

ROYAUME DU MAROC



ACADÉMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Intelligences artificielles : mythes et réalités

Pr. Rachid GUERRAOUI

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Conférence donnée dans le cadre de la célébration du centenaire
de la présence diplomatique suisse au Maroc

Rabat - 24 juin 2021

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)
Rabat, Royaume du Maroc

© Hassan II Academy Press

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.**

Achevé d'imprimer : mai 2022
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc



**Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde,
Protecteur de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

Présentation de la conférence par Monsieur le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II

Excellence M. l'Ambassadeur,

M. le Chancelier,

Mesdames, Messieurs,

Nous inaugurons aujourd'hui le cycle de conférences prévu dans le cadre des cérémonies célébrant cent ans de présence diplomatique de la Suisse au Maroc; dans ce cadre, m'échoit l'honneur de vous présenter le premier conférencier programmé Professeur Rachid Guerraoui que je remercie chaleureusement pour avoir accepté de nous honorer en donnant la conférence inaugurale; mais avant de m'acquitter de cette très agréable tâche je voudrais réitérer mes félicitations à ceux qui ont eu la lumineuse idée d'organiser un cycle de conférences de haut niveau pour célébrer cet anniversaire; je veux parler de l'Ambassade de Suisse au Maroc, de SE l'Ambassadeur Guillaume Scheurer, je veux parler aussi de l'Académie du Royaume du Maroc et de son secrétaire perpétuel, mon ami le Professeur Abdeljalil Lahjomri; bien sûr l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques s'est engagée sans hésitation dans ce programme.

Le sujet de la conférence que nous allons écouter est «**Intelligences artificielles : mythes et réalités**» par :

Il a été Professeur invité au célèbre MIT de Boston, en 2018-2019 il a été titulaire de la chaire d'informatique et de sciences numériques au non moins célèbre Collège de France.

En 2019 Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, l'a grandement honoré en le nommant membre de la Commission Spéciale sur le Modèle de Développement qui vient de rendre son rapport à Sa Majesté.

C'est, dis-je, un honneur, c'est même aussi un plaisir, de vous présenter aujourd'hui Pr. Rachid Guerraoui, c'est un honneur et un plaisir pour plusieurs raisons, d'abord parce qu'il s'agit d'un grand scientifique, reconnu mondialement, ensuite le sujet de la conférence est d'une actualité criante, à la fois hautement scientifique et en même temps relève de la science appliquée, puisque l'intelligence artificielle concerne tous les domaines (médecine, industrie, sciences humaines, transport, commerce, finance,...).

Enfin notre conférencier est suisse-marocain, ou si vous préférez maroco-suisse, et cerise sur le gâteau, Pr. Rachid Guerraoui est le fils d'un ami Pr. Si Mohamed Guerraoui, nous étions ensemble étudiants au Département de mathématiques à la Faculté des Sciences de Rabat; vous comprenez donc pourquoi c'est un plaisir, je peux même ajouter un autre point, notre amour commun pour l'équipe de D.H. Jadidi.

Mesdames, Messieurs,

Je ne vais pas m'engager à parler de l'intelligence artificielle, notre conférencier va le faire et beaucoup mieux que je ne peux le faire, ce que je peux dire, je sais que l'intelligence artificielle, née dans les années 1950-1960, a pour objectif de faire faire des tâches humaines par des machines mimant l'activité du cerveau, l'objectif étant de croiser plusieurs techniques simulant les processus cognitifs humains.

Ceci étant dit, comme profane, je poserai quelques questions :

- Jusqu'où peut aller la machine? jusqu'à quelles limites?
- Peut-elle remplacer un jour l'homme?

C'est à notre éminent conférencier de nous donner des réponses ou des ébauches de réponse.

Pour ma part, je voudrais quand même verser dans ce débat l'argument présenté par un grand spécialiste de l'I.A. Jean Gabriel Ganascia qui affirme «dans l'évolution des sciences il y a des moments de rupture, des moments de changement de paradigme et, dit-il, ça, la machine ne sait pas faire», il donne comme exemples celui de la relativité d'Einstein, ainsi que celui de la dérive des continents et la tectonique des plaques d'Alfred Wegener.

Mesdames, Messieurs,

Avant de céder la parole à notre éminent conférencier, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont répondu à notre invitation, je leur souhaite la bienvenue, je voudrais aussi remercier et féliciter tout le personnel de l'Académie du Royaume, de l'Ambassade de Suisse au Maroc qui nous ont assuré les meilleures conditions pour célébrer cet anniversaire.

Merci à tous.

Pr. Rachid Guerraoui vous avez la parole.

Intelligences artificielles : mythes et réalités

Rachid GUERRAOUI



Je voudrais partager avec vous quelques réflexions sur l'IA. Mon discours ne s'adresse pas à des spécialistes mais si des spécialistes présents dans la salle veulent poser des questions et creuser certains points, je suis à leur disposition.

Mon objectif est de démystifier cette notion d'IA, d'expliquer ce qu'il y a derrière en termes simples, et de voir comment on peut "surfer sur la vague" de l'IA sans se faire écraser par celle-ci, parce que cette vague peut des fois ressembler à un tsunami qui peut balayer aussi bien notre culture, nos emplois, notre économie, etc.

Voici donc les 3 questions rhétoriques que je vais un peu traiter dans cette conférence: Qu'est-ce que l'IA? D'où vient sa puissance? Quelles sont ses limites?

I. Qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle?

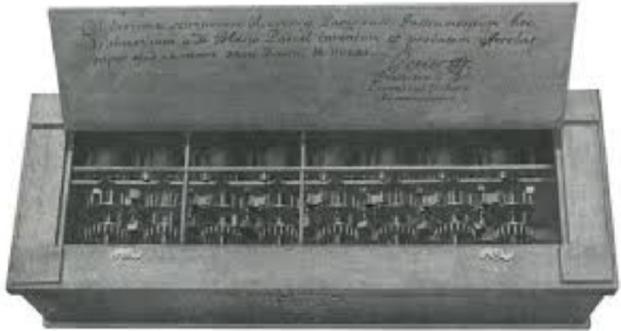
Plusieurs définitions existent pour l'IA mais si on revient à celles données par son créateur, Alain Turing (qui fêtait son anniversaire hier), l'IA peut être définie comme la *"capacité d'une machine à résoudre un problème que seuls les humains pensaient résoudre"*. C'est une définition qui rejoint un peu le test de Turing pour ceux d'entre vous qui se sont intéressés à la question.

Permettez-moi d'illustrer cette définition sur quelques exemples.

Il y a quelques siècles, un jeune ingénieur mathématicien (Blaise Pascal), voyant son père s'échiner à faire des calculs de comptabilité chaque soir, a décidé d'aider son père et de lui fabriquer une machine (qu'on appela Pascaline plus tard) qui faisait des additions. A l'époque, on considérait que cette *Pascaline* était une intelligence artificielle car elle réalisait un calcul que nous pensions réservé aux seuls humains; d'ailleurs, on raconte que l'église a fini par brûler les quelques exemplaires qui existaient, car elle considérait que c'était l'œuvre du diable.



