DÉPARTEMENT RAIL SYSTEM DE L'UIC

Intelligence artificielle
Implications pour le secteur ferroviaire européen
État des lieux et perspectives

Mars 2021

INTERNATIONAL UNION
OF RAILWAYS

ISBN 978-2-7461-3066-1

Avertissement
Toutes copies, reproductions ou diffusions, mêmes partielles, par quelque moyen que ce soit y compris électronique, à usage autre que privé et individuel, sans le consentement exprès de l'Union Internationale des Chemins de fer, sont interdites. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction par un art ou procédé quelconque. Ne sont autorisées, avec mention, du nom de l'auteur et de la source que « les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées ». (Articles L 122-4 et L122-5 du code de la propriété intellectuelle).

© Union Internationale des Chemins de fer (UIC) - Paris, 2021

Table des matières

1. Qu'est ce que l'intelligence artificielle ? 3

1.1. Apprentissage automatique (ML) 4

1.2. Traitement automatique du langage naturel (NLP) 7

1.3. Robotique 8

1.4. L'IA du point de vue de l'utilisateur 9

2. État des lieux pour le secteur ferroviaire europeen et perspectives 10

2.1. Contexte de la politique européenne 10

2.2. Comment les technologies d'IA se déploient actuellement au sein du secteur ferroviaire - Perspectives 11

2.2.1. Reconnaissance de l'image dans la lutte anti-terroriste 11

2.2.2. Chatbots et assistants virtuels pour les voyageurs 11

2.2.3. Prévision des ventes par l'apprentissage automatique 12

2.2.4. Robotique dans les gares ferroviaires 12

2.2.5. Robotique dans les trains 12

2.2.6. Robotique dans les entrepôts 13

2.3. Maintenance prédictive 13

2.3.1. Définition et atouts de la maintenance prédictive 13

2.3.2. Maintenance prédictive du matériel roulant 13

2.3.3. Maintenance prédictive de l'infrastructure 14

2.3.4. Autres aides opérationnelles à la décision 15

3. Facteurs clés de réussite et rôle de l'UIC 16

3.1. Les experts ferroviaires des membres de l'UIC seront indispensables à tous les stades 16

3.2. Interprétabilité et prise de décision 16

3.3. Conduire le changement 16

3.3.1. Etablir un sens de l'urgence 17

3.3.2. Former une puissante « coalition de pointe » 17

3.3.3. Définir une vision 17

3.3.4. Communiquer la vision 18

3.3.5. Donner la capacité à d'autres d'agir sur la vision 18

3.3.6. Planifier et décliner une vision à court terme 18

3.3.7. Consolider les améliorations et générer encore plus de changement 19

3.3.8. Institutionaliser de nouvelles approches 19

4. Prochaines étapes 20

Références 21

Mots-clés

Intelligence artificielle (IA) - Apprentissage automatique (Machine Learning) - Apprentissage profond (Deep Learning) - Traitement automatique du langage naturel (NLP) - Robotique - Données - Reconnaissance faciale - Agent conversationnel (Chatbot) - Prévision des ventes - Maintenance prédictive - Chemins de fer - UIC

Résumé

Le présent article expose l'état des lieux et trace des perspectives pour la mise en œuvre de l'IA dans le secteur ferroviaire européen.

A cette fin, il explique ce qu'est l'intelligence artificielle (IA).

Il met l'accent en particulier sur l'apprentissage automatique (Machine Learning), le traitement automatique du langage naturel (NLP) et la robotique.

Il appréhende ensuite le contexte politique européen du secteur ferroviaire sur le registre de l'IA (stratégie de mobilité durable et intelligente, stratégie en matière d'IA et de données), et la stratégie des compagnies ferroviaires pour maîtriser les coûts face à une concurrence accrue.

Il décrit comment les technologies de l'IA se présentent actuellement et comment elles devraient se déployer à l'avenir dans le secteur ferroviaire. Il décrit par exemple les potentialités offertes par l'IA dans leurs diverses déclinaisons : reconnaissance faciale pour la lutte contre le terrorisme, agents conversationnels et assistants virtuels pour les voyageurs, prévisions de ventes basées sur l'apprentissage automatique, robotique appliquée aux trains, aux entrepôts, et maintenance prédictive pour le matériel roulant et l'infrastructure.

L'article met en relief les leviers essentiels du succès et le rôle de l'UIC pour une mise en œuvre concluante de l'IA dans le secteur ferroviaire.

UIC (Union internationale des Chemins de fer)

L'UIC est l'organisation mondiale des Chemins de fer. Elle compte 200 membres (UIC, 2020a) qui représentent 2 783 milliards de voyageurs.km, 8 991 tonnes.km, 801 357 km de lignes et 6,013 millions d'agents (UIC, 2020b).

L'UIC fédère la grande majorité des opérateurs ferroviaires européens, des opérateurs d'autres continents, et peut s'appuyer sur des instituts de recherche. Par ailleurs, l'UIC a développé des synergies avec une centaine d'institutions majeures (Banque mondiale, ISO, etc.). Enfin, l'UIC est une organisation non gouvernementale reconnue par les Nations Unies.

L'UIC a clarifié ses axes stratégiques prioritaires : tout en continuant à promouvoir à l'échelon mondial le ferroviaire en tant que mode de transport le plus soutenable et décarboné, **l'UIC renforce son appui technique en faveur de ses membres, notamment à travers des projets d'innovation**. Ainsi l'UIC a publié un document de synthèse intitulé *« Technical Solutions For the Operational Railway »* (UIC 2020c).

L'auteur

Christian Chavanel est Directeur du Département « Système Ferroviaire » de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC), Paris, France. Spécialiste du ferroviaire, il a accumulé plus de trente ans d'expérience dans de nombreux domaines : développement international, gestion de projets, exploitation, maintenance, sécurité, normalisation et questions réglementaires. Il est titulaire d'un certificat du MIT sur le thème : « Intelligence artificielle et ses implications pour la stratégie de développement de l'entreprise ».

1. Qu'est ce que l'intelligence artificielle ?

L'intelligence artificielle (IA) nourrit les pires **fantasmes**, et suscite des espoirs et des craintes, parfois légitimes, parfois surestimées.

Fantasmes, espoirs ou craintes, lorsque l'objectif était de remplacer des êtres humains et des experts humains (Wired, 2018) : Eliza, premier agent conversationnel, qui s'est positionné en tant que psychothérapeute en 1965 ; une fourgonnette Mercedes, équipée de deux caméras et d'une panoplie d'ordinateurs, qui a parcouru en autopilotage 20 kilomètres sur une autoroute allemande à plus de 85 km/h en 1987 ; l'ordinateur IBM Deep Blue, qui a vaincu le champion du monde d'échec Garry Kasparov en 1997 ; AlphaGo, créé par Google, qui a battu un champion du monde de Go en 2016.

Vers le milieu des années 80 est arrivé ce que l'on a appelé l'**hiver de l'IA** : les projections élaborées en toute confiance dans l'avenir ne se sont pas révélées concluantes. Un très faible nombre de programmes se sont substitués aux experts humains et bon nombre de start-ups ambitionnant de remplacer les experts humains ont échoué.

Cependant, **la course vers l'IA a été relancée** en 2004 avec le Darpa Grand Challenge, une course d'automobiles robots dans le désert du Moyas qui a catalysé le secteur de la voiture autonome (Wired, 2018).

Puis, l'IA a refait surface au cours des années 2010 : en 2010, Siri est arrivé, et nous avons pu parler à nos téléphones devenus des interlocuteurs ; en 2011, le programme Watson d'IBM qui jouait dans « Jeopardy ! » a réussi à battre les champions humains.

En 2012, les chercheurs en apprentissage profond (Deep Learning) ont suscité un nouvel intérêt entrepreneurial pour l'IA en démontrant que l'apprentissage profond peut rendre la reconnaissance vocale et visuelle beaucoup plus précise (Wired, 2018).

Aujourd'hui, **une nouvelle vague d'IA** est en train de monter, **forte d'une capacité de traitement massive des données**, avec **l'implication de compagnies en pointe telles que** Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft.

Le terme d'intelligence artificielle (IA) est un mot-valise difficile à définir :

« Elle n'a rien d'artificiel » déclare Mme Fei-Fei Li, responsable scientifique chez Google et professeur à Stanford. *« L'IA est construite par des humains, son comportement est conçu délibérément par des humains, de manière in fine à impacter les vies humaines et la société humaine. »* (The New York Times, 2018).

Une capacité de calcul massive, qui n'exécute que les tâches requises et contrôlées pas à pas par des programmeurs de logiciel moyennant une approche analytique classique, **ne correspond pas à la notion d'IA**. **Un algorithme classique**, aussi compliqué soit-il, qui ne s'écarte pas de la méthode de résolution des problèmes programmée par un programmeur de logiciel, **n'est pas capable d'apprendre**. **Il ne relève pas de l'IA**.

« Une grande partie de l'intelligence artificielle s'est constituée autour de l'apprentissage automatique » (LeCun, 2018a).

A ce jour, toutes les applications de l'IA illustrent ce que l'on peut qualifier « d'IA restreinte ». Contrairement à cette notion, « l'IA générale », qui se réfère à des machines dotées de sens commun (Wikipedia, 2021a), capables de résoudre par elles-mêmes un large éventail de types de problèmes, à l'instar d'un humain, n'existent pas encore (LeCun, 2020). Et a fortiori, « l'IA forte » qui surpasse un humain dans de nombreuses tâches, n'existe pas non plus.

A ce stade, nous comprenons que l'IA restreinte ne s'appuie pas sur des algorithmes classiques contrôlés pas à pas par des programmeurs de logiciels, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats qu'ils produisent. En outre, elle n'est pas dotée du sens commun propre aux humains. Pour toutes ces raisons, l'**autorisation de mise sur le marché de l'IA, notamment pour les dossiers de sécurité, ne peut être délivrée que si l'on appréhende le système homme/machine dans sa globalité**. Nous reviendrons sur ce point à la fin de cet article.

