NVIDIA .....	98
Figure 103 - Capteurs à bord d'un véhicule autonome .....	99
Figure 104 - Robot IWA de la société allemande KUKA .....	101
Figure 105 - Robot préparateur KINDRED .....	101
Figure 106 - Robot d'inspection autonome de la société AVITAS système .....	102
Figure 107 - Robot intelligent ELLIQ .....	103
Figure 108 - Méthodologie de classement sectoriel .....	107
Figure 109 - les secteurs les plus impactés par l'IA à l'international et en France.....	115
Figure 110 - Segmentation des usages en IA dans le domaine des services publics.....	117
Figure 111 - Typologie de services IA dans le domaine financier .....	124
Figure 112 - Performance (bleue) des fonds utilisant de l'intelligence artificielle .....	125
Figure 113 - Exemple de stratégie de trading à modéliser.....	125
Figure 114 - Typologie des usages en IA dans l'agriculture .....	132
Figure 115 - Robot de désherbage ECOROBOTIX .....	134
Figure 116 - Évolution mondiale des créations de sociétés de legalTechs par typologie de services .....	138
Figure 117 - Répartition des legaltechs analysées selon leur degré d'automatisation, par année.....	139
Figure 118 - Typologie des services en IA dans le domaine juridique.....	139
Figure 119 - Maturité des cas d'usage IA dans les services juridiques.....	140
Figure 120 - Répartition du Chiffre d'affaire France du marché de la sécurité.....	145
Figure 121 - Typologie des services en IA dans le domaine de la sécurité.....	145

Figure 122 - Robot de patrouille NIMBO de la société SEGWAY .....	147
Figure 123 - Top 10 des retailers en 2016 .....	152
Figure 124 - Segmentation des usages en IA dans le domaine du commerce de détail .....	154
Figure 125 - Taux d'attrition des sociétés en Europe .....	162
Figure 126 - Segmentation des usages en IA dans le domaine des services professionnels .....	162
Figure 127 - Exemple d'apprentissage de détection de fraude .....	163
Figure 128 - Exemple de typologie d'agents .....	164
Figure 129 - Segmentation des usages en IA dans le domaine des télécommunications .....	168
Figure 130 - Typologie des services en IA dans le domaine des loisirs .....	173
Figure 131 - Pipeline de données de NETFLIX .....	173
Figure 132 - Enchaînement des écrans de publicité ciblée .....	174
Figure 133 - Dépenses mondiales de soins de santé .....	181
Figure 134 - Évolution des revenus en IA dans le secteur de la santé .....	183
Figure 135 - Typologie des usages en IA en santé (vert = mature) .....	184
Figure 136 - Détection des différents cancers de la peau .....	186
Figure 137 - Etude d'impact de l'intelligence artificielle .....	188
Figure 138 - IDX-DR, solution de diagnostic de rétinopathie diabétique par IA .....	191
Figure 139 - Poids des filières industrielles dans l'économie française (166) .....	195
Figure 140 - Industrie manufacturière française : Solde commercial moyen (2010-2015) .....	196
Figure 141 - Finalité d'une industrie de manufacture .....	198
Figure 142 - Typologie des usages dans l'industrie .....	200
Figure 143 - Évolution du nombre d'entreprises dans le secteur du transport et logistique .....	207
Figure 144 - T-POD, premier camion autonome et électrique .....	212
Figure 145 - Typologie des usages en transport et mobilité .....	213
Figure 146 - Position des acteurs dans la mise au point du véhicule autonome .....	214
Figure 147 - Exemple de processus d'optimisation logistique .....	214
Figure 148 - MOBILEYE .....	218
Figure 149 - Bus EZ10 de la société EASYMILE .....	219
Figure 150 - véhicule WAYMO .....	219
Figure 151- Attentes de français vis à vis de l'environnement .....	223
Figure 152 - Besoin en données pour les réseaux électriques .....	224
Figure 153 - Smartgrid .....	225
Figure 154 - Typologie des usages de l'IA dans l'énergie .....	226
Figure 155 - Turbine à gaz de SIEMENS. Optimisation de maintenance par IA .....	226
Figure 156 - Fixation dynamique du prix à la pompe grâce à une IA .....	227
Figure 157 - Segmentation des usages en IA dans le domaine de l'environnement .....	228
Figure 158 - Détection de problème sur le système WATERNAMICS de VEOLIA IBM .....	231
Figure 159 - Distribution mondiale des startups IA .....	240
Figure 160 - Les gouvernements locaux prennent de l'avance sur le développement d'IA .....	241
Figure 161 - principaux acteurs de la recherche IA en France .....	246
Figure 162 - Polarisation de la recherche IA en France .....	247
Figure 163 - Plan IA2021 .....	251
Figure 164 - Robot Pepper en expérimentation dans un hôpital .....	256
Figure 165 - Un corpus de lois sur la protection de données qui se développe en Europe .....	257
Figure 166 - Recommandations d'actions en IA .....	260
Figure 167 - Exemple de variables retenues par l'OCDE .....	283
Figure 168 - Exemple de formules utilisées par le Conseil d'orientation pour l'emploi .....	284
Figure 169 - Illustration des tâches cognitives d'une activité .....	284
Figure 170 - Rapidité de diffusion des technologies .....	298
Figure 171 - Top 20 mondial des dépenses de R&D, 2017 .....	302
Figure 172 - Évolution du nombre d'articles publiés en deep learning en santé .....	303
Figure 173 - Répartition des thèmes de travail en apprentissage profond (292) .....	303
Figure 174 - Répartition des publications par maladie de la recherche en intelligence artificielle .....	304
Figure 175 - Acteurs de la recherche en IA dans le domaine de la santé .....	305
Figure 176 - Les étapes de la révolution industrielle .....	313
Figure 177 - Industrie 4.0 écosystème .....	314
Figure 178 - Poids des réseaux dans le commerce de détail .....	316
Figure 179 - Poids des entreprises selon leur nombre de magasins en % (306) .....	316

