



CentraleSupélec

ENJEUX DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Hugues Talbot & Emilie Chouzenoux

Professeurs

Centre de Vision Numérique

CentraleSupélec



CentraleSupélec

EXED

EXED



PRÉSENTATION

Professeur à CentraleSupélec en IA et Vision par Ordinateur depuis mai 2018.

Education

- Ingénieur Ecole Centrale 1989
- Master Recherche 1990 en Intelligence Artificielle
- Doctorat Ecole des Mines de Paris en 1993 en Morphologie Mathématique
- Habilitation à Diriger des Recherches Université Paris Est 2013 en Traitement du Signal et des Images

Expérience:

- Ingénieur SSII 1989-1990
- Ingénieur de recherche, Saint Gobain 1991-1994
- Chercheur associé, MIT 1991-1992
- Chercheur principal, CSIRO (Australie) 1994-2004
- Professeur, ESIEE Paris 2004-2018
- Professeur, CentraleSupélec 2018-présent



PLAN DU COURS

1- Introduction

- Histoire et enjeux de l'IA
- IA faible/IA forte : les limites de l'IA
- Aspect éthiques et juridiques

2- Panorama des techniques

3- Cas d'usage de l'IA



OBJECTIFS DU COURS

Comprendre les enjeux de l'intelligence artificielle

Identifier les opportunités

Acquérir le vocabulaire de l'IA

S'initier aux technologies de l'IA.



1- INTRODUCTION

- 1.1 Histoire et enjeux
- 1.2 Aspects éthiques et juridiques
- 1.3 IA forte / IA faible
- 1.4 Les limites de l'IA

1.1 HISTOIRE: LA PRÉHISTOIRE DE L'IA

C'est une question philosophique débattue depuis l'antiquité de savoir si une « machine », un être mécanique peut prendre la place de l'homme, en particulier s'il peut penser et prendre des décisions.

- Mythe du Golem: être d'argile contrôlé par un « chem »
- Les objets magiques dans divers mythes (épées avec une volonté propre par exemple)
- Autres exemples ?
- Monstre de Frankenstein, Fantasia



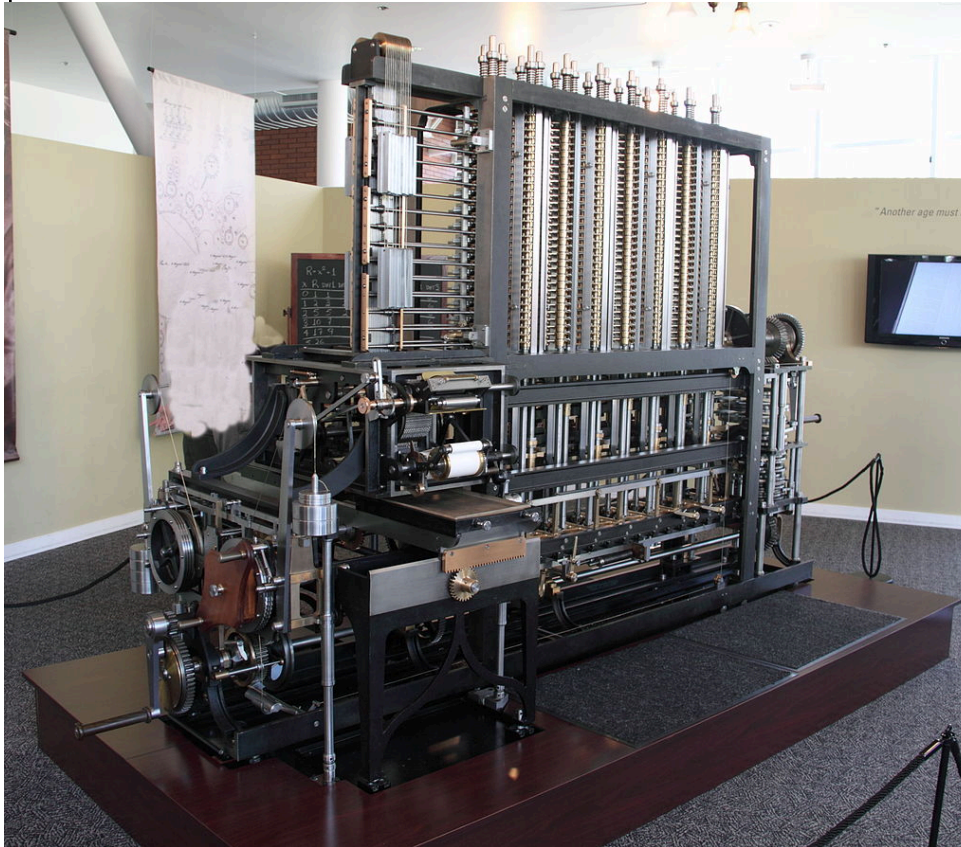
Rabbi Judah Loew et
son Golem

LE JOUEUR D'ÉCHEC MÉCANIQUE

Le « turc » de von Kempelen était un automate de la fin du XVIII^e siècle qui jouait aux échecs. Il était plutôt fort. En fait il s'agissait d'un canular. Il y avait un nain caché dans le faux mécanisme. Voir excellent article Wikipedia



LA MACHINE DE BABBAGE

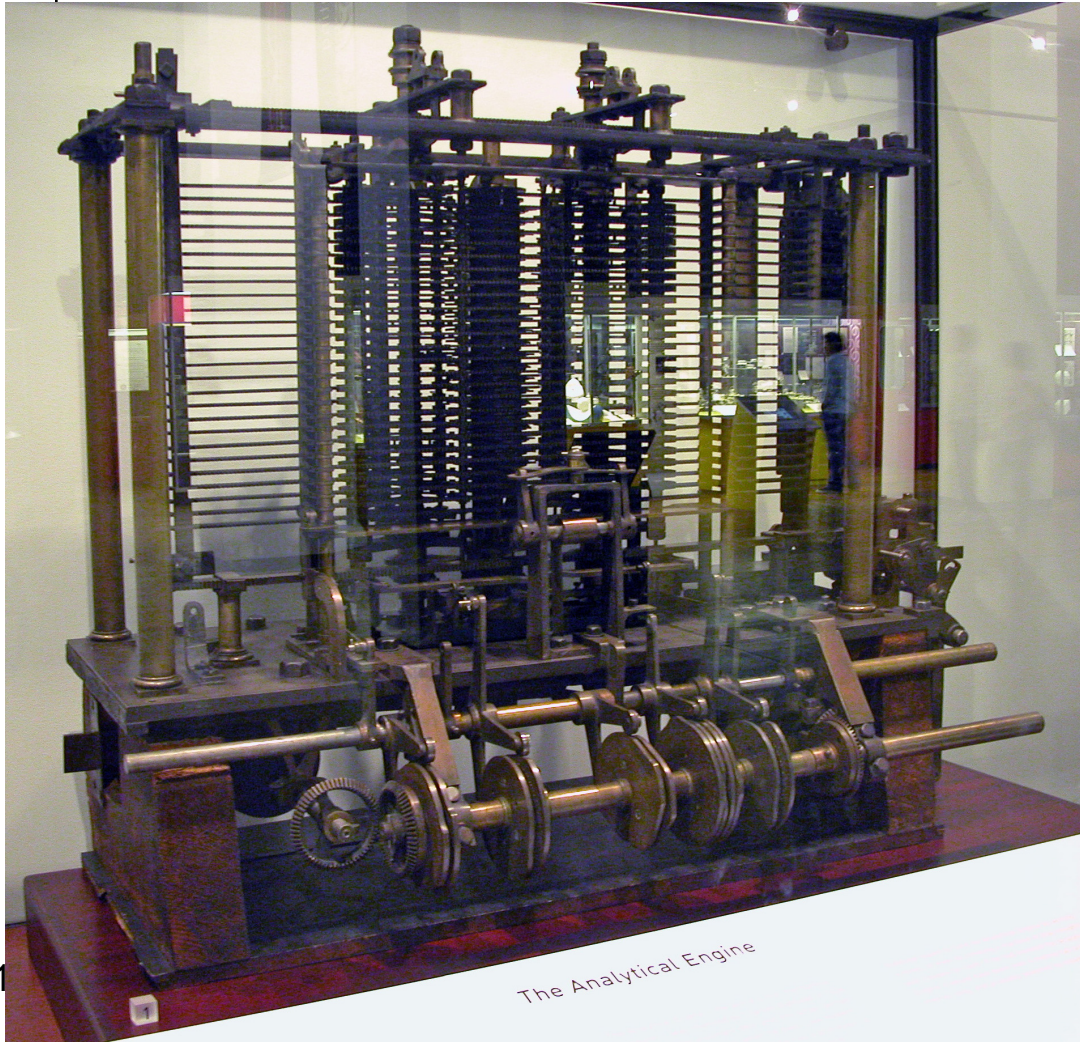


Difference Engine.
Une partie fonctionnelle d'une unité arithmétique et logique (ALU) spécifique pour le calcul de polynômes par différences finies.

