



## Les avancées de l'intelligence artificielle – 1

L'intelligence artificielle fait partie de ces technologies qui peuvent générer toutes sortes de fantasmes pour les uns et de craintes pour les autres. Comme de nombreuses technologies, il nous est difficile d'en comprendre le fonctionnement et donc les enjeux associés.

L'actualité technologique nous ressasse des performances d'**IBM Watson**, des robots quadrupèdes ou bipèdes de la filiale de Google, **Boston Dynamics**, ou des dernières expérimentations de **voitures à conduite automatique**, chez Google ou ailleurs. Il est facile de mettre tout cela dans le même sac, sous l'appellation d'intelligence artificielle comme si c'était un tout bien unifié. Il n'en est rien !

L'intelligence artificielle est un pan entier de l'informatique avec sa diversité, ses briques technologiques, ses assemblages et solutions en tout genre. C'est un véritable écosystème hétéroclite. Qui plus est, la grande majorité des solutions commerciales d'Intelligence Artificielle sont faites de bric et de broc, en fonction de besoins très spécifiques. On est loin d'avoir des solutions d'IA génériques. Cette diversité bio-informatique génère pour l'instant une sorte de protection contre les menaces de l'IA évoquées par certains Cassandre de l'industrie.

Ceux-ci redoutent une échéance fatidique où l'IA prendra le pas sur l'intelligence humaine. Le célèbre astrophysicien **Stephen Hawking** n'hésitait pas en 2014 à prophétiser que lorsque l'IA dépassera l'intelligence humaine, ce sera la dernière invention humaine, celle-ci ayant ensuite pris entièrement le pas sur l'espèce humaine ! Il reprend à son compte, en version pessimiste, une citation de Irwin John Good datant de 1965 publiée dans **Speculations Concerning the First Ultraintelligent Machine** selon laquelle la machine ultra-intelligente sera la dernière invention que l'homme aura besoin de créer.

### 9. Conclusions

These "conclusions" are primarily the opinions of the writer, as they must be in a paper on ultraintelligent machines written at the present time. *In the writer's opinion then:*

It is more probable than not that, within the twentieth century, an ultraintelligent machine will be built and that it will be the last invention that man need make, since it will lead to an "intelligence explosion." This will transform society in an unimaginable way. The first ultraintelligent machine will need to be ultraparallel, and is likely to be achieved with the help of a very large artificial neural net.

Bill Joy avait publié "Why the future doesn't need us" en 2000 dans Wired, tirant la sonnette d'alarme sur les dangers des progrès technologiques dans l'IA, les nanotechnologies et les biotechnologies. C'était bien avant la fin du premier séquençage complet du génome humain qui avait coûté une fortune. On y apprend d'ailleurs qu'il avait rencontré Jacques Attali et que ce dernier avait indirectement influé le cours des événements de Java ! Bill Joy était en fait effrayé des perspectives avancées par Ray Kurzweil qu'il avait rencontré dans une

conférence en 1998 et avoir lu son “The age of spiritual machines”, paru six ans avant “The singularity is near”. Puis une grosse décennie de calme côté alertes. Bill Gates et Elon Musk ont repris le flambeau de Bill Joy en 2015 pour demander une pause technologique et une réflexion sur les limites à ne pas dépasser avec l’intelligence artificielle comme avec la robotique. Il existe même des instituts de recherche qui planchent sur cette question : le **Center for the Study of Existential Risk** de Cambridge et le **Future of Humanity Institute** d’Oxford.



Dans les optimistes, on trouve bien évidemment le pape actuel de la singularité **Ray Kurzweil** qui anticipe celle-ci autour de 2030-2044 ainsi que **Mark Zuckerberg** de Facebook qui pense que l’homme sera raisonnable dans ses usages de l’IA.