Dans la suite de l'article, nous allons **décrire l'IA** restreinte **à travers trois de ses sous-catégories les plus importantes et de ses implications pour les enjeux métiers, et le domaine ferroviaire en particulier : l'apprentissage automatique (ML), le traitement automatique du langage naturel (NLP) et la robotique**.

1.1. Apprentissage automatique (ML)

L'apprentissage automatique constitue un sous-ensemble de l'IA.

L'apprentissage automatique (Machine Learning - ML) *« utilise des données ou des expériences ayant valeur d'exemple pour affiner la manière dont des ordinateurs élaborent des **prédictions** ou **accomplissent une tâche** »* (Wired, 2018).

Il existe différentes approches de l'apprentissage automatique :

- **Apprentissage supervisé :** lorsque vous apprenez à l'ordinateur quoi faire grâce à des données d'exemple étiquetées. Ainsi, il est possible d'entrainer le logiciel en lui donnant un exemple d'élément (photos par ex.) et l'étiquette cible correspondante que vous souhaitez prédire.
- **Apprentissage non supervisé :** lorsque vous apprenez à l'ordinateur sans exemples étiquetés, uniquement à partir de l'expérience de données ou du monde. *« Vous essayez de comprendre à partir de l'observation comment les choses fonctionnent »*. C'est le cas si vous essayez de modéliser les données *« sans disposer d'un retour explicite sur ce que vous devez faire avec ces données »* (Jaakkola, 2020). Cela est anecdotique pour des êtres humains, mais pas pour des ordinateurs ou des logiciels.
- **Apprentissage semi-supervisé :** lorsque vous combinez les méthodes d'apprentissage supervisé et non supervisé.
- **Apprentissage de renforcement :** typiquement pour apprendre à agir. Par exemple, lorsqu'un robot atteint ou pousse un objet, il modifie l'état de son environnement. Le robot doit apprendre à intégrer ce fait pour agir. A la différence de l'apprentissage supervisé et non supervisé, l'apprentissage de renforcement nécessite des données limitées (Venturebeat, 2020).

Le processus typique de l'apprentissage automatique a besoin de données et d'algorithmes.

Un processus en trois phases maximise les chances de réussite de l'apprentissage. (Towards Data Science, 2018) :

- **Formation/entrainement :** *« un sous-ensemble de données réelles est fourni à l'expert en mégadonnées. Ces données couvrent un nombre suffisant d'exemples positifs et négatifs afin de permettre à n'importe quel algorithme d'apprendre. L'expert en mégadonnées expérimente un certain nombre d'algorithmes avant de retenir ceux qui s'adaptent le mieux aux données d'entrainement/formation »* ;
- **Module de validation :** *« L'expert en mégadonnées fera tourner les algorithmes choisis sur le module de validation et mesurera l'erreur. L'algorithme qui produit le moins d'erreur est considéré comme le meilleur. Il est possible que même le meilleur algorithme puisse sur- ou sous-interpréter les données, ce qui induit un niveau d'erreur inadmissible »* ;
- **Module de tests :** *« Pour obtenir une mesure juste et fiable de l'erreur, il convient d'utiliser un troisième ensemble de données, appelé « test set » (module de tests). On applique l'algorithme à ce module et on calcule l'erreur »*.

Pendant ce processus d'apprentissage, l'expert en mégadonnées doit **choisir le meilleur algorithme** à partir d'un nombre considérable d'algorithmes.

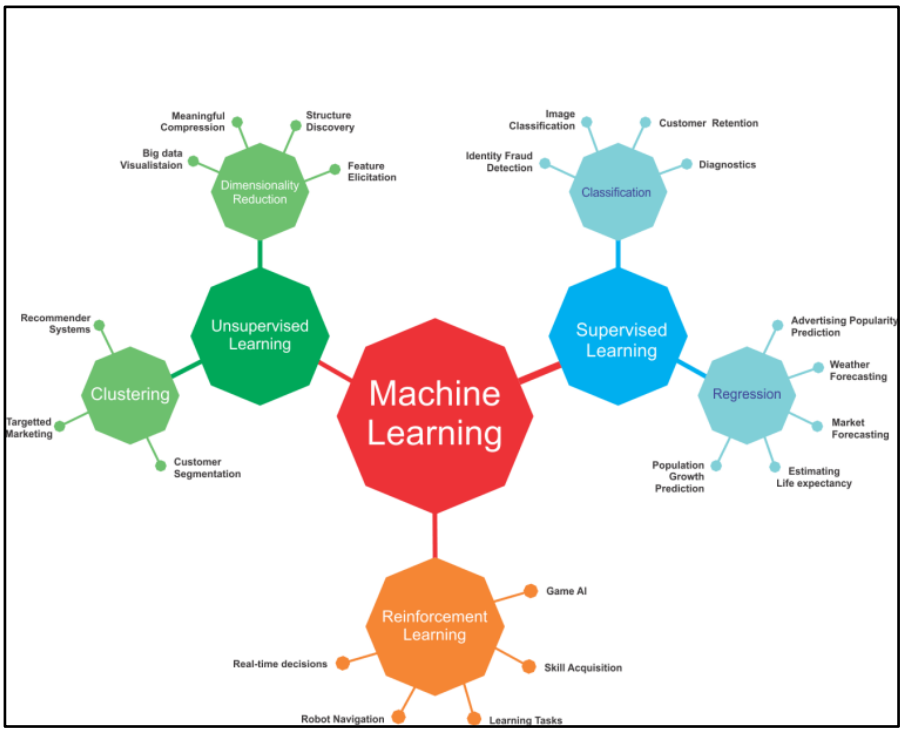

Figure 1 : Liste des algorithmes d'apprentissage automatique, (Skilllx, 2020)

La qualité des données choisies constitue un élément crucial.

« Par manque de vigilance, des biais peuvent s'insinuer à n'importe quel stade, de la définition et la saisie de l'ensemble des données [de formation ou de validation - note de l'auteur] jusqu'au fonctionnement du système d'analyse ou d'apprentissage automatique de l'IA » (Search Business Analytics, 2020).

Huit biais ont été recensés : défaut d'apprentissage, entraînement sur un objet erroné, sous-représentation des populations, interprétation erronée, biais cognitifs, biais analytiques, biais de confirmation, biais aberrants (Search Business Analytics, 2020).

Pour éviter les biais, il est nécessaire de démarrer en admettant que les données sont biaisées, à la fois au niveau des données elles-mêmes et des personnes qui les analysent ou les utilisent.

Les biais affectant les données induisent de très nombreux impacts néfastes, et notamment au plan éthique : il peut en résulter de mauvaises décisions qui peuvent même être préjudiciables à certains groupes de personnes impliquées dans l'analyse.

L'une des causes primaires de ces biais tient à la manière dont le problème est formulé en termes d'apprentissage automatique, et à la manière dont sont collectées les données relatives au problème ainsi formulé. C'est pourquoi une collaboration étroite entre experts en mégadonnées et experts du domaine revêt une importance cruciale.

« Il existe deux modes principaux d'utilisation de l'apprentissage automatique dans le domaine de l'entreprise : détecter (percevoir) et prédire » (Malone, 2020).

Détecter se révèle utile **à partir d'images**. Il est possible d'imaginer des cas d'utilisation tels que :

- opportunités de développement pour la mode ;
- détection des cancers de la peau ;
- reconnaissance faciale, reconnaissance de la rétine ou de l'empreinte digitale, à des fins commerciales ou de lutte anti-terrorisme ;

- analyse des images aidant les robots à naviguer dans leur environnement, à reconnaitre les objets à manipuler, à éviter les situations dangereuses ;
- analyse des images contribuant à la détection des obstacles : voitures autonomes, circulation des trains automatisée (ATO) ;
- analyse des images aidant à détecter les défauts: ponts, tunnels, traverses, rails, etc. ;
- analyse des images provenant de satellites ou de drones, utiles pour la maintenance des bâtiments, voies, ponts, tunnels, etc. ;
- etc.

Détecter est également utile à partir de **sons et vibrations**. On peut imaginer des cas d'utilisation liés à la maintenance prédictive du matériel roulant, des voies et appareils de voie.

Grâce à la prédiction, on peut imaginer des cas d'utilisation tels que :

- diagnostics de maladies à partir de symptômes et de tests de labos ;
- prévisions météo ;
- fraudes financières ;
- prévisions de ventes, et son corollaire la fidélisation du client ;
- comportement des installations (et maintenance prédictive) ;
- etc.

Plus concrètement, dans le cas de la maintenance prédictive, nous aurons une approche en deux temps : un algorithme de ML détectera et saisira l'état de l'installation. Ensuite, un autre algorithme de ML contribuera à prédire l'état futur de cette installation.

Une technique appelée **Deep Learning (apprentissage profond)** a rendu l'apprentissage automatique encore plus puissant.

Les techniques de ML classique font appel à différents types d'algorithmes qui apprennent à modéliser les fonctions et à prédire les actions futures à partir des données. Elles fournissent des valeurs numériques à partir de milliers de points de données (Search Enterprise IA,2020).

Le Deep Learning est un sous-ensemble de l'apprentissage automatique (ML). Il s'agit d'*« une technique d'apprentissage automatique consistant à filtrer les données à travers des réseaux mathématiques auto-adaptatifs calqués dans une certaine mesure sur le modèle des neurones du cerveau »* (Wired, 2018). Certes, la machine est toujours censée apprendre à partir des données, selon notre compréhension des réseaux neuronaux. Néanmoins, elle *« fait usage de couches de traitement informationnel, chacune d'entre elles apprennant de représentations de données de plus en plus complexes »* (Search Enterprise IA,2020). Par conséquent, l'apprentissage profond exige beaucoup plus de données que les algorithmes traditionnels de ML.