Babbage a fait le design de cette machine en 1822, un prototype construit en 1833, un second en 1846. Construction terminée à partir des plans d'origine en 1996 !



BABBAGE'S ANALYTICAL ENGINE



Beaucoup plus ambitieux
ALU + Test, boucles +
mémoire !

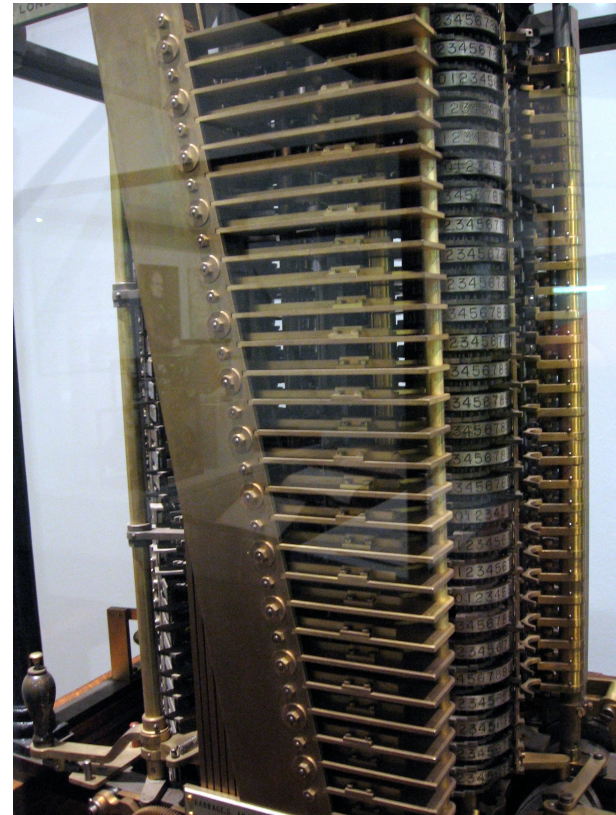
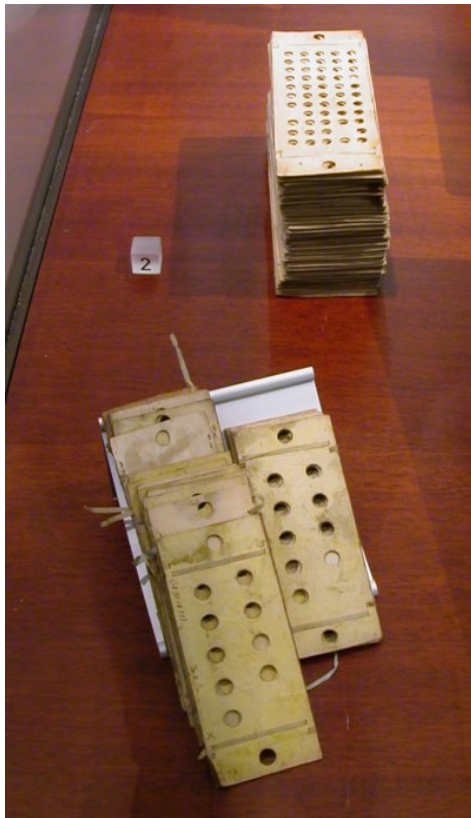
Design en 1837

Babbage meurt en 1871

Son fils construit un premier
prototype en 1906 (incomplet)

Un projet en cours pour
construire la machine
complete existe.

L'ANALYTICAL ENGINE EST UN ORDINATEUR PROGRAMMABLE



Programme pour l'analytical engine

Diagram for the computation by the Engine of the Numbers of Bernoulli. See Note G. (page 722 *et seq.*)

Number of Operation.	Nature of Operation.	Variables acted upon.	Variables receiving results.	Indication of change in the value on any Variable.	Statement of Results.	Data.										Working Variables.										Result Variables.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
						$1V_1$	$1V_2$	$1V_3$	$0V_4$	$0V_5$	$0V_6$	$0V_7$	$0V_8$	$0V_9$	$0V_{10}$	$0V_{11}$	$0V_{12}$	$0V_{13}$	$1V_{21}$	$1V_{22}$	$1V_{23}$	$0V_{24}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	B_1 in a decimal fraction.	B_2 in a decimal fraction.	B_3 in a decimal fraction.	$0V_{24}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
						1	2	n																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

PREMIÈRE PROGRAMMEUSE DU MONDE

Ce programme est un algorithme pour calculer les nombres de Bernoulli (liés à des nombres de partition d'ensembles)

Écrit en 1840 par Ada Lovelace, Lady Byron (fille du poète).

Deux citations de son travail sont extrêmement intéressantes



LES DÉBUTS DU DÉBAT AUTOUR DE L'IA

[The Analytical Engine] **might act upon other things besides numbers**, were objects found whose mutual fundamental relations could be expressed by those of the abstract science of operations, and which should be also susceptible of adaptations to the action of the operating notation and mechanism of the engine...Supposing, for instance, that the fundamental relations of pitched sounds in the science of harmony and of musical composition were susceptible of such expression and adaptations, the engine might compose elaborate and scientific pieces of music of any degree of complexity or extent.

"The Analytical Engine has **no pretensions whatever to originate anything**. It can do whatever we know how to order it to perform. It can follow analysis; but it has no power of anticipating any analytical relations or truths."

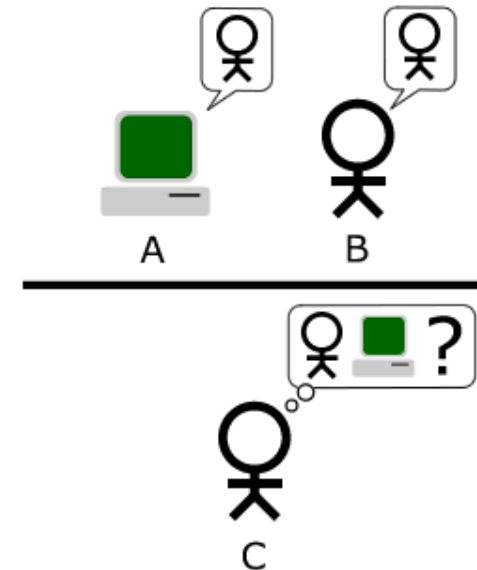
ALAN TURING

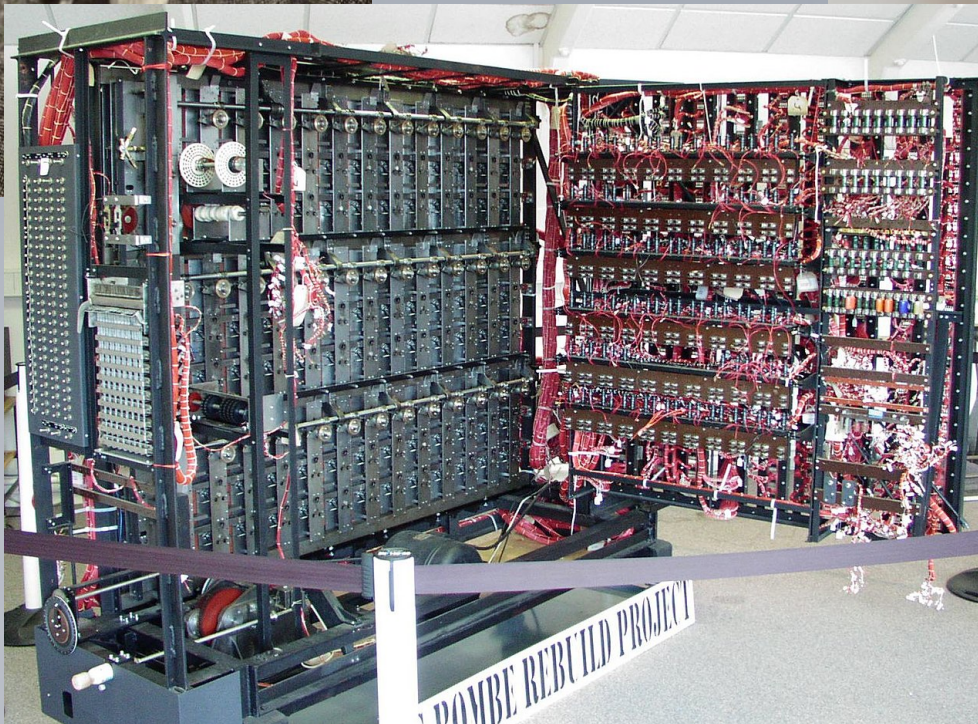
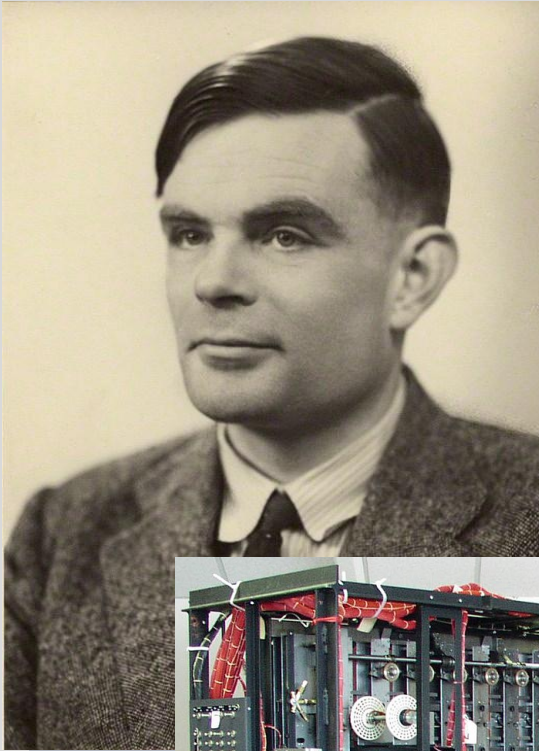
A. M. Turing (1950) Computing Machinery and Intelligence. *Mind* 49: 433-460.
COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE By A. M. Turing

1. The Imitation Game

I propose to consider the question, "Can machines think?"