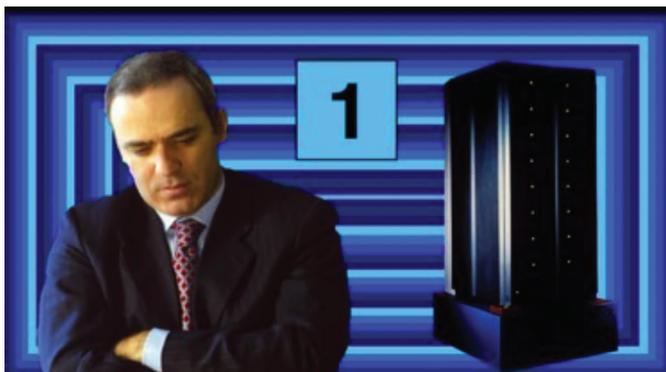
Blaise Pascal



La Pascaline

Quelques siècles plus tard, l'addition n'était plus quelque chose de réservé à l'humain; par contre, d'autres activités étaient considérées comme réservées à l'humain comme par exemple les jeux d'échecs. C'était considéré comme le signe ultime d'intelligence humaine. Au lendemain de la guerre froide, l'URSS avait de grands joueurs d'échecs qui battaient à plate couture les américains et la propagande soviétique considérait que c'était le signe de l'intelligence du régime soviétique par rapport au régime «décadent» américain.

Deep Blue: 1997. Pour se rattraper, les américains vont fabriquer une machine IBM qui allait quelque part «venger» les joueurs américains et battre les soviétiques. C'était considéré comme impossible à l'époque: il y a des émissions de *France Culture* en particulier qui racontent cette épopée de la machine contre l'homme. Au début, le KGB était persuadé que c'était de la triche, qu'il était impossible qu'une machine batte l'homme aux échecs. Mais on appela cela de l'Intelligence artificielle. Aujourd'hui, le moindre téléphone peut *download* des jeux d'échecs et battre tous les champions du monde en une fraction de seconde. Mais c'était considéré comme de l'IA, il n'y a pas si longtemps. Aujourd'hui, ça ne l'est plus. L'effet de surprise est passé.



Jeopardy: 2011. Et puis quelques années plus tard, on a considéré que la maîtrise des jeux d'échecs n'était pas vraiment un signe d'intelligence car il s'agit "juste d'explorer un champ de possibilités" et les machines peuvent faire ça vite, et donc ce n'est pas étonnant qu'elles battent les humains. Par contre, il y a des jeux comme "*Questions pour un champion*", ou sa version américaine "Jeopardy", qui seraient plus de l'intelligence, car il faut analyser une question, aller chercher la réponse, etc. et on pensait que c'était impossible qu'une machine y arrive. IBM toujours, avec l'aide de certaines universités américaines, réussit à faire une machine qui va battre tous les concurrents de Jeopardy. Là on s'est dit "ça c'est de l'IA".

Plus tard, on a pensé que tout ça ce n'était que des jeux, mais qu'il y a peut-être des activités spécifiques à l'être humain, comme l'art par exemple: peindre des tableaux qui ressembleraient à ceux des grands maîtres. Et là on a pensé que les machines ne pourront jamais égaler l'homme. On s'est de nouveau trompé car une petite boîte hollandaise a réussi à concevoir des algorithmes qui imitent Rembrandt (2016)

Quand on y pense à posteriori, ce n'est pas surprenant car un tableau est un ensemble de pixels, donc de points de différentes couleurs, en particulier blanc et noir avec des nuances de gris. Et si on voit un petit peu ce que faisait Rembrandt par rapport aux sous-ensembles de points, on peut se dire: un algorithme pourrait faire la même chose. Et c'est ce qui s'est passé: un algorithme a reproduit un chef d'œuvre, et les experts du musée ne pouvaient plus distinguer le vrai Rembrandt du faux. Et là on a dit: ça c'est de l'IA.



Et puis, il y a eu d'autres effets de surprise; je cite rapidement:

- **Le poker: 2018.** La caractéristique du poker est qu'il faut mentir pour gagner et on pensait que le mensonge était le propre de l'homme et que la machine ne pourrait pas mentir. On s'est trompé : des ingénieurs ont créé

des machines qui, à Las Vegas, ont battu les meilleurs joueurs de poker en imitant l'homme dans le sens où elles bluffaient aussi;

- **Le jeu de Go (2017)** qui est différent des jeux d'échecs parce que le nombre de possibilités, même pour l'ordinateur le plus puissant, est impossible à parcourir. L'ordinateur ne pourra pas tout contrôler: il faut de l'intuition et un petit peu de hasard. Et là, pareil, certaines sociétés ont créé des algorithmes qui ont battu des humains au jeu de Go (2017), ce qui était considéré comme impossible avant.

Ce qui est très intéressant, c'est que si la première version de la machine qui a battu le champion du monde avait été entraînée par des champions de GO, la 2^{ème} version par contre s'est entraînée toute seule: on a commencé à faire des algorithmes qui s'entraînent tous seuls; on leur donne juste les règles et puis l'algorithme joue contre lui-même, se trompe, apprend, améliore sa stratégie et au bout d'un certain temps, bat tout le monde. C'est effrayant quand on pense à la complexité de ce genre de jeu.

Alors si on a parlé beaucoup de jeux, c'est que souvent, cela a été utilisé comme une espèce de benchmark, de référentiel pour montrer à quel point les ordinateurs, les machines pouvaient aller loin.

Évidemment, il y a d'autres domaines où on a été surpris par l'intelligence des machines, la médecine en particulier.

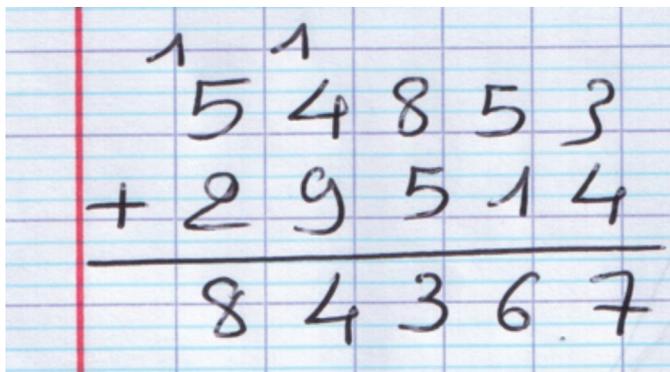
Si je prends une photo d'un grain de beauté et que je l'envoie à un ordinateur, il va me dire si j'ai une probabilité d'avoir un cancer beaucoup plus fiablement que les meilleurs dermatologues du monde. A ce propos justement, les algorithmes sont beaucoup plus efficaces que les humains pour détecter certaines maladies à partir d'images radio. Donc, dans certains domaines comme la médecine, on a déjà dépassé l'être humain et on a dit que c'était de l'IA. Bien entendu, ces algorithmes sont à la base créés par des informaticiens chevronnés, en coopération avec des médecins; mais ils peuvent traiter beaucoup plus de données que tous les médecins réunis, 24h/24h et hyper vite. Ils sont capables de cela grâce aux systèmes informatiques sur lesquels ils sont déployés.

Pour avancer dans la définition de Turing, de ce qu'est l'IA, vous remarquerez que cette définition est très relative, très éphémère, puisque l'effet de surprise passé avec le temps rend la notion de l'IA un peu trouble, un peu floue.

En fait, je n'aime pas trop le mot IA : son seul avantage, c'est qu'il permet en général de remplir les salles.

Je vais néanmoins faire avec vous un petit bout d'histoire pour essayer de comprendre pourquoi, aujourd'hui, les ordinateurs sont devenus aussi extraordinaires.