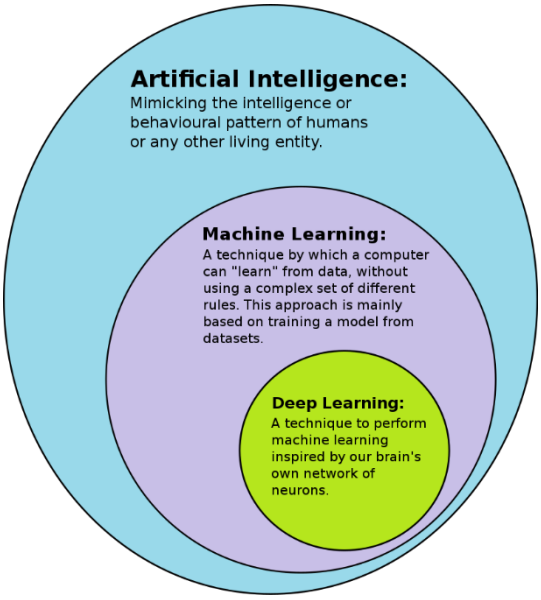

Figure 2 : En quoi l'apprentissage profond (Deep Learning) est un sous-ensemble de l'apprentissage automatique (Machine Learning) et comment l'apprentissage automatique est un sous-ensemble de l'intelligence artificielle (Artificial Intelligence) (Wikipedia, 2021b)

Pour la reconnaissance de l'image, le même objet peut se présenter dans différentes positions. Il est donc très difficile pour un ordinateur de reconnaitre l'image sous toutes ses formes possibles. A cette fin, il est fait usage d'algorithmes **à réseaux neuronaux convolutifs comme moyens de structurer un système d'apprentissage profond**. Associés à de multiples détecteurs reconnaissant chacun une partie spécifique de l'image, les ordinateurs peuvent mieux reconnaitre l'objet. Cela fonctionne aussi pour la reconnaissance des textes, la compréhension de la parole, la traduction, et fait partie intégrante de nombreuses voitures autonomes (Facebook Engineering, 2016).

Le revers de ces différentes techniques réside dans leur complexité. Elles résolvent effectivement les problèmes mais restent assez opaques sur le comment de cette résolution. C'est pourquoi leur **interprétabilité représente un enjeu essentiel**.

1.2. Traitement automatique du langage naturel (NLP)

Le traitement automatique du langage naturel (NLP) se situe au confluent de la linguistique, de l'informatique et de l'intelligence artificielle. Il porte sur les interactions entre ordinateurs et langage humain (texte écrit et parole). In fine, cela permet à un ordinateur de comprendre le contenu de documents ou d'interventions orales, y compris les nuances contextuelles de la langue qu'ils ou elles comportent. La technologie existante est capable d'extraire correctement les informations et idées essentielles contenues dans les documents et discours, mais également de catégoriser et d'organiser les documents proprement dits.

Les exemples connus du quotidien sont bien sûr Google, Alexa d'Amazon, Siri, Collins translators, Google translate, les chatbots. Le NLP offre de nombreuses potentialités : synthétiser les textes, générer des textes en langage naturel, reconnaître et comprendre des interventions orales en langage naturel.

Les cinq applications du NLP dans le domaine des affaires sont les suivantes (Emerj, 2019) :

- **service clientèle :** nombre de sociétés transcrivent et analysent les enregistrements des appels de clients. Elles déploient également des agents conversationnels (chatbots) et des assistants en ligne automatisés afin de répondre immédiatement à des besoins simples et de réduire la charge de travail des personnels des services clientèle ;
- **surveillance de la réputation :** les entreprises peuvent maintenant balayer l'intégralité de la toile pour détecter les mentions de leur marque et de leurs produits, et déterminer à quel moment elles doivent agir ;

- **placement de publicités :** le NLP peut aider à trouver le mot exact et le sens à donner à une publicité, après avoir passé en revue de nombreux textes, notamment sur les forums du net ;
- **connaissance du marché** (« Qu'est-ce qui se passe chez mes concurrents ? ») ;
- **conformité réglementaire :** par exemple, le NLP peut contribuer aux études de pharmacovigilance à effectuer après mise d'un médicament sur le marché. En effet, de nombreuses informations sur les effets secondaires des produits figurent dans les récits cliniques dits non structurés, ou les comptes-rendus sur la santé des patients, soit dans les dossiers électroniques médicaux, soit sur les forums internet.

1.3. Robotique

*« Maintenant les **robots mettent les systèmes de calcul en mouvement**. Ce sont des dispositifs mécaniques programmables qui assimilent des éléments provenant du monde environnant à travers des capteurs et l'impactent en retour à travers leurs actionneurs. Les robots réfléchissent aux éléments entrants issus des capteurs, puis à la tâche qu'ils ont à accomplir, et commandent à leurs moteurs d'évoluer dans le monde. Les robots arborent des formes très variées. Ils prennent des formes humanoïdes, mais ce n'est pas nécessairement la seule façon d'appréhender les robots. »* (Rus, 2020). Un déchet, une voiture autonome ou un train peuvent être des robots.

Bien entendu, les robots peuvent utiliser le ML pour reconnaitre leur environnement, leur entourage ou les objets à manipuler.

Toutefois, les robots sont également confrontés à de **nouveaux défis** :

- Les robots sur roues sont plus faciles à manœuvrer que les **robots munis de jambes**, parce que ces derniers ont besoin d'une extraordinaire capacité de perception du monde environnant.
- **La mobilité du robot** est beaucoup **plus simple** à réaliser **que** la **manipulation** : d'excellents capteurs permettent aux robots de posséder une forte conscience situationnelle et de mesurer correctement les distances des obstacles. Les algorithmes donnent aux machines la faculté de cartographier, de localiser et d'identifier différents types d'objets autour d'eux.
- Manipulation : les robots comportent des effecteurs d'extrémité très dures et rigides ayant des capacités limitées. La finalité de la **robotique molle (soft robotics)** est de concevoir des machines en matière molle ayant la même consistance que celle des humains.

Les cas d'utilisation pertinents pour la **robotique** sont les suivants :

- **Robots industriels** capable de rationaliser les opérations d'enlèvement et de conditionnement dans les entrepôts (Wired, 2011). Par exemple, Amazon a recensé en 2017 45 000 robots en service sur 20 sites ;
- **Robots évoluant face aux personnes** : robots en tant que « travailleurs » dans le secteur de la restauration rapide (Fortune, 2016), robots délivrant des médicaments dans les établissements hospitaliers (Panasonic, 2010), robots capables d'accompagner les patients dans les hôpitaux japonais (NSK, 2015), robots nettoyant les aéroports (F.Robo Clean, 2013) ou les gares ferroviaires (France Bleu, 2017) (Le Petit Journal, 2020) en présence des voyageurs, robots dispensant des informations aux passagers (Easy Voyage, 2015) ;
- **Robots collaboratifs**, conçus spécialement pour travailler aux côtés des salariés humains : secteur en essor. Ils reviennent moins cher, sont configurés dans une optique de coopération avec les humains, et sont donc plus faciles à programmer.

Les challenges à venir consisteront à créer des **robots aptes à mieux interagir entre eux et avec les personnes** dans un milieu humano-centré, tel que les gares et les entrepôts. Dans l'avenir, les nouveaux principes de fonctionnement impliqueront de permettre aux équipes mixtes humains-robots de mieux coopérer, en tirant profit de ce que les machines font mieux que les humains, et inversement en valorisant ce que les personnes font mieux que les machines.

1.4. L'IA du point de vue de l'utilisateur

On pourrait mesurer l'IA par sa **capacité à améliorer l'intelligence collective d'un système homme-ordinateur**. En d'autres termes, *« **comment des personnes et des ordinateurs peuvent être connectés de manière à agir collectivement avec plus d'intelligence que n'importe quel(le) personne, groupe ou ordinateur ne l'a jamais fait auparavant ?** »* (Malone, 2020).

Dans une telle optique, l'IA pourrait se matérialiser par un outil, un assistant, un pair ou même un responsable d'êtres humains :

- En tant qu'outils, les ordinateurs accomplissent les tâches que vous leur assignez, mais ce sont des personnes qui supervisent pratiquement chaque étape du processus ;
- En tant qu'assistant, à la différence de l'outil, l'IA peut opérer sans votre attention immédiate. L'IA peut être plus contributive en aidant à formuler et à résoudre un problème (par ex. voitures semi-autonomes ; diagnostics médicaux ; chatbots) ;
- En tant que pairs, les systèmes d'IA peuvent faire des choses automatiquement, et en référer aux humains pour les tâches inhabituelles. En matière de prédiction, la conjonction entre humains et ordinateurs en tant que pairs donne de meilleurs résultats que si les uns ou les autres agissaient seuls séparément (Malone, 2020) ;
- En tant que responsables d'êtres humains, les machines peuvent aider les opérateurs téléphoniques à améliorer leurs interactions avec les clients en ligne en leur offrant un retour sur la qualité émotionnelle des conversations. Elles leur permettent d'améliorer leurs compétences interpersonnelles.

En bref, le système humain-ordinateur peut s'améliorer au fil du temps : les humains voient comment ils peuvent mieux faire les choses qu'ils prennent déjà en charge ; les programmeurs améliorent leurs machines, et les machines apprennent à partir de leur propre expérience acquise avec différents types d'apprentissage automatique.