- Avant ce travail:
 - Qu'est ce qu'un nombre calculable
 - Preuve négative du problème de la décision "Entscheidungsproblem" de D. Hilbert
 - Modèle de Church-Turing
 - Machine de Turing Universelle, modèle mathématique d'un ordinateur infiniment puissant
 - Cryptanalyste et héros de guerre, décrypteur de Enigma





Lettre à Churchill
28 octobre 1941
Le 18 novembre, tous
les crédits sont
débloqués.

200 "bombes" construites
pendant WWII. Toutes
détruites à la fin de la
guerre

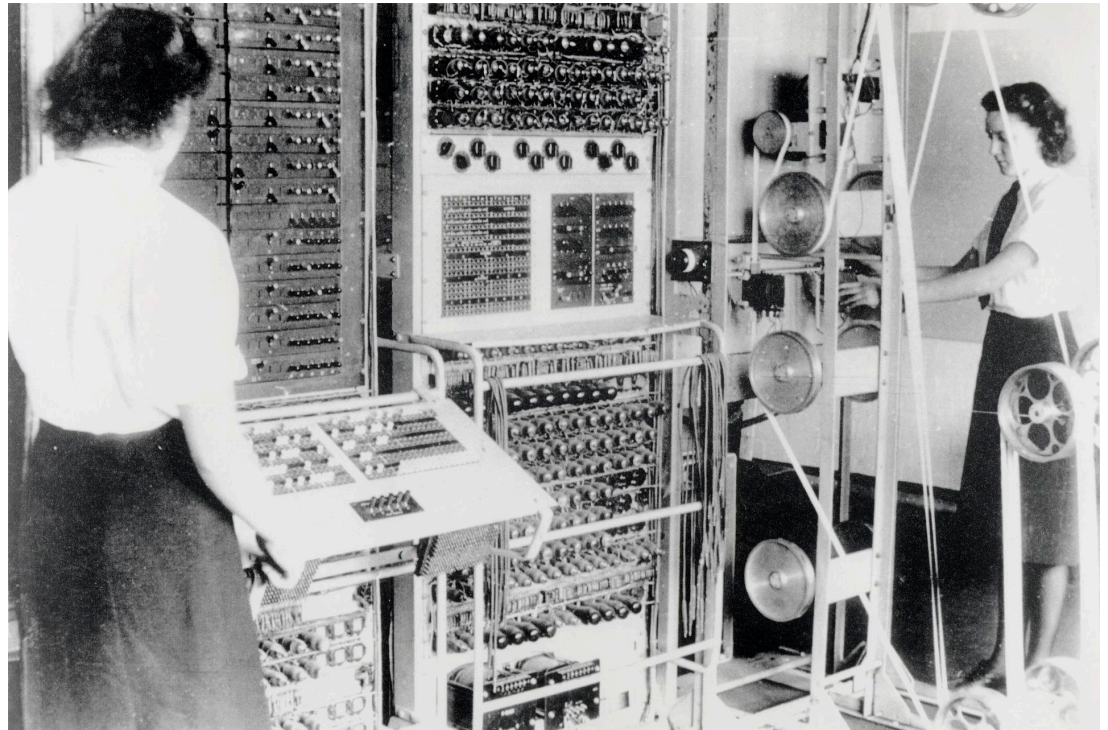
COLOSSUS

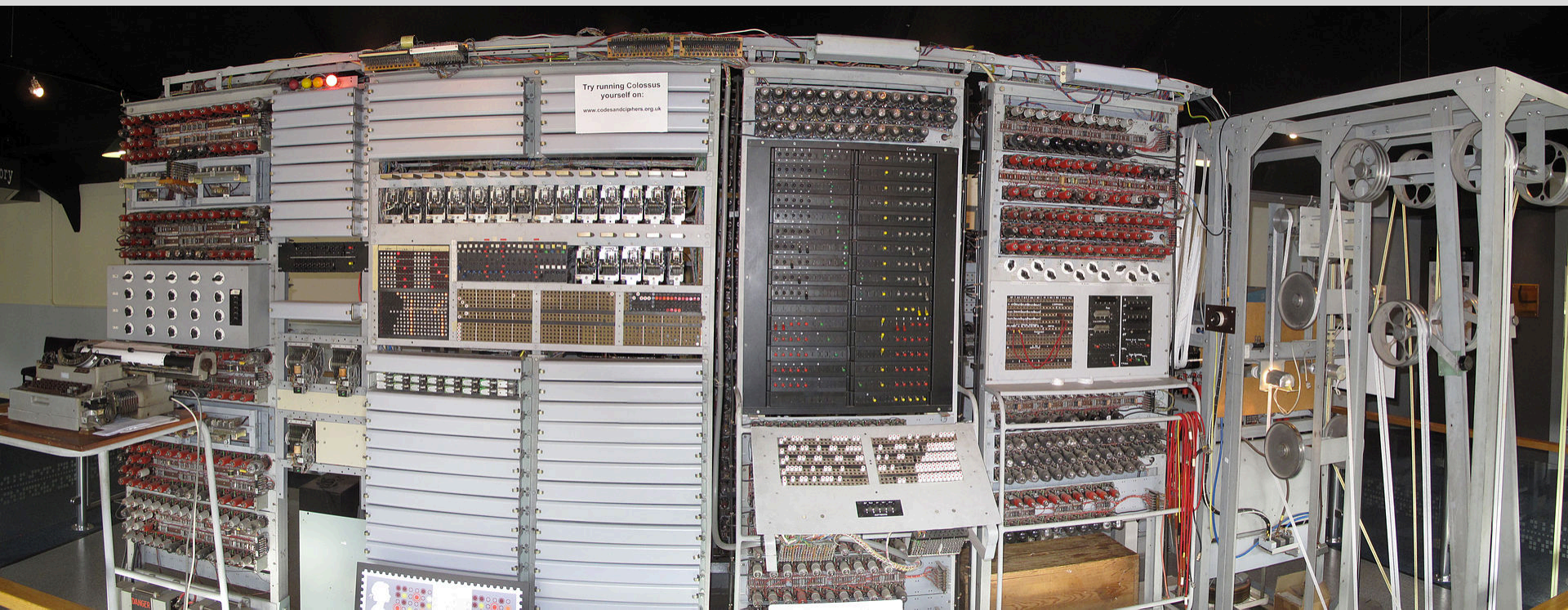
Premier ordinateur
électronique
numérique
programmable,
1943.

Cryptanalyse à
Bletchley Park, UK,
WWII.

