



**LABORATOIRE
HUBERT CURIEN**

UMR • CNRS • 5516 • SAINT-ETIENNE



**UNIVERSITÉ
DE LYON**

L'intelligence artificielle, des origines à nos jours

L'UNIVERSITÉ POUR TOUS

Fabrice MUHLENBACH

<https://perso.univ-st-etienne.fr/muhlfabr/>

e-mail : fabrice.muhlenbach@univ-st-etienne.fr

Plan

L'intelligence artificielle, des origines à nos jours

1. Définitions et approches de l'intelligence artificielle
2. Historique de l'intelligence artificielle : de « l'esprit dans la machine » des statues sacrées et des automates anthropomorphes de l'Antiquité jusqu'aux NBIC (en passant par Alan Turing et la cybernétique)

Plan

Intelligence artificielle et révolution numérique (5 mars 2018)

1. Les technologies de la révolution numérique :
l'intelligence artificielle et la robotique
2. La révolution numérique vue par des
philosophes (Michel Serres, Bernard Stiegler)
et des scientifiques (Gérard Berry)

Plan

Intelligence artificielle et *big data*

(14 juin 2018)

1. Pourquoi les données massives rendent l'intelligence artificielle plus performante ?
2. Entreprises disruptives et plateformes (GAFA, BATX et NATU)
3. Les principes de l'ubérisation
4. Conséquences économiques, sociales et effets sur la préservation de la vie privée

Introduction

- **Caractéristiques d'un domaine de recherche porteur**

Selon Herbert Simon¹, un travail scientifique passionnant et important ne se développe qu'à deux conditions :

- un problème significatif doit se présenter
- des outils doivent être disponibles pour l'aborder

1^{er} sujet d'investigation : **la nature de la matière**
physiciens / grands accélérateurs de particules

2^{ème} sujet : **la nature et l'origine de l'univers**
astronomie et de l'astrophysique / télescope, engins spatiaux

¹Introduction à *Psychologie, Intelligence Artificielle et Automatique*,
C. Bonnet, J.-M. Hoc, G. Tiberghien, Eds., Éditions P. Mardaga, 1986

Introduction

- **Caractéristiques d'un domaine de recherche porteur**

3^{ème} sujet d'investigation : **la nature de la vie**

biologie moléculaire, biochimie / microscopes électroniques, traceurs radioactifs, ADN recombinant

4^{ème} sujet : **la nature de l'esprit**

- à l'origine : un problème pour psychologues et philosophes
- question : lien cerveau / pensée ?
- outil : ordinateur + idées sur le traitement de l'information et de l'intelligence

Introduction

- Bases historiques de l'intelligence artificielle
- La philosophie, les mathématiques, la psychologie, la linguistique et l'informatique sont toutes les cinq des disciplines qui, depuis leurs origines, ont :
 - ❑ posé les mêmes questions que l'IA
 - ❑ développé des méthodes pour l'IA
 - ❑ et produit des résultats pour l'IA

Définitions et approches de l'IA

- Définitions

Informatique → Science et technique du traitement automatique de l'information

Information → Élément de connaissance susceptible d'être représenté par des conventions pour être conservé, traité ou communiqué

Intelligence artificielle
(ou IA) → Discipline scientifique dont l'objet est la simulation par machine de processus de la pensée

Définitions et approches de l'IA

Intelligence →

(1) Faculté de comprendre, de découvrir des relations (de causalité, d'identité, etc.) entre les faits et les choses.

Intelligence pratique : adaptation réfléchie de moyens à des fins, observée chez certains animaux supérieurs et chez l'enfant.

Intelligence conceptuelle : faculté de connaître inséparable du langage et fondée sur la raison discursive.

(2) Aptitude à comprendre facilement, à agir avec discernement.