2. État des lieux pour le secteur ferroviaire europeen et perspectives

2.1. Contexte de la politique européenne

A l'évidence, le **secteur ferroviaire européen bénéficie d'un soutien de plus en plus fort** :

- **Année européenne du Rail 2021**, *« qui met en lumière l'un des modes de transport les plus soutenables, innovants et sûrs que nous ayons ! »* (Commission européen, 2020a).
- La stratégie de « **mobilité durable et intelligente** » de la Commission européenne (Commission européenne, 2020b), qui souligne la nécessité de doubler les dessertes à grande vitesse à l'horizon 2030 et le volume de fret ferroviaire à l'horizon 2050, et de promouvoir les transports en commun. Par ailleurs, la Commission européenne insiste sur le besoin de stimuler l'innovation, l'utilisation des données et de l'IA au service d'une mobilité plus intelligente.
- Cette dynamique est cohérente avec la **stratégie européenne sur l'IA et les données** (Commission européenne, 2020c), laquelle vise à faire de l'Europe un leader fort d'une IA et d'une économie des données réputées fiables. Aussi la Commission européenne (CE) va mettre en place des règles et un cadre juridique, notamment pour le transport :
  - Pour les cas à haut risque, les **systèmes d'IA** devront être transparents, traçables et garantir une supervision humaine. Les autorités devront être en mesure de tester et de certifier les données utilisées par les algorithmes. Il importera de se fonder sur des données non biaisées pour entraîner les systèmes à haut risque à opérer correctement, tout en assurant le respect des droits fondamentaux, en particulier la non-discrimination.
  - La CE établira un véritable **Espace européen des données**. En premier lieu, la CE va instaurer un cadre réglementaire de **gouvernance des données** (accès et réutilisation B2B, B2A et A2A). En deuxième lieu, la CE va soutenir le développement de systèmes technologiques et l'émergence de la prochaine génération d'infrastructures, tels que les **clouds**. Enfin, la CE entend lancer des **actions sectorielles ciblées** en vue de créer des espaces de données européens, par exemple dans le domaine de la production industrielle, sous l'angle du Green Deal, de la **mobilité** ou de la santé.

Les acteurs ferroviaires européens devront tenir compte de cette nouvelle donne européenne et en tirer profit.

Cela dit, les entreprises ferroviaires européennes (**EF**), et par voie de conséquence, les gestionnaires d'infrastructure (**GI**), **affrontent de nombreux défis**, qui préexistaient à la crise de la COVID-19 et qui se sont même accentués depuis :

- Concurrence âpre entre EF voyageurs d'une part et autocars à longue distance / covoiturage d'autre part ;
- Concurrence en essor entre EF voyageurs ;
- Concurrence sévère entre EF fret et transporteurs routiers ;
- Concurrence déjà sévère entre EF fret.

Ainsi, en 2018, les EF ne détenaient que 7,9% du marché des transports terrestres européens de voyageurs (Eurostat, 2020a) et seulement 17,9% du marché du fret (Eurostat, 2020b). On note en outre une pression constante sur les prix : or, le prix constitue le handicap majeur lorsque l'on compare les trains de fret aux poids-lourds (Cour des comptes européenne, 2016), et les recettes au kilomètre ont diminué pour l'activité voyageurs (ARAFER, 2019).

A cet égard, le secteur ferroviaire européen doit miser sur une stratégie de maîtrise des coûts sans compromettre pour autant la qualité de service. L'IA doit concourir à cette stratégie de maîtrise des coûts.

2.2. Comment les technologies d'IA se déploient actuellement au sein du secteur ferroviaire - Perspectives

En Europe, la CE a fondé, en 2016, l'entreprise commune Shift2Rail centrée sur la recherche et les innovations ferroviaires. Elle *« ambitionne de doubler la capacité du système ferroviaire européen et d'accroitre de 50% sa fiabilité et la qualité de service, tout en divisant par deux les coûts de cycle de vie »* (Shift2Rail JU, 2021a). L'objectif consiste à développer les capacités suivantes : « circulation automatisée des trains ; mobilité en tant que service (MaaS) ; logistique sur demande ; création de valeur à partir des données ; utilisation optimale de l'énergie ; dessertes rythmées à la seconde ; solutions ferroviaires à bas coût ; santé et disponibilité garanties des actifs ; trains intelligents ; gares et mobilité urbaine intelligentes ; soutenabilité environnementale et sociale ; production de résultats R&I rapides et fiables » (Shift2Rail JU, 2021b).

A ce stade, si les précurseurs ont mis en œuvre des solutions innovantes, l'IA n'a cependant pas encore été déployée à grande échelle en Europe.

2.2.1. Reconnaissance de l'image dans la lutte anti-terroriste

Des terroristes se sont attaqués à des trains. Cet évènement a été repris comme sujet du film *« Le 15h17 pour Paris »* mis en scène par Clint Eastwood. En dehors de mesures spécifiques telles que celles prises pour les services ferroviaires transmanche, les tentatives visant à transposer dans des gares ferroviaires les dispositifs de contrôle des bagages propres à l'aérien, se sont révélées inopérantes. C'est pourquoi il nous faut mettre en œuvre des solutions alternatives permettant de détecter dans les gares et à bord des trains les comportements anormaux de voyageurs ou les situations dangereuses, afin d'accroitre la sécurité du personnel ferroviaire et des voyageurs.

La reconnaissance faciale est déjà déployée dans les gares chinoises avant l'embarquement à bord des trains (Global Times 2017) et par Eurostar lors du passage de la douane (RFI 2017). Elle peut apporter des quantités de données considérables aux autorités nationales.

Le ML est particulièrement efficace pour l'analyse des images. Dès lors que les référentiels nationaux existants et le futur cadre européen permettront de stocker de telles données, des algorithmes appropriés pourront aider à prédire des comportements anormaux de voyageurs. Cette mission devrait être prise en charge dans le cadre d'une coopération entre les forces de police, les EF et les GI.

2.2.2. Chatbots et assistants virtuels pour les voyageurs

Les agents conversationnels (chatbots) sont utilisés pour les réservations et les transactions de billetterie, ou bien en tant qu'assistants virtuels.

Depuis 2017, il est possible de recourir à un chatbot pour les **réservations et billets SNCF** via différents canaux (OUI.sncf, 2020a, 2020b) : par texte via le site internet et Messenger, vocalement via Google Assistant et Amazon Alexa. L'expérience client pourrait être améliorée : seul le français est disponible, la voix en français n'est pas très bien reconnue, et il n'est pas possible de remplir un formulaire de réclamation. L'expérience d'un journaliste français (France Inter, 2019) via Alexa s'est révélée décevante : aucune valeur ajoutée par rapport au site internet classique et soucis de confidentialité.

L'expérience recueillie avec **Julie, l'assistante virtuelle d'Amtrack** (Amtrack, 2020) apparait nettement plus positive. Elle aide les clients à effectuer leurs réservations, à planifier leurs vacances, à naviguer sur le site internet. Elle répond aux questions récurrentes, dispense des informations sur le programme de fidélité, les gares et les itinéraires. Elle écrit et formule (par oral) simultanément ses réponses et questions, enrichissant ainsi l'expérience des personnes handicapées ou des étrangers. Sa voix est compréhensible.

Cependant on pourrait valoriser bien davantage les atouts décisifs du traitement automatique du langage naturel (NLP) :

- La reconnaissance vocale pourrait s'étendre aux langues étrangères ;

- Comme l'a observé le professeur émérite Frank Levy (Levy, 2020), le NLP pourrait aider les centres d'appel à extraire le sens des paroles de clients enregistrées par les chatbots, et ainsi éviter les réclamations de clients ;
- Le concept d'arbre de connaissances mis en œuvre par IBM Watson (Malone and Gil, 2020) pourrait être exploité grâce à une base de données bien structurée, fondée sur les conversations menées avec les clients via les chatbots, de manière à mieux comprendre leurs ressentis et améliorer leur expérience ;
- Un progrès potentiel et souhaitable pourrait être réalisé si l'on utilisait la voix artificielle Wavenet de Google (Forbes, 2017), ce qui permettrait aux assistants virtuels de produire des sons vocaux qu'il est pratiquement impossible de distinguer de ceux d'un être humain.

Partant de ces retours d'expérience, les **chatbots et assistants virtuels pour voyageurs devraient être déployés plus largement au service de la stratégie de maîtrise des coûts** (moins de travail pour les centres d'appel) **et d'une stratégie de différenciation** (meilleure expérience client).

2.2.3. Prévision des ventes par l'apprentissage automatique

Les EF vendent de plus en plus de billets électroniques et disposent maintenant d'un nombre colossal de données annotées de leurs clients. Toutefois, il devient de plus en plus facile de prédire les ventes grâce à l'apprentissage automatique supervisé, dès lors que *« l'on possède certaines données historiques pour voir comment un client se présente et quelles conséquences en résulteront plus tard. »* (Jaakkola, 2020). A cette fin, des agents de vente doivent annoter les données, et des experts en mégadonnées doivent entraîner/former, valider et tester les algorithmes (Towards Data Science, 2018). Enfin, les responsables doivent décider les actions pertinentes à engager en fonction des prédictions générées par les machines.

Les prévisions des ventes élaborées par apprentissage automatique constituent un champ prometteur pour les EF.

2.2.4. Robotique dans les gares ferroviaires

Si l'on considère les voyageurs séjournant dans les **gares** comme des clients attendant leurs trains et sollicitant des informations, alors il serait possible d'améliorer la qualité de service et le coût-efficacité en adaptant aux besoins des gares la robotique conçue initialement pour les hôtels, aéroports ou hôpitaux.

- Par exemple, Panasonic (Panasonic, 2010) a inventé des robots capables de livrer des médicaments dans les hôpitaux sans entrer en collision avec quiconque. NSK (NSK, 2015) a créé Lightbot, un robot-guide. De tels **robots pourraient guider des personnes à mobilité réduite ou malvoyantes sur le quai jusqu'au train** et éviter les contacts entre eux et les agents d'escale pendant la pandémie COVID19 ;
- Les robots humanoïdes Pepper dispensent déjà des informations aux clients dans les boutiques (Softbank, 2021). Déjà testé dans les gares SNCF en 2016 (France 3, 2016), ce concept pourrait être étendu aux autres gares pour **informer les voyageurs** ;
- Vithanage, Harrison and DeSilva (2019) ont décrit des **robots de nettoyage automatisés** évoluant **dans les gares**. Cela est déjà une réalité dans les aéroports (F.Robo Clean, 2013). Une autre retombée de la crise de la COVID19 pourrait être l'usage accru des robots pour améliorer la propreté des gares tout en évitant les contacts entre voyageurs et agents de nettoyage. L'exemple le plus récent est celui de la gare internationale de St Pancras, gare terminus de l'Eurostar, qui a déployé des robots à ultraviolets pour lutter contre la propagation du nouveau coronavirus (Le Petit Journal, 2020).