Secret jusqu'en
1970

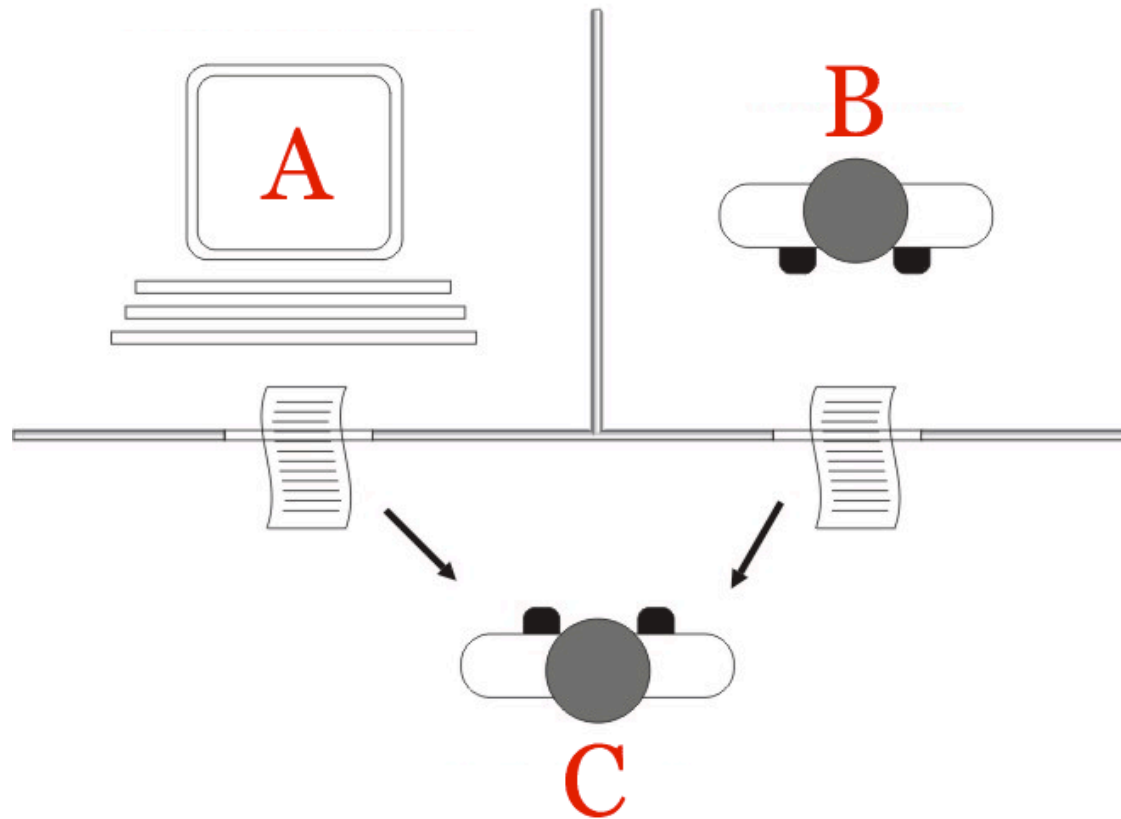
Reconstruit en 2008.





Colossus Mk2, 1944, reconstruit en 2008

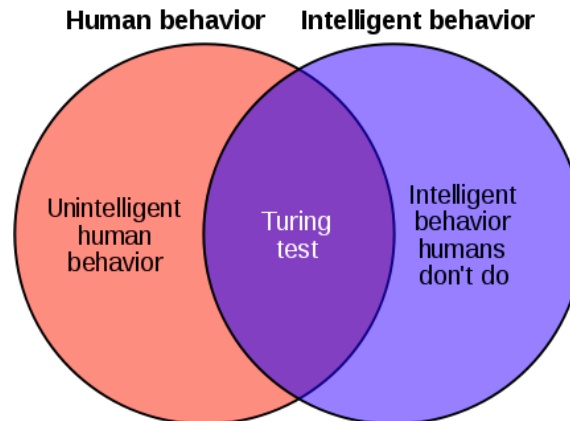
LE TEST DE TURING



LE TEST DE TURING EST IMPARFAIT

Chinese Room argument (John Searle): si un algorithme peut passer le test de Turing en Chinois, alors un humain qui ne comprend pas le Chinois peut faire pareil, en suivant les étapes de l'algorithme (dans une salle fermée, etc).

Strong AI vs Weak AI: Searle conclut que le test de Turing n'est qu'un test d'IA faible (sans conscience).



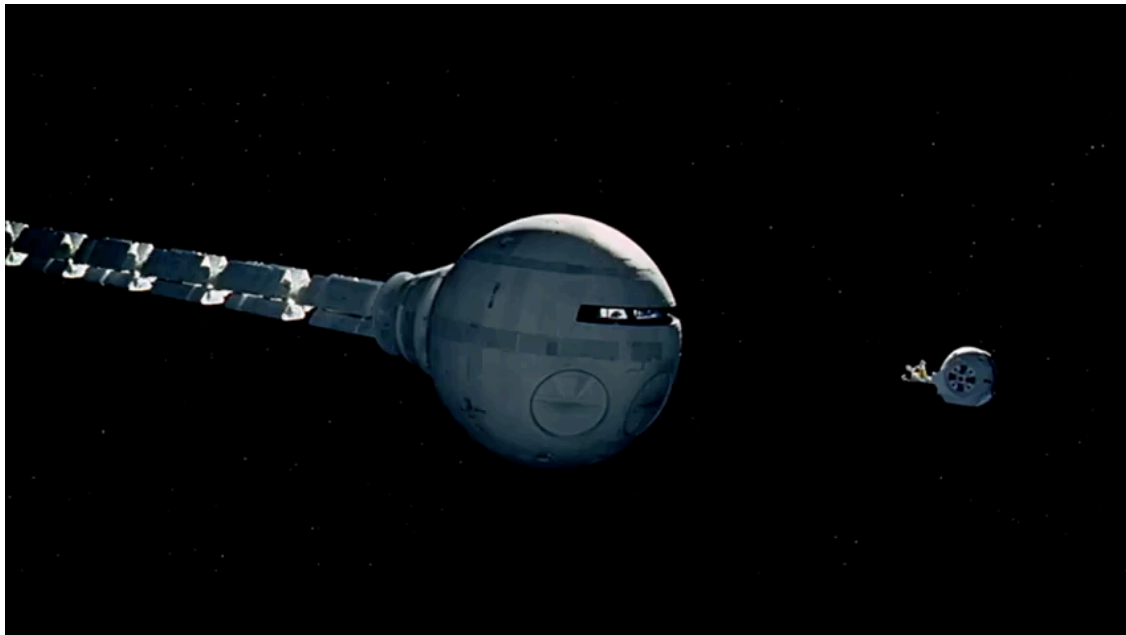
II. IA FAIBLE/FORTE

En résumant, une IA « forte » n'est pas distinguable au niveau des capacités de celles d'un humain. Une telle IA est capable de pensées originales et créatrices. Elle peut apprendre et enseigner. Une telle IA pourrait avoir un QI « illimité » et appréhender n'importe quelle question, en sciences, philosophie, arts, etc.

Une IA « faible » est limitée à un domaine particulier et n'est en gros capable que d'imiter et « interpoler » : trouver des solutions en apparence originales à un problème mais qui sont en réalité proches de celles existantes. Une telle IA peut apprendre dans un domaine particulier mais pas dans un domaine général.

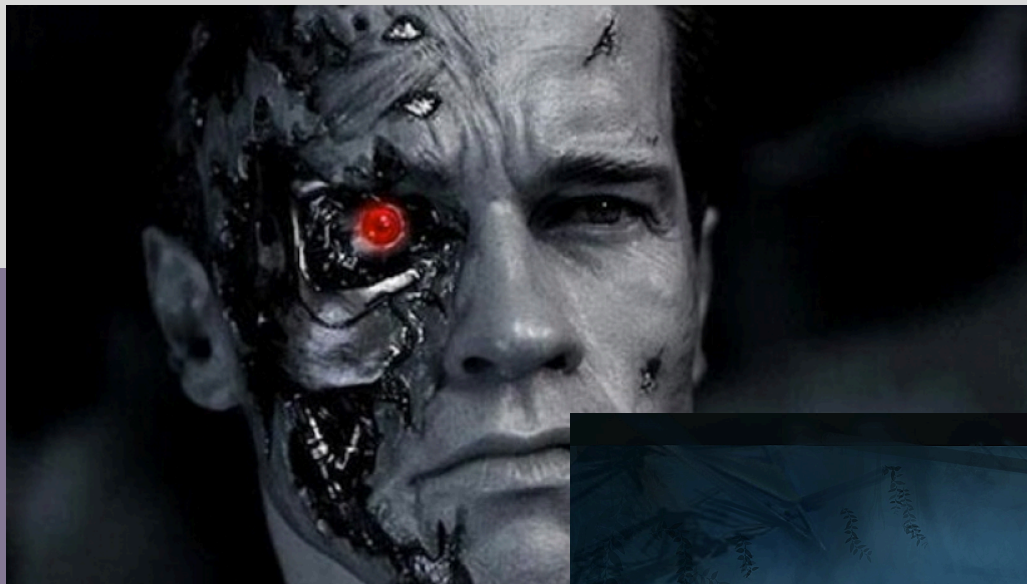
IA FORTE DANS L'IMAGINAIRE COLLECTIF

Le plus souvent, quand on parle d'IA on a en tête l'image de l'IA forte, véhiculée par les romans, la philosophie, les films, etc