Intelligence remarquable. (Notion de « niveau d'intelligence », de comparaison par rapport à un système semblable)

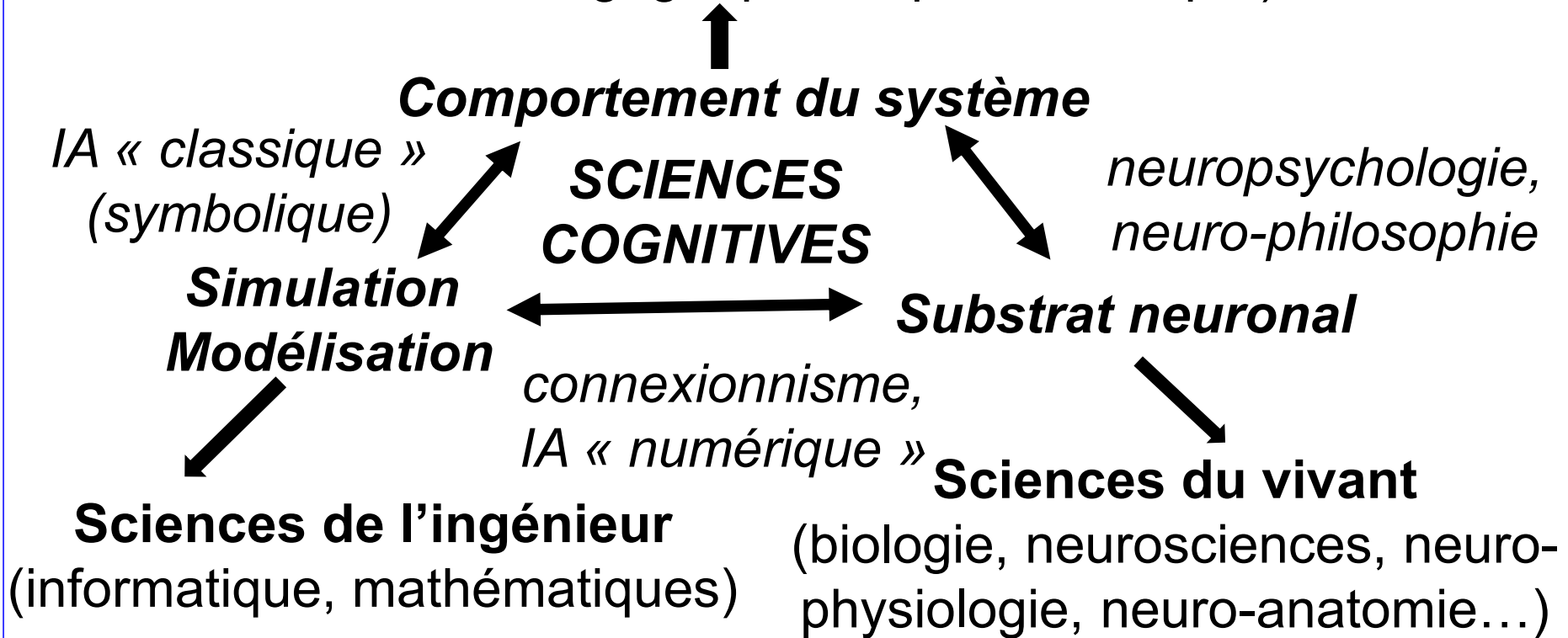
(3) Capacité ou fait de comprendre une chose particulière.

P. ex. *avoir l'intelligence des affaires*. (Notion de spécialisation.)

Définitions et approches de l'IA

- Différentes approches de la nature de l'esprit

Sciences humaines (et sociales)
(psychologie cognitive, psycholinguistique,
sciences du langage, philosophie de l'esprit)



Définitions et approches de l'IA

- Différentes approches de la nature de l'esprit

Approche descendante (top-down)

- approche par le côté *software / mind / pensée / « esprit »*
- problème abordé par les angles psychologique, linguistique et logique, l'ingénierie cognitive (connaissances explicites)
- modélisation par l'intelligence artificielle symbolique ou IA « classique » (systèmes experts, règles, bases de connaissances, ontologies, modèles intelligibles...)