2.2.5. Robotique dans les trains

Les mêmes **robots nettoyeurs pourraient être utilisés à bord des trains**. Un prototype a été créé en 2015 pour les avions (Germfalcon, 2015).

2.2.6. Robotique dans les entrepôts

La maintenance du matériel roulant nécessite la manipulation de milliers de pièces stockées dans les entrepôts. Il conviendrait de rationaliser les processus organisationnels sur le modèle des derniers entrepôts robotisés comme ceux d'Amazon (Mountz, 2011), ou du supermarché britannique Okado (The Verge, 2018).

2.3. Maintenance prédictive

2.3.1. Définition et atouts de la maintenance prédictive

Il existe **différents types de maintenance** (ISO, 2012) :

- Maintenance curative, *« réalisée après la défaillance d'une machine »*;
- Maintenance préventive, *« réalisée selon un programme préétabli, ou selon un critère prescrit, visant à détecter ou prévenir la dégradation d'une structure, d'un système ou d'un composant fonctionnel, afin de maintenir ou de prolonger sa tenue en service »* ;
- Maintenance conditionnelle (en fonction de l'état) laquelle s'inscrit dans une approche préventive, *« réalisée selon des programmes de suivi de l'état du matériel »*.

Grâce à des méthodes statistiques avancées, telles que l'apprentissage automatique, il est désormais possible de mettre en place une maintenance prédictive, susceptible de *« déterminer au fil de l'eau si une machine est en bonne santé ou si elle a besoin d'une opération d'entretien »*. Aussi *« la maintenance prédictive prédit les défaillances futures en termes de probabilité, sachant que la maintenance conditionnelle prévient les surcoûts consécutifs à une panne, en vous disant que quelque chose ne va pas maintenant »* (Neurospace, 2019).

C'est pourquoi, en permettant une adaptation considérable de la planification des activités de maintenance, la **maintenance prédictive peut améliorer la disponibilité, la fiabilité, la ponctualité et la sécurité, tout en favorisant une stratégie de maîtrise des coûts**. En outre, elle peut améliorer les **retours d'expérience**, en préparant le terrain de **futures innovations** en matière de maintenance.

En contrepartie, en raison des **méthodes statistiques** sur lesquelles elle se fonde, la maintenance prédictive **exige une masse de données beaucoup plus importante**.

2.3.2. Maintenance prédictive du matériel roulant

Peu de travaux de recherche sur l'IA et la maintenance prédictive du matériel roulant sont disponibles actuellement. Ainsi, lors du Congrès mondial de la recherche ferroviaire organisé à Tokyo en 2019 (WCRR, 2019), cinq études[1] seulement ont été présentées sur le sujet.

La maintenance du matériel roulant a un impact considérable sur la circulation des trains, la disponibilité, la fiabilité, la ponctualité et les coûts. Par ailleurs, les constructeurs de matériel discernent dans la maintenance un nouveau champ d'activités. C'est pourquoi EF et industriels considèrent la maintenance des véhicules ferroviaires comme un atout concurrentiel, ce qui fait obstacle à la coopération des différents acteurs sur ce registre.

Un volume important de données est collecté par les entités chargées de l'entretien (ECE) et les constructeurs de matériel roulant. Mais le futur cadre réglementaire européen de la gouvernance des données (Commission européenne, 2020c) permettra un accès aux données et leur réutilisation entre entreprises. De la sorte, l'évolution du contexte global des données, et donc de l'IA encouragera une coopération accrue entre les différentes parties prenantes en ce qui concerne la maintenance prédictive du matériel roulant à base d'IA.

[1] *'Development of rolling stock under floor visual inspection system by image processing technique'*, *'A modular Computer Vision Based Solution for Condition-Based Maintenance of Passenger Rolling Stock'*, *'Decision Support Model for Rolling Stock Assignment and Predictive Maintenance Scheduling'*, *'Condition Based Maintenance applied on Railways Compressed Air Generators (rotary screw) for the application of Dynamic Maintenance Management System'*, *'Utilizing Deep Learning to Manage Warning Signs of Air Conditioning Unit Malfunctions'*

Dans ce contexte, et avec le concours d'experts en maintenance et d'experts en mégadonnées, il serait judicieux de travailler sur quelques premiers cas d'utilisation : système de détection des défauts de la table de roulement de la roue, reconnaissance des anomalies de températures de boîtes d'essieu, etc.

2.3.3. Maintenance prédictive de l'infrastructure

La régularité et la sécurité des trains dépendent notamment de la disponibilité et de la fiabilité des infrastructures (voies, tunnels, ponts, remblais et tranchées, etc.), ce qui fait de la **maintenance prédictive de l'infrastructure** un **enjeu majeur**.

A la différence du matériel roulant, le **contexte de l'infrastructure** est différent et plus **favorable** à une maintenance prédictive fondée sur l'IA. Premièrement, les GI ne sont pas en concurrence les uns avec les autres, ce qui facilite une coopération.

Deuxièmement, les **données requises pour l'IA** sont **déjà collectées massivement par les GI**.

Aujourd'hui, la disponibilité, la fiabilité et la sécurité dépendent principalement des opérations périodiques de maintenance préventive réalisées sur la base de données collectées par des brigades d'inspection de la voie et lors des contrôles manuels périodiques. Il est vrai que les enjeux sont importants : par exemple, Konux (2020) relève que *« les appareils de voie constituent la partie la plus critique de l'infrastructure ferroviaire, puisqu'ils sont la cause d'environ 20% des minutes de retard [de trains] imputables à l'infrastructure et d'un coût d'entretien et de renouvellement de l'ordre de 12 milliards € par an au plan mondial »*. De surcroît, certaines questions de sécurité ne peuvent être résolues correctement aujourd'hui en raison d'un manque de données. Il suffit d'évoquer les deux derniers accidents survenus à Strasbourg et dans le centre de la Chine en mars 2020, suite à des glissements de terrain inattendus sur des sections en tranchée (IRJ, 2020 and Xinhuanet, 2020).

Un objectif central sera de remplacer les tournées et inspections manuelles périodiques par des inspections automatisées et standardisées plus fréquentes. Cela pourrait améliorer la disponibilité, la fiabilité et la sécurité. En outre, cela conditionne la reproductibilité et la cohérence des données massives dont l'IA a besoin.

Heureusement, des **innovations sont attendues**. A savoir :

- Le programme ORBIS mis en œuvre par Network Rail a déjà **accru la quantité d'informations utiles mises à la disposition des agents de la voie** (Network Rail Consulting, 2021) ;
- **Le remplacement des tournées et inspections manuelles périodiques** représente un chantier **prometteur : auscultation automatisée** des tunnels (Network Rail, 2019), **systèmes de visualisation pour machines de la voie** (Japanese Railway, 2019), **inspections robotisées** (Catapult Transport Systems, 2021), inspections des piles d'un pont enjambant une rivière par des **robots-serpents amphibies** (HiBot, 2020), inspection de conduites telles que des aqueducs resserrés, par des **robots lisses et souples** (HiBot, 2015) ;
- Mark Gaddes (Gaddes, 2019) explique que la robotique est nécessaire pour **automatiser les inspections**. Certaines activités sont déjà robotisées : bras robotisés sur des véhicules de maintenance pour détecter et réparer les défauts des rails ; plateforme robotisée avec capteurs avancés pour espaces confinés. Felix (Loccioni, 2018) est *« le premier robot mobile certifié pour l'inspection automatique des appareils de voie et croisements »*, doté de vision artificielle, avec réduction de moitié du temps de saisie et de transfert des données, maximisation des performances de maintenance et réduction des coûts ;
- Vithanage, Harrison and DeSilva (2019) ont rédigé une compilation de la **recherche sur la robotique et les systèmes autonomes de maintenance ferroviaire** : robots d'inspection des ponts (fonctionnement entièrement automatisé ou télécommandé par un utilisateur à distance) ; système de surveillance automatique de la dégradation de la paroi intérieure des tunnels ;
- Le Projet Erevos (Esmera, 2017) *« fournira une solution novatrice complète pour la **surveillance aérienne des lignes ferroviaires à l'aide de drones** pour gérer la végétation et l'inspection des structures limitrophes »* ;

- La maintenance intelligente à base d'**analyse des données** est déployée par les Chemins de fer indiens (Global Railway Review, 2020a) ;
- Infrabel met l'accent sur les données numériques servant à la maintenance prédictive des **voies et des appareils de voie** (Global Railway Review, 2020b).

Enfin, une **maintenance prédictive enrichie par l'apprentissage automatique ML est particulièrement adaptée aux infrastructures ferroviaires**.

Effectivement, selon Lecun (2018b), l'apprentissage automatique est particulièrement efficace pour l'analyse des images. Ainsi il pourrait aider à mieux détecter un défaut ou un dommage sur appareil de voie, un rail, dans un tunnel, ou dans une section en tranchée. Avec ces nouvelles bases de données disponibles, et grâce au travail collaboratif des experts en mégadonnées et des experts en maintenance de l'infrastructure, des algorithmes précis pourraient mieux orienter les tâches de maintenance supplémentaires de manière à éviter les perturbations ou accidents.

Ainsi, la **mise en œuvre de systèmes de vision à apprentissage automatique et des inspections automatisées réduira le temps** nécessaire pour réaliser les inspections, et surtout **améliorera la disponibilité et la reproductibilité des données** (inspections journalières et non trimestrielles), **soutiendra la stratégie de maîtrise des coûts, tout en améliorant la ponctualité, la sécurité, la disponibilité et la fiabilité des infrastructures**.

2.3.4. Autres aides opérationnelles à la décision

D'autres aides opérationnelles à la décision peuvent bénéficier de l'IA.

