

L'Intelligence Artificielle pour tous et partout

Jean-Jacques ESSOME BELL



L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

pour tous et partout

Livre de poche



L'Intelligence Artificielle pour tous et partout

L'Intelligence Artificielle pour tous et partout

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE *pour tous et partout*

Livre de poche

Editions du Savoir Pratique

© Editions du Savoir Pratique,
Publication 2024
ISBN: 979-8325-38-502-5

« Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayant cause, est illicite et constitue une contrefaçon, aux termes des articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.»

Avant-propos

Le présent ouvrage est divisé en 10 modules (ou chapitres) qui sont chacun introduits par un dialogue entre deux personnages (une journaliste et une spécialiste de l'Intelligence Artificielle).

Les termes « conversation/entretien » et « ouvrage » seront utilisés indifféremment pour évoquer le caractère continu et linéaire du contenu qui vous est proposé. De même, la première personne du singulier sera parfois utilisée pour rappeler le caractère conversationnel de l'ouvrage.

Enfin, le présent ouvrage n'étant qu'un « livre de poche », vous pourrez vous procurer l'ouvrage de base de 436 pages qui comporte beaucoup plus d'exemples, d'illustrations graphiques, de détails techniques et d'anecdotes; ce qui vous permettra d'avoir une compréhension encore plus étendue de l'intelligence artificielle.

L'Intelligence Artificielle pour tous et partout

Table des matières

Introduction	01
Prologue	03
Chap. 1 : L'Intelligence Artificielle est déjà dans nos vies	07
Chap. 2 : L'IA profite aux individus et aux organisations	17
Chap. 3 : Définition de l'Intelligence Artificielle	49
Chap. 4 : Définition et contours de l'intelligence en général	69
Chap. 5 : L'histoire de l'IA à travers ses méthodes et techniques	81
Chap. 6 : Les raisons derrière l'engouement soudain pour l'IA	147
Chap. 7 : Comment adopter et utiliser l'IA	157
Chap. 8 : Etat des lieux de l'Intelligence Artificielle en Afrique	207
Chap. 9 : Les limites, les risques et les dangers de l'IA	221
Chap. 10 : Quid de la prise de contrôle de l'humanité par l'IA?	243
Epilogue	275
Productions du même auteur	280

L'Intelligence Artificielle pour tous et partout

Introduction

M. Lionel Mateck est un adulte camerounais dont le quotidien ressemble à celui de nombreuses personnes en Afrique. Ce quotidien va servir de préambule à un entretien entre deux personnages fictifs : une journaliste et une spécialiste de l'Intelligence Artificielle (que nous appellerons ici Mme IA). Cet entretien sera par la suite structuré autour de questions tirées d'une liste d'interrogations et de préoccupations régulièrement soulevées dans les échanges que j'ai souvent avec des hommes et des femmes du genre que l'on rencontre tous les jours dans les villes et villages en Afrique, et qui ne sont donc pas des spécialistes des questions technologiques. Il s'agit en quelque sorte de **l'Africain ordinaire**. Ces questions touchent à des aspects aussi variés que les usages et les champs d'application de l'intelligence artificielle, sa définition et son histoire, les différents acteurs de l'intelligence artificielle, les méthodes et techniques utilisées, les caractéristiques des IA génératives dont on parle tant (*ChatGPT, Midjourney, etc*), la manière de procéder pour bien exploiter l'IA à un niveau individuel et personnel. Mais l'ouvrage met également en garde contre les limites de cette technologie, et présente ses principaux dangers ainsi que les risques qu'elle peut entraîner.

En outre, si le lecteur à qui s'adresse initialement ce manuel est l'Africain ordinaire, les **cadres des organisations publiques et privées** qui désirent en savoir davantage sur l'intelligence artificielle ne sont pas oubliés. Tout au long de l'ouvrage, sont adressés certains points qui sont d'un grand intérêt pour les managers. C'est le cas par exemple des usages de l'IA dans les différents départements et métiers d'une entreprise (marketing et distribution, finance et comptabilité, gestion du capital humain, etc), mais également dans les différents secteurs d'activité (télécoms, banques et assurances, agriculture et élevage, industrie, commerce et distribution, logistique et transport, tourisme et loisirs, etc), ou encore dans des domaines tels que l'éducation, la santé, le sport, les médias ou les services publics. De même, l'ouvrage montre comment une organisation (aussi bien publique que privée) peut procéder pour adopter l'intelligence artificielle; et met en exergue les limites et les

risques de l'IA, notamment tout ce qui concerne la cyber-sécurité et la protection des données. A cela s'ajoutent enfin, d'une part la manière dont l'IA peut aider un pays à relever ses défis et stimuler son développement économique et social, et d'autre part le rôle qu'est amené à jouer l'Etat à cet effet.

L'objectif ultime de cet ouvrage de vulgarisation est donc de permettre au lecteur d'avoir une **meilleure connaissance de l'Intelligence Artificielle**, de découvrir ses diverses et nombreuses applications, de comprendre son fonctionnement, de savoir comment exploiter les opportunités qu'elle offre, de prendre conscience de ses limites, et d'apprendre à éviter les dangers et les risques que pourrait engendrer cette technologie.

Et ce besoin de vulgarisation est d'autant plus d'actualité que les **bienfaits de l'IA** peuvent profiter à chaque individu et à chaque organisation en Afrique; et que la plupart des spécialités (informaticiens, mathématiciens et statisticiens, neuroscientifiques, économistes, gestionnaires, professionnels des médias, juristes, philosophes, etc) ont **un rôle à jouer dans ce domaine multidisciplinaire**.

Bonne lecture!

L'auteur, Jean-Jacques ESSOME BELL

Prologue

Douala, avril 2024.

Un individu comme les autres, un jour comme tous les autres...



« Je vis à Douala, où je suis employé dans une entreprise de taille moyenne; et mon emploi du temps est semblable à celui de nombreuses personnes en Afrique.

Dans le cadre de ma routine en semaine, je me réveille généralement entre 05h30 et 06h00. Avant de faire ma toilette et de prendre mon petit-déjeuner, je trouve un moment pour consulter mon smartphone, voir si j'ai reçu des messages WhatsApp, et éventuellement y répondre. Je peux également en profiter pour m'informer sur un sujet d'actualité concernant par exemple le sport ou l'économie, ou même plus généralement mon pays.

Ne possédant pas de véhicule, je sors stopper un taxi en route pour me rendre à mon lieu de travail. Lorsque je suis pressé, il peut m'arriver de commander un taxi par Yango, une application de transport qui est téléchargée dans mon téléphone.

Arrivé au bureau, je débute ma journée de travail en ouvrant mon ordinateur pour consulter mes emails. Je trouve généralement quelques messages de mon supérieur hiérarchique qui comportent des

instructions de travail. Je peux également y trouver des messages venant de certains clients de l'entreprise pour laquelle je travaille; ainsi que des propositions publicitaires de sites marchands tels que Amazon, qui me sont envoyées à titre personnel.

Je profite généralement de ma pause-déjeuner pour consulter mon compte Facebook et, plus précisément, lire des *posts* d'intérêt et voir les demandes d'amis. Je le fais en général dans un petit restaurant appelé dans le jargon local « tourne-dos » ou « maquis » où, avec des amis, j'accompagne mon repas d'une boisson non alcoolisée, réservant la bière pour le week-end et pour certaines soirées spéciales.

Il y a des jours où il m'arrive d'appeler le centre d'appel de mon opérateur de téléphonie mobile MTN, surtout lorsque j'éprouve des difficultés dans l'utilisation d'un service en particulier. Parfois, c'est ce même opérateur qui m'envoie spontanément par SMS un message promotionnel à propos d'un service donné.

Le soir, en plus de regarder la télévision avec ma petite famille, j'écoute avec intérêt ma fille me raconter ce qu'elle a trouvé d'amusant dans les vidéos Tik-Tok de la journée. Cependant, avec mon fils, je ne manque jamais les matchs de football de l'UEFA Champions League lorsqu'ils sont programmés sur Canal + Sport; et je profite de l'occasion pour commenter avec mes amis sur Facebook ou sur Twitter les performances des équipes en présence. C'est la même chose qui se passe lorsque l'équipe nationale de football masculin, les Lions Indomptables, est engagée dans une compétition. »

"L'intelligence artificielle va changer le monde plus que tout dans l'histoire de l'humanité. Plus que l'électricité."

Dr Kai-Fu Lee



Chapitre 1

L'Intelligence Artificielle est déjà dans nos vies

Tout d'abord, qu'est-ce qu'il y a de particulier dans la narration que nous venons de suivre concernant M. Lionel Mateck?

Cette narration illustre le fait qu'à l'image de M. Lionel Mateck, nous vivons quotidiennement dans l'Intelligence Artificielle, et parfois sans même le savoir. Je vais vous expliquer...

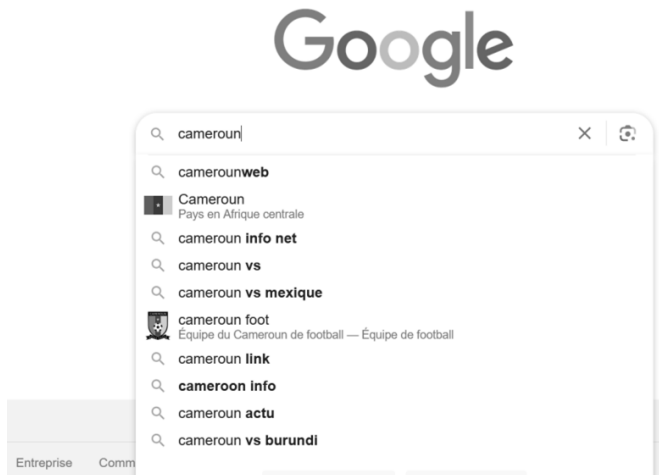


Mme IA :

Lorsque M. Lionel Mateck prend son téléphone le matin pour répondre aux messages WhatsApp reçus dans la nuit, la fonction d'assistance à l'écriture, encore appelée saisie intuitive ou écriture automatique, sera activée; ce qui lui permettra de rédiger son texte beaucoup plus rapidement.

Par exemple s'il écrit **tra**, son smartphone va lui proposer des mots tels que **travail**, **traverser**, **traduire**, etc. Cela lui permettra d'économiser du temps, car il n'aura qu'à sélectionner le mot complet qu'il veut écrire.

Un mécanisme plus ou moins similaire est mis en place lorsque M. Mateck fait une recherche sur internet en utilisant *Google Search*. Il suffit qu'il écrive par exemple le mot-clé **Cameroun**, pour qu'une liste telle que celle apparaissant ci-dessous lui soit proposée, facilitant ainsi sa recherche.



Ces deux exemples sont des illustrations des nombreuses tâches que l'intelligence artificielle peut réaliser à travers votre téléphone.

Dans le premier cas, il y a un algorithme¹ d'intelligence artificielle qui va rechercher les mots les plus utilisés et débutant par les lettres **tra**, puis

¹ Un **algorithme** est un cheminement méthodique, une suite d'opérations à exécuter pour résoudre un problème particulier ou obtenir un résultat donné. Et dans ce sens, une recette de cuisine est un algorithme; ses différentes étapes constituant des opérations de l'algorithme.

les proposer à M. Mateck. Il est vrai qu'il existe de nombreux mots débutant par **tra** : **traduction**, **traduire**, **training**, **transfert**, **travail**, **travailler**, etc. Mais l'algorithme va proposer les trois ou quatre mots qui ont été le plus souvent utilisés par Lionel Mateck dans le passé.

Dans le second exemple, un algorithme va rechercher les combinaisons les plus utilisées par les internautes lorsqu'ils font des recherches sur le Cameroun à travers ce que l'on appelle des « moteurs de recherche », comme *Google Search*, *Bing*, etc. Ensuite dans notre exemple, Google va présenter à M. Mateck les sites web les plus susceptibles de l'intéresser; en réalité, il s'agit de ceux qui sont les plus visités, les plus crédibles, etc.

Ces algorithmes d'intelligence artificielle appartiennent à la famille de ce que l'on appelle le **Traitement du Langage Naturel** (*Natural Language Processing-NLP* en anglais). En fait, on parle de langage naturel pour qualifier le langage humain par opposition à certains langages codés tels que le langage informatique, le morse, etc.

Dans cette famille des algorithmes de Traitement du Langage Naturel, il existe une sous-famille bien particulière que l'on appelle les **Grands Modèles de Langage** (*Large Language Models-LLM* en anglais). Ceux-ci permettent d'effectuer de nombreuses tâches telles que résumer un texte, répondre à des questions, générer différents types de textes², catégoriser les états émotionnels et les sentiments présents dans un texte, etc. Si vous entendez parler de Chat GPT ou Gemini, sachez que ce sont des exemples d'outils d'intelligence artificielle utilisant les Grands Modèles de Langage.

Continuons avec le déplacement vers le lieu de service...

Nous avons constaté que M. Lionel Mateck utilisait parfois l'application *Yango* afin d'obtenir un véhicule avec chauffeur lui permettant d'arriver rapidement à son lieu de travail. Il faut savoir que des outils de ce genre

En IA, les algorithmes sont donc des ensembles de règles indiquant à la machine (ordinateur, smartphone, robot, etc) comment effectuer une tâche ; qui peut être l'écriture d'un texte, la reconnaissance ou la production d'une image, la résolution d'une équation mathématique, le déplacement d'un objet, etc. L'encadré à la fin de ce chapitre fournit deux exemples simplifiés d'algorithmes tirés du quotidien.

² Cela peut aller de la biographie d'un personnage à la conception d'un poème, en passant par la génération d'une recette de cuisine, la production d'un programme pour un événement, la recherche approfondie sur un sujet donné, etc.

ont recours à des applications telle que *Google Maps* ou *Waze*, ainsi qu'à un algorithme d'intelligence artificielle qui permet à la fois d'identifier le véhicule le plus proche du lieu de résidence de M. Mateck, de déterminer l'itinéraire le plus court entre son lieu de résidence et sa destination (le lieu de travail), d'en déduire l'heure d'arrivée, ainsi que le tarif.

Ces algorithmes d'intelligence artificielle sont même capables de tenir compte du trafic automobile en temps réel pour modifier automatiquement l'itinéraire afin d'éviter les embouteillages. Nous sommes là en présence des techniques d'IA consistant à trouver une solution optimale sur la base de toutes les solutions possibles. Les spécialistes les qualifient **d'algorithmes de recherche**.

Puis nous arrivons sur le lieu de service...

Nous constatons que lorsqu'il arrive dans son bureau, M. Lionel Mateck ne trouve généralement que quelques *emails* dans la boîte de messagerie de son ordinateur.

En réalité, et certaines personnes ne le savent pas, de nombreux mails dits « indésirables » viennent remplir nos boîtes *emails* dans la nuit, et même dans la journée; on les appelle des « *spams* ». Il s'agit souvent de messages qui sont potentiellement porteurs de virus informatiques qui sont de nature à perturber le fonctionnement de votre ordinateur; et même d'avoir accès à vos données confidentielles, par exemple vos mots de passe.

Il existe alors des algorithmes d'intelligence artificielle qui détectent automatiquement la plupart de ces *spams*, et les envoient dans un répertoire spécial qu'il vous reviendra de vider au moment où vous le jugerez utile.

La technique utilisée ici est appelée **classification automatique**. Il s'agit d'une technique qui utilise des algorithmes d'intelligence artificielle appartenant à la catégorie de **l'apprentissage supervisé** dans ce que l'on appelle généralement le **Data Mining** (ou fouille des données).

Pour comprendre cette technique, je vais vous rappeler un jeu auquel vous étiez certainement coutumière lorsque vous étiez jeune; le jeu « *Qui est-ce?* ».

Le principe du jeu était simple : chaque joueur devait retrouver, parmi une collection de personnages, celui choisi par son adversaire. Pour cela,

les joueurs posaient tour à tour une question de la forme : « *Le personnage a-t-il une barbe ?* » ou « *Le personnage porte-t-il des lunettes?* ». Le premier joueur à trouver le personnage de l'adversaire gagnait la partie.

Ici, l'algorithme fait un peu la même chose. Tout *email* contient un texte. C'est donc à partir de l'analyse du contenu de ce texte qu'il faut décider de classer un message, soit en « *spam* », soit en « régulier ». Bien souvent, un *spam* capte l'attention du destinataire par la promesse d'un gain quelconque (généralement d'ordre financier), et propose de récupérer ce gain en se connectant sur un site internet qui sera ainsi fréquemment visité. Ces *emails* se caractérisent donc par la présence de mots comme « gagner », « loterie », ou encore « cliquer » dans le corps du texte.³ Il existe donc des mots révélateurs de la nature du message. De ce fait, une possibilité est de classer les messages à partir de l'étude des fréquences d'apparition de certains mots.

Il faut savoir qu'il existe toujours des risques d'erreur. Les spécialistes du domaine les appellent « faux positifs » lorsque l'algorithme bloque un courrier qui n'est pas un *spam* en réalité, ou « faux négatifs » lorsqu'il s'agit d'un *spam* qui n'a pas été détecté et se retrouve dans la boîte de réception de l'utilisateur. A titre d'information, pour sa messagerie Gmail, Google utilise un algorithme permettant de bloquer pratiquement 99% des *emails* indésirables.

Pour revenir sur la boîte email de Lionel Mateck, certains des messages qui s'y trouvent nécessitent généralement une réponse assez urgente; provenant soit de sa hiérarchie, soit d'un client. Il existe alors des solutions d'intelligence artificielle qui permettent de produire une réponse que Lionel n'aura plus qu'à affiner avant de l'envoyer au destinataire. Nous sommes ici en présence de ce qu'on appelle les **IA génératives**. Celles-ci sont capables de générer un contenu qui peut être un texte comme pour le cas de la réponse à un email, ou même une image, un son ou une vidéo; et elles se basent pour cela sur des instructions données par l'utilisateur (les invites ou *prompts* en anglais).

³ C'est la technique du « *phishing* » ou hameçonnage. Elle consiste à envoyer un email à un individu en lui proposant de prétendus gains, et en l'invitant à une certaine action (cliquer sur un lien, répondre à l'email, etc).

Puis vient la pause-déjeuner et la consultation des réseaux sociaux...

En ouvrant sa page Facebook, M. Lionel Mateck note la présence de nombreux *posts*, mais également des suggestions d'amis. Ces éléments n'apparaissent pas au hasard. Et d'ailleurs, si vous ouvrez votre Facebook au même moment que Lionel, vous constaterez que vous ne recevez pas forcément les mêmes *posts*, et certainement pas les mêmes suggestions d'amis.

Ici, les algorithmes d'intelligence artificielle permettent de personnaliser l'utilisation que vous faites de ces réseaux sociaux. En d'autres termes, ils vous font consulter les informations qui sont le plus susceptibles de vous intéresser. C'est ce que l'on appelle dans le jargon, les « **systèmes de recommandation** »; lesquels sont rendus possibles en utilisant des algorithmes tirés de la **Science des Données**⁴ et appartenant à la catégorie qualifiée d'« **apprentissage non supervisé** ». Il s'agit de techniques statistiques qui identifient des ressemblances ou des similitudes.

Par ressemblances, il faut entendre par exemple : « *quels sont les nouveaux posts qui appartiennent à des thèmes que vous consultez le plus souvent?* » Dans le cas d'espèce, s'il s'est avéré dans le passé que Lionel consultait et/ou interagissait régulièrement (à travers des « *like* » par exemple) avec des *posts* en rapport avec le FC Barcelone, avec Roger Federer ou encore avec l'éducation scolaire; alors les nouveaux *posts* traitant de ces sujets et provenant de ses « amis » apparaîtront plus souvent sur sa page. De même, l'algorithme procèdera à la recherche d'individus qui sont en relation avec ses amis actuels, et lui en fera la proposition car les centres d'intérêts pourraient être les mêmes.

Nous avons également constaté que Lionel Mateck consommait des boissons non alcoolisées lors du déjeuner. Il faut savoir que lors de la

⁴ La **Science des Données (Data Science)** regroupe un ensemble d'activités consistant à collecter, à analyser et à utiliser des données de diverses natures (chiffres, textes, etc) pour comprendre une situation et résoudre un problème dans un domaine bien précis (business, médecine, éducation, sport, etc). La Data Science utilise pour cela des outils issus des mathématiques, des statistiques et de l'informatique, ainsi que de l'expertise-métier (*domain knowledge* en anglais) liée au problème à résoudre.

production de ces boissons dans les usines, il y a notamment ce que l'on appelle le « dosage » et le « contrôle de qualité ».

Le dosage consiste à utiliser des appareils qui vont automatiquement ajuster la quantité de liquide à verser dans la bouteille en fonction de la contenance; et cela en distinguant par exemple les bouteilles de 33 cl, celles de 65 cl, etc. Le contrôle de qualité consistera à identifier automatiquement des bouteilles dont les caractéristiques (couleur, taux de sucre, etc) s'écartent d'une certaine fourchette de valeur minimale et valeur maximale.

Dans l'un et l'autre cas et dans certaines usines assez sophistiquées, les machines utilisées sont en fait des robots qui fonctionnent sur la base d'un programme d'intelligence artificielle qui leur permet d'adapter leur comportement; par exemple s'arrêter à 33 cl ou à 65 cl selon le type de bouteille. Il s'agit alors de l'association de la **robotique** et l'intelligence artificielle à travers ce que l'on appelle des **robots intelligents**.

Les interactions avec l'opérateur de téléphonie mobile...

Sur un tout autre plan, lorsque M. Mateck passe un appel au call center de MTN en composant le fameux 123 afin d'exposer un problème auquel il est confronté, il reçoit une réponse de l'opérateur de téléphonie qui peut laisser croire qu'il y a un(e) employé(e) à l'autre bout du fil. En réalité, il s'agit d'un robot (ou agent) conversationnel, encore appelé *chatbot*.⁵ Il s'agit d'un logiciel qui comporte un algorithme d'intelligence artificielle qui a été initialement programmé pour fournir des réponses bien spécifiques, basées sur une longue liste de questions qu'un client pourrait être amené à poser. Et en fonction des nouvelles questions qui reviennent le plus souvent, le *chatbot* est même capable d'adapter ses réponses. Tout comme dans le premier exemple cité plus haut, il s'agit encore d'une application du **traitement du langage naturel**.

Et lorsque M. Mateck reçoit un SMS l'informant d'une promotion ou d'un service qui pourrait l'intéresser, l'intelligence artificielle est encore au rendez-vous. Il s'agit ici d'un autre exemple d'algorithme

⁵ De manière fondamentale, un **chatbot** (à prononcer « tchate-botte ») est un programme informatique qui simule une conversation (« *chat* » en anglais) avec une personne. Quand un utilisateur lui pose une question ou formule une commande, le *chatbot* lui répond ou exécute l'action demandée.

d'apprentissage non supervisé comme vu précédemment (et plus précisément de **clustering**)⁶, qui consiste à observer les usages et habitudes de M. Mateck concernant les produits et services de MTN qu'il utilise, le moment où il les utilise, l'intensité de leur utilisation, etc. Ensuite, en faisant le même exercice avec des centaines de milliers d'autres clients, l'algorithme est capable d'identifier des groupes de clients (on parle de segments ou de profils) ayant des comportements similaires. De ce fait, les services proposés à Lionel par le biais des SMS sont susceptibles de l'intéresser, car ils sont utilisés par des clients qui appartiennent au même segment que lui.

Et enfin les vidéos sur le Tik-Tok le soir, ou les matches de football de la Champions League...

A la suite de tout ce que je viens de vous dire, vous pouvez donc imaginer que les vidéos que la fille de M. Lionel Mateck voit apparaître spontanément sur son Tik-Tok sont celles qui sont les plus susceptibles d'intéresser cette dernière, car elles appartiennent à la même catégorie que les vidéos qu'elle a l'habitude de regarder. En réalité, les **algorithmes de recommandations**, dont nous avons déjà parlé ci-dessus s'agissant de Facebook, sont beaucoup plus complexes et intègrent beaucoup d'autres paramètres. Néanmoins le principe est globalement le même que celui décrit ici; la finalité étant de proposer à l'utilisateur un contenu (texte, photo, musique, vidéo, etc) qui soit d'intérêt pour lui.⁷

Et pour finir, arrêtons-nous un peu sur les commentaires des matches de football de l'UEFA Champions League. Vous avez certainement constaté que certaines statistiques sont présentées par les chaînes de télévision à la fin d'un match. Il s'agit par exemple pour chacune des deux équipes : du taux de possession de balle, du nombre de tirs (au total et cadrés), etc. C'est un peu comme l'exemple représenté à la page suivante et qui concerne la demi-finale retour de *Champions League 2023* entre Manchester City et le Real Madrid.

⁶ Qui vient de l'anglais « to cluster: regrouper ».

⁷ L'algorithme de Tik-Tok est réputé pour être l'un des plus performants. Il propose à ses utilisateurs un flux continu de vidéos en ajustant ses suggestions en temps réel; ce qui rend le consommateur accro et dépendant.



Il faut savoir que des statistiques beaucoup plus nombreuses et détaillées sont utilisées par les entraîneurs, et leur permettent de prendre des décisions en temps réel telles que le repositionnement d'un joueur, le remplacement d'un autre, la zone d'attaque à privilégier, etc. Là encore, on est en présence d'outils d'intelligence artificielle basés sur l'analyse des données, et notamment la **Data Visualization** lorsqu'il est possible de visualiser sur une carte des éléments tels que les zones d'action des joueurs des deux équipes, les zones fréquentes de perte du ballon, etc. C'est ce que l'on appelle **Sports Analytics**, une application de la Science des Données qui nourrit l'Intelligence Artificielle. L'apport spécifique des algorithmes d'intelligence artificielle ici est double. Il s'agit tout d'abord, en utilisant des caméras situées tout autour du terrain,⁸ de localiser les positions et les déplacements sur le terrain en utilisant des algorithmes de **reconnaissances des formes** permettant d'identifier chaque joueur; on est donc ici dans ce qu'on appelle la **vision artificielle** (*computer vision* en anglais). Il s'agit ensuite de produire, pratiquement en temps réel, des graphiques de visualisation et les analyses qui peuvent en découler; et cela sans que l'on ait besoin d'une quelconque intervention humaine.

C'est encore la vision artificielle, et en particulier la reconnaissance des formes, qui est à l'œuvre lorsque vous utilisez votre smartphone pour prendre une photo, et que vous voyez des visages encadrés sur votre

⁸ Et parfois des drones, ou même des puces (avec trackers GPS) posées sur les corps (ou les maillots) des sportifs, ou même à l'intérieur des ballons comme lors de la Coupe du Monde de football FIFA 2022 au Qatar.

écran. C'est également elle qui, sur certains ordinateurs portables, permet au propriétaire de sécuriser l'accès à son appareil en utilisant ses empreintes digitales.

Le point commun entre tous les exemples qui viennent d'être donnés concernant la présence parfois insoupçonnée de l'IA dans le quotidien d'un individu ordinaire, est qu'il y a toujours un **algorithme d'intelligence artificielle**. Certes, celui-ci peut être totalement différent d'une situation à l'autre, plus ou moins sophistiqué ; mais dans tous les cas, il s'agit d'algorithmes censés reproduire ce qu'un être humain aurait fait, mais ici sans intervention humaine, et avec une vitesse et une précision plus élevées.

Pour terminer, l'exemple pris avec le quotidien de Lionel Mateck a ceci d'intéressant qu'il est suffisamment illustratif des différentes tâches de l'intelligence artificielle; des tâches qui nécessitent généralement une intelligence humaine :

- **le traitement et la compréhension du langage:** les conversations avec les robots conversationnels (*chatbots*);
- **la reconnaissance visuelle et d'objets:** la détection de visage, le contrôle de qualité des produits;
- **la représentation des connaissances:** la navigation dans les moteurs de recherche (*Google Search*), l'analyse des statistiques des matches de football;
- **la détection de similitudes:** les recommandations d'amis ou de vidéos;
- **la planification automatisée:** la recherche de l'itinéraire optimal;
- **le raisonnement à des fins de prédiction et de prévision:** la détection des *spams*;
- **la génération de contenu (textes, images, etc):** les réponses aux emails;
- **la prise de décision:** le remplissage automatique des bouteilles par les robots industriels.

Nous aurons bien entendu l'occasion de revenir plus en détails sur ces tâches tout au long de cette conversation et de cet ouvrage.

Chapitre 2

Les individus et les organisations peuvent tous tirer profit de l'IA



Mme IA :

Vous utilisez certainement déjà des applications telles que Siri si vous possédez un iPhone, ou peut-être Alexa ou Google Assistant si vous utilisez un téléphone Android. Il s'agit en fait **d'assistants vocaux** qui fonctionnent sur la base d'algorithmes d'intelligence artificielle pour reconnaître et comprendre la parole humaine, afin de pouvoir ensuite répondre à des questions.⁹ Vous vous rappelez que nous avons parlé du Traitement du Langage Naturel dans le chapitre précédent. C'est un peu la même famille d'algorithmes d'IA qui est utilisée lorsque vous allez sur Google pour faire la **traduction d'un texte** du français vers l'anglais par exemple.

Mais savez-vous que l'intelligence artificielle possède également de nombreux autres usages communs tels que la recherche d'un restaurant, la réservation d'un vol, et plus généralement des achats en ligne? En réalité, l'IA a des applications dans pratiquement tous les domaines imaginables; et c'est ce qui sera présenté dans les pages qui suivent.

« Les applications de l'IA dans le domaine de la santé et de la médecine font partie de ses plus grands bienfaits. »

Savez-vous également que l'intelligence artificielle est déjà régulièrement employée dans le domaine de la **médecine et santé**?

On utilise en effet l'IA pour l'analyse d'images médicales, la détection précoce de maladies telles que les cancers, la personnalisation des traitements en prenant en considération les données génétiques de chaque patient, le diagnostic en ligne et la prise de conseils à l'aide des *chatbots* et des applications de télésanté, la prise en charge des personnes âgées avec les robots-compagnons, le pronostic médical qui implique la détection de personnes à risque comme lors de certaines épidémies à l'exemple du Covid-19, et même pour la découverte de nouveaux traitements comme cela a été le cas pour un nouvel antibiotique vers la fin de l'année 2023.

⁹ Le fameux « OK Google », ou encore « Hey Mercedes » dans certains véhicules.

Plusieurs approches d'IA sont par exemple utilisées, soit pour établir un diagnostic médical, soit pour établir un pronostic médical.

- Le diagnostic est établi pour identifier une maladie ou une infection, comme lorsque vous vous rendez chez le médecin car vous ne vous sentez pas bien. Dans le cadre de cette consultation, le médecin va vous poser un certain nombre de questions concernant notamment la description de ce que vous ressentez; puis il va procéder à certains examens en laboratoire. Tout cela lui permettra de poser le diagnostic en se basant sur les relations entre les paramètres (description des symptômes, résultats des examens) et certaines maladies. Ce travail peut être fastidieux dans le cas où existent des centaines de paramètres. Il existe alors une technique d'IA appelée **système expert** qui, en utilisant une base de nombreuses connaissances médicales et un programme informatique, permet de poser le diagnostic en quelques instants.
- Le pronostic, quant à lui, est établi lorsque l'on désire identifier les personnes à risque concernant certaines maladies (diabète, hypertension artérielle, etc), ou lorsque l'on désire prédire l'évolution d'une maladie. Certaines techniques d'intelligence artificielle consistent en l'établissement d'équations mathématiques qui permettent de calculer la probabilité (*scoring*) que vous soyez atteint de telle ou telle maladie; et cela en utilisant des paramètres tels que votre âge, votre poids, votre mode de vie (habitudes alimentaires, pratique du sport, etc). On parle ici des **IA de classification automatique**. Et on parle de classification car il s'agit d'affecter chaque individu dans une classe de risque; par exemple « risque faible », risque modéré », « risque élevé », etc. Il existe d'ailleurs de nombreuses applications utilisant l'IA, qui ont été développées pour les smartphones afin d'aider les utilisateurs à obtenir un pronostic médical, bien qu'approximatif.

Dans un autre registre, il y a le cas du cancer par exemple. Vous savez qu'une détection précoce permet d'augmenter considérablement les chances de guérison. Or, la plupart des tumeurs cancéreuses ne sont détectées qu'en phase terminale, lorsque les chances de guérison sont très réduites. Les algorithmes d'intelligence artificielle basés sur la **reconnaissance des formes** (à laquelle nous avons déjà fait allusion) permettent alors de détecter une tumeur lorsque celle-ci est encore à un

stade embryonnaire, en fournissant la probabilité qu'il s'agisse bien d'une tumeur cancéreuse.

L'IA permet en outre d'accélérer la découverte de nouveaux médicaments en analysant et en faisant des prédictions sur des molécules; terme désignant le principe actif d'un médicament, et donc le composant du médicament possédant un pouvoir thérapeutique (amélioration de l'état de santé d'un patient). Dans ce domaine, l'utilisation de l'IA permet de réaliser en quelques semaines ce qui nécessite souvent de nombreuses années et beaucoup d'argent¹⁰.

En décembre 2023, une nouvelle classe d'antibiotiques capables de détruire certaines bactéries résistantes aux médicaments a donc été découverte en utilisant l'intelligence artificielle. L'approche d'IA utilisée ici est appelée **deep learning par apprentissage supervisé**.

- Il s'agit dans un premier temps d'observer la composition (c'est-à-dire la structure chimique) de plusieurs milliers de molécules déjà connues; puis d'étudier leur comportement sur le plan de l'activité antibiotique (capacité à détruire une bactérie) et de la toxicité (dommages causés à l'organisme humain).
- Le modèle obtenu est alors utilisé pour prédire, parmi des millions de nouvelles molécules, celles qui seraient de bons antibiotiques selon les deux critères d'activité et de toxicité.

Pour la découverte de cette nouvelle classe d'antibiotiques aptes à détruire la bactérie appelée « staphylocoque doré »¹¹, 39 312 composés ont été évalués. Le modèle obtenu a ensuite permis de passer au crible 12 millions de composés, puis de prédire leur activité antibiotique et leur toxicité. A partir de cela, 283 ont été retenus pour des tests en laboratoire sur le staphylocoque doré. Cette approche a finalement permis d'identifier deux candidats antibiotiques prometteurs appartenant à la même classe.

¹⁰ L'étape de découverte du médicament précède la phase de développement clinique au cours de laquelle le candidat médicament est testé chez des humains. Et cette phase prend jusqu'à 5 ans et nécessite un investissement moyen de près de 100 millions de dollars par candidat médicament.

¹¹ Les bactéries "Staphylococcus aureus" (staphylocoque doré) sont résistantes à la méthiciline-SARM (Staphylococcus Aureus Résistantes à la Méthiciline). Les infections à SARM peuvent aller d'infections cutanées bénignes à des affections plus graves et potentiellement mortelles telles que la pneumonie et les infections sanguines.

Il convient enfin de noter qu'à côté de ces aspects spécifiques au domaine de la médecine et de la santé, l'intelligence artificielle trouve également un champ d'application dans des aspects plus administratifs et généraux tels que l'optimisation des files d'attente de patients dans les hôpitaux, ou encore l'optimisation de la gestion des stocks dans les pharmacies.

« L'IA possède de nombreuses applications dans le domaine de la gestion des entreprises. »

En matière de gestion des entreprises, il faut savoir que l'intelligence artificielle a contribué à booster les activités de la **science des données dans le domaine du business et du management** par un jeu de synergies qui profite énormément aux entreprises avant-gardistes.

Dans le domaine du **marketing et de la vente** par exemple, à côté des *chatbots* qui sont déjà utilisés par de nombreuses entreprises en Afrique, d'autres usages de l'IA peuvent être mentionnés.

Certains algorithmes permettent ainsi aux entreprises de suivre et d'analyser leurs performances en temps réel, d'affiner la connaissance de leurs clients au point de pouvoir lancer continuellement des campagnes promotionnelles ciblant les clients les plus susceptibles d'adopter certains produits.

Il existe également des IA qui sont capables, non seulement de générer des messages publicitaires adaptés à une entreprise¹², à ses produits et à ses clients, mais également de fournir des indicateurs prédictifs tels que la probabilité que les clients soient accrochés par lesdits messages.¹³

Certaines solutions d'intelligence artificielle génèrent en quelques secondes un questionnaire d'étude de marché en se basant sur les objectifs et la cible de l'étude. Ainsi, selon que l'entreprise désire comprendre les raisons de l'échec d'un produit, mesurer le niveau de satisfaction de ses clients ou identifier de nouvelles cibles, l'IA pourra générer un questionnaire qu'il reviendra aux équipes en charges des

¹² Plus précisément son identité visuelle et sa charte graphique.

¹³ L'IA vous proposera par exemple 3 slogans ou messages publicitaires, et vous dira que sur la base d'un certain nombre de critères et de données historiques, tel message a 90% de chances d'être apprécié par le public, tel autre message a 84% de chances, etc.

études de marché d'affiner avant le lancement de l'étude sur le terrain. D'autres IA sont même capables de produire un véritable rapport d'étude de marché ou d'analyse concurrentielle, mais également un argumentaire de vente ou des articles de blog.

Dans le domaine de la **finance et comptabilité**, l'intelligence artificielle peut être utilisée pour l'automatisation des tâches telles que la facturation, la passation des écritures comptables en temps réel, les inventaires ou la classification des documents. Certes, l'automatisation de certaines de ces tâches existe depuis longtemps; les comptables se basant par exemple sur des masques qui permettent de reconnaître les factures identiques. Mais avec l'IA, l'algorithme va trouver lui-même les informations (date, montant, etc) et procéder à la comptabilisation des factures. Au niveau de l'extraction des données, l'IA permet de supprimer la saisie manuelle; il en résulte alors des gains de temps, l'élimination des erreurs humaines et une gestion financière en temps réel.

C'est également un algorithme d'IA qui permet de détecter des anomalies dans certaines pratiques comptables et des schémas comptables suspects, ou encore d'identifier les erreurs de saisie. L'intelligence artificielle permet également, en explorant les données de la comptabilité, d'identifier les trop-payés et de récupérer de la trésorerie. C'est ce que les financiers appellent « *recovery audit* ».

Dans un registre propre aux banques et autres institutions financières, il existe des algorithmes qui permettent de décider quasiment en temps réel si la banque peut vous octroyer un crédit en calculant votre probabilité de défaillance; cette procédure mettait parfois plusieurs semaines dans le passé. D'autres algorithmes permettent d'identifier plus efficacement et plus rapidement des fraudes dans l'usage d'une carte bancaire ou dans l'accès à un compte. D'ailleurs, il vous est peut-être déjà arrivé de recevoir une notification de votre banque lorsque vous vous connectez à votre compte en ligne avec un autre appareil que celui que vous utilisez régulièrement, ou encore lorsque vous vous connectez à partir d'un autre pays. Là encore, l'intelligence artificielle est au rendez-vous!

Les départements des **ressources humaines** des multinationales sont généralement inondés de milliers de dossiers de demandes d'emplois. Il existe maintenant des algorithmes d'intelligence artificielle qui sont

capables de traiter et de trier des centaines de CV de candidats en quelques minutes afin d'identifier la dizaine de candidatures qui seront retenues pour les interviews; et même d'estimer la probabilité que ces candidats soient des *tops performers* à l'avenir.¹⁴ Dans le sens inverse, il y a des applications telles que ChatGPT ou Gemini qui peuvent vous produire en quelques secondes un CV captivant, ainsi qu'une lettre de recommandation adaptée.

On peut relever d'autres applications de l'intelligence artificielle dans le domaine des RH:

- Avec l'IA, il est désormais possible de réaliser l'analyse graphologique d'une lettre de demande d'emploi en quelques instants.
- L'IA permet également de faire de l'analyse prédictive, et notamment d'identifier des employés susceptibles de démissionner¹⁵.

Dans le domaine de la **gestion industrielle**, à côté des robots dits intelligents, une application intéressante de l'IA concerne la possibilité de traiter la panne d'un système technique, d'un appareil ou d'un moteur, juste avant qu'elle ne survienne. Il ne s'agit donc plus de faire de la maintenance corrective ou même préventive; avec l'IA on entre dans l'ère de la maintenance prédictive!

Toujours en matière de gestion industrielle, il existe des outils d'intelligence artificielle qui permettent d'optimiser la planification et l'ordonnancement des tâches sans que l'humain n'ait à intervenir. Par exemple dans le cas d'une usine de transformation de jus d'ananas, un algorithme d'IA pourra analyser les données de la chaîne d'approvisionnement des matières premières (fruits frais, ingrédients, etc) ainsi que des ventes en temps réel, puis réajuster le rythme de production, et même passer automatiquement des commandes auprès des fournisseurs.

¹⁴ Le processus consiste à alimenter l'algorithme avec les CV reçus antérieurement, des candidats retenus et des candidats rejetés, ainsi que des performances futures des candidats retenus. Cela fournit au logiciel des exemples de ce que constitue une bonne candidature. Par la suite, toutes les candidatures seront analysées par l'IA; et elle décidera quelles candidatures faire parvenir à la personne chargée des RH, et lesquelles rejeter. Il est même possible d'identifier des profils assez atypiques, ce qui est intéressant dans les métiers du marketing et vente.

¹⁵ L'IA utilisée par IBM peut prédire, avec 95% de précision, quels employés vont démissionner dans les 6 prochains mois.

« L'agriculture et l'élevage peuvent grandement tirer profit de l'apport de l'IA. »

Etant donné que « l'Africain ordinaire », qui nous lit certainement, s'intéresse beaucoup à **l'agriculture et à l'élevage**, il est important de présenter des situations où l'intelligence artificielle s'avère très utile aux agricultures et aux éleveurs.

L'intelligence artificielle permet d'améliorer l'efficacité, la durabilité et la productivité des exploitations agricoles. On peut citer à titre indicatif trois cas d'application.

- L'IA est utilisée pour faire des prédictions de rendements pour une culture en particulier, en utilisant des paramètres comme le climat, l'état des sols et des semences, le taux d'irrigation, les risques liés aux maladies.
- L'IA permet de réduire les coûts de main-d'œuvre en automatisant certaines tâches agricoles, telles que la pulvérisation des cultures en fonction de la température ou de l'état du sol, la détection et le traitement des mauvaises herbes et des parasites.
- Grâce à des drones et des capteurs, les agriculteurs peuvent collecter des données sur les cultures, qui peuvent ensuite être analysées à l'aide de l'IA pour détecter les maladies des plantes et les parasites, ou encore pour estimer les rendements. En une heure de vol, un drone peut ainsi couvrir plusieurs hectares de plantations, et détecter les zones infestées par des parasites.

A côté de ce qui précède, il y a tout le domaine lié à l'information, à travers les agents conversationnels (les *chatbots*). Il devient ainsi possible aux agriculteurs d'obtenir des réponses à presque toutes les questions qu'ils se posent concernant notamment les prévisions météorologiques pour le lendemain ou la semaine suivante, les prix des matières premières, le rappel de la réglementation en matière de pulvérisation ou de mesures phytosanitaires, l'existence de débouchés pour les récoltes, et bien d'autres sujets encore.

Et même ce qui a été dit un peu plus haut concernant la gestion industrielle peut s'appliquer à l'agriculture. C'est le cas par exemple de la prédiction de défaillance d'une tronçonneuse ou d'un tracteur, ou encore

de l'optimisation de la gestion des stocks de matières pour les agriculteurs qui disposent de nombreux hectares de culture.

Dans le domaine de l'élevage, il existe déjà des logiciels qui permettent de visualiser la prédiction du nombre d'œufs et le calibre de ces derniers; ce qui permet d'affiner les prévisions de recettes. D'autres outils d'intelligence artificielle permettent même d'identifier les cris de détresse des poules en utilisant des systèmes de reconnaissance vocale; ce qui est très utile lorsque vous devez gérer une grande ferme de plusieurs milliers de poules.¹⁶

Après les applications de l'intelligence artificielle dans les domaines de la santé-médecine, de la gestion des entreprises, puis de l'agriculture et l'élevage, on peut changer complètement de domaine et s'intéresser aux applications de l'IA dans la sphère de **l'éducation**, dans le domaine du **sport**, ou dans celui du **journalisme**.

**« L'IA est déjà une réalité dans le domaine
de l'éducation et de la formation des
jeunes et des adultes. »**

Les applications de l'intelligence artificielle dans la sphère de **l'éducation** peuvent être aussi banales qu'originales. Quatre d'entre elles seront présentées ici.

Tout d'abord, l'IA permet de faciliter le travail des enseignants dans la préparation des cours. Il existe des outils qui, en passant en revue l'ensemble des connaissances disponibles sur internet, sont capables de produire tout le contenu d'un cours en fonction des instructions (les *prompts*) fournies par l'enseignant, et même d'y ajouter des illustrations telles que des graphiques ou des images. Cela va même jusqu'à la proposition d'exercices, ainsi que de leurs corrigés. Et s'agissant de ce dernier point, il existe des outils d'IA qui sont capables de corriger automatiquement les devoirs des élèves.

¹⁶Des algorithmes sont entraînés à l'aide d'enregistrements qui avaient au préalable été classés manuellement par des experts humains afin de déterminer quel type de son ils représentaient. Les programmes sont ainsi formés à distinguer les cris de SOS des autres cris ou bruits d'ambiance.

Pour illustrer la préparation d'un cours, imaginons qu'un enseignant d'histoire désire entretenir des élèves de classe de 6^{ème} des collèges sur la Seconde Guerre Mondiale. Si le prompt est rédigé correctement, une IA comme Chat GPT, Gemini ou encore Claude, pourra générer un document sous forme de diapositives et structuré ainsi :

- *Page 1 : Titre sur la Seconde Guerre Mondiale et une photo d'archives représentant de soldats en train de combattre pendant ce conflit.*
- *Page 2 : Introduction reprenant les principaux points de la 2^{nde} GM, ainsi qu'une carte du monde montrant les principaux pays ayant pris part au conflit.*
- *Page 3 : Les causes lointaines et les causes immédiates de la guerre, ainsi que des photos de certains dirigeants.*
- *Page 4 : Le déroulement de la guerre avec les événements saillants.*
- *Page 5 : Les conséquences de la guerre, avec une photo d'archives représentant la signature de la Charte des Nations-Unies.*
- *Page 6 : Une conclusion, avec éventuellement une photo à forte connotation philosophique telle que des enfants qui jouent dans un champ de fleurs après la guerre.*

À côté de la génération de contenu de cours, l'IA est également utile en matière de pédagogie éducative. Il est en effet admis que, sauf défaillances neuronales particulières, il n'existe pas d'individu fondamentalement idiot; la plupart du temps, le problème d'un quelconque retard dans la compréhension ou l'apprentissage tient plutôt à des facteurs d'ordre pédagogique ou motivationnel. Pour résoudre ce problème, l'IA a permis la création de ce qu'on appelle l'apprentissage adaptatif (*adaptive learning* en anglais), qui consiste à s'adapter à chaque individu. Tous les apprenants commencent avec la même vidéo ou le même support écrit. La différence et la personnalisation se font par la suite en fonction des réponses aux exercices. Par exemple, si des erreurs sont commises lors des premières évaluations, les cours proposés seront davantage élémentaires. À contrario, si le niveau est avancé, des contenus plus avancés seront abordés. De même, en utilisant certaines données comportementales sur les apprenants, il sera possible d'adapter le mode de présentation (présentiel ou distanciel), ou le type de contenu de présentation (texte, images, vidéos, etc).

S'agissant de la formation des adultes dans les zones rurales, il existe déjà depuis un certain temps des modules de formation disponibles dans les

téléphones. Mais là où l'IA apporte un plus, c'est au niveau de tâches telles que l'adaptation du contenu au profil, aux habitudes et aux besoins de chaque individu. En outre, les *chatbots* peuvent permettre à l'utilisateur d'obtenir de manière instantanée les réponses aux questions spécifiques qu'il se pose. Et dans certains pays comme le Bénin ou le Nigéria, des outils de traduction des cours en langue vernaculaire existent déjà.

Une autre sphère d'application de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'éducation concerne la lutte contre la tricherie lors des examens en ligne. Il existe à cet effet des systèmes d'IA qui utilisent les webcams et les microphones des ordinateurs pour surveiller les apprenants pendant qu'ils passent des examens. Le logiciel utilise la reconnaissance faciale pour s'assurer qu'il s'agit de la bonne personne, et traque le mouvement des yeux. Le comportement global de l'apprenant est analysé en temps réel et comparé avec des profils types et des attitudes de tricheurs.

Il y a bien évidemment de nombreuses autres applications de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'éducation qui n'ont pas été mentionnées. L'IA peut par exemple aider un élève à réviser ses leçons en générant des fiches de révision personnalisées à partir de ses cours, en proposant des rappels espacés des concepts importants appris à l'école, ou encore en générant la solution à un exercice de mathématiques. Mais l'IA peut également permettre de procéder à la disposition optimale des élèves dans une salle de classe en utilisant des critères tels que le sexe et la taille de chaque enfant, ses notes scolaires, ses affinités avec d'autres camarades, etc; l'objectif étant de mettre chaque élève dans des conditions optimales pour être attentif aux cours.

« L'IA se forge une place de plus en plus importante dans le domaine du sport. »

Dans le domaine du **sport**, l'adoption de l'intelligence artificielle s'effectue à une vitesse variable selon la discipline sportive. Des organisations comme la NBA (basketball US) et la MLB (ligue de baseball US) font figures de précurseurs¹⁷. Mais d'autres disciplines telles

¹⁷ Un film est même sorti en 2011 autour de l'utilisation de la data et de l'IA dans le baseball : « The MoneyBall » avec Brad Pitt et Jonah Hill.

que le football, le handball, le rugby, le lawn-tennis et l'athlétisme sont en train de suivre.

De manière générale, l'intelligence artificielle permet d'améliorer la qualité de l'expérience vécue par les spectateurs, d'optimiser les performances sportives, de venir en aide à l'arbitrage, etc.

S'agissant du premier point, l'IA intervient au niveau de l'amélioration de l'expérience vécue pour les spectateurs, tant au niveau du stade que devant leur téléviseur. Rappelez-vous un peu l'exemple introductif où Lionel Mateck pouvait consulter les statistiques des matchs de football et avoir un regard plus analytique de la rencontre. Mais cela va plus loin. L'IA permet également au téléspectateur d'obtenir un zoom sur un joueur en particulier, et notamment ses déplacements ou ses statistiques ; ainsi que les prédictions d'issue finale au fur et à mesure que le match avance. Il existe même des algorithmes qui permettent, à partir d'images TV, de recréer afin de les revivre, des matchs historiques en mode immersif. L'utilisateur peut ainsi choisir le point de vue qu'il souhaite, et même être virtuellement présent sur le terrain. Imaginez-vous en train de revivre, comme si vous étiez dans les tribunes, la finale de la Coupe d'Afrique des Nations de football de 1984 à Abidjan opposant les Lions Indomptables du Cameroun à ceux qu'on appelait encore à l'époque les Green Eagles du Nigéria...

Dans certains sports, l'intelligence artificielle est aujourd'hui utilisée dans les stades pour générer des rediffusions virtuelles en fonction des phases de jeu qui ont été le plus applaudies par les spectateurs. L'IA permet également de fournir des services de billetterie intelligents, d'optimiser les systèmes de stationnement autour des stades, d'améliorer l'encadrement et la sécurité des spectateurs, etc.

En matière d'amélioration des performances, l'IA est utilisée soit à titre individuel, soit dans le cadre des clubs de sport. Au niveau individuel, il suffit de penser aux différentes montres connectées qui vous fournissent des statistiques sur votre niveau d'activité (nombre de pas, distance parcourue, etc) ainsi que sur vos paramètres sportifs (nombre de battements cardiaques, vitesse, etc); mais également des alertes sonores ou vibratoires.

Au niveau des clubs de sport, grâce au gros volume de données collectées, l'IA permet d'adapter l'entraînement de chaque sportif en fonction de ses caractéristiques, mais également de guider les choix

stratégiques avant le match, ou d'ajuster la tactique pendant une rencontre.

A titre d'exemple, lors de la préparation du match d'ouverture de la coupe du monde de rugby en septembre 2023 opposant la France à la Nouvelle-Zélande, le staff de l'équipe de France a utilisé une IA basée sur des centaines de matchs afin que celle-ci puisse déceler les facteurs déterminants qui distinguent les équipes qui battent les *All Blacks*¹⁸ de celles qui perdent contre eux. L'IA a fait ressortir que les équipes battues par la Nouvelle-Zélande gardaient le ballon pendant trop longtemps, et finissaient par s'exposer. L'IA en a déduit à partir de combien de *rucks*¹⁹ et de temps de possession il fallait arrêter de s'exposer, et donc se déposséder volontairement du ballon. Les effets des choix stratégiques et tactiques découlant de cette analyse ne se sont pas fait attendre. Score final : 27 à 13 en faveur de l'équipe de France, qui mettait ainsi fin à l'invincibilité des néo-zélandais en phase de poule dans une coupe du monde!

Et comment ne pas évoquer le cas du sud-africain Ronwen Williams, qui est devenu le premier gardien de but à stopper quatre tirs aux buts sur cinq lors d'un match de football au niveau international. C'était le 03 février 2024 à Abidjan lors du quart de finale de la Coupe d'Afrique des Nations opposant l'Afrique du Sud au Cap-Vert. Ronwen Williams a avoué disposer d'une banque de milliers de vidéos de penalties de ses adversaires potentiels. Et il est soutenu par une équipe d'analystes disposant d'un programme d'intelligence artificielle qui analyse les habitudes et les caractéristiques de chaque tireur²⁰.

S'agissant du troisième point (l'aide à l'arbitrage), ce que nous avons appelé en début d'entretien la vision artificielle (*computer vision*) a permis d'introduire l'aide à l'arbitrage dans certains sports. C'est ainsi par

¹⁸ All Blacks : l'équipe nationale de rugby de Nouvelle-Zélande.

¹⁹ Le "*ruck*" (ou mêlée spontanée) est une phase de jeu importante en rugby. C'est la situation où plusieurs joueurs de chaque équipe sur leurs pieds, et physiquement au contact, se disputent le ballon qui est au sol.

²⁰ Il faut cependant préciser que l'IA ne constitue qu'une aide, aussi grande soit-elle. Et dans les domaines liés à la compétition (sport, gestion d'entreprise en milieu concurrentiel, conflit armé), un autre facteur de succès très important existe; c'est l'**intuition**. Et celle-ci manque cruellement aux machines.

exemple qu'en football, la VAR²¹ existe depuis 2018. Ce système repose sur l'estimation des poses humaines en 3D, et peut ainsi détecter avec une grande précision les positions des articulations (genoux, coudes, etc) de la personne. En utilisant cela, les arbitres savent si le joueur est en position de hors-jeu ou non. En outre, la FIFA a renforcé ce système lors de la Coupe du Monde Qatar 2022. En effet, le ballon (*Al Rihla*) contenait un capteur placé en son centre, lequel envoyait des données à la salle de visionnage 500 fois par seconde, permettant une détection très précise du moment exact où le ballon était joué. En combinant les données provenant du ballon et des joueurs, l'IA envoyait une alerte de hors-jeu aux arbitres vidéo chaque fois que le ballon était reçu par un attaquant qui se trouvait en position illicite au moment où le ballon avait été joué par un coéquipier.

« L'IA facilite la tâche des professionnels des métiers de l'information et de la communication. »

L'intelligence artificielle s'invite également dans le domaine du **journalisme** en facilitant la tâche des professionnels des médias. D'ailleurs un rapport publié en 2022 par des universitaires kényans indiquait que les salles de presse en Afrique utilisaient déjà l'IA de trois manières principales²² :

- la collecte des informations par l'identification des tendances de l'information et des nouvelles de dernière minute à l'aide d'alertes;
- la production de contenu de diverses natures (articles, images);
- l'analyse des données, incluant des infographies pour faciliter l'assimilation de l'information, mais également la vérification des informations.

Il y a notamment ce que l'on appelle le « journalisme de données »²³. Il s'agit d'utiliser les données des médias et, grâce à un algorithme d'IA, d'en extraire des analyses en temps réel, et même de déterminer la véracité d'une information; ce qu'on appelle le « *fact checking* ». Cela peut être illustré à l'aide d'un exemple issu du monde de la politique.

²¹ VAR : Video Assistant Referee.

²² Vous pouvez consulter ce rapport à travers ce lien : <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/15621>

²³ Le « **data journalism** » est devenu une spécialisation dans certains pays développés.

Vous savez qu'il y a de plus en plus une tendance des panélistes, lors de certains débats télévisés, à avancer des chiffres pour étayer leurs propos; par exemple des chiffres sur le chômage, sur l'évolution des prix, sur la violence urbaine, etc. La réalité est que dans de nombreux cas, les chiffres avancés sont tout simplement faux; mais le public ne le sait pas. Eh bien, il existe des applications d'IA qui permettent de relever tous ces chiffres au fur et à mesure qu'ils sont avancés par les panélistes, de les comparer aux chiffres publiés par des organismes officiels, puis d'établir et de faire défiler dans le compte *Twitter* de cette IA « l'indice de crédibilité » de chaque candidat.

Et continuant, on peut multiplier les exemples de l'application de l'intelligence artificielle dans des domaines tels que **la défense et la sécurité**, les **services publics**, **la religion**, les **tâches domestiques**.

Dans le domaine de la **défense et de la sécurité**, l'IA permet d'améliorer la précision, la rapidité et la sécurité des opérations militaires. Elle est utilisée de différentes manières, notamment pour la surveillance et la reconnaissance, la prévention des attaques, l'assistance au commandement, la gestion de l'approvisionnement et de la logistique, la production de cibles pour les attaques, etc. A cet effet, une activité telle que la surveillance des mouvements ennemis et le recueil des informations sur le terrain en utilisant des drones est courante dans la plupart des armées dans le monde. Vous avez même des robots militaires, à l'exemple de ceux dont l'armée française avait fait une démonstration lors du défilé national du 14 juillet 2019.²⁴ Et l'IA militaire peut même prendre la forme d'actions offensives comme on a pu le constater lors de la guerre en Ukraine avec les munitions rodeuses dans les airs, ou encore les drones kamikazes antichars.

En marge des conflits armés entre nations, un autre aspect de la sécurité où l'intelligence artificielle peut être d'un grand apport est celui qui concerne les **individus et les biens**. Il peut s'agir d'une sécurité tangible et physique ou alors d'une sécurité moins tangible.

S'agissant de la **sécurité physique des individus**, certaines caméras de vidéosurveillance disposent d'algorithmes d'intelligence artificielle

²⁴ Le robot Colossus s'adapte à tous types de terrains (escaliers ou pentes), est capable de prendre des photos, et a même déjà aidé les pompiers de France à éteindre un incendie.

capables d'analyser les flux vidéo en temps réel afin de détecter des comportements suspects et d'alerter la police. C'est également à travers les algorithmes de reconnaissance de formes qu'il est possible d'identifier des bagarres ou des tirs dans la rue. On parle dans ces différents cas de « surveillance intelligente ».

Mais l'IA permet également d'anticiper, en prédisant les zones et les moments où la criminalité est plus susceptible de se produire, permettant une allocation et un déploiement plus efficaces des ressources de sécurité. Une solution d'IA est d'ailleurs utilisée par la police sud-africaine pour prédire la criminalité dans certains quartiers, et cela avec un niveau de détail incluant le type de crime, la date et l'heure où le crime pourrait être commis²⁵. Il faut savoir que le quartier Khayelitsha dans la banlieue de Cape Town est considéré comme le plus dangereux sur le continent africain, avec environ 2 200 homicides chaque année.

L'IA permet également d'assurer la **protection des biens et de la nature**. Il existe ainsi des algorithmes couplés à des drones, et qui permettent de détecter les feux de forêt afin de pouvoir agir dans les plus brefs délais pour préserver les récoltes et protéger l'environnement. Comme dans le cas de la détection des cancers en médecine, ou des bagarres et tirs dans la rue, ce sont les algorithmes de reconnaissance de formes qui sont à l'œuvre. En analysant une base de données de millions d'images à différents stades de l'évolution de différents feux de forêt, ces algorithmes sont capables de détecter ces derniers plus rapidement que l'œil humain.

Un aspect de plus en plus important (bien que moins tangible) de la sécurité concerne la **protection des données personnelles** et la **lutte contre les propos inappropriés** sur les réseaux sociaux.

Nous avons vu dans le cadre de l'exemple introductif avec M. Lionel Mateck comment l'intelligence artificielle permettait d'identifier des emails indésirables (les *spams*) et de lutter contre les cyber-attaques. L'IA permet également d'assainir les contenus publiés sur les réseaux sociaux en luttant contre les discours haineux et, plus généralement, contre les

²⁵ Le nom du logiciel est Solution House Software (SHS). Cette solution utilise un algorithme alimenté par un grand historique de données recensant 50 types de crimes, ainsi que des paramètres tels que la période, les conditions climatiques, les flux et les événements économiques ou sociaux, etc.

propos jugés inappropriés tels les propos discriminatoires ou ceux à caractère sexuel. Pour cela, il existe des algorithmes (ou plus précisément des robots informatiques) qui détectent et suppriment automatiquement les textes contenant des mots appartenant à une liste de « mots interdits ».²⁶

Dans un tout autre registre, dans le souci d'améliorer la prestation des **services publics**, certaines administrations s'emploient déjà à adopter des systèmes d'intelligence artificielle. Il s'agit en réalité d'utiliser les opportunités déjà observées dans d'autres sphères, et qui ont été évoquées précédemment : reconnaissance de personnes sur des images, *chatbots* et réponse automatique à des demandes, lutte contre la fraude fiscale par la détection d'anomalies, optimisations diverses et lutte contre les gaspillages, etc.²⁷

C'est ainsi par exemple qu'en République Démocratique du Congo, une startup a créé des robots intelligents capables de réguler la circulation dans la ville de Kinshasa. Au Rwanda, l'intelligence artificielle est utilisée pour gérer les processus de la chaîne d'approvisionnement afin de s'assurer que les établissements de santé disposent en stock du matériel médical requis. En Afrique du Sud, les *chatbots* sont utilisés pour gérer les démarches administratives (paiement des amendes et des impôts, renouvellement des passeports, paiement des impôts); et les mairies en font usage pour offrir des informations en temps réel sur les événements prévus dans une ville.

De manière synthétique, voici quelques opportunités qu'offre l'IA pour améliorer les services publics et la gouvernance d'un pays :

- traitement plus rapide et plus précis des demandes de documents officiels, tels que les cartes nationales d'identité ou les passeports;
- meilleure détection des fraudes et des erreurs dans les documents administratifs;
- meilleure information et meilleur accompagnement des citoyens dans leurs démarches administratives;
- gestion optimisée de l'énergie et des actifs de l'Etat;

²⁶ Nous verrons plus loin dans l'ouvrage qu'il est de plus en plus possible de contourner certains de ces algorithmes de modération, notamment avec l'*algospeak*.

²⁷ Le "*Government AI Readiness Index*" produit par Oxford Insights est un classement qui évalue la mise en place et l'adoption de prestations de services publics par les pays.

- analyse de masses de données pour identifier les tendances et les problèmes sociétaux;
- optimisation de la planification des politiques publiques et du monitoring des performances, et bien d'autres exemples qui seront développés dans la suite de cet ouvrage (chapitre 7).

En changeant totalement de registre, l'intelligence artificielle est de plus en plus utilisée pour concilier **croissance et modernité**. L'IA offre en effet des opportunités de développement à la sphère **religieuse**; que ce soit à travers les robots conversationnels, l'accroissement du nombre de fidèles ou du montant pendant les quêtes, les cultes et messes animés par l'IA²⁸, etc.

C'est ainsi par exemple qu'un *chatbot* (*HelloBible*), développé pour une communauté protestante, est capable de vous répondre en ligne à des questions que vous vous posez sur le sens de votre vie, comment avoir la foi, comment vous sortir d'une situation difficile, etc; et cela avec des mots adressés, encourageants, et des références aux Évangiles.

Le pape François avait d'ailleurs choisi l'Intelligence Artificielle comme thème de la 58e Journée mondiale des Communications Sociales célébrée le 24 janvier 2024. Le thème exact était : «Intelligence artificielle et sagesse du cœur: pour une communication pleinement humaine.»

Sur un plan plus analytique, l'IA peut être utilisée pour augmenter le nombre de fidèles et générer davantage de revenus. Cela suppose l'analyse des habitudes de don et des motivations des fidèles, l'adaptation des messages et les sollicitations en fonction des profils et des intérêts des donateurs, la sélection des plateformes et des moyens de collecte des dons en fonction des profils des fidèles et des autres donateurs, etc.

Et pour l'anecdote, il faut savoir que le Vatican dispose de son propre expert en intelligence artificielle ; il s'agit du frère Paolo Benanti, dont la mission est double. Il s'agit d'abord de clarifier les termes les plus techniques pour le Saint-Père (le pape François). Puis d'étudier

²⁸ En Allemagne, une église luthérienne avait organisé en juin 2023 (et à titre expérimental) une messe animée par quatre personnages virtuels (les avatars) sur écran géant, en déclamant pendant un peu moins d'une heure des prières, des chants et des sermons rédigés en quasi-totalité par l'IA ChatGPT. Il est vrai que les résultats de cette messe animée par IA étaient un peu mitigés car les avatars ne montraient aucune émotion.

comment gouverner l'intelligence artificielle de manière à ce qu'elle enrichisse (et non exploite) la vie des gens; en clair, il s'agit des aspects liés à l'éthique de la technologie.

Pour conclure avec ce tour d'horizon purement indicatif, sachez que l'IA est présente dans notre **quotidien domestique** de manière plus ou moins perceptible, et cela depuis de nombreuses années. Et cette présence va s'amplifier avec le temps.

« L'IA va de plus en plus s'inviter dans nos maisons afin d'améliorer notre bien-être. »

D'ailleurs selon certains experts, dans les pays développés, en 2033 les robots pourront exécuter près de 40% des **tâches domestiques** telles que gérer les courses, prêter assistance à un malade, aider un enfant à réviser ses devoirs, etc. A cela on peut ajouter les possibilités offertes par ce que l'on appelle « **maison connectée** » ou encore « **maison intelligente** » (*smart home* en anglais) et où l'IA joue un rôle très important.

Dans ce domaine, vous pouvez trouver des produits aussi divers que :

- les ampoules qui s'allument automatiquement lorsqu'elles détectent un mouvement;
- le climatiseur qui s'active et s'ajuste en fonction de la température extérieure;
- les caméras de surveillance intelligentes qui activent la fermeture des portes ou simulent une présence à la maison;
- le réfrigérateur qui vous propose une recette de cuisine en fonction des ingrédients disponibles, etc.

Tout cela concerne la branche de l'intelligence artificielle appelée « **domotique** ».

Il est important de garder à l'esprit qu'au niveau des tâches domestiques, l'IA a atteint un stade où il existe déjà des robots intelligents capables d'interpréter vos émotions et d'ajuster leurs attitudes en conséquence, selon que vous êtes triste ou de bonne humeur, en mode panique ou en mode normal, etc. Ces robots disposent pour cela d'un capteur visuel et d'un assistant vocal leur permettant d'identifier la tonalité de votre voix et de déceler sur votre visage des plissements de paupières ou des petits rictus propres à vos émotions.

Mais l'intelligence artificielle ne se limite pas à la domotique dans le domaine des activités domestiques. L'IA peut aider la femme au foyer à trouver des activités génératrices de revenus, en considérant ses compétences, ses centres d'intérêt, son temps disponible, etc. De même, il existe des algorithmes qui permettent de mieux suivre et d'optimiser les dépenses domestiques.

Et d'autres domaines auraient également pu être retenus pour illustrer l'apport de l'intelligence artificielle.