# Bibliographie

## Adoption de l'IA : études internationales retenues

- MIT Sloan Management Review et BCG, Sam Ransbotham, David Kiron, Philipp Gerbert, and Martin Reeves, Reshaping Business With Artificial Intelligence, Closing the Gap Between Ambition and Action ,2017
- Capgemini Consulting, Christopher Stancombe, Anne-Laure Thieullent, Ron Tolido, and Jerome Buvat, Turning AI into concrete value : the successful implementers' toolkit , 2017
- The Goldman Sachs Group, Takafumi Hara, Greg Dunham, Alexander Blostein, The Real Consequences of Artificial Intelligence Février 2015
- Nvidia, Dr. Ettikan Kandasamy Karupiah, Real World Problem Simplification Using Deep Learning / AI , 2017
- Gartner, Dr. Ettikan Kandasamy Karupiah, The Coming Artificial Intelligence Tsunami in Vertical Industries, 2017
- Accenture, Mark Purdy and Paul Daugherty, How AI Boosts Industry Profits and Innovation 2017
- TATA Consultancy Services, Jyothi Nair, Ami Malik, Sonalika Sharma, Shona Dias, Reema Pawa, Meirah Bhastekar, Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies, 2016
- Infosys, Vishal Sikka, Amplifying Human Potential Towards Purposeful Artificial Intelligence, 2016
- Stanford, Peter Stone, Chair Rodney Brooks, Erik Brynjolfsson, Ryan Calo, Oren Etzioni, and Johns Hopkins, Artificial Intelligence and Life in 2030 ,2015
- The Economist, Matteo Berlucci, Paul Clarke, Eric Colson, Chris Gelvin, Ben Goertzel, James Hendle, Artificial Intelligence in the real world,2016
- PWC, Anand S. Rao and Gerard Verweij, What's the real value of AI for your business and how can you capitalize ?,2017
- McKinsey Global Institute (MGI), Jacques Bughin, Eric Hazan, Sree Ramasami, DC Michael Chui, Tera Allas, Peter Dahlström, Nicolaus Henke, and Monica Trench, Artificial Intelligence the Next Digital Frontier? Juin 2017
- McKinsey Global Institute (MGI), James Manyika, Susan Lund, DC Michael Chui , Jacques Bughin, Parul Batra, Ryan Ko, and Saurabh Sanghvi, Jobs lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a Time of Automation, Décembre 2017
- Accenture, Robert Thomas, Vegard Kolbjornsrud, Richard Amico, The promise of Artificial Intelligence Redefining Management in the Workforce of the Future, 2016
- Katja Grace, John Salvatier, Allan Dafoe, Baobao Zhang, and Owain Evans, When Will AI Exceed Human Performance? Evidence from AI Experts, 2017