Par exemple, l'**apprentissage automatique peut faciliter le traitement des cas tels que** : l'attribution des sillons de trains, la gestion des circulations, la gestion des flux de voyageurs dans les gares, la détection de bagages abandonnés, le diagramme d'occupation des voies dans les triages et les gares, etc.

En matière de **cybersécurité**, les robots sont capables d'automatiser les systèmes d'alerte et de prévention des menaces (Automation Anywhere, 2018).

3. Facteurs clés de réussite et rôle de l'UIC

3.1. Les experts ferroviaires des membres de l'UIC seront indispensables à tous les stades

L'un de leurs rôles essentiels sera de contribuer à la sélection des données pertinentes à collecter, à assister les experts en mégadonnées et les ingénieurs de données dans la transformation de ces données en informations appropriées, et à fournir les bons outils aux agents pour analyser ces informations et agir sur elles.

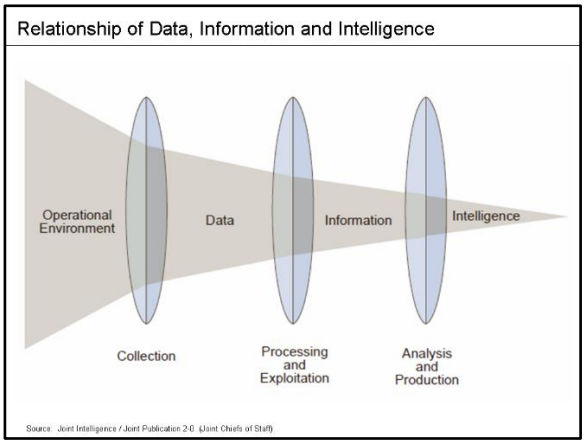

Figure 3 : Relations entre données, informations et « intelligence » (US Defense, 2020)

3.2. Interprétabilité et prise de décision

Les technologies de l'IA résolvent des problèmes mais restent plutôt opaques (apprentissage automatique, apprentissage profond, réseaux de neurones convolutifs, traitement automatique du langage naturel, etc.). Aussi leur **interprétabilité** constitue une **question essentielle**. Cependant il n'existe actuellement sur le marché aucun système permettant d'interpréter les résultats fournis par l'apprentissage automatique (Jaakkola, 2020).

Dans ces conditions, le **rôle des experts restera primordial** pendant encore plusieurs années.

L'imagerie médicale permet aujourd'hui de diagnostiquer le cancer de la peau avec plus de fiabilité qu'un médecin. Mais il a fallu des années de recherche pour en arriver à ce stade. Les chemins de fer n'en sont pas encore là. C'est la raison pour laquelle la **prise de décision**, en particulier dans le domaine de la sécurité ferroviaire, **devra rester humaine**, même si l'IA aura pour tâche d'apporter des informations et des prédictions utiles aux décideurs.

Enfin, l'autorisation de mise de l'IA sur le marché, notamment pour les dossiers sécurité, ne sera accordée que si le système humain-machine est appréhendé dans sa globalité.

3.3. Conduire le changement

Il faudra du temps et des efforts pour réaliser la conversion à l'IA dans le secteur ferroviaire.

« La leçon la plus générale à tirer des cas les plus concluants est que le processus de changement passe par une série de phases qui exigent au total un laps de temps considérable. Brûler les étapes donne seulement une illusion de rapidité et ne produit jamais un résultat satisfaisant. Une deuxième leçon très générale suggère que les erreurs critiques, à quelque phase que ce soit, peuvent avoir un impact catastrophique, qui va ralentir la dynamique et réduire à néant des gains durement acquis » (Kotter, 2014).

L'application dans le bon ordre, sans raccourcis, du processus en huit étapes préconisé par John Kotter, pourrait faciliter la mise en œuvre de l'IA dans le secteur ferroviaire : 1) établir un sens de l'urgence ; 2) former une puissante « coalition de pointe » ; 3) définir une vision ; 4) communiquer cette vision ; 5) donner à d'autres la capacité d'agir sur cette vision ; 6) planifier et décliner une vision à court terme ; 7) consolider les améliorations et produire encore plus de changement ; 8) institutionaliser de nouvelles approches.

Le rôle de l'UIC consistera à aider ses membres à mettre en œuvre ce processus en huit étapes.

3.3.1. Etablir un sens de l'urgence

Avec l'aide des experts des membres de l'UIC, l'UIC programmera des conférences, des webinars et des ateliers pour alimenter les DG, les cadres dirigeants, les chefs de projet, les services informatique des membres de l'UIC en argumentaires favorables à l'IA : réalités du marché et de la concurrence, contexte politique, état de l'art en matière d'IA, bonnes pratiques, liste des cas d'utilisation potentiels dans le secteur ferroviaire et d'autres secteurs, liste d'aides potentielles.

Au-delà de l'expertise ferroviaire de l'UIC et de ses membres, l'UIC devra acquérir une expertise dans le domaine de l'IA (expert en mégadonnées et ingénieurs de données), à rechercher en dehors du secteur ferroviaire (prestataires externes ou pôles universitaires/académies).

3.3.2. Former une puissante « coalition de pointe »

L'UIC impliquera cadres dirigeants, chefs de projet, services informatiques et experts des membres de l'UIC, de même que les industriels, à travers des **projets collaboratifs**.

Le premier projet collaboratif ciblera l'**IA pour la maintenance prédictive du matériel roulant et de l'infrastructure**. Dans ce domaine précis, il visera à analyser et définir les données à collecter, à observer et choisir les meilleurs algorithmes d'IA pour transformer les données en informations pertinentes. A cette fin sera dressé un inventaire des cas d'utilisation de l'IA existants et potentiels. Il sera procédé à une évaluation de l'impact de chaque solution sur le contexte réglementaire, le cadre de référence pour les télécommunications, les coûts de cycle de vie, les régimes de gestion des actifs, les règles d'exploitation et les modèles de sécurité. Le projet bénéficiera des apports d'autres projets UIC tels que : « Etiquetage RFID pour les composants de la voie + système automatisé de vidéo-inspection des voies »; « Drone4Rail » sur l'inspection des structures et infrastructures par des drones ; « Maximisation des avantages apportés par le Big Data pour la gestion des installations » ; « Prise de décision systémique globale pour la gestion des installations » ; « DYNMEASURE » centré sur la définition du cadre le plus pertinent pour les différents systèmes de mesure fixes et embarqués; IRS 70712-1 sur la détection des ruptures de rail, destinée promouvoir la classification de défauts de rail particuliers grâce au Deep Learning.

Il tirera également avantage de projets UIC sur la modélisation numérique des chemins de fer, en particulier pour l'étiquetage des données.

L'UIC publiera des rapports techniques et des guides de mise en œuvre.

3.3.3. Définir une vision

Les DG des compagnies ferroviaires devront élaborer des stratégies pour concrétiser cette vision :

- McKinsey (2015) a publié un guide intitulé *« **An executive's guide to machine learning** »* qui peut s'adapter à toutes les facettes de l'IA : recruter des experts IA pour aider les dirigeants à définir la vision stratégique ; engager des experts en mégadonnées et ingénieurs de données ; recruter des « passeurs/traducteurs » capables de jeter des passerelles entre les disciplines « Données », « IA » et « prise de décision », afin d'apporter des idées réalisables, susceptibles d'être mises en application par des responsables généralistes ; mettre en œuvre une stratégie de données avec l'aide des services informatiques, unités d'affaires et experts techniques, afin de combler les lacunes dans les données et de briser les cloisonnements. A ce stade précoce, il sera important d'engager d'une part des experts en mégadonnées capables de mettre en oeuvre les algorithmes IA appropriés, de bâtir des modèles spécialisés et d'entretenir des sous-ensembles propres de données de formation, et d'autre part des ingénieurs de données capables de construire et de maintenir des pipelines de données, des bases de données et des systèmes de traitement (Tech Target, 2020).

- Les DG devront **encourager la combinaison des machines et des humains**, en permettant l'appropriation de la vision par les personnels de terrain et leurs responsables. Par exemple, les robots pourraient être considérés comme collaboratifs, en commençant par assumer les « tâches monotones et rébarbatives » (Acorn, 2017). Par ailleurs, selon Tessa Lau (Malone and Lau, 2020), l'humanisation des robots pourrait *« accroître les chances d'adoption des robots »* dans un environnement où les interactions humain-robot sont importantes (par ex. gares ou entrepôts).
- Les DG s'appuieront sur leurs **services informatiques**, lesquels auront pour rôle de reconfigurer l'ensemble du processus de leur organisation : par exemple, dans les centres d'entretien du matériel roulant, *« les robots ne sont pas intelligents ; ils ne prennent pas de décisions par eux-mêmes ; mais leurs actions sont toutes coordonnées par un ordinateur central. »* (The Verge, 2018).
- Les DG devront **anticiper les préoccupations éthiques soulevées par l'IA**, y compris l'**impact sur les salariés, la gestion et les emplois, les erreurs potentielles commises par les machines, les biais affectant les algorithmes, et la confidentialité/vie privée**. En effet :
  - L'IA réduira très fortement les tâches répétitives des agents de terrain et de leurs responsables. En outre, elle modifiera en profondeur les emplois, et créera de nouvelles fonctions et responsabilités. Il est vrai que l'IA va accroître la disponibilité et la justesse des informations, en laissant aux salariés et à leurs responsables les tâches génératrices de la plus haute valeur ajoutée, y compris la prise de décision sur les tâches à accomplir. En 2016 a pris fin la grève la plus spectaculaire que le Royaume-Uni n'ait jamais connu au cours d'une période de vingt ans et dont l'enjeu portait sur l'automatisation (Rail Technology Magazine, 2020). C'est pourquoi les DG doivent soigneusement négocier avec les syndicats, notamment sur l'approche à adopter pour faire monter en compétence ou recycler les personnels et leurs responsables.
  - Des erreurs potentielles peuvent être commises par des systèmes complexes tels que l'apprentissage profond qui reste une « boîte noire » (Nehme, 2018). Dans de telles circonstances, les DG veilleront à ce que les personnes exercent un contrôle sur les machines.
  - Nehme (Nehme, 2018) relève que les *« données d'entrainement* [d'algorithmes de ML] *peuvent être souvent biaisées, déformées, incomplètes ou inadéquates »*. Les DG devront mettre en place des processus rigoureux pour limiter ces insuffisances.
  - Chatbots et assistants virtuels peuvent collecter les données privées provenant des clients. Depuis 2018, le règlement général sur la protection des données personnelles « impose des obligations aux organisations, où qu'elles soient, dès lors qu'elles ciblent ou collectent les données relatives aux personnes sur le territoire de l'UE », en vue de protéger la vie privée des citoyens européens (GDPR, 2020). Les DG doivent obéir à ce règlement.