Approche ascendante (bottom-up)

- approche par le côté *hardware / matter / cerveau / « corps »*
- problème abordé suivant l'angle des neurosciences
- modélisation par l'intelligence artificielle numérique, mouvement connexionniste (approche « boîte noire »)

Définitions et approches de l'IA

Des systèmes qui pensent comme des humains	Des systèmes qui pensent rationnellement
<p>→ système complexe IA forte Modélisation cognitive <i>GPS</i> (Newell et Simon, 1961)</p>	<p>→ système limité Logicisme : pensée logique Pascal / Leibniz / Babbage</p>
Des systèmes qui agissent comme des humains	Des systèmes qui agissent rationnellement
<p>→ système passant le test de Turing (1950) Apprendre des connaissances, les représenter, résoudre des problèmes, comprendre (s'adapter, mémoriser...)</p>	<p>→ système pragmatique IA faible Agent rationnel (1990) qui n'est pas nécessairement logique et qui agit selon ses croyances pour atteindre des objectifs</p>

Définitions et approches de l'IA

- Différentes approches de l'IA

Agir comme un humain

→ approche du test de Turing : l'ordinateur doit disposer de capacités de TALN, de représentation des connaissances, de raisonnement automatisé et d'apprentissage automatique, ainsi que de vision artificielle, reconnaissance des formes et robotique

Penser comme un humain

→ approche de la modélisation cognitive : nécessité de comprendre comment l'être humain pense (introspection, expérimentations psychologiques...), les modèles computationnels sont validés par des preuves neurophysiologiques

Définitions et approches de l'IA

- Différentes approches de l'IA

Penser rationnellement

→ approche des « lois de la pensée » : codifier les processus de raisonnement, systèmes intelligents basés sur la logique

Agir rationnellement

→ approche des agents rationnels : un agent rationnel est celui qui agit de manière à obtenir le meilleur résultat (escompté)

→ Ces approches reprennent les notions allant de l'IA *faible* (approche pragmatique d'ingénieurs) à l'IA *forte* (des machines qui « pensent », avec une conscience de soi, des sentiments)

→ Les scientifiques de l'après-guerre avaient deux convictions :

- l'IA capable de conscience était à portée de main
- l'IA consciente d'elle-même était indispensable pour réaliser des tâches complexes

Historique

• Introduction

- Depuis l'aube de l'humanité, l'Homme essaie de donner du sens à ce qui l'entoure et s'interroge sur le monde, la nature, les autres et sur lui-même
- L'Homme a toujours cherché à imiter la Nature
→ espoir d'avoir une certaine action ou un certain contrôle sur les faits et les choses
- Face à l'inconnu et aux questions sans réponses, l'Homme a proposé des modèles explicatifs (mythes et sciences)
- Histoire de l'intelligence artificielle
= histoire de l'évolution de la pensée humaine sur les questions portant sur la nature de l'esprit (mythes, philosophie, psychologie, sciences) et
+ histoire des technologies liées à ces questions

Historique

- Les prémices : Antiquité

- Antiquité égyptienne → l'esprit dans la machine dans des statues sacrées
- vers le X^e siècle av. J.-C. → automates anthropomorphes réalistes en Chine (par Yan Shi, au service de Ji Man)
- dans la mythologie grecque → robots serviteurs du dieu Hephaïstos
- vers 1750 av. J.-C. → à Babylone (époque d'Hammurabi), tables présentant les algorithmes les plus anciens
- vers 300 av. J.-C. → algorithmes plus généraux publiés par des mathématiciens grecs (Euclide et Eratosthène)
- vers 87 av. J.-C. → machine d'Anticythère, premier calculateur analogique (Archimède ?)