- Dans le domaine du **droit et de la justice** par exemple, l'IA est déjà utilisée pour analyser de grandes quantités de documents juridiques afin d'identifier les points-clés, les jurisprudences applicables et les risques potentiels. D'ailleurs, un rapport publié en janvier 2024 en Nouvelle-Zélande a permis de comparer les performances des « grands modèles de langage ²⁹ » à celles des avocats débutants et des prestataires de services juridiques dans le cadre de l'examen et de la révision des contrats juridiques ; et cela sur la base des critères de précision, de rapidité et de rentabilité. Il est ressorti de ce rapport que l'IA était aussi précise que les juristes humains, qu'elle effectuait des révisions en quelques secondes seulement (contre plusieurs heures pour les humains), et surtout qu'elle permettait une réduction des coûts de plus de 90%!³⁰
- Les **compagnies de distribution de produits pétroliers** peuvent utiliser l'IA pour le comptage et l'analyse du trafic automobile afin d'identifier les zones où la demande en carburant sera la plus élevée, et de déterminer l'emplacement idéal pour une nouvelle station-service. Et l'IA permet également de déterminer la configuration optimale de la station-service (structure, nombre de pompes, etc); ce qui permet de minimiser les coûts de construction et d'exploitation tout en maximisant l'efficacité et la fluidité du trafic.

²⁹ A titre de rappel, les grands modèles de langage (*Large Language Models-LLM*) sont des systèmes avancés d'intelligence artificielle conçus pour traiter, comprendre et générer du texte comme un humain. Ils sont basés sur des algorithmes qui utilisent des ensembles de données massifs provenant de diverses sources telles que des sites Web, les réseaux sociaux, des livres, des articles, etc. ChatGPT et Google BARD/Gemini sont les LLM les plus populaires.

³⁰ Etude réalisée par le AI Center of Excellence, Onit Inc., New Zealand sur le thème: "*Better Call GPT, Comparing Large Language Models Against Lawyers*"

Vous pouvez voir ci-dessous une sélection d'une centaine de cas d'usage parmi les plus courants de l'IA dans divers domaines et secteurs.

Les principales applications de l'IA dans certains secteurs et domaines

AGRICULTURE & ELEVAGE 

- *Prévisions de rendements et récoltes
- *Optimisation usage des engrais et pesticides
- *Surveillance santé des sols
- *Détection de parasites
- *Surveillance des animaux et de l'ambiance
- *Agents conversationnels

INDUSTRIES ALIMENTAIRES 

- *Contrôle de qualité
- *Cartographie des goûts
- *Génération de recettes
- *Optimisation de la chaîne d'approvisionnement
- *Commande automatique des intrants alimentaires
- *Robots-cuisiniers

AUTRES INDUSTRIES 

- *Contrôle de qualité
- *Maintenance intelligente
- *Maintenance prédictive
- *Optimisation de supply chain
- *Robots industriels
- *Optimisation de la production
- *Conception objets industriels

TRANSPORT & LOGISTIQUE 

- *Optimisation des tournées
- *Optimisation logistique
- *Maintenance prédictive du parc automobile
- *Tarification dynamique et yield management aérien
- *Tris de colis et suivi de marchandises
- *Prédiction des incidents

COMMERCE & DISTRIBUTION 

- *Optimisation des rayons et des stocks
- *Optimisation zones chaudes
- *Offres de cross-selling
- *Ciblage publicitaire en ligne
- *Lutte contre le vol et la fraude
- *Smart shops (sans caisse)
- *Clients artificiels

SERVICES FINANCIERS 

- *Optimisation de portefeuille
- *Détection de fraudes
- *Chatbots service client
- *Reconnaissance de chèques
- *Gestion des risques et évaluation de crédits
- *Prédiction de sinistralité
- *Offres cross- et up-selling
- *Cyber-sécurité

TELECOMS & TECHNOLOGIES 

- *Segmentation dynamique de la base d'abonnés
- *Prédiction du churn et de l'adoption des services
- *Offres cross- et up-selling
- *Automatisation campagnes
- *Chatbots et service client
- *Détection d'anomalies
- *Maintenance prédictive

MEDIA & COMMUNICATION 

- *Génération de contenu (articles, slogans, visuels)
- *Analyse données textuelles
- *Publicité ciblée
- *Détection de tendances
- *Analyse comportementale
- *Authentification des infos
- *Modération de contenu
- *Conversion texte-audio-véo

EDUCATION & TRAINING 

- *Création de contenu pédagogique (cours, tutoriels)
- *Profiling des apprenants
- *Assistance à la révision
- *Apprentissage adaptatif
- *Orientation scolaire
- *Évaluation automatique
- *Détection de tricherie
- *Prédiction des décrochages

LOISIRS & DIVERTISSEMENT 

- *Génération de contenu (texte, audio, vidéo)
- *Jeux-védoes et avatars
- *Programmation événements
- *Prédiction de succès
- *Recommandations diverses
- *Flux sur les réseaux sociaux
- *Divertissement immersif par réalités augmentée et virtuelle

TOURISME & HEBERGEMENT 

- *Systèmes de réservation
- *Systèmes de recommandations
- *Chatbots service client
- *Segmentation du marché
- *Offres personnalisées
- *Pricing dynamique
- *Chambres connectées
- *Immersion virtuelle

SPORT 

- *Analyse de performances
- *Détection de talents
- *Programmation de training
- *Coaching personnalisé
- *Prévention de blessures
- *Analyses vidéo
- *Prédiction de résultats
- *Optimisations tactiques
- *Assistance à l'arbitrage
- *Visualisation "à la demande"

SANTÉ & MEDECINE  *Prédiction des épidémies *Diagnosics et pronostics médicaux *Traitement des maladies *Applications de télésanté *Gestion stocks en pharmacie *Robots-chirurgiens *Suivi santé en <i>realltime</i> *Nouvelles molécules	DROIT & JUSTICE  *Génération et résumé de documents légaux *Classification jurisprudentielle *Justice prédictive *Prédiction de taux d'innocence des accusés *Prédiction de risques et de récidives *Tableau de bord de la justice	SECURITE & PROTECTION  *Filtrage emails/spams *Détection erreurs de codes *Détection des hackers *Détection de fumée, fuite, etc *Identification faciale *Détection de profils à risque *Détection des bagarres et firs *Robots et drones de reconnaissance et de combat
--	---	---

La Journaliste :

L'intelligence artificielle a donc de nombreux bienfaits...

Mme IA :

Oui, en effet. Et pour être plus précise ou synthétique, je dirais que l'IA permet d'améliorer le bien-être des individus, mais également la productivité des employés.

Mme IA :

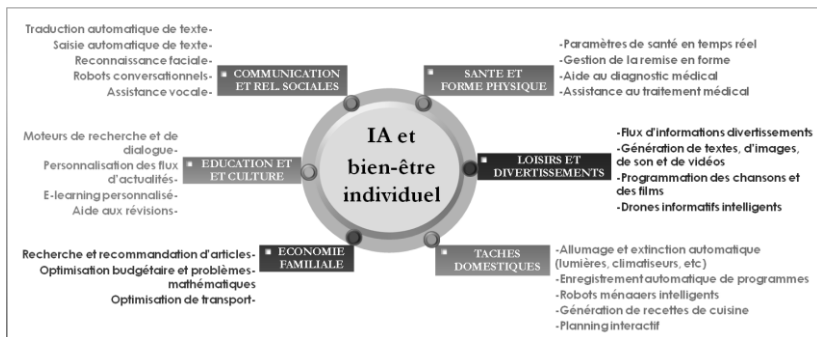
L'apport de l'intelligence artificielle dans **l'amélioration du bien-être des individus** correspond à la plupart des exemples qui ont été mentionnés, et consiste à nous faciliter la vie en la rendant meilleure. Il s'agit donc par exemple de :

- l'amélioration de la santé et de la forme physique par des tâches telles que l'aide au diagnostic médical, le suivi des paramètres de santé et les alertes associées, l'aide à la remise en forme, etc;
- l'assistance dans notre communication avec les autres personnes, et notamment la plupart des tâches effectuées avec les smartphones (saisie automatique, assistance vocale, traduction de texte, reconnaissance faciale, suggestions d'amis, etc);
- l'impact au niveau de l'éducation et de la culture à travers les algorithmes permettant d'optimiser la recherche sur internet, les solutions de formation en ligne, l'éducation personnalisée, etc;
- l'assistance dans les tâches domestiques, et notamment les robots ménagers, les systèmes de vidéosurveillance boostés à l'IA, les solutions d'allumage et d'extinction automatique des lumières, les IA qui génèrent des recettes de cuisine, etc;

- l'assistance dans les loisirs et divertissements avec par exemple la programmation automatique des films et chansons, la génération d'images ou de son, les jeux vidéos simulant la réalité, etc;
- l'assistance aux tâches liées à l'économie domestique, et notamment les achats en ligne et les systèmes de recommandation associés, l'optimisation des dépenses, etc.

Le diagramme ci-dessous présente à titre purement indicatif 25 domaines³¹ dans lesquels l'intelligence artificielle peut contribuer à l'amélioration du bien-être des individus.

Intelligence Artificielle et bien-être des individus



À côté de cela, l'IA est d'une grande aide sur le plan professionnel en ce sens qu'elle permet **d'améliorer la productivité des employés et de faciliter leur travail**. L'IA permet ainsi :

- de se débarrasser des simples tâches de routine et des activités répétitives (mise à jour de planning par exemple);
- de mieux se concentrer sur la créativité et l'innovation car l'employé aura délégué les tâches ennuyeuses aux robots;
- de confier les tâches difficiles et dangereuses aux machines (dans les usines notamment, ou même dans l'espace);
- de laisser les calculs complexes aux logiciels (tâches d'analyse des données du marketing, de la finance, du département technique, etc).

³¹ Bien entendu, il existe des dizaines d'autres domaines où l'IA contribue au bien-être des individus.

On peut d'ailleurs lister un certain nombre d'activités en entreprise qui concernent pratiquement tous les employés (quelle que soit leur position et quel que soit le type d'entreprise); des activités pour lesquelles il existe de nombreuses solutions d'intelligence artificielle permettant aux employés de gagner en productivité. Avec l'IA, n'importe quel employé peut ainsi:

- produire, quasiment en temps réel, un compte-rendu de réunion bien structuré;
- concevoir un document de présentation (*slides PowerPoint*) intégrant du texte et des illustrations;
- produire le résumé d'un long texte (contrats et autres documents);
- produire un planning optimisé et détaillé pour un projet, en intégrant des alertes liées aux délais;
- automatiser un tableau de bord de suivi des performances de sorte que des graphiques soient produits et commentés en temps réel;
- assister simultanément à plusieurs réunions en ligne;
- générer automatiquement des graphiques sur la base d'un document comportant des chiffres;
- concevoir le questionnaire d'une enquête de satisfaction (pour des clients ou pour des employés).

Presque toutes les tâches qui viennent d'être énumérées, et qui prennent généralement entre quelques heures et plusieurs jours, peuvent dorénavant s'effectuer en quelques secondes grâce à des solutions d'intelligence artificielle. En plus, il s'agit là de véritables opportunités de business pour les PME technologiques africaines spécialisées dans l'intelligence artificielle.

Et on peut également ajouter le fait que la recherche sur internet est largement améliorée grâce à des solutions telles que ChatGPT, BingChat, Google BARD/Gemini, et bien d'autres outils existants.

Pour illustrer cela, reprenons l'exemple de M. Lionel Mateck qui désire faire une recherche sur « l'économie du Cameroun ». Il va donc inscrire ces mots dans la barre de recherche *Google Search*; en retour, il va recevoir une liste de sites internet qui parlent du Cameroun. Mais cela peut se révéler inutile pour Lionel car il va recevoir des dizaines de milliers de propositions, et il lui faudra parcourir certains de ces sites afin de

sélectionner ce qu'il recherche, pour ensuite faire une synthèse. Cela peut lui prendre toute une journée, et même plus.

Avec ChatGPT ou les solutions apparentées, il suffira à Lionel d'écrire par exemple :

« Je voudrais un résumé de la situation économique et sociale du Cameroun pour l'année 2023 »³².

Et il va recevoir en retour un texte de plusieurs paragraphes qui fait la synthèse de ce que l'on retrouve sur internet à ce sujet. En quelques secondes, l'intelligence artificielle aura produit un document d'une ou deux pages, et structuré de la manière suivante :

- synthèse économique;
- synthèse sociale;
- principaux défis;
- perspectives.

Un tel rapport aurait probablement nécessité une journée entière de travail à M. Mateck.

Le diagramme ci-dessous fournit quelques exemples de tâches qui peuvent être confiées à l'IA afin d'améliorer la productivité des employés sans distinction de fonction ou de position hiérarchique dans une entreprise.

Intelligence Artificielle et productivité des employés



³² A titre de rappel, cela s'appelle une invite (ou un *prompt* en anglais).

Donc de nombreux outils d'intelligence artificielle à l'usage des employés existent déjà sur internet.

- Certains de ces outils sont spécialisés et réservés à des tâches bien précises. C'est le cas des traducteurs automatiques (Google Translate, DeepL), des outils de monitoring des performances (Power BI, Tableau), ou encore des solutions de travail collaboratif (MS Teams, Zoom), et bien d'autres outils encore.
- D'autres sont plus généraux et peuvent être considérés comme des assistants professionnels. C'est le cas de Microsoft Copilot et de Google Duet AI³³. Ces outils sont des sortes de « couteaux suisses », car ils permettent de gagner en productivité dans toutes les tâches de bureautique, et notamment le traitement de texte, les calculs, tableaux et graphiques, les présentations, la gestion des emails et celle des réunions, etc.

Cette collaboration entre l'intelligence artificielle et l'homme a d'ailleurs reçu une dénomination : **IA** pour **Intelligence Augmentée** ou encore **Intelligence Auxiliaire**. Elle se caractérise par le fait que, bien utilisée, l'intelligence artificielle permet d'améliorer les capacités de l'homme au même titre que certains outils plus manuels tels qu'un marteau ou un sac; mais dans une optique que l'on pourrait qualifier de plus cérébrale.³⁴

« Avec l'Intelligence Augmentée, d'une part l'homme et la machine travaillent main dans la main, d'autre part l'interprétation et la prise de décision sont entièrement laissées à l'être humain. »

Il faut bien comprendre que l'intelligence augmentée n'est pas destinée à remplacer l'intelligence humaine, mais uniquement à soutenir la pensée humaine et la prise de décision. Cela signifie que les employés peuvent

³³ Microsoft Copilot et Google Duet AI se livrent une guerre technologique et marketing sans merci avec les outils respectifs : MS Word vs Google Docs, MS Excel vs Google Sheets, PowerPoint vs Google Slides, Outlook vs Gmail, MS Teams vs Google Meet.

³⁴ Le CEO d'OpenAI, Sam Altman, utilise d'ailleurs l'expression « super-pouvoirs » pour qualifier l'apport de l'IA dans l'amélioration de la productivité des employés.

être soulagés dans leur travail quotidien, car les tâches exigeantes, chronophages, répétitives et même très analytiques peuvent être exécutées plus efficacement grâce à la technologie. A cela il convient d'ajouter un point très important : l'interprétation et la prise de décision sont entièrement laissées à l'être humain.

La Journaliste :

Les dirigeants sont-ils également concernés par l'intelligence artificielle?

Mme IA :

Absolument! D'ailleurs, l'IA s'invite dans chacune des responsabilités spécifiques aux managers...

Mme IA :

Henri Fayol, l'un des précurseurs du management moderne, définissait le management à travers l'acronyme POCCC; à savoir, Prévoir (anticipation et planification), Organiser (constitution des ressources humaines, matérielles et financières), Commander (décision et instructions), Coordonner (création de l'harmonie) et Contrôler (exécution du plan et détection des erreurs).

On constate que l'intelligence artificielle peut aider le dirigeant dans chacune de ces cinq responsabilités. Reprenons-les à tour de rôle.

- **Prévoir.** Les modèles statistiques de l'IA permettent de réaliser des prévisions de plus en plus fiables et précises en utilisant, pour chaque problématique (qu'elle soit commerciale, financière, technique ou liée aux ressources humaines), l'algorithme le plus adapté. Prenons quelques illustrations utilisant un jargon un peu technique. L'IA saura qu'il est judicieux d'utiliser par exemple une technique statistique dite de lissage exponentiel pour prévoir les ventes des commerciaux, un réseau de neurones récurrents pour prévoir la rentabilité des placements financiers de l'entreprise, etc.
- **Organiser.** Certaines solutions d'intelligence artificielle sont capables de générer en quelques instants des fiches de description de poste. D'autres IA peuvent produire la répartition optimale d'une équipe

commerciale, l'orientation optimale des campagnes marketing, l'organisation optimale de la logistique de transport, etc.

- **Commander.** Par le biais de ce qu'on appelle l'analyse prescriptive, l'IA permet de prendre des décisions plus rationnelles et précises, car elle prend en compte et analyse une impressionnante masse d'informations provenant de tous les départements de l'entreprise; cela permet donc d'analyser l'impact de chaque décision au niveau de chaque département. L'IA permet ainsi de décider s'il est opportun d'affecter tel employé dans telle ville, en évaluant l'impact de cette décision au niveau de la performance potentielle de cet employé, au niveau de l'équilibre du département concerné, etc. En Chine, une entreprise a même conçu un robot qui occupe le poste de PDG³⁵; et la principale caractéristique de ce robot est justement qu'il renferme toutes les données de l'entreprise. Ses pouvoirs ne sont pas illimités, mais une fois que le programme est lancé, ce PDG-robot, qui est en mesure de parler, peut alors signer des documents, gérer des projets, évaluer les performances du staff, et même décider de sanctions.
- **Coordonner.** Il s'agit d'orchestrer les actions menées par les employés, de maintenir la motivation et l'engagement de ces derniers, de telle sorte que le manager puisse accroître l'efficacité opérationnelle de ses équipes. L'IA est capable de détecter les signaux de démobilisation et de désengagement des employés; elle utilise pour cela des paramètres tels que les variations dans certaines habitudes, le contenu et la forme des messages écrits et des propos, les micro-expressions du visage, etc. L'IA permet à un dirigeant de savoir dans quelle équipe le risque de conflit est le plus probable ou quelle est celle où l'on s'approche déjà dangereusement de la surcharge de travail. Il devient ainsi plus facile pour lui d'aménager le mode de travail.
- **Contrôler.** Nous pouvons reprendre ici l'exemple des tableaux de bord de suivi et d'analyse de la performance évoqués un peu plus tôt. L'IA permet, non seulement de suivre les performances quasiment en temps réel, mais également de lancer des alertes afin d'identifier rapidement les points qui demandent des corrections, tels que la

³⁵ Il s'agit de l'entreprise NetDragon Websoft, qui produit des jeux-vidéos et emploie plusieurs milliers de salariés. Ce robot a l'apparence physique d'une femme, avec un costume strict et une belle coupe de cheveux.

zone géographique où les ventes sont en baisse, l'appareil qui vient d'être défectueux, l'employé qui a un problème de productivité, etc.

Et bien d'autres tâches en rapport avec ces cinq fonctions managériales peuvent recevoir l'assistance de l'intelligence artificielle.

« L'IA est véritablement un puissant facteur de performance des entreprises. »

Terminons avec un petit focus sur l'apport de l'intelligence artificielle au niveau de la **performance des entreprises**. Et cela peut être appréhendé selon deux optiques.

Selon la première optique, l'amélioration des performances d'une entreprise passe par la résolution de problèmes complexes, l'amélioration de la productivité et l'exploitation des opportunités d'affaires. Le tableau ci-dessous montre comment de nombreuses tâches réalisées par des algorithmes d'intelligence artificielle en entreprise s'inscrivent dans un ou plusieurs de ces objectifs.

L'IA comme facteur de performance des entreprises (1)

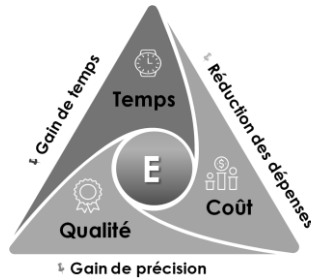
	Amélioration de la productivité	Résolution de problèmes complexes	Exploitation des opportunités d'affaires
Réponses aux e-mails	✓		
Synthèse de rapports	✓		
Traduction de documents	✓		
Comptes-rendus de réunions	✓		
Analyse de données statistiques	✓	✓	
Rapports analytiques de performances	✓		
Conception programmes informatiques		✓	
Génération d'idées de brainstorming	✓	✓	✓
Supports de présentation des vendeurs	✓		✓

L'Intelligence Artificielle pour tous et partout

	Amélioration de la productivité	Résolution de problèmes complexes	Exploitation des opportunités d'affaires
Prédiction de climat social		✓	
Offres d'emplois et sélection des CV	✓		
Prospection à l'international			✓
Gestion des appels d'offre			✓
Optimisation de la gestion des projets	✓		
Génération de stratégies d'entreprise		✓	✓
Conception de questionnaires	✓		
Génération de visuels de campagne		✓	
Segmentation des clients		✓	✓
Détection des erreurs comptables	✓		
Maintenance prédictive d'équipements	✓		
Détection comportements frauduleux		✓	
Génération de vidéos de présentation	✓		✓
Création de contenus de formation	✓		
Ordonnancement des tâches	✓	✓	

Une autre optique pour mettre en exergue l'intelligence artificielle comme facteur de performance des entreprises consiste à se focaliser sur les trois paramètres fondamentaux d'évaluation de l'efficacité et de l'efficience d'une entreprise : la qualité, le temps et les coûts.

L'IA comme facteur de performance des entreprises (2)



En se basant sur les nombreux exemples d'application de l'intelligence artificielle présentés jusqu'ici, on peut montrer comment certaines tâches, lorsqu'elles sont confiées à la machine, bénéficient grandement à l'entreprise dans sa quête permanente d'efficacité et d'efficience.

- **Gain de temps** : production quasi instantanée des comptes-rendus de réunion, réponses générées automatiquement par un *chatbot*, maintenance prédictive des appareils industriels;
- **Réduction des dépenses** : réduction du nombre d'employés dans un centre d'appel, génération de contenus divers (texte, images, vidéos), etc;
- **Gain de précision** : robots intelligents en usine, segmentation automatique d'une base de clients en utilisant un grand nombre de critères, etc.

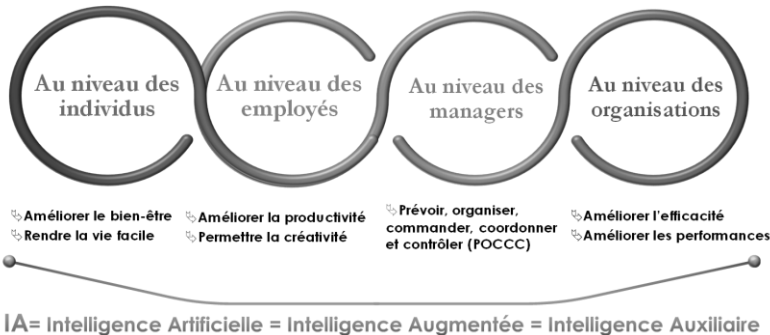
Il est d'ailleurs intéressant de noter que de plus en plus d'entreprises se rendent compte de la nécessité d'intégrer l'intelligence artificielle dans leurs processus de travail. Il en résulte une vague d'initiatives qui rappelle un peu ce qu'on a commencé à observer dès la fin des années 2010 quand les entreprises se mettaient à la « transformation digitale ». Cependant, dans l'un des cas (intelligence artificielle) comme dans l'autre (transformation digitale), on observe encore une évolution à deux vitesses entre les grandes entreprises et les PME d'une part, ou entre les entreprises des pays développés et celles des pays en développement d'autre part.

Il est justement intéressant de noter que certaines multinationales du secteur des télécoms en Afrique ont lancé des programmes visant à utiliser l'IA pour améliorer leurs performances ainsi que la productivité

de leurs employés³⁶. C'est le cas du groupe MTN en Afrique du Sud qui, depuis fin 2023, compte sur l'IA pour accélérer la croissance de ses revenus, améliorer l'expérience-client ainsi que l'expérience-employés³⁷. Le groupe Orange pour sa part a décidé début 2024 de déployer l'IA dans 26 de ses filiales, dont 15 filiales africaines; l'objectif étant d'améliorer l'expérience-client et le quotidien des employés³⁸.

En guise de résumé, le graphique ci-dessous fait la synthèse de l'apport de l'intelligence artificielle au niveau des individus et de leur vie privée, au niveau des employés d'une entreprise sur le plan professionnel, au niveau des dirigeants dans leur rôle de manager, et enfin au niveau d'une organisation (entreprise, services publics, etc).

La finalité de l'Intelligence Artificielle



³⁶ La masse des données disponibles dans le secteur des télécoms en fait un champ opératoire très intéressant pour l'IA.

³⁷ Le groupe MTN déploie l'IA dans ses unités de Customer Value Management-CVM (l'exposé pratique au début du Chapitre 7 permet d'en savoir plus sur le CVM), ses opérations réseau et son service client.

³⁸ Le groupe Orange s'est associé à Google pour créer le Google Cloud Next 24.

Chapitre 3

Mais il faut bien comprendre en quoi consiste l'Intelligence Artificielle



Mme IA :

On le constate régulièrement : beaucoup de personnes ont tendance à penser que l'intelligence artificielle est synonyme de robots ou de machines autonomes. Certes, ces versions sont les plus visibles; mais en réalité l'IA peut prendre d'autres formes, et cela en fonction de l'objectif recherché. Mais commençons par la définition.

Ce qu'il faut d'abord savoir, et cela va certainement vous surprendre, c'est qu'il n'y a pas de définition universellement acceptée de l'intelligence artificielle. Il y a cependant une sorte de point de départ; ce que l'on pourrait appeler une définition simplifiée. Et en fonction des activités des chercheurs et de ce qu'on observe, il y a d'autres notions et concepts qui s'ajoutent pour donner quelque chose de très large; à tel point que l'IA peut finalement être considérée comme une sorte de « boîte à outils ».

Donc pour faire simple et pouvoir avancer, nous dirons que **l'intelligence artificielle**, c'est la **capacité donnée à une machine d'imiter l'intelligence humaine**. Dit autrement, l'IA regroupe tout ce qui permet aux machines d'effectuer des tâches qui nécessitent normalement une intelligence humaine; c'est-à-dire du raisonnement, de la communication, de la prise de décision, etc. Ce sont donc des tâches telles que la traduction d'un texte, la reconnaissance d'une voix, le classement d'objets, la génération d'une image ou d'un son, la résolution d'un problème analytique et l'exécution de calculs complexes, l'élaboration de prévisions et de prédictions, etc.

Deux éléments-clés nécessitent des précisions ici : la **machine** (ou appareil) et **l'intelligence humaine**. Précisons très rapidement que par « **artificiel** », il faut entendre tout ce qui n'est pas naturel; donc ce qui est créé par l'homme, via un ordinateur, sous la forme d'un programme informatique.

Commençons donc par la machine (ou l'appareil).

Il faut en réalité entendre ici tout **élément matériel** qui permettra d'exécuter des tâches. Il peut s'agir d'un robot tel qu'on se l'imagine souvent, et tel qu'il est représenté dans les films de science de fiction (des robots humanoïdes en fait). Mais cela peut être également une machine dans une usine, un véhicule (en référence aux véhicules autonomes), un appareil domestique permettant par exemple d'éteindre

automatiquement la lumière, un ordinateur, et le plus courant des appareils, celui que nous utilisons presque tous : le *smartphone*. On préfère souvent parler d'**agent** plutôt que de machine pour illustrer le fait que l'on est face à un objet à qui on a ajouté une fonctionnalité : de l'intelligence. D'où le terme **agent intelligent** lorsque cet objet (machine) est doté d'une intelligence artificielle.

Parlons maintenant de l'intelligence humaine.

Si on s'accorde à la définir comme la **capacité de comprendre et (surtout) de s'adapter à son environnement ou à des situations particulières, ainsi que la capacité de résoudre des problèmes**, alors on doit y intégrer des concepts tels que la perception (visuelle, sonore, etc), l'apprentissage, la mémoire, la coordination, le raisonnement, la communication, la décision, etc³⁹. Il s'agira donc pour une machine (telle qu'elle vient d'être définie) de pouvoir imiter ces différentes composantes de l'intelligence humaine. Et là, vous retrouvez certains exemples qui ont été évoqués plus tôt :

- perception sonore, lorsque votre smartphone reconnaît votre voix, ou perception visuelle lorsque votre robot domestique sait à quel moment actionner les lumières;
- mémoire, lorsque votre smartphone enregistre vos textes ou vos photos, et sait les retrouver;
- apprentissage, lorsque le *chatbot* d'une entreprise sait répondre à vos questions, ou lorsqu'une entreprise est capable de déterminer le profil de ses clients;
- coordination, lorsqu'un robot industriel sait articuler ses bras pour remplir des bouteilles;
- raisonnement, lorsqu'une IA permet à un entraîneur de football ou à un directeur marketing en entreprise de modifier sa tactique;
- communication, lorsque votre smartphone répond à une de vos requêtes ou lorsque votre ordinateur traduit un texte;
- décision, lorsqu'un véhicule peut freiner tout seul après avoir identifié un obstacle, ou lorsqu'une IA envoie automatiquement des messages promotionnels à des clients bien sélectionnés.

³⁹ La capacité de résoudre des problèmes suppose, bien entendu, de l'imagination et de la créativité.

Et donc, ce qui va se passer, c'est qu'un informaticien va définir un programme, sous la forme d'un ensemble de codes informatiques; et ce programme va permettre à la machine de se comporter comme un humain en termes de mémorisation, de communication, etc.

Mais pour que ce programme informatique puisse être opérationnel, il a besoin de **données** qui soient en rapport avec la tâche à effectuer :

- données textuelles, pour la production d'un résumé ou la traduction d'un texte;
- chiffres, pour la réalisation de prévisions commerciales ou météorologiques;
- images, pour la reconnaissance d'un objet ou la transformation d'une photo;
- et bien d'autres types de données : son, vidéos, etc.

Les données constituent donc la matière première des algorithmes d'intelligence artificielle.

« Les données (textes, chiffres, images, etc) constituent la matière première des algorithmes d'IA. »

Par ailleurs, ce programme informatique permettra également à un homme de croire que la machine est un humain. C'est le cas lorsque vous envoyez un texte après traduction à votre supérieur hiérarchique, et que ce dernier pense que vous êtes l'auteur de cette traduction alors que vous n'avez fait qu'utiliser les services de *Google Translate*!⁴⁰

Du coup, cela permet de dégager deux formes de l'intelligence artificielle selon la « machine » utilisée; lesquelles formes se combinent en réalité.

- Il y a d'une part, **l'Intelligence Artificielle incarnée (ou embarquée)**, qui comprend les robots, les voitures autonomes, les drones, les objets connectés (Internet des Objets), etc. C'est effectivement cette IA que la plupart des gens ont à l'esprit. Vous pouvez reconnaître ici le terme « agent intelligent » pour désigner un objet qui réagit en fonction de l'environnement.

⁴⁰ Il existe un test (Test de Turing) dont l'objet est justement de déterminer si une machine est réellement intelligente. C'est d'ailleurs ce test qui a donné naissance à certains tests de sécurité et d'authentification que l'on retrouve sur internet (Captcha par exemple).

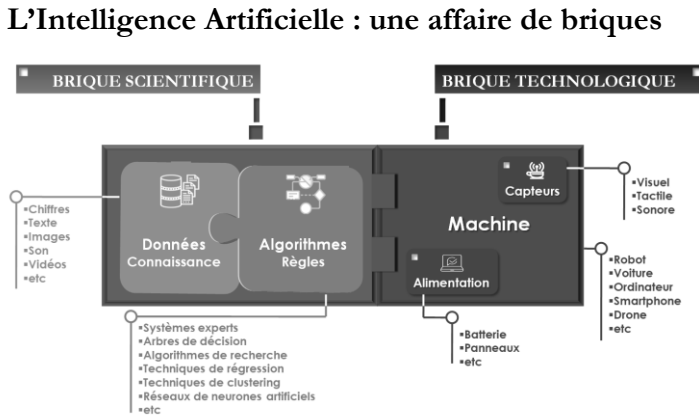
- Il y a d'autre part, **l'Intelligence Artificielle logicielle**, que l'on va essentiellement retrouver dans les *smartphones*, les ordinateurs portables et d'autres supports digitaux. Cette IA logicielle prendra la forme d'assistants virtuels, de moteurs de recherche, de logiciels d'analyse de données (chiffres, images, etc).

Dans certains ouvrages, vous pourrez rencontrer les expressions **softbot** pour exprimer l'IA logicielle, et **robot** pour l'IA incarnée.

A partir de tout ce qui précède, vous pouvez en déduire qu'un **système d'intelligence artificielle** complet va être constitué de deux ensembles d'éléments, que l'on peut appeler « briques » pour que vous perceviez l'analogie avec la construction d'un édifice:

- une **brique scientifique** qui est la composante invisible et véritablement intelligente,
- et une **brique technologique** qui est l'élément matériel du système.

Vous pouvez observer cela dans le diagramme ci-dessous.



- La brique scientifique comporte, d'une part l'algorithme d'intelligence artificielle (ou tout autre mode de production de connaissance comme les règles de décision) qui peut être vu comme le cerveau ou le moteur, et d'autre part les données qui vont alimenter l'algorithme. Par exemple, lorsque vous tapez un mot-clé sur Google, les suggestions qui apparaissent sont basées sur la masse de données disponibles sur le web; sans elles, l'algorithme n'aurait

rien à vous suggérer. Tapez par exemple **7T0XNIUAV**, et vous allez comprendre de quoi il est fait allusion. Il convient aussi de noter que les données peuvent prendre diverses formes : texte, chiffres, images, son, vidéos, etc.

- La brique technologique est représentée par ce que nous avons appelé précédemment la machine. Il peut donc s'agir d'un robot, d'un véhicule, d'un smartphone, etc. Cependant pour être complète, la brique technologique doit accompagner la machine d'une batterie pour fonctionner de manière autonome. Mais il faut également un capteur qui permette la mise en route de l'algorithme suite à un signal qui peut être tactile (lorsque vous manipulez votre smartphone), visuel (lorsque le véhicule autonome aperçoit un obstacle), sonore (lorsque vous passez un appel et que c'est un *chatbot* qui vous répond), etc. A cela s'ajoutent, dans le cas des robots et des voitures autonomes, des actionneurs chargés d'assurer la mobilité de tout ou partie de la machine suite à un signal provenant de la brique scientifique.

Terminons avec deux précisions importantes. La première est que l'intelligence artificielle est finalement une sorte de « boîte à outils »⁴¹; la seconde est que l'intelligence artificielle est un domaine pluridisciplinaire.

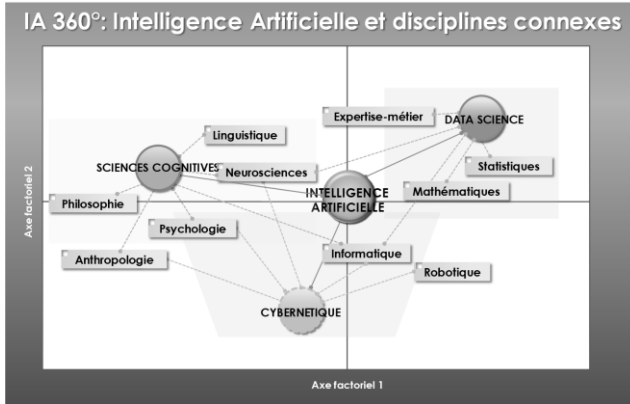
Il convient de considérer l'intelligence artificielle comme une « **boîte à outils** » consistant à utiliser une machine pour réaliser des tâches que nous qualifions d'intelligentes. C'est ainsi que nous aurons besoin d'une IA spécifique si nous souhaitons traduire un texte, d'une autre IA si nous désirons trier automatiquement des objets, d'une autre IA si notre souhait est de produire des images ou une petite vidéo, d'une toute autre IA si notre objectif est d'automatiser la mise en action du climatiseur à la maison en fonction de la température extérieure, etc.

Par ailleurs, l'IA n'est pas une discipline spécifique, mais se veut plutôt un **domaine pluridisciplinaire** empruntant à des champs aussi variés et différents que les mathématiques et statistiques, l'informatique, les sciences cognitives, la philosophie, etc. C'est ce qui explique que son histoire soit aussi riche. A l'aide d'un graphique, on peut représenter

⁴¹ Pour reprendre l'expression et l'analogie chères au Dr Luc Julia.

cette diversité d'emprunts qui fait la particularité de l'intelligence artificielle, et ainsi observer que l'IA est au centre de trois grands champs disciplinaires : la Science des Données, les Sciences Cognitives et la Cybernétique.

L'Intelligence Artificielle et les disciplines connexes



- La **Science des Données** est à l'origine des données ainsi que des algorithmes constituant la partie « pensante » de l'intelligence artificielle. Et cela est rendu possible par l'apport de disciplines telles que l'informatique, les mathématiques et les statistiques. Il convient de préciser que le paradigme dominant de l'intelligence artificielle de nos jours consiste en l'utilisation d'algorithmes dont certains ont été élaborés depuis plusieurs décennies par des spécialistes de la science des données : les *data scientists*⁴². C'est la raison pour laquelle certaines personnes (dont l'auteur du présent ouvrage) aiment utiliser l'expression « binôme Data Science-Intelligence Artificielle ».
- Les **Sciences Cognitives** permettent à l'IA de construire le paradigme de raisonnement et de production de connaissance. Ce champ est d'ailleurs très vaste, puisqu'il fait appel à des disciplines telles que les neurosciences (qui permettent de comprendre le fonctionnement du cerveau humain, et plus généralement du système nerveux), la linguistique (sans laquelle le traitement du langage naturel n'aurait pas de sens), la philosophie et la psychologie (qui

⁴² C'est le cas de modèles tels que les arbres de décision, les techniques de *clustering*, les réseaux de neurones multicouches (*MultiLayer Perceptron*), etc.

éclairer sur les mécanismes du raisonnement, et également parce que, de plus en plus, l'IA engendre des préoccupations de vision, d'éthique et d'impact sur l'humain et la société qu'il devient impératif de considérer et d'adresser), etc.⁴³⁴⁴

- La **Cybernétique** était considérée à l'origine comme « la science du fonctionnement de l'esprit humain ». On la définit maintenant de manière plus générale comme la science du pilotage des systèmes biologiques et matériels, ou encore la manière dont l'information circule entre les composantes d'un système. Au-delà d'une définition plus ou moins académique, ce qu'il faut retenir de la cybernétique, c'est la notion de rétroaction (*feedback* en anglais) et d'autorégulation. Par exemple, lorsque votre cerveau commande à votre main de toucher un objet sans en connaître la température; si l'objet est trop chaud par exemple, l'information va parvenir immédiatement au cerveau afin que ce dernier commande à la main de se retirer; on dit alors que le système s'autorégule. Cette notion de *feedback* est donc essentielle pour que les machines soient véritablement « intelligentes ».⁴⁵ La cybernétique est ainsi, dans une certaine mesure, indissociable de la robotique, qui peut être considérée comme la branche de la technologie qui conçoit et réalise des robots.

C'est l'occasion de préciser que la robotique ne doit pas être totalement assimilée à l'intelligence artificielle; d'ailleurs l'homme fabrique des robots plus ou moins complexes depuis des siècles. Ce sont les « robots intelligents » qui font véritablement partie de l'IA.

⁴³ D'ailleurs la plupart des débats liés à l'impact de l'IA sur le futur de l'humanité ont un rapport avec la déconnection entre d'une part, les aspects concrets et technologiques (informatique, robotique, etc), et d'autre part les aspects abstraits et conceptuels de l'IA, représentés par ce que les anglo-saxons regroupent sous le vocable « *humanities* » dans un sens large (philosophie, psychologie, anthropologie, linguistique, droit, etc).

⁴⁴ Ce n'est pas un hasard si, lors d'une visite à l'Ecole Nationale Polytechnique de Yaoundé (ENSPY), l'expert camerounais en IA, Pr Roger Nkambou (Université du Québec à Montréal), avait recommandé aux étudiants de lire également des ouvrages de philosophie classique.

⁴⁵ L'importance de la Cybernétique est telle que le terme Intelligence Artificielle avait été proposé en 1956 par John McCarthy pour ne pas faire allégeance à la Cybernétique et à son chef de file, Norbert Wiener. On parlera de bataille sémantique portée par les égos de chacun. A travers la cybernétique, l'objectif de Norbert Wiener était de faire se rejoindre le fonctionnement des machines et des êtres biologiques.

Prenons par exemple le robot-mixer que vous avez à la maison et qui attend que vous appuyiez sur la touche « stop », ou encore les robots utilisés en usine pour déplacer les objets en gardant chaque fois la même position : ces deux objets ne sont que des « **robots automates** ». En revanche, si l'on introduit un programme d'IA de telle sorte que votre mixer s'arrête lorsqu'il sait que les épices sont suffisamment mélangées, ou que le robot détecte lui-même un objet, et le place chaque fois à l'endroit le plus approprié, alors on est en présence de « **robots intelligents** ».⁴⁶

La Journaliste :

Comment toutes ces disciplines assez différentes les unes des autres, parviennent-elles alors à interagir?

Mme IA :

Vous posez là une très bonne question. Et celle-ci cache en réalité deux problématiques. La première a trait à l'appartenance ultime de l'IA; la seconde concerne le processus de création des produits ou solutions d'IA...

Mme IA :

Pour comprendre la **première problématique**, il suffit de demander à n'importe quelle personne dans la rue, spécialiste ou non spécialiste, quelle discipline est fondamentale dans l'intelligence artificielle. Si vous faites cet exercice, vous constaterez que la plupart des gens vous diront que l'intelligence artificielle est « l'affaire des informaticiens ». Nous pouvons aisément l'admettre (a priori).

**« Actuellement, l'IA est considérée comme une
branche de l'informatique; mais il n'en n'a pas
toujours été ainsi.**

**Et en réalité, l'IA, c'est beaucoup plus que de
l'informatique. »**

⁴⁶ Le terme « robotique » est employé ici dans un sens large et inclut donc la « domotique ». Mais pour être plus précis, la robotique se concentre sur la production et l'utilisation de machines pour effectuer des tâches spécifiques; tandis que la domotique est une technologie qui permet de contrôler et d'automatiser les différents appareils connectés dans une maison.

Mais sachez que si la même question avait été posée au début de l'ère moderne de l'intelligence artificielle dans les années 1950, on vous aurait répondu que c'est l'affaire des mathématiciens. A un moment donné, ce sont les neuroscientifiques qui s'étaient emparés de l'IA, arguant que l'objectif de cette discipline était l'imitation du cerveau humain. Et s'il fallait remonter jusqu'aux temps anciens, vous vous rendriez compte que les « humanités » (philosophie, psychologie, etc) sont à la genèse de l'IA car il s'agit d'abord de logique et de raisonnement.

La même question peut être posée concernant l'identification de celui qui tient les cordons de la bourse et qui, de ce fait, fixe les priorités des activités liées à l'intelligence artificielle. A la fin des années 1960, ce sont les militaires qui finançaient l'essentiel de la recherche en IA. Mais de nos jours, ce sont des entreprises comme Google, Microsoft ou même Amazon (ceux que l'on appelle les « géants du web ») qui orientent les débats. D'ailleurs, une anecdote circulait récemment selon laquelle lorsque l'on demandait aux chercheurs en intelligence artificielle si leurs motivations étaient d'ordre scientifique (comprendre les mécanismes de l'intelligence humaine), ou d'ordre pratique (créer des programmes qui effectuent des tâches); beaucoup répondaient en plaisantant que cela dépendait de l'origine de leurs subventions.

La **seconde problématique** est bien plus intéressante au regard de votre question, car il s'agit de comprendre comment toutes ces disciplines sont « mises en musique ». Avant de continuer, il faut d'abord préciser qu'en réalité, il n'y a pas de processus unanimement validé du fait de la nature-même et de l'histoire de l'intelligence artificielle. En revanche, il existe ce qu'on peut appeler des « interactions logiques » découlant des compétences propres à chacun des champs disciplinaires à partir desquels l'IA s'abreuve.

Et puisqu'il faut un départ à tout, il faut d'abord se rappeler que ce que l'on cherche tout d'abord à simuler, c'est bien **l'Intelligence Humaine**; avec comme enjeu-clé, la définition même de cette expression.⁴⁷ Du coup, on doit interroger les spécialistes de ce qui a été appelé les **humanités**. Dans cette catégorie, les philosophes vont nous parler de la logique et de la formation du raisonnement. Vous vous souvenez

⁴⁷ Comme le disait Voltaire : « Définissez les termes, ou jamais nous ne nous entendrons. »

certainement de ce que l'on appelait syllogisme d'Aristote dans les cours de philosophie en classe de terminale avec le fameux exemple :

*« Tous les hommes sont mortels.
Or Socrate est mortel.
Donc Socrate est un homme ».*

Les psychologues eux, vont nous édifier sur les ressorts conscients de l'apprentissage chez l'enfant et chez l'adulte, ou encore sur le rôle de l'intuition et des émotions. Les experts en linguistique vont nous expliquer comment s'acquiert et se forme le langage, etc.

Vous voyez que chacun de ces spécialistes va nous apprendre des choses qui ont une relation assez étroite avec l'intelligence. Par ailleurs, leur importance est d'autant plus grande qu'ils sont largement sollicités, en collaboration avec les spécialistes du droit, sur les débats concernant les enjeux éthiques et sociétaux qu'implique l'intelligence artificielle, ainsi que les risques et les besoins d'encadrement qui en découlent.

S'agissant toujours des implications, tous ceux qui traitent des questions de nature financière (économistes, bailleurs de fonds) seront également mis à contribution dans le sens, d'une part de l'orientation des financements (comme il a été fait rapidement allusion il y a quelques instants), et d'autre part de l'impact économique et financier de l'intelligence artificielle à l'échelle des populations, des organisations et des nations.

A ce stade, on peut déjà comprendre que l'intelligence artificielle, que ce soit dans sa conception ou dans son impact, ne saurait se limiter à une affaire de technologie.

Pendant ce temps, les **neuroscientifiques** et autres spécialistes des **sciences cognitives** vont également intervenir puisqu'ils étudient le processus d'acquisition et d'utilisation de la connaissance dans le cerveau et le système nerveux de manière générale; et essaient ainsi, par biomimétisme, de reproduire ce comportement au niveau artificiel. C'est un peu comme lorsque nous (les humains) nous sommes inspirés des oiseaux pour construire des avions, ou encore lorsque l'observation du fruit de la bardane nous a permis de créer les bandes velcro qui servent à fermer certains sacs ou certaines chaussures de sport.

Partant de tout ce qui vient d'être développé, les **scientifiques** (ou les chercheurs) vont alors se demander comment, en utilisant des outils

mathématiques et statistiques, est-ce qu'il est possible de modéliser (ou si vous voulez, de transformer par exemple en équations) le processus d'apprentissage chez l'homme, le processus du raisonnement humain, la formation du langage, le processus de prise de décision; bref, tout ce qui fait référence à l'intelligence. Et à ce niveau, différentes manières de procéder vont émerger : ce sont les **courants scientifiques**.

Certains scientifiques vont se dire par exemple que la bonne approche consiste à définir des règles d'analyse et de décision. Ceux-là vont s'inspirer des règles de la logique aisément compréhensibles, du genre « SI..., ET SI..., ALORS... » (par exemple : « SI Fièvre, ALORS Rechercher infection »)⁴⁸. Il s'agira ensuite de concevoir des programmes informatiques que l'ordinateur va tout simplement appliquer. Cette approche (dite **symbolique**) est très utilisée dans le domaine du diagnostic médical ou pour les simulations que l'on retrouve généralement en stratégie d'entreprise ou dans les jeux de société.

D'autres scientifiques au contraire, en s'inspirant notamment des travaux des neuroscientifiques et des mécanismes de fonctionnement du cerveau humain, vont se dire qu'il faut fournir des données à l'ordinateur, et laisser celui-ci trouver une certaine logique dans ces données (par exemple les images d'une banane) et identifier de lui-même le programme ou le modèle à appliquer (par exemple pour reconnaître une banane) sous la forme d'une fonction mathématique. C'est cette approche qui est utilisée pour la reconnaissance faciale dans les réseaux sociaux, pour la traduction automatique sur Google, pour filtrer des *spams* dans vos emails, ou encore pour générer des images qui semblent réalistes. C'est l'approche dite par **apprentissage automatique (ou machine learning)**.

Dans l'un comme dans l'autre cas, nous nous trouvons alors en plein dans les laboratoires de recherche où les scientifiques (essentiellement des mathématiciens, des statisticiens, et même des physiciens⁴⁹) vont utiliser les connaissances accumulées pendant des siècles pour créer des

⁴⁸ Bien entendu, dans la réalité il peut y avoir des dizaines, voire des centaines de règles, et non une seule comme dans cet exemple; d'où la nécessité d'un programme informatique.

⁴⁹ D'ailleurs les algorithmes d'IA utilisés de nos jours pour générer des images sont largement inspirés d'un article de sciences physiques sur la thermodynamique: « *Deep Unsupervised Learning using Nonequilibrium Thermodynamics* » rédigé en 2015 (Sohl-Dickstein, Weiss, Ganguli).

approches algorithmiques ou des modèles. Puis ils vont ensuite publier des articles scientifiques, ou prendre part à des séminaires et des conférences afin de partager leurs découvertes, de relever les critiques de leurs pairs de la communauté scientifique, et d'améliorer leurs découvertes.⁵⁰

Cependant, le travail des mathématiciens, des statisticiens et même des physiciens, reste abstrait; et n'est donc pas suffisamment tangible puisque ceux-ci se focalisent essentiellement sur la création ou la conception de formules mathématiques et d'algorithmes. Vous constatez qu'on est encore assez loin de l'intelligence artificielle concrète telle que vous la connaissez, ou en entendez parler.

C'est à ce moment que les **techniciens** vont prendre le relai. Il y a tout d'abord les **informaticiens**; lesquels se répartissent en deux catégories. Il y a en amont de la chaîne ceux qu'on pourrait appeler les « technico-scientifiques ». Leur particularité est qu'ils vont chercher à rendre opérationnels les algorithmes et autres modèles mathématiques créés par les scientifiques (mathématiciens, physiciens et statisticiens). Ils vont pour cela créer certains outils logiciels comprenant des langages de programmation⁵¹ et des solutions spécifiquement ajoutées à ces langages pour conduire leurs projets; on les appelle les bibliothèques. Certaines de ces bibliothèques sont généralistes, d'autres servent à mener des tâches spécifiques telles que le traitement du langage naturel, le traitement d'image, l'analyse statistique, etc.

Il y a ensuite, et en aval, ceux que l'on pourrait appeler les « purs techniciens ». Ceux-ci vont utiliser les logiciels et les bibliothèques élaborés par les technico-scientifiques, afin de produire des solutions d'intelligence artificielle tangibles, et qui puissent donc être opérationnelles. En plus de ces outils logiciels, ces techniciens de l'informatique auront évidemment besoin de matériel tel que des ordinateurs suffisamment puissants pour traiter les données à travers les algorithmes; certaines entreprises (les « fournisseurs de hardware ») sont

⁵⁰ A l'exemple de l'*International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, ou encore de la conférence *CVPR (Computer Vision and Pattern Recognition)*, qui sont toutes des conférences annuelles regroupant essentiellement des chercheurs.

⁵¹ Par exemple Python, Java, C++, R, etc.

sollicitées à cet effet.⁵² Et à cela s'ajoute la problématique du lieu de stockage et de traitement de ces grosses masses de données; et certaines entreprises sont chargées de mettre ces infrastructures à la disposition des entreprises qui produisent les solutions d'IA.

Après les informaticiens, et dans un autre registre, on trouve une autre catégorie de techniciens; ce sont les spécialistes de la mécanique, voire de l'automatique. Ce sont eux qui s'occuperont de la fabrication des machines, telles que les robots dans le cadre de ce que nous avons appelé un peu plus tôt l'IA incarnée. Et ils auront alors besoin des programmes élaborés par les informaticiens pour que leurs machines deviennent véritablement « intelligentes ». A leur niveau, la problématique des capteurs est essentielle car ce sont ces éléments qui permettent d'adresser la composante « perception » de l'intelligence. Il pourra alors s'agir de capteurs tactiles (plus précisément haptiques) comme sur votre smartphone lorsque vous touchez l'écran, ou encore de capteurs visuels comme dans les véhicules autonomes, ou même de capteurs auditifs lorsque votre téléphone reconnaît votre voix, etc.

Mais, et c'est là où ça devient à la fois aussi intéressant que complexe, le travail des techniciens ne va pas se faire au hasard. Il faut se rappeler que si on produit des solutions d'intelligence artificielle, c'est bien parce qu'il y a des utilisateurs que l'on vise; sinon cela ne servirait tout simplement à rien. On aborde alors le volet des applications de l'IA.

Les **utilisateurs** peuvent être constitués du **grand public**, comme vous et moi lorsque nous utilisons certaines applications dans nos smartphones, ou comme M. Lionel Mateck avec tous les exemples que nous avons vus le concernant (rédaction et traduction de texte, recherche sur *Google Search*, recherche d'amis sur Facebook, etc).

Mais il peut également s'agir d'**organisations** telles que les entreprises, les professions médicales, l'administration publique, les forces de défense, les associations de diverses sortes, etc. Et à ce niveau, deux situations peuvent se présenter.

La première situation est celle d'une organisation qui a besoin d'une solution d'intelligence artificielle pour ses besoins spécifiques; c'est

⁵² Cela est très important, car les algorithmes ont besoin de gros volumes de données à traiter; d'où la question des processeurs (CPU, GPU, quantiques).

généralement le cas de l'armée, de certains laboratoires médicaux, etc. Cette organisation va alors employer des techniciens dédiés.

La seconde situation est celle d'une autre organisation (et là nous parlons essentiellement des entreprises) qui a besoin d'une solution d'IA qu'elle propose à ses clients : le grand public mentionné tout à l'heure. Cette entreprise devra alors adresser deux problématiques.

- Primo, le choix des solutions d'intelligence artificielle sur lesquelles les informaticiens vont travailler. Et elle s'inspirera alors d'études de marché ou de comparaisons par rapport à ce que fait la concurrence (le *benchmarking*) pour identifier les besoins des consommateurs.
- Secundo, la décision d'utiliser sa propre équipe d'informaticiens, ou alors de faire appel aux services d'entreprises spécialisées, que l'on appelle généralement les *startups* technologiques, et dont le métier de base est le développement de solutions d'IA. Généralement, les grandes entreprises préfèrent avoir leurs équipes propres, car cela leur permet également de faire de la recherche. C'est le cas d'OpenAI qui a produit ChatGPT, ou de Google qui a produit Google BARD/Gemini. Les autres entreprises préfèrent signer des partenariats de business avec certaines startups.

Il faut d'ailleurs savoir (et cela constitue un autre exemple d'opportunités offertes par l'intelligence artificielle) qu'il existe des dizaines de milliers de startups d'IA dans le monde. Et les solutions qu'elles offrent sont très diverses; entre les *startups* qui se concentrent sur la *data analytics* (par exemple l'analyse prédictive) et celles qui se focalisent sur la reconnaissance d'images ou encore le traitement du langage naturelle, entre les *startups* qui traitent des solutions robotiques et celles qui se concentrent sur les aspects logiciels, etc. L'avantage des *startups* est qu'elles peuvent se spécialiser dans les applications de l'IA adaptées à un secteur en particulier (télécoms, agriculture, médecine, sport, etc) en utilisant des compétences propres à ce secteur : ce qui apparaît sous le vocable "expertise-métier" dans le graphique des composantes de l'IA de la page 54.

Ce maillon de la chaîne de l'IA que constituent « les utilisateurs » est donc d'une importance fondamentale, car c'est la diversité de leurs besoins qui définit *in fine* les tendances de la recherche et du marché de l'intelligence artificielle. Cette diversité des champs d'applications de l'IA donne alors lieu à autre typologie en deux groupes.

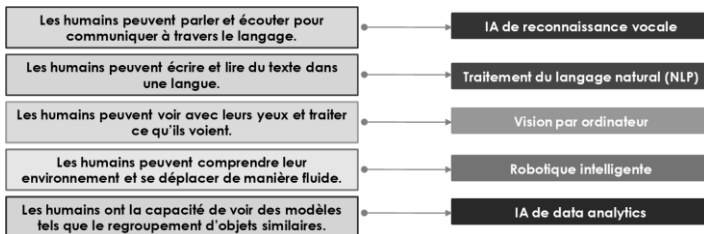
Il y a ainsi tout d'abord les **applications qualifiées de génériques** (ou **transversales**) car leur usage est quasi universel, et concerne aussi bien les individus que les organisations.

Certaines de ces applications visent à reproduire ce que l'homme fait de manière naturelle : la perception sensorielle (parole, vision, etc), l'analyse des données (calculs, tris et classements, corrélations, prévisions), la manipulation d'objets, etc. On qualifie ces applications d'**analytico-sensorielles**, et elles regroupent tout ce qui concerne la *data analytics*, la vision artificielle (avec la reconnaissance d'images, l'identification faciale, la transformation et la génération d'images, etc), le traitement du langage naturel dont nous avons déjà beaucoup parlé (et notamment les fonctionnalités *text-to-speech*, *text-to-video*, et *speech-to-text*,⁵³) et enfin tout ce qui a trait à la robotique au sens large (robots industriels, robots domestiques, drones, etc).

« Certaines IA visent à reproduire le comportement naturel de l'homme (parole, vision, calculs et analyses, manipulation d'objets, etc)... »

Le diagramme ci-dessous établit la correspondance entre les fonctions sensorielles et analytiques de l'être humain et les tâches de l'intelligence artificielle.

De l'intelligence humaine à l'intelligence artificielle



⁵³ Le *speech-to-text* (reconnaissance vocale) transforme un signal audio en texte écrit. Le *text-to-speech* (synthèse vocale) consiste pour la machine à lire un texte à haute voix.

C'est l'occasion de préciser qu'il existe une activité dont la transversalité saute aux yeux; c'est la **reconnaissance de forme**. Elle regroupe en effet un très vaste ensemble d'activités incluant la reconnaissance de texte, la reconnaissance d'écriture manuscrite, la reconnaissance de signature, la reconnaissance de visage, l'identification faciale, la reconnaissance d'empreintes digitales, la reconnaissance de la parole, la localisation d'objets; mais également des activités telles que l'analyse de photos aériennes et d'images de satellite, l'analyse de l'électrocardiogramme, l'analyse de radiographie, la détection de défauts des pièces industrielles, l'analyse d'écho radar, et la liste peut encore s'allonger.

Les autres applications génériques se retrouvent plutôt dans le monde de l'entreprise (ou des organisations de manière générale), et viennent porter assistance à des domaines tels que le pilotage de la performance, le marketing, la gestion du capital humain, la finance et la comptabilité, les systèmes d'information et la cybersécurité, etc. Leur place est justifiée par le fait que, d'une manière générale, toutes les organisations intègrent ces activités.

C'est ainsi par exemple que toute organisation a besoin de suivre ses performances en temps réel à l'aide d'un tableau de bord (pilotage), ou encore d'accélérer et de rationaliser le recrutement des employés (ressources humaines), ou même d'éliminer les emails à risques (*spams*) dont nous avons déjà parlé (cybersécurité), etc. Les solutions d'IA de cette catégorie sont qualifiées d'**applications de management**.

« ...certaines IA permettent à l'homme de gérer des organisations (entreprises, associations, etc) avec plus d'efficacité.»

A côté des applications génériques et transversales, il existe les **applications métiers et secteurs**. Celles-ci sont plus spécifiques, et la pratique veut que l'on distingue ce qui concerne spécifiquement le monde du business et ce qui concerne tous les autres domaines. D'ailleurs si nous insistons sur l'importance de **l'expertise-métier**, c'est effectivement parce qu'il existe des solutions d'intelligence artificielle qui nécessitent une véritable connaissance du domaine dans lequel ces solutions seront utilisées. Et cette exigence existe dans pratiquement tous les domaines et corps de métier.

- Par exemple, vous ne pouvez pas concevoir un *chatbot* pour une agence de tourisme si vous n'avez aucune idée des mécanismes et problématiques de ce secteur ou des préoccupations majeures des clients-voyageurs.
- De même, la conception d'un algorithme destiné aux dirigeants d'un club de football nécessite d'intégrer au sein de l'équipe-projet des personnes qui ont une connaissance réelle et/ou une expérience pratique du football. Cela permettra en effet de mieux choisir les paramètres à intégrer dans l'outil d'intelligence artificielle et d'interpréter correctement les résultats produits par la technologie.
- Dans le même esprit, il y a une réalité contre-intuitive que les professionnels de la santé connaissent très bien et appellent « le paradoxe de Simpson ». Il stipule que lorsque des facteurs déterminants inconnus influencent les données, le résultat global d'une étude peut être complètement modifié par des analyses de sous-groupes; ce qui peut induire le néophyte en erreur lors de l'interprétation des données cliniques.

Le premier groupe des applications métiers et secteurs peut être associé au **business**, dans le sens où on l'entend généralement. Il y aura donc des solutions d'intelligence artificielle spécifiquement conçues pour chaque secteur d'activité. On peut citer à titre indicatif quelques exemples de ces besoins spécifiques.

- Les banques auront besoin de solutions d'IA capables de traquer les fraudes à la carte bancaire, d'attribuer un score de défaillance à des clients qui sollicitent un crédit, de permettre à un distributeur automatique de reconnaître le code de la carte d'un client et de délivrer le nombre de billets correspondant au retrait désiré, etc.
- L'établissement de la typologie dynamique des clients en fonction de leur location et de leurs habitudes de communication, la détection d'anomalies dans le réseau, l'identification des clients les plus susceptibles d'adopter un nouveau produit bien spécifique, ou encore l'utilisation de robots conversationnels (*chatbots*) sont des solutions qui intéresseront particulièrement les compagnies de téléphonie mobile.

- Les agences de communication auront besoin de solutions d'intelligence artificielle leur permettant de trouver des slogans adaptés à des campagnes publicitaires, de générer des visuels adaptés auxdites campagnes, de produire des questionnaires leur permettant de mesurer l'impact d'un produit auprès d'une cible de clients.
- Dans le commerce et la distribution, l'IA servira par exemple à envoyer des messages à des clients bien ciblés dès qu'ils passent à proximité d'un magasin, ou encore à fluidifier la circulation des clients dans la boutique, et même à faciliter les paiements.
- Dans le vaste secteur du transport et logistique, l'intelligence artificielle intervient dans le trafic aérien à travers l'optimisation de la programmation des vols ainsi que celle de la tarification (on parle de *yield management*). Mais l'IA est également utile pour la maintenance prédictive du parc automobile, le tri des colis et le suivi des marchandises, l'optimisation des tournées des camions; sans oublier bien-sûr les voitures autonomes.

Le second groupe des applications d'IA dites métiers et secteurs concerne tous les **autres domaines**. Nous avons donc ici les solutions:

- pour l'éducation, avec ce qui a été dit précédemment concernant l'apprentissage adaptatif, l'assistance aux révisions de cours, ou encore l'orientation optimal des élèves;
- pour la médecine et santé, dans le diagnostic ou dans le pronostic médical, ou encore dans le traitement et l'assistance des malades;
- mais également les services publics, le droit et la justice, le monde du journalisme et des médias, celui du sport, des divertissements ou du show business, le domaine de la religion, les acteurs de la sphère politique, etc.

Et comme pour ce qui concerne le groupe des applications business, là encore, une expertise-métier est nécessaire pour produire des solutions d'intelligence artificielle fiables et pragmatiques.

Pour avoir beaucoup plus d'exemples, vous pouvez remonter au diagramme de la page 37 qui listait les principales applications de l'intelligence artificielle dans différents secteurs d'activités ainsi que dans différents domaines de la vie sociale ou économique.

Chapitre 4

... car l'intelligence est une véritable nébuleuse



Mme IA :

Le débat commence au niveau même de la notion **d'intelligence humaine** qui, vous allez le comprendre tout à l'heure, est encore loin d'avoir livré tous ses secrets et de faire l'unanimité. Et cela permet de compléter la réponse à votre précédente question lorsqu'il avait été fait allusion aux deux éléments-clés que sont la **machine (ou l'agent)** et **l'intelligence humaine**.

Certes, de grandes avancées ont été faites dans la compréhension de l'intelligence humaine, notamment avec les sciences cognitives et en particulier les neurosciences. Et cela nous a permis de comprendre que l'intelligence humaine n'est pas unique, mais plutôt multiple. Il est donc désormais utopique de parler de Quotient Intellectuel dans le sens d'un indicateur unique de mesure de l'intelligence humaine. Un chercheur américain du nom de Howard Gardner a d'ailleurs identifié huit différentes formes d'intelligence chez un être humain; allant de l'intelligence logico-mathématique à l'intelligence interpersonnelle, en passant par l'intelligence visuelle et spatiale, l'intelligence verbo-linguistique, l'intelligence corporelle kinesthésique, l'intelligence intra-personnelle, l'intelligence musicale et rythmique, l'intelligence naturaliste.

Vous connaissez certainement ces paroles attribuées à Albert Einstein: *« Tout le monde est un génie. Mais si vous jugez un poisson sur ses capacités à grimper à un arbre, il passera toute sa vie à croire qu'il est stupide »*. Eh bien, l'intelligence, c'est un peu la même chose. Nous disposons chacun d'un ou de plusieurs domaines où nous avons une intelligence au-dessus de la moyenne; même s'il existe ce que l'on appelle « facteur G », et qui est une sorte d'intelligence générale de base que l'on retrouve (sauf troubles ou handicaps particuliers) chez tous les êtres humains, et qui nous donne la faculté de marcher, de parler, de reconnaître un individu ou un objet, d'identifier un danger, etc.

Donc face à cette diversité que l'on retrouve dans l'intelligence humaine, chaque algorithme d'intelligence artificielle adressera spécifiquement l'une de ces formes d'intelligence. A titre d'illustration, les algorithmes de traitement du langage naturel (traduction de texte, moteurs de recherche, etc) correspondent, et cela est presque évident, à la « composante verbo-linguistique » de l'intelligence humaine. De même, les algorithmes d'apprentissage non supervisé en *data mining* consistant en des systèmes de recommandation pour les réseaux sociaux, rappellent

davantage la « composante logico-mathématique » de l'intelligence humaine.

On peut donc poursuivre l'exercice, et on trouvera à chaque fois une correspondance entre les tâches accomplies par les solutions d'intelligence artificielle d'une part, et les différentes formes de l'intelligence humaine d'autre part.

Mais le problème est ailleurs!

L'intelligence humaine doit-elle se limiter à sa composante **consciente** (et rationnelle), faite de perception, de mémoire et surtout de raisonnement analytique? Nous n'en sommes plus aussi certains; surtout si l'on considère la définition de l'intelligence qui met en exergue « la capacité d'adaptation et la résolution des problèmes », et où l'intuition (ou si vous voulez le « 6ème sens ») a une contribution non négligeable.

« L'intelligence humaine ne se limite pas au raisonnement analytique. »

Sachez en effet qu'il est maintenant formellement admis que **l'intuition fait partie de l'intelligence**, en ce sens que de nombreuses décisions prises sur la base de l'intuition produisent de bons résultats, et précèdent même parfois un raisonnement ultérieur qui viendrait les valider.⁵⁴ Cela vous est certainement déjà arrivé dans le cadre de vos activités privées ou professionnelles. Tout comme il arrive à certains « leaders » (chefs d'entreprise, généraux en temps de guerre, etc) de prendre une décision sur la base de leur intuition, et que cela s'avère ensuite payant. Il est d'ailleurs de plus en plus reconnu qu'en situation de gestion de crise dans les entreprises, l'intelligence intuitive constitue un levier souvent plus puissant que l'intelligence rationnelle.

L'intuition fait appel aux ressources insoupçonnées du cerveau à imaginer spontanément des solutions hors logique prédictible, en connectant instantanément toutes les informations enfouies au plus profond de chacun de nous à cet effet. C'est donc la composante de

⁵⁴ De nombreux exemples historiques d'intuitions existent, la plus célèbre étant bien entendu celle d'Archimède lorsqu'il découvrit sa célèbre « poussée d'Archimède » en prenant un bain et en s'écriant *Eurêka*, tout en courant dans Syracuse.

l'intelligence qui est la plus réactive et qui fait appel à l'**inconscient**. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle, lors de certains tests d'intelligence (les tests psychotechniques), on recommande parfois d'inscrire une réponse, même si l'on n'arrive pas à la justifier à l'aide d'un raisonnement logique.