Seulement voilà, l’intelligence artificielle n’est pas un produit. Ce n’est pas non plus un logiciel unifié comme un traitement de texte, une application mobile ou même un système d’exploitation. Il n’y a pas de logiciel d’intelligence artificielle mais *des* solutions d’intelligence artificielle qui s’appuient sur des dizaines de briques différentes qui vont de la captation des sens, notamment audio et visuels, à l’interprétation des informations, au traitement du langage et à l’exploitation de grandes bases de données structurées ou non structurées. Leur intégration reste une affaire de bricolage. Nous en sommes encore à l’âge de la pierre, avec seulement une cinquantaine d’années de recul sur la question.

Dans la lignée d’autres séries d’articles de défrichages de sujets technologiques complexes de ce blog, je me propose ici de décortiquer ce que l’on sait de l’état de l’art de l’Intelligence Artificielle, de ses applications et des progrès en cours.

Je vais notamment tenter de répondre à plusieurs questions clés qui me travaillent :

- Quelles sont les **grandes briques technologiques** de l’intelligence artificielle ? C’est un domaine un peu fouillis que je vais essayer de segmenter.
- Quels sont les différents **usages de l’intelligence artificielle** ? Je vais reprendre les études de cas les plus courantes et les commenter.
- Comment les solutions d’intelligence artificielle sont-elles **commercialisées**, en prenant l’exemple d’IBM Watson ? En décrivant l’approche qui est actuellement à dominante service pour les solutions d’entreprises, mais avec un fort développement d’applications grand public en parallèle.
- Comment se développe **l’écosystème de l’intelligence artificielle**, des grands groupes comme Google,

Facebook, Microsoft et IBM jusqu'aux start-ups du secteur ? Quels sont les enjeux industriels dans le secteur ? Et la position de la France ? Quel est le rôle de l'open source ?

- Comment les **briques d'intelligence artificielle progressent-elles** ? Est-ce lié à l'invention de nouveaux procédés techniques, aux progrès du matériel ou aux deux, et dans quelle proportion ? Qu'est-ce qui pourrait accélérer ou ralentir ces progrès ?

Comme d'habitude dans nombre des publications de ce blog, il s'agit ici du résultat d'une quête personnelle sur un sujet nouveau, s'appuyant en grande partie sur une recherche bibliographique extensive. Je ne suis pas spécialiste de ce domaine et j'apprends au fil de l'eau tout en partageant le résultat de cet apprentissage. Cette quête est publiée en 9 parties, et en suivant l'ordre des questions ci-dessus.

Vos feedbacks et suggestions sont les bienvenus, c'est l'avantage de la rédaction d'un texte en plusieurs parties !

### Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

L'Intelligence Artificielle regroupe les sciences et technologies qui permettent d'imiter, d'étendre et/ou d'augmenter l'intelligence humaine avec des machines.

L'IA (AI en anglais) a été conceptualisée en 1956 par John McCarthy, Alan Newell, Arthur Samuel, Herbert Simon et Marvin Minsky, ce dernier étant décédé en janvier 2016. Cela s'appuyait comme toute innovation, progrès scientifique ou nouvelle théorie sur de nombreux travaux et visions antérieurs à 1956 (le concept de calculus ratiotinator de Leibnitz, la machine et le test de Turing, les neurones formels de McCullochs et Pitts, l'architecture de Von Neuman, le théorème de Shanon, etc). L'IA s'inscrit dans une longue tradition humaine d'innovations s'appuyant d'abord sur la force mécanique puis sur la force intellectuelle toutes deux artificielles. Certains scientifiques visent à atteindre dans un premier temps l'intelligence humaine. Mécaniquement, les effets de levier technologiques sont tels qu'un seuil aboutirait au dépassement rapide de l'intelligence humaine par celle de la machine.

L'IA fait partie de ce que l'on appelle aussi les sciences cognitives. IBM intègre ainsi Watson dans son offre de "cognitive computing". J'ai cherché comment on pouvait la segmenter en domaines. En gros, on trouve d'abord ce qui concerne les sens et la capacité des ordinateurs à lire, voir et entendre, puis à structurer leur mémoire, à apprendre, à raisonner, puis à prendre des décisions ou à aider à prendre des décisions.