Historique

• Les prémices : Antiquité et Moyen Âge

- vers le III^e siècle av. J.-C. → premiers automates de l'Antiquité par Philon de Byzance et Ctésibios d'Alexandrie
- vers le VIII^e siècle → Mohamed Ybn Moussa al-Khwârizmî (né dans les années 780, originaire de Khiva dans la région du Khwarezm, dans l'actuel Ouzbékistan, mort vers 850 à Bagdad) → théorie des algorithmes + « Abrégé du calcul par la restauration et la comparaison » → invention de l'algèbre (de l'arabe « Al-jabr » signifiant « compensation ») → 1^{er} traité à étudier les équations du 1^{er} et 2nd degré
- au XIII^e siècle → le philosophe Raymond Lulle (1232-1315) conçoit plusieurs machines logiques dédiées à la production de connaissance par des moyens logiques

Historique

• Les prémices : Moyen Âge et Temps modernes

- vers 1550 → création mythique du Golem par le rabbin de Prague (Maharal)
- au XVIII^e siècle → des philosophes tels que Gottfried Leibniz, Thomas Hobbes ou René Descartes explorent la possibilité que toute la pensée rationnelle puisse être aussi systématique que l'algèbre ou la géométrie (la raison n'est que calcul)
- 1645 → Pascaline (machine à calculée inventée par Blaise Pascal)
- 1703 → arithmétique binaire inventée par Leibniz
- au XVIII^e siècle → programmation métier à tisser (Basile Bouchon, J.-B. Falcon, Jacquard...)
- 1735 → le flûteur automate (Jacques de Vaucanson)

Historique

• Les prémices : XIX^e siècle

- 1770 à 1820 → le Turc mécanique (canular)
- 1822 → machine à calculer automatique, la « machine à différences » de Charles Babbage
- 1836 → machine infiniment programmable (Babbage) : cylindre de programmation à picots → cartes jacquard
- 1843 → écriture d'un algorithme pour calculer les nombres de Bernoulli sur la future machine analytique de Babbage (Ada Lovelace)
- 1847 → algèbre de Boole (George Boole)
- 1869 → piano logique de Jevons : machine permettant d'arriver mécaniquement aux conclusions induites par un jeu de prémisses
- 1876 → analyseur différentiel de James Thomson (eq. diff.)

Historique

• L'époque des pionniers

- 1914 → Thomas J. Watson est nommé à la tête de la compagnie C-T-R (*Computing-Tabulating-Recording Comp.*)
- 1921 → représentation théâtrale de *R. U. R.* (Rossumovi univerzální roboti, Rossum's Universal Robots) Karel Čapek
- 1924 → Watson renomme la compagnie C-T-R en *IBM*
- 1931 → théorème d'incomplétude de Gödel de Kurt Gödel
- 1930 → création de la Compagnie des Machines Bull (à partir des brevets du Norvégien Fredrik Rosing Bull)
- 1936 → publication de « On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem » par Alan Turing → indécidabilité algorithmique → modèle machine abstraite
- 1939 → IBM commence à construire le Mark I

Historique

- Les années 1940 et le début de la cybernétique
 - une poignée de scientifiques de différentes disciplines (mathématiques, psychologie, ingénierie, économie et science politique) commencent à discuter de la possibilité de créer un cerveau artificiel (origines de la cybernétique) :
 - notion de machines programmables
 - importance de la notion de traitement de l'information
 - machine de Turing : application de règles sur des symboles
 - idée : programme = données → système automodifiable
 - simulation :
 - « si je pouvais imiter la Nature, c'est peut-être que j'avais découvert l'un de ses secrets » [Mandelbrot, 1963]
 - 1941 → le Z3, calculateur programmable de Konrad Zuse
 - 1942 → décryptage d'Enigma au Bletchley Park par Turing