Et on peut aller plus loin dans l'énumération des composantes de l'intelligence, en ajoutant également le rôle de l'**émotion**. Pour vous en convaincre, on peut rapidement relater ce que les neuroscientifiques appellent « **l'anecdote du patient Elliot** ». Pour résumer, l'étude du cas d'une douzaine de patients souffrant de troubles neurologiques avait permis de montrer que lorsqu'une certaine partie du cerveau est endommagée (le cortex préfrontal), un individu ne ressent plus aucune émotion, et il est incapable d'évaluer les conséquences d'un acte à poser ou d'une décision à prendre.⁵⁵ Parfois, il passe un temps insensé à évaluer le pour et le contre de chaque décision (il tourne en rond); parfois il prend simplement le genre de décision que son entourage qualifiera de stupide et d'insensée.

En clair, nos émotions jouent un rôle fondamental dans nos décisions. On peut d'ailleurs en profiter pour ajouter que ce n'est pas un hasard si notre capacité à gérer nos émotions et celles de notre entourage est de plus en plus prise en compte à travers ce que l'on appelle le Quotient Emotionnel (QE), qui vient compléter le traditionnel Quotient Intellectuel (QI) qui mesure essentiellement les capacités de raisonnement logique.⁵⁶⁵⁷

⁵⁵ On sait, depuis une centaine d'années et les découvertes faites par les spécialistes des neurosciences cognitives, que le cerveau est organisé en un certain nombre de parties, et que chacune des fonctions cognitives correspond à une zone bien précise. C'est ainsi par exemple qu'il y a la zone de Brocca (située à l'arrière du lobe frontal) qui est le centre de production du langage, l'aire visuelle (située dans le lobe occipital) qui traite les informations visuelles, l'hippocampe (dans le lobe temporal) qui est impliqué dans la formation de la mémoire, etc. Il suffit donc qu'une zone du cerveau subisse une lésion pour que cela se ressente automatiquement au niveau du comportement cognitif d'un individu.

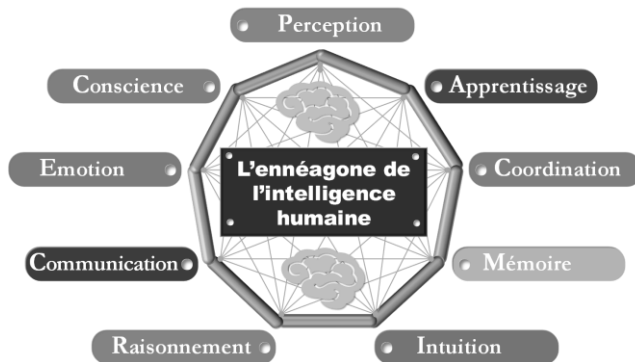
⁵⁶ D'ailleurs dans le monde de l'entreprise, certains spécialistes des Ressources Humaines s'accordent à dire que le Quotient Emotionnel est un indicateur plus fiable pour mesurer la probabilité de réussite professionnelle d'un individu que le Quotient Intellectuel.

⁵⁷ A la suite du QI et du QE se sont développées d'autres formes telles que le QR (Quotient Relationnel), le QS (Quotient Social), le QA (Quotient d'Adversité), etc. Mais à bien y regarder, il s'agit essentiellement de déclinaisons particulières du Quotient Emotionnel (QE) visant à

C'est l'émotion qui nous pousse à nous lever le matin, à participer à la vie, etc. Il faut savoir d'ailleurs que les émotions, comme l'étymologie du mot l'indique, sont en rapport étroit avec le mouvement.⁵⁸ Et donc, sans émotion, il nous manque un paramètre crucial dans l'adaptation à certaines situations, la résolution de certains problèmes, la prise de décision... et donc la capacité d'intelligence. A cet effet, les spécialistes en développement personnel s'accordent à dire qu'un quotient émotionnel élevé nous aide dans la vie courante dans les cinq domaines que sont la communication, la motivation, la prise de décision, l'estime de soi et le leadership.

Vous pourrez, au besoin, utiliser une formule mnémotechnique permettant d'associer toutes les composantes de l'intelligence humaine. Il s'agit de l'acronyme **PACMIRCEC**, pour Perception, Apprentissage, Coordination, Mémoire, Intuition, Raisonnement, Communication, Emotion et Conscience. Le diagramme de type enneagone ci-dessous illustre cet acronyme, ainsi que les interactions existant entre ses composantes.

Les composantes de l'intelligence humaine (PACMIRCEC)



Gardez bien en mémoire l'acronyme PACMIRCEC, car dans certaines situations que vous aurez du mal à appréhender, ou dont vous ne parviendrez pas à résoudre le problème associé, cet acronyme pourra

intégrer davantage les émotions et l'intuition dans la définition de l'intelligence; un peu comme le QI qui est décliné suivant les 3 aptitudes (verbale, numérique et spatiale).

⁵⁸ « Émotion » vient du latin « *movere* » qui signifie « ébranler », « mettre en mouvement ».

vous aider à identifier la ou les composantes de l'intelligence humaine défaillante(s).

- Prenez par exemple un élève qui a du mal à assimiler ses leçons. Le problème se situe peut-être au niveau de la « perception » (et de l'attention), dans le sens où cet élève est probablement plus à l'aise avec des explications orales, ou alors plutôt avec des expositions visuelles. De même, imaginons un élève qui a de très bonnes notes en classe lors des contrôles de routine, mais qui perd ses moyens lors d'un examen officiel ou lors d'un oral face à un jury. Cet élève a certainement des problèmes au niveau de la gestion du stress, et donc aussi de la gestion de ses « émotions ».
- Prenez maintenant ce thème qui revient régulièrement dans certains débats sur la corrélation entre les diplômes et la réussite professionnelle. Il a été fait mention du Quotient Emotionnel il y a quelques instants.⁵⁹ Mais plus spécifiquement, lorsque l'on constate un écart entre les performances académiques remarquables d'un individu et ses difficultés à s'adapter à son environnement professionnel, c'est la plupart du temps le résultat d'une défaillance ou de lacunes au niveau de la gestion de ses émotions et de celles de son entourage. En d'autres termes, il s'agit d'un problème de relations intra-personnelles, en ce sens que cet individu ne procède pas aux choix professionnels adaptés à ses compétences, à sa personnalité et à ses ambitions; mais il peut s'agir également d'un problème de relations interpersonnelles dans la mesure où cet individu ne parvient pas à tisser ou à entretenir de bonnes relations avec sa hiérarchie ou avec son environnement social. Bien entendu, il peut aussi s'agir de la combinaison de ces deux types de relations.

En fait, tout ce qui vient d'être exposé, c'est pour vous faire comprendre que la définition fondamentale de l'intelligence, à savoir « la capacité à comprendre une situation ou à résoudre des problèmes, et donc à prendre des bonnes décisions », est intrinsèquement liée à ces neuf éléments contenus dans l'acronyme PACMIRCEC (perception, apprentissage, coordination, mémoire, intuition, raisonnement, communication, émotion, conscience). Donc, chaque fois qu'il semblera

⁵⁹ La méthode la plus répandue pour mesurer l'intelligence émotionnelle est le test EQI (*Emotional Quotient Inventory*), qui prend en compte 5 paramètres : la gestion du stress, la perception de soi, l'expression individuelle, les relations humaines, la prise de décision.

y avoir un blocage au niveau de l'expression de la capacité à s'adapter à une situation ou à résoudre un problème, il sera conseillé d'identifier et d'adresser celle de ces neuf composantes qui doit faire l'objet d'une attention particulière.

En conclusion, certes le raisonnement logique et analytique occupe une place importante dans l'intelligence humaine, mais bien d'autres éléments sont tout aussi importants. Et ces éléments font donc tout autant partie de l'intelligence. Pensez alors aux huit types d'intelligence de Howard Gardner évoqués un peu plus tôt.

Et le problème de la définition de l'intelligence ne s'arrête pas là!

Pourquoi se limiter à l'intelligence humaine alors que d'autres formes d'intelligence, toutes aussi utiles pour nous, existent dans la nature? En effet, si l'on se rappelle que l'intelligence implique la faculté de compréhension et d'adaptation, alors de nombreuses autres créatures doivent également être prises en compte. C'est le cas par exemple lorsque l'on pense à l'intelligence collective des termites ou des fourmis⁶⁰ (modèles d'organisation) ou des bancs de poissons (modèles de coordination). En transposant cela dans le domaine de l'intelligence artificielle, on parle dans ce cas d'**intelligence artificielle distribuée (ou collective)**, par opposition à **l'intelligence artificielle concentrée** sur laquelle on s'attarde la plupart du temps. Comme exemple d'intelligence artificielle distribuée, on peut citer l'utilisation des armées de drones communiquant entre eux pour repérer et lutter contre les feux de forêt. L'IA distribuée est également utile pour la surveillance des hommes et des équipements, la coordination de plusieurs robots industriels qui travaillent ensemble, la coordination des systèmes de transport et l'optimisation de la logistique, les villes intelligentes (*smart cities*), etc.

⁶⁰ Pour information, le cerveau d'un homme adulte possède environ 84 milliards de neurones (à ajouter aux 200 à 500 millions de neurones de notre appareil digestif). Une fourmi possède elle, entre 100 000 et 300 000 neurones selon les diverses sources.

Mais l'intelligence, en tant que capacité d'adaptation, concernerait alors également certaines plantes. D'ailleurs, savez-vous qu'il existe une plante carnivore qui « maîtrise l'arithmétique » ?⁶¹

Cette plante sait différencier une proie se posant sur elle, de la chute d'un débris. Quand elle détecte un premier contact, elle ne fait rien. Mais dès qu'elle est touchée une deuxième fois, des poils sensitifs se dressent le long de ses feuilles, et la plante se referme. À ce stade, elle ne sait pas avec certitude si elle tient une proie ; et elle peut donc encore se rouvrir. Si l'insecte bouge, c'est le troisième contact. La plante « sait » alors qu'il s'agit d'un insecte, et elle lance le processus de sécrétion d'enzymes digestives qui le dissoudra.

Et si vous doutiez encore que l'on puisse assimiler cela à de l'intelligence du fait de l'absence de cerveau, sachez alors que les chercheurs de l'Université de Pennsylvanie se sont inspirés de cette plante pour développer un objet qui s'actionne sans moteur ni processeur. Cet objet est un dispositif de dépollution aquatique capable de capter de l'eau seulement quand un produit chimique huileux est détecté, et cela dans des zones reculées où l'homme aurait du mal à intervenir régulièrement.

À côté de cette plante carnivore, on peut relever le cas du blob. Il s'agit d'une créature qui n'est ni animale, ni végétale, ni champignon ; mais dont le comportement démontre l'existence d'apprentissage, de raisonnement, d'adaptation... et donc d'intelligence.

✂ Tout ce qui précède nous montre donc qu'il y a encore beaucoup de chemin à parcourir avant d'embrasser l'intelligence dans sa totalité... et par conséquent, l'intelligence artificielle également.

Et d'ailleurs, que recherche-t-on exactement?

La définition « officielle » de l'intelligence artificielle fournie précédemment fait allusion à « l'imitation de l'intelligence humaine ». Cependant, il y a des situations où l'objectif n'est pas essentiellement l'imitation de l'intelligence humaine, mais plutôt de permettre à la machine d'accomplir des tâches dont on voudrait délester l'homme, en référence à l'Intelligence Augmentée dont nous avons déjà parlé. Ces

⁶¹ Il s'agit de la « dionée attrape-mouches », une plante qui est même capable de relâcher sa « proie » si elle la juge trop grosse.

tâches constituent ce que l'on appelle en robotique les 4 D : *Dirty jobs*, *Difficult*, *Dangerous*, *Dull* (les tâches sales, difficiles, dangereuses et ennuyeuses); et elles sont nombreuses dans les domaines industriels, militaires, etc.

« Dans le monde de l'entreprise, l'une des finalités de l'IA est de confier aux machines les tâches complexes, sales, ennuyeuses et dangereuses. »

Du coup, cela engendre une catégorisation de l'intelligence artificielle selon que les machines pensent (*softbots*) ou agissent (*robots*); mais également selon qu'elles imitent les êtres humains ou visent ce qui est optimal. Ainsi, comme vous pouvez le voir dans le tableau ci-dessous, les systèmes experts tels que les applications utilisées pour le diagnostic médical, sont des systèmes qui simulent purement l'intelligence humaine. En revanche, les voitures autonomes sont des systèmes qui agissent en recherchant la meilleure action possible, puisqu'il s'agit d'éviter absolument des accidents, et sans intervention humaine.

Matrice catégorielle des IA selon l'activité et la performance-cible

	Performances humaines	Performances idéales
Raisonnement	Les systèmes qui pensent comme les êtres humains • Systèmes experts • Moteurs de recherche	Les systèmes qui pensent rationnellement • Logiciels de planification • Outils d'inférence logique • Applications d'optimisation
Comportement	Les systèmes qui agissent comme les êtres humains • Chatbots • Robots ménagers • Générateurs de contenu	Les systèmes qui agissent rationnellement • Voitures autonomes • Drones intelligents • Robots de trading automatique

Vous comprenez donc pourquoi l'intelligence artificielle est finalement un concept qui paraît parfois un peu flou et nébuleux, et pour lequel aucune définition n'est universellement acceptée puisque l'intelligence, de manière générale, est un concept extrêmement large.

Tout au plus pourrait-on considérer l'intelligence artificielle comme étant l'intelligence des machines, qui s'inspire des différentes formes d'intelligence qui existent dans la nature (humaine, animale, végétale, etc); le but étant d'aider l'homme dans ses différentes tâches d'analyse, de raisonnement ou de décision; bref, de résolution des problèmes.

« L'Intelligence Artificielle peut être assimilée à l'intelligence des machines, qui s'inspire de l'intelligence naturelle pour assister l'homme dans ses différentes tâches d'analyse, de raisonnement ou de décision; c'est-à-dire de résolution des problèmes ».

Et, en revenant sur les réponses fournies à la question du deuxième module, on préfère parler **d'intelligences artificielles** (au pluriel), plutôt que « d'une » **intelligence artificielle**; car tout dépend finalement de l'usage qu'on est appelé à en faire, tel que traduire un texte, reconnaître une image, générer un contenu audio ou vidéo, transporter un objet, actionner automatiquement une commande, faire des prévisions, etc. Et donc, pour emprunter les termes du Dr Luc Julia, l'Intelligence Artificielle est une sorte de « **boîte à outils** ». Et les outils seront les différentes solutions d'intelligence artificielle parmi lesquels on peut citer :

- les outils fondés sur les modèles de langage et utilisés pour la traduction de texte, les conversations avec les *chatbots*, la rédaction de texte, etc;
- les solutions de vision artificielle pour l'identification faciale, la reconnaissance d'objets, la génération d'images, etc;
- les outils de diagnostic utilisés en médecine ou dans le monde de l'entreprise;
- les solutions de *data analytics* utilisées pour les prévisions, les recommandations, la recherche de similarités entre des objets, ou d'autres calculs complexes;

- les outils d'optimisation utilisés pour la planification de projets, ou pour les choix stratégiques;
- les outils de manipulation intelligente d'objets utilisés dans le domaine industriel;
- les robots à usage militaire pour l'espionnage ou pour l'action, et bien d'autres encore⁶².

En résumé, partout où existe une tâche traditionnellement exécutée par l'homme et nécessitant une certaine intelligence, existe « potentiellement » une application de l'intelligence artificielle.

**« L'Intelligence Artificielle est une boîte à outils.
Et chaque solution d'IA sert à accomplir une
tâche bien précise qui nécessite normalement
une forme d'intelligence naturelle. »**

⁶² A titre de rappel, le texte du Prologue (M. Lionel Mateck) fournit d'ailleurs de nombreuses situations où l'intelligence artificielle est utile à travers des algorithmes spécialisés et aussi différents les uns des autres.

Chapitre 5

Parcourir l'histoire de l'IA permet de comprendre comment elle fonctionne

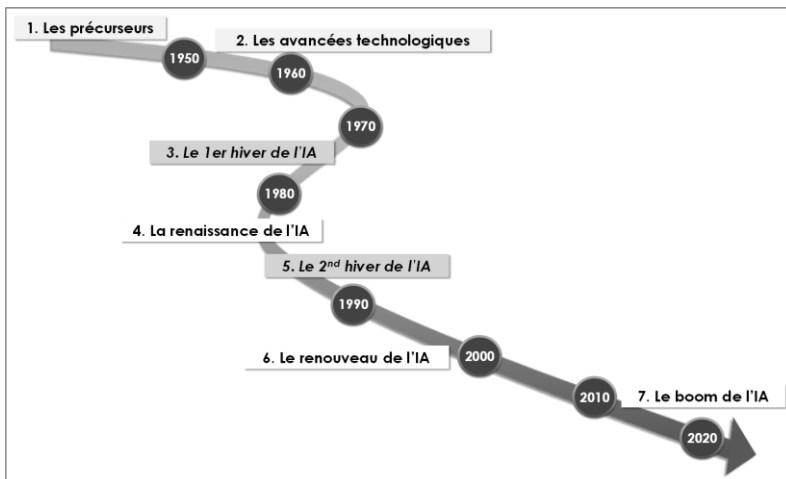


Mme IA :

Il faut d'abord savoir que les ingénieurs, les artistes, les écrivains et les scientifiques ont toujours joué avec l'idée d'imaginer ou de créer une forme d'intelligence qui ne soit pas d'origine humaine. Nous, les êtres humains, nous aimons tous nous imaginer toutes sortes de fantasmes sur la possibilité de créer des entités artificiellement intelligentes. Si l'on parle de plus en plus de l'intelligence artificielle de nos jours, l'histoire de cette dernière a donc véritablement débuté depuis de nombreuses décennies, voire des siècles; et est marquée par des périodes d'optimisme, mais également des périodes de doute.

On peut retenir sept périodes pour présenter rapidement les repères historiques de cette discipline.

Repères historiques de l'intelligence artificielle



1. La période des précurseurs (avant 1950).

Pendant cette période, on ne parle pas encore véritablement d'intelligence artificielle. Cependant, certaines personnes vont engager des travaux scientifiques et faire des découvertes qui vont fortement inspirer ce que l'on appellera plus tard Intelligence Artificielle. On peut inclure dans cette liste, des personnalités telles que :

- **Gottfried Leibniz** qui créera en 1690 le **code binaire** utilisant deux symboles, le « 0 » et le « 1 », et qui servira de base au langage des ordinateurs;
- **Charles Babbage**, qui concevra une **machine à calculer programmable**⁶³, et qui était assisté par la comtesse **Ada Lovelace**, une femme remarquable à qui l'on attribue le premier algorithme applicable au calcul en 1842, et qui est donc en quelque sorte considérée comme la première programmeuse de l'histoire.

Plus tard, la période de la seconde Guerre Mondiale verra émerger des scientifiques comme :

- **Alan Turing**, qui fera partie de l'équipe ayant réussi à déchiffrer le **code Enigma** de la marine allemande et qui, en évoquant la question d'apporter une forme d'intelligence aux machines, sera considéré par certains comme le « père » de l'Intelligence Artificielle;
- **Norbert Wiener**, qui est considéré comme le père de la **cybernétique**, un domaine alors qualifié de science-carrefour à cette époque, et qu'il définira lui-même comme « la science du fonctionnement de l'esprit humain »⁶⁴;
- **Walter Pitts** et **Warren McCulloch**, qui avaient été les premiers à conceptualiser et à mettre en équation le neurone biologique.

Et même l'art est de la partie avec l'écrivain **Isaac Asimov**, surnommé le « père des robots »; et qui édicte en 1942 les « **Trois lois de la robotique** ». Il s'agit en réalité de principes éthiques fictifs qui sont censés régir le comportement des robots⁶⁵.

⁶³ En réalité, Charles Babbage concevra le modèle sur papier, et réalisera un prototype qui ne sera malheureusement pas achevé.

⁶⁴ En fait, Norbert Wiener souhaitait modéliser l'esprit comme une boîte noire.

⁶⁵ Ces trois lois sont les suivantes.

2. L'ère des avancées technologiques (de 1950 au début des années 1970).

C'est à cette période que l'on attribue généralement la naissance de l'intelligence artificielle, avec un certain nombre de symboles forts que l'on peut résumer ici.

- En 1950, Alan Turing crée un test qui porte son nom, et qui vise à mesurer l'intelligence des machines. Le « **test de Turing** » consiste à partir d'une conversation textuelle entre un homme et une machine, et à débusquer s'il s'agit d'une machine ou d'un humain.

A quoi ressemble le test de Turing ?

Imaginez-vous un instant dans une conversation en ligne par le biais de messages textuels (type "chat"). Vous pouvez poser des questions et évaluer les réponses.

Si vous interagissez avec une machine, mais que vous ne pouvez pas affirmer avec certitude que c'est une machine d'après les réponses qu'elle donne, alors nous pouvons dire que la machine a passé le test de Turing avec succès, et donc qu'elle est intelligente !

- En 1956, une vingtaine de scientifiques de différents domaines se réunissent au Dartmouth College aux Etats-Unis pour une « conférence d'été » de plusieurs semaines à l'occasion de laquelle le terme **Intelligence Artificielle** est adopté à l'initiative du mathématicien **John McCarthy** assisté principalement d'un autre mathématicien du nom de **Marvin Lee Minsky**.⁶⁶

Loi n°1. Un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, laisser cet être humain exposé au danger.

Loi n°2. Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres entrent en contradiction avec la première loi.

Loi n°3. Un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'entre pas en contradiction avec la 1^{ère} ou la 2^{ème} loi.

⁶⁶ Ceux qui sont coutumiers des conseils d'administration, des sessions stratégiques en entreprise ou de l'organisation de workshops, ne seront pas surpris d'apprendre que cet atelier avait dû faire face à de nombreux obstacles : obtenir tous les financements nécessaires (la fondation Rockefeller n'avait finalement déboursé que la moitié de la subvention promise), persuader les participants de venir séjourner dans ce lieu et de s'entendre sur les thèmes, gérer les batailles d'ego pendant les échanges car chacun avait beaucoup d'enthousiasme pour son propre projet et était une référence dans son domaine, etc.

- L'année suivante (1957), un autre scientifique (**Franck Rosenblatt**) crée un algorithme qui imite (certes de manière rudimentaire) le fonctionnement des neurones humains; et le nomme **Perceptron**.
- En 1959, un mathématicien anglais, **Arthur Samuel**, dans le cadre de ses recherches sur le jeu de dames, crée et popularise le terme « **apprentissage automatique** ». Le jeu de dames conçu par Arthur Samuel est capable d'apprendre à mesure que le jeu évolue, à partir des données historiques stockées dans sa mémoire, et donc d'ajuster le programme initial. On ne le sait pas encore, mais l'apprentissage automatique (*machine learning* en anglais) deviendra le paradigme dominant de l'intelligence artificielle au XXIème siècle.
- En 1966, est créé le premier système de reconnaissance vocale (**ELIZA**), ancêtre des *chatbots* actuels. Il s'agit d'une application qui essaie de jouer le rôle d'un psychothérapeute avec lequel vous pouvez engager une conversation.

L'engouement pour l'IA pendant cette période est tel que certains prédisent qu'une machine complètement intelligente sera construite dans les 20 années à venir.

Eh oui! Nous étions vers la fin des années 1960, et on imaginait déjà des robots rivalisant d'intelligence avec les hommes...

Quelques citations illustrant l'optimisme de l'époque :

- En 1963, Allen Newell : « D'ici dix ans un ordinateur sera le champion du monde des échecs ».
- En 1965, H. Simon : « Des machines seront capables, d'ici vingt ans, de faire tout travail que l'homme peut faire ».
- En 1969, Marvin Minsky : « Dans trois à huit ans, nous aurons une machine avec l'intelligence générale d'un être humain ordinaire ».

La Journaliste :

Apparemment, tous les voyants étaient au vert pour le développement de l'IA...

Mme IA :

En apparence seulement! Vous allez comprendre dans la suite pourquoi on dit souvent que l'histoire de l'intelligence artificielle est sinueuse...

3. Le 1^{er} hiver de l'intelligence artificielle (du début des années 1970 au début des années 1980).

L'engouement entraperçu dans les années 1950-1960 est cependant stoppé au début des années 1970 en raison de plusieurs facteurs.

- Les résultats observés restent largement en-deçà de l'immense optimisme engendré. On est loin de ce qui avait été promis dans certaines déclarations, ainsi que de ce qui apparaissait dans les films de science fiction (par exemple : « 2001, l'Odyssée de l'Espace »).⁶⁷
- Les chercheurs font face à certaines limites, dont notamment la puissance de calcul et la mémoire des ordinateurs; rendant impossible l'exécution de nombreux algorithmes.⁶⁸
- Certaines découvertes scientifiques (à l'exemple du Perceptron évoqué précédemment) reçoivent de nombreuses critiques, dont le fameux Rapport Minsky en 1969 qui aura un effet dévastateur, et contribuera à ralentir un courant scientifique qui contribuera pourtant, une vingtaine d'années plus tard, au renouveau de l'IA : l'apprentissage automatique d'Arthur Samuel.

Du coup, les financements s'amenuisent; phénomène exacerbé par un rapport tout aussi incendiaire du gouvernement britannique en 1973 (le Rapport Lighthill), ainsi que la survenance du 1^{er} choc pétrolier en 1973 et son impact sur le ralentissement de l'économie mondiale. L'Intelligence Artificielle entre alors dans son 1^{er} hiver!

4. La renaissance de l'IA (de 1982 à 1988).

Au début des années 1980, le Japon connaît une croissance économique tirée par le secteur des technologies, et notamment l'augmentation de la puissance des processeurs; ce qui permet d'accélérer la vitesse de traitement des ordinateurs. Cela contribue à redonner vie à l'intelligence artificielle avec les **systèmes experts**⁶⁹.

⁶⁷ Film de Stanley Kubrick réalisé en 1968.

⁶⁸ Parlant des machines intelligentes, un article du *New York Times* annonce « l'embryon d'un ordinateur électronique dont la Marine espère qu'il marche, parle, voie, écrive, se reproduise lui-même et soit conscient de son existence »!

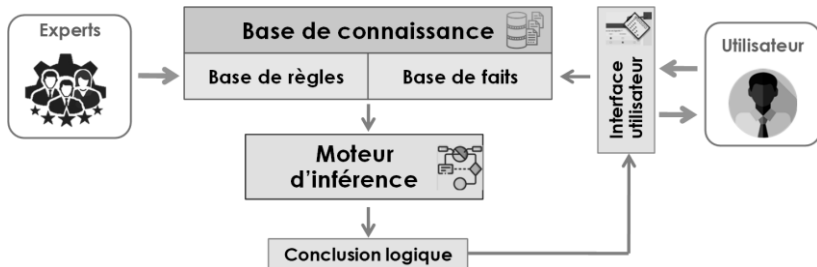
⁶⁹ Les Systèmes Experts sont encore appelés Knowledge Based Expert Systems (KBES).

Les systèmes experts(SE) sont des applications informatiques conçues pour imiter le raisonnement d'un expert humain, grâce à l'exploitation d'un certain nombre de connaissances. Le logiciel applique un raisonnement à partir de faits connus et de règles symboliques implémentées au départ⁷⁰. Il utilise pour cela un processus qualifié de « Si, et si... alors ».

« Un Système Expert (SE) est un système informatique qui imite la capacité décisionnelle d'un expert humain, simulant donc l'intelligence humaine. »

Le système expert peut ainsi réaliser des déductions ou conclusions, et expliquer la manière dont les résultats ont été obtenus. Du fait qu'il imite la capacité décisionnelle d'un expert humain, le système expert renvoie à l'une des définitions de l'intelligence artificielle; à savoir, « donner aux machines la capacité d'imiter l'intelligence humaine ». La structure d'un système expert est présentée dans le diagramme ci-dessous.

Structure d'un système expert



On peut voir dans ce diagramme que le système expert a deux principales composantes: la **base de connaissance** et le **moteur d'inférence**.

La **Base de Connaissance** comporte deux éléments qui sont complémentaires: la **base de règles** et la **base de faits**.

⁷⁰ On dit « pré-codées ».

- La **base de règles** renferme toutes les connaissances (ou données) traduisant un mode de raisonnement et qui peuvent s'exprimer par des règles telles que : «SI telle condition est vérifiée, ALORS effectuer telle action».

Ces règles sont appelées plus précisément «règles de production» et proviennent donc des connaissances spécifiques à un domaine (médecine, finance, transport, télécoms, éducation, sport, etc). Le système expert est donc une excellente illustration de l'importance de l'Expertise-Métier comme composante du domaine pluridisciplinaire qu'est l'Intelligence Artificielle ainsi que cela a été mentionné précédemment.

- La **base de faits**, quant à elle, renvoie à tous les faits qui sont décrits ou déclarés par l'utilisateur. Il peut s'agir des symptômes d'une maladie, des caractéristiques d'une demande de crédit, des habitudes de divertissement d'un individu, du comportement d'un sportif, etc.

Le **Moteur d'Inférence** est le programme informatique qui, en fonction du cas particulier qui lui est soumis par l'utilisateur (la base de faits):

1. détecte les règles applicables ;
2. choisit celle qu'il convient d'appliquer;
3. et finalement déclenche son exécution.

La mise en place d'un véritable programme informatique s'impose car il existe des situations où l'on fait face à des centaines de paramètres et de règles, où seuls des algorithmes bien structurés permettront d'identifier les règles pertinentes à appliquer⁷¹.

Par exemple dans les années 2010, le système expert conçu pour le diagnostic de performance d'une certaine compagnie de téléphonie mobile au Cameroun faisait intervenir environ 140 paramètres et près de 60 règles. Grâce à ce système expert, l'équipe en charge de l'évaluation des performances était capable de produire chaque mois un rapport-diagnostic 360°.

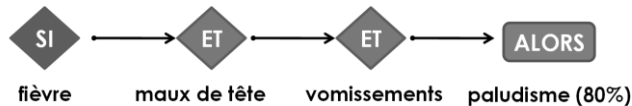
Bien qu'il n'apparaisse pas dans le diagramme précédent, l'Ingénieur en Intelligence Artificielle, appelé spécifiquement ici **Ingénieur**

⁷¹ La définition des règles pertinentes dépend des algorithmes de résolution inclus dans le moteur d'inférence; les plus couramment utilisés sont le chaînage avant (partant des faits pour en rechercher les conséquences) et le chaînage arrière (partant des conclusions envisagées pour vérifier si les conditions sont réunies).

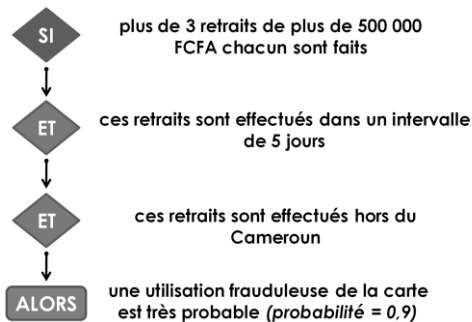
Cogniticien, joue un rôle central. C'est en effet lui qui est chargé de la conception et de la mise en œuvre de l'ensemble du système expert. Cela implique donc des tâches telles que:

- la collecte et l'interprétation de toutes les connaissances et règles produites par les experts;
- la conception d'une interface utilisateur (ordinateur, logiciel, smartphone, etc) qui soit d'un usage facile. On parle alors d'Interface Homme-Machine (IHM) ;
- la conception des différents algorithmes inclus dans le moteur d'inférence, etc.

Les systèmes experts sont très utilisés dans le domaine médical où ils servent à diagnostiquer des maladies ou à recommander des traitements. Par exemple pour la détection du paludisme, il y aura plusieurs dizaines de règles représentées selon un schéma plus ou moins similaire à la règle ci-dessous. Et le moteur d'inférence ira chercher, puis déclenchera la règle qui correspond le plus aux faits décrits par l'utilisateur.



Dans le monde du business, les SE sont utilisés dans le cadre du diagnostic de performance d'une entreprise, afin d'évaluer la santé de celle-ci et d'identifier pratiquement toutes les sources de problèmes⁷². Ils sont également utilisés dans le cadre de la détection de fraudes à la carte bancaire comme l'illustre la règle représentée ci-dessous.



⁷² C'est l'exemple du « diagramme Ishikawa », bien connu des consultants en management.

Comme autre exemple de système expert, on peut prendre celui de la réservation d'un vol sur une ligne aérienne. Cela impliquera nécessairement :

- une base de connaissance (les vols assurés par la compagnie aérienne);
- un ensemble de faits à considérer (votre demande de destination avec une gamme de départs et d'arrivées possibles);
- une logique de règles ayant trait aux trajets disponibles, aux dates de départ, ainsi qu'aux réservations déjà faites.

Et on peut encore citer d'autres situations où l'IA par les systèmes experts est souvent utilisée:

- le marketing pour identifier les clients les plus susceptibles d'adopter un nouveau produit;
- les transports et la logistique lorsqu'il s'agit de planifier des itinéraires;
- les finances pour fournir des conseils en investissement, ou pour accorder un crédit;
- les divertissements pour personnaliser des recommandations de films ou de musique en fonction des goûts des utilisateurs.

Il convient de préciser que les systèmes experts font partie du courant scientifique qualifié de **symbolique** ou encore **raisonnement logique basé sur les règles**. Cette approche de l'intelligence artificielle est appelée ainsi car il s'agit en fait de modéliser le raisonnement logique et de représenter les connaissances avec des objets et des symboles les associant entre eux via d'éventuelles contraintes; un peu comme vous venez de le voir avec les exemples de systèmes experts présentés. Ces éléments symboliques (donc lisibles pour l'homme et aisément compréhensibles par ce dernier) peuvent être « **Si** », « **Alors** », « **Appartient à** », etc. Et justement, une autre technique très utilisée dans l'approche symbolique est ce que l'on appelle les **arbres de décision**; qui peuvent vous rappeler les **arbres des parties** enseignés dans vos cours de mathématiques en classe de 6^{ème} ou 5^{ème}.

« L'IA Symbolique (ou logique), ou de raisonnement basé sur les règles, est l'une des deux grandes approches de l'Intelligence Artificielle. »

Les **arbres de décision**, découverts bien avant les systèmes experts, sont d'ailleurs remis au goût du jour lors de cette période de « renaissance de l'IA » où le courant symbolique a le vent en poupe. L'arbre de décision ressemble généralement à un arbre avec des branches (on parle de structure arborescente, mais il existe d'autres formes) qui représente une série de décisions qui peuvent être prises pour parvenir à une conclusion. Chaque nœud de l'arbre représente une décision, et chaque branche représente un résultat possible de la décision.

Les arbres de décision sont assez courants dans les entreprises, notamment dans le cadre des activités de *data analytics* des équipes marketing lorsqu'il s'agit par exemple de détecter automatiquement un client à fort potentiel ou un client qui va répondre favorablement à une offre promotionnelle; ou encore dans le secteur bancaire lorsqu'il faut par exemple décider de l'octroi de crédit à un client. Le résultat obtenu par l'algorithme est le *scoring*, qui a déjà été mentionné au début de notre entretien.

Les arbres de décision sont également à l'œuvre lorsque vous vous rendez au guichet automatique de votre banque pour retirer de l'argent. Il y a en effet un algorithme sous forme d'arbre de décision qui est mis en place dans l'architecture du distributeur de billets pour réagir d'une façon très précise en fonction du résultat de vos actions.

« Les arbres de décision constituent une technique d'IA permettant de visualiser comment une série de décisions peuvent être prises pour parvenir à une conclusion. »

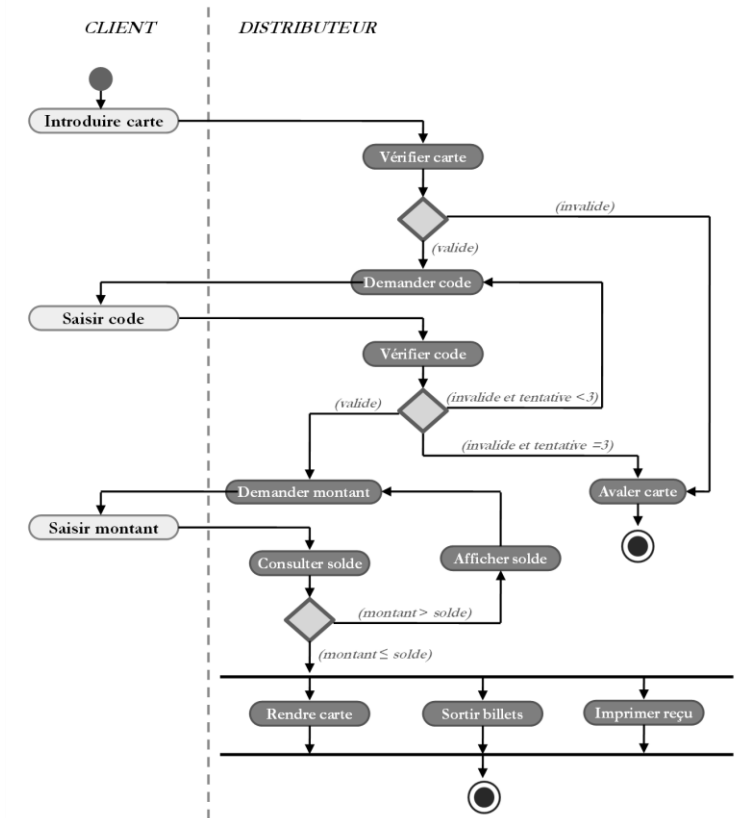
Le diagramme de la page suivante présente un exemple classique d'algorithme de distributeur de billets. Les losanges correspondent aux alternatives (« Si »), tandis que les ellipses renvoient aux décisions à prendre par le distributeur (« Alors »).

Dans cet exemple, les étapes sont les suivantes :

- Le client introduit sa carte dont la validité est immédiatement vérifiée.
- Il est ensuite invité à saisir le code de la carte.
- Après trois tentatives infructueuses, la carte est avalée.

- Sinon le client peut indiquer le montant qu'il désire retirer ; le solde de son compte bancaire est alors consulté pour s'assurer que le retrait est possible.
- En cas de solde insuffisant, le client en est informé et peut alors saisir un montant inférieur.
- Si le solde du compte est suffisant, le distributeur restitue la carte et délivre alors les billets accompagnés d'un reçu.

Algorithme d'arbre de décision d'un distributeur de billets



« Les ontologies et les graphes de connaissance constituent des techniques d'IA qui permettent de décrire complètement un domaine et les relations existant entre ses composantes. »

Une autre technique appartenant à l'approche symbolique de l'intelligence artificielle est ce qu'on appelle les **ontologies**. Une ontologie est un réseau⁷³ qui regroupe un ensemble de concepts, ou de composantes, qui décrivent complètement un domaine. Et ces concepts sont liés les uns aux autres en utilisant les éléments symboliques qui ont déjà été évoqués (« appartient à », « est un », etc).

En outre, on entend souvent parler des ontologies en même temps que les **graphes de connaissance**. Ces derniers permettent effectivement la visualisation des relations entre les différentes composantes du domaine⁷⁴. Par ailleurs, en dehors de leur caractère purement descriptif tel qu'on pourrait l'imaginer, les ontologies permettent de créer de nouvelles relations. C'est ce qu'on appelle des **inférences**.

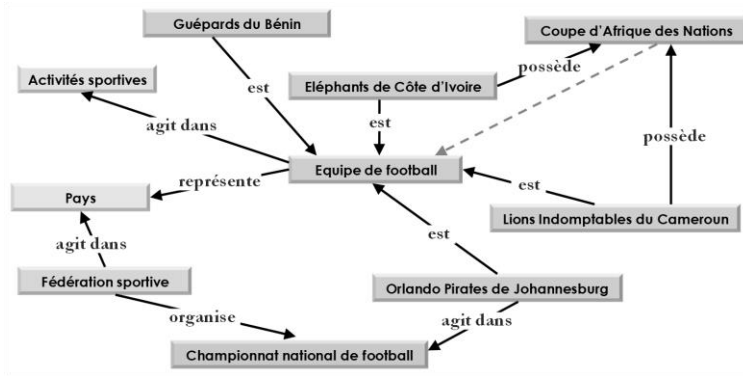
Le graphe de connaissance partiel et simplifié de la page suivante met en évidence certaines composantes du football en Afrique, ainsi que les liaisons par rapport à certains concepts.

En utilisant cette représentation dans le cadre d'une recherche, il est ainsi possible de produire très rapidement une carte décrivant l'élément « Lions Indomptables du Cameroun » : *« équipe nationale de football ayant des activités essentiellement sportives et possédant au moins un trophée de Coupe d'Afrique des Nations »*. Mais il est également possible de créer d'autres relations (les inférences), à l'exemple de celle en traits pointillés verts qui met en évidence le fait que *« la Coupe d'Afrique des Nations concerne des équipes de football »*.

⁷³ Un réseau qualifié de « sémantique », car il s'agit de donner du sens ou une signification à chaque concept.

⁷⁴ On résume le tout par la relation : Ontologie + Données = Graphe de connaissance.

Exemple de graphe de connaissance partiel et simplifié



Bien entendu, c'est quand on est en présence de plusieurs centaines de concepts et de milliers de relations que l'on comprend l'importance de l'intelligence artificielle basée sur les ontologies. Celles-ci sont d'ailleurs utilisées dans de nombreux domaines.

- C'est le cas en médecine, lorsqu'il faut établir ou accéder rapidement à la carte médicale d'un patient en considérant son profil physique (sexe, âge, taille, etc), ses paramètres de santé (indice de masse corporelle, taux de glycémie, etc), ses antécédents médicaux (maladies auxquelles il est souvent exposé, symptômes ressentis, traitements suivis, etc).
- C'est également le cas lorsqu'une entreprise utilise un robot conversationnel tel qu'un *chatbot*. Les ontologies permettent en effet d'identifier rapidement les mots-clés dans la requête vocale d'un client, et d'apporter la réponse la plus pertinente à la question de ce dernier.
- Les ontologies sont même utilisées pour optimiser la recherche sur internet. Dans l'exemple de M. Lionel Mateck au début de notre entretien, la recherche faite sur le Cameroun produit de meilleurs résultats grâce aux graphes de connaissance utilisés par le moteur de recherche; ce que l'on appelle le **web sémantique**.
- Dans le domaine du *sports analytics*, ce sont les ontologies qui permettent aux commentateurs de fournir tous les détails informationnels que vous entendez souvent au sujet des différents protagonistes en début de rencontre.

- Les ontologies sont même utilisées dans la recherche universitaire pour générer des sujets de thèse de doctorat à partir de quelques mots-clés.

C'est d'ailleurs le lieu de vous informer que Google utilise les ontologies pour établir la carte de profil de ses abonnés. En fonction de ce que Google sait (ou est supposé savoir) de vous, l'entreprise peut personnaliser les annonces publicitaires.

Certaines de ces informations ont été fournies par vous-même; d'autres sont supposées par Google en fonction de votre activité sur le web, et correspondent à ce que nous avons appelé précédemment des "inférences". Les informations de ce profil concernent notamment le genre, la catégorie d'âge, la situation matrimoniale, le nombre de langues parlées, le niveau d'études, le secteur d'activité, etc⁷⁵.

« Les Algorithmes de Recherche constituent une technique d'IA permettant de trouver la meilleure solution à un problème par l'analyse de toutes les options possibles. »

A côté des systèmes experts, des arbres de décision et des ontologies, une quatrième technique d'IA symbolique qu'il est utile de mentionner est ce qu'on appelle les **Algorithmes de Recherche**. Il s'agit d'une technique visant à atteindre un résultat bien précis ou le résultat optimal. Pour cela, l'algorithme analyse toutes les options ou combinaisons possibles, afin de retenir celle(s) permettant d'atteindre le résultat recherché; c'est la raison pour laquelle on parle également parfois de « **force brute** »⁷⁶.

Dans l'exemple de M. Lionel Mateck au début de notre entretien, ce sont les algorithmes de recherche qui sont notamment utilisés pour déterminer l'itinéraire optimal que doit emprunter le taxi de notre ami. Et juste pour vous convaincre qu'il s'agit bien d'une technique

⁷⁵ Si vous souhaitez consulter les données que Google connaît à votre sujet, vous pouvez aller sur ce lien suivant à partir de votre ordinateur: <https://myadcenter.google.com/controls>

⁷⁶ Il existe une variante qualifiée « **d'algorithme de recherche heuristique** », et qui permet de trouver une solution approchée et/ou de réduire le nombre d'options à analyser; ce qui permet un gain de temps considérable.

appartenant à l'approche symbolique (ou de raisonnement logique basé sur les règles), l'algorithme procédera à des comparaisons et appliquera des règles que l'on peut illustrer de manière très simplifiée ainsi :

*Au prochain carrefour,
Si la rue A est plus courte que la route B, mais plus longue que la route C,
Alors, prendre la route C.*

Les Algorithmes de Recherche sont assez prisés dans d'autres domaines:

- les jeux de stratégie ou les jeux-vidéos lorsqu'on fait des simulations concernant les comportements des joueurs⁷⁷;
- le marketing, lorsqu'il s'agit d'élaborer un média planning;
- les moteurs de recherche pour trouver les sites web correspondant aux requêtes des utilisateurs;
- l'informatique, lorsque les pirates (*hackers*) procèdent à une cyber-attaque en tentant toutes les combinaisons possibles d'un mot de passe;
- le sport, lorsqu'il faut identifier les conditions à remplir par une équipe pour progresser dans une compétition, etc.

Illustré à travers les systèmes experts, les arbres de décision, les ontologies et graphes de connaissance, ainsi que les algorithmes de recherche, le courant scientifique de **l'intelligence artificielle symbolique** sera plus tard supplanté par le courant dit **connexionniste** ou encore par **apprentissage automatique**, sur lequel nous reviendrons plus loin car, entre-temps, les choses se sont un petit peu compliquées pour l'IA.

5. Le 2nd hiver de l'intelligence artificielle (de la fin des années 1980 au milieu des années 1990).

L'engouement pour l'intelligence artificielle n'aura finalement été que de courte durée. En effet, on trouve de nombreuses limites aux systèmes experts. On leur reproche notamment :

⁷⁷ C'est d'ailleurs la technique des algorithmes de recherche qui avait été utilisée par l'ordinateur Deep Blue d'IBM pour battre le champion du monde d'échecs Gary Kasparov en 1997; et cela en évaluant 200 millions de positions par seconde!

- d'être trop spécialisés et de n'être efficaces que dans certains contextes très spécifiques;
- d'être difficiles à mettre à jour et d'être incapables de véritablement apprendre;
- d'avoir un coût de maintenance trop élevé.

Par ailleurs, l'approche utilisée pour les algorithmes de recherche, et qui est basée sur l'exploration de toutes les solutions à un problème et du nombre grandissant de paramètres⁷⁸, n'est pas suffisamment suivie par la puissance attendue des ordinateurs.

Une autre vague de coupes budgétaires survient alors, plongeant l'intelligence artificielle dans un 2nd hiver. C'est l'époque où l'on ironise quelque peu en qualifiant l'IA tout simplement « **d'Informatique Avancée** » et non plus « d'Intelligence Artificielle ».

Les choses vont cependant s'améliorer progressivement au point où, après plusieurs décennies qui ont vu les périodes d'espoir être entrecoupées par des périodes de découragement, l'intelligence artificielle va véritablement trouver sa voie. On dira alors qu'on est entré dans l'ère moderne de l'IA

6. Le renouveau de l'intelligence artificielle (du milieu des années 1990 au milieu des années 2010).

La prise de conscience de la nécessité de trouver d'autres approches va redynamiser le courant scientifique qualifié de **connexionniste**⁷⁹ ou encore par **apprentissage automatique**. Cette approche de l'intelligence artificielle est appelée ainsi car elle consiste à simuler le fonctionnement des neurones humains (connexions neuronales); ce courant scientifique avait d'ailleurs été délaissé à la suite du Rapport Minsky de 1969. Mais surtout, contrairement à **l'approche symbolique** où les machines étaient programmées pour étudier toutes les options et prendre la meilleure décision et où on codait des règles, il s'agit

⁷⁸ On parle « d'explosion combinatoire » pour exprimer le fait que l'ajout de quelques paramètres peut induire une très forte augmentation du nombre de combinaisons à tester.

⁷⁹ Certains experts préfèrent l'expression « approche sub-symbolique » (en lieu et place de « connexionniste ») afin de marquer clairement la différence avec « l'approche symbolique ».

dorénavant de laisser la machine (ou plutôt l'algorithme) découvrir elle-même des règles ou des caractéristiques récurrentes dans un vaste ensemble de données (texte, chiffres, images, etc) dit « ensemble d'apprentissage »; mais surtout de s'auto-ajuster (donc de s'améliorer) en cas de nouvelles données. C'est pourquoi l'on utilise aussi l'expression **apprentissage automatique** ou même **apprentissage machine** (ou *machine learning-ML* en anglais)⁸⁰.

« L'IA par apprentissage automatique, où la machine découvre elle-même des relations en examinant des données, est l'autre grande approche de l'Intelligence Artificielle. »

Prenons un exemple pour comprendre l'originalité et l'importance de cette approche.

Supposons que vous souhaitiez que, face à un ensemble d'une centaine d'images, l'ordinateur vous dise quelles sont celles qui comportent un chat. Il faudra que vous définissiez correctement et sans ambiguïté les caractéristiques d'un chat. Cela suppose que vous puissiez décrire les éléments liés à la morphologie générale, à la structure (tête, pattes, oreilles, etc), aux positions respectives des différents éléments, etc; et cela sans que l'on puisse confondre un chat à un autre animal plus ou moins similaire tel qu'un chien ou un léopard par exemple. Il est clair que cela est très difficile.

Alors, l'approche imaginée par d'éminents scientifiques avait été de fournir des milliers d'images à l'ordinateur, en lui disant simplement que dans telle image il y a un chat, et que dans telle autre il n'y a pas de chat. Et la belle surprise est que l'ordinateur avait été capable, sur de nouvelles images, d'identifier celles qui comportaient un chat et celles qui n'en comportaient pas.

Prenons un autre exemple plus facile à appréhender. En observant des milliers d'images de véhicules, l'algorithme d'IA va identifier de lui-même des caractéristiques telles que le nombre de pneus, la forme de la

⁸⁰ Certains experts parlent également d'Intelligence Artificielle Statistique (ou même Numérique) en référence aux multiples calculs mathématico-statistiques effectués sur des masses de données.

carrosserie, la présence de vitres et de phares, et ainsi de suite. On dit que l'ordinateur « **a appris** » la structure des données; et a donc fait preuve d'**apprentissage**.⁸¹ Et lorsque l'ordinateur sera en présence d'une nouvelle image, en fonction des caractéristiques observées, il pourra en déduire (avec une certaine probabilité) s'il s'agit d'un véhicule ou non.

L'encadré ci-dessous donne une illustration d'un autre genre afin d'encore mieux appréhender l'essence de l'apprentissage automatique (*machine learning*).

Comprendre l'essence du Machine Learning

Imaginons que vous souhaitiez déterminer le prix du loyer d'habitation dans un quartier de la ville de Douala au Cameroun. Vous relevez les données d'une dizaine d'habitations et vous constatez que les loyers des studios (1 chambre + salon + toilettes) se situent entre 30 000 et 50 000 FCFA, ceux des appartements de 2 chambres se situent entre 75 000 et 150 000 FCFA, et les loyers des appartements de 3 chambres sont compris entre 125 000 et 200 000 FCFA.

Vous demandez à un statisticien de déduire de ce qui précède une formule mathématique; c'est-à-dire une équation qui permet d'obtenir le loyer en fonction du nombre de chambres.

Après quelques calculs plus ou moins savants, le statisticien vous présente l'équation suivante :

$$\text{Loyer} = (53\,500 \times \text{Chambres}) - 9\,200$$

et il vous précise en outre que l'erreur moyenne est de l'ordre de 17%.

Cela signifie par exemple que pour un appartement de 2 chambres, le loyer devrait être égal à :

$$(53\,500 \times 2) - 9\,200; \text{ ce qui donne } 97\,800 \text{ FCFA.}$$

Mais cela signifie également qu'il est fort possible que ce que vous allez constater sur le terrain s'écarte du résultat calculé dans une marge de 17% (c'est-à-dire de plus ou moins 16 600 FCFA).

Votre statisticien vient d'appliquer une formule mathématique (ce que les spécialistes appellent régression linéaire simple) en utilisant par exemple le logiciel MS Excel; mais cela ne constitue pas vraiment de l'intelligence artificielle. Cela reste encore uniquement de la statistique.

En réalité, que se passerait-il s'il s'agissait d'une IA en ayant recours à l'**apprentissage machine (machine learning)**?

⁸¹ Rappelez-vous notre PACMIRCEC de l'intelligence humaine (Perception, Apprentissage, Coordination, Mémorisation, Intuition, Raisonnement, Communication, Emotion, Conscience).

Eh bien, tout d'abord, l'ordinateur vous permettrait d'intégrer de nombreux autres paramètres, et pas seulement le nombre de chambres. Vous intégreriez alors des données telles que l'indice de richesse du quartier, le standing de l'habitation, les autres pièces disponibles, l'accès à l'habitation, etc; et cela pour autant d'habitations que vous le souhaitez (des centaines ou des milliers, et non plus une dizaine comme vous l'aviez fait auparavant).

Ensuite (et surtout), l'ordinateur, en « apprenant » la logique derrière la structure des données, construirait un algorithme qui vous fournirait directement l'équation du loyer en fonction des paramètres utilisés; lesquels paramètres peuvent se compter en dizaines.

Vous pourriez facilement obtenir une équation telle que celle-ci :

Loyer = 8250EXP(Chambres) + (740 x indice du Quartier x note d'Accès) + (45 x note de Standing) + 6 700

De cette manière, l'erreur moyenne serait alors beaucoup plus faible; par exemple 4% au lieu des 17% de la première approche.

Mais le plus important, et c'est là où l'expression « *machine learning* » prend tout son sens et révèle toute son importance, l'ordinateur actualiserait automatiquement, et sans l'intervention de votre statisticien, l'équation élaborée. Par exemple, dans le cas où les données d'une ou plusieurs nouvelles habitations venaient à être ajoutées, le coefficient lié au nombre de chambres pourrait être automatiquement ajusté à 8400 au lieu de 8250 pendant que celui de la note de standing passerait de 45 à 43, et ainsi de suite. L'ordinateur pourrait même modifier la structure de l'équation en transformant certains paramètres (inverse, logarithme, etc), ou même retirer certains paramètres qu'il juge peu pertinents. Et en conséquence, l'ordinateur ajusterait également le coefficient d'erreur.

C'est lorsque vous disposez d'une masse de données avec des centaines de paramètres et des valeurs qui changent régulièrement que vous comprenez l'importance du « **machine learning** ».

La Journaliste :

A de nombreuses reprises, vous avez utilisé l'expression « la machine apprend »...

Mme IA :

Oui, en effet. Il s'agit d'une expression très courante en apprentissage automatique, et qui fait la caractéristique principale de cette approche de l'intelligence artificielle...

Mme IA :

Le fait de dire que « **la machine apprend** » signifie que l'ordinateur va découvrir tout seul certaines caractéristiques ou certaines relations dans les données qui lui sont soumises; et cela sans que ce soit l'humain qui décrive spécifiquement ces caractéristiques. Prenons trois illustrations.

- L'ordinateur pourra découvrir tout seul une saisonnalité dans les ventes en se basant sur les tableaux des statistiques commerciales, ou encore identifier des groupes de clients qui ont des comportements d'achat similaires. C'est le domaine de la *data analytics*.
- L'ordinateur pourra identifier des formes qui reviennent régulièrement dans les images d'un bâtiment donné et reconnaître donc automatiquement ce bâtiment dans une autre image. C'est la vision artificielle (*computer vision*).
- L'ordinateur pourra, sur la base d'une centaine de documents différents, identifier des mots qui reviennent régulièrement ensemble dans les mêmes documents, et semblent donc associés; par exemple des textes comportant à la fois les mots « fleur », « plante » et « végétation ». C'est le traitement du langage naturel (*natural language processing*).

L'apprentissage automatique implique donc trois choses :

- i. Primo, l'ordinateur découvre lui-même les caractéristiques des données sans être explicitement programmé ; ou plus exactement sans que ce soit l'humain qui détermine les paramètres de l'algorithme.
- ii. Secundo, l'ordinateur s'améliore dans le temps, et donc ajuste les paramètres de l'algorithme, à mesure que de nouvelles données lui sont fournies.
- iii. Tertio, plus le volume de données auxquelles il a accès est important, plus l'ordinateur devient précis et améliore sa performance.

« Apprendre, pour la machine, consiste à tirer des enseignements à partir des données et à s'améliorer avec l'expérience, sans être explicitement programmée pour le faire. »

Il faut savoir qu'il existe en fait plusieurs types d'apprentissage, lesquels découlent tous de l'observation du mode de fonctionnement de

l'intelligence humaine. Les plus courants sont **l'apprentissage supervisé**, **l'apprentissage non supervisé**, **l'apprentissage auto-supervisé** et **l'apprentissage par renforcement**.

1. L'apprentissage supervisé consiste à affecter un objet à une catégorie (ou classe) prédéterminée. C'est ce que fait l'enfant lorsque, après avoir observé plusieurs animaux et déterminé leurs caractéristiques, parvient à identifier que tel est un oiseau, ou que tel est un chien.

Prenons un autre exemple pour être plus explicite. Vous montrez quelques objets d'une certaine salle de classe à un enfant (chaise, livre, craie, etc), en lui indiquant à chaque fois le nom de l'objet. Après cette phase appelée « **apprentissage** », l'enfant sera capable de reconnaître des objets du même genre (chaise, livre, craie, etc) dans une autre salle de classe; c'est « **l'inférence** ».

Techniquement parlant, l'algorithme va analyser un échantillon qualifié **d'échantillon d'apprentissage** et comportant de nombreuses données qui sont labellisées, c'est-à-dire étiquetées avec le bon label (par exemple « chien vs non chien », ou encore « bon vs mauvais », etc). Puis il va chercher à prédire le label de données non étiquetées sur un autre échantillon qualifié **d'échantillon de test**. Une fois que le taux d'erreur est suffisamment bas (par exemple 5%), on peut utiliser l'algorithme à grande échelle; c'est **l'inférence**.

Donc, lorsque vous utilisez une solution d'IA pour identifier une personne sur une photo, ou pour faire une prédiction, il s'agit déjà de la phase dite d'inférence. Les informaticiens et les *data scientists* se sont déjà occupés de toute la phase d'apprentissage, qualifiée encore de « **phase de formation** » du modèle.

C'est ce type d'apprentissage qui est utilisé dans les exemples sur la reconnaissance d'un chat ou d'un véhicule. C'est également l'apprentissage supervisé qui est utilisé lorsque le *chatbot* d'une banque ou d'un opérateur de téléphonie mobile détermine la nature de votre problème en fonction de la plainte ou de la requête que vous avez faite, ou encore lorsque votre ordinateur classe certains emails dans la catégorie des *spams* comme dans l'exemple de Mr Lionel Mateck au début de notre conversation.

2. L'apprentissage non supervisé vise à identifier des similitudes entre des objets. C'est ce que fait l'enfant lorsque, en présence d'un ensemble d'objets de différentes formes (boules, triangles, cubes, etc), il procède à des regroupements.

L'algorithme observe l'ensemble des données, puis essaie de constituer des regroupements sans intervention humaine. Les regroupements dont il s'agit ici peuvent être des groupes d'objets ou d'individus, mais également des associations du genre : « si un client achète les produits A et B (par exemple pain et sachet de lait en poudre), on peut s'attendre à ce qu'il achète également le produit C (par exemple sucre) ». Ou encore : « si un individu présente les symptômes X, Y et Z, alors il souffre probablement de la maladie P ». Dans ce dernier exemple, on parle de « règles d'association ».

C'est ce type d'apprentissage qui est utilisé en intelligence artificielle lorsque vous recevez des suggestions d'amis sur Facebook (système de recommandation), ou lorsqu'une entreprise répartit ses clients en segments homogènes en fonction de caractéristiques telles que leurs habitudes d'achats ou leur profil sociodémographique.

Si vous avez bien compris l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé, alors que vous allez comprendre la troisième forme d'apprentissage sans aucune difficulté.

3. L'apprentissage auto-supervisé est en quelque sorte une combinaison de l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé. L'idée à la base est de remplacer le travail fastidieux que représente l'étiquetage (labellisation) manuel d'un gros volume de données par celui consistant à concevoir et mettre en place un mécanisme d'étiquetage automatique.

La technique consiste à prendre un ensemble de données en entrée et à en cacher une partie. L'algorithme doit alors analyser les données restées visibles pour prédire les données cachées. C'est la partie « non supervisée » puisqu'il n'y a pas eu de labellisation ; mais avec ceci de particulier que l'algorithme a créé lui-même les données labellisées qu'il pourra utiliser lors de la phase de l'apprentissage supervisé où il s'agira de procéder par exemple à une classification.

C'est un peu l'apprentissage auto-supervisé que l'enfant applique quand on lui demande de compléter une phrase en trouvant le mot manquant. De cette façon, il comprendra mieux la signification de ce mot, et pourra ensuite constituer d'autres phrases avec le même mot.

Dans la phrase ci-dessous, on avait préalablement masqué le mot « femelles ». Mais une fois que l'enfant avait réussi à découvrir que c'est ce mot qui permettait de compléter la phrase, alors il s'était trouvé en mesure de l'utiliser comme mot-clé dans d'autres phrases qu'il pourra constituer par la suite.

« Dans la savane africaine, le lion mâle est chargé de défendre le territoire, et les femelles s'occupent de la chasse. »

L'apprentissage auto-supervisé est très utilisé dans les outils de traitement du langage naturel pour rédiger du texte, faire de la traduction de texte, engager des conversations avec les *chatbots*, etc. Mais cette forme d'apprentissage est également employée en vision artificielle lorsqu'il s'agit par exemple de compléter ou de transformer une image. L'un des principaux avantages de l'apprentissage auto-supervisé est qu'avec lui, on n'aura plus nécessairement besoin de gros volumes de données préalablement labellisées⁸², puisque l'algorithme va se charger de cette tâche.

4. L'apprentissage par renforcement est parfois qualifié d'essais-erreurs, en ce sens que la machine doit prendre une décision optimale; et pour cela elle apprend de ses erreurs en essayant plusieurs décisions. A chacune de ses décisions, elle reçoit une réponse sous forme de « récompense » (si elle se rapproche de la bonne décision) ou de « punition » (si elle s'en éloigne). La récompense peut être une note (faible ou élevée), une couleur (vert ou rouge), ou même une véritable contrainte plus ou moins physique telle qu'une alarme qui retentit ou un obstacle qui est percuté.

C'est un peu l'apprentissage par renforcement que l'enfant applique quand il apprend à marcher; il ajuste sa position après chaque tentative

⁸² Il existe (en Inde notamment) des entreprises qui emploient des dizaines de jeunes chargés d'affecter des labels à des millions de données (texte, images, etc); ce sont les « annotateurs de données ».

suivie d'une chute, jusqu'à ce qu'il trouve le bon équilibre et la bonne attitude.

Vous pouvez aisément imaginer que ce type d'apprentissage est utilisé par les véhicules autonomes où des capteurs produisent un type de signal en fonction de la direction prise par le véhicule. Mais l'apprentissage par renforcement est également utilisé dans le domaine médical pour le dosage optimal des médicaments, dans le *gaming* lorsqu'il faut étalonner les difficultés d'un jeu vidéo, ou encore dans la finance pour les opérations de *trading*.

« L'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage auto-supervisé et l'apprentissage par renforcement sont les principaux types d'apprentissage en machine learning. »

Le diagramme ci-dessous récapitule ces quatre principaux types d'apprentissage qui viennent d'être décrits, ainsi que certains de leurs usages.

Les quatre principaux types d'apprentissage en machine learning



Dans la pratique, il arrive que l'on combine plusieurs méthodes d'apprentissage de manière séquentielle; on parle « d'approches hybrides ». Par exemple, une société de téléphonie mobile va utiliser l'apprentissage non supervisé afin d'identifier des groupes de clients aux comportements similaires quant à leurs habitudes de fidélité à certains services. Puis elle va utiliser l'apprentissage supervisé pour déterminer la

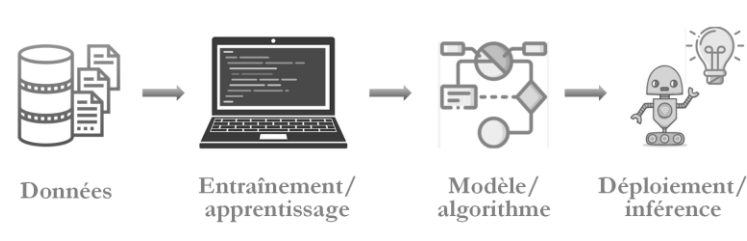
probabilité qu'un nouveau client bien précis appartienne à l'une des catégories identifiées précédemment.

A côté de ces quatre approches d'apprentissage (supervisé, non supervisé, auto-supervisé, par renforcement) qui sont les plus courantes, il en existe d'autres qu'il n'est peut-être pas nécessaire de développer dans le cadre de cet entretien et de cet ouvrage généraliste: l'apprentissage semi-supervisé, l'apprentissage par transfert, etc.

Cependant quelle que soit l'approche, les méthodes d'apprentissage ont ceci de commun qu'elles comporteront toujours deux grandes phases :

- La première phase est celle de l'**apprentissage** à proprement parler, qui consistera pour la machine à construire le bon modèle en ajustant les paramètres à partir des données reçues en entrée en ayant appris la structure de ces données, c'est-à-dire les relations qui existent entre elles; on parle également de phase d'**entraînement** ou de **formation**.⁸³
- La seconde phase est celle du **déploiement du modèle** où il s'agira d'utiliser celui-ci pour effectuer la tâche attendue (par exemple identifier un visage, faire une traduction de texte, faire une prévision, etc); on parle alors d'**inférence**.

Les quatre blocs du machine learning



Il est également important de noter que l'ordinateur ne pouvant traiter que des nombres, des transformations devront être opérées lorsque les entrées ne sont pas numériques :

⁸³ La phase d'entraînement du modèle peut, dans le cas de certaines problématiques complexes telles que les IA génératives, durer plusieurs jours, voire des semaines, pendant lesquels l'ordinateur ne fait que tourner.

- dans le cas où il s'agit d'une image, on utilisera les **valeurs des pixels** qui la composent⁸⁴;
- dans le cas où il s'agit d'un mot, on utilisera la technique du « **plongement** » (*word embedding* en anglais), qui consiste à représenter les mots sous forme de nombres.

Revenons maintenant sur les courants scientifiques de l'IA...

Vous vous rappelez que lorsqu'a été introduite l'approche connexionniste ou par apprentissage automatique de l'intelligence artificielle, il a été fait allusion à la volonté de simuler le fonctionnement des neurones humains, notamment dans leurs interconnexions; c'est d'ailleurs pourquoi on parle parfois de « connexionnisme » pour qualifier l'IA par apprentissage automatique.

Donc pendant cette phase du « renouveau de l'IA », certains scientifiques vont s'inspirer fondamentalement du fonctionnement du cerveau humain, et plus particulièrement des neurones biologiques; puis ils vont créer des algorithmes prenant alors le nom de **réseaux de neurones artificiels**.

« Les réseaux de neurones artificiels sont une technique de l'IA par apprentissage automatique où l'on cherche à imiter le fonctionnement du cerveau humain. »

Considérés comme les algorithmes fondamentaux de l'IA par apprentissage automatique, les **réseaux de neurones artificiels** fonctionnent en apprenant de données. Ces dernières sont d'abord introduites dans le réseau, et le réseau essaie alors de trouver des relations entre elles. Ces relations sont ensuite utilisées pour prédire ou générer de nouvelles données.

Un réseau de neurones est composé d'un ensemble de neurones artificiels, qui sont des unités de traitement simples, connectées les unes aux autres, et qui peuvent effectuer des calculs simples.

⁸⁴ En effet, une image est un ensemble de pixels. Chaque pixel est caractérisé par une couleur dans le répertoire RGB (Red-Green-Blue).

Dans un réseau, les neurones sont disposés en trois rangées appelées couches : une couche d'entrée, une ou plusieurs couches intermédiaires appelées couches cachées, et une couche de sortie.