## Innovation apportées par les startups IA : données internationales

- Base de données de startups : <https://www.crunchbase.com/>
- Roland Berger and Asgard, *Artificial Intelligence – A strategy for European startups* , 2018, 32 p.
- Dealroom, Yoram Wijngaarde, Darya Paliksha, Irina Anihimovskaya, and Marco Squarci, *Artificial Intelligence, Deep Tech & Venture Capital in Europe* [en ligne], Octobre 2017, 25 p. Consultable sur : [https://blog.dealroom.co/wp-content/uploads/2017/10/DeepTech\\_AI\\_vFINAL.pdf](https://blog.dealroom.co/wp-content/uploads/2017/10/DeepTech_AI_vFINAL.pdf)
- PI Ventures and Traxcn, *Artificial Intelligence Investment Landscape Global and India Perspective* [en ligne], Aout 2016, 17 p. Consultable sur : <http://www.piventures.in/>
- Serena Capital, *The Artificial Intelligence Rush : A comprehensive study of +270 fundraising rounds in 2016 for AI and Data driven startups* [en ligne], 2016, 32 p. Consultable sur : [https://fr.slideshare.net/jeanbaptiste.dumont/the-ai-rush/4-THE\\_ARTIFICIALINTELLIGENCE\\_RUSHKEY\\_FINDINGSTHE\\_INTELLIGENCE](https://fr.slideshare.net/jeanbaptiste.dumont/the-ai-rush/4-THE_ARTIFICIALINTELLIGENCE_RUSHKEY_FINDINGSTHE_INTELLIGENCE)
- Woodside Capital Partners, Takashi niino, Isamu Kawashima, Katsumi Emura, *Artificial Intelligence : The Ultimate Technological Disruption Ascends* [en ligne], 2017, 111 p. Consultable sur : <http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2017/01/Artificial-Intelligence-Report.pdf>
- CB Insight, Andrew Ng, and Stuart Russell, *The State of Artificial Intelligence* [en ligne], 2017, 92 p. Consultable sur : <https://www.cbinsights.com/research/report/artificial-intelligence-trends/>

## Impact de l'IA sur l'emploi : études internationales

- McKinsey Global Institute (MGI), James Manyika, Susan Lund, DC Michael Chui , Jacques Bughin, Parul Batra, Ryan Ko, and Saurabh Sanghvi, *Jobs lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a Time of Automation* [en ligne], Décembre 2017, 160 p. Consultable sur : <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Global%20Themes/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Report-December-6-2017.ashx>
- McKinsey Global Institute (MGI), James Manyika, Michael Chui, Mehdi Miremadi, Katy George, Paul Willmott, Martin Dewhurst, *A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity* [en ligne], Janvier 2017, 28 p. Consultable sur : <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Global%20Themes/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works-Executive-summary.ashx>
- Global Challenge Insight Report, Klaus Schwab, Richard Samans, *The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution* [en ligne], Janvier 2016, 167 p. Consultable sur : [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)
- IBA Global Employment Institute, Gerlind Wisskirchen, Blandine Thibault, Biacabe Ulric Bormann, Annemarie Muntz, Gunda Niehaus, Guillermo Jiménez Soler, Beatrice von Brauchitsch, *Artificial Intelligence and Robotics and Their Impact on the Workplace* [en ligne], Avril 2017, 120 p. Consultable sur : <https://www.ibanet.org/Document/Default.aspx?DocumentUid=c06aa1a3-d355-4866-beda-9a3a8779ba6e>
- Accenture, Robert Thomas, Vegard Kolbjørnsrud, Richard Amico, *The promise of Artificial Intelligence Redefining Management in the Workforce of the Future* [en ligne], 2016, 23 p. Consultable sur : [https://www.accenture.com/t20170411T174532Z\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/PDF-32/AI\\_in\\_Management\\_Report.pdf#zoom=50](https://www.accenture.com/t20170411T174532Z_w_/us-en/_acnmedia/PDF-32/AI_in_Management_Report.pdf#zoom=50)
- ICAEW, Robert Thomas, Vegard Kolbjørnsrud, Richard Amico, *Artificial intelligence and the future of accountancy* [en ligne], 2017, 16 p. Consultable sur : <https://www.icaew.com/~media/corporate/files/technical/information-technology/technology/ai-report-web.ashx?la=en>
- Citi GPS/OXFORD, Carl Benedikt Frey, Ebrahim Rahbari, Robert Garlick , George Friedland, *Technology At Work v 2. The Future Is Not What It Used to Be* [en ligne], Janvier 2016, 156 p. Consultable sur : [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/reports/Citi\\_GPS\\_Technology\\_Work\\_2.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/reports/Citi_GPS_Technology_Work_2.pdf)