Il faut revenir très loin en arrière pour comprendre ce qui se passe aujourd'hui. Aujourd'hui, on dit que l'IA est la capacité d'une machine à résoudre un problème que l'on pensait réservé aux humains. Si l'on se projette quelques siècles en arrière, on avait presque la même situation; sauf qu'à la place des machines, on avait des mathématiciens dont le but était d'aider leurs semblables pour qu'ils puissent aussi résoudre des problèmes, comme s'ils étaient des mathématiciens. On voulait donc que les gens "normaux" aient l'air intelligent, comme les machines le sont considérées aujourd'hui. Prenons le cas de l'addition: au neuvième siècle, on ne savait pas faire des additions; mis à part quelques mathématiciens, personne ne savait faire des additions. Vous allez me dire, c'est facile les additions. Sauf qu'en ces temps-là, on utilisait les chiffres romains. Et si vous écrivez 2 grands nombres avec des symboles romains, pour les rajouter l'un à l'autre, c'est incroyablement compliqué. Il a fallu beaucoup d'ingéniosité à certains mathématiciens pour changer de représentation des données, d'aller vers une représentation astucieuse des symboles qui permettent la fameuse retenue que l'on fait dans l'addition.



A handwritten addition on blue-lined paper. A vertical red line is on the left. The numbers are written in black ink. The first number is 54853, with a '1' written above the '5'. The second number is 29514, with a '+' sign to its left. A horizontal line is drawn below the second number. The result is 84367, with a '1' written above the '8'. The carry-over is shown by the '1' above the '5' in the first number and the '1' above the '8' in the result.

$$\begin{array}{r} 1 \quad 1 \\ 54853 \\ + 29514 \\ \hline 84367 \end{array}$$

Nous sommes au 9^{ème} siècle, dans la cour de Bagdad. Le grand Calife Al Mamoune avait demandé à un grand mathématicien, Al Khawarizmi en l'occurrence, de faire en sorte que tout le monde puisse effectuer des additions.

Le grand Calife de Bagdad, Aaron le Sage, celui des mille et nuits, voulait que sa ville soit plus prestigieuse que Byzance; il décida d'y construire une grande bibliothèque et d'y avoir les plus grands ouvrages de l'époque; Il engage entre autres un jeune traducteur, dénommé Mohammed Alkhawarizmi et lui ordonne de



AL KAHAWARIZMI



EUCLIDE

traduire “Les Eléments d’Euclide” en Arabe. Après la mort du Calife, son fils cadet devenu Calife a la place de son frère aîné qu’il venait d’assassiner, voulut aller plus loin que son père: non seulement il voulait que Bagdad soit plus prestigieuse que Byzance, mais que le peuple de Bagdad soit plus instruit que celui de Byzance; Il édifia le Collège de Bagdad et, signe extrême de sagesse, employa des professeurs, les paya très bien et les invita à sa cour.

En particulier, il demanda à son traducteur, passé au statut de professeur de mathématiques, d’enseigner au plus grand nombre comment résoudre des calculs complexes; Al Khawarizmi rédigea un livre de recettes appelé Algèbre; parmi celles-ci, il y en avait par exemple une destinée aux juges: Il s’agissait d’une recette leur permettant de savoir quelle surface d’un terrain revenait à chaque héritier; plus précisément, il fallait calculer la largeur d’un carré de terrain, dont la surface rajoutée à la surface des autres héritiers, plus ou moins une valeur soit égale à une certaine valeur. Les paramètres de cette équation, que nous appelons aujourd’hui équation du second degré, dépendaient bien entendu du nombre d’héritiers, mais aussi de la religion du défunt: juif, musulman, chrétien, zoroastrien.

Qu’a donc fait Al Khawarizmi en fait? Il a fait de l’IA parce qu’il a permis à n’importe qui d’avoir l’air intelligent en lui proposant un algorithme¹ d’addition.

1- Algorithme (*)

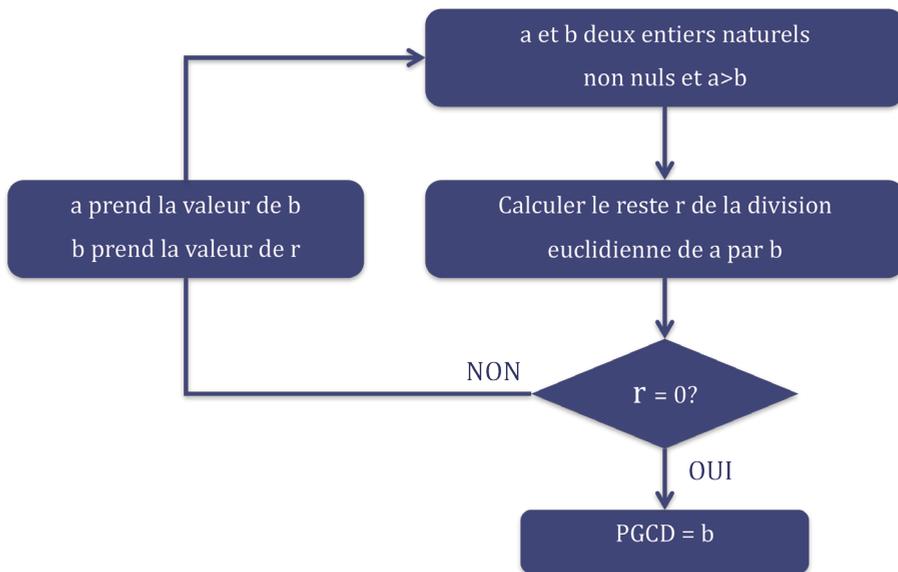
Le mathématicien de l’époque utilisait des identités remarquables; un mathématicien plus altruiste, Al Khawarizmi, proposa une recette pour que l’homme de loi puisse résoudre l’équation et déterminer x : la longueur du carré de terrain qui revenait à chaque héritier.

Pendant plusieurs siècles, les mathématiciens altruistes proposaient des algorithmes : n’importe qui pouvait exécuter ces algorithmes (sans forcément comprendre pourquoi ça marchait)

Un moine, Adelard de Bath, lut le livre Algèbre et suggéra quelques 3 siècles plus tard d’appeler ces recettes des algorithmes.

Le calculateur était l’être humain: il se comportait comme une machine en suivant à la lettre les instructions de l’algorithme.

Et c'est exactement ce qu'on fait aujourd'hui: on donne à des machines des algorithmes qui leur permettent d'avoir l'air intelligent. Cette notion d'IA, a été appliquée jadis à des humains. Et avant Al Khawarizmi, il y en avait d'autres qui avaient fait cet exercice: Euclide avait déjà conçu des algorithmes permettant à n'importe qui de résoudre des problèmes. Et d'ailleurs AlKhawarizmi avait traduit Euclide, ce qui lui a probablement permis de comprendre tout un tas d'algorithmes.



Alors, un petit exemple que vous connaissez tous : quand vous essayez de résoudre une équation du second degré de type :

$ax^2 + bx + c = 0$ et vous faites $\Delta = b^2 - 4ac$ et vous continuez machinalement :



$x = -b/2a$ si $\Delta = 0$
 $x_0 = (-b - \sqrt{\Delta}) / 2a$ et $x_1 = (-b + \sqrt{\Delta}) / 2a$ si $\Delta > 0$
 Pas de solution sinon.