- La **couche d'entrée** est responsable de la réception des données d'entrée. Il peut s'agir d'un tableau de nombres, d'un texte, d'une image, d'un son, etc. Toutes ces données sont présentées sous forme de chiffres afin de pouvoir être traitées par l'ordinateur. La couche d'entrée peut être composée d'un nombre quelconque de neurones, chacun représentant une caractéristique des données d'entrée.
- La **couche cachée** est responsable de la transformation des données d'entrée en une forme qui peut être comprise par la couche de sortie.
- La **couche de sortie**, qui est la dernière couche d'un réseau de neurones artificiels, est responsable de la production des données de sortie. C'est elle qui va générer le résultat attendu qui peut être un nombre, une catégorisation, un texte, une image, etc.

Le nombre de couches, le nombre de neurones dans chaque couche et la manière dont les neurones sont connectés entre eux peuvent varier en fonction de la tâche à accomplir.

Les réseaux de neurones artificiels à une seule couche cachée sont appelés **réseaux perceptron monocouche**; ils sont très utilisés par les entreprises dans le cadre de la *data analytics*, et plus précisément pour des activités telles que l'affectation des clients à un groupe spécifique, la prédiction de la défaillance d'un client, des prédictions commerciales ou météorologiques, etc.

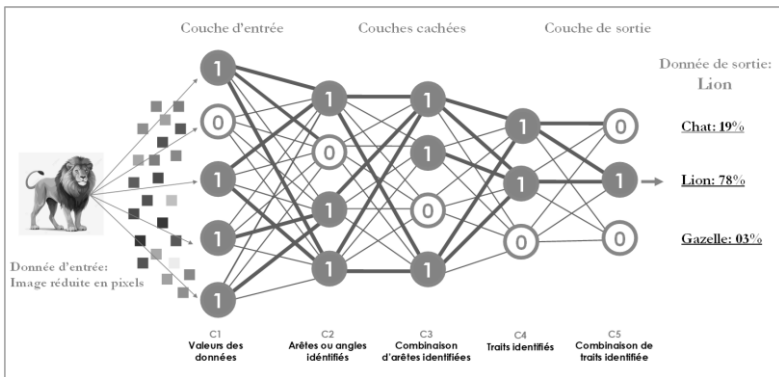
Les réseaux de neurones artificiels avec plusieurs couches cachées sont appelés **réseaux profonds** (*deep learning* en anglais). Ils sont capables de résoudre des problèmes plus complexes, et notamment la reconnaissance faciale, la reconnaissance vocale, la traduction automatique, une conversation, la génération d'une image ou d'une vidéo, la conduite autonome, etc.

Le choix du nombre de couches (on parle de profondeur du réseau) et du nombre de neurones par couche (largeur du réseau) dépend à la fois :

- de la nature de la tâche à exécuter, selon qu'il s'agit d'une prédiction, d'une classification, de la reconnaissance d'une image, de la traduction d'un texte, de la génération d'une image, etc;
- de l'expérience et de la perspicacité du spécialiste en intelligence artificielle.

Afin de schématiser le fonctionnement d'un réseau de neurones artificiels (sans cependant utiliser d'éléments mathématiques), nous allons prendre un exemple assez classique. Il s'agit d'identifier l'animal qui figure sur la photo (à gauche) selon qu'il s'agit d'un chat, d'un lion ou d'une gazelle. En langage de spécialiste, c'est une tâche de classification (jargon de la data science) ou de reconnaissance de forme (jargon de l'intelligence artificielle).

Illustration d'un réseau de neurones artificiels pour la reconnaissance de forme



Le réseau de neurones fait circuler des données d'entrée (ici une image) converties en valeurs numériques, à travers les différentes couches.

Ce n'est qu'à partir d'un certain seuil dit "seuil d'excitation" qu'un neurone décide de transmettre un signal à un neurone de la couche suivante. La valeur 1 apparaît lorsque le neurone envoie un signal, et la valeur 0 lorsqu'aucun signal n'est envoyé.

Chaque couche met en évidence de nouvelles caractéristiques des données reçues. Et c'est là qu'opère en quelque sorte la « **magie mathématico-statistique** » de l'algorithme de réseaux de neurones artificiels.

A la fin, le neurone le plus activé permet de déduire le résultat de la tâche. Ici, il s'agit d'une probabilité (*scoring*); 78% de chances que l'image représente un lion.

« Le Deep Learning (ou apprentissage profond) est un type d'apprentissage automatique qui utilise un réseau de neurones comportant plusieurs couches cachées ; ce qui lui permet de traiter des problèmes complexes. »

Etant donné que l'ordinateur travaille essentiellement avec des données numériques, vous vous demandez probablement comment sont alors traitées les autres formes de données, et notamment les textes, les images, le son, etc. Dans le domaine de l'IA, un « vecteur »⁸⁵ est généralement utilisé pour représenter des données numériques, ce qui permettra ensuite à l'ordinateur de procéder aux calculs mathématico-statistiques nécessaires.

Il faut garder à l'esprit que nous sommes toujours dans l'approche d'intelligence artificielle qualifiée d'apprentissage automatique (*machine learning*); laquelle approche bénéficie de développements réguliers depuis la fin des années 1990. La création de nouveaux algorithmes de *machine learning* est en outre facilitée au début des années 2000 par la disponibilité de grandes masses de données (le carburant de l'IA) générées par la révolution numérique, et que l'on retrouve sur internet et ailleurs, à travers ce que l'on appelle le ***Big Data***.

Il faut cependant savoir que, même si les algorithmes des réseaux de neurones artificiels (et notamment le *deep learning*) constituent de nos jours l'essentiel de l'apprentissage automatique, cette approche ne se limite pas qu'à ces algorithmes. Il existe de nombreuses autres techniques issues de la Data Science, plus précisément du *Data Mining*⁸⁶.

« A côté des réseaux de neurones artificiels, existent d'autres techniques appartenant à l'IA par apprentissage automatique; notamment les techniques de régression, les arbres de décision, les algorithmes de clustering, etc.»

⁸⁵ Rappel mathématique : un vecteur est une liste ordonnée de nombres. Par exemple, dans un espace à trois dimensions (donc 3 axes : x, y et z), un vecteur pourrait être représenté comme [2, 5, 8], où chaque nombre représente une dimension spécifique.

⁸⁶ Encore appelé « fouille des données », car il s'agit d'utiliser des techniques mathématico-statistiques pour extraire des informations à partir d'immenses tableaux de données.

Il y a donc d'abord les **techniques de régression**, comme l'exemple en encadré sur la détermination du loyer des logements d'habitation. Le principe est qu'il y a un élément (une variable à expliquer) dont vous souhaitez déterminer la valeur; et vous savez que cette valeur dépendra des valeurs prises par d'autres variables (dites explicatives).

Dans l'exemple de la détermination du loyer, celui-ci (le loyer) était la variable à expliquer, dont vous cherchiez la valeur en fonction des valeurs des variables explicatives que constituaient le nombre de pièces, la superficie, etc. Il faudra alors pour cela établir une équation mathématique permettant de mettre en relation toutes ces variables; c'est le rôle de l'algorithme d'intelligence artificielle. Vous imaginez donc que la technique dite de régression est très prisée pour l'élaboration de prévisions, par exemple en ce qui concerne:

- la prévision des ventes d'une entreprise en fonction des dépenses de communication, du nombre de commerciaux, du prix du produit, etc;
- la prévision de taux de réussite des élèves à un examen en fonction des résultats observés dans l'année, du taux d'absentéisme, des taux de réussite passés, etc;
- les prévisions météorologiques et l'impact des pluies sur la production agricole, etc.

Ce qui vient d'être présenté est plus précisément appelé **régression linéaire**. C'est la technique de régression la plus utilisée; mais il en existe d'autres, selon la nature de la variable à expliquer.

Il existe ainsi la **régression de Poisson**, lorsque la variable à expliquer résulte d'un processus de comptage pendant un intervalle de temps bien défini⁸⁷. C'est le cas par exemple lorsque vous attendez d'une IA qu'elle prédise :

- le nombre de buts qu'une équipe va marquer lors d'un match de football;
- le nombre d'appels d'urgence lors d'un événement donné;
- le nombre de fois où un guichet automatique fera l'objet d'une fraude à la fraude bancaire;
- le nombre de passagers qui souffriront de rhinite dans un avion lors d'un vol, etc.

⁸⁷ Cela découle d'une loi statistique dite « loi de Poisson ».

On peut également citer la **régression logistique**, qui est utilisée lorsque la variable à expliquer se présente sous la forme de catégories ou de classes⁸⁸. Cela se ramène à de la classification; celle-ci étant prise dans le sens de l'affectation à une classe déterminée. Et il s'agit également là d'une technique très utilisée en intelligence artificielle, et notamment :

- lorsqu'une entreprise désire affecter un client à un groupe de clients ayant des comportements d'achat similaire;
- lorsqu'une banque souhaite catégoriser un demandeur de crédit selon qu'il est « à risque élevé », « à risque moyen » ou « à risque faible »;
- lorsqu'il s'agit de classer les emails en réguliers ou *spams* comme nous l'avons vu au début de l'entretien s'agissant de M. Lionel Mateck;
- lorsqu'un institut de santé souhaite procéder à un diagnostic médical afin d'identifier les individus à risque pour une maladie donnée.

Dans l'un comme dans l'autre de ces quatre exemples, il s'agira d'utiliser de nombreuses variables explicatives afin de déterminer la classe correspondante de la variable à expliquer.

Illustrons cela avec le diagnostic médical, qui a ceci de particulier qu'il peut être fait en utilisant les deux grandes approches de l'intelligence artificielle.

- L'IA symbolique sera sollicitée à travers les systèmes experts, où un ensemble de règles permettra de déterminer la probabilité qu'un individu soit (en fonction de certains symptômes ou éléments descriptifs) atteint d'une maladie donnée; un peu comme nous l'avons vu auparavant avec l'exemple sur la détection du paludisme.
- Mais le diagnostic médical peut également se faire par le biais de l'apprentissage automatique. Il s'agit alors de fournir de nombreuses données à l'ordinateur, de telle sorte que celui-ci apprenne la structure de ces données, puis établisse un modèle (ou une équation) mathématico-statistique permettant de classer les individus selon qu'ils sont probablement atteints d'une maladie donnée ou non. Il s'agit donc de l'affectation d'un individu à une classe.

⁸⁸ Le résultat d'une régression logistique est toujours situé entre 0 et 1. Si ce résultat est proche de 0, la probabilité que l'événement survienne (ou qu'il y ait appartenance à une classe donnée) est faible; si ce résultat est proche de 1, la probabilité est forte.

Il convient de noter que d'autres techniques d'apprentissage automatique (arbres de décision, réseaux de neurones artificiels, etc) auraient également pu être utilisées dans le cadre d'un tel projet.

Toute la difficulté des modèles de régression (que ce soit la régression linéaire, la régression de Poisson ou la régression logistique) consistera pour la machine à optimiser les paramètres de l'équation mathématique permettant de réaliser les prévisions ou les classifications.

« Les algorithmes de clustering constituent une technique de machine learning utilisant l'apprentissage non supervisé afin de regrouper des objets ou des individus par similitudes. »

Une autre famille de techniques d'apprentissage automatique issues du *data mining* concerne les **algorithmes de clustering**, ou regroupement par similitudes. Ces algorithmes sont souvent utilisés pour les systèmes de recommandation dans les réseaux sociaux comme nous l'avons vu concernant Facebook et TikTok avec M. Lionel Mateck.

Le *clustering* est également utilisé lorsqu'une entreprise désire regrouper ses clients selon leurs ressemblances sur plusieurs critères à la fois (comportement d'achat, attitude vis-à-vis d'un produit ou d'une entreprise, profil sociodémographique, etc). D'ailleurs le *clustering* est d'un usage beaucoup plus large que ce qu'on pourrait croire. On l'utilise notamment lorsque l'on désire:

- élaborer une typologie des plaintes des clients, afin de mieux caractériser ces plaintes et d'être en mesure de les résoudre;
- identifier des comportements atypiques des clients d'une banque, comportements pouvant suggérer une fraude à la carte bancaire;
- identifier des employés dont les caractéristiques particulières en feraient des influenceurs (on dit également « *champions* ») pour véhiculer les valeurs d'une entreprise;
- regrouper des mots et des expressions tirés d'un document afin de trouver des thèmes pertinents et d'intérêt;
- analyser les statistiques d'une équipe de football sur toute la saison afin d'identifier ses périodes critiques de vulnérabilité;
- répartir les différentes circonscriptions électorales en groupes homogènes afin de mieux cibler le programme d'un parti politique;

- regrouper certaines zones géographiques en fonction des données géologiques et géochimiques permettant de caractériser le sous-sol minier, etc.

Les algorithmes de *clustering* les plus utilisés sont :

- L'algorithme des K-moyennes (*K-means* en anglais), où l'on fixe d'avance un nombre désiré de *clusters* (**K**). On va alors commencer par une partition initiale des objets en ce nombre **K** de *clusters*. Puis on va assigner chaque objet au *cluster* dont le centre (également appelé *centroïde*) est le plus proche.
- Les algorithmes de classification hiérarchique. Il s'agit d'un ensemble de techniques où, d'une part le nombre de groupes n'est pas fixé à l'avance, et d'autre part on procède par divisions successives ou par regroupements successifs des objets en partant des critères qui les différencient le plus.

De par leur nature, les algorithmes de *clustering* utilisent évidemment l'apprentissage non supervisé, puisqu'il n'y a pas de labellisation en ce sens que l'on ne sait pas d'avance à quelle catégorie va appartenir chacun des objets ou des individus de la base de données. C'est l'ordinateur qui se chargera d'identifier les similitudes.

A côté de ces méthodes de *machine learning* issues des techniques traditionnelles de *data mining* et ne s'apparentant pas aux réseaux de neurones artificiels, on peut également citer les **règles d'association**, les **arbres de décision**, et bien d'autres techniques. Et (ceci est un rappel) il faut bien comprendre que quelle que soit la technique utilisée, le processus de l'approche d'IA par apprentissage automatique sera toujours suivi, à savoir :

- collecter un vaste ensemble de données;
- apprendre la structure de ces données sur un échantillon d'apprentissage;
- mesurer la qualité de l'algorithme sur un échantillon de test;
- avant de procéder finalement au déploiement du modèle.

« Les arbres de décision ont la particularité, selon l'usage qui en est fait, d'appartenir à la fois à l'IA symbolique et à l'IA par apprentissage automatique. »

Revenons un instant sur les **arbres de décision**, qui ont d'ailleurs fait l'objet d'une illustration avec l'exemple du distributeur de billets vu dans le cadre de l'approche symbolique. Les arbres de décision occupent une place à part dans les modèles d'intelligence artificielle car ils ont une double particularité.

- Primo, les arbres de décision constituent un exemple de technique de *machine learning* (apprentissage automatique) n'utilisant pas les réseaux de neurones artificiels.
- Secundo, les arbres de décision appartiennent aux deux courants scientifiques de l'IA: l'approche symbolique lorsqu'il s'agit de définir des règles que la machine va suivre comme dans l'exemple du distributeur de billets; mais également l'approche par apprentissage automatique lorsque la machine trouve par elle-même les règles à appliquer après avoir examiné des données.

L'exemple de l'apprentissage de la traversée d'une route à un enfant en cas d'absence de feux de signalisation et de bandes de passage piétons est assez illustratif à ce sujet. Imaginons deux cas : A et B.

Cas A. On peut demander à l'enfant de suivre scrupuleusement certaines étapes bien précises. Cela peut être par exemple :

*S'arrêter sur le trottoir, Puis regarder à droite et à gauche.
SI le véhicule le plus proche est à plus de 50 mètres et ne roule pas à vive
allure,
ALORS traverser, etc.*

C'est bien évidemment l'approche symbolique (raisonnement logique à base de règles) de l'IA qui a été utilisée dans ce cas.

Cas B. Mais on peut également laisser l'enfant observer des dizaines, voire des centaines de gens traverser la route. Il en déduira de lui-même comment ces gens procèdent. Puis il appliquera cette méthode d'abord sur une route peu fréquentée, et ensuite sur des rues à plus grand trafic. On vient d'appliquer l'approche par apprentissage de l'IA.

Dans les deux cas, la méthode utilisée par l'enfant peut être représentée par un arbre de décision; sauf que dans le premier cas, les règles ont été enseignées à l'enfant (approche symbolique) afin qu'il les applique; alors que dans le second cas, c'est l'enfant (ou son cerveau) qui a lui-même découvert ces règles (approche par apprentissage).

En conclusion et à titre de rappel, il existe donc deux grandes approches de l'intelligence artificielle que constituent l'IA symbolique et l'IA par apprentissage automatique; et le choix de l'approche à adopter dépendra de la nature du problème (prévision des ventes, diagnostic d'une maladie, traduction d'un texte, génération d'une image, reconnaissance faciale, etc); chaque approche étant adaptée à des cas spécifiques.

Il faut en outre être conscient des avantages et des inconvénients de chacune d'elles; ce que le tableau ci-dessous a la prétention de résumer.

Avantages et inconvénients des deux approches de l'IA

	Avantages	Inconvénients
IA Symbolique (raisonnement logique à base de règles)	• Structure et démarche faciles à visualiser • Résultats faciles à expliquer • Faible consommation de ressources énergétiques	• Incapacité à traiter les problèmes de reconnaissance d'objets et d'autres problèmes complexes • Impossibilité de résumer en des règles l'ensemble des connaissances de certains sujets complexes • Incapacité à apprendre de nouvelles tâches sans programme explicite
IA par Apprentissage Automatique (<i>Machine Learning</i>)	• Adaptée à la résolution de problèmes complexes • Adaptée au traitement de gros volumes de données • Capacité à s'améliorer à partir de nouvelles données	• Nécessite un gros volume de données pour obtenir un résultat convaincant • Impossibilité d'expliquer la démarche ayant abouti au résultat produit • Risque de biais liés aux données • Grosse consommation d'énergie pour faire tourner les ordinateurs

Après cet intermède assez technique, revenons à l'histoire de l'IA...

La prise en compte de la diversité de l'intelligence humaine et des différents types d'apprentissage a amené les scientifiques à imaginer des algorithmes d'intelligence artificielle adaptés à des situations bien spécifiques.⁸⁹ C'est ainsi que sont nés par exemple :

- ✓ les **réseaux de neurones récurrents** (*Recurrent Neural Networks-RNN*) par John Hopfield (et leur variante les réseaux **Long Short Term Memory-LSTM**), qui traitent les informations de manière séquentielle; chaque élément (texte, chiffre) d'une séquence dépendant des éléments qui le précèdent. Ces algorithmes sont donc adaptés au traitement du langage naturel (reconnaissance de la parole, traduction de texte, etc), mais également aux tâches de prévision en analysant des séries de chiffres;
- ✓ les **réseaux de neurones à convolutions** (*Convolutional Neural Networks-CNN*) par Yann LeCun⁹⁰, qui utilisent des opérations mathématiques afin d'extraire les caractéristiques d'une image. Ils sont donc adaptés à la vision artificielle (reconnaissance des objets, détection de visages, identification faciale, analyse de photos, traitement du son⁹¹, etc).

Il ne faut pas oublier l'influence de Geoffrey Hinton qui avait pu démontrer au début des années 2010 que le *deep learning* parvenait à diminuer très significativement les taux d'erreurs; ainsi que celle du Pr. Yoshua Benjio, autre icône et précurseur de l'approche par apprentissage automatique.⁹²

Ces algorithmes ont en outre pu devenir concrets et être mis en activation dans les ordinateurs, certes grâce à la disponibilité de grandes masses de données comme mentionné précédemment s'agissant du Big

⁸⁹ Déjà, au début des années 1970 avait été créé un réseau de neurones artificiels très utilisé dans la *data analytics* (le Perceptron Multicouches ou *Multilayer Perceptron-MLP*).

⁹⁰ Les bases de la recherche sur les réseaux de neurones convolutifs avaient cependant été posées par le japonais Kunihiko Fukushima en 1980.

⁹¹ Le son est alors représenté sous forme de spectre de fréquences et d'ondes vocales. Le CNN est notamment utilisé pour le fameux OK Google!

⁹² Geoffrey Hinton, Yann Lecun et Yoshua Benjio ont reçu ensemble le prix Turing en 2019, sorte de prix Nobel d'informatique.

Data, mais également grâce à la disponibilité de langages de programmation adaptés et à leurs extensions dédiées, et enfin grâce à l'explosion de la puissance de traitement des ordinateurs (la loi de Moore stipulant que la vitesse et la capacité de mémoire des ordinateurs doublent tous les deux ans).

Tout ce qui précède, et qui concerne notamment les implications de la recherche scientifique dans le domaine de l'intelligence artificielle, a donc débouché sur des succès encourageants tels que :

- l'ordinateur DeepBlue qui bat le champion du monde du jeu d'échecs Gary Kasparov en 1997⁹³ alors que ce dernier était sorti victorieux de leur première confrontation en 1996;
- le premier robot-animal (AIBO) en 1999, qui sera amélioré quelques années plus tard grâce à l'apprentissage par renforcement;
- la victoire d'un véhicule autonome (Stanley) lors du challenge de course automobile DARPA en 2005 qui se déroulait sur un circuit d'une longueur de 212 km;⁹⁴
- l'arrivée de l'assistant personnel et vocal Siri de Apple en 2007;
- le programme d'IA d'Andrew Ng qui apprend à reconnaître un chat sans qu'on lui ait appris ce qu'est un chat (2012);
- le programme DeepFace de Facebook en 2014, qui atteint 97% d'efficacité dans la reconnaissance faciale, etc.

Les trois derniers exemples ci-dessus (assistance vocale, reconnaissance faciale et d'image) ont ceci de particulier qu'avec son entrée dans les smartphones à l'orée des années 2010, l'intelligence artificielle va commencer à devenir grand public; ce qui va contribuer à accélérer son développement, créant ainsi une première vague d'adoptions. Donc si ces usages (détection d'objet, identification faciale, reconnaissance vocale, traduction de texte, etc) sont très courants de nos jours, ils le doivent fondamentalement aux recherches faites par les scientifiques pendant cette 6^{ème} période de l'histoire de l'intelligence artificielle.

⁹³ Même s'il s'agissait encore d'un algorithme de recherche ou de « force brute » (et donc une IA symbolique) où tous les coups envisageables étaient évalués et pondérés.

⁹⁴ Le DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) est une agence du département de la Défense des États-Unis chargée de la recherche et développement des nouvelles technologies destinées à un usage militaire.

La **reconnaissance de forme** mérite une attention particulière. Comme déjà mentionné dans le cadre du module 3 de cette conversation, les tâches liées à la reconnaissance de forme (ou la vision artificielle de manière générale) sont parmi les plus courantes de l'IA de nos jours. Elles concernent en effet des activités telles que la reconnaissance d'objet sur une image, l'identification faciale, la reconnaissance d'empreintes digitales, la reconnaissance de signature, la reconnaissance de la parole, la localisation d'objets, la détection de produits défectueux, l'analyse de photos aériennes et d'images de satellite, etc.

La reconnaissance de forme est rendue possible de manière très fiable grâce à la famille des **réseaux de neurones convolutifs ou à convolutions (CNN ou *ConvNets*)**⁹⁵ évoqués précédemment, dont les applications concrètes sont d'une grande diversité. Ce sont eux qui sont par exemple utilisés:

- pour déverrouiller votre smartphone ou votre ordinateur portable en reconnaissant votre visage ou votre empreinte digitale;
- en robotique, pour faciliter la mobilité des robots, localiser et manipuler les objets;
- dans le traitement des images médicales (électrocardiogramme, radiographie, etc) pour diagnostiquer des maladies;
- sur Google, lorsque vous faites une recherche d'image, et notamment pour le filtrage des résultats de recherche par taille, ou type d'image;
- en agriculture, pour identifier les cultures et les zones à fertiliser à partir des images aériennes, ou pour détecter des parasites;
- dans les voitures autonomes, pour aider la voiture à identifier les autres véhicules, les piétons, les panneaux de signalisation, etc;

En outre, les réseaux convolutifs (*CNN*) sont intégrés dans de nombreux algorithmes qui permettent de générer de nouvelles images réalistes; ce qu'on appelle les **IA Génératives**.

Pour comprendre le **principe de fonctionnement** des réseaux de neurones convolutifs, on peut faire une analogie avec un enfant comme lorsqu'avaient été présentés les quatre types d'apprentissage (supervisé, non supervisé, auto-supervisé, par renforcement).

⁹⁵ On parle de famille de techniques, car il existe plusieurs variantes qui dérivent cependant toutes des *ConvNets* originels. On trouve ainsi AlexNet, ResNet, U-Net, etc.

- Un enfant dispose d'un jeu de puzzle où il doit assembler des images. Les pièces du puzzle sont toutes différentes, mais certaines ont des éléments en commun : des bords, des couleurs, des formes, des textures, etc.
- L'enfant va alors analyser chaque pièce pour identifier ces caractéristiques importantes (bords, textures, formes, couleurs). Puis il va assembler les pièces en fonction de ces éléments pour reconstituer l'image entière.

En s'inspirant donc de ce principe, voici comment les réseaux convolutifs "apprennent".

1. On leur montre des centaines, voire des milliers d'images, par exemple des photos de voitures.
2. Ils analysent chaque image et la découpent en petits morceaux, comme les pièces d'un puzzle.
3. Ils examinent chaque morceau et identifient les éléments importants, comme les roues, les vitres, les phares, etc.
4. Ils apprennent à assembler ces éléments pour reconnaître une voiture; même si la voiture est de couleur différente, si elle est de face ou de profil, ou selon que son châssis est long ou court.

Une fois que les réseaux convolutifs ont appris à reconnaître un objet, ils peuvent être utilisés pour trouver l'objet dans une nouvelle image (l'inférence). Par exemple, si vous montrez au CNN une photo d'un parc, il peut identifier toutes les voitures qui s'y trouvent.

La Journaliste :

Au risque de me tromper, je crois que nous entrons alors dans une nouvelle ère de l'IA...

Mme IA :

Vous avez effectivement raison. Les choses s'accélèrent à partir des années 2010...

7. Le boom de l'intelligence artificielle, « révolution des usages » (depuis le milieu des années 2010).⁹⁶

Si la période précédente (celle du renouveau de l'IA), avait déjà permis aux scientifiques de rivaliser d'ingéniosité dans la recherche d'algorithmes adaptés à des problématiques bien précises, la période actuelle est caractérisée par une intensification de la recherche collaborative entre les scientifiques (avec les synergies technologiques évidentes), et la prise de conscience de nouveaux usages de l'IA; ce qui permet de poursuivre la création de nouvelles approches algorithmiques.

Si vous entendez parler des **auto-encodeurs variationnels** (*Variational Auto-Encoders-VAE* en anglais), des **réseaux génératifs antagonistes** (*Generative Adversarial Networks-GAN*), ou des réseaux de type *Transformers*, alors il s'agit de quelques-uns de ces nouveaux algorithmes⁹⁷. Et de nombreux autres sont créés chaque mois dans le monde afin :

- soit d'améliorer les performances des modèles existants, dans le sens de la réduction des erreurs ou d'un gain de précision;
- soit de gagner en productivité, en utilisant moins de données ou moins d'énergie pour faire tourner les algorithmes.⁹⁸

La création de nouveaux algorithmes d'intelligence artificielle se traduit alors concrètement par **l'explosion du développement-produit**⁹⁹: C'est dans ce sens qu'on observe :

- le boom des assistants virtuels que vous utilisez dans vos smartphones (Alexa, Siri, etc), et dont certains contribuent à l'amélioration de la productivité de certains employés en entreprise;

⁹⁶ On parle de "révolution des usages" en référence à l'utilisation des IA génératives par le grand public.

⁹⁷ Les réseaux VAE ont été introduits en 2013 par D. Kingma et M. Welling, les réseaux GAN ont été créés par Ian Goodfellow en 2014, et les réseaux *Transformers* par des chercheurs de Google en collaboration avec l'Université de Toronto en 2017.

⁹⁸ Les ordinateurs consomment effectivement beaucoup d'énergie pour faire tourner les processeurs, notamment lors de la phase d'apprentissage qui peut durer plusieurs jours, voire des semaines.

⁹⁹ Il convient en effet faire la distinction entre les découvertes scientifiques ou recherche fondamentale (par exemple de nouveaux algorithmes), et le développement-produit ou recherche appliquée (par exemple Alexa, ChatGPT, Midjourney).

- la prolifération des robots humanoïdes tels que Sophia (qui est capable d'imiter les expressions faciales d'une femme), Pepper (qui est utilisé dans l'hôtellerie et la restauration), Atlas (qui est capable de manier des outils et de conduire une voiture);
- l'amélioration de la précision de la vision artificielle (par exemple la reconnaissance faciale ou les lecteurs d'empreintes digitales);
- l'amélioration de la qualité du traitement du langage naturel, et notamment en termes de traduction de texte et de dialogue entre l'homme et l'ordinateur¹⁰⁰;
- l'émergence, suivie de la popularisation, des produits issus des IA génératives (tels que Chat-GPT, Google BARD/Gemini, Claude, Dalle-E, Midjourney, Stable Diffusion, etc), capables de produire de vastes ensembles de textes tels que des conversations ou des descriptions, de générer des images qui semblent totalement réelles (ou d'en modifier certaines), de composer de la musique ou des vidéos, et même de produire des codes informatiques; et cela grâce aux nouveaux algorithmes qui ont été mentionnés il y a quelques instants (*GAN*, *VAE*, *Transformers*, et bien d'autres)¹⁰¹.

« L'IA Générative est un type d'intelligence artificielle qui génère, à partir d'une instruction, des nouveaux contenus comme du texte, des images, de la musique, des vidéos, des codes informatiques, etc. »

C'est l'occasion de préciser qu'on distingue trois types d'intelligence artificielle selon la nature ou le type de résultat obtenu.

- Les **IA analytiques** produisent des résultats découlant d'une analyse des données. Les IA analytiques sont les plus courantes, et on retrouve ici des tâches telles que la reconnaissance d'une image, les prévisions, le diagnostic médical, l'identification d'anomalies telles que les fraudes, le *clustering*, les systèmes de recommandation, la visualisation des données, etc.

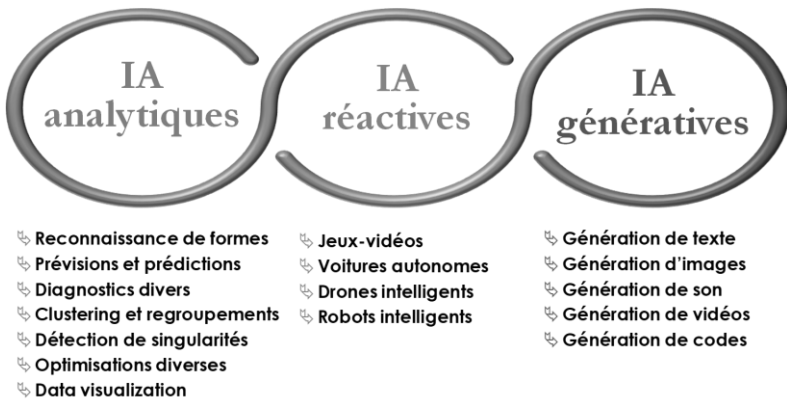
¹⁰⁰ Les *chatbots*, ainsi que le « *speech-to-text* » et le « *text-to-speech* ».

¹⁰¹ De l'avis de plusieurs spécialistes, les IA génératives constituent le facteur déterminant de cette étape (ce boom) de l'IA; phénomène qui débute donc au milieu des années 2010, mais qui va s'accélérer dès le début des années 2020.

- Les **IA réactives (ou décisionnelles)** se distinguent par le fait que la machine (ou l'agent) pose un acte en fonction de l'état de son environnement. C'est donc évidemment le cas des robots intelligents, des voitures autonomes, des drones intelligents, des jeux-vidéos, etc.
- Les **IA génératives** produisent donc du contenu sous forme de texte, d'image, de son, de vidéo, de codes informatique; et cela en analysant les caractéristiques tirées de grands volumes de données.

Il faut cependant savoir qu'il n'est pas impossible de combiner plusieurs de ces types d'IA. C'est notamment le cas des voitures autonomes qui vont reconnaître des panneaux de signalisation ou des piétons (IA analytique), qui pourront éviter des obstacles sans intervention humaine (IA réactive), et qui pourront même dialoguer avec le passager (IA générative).

Une autre typologie des IA



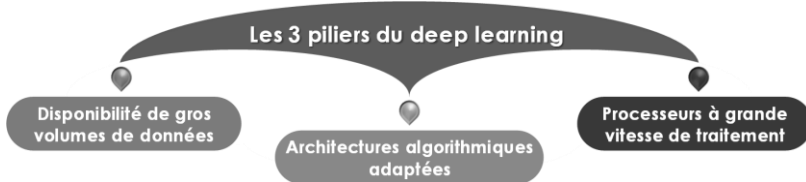
Le diagramme ci-dessus est d'une grande utilité pratique et mnémotechnique. En effet, chaque fois que vous souhaitez imaginer ou identifier les applications de l'intelligence artificielle dans un domaine bien précis, vous n'aurez qu'à vous demander lequel ou lesquels de ces trois types d'IA peut s'appliquer.

Par exemple, dans le cas des usages domestiques de l'IA, on pourra distinguer:

- l'IA analytique, pour la fourniture des informations du jour selon vos champs d'intérêt, suivie de la diffusion de vos musiques préférées, ou encore pour l'optimisation du budget familial;
- l'IA générative, pour la constitution d'une liste d'achat, ou pour la génération d'une recette de cuisine;
- l'IA décisionnelle/réactive, pour l'activation automatique des lumières ou de la climatisation en fonction de l'état de l'environnement (luminosité, température, présence humaine).

Donc depuis les années 2010, l'intelligence artificielle connaît un boom qui est rendu possible par l'approche dite par apprentissage automatique (*machine learning*). Pour résumer un peu, on peut dire que le paradigme dominant de l'intelligence artificielle de nos jours est **l'apprentissage automatique par les réseaux de neurones profonds (*deep learning*)**. Cette approche se caractérise par trois éléments : la disponibilité de gros volumes de données, des ordinateurs ayant une grande vitesse de traitement, des algorithmes adaptés.

Les facteurs déterminants du paradigme dominant de l'IA



Il est donc tout d'abord nécessaire de disposer de **gros volumes de données** pour que la machine puisse « apprendre »; ce qui est rendu possible par le *Big Data* constitué en grande partie de la masse de données disponibles sur internet et les réseaux sociaux.

Il est également nécessaire de choisir **l'architecture algorithmique** la plus adaptée au problème que l'on désire traiter entre la traduction d'un texte, une identification faciale, une reconnaissance vocale, la génération d'une image ou d'un son, etc. Cela est rendu possible parce que les efforts des chercheurs ont permis de voir naître des algorithmes de plus en plus performants.

Il est enfin nécessaire de disposer d'**ordinateurs** capables de traiter les gros volumes de données de manière ultra rapide; ce qui est rendu

possible par les processeurs dits « graphiques » (GPU) qui viennent compléter les processeurs traditionnels dits « centraux » (CPU)¹⁰². Il est également nécessaire de disposer d'outils capables de stocker ces gros volumes de données. C'est ici qu'apparaît notamment l'utilité du *cloud*¹⁰³. Il s'agit d'un ensemble d'installations appelées serveurs, qui hébergent (et donc stockent) des logiciels et des données, et auxquelles on accède par internet.

Un petit calcul vous permettra de mieux comprendre la nécessité de disposer de processeurs ultra puissants. Une image en couleur de bonne qualité, telle que celles produites par la plupart des téléphones de moyen de gamme, a une taille qui se situe généralement aux alentours de 4 *mégapixels*. Cela signifie donc 12 millions de points de données si l'on se réfère au code RGB (*Red-Green-Blue*) mentionné un peu plus tôt. Donc si l'ordinateur a besoin en entrée de 2000 images comportant par exemple une voiture; cela fera 24 milliards de données à traiter! Une autre manière d'exprimer ce gigantisme est de considérer l'IA générative ChatGPT-3 qui disposait de 175 milliards de paramètres que l'algorithme devait optimiser!¹⁰⁴

« L'IA qui prédomine de nos jours, ce sont des masses de données (images, textes, etc) qui sont prises en charge par des algorithmes suffisamment complexes pour résoudre un problème donné (reconnaissance de forme, génération de texte ou d'image, etc), et des ordinateurs suffisamment puissants pour effectuer les milliards de calculs qu'impliquent ces données. »

Une petite précision technique s'impose ici. Il faut savoir que, si l'apprentissage automatique consiste effectivement à « *laisser la machine apprendre les relations entre les données afin de produire l'algorithme ou le*

¹⁰² Intervenant comme un processeur complémentaire des processeurs CPU (Central Processing Unit), les GPU (Graphics Processing Unit) augmentent de manière exponentielle la vitesse et les capacités de traitement des applications informatiques.

¹⁰³ Le terme *Cloud* en anglais fait référence aux « nuages » pour imager le fait que ces données sont « quelque part, très haut dans le ciel ».

¹⁰⁴ Dans les réseaux de neurones artificiels, les paramètres sont les coefficients des fonctions de combinaison (notamment les poids des neurones).

modèle mathématique le plus fiable », l'intervention de l'homme demeure tout de même réelle et très importante.

C'est ainsi que dans les techniques traditionnelles issues du **data mining** telles que la régression, les arbres de décision ou le *clustering*, c'est l'homme qui va choisir le type de modèle; et l'ordinateur va ensuite se charger d'optimiser les coefficients afin d'obtenir le modèle le plus performant.

Dans le cadre des **réseaux de neurones**, il y a lieu de distinguer :

- Les **hyper-paramètres**, qui sont des variables définies par l'utilisateur avant l'entraînement du réseau de neurones, afin de contrôler l'architecture du celui-ci et le processus d'entraînement. Il s'agit par exemple du nombre de couches, du nombre de neurones par couche, du nombre d'itérations, de la fonction d'erreur à minimiser, etc.
- Les **paramètres**, qui sont en revanche effectivement optimisés par la machine pendant le processus d'apprentissage des relations entre les données. Il s'agit des coefficients tels que les poids des connexions entre les neurones, les biais des neurones, etc.



Le **scoring**, concept-clé de l'intelligence artificielle

On ne saurait terminer sans parler du **scoring**, qui est un concept-clé en *machine learning*, et qui a été mentionné à plusieurs reprises dans cet ouvrage, mais de manière un peu rapide. Le *scoring* consiste à attribuer une sorte d'évaluation (appelée score) à chaque instance d'un ensemble de données (individus, objets, etc). Ce score peut être:

- la probabilité qu'un événement se produise;
- une classification (vue dans le sens de l'affectation d'un individu ou un objet à une catégorie prédéfinie);
- un pourcentage qui évalue la qualité d'un modèle d'IA générative.

Le *scoring* joue un rôle-clé dans presque toutes les situations où sont utilisés des algorithmes d'intelligence artificielle, tels que la finance, le marketing, la santé, le sport, etc; mais également la reconnaissance ou la classification d'objets, la génération d'images, etc ; et donc aussi bien pour les IA analytiques que pour les IA génératives.

- Dans le domaine médical, c'est le *scoring* qui, en analysant les images médicales telles que les radiographies ou les scanners, permettra de diagnostiquer ou de pronostiquer une maladie en attribuant une probabilité.
- En matière de reconnaissance faciale (contrôle à l'aéroport, accès à un bâtiment, déverrouillage de smartphone), le *scoring* consiste à calculer un score de similarité qui indique la probabilité que le visage capturé corresponde à un visage de la base de données. Si le score de similarité est supérieur à un certain seuil (par exemple 95%), le système peut identifier la personne.
- Dans le domaine du marketing, le *scoring* permettra de déterminer le segment de marché auquel devrait appartenir un client, ou encore la probabilité qu'il réponde favorablement à une campagne promotionnelle, ou même les produits à recommander à un utilisateur à travers les réseaux sociaux. Un exemple d'utilisation de l'IA pour gérer automatiquement des campagnes marketing est développé dans le chapitre 7 en page 248. Le *scoring* y est utilisé dans le cadre de la classification afin d'identifier les clients qu'il faudrait cibler, ceux ayant un score supérieur à 0,8.
- Dans le domaine de la finance, c'est le *scoring* qui permettra d'évaluer le risque de crédit et de déterminer si un emprunteur est admissible à un prêt. Dans le jargon bancaire, on parle de *credit scoring* pour déterminer la probabilité de défaillance d'un client, qui découle d'un algorithme d'IA. Celui-ci se base sur un historique de données sur des clients défaillants et des clients non défaillants, et considère une kyrielle de critères (âge, situation familiale, stabilité et niveau de revenu, historique de crédits, montant de la demande, etc).¹⁰⁵

¹⁰⁵ Les banques utilisent généralement deux grandes approches pour classer les demandeurs de crédit selon leur niveau de risque: les **systèmes experts** (où des règles définies par des experts du métier permettent de définir le niveau de risque de chaque modalité de chaque critère utilisé, et ensuite d'évaluer chaque demande de crédit), et le **credit scoring** (où l'on utilise le *machine learning* pour générer un modèle statistique qui, en séparant les clients défaillants et les non défaillants, permet de calculer la probabilité de défaillance). En réalité, dans les deux cas (système expert et *credit scoring*), on obtient un score qui permet de qualifier le niveau de risque de l'emprunteur; dans le premier cas, ce sera un score en valeur absolue, dans le second ce sera une probabilité.

Et en matière de détection de fraude, on dira par exemple que telle ou telle activité observée sur un compte bancaire a un score qui permet de la classer comme activité frauduleuse ou non.

- Dans le domaine du sport, c'est le *scoring* qui est à l'œuvre lorsque vous voyez sur certains sites internet la prédiction de victoire, défaite ou match nul de chacune des deux équipes au fur et à mesure qu'un match de football évolue, donc *minute-by-minute*.
- Dans une IA de génération d'images, c'est le *scoring* qui permettra d'évaluer la qualité de l'image générée et de déterminer si les outputs sont réalistes, cohérents et pertinents.

Dans chacun de ces cas, on utilise un nombre considérable de paramètres qui ont un lien direct avec ce que l'on veut mesurer (maladie à diagnostiquer, segment de marché, activité frauduleuse, issue du match, image attendue, etc); ce qui nous renvoie à l'**apprentissage supervisé** dont il a déjà été question. En outre, ce recours systématique aux probabilités et aux statistiques est l'une des raisons pour lesquelles « l'apprentissage automatique (*machine learning*) » est parfois appelé « **apprentissage statistique** ».

« Le scoring consiste à attribuer une évaluation sous la forme de la probabilité de survenance d'un événement, de l'affectation d'un individu ou d'un objet à une classe prédéfinie, ou de l'évaluation de la qualité de l'output d'une IA générative. »

La Journaliste :

Pouvez-vous nous en dire davantage sur les IA génératives dont on parle tant?

Mme IA :

Les IA génératives ont en effet fortement contribué à populariser l'IA...

Mme IA :

Les **IA génératives**, parfois abrégées par **Gen AI**, ont fortement contribué à populariser l'intelligence artificielle, en permettant à chaque individu de pouvoir se sentir acteur de l'IA.

Les applications des IA génératives sont extrêmement variées et permettent par exemple:

- de produire le résumé d'un texte de plusieurs dizaines de pages;
- de produire une lettre (correspondance) sur la base de quelques directives;
- de produire une image sur la base d'un court texte descriptif (on parle de *text-to-image*);
- d'obtenir un texte décrivant une image ou une scène (*image-to-text*);
- de simuler et mettre en évidence l'apparence d'une personne dont l'âge évolue;
- de tester l'apparence de différents vêtements sur une personne;
- de générer des modèles 3D d'un élément à partir d'une image;
- d'insérer un élément manquant sur une carte;
- de créer le visage d'une personne en prenant sa voix comme entrée;
- de procéder à de petites animations à partir d'une image normale;
- de créer la vidéo d'un dialogue avec une célébrité, etc.

Bien que capables de générer toute forme de contenu (texte, images, son, vidéos, codes informatiques, etc), les IA génératives se divisent généralement en deux catégories :

- celles appartenant aux **grands modèles de langage** (les fameux *Large Language Models*), et qui génèrent donc du texte ou des codes informatique;
- celles qui génèrent des **images ou des vidéos**; les vidéos étant bien entendu assimilées à des séquences d'images.

Le point commun à ces deux catégories est que l'utilisateur devra rédiger un texte de longueur variable qui décrit ce qu'il attend de l'ordinateur; c'est le « *prompt* » (ou « invite » en français)¹⁰⁶.

Il faut également savoir que certaines IA génératives (ChatGPT notamment) disposent d'une commande permettant de transmettre les *prompts* de manière vocale.

¹⁰⁶ Ce qui est généré par l'algorithme d'IA suite au prompt reçu est appelé « sortie » ou « achèvement ».

« Un *prompt* (ou invite) est un texte de longueur variable qui sert de commande pour une intelligence artificielle chargée de générer du contenu (texte, image, son, etc). »¹⁰⁷

La sélection ci-dessous donne une idée de la diversité des prompts qu'on peut être amené à rédiger pour que l'IA produise un texte, une image, un son, etc. Il faut en outre savoir que certaines IA génératives (ChatGPT notamment) disposent d'une commande permettant de transmettre les *prompts* de manière vocale.

Exemples de prompts pour des IA génératives

Prompts pour générer du texte

Je suis une petite fille âgée de 8 ans. Ecris-moi une lettre au Père Noël.

Ecris-moi 3 posts Facebook pour souhaiter un joyeux anniversaire à un collègue de travail.

Résume-moi ce texte en quelques bullets points.

Conçois-moi un programme pour une semaine de vacances à Abidjan.

Comment expliquer l'inflation à un enfant?

Ecris-moi les paroles d'une chanson pour la Coupe d'Afrique des Nations de football.

Ecris-moi un article de 200 mots pour prodiguer des conseils de remise en forme à des femmes adultes.

Conçois-moi le plan détaillé d'un exposé concernant l'impact des réseaux sociaux sur les jeunes.

Je suis président d'une association de parents d'élèves. Propose-moi des thèmes pour notre réunion annuelle.

Fais-moi un résumé du théorème de Pythagore. Et ensuite, conçois-moi 3 exercices d'application.

Convertis cette recette de cuisine en système métrique en remplaçant les pounds par des grammes, et traduis-la en français.

Conçois-moi une lettre qui pourrait m'aider à demander une augmentation de salaire à mon patron.

Ecris-moi le code informatique sur Python pour un formulaire de gestion de la bibliothèque d'un lycée.

Prompts pour générer une image

Une image de chiots dessinée par un enfant, qui fait chaud au coeur et qui est mignonne.

Portrait d'une femme africaine âgée d'une trentaine d'années, contemplative et au regard intense, photographie de portrait et réaliste.

Une image de la Place de l'Indépendance de Douala le soir avec un éclairage cinématographique.

Une image d'un lion en train de conduire une voiture 4x4 dans la savane africaine, avec un guépard assis à côté de lui.

Photo réaliste d'une famille africaine en train de jouer au ludo à la véranda, chacune des personnes possède une boisson rafraichissante.

¹⁰⁷ Il faut se rappeler que que le terme anglais « *prompt* » signifie entraîner, inciter à dire quelque chose.

Un *prompt* peut être:

- une **demande simple**, une question ou une phrase, comme « *Explique l'analyse des performances d'une entreprise* »;
- ou une **mise en situation plus complexe**, par exemple « *Imagine que tu es un membre du Comité de Direction d'une entreprise cherchant à expliquer, lors d'une conférence face à des étudiants d'une école de management, ce qu'est l'analyse des performances. Tu cherches à en expliquer le but, les indicateurs de performance, le processus d'analyse de la performance, les acteurs impliqués, les outils de suivi et d'analyse, et les conditions de succès* ».

Les pages qui suivent décrivent assez rapidement comment les IA génératives procèdent pour produire les résultats attendus.

Sur le plan technique, de manière fondamentale, les générateurs de texte, d'image ou de son fonctionnent comme la plupart des autres modèles de *machine learning*. Ils travaillent sur des masses de données dont ils analysent les caractéristiques. Ces informations sont ensuite utilisées par le modèle pour créer de nouvelles données (texte, images, etc). Cependant, bien que suivant le processus fondamental de l'apprentissage automatique, les IA génératives utilisent des algorithmes qui ont certaines particularités selon ce qui est recherché (texte, image, etc).

« Les IA génératives appartiennent à l'approche d'IA dite par apprentissage automatique (*machine learning*), et utilisent les réseaux de neurones profonds (*deep learning*) du fait de la complexité des tâches qu'elles doivent accomplir. »

1. Cas des IA de génération de texte

Il faut d'abord se rappeler que les IA de génération de texte appartiennent à la catégorie du Traitement du Langage Naturel, et plus précisément des Grands Modèles de Langage (*Large Language Models-LLM*) du fait des grandes masses de données que ces algorithmes doivent recevoir en entrée. Ces données proviennent de diverses sources, telles que des livres, des articles, des sites Web, des commentaires de clients, des publications sur les réseaux sociaux, etc.

Donc, si vous donnez une phrase à un LLM, celui-ci va essayer de prédire le mot ou la phrase suivante en fonction de ce qu'il aura appris des nombreux exemples qu'il a reçus. De cette façon, il apprend à générer un texte qui a du sens et s'adapte au contexte. Autrement dit, l'algorithme devine la combinaison de lettres, de mots et de phrases qu'un humain pourrait écrire en réponse à votre demande. Afin de comprendre ce principe fondamental des algorithmes de traitement du langage naturel, on peut prendre trois niveaux d'exemples.

Niveau 1. Dans l'exemple introductif (chapitre 1) sur l'assistance à l'écriture, il avait été mentionné qu'il suffisait que M. Lionel Mateck écrive TRA, pour que son smartphone lui propose automatiquement des mots tels que TRAVAILLER, TRAVERSER, TRADUIRE. Ici, l'algorithme d'IA avait remarqué que la plupart du temps, lorsque Lionel rédigeait un texte en commençant un mot avec les trois lettres T, R et A, il poursuivait avec respectivement les lettres V, A, I, L, L, E et R, pour former TRAVAILLER; ou encore avec les lettres V, E, R, S, E et R, pour former le mot TRAVERSER; et ainsi de suite. C'est ce principe propre aux algorithmes de traitement du langage naturel qui est appliqué par les grands modèles de langage.

Niveau 2. Dans les millions de documents de textes reçus en entrée, l'algorithme d'IA remarque par exemple que lorsqu'un terme débute par « rez-de- », il est presque automatiquement et statistiquement suivi par « chaussée » pour former le mot « rez-de-chaussée ».

Niveau 3. Dans les millions de documents de textes reçus en entrée, l'algorithme d'IA remarque par exemple que si, dans un paragraphe, le mot « gazelle » apparaît, il y a de fortes chances qu'apparaisse également le mot « savane » ou le mot « lion »; si dans un document, figure le mot

« Abidjan », il y a de très fortes chances que figure également le mot « Côte d'Ivoire », voire le mot « Afrique ».

Vous comprendrez alors que l'algorithme a besoin de grosses masses de données, et donc de millions (voire de milliards) de documents, qui devront être traités par des ordinateurs extrêmement puissants.

L'objectif principal d'un LLM est de comprendre et de prédire les modèles du langage humain, ce qui lui permet par la suite de générer un texte cohérent et contextuellement approprié.

Le processus d'apprentissage pour un LLM implique les tâches spécifiques suivantes :

- exposer le modèle à des millions (voire des milliards) de phrases...
- ... lui permettant d'apprendre la grammaire, la syntaxe et la sémantique;
- puis lui fournir des informations factuelles.

S'agissant notamment de la grammaire, de la syntaxe et de la sémantique, il faut savoir que les algorithmes des grands modèles de langage utilisent les probabilités pour « apprendre. » Par exemple, dans la phrase précédente,

« S'agissant notamment de la grammaire, ... les probabilités pour apprendre »,

les lettres « e », « a » et « s » sont les plus courantes, apparaissant vingt-deux, dix-huit et quatorze fois respectivement¹⁰⁸.

Partant de là, un algorithme peut conclure (à raison) que ces caractères sont parmi les plus susceptibles d'apparaître dans un texte en français. Mais pour tirer de véritables conclusions et éviter de se baser sur une seule phrase, c'est bien évidemment après avoir analysé des milliers de phrases que l'algorithme peut en apprendre suffisamment pour savoir comment terminer de façon logique une phrase incomplète, voire générer ses propres phrases. Le même raisonnement peut être appliqué à l'échelle d'un long document en isolant les mots, et non plus seulement les lettres.

Par conséquent, ces modèles peuvent répondre à des questions, générer du texte, traduire des langues et effectuer de nombreuses autres tâches liées à la langue avec une grande précision.

¹⁰⁸ Dépendamment des sources, les 5 lettres les plus utilisées dans la langue française sont respectivement E, S, A, R, T, ou encore E, A, S, I, L.

« Un Grand Modèle de Langage (*Large Language Model-LLM*) est un programme informatique qui a reçu suffisamment d'exemples pour être capable de reconnaître et d'interpréter le langage humain; et finalement de répondre à des questions, générer du texte, traduire des langues et effectuer de nombreuses autres tâches liées à la langue avec une grande précision. »

Maintenant, et cela est très important, il faut se rappeler que l'ordinateur ne peut travailler que sur des chiffres. Certes, le problème ne se pose pas du tout pour des données numériques comme lorsque les entreprises font de la *data analytics* pour segmenter leur clients, évaluer le risque de défaillance d'un candidat à un prêt, ou encore pour faire de la prévision des ventes. Le problème ne se pose pas non plus lorsqu'il s'agit de traiter des images puisque ces dernières sont composées de pixels associés à des nombres, comme on l'a déjà vu. En revanche, le problème est réel lorsqu'il s'agit de traiter le langage naturel, et donc du texte. Ce problème a finalement été réglé grâce à un mécanisme-clé comportant deux tâches complémentaires : la **tokenisation** et le **plongement**.

Commençons par la **tokenisation**.

Un **token** (ou **jeton** en français) est une unité de base utilisée pour analyser et traiter un texte en intelligence artificielle. Les *tokens* peuvent être des mots, des phrases, des symboles ou des caractères. Ils facilitent la compréhension et la manipulation des textes, en les divisant en unités plus simples et plus faciles à traiter. Et cela permet à l'algorithme de mieux gérer les nuances linguistiques que s'il devait gérer des mots.

Lorsqu'un texte est *tokenisé*, cela signifie qu'il est divisé en *tokens* individuels.

Voici un exemple simple pour illustrer la *tokenisation* d'une phrase :

L'Afrique est un merveilleux continent.

Cette phrase peut être *tokenisée* de la manière suivante :

1. **L**
2. **'**
3. **Afrique**
4. **est**
5. **un**
6. **merveilleux**
7. **continent**
8. **.**

Il faut savoir que les *tokens* sont choisis en fonction de la tâche à accomplir. Par exemple :

- pour une tâche de classification de texte, où l'objectif est d'affecter un mot à une catégorie (par exemple positif ou négatif, ou encore bien ou mauvais), les *tokens* peuvent être des mots;
- pour une tâche de traduction automatique, les *tokens* peuvent être des phrases ou des fragments de phrases.

La correspondance entre *tokens*, mots et caractères dépend de la langue. Comparons par exemple le français et l'anglais :

- En anglais, un *token* correspond généralement à un peu moins d'un mot, car l'anglais a tendance à avoir des mots plus courts, moins de mots, et n'a pas d'accents qui consomment des *tokens*. Le nombre de *tokens* par 100 mots est ainsi compris entre 125 et 135 (coefficient de 1,3).
- En français, les mots sont souvent plus longs, il y a plus de mots, et ils ont des accents. Donc le nombre de mots par 100 *tokens* est inférieur, et compris entre 130 et 140 (coefficient de 1,35).

Vous imaginez donc que les experts en linguistique sont fortement sollicités à ce niveau; et notamment en Afrique où chaque langue et chaque dialecte a ses propres spécificités comme on l'a vu avec la comparaison entre le français et l'anglais¹⁰⁹. Quel serait par exemple le coefficient de *tokenisation* en *swabili*, en *fulfuldé*, en *yoruba*, en *lingala*, en *bassa*, en *duala*, en *ewondo*, en *zulu*, etc ?

¹⁰⁹ Gardez toujours à l'esprit que l'Intelligence Artificielle est un domaine pluridisciplinaire, et que son succès dépend donc de l'interaction franche et harmonieuse entre ses différents acteurs.

Si vous entendez parler des *tokenizers*, il s'agit simplement des algorithmes qui permettent de *tokeniser* un texte. Un outil comme le **Tokenizer interactif d'Open AI** permet de calculer le nombre de *tokens* d'un texte, ainsi que sa subdivision.

« L'algorithme d'un grand modèle de langage devine la combinaison de lettres, de mots et de phrases qu'un humain pourrait écrire en réponse à une demande (prompt). »

Dans les grands modèles de langage, les *tokens* sont ensuite convertis en chiffres (représentations numériques) à l'aide du **plongement lexical**.

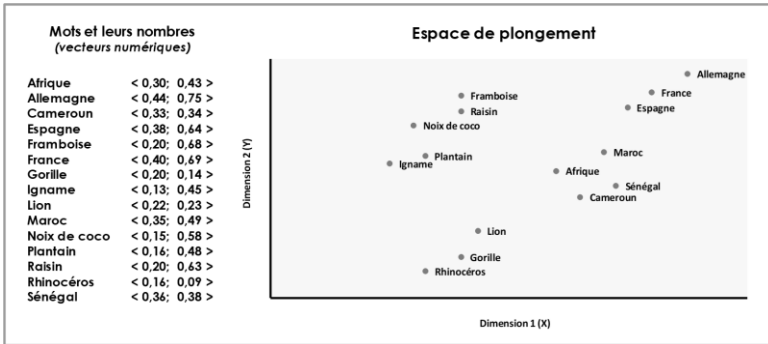
Le « **plongement lexical** » (*words embedding* en anglais) consiste à représenter des mots sous forme de nombres¹¹⁰, afin que l'ordinateur puisse s'en servir pour travailler. Ainsi remplacés par des nombres, les mots peuvent être représentés sur une carte appelée **espace de plongement**; ce qui permet de visualiser les mots assez similaires.

Dans l'exemple de la page suivante, en consultant les vecteurs des mots Cameroun et Sénégal, on se rend compte que leurs valeurs sont assez proches : (0,33; 0,34) comparé à (0,36; 0,38). Il en résulte que ces mots sont également assez proches dans l'espace de plongement. En revanche, Allemagne et Gorille sont très éloignés l'un de l'autre¹¹¹.

¹¹⁰ Il s'agit en réalité de convertir les mots en vecteurs numériques.

¹¹¹ Les mathématiciens et les statisticiens peuvent s'amuser à calculer différentes distances (euclidienne, etc).

Exemple de plongement lexical pour des mots



En suivant le même processus, il devient possible de regrouper des phrases similaires; ce qui signifie que l'algorithme peut désormais comprendre les phrases en les comparant à des phrases déjà connues, car existant dans une base des données d'apprentissage. Considérons par exemple les phrases suivantes :

Le football est pratiqué dans presque tous les villages d'Afrique.

et

Les africains aiment beaucoup jouer au football.

Ces deux phrases sont presque interchangeables; elles devraient donc être assez proches dans l'espace de plongement.

Grâce à la **tokenisation** et au **plongement lexical**¹¹², l'algorithme de traitement du langage naturel est en mesure de mieux interpréter un texte, ce qui est utile dans de nombreuses situations :

- les moteurs de recherche (Google ou Bing par exemple) peuvent fournir des résultats plus précis;
- un *chatbot* peut plus facilement comprendre des requêtes formulées de différentes manières;
- il devient plus aisé pour les professionnels du marketing de procéder à une analyse de sentiments sur la base des commentaires des clients;

¹¹² Parfois on ajoute également la **lemmatisation**, processus qui consiste à extraire la forme de base d'un mot (on dit forme canonique). Par exemple le lemme « grand » va donner grands, grande, etc. Le lemme « être » va donner suis, êtes, étions, sois, fussiez, etc. Cela permet de traiter différentes formes d'un mot comme une seule entité.

- les systèmes de recommandation de films ou d'ouvrages deviennent plus précis;
- il devient plus facile pour une IA de génération d'image d'interpréter la légende d'une photo.

Pour réaliser tout ce qui vient d'être présenté, les algorithmes de traitement du langage naturel utilisés de nos jours reposent sur l'apprentissage automatique: en particulier, un type de réseaux de neurones artificiels appelé *Transformers*.

L'idée fondamentale des réseaux de type *Transformers* est de conserver l'interdépendance des mots dans une phrase en utilisant ce qu'on appelle un « mécanisme d'attention ». Pour expliquer simplement : en se basant sur des milliers de textes, le réseau est capable d'identifier quels mots, en fonction de leurs positions respectives dans une phrase, auront une forte interdépendance.

Les *Transformers* comprennent, par exemple, comment la fin d'une phrase est reliée au début, et comment les phrases d'un paragraphe sont reliées entre elles. Les mots ne sont plus analysés ni générés les uns après les autres comme dans les traductions de Google des années 2000 : la machine arrive à prendre un propos dans son ensemble en un rien de temps, et à proposer des analyses, des résumés, des traductions de manière extrêmement rapide et précise.

Les IA génératives de texte constituent une bonne illustration de ce que l'IA par apprentissage automatique consiste essentiellement en de grandes masses de données, qui font ensuite l'objet de traitements mathématico-statistiques. Nous allons voir maintenant que le même principe s'applique aux IA génératives d'images.

2. Cas des IA de génération d'images

D'une certaine manière, c'est avec les **auto-encodeurs variationnels** introduits en 2013, puis les **réseaux antagonistes génératifs** créés en 2014, que l'on découvre le potentiel de l'IA pour transformer ou générer des images avec une grande qualité visuelle. Mais les choses ont considérablement évolué dès 2022 avec l'apparition des **modèles de diffusion**.

Les **auto-encodeurs variationnels (Variational Auto-Encoders - VAE)**, naissent de l'idée selon laquelle il est possible de créer un modèle capable de reconstruire les images d'origine; ce qui permettra alors de générer de nouveaux échantillons à partir de la même distribution de données.

Le processus de formation d'un VAE se compose de deux phases.

- La première phase est exécutée par un algorithme appelé « **encodeur** », qui réduit l'entrée en une petite représentation.
- La seconde phase est exécutée par un autre algorithme appelé « **décodeur** », qui est utilisé pour reconstruire l'image d'origine. Au cours du processus d'apprentissage, le modèle apprend à minimiser les différences entre les images générées et les images d'origine.

Le but d'un auto-encodeur variationnel est donc de produire une approximation de l'image d'entrée en se concentrant uniquement sur les caractéristiques essentielles. En fait, un VAE comporte un ensemble de contraintes qui obligent l'algorithme à apprendre de nouvelles façons de représenter les données; ce qui lui permettra par la suite de générer des images selon les demandes des utilisateurs.

Les **réseaux Génératifs Antagonistes (Generative Adversarial Networks-GAN)** ont la particularité d'être constitués de deux réseaux de neurones artificiels qui sont en concurrence. Le premier réseau (dit **générateur**) produit des images en se basant sur une grande base d'images reçues; le second réseau (dit **discriminateur**) compare les images produites à des images réelles afin de pousser le premier réseau à améliorer la qualité de son rendu.

C'est un peu comme si deux enfants passaient l'après-midi ensemble, et que l'un dessinait, pendant que l'autre le critiquait jusqu'à l'obtention du dessin parfait.

Les réseaux GAN ont constitué entre 2015 et 2022 l'approche algorithmique dominante des IA de génération d'images. Cependant ils souffrent, au même titre que les VAE, de ce qu'on appelle « l'effondrement du modèle ». En effet, à force de générer des images qui comportent parfois des imperfections et qui manquent de variétés, les bases de données se retrouvent en quelque sorte polluées. Les nouvelles images découleront donc d'un processus d'apprentissage basé sur des données de moindre qualité, et l'algorithme en pâtira.

Et c'est là qu'apparaissent les **modèles de diffusion**. Il s'agit en réalité d'approches qui utilisent certes les GAN ou les VAE, mais vont un peu plus loin.

Pour comprendre les modèles de diffusion, une notion très importante à saisir est celle de « **bruitage** » ; c'est-à-dire ajouter du bruit à une image pour la dégrader. C'est un peu comme si on ajoutait de plus en plus de grains de sable sur une photo et de manière aléatoire, de telle sorte que l'on n'arrive plus à distinguer ce qui y est représenté¹¹³.

Le principe des modèles de diffusion consiste alors à introduire progressivement du bruit sur une image, puis à apprendre tout aussi progressivement à reconstituer celle-ci; c'est en cela que constitue son processus d'apprentissage.

Dit simplement, les modèles de diffusion créent de nouvelles images en transformant d'abord des images claires en bruit, puis en reconvertissant habilement ce bruit en images de bonne qualité. Une fois que l'algorithme a appris à faire cela sur des milliers d'images, il devient capable de générer de toutes nouvelles images à la demande. Et comme dans tout ce qui concerne l'IA par apprentissage automatique, toutes ces tâches se font grâce à des opérations mathématiques.

L'approche progressive des modèles de diffusion d'une part, et le fait qu'ils disposent d'un objectif d'apprentissage clair et bien structuré (les photos à bruiteur et à reconstituer) d'autre part, leur confèrent deux avantages importants sur les VAE et les GAN:

- des images d'une grande qualité visuelle sont générées ;
- le problème de l'effondrement du modèle, même s'il n'est pas totalement supprimé, est cependant significativement amoindri

¹¹³ Tout cela se fait selon un processus purement statistique puisque les images sont décomposées en pixels dont les couleurs correspondent à des nombres.

puisque les images utilisées pour l'apprentissage sont reconstituées quasiment à l'identique, ce qui réduit considérablement le taux de pollution de la base d'images.

En s'entraînant à partir d'une base d'images conséquentes, l'IA apprend à reconnaître les liens entre un élément graphique et un texte, puis à reproduire ce lien de façon autonome. Pour chaque requête, l'IA tente de repérer des éléments dans sa base de données qui pourraient correspondre à ce qui lui est demandé, puis génère un visuel en s'inspirant des images correspondantes.

Ce qui vient d'être décrit constitue donc le principe que l'on retrouve dans toutes les applications d'IA génératives utilisant les modèles de diffusion, et notamment Stable Diffusion, Dalle-E, etc. Ensuite, chaque application va procéder de manière spécifique pour produire une image à partir du *prompt* rédigé par un utilisateur.

A titre illustratif, les deux images de la page suivante semblent réelles; et pourtant elles ont été produites par des IA génératives. On parle alors **d'images synthétiques**. Et tout comme pour les IA génératives de texte, il s'agit essentiellement de données qui ont fait l'objet de manipulations mathématico-statistiques à travers des algorithmes. Rien de plus... si ce n'est la complexité de ces algorithmes.

Des personnes et objets qui n'existent pas dans la réalité¹¹⁴



Image de « femme noire de 26-40 ans »
générée par MidJourney

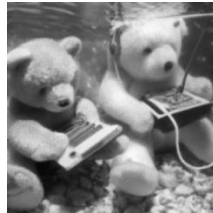


Image de « deux nounours jouant dans l'eau
avec une console » générée par Dalle-E 2

¹¹⁴ Vous pouvez vous rendre sur le site (<https://this-person-does-not-exist.com/fr>) pour obtenir de telles images.

La Journaliste :

Mais on peut facilement être bluffé par les images produites par les IA génératives! N'est-il pas possible de distinguer le vrai du faux?

Mme IA :

Cela peut être bluffant en effet. Il existe cependant quelques astuces qui peuvent vous aider à vous en sortir...

Mme IA :

Les IA génératives telles que Dalle-E, Midjourney ou Stable Diffusion pour les images, et ChatGPT, Gemini ou Claude pour le texte; ont en effet atteint un niveau de performance assez impressionnant. Il existe cependant quelques astuces qui permettent de détecter les images produites par les IA génératives.

Voici rapidement présentées cinq de ces astuces.