CentraleSupélec





IT GETS WORSE

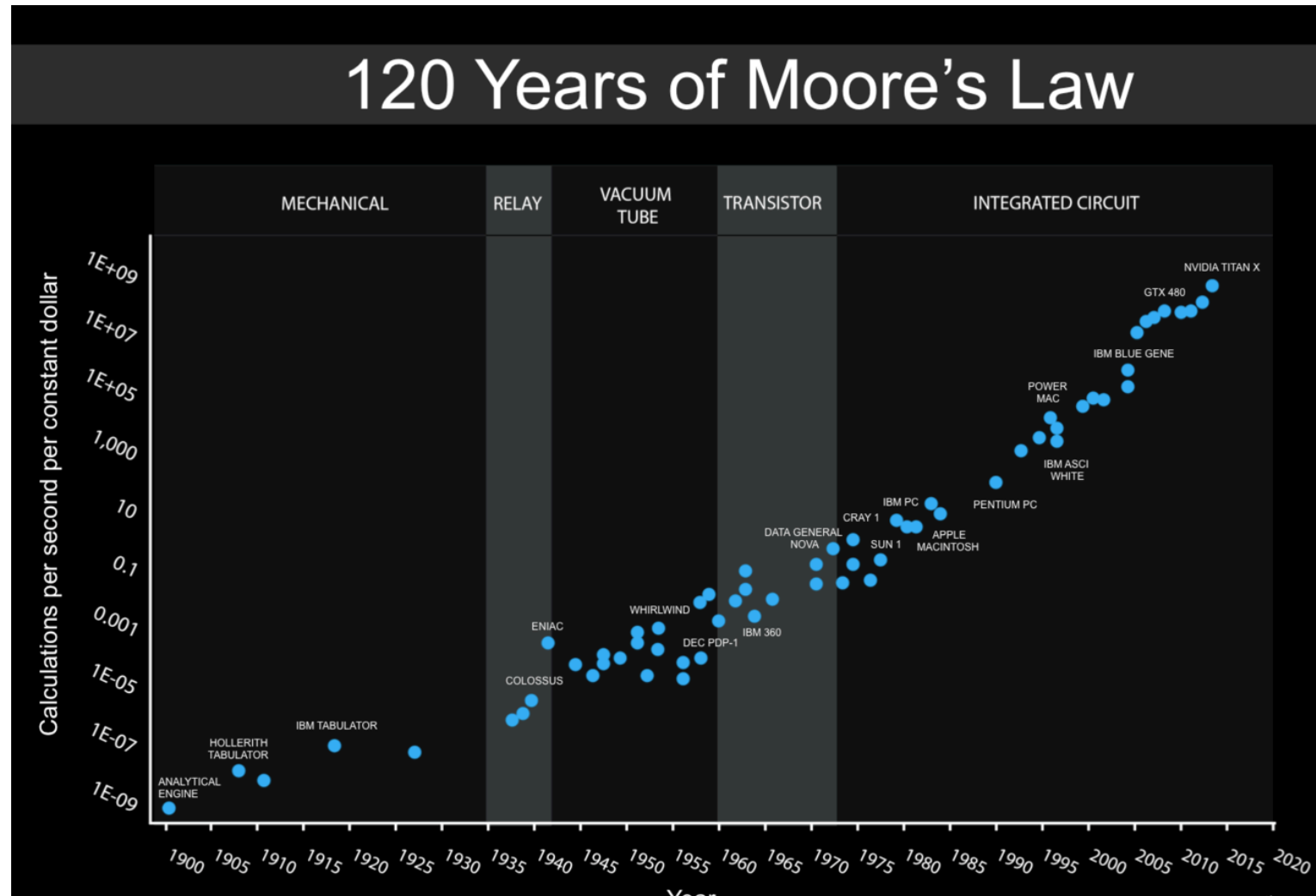
Singularité

Transfer de conscience

Roko's Basilisk argument

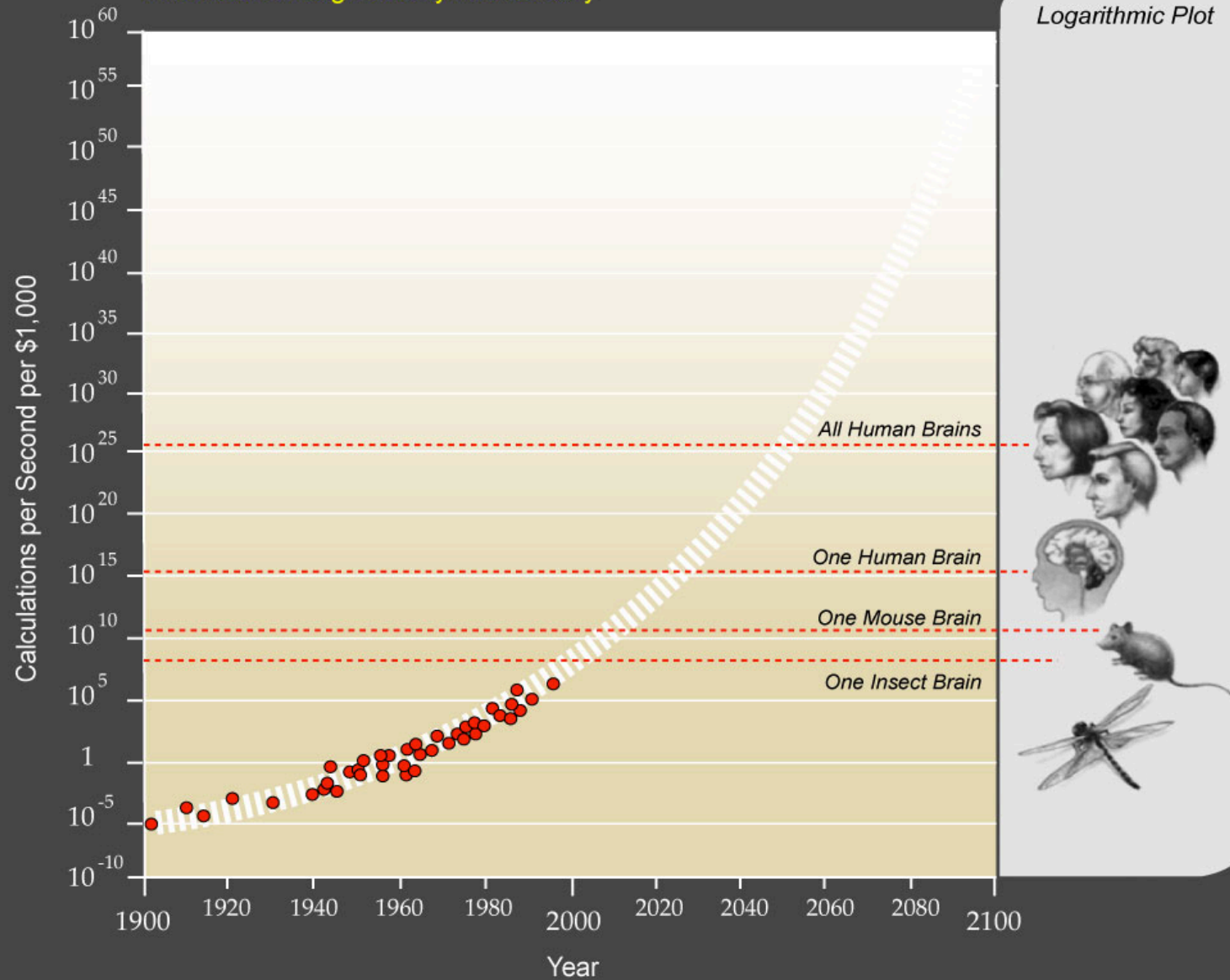
“The premise is that an all-powerful artificial intelligence from the future could retroactively punish those who did not help bring about its existence, including those who merely knew about the possible development of such a being.”