## Données France

- Conseil d'orientation pour l'emploi (COE), *Automatisation, Numérisation et Emploi* [en ligne], Janvier 2017, 192 p. Consultable sur : [http://www.coe.gouv.fr/Detail-Nouveaute.html%3Fid\\_article=1347.html](http://www.coe.gouv.fr/Detail-Nouveaute.html%3Fid_article=1347.html)
- Commissariat Général Au Développement Durable, Service de l'observation et des statistiques, *Chiffres clés de l'environnement* [en ligne], Octobre 2015, 68 p. Consultable sur : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2369/1278/chiffres-cles-environnement-edition-2015.html>
- SP2C BearingPoint, Maxime Didier, Eric Falque, *Face aux enjeux de restructuration du secteur, quelles sont les perspectives d'évolution pour les Centres de Contacts ?* [en ligne], Septembre 2015, 27 p. Consultable sur : [http://sp2c.org/wp-content/uploads/2015/10/20150804\\_Etude-SP2C\\_Version-externe\\_VF.pdf](http://sp2c.org/wp-content/uploads/2015/10/20150804_Etude-SP2C_Version-externe_VF.pdf)
- Conseil national du numérique (CNN) et France Stratégie, *Anticiper les impacts économiques et sociaux de l'intelligence artificielle* [en ligne], Mars 2017. Consultable sur : <http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/rapport-intelligence-artificielle-ok.pdf>
- Sénat, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, *Pour une intelligence artificielle maîtrisée*, [en ligne], Mars 2017. Consultable sur : <https://www.senat.fr/notice-rapport/2016/r16-464-1-notice.html>
- Institut National de la Statistiques et des Etudes Economiques (INSEE), *Les Entreprises en France, Fiches sectorielles* [en ligne], Edition 201. Consultable sur <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2497179>
- Institut National de la Statistiques et des Etudes Economiques (INSEE), *INSEE Première n°1668* [en ligne], Septembre 2017. Consultable sur <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3126810>
- Ministère de l'Economie, de l'industrie et du numérique, Secrétariat d'État au Numérique, La French TECH, *Structurer et accélérer la dynamique de l'écosystème des startups françaises, Dossier de presse* [en ligne], Juillet 2016. Consultable sur : <https://www.economie.gouv.fr/accelerer-dynamique-ecosysteme-francais-de-startups>
- Alliance Industrie du future, *Rapport annuel de 2016 : Pour une industrie optimisée, connectée et créative* [en ligne], 2016 Consultable sur : [http://www.industrie-dufutur.org/content/uploads/2017/09/2017\\_06\\_AIF\\_document-a-telecharger\\_RAPPORT-D\\_ACTIVITE-2016-AIF.pdf](http://www.industrie-dufutur.org/content/uploads/2017/09/2017_06_AIF_document-a-telecharger_RAPPORT-D_ACTIVITE-2016-AIF.pdf)
- Ministère de l'Economie, de l'industrie et du numérique, *Nouvelle France industrie, Construire l'industrie française du numérique* [en ligne], 2016. Consultable sur : <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/dp-indus-futur-2016.pdf>
- Mouvement des Entreprises de France (MEDEF), *Accélérer la transformation numérique de l'économie française*, [en ligne], Mars 2017. Consultable sur [http://www.medefinternational.fr/wp-content/uploads/2017/06/TFN\\_201706\\_Propositions-du-MEDEF-pour-le-numerique.pdf](http://www.medefinternational.fr/wp-content/uploads/2017/06/TFN_201706_Propositions-du-MEDEF-pour-le-numerique.pdf)
- Ministère de l'Economie, de l'industrie et du numérique, *France intelligence artificielle*, [en ligne], Mars 2017. Consultable sur : <https://www.economie.gouv.fr/France-IA-intelligence-artificielle>
- Direction générale des Entreprises (DGE), *Chiffres Clés de l'industrie 2016* [en ligne], Edition 2016. Consultable sur : <https://www.entreprises.gouv.fr/etudes-et-statistiques/chiffres-cles-industrie>