J'ai tenté ensuite de segmenter le domaine de l'IA et bien mal m'en a pris. Plusieurs découpages existent, au niveau conceptuel puis au niveau technique.

Au plus haut niveau conceptuel, on segmente l'IA en **IA forte** qui imiterait le cerveau humain avec une conscience et **IA faible**, qui évoluerait de manière incrémentale à partir d'outils plus élémentaires. La distinction entre IA forte et IA faible se retrouve dans cette **classification** de la portée de l'IA avec trois niveaux d'IA :

L'**Artificial Narrow Intelligence** (ANI) correspond à la capacité de traitement de problèmes dans un domaine précis. C'est l'état de l'art actuel. Cela a commencé avec les systèmes jouant et gagnant aux échecs comme Deep Blue d'IBM en 1997, puis avec des systèmes experts pointus comme dans certains secteurs de la santé.

On peut y mettre en vrac les moteurs de recherche courants, la détection de fraudes bancaires, le credit rating de particuliers, la conduite automatique ou assistée, Apple SIRI, Microsoft Cortana et Google Translate. Si l'IA n'imité pour l'instant pas toujours l'homme, la force brute et l'usage d'éléments techniques dont l'homme ne

dispose pas comme la vitesse de traitement et le stockage de gros volumes de données permettent déjà à la machine de dépasser l'homme dans tout un tas de domaines ! Et dans d'autres dimensions que celles qui font que l'homme est l'homme. Par contre, ne font pas partie du champ de l'IA les problèmes simples qui peuvent être résolus avec de simples algorithmes. C'est le cas des systèmes de pilotage automatiques d'avions.

L'**Artificial General Intelligence** (AGI) correspond au niveau d'intelligence équivalent à celui de l'homme, avec un côté polyvalent, avec la capacité à raisonner, analyser des données et résoudre des problèmes variés. On peut intégrer dans ce niveau un grand nombre des capacités humaines : l'usage du langage à la fois comme émetteur et récepteur, l'usage de la vue et les autres sens, la mémoire et en particulier la mémoire associative, la pensée, le jugement et la prise de décisions, la résolution de problèmes multi-facettes, l'apprentissage par la lecture ou l'expérience, la création de concepts, la perception du monde et de soi-même, l'invention et la créativité, la capacité à réagir à l'imprévu dans un environnement complexe physique comme intellectuel ou encore la capacité d'anticipation. On peut y ajouter la capacité à ressentir des émotions personnelles ou sentir celle des autres (l'empathie), avoir des envies et des désirs et aussi savoir gérer ses pulsions et agir avec plus ou moins de rationalité. Cette liste est très longue ! Pour l'instant, on en est encore loin, même si certaines de ces capacités notamment linguistiques et de raisonnement général sont en train de voir le jour.

L'AGI dépend à la fois des progrès matériels et de notre compréhension toujours en devenir du fonctionnement du cerveau humain qui fait partie du vaste champ de la neurophysiologie, coiffant des domaines allant de la neurobiologie (pour les couches "basses") à la neuropsychologie (pour les couches "hautes"). Le fonctionnement du cerveau apparaît au gré des découvertes comme étant bien plus complexe et riche qu'imaginé. Les neurones seraient capables de stocker des informations analogiques et non pas binaires, ce qui en multiplierait la capacité de stockage de plusieurs ordres de grandeur par rapport à ce que l'on croyait jusqu'à il y a peu de temps. On sait par contre que le cerveau est à la fois ultra-massivement parallèle avec ses trillions de synapses reliant les neurones entre elles mais très lent ("clock" de 100 Hz maximum).