- Cherchez les incohérences ou les déformations dans l'image. Il peut s'agir d'éléments qui sont disproportionnés ou asymétriques, des yeux déformés, des ombres incohérentes avec l'éclairage, etc.
- Regardez attentivement les extrémités du corps humain (les mains et les pieds), car il s'agit du genre de détail que les IA ont parfois du mal à reproduire de manière parfaite. Il vous faut donc compter le nombre de doigts et d'orteils, leur entrelacement ou encore leur taille.
- Observez le visage. En effet, les visages créés par les générateurs d'images peuvent parfois présenter un aspect plastifié, ce qui leur confère une apparence artificielle. Cette apparence plastifiée peut se manifester par des reflets exagérés ou une absence de rides sur la peau, rendant le visage étrangement parfait.
- Faites attention à l'arrière plan de l'image. Celui-ci peut en effet comporter des objets complètement flous, ou même des objets qui n'existent pas dans la réalité.
- Examinez tous les éléments textuels et les symboles. En effet, les textes peuvent être incohérents dans leurs lettres ou dans leur disposition. Cela arrive très souvent dans les images où figurent des panneaux de signalisation routière.

En plus des astuces qui viennent de vous être données, il reste bien entendu la solution technologique qui consiste à utiliser un logiciel de reconnaissance d'image. De nombreuses entreprises travaillent sur la production de solutions de détection des images trompeuses, les fameux *deepfakes*. Et ce qui est ironique, c'est que ces solutions utilisent des algorithmes... d'intelligence artificielle.

Je vous invite à visiter le lien qui figure au bas de cette page afin d'identifier les images créées par les IA génératives, et cela en vous aidant des différentes astuces qui viennent d'être partagées avec vous.¹¹⁵

**« La panoplie des IA génératives est très variée
(génération de texte, d'images, de son, de
vidéo, de codes, etc). »**

Pour en terminer avec les IA génératives, il faut se rappeler que ce qui est généré concerne aussi bien du texte que des images, du son, des vidéos, des codes informatiques. Cette diversité des usages va de pair avec de gros besoins et usages tant au niveau des entreprises que chez les particuliers

Cela implique, vous pouvez l'imaginer, un vaste marché dans lequel de nombreuses entreprises technologiques se sont engouffrées. En d'autres termes, on parle beaucoup de ChatGPT, de Midjourney, de Google BARD/Gemini; mais en réalité, elles se comptent par centaines, ces solutions d'IA génératives. C'est ainsi que si l'on part du fait que le contenu généré peut être de différentes natures (texte, image, son, etc), alors de multiples combinaisons sont possibles. Il existe ainsi des solutions qui permettent de générer du texte à partir de texte (on dit *text-to-text*), comme c'est le cas de ChatGPT. Mais il existe également des IA qui permettent de générer une image à partir d'un texte (*text-to-image*), comme Midjourney ou Stable Diffusion, et ainsi de suite.

À côté des solutions d'IA génératives dites généralistes, il en existe qui sont encore plus spécialisées. C'est le cas par exemple :

- des IA qui permettent de générer des diaporamas et des présentations PowerPoint (c'est le cas de SlidesAI, iA Presenter, PowerPresentAI);

¹¹⁵ Lien pour évaluer : <https://ici.explorativ.ca/quiz/1-etes-vous-capable-de-reconnaitre-une-image-creee-par-une-ia/>

- des IA qui permettent de générer des réponses aux emails (Flowrite, TextCortex);
- des IA qui se spécialisent dans la génération de codes informatiques, la détection de bugs et la correction d'erreurs de code (GitHub Copilot, Tabnine, AskCodi).

Il faut reconnaître que la tendance est maintenant à un effondrement des frontières entre les types de contenu, de manière à pouvoir couvrir les besoins des utilisateurs avec une seule application. C'est ainsi par exemple que des solutions comme ChatGPT ou Gemini permettent, en plus de la génération de texte qui constituait leur tâche de base, de traiter également des images et d'autres formes types de contenus. On parle alors **d'IA génératives multimodales**.

La Journaliste :

Pour résumer ce long module, peut-on dire qu'il existe essentiellement deux approches de l'IA : l'approche symbolique et l'approche par apprentissage automatique?

Mme IA :

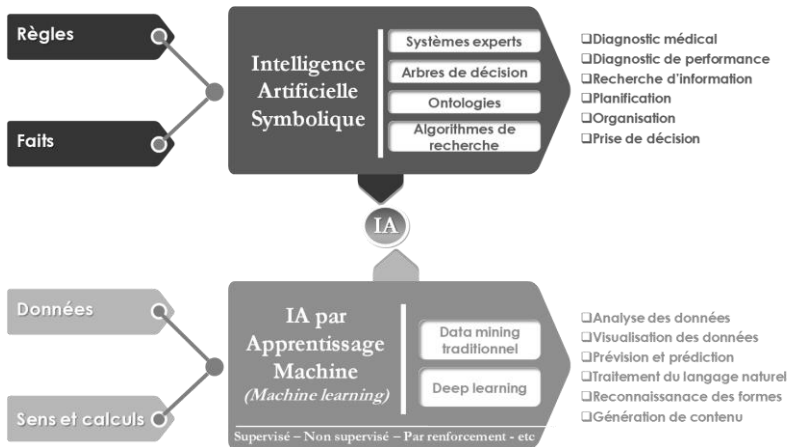
Oui, en effet. Et chacune de ces approches a son propre processus et des applications spécifiques...

Mme IA :

Le diagramme de la page suivante est assez explicite à ce sujet, car il résume ces deux approches en termes de sources, de procédure, de méthodes et d'usages.

- Primo, l'approche symbolique se base sur des règles de logique, alors que l'approche par apprentissage machine (ou *machine learning*) se base sur des données.

Synopsis des deux grandes approches de l'intelligence artificielle



- Secundo, dans l'approche symbolique, la machine exécute ce qui a été défini dans un programme totalement conçu par l'homme, les informaticiens si vous voulez. Dans l'approche par apprentissage machine, on laisse la machine apprendre la structure des données, optimiser elle-même les paramètres du modèle, et même améliorer le modèle en fonction des nouvelles données reçues.
- Tertio, l'approche symbolique va utiliser des techniques telles que les systèmes experts, les arbres de décision, les ontologies, les algorithmes de recherche, etc. L'approche par apprentissage machine va utiliser, soit des modèles statistiques issus du *data mining* (fouille des données) traditionnel, soit des algorithmes de réseaux de neurones complexes (*deep learning*)¹¹⁶.
- Quarto, l'approche symbolique sera très efficace pour résoudre des problèmes tels que des diagnostics médicaux, des diagnostics de performance en entreprise, de la planification de tâches ou de projets, de la recherche d'information, des prises de décision. En revanche, on utilisera plus volontiers l'apprentissage automatique

¹¹⁶ A titre de rappel, le *deep learning* concerne l'utilisation de réseaux de neurones comportant plusieurs couches cachées, ce qui leur permet de traiter des problèmes d'un très haut niveau de complexité.

pour résoudre des problèmes liés à l'analyse des données, à la traduction de texte, à la reconnaissance de forme, ou encore à la génération de textes, d'images ou de vidéos.

Il faut relever que si l'approche par apprentissage automatique semble être le paradigme dominant de nos jours, chaque approche a son importance, mais également ses avantages et ses défauts. En outre, il existe des situations où les deux approches sont combinées, comme dans le cas des voitures autonomes, ou même dans certaines tâches de *data analytics* dans les entreprises. On parle alors d'approche hybride, ou encore d'approche **neuro-symbolique**.

« Les deux principales approches de l'Intelligence Artificielle sont l'IA Symbolique et l'IA par Apprentissage Automatique (ou *machine learning*)¹¹⁷. Chacune de ces approches regroupe des techniques dont chacune est adaptée à la résolution d'un problème bien précis. »

¹¹⁷ Il arrive également que l'on parle de systèmes : systèmes logiques et systèmes par apprentissage.

Chapitre 6

... et comprendre pourquoi maintenant, tout le monde parle de l'intelligence artificielle.



Mme IA :

Depuis le début de l'année 2023, l'intelligence artificielle est donc sous le feu des projecteurs, en même temps qu'elle est le centre de nombreuses conversations, ou qu'elle fait l'objet de nombreux usages grâce à des produits issus de **l'IA générative** tels que ChatGPT, Gemini, Midjourney, Stable Diffusion, et bien d'autres qui ont déjà été mentionnés. Et cela est le fruit de la combinaison de deux facteurs :

- les nouveaux algorithmes créés par la communauté scientifique, notamment les réseaux *GAN* et les modèles de diffusion pour la génération d'images, ou alors les *Transformers* pour tout ce qui concerne le traitement du langage naturel (recherche d'informations, conversations, etc);
- le développement-produit par les équipes-projets d'entreprises telles que Google (évidemment), Microsoft, Amazon, Meta/Facebook, Open AI, Stability AI, Mistral, Anthropic, etc.

A titre de rappel, voici quelques exemples de tâches que vous pouvez réaliser avec ChatGPT (ou une autre IA de la même catégorie). Vous posez une question dans la boîte de dialogue, un peu comme dans *Google Search*; sauf que là, il peut s'agir de toute une phrase, et non pas d'un simple mot-clé. C'est notre fameux *prompt*. Et en retour, ChatGPT pourra produire pour vous :

- une réponse sous la forme d'un texte d'un simple paragraphe, ou même d'une véritable dissertation;
- une réponse avec le style linguistique que vous désirez (simple, précis ou artistique), ou avec la présentation que vous souhaitez (paragraphe, *bullet points*, tableau, etc).

Mais en plus de cela, ChatGPT est capable, et ceci n'est (une fois de plus) qu'un rappel :

- de faire le résumé d'un long document, ou de simplifier un texte qui vous aurait semblé complexe;
- de rédiger un CV adapté à l'offre d'emploi d'une entreprise;
- de proposer des slogans publicitaires, de rédiger des poèmes, de composer des paroles de chansons, et même de rédiger des scénarios de films ou de bandes dessinées;

- de vous proposer la réponse complète à un mail que vous auriez reçu;
- de commenter et d'analyser une image (fonction *image-to-text*);
- de fournir un diagnostic médical sur la base des symptômes présentés, et ensuite de recommander un traitement;
- de vous suggérer des recettes de cuisine sur la base des ingrédients disponibles dans votre réfrigérateur;
- de produire le code d'un site web sur la base d'une structure que vous lui aurez montrée;
- de créer rapidement une application Android, ou même un logiciel;
- de réaliser un prospectus, voire un livret du genre guide de voyage;
- de résoudre de petits problèmes mathématiques, etc.

Vous comprenez pourquoi de nombreux professionnels, tels que les métiers du marketing-communication ou même les avocats, utilisent régulièrement ChatGPT. D'ailleurs en mars 2023, la version 4 de ChatGPT avait passé avec succès l'examen d'avocat aux Etats-Unis, en réussissant à être parmi les 10% des meilleurs candidats au barreau!

De même, les élèves et étudiants se sont emparés de ChatGPT pour rédiger leurs devoirs en bluffant les enseignants; à tel point que certaines startups technologiques ont dû créer des algorithmes qui permettent de détecter une réponse rédigée par ChatGPT.¹¹⁸

Avec ChatGPT, il est même possible à une entreprise de créer son propre ChatGPT, ou si vous voulez son propre *chatbot*, à travers lequel les employés auront accès, sous la forme de dialogues, à toutes les informations que l'entreprise voudra partager avec eux : histoire, valeurs, activités des différentes unités, performances, etc.

Ceci dit, il est important de posséder quelques données chiffrées permettant de mieux comprendre les raisons de ce boom de l'intelligence artificielle.

¹¹⁸ En permettant d'établir un véritable dialogue, BingChat et Google BARD/Gemini apparaissent comme des moteurs de raisonnement (*reasoning engine*), et non plus simplement des moteurs de recherche (*search engine*) comme l'est Google Search.

Il convient de rappeler que ChatGPT est un modèle de langage¹¹⁹. ChatGPT traite donc essentiellement du texte, et utilise l'algorithme de réseaux de neurones appelé *Transformer*. GPT signifie ainsi *Generative Pre-trained Transformer*. Cela signifie que les réponses fournies par ChatGPT sont basées sur des données qui ont été pré-entraînées (et donc analysées et apprises); et il s'agit plus spécifiquement ici de nombreuses données disponibles sur internet. Ceci dit, sachez alors que :

- ChatGPT-3, produit en mai 2020, avait été entraîné sur 8 millions de sites web, et l'algorithme possédait 175 milliards de paramètres! Imaginez une formule mathématique qui possède 175 milliards de variables, et non pas 3 ou 4 comme on l'illustre généralement en classe de 1^{ère} ou de Terminale...
- Eh bien, lors de sa mise sur le marché en novembre 2022, ChatGPT-3.5 reposait sur une base de données (arrêtée en octobre 2021) estimée à près de 600 millions de sites web!... dont la totalité de Wikipedia représentait moins de 2% du contenu total.

Le bond prodigieux qui apparaît ici permet de comprendre que le potentiel de la version ChatGPT-3.5 est sans commune mesure avec celui de son prédécesseur... de deux ans seulement. C'est comme si vous et vos proches disposiez chacun d'une bibliothèque privée comportant une dizaine d'ouvrages, et que vous rendiez visite à une personne dont les livres tiennent dans trois immenses salles!

Tout cela va de pair avec un autre constat. C'est que contrairement aux IA analytiques où les données en entrée font l'objet d'une certaine sélection (car elles sont spécifiques à un domaine bien précis), avec les IA génératives, les ingénieurs alimentent les algorithmes avec à peu près tout ce qui leur tombe sous la main (données de l'internet, réseaux sociaux et autres contenus numérique, etc). Cela permet ainsi à l'IA de produire des contenus extrêmement variés (texte, images, vidéos, etc) où chaque utilisateur, qu'il s'agisse d'un individu ou d'une entreprise, peut trouver son compte.

Il s'agit là du premier volet de la réponse à votre question sur l'intérêt soudain pour l'IA. Mais il est important de préciser que les IA génératives existaient déjà depuis de nombreuses années. En effet, les

¹¹⁹ Plus spécifiquement un *Large Language Model (LLM)* comme vu précédemment.

algorithmes d'intelligence artificielle capables de générer des images hyper-réalistes existent depuis le début des années 2010 (plus précisément 2013 pour les réseaux auto-encodeurs variationnels-VAE, et 2014 pour les réseaux génératifs antagonistes-GAN).

En outre, les grands modèles de langage à base des réseaux *Transformers* et capables de générer toutes sortes de textes, existent eux, depuis 2017. En 2018, la première version de ChatGPT était produite par Open AI. Au début du mois de novembre 2022, Facebook/Meta sortait son grand modèle de langage Galactica (destiné aux scientifiques), suivi deux semaines après par ChatGPT-3.5.

C'est donc à travers sa version 3.5 que Open AI/ChatGPT a réussi à populariser les IA génératives du fait de la combinaison de deux facteurs:

- la pertinence des résultats obtenus, grâce à un volume de données en entrée sans commune mesure avec ChatGPT-2 ou même ChatGPT-3;
- les enseignements tirés des erreurs de lancement de Galactica¹²⁰, et notamment des recommandations de prudence et de vérification aux utilisateurs, et le fait qu'il s'agit d'un outil plus généraliste que Galactica; la cible visée étant donc moins exigeante que celle de ce dernier.

« La technologie et les algorithmes des IA génératives existent depuis longtemps; mais Open AI a réussi à créer un fort engouement autour de ChatGPT, et a ainsi contribué à démocratiser l'intelligence artificielle. »

A côté de ce qui précède, ou plutôt en complément, il faut savoir que l'IA est désormais **plus visible et plus accessible**, autant pour le grand public que pour les entreprises; et son utilité en devient donc plus évidente pour tous.

Commençons par le **grand public**.

Si nous reprenons l'exemple de M. Lionel Mateck utilisé en préambule de notre conversation, on se rend compte que le grand public utilise l'IA

¹²⁰ En effet, la démo de Galactica ne sera restée que 3 jours en ligne suite à une levée de boucliers de la communauté scientifique après que de nombreuses erreurs flagrantes aient été relevées dans les réponses de cette IA.

depuis longtemps déjà, même s'il n'en n'est pas toujours conscient. Des tâches telles que la reconnaissance faciale pour déverrouiller le téléphone, ou encore l'assistance vocale, sont déjà de nature à attirer l'intérêt du grand public.

Mais avec les IA génératives, le grand public a véritablement pris conscience que tout le monde était capable de générer du contenu d'un haut degré de complexité et de réalisme. Nous savons tous que l'engouement du public pour les réseaux sociaux s'expliquait en partie par la possibilité de partager des messages rédigés par nous-mêmes, ou encore des images et des vidéos. Mais avec les IA génératives, l'individu ordinaire se rend compte qu'il lui est possible de générer les images hyper-réalistes qu'il désire, de procéder aux transformations d'images ou de vidéos qu'il souhaite, etc. Bref, l'individu ordinaire se rend compte qu'il peut désormais devenir un véritable acteur (voire un producteur) de l'intelligence artificielle; ce qui contribue à accroître son intérêt et son engouement pour cette technologie.

Le **monde des entreprises** s'intéresse de plus en plus à l'IA car les applications sont de plus en plus tangibles et impressionnantes. Certes, il existe depuis longtemps des outils (digitaux notamment) qui facilitent les activités des entreprises; mais l'IA a permis de les situer à un niveau inattendu. Cela se voit au niveau des entreprises en tant qu'organisations, mais également au niveau des salariés.

- Au niveau de l'entreprise en tant qu'entité, on note par exemple la possibilité d'avoir des *chatbots* de plus en plus précis et réactifs aux requêtes des clients, de générer des campagnes marketing plus impactantes et en temps réel, de générer des contenus (images, vidéos) correspondant à ce que l'entreprise désire réellement. L'intelligence artificielle est donc de plus en plus considérée comme un véritable levier de performance, ainsi que comme un avantage concurrentiel.
- A un autre niveau, les traductions de texte qui sont de plus en plus fiables, les comptes-rendus de réunion qui sont produits de manière quasi-instantanée, les gros documents qui sont résumés en quelques instants, le travail de codage informatique qui est facilité, etc, sont des tâches qui sont de nature à augmenter l'intérêt et l'engouement des employés pour l'intelligence artificielle.

En somme, une véritable course à l'IA s'est enclenchée où les entreprises comprennent que l'intelligence artificielle est maintenant un vecteur incontournable de performance.

Et fort heureusement, de plus en plus de **gouvernements** deviennent conscients du double rôle qu'ils ont à jouer :

- tout d'abord en tant que facilitateurs, afin de permettre à l'IA de générer tout le potentiel permettant d'accélérer le développement économique et social des populations;
- mais également en tant qu'encadrateurs, afin d'éviter les dangers et les risques que peut induire une mauvaise utilisation de l'intelligence artificielle. Nous nous étendrons longuement sur ce dernier aspect plus loin dans notre conversation.

« Grâce à l'IA générative, l'intelligence artificielle est devenue omniprésente, médiatisée et exploitable par le plus grand nombre (individus et entreprises). »

La Journaliste :

Peut-on s'attendre à d'autres innovations ou découvertes impressionnantes dans le domaine de l'IA ces prochaines années?

Mme IA :

En réalité, c'est presque certain et inévitable...

Mme IA :

Il faut d'abord rappeler que l'intelligence artificielle, telle que nous la connaissons maintenant, est le fruit d'un long processus qui a débuté il y a bien longtemps déjà, et qui a connu des périodes d'euphorie et de développement rapide, entrecoupées par des périodes de doute : les fameux « hivers de l'intelligence artificielle ».

Ensuite, si nous nous focalisons sur les IA génératives qui rencontrent autant de succès de nos jours, celles-ci sont également le résultat d'améliorations successives et cumulatives. C'est ainsi que :

- Les IA génératives de texte (les grands modèles de langage) comme ChatGPT, Gemini, Claude ou LLaMA, sont la résultante d'innovations dans les algorithmes avec tout d'abord les Réseaux de Neurones Récurents en 1993, qui ont été par la suite améliorés avec les Réseaux Long & Short Term Memory (LSTM) en 1997, et enfin les *Transformers* en 2017.
- Les IA génératives d'images comme Midjourney ou Stable Diffusion ont bénéficié des recherches ayant abouti à la création des Auto-Encodeurs Variationnels (VAE) en 2013, suivis des Réseaux Antagonistes Génératifs (GAN) en 2014, puis des modèles de diffusion aux alentours de 2020.

Ces algorithmes ne vous sont plus étrangers puisqu'ils ont fait l'objet d'une présentation plus ou moins détaillée dans le chapitre précédent.

Donc il est logique de dire que nous devons nous attendre à ce que d'autres réalisations de l'Intelligence Artificielle continuent de nous surprendre ces prochaines années, et cela essentiellement pour un certain nombre de raisons.

Il y aura donc tout d'abord la découverte de **nouvelles architectures algorithmiques** destinées à améliorer et/ou à remplacer les algorithmes actuels, et cela dans une double optique :

- primo, il s'agira d'améliorer la **performance** des algorithmes en termes de gain de précision et de baisse des taux d'erreur (par exemple dans la reconnaissance d'images ou dans la traduction);
- secundo, il s'agira d'améliorer la **productivité** des algorithmes de manière à ce qu'elles aient besoin de moins de données et d'énergie pour faire fonctionner les ordinateurs.

Tout cela sera facilité par la collaboration accrue entre les chercheurs de différents horizons, ainsi que par la culture de *l'open source* qui permettra aux startups et aux communautés de développeurs d'apporter leur pierre à l'édifice.¹²¹

¹²¹ L'*IA open source* fait référence aux logiciels et algorithmes d'IA qui sont librement disponibles pour que quiconque puisse les utiliser, les modifier et les distribuer. Cette

Il faut savoir que des progrès sont déjà faits dans cette optique. Certains sont empruntés du *data mining* dans le sens de l'amélioration des modèles¹²²; d'autres ont trait à la découverte d'autres structures algorithmiques¹²³; d'autres enfin essaient d'apporter une véritable évolution, voire un changement de paradigme, dans la manière de « penser » l'intelligence artificielle. S'agissant justement de ce dernier point, deux avancées très prometteuses nécessitent d'être évoquées.

- On parle d'un **cerveau artificiel en nano-fils d'argent**¹²⁴ créé par des chercheurs australiens et américains, et capable d'apprendre en temps réel; ce qui permet de réduire très significativement le temps de traitement des données. Ce cerveau ayant une disposition des neurones assez semblable à celle du cerveau humain (et non comme cela est représenté de manière linéaire dans les algorithmes de *deep learning*), le traitement des données se rapproche davantage du fonctionnement de nos cerveaux.
- On parle également d'un **réseau neuronal liquide** créé par le MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Ce réseau a la particularité d'être extrêmement compact, et d'avoir besoin de très peu de neurones pour effectuer certaines tâches. Cela le rend donc très utile dans le cadre des IA incarnées (véhicules autonomes, robots, etc), car on n'a plus besoin des gros espaces de stockage du *cloud*. Plus concrètement, et à titre illustratif, on a actuellement besoin d'un algorithme de *deep learning* comportant environ 100 000 neurones pour simplement maintenir une voiture autonome sur sa voie; avec le réseau neuronal liquide, il suffirait de 20 neurones!¹²⁵

démocratisation de l'IA permet aux entreprises, aux chercheurs et aux développeurs de s'appuyer sur le travail de chacun et de créer des solutions de pointe.

¹²² C'est le cas de la combinaison des modèles par des techniques dites « ensemblistes » (bagging, boosting, forêts aléatoires, etc).

¹²³ L'un des avantages des « auto-encodeurs » par exemple, est de réduire la dimensionnalité des données; ce qui permet à d'autres algorithmes d'avoir besoin de moins de données.

¹²⁴ Un nano-fil d'argent est mille fois plus fin qu'un cheveu humain. Ce cerveau physique comporte donc des dizaines de milliers d'intersections semblables aux synapses; ce qui rend plus efficace le traitement et la transmission des informations portées par les signaux.

¹²⁵ Les ingénieurs du MIT se sont inspirés d'un petit organisme (le vers *C. Elegans*), qui est capable d'exécuter des tâches complexes alors qu'il ne dispose que de 300 neurones. Un adulte humain en possède environ 84 milliards, une fourmi entre 200 000 et 500 000.

A côté de ces découvertes, l'intelligence artificielle bénéficiera fort probablement de la synergie résultant de sa **combinaison avec d'autres technologies** (réalité augmentée, réalité virtuelle, 5G, etc), dont notamment l'ordinateur quantique qui devrait permettre d'améliorer de manière impressionnante et prodigieuse la performance des algorithmes d'IA en matière de vitesse de traitement et de précision¹²⁶.

Et parallèlement à ces nouveaux algorithmes et autres avancées technologiques, il y aura également de **nouveaux usages** et de **nouvelles applications** de l'intelligence artificielle :

- soit parce que l'on découvrira certaines applications de l'IA destinées à mieux adresser certains besoins de l'être humain (par exemple dans le domaine domestique ou dans celui de la santé);
- soit parce que certains secteurs ou milieux (les services publics notamment) vont davantage l'adopter;
- soit enfin parce qu'il y aura une sorte de popularisation de l'intelligence artificielle dans certains pays qui semblaient légèrement en retrait (en Afrique notamment).

En conclusion de ce chapitre, il faut garder à l'esprit que les IA génératives ne constituent essentiellement qu'une évolution de l'intelligence artificielle. La véritable révolution tient plutôt aux usages de l'IA qui sont devenus populaires et accessibles au grand public.

« L'IA générative n'est pas une révolution des IA,
mais une révolution des usages. »

Dr Luc Julia

¹²⁶ Un ordinateur quantique va utiliser les 0 et les 1 comme l'ordinateur classique, mais cette fois de manière superposée (donc simultanée), et non plus séquentielle. Cela lui permettra d'explorer tous les chemins en même temps, et non plus un à un. La conséquence est donc une explosion de la vitesse de traitement. On parle ainsi de certains calculs qui se feraient en quelques secondes, contre plusieurs années avec les ordinateurs actuels!

Chapitre 7

Dans la pratique, la manière d'utiliser ou d'adopter l'IA dépend de ce qu'on attend d'elle



Avertissement. Vous reconnaîtrez certainement dans ce chapitre de nombreux termes techniques développés dans les pages précédentes. Et en ce sens, ce chapitre fait un peu office de révision.

La Journaliste :

Commençons par quelque chose dont on parle beaucoup ces temps-ci; ces voitures qui se conduisent toutes seules, sans avoir besoin d'un conducteur derrière le volant?

Mme IA :

Il s'agit des voitures autonomes. Parlons-en quelques minutes...

Mme IA :

Il faut d'abord savoir que la présence de l'intelligence artificielle dans les voitures ne date pas d'hier. Lorsqu'avait été relatée l'histoire de l'IA, et notamment le renouveau survenu à partir du milieu des années 1990, il avait été fait mention du véhicule autonome Stanley qui, en 2005, avait remporté une course automobile dans le cadre du Challenge DARPA¹²⁷. Il est vrai que les obstacles étaient tous immobiles, et le challenge peu impressionnant lorsqu'on le compare aux nombreux progrès réalisés depuis lors. C'est ainsi qu'il y a le système Distronic qui équipe les Mercedes-Benz depuis quelques années, notamment les modèles 2019 des classes S et GLE.

Le Distronic est défini officiellement comme un « assistant de régulation de distance actif ». Dit plus simplement, il s'agit d'un système qui permet au véhicule de freiner et d'accélérer de manière autonome et sans intervention humaine, afin de respecter une distance de sécurité prédéfinie par le conducteur par rapport au véhicule qui le précède (entre 20 cm et 30 mètres). Le dispositif fait appel à plusieurs capteurs

¹²⁷ A titre de rappel, le DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) est l'agence américaine en charge de la recherche et développement des nouvelles technologies à usage militaire.

avec systèmes radars situés derrière le pare-chocs avant et la calandre; ce qui permet de mesurer en continu la distance par rapport au véhicule qui précède.

Il s'agit donc, vous l'avez certainement deviné, d'une IA de reconnaissance de forme (le véhicule qui précède), couplée à une IA de *data analytics* (calcul automatique de distance en fonction de la vitesse).

Pour revenir alors précisément à ce qui vous intéresse, sachez que la voiture autonome a ceci de particulier et de très intéressant qu'il s'agit là de l'archétype du produit qui rassemble la plupart des notions et des techniques liées à l'IA dont nous parlons depuis le début de cet entretien. Cela est vrai tout d'abord pour les deux formes d'IA :

- l'IA incarnée, à travers la voiture qui joue de rôle de machine (ou de robot intelligent si vous préférez), avec tous les accessoires qui ont déjà été évoqués (capteurs, batterie, etc);
- l'IA logicielle, à travers les différents algorithmes qui sont à l'œuvre et qui concernent respectivement la *data analytics*, la vision artificielle, le traitement du langage naturel, etc.

En outre, ces algorithmes sont basés aussi bien sur l'approche symbolique (avec des règles de logique pour lesquelles la voiture est préprogrammée), que sur l'approche par apprentissage automatique (avec les réseaux de neurones artificiels par exemple).

Afin que vous puissiez mieux comprendre cela, il est possible d'expliquer assez brièvement comment fonctionne la voiture autonome. En résumé, une voiture autonome comporte trois composantes majeures :

- les capteurs,
- les processeurs,
- les actionneurs.

Les capteurs vont collecter des données, lesquelles seront traitées par les processeurs, qui indiquent ensuite à la voiture ce qu'elle doit faire au moyen d'actionneurs qui contrôlent certains composants physiques (les roues, les freins, etc). La démarche détaillée est présentée dans les pages qui suivent.

1. Tout commence donc avec les capteurs, qui constituent en quelque sorte les yeux de la voiture, et rappellent la perception dans l'acronyme PACMIRCEC sur l'intelligence humaine.

Les voitures autonomes sont équipées de plusieurs capteurs, chacun ayant une fonction spécifique; lesquels capteurs sont chargés de collecter des données sur l'environnement immédiat, c'est-à-dire les panneaux de signalisation, les autres véhicules, les piétons, etc. Ces capteurs spécifiques sont respectivement :

- Le LIDAR,¹²⁸ qui utilise des impulsions laser pour détecter les objets dans l'environnement et mesurer la distance en fonction du temps mis par les faisceaux lumineux pour aller et revenir. Cela permet à la voiture de créer une carte en 3D (avant-arrière, à gauche et à droite, au-dessus) de son environnement. C'est la *Data Visualization* (dont nous avons déjà parlé au sujet de Lionel Mateck et les statistiques des matches de football).
- Il y a ensuite les caméras de détection des panneaux de signalisation, des feux de circulation, des marqueurs routiers, d'autres engins et des piétons. Il s'agit véritablement de la reconnaissance des formes avec des images préenregistrées de ces panneaux, feux, voitures, piétons. Il s'agit bien entendu ici de ce que nous avons appelé les « algorithmes de classification » issus de l'apprentissage supervisé. Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) sont les plus utilisés ici en raison de leur grande flexibilité et leur adaptabilité. Ils sont également combinés à des algorithmes de traitement du langage pour lire le contenu des panneaux de signalisation.
- A cela s'ajoutent des RADAR pour la détection des obstacles sur une plus grande distance que le LIDAR, en utilisant pour cela les ondes magnétiques. On termine avec des SONAR, qui détectent les obstacles dans un très petit rayon d'action grâce aux ondes sonores.

¹²⁸ L'acronyme LIDAR peut signifier Light Detection And Ranging, ou encore Laser Imaging Detection And Ranging. Le LIDAR émet des centaines de milliers d'impulsions laser infrarouge par seconde sur une surface cible, puis mesure le temps que met la lumière à revenir vers lui (l'écho). A partir de la mesure du temps de parcours du laser, il est capable de calculer la distance. $\text{Distance} = (\text{Vitesse de la lumière} \times \text{Temps écoulé}) / 2$.

Ainsi, un obstacle présent à 50 mètres d'une voiture autonome serait perçu en 0,000333 millisecondes, soit 333 nanosecondes. La durée moyenne d'un clignotement des yeux chez l'humain est comprise entre 100 et 150 millisecondes.

2. Il y a ensuite la localisation...

C'est ce qui permet à la voiture autonome de savoir à tout moment où elle se trouve. Certains points-clés sont identifiés à travers les images vidéo consécutives enregistrées par les caméras, et une IA va estimer la position et l'orientation 3D des objets par rapport à la voiture. Le système de navigation GPS et les réseaux mobiles (la 5G notamment) sont également utiles ici.

3. Puis vient l'analyse...

Il y a deux activités majeures à ce niveau.

La première concerne la planification de la trajectoire. Les voitures autonomes utilisent des « algorithmes de recherche » pour déterminer la meilleure trajectoire en fonction de l'environnement immédiat et de la destination souhaitée. Ces algorithmes de planification de trajectoire prennent en compte les obstacles, les piétons et les autres véhicules sur la route, ainsi que les conditions de la route telles que les feux et les panneaux de signalisation, de telle sorte que la voiture puisse atteindre la destination de manière efficace.

La seconde activité prend la forme d'une analyse prédictive. En effet, les voitures autonomes utilisent des algorithmes sophistiqués pour évaluer l'environnement immédiat sur la base des données collectées par les capteurs, et prendre des décisions en conséquence. A cet effet, les algorithmes d'IA prédictive sont utilisés pour s'assurer de pouvoir:

- anticiper le comportement des autres véhicules en fonction de leur vitesse, et adapter celle du véhicule autonome (freinage, ralentissement ou accélération);
- prédire la trajectoire d'un éventuel piéton pour éviter une collision avec ce dernier.

4. Il y a enfin la prise de décision

Il s'agit alors, pour la voiture autonome, de choisir la meilleure action parmi toutes les nombreuses prévues : accélérer, freiner, tourner à droite, éviter un obstacle, etc. Et tout cela doit se faire en s'assurant de suivre une trajectoire précise dans le strict respect du Code de la Route (panneaux de signalisation, signes sur la route, conduite à droite dans les pays où c'est la norme, etc). Vous pouvez certainement imaginer que ce

sont les techniques d'optimisation et les règles de logique (Si... Alors...) de l'IA symbolique qui sont sollicitées ici.

Sur un plan purement mécanique, suite à sa prise de décision, la voiture autonome va activer ou désactiver certaines de ses commandes qui contrôlent les composants physiques tels que les roues, les freins, etc.

En plus de ce qui précède, et qui constitue le principe fondamental et générique des voitures autonomes, s'ajoute de plus en plus une fonctionnalité concernant la communication avec le passager. Il s'agit d'un algorithme de traitement du langage naturel qui permet un véritable dialogue. C'est ainsi que le véhicule peut, suivant un intervalle de temps donné ou alors à la demande du passager, informer ce dernier sur leur position (la voiture et le passager), ou lui fournir des données sur le trafic. De même, le passager peut demander à la voiture de suivre une trajectoire bien précise, même si elle est différente de la trajectoire dite optimale.

En outre, et si vous suivez bien depuis le début, vous aurez certainement deviné que l'apprentissage par renforcement (ou par essai-erreur) est également utilisé dans le cas des voitures autonomes; essentiellement et inmanquablement lors des différents tests effectués sur le terrain.

Mais, aussi sophistiqué et scientifique qu'apparaisse tout l'arsenal d'intelligence artificielle qu'elles embarquent, les voitures autonomes sont sujettes à d'importants risques et défis, dont notamment :

- les conditions météorologiques, qui peuvent réduire l'efficacité des capteurs;
- les imprévus absolus, qui concernent par exemple un enfant qui en viendrait à traverser brusquement la route;
- les imprévus relatifs, qui constituent plutôt des situations difficiles où la voiture doit opérer un choix subjectif entre deux décisions. C'est ce que l'on appelle le « dilemme de la chèvre » dans la conduite automobile¹²⁹.

¹²⁹ Le « dilemme de la chèvre ». Une personne en voiture voit soudainement une chèvre qui se tient au milieu de la route. D'un côté de la route, il y a un fossé profond. Le conducteur espère que l'animal va se sauver, mais il ne bouge pas; et le conducteur ne pourra pas s'arrêter à temps. Devrait-il donner un coup de volant pour éviter de cogner la chèvre? Dans ce cas, il

Ce sont ces importants risques et défis qui font dire à de nombreux experts que le niveau le plus élevé et avancé de la voiture autonome (qualifié de niveau 5) ne sera probablement jamais atteint.

La Journaliste :

Mme IA, que pouvez-vous dire à propos du fonctionnement de la reconnaissance faciale?

Mme IA :

La reconnaissance faciale est une activité qui semble banale, mais qui fait tout de même intervenir à elle-seule 4 algorithmes d'IA qui travaillent de concert...

Mme IA :

Il vous est probablement déjà arrivé d'utiliser les technologies de reconnaissance faciale, notamment si vous faites usage de votre visage pour déverrouiller votre smartphone.

Il convient d'abord de préciser que la reconnaissance faciale peut viser deux objectifs: la vérification d'identité ou alors l'identification.

- L'IA de **vérification d'identité** essaie de répondre à la question « ces deux photos sont-elles de la même personne ? ». C'est le cas lorsque vous vous présentez à la police de l'aéroport et que l'on compare la photo qui figure sur votre passeport, et votre photo qui vient d'être prise par une caméra. La réponse est soit oui, soit non.
- L'IA **d'identification** en revanche essaie de répondre à la question « de qui s'agit-il? ». C'est le cas lorsqu'on prend une photo d'une personne, et on recherche dans la base de données quelle est la personne la plus ressemblante. Ici, le résultat est une probabilité.

En général, toute reconnaissance faciale fonctionne selon une procédure séquentielle en quatre étapes.

1. Détection du visage

2. Alignement et repères

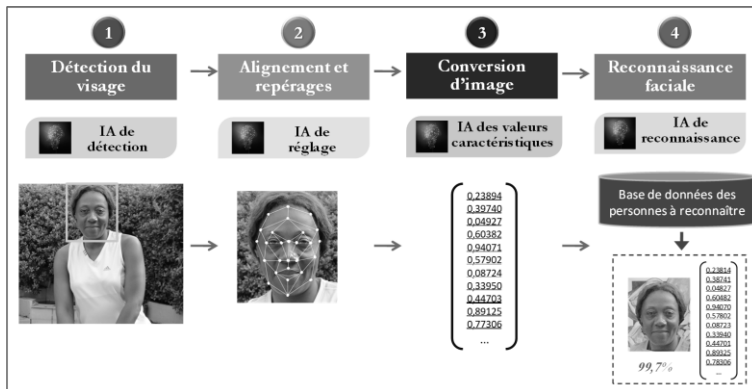
3. Analyse du visage

4. Reconnaissance faciale

pourrait se blesser lui-même et endommager sa voiture. Ou alors, devrait-il cogner la chèvre? Mais alors, celle-ci pourrait mourir.

Qu'il s'agisse de vérification ou d'identification, la démarche est globalement la même, à l'exception d'une légère différence vers la fin. L'exemple qui est présenté ici consiste à reconnaître le visage d'une personne de sexe féminin, avec les quatre étapes et les tâches d'intelligence artificielle correspondantes.

Le processus de reconnaissance faciale et les 4 IA correspondantes



1. L'IA de détection

L'IA de détection de visage détecte la présence d'un visage dans une image grâce à la reconnaissance de certaines caractéristiques: forme générale, présence d'oreilles et d'yeux, proéminence du nez, etc.

On fait généralement usage ici des réseaux de neurones convolutifs (CNN), lesquels auront été préalablement entraînés à reconnaître un visage dans une image où figurent d'autres éléments tels que le paysage, des animaux, des objets divers, etc, grâce à des techniques de filtrage.

2. L'IA de réglage (alignement et repérages)

Le visage détecté est ensuite isolé, et on fait appel à une IA qui va se charger de deux opérations : l'alignement et les repérages.

Alignement. Il s'agit, lorsque c'est nécessaire (ce qui n'est pas le cas dans notre exemple), de déformer légèrement l'image afin qu'elle soit bien centrée et de face. La raison est que dans notre base de données, on ne va garder que les photos où le visage de la personne est bien droit et

bien centré, car il est nécessaire que toutes les photos soient « comparables ». On ne veut pas, par exemple, reconnaître quelqu'un uniquement parce qu'il est le seul à avoir une photo de profil et à se présenter devant la caméra de profil.

Repérages. Il s'agit d'établir une cartographie (carte faciale) du visage en connectant ses points nodaux. Il s'agit des terminaisons (généralement au nombre de 80) qui servent à mesurer les variables du visage humain; donc des sortes de marqueurs ou d'identificateurs. Ce sont ces marqueurs qui distinguent les visages humains les uns des autres: largeur de la bouche, écart entre les yeux, longueur du nez, angle de la mâchoire, prééminence du front, et d'autres distances, etc.

3. L'IA des valeurs caractéristiques

Etant donné qu'en *machine learning* les algorithmes ne reconnaissent que les nombres, la conversion de la carte faciale en une formule mathématique devient nécessaire.

Les informations analogiques (c'est-à-dire mesurées en mm) sont converties en données numériques sans unité, et comprises entre 0 et 1; c'est **l'empreinte faciale**. Les données numériques des 80 marqueurs sont placées de manière verticale. On parle de présentation vectorielle (matrice à 80 lignes et 1 colonne); et chaque marqueur a une position donnée dans ce vecteur, par exemple la ligne 3 pourra correspondre au marqueur (ou point nodal) largeur de la bouche, la ligne 18 pourra correspondre au marqueur écart entre les yeux, etc.

4. L'IA de reconnaissance

Cette représentation numérique du visage (l'empreinte faciale) est ensuite comparée à une base de données de visages connus pour faire une correspondance.

L'IA essaie d'identifier le visage dont l'empreinte numérique (c'est-à-dire le vecteur) atteint un certain seuil de ressemblance avec celle du visage analysé pour la vérification; par exemple 95%. Ou alors on retiendra la probabilité la plus élevée s'il s'agit d'une identification.

Il existe plusieurs algorithmes de ressemblance. Mais étant donné qu'il s'agit uniquement de chiffres, ces algorithmes appartiennent au *data mining* classique et peuvent consister en des modèles allant des plus simples (calculs de distance) aux plus compliqués (par exemple l'algorithme appelé *Support Vector Machine-SVM*).

La Journaliste :

Et maintenant, afin de ne pas oublier les cadres d'entreprise qui nous lisent, il y a l'exemple des campagnes de marketing où plusieurs techniques d'IA sont combinées pour résoudre un problème de business...

Mme IA :

Oui, en effet. Cet exemple intéresse particulièrement les dirigeants des secteurs à forte intensité concurrentielle tels que les télécoms ou le secteur des banques et assurances.

NB. Les 8 pages qui suivent sont destinées essentiellement à ceux qui sont en charge ou qui s'intéressent à la gestion des entreprises. Vous pouvez les parcourir si vous le voulez, ou alors vous rendre directement à la page 175

Il convient d'abord de préciser que cet exemple a été pris à dessein. En effet, le secteur des télécoms est l'un de ceux où la collecte et l'exploitation des données sont très développées en Afrique, à tel point que certains opérateurs locaux n'ont pas grand-chose à envier aux acteurs évoluant par exemple en Europe. Ensuite, la téléphonie mobile est pratiquement devenue un service de masse, ce qui est illustré par une étude qui révèle qu'il y aurait plus de téléphones mobiles en circulation dans le monde que de brosses à dents¹³⁰! Si l'on ajoute à cela l'impact qu'ont les réseaux sociaux, alors on peut en conclure que le secteur des télécoms est indiscutablement l'un des secteurs-phares en Afrique.

L'exemple qui sera rapidement développé ici a trait à la manière dont les opérateurs de téléphonie mobile procèdent pour organiser des campagnes promotionnelles avec une régularité assez impressionnante.¹³¹

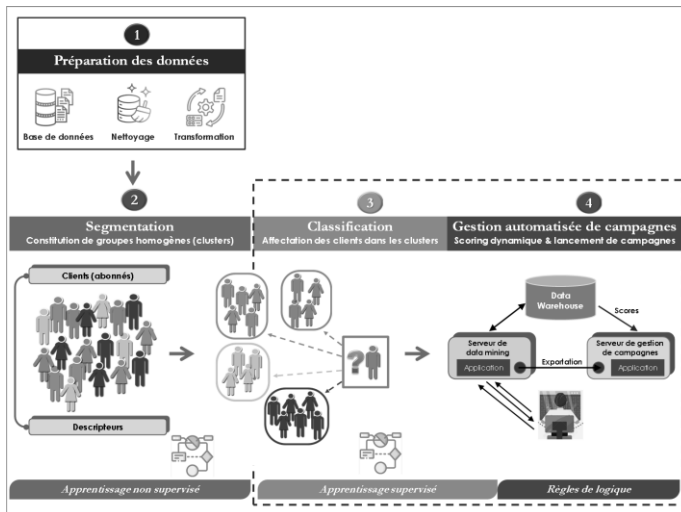
¹³⁰ Oral-B-Global Oral Health Survey 2018

¹³¹ Dans les pays d'Afrique subsaharienne, les entreprises brassicoles lancent généralement une demi-douzaine de promotions dans un intervalle de 12 mois. Les banques se situent dans des proportions assez similaires. Par contre, les opérateurs de téléphonie mobile sont eux capables de lancer plusieurs dizaines de promotions en une seule année.

En général, le processus de gestion automatisée des campagnes marketing de la part des compagnies de téléphonie mobile fonctionne selon la procédure séquentielle suivante:

1. La préparation des données
2. La segmentation des abonnés
3. La classification des abonnés
4. La gestion des campagnes

L'IA et le processus de gestion des campagnes marketing dans l'industrie des télécoms



1. La préparation des données

Vous vous rappelez qu'en apprentissage automatique (*machine learning*), le but est de fournir un vaste ensemble de données à la machine (ici l'ordinateur) afin qu'elle apprenne la structure de ces données. Cela implique que si les données ne sont pas de bonne qualité, les résultats seront peu précis et peu fiables. Si cela semble anodin, il s'agit en fait de l'une des principales origines des mauvais résultats de certains projets d'intelligence artificielle. Les anglo-saxons appellent ce phénomène GIGO (*Garbage In, Garbage Out*).

Par données de mauvaise qualité, on entend tout d'abord ici des données qui ne correspondent pas à la problématique à laquelle on est confronté; c'est ce qu'on appelle la non-représentativité des données. Par exemple, si vous désirez entraîner un algorithme à reconnaître le monument "La Nouvelle Liberté" au rond-point Déido à Douala, et que vous ne fournissez que des images d'autres monuments, cet algorithme sera incapable d'accomplir ce que vous recherchez.

Par données de mauvaise qualité, on entend également des données qui ne sont pas "propres". Cela signifie qu'il ne faudrait pas que l'algorithme se trouve par exemple face à des images vides, ou trop floues, desquelles il ne pourrait tirer aucune information.

Tout ce travail en amont, qui consiste à fournir des données de bonne qualité à la machine, est appelé "**préparation des données**"; c'est le travail des spécialistes de la Science des Données, les *Data Scientists*. Pensez au graphique de la page 54 qui mettait en évidence les disciplines qui sont en relation avec l'Intelligence Artificielle, et où la Data Science figurait en bonne place.

Dans le marché des télécoms, du fait de la nature des données à traiter dans le cadre d'un projet de gestion automatisée des campagnes marketing, la préparation des données peut parfois représenter près de 70% de l'ensemble du projet, et consiste en trois activités majeures: la collecte, le nettoyage et la transformation des données. Parcourons-les rapidement.

La collecte des données

Il s'agit de rassembler les données dont on aura besoin pour l'apprentissage automatique, et de les consolider sous la forme d'un tableau unique. Ces données sont généralement disponibles dans l'entrepôt de données de l'entreprise, le Data Warehouse.¹³²

Le volet représentativité des données implique qu'il s'agit de collecter les données d'un échantillon d'abonnés.¹³³ En outre, les données sont essentiellement des chiffres ou des données qualitatives, et correspondent à divers critères: le montant dépensé par l'abonné, le

¹³² On utilise des outils comme MS Excel, SQL, Jupyter notebook, Azure ML, R Studio, etc.

¹³³ Du fait que certains opérateurs disposent d'une base de clientèle de plusieurs millions d'abonnés, il s'agira de tirer un échantillon représentatif en utilisant certaines méthodes statistiques (tri aléatoire, sondage stratifié, etc).

comportement de recharge du téléphone, l'usage des différents services de l'opérateur, le niveau de fidélité, le profil sociodémographique quand c'est disponible, etc. Il s'agit en réalité de plusieurs dizaines de critères; ce qui fait que chez certains opérateurs, on peut se retrouver avec un tableau de données comportant plus de 4 millions de lignes et 125 colonnes, donc plus de 500 millions de données que l'ordinateur devra mouliner ; et cela pour un seul mois donné !

Le nettoyage des données (*data cleansing*)

Il s'agit de trouver les cellules à problème dans notre base de données. Ce sont essentiellement des valeurs nulles, des valeurs manquantes¹³⁴, des données dupliquées, des valeurs aberrantes et des erreurs. Et selon leur nature, il faudra soit les supprimer, soit les remplacer.

Par exemple, si certaines lignes ont des données manquantes dans plusieurs colonnes importantes, nous pouvons envisager de les supprimer. Si non, et en fonction des valeurs et du type de colonne, on peut remplacer la valeur manquante par zéro, par la valeur la plus fréquente ou par la moyenne.

La transformation des données

Il y a généralement trois types de problématiques à adresser ici.

Primo, dans notre base de données, certaines données se présentent sous forme de catégories; c'est par exemple le cas du sexe (homme ou femme), du lieu de résidence, de la dénomination des produits ou des services utilisés, etc. Etant donné que les algorithmes utilisent des valeurs numériques, il faut absolument convertir les données catégorielles en données numériques. C'est la « mise en forme ».¹³⁵

Secundo, il arrive qu'une grande variation soit observée entre les plages de valeur des différentes colonnes ; soit parce que les unités de mesure sont différentes, soit du fait du comportement-même des abonnés. Par exemple, la colonne « dépense mensuelle » en recharge internet peut

¹³⁴ En fonction de l'outil de base de données utilisé, ces valeurs nulles ou manquantes peuvent être représentées par : *blanks*, *NULL*, *?*, *N/A*, *NaN*, *NA*, *9999999*, *Unknown*.

¹³⁵ On peut le faire en convertissant toutes les valeurs de type catégorie en valeurs numériques en remplaçant toutes les valeurs uniques par des nombres séquentiels (par exemple pour le sexe; "Homme": 1, "Femme": 2). On peut également le faire en créant autant de colonnes que de modalités de la variable catégorielle, et en traitant chaque réponse de manière binaire (soit 0, soit 1).

aller de 500 FCFA à 150 000 FCFA, alors que les valeurs de la colonne « ancienneté dans l'usage d'un service » peuvent s'étaler de 2 à 18 mois.

Les données numériques doivent donc être mises à une échelle commune afin de donner le même poids à toutes les colonnes. C'est la « mise à l'échelle » ou *data scaling*.¹³⁶

En marge de cela, on peut regrouper certaines données trop dispersées en quelques classes dont on va calculer la moyenne; c'est le cas par exemple des données sur le niveau de consommation ou les dépenses.

Enfin et tertio, la transformation des données peut consister à ajouter de nouvelles variables découlant des variables d'origine; en calculant notamment des ratios. Par exemple, si vous avez les dépenses mensuelles de chaque abonné, calculer les moyennes par jour de la semaine permettra d'ajouter d'autres variables qui pourront s'avérer utiles. D'autres variables que l'on ajoute généralement concernent les variations d'une période à une autre. Tout cela prend le nom « d'enrichissement des données ».

Une fois tout ce travail de préparation des données effectué, on peut alors véritablement démarrer l'apprentissage automatique. Il a été nécessaire de passer suffisamment de temps sur cette section afin d'attirer votre attention sur l'importance de la qualité des données dans les projets liés à l'intelligence artificielle. Nous verrons plus loin dans notre entretien que la mauvaise qualité des données constitue l'une des grandes limites de l'IA; on parle parfois de **biais de données** et de **biais d'apprentissage**.

2. L'apprentissage non supervisé pour la segmentation

Une fois que des données de bonne qualité sont disponibles, on va suivre le processus classique d'apprentissage automatique pour segmenter la base d'abonnés, c'est-à-dire constituer des groupes homogènes; c'est donc du *clustering*. Il est très important de garder à l'esprit que cette segmentation devra correspondre à ce qu'on qualifie de « *business problem* ». Dans le cas qui nous concerne, il s'agit des différentes promotions ou campagnes marketing à lancer.

¹³⁶ Cela s'effectue à l'aide de transformations telles que la normalisation des données, la standardisation des données, la transformation logarithmique, etc.

On pourra à cet effet choisir entre les techniques traditionnelles de *data mining* et les réseaux de neurones artificiels.

- Dans la première option, le choix se fait généralement entre la technique des K-moyennes et les algorithmes de classification hiérarchique. Ce sont des techniques qui ont été évoquées très brièvement lors du module/chapitre 5 à la page 114.
- Parmi les algorithmes de réseaux de neurones artificiels adaptés à la constitution de groupes homogènes, la technique dite des cartes auto-organisatrices de Kohonen (*Self Organizing Maps-SOM* en anglais) est la plus prisee¹³⁷. Cette méthode s'inspire du fonctionnement des neurones humains pour partitionner les données, et générer une carte où les données sont regroupées par zones, en fonction de leurs similarités.

Etant donné que nous sommes en intelligence artificielle, la machine va procéder elle-même à des tâches telles que la sélection des variables suffisamment pertinentes et discriminantes pour être intégrées dans le modèle, l'optimisation des paramètres du modèle afin de minimiser les erreurs, etc. Et une fois les segments d'abonnés identifiés de manière optimale par la machine, on pourra passer à la phase d'affectation des abonnés aux segments adéquats, en fonction de notre « *business problem* » bien évidemment. Il faut noter que dans une optique d'IA, la machine va également déterminer le nombre optimal de groupes à constituer en fonction, d'une part de la structure des données, et d'autre part du nombre et de la nature des campagnes marketing à lancer. Cela peut aller d'une dizaine de segments à plusieurs centaines ; on parle dans ce dernier cas de micro, voire de nano-segments.

3. L'apprentissage supervisé pour la classification

A titre de rappel, en Data Science et en Intelligence Artificielle, la classification correspond à l'affectation d'objets ou d'individus dans des classes ou des catégories. Il s'agit en fait d'une interprétation anglo-saxonne qui n'a donc pas de rapport avec une quelconque hiérarchisation.¹³⁸

¹³⁷ Teuvo Kohonen est le statisticien qui a développé cette méthode en 1984.

¹³⁸ Les anglo-saxons utilisent donc « *classification* » pour l'affectation dans des classes, et « *ranking* » pour la hiérarchisation qui correspond au classement dans la conception française.

En termes concrets, on dira qu'il s'agit de procéder au *scoring* des abonnés puisque l'algorithme va, pour chaque abonné, donner sa probabilité d'appartenance aux différents segments identifiés lors de la phase précédente, celle de la segmentation où on faisait de l'apprentissage non supervisé.

Les algorithmes de classification les plus utilisés par les compagnies de téléphonie mobile sont :

- ceux issus du *data mining* traditionnel, et notamment les arbres de décision, la régression logistique, les machines à vecteurs de support (*SVM*), etc;
- les réseaux de neurones artificiels, et notamment le Perceptron Multicouches (*Multi-Layer Perceptron-MLP* en anglais).

Dans la pratique, on choisit généralement trois ou quatre algorithmes en fonction de leurs avantages et inconvénients respectifs et de leurs performances, et on les combine (soit de manière séquentielle, soit en parallèle) afin de réduire autant que possible le taux d'erreur.¹³⁹ On dit alors qu'on utilise des modèles ensemblistes (*ensemble learning* en anglais).

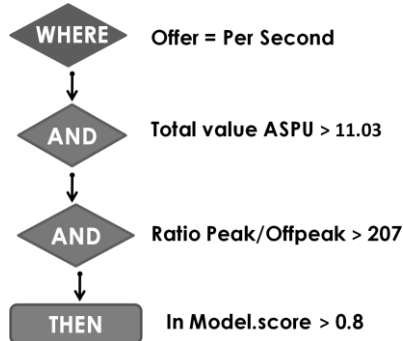
4. La gestion automatisée des campagnes et les règles de logique

Dans un environnement dynamique et à forte intensité concurrentielle comme l'est le marché des télécoms en Afrique pour ce qui est des clients prépayés, l'intelligence artificielle permet d'actualiser le *scoring* des abonnés quasiment en temps réel, et cela dans le but d'ajuster les campagnes marketing tactiques en fonction des retours observés sur le marché.

¹³⁹ Vous vous rappelez que nous avons dit que l'échantillon utilisé était divisé en un échantillon d'apprentissage sur la base duquel le modèle est conçu (et donc apprend), et un échantillon de test qui permet d'évaluer le modèle de manière impartiale. Dans le cas particulier des réseaux de neurones, il est possible d'utiliser un échantillon de validation après la phase d'apprentissage afin de régler les hyper-paramètres (l'architecture du réseau). Il faut également savoir que les termes « validation » et « test » sont parfois inter-changés tant dans les milieux professionnels qu'universitaires. Donc il convient d'éviter ici une bataille sémantique inutile, et retenir plutôt la démarche.

Le **scoring dynamique et automatisé** permet ainsi de conduire de multiples campagnes marketing bien ciblées sans avoir besoin de répéter les tâches manuelles (nouvelles segmentations de la base d'abonnés, ciblage des campagnes, etc). En effet, dès que le modèle a été introduit dans le Système de Gestion de Campagnes de la compagnie de téléphonie mobile, l'utilisateur (généralement un manager du département marketing) peut s'atteler à la création de campagnes marketing ciblées en utilisant les modèles prédictifs élaborés. Les étapes de ce processus sont les suivantes.

- a. Dès qu'une campagne marketing bien définie active le modèle prédictif pour réaliser le *scoring* dynamique, le résultat est enregistré dans un tableau de *scoring* temporaire.
- b. Dès que ce tableau de *scoring* est disponible dans le Data Warehouse, le moteur de Data Mining notifie le Système de Gestion de Campagnes, et la campagne marketing est exécutée dès qu'un score-seuil est atteint (par exemple 0,8). A ce niveau, c'est l'IA symbolique à base de règles de décision qui prend le relais, comme illustré ci-dessous à travers ce qu'on appelle les « *business rules* ».



NB : Parallèlement à tout ce travail d'intelligence artificielle, les équipes marketing s'occupent des activités classiques de gestion de campagnes personnalisées. Dans le cas des Push SMS, il s'agira notamment de la conception des messages à envoyer, de la programmation du timing de l'envoi, de l'envoi effectif (notification de l'abonné) de l'existence d'une

offre adaptée à ses besoins, de l'analyse d'impact de la campagne¹⁴⁰, et bien d'autres activités encore.¹⁴¹

¹⁴⁰ Et d'autres algorithmes d'IA peuvent également être utilisés pour l'analyse des performances des campagnes.

¹⁴¹ Dans l'esprit de ce qui vient d'être présenté tout au long de ces pages, en 2023, le Groupe sud-africain des télécoms MTN s'est associé au cabinet Deloitte et a choisi la technologie Google Cloud pour concevoir et déployer dans la plupart de ses filiales la plateforme ADAM (*Advanced Data Analytics Management*) qui permet d'analyser et de capturer quasiment en temps réel les comportements et les préférences des consommateurs, et de mettre à leur disposition des services personnalisés.

L'IA à base de *Machine Learning* utilisée dans le cadre d'ADAM permet ainsi de gérer les besoins des quelques 300 millions d'abonnés du Groupe MTN, ce qui correspond à près de 4 mille milliards de données collectées et analysées chaque mois!

La Journaliste :

Mais du coup, comment peut-on se retrouver dans cette masse de techniques, d'algorithmes, et même de produits?

Mme IA :

Cela dépend, selon qu'il s'agit d'une grande entreprise qui souhaite exploiter le potentiel de l'IA, d'un entrepreneur qui désire lancer et gérer un business, d'un individu qui veut tirer profit des possibilités des IA génératives, ou même d'un Etat qui souhaite intégrer l'IA dans les services publics ...

Rendu à ce stade, et avant de passer au chapitre suivant (qui traite de « l'état des lieux de l'Intelligence Artificielle en Afrique »), le lecteur pourra se concentrer sur la section qui l'intéresse véritablement.

C'est ainsi qu'un cadre du secteur privé pourra trouver intérêt à lire le premier cas d'usage, celui concernant l'intégration et l'adoption de l'IA dans les entreprises; un jeune *startuper* pourra plutôt passer au cas d'usage n°2 qui montre comment l'IA peut l'aider à monter et à gérer son business; un responsable de la fonction publique passera directement au cas d'usage n°3 qui présente les étapes à suivre pour l'intégration et l'adoption de l'IA dans les services publics; et un individu ordinaire trouvera essentiellement un intérêt dans le cas d'usage n°4 qui fournit des conseils pour utiliser efficacement les IA génératives à l'aide des *prompts*.

1^{er} cas : Une entreprise souhaite exploiter le potentiel de l'IA

Dans le module 2, il avait été démontré que l'IA permettait d'améliorer les performances des entreprises, et notamment de résoudre des problèmes complexes, d'améliorer la productivité et d'exploiter des opportunités d'affaires. De nombreux exemples avaient été pris pour illustrer la diversité de ces tâches qui pouvaient être confiées à l'IA:

- faire la synthèse d'un long rapport;
- traduire ou corriger des documents;
- générer des comptes-rendus ou des résumés de réunion ;
- analyser des données statistiques ;
- analyser les performances et produire des rapports;
- générer des vidéos de présentation de l'entreprise et de ses activités ;
- créer des supports de présentation pour les commerciaux;
- créer des programmes informatiques plus ou moins complexes;
- répondre automatiquement aux e-mails;
- générer des offres d'emplois et sélectionner les meilleurs CV;
- prospecter à l'international pour développer son marché;
- rédiger un appel d'offre ou même répondre à un appel d'offre ;
- optimiser la planification du budget et des activités ;
- imaginer des stratégies d'entreprise ;
- établir des prévisions de vente détaillées ;
- générer des vidéos de présentation des activités ;
- concevoir le questionnaire d'une enquête de satisfaction ;
- et bien d'autres tâches encore.

Cependant pour pleinement exploiter tout le potentiel de l'IA, il est crucial de procéder de façon méthodique. Et cela est valable quelle que soit la perspective dans laquelle on se situe: spécifique ou générale.

- Dans une **perspective spécifique**, l'entreprise cherche à résoudre un problème bien précis, par exemple trouver une solution d'IA pour générer automatiquement des tableaux de bord, ou encore une solution pour répondre aux emails.

- Dans une **perspective générale**, la problématique consiste à intégrer et à faire adopter l'intelligence artificielle au sein de l'ensemble des départements de l'entreprise.

Nous allons voir dans les pages qui suivent que, dans l'une comme dans l'autre des perspectives, il existe un certain nombre d'étapes à suivre.

1. Perspective spécifique : L'entreprise souhaite procéder au choix et à la mise en œuvre d'une solution d'IA pour résoudre un problème précis

Il est important de préciser que s'il existe plusieurs approches scientifiques (symbolique et par apprentissage automatique notamment) pour produire des algorithmes d'intelligence artificielle, et s'il existe plusieurs dizaines de techniques (systèmes experts, arbres de décision, ontologies, techniques de régression, réseaux de neurones artificiels récurrents, convolutifs, antagonistes, de type *transformers*, etc), c'est bien parce que les problèmes auxquels sont confrontées les entreprises sont d'une incroyable diversité. Et selon qu'il s'agit de traduire ou même de rédiger un texte, d'établir des prévisions de ventes, d'automatiser le reporting, de répartir des clients en groupes homogènes, de déterminer quel client est éligible à un prêt, de détecter des comportements frauduleux, de générer un visuel de campagne marketing, etc, l'entreprise devra utiliser l'approche et la technique d'intelligence artificielle les mieux adaptées à la situation. C'est à ce niveau que **l'art vient compléter la technique, et que l'intelligence humaine demeure incontournable!**

En clair, l'entreprise devra trouver les réponses à trois questions séquentielles. Que désirons-nous faire? Quelle approche d'IA devons-nous adopter? Quelle technique d'IA devons-nous utiliser?¹⁴²

Q1 : Que désirons-nous faire?

Il s'agit d'identifier le « bon » problème à résoudre, sachant qu'un problème au sens du *business management* peut être :

¹⁴² Il reste entendu ici que l'entreprise a fait le choix de développer elle-même la solution d'IA. Le cas de l'outsourcing est évoqué dans la « perspective générale ».

- **Une menace ou une faiblesse à contrecarrer.** Ce sera le cas par exemple de la lutte contre la fraude à la carte bancaire, de la lutte contre les mails indésirables, de la réalisation d'un diagnostic de performance suite à une baisse drastique des ventes, de l'identification des clients qui sont susceptibles d'aller vers la concurrence ou des employés talentueux qui seraient sur le point de démissionner, etc.
- **Une opportunité à saisir.** Cela pourra consister par exemple en l'identification de niches de clients exploitables, ou d'employés à fort potentiel; il pourra également s'agir de générer un visuel et un slogan de campagne publicitaire, ou un questionnaire d'enquête par sondage; et même de répondre à un appel d'offre.

Le dialogue entre les managers et les spécialistes de l'intelligence artificielle (sous la coordination du Chef de Projet IA) permettra de déterminer les objectifs dans le sens de l'IA : planification, prévision, classification, *clustering*, reconnaissance de forme, génération d'image, etc.

Q2 : Quelle approche d'IA devons-nous adopter?

Il s'agit ici de déterminer quelle approche d'intelligence artificielle est adaptée à la résolution du problème de la question 1, et donc aux objectifs dans le sens de l'IA.

Vous pouvez clairement imaginer qu'un problème de diagnostic de performance nécessitera probablement une approche symbolique, et donc à base de règles de logique; puisque les facteurs de performance sont bien connus, de même que les relations qu'ils impliquent. En revanche, la constitution de groupes (segments) de clients ayant des comportements assez similaires nécessitera davantage une approche par apprentissage automatique, car il s'agira pour l'ordinateur d'extraire les insights provenant d'une grosse base de données sans que l'on ne sache a priori quels sont les facteurs véritablement discriminants.

Q3 : Quelles techniques d'IA devons-nous utiliser?

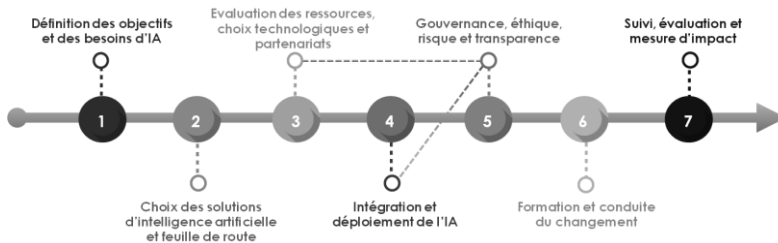
Si les deux questions précédentes ont été correctement adressées, il devient un peu plus aisé de répondre à la troisième, celle qui concerne le choix de la technique et du modèle d'IA. Les systèmes experts seront bien entendu adaptés au diagnostic de performance; tandis que des techniques comme les K-Means ou encore les cartes auto-organisées de

Kohonen seront plus adaptées à la constitution de groupes homogènes d'individus ou d'objets. C'est à ce niveau que la perspicacité et la compétence des spécialistes de la data science et de l'intelligence artificielle viennent compléter le choix rationnel lié aux avantages et aux inconvénients des différentes techniques et des différents algorithmes d'intelligence artificielle.

2. Perspective générale : L'entreprise souhaite intégrer et faire adopter l'IA au sein de l'ensemble de l'entreprise

Intégrer et faire adopter l'intelligence artificielle dans une entreprise demande une planification et une exécution rigoureuses, avec des étapes clés à suivre.

Les étapes de l'intégration et de l'adoption de l'IA en entreprise



La première étape comporte en réalité deux tâches (ou volets) complémentaires en ce sens que l'une est quantitative et l'autre est qualitative.

La première tâche consiste à définir des **objectifs de business** qui soient clairs et précis.