L'ARGUMENT DE L'ACCÉLÉRATION EXPONENTIELLE DU PROGRÈS



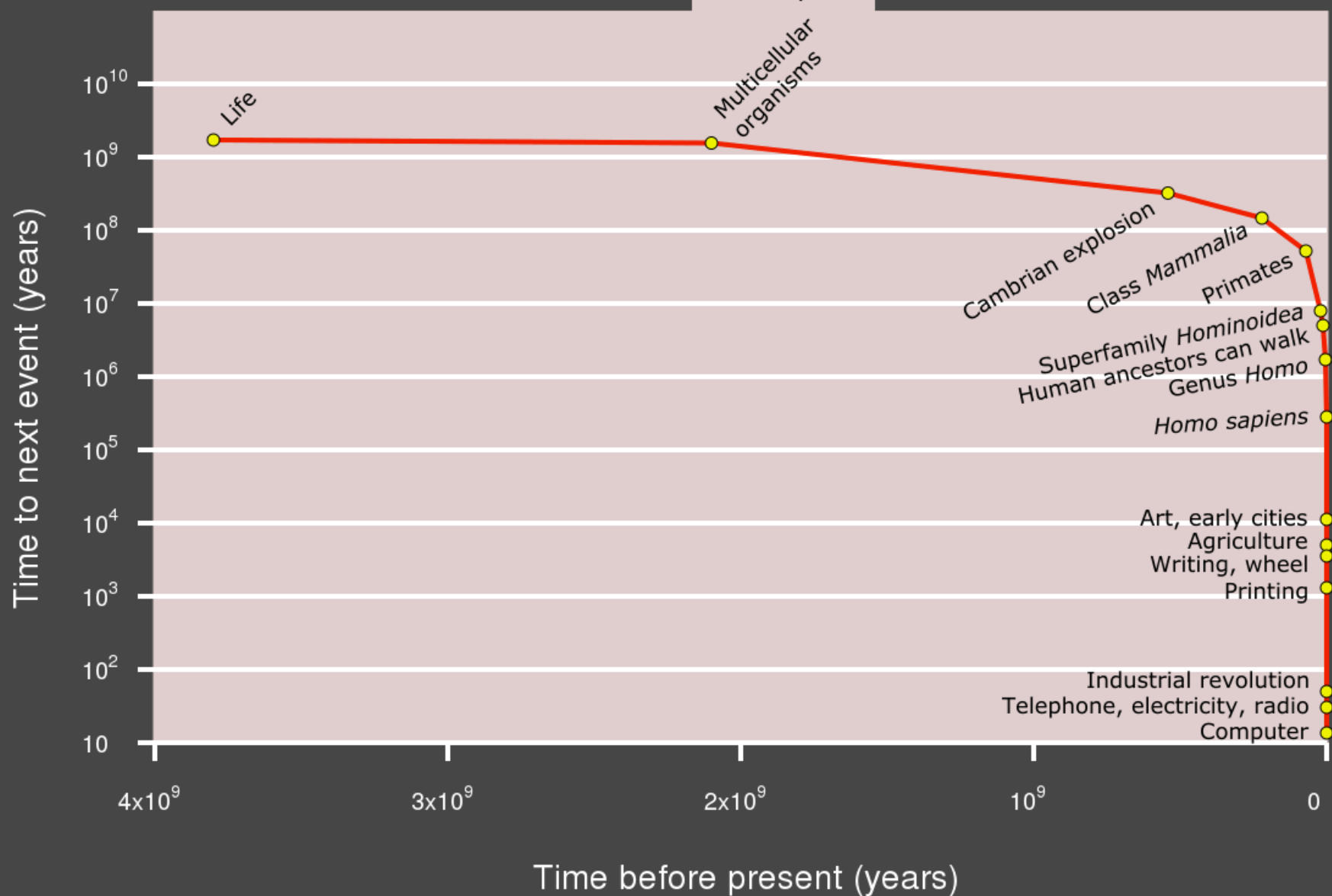
Exponential Growth of Computing

Twentieth through twenty first century



Countdown to Singularity

Linear plot



EN RÉALITÉ

Le propre de la croissance exponentielle est qu'elle ne peut pas durer.

On observe déjà un fort ralentissement du progrès des ordinateurs, aussi bien CPU que GPU.

Exemple: accès à l'espace, course spatiale. Voir 2001 Odyssée de l'Espace. en 1970 on pensait qu'en l'an 2000 il y aurait des ordinateurs intelligents et des bases sur la Lune.

« Les prédictions sont difficiles, surtout quand elles concernent l'avenir¹ »

¹Auteur Danois inconnu, 1948, souvent attribuée à Niels Bohr

UN EXERCICE: SUBSET-SUM

Subset-sum est le plus simple des problèmes compliqués en informatique: comment séparer une liste de nombres en deux, de telle manière que la somme des deux soit identique.

Le meilleur algorithme connu est de complexité exponentielle en espace.

Résoudre un problème de taille 10 est très simple

Résoudre un problème de taille 300 est impossible, car demanderait toute l'énergie du Big Bang avec un ordinateur optimal en terme de consommation d'énergie **ou** demanderait tout l'espace de l'Univers observable (plus de particules qu'il en existe dans tout l'univers).



IL EXISTE DES PROBLÈMES BIEN PLUS COMPLIQUÉS

Résoudre complètement le jeu d'échecs, de Go...

Preuve de théorèmes, etc

Le nombre Ω

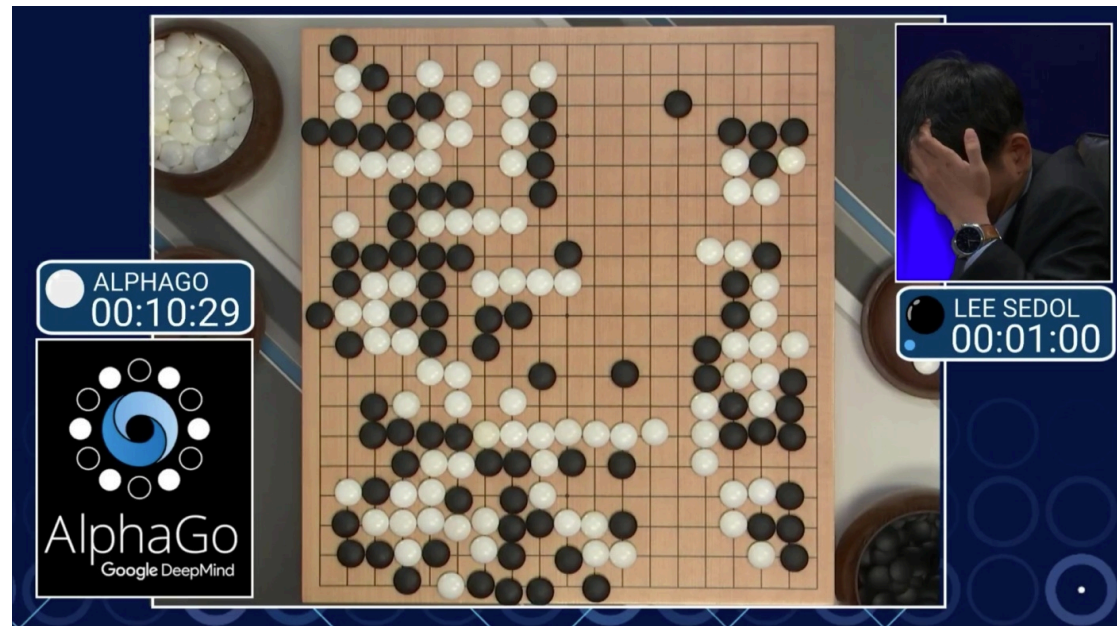
Le problème de l'arrêt ...

EN CONTREPARTIE...

Les humains arrivent très bien à jouer au échecs

Les machines encore bien mieux

AlphaGo



IL EXISTE DES MACHINES QUI PENSENT

Clairement, il est possible de penser, les humains semblent y arriver très (plus ou moins...) bien.

La question reste ouverte: est-ce qu'on peut construire une machine intelligente aussi intelligente que nous ?

Est-ce que la question a un sens, est-ce qu'elle est intéressante ?

Edsger Dijkstra: « The question of whether Machines Can Think... is about as **relevant** as the question of whether Submarines Can Swim.»

MON OPINION

Je suis avec Dijkstra

Ça ne veut pas dire que la question n'a pas d'intérêt, mais je ne pense pas qu'elle sera résolue bientôt

Il existe déjà des IA « faibles » qui marchent très bien, qui ont un intérêt certain, qui ont un impact dans la vie de tous les jours, et un impact économique.

Je propose d'étudier plutôt ces IA là.



IA MODERNE, PANORAMA DES TECHNIQUES

RÈGLES ET LOGIQUE

Dans les années 1950, accéder à un ordinateur était difficile et cher: \$200 000 / mois pour un mainframe IBM: réservé aux grosses entreprises et universités majeures

en 1956, première conférence d'Intelligence Artificielle, organisée par J. McCarthy (LISP), M. Minsky et C. Shannon (Th. Info) à Dartmouth College.

Présentation du premier programme fonctionnel d'intelligence artificiel: The Logic Theorist, écrit par H. Simon (Nobel prize economics 1978), A. Newell et J. Shaw.

PREUVES ET LOGIQUE

The logic theorist est un programme capable de fournir des preuves mathématiques en logique formelle.

On pensait à l'époque que seul un humain pouvait développer une preuve mathématique, mais TLT a prouvé 38 des 52 premiers théorèmes de *Principia Mathematica*, l'oeuvre de B. Russell.

Ce programme n'a pas été bien reçu initialement, principalement parce que il est arrivé trop vite et fonctionnait trop bien !

La conférence de 1956 est restée dans les mémoires, mais n'a pas dégagé de consensus sur la meilleure méthode pour arriver à produire une IA.

Le consensus en 1956 était que l'IA est réalisable.

PREMIÈRE PÉRIODE DORÉE: 1956-1974

Les ordinateurs deviennent plus rapides, moins chers, plus facile d'accès.

General Problem Solver, une évolution de TLT

IPL, prédécesseur de LISP

ELIZA, premier chatbot, premier programme de “natural language processing”. Initialement prévu comme une parodie, est devenu un vrai succès.

DARPA, une agence de moyens US, finance tous ces efforts

In 1970 Marvin Minsky @Life Magazine, “from three to eight years we will have a machine with the general intelligence of an average human being.”