A travers ses capacités de diffusion / dissémination, l'UIC aidera ses membres (DG, cadres dirigeants, chefs de projet, services informatiques, unités d'affaires, experts) à démystifier l'IA, à recruter les experts en mégadonnées, à communiquer cette feuille de route à d'autres secteurs et à la Commission européenne, à éliminer les cloisonnements, au moyen d'ateliers. Grâce à ses **projets collaboratifs**, l'UIC publiera des guides de mise en oeuvre avec une focale sur les **préoccupations éthiques, les enjeux de sécurité et les questions d'exploitation**.

3.3.4. Communiquer la vision

L'UIC soutiendra tous les efforts de communication des DG.

3.3.5. Donner la capacité à d'autres d'agir sur la vision

3.3.6. Planifier et décliner une vision à court terme

L'UIC fournira des cas d'utilisation.

3.3.7. Consolider les améliorations et générer encore plus de changement

L'UIC publiera un guide et des spécifications concernant les différentes solutions techniques et leurs impacts opérationnels, susceptibles de faciliter l'adoption par le marché d'innovations IA dans le secteur ferroviaire.

3.3.8. Institutionaliser de nouvelles approches

Pour les quatre dernières phases, l'**UIC** se livrera à un travail de sensibilisation aux améliorations et gains précoces apportés par l'IA, en les **diffusant** parmi les membres de l'UIC en Europe et à travers le monde.

4. Prochaines étapes

L'Intelligence artificielle ne connait pas encore une large diffusion dans le secteur ferroviaire européen.

Le contexte politique et l'accélération des innovations dans le champ de l'IA susciteront tout un éventail d'opportunités pour les compagnies ferroviaires et induiront des changements de grande ampleur.

L'UIC aidera ses membres et le secteur ferroviaire au cours de cette période prometteuse.

Références

Acorn (2017), *'Customer Success Story - Acorn Sales Company'*, [Online], Available at: https://youtu.be/vbzm9IyFsSE?t=37 (Accessed: 18 May 2017)

Arafer (2019), *'Le marché français du transport ferroviaire de voyageurs 2017'*, page 40, Figure 3, [Online], Available at: https://www.autorite-transports.fr/wp-content/uploads/2019/03/bilan_ferroviaire_2017_internet.pdf (Accessed: 15 March 2019)

Amtrack (2020), *'Meet Julie, Your Virtual Assistant'*, [Online], Available at: https://www.amtrak.com/about-julie-amtrak-virtual-travel-assistant# (Accessed: 19 April 2020)

Automation Anywhere (2018), *'What Is Cognitive Automation? A Primer'*, [Online], Available at: https://www.automationanywhere.com/company/blog/product-insights/what-is-cognitive-automation-a-primer (Accessed: 9 April 2018)

Catapult Transport Systems (2021), *'Robotic Inspection and Repair System'*, [Online], Available at: https://ts.catapult.org.uk/current-projects/robotic-inspection-repair-system/ (Accessed: 26 January 2021)

Emerj (2019), *'Natural Language Processing - Business Applications'*, [Online], Available at: https://emerj.com/ai-sector-overviews/natural-language-processing-business-applications/ (Accessed: 13 December 2019)

Easy Voyage (2015), *'Les robots intelligents au service des voyageurs'*, [Online], Available at: https://www.easyvoyage.com/actualite/les-robots-intelligents-aident-les-voyageurs-66028 (Accessed: 17 December 2015)

Esmera (2017), *'Project Name: EREVOS'*, [Online], Available at: http://www.esmera-project.eu/erevos/ (Accessed: 2017)

European Commission (2020a), *'EUROPEAN YEAR OF RAIL'*, [Online], Available at: https://europa.eu/year-of-rail/index_en (Accessed: 30 December 2020)

European Commission (2020b), *'Mobility Strategy - A fundamental transport transformation: Commission presents its plan for green, smart and affordable mobility'* [Online], Available at: https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en (Accessed: 9 December 2020)

European Commission (2020c), *'Shaping Europe's digital future: Commission presents strategies for data and Artificial Intelligence'*, [Online], Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_273 (Accessed: 19 February 2020)

Eurostat (2020a), *'Modal split of passenger transport'*, [Online], Available at: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=tran_hv_psmod&lang=en (Accessed: 1 September 2020)

Eurostat (2020b), *'Unitisation in the different modes of transport - tonne-kilometre for gross weight of goods'*, [Online], Available at: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=tran_im_umod&lang=en (Accessed: 24 February 2020)

F.Robo Clean (2013), *'F. ROBO CLEAN'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?v=40wsGCtVTYw&t=1m42s (Accessed: 20 February 2013)

Facebook Engineering (2016), *'Artificial intelligence, revealed'*, [Online], Available at: https://engineering.fb.com/2016/05/10/ai-research/ai-revealed/ (Accessed: 10 May 2016)

Forbes (2017), *This Start-up's Artificial Voice Sounds Almost Indistinguishable from A Human's*, [Online], Available at: https://www.forbes.com/sites/parmyolson/2017/11/03/this-startups-artificial-voice-sounds-almost-indistinguishable-from-a-humans/#49f20256388c (Accessed: 3 November 2017)

Fortune (2016), *'This Robot-Made Pizza Is Baked in the Van on the Way to Your Door'*, [Online], Available at: https://fortune.com/2016/09/29/this-robot-made-pizza-is-baked-in-the-van-on-the-way-to-your-front-door/ (Accessed: 29 September 2016)

France 3 (2016), *'Pepper, le robot qui vous sort du train-train de la SNCF'*, [Online], Available at: https://france3-regions.francetvinfo.fr/pays-de-la-loire/pepper-le-robot-qui-vous-sort-du-train-train-de-la-sncf-946290.html (Accessed: 7 March 2016)

France Bleu (2017), *'Baryl, le robot-poubelle de la SNCF, débarque à la gare de Nantes'*, [Online], Available at: https://www.francebleu.fr/infos/insolite/baryl-le-robot-poubelle-de-la-sncf-debarque-la-gare-de-nantes-1486478998 (Accessed: 7 February 2017)

France Inter (2019), *On a testé le robot de réservation Facebook de la SNCF (c'est bien, mais un peu flippant)*, [Online], Available at: https://www.franceinter.fr/societe/on-a-teste-le-robot-de-reservation-facebook-de-la-sncf-c-est-bien-mais-un-peu-flippant (Accessed: 19 April 2020)

Gaddes (2019), *'Network Rail needs for Robotic Inspection & Maintenance - RIMA Seminar 5th February 2019'*, pages 9, 13 and 14, [Online], Available at: https://www.sprintrobotics.org/wp-content/uploads/RIMA-Seminar-050219.pdf (Accessed: February 2019)

GDPR (2020), *'What is GDPR, the EU's new data protection law?'*, [Online], Available at: https://gdpr.eu/what-is-gdpr/ (Accessed: 3 May 2020)

Germfalcon (2015), *'Germs Don't Fly With Us'*, [Online], Available at: https://youtu.be/qPzRg2S8tPw (Accessed: 23 March 2015)

Global Railway Review (2020a), *'The power of big data: Smart maintenance using data analytics - Priya Agrawal'*, [Online], Available at: https://www.globalrailwayreview.com/article/113415/big-data-smart-maintenance-data-analytics/ (Accessed: 4 January 2021)

Global Railway Review (2020b), *'Infrabel focuses on digital data as it moves towards predictive maintenance - Annelies Stevens'*, [Online], Available at: https://www.globalrailwayreview.com/article/113411/infrabel-digital-data-predictive-maintenance/ (Accessed: 5 January 2021)

Global Times (2017), *Facial recognition devices installed in central China's Wuhan Railway Station*, [Online], Available at: http://www.globaltimes.cn/content/1062574.shtml (Accessed: 22 August 2017)

HiBot (2015), *'HiBot THESBOT 3'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?v=6s9fcta6cqc&t=1m15s (Accessed: 3 December 2015)

HiBot (2020), *'This is HiBot'*, [Online], Available at: https://youtu.be/6iB0YOhTY-I?t=91 (Accessed: 26 March 2020)

IRJ (2020), *Major landslide derails Strasbourg - Paris TGV service*, [Online], Available at: https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/major-landslide-derails-strasbourg-paris-tgv-service/ (Accessed: 5 March 2020)

ISO (2012) *'ISO 13372:2012(en) - Condition monitoring and diagnostics of machines - Vocabulary'*, [Online], Available at: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13372:ed-2:v1:en (Accessed: 2012)

Jaakkola (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Japanese Railway (2019), *Introduction of Track Machine Vision Systems in Japanese Railway*, [Online], Available at: http://www.railknowledgebank.com/Presto/content/Detail.aspx?ctID=Y3RDb3B5X29mX1RoZXNlcw==&rID=OTIwMg==&ssid=c2NyZWVuSURfMTc2MzM= (Accessed: November 2019)

Konux (2020), *The switch is the most critical asset of the railway infrastructure*, [Online], Available at: https://www.konux.com/solutions/ (Accessed: 13 April 2020)