### The scale of intelligence:



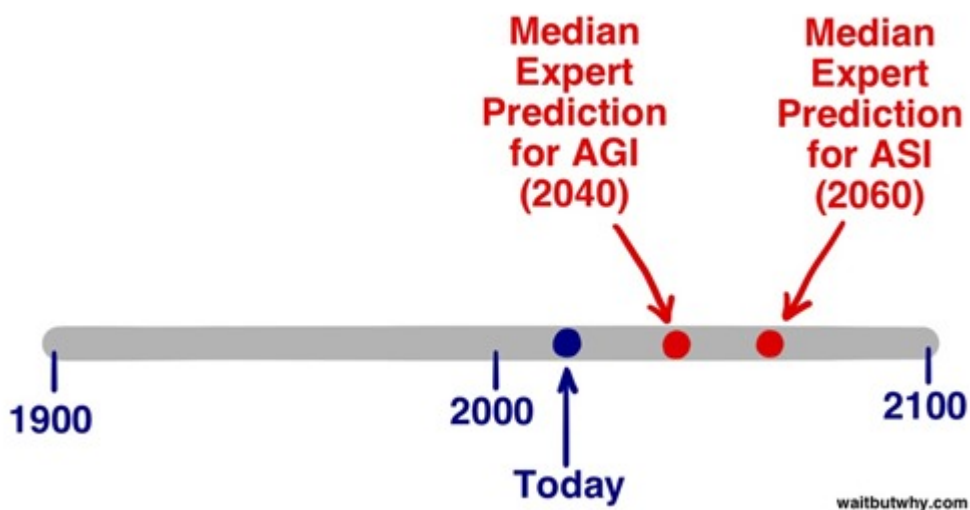
L'**Artificial Super Intelligence** (ASI) est la continuité logique de l'étape précédente, liée à la puissance des machines qui se démultiplie et se distribue plus facilement que celle d'un cerveau humain avec ses entrées-sorties et ses capacités de stockages et de traitement limitées. A ce niveau, l'intelligence de la machine dépasse celle de l'homme dans tous les domaines y compris dans la créativité et même dans l'agilité sociale. Le point de dépassement est une "singularité". Il est évoqué dans de nombreux ouvrages comme le fameux **The Singularity is Near** de Ray Kurzweil. Il l'est également dans cet essai **The Singularity – A philosophical analysis** du philosophe australien David J. Chalmers qui propose notamment de tester d'abord l'ASI dans un environnement entièrement virtuel entièrement déconnecté du monde réel pour tester ses aptitudes. Si cela peut rassurer !

Dans la pratique, l'IA d'aujourd'hui va déjà bien au-delà des capacités humaines, notamment lorsque la mémoire est en jeu. La capacité des systèmes experts, et notamment d'IBM Watson, à brasser d'énormes volumes d'information fournit des capacités inaccessibles à n'importe quel humain, même surdoué. L'ASI correspond donc à un mélange des genres entre les domaines où l'homme est déjà dépassé et ceux où il ne l'est

pas encore et le deviendra.

Vu du versant de l'optimisme, l'ASI aurait un impact indirect : l'immortalité de l'homme, conséquence des découvertes générées par l'ASI. C'est évidemment faire abstraction de ce qui ne peut pas encore se faire de manière entièrement numérique. Les progrès dans la santé sont contingentés par l'expérimentation qui se fait encore in-vivo et in-vitro. L'expérimentation in-silico – de manière entièrement virtuelle et numérique – des processus biologiques est un domaine en plein devenir. Il se heurte pour l'instant à des obstacles proches de l'insurmontable, même en intégrant les merveilles des exponentielles de progrès et de la loi de Moore. La recherche scientifique dans la santé en est donc toujours réduite à mener des expérimentations itératives et plutôt lentes, même avec les appareillages les plus modernes. Avec ou sans IA, cela reste immuable. D'ailleurs, les meilleures solutions d'IA comme l'usage d'IBM Watson dans la cancérologie s'appuient sur le corpus issu de toutes ces expérimentations. Il a une base physique et réelle. On pourra certainement automatiser l'expérimentation biologique encore plus qu'aujourd'hui dans la recherche de thérapeutiques, mais cela restera toujours du domaine du biologique, pas du numérique, donc plutôt lent et pas très scalable.