AUTRES DÉVELOPPEMENTS IMPORTANTS

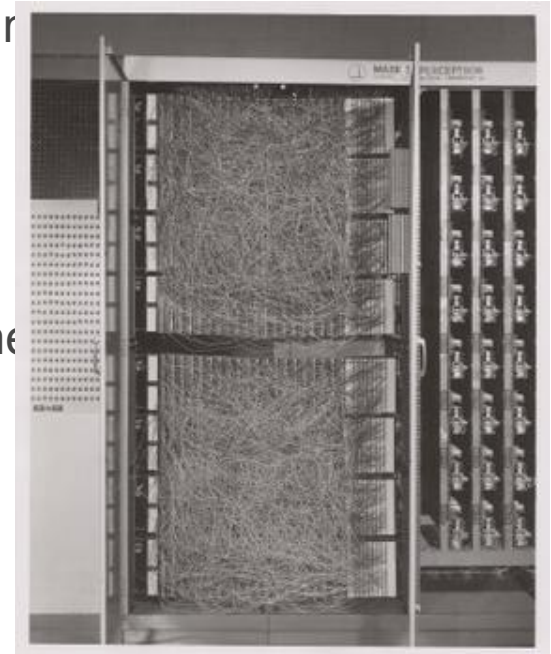
Le Perceptron, développé en 1957 par Frank Rosenblatt, un psychologue, en se basant sur un modèle simple.

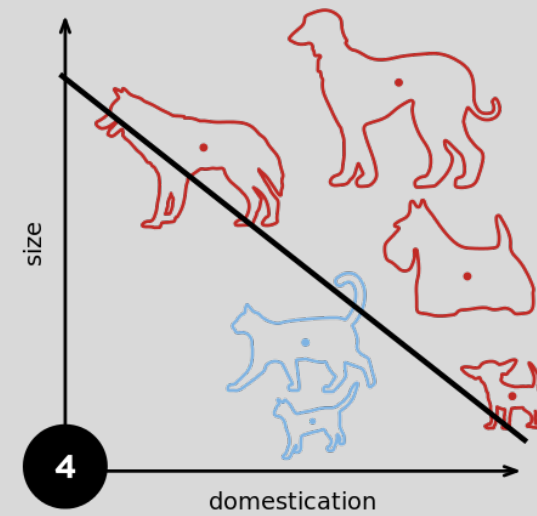
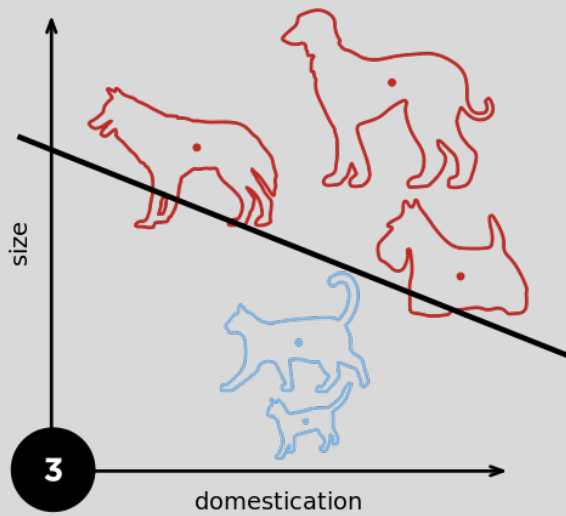
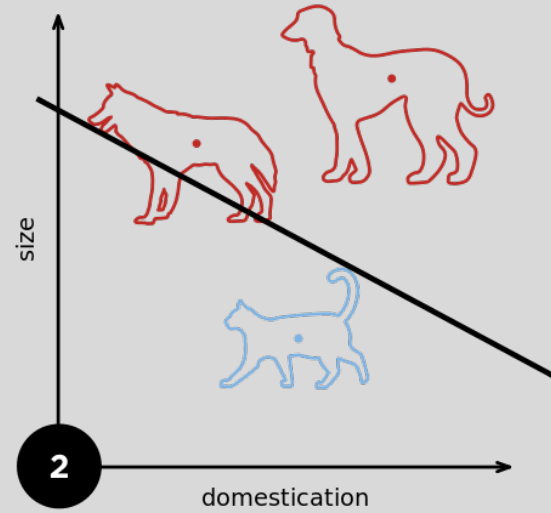
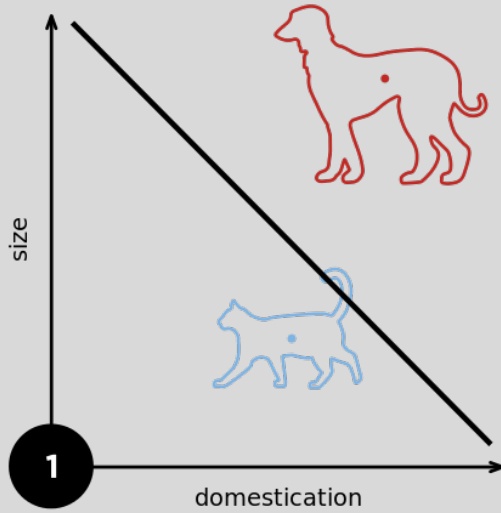
Le perceptron est un algorithme de classification linéaire.

Il est aisément parallélisable et implantable électroniquement.

Première génération des réseaux de neurones.

Minsky et Papert « prouvent » que le perceptron est trop limité pour proposer un chemin vers l'IA, en 1968.





1974-1980: PREMIER HIVER DE L'IA

Au début des années 1970, bien que les ordinateurs aient fait des progrès immenses, ils n'étaient pas encore assez puissant pour faire tourner des programmes complexes.

Les progrès promis ne se sont pas matérialisés

La communauté de l'IA était divisée sur le chemin à suivre

Le financement des projets est devenu plus difficile

“first AI winter”

1980: SYSTÈMES EXPERTS

Un système expert est un logiciel fondé sur la logique du premier ordre (la plus simple) et un grand nombre de règles, obtenues par entretien avec des experts.

Exemple: diagnostic médical, prescription de médicaments, systèmes industriels.

E. Feigenbaum propose un système expert d'aide à la vente de matériel informatique (XCON), implanté chez DEC, en 1980. À l'époque acheter un matériel informatique était compliqué pour des raisons de compatibilité inter-vendeurs. On appellerait ça "Business Intelligence" maintenant.

Le système comprend initialement environ 600 règles, puis passe progressivement à 1000, pour finir à environ 2500.

C'est un succès qui économise US\$ 40k par an à DEC. Premier exemple connu de succès commercial en IA.

GRANDEUR ET MISÈRE DES SYSTÈMES EXPERTS

Les systèmes experts connaissent un essor remarquable dans les années 1980.

Ils peuvent être efficaces mais demandent un entraînement qui est purement manuel: il faut interviewer un ou plusieurs experts pendant des mois pour essayer d'obtenir une connaissance exprimable sous forme logique. Ça n'est pas toujours possible.

On se rend compte que plus le domaine est spécifique, technique et proche des mathématiques, mieux les systèmes experts fonctionnent

En revanche si le domaine est flou ou controversé, plus proche d'un art que d'une science, moins ça marche.

Un SE va tendance à fonctionner bien en pharmacie, beaucoup moins en médecine.

PROJET JAPONAIS D'ORDINATEURS DE “5E GÉNÉRATION”

On ne sait pas très bien comment ils ont compté, mais en 1984, le gouvernement Japonais annoncent un projet de développement d'un ordinateur de « 5e génération »: Fifth Generation Computer Project (FGCP).

400 million de US\$ d'investissement entre 1982 et 1990, particulièrement en AI symbolique.

Provoquent beaucoup d'inspiration, mais buts ambitieux ne sont pas atteint.

1987-1993: 2E HIVER DE L'IA

Les systèmes experts sont progressivement devenus plus complexes et en même temps plus lents, gourmands en ressources, et chers à maintenir. À la fin, XCON avait 2500 règles qui étaient ajustées manuellement sans arrêt par une équipe complète de techniciens.

DARPA a décidé de mettre fin à beaucoup de programmes de développement.

INVENTION DES RÉSEAUX MULTI- COUCHES

Minsky et Papert avaient prouvé les limites du Perceptron originel. Un Perceptron ne pouvait pas selon eux reproduire certaines fonctions, la fonction XOR en particulier.

Mais ils n'avaient pas considéré, ou ils avaient ignoré la possibilité de mettre des perceptrons en couches successives, séparées par des fonctions d'activations non-linéaires.

En théorie, ces nouveaux réseaux n'avaient pas les mêmes limitations que le Perceptron, mais personne ne savait les faire fonctionner, en particulier comment arranger les poids entre les couches.