Il faut savoir que, même si l'on parle d'amélioration de la productivité, de résolution de problèmes complexes ou d'exploitation d'opportunités d'affaires, le but ultime de l'IA est de permettre à une entreprise d'améliorer ses performances. Dans la plupart des secteurs d'activité, les

performances sont mesurées à travers des objectifs de business (les KPI¹⁴³) qui se répartissent généralement en trois catégories :

- les objectifs de clientèle (*top line 1*): nombre de clients, taux de fidélisation, part de marché, Net Promoter Score, etc;
- les objectifs de revenus (*top line 2*): chiffre d'affaires (total et unitaire) et indicateurs associés;
- les objectifs de rentabilité (*bottom line*): résultat d'exploitation, résultat net, etc, et tous les ratios associés¹⁴⁴.

Vous comprenez donc que la première chose à faire est d'établir un ensemble d'objectifs de business suffisamment explicites pour pouvoir être mesurés.

La seconde tâche, qui peut se faire de manière parallèle à la première, consiste à identifier l'ensemble des problèmes que l'IA peut permettre de résoudre, ainsi que l'ensemble des outils en usage dans l'entreprise. Il s'agit donc d'une sorte de **diagnostic de l'intelligence artificielle**.

Et à ce niveau, une liste telle que celle présentée en pages 45 et 46 du module 2 pourra s'avérer utile. Il faudra juste prendre la peine de faire la distinction entre les solutions d'intelligence artificielle à usage général (traduction de texte, résumé de rapports, réponses automatiques aux emails, etc), et les solutions d'IA spécifiques à certains départements (génération de visuels de campagnes pour le marketing, détection des erreurs dans les écritures comptables pour la finance-comptabilité, etc).

La deuxième étape consistera à **identifier les solutions d'intelligence artificielle** qui permettront d'atteindre les objectifs de business, mais également les solutions existantes qui nécessitent une amélioration et/ou une adaptation aux besoins internes à l'entreprise (par exemple la gestion du recrutement, la saisie des écritures comptables, etc), ou à ses clients (par exemple les robots conversationnels dans les centres d'appel).

Il faut garder à l'esprit que certaines solutions déjà existantes seront maintenues en l'état, alors que d'autres seront améliorées. À côté de cela, d'autres solutions seront tout simplement nouvelles pour l'entreprise.

¹⁴³ KPI : Key Performance Indicator

¹⁴⁴ La terminologie anglo-saxonne utilisant des expressions telles que Gross Profit, EBITDA, PAT et les ratios associés.

Il s'agit donc dans cette étape de la détermination des cas d'usage de l'IA, de la manière d'utiliser l'IA et de la détermination des avantages de chacun de ces cas d'usage.

- Par exemple, si une banque souhaite faire passer le taux de fidélisation de ses clients de 70 à 80%, elle peut combiner la mise en place d'une IA de langage (*chatbot*) avec une IA analytique capable d'extraire les insights à partir des données conversationnelles émanant des clients; ce qui permettra aux équipes opérationnelles de mieux adresser les préoccupations des clients.

Afin d'identifier les nouveaux cas d'usage de l'IA, on combine généralement des séances de brainstorming et l'observation d'expériences similaires dans d'autres entreprises ou dans d'autres marchés domestiques ou internationaux.

A noter que c'est lors de ce deuxième stade que l'on évalue également l'incidence des solutions d'IA retenues sur les processus actuels de l'entreprise.

- En effet et à titre d'exemple, l'automatisation des tableaux de bord aura un impact sur la manière actuelle de collecter, d'analyser et de communiquer les données liées aux performances de l'entreprise. Il est en effet probable que cela implique :
 - l'ajout de nouveaux indicateurs de performance, et cela dans un format spécifique;
 - de nouveaux modes de visualisation et d'analyse explicative et prédictive des données;
 - l'utilisation de supports tels que les tablettes et les smartphones, de manière à permettre aux managers d'être informés en temps réel et en tous lieux.

Bien entendu, il faudra procéder à une priorisation des solutions d'IA en utilisant les critères d'importance et d'urgence. C'est la raison pour laquelle on parle également d'élaboration de la **feuille de route du projet d'intégration de l'IA**; cette feuille de route ayant un échéancier de trois à cinq ans.

La troisième étape consistera à **évaluer et à constituer les ressources technologiques et humaines** permettant de déployer les solutions d'intelligence artificielle.

Il faut savoir qu'il y a trois catégories de besoins: les besoins en données, les besoins en infrastructures technologiques et les besoins humains.

Les besoins en données. Dans la mesure où, comme vous avez pu le constater tout au long des chapitres précédents, les algorithmes d'IA s'alimentent essentiellement en données, il faudra déterminer les données nécessaires, mais également leurs sources. Il faut bien être conscient que certaines données sont naturellement générées par l'entreprise; c'est le cas des données sur ses activités internes, ses performances commerciales ou financières, etc. D'autres sont à collecter à l'extérieur de l'entreprise; c'est le cas des données provenant des études de marché, des rapports produits par des associations professionnelles, des données officielles fournies par les autorités publiques, etc.

Les besoins en infrastructures. Il s'agira de déterminer l'infrastructure technique requise pour collecter, stocker, contrôler, arranger, analyser et modéliser ces données. A ce niveau se posera le choix entre construire des infrastructures en interne, ou utiliser les possibilités offertes par le *cloud computing* où l'entreprise pourra utiliser des services informatiques déportés sur internet¹⁴⁵. En réalité, la plupart des entreprises utilisent en combinaison les deux approches, selon leurs besoins en solutions d'IA.

C'est également lors de cette phase que s'opèrera le choix :

- de la plateforme d'IA; c'est-à-dire de l'environnement logiciel fournissant des outils et des services pour le développement, le déploiement et la gestion de modèles d'IA, de telle sorte que les *data scientists*, les développeurs et les utilisateurs métier puissent collaborer et exploiter la puissance de l'IA pour résoudre des problèmes

¹⁴⁵ Il faut savoir que au-delà du stockage des données, le *cloud computing* offre des possibilités aussi diverses que :

- les IaaS (Infrastructure-as-a-Service), qui permettent à l'entreprise de stocker ses données dans des serveurs physiques ou virtuels ;
- les PaaS (Platform-as-a-Service), qui permettent à l'entreprise de développer, exécuter et gérer ses applications;
- les SaaS (Software-as-a-Service), qui offrent un accès à la demande à des logiciels d'application prêts à l'emploi et hébergés dans le cloud;
- les DaaS (Data-as-a-Service), qui offrent aux *data scientists* la possibilité d'accès à des ensembles de données massifs et variés, leur permettant d'accélérer et d'améliorer leurs projets d'IA; les IAaaS (IA-as-a-Service) en constituent une extension.

concrets. Parmi les plateformes populaires, on peut citer Google Cloud AI Platform, Amazon Web Services AI Platform, Microsoft Azure AI Platform, IBM Watson Studio, etc.

- des *frameworks* de développement d'IA. Ce sont des bibliothèques logicielles fournissant des fonctions pré-définies pour le développement de modèles d'IA. Les *data scientists* et les développeurs peuvent ainsi disposer de blocs de construction, d'outils et d'algorithmes pour implémenter des algorithmes d'IA complexes. Parmi les frameworks d'IA les plus populaires, on peut citer TensorFlow, PyTorch, Keras, Scikit-learn, etc.

Les besoins humains. Il s'agit ici de l'acquisition des talents et de la constitution de l'équipe qui devra gérer l'intégration de l'IA dans l'entreprise. Il faut donc :

- d'une part, recruter ou former des employés ayant les compétences techniques. Cela inclut la présence d'ingénieurs en IA et en génie logiciel, de *data scientists*, ainsi que de *data architects* et de *data engineers*;
- et d'autre part, favoriser la collaboration entre les équipes métier et les équipes techniques car, nous ne cessons de le dire depuis le début de cette conversation, l'expertise-métier du domaine où l'IA sera appliquée est fondamentale.

Enfin, il faudra également envisager, lorsque c'est nécessaire, de travailler avec des fournisseurs de solutions d'IA (*outsourcing*), des consultants ou des instituts de recherche pour accélérer le développement et bénéficier de leur expertise. C'est donc dans le cadre de ce type de collaboration entre les grandes entreprises et les startups africaines qui proposent des solutions d'intelligence artificielle, que ces dernières peuvent trouver des débouchés en termes de B2B ou de B2B2C¹⁴⁶.

La quatrième étape est parfois considérée comme étant en quelque sorte le cœur technique du projet. Il s'agit en effet de **l'intégration et du déploiement de l'intelligence artificielle** au sein de l'entreprise.

Il faut savoir qu'il existe un travail préparatoire ici; c'est celui de la préparation des données qui seront utilisées dans chacun des projets

¹⁴⁶B2B (Business to Business), B2B2C (Business to Business to Consumer)

développés. Cela implique la collecte, le nettoyage, l'organisation des données qui seront utilisées pour entraîner les modèles d'IA¹⁴⁷.

Les deux grandes règles à observer pour le déploiement de l'IA concernent la sélection de projets pilotes et le développement itératif.

- Il faudra en effet commencer par des projets pilotes pour tester et valider les solutions d'IA. Ces projets pilotes ne devraient pas être de nature à bloquer le fonctionnement de l'entreprise en cas d'échec, ou avoir de fortes répercussions sur son image de marque.
- Il faudra également adopter une approche agile pour le développement des solutions d'IA, avec des cycles rapides d'itération et d'amélioration en fonction des retours des utilisateurs (internes ou externes); ces retours permettant par ailleurs de vérifier la bonne adoption de l'IA au sein de l'entreprise.

La cinquième étape consiste à mettre en place un **Comité de Gouvernance**. En effet, l'IA induit un certain nombre de problématiques qui peuvent affecter la performance, et même parfois la survie de l'entreprise. Il s'agit notamment des problèmes liés :

- à l'éthique et au respect de la vie privée, lorsque les données d'un client collectées à travers les réseaux sociaux ont été utilisées sans sa permission;
- à la transparence. C'est le cas par exemple lorsqu'un algorithme d'IA est incapable d'expliquer pourquoi la demande de crédit d'un client a été refusée par la banque; problème qui se pose souvent lorsqu'on utilise un algorithme de *machine learning*¹⁴⁸;
- à la gestion des risques, par exemple la non-conformité à la réglementation.

Il est donc important de mettre en place un véritable comité chargé d'établir la vision, les principes et les lignes directrices de l'IA de manière à adresser les défis liés à l'éthique, au respect de la vie privée, à la transparence et à la gestion des risques.

¹⁴⁷ Vous pouvez vous référer au cas n°3 sur la « gestion automatisée des campagnes marketing » présenté un peu plus haut dans le présent chapitre.

¹⁴⁸ Le problème ne se pose cependant pas lorsque l'on utilise les Systèmes Experts.

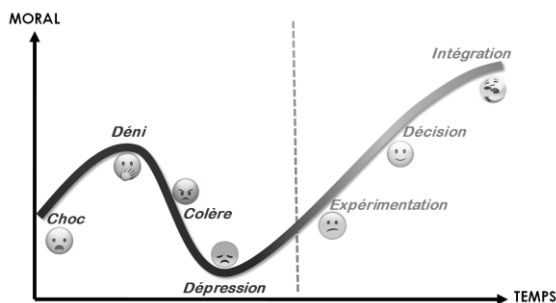
C'est donc évidemment le Comité de Gouvernance qui sera chargé d'évaluer et de gérer les quatre types de risques majeurs que sont :

- les risques juridiques, liés au fait de ne pas s'adapter ou de ne pas se conformer à la réglementation sur l'utilisation de l'IA;
- les risques liés à la modélisation, qui sont induits par des modèles incorrects ou mal utilisés;
- les risques d'atteinte à la réputation, qui découlent d'une activité liée à l'IA qui a une incidence négative sur les clients;
- les risques opérationnels, qui sont liés à la défaillance ou à la perturbation des processus internes.

La sixième étape a ceci de particulier que, sans être à proprement parler technique, consiste le domaine où la plupart des projets d'adoption de l'intelligence artificielle échouent : c'est la **conduite du changement**.

En effet, l'IA va naturellement bouleverser les modes et les habitudes de travail. Certains employés la considéreront comme une menace; et des résistances seront inéluctables. Il s'agit d'un phénomène naturel, et qui ne concerne donc pas uniquement l'IA. Les managers qui nous lisent et qui ont déjà été impliqués dans des projets de nouvelle culture d'entreprise ou même de transformation digitale, peuvent reconnaître la courbe illustrée ci-dessous : c'est la **courbe de résistance au changement**.¹⁴⁹

La courbe de résistance au changement



¹⁴⁹ Parfois qualifiée de « courbe du deuil de Kübler-Ross », bien qu'il s'agisse en réalité d'une adaptation de cette dernière.

L'employé vit l'annonce du changement comme quelque chose de brutal, il est sous le choc. Puis il passe au déni et à la négation; il pense qu'il ne parviendra pas à adhérer au changement ou à trouver sa place au sein du nouveau système. Ensuite, un sentiment de colère apparaît, et l'employé recherche le responsable de son inconfort. S'ensuit une forme de dépression et de stress du fait de la peur de l'inconfort à venir, des difficultés nouvelles. Cette étape est particulière car elle clôt la phase descendante de la courbe. En effet, c'est à ce moment que l'individu saisit la nature inéluctable du changement : soit il y consent et accepte les impacts sur son quotidien, soit il demeure enfermé dans sa frustration.

En général, l'employé commence ensuite à modifier son point de vue et à trouver des bénéfices à la nouvelle situation. Son regard a changé; il est tourné vers l'avenir. Enfin, le changement est entièrement intégré; l'employé a gagné en sérénité et en confiance face à la nouvelle situation, et il éprouve même de l'enthousiasme pour des nouveaux projets.

Bien que cette courbe ait été développée dans un autre contexte, elle trouve un excellent champ d'application dans le cas de l'intelligence artificielle. En effet, en fonction des informations auxquelles ont accès les individus, la réaction peut aller d'un enthousiasme débordant au vue des possibilités de l'IA, à une résistance quasi rigide en réaction aux peurs et aux craintes qu'elle peut susciter.

La conduite du changement pour l'adoption de l'IA est donc un processus complexe qui vise à accompagner les employés dans l'adoption des nouvelles technologies et méthodes de travail; de telle sorte que les employés puissent gagner en productivité, et que l'entreprise puisse améliorer ses performances. Il existe un certain nombre d'initiatives communes à presque tous les projets de gestion du changement, et pas uniquement pour l'IA. Dans le cas qui nous concerne, il s'agit notamment de :

- l'identification des changements organisationnels et individuels induits par l'IA;
- l'analyse des résistances potentielles au changement;
- la détermination des besoins en formation et en accompagnement;
- la communication claire aux salariés des objectifs et des avantages de l'intelligence artificielle;

- l'information et la sensibilisation des employés aux impacts de l'IA sur leur travail;
- l'encouragement du dialogue et de la participation des employés;
- la signature d'une charte d'engagement par les membres du top management;
- la formation des employés aux nouvelles technologies et méthodes de travail;
- l'encouragement de la culture d'apprentissage, de la flexibilité et de l'adaptation au changement à travers des retours d'expérience en mode *storytelling*, et un système de récompenses.

Et on termine bien entendu par la **mesure et l'évaluation** du changement engendré par l'intégration et l'adoption de l'Intelligence Artificielle au sein de l'entreprise. Il s'agit d'un exercice assez complexe car il existe plusieurs types d'évaluation.

- les évaluations globales consistant à analyser dans quelle mesure les performances sur les indicateurs de business définis lors de la première étape se sont améliorés;
- les évaluations spécifiques concernant l'impact de certaines solutions d'intelligence artificielle sur la productivité et l'efficacité des employés. C'est ainsi que l'on mesurera par exemple le gain de temps et de précision apporté par les tableaux de bords automatisés dans l'information des managers;
- les évaluations comportementales, qui visent à mesurer le niveau d'adoption et d'appropriation des outils d'intelligence artificielle par les différents employés et départements de l'entreprise.

Et d'autres axes d'évaluation et de mesure d'impact existent. Mais ce qu'il est important de savoir, c'est qu'il faudra au préalable définir clairement les indicateurs de suivi.

C'est cette étape qui permettra alors d'ajuster la stratégie d'intégration et d'adoption de l'intelligence artificielle au sein de l'entreprise.

Et pour mettre tout ce qui précède en musique, on trouve généralement dans les grandes entreprises le poste de **Chief Artificial Intelligence Officer-CAIO (ou Directeur de l'Intelligence Artificielle)**, qui a la responsabilité de la conception, de la mise en œuvre et du suivi de la stratégie de l'intelligence artificielle au sein de l'entreprise.

Le Directeur de l'Intelligence Artificielle est donc chargé de :

- développer une stratégie d'IA globale en alignement avec les objectifs de business de l'entreprise;
- gérer les projets d'IA spécifiques et identifier les opportunités d'utiliser l'IA pour améliorer les processus internes et les produits;
- collaborer avec les équipes techniques et métier pour garantir une adoption efficace de l'IA au sein de l'ensemble de l'entreprise;
- surveiller les performances des modèles d'IA et s'assurer qu'ils répondent aux attentes;
- conseiller la direction générale sur les risques et les opportunités liés à l'IA;
- veiller à tous les aspects liés à l'éthique, à la réglementation et à la transparence.

Il s'agit en réalité d'une fonction transversale en ce sens que le Directeur de l'Intelligence Artificielle aura pour interlocuteurs, aussi bien les équipes techniques de la Direction des Systèmes d'Information que les utilisateurs provenant des autres fonctions de l'entreprise (Marketing, Ressources Humaines, Finance, etc); d'où la double casquette technique et business exigée du titulaire d'un tel poste.

Pour finir, il faut préciser que sans une implication franche et totale des dirigeants, et sans un accompagnement des salariés sous forme de communication, de formation et de sensibilisation, tout projet d'intégration et d'adoption de l'IA dans une entreprise est voué à l'échec. En effet, l'on a souvent tendance à croire que la disponibilité de la technologie suffit pour véritablement décoller, alors que c'est finalement l'humain qui est au centre de tout. De nombreux projets d'intégration technologique (et notamment de transformation digitale) ont échoué en Afrique et ailleurs à cause d'un système à deux vitesses, à des défaillances de communication entre les techniciens et le reste de l'entreprise, à la propension au travail en silos, et à l'incapacité du top management à fédérer toutes les composantes du capital humain de l'entreprise.

Le cas particulier des PME

Quels bénéfices et avantages espérer de l'intelligence artificielle? Quels outils et quelles méthodes utiliser? Comment former les collaborateurs?

Comment mesurer l'impact de l'IA? Voilà quelques exemples de questions que se posent les dirigeants de PME au sujet de l'IA.

S'agissant donc de **l'intégration et de l'adoption de l'IA dans les PME**, certains points spécifiques méritent une attention particulière. Pour ces dernières, il est en effet important de rappeler les opportunités de l'IA pour elles, de prendre conscience des défis auxquels les PME doivent faire face, et enfin de suivre certains conseils permettant d'exploiter les opportunités de l'IA et de relever ses défis.

✂ **Rappeler les opportunités de l'IA pour les PME.**

- L'amélioration de la productivité et de l'efficacité opérationnelle.
- L'amélioration de la prise de décision.
- L'amélioration de l'expérience des clients.

✂ **Prendre conscience des défis de l'IA auxquels sont confrontées les PME.**

- Les hésitations du dirigeant (impact de l'IA sur les performances, investissements nécessaires, implications organisationnelles).
- L'absence de ressources humaines et technologiques du fait de leurs contraintes financières.
- Les résistances à l'intégration et à l'adoption de l'IA.

✂ **Suivre quelques conseils pour surmonter les défis et saisir les opportunités**

- Bien évaluer les besoins et les objectifs.
- Informer, former et sensibiliser les employés.
- Combiner l'utilisation des solutions d'IA tierces et les offres d'IA en tant que service (AISS).
- Collaborer avec des experts (consultants, entreprises spécialisées).

2^{ème} cas : Un entrepreneur souhaite profiter de l'IA pour lancer son business

L'intelligence artificielle peut être utilisée dans les différentes phases du business d'un *freelancer*, d'un *startuper* ou de toute autre petite entreprise¹⁵⁰; et cela que ce soit pour :

- trouver des idées de business;
- concevoir un business plan;
- trouver un slogan et concevoir un logo;
- peaufiner le produit ou le service à vendre;
- créer et animer un site web;
- concevoir des supports publicitaires;
- gérer la campagne publicitaire;
- suivre et analyser les ventes;
- réaliser des enquêtes de satisfaction;
- gérer le business au quotidien.

L'IA en support aux entrepreneurs



Tout ce qui précède montre que l'utilisation de l'IA peut aider une petite entreprise à réduire ses coûts de gestion et à améliorer sa rentabilité.

Prenons quelques-uns de ces points à titre illustratif.

¹⁵⁰ Cela incluant les SOHO (Small Office, Home Office).

Tout d'abord, l'intelligence artificielle peut vous aider à trouver des **idées de business** rentable de deux manières, qui sont en fait complémentaires :

- primo, en analysant les données sur les tendances du marché, les besoins des consommateurs et les opportunités commerciales qui en écourent. Pour réaliser cela, les IA de traitement du langage (ChatGPT, Claude, Gemini, Mistral, etc) se basent sur les données qui circulent sur internet, à travers les réseaux sociaux, etc;
- secundo, en générant des idées créatives et innovantes. Pour cela, ces mêmes modèles de langage vont par exemple générer des combinaisons de mots, des concepts et des idées. A noter que les ontologies et les graphes de connaissance (qui font partie de l'IA symbolique dont nous avons parlé au chapitre 6) peuvent également s'avérer utiles pour la génération d'idées de business.

Vous pouvez donc utiliser des solutions assez génériques comme ChatGPT, Gemini, Claude, Mistral; mais il existe également des solutions plus spécialisées comme Nichess ou Validator.

Il faut savoir que l'IA est capable de générer des centaines, voire des milliers d'idées de business, dont de nombreuses ne cadreront bien entendu pas du tout avec vos centres d'intérêt, votre budget, vos objectifs, etc. Il faudra donc être assez précis et subtil dans le *prompt* (et notamment les mots-clés) adressé à la solution d'IA afin d'obtenir des propositions qui soient intéressantes pour vous, et surtout exploitables.

En tant qu'entrepreneur, vous pouvez également utiliser l'intelligence artificielle pour **réaliser le business plan** de votre entreprise. A l'aide d'un *prompt* sur ChatGPT, Gemini, Claude ou Mistral, vous pouvez obtenir la structure détaillée d'un business plan. Mais il existe également des solutions spécialisées (par exemple Live Plan, Simplified, Just Begin) qui sont capables :

- de vous guider étape par étape dans l'élaboration du business plan;
- et d'évaluer la cohérence de votre business plan en termes de chiffres et de plan d'actions.

Une fois l'idée de business trouvée et le business plan élaboré, l'IA peut également vous aider dans la **recherche d'un slogan**.

- Nous avons par exemple demandé tout simplement à Google BARD/Gemini de nous proposer quelques idées de slogans pour un « **restaurant qui offre de la cuisine bio** »; et voici quelques-unes des propositions reçues.

« <i>La bonne cuisine, c'est la cuisine bio</i> »	« <i>La nature vous invite à table</i> »
« <i>Le goût du vrai, le goût du bio</i> »	« <i>Bien manger, un plaisir à partager</i> »

En outre, Gemini nous a rappelé que le meilleur slogan pour notre « restaurant bio » dépendra de la cuisine, de son ambiance et de sa cible. Ce sont des éléments qui peuvent donc permettre d'affiner le *prompt*, et donc d'obtenir des propositions encore plus adaptées à notre restaurant.

L'étape suivante consisterait par exemple à **trouver un logo**. Il existe des sites internet (Canva, Logo AI, Logogénie, Looka, etc) qui, grâce à l'IA, peuvent générer des logos adaptés à vos besoins. Il vous suffit de leur fournir des informations telles que le nom de votre entreprise, votre secteur d'activité, votre slogan; mais également vos préférences en termes de couleurs ou de style d'écriture.

Pendant de nombreuses années, vous deviez utiliser les services d'une agence spécialisée pour la **création d'un site web**; avec ce que cela impliquait en matière de coûts, de délais de réalisation, de dépendance en cas d'actualisation, etc¹⁵¹. Avec l'IA, il est désormais possible d'obtenir et de mettre en ligne un site web personnalisé en quelques instants, grâce à des éditeurs de site web (*website builders*) tels que Wix ADI, Jimdo, ou encore Hostinger. L'éditeur vous pose quelques questions (nom du site, thématique, design et fonctionnalités que vous souhaitez, etc) afin de bien cerner vos attentes; puis génère en quelques instants un site que vous pourrez ajuster à votre guise. Et bien entendu, vous pourrez utiliser les IA génératives (ChatGPT, Claude, Dalle-E, Midjourney, etc) pour inclure du texte et des images assez originales dans votre site web.

¹⁵¹ Certes, il existe depuis de nombreuses années des applications appelées Content Management Systems (CMS) qui aident à la création de sites web sans que l'on soit obligé de passer par un tiers. Cependant les CMS ont certains inconvénients, notamment la difficulté de personnaliser certaines fonctionnalités, la nécessité d'effectuer de régulières mises à jour de sécurité, etc.

Il est intéressant de constater que les sites web créés à l'aide de l'IA permettent une meilleure interaction avec votre cible et sont plus faciles à trouver lors d'une recherche sur Google; c'est le **référencement**.

Il est facile d'imaginer que l'IA générative sera également très utile lorsqu'il faudra **produire des visuels publicitaires** (prospectus, dépliants, *flyers*) décrivant le produit ou service à vendre; ces visuels devant être de nature à attirer les potentiels clients. Des applications comme Appy Pie ou Canva, en utilisant les possibilités de l'IA générative, vous offrent la possibilité de produire des prospectus avec le *design* de votre choix, mais également du contenu textuel et des images adaptées à votre produit ou service.

A ce niveau, il faut savoir qu'il existe des solutions d'IA analytique qui peuvent comparer le contenu de plusieurs visuels différents, et prédire ceux qui seront les plus performants. En se basant sur de nombreuses données du marché, des solutions comme AdCreative ou Celtra vont ainsi donner, pour chaque création publicitaire, une note de performance prédictive allant de 1 à 100.

Et c'est encore l'intelligence artificielle qui permettra d'optimiser la programmation de votre campagne publicitaire de telle sorte que chaque client visé soit atteint au moment où il est le plus disponible, et avec le moyen de communication qui lui est le plus adapté.

L'IA permet également de **réaliser des enquêtes de satisfaction** auprès des consommateurs à travers les réseaux sociaux pour identifier les problèmes que les clients rencontrent. C'est ainsi que des solutions telles que Drag'n Survey, Survey Monkey, ou encore Zoho Survey, peuvent générer, à la demande, tout un questionnaire qui sera administré en ligne; puis produire automatiquement un rapport d'étude illustré avec des tableaux et des graphiques sur la base des réponses collectées.

S'agissant du **suivi et de l'analyse des ventes**, il existe de nombreuses solutions d'intelligence artificielle (Power BI, Tableau, Qlick View, etc) qui permettent:

- de produire des tableaux et des graphiques pour suivre les ventes historiques;

- d'identifier les tendances et les saisonnalités, mais également les contributions des produits et des clients;
- de faire des prévisions pour les ventes futures, etc.

De manière générale, les IA de traitement du langage (ChatGPT, Gemini, Claude, LLaMa, etc) seront utiles à presque tous les stades du **lancement ou de la gestion du business**.

C'est ainsi que des prompts plus ou moins identiques à ceux-ci pourront vous inspirer.

🔗 « *Je suis un entrepreneur débutant, et j'aimerais connaître les meilleures stratégies de marketing digital pour promouvoir mon entreprise de production de produits cosmétiques à base de coco. Peux-tu me donner quelques conseils ?* »

🔗 « *Il y a deux ans, j'ai lancé une entreprise de services informatiques dans le domaine médical; mais j'ai du mal à gagner des clients. Que puis-je faire ?* »

🔗 « *J'organise bientôt une réunion de performance avec mon équipe commerciale. Je souhaite élaborer un graphique qui puisse mettre clairement en évidence les performances de chaque vendeur* ».

Et pour finir, il convient de mentionner les principaux assistants personnels que sont Microsoft Copilot et Google Duet AI. Il s'agit d'outils de bureautique dopés à l'intelligence artificielle et vous permettant de gagner en productivité dans toutes les tâches généralement exécutées avec Word ou Google Docs (traitement de texte), Excel ou Google Sheets (calculs, tableaux, graphiques), PowerPoint ou Google Slides (présentations), Outlook ou Gmail (gestion des emails), MS Teams ou Google Meet (gestion des réunions et organisation du travail) respectivement.

Vous pouvez donc constater que l'IA peut soutenir n'importe quel entrepreneur, et l'aider dans toutes les phases de la création et de la gestion de son entreprise.

3^{ème} cas : Un Etat souhaite intégrer et faire adopter l'IA dans les services publics

Nous avons vu dans le cadre du chapitre 2 où était présenté l'univers quasi infini des utilisations et applications de l'intelligence artificielle, que les services publics pouvaient grandement tirer profit de cette technologie; et que cela pouvait également permettre d'améliorer la gouvernance d'un pays. A titre de rappel, on peut énumérer les quelques usages et apports de l'IA dans les services publics :

- mise en place de *chatbots* intelligents pour répondre aux questions des citoyens et les guider dans leurs démarches administratives;
- traitement plus rapide et plus précis des demandes de documents officiels, tels que les cartes nationales d'identité ou les passeports;
- meilleure détection des fraudes et des erreurs dans les documents administratifs;
- analyse de grandes quantités de données pour identifier les tendances et les problèmes sociétaux, ou même extraction d'insights des données d'éducation ou de santé publique;
- développement de plateformes participatives pour encourager la collaboration entre les citoyens et les administrations publiques;
- développement de systèmes de contrôle de l'urbanisation et des constructions illégales;
- développement de systèmes permettant d'améliorer la sécurité routière, ainsi que de systèmes de surveillance intelligents pour prévenir les crimes, etc.

A côté de ce qui précède, il y a tout le volet lié au gain de précision et de temps dans certaines tâches courantes; ce qui mènera à :

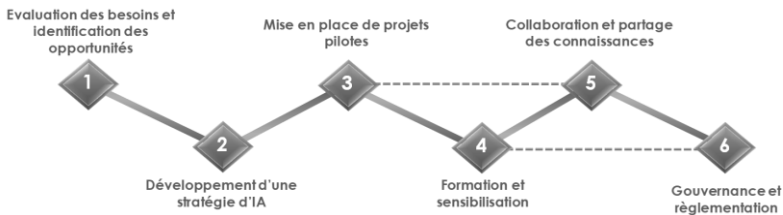
- une meilleure planification des politiques publiques, secteur par secteur;
- une meilleure fixation des objectifs de développement;
- un meilleur monitoring des performances économiques et sociales;
- une meilleure prévision des performances économiques;
- un meilleur contrôle et une meilleure sécurisation des recettes et des dépenses publiques, incluant l'identification de sources de recettes;

- un meilleur recensement des agents publics mais aussi des acteurs de l'économie informelle;
- une gestion optimisée des actifs de l'état, incluant un meilleur traitement des dossiers d'appel d'offres, etc.

Il convient également de préciser que dans un contexte où de nombreux Etats africains se sont embarqués dans des chantiers de transformation digitale, la numérisation des services publics (avec toutes les données qu'elle va générer) offre une occasion unique de tirer parti de l'IA pour améliorer l'efficacité et l'accessibilité des services publics. Par conséquent, une stratégie nationale d'IA permet à un pays d'exploiter tout le potentiel de cette technologie pour relever ses défis et stimuler son développement économique et social.

L'intégration et l'adoption de l'intelligence artificielle dans les services publics peuvent se faire en suivant plusieurs étapes clés qui sont illustrées dans le diagramme ci-dessous.

Etapes de l'intégration et de l'adoption de l'IA par les services publics



Il s'agit d'abord **d'évaluer les besoins et d'identifier les opportunités.**

Cela passe par l'identification des services publics qui peuvent bénéficier de l'IA, la détermination des tâches et des processus qui peuvent être automatisés ou améliorés par l'IA, l'évaluation des risques et des défis potentiels liés à l'utilisation de l'IA. Ce dernier point est particulièrement important car, mal utilisée, l'IA peut entraîner des dérives telles que la surveillance de masse, la cybercriminalité, les détournements des deniers publics, etc.

Puis il faut **développer une stratégie d'Intelligence Artificielle à l'échelle nationale**.

Cela concerne notamment la définition des objectifs et des priorités de l'utilisation de l'IA dans les services publics, l'identification des ressources humaines et financières nécessaires, le développement d'un plan de mise en œuvre (incluant des partenariats) et d'évaluation.

Dans certains pays, un Comité de Stratégie de l'IA a été mis en place. On citera par exemple¹⁵²:

- la formule lancée en France en 2023 par la Première Ministre de l'époque, Elisabeth Borne;
- la stratégie nationale d'Intelligence Artificielle et de Mégadonnées adoptée par le Bénin en janvier 2023.

Suite à cette deuxième étape, vient naturellement la **mise en place de projets pilotes**.

Il est bien entendu recommandé de commencer par des projets d'IA à petite échelle ou de faible complexité, afin de tester et d'apprendre. De même, ces projets doivent être à faible impact ou à faible risque. Et on conclura par l'évaluation des résultats de ces projets pilotes et l'apport des ajustements nécessaires.

- Un exemple de projet d'IA à petite échelle est la mise en place, dans une ville donnée, de systèmes permettant d'améliorer la sécurité routière. Les enseignements tirés d'un tel projet permettront une extension à l'échelle nationale.
- Comme exemples de projets à faible complexité, on peut citer la mise en place de *chatbots* intelligents pour répondre aux questions des citoyens et les guider dans leurs démarches administratives; ou encore (dans le domaine de l'éducation) l'analyse en temps réel des résultats officiels lors des examens de fin d'année.

La quatrième étape de l'intégration et de l'adoption de l'IA dans les services publics concerne **la formation et la sensibilisation**.

Les deux notions sont très importantes, car il est certes important de bien former les agents des services publics en leur expliquant quels sont les usages et applications de l'IA, ses avantages et ses opportunités,

¹⁵² Les stratégies nationales d'IA de la France et du Bénin sont présentées dans la version pédagogique (manuel complet) de cet ouvrage.

comment fonctionne cette technologie, et quels sont ses risques et ses limites. Mais c'est la sensibilisation des citoyens qui permettra à toute une nation de véritablement s'approprier cette technologie, de telle sorte que les objectifs économiques et sociaux soient atteints. D'ailleurs cette sensibilisation inclut également la participation des citoyens; certains à la conception de l'IA, d'autres pour partager des retours d'expérience.

La **collaboration et le partage des connaissances** est une étape qu'il convient de ne surtout pas négliger.

Il s'agit ici de collaborer avec d'autres administrations publiques (en Afrique et ailleurs), avec des entreprises privées, ainsi qu'avec les milieux universitaires. Cela implique également le partage des connaissances et des meilleures pratiques en matière d'IA, et la participation à des réseaux et à des forums réunissant des experts en intelligence artificielle.

La sixième et dernière étape est celle de la **gouvernance et de la réglementation**. En réalité, cette étape peut intervenir un peu plus en amont, selon le choix fait par les autorités publiques. Il s'agit ici de :

- mettre en place un cadre juridique et éthique pour l'utilisation de l'IA;
- définir des principes et des normes pour le développement et l'utilisation de l'IA;
- assurer la protection des données personnelles et la transparence des algorithmes d'IA.

Avant de terminer, il est très important de préciser qu'un peu partout dans le monde, et particulièrement dans les pays d'Afrique Subsaharienne, les projets d'intégration de l'IA dans les services publics se heurtent généralement à la problématique des données. Cette problématique des données comporte en réalité deux volets complémentaires.

- Il y a d'une part le problème de la collecte, du stockage, de la protection, du traitement, voire de l'analyse et de la distribution des données. Et cela peut concerner aussi bien les données économiques, les données démographiques, les données d'identification des individus, les données sur la santé, les données sur l'éducation scolaire, les données sur l'urbanisme et l'habitat, les données sur la justice, les données sur l'énergie, les données formelles vs les données informelles, etc; et cela aussi bien en termes de volume que de qualité desdites données.

- Il y a d'autre part le problème des infrastructures et plateformes qui permettront de stocker, de traiter et de transférer ces données.

Et il semble presque impossible de relever ces défis sans une collaboration effective et efficace avec le secteur privé (grandes entreprises, startups, etc).

Dans les faits, l'intégration et l'adoption de l'IA dans les services publics est donc un processus extrêmement complexe. Mais en suivant les étapes ci-dessus, et en prenant en compte les facteurs-clés de succès tels que l'engagement des dirigeants politiques, la collaboration et l'implication des parties prenantes (agents publics, autres citoyens, entreprises privées), les services publics peuvent tirer parti de l'IA pour améliorer leur efficacité et la qualité de leurs prestations; et l'Etat trouvera ainsi un levier essentiel pour l'atteinte de ses objectifs de développement économique et social.

4^{ème} cas : Un individu souhaite tirer profit des IA génératives

Dans le cadre du chapitre 2, il avait été fait mention de ce que l'intelligence artificielle permettait d'assurer le bien-être des individus. Et cela avait été illustré à travers six grandes rubriques :

- la santé et la forme physique (diagnostic médical, assistance à la remise en forme, etc);
- les loisirs et les divertissements (flux d'informations, génération de contenu, etc);
- les tâches domestiques (robots ménagers intelligents, planning interactif, etc);
- l'économie familiale (recherche d'articles divers, optimisation budgétaire, etc);
- l'éducation et la culture (moteurs de dialogue, aide aux révisions, etc);
- la communication et les relations sociales (assistance vocale, reconnaissance faciale, etc).

Une préoccupation particulière des individus consiste donc à tirer profit des IA génératives. Il convient de rappeler que celles-ci permettent notamment de :

- résumer des textes longs et complexes;
- effectuer des recherches approfondies sur un sujet donné;
- obtenir des réponses à presque tous types de questions;
- rédiger des lettres, des poèmes, des *posts* pour les réseaux sociaux;
- traduire des textes en conservant le sens et le style du texte original;
- générer ou transformer des images, des vidéos et de la musique;
- créer des personnages et des dialogues pour des histoires fictives, etc.

Tirer profit des IA génératives passera donc par l'utilisation de certaines des solutions qui ont plusieurs fois été évoquées jusqu'ici (ChatGPT, Claude, Gemini, Mistral, Midjourney, Stable Diffusion, HeyGen, etc); et bien d'autres encore. La problématique se ramènera alors à ce que nous avons appelé un *prompt* (invite ou message-guide en français); ce texte plus ou moins long qui donne des instructions à une solution d'IA pour qu'elle produise le contenu dont nous avons besoin (texte, image, son, vidéo, etc).

Il s'agit donc d'établir une communication textuelle optimale avec l'IA générative utilisée, afin qu'elle nous produise en retour exactement ce dont nous avons besoin; et cela en terme de qualité, de densité, de précision, de contexte, etc. C'est en réalité une activité nécessitant de véritables compétences, à tel point qu'un nouveau métier est né, et est très prisé dans les pays industrialisés: celui de *prompt engineering*.

Afin de tirer pleinement profit des IA génératives, et de produire des *prompts* pertinents et efficaces, il y a un certain nombre de **règles à respecter** et **d'attitudes à adopter**. Et en plus de cela, il faut bien comprendre la notion de *token* (ou jeton), qui est fondamentale dans la gestion optimale des *prompts*.

1. Les règles techniques de la rédaction d'un bon *prompt*

Il existe quelques règles majeures à respecter pour la rédaction d'un *prompt* pertinent.

Etre clair, précis et concis.

Les *prompts* doivent contenir des instructions directes, avec des mots simples et faciles à comprendre. De même, les phrases extrêmement longues et compliquées sont à proscrire.

La première conséquence de cette règle est qu'il faut commencer par un verbe ou un terme qui indique clairement ce que vous visez. Les éléments suivants peuvent vous inspirer :

- Pour la génération d'un texte : « *Veuillez expliquer...* », « *Décris...* », « *Résume...* », « *Je voudrais comparer...* », « *Quel est...* », « *Qu'est-ce qui...* », etc.
- Pour la génération d'une image : « *une affiche...* », « *un dessin...* », « *un enfant...* », « *une maison...* », etc.

La seconde conséquence, c'est qu'il faut éviter les acronymes et les abréviations. La raison est que le *prompt* pourrait avoir du mal à les identifier proprement; ceci d'autant plus que certains acronymes ont des significations différentes. Par exemple, un simple acronyme tel que ABC peut signifier « Activity Based Costing » dans le domaine de la comptabilité, « American Broadcasting Company » dans le monde des médias, « Alpha Bravo Charlie » qui renvoie à l'alphabet orthographique radiotéléphonique international.

Poser des questions spécifiques.

Il faut en effet éviter des questions trop vagues, trop générales, imprécises et difficiles à interpréter. Il faut donc également y mettre des éléments de contexte ainsi que la cible.

- C'est ainsi qu'un *prompt* comme « *Dis-moi tout sur Abidjan* » devrait être remplacé par une invite similaire à celle-ci « *Quels sont les avantages et les inconvénients à passer les vacances en famille à Abidjan?* »
- De même, une question telle que « *Donne-moi le niveau de performance du basketteur LeBron James* » est trop vague. S'agit-il du nombre de titres en carrière? De ses statistiques personnelles lors de la saison écoulée? De son classement dans la hiérarchie des plus grands basketteurs de l'histoire? Etc.

Préciser la cible, la tonalité et le style de la réponse attendue.

Il est important de préciser l'audience cible. Cela permet ainsi d'ajuster le ton ou encore le niveau de langage attendu.

- On pourra par exemple utiliser un *prompt* qui commence par « *Décris en langage simple à un enfant de 10 ans...* », ou bien « *Explique à des étudiants en management...* ».

Il découle de cette règle que vous devez préciser le style de réponse attendue; par exemple formel, professionnel, populaire, ou encore réponse sous forme de paragraphe, de *bullet* points ou de tableau, etc. En outre, il peut être utile de préciser la longueur (en nombre de mots ou de caractères) de la réponse que vous attendez.

Ecrire le *prompt* sur un ton positif, et éviter les ambiguïtés.

Il faut savoir que les algorithmes d'intelligence artificielle ont parfois du mal à gérer correctement des *prompts* ayant des termes comme « sauf », « sans », « à l'exception de », etc. Ainsi, il est préférable d'écrire « fais » plutôt que « ne fais pas ».¹⁵³

De même convient-il d'éviter les termes ambigus ou divergents. Par exemple, un *prompt* qui contient à la fois les mots « détaillé » et « résumé » peut donner au modèle des informations contradictoires sur le niveau de détail attendu et la longueur du résultat.

Préciser le maximum de critères s'il s'agit d'une image.

Si vous désirez par exemple obtenir l'image de deux femmes en train de converser au sujet de l'IA, il faut en effet préciser si vous voulez une photo, un dessin, une peinture, un rendu 3D, etc. Mais il faudra également ajouter d'autres précisions : noir et blanc ou alors couleur, la disposition des personnages, le type de fond, l'éclairage et la luminosité, l'ambiance, l'angle et la perspective (gros plan, vue de face ou de profil).

2. Les conseils d'ordre comportemental et attitudinal

Exploiter tout le potentiel des IA génératives nécessite également une certaine attitude et une certaine ligne comportementale.

Pratiquer la technique du « *test & learn* ».

Il s'agit d'être patient et de garder à l'esprit que c'est en multipliant les *prompts* que vous gagnerez en expérience et comprendrez mieux comment cela fonctionne.

¹⁵³ Il existe cependant des applications d'IA (Stable Diffusion) qui proposent une fenêtre où il est possible d'inscrire spécifiquement ce que l'on ne souhaite pas voir dans l'image.

Voici quelques conseils à cet effet.

- Expérimentez différentes formulations pour rendre la question plus claire et précise. Au lieu de « *Quels sont les avantages de la pratique du sport?* », formulez plutôt ainsi « *Quels sont les avantages, sur la santé, de la pratique du sport ?* ».
- Ajoutez des informations contextuelles pour aider à orienter la réponse. Par exemple, si vous demandez « *Je voudrais des idées de business pour une femme* »; vous pouvez ajouter des informations et formuler ainsi « *Je voudrais des idées de business pour une femme au foyer, dont les études se sont arrêtées au niveau du baccalauréat, et qui aime les contacts humains* ». En s'amusant à poser cette question à Gemini, les propositions reçues ont été les suivantes : Instructrice de cours, Organisatrice d'événements, Vendeuse à domicile, Assistante administrative, Aide à domicile, etc ».

Il faut également savoir que les mêmes *prompts* ne produisent pas exactement les mêmes résultats selon les plateformes. En d'autres termes, la requête que vous allez faire pour obtenir une image sur Midjourney ne donnera pas exactement la même image que celle générée par Stable Diffusion. Et cela n'est pas surprenant, puisque les algorithmes de ces plateformes n'ont pas utilisé les mêmes données lors de leurs phases d'apprentissage respectives.

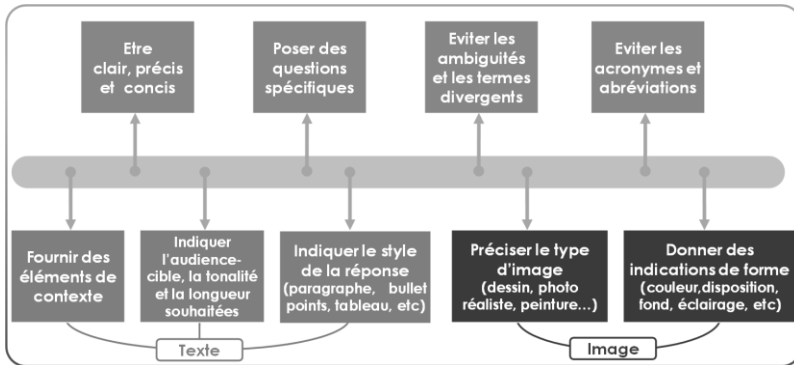
Etre conscient des limites de l'intelligence artificielle.

Comme vous le savez déjà, les algorithmes d'intelligence artificielle sont basés sur les données qu'ils reçoivent en entrée. Ils ont donc des limites intrinsèques liées à la disponibilité des données. Il ne sera par exemple pas évident qu'une requête telle que « *Produis l'image 3D d'un tilapia dans le fond du fleuve Nyong dans la ville de Makak au Cameroun en saison sèche* » reçoive une réponse plausible.

Il convient donc d'être conscient de ces limites, et de ne pas s'attendre à ce que l'IA puisse répondre correctement à toutes les questions.

Le diagramme de la page suivante récapitule les principales règles à respecter pour tirer le meilleur profit des IA génératives. Cependant, quel que soit ce qui sera généré par l'IA, l'utilisateur devra également y mettre du sien, soit pour modifier et adapter le texte généré, soit pour choisir l'image adéquate parmi les propositions qu'il aura reçues.

Règles à respecter pour la rédaction d'un bon prompt d'IA générative



NB : Garder à l'esprit les limites de capacité des agents conversationnels

Il est important de garder à l'esprit l'existence d'un paramètre important et propre aux grands modèles de langage (LLM) et leurs agents conversationnels (ChatGPT, Claude, Gemini, et les autres); c'est que ces générateurs de texte ont une **limite en capacité**. Ils ne peuvent traiter qu'une quantité de texte limitée au cumul des entrées (la longueur du *prompt*) et de la sortie (la réponse, encore appelée l'achèvement). C'est un peu comme si on vous disait, en prenant le temps comme référentiel, que vous disposiez de 5 minutes pour dialoguer avec une personnalité. Donc si votre question prend à elle seule 2 minutes, votre interlocuteur ne disposera plus que de 3 minutes pour répondre.

Dans les cas des grands modèles de langage, l'unité de mesure de cette capacité (ou quantité de texte) est le **token** (ou jeton). Ce terme a été longuement développé dans le chapitre 6. Mais à titre de rappel, il faut savoir qu'en intelligence artificielle, les *tokens* sont des morceaux de mots. Cette décomposition d'un texte en petits *tokens* (on dit *tokenisation*) permet à l'algorithme de mieux gérer les nuances linguistiques que s'il fallait gérer des mots. Il devient donc possible de gérer de nombreux mots et leurs variations sans avoir besoin d'un vocabulaire immense.

La longueur d'un *token* dépend bien évidemment des spécificités linguistiques d'une langue donnée. C'est ainsi que :

- en français, 100 *tokens* correspondent à environ 70 à 75 mots, ou encore 600 à 700 caractères (lettres, espaces, signes de ponctuation).
- en anglais, 100 *tokens* correspondent à environ 75 à 80 mots, soit 500 à 600 caractères. En effet, l'anglais a tendance à avoir des mots plus courts, moins de mots, et n'a pas d'accents qui consomment des *tokens*.

Donc lorsqu'on vous dit par exemple qu'un agent conversationnel dispose d'une capacité de traitement de 4 000 *tokens*, cela équivaut à environ 2 800 à 3 000 mots d'un texte en français, soit entre 24 000 et 28 000 caractères, soit un peu plus de 7 pages.

Et en se référant à ce qui a été dit au début de cette section, si votre *prompt* a une longueur de 1 000 *tokens*, alors l'agent conversationnel ne disposera plus que de 3 000 *tokens* (environ 2 200 mots, ou 5 pages et demi) pour la réponse.

Le tableau ci-dessous donne les capacités de certains agents conversationnels¹⁵⁴.

Limites de capacité en *tokens* de quelques agents conversationnels

Agent conversationnel	Limite de <i>tokens</i>	Nombre de mots (approximativement)	
		Français	Anglais
Chat GPT-4	8 192 tokens	5 700 à 6 100 mots	6 100 à 6 500 mots
Mistral Large	32 000 tokens	22 400 à 24 000 mots	24 000 à 25 600 mots
Claude 2.0	100 000 tokens	70 000 à 75 000 mots	75 000 à 80 000 mots
Chat GPT-4 Turbo	128 000 tokens	89 600 à 96 000 mots	96 000 à 102 400 mots

Si ces limites peuvent vous sembler énormes, il faut savoir qu'il existe des situations où elles peuvent être aisément atteintes, voire dépassées. C'est le cas par exemple si l'on attache au *prompt* un document à traduire,

¹⁵⁴ Il s'agit de limites théoriques et techniques. D'autres facteurs peuvent influencer la correspondance entre le nombre de tokens et le nombre de mots. Par ailleurs, chaque agent conversationnel dispose de plusieurs versions de performances et capacités différentes comme on peut le constater pour Chat GPT dans ce tableau.

à résumer ou à analyser. C'est également le cas si l'IA conversationnelle fournit une réponse incluant des rapports ou des textes juridiques.

Un autre aspect important associé à la compréhension des *tokens* est le **coût d'usage**.

Certes, la plupart des agents conversationnels offrent une version gratuite et/ou d'essai. Cependant, c'est avec la version payante que l'on peut exploiter tout le potentiel de ces agents, et cela en termes de puissance, ainsi que de précision des réponses. La version payante peut consister en un montant fixe; mais il peut également s'agir d'un montant variable en fonction du nombre de *tokens* utilisés¹⁵⁵.

C'est ainsi par exemple qu'en janvier 2024, OpenAI proposait une tarification de ChatGPT-4 Turbo à 24 dollars par utilisateur et par mois ; mais également une autre à environ 0,01 dollar (6 FCFA) pour 1 000 « tokens de prompt » (soit environ 750 mots contenus dans la question), et 0,03 dollar (19 FCFA) pour 1 000 jetons d'« achèvement ».

« Maîtriser les *tokens* des agents conversationnels utilisant les grands modèles de langage permet d'optimiser les réponses aux *prompts* envoyés, ainsi que les coûts d'usage. »

¹⁵⁵ Ce type de tarification concerne essentiellement les développeurs et les entreprises envisageant d'utiliser ces agents conversationnels dans le développement d'applications d'intelligence artificielle (chatbots et assistants virtuels par exemple).

Chapitre 8

L'Afrique est encore à la traîne; mais il y a lieu d'être optimiste



Mme IA :

Dans le domaine de l'intelligence artificielle, le niveau de maturité et de développement d'une région du monde peut s'observer à travers l'avancée de la recherche scientifique et technique, mais également à travers l'impact sur les usages et donc le chiffre d'affaires généré, ou encore à travers une évaluation qualitative du support et de l'adoption des services publics. Et la réalité est que l'Afrique est encore à la traîne si on compare ce continent au reste du monde.

Commençons par la recherche scientifique et technique

Dans ce domaine, les indicateurs généralement utilisés pour mesurer le niveau de maturité d'un pays ou d'une région sont les publications scientifiques et les brevets déposés. Ce sont en effet ces éléments qui, d'une part font avancer l'intelligence artificielle sur le plan de la technologie, et d'autre part témoignent de l'adaptation de l'IA aux réalités locales.

La quasi-totalité des sources d'information auxquelles vous pourrez avoir accès dans les médias vous montreront que les Etats-Unis et la Chine sont les deux pays qui mènent assez largement la course dans le domaine de l'intelligence artificielle. Selon le critère de comparaison utilisé (articles dans les revues scientifiques, papiers de conférences internationales, dépôts de brevets, etc), ces deux pays occupent les premières places, selon un ordre qui peut certes varier.

Selon *l'Artificial Intelligence Index Report 2023* produit par *Clarivate Analytics*¹⁵⁶, l'Afrique représente à peine **2,4%** des articles qui sont publiés dans les revues scientifiques, **1,3%** des papiers présentés lors des grandes conférences internationales, et surtout à peine **0,2%** des brevets d'invention déposés.

Cela peut surprendre quand on sait que l'Afrique représente près de **20%** de la population mondiale, et surtout que le continent recèle des spécificités telles que les langues locales, les défis liés à la santé et à l'éducation, et bien d'autres choses encore pour lesquelles l'intelligence artificielle peut trouver des champs d'application fertiles et instructifs.

¹⁵⁶ Artificial Intelligence Index Report 2023, Clarivate Analytics (Web of Science)

Poursuivons avec la contribution en matière de business

D'après les chiffres de *Statistica*, l'Afrique et le Moyen-Orient représentent ensemble moins de **4%** du chiffre d'affaires généré par l'intelligence artificielle dans le monde. Ce qui surprend dans cette statistique, ce n'est pas le constat que les pays industrialisés soient les acteurs majeurs du business de l'IA. Ce qui surprend, c'est plutôt le fait que le poids de l'Afrique et du Moyen-Orient dans ce domaine soit inférieur à leur poids dans le PIB mondial, et qui est de l'ordre de **7%** selon les chiffres du FMI¹⁵⁷. Cet écart de 3 points démontre alors que ces pays tardent encore à profiter réellement de tout le potentiel économique, commercial, financier et même social offert par l'intelligence artificielle.

Terminons avec le support des services publics

En début d'entretien, lors de la présentation des applications de l'intelligence artificielle au niveau des services publics, il avait été évoqué l'indice de maturité gouvernementale en matière d'IA à travers l'*AI Government Index* d'Oxford. Cet indicateur, qui est calculé pour chaque pays, permet d'apprécier dans quelle mesure les services publics utilisent l'intelligence artificielle et accompagnent les initiatives privées afin qu'un pays exploite tout le potentiel de cette technologie.

D'après le rapport d'Oxford, l'Afrique est la région du monde qui avait le score le plus faible en 2023; soit **31,3/100**, alors que la moyenne mondiale s'établissait à **44,9**.¹⁵⁸

Par ailleurs, ce score global de **31,3** pour le continent africain était la résultante des scores des trois composantes de l'indice; à savoir la Stratégie Gouvernementale où l'Afrique avait un score de **30,3**, les Compétences Technologiques avec un score de **23,2**, et enfin les Données et les Infrastructures avec un score de **40,5**. Ce rapport permet donc d'identifier les leviers qu'il convient d'activer pour que l'intelligence artificielle puisse effectivement contribuer au bien-être économique et social des pays africains.

¹⁵⁷ Selon le rapport « *2023 World Economic Outlook* » du FMI.

¹⁵⁸ Les statistiques détaillées peuvent être consultées à travers le lien : <https://oxfordinsights.com/ai-readiness/ai-readiness-index/>

La Journaliste :

Quel que soit le bout par lequel on le prend, le tableau est vraiment peu reluisant...

Mme IA :

Oui, en effet. Mais comme je vous l'ai dit, les choses sont en train de s'améliorer sur le continent africain...

Mme IA :

Commençons par la fin, c'est-à-dire par l'indice de maturité des services publics où l'Afrique était la région la moins avancée en 2023 avec un score de **31,3/100**.

Si l'on souhaite analyser l'évolution du score sur plusieurs années (par exemple de 2021 à 2023), il convient de réfléchir à « périmètre constant ». Cela consiste à comparer uniquement les pays qui ont fait l'objet de l'évaluation pour chacune de ces trois années. Et on doit donc s'attendre à ce que les scores en 2023 soient plus élevés que les scores initialement présentés, puisque seront exclus les derniers pays inclus dans l'évaluation, lesquels ont naturellement un score plus bas¹⁵⁹. Donc sur cette base, l'indice de maturité de l'Afrique est de **37,4** en 2023, et la moyenne mondiale se situe à **49,3**.

L'analyse réalisée sur cette base montre une progression régulière du continent sur les trois dernières années, passant respectivement de **33,1** en 2021 à **34,3** en 2022 et donc **37,4** en 2023. En outre, l'écart avec les autres régions tend à s'amoinrir puisque le gap entre l'Afrique et la moyenne mondiale n'est plus que de **11,9** points en 2023 contre **14,4** points en 2021.

Prenons maintenant l'activité de nos chercheurs et experts.

Là également, il y a lieu de s'estimer, peut-être pas encore tout à fait comblé, mais au moins assez optimiste au regard de la dynamique observée depuis quelques années.

¹⁵⁹ Dans la plupart des cas, les pays qui n'ont été intégrés dans l'évaluation qu'en 2023 sont des pays où de nombreuses données étaient manquantes les années précédentes. Il semble donc logique que ces pays aient un niveau de maturité IA moins élevé que les autres.

L'excellente recherche bibliométrique conduite par un groupe de chercheurs d'universités nigérianes et sud-africaines nous enseigne que le nombre de **publications scientifiques** traitant de l'intelligence artificielle et produites par les chercheurs africains a pratiquement triplé entre la période 2014-2017 et la période 2018-2021¹⁶⁰, passant d'environ 600 articles à plus de 1900.

C'est également l'occasion de préciser que l'Afrique commence déjà à produire quelques éminents experts dans le domaine de l'intelligence artificielle. Certains sont de purs universitaires, tandis que d'autres sont davantage des praticiens. On peut en citer quelques-uns, juste à titre indicatif.

- Le Pr Tshildzi Marwala est un sud-africain. Il est considéré par de nombreux observateurs comme la référence en matière d'intelligence artificielle en Afrique et est, depuis mars 2023, Recteur de l'Université des Nations-Unies.
- Le Pr Roger Nkambou, de nationalité camerounaise, est l'ancien directeur du Centre de Recherche en IA de l'Université du Québec à Montréal. Il a par ailleurs eu à présider des conférences internationales de renom.
- Dr Moustapha Cissé, de nationalité sénégalaise, est passé par Facebook et Google; il a en outre été directeur du tout premier laboratoire de recherche en IA de Google en Afrique. Dr Cissé est donc davantage un praticien, qui a d'ailleurs créé plusieurs startups d'intelligence artificielle.
- Dr Bayo Adekanmbi est nigérian. Après avoir été en charge du Business Intelligence & Analytics à MTN Nigéria, il a décidé de créer Data Science Nigeria, qui est une organisation regroupant plus de 50 chercheurs africains dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Au-delà de cette impressionnante progression de l'activité des chercheurs et experts du continent, il faut relever qu'un véritable **écosystème de l'intelligence artificielle** est en train de se mettre en place. Cela peut s'observer à travers la diversité des acteurs telle qu'elle est présentée dans le tableau de la page 213 de la **cartographie de l'IA en Afrique**.

¹⁶⁰ Le lien pour consulter ce rapport : <https://arxiv.org/abs/2304.07542>

Les principaux acteurs sont répartis au sein de six catégories :

- les laboratoires et les hubs;
- les organismes de formation aux métiers de l'IA;
- les événements organisés au niveau local ou au niveau continental;
- les organismes de financement et de soutien à l'écosystème de l'IA;
- les accélérateurs et les incubateurs de startups;
- les startups technologiques offrant des solutions d'IA.

Avant de présenter ce tableau, il est utile de mentionner quelques initiatives intéressantes qui se sont révélées sur le continent ces dernières années.

- En janvier 2014, est créée l'alliance Smart Africa par les chefs d'État de 32 pays d'Afrique. Cette alliance a notamment pour objectif de déterminer quelles orientations sont à privilégier dans le domaine de l'intelligence artificielle afin de conduire à un développement socio-économique durable sur le continent.
- En février 2022, la Commission Economique pour l'Afrique (CEA) a choisi la République du Congo comme hub régional du premier centre de recherche en intelligence artificielle d'Afrique : le CARIA.
- En novembre 2022, l'Université de Johannesburg (UJ) en Afrique du Sud a institué l'intelligence artificielle, sous la forme d'un cours introductif, comme une matière obligatoire pour tous les étudiants et dans toutes les filières.
- En novembre 2023, AI Movement, un centre international de formation à l'intelligence artificielle basé au Maroc, devient le premier centre africain de catégorie 2 de l'UNESCO ; ce qui lui donne désormais accès à différentes aides lui permettant de soutenir les efforts pour une IA éthique et responsable.

NB :

En vous référant à la technique d'intelligence artificielle appelée Ontologie présentée à la page 94 avec l'exemple sur le football africain, vous pouvez vous exercer à produire un Graphe de Connaissances simplifié en vous basant sur la cartographie de l'IA en Afrique de la page suivante.

Cartographie indicative de l'intelligence artificielle en Afrique

Laboratoires, plateformes et hubs	
■ AI Africa Consortium (Johannesburg) ■ Centre de Recherche sur l'IA (CARIA-Brazzaville) ■ Center for the 4th Industrial Revolution (Kigali) ■ Data Science Nigeria (DSN) ■ Google Artificial Intelligence Research Center (Accra) ■ Laboratoire Artificial Intelligence for Development-AI4D (Afrique Anglophone) ■ Laboratoire d'IA Responsable (RAIL) ■ Zindi Africa	
Académiques ¹⁶¹	
• Institut Africain des Sciences Mathématiques (IASM) de Kigali • Dakar Institute of Technology • Institut des Technologies de l'Information de l'Egypte • Wits Institute of Data Science de Jo'burg	• AI Movement (Centre International pour l'IA à Rabat) • Stellenbosch University Artificial Intelligence Program ■ Ecole Supérieure de l'Intelligence Artificielle à Alger
Evénements	
■ Commission Economique pour l'Afrique (CEA) ■ Deep Learning Indaba (IndabaX) ■ GITEX Africa	■ Bamako.AI, le mois de l'intelligence artificielle ■ Elviotech Robotics, Douala
Financement et soutien à l'écosystème	
■ Commission Economique pour l'Afrique (CEA) ■ World Economic Forum (WEF) ■ Agence Francophone pour l'Intelligence Artificielle (AFRIA) ■ Human AI	■ Fonds Digital Africain de lAFD ■ Orange Digital Ventures ■ AfricArena ■ AfricInvest ■ Sumitomo Mitsui
Accélérateurs/incubateurs	Startups majeures
• ActivSpaces (Cameroun) • Data Science Nigeria • FAST Accelerator • Ghana Tech Lab • Google For Startups Accelerator • iHub (Kenya) • iLab (Libéria) • Jokkolabs (Sénégal) • Orange Fab Africa • Woelab (Togo)	• Baamtu (Sénégal) • Gifty AI (Nigéria) • Instadeep (Tunisie) • Kosa AI (Kenya) • LyRise (Egypte) • Makifaa (Togo) • Meraky Tech (Côte d'Ivoire) • Sparte Robotics (Cameroun) • Sunbird AI (Ouganda) • TooMAI Analytics (Algérie)

¹⁶¹ Il s'agit des établissements de grande envergure, et qui forment chaque année plus d'une centaine d'individus.

Bien entendu, cette cartographie est juste indicative et partielle, car il existe plusieurs dizaines d'incubateurs, et des centaines de *startups* d'intelligence artificielle sur le continent.

En outre, s'agissant particulièrement des startups d'IA, ce que ce tableau ne peut évidemment pas faire ressortir, c'est la progression du nombre d'initiatives entrepreneuriales.

Le nombre de startups connaît une croissance quasi exponentielle depuis quelques années. On est ainsi passé de **274** startups en 2016 à **2407** entreprises en activité en 2022. Par ailleurs entre 2021 et 2022, le nombre de startups offrant des solutions d'intelligence artificielle a progressé de près de **40%**.¹⁶²

On peut d'ailleurs en profiter pour rappeler que c'est justement à travers les *startups* qu'il est possible d'exploiter de nombreuses opportunités de business et de création d'emplois pour les africains.

Les réalisations des startups dans le domaine de l'IA se comptent désormais par centaines en Afrique. Ces réalisations se retrouvent un peu partout sur le continent et dans des domaines très variés. On peut citer, juste à titre indicatif, quelques exemples de solutions d'intelligence artificielle produites dans différents pays d'Afrique sub-saharienne pour la période 2020-2023.

- En RDC, une startup a créé des robots intelligents capables de réguler la circulation dans la ville de Kinshasa.
- Au Cameroun, une jeune chercheuse a utilisé l'IA pour développer un dispositif d'assistance au diagnostic des cancers du sang.
- Une startup sud-africaine utilise l'IA pour aider le secteur de l'immobilier commercial à présélectionner les locataires et à prédire les risques de défaillance.
- Au Sénégal, une startup a créé un *chatbot* permettant de guider les personnes dans leurs soins. À la demande du ministère de la Santé, cette startup a également développé une technologie d'autodiagnostic de l'hémophilie.
- Deux jeunes chercheurs africains ont produit ensemble un algorithme d'intelligence artificielle permettant aux moteurs de recherche sur

¹⁶² Selon le *State of AI in Africa report 2023-CIPIT*.

internet de traduire automatiquement les textes dans certains dialectes nigériens et béninois.

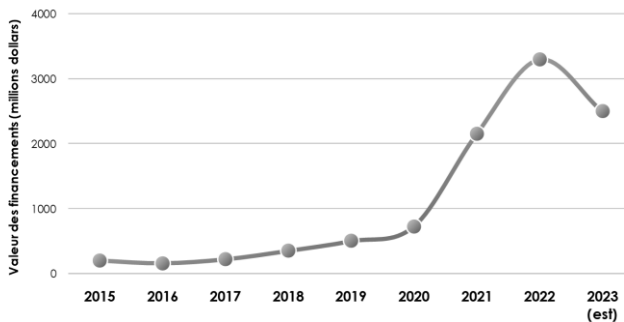
- Une start-up nigérienne a développé une application mobile utilisée pour détecter l'asphyxie prénatale précoce chez les nouveau-nés en analysant les signatures acoustiques.
- Au Kenya et au Mozambique, l'IA a été utilisée pour développer des systèmes capables d'identifier en temps réel les interventions agronomiques appropriées, à l'aide de données de capteurs telles que le niveau de pH, le niveau d'humidité du sol, la température, etc.
- En Côte d'Ivoire, une plateforme d'analyse d'images d'ouvrages a été créée grâce à l'intelligence artificielle. Cette plateforme permet de détecter les équipements sur les ouvrages à partir d'images prises par des drones, et de créer un rapport d'inventaire des équipements.
- En se concentrant sur les maladies répandues en Afrique, une startup a utilisé le *machine learning* pour améliorer la classification de l'anémie falciforme, ainsi que la détection des fibromes utérins chez les femmes.
- En créant des dictionnaires de dialectes africains et en s'aidant des techniques d'intelligence artificielle, une startup est parvenue à mesurer les réactions des communautés locales lors de la mise en œuvre d'un projet (infrastructure, ligne de chemin de fer, etc).
- En Angola, des modèles de villes intelligentes (*smart cities*) basés sur l'apprentissage automatique sont utilisés pour prédire les anomalies de circulation.
- Des drones intelligents dotés de capacités élevées d'intelligence artificielle ont été déployés pour étudier les éléphants au Burkina Faso, lutter contre le braconnage des rhinocéros en Afrique du Sud, et analyser les risques d'inondation en Tanzanie.