Vous faites de l'IA et vous faites la machine qui a l'air intelligente, parce que vous ne savez pas pourquoi ça marche. Mais si vous essayez de comprendre comment ça marche, c'est incroyablement compliqué. Ce sont des identités remarquables très complexes.

La notion d'IA s'appliquait à des humains, qui ont eu l'air intelligents.

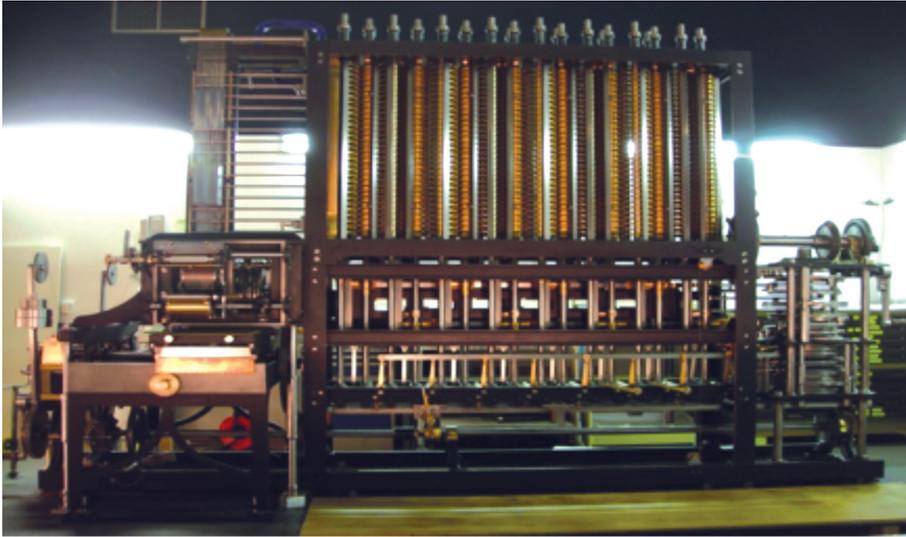
Là où les choses deviennent intéressantes, c'est qu'à un moment, on s'est dit : *«puisque les êtres humains peuvent avoir l'air intelligents en exécutant des instructions machinalement, pourquoi ne pas construire des machines qui font cela?»*

Et c'est exactement ce qu'a fait Pascal; il a juste franchi le pas en se disant que puisque les humains réalisent des additions sans réfléchir alors c'est à la portée d'une machine. Il a donc créé une machine dans laquelle il a câblé l'algorithme (je parle d'algorithme donc de recette). Et puis certains autres ingénieurs ingénieurs sont allés un peu plus loin. Leibnitz a construit une machine qui faisait des multiplications. Mais la machine de Pascal ne faisait que des additions et celle de Leibnitz que des multiplications. L'algorithme, le procédé, était câblé dans la machine.

Quelques siècles plus tard, on s'est dit : *«mais pourquoi ne pas faire une machine qui ressemblerait à l'être humain dans le sens où on lui donnerait l'algorithme (la procédure)? La machine digérerait cet algorithme et ensuite elle l'exécuterait».*

Plusieurs scientifiques ont essayé de faire cela, dont la fameuse Ada Lovelace que certains d'entre vous connaissent peut-être et que j'aime beaucoup citer pour rappeler aux jeunes femmes que le numérique (ou l'informatique) n'est pas une science masculine. La première personne qui a essayé de construire une machine qui ressemblerait à l'être humain dans le sens où elle pourrait apprendre pleins de recettes (ou d'algorithmes) et les exécuter était une femme. Malheureusement, elle est décédée assez jeune et n'y est pas arrivée.

Celui qui y est arrivé est un certain Alain Turing qui lui a vraiment fait de l'IA dans le sens où il a créé une machine à laquelle on pouvait apprendre des techniques. On pouvait lui apprendre des algorithmes d'addition, de multiplication, etc...; il ne fallait pas le câbler dans la machine. C'est cette machine universelle de Turing, qui nous permet aujourd'hui d'avoir des machines qui font plein d'algorithmes. Sans la notion de machine universelle de Turing, on aurait aujourd'hui des ordinateurs pour les additions (comme la machine Pascal), des ordinateurs pour les multiplications (comme la machine de Leibniz), ou alors un algorithme pour projeter des transparents, etc. Cette notion de machine universelle c'est, quelque part, très proche de l'humain dans le sens où il suffit de nous dire quoi faire et en général on y arrive. Cette machine universelle a été un grand tournant dans l'histoire du numérique.



Machine universelle

Le premier développement ou production de machines en masse a commencé en 1954, suivant le modèle de Turing qui savait faire plein de choses. **C'est à ce moment-là que l'IA a, comme on dit aujourd'hui, pris son envol.**²

Algorithmes + Machines = Numérique

Alors quels sont les 2 ingrédients de cette révolution, de ce tsunami que l'on voit aujourd'hui? Moi je préfère parler d'algorithmes et de machines. Les algorithmes existent depuis Euclide, Al Khawarizmi, ... et les machines existent

2- 1954 : IBM 650

Turing se suicida en 1954; il était traqué par la justice britannique au nom de valeurs peu universelles. L'année de sa mort coïncida avec le début de la production en masse des ordinateurs: Le 1^{er} ordinateur fourni en grande série: ce fut à l'informatique ce que fut la Ford T à l'automobile. A peine ½ million de dollars; il tenait dans une seule pièce et pouvait inclure 2000 mots. L'importation en France posait un problème: comment appeler cette machine; Jacques Perret, professeur à la Sorbonne pensa à «Congesteur» ou «Digesteur» mais se ravisa, «Synthétiseur» ne parût pas assez nouveau pour désigner un nouvel objet à «markertiser»; Il proposa «Ordinateur». Adjectif désignant Dieu qui met de l'ordre dans le monde dans le Littré. IBM en garda le nom jusqu'en 1965

Tous les ordinateurs ont depuis été conçus suivant le modèle universel de Turing. C'est grâce à cette universalité que nous pouvons aujourd'hui acheter un ordinateur pour tout faire. Autrement, il faudrait un ordinateur pour aller sur Internet, un autre pour faire des calculs, un troisième pour écrire ou faire des présentations comme celle-ci, etc. Par ailleurs, c'est aussi grâce à cette universalité que nous avons aujourd'hui une science informatique; nous avons développé une approche conceptuelle qui nous permet de prouver des algorithmes en prouvant leurs propriétés de manière abstraite; de les tester sur une machine et de les déployer sur une autre, car nous savons que toutes les machines obéissent au même modèle.

depuis Alain Turing. Et c'est la combinaison des deux qui fait qu'on arrive à battre les humains au jeu de Go, aux échecs, etc. Et cette combinaison des 2 a un nom : le numérique ou les sciences du numérique.

Donc ce qui nous étonne en fait aujourd'hui, c'est le résultat de 2 choses : une branche des mathématiques et des technologies (les machines). Cette combinaison-là s'est avérée incroyablement puissante.

L'IA est juste une prouesse du numérique, à un moment donné

Je voudrais donc relativiser officiellement cette notion d'IA : l'IA n'est qu'une prouesse à un moment donné du numérique. C'est juste un exploit du numérique qui nous semble étonnant et on dit : «ça c'est de l'IA» et puis le lendemain, on n'appelle plus ça comme ça. Ce qui est fondamental par contre, c'est la science du numérique.