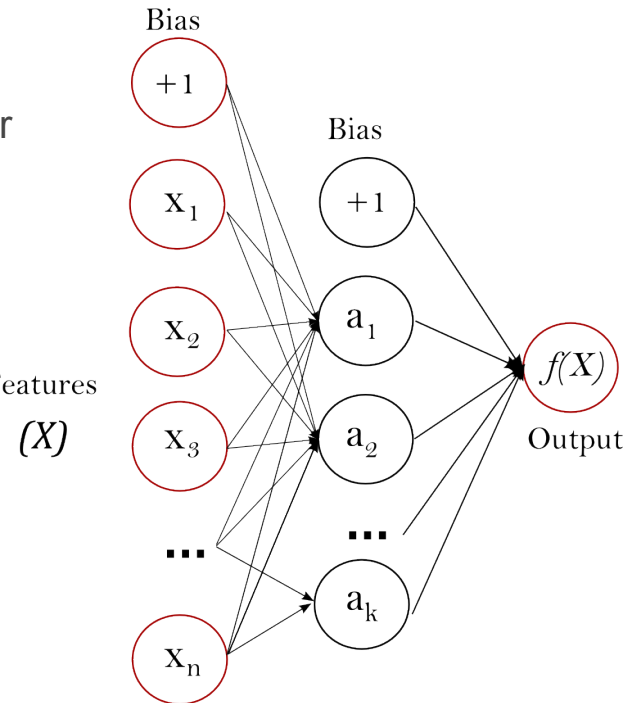
INVENTION DE LA RÉTRO-PROPAGATION

Dans un Perceptron multi-couche il n'est pas évident à priori comment procéder pour optimiser les poids du réseau

Une technique consiste à calculer la dérivée de la fonction de coût et d'opérer une descente de gradient. La dérivée peut être calculée automatiquement en fonction de la définition du réseau. On appelle ceci la rétro-propagation de l'erreur.

C'est une approche naturelle une fois qu'on l'a formulée (!), cependant elle a été inventée plusieurs fois avant de devenir populaire et efficace

Linnainmaa 1970, Werbos 1974, Rumelhart et al 1986, Le Cun et al 1989 sont généralement crédités.



INVENTION DES “AGENTS INTELLIGENTS”

Au lieu de créer des programmes monolithiques difficile à maintenir, l'idée est venue de créer des petits programmes avec une intelligence limitée, mais communiquant: les « agents intelligents ».

Il s'agit plus d'une évolution logicielle que conceptuelle, néanmoins les réseaux multicouches et les agents ont permis la fin du 2e hiver de l'IA.

Les financements sont revenus...

LES PROJETS AMBITIEUX

Projet de voiture autonome en 1986 à Carnegie Mellon

Synergie robotique-IA se développe à cette époque

Débuts de la vision par ordinateurs

Progrès des machines à jouer aux échecs

En dehors des grandes annonces, des vrais progrès sont réalisés.

APPRENTISSAGE STATISTIQUE

Vers 1995, plusieurs statisticiens démontre l'équivalence entre réseaux multicouches et plusieurs méthodes de classification statistique

Invention des Support Vector Machines (SVM) en 1993-1995

Développement très fort de l' « apprentissage automatique »

Le rapprochement IA et les statistiques permettent d'augmenter notablement la taille de la communauté de l'IA.

Les résultats sont souvent bons et utilisables en pratique.

1997: DEEP BLUE BAT KASPAROV

Une étape essentielle reconnue comme importante : un ordinateur bat le champion du monde aux échecs.

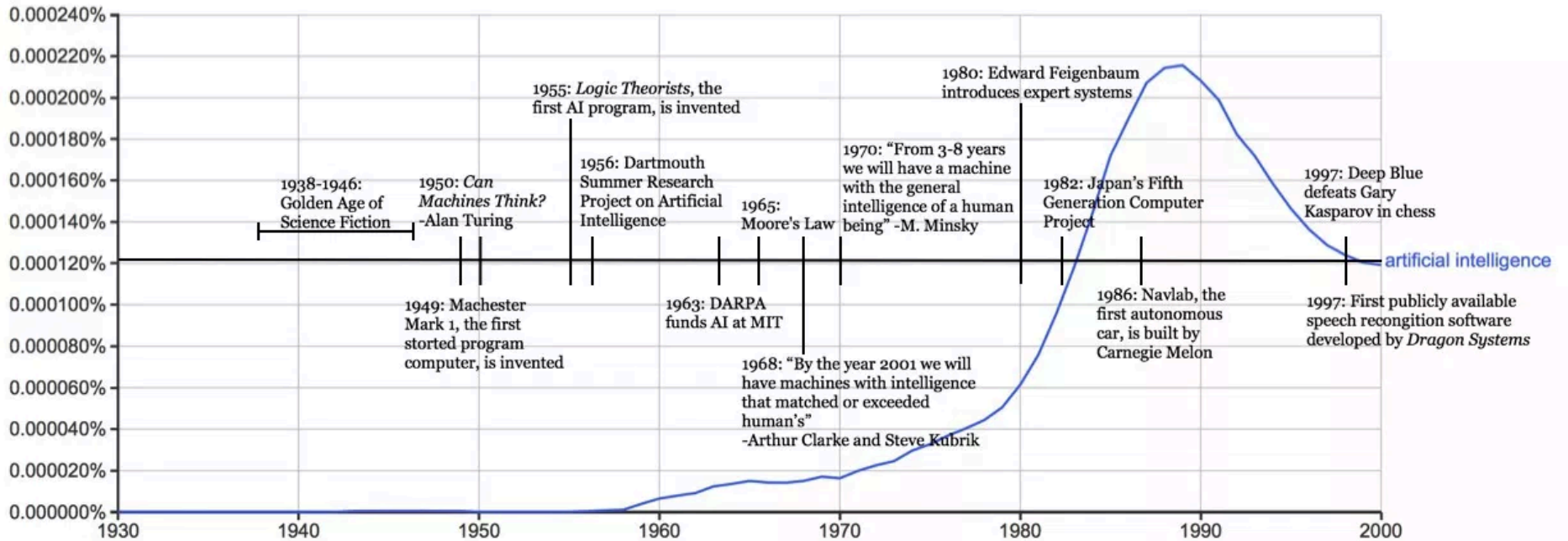
On se rend compte une fois de plus que la façon de réfléchir, planifier, de développer une stratégie humaine n'a rien à voir avec la façon d'aborder le problème pour un ordinateur

Deep Blue utilise toute la connaissance humaine développée sur plusieurs décennies sur le jeu des échecs

Un algorithme d'évaluation de branche de décision et un ordinateur puissant permette de voir plus loin que même le champion du monde.

Maintenant un téléphone joue mieux aux échecs que n'importe qui.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TIMELINE



1990-2012: DÉVELOPPEMENT DES TECHNIQUES D'APPRENTISSAGE

Les scientifiques de l'IA développent une stratégie de développement raisonnée, basée sur des grandes bases de donnée, du logiciel public, des compétitions ouvertes

En imagerie, en analyse de documents, etc

OCR résolu vers 1995

Dragon Dictate résout la reconnaissance de la parole vers 1998

2012: L'APPRENTISSAGE PROFOND DEVIENT DOMINANT

De nombreuses techniques se font jour et permettent de progresser:

- Arbres de décision
- Forêts de décision aléatoires...
- Modèles Gaussiens
- k-NN

En profitant petit à petit de l'avancée des ordinateurs, les réseaux de neurones deviennent de plus en plus « profonds ». En 2012, les réseaux profonds deviennent dominant.

ALPHAGO

En 2015, Google AlphaGo bat un joueur professionnel (Fan Hui, champion Européen)

En 2016, AlphaGo bat le champion du monde en perdant une seule partie

En 2017, AlphaGo bat 60 champions sans perdre un seul jeu

AlphaGo utilise les techniques d'apprentissage profond, par renforcement et de parcours de graphe aléatoire.



CONCEPTS ESSENTIELS

Apprentissage supervisé

Apprentissage non-supervisé

Apprentissage par renforcement

Biais vs variance.

CONCLUSION

Il y a beaucoup de mythes autour de l'IA

Plusieurs approches de l'IA

- Symbolique
- Logique
- Statistique
- Philosophie de l'IA

L'apprentissage automatique est la méthode la plus efficace aujourd'hui.
Beaucoup de méthodes différentes existent.

L'apprentissage profond est la méthode statistique la plus performante
quand on a assez de données d'entraînement.

La recherche en IA est très active, beaucoup de points de passage de l'IA
annoncés en 1950 ont été franchis 40-60 ans plus tard, et n'ont pas été
franchis de la manière attendue à l'origine. Il faut rester modeste et patient,
se méfier des effets d'annonce.

LES DÉFIS FUTURS

Se débrouiller avec peu de données:

- One-shot learning
- Transfer learning
- Unsupervised learning (“the revolution will not be supervised”)
- Reinforcement learning

Apprentissage auditable, fiable et stable (able learning)

- Actuellement l'apprentissage profond est une boîte noire
- C'est aussi une boîte instable, forte variance des résultats
- Beaucoup de travail à faire pour régulariser cette approche.



RÉFÉRENCES SUPPLÉMENTAIRES

<https://towardsdatascience.com/ai-writes-the-history-of-artificial-intelligence-4d585b537498>

<http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>