On arriverait au stade de l'AGI entre 2030 et 2100 selon les prévisions, et de l'ASI quelques décennies après. On se demande d'ailleurs ce qui expliquerait le délai entre les deux au vu du facteur d'accélération lié au matériel.



Poursuivons notre quête de la définition de l'IA dans un cours du MIT. L'IA serait un ensemble de techniques permettant d'imiter le comportement humain, agissant de manière rationnelle en fonction de faits et données et capables d'atteindre un objectif. La rationalité n'est pas l'omniscience mais la capacité à agir en fonction des informations disponibles, y compris celles qui sont ambiguës. Cette rationalité est habituellement limitée par notre volonté et notre capacité d'optimisation.

## 6.825 Techniques in Artificial Intelligence

### What is Artificial Intelligence (AI)?

- Computational models of human behavior?
  - Programs that behave (externally) like humans
- Computational models of human "thought" processes?
  - Programs that operate (internally) the way humans do
- Computational systems that behave intelligently?
  - What does it mean to behave intelligently?
- Computational systems that behave **rationally!**
  - More on this later
- AI applications
  - Monitor trades, detect fraud, schedule shuttle loading, etc.

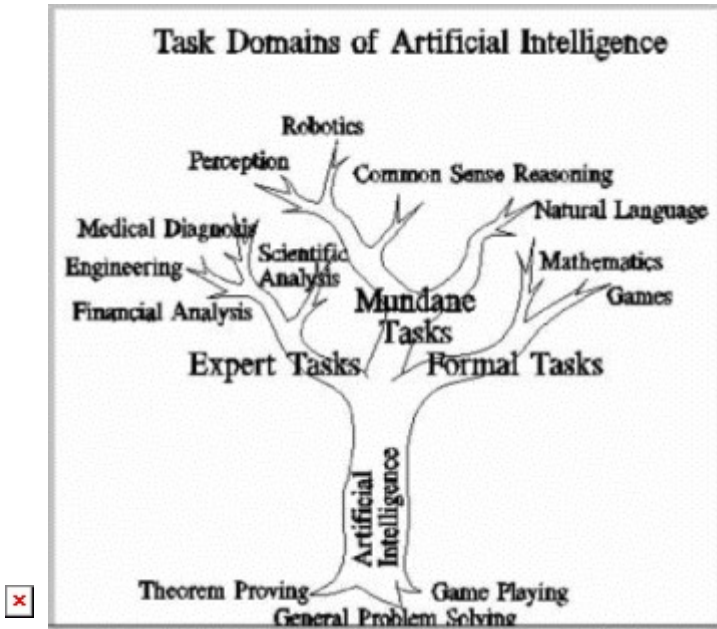
Autre découpage, plus fin, de l'IA, en trois domaines : le **symbolisme** qui se focalise sur la pensée abstraite, le **connectionisme** qui se focalise sur la perception, dont la vision, la reconnaissance des formes et qui s'appuie notamment sur les réseaux neuronaux artificiels et enfin, le **comportementalisme** qui s'intéresse aux pensées subjectives de la perception. C'est dans ce dernier domaine que l'on peut intégrer l'**informatique affective** (**affective computing**) qui étudie les moyens de reconnaître, exprimer, synthétiser et modéliser les émotions humaines. C'est une capacité qu'IBM Watson est censé apporter au robot Pepper d'Aldebaran / Softbank.

L'IA peut notamment servir à automatiser des **processus cognitifs** et en s'appuyant sur quatre étapes : l'observation des faits et données, leur interprétation, leur évaluation et la décision, avec une action ou une proposition d'actions, souvent basée sur des statistiques.