II. D'où vient la puissance du numérique?

Je vous ai déjà donné quelques éléments en vous disant que c'est la combinaison des algorithmes et des machines. Mais il n'y a pas que ça. Ce qui fait qu'aujourd'hui, le jeu de Go, le jeu d'échecs, les dermatos sont des jeux ou des métiers mieux exercés, mieux joués par des machines, c'est plus que «la machine et l'algorithme». Il y a eu quelques éléments fondamentaux dont je vais vous donner un petit aperçu parce que ces éléments fondamentaux non seulement expliquent la puissance du numérique mais ils expliquent aussi les dangers du numérique. Ce sont les mêmes.

Donc d'où vient la puissance du numérique? Il y a deux ingrédients : l'algorithme et les machines. Je vous ai parlé des algorithmes d'addition, des algorithmes de multiplication, qui sont très puissants; mais **il y a eu une rupture dans la conception des algorithmes et cette rupture-là a consisté à concevoir des algorithmes qui s'amélioraient avec le temps.** L'addition, la multiplication ne s'améliorent pas avec le temps. C'est vous qui vous améliorez.

1. Des algorithmes qui apprennent

La petite rupture a consisté à dire «et si on faisait comme les enfants !». C'est encore dans un article d'Alain Turing de 1942, je pense, où il explique que si on voulait vraiment créer de l'intelligence artificielle, il faudrait démarrer par des algorithmes simples, comme le cerveau d'un enfant, lui permettre d'essayer des choses et d'apprendre. Donc des algorithmes qui apprennent.

Si vous regardez aujourd'hui sur YouTube, vous allez voir qu'il vous recommande des choses et qu'il fait de moins en moins de fautes sur ce qu'il vous recommande. Ce qu'il va vous proposer au bout d'un certain temps va de plus en plus vous plaire. Et les statistiques montrent que, par exemple sur

YouTube, les 2/3 de ce que vous regardez sont des choses que l'algorithme de YouTube vous a proposé, que vous n'avez pas choisi. Bien sûr, ça ne marche qu'au bout d'un certain temps parce que l'algorithme apprend. Qu'est-ce qu'il apprend? Il apprend ce que vous avez aimé et ce que vous n'avez pas aimé. On n'est plus dans l'addition. C'est comme un agent immobilier qui démarre son travail ; le premier jour, il essaie de vendre un appartement. Un couple arrive auquel il essaie de montrer les avantages de cet appartement en disant par exemple qu'il y a une cour à l'intérieur de l'immeuble dans laquelle les enfants peuvent jouer et si ça se trouve, il va faire peur à ce couple qui n'a pas d'enfants et qui ne veut pas que les enfants jouent dans la cour. En faisant cette erreur et d'autres, il va apprendre à reconnaître des clients et affiner son algorithme. C'est exactement ce que fait YouTube : c'est comme un agent immobilier qui apprend le métier. Et aujourd'hui, les algorithmes qui nous surprennent sont des algorithmes qui, comme un enfant, apprennent leur métier en se trompant au début, et ça, c'est crucial.

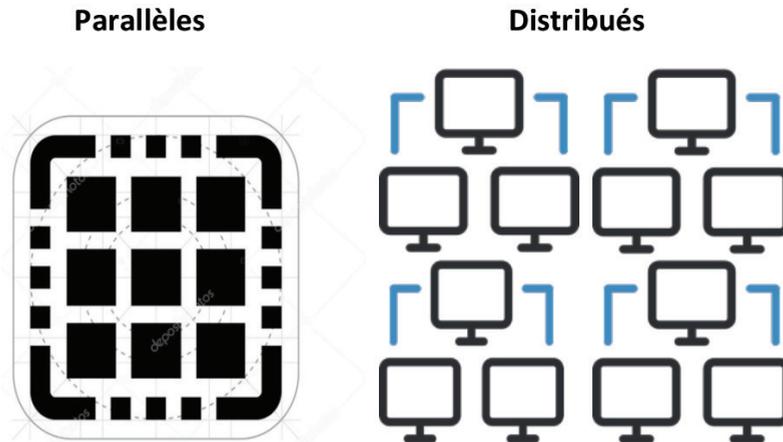
Donc, la capacité de se tromper est ce qui rend l'algorithme intelligent au bout d'un certain nombre de fois; et ça, c'est le premier ingrédient qui explique le pourquoi de la puissance des machines. Le deuxième étant de pouvoir mettre des machines en réseau et c'est ce que je vais présenter maintenant.



2. Des réseaux de machines

Encore une fois, je fais un très bref rappel historique. 1954, IBM a commencé à construire ses premières machines. Les processeurs (le coeur de la machine) étaient construits par Intel, une boîte américaine. L'un des ingénieurs créateur d'Intel, Gordon Moore, avait prédit que tous les 18 mois, la vitesse des processeurs allait doubler. Sa prédiction a tenu quelques années mais au bout d'un moment, on s'est aperçu que si sa prédiction durait encore, chaque ordinateur dégagerait en 2020 autant de chaleur que le soleil. Donc, cette manière de faire ne pouvait pas durer. On a alors réalisé qu'on pouvait atteindre le même résultat en mettant ensemble les ordinateurs. Il y a eu ce qu'on appelle la **mise en réseau**, soit l'infiniment petit des processeurs dans une machine, soit l'infiniment grand sur Internet.

Cette mise en commun des machines, combinée avec des algorithmes qui apprennent parce qu'elles ont une grande quantité de données qu'elles peuvent utiliser, explique pourquoi les choses sont allées très vite.



- 1960 : la machine distribuée

Au lendemain de la 2^{ème} guerre mondiale, les américains avaient compris l'utilité de l'ordinateur; en particulier, leur ministère de la défense. Des informations stratégiques militaires étaient stockées dans un ordinateur et traitées par des algorithmes. Comme on le voit parfois dans les films, ils y stockaient les dossiers des agents secrets, (les leur et ceux des autres). Les soviétiques étaient un peu en retard sur les ordinateurs mais ils avaient des fusées. Et quand ils ont lancé leur Spoutnik, les américains ont eu peur de se faire bombarder leur système informatique avec toutes les données critiques.

La solution adoptée par les américains était simple, en tout cas en apparence: il fallait dupliquer ces informations sur plusieurs ordinateurs et les mettre à différents endroits du pays, certains sur la Côte-Est et d'autres sur la Côte-Ouest; si un site était bombardé les données n'étaient pas perdues. Seulement, en cas de mise à jour de ces informations il était important que les duplicas soient dans le même état. Si on décidait que 007 n'avait plus le droit de tuer, il fallait que l'information soit mise à jour sur l'ordinateur de la Côte-Est ainsi que celui sur la Côte-Ouest.

Kleinrock, étudiant au MIT à l'époque, proposa le protocole TCP IP pour faire communiquer les ordinateurs: le réseau était né; chaque modification faite sur un ordinateur était répercutée sur les autres à travers le protocole de communication. On commença à parler de clients et de serveurs: les serveurs étaient les machines stockant les données critiques dupliquées et les clients étaient les machines utilisées pour accéder à ces données et les mettre à jour à travers le réseau. C'étaient les machines utilisées par les généraux et les chefs des services secrets.