## Autres sources consultées

- Ecosystème verticaux de l'innovation numérique :

<http://www.dataenergy.co.uk/>  
<http://www.parisfintechforum.com/>  
<http://www.francefintech.org/>  
<http://www.france-ehealthtech.org/>  
<http://www.industrie-dufutur.org>  
<https://franceisai.com/>  
<https://finance-innovation.org/>  
[http://www.denisesilber.com/silberblog/pharma\\_club\\_epharma/](http://www.denisesilber.com/silberblog/pharma_club_epharma/)  
<http://agriculture.gouv.fr/thematique-generale/production-filieres>

- Pôles de compétitivité de rang Mondial :

<https://systematic-paris-region.org/fr/>  
<http://www.images-et-reseaux.com/fr>  
<http://www.minalogic.com/fr>  
<http://www.agrisoi.fr/>  
<http://www.alpha-rlh.com/fre>  
<https://www.pole-astech.org/web/site/index.php>  
<http://www.atlanpolebiotherapies.com/>  
<https://www.axelera.org/>  
<http://www.capdigital.com/>  
<http://www.i-trans.org/>  
<http://www.iar-pole.com/>  
<http://www.medicen.org/>  
<http://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/>  
<http://pole-moveo.org/>  
<http://www.pole-optitec.com/>  
<http://www.safecluster.com/>  
<http://www.aerospace-valley.com/>

# Remerciements

Nous tenons à remercier l'intégralité des interlocuteurs rencontrés : sociétés privées, chercheurs, institutionnels, représentants d'organisations professionnelles et indépendants pour leur temps et leur disponibilité.

Nous tenons également à remercier spécifiquement les professionnels qui nous ont accordé du temps et mis à disposition leurs connaissances au service de l'étude :

- AFRC
- AIRBUS
- AIR FRANCE
- AIR LIQUIDE
- ALCMEON
- AMADEUS
- APHP
- APHP
- ARIIS
- ASSOCIATION DES REGIONS DE FRANCE
- ASSOCIATION DES REGIONS DE FRANCE
- CARTESIAM
- CARTESIAM
- CARTESIAM
- CGET
- CENTRE MATHEMATIQUES ET LEURS APPLICATIONS
- CNRS
- DATABERRIES
- DEEPOMATIC
- De GAULE FLEURANCE & ASSOCIÉS
- DINSIC
- EASY MILE
- EDF
- FEDERATION INDUSTRIES MECANIQUES
- FEDERATION INDUSTRIES MECANIQUES
- FNCCR
- FNCCR
- FRENCH EHEALTH TECH
- H-LOG
- HEALSY
- HUB/FRANCE IA
- HUTCHINSON
- IDVROOM
- ILUMENS
- IMPLICIT
- IMPLICIT
- ITII
- IPSEN
- MANPOWER / PROSERVIA
- Éric DADIAN
- Vincent FEUILLARD
- Wail BENFATMA
- Sylvie BOTHOREL
- Charles DOXUAN
- Rodrigo ACUNA AGOST
- Alexandre LOUPY
- Philippe RAVAUD
- Marco FIORINI
- Jean-Philippe BERTON
- Participants à l'Atelier de travail
- Michel RUBINO
- Joel RUBINO
- François de ROCHEBOUET
- Participants à l'Atelier de travail
- Nicolas VAYATIS
- Raja CHATILA
- Benoit GROUCHKO
- Cécile PAPIN
- Jean Sébastien MARIEZ
- Henri VERDIER
- Pejvan BEIGUI
- Bayram KADDOUR
- Benjamin FRUGIER
- Sylvia PINTO
- Mireille BONNIN
- Participants à l'Atelier de travail
- Juan Sebastián VALENCIA
- Olivier MAUREL
- Stéphane BIDET
- Nathanael ACKERMAN
- Sébastien POPINEAU
- Frédérique VILLE
- Alexandre MIGNON
- Arnaud ROSIER
- Romain GIRARD
- Anne DE CAGNY
- Raphael POUSSET BOUGERE
- Eric JEANNEROD