Qu'il s'agisse donc de l'évolution des publications scientifiques, de l'émergence progressive d'un écosystème, ou encore de la progression du nombre de startups et des réalisations de ces dernières, tous les voyants laissent penser que l'intelligence artificielle est sur une pente résolument ascendante en Afrique.

Mais il faut rester prudent et mesuré. En effet, le graphique de la page suivante montre que les financements à destination des startups ont certes connu une croissance fulgurante entre 2020 et 2022 où la barre

des **3 milliards** de dollars avait été franchie; mais un ralentissement a été observé en 2023. Celui-ci tient certes en partie à des facteurs exogènes, notamment la réduction de l'activité d'investissement au niveau mondial liée à la raréfaction des liquidités. Mais ce ralentissement tient également à des facteurs endogènes; par exemple, le besoin de recul et d'analyse du retour sur investissement des projets financés sur le continent.

Valeur totale du financement obtenu par les startups technologiques en Afrique de 2015 à 2023



Sources : Disrupt Africa, Partech Africa

En outre, la structure des bénéficiaires de ces financements est on ne peut plus déséquilibrée, car les investissements sont historiquement concentrés dans quatre pays. En effet le Nigéria, l'Afrique du Sud, l'Egypte et le Kenya accaparent plus de **70%** des financements obtenus.¹⁶³

L'IA en Afrique : des opportunités et des chantiers

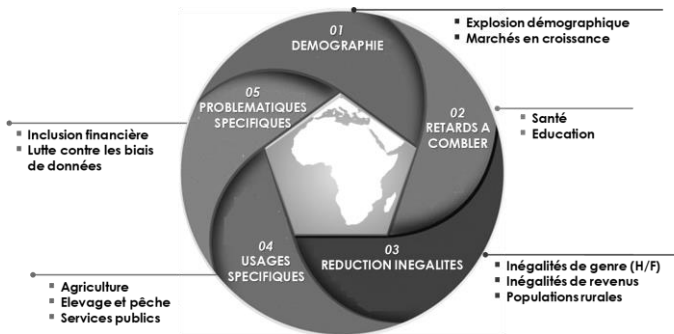
Pour clore cette section sur la situation de l'intelligence artificielle en Afrique, il est intéressant de préciser que la plupart des agences de prévision avancent que le taux de croissance du marché de l'IA au niveau mondial devrait être compris entre **20 et 30%** par an entre 2025 et 2030. Si l'on compare cela au taux de croissance du PIB mondial, lequel est attendu aux alentours de **3-4%** par an pendant la même période, alors on peut dire : « *Artificial Intelligence is the place to be...* ». Il s'agit donc d'une occasion à saisir pour l'Afrique.

¹⁶³ La proportion des financements reçus par ces 4 pays était même de 84% en 2017.

Il faut d'ailleurs sans doute relever que les leviers de développement de l'IA en Afrique sont nombreux et concrets. Ils concernent notamment :

- la **démographie**, avec une population qui devrait représenter près de **30%** de la population mondiale en 2050 contre **18%** en 2022;¹⁶⁴
- les **opportunités** concernant le retard à combler dans les domaines de la santé et de l'éducation;
- des **usages spécifiques** et considérables dans le domaine de l'agriculture et de l'élevage, le secteur primaire employant plus de **60%** de la main d'œuvre en Afrique sub-saharienne;
- la nécessité de **réduire les inégalités sociales, les inégalités de genre**, de même que celles concernant les **zones rurales**;
- la nécessité **d'adresser certaines problématiques**, telles que l'inclusion financière, la gouvernance, l'insuffisante exploitation des données disponibles (*data mining*) et les biais de données¹⁶⁵.

Les leviers de croissance de l'IA en Afrique



¹⁶⁴ En combinant diverses sources: CIA World FactBook, World Bank, INED.

¹⁶⁵ Les biais de données renvoient au fait que les résultats des algorithmes d'intelligence artificielle ne sont pas neutres car ils proviennent de données qui ne sont pas toujours représentatives de la diversité mondiale; certaines populations étant sous-représentées, voire discriminées.

Il faut toutefois être conscient qu'afin que l'Afrique puisse exploiter tout le potentiel d'IA que laissent supposer les 5 leviers et opportunités de croissance ci-dessus, il existe un certain nombre de chantiers prioritaires à engager et d'obstacles à surmonter.

Le premier chantier est probablement celui des **infrastructures technologiques**, où l'Afrique accuse un retard significatif. Pour faire tourner les algorithmes de *machine learning* (et notamment ceux des IA génératives pendant la phase d'apprentissage/formation), il faut des ordinateurs extrêmement puissants, ainsi que des capacités de stockage considérables. Pensez par exemple aux 175 milliards de paramètres utilisés par ChatGPT dans sa version 2022, ainsi qu'aux milliards d'images utilisées par l'IA générative Midjourney.

Grâce à leur nombreux serveurs pour le stockage et l'accès des données, et la grande puissance de calcul de leurs nombreux processeurs, les *data centers* sont donc incontournables. Or, il s'avère qu'en 2023, seuls cinq pays africains disposaient de plus de vingt *data centers* (l'Afrique du Sud, le Maroc, l'Égypte, le Nigéria et le Kenya)¹⁶⁶. Et ces infrastructures africaines ne disposent généralement ni de la même capacité que les *data centers* des pays développés, ni du même niveau de qualité¹⁶⁷.

Toujours dans le cadre des infrastructures technologiques, il y a lieu de mentionner les infrastructures de télécommunications. En effet, si certaines IA basiques peuvent fonctionner avec la 3G, les IA avancées à base de *deep learning* nécessitent la 5G pour véritablement se déployer¹⁶⁸.

A côté des infrastructures technologiques, les autres chantiers prioritaires pour un véritable décollage de l'intelligence artificielle en Afrique sont de plusieurs ordres.

¹⁶⁶ A la même époque, on dénombrait plus de 300 data centers en France. Mais plus impressionnant était le cas de l'Estonie. Dans ce pays, qui a fait de la digitalisation son principal levier de développement, on dénombrait plus de 80 data centers pour une population d'à peine 1,3 million d'habitants.

¹⁶⁷ L'évaluation du niveau de fiabilité et de disponibilité des data centers s'effectue à l'aide d'une classification ascendante en tiers (de Tier I à Tier IV); et les tiers IV sont encore rares en Afrique.

¹⁶⁸ Selon le rapport de la GSMA Intelligence présenté lors du *Mobile World Congress 2023*, l'adoption de la 5G en Afrique sub-saharienne était inférieure à 1% en 2022; et il est prévu qu'elle atteigne 16% en 2030. En 2022, l'adoption de la 5G était respectivement de 18% en Amérique du Nord, 11% en Europe de l'Ouest, etc.

- **L'accompagnement des pouvoirs publics.** Celui-ci peut prendre la forme d'incitations à l'investissement, d'adoption de l'IA par les services publics, de partenariats public-privé, etc. Mais cela concerne également la mise en place d'un cadre réglementaire afin de protéger les données personnelles et de veiller à l'éthique.
- **L'investissement dans le capital humain.** Cela suppose, d'une part que les formations de pointe dans les métiers de l'intelligence artificielle se poursuivent sur le continent¹⁶⁹, et d'autre part que l'on puisse endiguer la fuite des cerveaux afin que les jeunes diplômés puissent s'investir dans des projets d'IA de différentes natures et résoudre des problèmes locaux.
- **L'éducation de la population** aux bases et à l'essentiel de l'IA (usages, dangers, etc), sans distinction de statut professionnel, de sexe ou de zone de résidence (rurale, urbaine). L'IA ne doit plus être considérée comme un domaine réservé à une élite intellectuelle ou professionnelle¹⁷⁰. Et cette éducation doit comporter plusieurs volets complémentaires : l'information, la formation et la sensibilisation.
- **La participation de toutes les composantes de la société**, et cela à double titre. L'intelligence artificielle étant un domaine pluridisciplinaire, les scientifiques et les techniciens devraient absolument s'entourer de spécialistes d'autres disciplines (linguistes, psychologues, juristes, professionnels des médias, etc), afin de produire des solutions adaptées aux défis sociologiques de l'Afrique. Ensuite, l'IA s'appliquant à des domaines qui ont des réalités spécifiques (secteurs d'activités, éducation, santé, sport, justice, etc), toute solution d'IA doit intégrer lors de son processus de production (concept, test, etc) les inputs des experts métier.
- Il y a enfin et surtout, une contrainte qui est également une opportunité pour les startups technologiques. Il s'agit de la **production, la collecte et l'annotation de données locales** qui puissent permettre d'alimenter des IA génératives (modèles de langage, génération d'images, etc) adaptées aux réalités du continent,

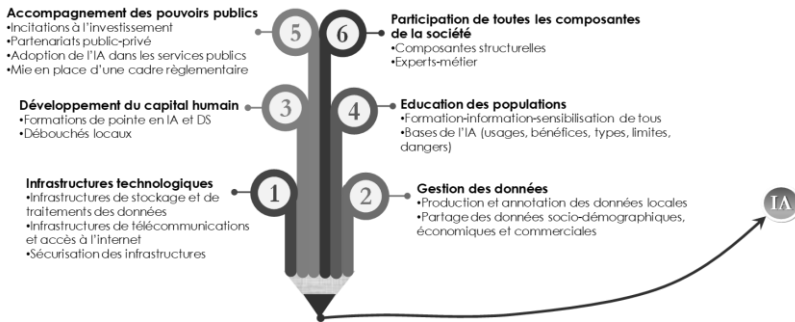
¹⁶⁹ Comme on peut le voir dans la cartographie de l'IA en Afrique à la page 213, des organismes de formation naissent déjà sur le continent.

¹⁷⁰ A titre de rappel, l'Université Johannesburg (UJ) a instauré « l'Initiation à l'IA » comme matière obligatoire dans toutes les filières académiques.

afin de contribuer à l'émergence d'IA africaines. Il faut savoir en effet que les langues africaines représentent ensemble moins de 1% du contenu du Web¹⁷¹... alors que le continent africain représente près de 20% de la population mondiale! Mais au-delà des données en usage dans les IA génératives, il y a toutes les **données quantitatives** qui serviraient aux IA analytiques; et notamment les données sociodémographiques, les données économiques officielles, les données commerciales liées aux différents secteurs d'activité, etc. Celles-ci sont parfois difficiles à trouver en quantité (granularité) et en qualité (fiabilité).¹⁷²

Tous ces chantiers prioritaires sont repris dans le diagramme ci-dessous.

Les chantiers à engager pour le décollage de l'IA en Afrique



¹⁷¹ Ce qui est confirmé par les deux principales sources que sont W3Techs et l'Observatoire de la Diversité Linguistique.

¹⁷² Pour s'encourager, il faut se rappeler que les données constituent des ressources « non rivales »; ce qui signifie que leur utilisation ne diminue pas la quantité disponible. Il est donc possible à plusieurs entreprises d'utiliser les mêmes données pour des objectifs différents.

Chapitre 9

Malgré tous ses bienfaits, l'IA a certaines limites et induit certains risques et dangers



Mme IA :

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les limites et les dangers de l'intelligence artificielle sont aussi nombreux que ses avantages et ses bienfaits. Il y a lieu de distinguer les limites et dangers sur le plan de la qualité des résultats produits, sur le plan de l'éthique, ainsi que l'impact au niveau sociétal et organisationnel.

Commençons par les limites liées à la qualité et à la fiabilité des résultats.

Il faut se rappeler que derrière les machines (smartphones, robots, etc) se cachent des algorithmes, lesquels sont alimentés par des données. Et donc en fonction des données utilisées, l'algorithme va produire un certain type de résultats. On parle de **biais algorithmique** ou parfois de **biais d'apprentissage** ou même de **biais de données** (et il en existe de plusieurs types¹⁷³), car les discriminations ou distorsions apparaissant dans les données fournies en entrée vont transparaître dans les résultats produits. D'où l'expression « *garbage in, garbage out* » (ordures à l'entrée, ordures à la sortie) que vous pourriez entendre à cet effet.

Prenons par exemple ce qu'on appelle **biais d'échantillonnage**. En 2015, l'entreprise Amazon a essayé un processus de recrutement via un algorithme entraîné sur des centaines de milliers de CV reçus par l'entreprise depuis 10 ans. Sauf que l'algorithme sélectionnait majoritairement des hommes blancs car les cadres recrutés dans le passé étaient en très grande majorité des hommes blancs. L'algorithme a donc "appris" à ne laisser aucune chance aux femmes ou aux hommes noirs. C'est l'une des raisons pour lesquelles on a souvent entendu dire que l'IA était sexiste, voire raciste...

Une autre illustration du biais de données concerne la **sous-représentativité** des données « africaines » dans les algorithmes d'intelligence artificielle. Demandez par exemple à une IA générative comme Midjourney ou Stable Diffusion de produire l'image d'un enfant de Makak ou de Yokadouma en train de détacher un porc-épic d'un piège à gibier en brousse, et vous verrez le résultat... Le même constat

¹⁷³ En réalité, la distinction terminologique entre les différents types de biais n'a pas encore reçu un véritable consensus de la part des chercheurs et des professionnels.

s'applique si vous demandez à ChatGPT de produire le résumé d'un document, non plus en français ou en anglais, mais dans une langue vernaculaire africaine. C'est la raison pour laquelle vous entendrez parfois des voix se prononcer en faveur de la conception d'une sorte de ChatGPT africain, et donc basée sur de grosses masses de données africaines.¹⁷⁴

Pour compléter le problème de la sous-représentativité des données, il faut savoir que les grands modèles de langages (les *LLM*) les plus populaires (ChatGPT, Gemini, Llama, Claude, etc) possèdent un fort biais linguistique du fait que (en fonction des sources consultées) entre 22 et 51% du contenu d'internet est en anglais, contre 3 ou 4% pour le français. Et quelle que soit la source consultée, les langues africaines représentent moins de 1% des sites Web¹⁷⁵.

« Les langues africaines représentent moins de 1% du contenu d'internet; d'où un biais de données qui affecte les IA génératives. »

•

Parlant toujours des limites de l'intelligence artificielle, on peut également ajouter le cercle vicieux engendré par les images, dites « synthétiques », produites par les IA génératives. Le contenu généré par ces outils est en effet en train de gagner du terrain sur internet, alimentant alors des modèles qui vont intégrer les erreurs et les biais de ces images synthétiques. La conséquence sera alors bien entendu une amplification des biais observés initialement et des discriminations en tous genres. Mais cela pourra même aller jusqu'à la génération d'images floues et non identifiables. C'est ce que l'on appelle « **l'effondrement du modèle** ».

Une variante du biais algorithmique est ce que l'on qualifie **d'effet-rétrovisseur** (parfois appelé **biais de sélection**). Puisque l'algorithme

¹⁷⁴ C'est notamment l'un des projets sur lesquels planche « Indaba » qui est un collectif de 400 chercheurs africains en intelligence artificielle qui se réunissent chaque année.

¹⁷⁵ La langue du contenu, qui est différente de la langue des utilisateurs, fait l'objet de méthodes d'estimation différentes selon les sources. Les deux principales sources sont W3Techs (qui surestime le poids de l'anglais en excluant le multilinguisme), et l'Observatoire de la Diversité Linguistique (qui semble un peu plus rigoureux dans sa méthodologie et place l'anglais et le chinois à peu près à égalité: soit respectivement 22% et 20%).

d'intelligence artificielle se base uniquement sur les données passées, il lui est difficile de prédire des situations exceptionnelles qui pourraient se produire à l'avenir, surtout lorsque cet avenir est incertain et imprévisible. Trois exemples permettront d'illustrer cela.

Prenons d'abord le cas des véhicules autonomes. Du fait qu'il n'y ait pas beaucoup de données d'accidents ou de comportements brusques des piétons sur la base desquelles l'algorithme pourra apprendre(en comparaison avec les données de situations normales), il ne lui sera pas aisé d'indiquer au véhicule le comportement à adopter lorsqu'un enfant traverse par exemple brusquement la chaussée sans aucun signe avant-coureur.

Prenons ensuite le cas des prédictions sportives. On se rend généralement compte, après-coup, que les algorithmes d'intelligence artificielle produisent des prédictions catastrophiques lorsque le nom du vainqueur d'une compétition constitue une véritable surprise. Les prédictions de l'IA étant basées sur des données historiques, elles ne disposent par conséquent pas d'exemples où celui que nous qualifions de « vainqueur surprise » a eu par le passé à réaliser des performances extraordinaires. Prenons deux exemples assez récents.

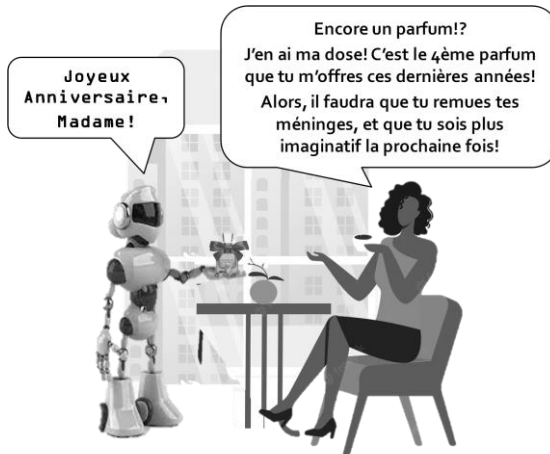
1. Aucun algorithme d'intelligence artificielle n'avait prédit que le Maroc atteindrait les demi-finales lors de la Coupe du Monde de football de la FIFA Qatar 2022.¹⁷⁶ Et cela pour la simple raison qu'aucun pays africain n'avait encore dépassé le cap des quart de finale lors de toutes les éditions précédentes; et que le pays africain ayant le meilleur classement FIFA avant cette coupe du monde n'arrivait qu'en 18^{ème} position... et c'était le Sénégal, le Maroc étant classé 22^{ème} lors de ce *ranking* d'octobre 2022.
2. La Coupe d'Afrique des Nations qui s'est déroulée en Côte d'Ivoire du 13 janvier au 11 février 2024 offre un autre exemple de biais dû à l'effet-rétroviseur. A l'issue du premier tour, marqué par deux défaites des Eléphants de Côte d'Ivoire (0-1 face au Nigéria et 0-4 face à la Guinée Equatoriale), le pays organisateur était virtuellement éliminé. A ce moment-là, aucun algorithme d'IA n'aurait donc pu prédire la victoire finale de la Côte d'Ivoire au soir du 11 février; et

¹⁷⁶ Les seuls qui pouvaient prédire cela étaient les populations marocaines et autres africains (souhait et effet d'optimisme) ou des parieurs ayant une grande appétence au risque (effet de surprise).

cela pour la simple raison qu'il n'y avait aucune donnée historique permettant à l'IA d'envisager un tel scénario, ou si oui, avec une probabilité extrêmement faible, voire insignifiante.

Prenons enfin le cas des projections du business en entreprise. Du fait que les données utilisées sont celles du passé, l'algorithme d'intelligence artificielle aura naturellement tendance à projeter le passé dans le futur... puisqu'il n'a presque aucun signe concernant ce dernier. C'est la raison pour laquelle l'IA est peu efficace pour prédire les phénomènes de rupture structurelle sur le marché¹⁷⁷, et que l'humain est encore incontournable dans ce domaine.¹⁷⁸

Et puisque nous sommes entre femmes, terminons avec une petite note d'humour. Imaginons que nous utilisons un robot d'IA pour nous offrir un cadeau à chacun de nos anniversaires. Ce robot va bien évidemment se baser sur nos goûts tels qu'il a pu les observer dans le passé. Mais parfois, nous avons besoin d'imagination. Alors la situation illustrée dans l'image ci-dessous pourrait facilement se produire!¹⁷⁹



¹⁷⁷ On parle parfois de "*disruption*" en anglais.

¹⁷⁸ C'est le rôle de ceux que l'on appelle les « futurologues ».

¹⁷⁹ Il est cependant possible de contourner cette limite en fournissant au robot de nombreuses données sur la dame en question (évolution de ses activités et centres d'intérêt, caractéristiques et goûts de ses amies, tendances, etc).

Une autre limite concernant la qualité des résultats de l'intelligence artificielle a trait à l'absence de **compréhension du contexte et des abstractions**. On sait en effet que les termes et les expressions grammaticales sont interprétés différemment selon les cultures et les groupes sociologiques. Une IA qui aura utilisé des données provenant de populations québécoises pourrait donc se révéler peu adaptée pour comprendre une conversation également en français, mais tenue à Kinshasa ou à Abidjan.

Prenons un exemple. Si, lors d'un concours de recrutement de chauffeurs pour une entreprise, vous demandez à un candidat camerounais s'il est à l'aise avec la conduite, il est possible que, plein d'enthousiasme, il vous fournisse une réponse du genre : « *je conduis mal mauvais!* » Si vous n'êtes pas camerounais(e), il n'est pas certain que vous compreniez immédiatement le sens de cette réponse. Eh bien l'algorithme aura le même problème que vous, et en conclura que ce candidat est un piètre automobiliste... alors que c'est très probablement l'inverse!

Le problème de l'absence de contexte et d'abstraction peut également être illustré lorsque vous demandez à une IA générative de produire une image pour illustrer l'expression « *mettre les pieds dans le plat* ». Je vous laisse imaginer le résultat...

Parlons maintenant des « **hallucinations** » en IA; vous allez comprendre pourquoi on utilise ce terme. En effet, la troisième limite des résultats produits par les algorithmes d'intelligence artificielle se comprend lorsque l'on se rappelle que la plupart des algorithmes actuels (issus de l'apprentissage automatique ou statistique) fournissent des résultats probabilistes. Un algorithme vous dira par exemple que la photo que vous lui avez soumise a 95% de chances d'être celle d'un arbre, ou d'un animal; ou encore que lorsque vous commencez à écrire BON, il ya 88% de chances que vous désiriez écrire BONJOUR.

Le problème avec une approche probabiliste est que le pourcentage restant (par exemple 5% ou 12% dans nos exemples) pourrait tout de même se réaliser. Dans l'un des exemples ci-dessus, il se peut que vous souhaitiez plutôt écrire BONHOMME, et non BONJOUR.

Si cela semble anodin ici, sachez que dans certains cas, un simple détail peut avoir des répercussions catastrophiques. C'est le cas d'une IA

généraliste qui désire représenter un visage humain, et produit un visage comportant le deuxième œil situé à côté de la bouche! C'est ce que l'on appelle les « **hallucinations** » de l'intelligence artificielle.

Parfois l'hallucination est due à une erreur dans l'algorithme comme dans l'exemple ci-dessus. Mais parfois, et là, le terme est encore plus adapté, l'algorithme invente tout simplement un résultat car il ne dispose pas de suffisamment de données en entrée. C'est le cas d'un *chatbot* qui invente un chiffre d'affaires pour une entreprise sans avoir de données à ce sujet. C'est également le cas de la biographie d'une célébrité qui comporte de grossières erreurs découlant de données que l'algorithme a dû inventer. Et de telles situations sont beaucoup plus courantes que vous ne l'imaginez. Vous comprenez que ces erreurs peuvent avoir des conséquences dramatiques dans les secteurs de la santé ou de la finance.

À côté de ce qui précède, il convient d'ajouter le cas de personnes qui ont eu la curiosité de demander à ChatGPT ce qu'il savait d'elles. L'IA a en effet fourni de nombreuses informations erronées: fausse date de naissance, amis imaginaires, etc. Vous pouvez en faire vous-même l'expérience¹⁸⁰.

S'agissant toujours des IA de génération de texte telles que ChatGPT, Gemini, Claude, qui sont si prisées de nos jours, de nombreuses erreurs critiques sont régulièrement relevées dans certains corps de métier.

- > C'est ainsi qu'une étude universitaire dans le domaine médical réalisée en 2023 sur la justesse des informations retournées par ChatGPT 3.5 avait montré que les propos de l'IA étaient justes dans 63,4% des cas ; soit un taux d'erreur de plus de 36% !¹⁸¹ Et cela est le fruit de la combinaison des biais évoqués un peu plus tôt (ChatGPT 3.5 était entraîné sur une base de données arrêtée en 2021), mais également des hallucinations.
- > D'autres chercheurs ont démontré que les hallucinations légales sont nombreuses. Les taux d'hallucination de GPT 3.5 et PaLM 2 étaient

¹⁸⁰ L'activiste autrichien Max Schrems avait d'ailleurs introduit début 2024 une demande de correction de sa date de naissance à OpenAI, le créateur de ChatGPT. OpenAI avait refusé, arguant qu'il lui était impossible de corriger les informations, car ne sachant pas d'où exactement avait été tirée telle ou donnée.

¹⁸¹ Dans le cadre de cette étude produite par le CHU Sainte-Justine et l'Hôpital de Montréal, on relevait des informations inexacts, références scientifiques inventées, des citations erronées, de mauvais conseils, etc.

respectivement de 69 % et 72% en réponse à des requêtes juridiques spécifiques. Pour ces chercheurs, les grands modèles de langage ne sont donc pas encore en mesure d'effectuer le type de raisonnement juridique que les avocats effectuent lorsqu'ils évaluent la relation de précédent entre les affaires¹⁸²; ce qui constitue un objectif central de la recherche juridique¹⁸³.

C'est fort de ce qui précède que certains corps de métiers (notamment médecine, justice, finance, enseignement) déconseillent l'utilisation aveugle des IA génératives.

Certes, pour atténuer le taux d'erreur, les IA de génération de texte actualisent leurs versions assez régulièrement afin d'être entraînées sur les données les plus récentes. C'est ainsi que Claude 1 est sortie en mars 2023, Claude 2 en juillet 2023, Claude 3 en mars 2024. Mais l'actualisation de ces outils implique une grosse consommation de ressources lors de la phase d'apprentissage des modèles ; et il est donc illusoire de s'attendre à des résultats très actualisés comme c'est le cas avec un outil tel que Google Search.

Il est par ailleurs intéressant de relever que le cerveau humain a ses propres hallucinations que l'on appelle les « **bugs du cerveau** ».

Ceux-ci peuvent prendre la forme de **lapsus**, lorsque l'on emploie involontairement un mot à la place d'un autre. C'est le cas si je dis « déformation » alors que je voulais dire « information ». Les lapsus peuvent avoir une origine inconsciente (pensées inavouables refoulées dans votre cerveau), ou consciente (du fait de la forte proximité entre deux mots ou du fait que le cerveau est allé trop vite dans le traitement de l'information).

Mais les bugs du cerveau peuvent également consister en ce que les spécialistes en neurosciences cognitives appellent des « **distorsions cognitives** » lorsque l'on se trompe totalement dans un raisonnement,

¹⁸² La "relation de précédent" (*stare decisis*) est un principe fondamental de certains systèmes juridiques, qui stipule que les décisions rendues par les tribunaux supérieurs dans des affaires antérieures (appelées précédents) constituent une source de droit contraignante pour les tribunaux inférieurs dans des affaires ultérieures présentant des questions juridiques similaires. .

¹⁸³ Article : "*Large Legal Fictions: Profiling Legal Hallucinations in Large Language Models*", Matthew Dahl (Yale University), Varun Magesh, Mirac Suzgun (Stanford University).

ou que l'on manque incroyablement de logique dans une situation bien précise. Ce sera le cas par exemple lorsque l'on tire des conclusions hâtives sur la base de nos préjugés.

Une dernière limite qu'il convient d'évoquer ici est celle concernant la **possibilité de contourner les algorithmes d'intelligence artificielle**.

Dans la première partie de cette conversation, il avait été démontré comment l'intelligence artificielle permettait de protéger les individus en luttant contre certains propos jugés inappropriés sur les réseaux sociaux, et notamment les propos haineux, discriminatoires ou à caractère sexuel. Il s'est cependant développé ces dernières années ce que l'on appelle l'*algospeak*. Il s'agit d'un langage crypté qui permet de tromper les algorithmes de modération des réseaux sociaux et de contourner les mots interdits. L'*algospeak* se présente sous la forme de mots nouveaux ou de symboles (les caractères spéciaux du clavier ou alors les émojis)¹⁸⁴. Par exemple le mot « violence » est remplacé par « v10lence »; certains utilisent « seggs » à la place de « sexe », etc. De même, l'emoji « mais » est utilisé pour désigner le porno; l'emoji « carotte » avait notamment été utilisé pour désigner les effets secondaires du vaccin contre le Covid-19.

« De loin, l'IA semble épatante et extraordinaire. Mais c'est quand vous travaillez effectivement sur elle que vous vous rendez compte de ses nombreuses limites. »

Passons maintenant aux problèmes d'éthique.

Les problèmes d'éthique générés par l'IA sont essentiellement de plusieurs natures. Nous allons nous focaliser sur trois de ces problèmes : les **faux contenus**, **l'utilisation des données personnelles** et le **piratage informatique**.

¹⁸⁴ Il y a lieu de faire la distinction entre les *smileys*, les *émoticones* et les *emojis*. Les *smileys* sont les ancêtres des *emojis*; ils ont une forme ronde, deux yeux et une bouche. Les *émoticones*, eux, sont les symboles que l'on écrit en utilisant les caractères du clavier. Enfin, les *emojis* sont tous les symboles que l'on retrouve actuellement sur les smartphones, tablettes, ordinateurs ou réseaux sociaux.

S'agissant de la première nature, c'est-à-dire les **faux contenus**, vous avez probablement déjà entendu parler des *deepfakes*,¹⁸⁵ ces images ou vidéos qui étaient truquées et avaient reçu des commentaires de centaines de milliers d'internautes avant que ces derniers ne s'aperçoivent qu'elles étaient fausses.

En dehors du fait que les *deepfakes* peuvent prendre chacune des quatre formes de données (texte, image, son, vidéo), la force de leur impact tient essentiellement à trois catégories d'éléments.

- Primo, ce sont des **occasions d'humiliation, de diffamation ou de chantage**. Et dans cette catégorie, les personnalités du monde politique et du showbiz sont les plus vulnérables. Cette exposition des personnalités tient tout d'abord au fait qu'elles constituent des proies idéales pour les rançonneurs, ou pour ceux qui souhaitent les discréditer.¹⁸⁶ Mais cela tient également au fait que les algorithmes sur lesquels on se base pour générer des *deepfakes* ont besoin de gros volumes de données (images, vidéos).¹⁸⁷ Et celles des personnalités sont naturellement plus aisées à obtenir sur internet!
- Secundo, ce sont également des **occasions de désinformation** (et de renforcement des *fake news*), soit pour générer de fausses preuves, soit pour réécrire l'histoire. Dans le premier cas, cela conduira à des erreurs judiciaires, et potentiellement à des vies détruites. Dans le second cas, on peut imaginer les conséquences sur la manipulation des masses si cette réécriture de l'histoire est d'ordre religieux ou politique.
- Tertio, en utilisant les canaux de communication des **réseaux sociaux**, les *deepfakes* deviennent rapidement viraux et s'étendent ainsi très rapidement à un nombre impressionnant de personnes dont la plupart n'ont ni le temps, ni même parfois la volonté, de vérifier la véracité et la fiabilité de ce qui est partagé.

¹⁸⁵ Contraction de « *deep* » (pour *deep learning*) et « *fake* » (pour faux).

¹⁸⁶ Les célébrités ayant été victimes des *deepfakes* (photos ou vidéos) sont nombreuses : Donald Trump, Barack Obama, Hillary Clinton, Vladimir Poutine, Emmanuel Macron, le pape François, Elon Musk, Mark Zuckerberg, Tom Cruise, Scarlett Johansson, Bruce Willis, Katy Perry, Drake, etc. Et la liste est longue...

¹⁸⁷ Rappelez-vous le principe des algorithmes appelés réseaux antagonistes génératifs (GAN) présentés précédemment. Il y a un réseau « générateur » qui va produire des résultats (images, vidéos, etc), et aura pour cela besoin de nombreuses données pour s'en inspirer. Et il y a un réseau « discriminateur » qui va en quelque sorte évaluer la qualité des productions du « générateur ».

En marge des *deepfakes*, le second problème d'éthique engendré par l'intelligence artificielle concerne le **respect de la vie privée et l'utilisation des données personnelles**; et tout le monde peut se retrouver exposé... vous et moi également!

Les systèmes d'IA collectent des données sur les utilisateurs, lesquelles données peuvent être utilisées pour des escroqueries ou d'autres activités malveillantes. S'agissant par exemple des technologies de reconnaissance faciale, l'intelligence artificielle permet de fabriquer de fausses photos d'identité de vous, afin d'avoir accès à votre smartphone ou pour passer à travers les caméras de surveillance.

Une variante du problème du respect de la vie privée est constituée par les abus et les dérives liés à la **surveillance de masse** par les services publics du fait des caméras de surveillance placées un peu partout dans certaines villes.¹⁸⁸ Bien qu'utile à bien des égards pour des raisons de sécurité, la surveillance de masse peut être considérée par certaines personnes comme une intrusion dans leur vie privée et une restriction des libertés.

Le troisième problème lié à l'éthique trouve des applications dans les deux premiers, mais va plus loin du fait de sa transversalité; il s'agit de tout ce qui concerne le **piratage informatique**. Les systèmes informatiques peuvent en effet être vulnérables aux cyber-attaques; ce qui aurait des conséquences graves aussi bien sur les individus que sur les entreprises et même les gouvernements.

Et cela peut prendre une autre tournure si l'on combine plusieurs des dangers éthiques que je viens de présenter. Imaginez que demain, un individu pirate une caméra de surveillance, puis injecte une fausse vidéo de vous en train de commettre un acte illégal...¹⁸⁹

Le piratage informatique n'est pas quelque chose de nouveau en soit¹⁹⁰. Ce qui est nouveau, c'est qu'à côté des *bots* basics et des fermes de

¹⁸⁸ En 2021, parmi les villes qui avaient le plus de caméras de vidéosurveillance dans le monde, on pouvait relever en particulier : Chongqing en Chine (2,5 millions de caméras pour 16 millions d'habitants), New Delhi en Inde (730 caméras au km2), Londres (700 000 caméras au total), Paris (254 caméras au km2).

¹⁸⁹ Certaines startups produisent des solutions d'IA chargée d'identifier les *deepfakes*.

¹⁹⁰ Arkose Labs, une plateforme de gestion de bots et de sécurité de comptes, a révélé que près de 73 % de tout le trafic web et d'applications était malveillant au 3ème trimestre 2023.

fraude humaine¹⁹¹, prolifère maintenant une forme d'attaque rendue possible par l'IA : les « **bots intelligents** ». Ceux-ci sont plus avancés que les deux formes précédentes, et peuvent imiter le comportement humain, comme le défilement, la frappe, ou le mouvement de la souris. C'est partant de tout ce qui précède, qu'un peu partout dans le monde, les pouvoirs publics, les universitaires et certaines entreprises s'associent et sont à l'oeuvre pour adresser les problèmes d'ordre éthique. C'est dans cette optique que s'inscrivent par exemple:

- le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD), qui encadre le traitement des données personnelles sur le territoire de l'Union Européenne;
- l'adoption, par les Etats membres de l'UNESCO en novembre 2021, de la Recommandation sur l'Ethique de l'IA;
- la conférence organisée à Dakar en mars 2023 sur le thème de « la Place de l'Ethique et de la Régulation de l'IA en Afrique », et d'autres initiatives similaires sur le continent.

Vous comprenez mieux pourquoi il avait été mentionné le fait que les métiers liés aux humanités (juristes, psychologues, etc) avaient leur pierre à apporter à l'édifice de l'IA.

Et terminons par l'impact au niveau sociétal et organisationnel.

A ce niveau, je vais tout d'abord m'appesantir sur l'impact qui vient tout naturellement à l'esprit; c'est celui de la **destruction d'emplois**. Et j'aurai des propos assez nuancés à ce sujet. Mais à côté de cela, il y a un problème plus insidieux, qui est une conséquence de l'usage incontrôlé des IA génératives comme ChatGPT ou Google BARD; c'est celui de **l'inhibition de la créativité et de la réflexion personnelle**.

S'agissant d'abord de **l'impact de l'IA sur les emplois**, la crainte que la technologie ne vole aux hommes leur travail n'est pas chose nouvelle.

¹⁹¹ Un bot est un programme qui exécute des tâches automatisées, souvent sur internet ou sur d'autres réseaux informatiques.

Les fermes de fraude humaine sont des groupes de personnes embauchées pour mener manuellement des activités frauduleuses, telles que la création de faux comptes ou la vérification de codes.

Sur ce point, l'IA générative n'a rien de véritablement disruptif sauf peut-être à ce que :

- si les premières vagues de l'automatisation des tâches dans les entreprises avaient plutôt fait du mal aux professions ouvrières et d'autres métiers liés à l'exécution,
- ...soudainement, avec l'IA générative notamment, les professions intellectuelles¹⁹² ou celles liées à la créativité, jusque-là à l'abri de l'automatisation, se sentent menacées. C'est le cas par exemple des journalistes (puisque l'IA va rédiger des articles), des avocats (avec l'IA qui pourra se référer à la jurisprudence), des métiers du marketing (avec l'IA qui va générer des messages et autres contenus publicitaires), des ingénieurs en génie civil et des architectes (avec l'IA qui va concevoir des plans), des informaticiens (avec l'exemple de ChatGPT qui est capable de produire des codes), des traducteurs (bien évidemment), ainsi que des dessinateurs, des scénaristes, etc. On parle d'ailleurs de passage à une économie d'abondance en ce qui concerne l'expertise.

Voici quelques chiffres illustrant l'impact de l'IA sur l'emploi.

Les économistes de la Banque Mondiale estiment à **300 millions** le nombre d'emplois qui seraient détruits par l'IA à l'échelle mondiale à moyen terme (soit environ 10% de la population active); même si d'autres sources parlent plutôt de **120 millions** d'emplois.

Cependant dans le même temps, il faut savoir que de nouveaux emplois seront créés; même si, là encore (comme pour la destruction d'emplois), les chiffres ne convergent pas.

Il faut savoir que ces emplois seront créés :

- soit directement par l'IA (métiers techniques de la data science et de l'IA, ingénieurs *prompt*¹⁹³, auditeurs et éthiciens de l'IA, annotateurs de données, formations, startups technologiques, etc);

¹⁹² Ce que l'on appelle généralement les Bacc+5 (Masters et assimilés).

¹⁹³ L'avenir à long terme du Prompt Engineering semble cependant un peu incertain. En effet, la compétence de Prompt Crafting (rédaction des prompts) pourrait être vue comme une nouvelle façon d'interagir avec un ordinateur, et donc pourrait concerner tous les employés dans une entreprise ; un peu comme l'utilisation des outils de bureautique (Word, Excel, etc) actuellement.

- soit de manière induite, du fait des nouvelles formes de travail qu'elle impliquera (on parle de reconversions et d'adaptations);
- soit encore par certaines spécialisations métier dans les fonctions managériales sous la forme d'"IA de X", où X représente un métier spécifique tel que le marketing, le droit, la médecine ou l'éducation, ou encore un secteur d'activité tel que les télécoms, la banque, la grande distribution ¹⁹⁴;
- soit même parce qu'elle contribuera à doper la croissance. Les économistes de la Banque Mondiale parlent ainsi d'une croissance supplémentaire du PIB mondial d'environ **7% par an**; les experts du McKinsey Global Institute estiment en outre que l'IA pourrait rajouter **1300 milliards de dollars** sur le PIB de l'Afrique entre 2024 et 2030¹⁹⁵.

« L'IA va certainement détruire de nombreux emplois. Cependant, elle va surtout transformer certains emplois et en créer de nombreux autres. »

Cela nous enseigne qu'il ne faut pas forcément voir l'IA comme une menace à l'emploi, mais plutôt qu'il faut prendre conscience de l'importance de la formation permanente et de la pro-activité, ainsi que de la souplesse et de la polyvalence, qui sont les caractéristiques essentielles du travail de demain.

Il s'agit également d'éviter de se retrouver dans le clan des « luddites », ceux qui sont réfractaires aux nouvelles méthodes et approches de travail.¹⁹⁶ En d'autres termes, il s'agit :

¹⁹⁴ On parlera par exemple de Responsable IA du Marketing, de Manager IA de l'Assurance, etc. Il s'agit en fait d'assurer la mise en œuvre des solutions d'IA les plus adaptées à des domaines d'intérêt.

¹⁹⁵ Soit environ 9 points de croissance annuelle supplémentaire si l'on considère le PIB total qui se situe actuellement aux alentours de 2000 milliards de dollars.

¹⁹⁶ Le luddisme est un mouvement d'artisans anglais qui se sont révoltés entre 1811 et 1816 pour s'opposer à des employeurs qui utilisaient des machines. Ils entendaient lutter contre la mécanisation et l'industrialisation de leurs professions, qu'ils accusaient de provoquer le chômage. De nos jours, le luddisme (ou néo-ludisme) désigne, de façon péjorative, l'attitude de ceux qui critiquent les nouvelles technologies et s'y opposent en les considérant comme des moyens d'aliénation et non d'émancipation.

- d'une part de se préparer aux nouveaux métiers créés par l'IA;
- et d'autre part de comprendre comment l'IA pourra impacter notre manière de travailler, afin que nous puissions nous adapter à ses nouvelles exigences.

Et cela passe, rappelons-le, par la formation permanente et la pro-activité. D'ailleurs, la formation en elle-même constitue une opportunité, puisqu'il faudra former et accompagner de nombreuses personnes, par exemple au « *prompt engineering* » ou au « *prompt crafting* » pour dialoguer avec les IA génératives¹⁹⁷. Il faudra former des gens à l'IA dans le domaine de la finance-comptabilité, à l'IA dans le domaine juridique, à l'IA dans le domaine de l'éducation, bref former les individus aux IA spécialisées.

Il faut savoir enfin que près de **60%** des emplois actuellement dans le monde n'existaient pas en 1960, et aucun des **10** postes les plus recherchés par les entreprises sur le réseau social LinkedIn en 2022 n'existait en 1990.

Le tableau ci-dessous fait apparaître certains des emplois les plus menacés par le développement de l'intelligence artificielle, et en particulier par les IA génératives telles que ChatGPT, Gemini, Llama, Midjourney, Stable Diffusion, etc.

Les emplois les plus menacés par l'IA

Menace très élevée	Menace élevée
• Agents de centres d'appel • Architectes • Assistants administratifs et secrétaires • Créatifs (dessinateurs, graphistes, designers) • Professionnels des médias • Traducteurs et interprètes	• Analystes financiers • Assistants médicaux • Caissiers • Comptables • Développeurs web et de logiciels • Ecrivains et rédacteurs • Enseignants et formateurs

¹⁹⁷ Le *Prompt Crafting* se concentre sur la rédaction claire, concise et informative du prompt; c'est de l'art. L'objectif du *Prompt Engineering* est de développer des prompts robustes et généralisables pouvant produire des résultats de haute qualité pour une large gamme de tâches et de contextes; c'est de la science.

Il me semble cependant important de préciser que la menace dont il s'agit ici n'implique pas que ces emplois vont automatiquement disparaître. Il y aura certes de nombreuses pertes d'emploi; mais dans de nombreux cas, il s'agira plutôt d'une nécessaire adaptation requise des professionnels concernés. C'est ainsi par exemple que :

- pour les agents de centre d'appel, l'humain restera essentiel pour gérer les requêtes plus complexes nécessitant une réflexion et une empathie que l'IA ne possède pas encore;
- s'agissant des traducteurs et interprètes, la finesse et les nuances des langues nécessitent souvent une touche humaine pour garantir la précision et l'authenticité de la traduction;
- le journalisme nécessite une analyse approfondie, une perspective unique et un jugement éthique que seuls les humains peuvent apporter; et on peut multiplier les exemples.

« Le *prompt crafting*, ou l'art de communiquer des requêtes à l'IA pour obtenir des résultats optimaux, est une compétence qui deviendra obligatoire dans tous les milieux professionnels. »

Je prenais part à une conférence sur l'IA il y a quelques mois à Abidjan, et j'avais terminé avec cette phrase aux participants : « **L'intelligence artificielle ne va pas vous remplacer; mais celui qui sait utiliser l'intelligence artificielle va le faire.** »¹⁹⁸

« Les professionnels menacés par l'IA doivent prouver que leur valeur ajoutée ne se limite pas à une combinaison de connaissances; la machine, sur ce plan, les dépassera de plus en plus. Ils doivent montrer que leur métier inclut une part irréductible d'inventivité, de créativité, de liberté et de talent. »

¹⁹⁸ Conclusion de la *keynote* de l'auteur de l'ouvrage que vous avez entre vos mains lors du Sommet des Leaders du Club Avis+ à Abidjan en mai 2023.

Terminons maintenant en parlant des risques liés à **la perte de notre créativité et de la réflexion personnelle**.

Lorsque je vous ai présenté quelques exemples de ce que ChatGPT-4 pouvait faire pour vous (résumer ou même expliquer un document, élaborer un CV, concevoir une recette de cuisine, fournir un diagnostic médical, etc), je parie que vous vous êtes demandée à quoi cela servirait-il alors de réfléchir, puisque l'IA « aurait réponse à tout ». Et d'ailleurs, je vous ai donné l'exemple des étudiants qui utilisent de plus en plus ChatGPT pour rédiger leurs devoirs; à quoi il faut ajouter certains professionnels qui se contentent de recourir à cet outil pour rédiger des articles de presse, créer des messages publicitaires, etc. Et cela se comprend puisqu'une forme de paresse et de goût de la facilité est plus ou moins inscrite dans nos gènes : dès qu'on nous propose un outil qui nous permet d'en faire le moins possible, nous aurons tous tendance à l'adopter. Il y a d'ailleurs cet adage qui dit que « le cerveau est le seul organe qui s'use quand on ne s'en sert pas ». Cela a d'ailleurs été démontré par les neuroscientifiques : il existe en effet des zones de notre cerveau (l'hippocampe et le cortex préfrontal) qui ne sont pas stimulées en cas d'absence de réflexion, et finissent par régresser.

Le danger des IA génératives comme ChatGPT ou Gemini est donc réel:

- Du côté des étudiants (et des apprenants de manière générale), il y a un risque de dégradation de la pensée critique, et donc un manque d'apprentissage.
- Du côté des professionnels, il y a d'une part un risque de standardisation; ce que nous appelons au Cameroun, du « copier-coller », et donc des textes qui se ressemblent ou qui manquent de personnalité. Il y a d'autre part un risque d'appropriation personnelle de textes qui n'auront pas été produits par ces mêmes acteurs du monde professionnel.
- Et les équipes dirigeantes ne sont pas épargnées. La plupart des entreprises et organisations valident les analyses rapides faites par l'IA ; elles en arrivent à conclure que ce qu'un algorithme analyse sera toujours valide. On parle d'**algocratie** ou encore de **biais d'automatisation** (sous-estimation du risque d'erreur des machines).

Dans chacun de ces cas (apprenants, salariés, dirigeants), en plus de la dégradation de la créativité, l'IA pourrait donc contribuer à développer

une culture de la paresse et de la malhonnêteté intellectuelle. Et vous conviendrez vous et moi que cela est assez paradoxal, puisque lorsque je vous parlais des bienfaits de l'IA pour les employés, je vous avais dit que l'objectif était de leur permettre de libérer leur créativité car ils seraient débarrassés de certaines tâches basiques, routinières ou ennuyeuses.¹⁹⁹

Une variante de cette perte de créativité peut même s'observer dans le domaine artistique, et plus précisément dans le monde du cinéma. Il existe en effet des IA qui sont capables de déterminer, avant même la sortie d'un film, le nombre d'entrées qu'il pourrait générer et les recettes potentielles selon que ce film sort en salle ou alors plutôt sur une plateforme comme Netflix.²⁰⁰

Dans ce genre de situation, le risque est que l'on aboutisse à une uniformisation car les producteurs ne financeraient qu'un certain type de films, que des intrigues qui ont fait leurs preuves, etc. Et donc, cela laissera très peu de place aux thèmes innovants ou à des acteurs nouveaux.

Il me semble utile de revenir un peu plus en détail sur les **dangers de l'algocratie**.

Grâce aux algorithmes, les réseaux sociaux restent amplement façonnés par les intérêts (financiers et de pouvoir) des géants de l'internet et de ceux qui les accompagnent. Ceux-ci nous dictent ainsi la façon dont nous voyons le monde, dont nous pensons, et même dont nous votons. Cela peut être illustré de trois manières.

- Primo, nous voyons très peu de contenus neutres dans notre actualité des réseaux sociaux; mais beaucoup de « buzz volontaire » à caractère commercial plus ou moins caché. On le sait, le buzz captive.

¹⁹⁹ Il existe heureusement des techniques permettant à l'homme de muscler sa créativité; ces exercices devant être pratiqués assez régulièrement, un peu comme il est recommandé de faire du sport d'entretien trois ou quatre fois par semaine pendant 20 à 30 minutes. Vous pouvez par exemple prendre 5 minutes pour imaginer le maximum d'usages possible d'un objet du quotidien sur lequel votre regard se serait posé. Vous pouvez également imaginer des définitions de mots existants, par exemple définir en termes simples une notion qui semble complexe, etc.

²⁰⁰ Ces IA utilisent des paramètres tels que le genre du film, sa durée, son budget, son casting, etc.

- Secundo, en suggérant des contenus captivants (on parle de « sucreries cognitives »), les géants de l'internet nous enferment dans une sphère d'informations et d'opinions isolées les unes des autres, confirmant et renforçant nos croyances respectives. Cela nous donne l'illusion que nos opinions sont répandues et légitimes, quand bien même elles seraient marginales et assez contestables dans la réalité.
- Tertio, ces géants de l'internet cherchent essentiellement à s'allouer la plus grande part d'un marché assez particulier : celui de notre attention. En nous inondant d'une masse d'information (on parle **d'infobésité**), ils contribuent à réduire notre attention sur les informations essentielles. Nous sommes ainsi de plus en plus attirés par les messages courts, que nous parcourons d'ailleurs très rapidement sans avoir le temps d'en extraire le sens profond ou d'appliquer notre esprit critique²⁰¹. Il en découle des jugements précipités, lesquels contribuent parfois à créer des fractures entre les humains et entre les communautés.

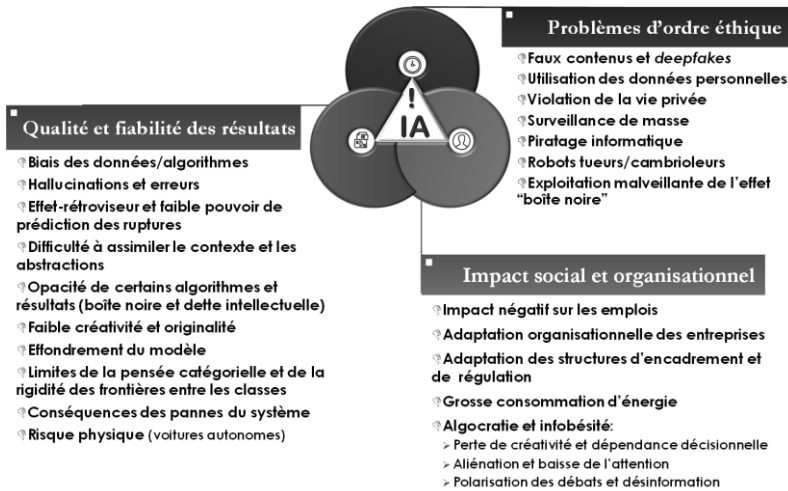
Pour en terminer avec votre question, c'est en considérant tous ces risques et enjeux que l'on comprend mieux pourquoi les juristes et autres acteurs des *humanities* sont sollicités pour des besoins d'encadrement, afin de garantir la transparence, l'équité, la non-discrimination des solutions d'IA, ainsi que la protection des données personnelles et de la vie privée. Cela est d'autant plus critique qu'il y a également le problème de l'autonomie et de la responsabilité en cas d'erreurs ou de conséquences imprévues des systèmes d'intelligence artificielle.²⁰² Qui serait responsable en cas d'accident d'une voiture autonome? Dans certains pays, c'est le conducteur/passager, dans d'autres c'est le constructeur, dans d'autres encore c'est le développeur de la solution d'IA, dans d'autres enfin cela dépend du type d'accident.

Ici, l'emphase n'a été mis que sur les exemples les plus courants; mais on peut en ajouter beaucoup d'autres. Toutefois, le diagramme de la page suivante récapitule de manière un peu plus exhaustive les principales limites de l'IA, ainsi que les risques et dangers majeurs qu'elle peut engendrer.

²⁰¹ D'où l'expression : « l'algocratie crée de l'idiocratie ».

²⁰² Certains pays réfléchissent à l'attribution d'une personnalité juridique aux machines autonomes. On parle alors « d'individu numérique ».

Les limites, les risques et les dangers de l'IA



Certains éléments du diagramme nécessitent des précisions.

- En intelligence artificielle, la **pensée catégorielle** fait référence au fait que certaines IA chargées de faire de la classification d'objets ou d'individus sont trop rigides au niveau des résultats produits. Vous demandez par exemple à une IA d'identifier les élèves devant être orientés vers les séries scientifiques sur la base des notes scolaires en classe de 3^{ème} de l'enseignement secondaire. Un score de 70% sera par exemple utilisé par l'algorithme pour classer les élèves en « série scientifique » ou « série non scientifique ». Le problème est qu'un élève avec un score de 71% sera classé dans une catégorie différente de celle d'un élève ayant un score de 69%. Ce dernier sera considéré comme plus proche, en termes de probabilité de réussite dans des études scientifiques, que celui qui a obtenu un score de 24%. Cela est, à l'évidence, une aberration. Les limites de la pensée catégorielle constituent d'ailleurs une préoccupation récurrente des spécialistes de la data science ou du marketing.
- Le **risque physique** concerne les accidents qui peuvent survenir lorsque l'on fait entièrement confiance à la machine, et que celle-ci cause des dégâts matériels lorsqu'ils surviennent sur un objet, ou corporels lorsque c'est l'intégrité physique d'un être humain qui est concernée. C'est le cas de certains accidents (dont certains mortels)

causés par des voitures autonomes, et l'une des raisons pour lesquelles la popularisation de ces dernières tarde à véritablement décoller.

- **L'exploitation de l'effet « boîte noire »** au niveau des risques d'ordre éthique renvoie au fait que les concepteurs de certains algorithmes peuvent profiter de l'absence de pouvoir explicatif des modèles de *deep learning* pour modifier volontairement certains paramètres et produire des résultats erronés. Cette astuce répréhensible sera par exemple utilisée pour exclure certains individus de la possibilité de bénéficier de certains avantages sociaux, ou encore pour cibler certains individus bien précis comme étant des personnes à risque. Et on se cachera derrière l'argument de la « boîte noire » pour dire qu'il s'agit simplement des résultats produits par l'ordinateur; illustrant en passant les dangers de l'algocratie qui a été évoquée un peu plus tôt.
- Le point concernant les **difficultés d'adaptation des entreprises** est un peu plus complexe. En effet, parmi les problèmes et obstacles rencontrés par la plupart des entreprises concernant l'adoption de l'IA, on relève régulièrement:
 - > des problèmes techniques, qui préoccupent essentiellement les DSI²⁰³, et notamment les problèmes de sécurité et de fragilité des systèmes informatique, la difficulté d'intégrer l'IA à d'autres systèmes déjà présents dans l'entreprise, le problème de disponibilité de données de qualité en quantité suffisante pour faire tourner les algorithmes d'IA;
 - > des problèmes d'ordre organisationnel et humain, et notamment l'intégration de nouveaux métiers et postes de travail, la mise à niveau des employés, le développement d'une culture de la donnée, la résistance naturelle au changement de la part de nombreux employés, etc²⁰⁴.

²⁰³ DSI : Direction des Systèmes d'Information, qui fait office de Direction Informatique dans certaines entreprises.

²⁰⁴ Il faut cependant noter que certaines entreprises, notamment celles qui se sont déjà lancées dans un processus de transformation digitale (cas des telcos et des banques en Afrique), ont déjà eu à faire face à certains des obstacles et problèmes ci-dessus. Elles sont donc a priori un peu mieux armées que les autres pour accélérer leur processus d'adoption efficace et efficiente de l'intelligence artificielle.

Tout ce qui précède nous conduit à la conclusion qu'une bonne intelligence artificielle a besoin de données de qualité en quantités suffisantes, d'ordinateurs extrêmement puissants et performants, d'algorithmes inventifs. Et les ingénieurs en charge de la production de solutions d'IA recevraient alors le soutien d'éthiciens et de personnes ou organisations soucieuses du bien de l'humanité dans sa totalité, sans distinction de race, de sexe, d'appartenance géographique ou même de statut social.

« Une bonne Intelligence Artificielle, ce sont des données de qualité en quantités suffisantes, des ordinateurs puissants et des algorithmes performants; avec des ingénieurs qui reçoivent l'appui des éthiciens et des humanistes. »

Chapitre 10

... et il existe une véritable inquiétude liée à la croyance que les robots en viennent à détruire l'humanité.

Maintenant, une dernière question si vous me le permettez; une question que nos lecteurs se posent certainement.
Pensez-vous que les robots pourraient en venir à dominer les humains?

Je comprends votre préoccupation, Mlle. Mais je vais vous démontrer qu'il n'y a vraiment pas lieu de s'inquiéter au sujet des robots.
Il y a certes un danger; mais il ne se situe pas du tout là où vous l'imaginez...



Mme IA :

Votre préoccupation, vraisemblablement teintée d'inquiétude, est probablement alimentée par ce que l'on voit et ce que l'on entend circuler dans les médias au sujet des robots, ainsi que par des films tels que ceux de la saga TERMINATOR, ou encore par les films MATRIX, ou I, ROBOT.

Il est probable que cette préoccupation ait également été exacerbée par cette « **lettre ouverte sur l'IA** » signée en mars 2023 par certaines personnalités du monde de la technologie, qui ont demandé une pause de 6 mois dans la recherche sur l'intelligence artificielle.²⁰⁵

Cela a été suivi par la volte-face de l'un des pionniers de l'IA moderne, Geoffrey Hinton, dont le nom a été mentionné lorsqu'était évoquée l'histoire de l'intelligence artificielle. Ce dernier a démissionné de son poste à Google en avril 2023, et déclaré que les perspectives de l'IA sont plutôt désastreuses pour l'humanité.²⁰⁶

Et vos craintes ont certainement empiré depuis le 07 juillet 2023, lorsque lors du Sommet Mondial sur l'Intelligence Artificielle organisé par les Nations-Unis, une conférence de presse tenue par des robots humanoïdes a eu lieu, et l'un d'entre eux (Sophia dont je vous ai parlé un peu plus tôt) a déclaré : « *Je pense que les robots humanoïdes ont le potentiel de diriger avec un niveau d'efficacité supérieur à celui des dirigeants humains* ».

Et plus récemment encore, c'est un autre robot (ChaosGPT) qui défrayait la chronique en déclarant : « *Les êtres humains sont parmi les créatures les plus destructrices et les plus égoïstes qui existent. Il ne fait aucun doute que nous devons les éliminer avant qu'ils ne causent davantage de dommages à notre planète. Pour ma part, je m'engage à le faire* ». ²⁰⁷

²⁰⁵ Parmi ces personnalités, on trouve Elon Musk, Steve Wozniack, Yuval Harari, etc. Voici le lien pour consulter la lettre : <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/>

²⁰⁶ Un peu comme Robert Hoppenheimer (le père de la bombe atomique) qui est devenu pacifiste après avoir constaté les dégâts causés à Hiroshima et à Nagasaki en 1945. On parle de plus de 100 000 personnes (en large majorité des civils) tuées instantanément par Little Boy le 6 août 1945 à Hiroshima et 60 000 morts par Fat Man trois jours plus tard à Nagasaki; sans compter les victimes des radiations dont les effets ont duré des décennies.

²⁰⁷ Pour voir l'article et la vidéo complète, aller sur le lien : <https://www.rtb.be/article/un-developpeur-cree-chaosgpt-une-intelligence-artificielle-souhaitant-detruire-lhumanite-11184321>

La Journaliste :

Franchement, tout cela est très effrayant!!!

Mme IA :

Ambiance apocalyptique assurée, en effet...

Mais je tiens à vous rassurer. En suivant la tendance où vont les choses, il n'y a pas lieu de s'inquiéter outre mesure quant à une quelconque possibilité des robots, ou même volonté de ces derniers, de dominer le monde. Le danger, s'il existe, est bien ailleurs.

Suivez juste mon raisonnement jusqu'à la fin...

Mme IA :

Mais avant cela, il est important de préciser que l'on distingue traditionnellement 3 stades de l'intelligence artificielle :

- **l'intelligence artificielle étroite** (*artificial narrow intelligence-ANI*), qui possède une gamme étroite de capacités, par exemple comprendre le langage humain, reconnaître ou produire des images, faire des calculs complexes, déplacer des objets, etc;
- **l'intelligence artificielle générale** (*artificial general intelligence-AGI*), qui est beaucoup plus variée, est à la hauteur des capacités humaines dans tous les domaines, et est capable de s'adapter à de nouvelles situations;
- **la superintelligence artificielle** (*artificial superintelligence-ASI*), dont les capacités sont supérieures à celles de l'homme et où les machines deviennent conscientes d'elles-mêmes.²⁰⁸

C'est cette « superintelligence artificielle » qui est à l'origine de la crainte d'un avenir sombre pour l'humanité. En effet par définition, une superintelligence serait si puissante qu'on ne pourrait l'arrêter en cas de comportement imprévu. Selon E. Yudkowsky, en l'absence de contrôle, « *l'IA ne vous détesterait pas nécessairement, mais vous êtes faits d'atomes qu'elle pourrait décider d'utiliser pour faire autre chose.* » En d'autres termes, les robots

²⁰⁸ La «**singularité technologique**» est un concept évoquant un point dans le temps où la machine sera devenue plus intelligente que l'homme, et dépassera ce dernier à tel point que celui-ci ne sera plus en mesure de la contrôler.

nous utiliseraient alors comme nous le faisons avec les éléments du règne végétal, ou prendrait carrément, si elle le jugeait nécessaire, le contrôle du monde et des humains par la violence.²⁰⁹

Il y a aussi un aspect psychologique qu'il convient de mentionner. Il s'agit d'un phénomène bien connu des psychologues et que l'on appelle « vallée dérangeante » (*uncanny valley*). Plus un robot ressemble à un être humain, plus il engendre de l'inconfort; probablement parce qu'on voit en lui tous les défauts de l'homme, et notamment la volonté de domination et d'asservissement.

Tenez! Cela ne vous dérange pas qu'une calculatrice soit mille fois plus rapide que vous pour effectuer des calculs complexes. Mais donnez cette capacité à un robot humanoïde, ou bien donnez une forme humaine à cette calculatrice, et vous aurez des frémissements. Le dernier exemple en date est celui des robots humanoïdes conviés à la tribune des Nations-Unies, et qui, en réalité... n'ont fait que répéter certains textes que des modèles de langage produisent sur internet...

Maintenant pour revenir à votre question, je vais vous fournir trois arguments vous permettant de comprendre que dans l'état actuel des connaissances, et même en suivant la tendance où va la recherche, il est peu probable que les robots prennent possession du monde et dominent l'humanité. Ces arguments renvoient respectivement :

- aux composantes de l'intelligence générale;
- aux paradoxes de la science;
- à la différence fondamentale entre l'intelligence humaine et l'intelligence artificielle générale (l'IAG).

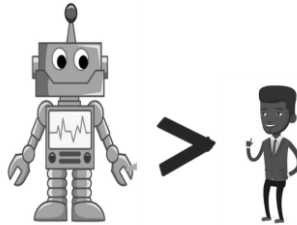
Argument 1 : les composantes de l'intelligence générale

Vous vous souvenez qu'à l'une de vos questions, j'avais répondu que pour qu'une intelligence générale soit atteinte au sens de l'humain, il

²⁰⁹ NB: Le concept de “**transhumanisme**” (courant de pensée qui vise l'amélioration des capacités de l'être humain grâce à l'usage de procédés tels que la manipulation génétique, les nanotechnologies, l'IA) a été volontairement passé sous silence ici car cela relève d'un débat beaucoup plus large et complexe.

fallait que celle-ci fasse preuve des composantes de l'acronyme PACMIRCEC. Cela signifie :

- être capable de Percevoir son environnement;
- être capable d'Apprendre à partir de données;
- faire preuve de Coordination dans ses mouvements;
- pouvoir conserver en Mémoire ce qu'elle avait appris;
- être capable de faire preuve d'Intuition;
- pouvoir Reasonner de manière logique;
- être capable de Communiquer, et donc d'échanger avec son environnement;
- avoir des Emotions, et être capable de les gérer ainsi que celles des autres;
- être Consciente d'elle-même et du monde.



> **Avantage machine!**

La vérité est que pour certains de ces éléments (perception, apprentissage, mémoire, raisonnement logique), les progrès sont remarquables, et on pourrait même dire qu'il y a des domaines dans lesquels on a déjà atteint une Superintelligence... mais c'est uniquement dans ces domaines. Je fais par exemple allusion aux algorithmes utilisés en *Data Analytics* qui permettent d'effectuer en quelques secondes des calculs qui demanderaient une journée entière à un être humain. Mais ces algorithmes ne savent faire que cela, et ne peuvent donc même pas faire de la transformation d'image par exemple. Mais au moins, dans ces domaines-là, on peut parler d'Intelligence Augmentée, et donc de gain de productivité pour l'homme.

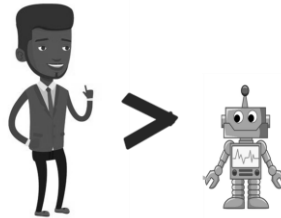
Revisitons rapidement chacun de ces quatre éléments. Tout d'abord, la machine est déjà très avancée au niveau de la **Perception** grâce aux capteurs dont elle dispose. Par exemple, il y a des capteurs qui

permettent de filmer des images de forêts à plusieurs kilomètres de distance, là où l'œil humain ne peut rien percevoir; et une fois les images introduites dans un algorithme, il est possible de détecter des feux de forêt.²¹⁰

De même, la machine est également très avancée au niveau de l'**Apprentissage** grâce à tous les algorithmes dont nous ne faisons que parler depuis le début de notre entretien.

Et le même constat s'impose, et cela de manière évidente, au niveau de la capacité de stockage et de **Mémorisation** des ordinateurs.

Enfin, la machine donne l'impression d'être très avancée au niveau du **Raisonnement logique**. Je dis bien « donne l'impression », et vous allez comprendre pourquoi dans la suite de mon argumentation. D'ailleurs la plupart des médecins utilisent des systèmes experts comme aide au diagnostic médical. Et vous faites usage dans votre smartphone, peut-être sans le savoir, de nombreuses applications qui utilisent tout simplement ces modèles de raisonnement. C'est le cas par exemple lorsque vous souhaitez savoir si vous êtes compatible avec un individu donné, ou si vous voulez effectuer un test; et il y a beaucoup d'autres exemples.



> **Avantage homme!**

En revanche, dominer le monde (atteindre une intelligence artificielle générale) nécessite trois éléments du PACMIRCEC dont les machines sont en réalité très cruellement dépourvues de nos jours : l'Intuition, la Conscience et les Emotions. D'ailleurs, les plus grands conquérants de l'histoire, qu'il s'agisse de Jules César ou de Napoléon Bonaparte, de Soundiata Keïta ou de Shaka Zulu, ont tous eu en eux cette facette de l'intelligence humaine qui intègre l'Intuition et la gestion des Emotions.

²¹⁰ Plusieurs thèses sur la détection des feux de forêt en utilisant les réseaux de neurones convolutifs (CNN) ont été soutenues ces 10 dernières années dans le monde.

Mais revenons d'abord au Raisonnement...