Atomicité: illusion d'une unique machine

L'algorithme chargé de la coordination entre les clients et les serveurs était un algorithme réparti: parmi ses instructions élémentaires, il y avait des envois de message. L'objectif de cet algorithme était d'assurer deux propriétés: la robustesse et l'atomicité. La robustesse signifie que si une machine serveur est bombardée, les clients peuvent continuer à accéder à l'autre : L'atomicité signifie que les serveurs étaient perçus par les clients comme une seule machine. Soit 007 a le droit de tuer, soit pas: les serveurs devaient à tout moment avoir la même information, ou du moins en donner l'illusion. Assurer cette propriété d'atomicité signifiait que le réseau, et plus exactement les serveurs, agissait comme une machine de Turing. Transposer le modèle universel de Turing sur une machine répartie par un réseau revenait à assurer cette propriété d'atomicité.

- 2000 : la machine parallèle



Pourquoi ce résultat sur la mémoire partagée est important?

Je vous ai dit tout-à-l'heure que la guerre froide a révolutionné l'informatique de l'infiniment grand grâce à l'invention des réseaux, qui nous a donné Internet mais qui nous a fait perdre l'universalité. Mais je vous ai dit aussi qu'il y a eu un autre phénomène qui a révolutionné l'informatique de l'infiniment petit pour le meilleur, c'est-à-dire l'efficacité et le pire, c'est-à-dire la perte de l'universalité.

Laissez-moi vous en dire quelques mots :

En 1950, les premiers ordinateurs étaient massifs et lents. Mais tous les ans, ils diminuaient de taille et doubleraient de vitesse: cela était dû aux nouveaux processeurs qui venaient remplacer les anciens, et dont les fréquences d'horloge étaient de plus en plus élevées. C'était une aubaine et une ode à la patience pour les informaticiens qui voyaient leur algorithme aller de plus en plus vite sans faire d'effort. Le même algorithme, pour trouver des nombres premiers, allait deux fois plus vite; l'algorithmicien n'avait besoin de rien changer. En fait, c'est le service financier qui devait mettre la main à la poche pour acheter le nouvel ordinateur muni d'un processeur plus rapide.

Mais cette accélération des performances a dû s'arrêter autour de l'an 2000 à cause de la chaleur dégagée par ces processeurs. En 2000, la chaleur dégagée sur 1 cm par un processeur était celle d'une assiette chaude; le directeur de la recherche de l'un des plus grands constructeurs prédisait qu'à ce rythme, en 2010, les processeurs Intel allaient dégager autant de chaleur que la surface du soleil. Décider d'arrêter l'accélération des performances n'était pas une option pour ces constructeurs : chez ces gens-là, on ne décélère pas Monsieur, on ne décélère pas, on parallélise.

Ils adoptèrent une autre stratégie: en bref, garder des processeurs avec les mêmes fréquences d'horloge, mais en mettre plus au centimètre carré. Pour accélérer les performances d'un algorithme quand une nouvelle machine arrivait, les informaticiens devaient cette fois travailler; il leur fallait distribuer leur algorithme sur les différents processeurs et cela n'est pas trivial; l'ode à la patience s'est transformée en ode à l'algorithme répartie. Et comme on l'a vu, cet algorithmique n'est pas facile et réserve des surprises. Il est important de noter qu'il s'agit ici, en tout cas en apparence, d'une autre forme d'algorithmique distribuée par rapport à celle que nous avons vu il y a quelques instants; le but ici n'est pas de répartir pour tolérer les défaillances ou les bombardements d'ordinateurs, mais de répartir pour aller vite.

Illustrons cela sur un exemple simple, inspiré lui aussi des nombres premiers.

Algorithmique répartie

Je vais aller un peu plus vite ici, juste pour vous donner une idée de la puissance des machines et des algorithmes quand on les met ensemble. Il y a aujourd'hui une discipline du numérique qui s'appelle ***l'algorithmique répartie***. Quand vous faites une addition, l'algorithme n'est pas réparti (on commence, on termine), quand vous faites une multiplication, l'algorithme n'est pas réparti. De plus en plus aujourd'hui, les algorithmes qu'on conçoit mettent en œuvre plusieurs machines et cela crée non seulement de la rapidité et de la fiabilité mais en plus une forme d'intelligence particulière. Je vous donne un petit exemple : supposons qu'on vous mette au défi de jouer contre Karpov et Kasparov et qu'on vous dise, si vous perdez contre les deux, vous serez puni. Vous n'avez pas la possibilité de perdre contre les deux, vous pouvez faire un match nul, perdre contre un mais gagner contre l'autre, mais ne pas perdre contre les deux. Comment est-ce que vous feriez?

Alors je n'ai pas le temps de développer l'argument qui est assez simple : vous séparez les deux en les mettant dans deux salles différentes. Vous demandez à Karpov de commencer. Karpov joue les blancs. Vous allez dans l'autre salle et vous jouez le jeu de Karpov contre Kasparov. Vous attendez que Kasparov joue et vous revenez dans la salle de Karpov pour jouer le jeu de Kasparov (contre vous) contre Karpov. Il est évident que Si Karpov vous bat, cela veut dire que vous avez battu Kasparov. Donc soit vous faites deux matchs nuls, soit vous perdez contre l'un et gagnez contre l'autre.



Cette notion-là, c'est une autre forme d'algorithmique qui est ce qu'on appelle de l'algorithmique répartie. C'est là-dessus que je travaille personnellement et **c'est un domaine fascinant où une espèce d'intelligence vient du fait qu'on combine les machines de Turing, on combine les intelligences**. Et vous rajoutez cet ingrédient-là aux algorithmes qui apprennent et à la puissance des

machines et vous avez un monstre, un tsunami du numérique incroyable que l'on voit aujourd'hui. Et ce n'est pas étonnant qu'aujourd'hui, l'industrie du monde moderne et faite de sociétés du numérique aux États-Unis et en Asie particulièrement.

L'industrie du monde moderne

C'est important de s'arrêter un peu sur cette économie car si vous regardez l'histoire de ces sociétés, qui sont des géants aujourd'hui de l'économie, ce n'est pas des héritiers qui les ont fondés. Bill Gates, Mark Zuckerberg,... sont des ingénieurs qui ont eu des idées géniales, utilisé des machines qui étaient autour d'eux, pour créer des algorithmes qui ont chamboulé le monde.



Donc c'est une économie particulière qui ne part quasiment de rien. Les ordinateurs sont là, ils sont de moins en moins chers; mon téléphone portable est plus puissant que l'ordinateur qui a envoyé les premiers hommes sur la lune en 1970. Il suffit maintenant d'idée, d'algorithme. Et cette économie-là rabat les cartes; il n'y a pas besoin de posséder des puits de pétrole en Arabie Saoudite ou au Texas pour devenir riche. Et si vous regardez les gagnants de la crise, c'est aussi ça, des boîtes venues de nulle part.



Les gagnants de la crise

L'histoire de **Zoom** par exemple est extraordinaire. Un jeune chinois avait vu Bill Gates lors d'un exposé en Chine. Il a décidé d'émigrer à la Silicon Valley pour travailler chez Microsoft. On raconte qu'il a passé 8 fois le test du Visa pour aller aux USA et ne réussit qu'à la neuvième tentative. En arrivant aux USA, il travaille chez CISCO (l'ancêtre de Zoom qui était à San Francisco) et eut l'idée de paralléliser les algorithmes. CISCO n'étant pas intéressé, il créa sa start-up ZOOM, qui maintenant est plus riche qu'IBM.

III. Quelles sont les limites du numérique?

Il se trouve qu'on a des réponses, quelques réponses aux limites de l'IA.