- MERITO
  - OVH
  - PICOM
  - PSA
  - PSA
  - PSA
  - PSA
  - RATP
  - RYTHM
  - SAFRAN
  - SERENA CAPITAL
  - SERENA CAPITAL
  - SKAPANE
  - SMAG
  - STANLEY ROBOTICS
  - STIF
  - SYMOP (Robotique)
  - SYMPHONY RETAIL AI
  - Tech IN France
  - TAG SPARENCY  
BESSONE
  - TERALAB
  - THERAPIXEL
  - UNION DES INDUSTRIES CHIMIQUES
  - VEDECOM
  - VEOLIA
  - VEOLIA / VERI
  - ZELROS
  - Consultant indépendant
  - Consultant indépendant
- Marion NATHAN
  - Alban SCHMUTZ
  - Pierre BLANC
  - Carla GOHIN
  - Yann ROBIN
  - Matthieu DONAIN
  - Eric LE DANTEC
  - Mathieu DUNANT
  - Jérôme KALIFA
  - Daniel DUCLOS
  - Xavier L'ORPHELIN
  - Jean-Baptiste DUMONT
  - José Corral GALLEGRO
  - Anthony CLENET
  - Stéphane EVANNO
  - Jeanne Marie HUCHON
  - Olivier DARIO
  - Sébastien HERRY
  - Loïc RIVIERE
  - Franck-Alexandre SALLEBANT
- Sophie TAILLANDIER
  - Olivier CLATZ
  - Didier LE VELY
  - Bertrand LEROY
  - Boris LESJEAN
  - Jean Denis MULLER
  - Christophe BOURGUIGNAT
  - Mani POUROUCHOTTAMANE
  - Olivier EZRATTY