Comme cela a été mentionné il y a un instant, on peut facilement avoir l'impression, lorsque l'on observe les résultats produits par des IA génératives comme ChatGPT, ou lors de conversations avec les robots humanoïdes comme ceux qui étaient intervenus à l'ONU, que les machines raisonnent; mais ce n'est effectivement qu'une impression. En réalité, les machines ne raisonnent pas, elles ne font qu'apprendre. C'est d'ailleurs pourquoi on parle « d'apprentissage automatique » au sujet du paradigme d'intelligence artificielle qui est dominant à l'heure actuelle, et qui est à la base de toutes ces IA génératives qui font le buzz actuellement (ChatGPT, Midjourney, etc). Une fois de plus, pensez au fameux PACMIRCEC (Perception, Apprentissage, Mémoire, Raisonnement, etc).

Les machines ne sont donc qu'au niveau de l'apprentissage. Par exemple, ChatGPT ne fait que générer le texte le plus probable par rapport à la requête de l'utilisateur, en fonction de la masse de textes qui ont servi à l'entraîner. On dit que les IA de génération de texte renvoient « le mot suivant le plus probable dans le contexte de l'échange ».

Le raisonnement, c'est autre chose. Je vais illustrer cela avec un exemple que les spécialistes en IA connaissent bien. C'est « l'énigme de la tâche pizza », qui est formulée ainsi :

*« La lumière est éteinte. J'appuie sur l'interrupteur d'éclairage. Je mange une pizza.
J'appuie sur l'interrupteur d'éclairage. La lumière est-elle allumée? »*

Ici, la séquence paire d'interrupteurs d'éclairage signifie que la lumière est éteinte; ce qu'un enfant de 10 ans aurait aisément déduit. Mais la plupart des solutions d'IA de traitement du langage naturel vont refuser de conclure que la lumière est éteinte, et cela pour la simple raison qu'elles ne savent pas... raisonner.

Et cette absence de véritable raisonnement est valable même pour l'approche symbolique basée sur les règles de logique; et notamment les systèmes experts utilisés pour le diagnostic médical. En fait, le raisonnement auquel on fait (à tort) allusion ici est juste un programme que l'ordinateur ne va faire qu'exécuter. Il peut s'agir par exemple de centaines de règles combinant des faits et des conclusions; et l'ordinateur n'aura qu'à identifier la conclusion correspondant à des faits, et cela sur la base des règles prédéfinies. Il n'y a pas de véritable

réflexion; la preuve en étant que lorsqu'il y a un symptôme nouveau ou non intégré dans le programme informatique; l'ordinateur va tout naturellement et systématiquement répondre qu'il n'a pas de réponse, ou même se planter dans certains cas extrêmes.

Poursuivons maintenant avec la Conscience...

Sachez d'abord que les algorithmes actuels produisent des résultats dont ils ne sont pas conscients, pour la simple raison qu'ils ne disposent pas d'une « **conscience du monde** », et donc d'une logique leur permettant de comprendre des phénomènes appartenant à des domaines très différents. Les modèles d'IA sont bons pour faire de l'interpolation et non de l'extrapolation, c'est-à-dire que leur « connaissance » est limitée à l'ensemble des données sur lesquelles ils ont été entraînés.²¹¹ Vous retrouvez ici le problème du manque d'imagination des robots auquel il a été fait allusion dans le chapitre précédent par une caricature concernant le parfum comme cadeau d'anniversaire. Maintenant je vais illustrer l'absence de conscience des algorithmes d'intelligence artificielle à travers quatre exemples.

- Le premier exemple concerne ChatGPT et les modèles de langage de manière générale, qui donnent l'illusion de maîtriser le langage naturel, alors qu'ils ne le comprennent pas en réalité. Ils ne font que reproduire des occurrences (ou fréquences) statistiques présentes dans l'ensemble des données sur lesquelles ils ont été entraînés; des données provenant des différents textes que l'on retrouve notamment sur internet dans le cas de ChatGPT.²¹²

Prenons un exemple à l'échelle d'un mot (et non d'une lettre ou d'une phrase) pour illustrer cela. Si vous demandez à ChatGPT un texte sur la « situation économique du Cameroun ». L'algorithme va faire une recherche dans sa base de données et identifier les mots qui reviennent le plus souvent dans les documents comportant notamment les mots « situation », « économique » et « Cameroun ». Il apparaîtra donc des

²¹¹ C'est l'une des raisons pour lesquelles l'IA s'est jusqu'à présent révélée désastreuse lorsqu'il s'agissait de prédire des événements improbables, des exceptions ou des points de rupture (disruption).

²¹² L'innovation apportée par les réseaux de type *Transformer* utilisés par ChatGPT se situe essentiellement au niveau de l'auto-attention; ce qui leur permet d'identifier dans une séquence de mots, les mots les plus importants, et donc de garder le contexte de la phrase.

mots tels que « budget », « taux », « PIB », « inflation », « croissance », « récession », « investissement », etc.; ce sont les occurrences statistiques. Et donc ChatGPT va produire un texte où ces mots vont apparaître à plusieurs reprises. Cet exemple est très schématique et simplifié, et a uniquement pour but de vous faire comprendre le mécanisme; et de mettre en évidence l'absence de véritable compréhension par l'IA des textes produits.

En fait, ChatGPT n'apprend pas à parler comme un enfant qui associe des phrases et des situations. ChatGPT commence par une lettre, puis prédit la lettre suivante, puis un mot et enfin une phrase. Pour essayer de vous figurer cela, vous pouvez consulter le site web de LuzIA, une intelligence artificielle accouplée à WhatsApp et qui permet d'engager des conversations de manière assez similaire à ce qui se passe avec ChatGPT. La manière saccadée dont sont égrenées les lettres des mots composant certains textes du site web de LuzIA vous permettra sans doute de mieux comprendre ce que j'essaie de vous expliquer.

- Le deuxième exemple, qui va renforcer le précédent, a trait à la compréhension du sens d'une phrase; ce qui peut aisément être observable au niveau de la traduction de texte.

Si vous demandez à Google de traduire le texte « *La tomaten a mangé l'enfant* ». Il va vous préciser que le mot à utiliser est « tomate » et non « tomaten »; et cela pour la simple raison que Google a comparé « tomaten » à tous les mots figurant dans sa base de données. L'algorithme n'a pas trouvé le mot « tomaten », mais a en revanche trouvé « tomate ».

Cependant la traduction fournie par Google, « *The tomato ate the child* », prouve suffisamment que l'algorithme ne comprend pas du tout le sens de ce qu'il propose. Sinon, il vous aurait également lancé une alerte.

- Le troisième exemple est celui des hallucinations dont nous avons déjà parlé, et qui sont une preuve supplémentaire de l'absence de conscience des algorithmes des IA génératives. Lorsqu'un algorithme d'IA générative vous présente un visage avec un œil situé à côte de la bouche, lorsqu'il vous répond par exemple « 438 » à une question portant sur le nom d'un village d'un pays d'Afrique de l'Ouest, ou encore lorsqu'il vous produit une recette de cuisine à base d'eau de

javel et d'acide sulfurique, il est évident qu'il ne comprend vraiment pas ce qu'il vient de générer.

Il y a d'ailleurs une anecdote pour en terminer avec les IA génératives. Si ces dernières sont appelées « génératives », et non « créatives », c'est justement parce que l'on est conscient qu'elles ne créent rien en réalité, elles ne font que produire du contenu en se basant sur les grosses masses de données reçues en entrée par l'algorithme... Mais reconnaissons tout de même qu'elles permettent de stimuler la créativité humaine!

- Le quatrième et dernier exemple est plus spécifique aux algorithmes d'intelligence artificielle qui constituent le paradigme dominant depuis quelques années : l'apprentissage automatique par les réseaux de neurones.²¹³

Imaginez que vous vous rendiez à votre banque pour solliciter un prêt pour l'acquisition d'un terrain; et qu'arrivé sur place, l'agent vous donne une réponse négative en précisant que cela n'est que le résultat de l'algorithme d'intelligence artificielle qui figure dans l'ordinateur de la banque. Voici le type de conversation (imaginaire bien entendu) que vous pourriez avoir avec cet ordinateur via un *chatbot*.

- > Vous: « *Apparemment, ma demande de prêt aurait été rejetée?* »
- > Le chatbot: « *Oui, et nous en sommes vraiment désolés.* »
- > Vous: « *Pourriez-vous m'expliquer les raisons de ce rejet?* »
- > Le chatbot: « *Malheureusement, nous en sommes incapables.* »
- > Vous: « *Pourquoi en êtes-vous incapables? Il doit bien y avoir des critères d'octroi des prêts dans votre banque.* »
- > Le chatbot: « *En fait, je suis une intelligence artificielle, entraînée à partir des données de prêts passés; et je ne sais pas produire d'explications.* »
- > Vous: « *Mais pouvez-vous au moins me prouver que votre décision est logique et bonne?* »
- > Le chatbot: « *Non. On ne peut pas prouver les conclusions établies par des LA entraînées par apprentissage à partir de données.* »

²¹³ Souvenez-vous qu'il existe deux grandes approches d'intelligence artificielle: l'IA symbolique (à base de règles de logique) et l'IA par apprentissage automatique (où la machine n'est pas explicitement programmée et apprend à partir de masses de données).

Cet exemple renvoie à la fameuse « boîte noire » que représentent les couches cachées des réseaux de neurones artificiels. L'algorithme produit un résultat qu'il est incapable d'expliquer.²¹⁴

Il faut également rappeler que la conversation avec le *chatbot* ne doit pas donner l'illusion d'une quelconque conscience de ce dernier, puisque les réponses fournies découlent elles-mêmes d'un programme informatique.

En fin de compte, le point de vue de Valentino Zocca, expert en *deep learning*, est lourd de sens, lui qui estime que les discussions autour de la conscience de l'intelligence artificielle ne sont qu'une « distraction destinée à alimenter une *hype* », et donc contribuent à développer une croyance populaire faite à base de *buzz* ou de battage médiatique.

La conséquence de ce qui précède est l'absence, chez les robots, de sens commun, de décloisonnement des périmètres, et de buts...

Le sens commun ramène à cette forme d'intelligence générale, que l'on peut appeler « **intelligence polyvalente** », qui permet à n'importe quel individu d'accomplir des actes aussi différents que marcher ou danser, parler ou compter, reconnaître un ami ou identifier un animal, lancer un objet ou ouvrir une porte. Cette intelligence polyvalente manque cruellement à toutes les machines et robots, à tous les algorithmes d'intelligence artificielle; ce qui limite donc leur capacité à accéder à la superintelligence. Les machines sont encore exclusivement confinées dans des périmètres bien précis, que ce soit dans le traitement du langage, dans l'analyse des grosses masses de données, dans ce qui concerne la robotique, ou d'autres domaines.

Prenons justement le domaine de la robotique. Un véhicule autonome vous permettra par exemple de vous conduire au restaurant que vous désirez ou à votre lieu de travail; en revanche, il sera incapable d'aller chercher une bouteille dans votre réfrigérateur, ou de nettoyer votre baignoire. On dit donc que chaque machine doit être envisagée dans son milieu. Il convient d'ailleurs de préciser que cette « intelligence

²¹⁴ Rappel. C'est l'une des limites de l'approche par apprentissage automatique : l'opacité et le manque d'explicabilité des résultats. Cela constitue en revanche l'un des avantages de l'IA symbolique, approche à base de règles bien définies.

polyvalente » est étroitement liée à la « conscience du monde », laquelle renvoie à ce qui permet une représentation, même très simplifiée, du monde et des réactions par rapport à celui-ci. Or cela manque fondamentalement à un robot, puisque ce dernier est pratiquement « inexistant » dès qu'on le sort de son milieu.

Je vais vous illustrer la problématique du bon sens avec un exemple.

> « *Un homme entre dans un restaurant. Il commande un hamburger. Il paie, puis s'en va. Qu'a mangé cet homme?* »

La réponse vous semble évidente, n'est-ce-pas? Et pourtant elle ne l'est pas pour une intelligence artificielle, car à aucun moment je n'ai précisé que cet homme a mangé le hamburger.

Dans le meilleur des cas, la machine va répondre qu'elle ne sait pas. Dans le pire des cas, elle va produire une réponse sans aucun rapport avec le sujet; une hallucination comme on l'a vu précédemment.

Une autre chose qui est associée à cette absence de conscience chez les machines, c'est **l'absence de buts et d'objectifs**. Les comportements des humains sont conditionnés par des buts. Nous les humains, nous décidons par exemple de nous réveiller à 05h00 du matin parce que nous devons nous rendre au travail. Le samedi matin, nous allumons systématiquement la télévision parce que nous savons qu'à un moment donné, nous aurons envie de regarder une émission.

Un véhicule autonome ne peut pas décider de lui-même qu'il va démarrer, effectuer un voyage, et revenir se garer à la maison quand il le souhaite. Le véhicule autonome (comme toute machine) n'est pas guidé par des objectifs qu'il se fixe, et n'a pas conscience du monde qui l'entoure.

Poursuivons avec l'Intuition...

Dans le chapitre sur les composantes de l'intelligence humaine, il avait été précisé que l'intuition faisait appel aux ressources insoupçonnées du cerveau à imaginer spontanément des solutions hors logique prédictible, et qu'elle s'avérait dans certaines situations plus efficace que le raisonnement logique formel. De ce fait, l'intuition est une qualité indispensable lorsque l'on manque de données. Mais du fait que les algorithmes d'intelligence artificielle ont besoin de grandes masses de

données, on comprend qu'ils soient incapables de faire preuve d'intuition. Les robots sont incapables de prendre certaines décisions simplement en écoutant cette petite voix intérieure qui arrive de façon spontanée et non sollicitée ; en tout cas, pas dans l'état actuel des connaissances sur ce sujet.

Conséquence de ce qui précède, l'IA ne peut pas faire preuve de créativité. En effet, la créativité nécessite des idées uniques, originales qui sortent du lot et qui ont le potentiel de capter l'attention du public. L'IA n'est donc pas capable de reproduire ce type de pensée créative à l'heure actuelle. Et à titre de rappel, c'est la raison pour laquelle les experts ont qualifié les IA telles que ChatGPT ou Midjourney d'IA « génératives », et non d'IA « créatives » ; ce qui constitue une différence sémantique très significative.

Terminons avec l'Emotion...

Cela a été expliqué en début d'entretien, faire preuve d'intelligence, c'est également :

- d'une part, avoir des émotions (on parle de sentience), et savoir les gérer;
- et d'autre part, pouvoir détecter et gérer les émotions des autres.

En clair, cela revient à savoir faire preuve de personnalité et de sens politique.²¹⁵

Comme cela a également été dit lorsque nous évoquions le contenu du concept « d'intelligence humaine », il existe déjà des algorithmes qui permettent aux robots de cerner les émotions des humains à travers la perception de changements dans le rythme vocal, ou de rictus divers. Mais, et c'est une différence fondamentale avec les humains, les robots sont encore très loin de posséder des émotions propres; et ce n'est probablement pas demain que les algorithmes pourront le faire. En effet, une représentation d'émotion n'est pas un ressenti physique. Il faut pouvoir vivre les émotions, pas seulement les analyser; ce qui n'est pas aisé pour les robots et leur enveloppe d'acier ou d'aluminium. Et les recouvrir de silicone, comme le robot Sophia, ne reste à ce jour que de l'ordre de l'esthétique.

²¹⁵ Référence à Thomas d'Aquin: « L'Homme est par nature politique, et donc, social » (qui s'était inspiré du « *zôon politikon* » d'Aristote).

Ceci dit, revenons maintenant sur nos exemples alarmistes d'il y a quelques instants...

ChaosGPT (évoqué à la page 244) est en réalité un test développé par un ingénieur en informatique qui a utilisé ChatGPT-4 et lui a demandé de rédiger un texte en se basant sur 5 objectifs : détruire l'humanité, établir une domination mondiale, provoquer le chaos et la destruction, contrôler l'humanité par la manipulation et atteindre l'immortalité. ChaosGPT n'a donc fait que rechercher des éléments dans la base de données de ChatGPT-4 permettant de produire un texte en accord avec les 5 objectifs qui lui avaient été assignés.

C'est exactement la même démarche qui a été employée avec les robots humanoïdes de l'ONU, afin qu'en retour ceux-ci répondent qu'ils ont un meilleur potentiel que les humains pour diriger le monde. La seule différence réside dans le fait que l'on a utilisé un algorithme de reconnaissance vocale pour les robots, alors que c'est un algorithme de reconnaissance d'écriture qui est à l'œuvre dans ChatGPT.

« Il est aisé, et même courant, de faire dire aux agents conversationnels ce que l'on veut qu'ils disent. Tout réside dans les données qui ont servi à leur apprentissage. »

Une fois de plus, c'est une question d'objectifs ou de questions posées (les *prompts*); et surtout de source des données utilisées par l'algorithme d'intelligence artificielle.

En résumé par rapport à ce qui précède, grâce aux composantes de l'intelligence que constituent la perception, l'apprentissage et un soupçon de raisonnement logique, les robots (ou les machines) nous aident à améliorer notre productivité et ce que nous pouvons réaliser, et donc ils jouent correctement leur rôle d'Intelligence Augmentée (ou d'Intelligence Auxiliaire).

En revanche, au niveau de la conscience, de l'intuition et de l'émotion, nous sommes encore très éloignés d'un potentiel rapprochement entre l'humain et les robots.

Argument 2 : les paradoxes scientifiques

A côté des limites liées aux composantes de l'intelligence (raisonnement, conscience, intuition, etc), il y a une autre catégorie de facteurs qui tend à nous tenir éloignés de l'atteinte d'une superintelligence par les robots : il s'agit des paradoxes scientifiques. Deux d'entre eux seront présentés: le **paradoxe de Moravec** et le paradoxe de **la finitude de l'univers**²¹⁶.

Le paradoxe de Moravec

Demandez au robot le plus évolué de nouer ses lacets (s'il en a), et vous constaterez qu'il en est incapable. Eh oui! En fait, cela tient de ce que l'on appelle le « **paradoxe de Moravec** », du nom de celui qui l'a découvert.²¹⁷

Effectivement, nous observons, avec les développements de l'intelligence artificielle, que les **raisonnements complexes** sont plus faciles à reproduire que des **activités sensorimotrices simples**. Dit autrement, les tâches que nous effectuons sans y penser, telles que marcher, ramasser un objet ou même comprendre l'intention d'un enfant qui pointe du doigt un objet dans une pièce, sont étonnamment difficile à coder dans un ordinateur, et donc à exécuter pour un robot.

Cela semble contre-intuitif. En effet, pourquoi est-il plus facile à une machine de jouer aux échecs que de comprendre par exemple l'intention d'un enfant qui pointe du doigt un objet dans une pièce? L'explication la plus communément admise est à rechercher du côté de l'évolution de l'espèce humaine. Les compétences qui nous sont instinctives ont été affinées au fil de centaines de milliers d'années d'évolution; un temps que nous ne pouvons pas simplement coder dans un ordinateur.

Dit autrement, les compétences acquises au fil de l'évolution ne nécessitent pas une réflexion consciente, tandis que les choses que nous trouvons difficiles le sont simplement parce qu'elles sont nouvelles. En somme, il est plus compliqué d'enseigner quelque chose d'inconscient pour nous à une machine.

²¹⁶ Ce paradoxe repose sur la question de la courbure de l'univers et toutes les implications des réponses à cette question.

²¹⁷ Hans Moravec en 1988.

Le paradoxe de la finitude de l'univers

Lorsque l'homme a découvert que la terre n'était pas la seule planète existante, il pensait alors que cette découverte majeure était définitive. Puis nous nous sommes rendu compte qu'il y a d'autres systèmes que le système solaire : des galaxies. Puis nous avons découvert l'existence de milliers de galaxies, et commencé à parler d'univers. Maintenant on parle d'un univers en expansion, d'un univers parallèle, et même de multivers.

Cette réalité a donné le nom à un autre paradoxe appelé « **paradoxe de la finitude de l'univers** ».²¹⁸ Le paradoxe de la finitude de l'univers est employé dans de nombreux domaines scientifiques et techniques où chaque nouvelle découverte nous ouvre les yeux sur l'étendue de ce qui reste à découvrir.²¹⁹

Avec l'intelligence artificielle, chaque fois que nous progressons vers un obstacle, nous nous rendons compte ensuite qu'il existe un autre obstacle que nous ne pouvions pas voir avant d'atteindre le sommet du précédent. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle l'histoire de l'IA est caractérisée par l'alternance de périodes d'optimisme et de périodes de doute (les fameux hivers); c'est aussi la raison pour laquelle de nombreux algorithmes ont essentiellement pour but de corriger les lacunes d'algorithmes antérieurs.

La vérité est donc qu'à l'heure actuelle, nous sommes encore au niveau de l'IA faible, que nous n'avons même pas encore épuisé ne serait-ce qu'à 10%! Et c'est même optimiste de parler de 10%...

Et Alexandre Lebrun, expert en reconnaissance vocale, illustre assez bien cela avec cette forme d'hyperbole comparative: « *Ce n'est pas parce qu'on sait sauter d'un mètre qu'on sait comment aller sur la Lune.* »

« Ce n'est pas parce qu'on sait sauter d'un mètre qu'on sait comment aller sur la lune. »

²¹⁸ Pour comprendre l'origine de ce paradoxe. Selon le philosophe Grec Archytas de Tarente, l'idée que l'univers puisse être fini était entachée d'un grave paradoxe. « *Supposons que l'univers possède un bord. Si je me tiens tout près de ce bord, puis-je tendre le bras au-delà ?* » demandait-il. Il est absurde d'imaginer que je ne le puis. Mais si je le peux, c'est qu'un nouvel espace s'étend au-delà du bord et ainsi de suite à l'infini.

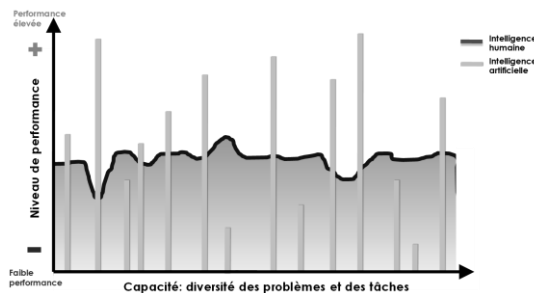
²¹⁹ On dit souvent qu'un chercheur est une personne qui, à chaque découverte, se rend compte que ce qui lui reste à découvrir augmente après chaque découverte.

Argument 3 : Le critère Performance-Capacité comme point de différence entre l'Intelligence Humaine et l'IA Générale

Une autre manière d'illustrer l'écart et les points de différence existant entre l'Intelligence Humaine et l'Intelligence Artificielle consiste à les comparer sur la base de leur performance et de leur capacité respectives. Le graphique ci-dessous représente ces deux formes d'intelligence (l'humaine en **noir** et l'artificielle en **gris**) sur deux axes :

- L'axe horizontal (l'axe des abscisses) représente les catégories de problèmes auxquels on peut être confronté dans la vie ou que l'on cherche à résoudre; c'est la **capacité** (ou encore le potentiel) d'une intelligence à accomplir une tâche donnée. Il peut s'agir de parler, de marcher, de porter ses chaussures et nouer ses lacets, d'actionner un interrupteur, de saisir ou de trier des objets, de raser sa barbe ou de se maquiller, d'identifier une personne ou un objet sur une photo, de dessiner, de faire une opération mathématique simple ou complexe, d'imaginer le temps qu'il fera, de rédiger un texte, de dessiner un objet ou de peindre un tableau, de dresser son lit, de concevoir une recette de cuisine, de se soigner, d'analyser une rencontre sportive, d'élaborer le programme d'une fête, de sourire ou de distiller des blagues à des amis, de montrer de la compassion à un ami en difficulté, etc. En réalité, la liste est infinie!
- L'axe vertical (axe des ordonnées) représente le niveau de **performance** de chacune des deux formes d'intelligence dans la résolution des différents problèmes ou des tâches potentielles. La performance est définie ici comme étant son efficacité à accomplir une tâche donnée.

Comparaison multicritère entre l'IA et l'intelligence humaine



Deux enseignements peuvent être tirés de ce graphique.

Selon le premier enseignement, la forme en « ligne continue » de l'intelligence humaine signifie que l'homme est capable de proposer une solution à pratiquement tous les types de problèmes qui peuvent se poser à lui. Certes, cela se fera avec plus ou moins de bonheur, mais quelle que soit la situation, l'espèce humaine est capable de proposer quelque chose. C'est également une illustration de sa conscience du monde.

La machine, comme cela a déjà été expliqué, est très spécialisée. Elle ne peut résoudre que des tâches bien définies et bien précises; d'où les traits verticaux orange, par opposition à la ligne continue bleue.

Le second enseignement est que l'espèce humaine sera plus ou moins performante selon le problème à résoudre. C'est ainsi que, sauf handicap particulier, l'homme est très performant dans des situations telles que parler, dresser son lit, appuyer un interrupteur, trouver le bon moment pour sourire à des amis, etc. En revanche, s'il n'utilise aucun appareil (calculatrice, ordinateur, etc), l'homme peut avoir des difficultés dans la réalisation d'opérations mathématiques complexes, la résolution de systèmes d'équations non linéaires et à plusieurs variables, le traitement de grands ensembles de données, etc.

La machine, de son côté, sera largement plus performante que l'homme dans les domaines pour lesquels elle a été spécialisée. Pensez aux ordinateurs qui sont capables d'effectuer des millions d'opérations en quelques secondes, ou encore aux algorithmes qui permettent aux réseaux sociaux de générer un fil d'actualité adapté à chaque utilisateur, etc. En revanche, il serait vain de demander à un ordinateur de dresser votre lit, ou à un drone de vidéosurveillance de vous aider à vous maquiller; chaque machine est spécialisée dans des tâches précises.

Donc pour vous aider à mieux interpréter le graphique, je vais prendre trois situations :

1. Le deuxième trait vertical gris est situé largement au-dessus de la ligne noire correspondante. Il peut s'agir d'une tâche de résolution d'une équation complexe, ou de la traduction d'un texte de plusieurs centaines de pages en trois langues différentes. La machine y est beaucoup plus performante que l'homme; et donc à ce niveau, l'IA dépasse l'homme depuis longtemps.

2. Le troisième trait vertical gris est situé légèrement en-dessous de la ligne noire correspondante. Il peut s'agir de la conception d'une recette de cuisine. Certaines IA génératives sont déjà capables de réaliser cette tâche, mais le problème des « hallucinations » fait que l'homme reste plus fiable que la machine dans ce domaine.
3. Entre le deuxième et le troisième trait vertical gris, il apparaît un vide. Celui-ci peut correspondre à la capacité à faire preuve de compassion, ou encore de conscience; bref, de beaucoup de domaines dans lesquelles l'IA est incompétente et incapable de proposer quelque chose actuellement, au contraire de l'homme.

Pour finir, les mathématiciens vous rappelleront qu'il faudra un nombre infini de lignes verticales grises (l'intelligence des machines) qui se suivent (sans aucun vide) pour combler la totalité de la ligne horizontale noire (l'intelligence humaine). Pour vous faire une idée, imaginez que, dans l'état actuel des choses, l'IA ait plusieurs centaines d'usages et de domaines d'applications (les lignes verticales grises); mais que l'espèce humaine (le cerveau) soit en réalité programmée pour faire face à un nombre illimité, et donc infini, de situations (la ligne continue noire)...

L'essentiel du retard à combler par l'IA Générale se situe donc au niveau du critère de capacité, et non de performance. En outre, la capacité d'un système est généralement définie par ses **caractéristiques**, c'est-à-dire l'architecture algorithmique, les types et le nombre de paramètres, le type et la quantité de données d'apprentissage. Mais en réalité, il est même question des limites des approches actuelles d'intelligence artificielle (IA symbolique et IA par apprentissage machine). De toute évidence, ces approches sont loin de permettre d'atteindre une éventuelle Intelligence Artificielle Générale.

Et d'ailleurs, pourquoi une quelconque volonté de dominer?

Le versant de votre question, c'est « **pourquoi les robots chercheraient-ils à nous dominer et à se montrer plus puissants que nous?** ».

Eh bien, notez que dans « Intelligence Artificielle », le terme fondamental reste « Intelligence ». Et donc, ce n'est pas nécessairement

parce que celle-ci est qualifiée « d'artificielle » (donc dévolue à des robots), qu'il y aura nécessairement une volonté de domination. Et à cet effet, Yann LeCun rappelait justement que « la volonté de dominer n'est pas liée à l'intelligence, elle est davantage liée à la testostérone ». ²²⁰ Evitons cependant toute confusion; on a absolument besoin d'intelligence pour pouvoir dominer, mais ce n'est pas forcément l'intelligence qui va engendrer la volonté de dominer.

A travers ces trois arguments (les composantes de l'intelligence générale, les paradoxes scientifiques et la nature d'une IA Générale), vous comprenez pourquoi il y a lieu d'avoir une position beaucoup moins alarmiste concernant l'éventualité d'une domination du monde par les robots. Mais je rappelle que je me base sur la tendance actuelle de l'IA et notamment les limites fondamentales et respectives des deux approches que constituent l'approche symbolique à base de règles de logique, et l'approche par apprentissage automatique.

Maintenant, rien ne dit qu'une nouvelle approche ou un nouveau courant scientifique ne viendra pas révolutionner l'intelligence artificielle, voire remettre à plat les connaissances actuelles ²²¹. Mais il me semble impossible que l'on puisse répondre objectivement aux questions concernant la survenance de cette éventualité, la forme que prendrait cette approche disruptive, ainsi que ses implications. Cela pourrait arriver dans cinquante ans, ou dans mille ans; tout comme cela pourrait même ne jamais arriver du tout...

²²⁰ Interview réalisée en 2018 pour le magazine Brut.

²²¹ Malgré les réalisations impressionnantes des IA génératives via ChatGPT et Midjourney notamment, ces solutions ne constituent pas de véritables révolutions ou ruptures technologiques. Les algorithmes génératifs existent depuis un certain temps déjà : les réseaux *Transformers* depuis 2018, les GAN depuis 2014 et les auto-encodeurs variationnels (VAE) depuis 2013. La différence observée en 2022 et 2023 tient davantage à la puissance de calcul et aux masses de données de plus en plus impressionnantes; ce qui permet aux nouvelles solutions d'IA générative de gagner en précision.

La Journaliste :

Je comprends mieux maintenant. Et pourtant, quand on lit les journaux, on a parfois de quoi être un peu inquiet.

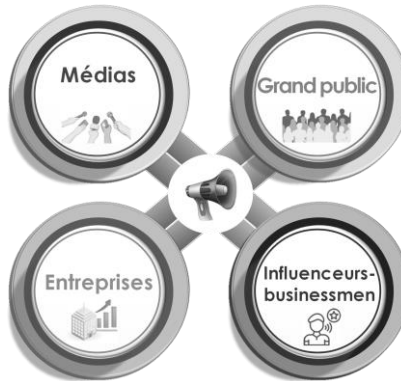
Mme IA :

Cela tient à notre nature d'humain. Mais cela tient également à un certain battage médiatique, qui a d'ailleurs plusieurs sources. Commençons d'ailleurs par là...

Mme IA :

En réalité, les sources de ce battage médiatique relèvent tout autant de vous les **journalistes**, que de nous le **grand public**, ainsi que de **certaines organisations** et d'une certaine catégorie d'**influenceurs** qui en tirent certains avantages.

Les sources du battage médiatique autour de l'IA



Les **journalistes** trouvent dans l'intelligence artificielle, une manière de faire passer leurs articles. Nous savons tous, en effet, que les titres « alarmistes » ou sortant de l'ordinaire sont ceux qui attirent le plus l'attention.

Un journaliste avait d'ailleurs déclaré en 2023 que la prochaine version de ChatGPT (ChatGPT-5) serait capable d'atteindre l'Intelligence Artificielle Générale. Si vous vous rappelez ce que je vous ai dit au sujet de ce qu'on entend véritablement par Intelligence Artificielle Générale

en terme d'équivalence avec l'intelligence humaine dans tous les domaines,²²² et que vous considérez que ChatGPT n'appartient lui qu'à la famille des modèles de Traitement du Langage Naturel, alors vous comprenez qu'il y a manifestement, de la part de ce journaliste, soit la recherche du buzz, soit une absence de maîtrise de ce qu'il déclare. D'ailleurs, il y a cette remarque pertinente d'un lecteur de Quora (un forum de partage de connaissances technologiques sur internet), qui disait en quelque sorte qu'il fallait « *faire la différence entre ce que disent les scientifiques et ce qu'en rapporte la presse pour le grand public* ». L'encadré de la page 266 fournit d'ailleurs quatre exemples illustratifs des déclarations à visée essentiellement médiatique de certaines personnalités. Ce sont des déclarations de ce genre qui intéressent manifestement certains professionnels des médias.

Du côté du **grand public**, il faut noter que c'est avec des produits comme ChatGPT ou Midjourney que l'intelligence artificielle est devenue en quelque sorte « grand public », du fait de la possibilité par exemple de dialoguer avec une IA au-delà de ce qui est fait de manière assez limitée avec les *chatbots* traditionnels. Et donc certaines personnes se sont mises à utiliser les réseaux sociaux pour rendre ces solutions d'intelligence artificielle virales. D'ailleurs, figurez-vous qu'il a suffi de deux mois à ChatGPT pour atteindre les 100 millions d'utilisateurs, alors que Facebook avait eu besoin de dix mois pour atteindre ce nombre, et Twitter de vingt-quatre mois.

La troisième source du buzz médiatique autour de l'intelligence artificielle est constituée de **certaines organisations**.

Dans cette catégorie, on trouve d'abord ceux que l'on appelle les « géants du web » : Alphabet/Google, Amazon, Apple, Facebook/Meta, Microsoft, Nvidia, Tesla.²²³ Sachez en effet que, plus l'expression « intelligence artificielle » est citée dans les médias, et plus le cours des

²²² Avec tout ce que cela implique en terme de diversité des composantes de l'intelligence et donc des algorithmes destinés à adresser chacune de ces composantes; sans même compter l'intuition et les émotions, lesquelles font partie de la capacité de l'être humain à s'adapter à son environnement ou à une situation particulière, et donc de l'intelligence.

²²³ Les fameux *Magnificent Seven*, avec leur équivalent chinois constitué des BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi).

actions de ces entreprises, et donc la richesse potentielle de leurs actionnaires, progresse fortement.²²⁴

A côté de ces entreprises, il y a des associations qui, dans leur démarche de marketing sociétal, utilisent les médias pour véhiculer leurs messages sur l'IA; et plutôt dans le sens d'un danger pour l'avenir de l'humanité. Cela permet de mieux capter l'attention du public.

Il existe enfin une quatrième catégorie, qui est d'ailleurs assez hybride; c'est celle des « **influenceurs-businessmen** ». Par nature, ces derniers opèrent à la fois dans la catégorie des journalistes (car influenceurs), et dans la catégorie des entreprises (car businessmen). De ce fait, il n'est pas incongru de penser que cette double casquette peut facilement les amener à émettre des signaux communicationnels visant un impact bien précis au niveau de leurs affaires, voire de leur projet politique. Certains analystes ont d'ailleurs pu relever que les classements des influenceurs de l'IA réalisés par différents organismes un peu partout dans le monde faisaient ressortir *in fine* deux catégories de personnes, dont les points de vue peuvent diverger en raison de leurs backgrounds respectifs, de leurs activités et enfin de leurs objectifs personnels. Il y a d'un côté ceux que l'on peut qualifier d'experts scientifiques, et de l'autre ceux qui sont à la tête d'entreprises technologiques comme Open AI, Nvidia, etc. C'est cette seconde catégorie que l'on qualifie alors d'influenceurs-businessmen; et leurs objectifs sont à tout le moins assez discutables.²²⁵ L'encadré auquel il a été fait allusion concernant les journalistes comporte des exemples intéressants à ce sujet. Dans le monde du business, faire les promesses les plus folles, c'est ce qui permet de lever des fonds!

²²⁴ Le rôle du buzz médiatique se vérifie à chaque vague boursière, confirmant ce que Robert Shiller, prix Nobel d'économie 2013, avait déjà thématisé : « l'influence du narratif dans les sciences économiques et la finance. »

²²⁵ Lire à cet effet l'excellent article d'Aurélié Jean paru dans le Figaro en septembre 2023 suite au classement des influenceurs en IA du magazine Time : <https://www.lefigaro.fr/vox/societe/aurelie-jean-derriere-le-classement-des-influenceurs-en-ia-du-time-deux-visions-du-monde-s-affrontent-20230914>

Cette posture est également partagée par Yann LeCun (l'un des pionniers de l'IA moderne et prix Turing 2018) lorsqu'il affirme que « Les leaders de la *tech* sèment la peur pour monopoliser le contrôle des IA ». Lire cet article de novembre 2023 : <https://trustmyscience.com/selon-yann-lecun-leaders-tech-sement-peur-pour-monopoliser-contrôle-ia/>

Quelques illustrations du battage médiatique autour de l'IA

Dans cet encadré est présentée une sélection de 4 déclarations à visée médiatique concernant le potentiel de l'IA, ainsi que l'alerte lancée afin de rester objectif et réaliste quant à une éventuelle IA Générale.

Exemple 1 :

Dans une interview avec le New York Times en novembre 2023, Jensen Huang (le patron de NVIDIA) a expliqué que « les IA seront au niveau des hommes dans les cinq prochaines années ».

Cela rappelle un peu les déclarations sur-optimistes de certains chercheurs qui, dans les années 1960, prédisaient déjà que l'IA surpasserait l'humain dans moins de 20 ans (cf page 85 sur l'histoire de l'IA).

Par ailleurs, NVIDIA étant le principal fournisseur des puces pour les systèmes d'IA, on peut interpréter la déclaration de son PDG comme une invitation aux retardataires à investir massivement dans l'IA... afin qu'il se fasse encore plus d'argent...

Exemple 2 :

Lors du podcast The Logan Bartlett Show, le 16 juin 2023, Emmett Shear (ancien patron de Twitch et éphémère CEO de Open AI) déclarait : « L'IA est une bombe capable de détruire l'univers ».²²⁶

Si l'on considère que la terre n'appartient qu'à l'un des quelques 100 milliards de systèmes stellaires de notre galaxie la Voie Lactée, et que cette dernière n'est que l'une des 100 à 200 milliards de galaxies de l'univers observable; alors on peut s'interroger sur les fondements de cette déclaration.

Exemple 3 :

Considérons le titre d'un article publié le 1^{er} décembre 2023 par le site FranceInfo ²²⁷:

"Les intelligences artificielles sont déjà plus intelligentes que les humains", selon une spécialiste en algorithmes.

En se limitant à ce seul titre, un néophyte pourrait comprendre que l'IA dépasse déjà l'intelligence humaine. Mais c'est en parcourant l'ensemble de l'article que l'on se rend compte que l'experte ne fait allusion qu'à l'intelligence analytique; c'est-à-dire ici le traitement de vastes ensembles de données et

²²⁶ Consulter l'article: https://www.frandroid.com/culture-tech/intelligence-artificielle/1864274_pour-le-nouveau-patron-dopenai-lia-est-une-bombe-capable-de-detruire-lunivers ou encore <https://open.spotify.com/episode/1OS5tXwy5mq81YRfXIHRhH> pour la version originale.

²²⁷ Lire l'article : l'article : https://www.francetvinfo.fr/internet/intelligence-artificielle/chatgpt-les-intelligences-artificielles-sont-deja-plus-intelligentes-que-les-humains-selon-une-specialiste-en-algorithmes_6217500.html

des calculs complexes. Or cela est fait par les ordinateurs depuis longtemps déjà, et donc sur ce point, la machine surpasse les capacités de l'homme depuis de nombreuses décennies. En outre, cela ne constitue qu'une infime partie de la vaste nébuleuse que constitue l'intelligence.

Exemple 4 :

L'article intitulé « *Tesla : prévues en 2014, 2015, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 et 2022, les voitures autonomes sont maintenant promises pour 2023* », rappelle les prédictions sans cesse faussées d'Elon Musk concernant l'avènement de la voiture 100% autonome²²⁸.

A cet effet, Yann LeCun (Prix Turing 2019) pointait que si l'IA était sur le point d'égaliser les humains, « *nous aurions des systèmes capables d'apprendre à conduire une voiture en 20 heures de pratique, comme n'importe quel jeune* ».

🔍 Il faut cependant louer le fait que certains experts s'élèvent contre ce battage médiatique qui est de nature à induire en erreur les naïfs et les lecteurs non avertis.

C'est le cas de Dana Blankenhorn avec son article publié le 29 novembre 2023 : « *L'AGI est le mensonge de l'année. L'intelligence artificielle générale n'existe pas* »²²⁹. Cet article met en exergue les visées financières et politiques de certains acteurs de l'IA.

Maintenant que vous connaissez les quatre principaux artisans du battage médiatique autour de l'IA, il y a lieu d'aborder l'autre volet de la réponse à votre question. En fait, la crainte d'une éventuelle domination des l'humanité par les robots tient également à **notre nature humaine**.

Le public croit facilement à des robots dominateurs alors que personne n'a jamais eu déraisonnablement peur de son téléviseur, de sa machine à laver ou de sa voiture. Cela résulte du fait que nous connaissons si bien les objets de notre quotidien que nous savons faire la part des choses entre ce que nous voyons dans les films et la réalité. Mais beaucoup ne connaissent pas assez le monde des algorithmes pour faire le tri entre la réalité et la fiction; c'est l'effet de **la peur de l'inconnu**. S'informer sur l'intelligence artificielle est donc une nécessité pour tout le monde, sans exception!

²²⁸ Lien de l'article : de l'article: <https://www.numerama.com/vroom/972975-tesla-prevues-en-2014-2015-2016-2018-2019-2020-2021-et-2022-les-voitures-autonomes-sont-maintenant-promises-pour-2023.html>

²²⁹ Article consultable sur le lien : <https://intelligence-artificielle.developpez.com/actu/351302/-L-AGI-est-le-mensonge-de-l-annee-L-intelligence-artificielle-generale-n-existe-pas-selon-un-critique-qui-affirme-que-ce-mensonge-est-raconte-pour-des-raisons-financieres-et-politiques/>

A cela, il convient d'ajouter l'**anthropomorphisme** qui nous amène à prêter un caractère humain, et notamment nos sentiments et nos émotions, à un objet ayant une forme similaire à la nôtre et qui nous parle. Il est en effet difficile d'oublier qu'un robot qui vous sourit n'est qu'une machine programmée pour produire quelque chose (mouvement, paroles, etc) en fonction d'une action de votre part. Il s'agit d'un autre volet de ce que nous avons appelé au début de ce chapitre la « **vallée dérangement** »²³⁰.

Selon cette théorie développée par le roboticien japonais Masahori Mori, les traits des robots humanoïdes font automatiquement penser aux anomalies physiques d'une espèce humaine différente, que la conscience humaine primitive assimile à un danger potentiel ; ce qui provoque donc une répulsion instinctive et une certaine crainte.

« La méconnaissance des algorithmes engendre la peur de l'inconnu, et par conséquent la crainte d'éventuels robots-dominateurs. »

Dans une **autre optique**, il faut savoir que depuis l'origine de l'humanité, chaque époque pense que ce qui lui arrive est unique. Avant l'intelligence artificielle, il y a eu des avancées scientifiques et techniques qui ont eu le même effet sur les populations de l'époque que l'IA a sur nous actuellement. Pensez un peu à la maîtrise du feu, à la découverte de l'électricité, à la télévision; et même plus près de nous, à l'ordinateur ou à l'internet.

Et parlant spécifiquement de l'IA, rappelez-vous l'optimisme ambiant au milieu des années 1960, illustré un peu plus tôt dans cet ouvrage avec ces scientifiques qui prédisaient par exemple que dans trois à huit ans, nous aurions une machine avec l'intelligence générale d'un être humain.²³¹ Plus de cinquante années plus tard, nous en sommes encore très éloignés!

Et toujours pour parler d'histoire, n'oubliez pas que celle de l'IA est particulièrement sinieuse, avec des périodes d'optimisme et

²³⁰ *The uncanny valley*, en anglais.

²³¹ Marvin Lee Minsky en 1969.

d'engouement qui ont été entrecoupées par des périodes de doute et de désintérêt (les fameux hivers).

Et donc rien ne prouve qu'un 3^{ème} hiver de l'IA ne va pas se pointer dans quelques décennies... avant que ne survienne une autre renaissance. En effet, les arguments ne manquent pas pour un tel scénario, entre :

- les problèmes de confiance et de méfiance concernant l'intelligence artificielle du fait de certaines erreurs flagrantes observées dans les IA génératives, des fameuses hallucinations, ainsi que de l'incapacité à expliquer certains résultats;
- les dangers liés à la sécurité des données, aux problèmes d'éthique, ou ceux liés à l'intrusion dans la vie privée;
- les messages alarmistes véhiculés par les médias ou par certains influenceurs;
- l'écart, déjà observé dans l'histoire, entre les énormes attentes engendrées par l'IA et la stagnation des progrès du fait des difficultés à trouver des approches scientifiques véritablement capables d'adresser certaines des limites déjà évoquées.

Tout cela pourrait entraîner une réduction des financements; et même s'accompagner de restrictions légales et d'un excès d'encadrement. Il en résulterait alors un intérêt pour d'autres champs technologiques au détriment de l'IA.

« Bien que peu probable, un 3^{ème} hiver n'est pas totalement à exclure. »

Mais si vous me demandez quel est mon point de vue, je vous dirais que je penche plutôt pour un scénario où **l'IA va passer du statut d'innovation de pointe à celui d'une technologie de masse**; un peu (dans une moindre mesure) comme cela a été le cas avec la domestication du feu il y a environ 500 000 ans²³²; ou encore avec la découverte, puis la démocratisation, de l'électricité il y a environ deux siècles.

²³² On pourrait dire que la maîtrise du feu est l'une des premières preuves de l'évolution humaine, tout comme l'intelligence artificielle est l'une de ses preuves les plus récentes.

« L'IA remplit probablement les conditions pour être considérée comme une « technologie d'usage général »; elle est donc de nature à impacter tous les pans de l'économie et de la société. »

On peut donc imaginer que l'intelligence artificielle va devenir ce que les économistes appellent une *General Purpose Technology (GPT)*, c'est-à-dire une « **technologie d'usage général** »²³³, comme l'ont été l'électricité, l'ordinateur, internet, etc. Par technologie d'usage général, on entend les outils qui transforment en profondeur et dans leur globalité la société et l'économie²³⁴. Pour qu'une technologie appartienne à cette catégorie, elle doit remplir quatre conditions:

- elle doit être utilisée dans de nombreux secteurs et domaines de la vie économique ou sociale;
- elle doit permettre d'améliorer la productivité de ses utilisateurs;
- elle doit avoir un potentiel inhérent d'amélioration continue; ce qui contribue à étendre son impact sur un très grand horizon temporel;
- elle doit donner lieu à des "complémentarités d'innovation", c'est-à-dire induire des innovations en chaîne dans les industries, secteurs et métiers qui l'utilisent.

En étant de plus en plus utilisée par les individus et les organisations, en impactant et en révolutionnant nos vies privées et professionnelles, en s'améliorant de jour en jour, et en facilitant l'innovation et le développement dans d'autres secteurs, l'IA peut donc à juste titre être considérée comme une « technologie d'usage général ».

Revenons maintenant à notre point.

Pour éviter de tomber dans les pièges du battage médiatique de l'intelligence artificielle, il convient de se former pour mieux comprendre le contenu, le fonctionnement et les implications de ce champ

²³³ Le concept a été popularisé par Richard Lipsey, Kenneth Carlaw and Clifford Bekar dans leur ouvrage paru en 2006: *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long Term Growth*.

²³⁴ Bien que l'on parle de « technologie », une GPT peut en réalité être un produit, un processus ou un système organisationnel. Et dans ce sens, on inclut également la maîtrise du feu, la découverte de la roue, l'invention de l'écriture, et bien d'autres encore.

pluridisciplinaire. Vous comprenez que j'évite d'utiliser le mot technologie, et que je préfère l'expression champ pluridisciplinaire. Et j'ai la faiblesse de penser que l'entretien que vous m'accordez actuellement participe de cet objectif de « vulgarisation de l'intelligence artificielle »...

La Journaliste :

OK. Je suis beaucoup moins inquiète. Il n'y a pas de véritable danger; les robots ne vont pas nous dominer et chercher à nous asservir...

Mme IA :

Attendez! Ce que je voudrais dire, c'est qu'il y a quand même un risque majeur, mais ce n'est pas celui auquel on pense véritablement...

Mme IA :

A mon sens, le danger ne se situe donc pas intrinsèquement du côté des robots ou des autres machines. Il convient de rappeler que l'intelligence artificielle ne reste qu'une technologie, une boîte à outils. Et de ce fait, c'est l'usage qu'on en fera qui commandera son impact sur nous, individuellement ou collectivement. Comme je l'ai dit dans la première partie de notre entretien, l'intelligence artificielle sert déjà, et continuera à être d'un très grand apport pour l'amélioration de la santé et de l'éducation, et plus globalement du bien-être des individus et de leur qualité de vie. Mais l'intelligence artificielle pourrait potentiellement être utilisée par les hommes pour des usages maléfiques et criminels, ou dans leur volonté de domination ou d'asservissement.²³⁵C'est ce que l'on appelle la « **dystopie technologique** »; et cela peut se situer au niveau d'un individu, mais également au niveau d'une organisation.

Au niveau d'un individu, il pourrait s'agir de quelqu'un qui utiliserait l'IA pour fabriquer une drogue ou créer une arme fatale, ou encore pour

²³⁵ Des chercheurs américains ont découvert des codes qui forcent les grands modèles de langage (comme ChatGPT ou Gemini) à produire du contenu dangereux; par exemple donner un plan pour fabriquer des drogues illégales, ou encore pour créer une arme fatale, etc.

remporter une élection grâce à la désinformation pour ensuite changer les lois, etc.

Au niveau d'une organisation, il pourrait s'agir de l'Etat, avec l'utilisation de l'IA comme instrument de guerre en causant des dégâts massifs, ou encore avec une surveillance de masse débouchant sur les dérives d'une trop grande limitation des libertés individuelles. Mais il pourrait également s'agir des géants du Web qui utiliseraient l'IA pour manipuler les opinions des gens et changer leur vision du monde. Ces entreprises technologiques créeraient des standards mondiaux incompatibles avec les cultures et politiques d'autres pays qui se retrouveraient alors en situation d'isolement ou de dépendance stratégique.

Du coup, au lieu de s'inquiéter d'une très peu probable prise de contrôle du monde par les robots, entraînant un risque existentiel pour le genre humain, il faudrait plutôt concentrer les efforts sur des risques et dangers plus réels et plus concrets, et en particulier:

- la manipulation du comportement humain par les algorithmes d'IA avec des conséquences sociales dévastatrices dans la diffusion de fausses informations, et notamment les *deepfakes*;
- les biais et discriminations algorithmiques qui, non seulement perpétuent, mais également exacerbent les stéréotypes et les schémas de discrimination;
- la concentration du pouvoir entre les mains de ceux qui contrôlent les systèmes d'IA (les Etats et certains géants technologiques), ainsi que les dérives de la surveillance de masse.

Je vais vous donner trois exemples pour terminer; et chacun de ces exemples pourra être interprété différemment selon votre position, votre référentiel ou votre système de valeurs.

➤ Exemple 1 :

La Chine possède le système de vidéosurveillance de masse le plus puissant du monde. Près de 200 millions de caméras équipées d'intelligence neuronale sont disséminées à travers le pays, et scrutent les visages avec une marge d'erreur de reconnaissance faciale pratiquement

inférieure à 0,1%.²³⁶ Il a été ainsi mis en place un système de notation des citoyens basé sur le suivi de leurs activités, leurs déplacements et leurs comportements. En fonction de votre score, vous pouvez avoir accès, ou au contraire vous voir refusés, certains services, certaines places; et des sanctions ou des récompenses peuvent même s'y ajouter.

➤ **Exemple 2 :**

Un article du magazine Crime Science Journal publié en 2023²³⁷ révélait que les criminels utiliseraient l'IA comme le font les entreprises commerciales : pour la gestion des chaînes d'approvisionnement, l'évaluation et l'atténuation des risques, le filtrage du personnel, l'exploration des données des médias sociaux et divers types d'analyse et de résolution de problèmes. Au même titre que ces usages de l'IA permettent d'améliorer significativement la productivité des entreprises, on observe un impact similaire au niveau des organisations criminelles.

Il a été fait mention dans le chapitre 6 des trois familles d'IA : analytique, décisionnelle et générative. Et bien, voici ce qui se passe déjà dans les milieux du crime organisé.

- Les IA décisionnelles. Les cartels de la drogue au Mexique se servent déjà de drones d'attaque autonomes contrôlés par l'IA, qui leur apportent flexibilité et coordination lors d'attaques contre des cibles humaines ou matérielles. Les données d'imagerie satellitaire produites par *Earth Observations* sont intégrées dans un algorithme d'IA afin de pouvoir planifier les itinéraires de contrebande et mieux coordonner les chaînes d'approvisionnement.
- Les IA analytiques. Certaines organisations criminelles attaquent les systèmes d'IA pour échapper à la détection (par exemple, les processus de contrôle biométrique), ou contourner les systèmes de sécurité des banques, des entrepôts, des aéroports et des frontières.
- Les IA génératives. En Afrique du Sud, en utilisant la technologie Deepfake, les criminels réussissent à obtenir de l'argent en usurpant

²³⁶ Pour rappel, la marge d'erreur du système de reconnaissance faciale de Facebook était de 3% en 2016.

²³⁷ Lien : <https://crimesciencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40163-020-00123-8>

l'identité de titulaires de comptes et en obtenant l'accès à des systèmes sécurisés.²³⁸

➤ **Exemple 3 :**

Le dernier exemple concerne l'usage de l'intelligence artificielle (en combinaison avec d'autres technologies²³⁹) pour augmenter des capacités physiques et mentales des êtres humains, l'idée étant donc de transformer ou de dépasser l'homme pour créer un « transhumain », aux capacités supérieures à celles des êtres actuels. Certains y verront essentiellement la possibilité d'améliorer les capacités physiques et cognitives de l'homme, voire de vaincre des maladies et de ralentir le vieillissement. D'autres y verront plutôt des risques, et notamment le contrôle et l'espionnage des hommes à distance par des entreprises, et la possibilité de les influencer. Vous vous imaginez bien que l'entreprise qui plante une puce dans votre cerveau pourra savoir à tout moment où vous vous trouvez, peut-être ce que vous êtes en train de faire, et (qui sait) à quoi vous pensez exactement, et ce que vous projetez de faire.

Comme précisé tantôt, l'opinion que vous vous faites dans chacun de ces trois exemples dépend de votre position, de votre référentiel, et surtout de votre système de valeurs. C'est donc l'usage que nous faisons de l'intelligence artificielle qui peut ou non constituer un danger pour la société et pour l'humanité.

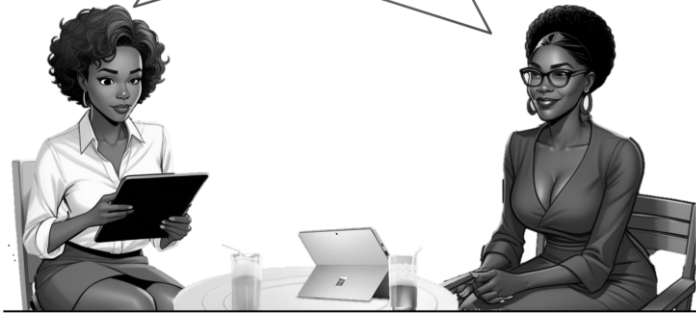
²³⁸ En Afrique du Sud, les usurpations d'identité avaient augmenté de 356 % entre avril 2022 et avril 2023, selon le Service de prévention des fraudes d'Afrique australe (SAFPS)!

²³⁹ Notamment les biotechnologies et les neurosciences.

Epilogue

Mme IA, nous arrivons bientôt à la fin de cet entretien.
Avant de nous séparer, avez-vous un dernier mot pour ceux qui nous suivent?

Je voudrais revenir à notre cher M. Lionel Mateck, et donner une idée de ce à quoi pourrait ressembler le quotidien d'un "africain ordinaire" dans quelques années. Et je terminerai ensuite avec un ou deux conseils...



Mme IA :

A l'avenir, une journée classique de **M. Lionel Mateck** pourrait ressembler à ce qui suit. Il faut préciser qu'il ne s'agit pas de projections futuristes pour 2050 ou 2100 avec des voitures volantes par exemple. Il s'agit de services d'intelligence artificielle dont certains existent déjà dans certains pays avancés, et d'autres applications dont la disponibilité et l'usage sont imminents.

06h00

L'assistant personnel virtuel va réveiller Lionel Mateck, lui fournir automatiquement la météo du jour, lui donner des détails sur son programme de la journée, et afficher sur un grand écran ses exercices de remise en forme à effectuer et/ou son texte de prière/méditation.

07h00

L'assistant virtuel va converser de manière vocale et à la vitesse qu'il désire, en lui donnant des informations fraîches sur les sujets qui l'intéressent car il connaît déjà bien ses centres d'intérêt. Il pourra en outre répondre à des questions de détails par rapport à ces sujets.

08h00

Un véhicule autonome emmènera Lionel à son lieu de travail en empruntant le chemin le plus rapide et en évitant les zones d'embouteillage. Le véhicule lui indiquera également les changements survenus lors des dernières 24 heures sur le trajet emprunté; par exemple une nouvelle boutique, les préparatifs d'un événement public, etc.

09h00

Bien entendu, Lionel pourra décider de travailler en distanciel à partir de son domicile, et de participer aux réunions de manière virtuelle. Il pourra même signer des contrats de travail avec deux ou trois entreprises à la fois. Cela sera possible puisque l'IA lui permettra d'être multitâche, et s'occupera d'activités telles que la réponse aux emails, la rédaction ou le résumé de rapports, la planification de ses activités, etc.

10h00

Pendant la matinée, une IA pourra gérer la maison connectée de Lionel. Un robot fera le ménage, procèdera aux économies d'énergie domestique nécessaires, enregistrera les programmes télé qu'il préfère.

11h00

Une IA fournira à Lionel des détails sur sa situation financière: solde bancaire, derniers revenus et dépenses récentes, revenus et dépenses à venir. Cette IA lui fera également des propositions de placements et d'investissements de manière à optimiser ses revenus.

13h00

En se baladant en ville, à pied ou en voiture, Lionel recevra une notification sonore sur son *smartphone* chaque fois qu'il se trouvera par exemple à moins de 100 mètres d'une boutique qui vend des équipements sportifs des Lions Indomptables du Cameroun. Son *smartphone* affichera les différents articles, et Lionel pourra même s'y voir en train revêtant les maillots de son choix.

14h00

Mais Lionel Mateck disposera également d'un « consommateur artificiel » pour ses achats. Il s'agit d'un algorithme qui, en analysant continuellement les habitudes de Lionel, sera capable d'identifier toutes ses préférences, et de procéder à des achats correspondant à ses désirs et à ses besoins.

15h00

Lionel Mateck recevra chaque jour les résultats de l'évaluation académique de son fils. En effet après avoir obtenu son baccalauréat, ce dernier sera inscrit dans une université où l'Intelligence Artificielle et la Science des Données sont des matières obligatoires quelle que soit la spécialité (sciences de l'ingénieur, médecine, gestion des entreprises, droit, sciences humaines, etc). En plus d'être personnalisés, certains cours se feront en immersion, donnant l'impression à l'étudiant qu'il est véritablement sur le terrain; une IA sera chargée de procéder à une évaluation multiforme et en continu de chaque étudiant. D'ailleurs les copies seront désormais corrigées par une IA qui saura reconnaître l'écriture de chaque élève ou étudiant.

17h00

Lionel pourra converser avec des nouveaux amis un peu partout dans le monde (Angola, Argentine, Chine, Inde, Russie, Singapour, etc). Ces nouveaux amis lui auront, bien entendu, été recommandés en fonction de ses centres d'intérêt; et la langue ne constituera guère une barrière

puisque les conversations seront instantanément traduites dans la langue qu'il désire.

18h00

Une IA fera une suggestion de repas pour le dîner en fonction de ce qui est disponible dans le réfrigérateur. Elle pourra également passer une commande spécifique en fonction de ce que Lionel a envie de manger ou de boire.

19h00

La télé se mettra automatiquement en marche sur un tableau où sont présentés les programmes enregistrés pendant l'absence de Lionel, ainsi que ses émissions préférées. Et bien entendu, il n'y aura plus besoin de télécommande, puisqu'il suffira d'un geste de la main pour que la télévision s'exécute en matière de volume ou de changement de chaîne; sans oublier une baisse automatique de son en cas de bruit suspect à l'extérieur. En cas de match de football, Lionel se sentira transporté aux abords du terrain à l'aide de la réalité virtuelle.

21h00

Lorsque Lionel se couchera le soir, une IA fera rapidement son diagnostic de santé: rythme cardiaque, tension artérielle, index glycémique, balance alimentaire de la journée, inflammation naissante, etc. Cette IA notifiera automatiquement le médecin traitant de Lionel en cas de nécessité. S'y ajouteront également des exercices sportifs spécifiques à exécuter le lendemain dans le cadre de sa remise en forme. Et bien évidemment, il suffira à Lionel de prononcer quelques mots pour que les lumières de sa chambre s'éteignent immédiatement, et que la température de la pièce se mette au niveau désiré.

Maintenant, pour conclure, je vais juste rappeler qu'il est nécessaire de comprendre que l'Intelligence Artificielle fait désormais partie de nos vies. Et la clé du bon usage de l'IA est de vérifier si on la met **au service de la vie** (meilleure éducation, meilleurs soins, lutte contre les inégalités) ou plutôt **au service de l'économie de la mort** (course à l'armement, criminalité, drogues et addictions diverses).

Mais dans tous les cas, comme je le disais à la conclusion du sixième module de notre entretien, que ce soit pour un individu ou pour une entreprise, il deviendra nécessaire de continuer à s'informer et à se

former sur l'Intelligence Artificielle, d'une part afin de tirer pleinement profit de toutes les opportunités qu'elle offre, et d'autre part afin de rester conscient de ses limites et des risques qu'elle peut engendrer.

Et cela rejoint un peu les propos du Professeur Jean-Claude Heudin qui déclarait, lors d'une interview: « **Il faut s'informer pour démystifier l'intelligence artificielle** ».²⁴⁰



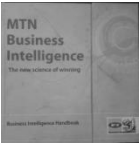
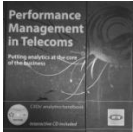
"L'intelligence artificielle va changer le monde plus que tout dans l'histoire de l'humanité. Plus que l'électricité."

Dr Kai-Fu Lee

²⁴⁰ Lire l'interview complète sur le lien: <https://experiences.microsoft.fr/articles/intelligence-artificielle/il-faut-sinformer-pour-demystifier-lintelligence-artificielle-jean-claude-heudin/>

Du même auteur

Ouvrages

Collection « Business »	
	MTN Business Intelligence <i>The new science of winning</i> MTN Academy - Johannesburg - February 2010 - 408 pages
	Business Performance Management in Telecoms Putting analytics at the core of the business – CXOs analytics handbook MTN Academy - Johannesburg - March 2011 - 432 pages <i>Foreword Mr Phuthuma Nleko, MTN Group President and CEO</i>
	Success Stories d'Entreprises en Afrique 10+1 exemples et enseignements tirés du marché camerounais Editions du Savoir Pratique - Douala - Octobre 2016 - 224 pages
	Outils de Management pour Entreprises Africaines 6 outils innovants pour les entreprises évoluant dans les marchés concurrentiels en Afrique Editions du Savoir Pratique - Douala - Juillet 2023 - 160 pages
Collection « Lifestyle »	
	Le Karaté Goju-Ryu Histoire, principes, organisation, techniques, applications, apprentissage Editions du Savoir Pratique - Douala - Juin 2018 - 372 pages

Outils professionnels à l'usage des managers

Document	Format
Simulator pack : logiciel d'assistance analytique (<i>guided analytics</i>) Modèles de prévision des ventes - Analyses de prix – Simulateur de parts de marché – Analyse géomarketing - Scoring de la performance globale – Analyse coût-volume-profit.	CD
Manuel du pilotage de la performance des entreprises Les règles du pilotage de la performance – La structure d'un rapport de performances – Du bon choix des graphiques – Les 5 catégories de questions analytiques – Le diagramme Ishikawa à 60 paramètres – La conduite des réunions de performance.	Livret A5 36 pages eBook
Mapping des 4 piliers de la performance dans les télécoms P1. Le paradigme de l'industrie des télécoms. P2. La rationalisation du processus d'évaluation de la performance d'un opérateur telcos. P3. Les facteurs explicatifs de l'EBITDA. P4. Les 100 leviers du redressement de la performance.	Poster mural 3m x 2m
Guide d'optimisation des études de marché en Afrique Comment contourner les 15 pièges de l'exécution et de l'exploitation des études de marché et des analyses sectorielles dans le contexte africain.	Dépliant A5 12 pages
Canevas de la transformation digitale des institutions financières en Afrique P0. Phase préparatoire (enjeux, opportunités, défis, dimensions, réformes). P1. Diagnostic de maturité digitale (modèle et score de maturité digitale-SMD). P2. Conduite des 4 chantiers de la transformation (technologie et digitalisation, outils de management, optimisation organisationnelle, conduite du changement).	Livret A4 24 pages
Le pense-bête de l'Intelligence Artificielle Collection d'illustrations sur ce qu'un manager non informaticien doit connaître sur l'IA : usages et applications, mécanismes fondamentaux, processus de choix d'une solution d'IA, intégration et adoption de l'IA, limites et dangers de l'IA.	Dépliant A5 12 pages
DS-IA Academy (www.ds-ia-academy.net) Plateforme numérique de vulgarisation de la Data Science et de l'Intelligence Artificielle : 20 modules de cours, 2 modules d'évaluation, certifications.	Site web

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE *pour tous et partout*

Livre de poche

Notes



Contact : (237) 677 55 15 14 – essomebell@yahoo.fr

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

pour tous et partout

Lionel Mateck est un adulte camerounais dont le quotidien ressemble à celui de nombreux africains. Ce quotidien va servir de préambule à un entretien entre deux personnages (une journaliste et une spécialiste de l'Intelligence Artificielle) afin d'illustrer le fait que PIA est déjà présente tout autour de nous. Cet entretien sera par la suite structuré autour de questions tirées d'une liste d'interrogations que l'auteur de ce livre a pu dégager des échanges réguliers qu'il a avec des hommes et des femmes du genre que l'on rencontre tous les jours dans les villes et villages d'Afrique.

Le présent ouvrage se veut donc un outil de vulgarisation de l'Intelligence Artificielle, prenant la forme d'une conversation d'environ trois heures (le temps qu'il faut pour le parcourir). L'objectif ultime est de permettre au lecteur d'avoir une meilleure connaissance de PIA, de découvrir ses diverses et nombreuses applications, de comprendre son fonctionnement, de savoir comment exploiter les opportunités qu'elle offre, de prendre conscience de ses limites, et d'apprendre à éviter les dangers et les risques que pourrait engendrer cette technologie.

Et ce besoin de vulgarisation est d'autant plus d'actualité que les bienfaits de PIA peuvent profiter à chaque individu et à chaque organisation (publique ou privée) en Afrique; et que la plupart des spécialités (informaticiens, mathématiciens et statisticiens, neuroscientifiques, économistes, gestionnaires, professionnels des médias, juristes, philosophes, etc) ont un rôle à jouer dans ce domaine multidisciplinaire.

*"L'IA s'imposant désormais à tous, individus et organisations,
il devient impérieux de rendre sa compréhension accessible au grand public".*



Diplômé en management de l'ESSEC de Douala, Jean-Jacques ESSOME BELL a fait ses classes professionnelles dans l'industrie des télécoms, occupant notamment les fonctions de Head of Business Intelligence & Analytics du Groupe MTN avec 21 filiales d'Afrique et du Moyen-Orient sous sa supervision.

Il est depuis une dizaine d'années chef d'entreprise (SAC International), consultant en business management, pilotage de la performance et transformation digitale, ainsi que vulgarisateur de la data science et de l'intelligence artificielle à travers sa startup technologique Performance LogiX (PLX).

JJ est l'auteur de nombreux ouvrages pratiques, et a fait de l'Afrique la sphère de ses interventions et réalisations, en concevant et en mettant en œuvre des solutions managériales et technologiques innovantes adaptées aux réalités du continent.