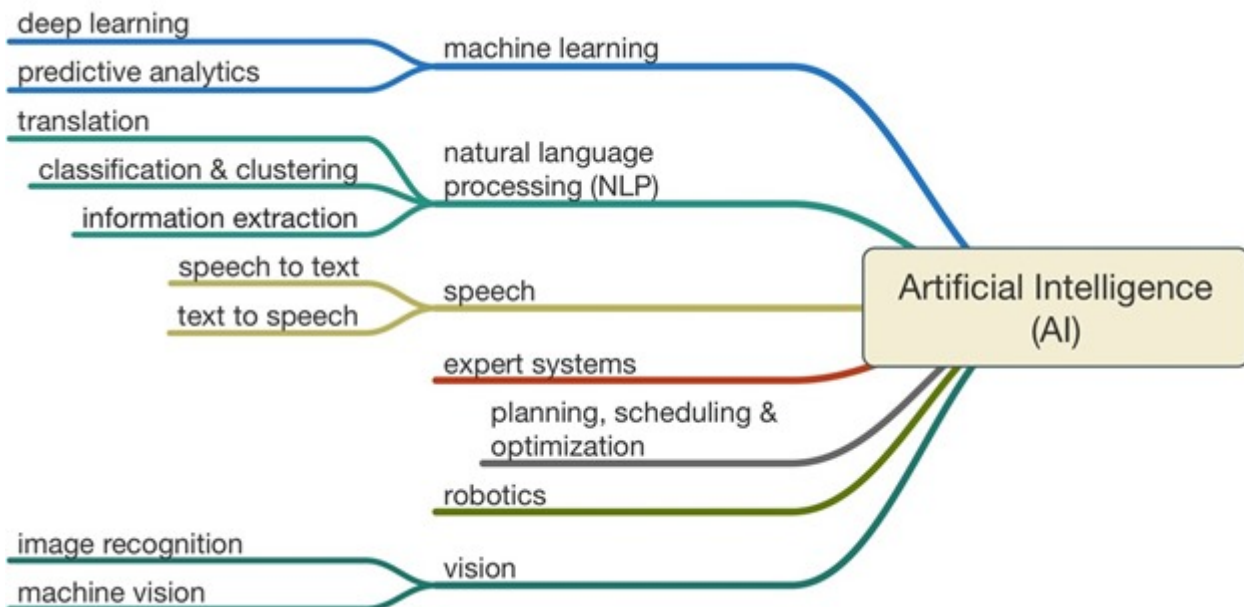
On parle aussi d'**intelligence symbolique** et d'**intelligence computationnelle**. La première résout les problèmes avec de la connaissance (c'est le domaine actuel de l'IA et du machine learning), la seconde avec des données issues d'exemples et de l'apprentissage. Ce dernier domaine intègre notamment les réseaux neuronaux, la logique floue et les algorithmes génétiques.

Voici encore un autre découpage : celui de l'arbre avec trois grandes branches : l'une pour les **tâches d'expertise**, la seconde pour les **tâches courantes** (perception, sens commun, raisonnement, langage) et la troisième pour les **tâches formelles** (mathématiques, jeux). Mais cela ne décrit pas les briques technologiques associées pour autant.