## Les rapports Pipame déjà parus

- Industrie du futur : enjeux et perspectives pour la filière aéronautique, décembre 2018
- Marchés des objets connectés à destination du grand public, mai 2018
- Potentiel de développement de l'économie sociale et solidaire dans les quatre secteurs économiques, octobre 2017
- Les acteurs, l'offre et le marché de l'efficacité énergétique à destination de l'industrie, octobre 2017
- Perspectives de développement de la filière des drones civils à l'export, juin 2017
- Enjeux et perspectives des producteurs pour tiers de principes actifs et de médicaments, mars 2017
- L'avenir du marché de la téléassistance et des services associés, février 2017
- Futur de la Fabrication additive, janvier 2017
- Marché actuel et offre de la filière minérale de construction et évaluation à échéance de 2030, novembre 2016
- Enjeux et perspectives des industries du sport en France et à l'international, juin 2016
- Filières industrielles de la valorisation énergétique du sous-sol profond, mars 2016
- E-santé : faire émerger l'offre française en répondant aux besoins présents et futurs des acteurs de santé, février 2016
- Usages novateurs de la voiture et nouvelles mobilités, janvier 2016
- Enjeux et perspectives de la consommation collaborative, juillet 2015
- Mutations économiques du secteur de l'industrie des métaux non ferreux, mars 2015
- Les innovations technologiques, leviers de réduction du gaspillage dans le secteur agroalimentaire : enjeux pour les consommateurs et pour les entreprises, novembre 2014
- Benchmark européen sur les plateformes chimiques, quels sont les leviers pour améliorer la compétitivité des plateformes françaises ?, septembre 2014
- Relocalisations d'activités industrielles en France, décembre 2013
- Imagerie médicale du futur, octobre 2013
- Évolutions technologiques, mutations des services postaux et développement de services du futur, juillet 2013
- Chaînes logistiques multimodales dans l'économie verte, mars 2013
- Enjeux économiques des métaux stratégiques pour les filières automobiles et aéronautiques, mars 2013
- Étude sur la location de biens et services innovants : nouvelles offres, nouveaux opérateurs, nouveaux modèles économiques ?, janvier 2013
- Potentiel et perspectives de développement des plates-formes d'échanges interentreprises, janvier 2013
- Enjeux et perspectives des industries agroalimentaires face à la volatilité du prix des matières premières, octobre 2012
- Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France, avril 2012
- La gestion des actifs immatériels dans les industries culturelles et créatives, mars 2012
- Marché actuel des nouveaux produits issus du bois et évolutions à échéance 2020, février 2012
- M-tourisme, décembre 2011
- Étude prospective des bassins automobiles : Haute-Normandie, Lorraine et Franche-Comté, novembre 2011
- Dispositifs médicaux : diagnostic et potentialités de développement de la filière française dans la concurrence internationale, juin 2011
- Pratiques de logistique collaborative : quelles opportunités pour les PME/ETI ?, février 2011
- Maintenance et réparation aéronautiques : base de connaissances et évolution, juin 2010
- Mutations économiques dans le domaine automobile, avril 2010
- Mutations économiques dans le domaine de la chimie - volet compétences, février 2010
- Mutations économiques dans le domaine de la chimie, février 2010
- Réflexions prospectives autour des biomarqueurs, décembre 2009
- Mutations économiques pour les industries de la santé, novembre 2009
- Le commerce du futur, novembre 2009
- Dimension économique et industrielle des cartes à puces, novembre 2009

- L'impact des technologies de l'information sur la logistique, novembre 2009
- Logistique : compétences à développer dans les relations « donneur d'ordres-prestataire », novembre 2009
- Logistique et distribution urbaine, novembre 2009
- Logistique mutualisée : la filière « fruits et légumes » du marché d'intérêt national de Rungis, octobre 2009
- La logistique en France : indicateurs territoriaux, septembre 2009
- Étude de la chaîne de valeur dans l'industrie aéronautique, septembre 2009
- Diffusion des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) dans le bâtiment, juin 2009

**Crédits photographiques**

Couverture (horizontalement de gauche à droite) : © MJ\_Prototype - GettyImages ; © metamorworks - GettyImages ; © Sergey - Fotolia ;  
© Ekkasit919 - GettyImages

Faire de la France un acteur majeur de l'intelligence artificielle (IA) est l'ambition de la stratégie nationale présentée en mars 2018 par le président de la République. La dynamique d'innovation et d'investissement est forte dans le domaine de l'IA qui est sujet à une concurrence mondiale intense. Acteurs privés et publics ont multiplié par dix leurs investissements au cours des cinq dernières années afin de maîtriser cette technologie stratégique, porteuse de promesses.

Conscients des très forts enjeux liés à l'IA, la Direction générale des entreprises (DGE), le Commissariat général à l'égalité des territoires (CGET) et TECH'IN France ont confié à Atawao Consulting l'étude « Intelligence Artificielle – État de l'art et perspectives pour la France ». Après un état de l'art des différentes technologies du domaine, l'étude propose une méthode de classification des secteurs potentiellement les plus transformés par l'essor de l'intelligence artificielle et établit une analyse macroscopique de son adoption par ceux-ci. Elle approfondit ensuite cette analyse pour quatre secteurs : Énergie et environnement, Transport et logistique, Santé et Industrie. Pour chacun de ces quatre secteurs, un bilan des opportunités générées par l'IA est établi et une stratégie cible à adopter est proposée.

Dans sa dernière partie, l'étude dessine une feuille de route ainsi que des recommandations sectorielles et transverses qui permettront à la France et à ses entreprises de relever les défis en matière d'intelligence artificielle.