Kotter (2014), *'Leading Change: Why Transformation Effort Fail'*, [Online], Available at: http://leadership4lawyers.com/wp-content/uploads/2014-12-23-LAW-Article-Summary02-Leading-Change-Why-Transformation-Effort-Fail-by-John-P.-Kotter-FIN.pdf (Accessed: 23 December 2014)

Le Petit Journal (2020), *'Des robots tueurs de virus à la gare de St Pancras !'*, [Online], Available at: https://lepetitjournal.com/londres/des-robots-tueurs-de-virus-la-gare-de-st-pancras-288793 (Accessed: 25 September 2020)

LeCun (2018a), *'La prochaine révolution de l'Intelligence artificielle - Yann LeCun, à l'USI'*, [Online], Available at: https://youtu.be/2WiPx6thH2E?t=37 (Accessed: 5 July 2018)

LeCun (2018b), *Facebook's Head of AI Research - Yann Lecun - Explains AI*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?v=n94QIYb7cJM (Accessed: 2 February 2018)

LeCun (2020), *'The mystery of intelligence'*, [Online], Available at: https://youtu.be/9NWcR14fXEo?t=155 (Accessed: 22 October 2020)

Levy (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Loccioni (2018), *'Felix - Robotic Inspection of Railway Switches and Crossings - Overview'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?v=cOLf9qMRN4A (Accessed: 9 August 2018)

Malone (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Malone and Gil (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Malone and Lau (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

McKinsey (2015), *'An executive's guide to machine learning'*, [Online], Available at: https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/an-executives-guide-to-machine-learning (Accessed 1 June 2015)

Mountz (2011), *'A Day in the Life of a Kiva Robot'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?v=6KRjuuEVEZs&feature=youtu.be (Accessed:11 May 2011)

Nehme (2018), *'The Short-Term Ethical Concerns of AI'*, [Online], Available at: https://towardsdatascience.com/the-short-term-ethical-concerns-of-ai-c201c03bc0ac (Accessed: 6 June 2018)

Network Rail (2019), *Innovation in Automated Tunnel Examination*, [Online], Available at: https://www.i3p.org.uk/2019/09/04/innovation-automated-tunnel-examination-sbri-competition/ (Accessed: 4 September 2019)

Network Rail Consulting (2021), *'Orbis Programme'*, [Online], Available at: https://www.networkrailconsulting.com/our-capabilities/network-rail-projects/orbis/ (Accessed: 24 January 2021)

Neurospace (2019), *'Condition-Based Maintenance vs Predictive Maintenance'*, [Online], Available at: https://neurospace.io/blog/2019/08/condition-based-maintenance-vs-predictive-maintenance/ (Accessed: 2 August 2019)

NSK (2015), *'2015 International Robot Exhibition'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?t=21&v=lcn2QYUL61I&feature=youtu.be (Accessed: 3 December 2015)

OUI.sncf (2020a), *L'assistant OUI.sncf va vous faire voyager*, [Online], Available at: https://www.oui.sncf/outils/assistant (Accessed: 19 April 2020)

OUI.sncf (2020b), *Choisissez le meilleur moyen de voyager*, [Online], Available at: https://www.oui.sncf/transporteurs (Accessed: 19 April 2020)

Panasonic (2010), *'Panasonic Medication Dispensing and Delivery Robots: Dingo'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?t=172&v=g63WUCUuCD0&feature=youtu.be (Accessed: 30 November 2010)

Railway Technology magazine (2016), *'Biggest disruption in 20 years as latest Southern strike kicks off'*, [Online], Available at: http://www.railtechnologymagazine.com/Rail-News/biggest-disruption-in-20-years-as-latest-southern-strike-kicks-off (Accessed: 13 December 2016)

RFI (2017), *Eurostar implements facial recognition for Paris passengers*, [Online], Available at: http://www.rfi.fr/en/france/20170215-eurostar-implements-facial-recognition-paris-passengers (Accessed: 15 February 2017)

Rus (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Search Business Analytics (2020), *'8 types of bias in data analysis and how to avoid them'*, [Online], Available at: https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/feature/8-types-of-bias-in-data-analysis-and-how-to-avoid-them?src=6806157&asrc=EM_ERU_141048441&utm_medium=EM&utm_source=ERU&utm_campaign=20201127_ERU%2520Transmission%2520for%252011/27/2020%2520(UserUniverse:%2520337856)&utm_content=eru-rd2-rcpB (Accessed: 26 October 2020)

Search Enterprise AI (2020), *Enterprise AI 'AI vs. machine learning vs. deep learning: Key differences'*, [Online], Available at: https://searchenterpriseai.techtarget.com/tip/AI-vs-machine-learning-vs-deep-learning-Key-differences (Accessed: 22 April 2020)

Shift2Rail JU (2021a), *'About'*, [Online], Available at: https://shift2rail.org/about-shift2rail/ (Accessed: 24 January 2021)

Shift2Rail (2021b), *'Available'*, [Online], Available at: https://shift2rail.org/capability/ (Accessed: 24 January 2021)

Skilllx (2020) *'List of Machine Learning Algorithms'*, [Online], Available at: https://skilllx.com/list-of-machine-learning-algorithms/ (Accessed: 20 July 2020)

Softbank (2021), *'Retail - Robots, improving 'Phygital' experience for today's empowered shoppers'*, [Online], Available at: https://www.softbankrobotics.com/emea/en/industries/retail (Accessed: 24 January 2021)

Tech Target (2020), *'Key differences of a data scientist vs. data engineer'*, [Online], Available at: https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/feature/Key-differences-of-a-data-scientist-vs-data-engineer?src=6156946&asrc=EM_ERU_127136536&utm_medium=EM&utm_source=ERU&utm_campaign=20200504_ERU%20Transmission%20for%2005/04/2020%20(UserUniverse:%20762525)&utm_content=eru-rd2-rcpB (Accessed: 7 April 2020)

The New York Times (2018), *'How Artificial Intelligence Is Edging Its Way into Our Lives'*, [Online], Available at: https://www.nytimes.com/2018/02/12/technology/artificial-intelligence-new-work-summit.html (Accessed: 12 February 2018)

The Verge (2018), *'Welcome to the automated warehouse of the future - How British supermarket Ocado is using robots to make online grocery shopping faster'*, [Online], Available at: https://www.theverge.com/2018/5/8/17331250/automated-warehouses-jobs-ocado-andover-amazon (Accessed: 8 May 2018)

Towards Data Science (2018), *'How does Machine Learning work?'*, [Online], Available at: https://towardsdatascience.com/how-does-machine-learning-work-6dd97f2be46c (Accessed: 13 August 2018)

UIC (2020a), *'Vademecum, List of UIC members'*, [Online], Available at: https://vademecum.uic.org/en/ (Accessed: 26 January 2021)

UIC (2020b), *'Facts and figures - 2017'*, [Online], Available at: https://uic.org/about/about-uic/ (Accessed: 26 January 2021)

UIC (2020c), *'Technical Solutions for the Operational Railway'*, [Online], Available at: https://uic.org/IMG/pdf/20201126_uic_technical_solutions.pdf (Accessed: 23 November 2020)

US Defense (2020), *'Relationship of Data, Information and Intelligence'*, [Online], Available at: https://media.defense.gov/2020/Jun/03/2002310219/-1/-1/0/200602-F-YT915-010.PNG (Accessed: 3 June 2020)

Venturebeat (2020), *'Google's AI learns how to navigate environments from limited data'*, [Online], Available at: https://venturebeat.com/2020/04/07/googles-ai-learns-how-to-navigate-environments-from-limited-data/?utm_source=AMI_Innovation+%26+Technology+-+Mobility+%26+Logistics&utm_campaign=24a15addb2-EMAIL_CAMPAIGN_2020_04_08_01_00&utm_medium=email&utm_term=0_ed59667176-24a15addb2-450656765 (Accessed: 7 April 2020)

Vithanage, Harrison and DeSilva (2019), *'Importance and Applications of Robotic and Autonomous Systems (RAS) in Railway Maintenance Sector: A Review'*, pages 9 to 11, [Online], Available at: https://www.researchgate.net/publication/334779963_Importance_and_Applications_of_Robotic_and_Autonomous_Systems_RAS_in_Railway_Maintenance_Sector_A_Review (Accessed: 30 July 2019)

WCRR (2019), *'WCRR 2019 Tokyo - Railway Research to Enhance the Customer Experience - Program'*, pages 41 and 60, [Online], Available at: https://wcrr2019.org/common/data/pdf/WCRR_2019_PROGRAM_1028.pdf (Accessed: 2019)

Wikipedia (2021a), *'Commonsense knowledge (artificial intelligence)'*, [Online], Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Commonsense_knowledge_(artificial_intelligence) (Accessed: 26 January 2021)

Wikipedia (2021b), *'How deep learning is a subset of machine learning and how machine learning is a subset of artificial intelligence (AI)'*, [Online], Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#/media/File:AI-ML-DL.svg (Accessed: 3 February 2021)

Wired (2011), *'A day in the life of a Kiva Robot'*, [Online], Available at: https://www.youtube.com/watch?v=6KRjuuEVEZs&feature=youtu.be (Accessed: 11 May 2011)

Wired (2018), *'The WIRED Guide to Artificial Intelligence'*, [Online], Available at: https://www.wired.com/story/guide-artificial-intelligence/ (Accessed: 2 January 2018)

Xinhuanet (2020), *'1 dead, 127 injured after train derails in central China'*, [Online], Available at: http://www.xinhuanet.com/english/2020-03/30/c_138931263.htm (Accessed: 30 March 2020)

UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER
16, rue Jean Rey - 75015 Paris - France
Tel. +33 (0)1 44 49 20 20
Fax +33 (0)1 44 49 20 29
Email: info@uic.org

Publié par : UIC - Département Rail System
Directeur de publication : Christian Chavanel
Couverture et mise en page : Ludovic Wattignies
Crédit photo : Adobe Stock

ISBN 978-2-7461-3066-1
Dépôt légal : Mars 2021

www.uic.org

#UICrail