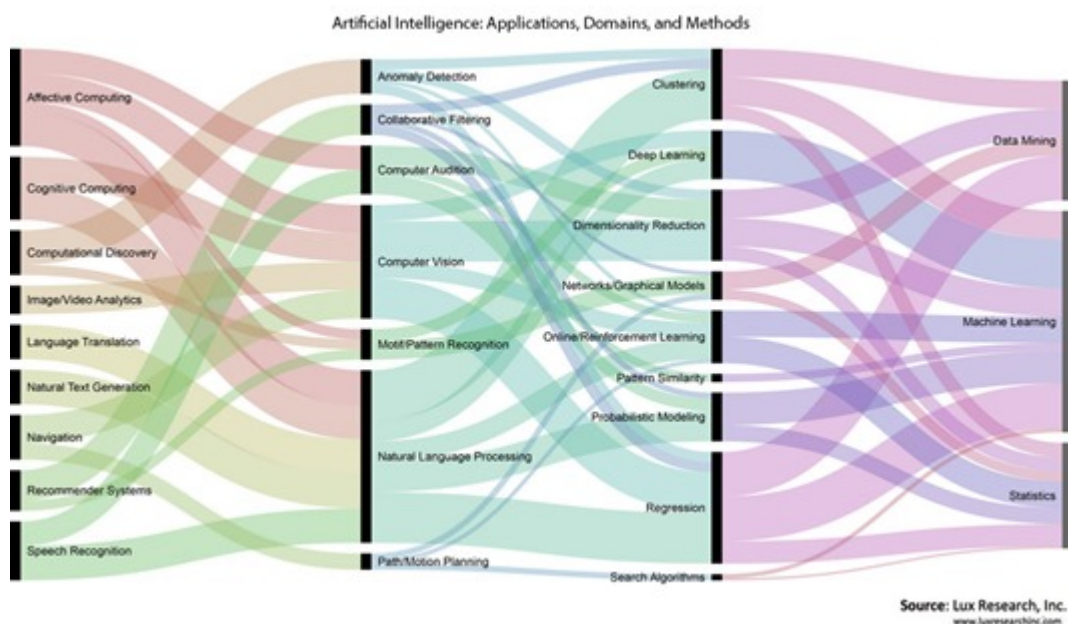




Cet autre découpage, plus terre à terre, comprend le machine learning, le traitement du langage, les systèmes experts, la robotique et la vision. L'architecture est moyenne : il serait plus logique de regrouper les sens avec la parole et la vision. Sans compter l'ouïe qui peut aussi servir. Quand à la robotique, elle a vocation à intégrer tous les autres champs du schéma et à en ajouter d'autres qui lui sont spécifiques comme ceux des capteurs, des matériaux, de la mécanique, des moteurs électriques et des batteries.



Enfin, ce dernier schéma fait un lien formel entre trois groupes : les **applications** (affective computing, reconnaissance d'images et vidéos, traduction, ...), les **domaines d'applications** (computer vision, NLP, ...) et les **méthodes** (avec trois grandes catégories : le data mining, le machine learning et les statistiques). Bien bien, mais on peut aussi faire du data mining grâce à du machine learning et ce dernier peut aussi s'appuyer sur des statistiques. Tout cela est bien récursif !



Cela rappelle à bon escient que les solutions à base d'IA ne sont pas “des logiciels” mais l'assemblage de diverses briques logicielles selon les besoins. Et ces briques sont des plus nombreuses. A tel point que leur intégration est un enjeu technique et métier de taille, peut-être le plus complexe à relever. Aymeric Poulain Maybant m'a transmis sa **thèse de doctorat** sur l'hybridation en sciences cognitives qui date de 2005 et décrit très bien cet enjeu. L'IA intégrative est un des principaux facteurs de développement du secteur. On le retrouve dans l'association de nombreuses techniques dans les solutions d'IA comme le couplage de réseaux neuronaux et d'approches statistiques, notamment dans la reconnaissance de la parole.

Si on demandait à un système d'Intelligence Artificielle de s'auto-définir et s'auto-segmenter en exploitant les données bibliographiques disponibles, il serait bien mal en point ! Un peu comme il est difficile de caractériser une période contemporaine, sans le regard de l'historien du futur qui pourra prendre du recul pour analyser le présent.

Vous êtes déjà paumés ? Moi aussi ! Dans la **partie suivante**, je vais rentrer dans les couches basses de l'IA et inventorier les principaux outils logiciels qui la composent.

---

Vous pouvez consulter tous les épisodes de ce roman fleuve de printemps sur l'intelligence artificielle :

Episode 1 : **sémantique et questions clés**

Episode 2 : **histoire et technologies de l'intelligence artificielle**

Episode 3 : **IBM Watson et le marketing de l'intelligence artificielle**

Episode 4 : **les startups US de l'intelligence artificielle**

Episode 5 : **les startups acquises par les grands du numérique**

Episode 6 : **les startups françaises de l'intelligence artificielle**

Episode 7 : **la modélisation et la copie du cerveau**

Episode 8 : **évolutions de la loi de Moore et applications à l'intelligence artificielle**

Episode 9 : **la robotisation en marche des métiers**



Cet article a été publié le 6 mars 2016 et édité en PDF le 15 mars 2024.  
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>