1. La première des choses que l'on sait, c'est que **les algorithmes ne pourront jamais résoudre tous les problèmes** et cela on le sait depuis 1936, année de création de la machine universelle par Alain Turing. Mais avant de créer la machine universelle, il a d'abord démontré, comme par humilité, que les algorithmes ne pourront pas tout faire. Que ce soit sur sa machine ou toute autre machine. Et la démonstration de cela (qui n'est pas compliqué d'ailleurs une vidéo sur YouTube la reprend³) est une incarnation de l'intelligence la plus épatante que j'ai vu.

En gros, c'est très simple⁴ : ***l'ensemble des problèmes, que nous souhaitons résoudre, est plus grand que l'ensemble des algorithmes, qui nous permettraient de les résoudre.*** Alors là, on se dit: «mais l'ensemble des algorithmes est infini» (puisque un algorithme, c'est de procédures, c'est par un alphabet...). L'ensemble des problèmes aussi est infini. Mais les infinis ne sont pas tous égaux. C'est comme l'ensemble N et l'ensemble R. L'ensemble N est dénombrable, il est plus petit que l'ensemble R, infiniment plus petit. On a donc des infinis qui ne sont pas les mêmes. L'ensemble des algorithmes est infini mais infiniment plus petit que l'ensemble des problèmes.

On sait donc depuis 1936 que les algorithmes ne pourront pas tout faire; par contre, ils pourront résoudre une infinité de problèmes et on sait qu'il y a des problèmes très importants et très intéressants qu'ils ne pourront pas résoudre. On en connaît de plus en plus.

3- Il s'agit d'une démonstration juste fascinante d'un allemand qui s'appelle Georg Cantor (Cantor, l'homme qui défia l'infini).

4- Il y a cette théorie qui dit que si vous répétez aux gens que quelque chose est simple, il y a comme une sorte de pression et ils comprennent; on se dit si c'est simple, je devrais comprendre, on se concentre plus etc.

2. La deuxième chose qui est très importante, qui fait que le numérique a des limites; c'est ce que je vous ai dit tout à l'heure : *ce qui fait la force des algorithmes d'aujourd'hui, c'est «qu'ils essaient, ils se trompent et ils apprennent»*. La plupart des algorithmes d'aujourd'hui qui nous épatent se sont beaucoup trompés ou continuent de se tromper. Et dans le dernier article d'Alain Turing avant qu'il meure, il explique que, si l'on veut qu'un algorithme soit vraiment intelligent, il faut lui permettre de se tromper. Ça veut dire que l'Intelligence est intimement liée à la capacité de se tromper. Cela ne nous étonne pas mais quand notre avion, ou les appareils qui sont en train d'ouvrir nos cœurs sont régis par des algorithmes dont on sait que l'intelligence est liée à leur capacité de se tromper, cela nous fait peur⁵. Cette notion d'erreur dans les algorithmes est intrinsèquement liée à l'intelligence d'où le choix du titre de l'article de Turing (***La théorie hérétique d'Alain Turing***), parce qu'il prédisait déjà en 1952 que les machines allaient nous dépasser une fois qu'on leur aurait permis de se tromper. Là aussi pour l'église, en 1952, c'était considéré comme hérétique.

Je vais maintenant, sans rentrer dans les détails, examiner certains aspects pour vous donner juste des pistes dans lesquelles les chercheurs regardent aujourd'hui, dans mon équipe, dans d'autres équipes.



5- Mais, lorsque l'on met les ordinateurs en réseau, que ce soit des réseaux grands par la taille pour chercher la robustesse, ou petits pour chercher la rapidité, on sort de ce modèle universel.

La nouvelle créature, composée d'un ensemble de machines de Turing, est certes plus rapide et plus robuste qu'une seule machine, mais elle n'obéit pas toujours au modèle original de cette machine et nous ne nous rendons pas toujours compte immédiatement que cette nouvelle créature devient en quelques sorte incontrôlable.

"Nous sommes tous myopes quand il s'agit de notre propre discipline" aurait dit le Dr Frankenstein.

Pour quelle raison la machine obtenue par assemblage de machines sort elle du modèle de base et n'est plus universelle?

En 2010 par exemple, 800 milliards de dollars disparaissent de la Bourse de Wall Street.

Le marché se retrouve en fait dans une situation inédite : les ordres automatiques de vente se multiplient alors même qu'il n'y a plus d'acheteurs. Ce qui explique l'effondrement des cours. En l'espace de quelques minutes, 862 milliards de dollars disparaissent. L'indice de référence de la Bourse de Wall Street, le Dow Jones, perd 10% d'un coup. Peu avant 15 heures, les cours se ressaisissent. Mais seulement en partie : Wall Street finira la journée en chute de 3,2%.

Algorithmes Naturels

Aujourd'hui, pour essayer d'éviter ou de réduire la probabilité d'erreur des algorithmes, on ne s'inspire pas forcément des humains mais plutôt de la nature.



Un exemple : si vous regardez des lucioles à la tombée de la nuit, au début elles scintillent dans tous les sens puis très vite, elles commencent à scintiller exactement en même temps. On se dit : comment est-ce qu'elles y arrivent? On sait aujourd'hui que les ordinateurs, on ne peut jamais les mettre d'accord sur une valeur (il y a un théorème important d'impossibilité du consensus)⁶; et pourtant les lucioles arrivent à se mettre d'accord mais on ne sait pas comment elles communiquent.

6- Impossibilité du consensus

Théorème (FLP85): aucun algorithme ne peut résoudre le consensus dans un réseau asynchrone avec envoi de message.

Lorsque l'on déploie un algorithme sur un ensemble de machines de Turing, elles n'arrivent pas toujours à se mettre d'accord sur l'ordre d'exécution des instructions de l'algorithme à cause du réseau, agissant parfois comme un semeur de Zizanie, même sans le faire exprès, en accélérant certaines communications et en ralentissant d'autres; l'accord devient impossible; l'algorithme ainsi déployé ne correspond plus

Donc on s'est inspiré non pas de l'homme mais de la nature pour quelque part faire des algorithmes plus fiables, plus puissants, ...



Je pourrais donner d'autres exemples comme les poissons qui décident parfois d'avoir une forme dont l'aspect est encore un poisson, plus gros que leur prédateur. Si ça ne marche pas, ils se fauflent dans un trou par lequel le prédateur ne peut pas passer. On se dit, mais comment diable ils y arrivent? Et on essaie de s'inspirer de cela pour faire une nouvelle génération de machines et d'algorithmes.

à celui escompté; on perd le modèle de la machine universelle de Turing et toutes les techniques de preuves, d'études de complexité et de tests développés pendant ce dernier demi-siècle; cela est grave car toute notre informatique aujourd'hui est répartie et le modèle dont on dispose a été développé dans le cas centralisé :

Le résultat a été généralisé plus tard de deux manières – d'abord en 1987

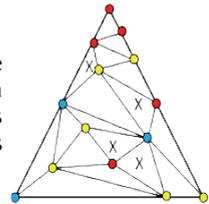
Alors que la version initiale du théorème suppose un réseau asynchrone dans lequel les machines ne communiquent que par envois de messages, ce résultat a été étendu en 1987 au cas où les machines communiquent par mémoire partagée: l'asynchronisme ici vient de l'absence de borne supérieure sur la vitesse relative des processus.

C'est la même technique de preuve qui a été utilisée en 2000.

Et s'ils sont n , non seulement ils ne peuvent se mettre d'accord sur une valeur mais ils ne peuvent pas se mettre d'accord sur $n-1$ valeur; en éliminer une.

Le lemme de Sperner en Topologie Algébrique

En fait, il existe une preuve plus générale en 1999 Godel Prize basée sur le Lemma de Sperner. En deux dimensions: toute subdivision du triangle en plus petits triangles possède un triangle qui a trois couleurs. Cela veut dire que 3 processus ne peuvent même pas décider deux valeurs.



En mathématiques, le lemme de Sperner, dû à Emanuel Sperner¹, est un analogue combinatoire du théorème du point fixe de Brouwer. Le lemme de Sperner affirme que chaque coloriage de Sperner d'une triangulation d'un simplexe de dimension n contient une cellule colorée de toutes les $n + 1$ couleurs. Le premier résultat de ce type fut démontré par Emanuel Sperner en 1928, en relation avec des preuves du théorème de l'invariance du domaine. Les coloriages de Sperner ont été utilisés pour des déterminations effectives de points fixes, dans des algorithmes de résolution d'équations, et sont employés dans des procédures de partage équitable.

Donc ça c'était juste des pistes.

Donc on s'est inspiré non pas de l'homme mais de la nature pour quelque part faire des algorithmes plus fiables, plus puissants, ...

Je pourrais donner d'autres exemples comme les poissons qui décident parfois d'avoir une forme dont l'aspect est encore un poisson, plus gros que leur prédateur. Si ça ne marche pas, ils se fauflent dans un trou par lequel le prédateur ne peut pas passer. On se dit, mais comment diable ils y arrivent? Et on essaie de s'inspirer de cela pour faire une nouvelle génération de machines et d'algorithmes.

Donc ça c'était juste des pistes.

J'en arrive à mes conclusions :

- L'intelligence artificielle, c'est une prouesse d'un domaine qui est la combinaison d'une science (sciences des mathématiques, les algorithmes) et d'une technologie. L'IA, c'est un mot qui quelque part, représente un effet de surprise; j'aimerais beaucoup que vous partiez avec cette idée-là. Ce qui est fondamental, c'est le numérique.
- La deuxième idée, c'est que le numérique, c'est justement la combinaison de ces deux choses et c'est crucial de le savoir. Je dis ça parce que, par exemple, il y a des formations qui se créent à droite et à gauche en disant «on va faire des experts d'IA». Et pour que quelqu'un soit expert en IA, il faut être expert dans les algorithmes et dans les machines. On ne peut pas faire l'un sans l'autre. On ne peut pas prendre juste un diplôme de statistiques et dire : vous êtes data scientists et vous allez faire de l'IA. Non. J'ai essayé de vous expliquer que la machine est cruciale, tout comme l'algorithme ou la mathématique. C'est la combinaison des deux qui est importante.
- La troisième chose que je voulais vous dire, c'est qu'aujourd'hui alors qu'on dit que l'erreur est humaine, en fait, l'erreur est aussi numérique. Les ordinateurs des temps modernes veulent ressembler aux hommes donc ils font des erreurs. Cela veut dire que quand on conçoit aujourd'hui des algorithmes qui vont nous aider dans la médecine ou dans d'autres aspects, on doit toujours s'attendre à ce qu'ils fassent une erreur. Dans les cours de Génie Logiciel, dans les cours de Master en Informatique, on essaie d'apprendre cela aux étudiants. Cela conditionne notre manière d'écrire et de sécuriser les programmes et de prendre des assurances sur les programmes.

Le numérique dans le NMD

Alors, pour conclure, j'aimerais juste dire un mot sur le «Nouveau Modèle de Développement», parce que j'étais impliqué là-dedans et on en parle parfois. Les gens posent cette question : «**est-ce que ce NMD est un algorithme?**». Est-ce que c'est une suite d'instructions qu'il suffit d'exécuter à la lettre pour qu'en 2035, on atteigne des objectifs. Alors la réponse est NON. Le NMD n'est pas un algorithme.

Les informaticiens, ou ceux qui ont fait du numérique appelleraient cela un **méta-algorithme**, c'est-à-dire une doctrine qui donne certaines directions, mais qui n'est pas un algorithme. Donc ce n'est pas un programme politique.

Dans ce NMD marocain comme dans d'autres NMD à Singapour ou en Corée, ... le numérique tient une place importante, cruciale. On estime que c'est le levier de développement de pays au 21^è siècle, d'autant plus, comme on a vu, que les cartes sont rebattues et on part presque tous à égalité.

Encore une fois, (j'utilise des mots qui peuvent sembler un peu langue de bois) pour libérer des énergies et pour permettre à tout le monde d'utiliser ce numérique, d'en faire une force, les 3 premières conditions nécessaires sont:

- La couverture, c'est-à-dire permettre à tout le monde d'accéder au numérique, d'y accéder dans de bonnes conditions,
- D'offrir des services qui permettent à tout le monde d'utiliser ce numérique,
- et troisièmement, de former, évidemment de grands chercheurs au numérique, mais aussi n'importe qui à utiliser ce numérique. Aujourd'hui, la nouvelle forme d'analphabétisme, ce n'est pas savoir utiliser un ordinateur.

Dans ce NMD, l'idée n'a pas été de dire "il faut investir dans l'informatique quantique" ou "il faut investir dans telle IA" (et les cabinets de consultants sont suffisamment bons pour écrire ce genre de choses). Dans des domaines comme cela, on ne sait pas de quoi sera fait le futur. Donc les rapports ceci ou cela, c'est pas sérieux. Quand on parle à des scientifiques, on vous dit on n'en sait rien. Ce qui est important, c'est de former les gens pour qu'ils puissent s'adapter, faire de nouveaux algorithmes,.... On ne peut privilégier aucun domaine par rapport à d'autres.

Je vous remercie de votre attention.



Audience de la conférence

Résumé

L'intelligence artificielle est la capacité d'un algorithme à solutionner sur un ordinateur un problème que seuls les humains pensaient résoudre. Elle suscite un scepticisme chez certains et un grand espoir chez d'autres. Elle peut à la fois détruire des emplois et diagnostiquer des maladies mieux que n'importe quelle équipe de spécialistes.

Qu'en est-il vraiment? Quelles sont ses limites intrinsèques? Comment la maîtriser? Comment former des compétences et encourager l'innovation en intelligence artificielle?

Rachid GUERRAOU est professeur d'Informatique à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), où il dirige le laboratoire de calcul distribué.

Après l'obtention de son doctorat en 1992 à l'Université de Paris-Sud, il a travaillé chez Hewlett-Packard dans la Silicon Valley et en tant que professeur invité au MIT à Boston.

Il a été élu ACM Fellow en 2012 et a été titulaire de la chaire d'informatique et de sciences numériques pour l'année 2018-2019 au Collège de France.

Son domaine de recherche porte sur la programmation concurrente et le calcul distribué. Il est auteur ou co-auteur de plusieurs centaines de publications; dans la base WOS (Web of science), son H index atteint 30 pour plus de 4136 citations; dans la base google son Hi, atteint même 72.

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Km 4, Avenue Mohammed VI - Rabat.**

Tél : 0537 63 53 77 • Fax : 0537 75 81 71

E-mail : acascitech@academiesciences.ma

Site internet : <http://www.academiesciences.ma>