Historique

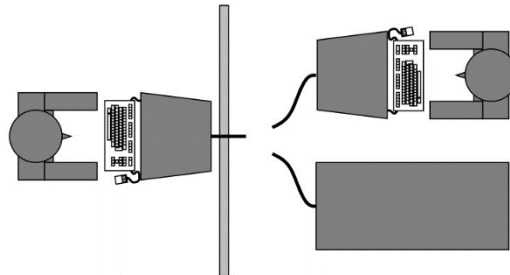
- Les années 1940 et 1950

- 1943 → calculateur Colossus : calculateur électronique fondé sur le système binaire, utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale pour la cryptanalyse du code Lorenz
- 1943 → début de la cybernétique (Norbert Wiener), concept de rétro-action
- 1943 → neurone formel (Warren McCulloch et Walter Pitts)
- 1944 → calculateur Harvard Mark
- 1945 → Vannevar Bush : idée des documents hypertextes
- 1946 → ENIAC de John Eckert et John Mauchly
- 1950 → Turing publie un article mémorable dans lequel il spéculé sur la possibilité de créer des machines dotées d'une véritable intelligence. Il remarque qu'il est difficile de définir « l'intelligence » et imagine son célèbre test

Historique

- Les années 1950 et les débuts de l'IA

- dans le « jeu de l'imitation » (« test de Turing ») : si une machine peut mener une conversation (par télécscripteur interposé) qu'on ne puisse différencier d'une conversation avec un être humain, alors la machine peut être qualifiée d'« **intelligente** »



→ version simplifiée du problème argumentant qu'une « machine pensante » est au moins plausible

→ le test de Turing a été la première hypothèse sérieuse dans le domaine de la philosophie de l'intelligence artificielle

Historique

• Les années 1950 et les débuts de l'IA

- 1955 → En 1955, Allen Newell et (le futur prix Nobel) Herbert Simon, avec l'aide de Cliff Shaw, ont créé le « Théoricien logique »
 - programme capable de démontrer 38 des 52 premiers théorèmes des *Principia Mathematica* de Russell et Whitehead → démonstrations inédites dont certaines sont jugées particulièrement élégantes
 - résolution du problème corps-esprit ?
- 1956 → « intelligence artificielle » à la conférence de Dartmouth organisée par Minsky, McCarthy, Shannon et Rochester : « chaque aspect de l'apprentissage, ou toute autre caractéristique de l'intelligence, peut être décrit si précisément qu'une machine peut le simuler »

Historique

- Les grands espoirs (années 1950 et 1960)

- à partir des années 1950, les programmes développés à l'époque sont considérés par la plupart des gens comme tout simplement « extraordinaires » : des ordinateurs résolvent des problèmes algébriques de mots, démontrent des théorèmes en géométrie et apprennent à parler anglais
- à cette époque, peu croient que de tels comportements « intelligents » soient possibles pour des machines
 - optimisme fou des chercheurs : une machine *vraiment* intelligente d'ici 20 ans → investissements massifs (DARPA)
- approche connexionniste : le *Perceptron* de Frank Rosenblatt (1958) → un perceptron pourra « être capable d'apprendre, prendre des décisions ou traduire des langues »
- 1966 → *ELIZA* de Joseph Weizenbaum (test de Turing)

Historique

• La désillusion (années 1970)

- 1969 : livre *Perceptrons* de Minsky et Papert → critique des modèles de type neurones formels (↘ connexionnisme)
- à partir du milieu des années 1970, l'IA subit des critiques et des revers budgétaires (premier « hiver » de l'IA)
 - les chercheurs en IA n'appréhendaient pas les difficultés des problèmes auxquels ils sont confrontés :
optimisme → attente excessive → les résultats promis ne se matérialisent pourtant pas → fin des investissements
- limites telles que le passage à l'échelle, le raisonnement associé aux bases de connaissances de culture générale...
- paradoxe de Moravec (complexité des tâches simples) → « en dessous d'un certain niveau de puissance, un avion reste plaqué au sol et ne peut pas décoller du tout »

Historique

• La renaissance (années 1980)

- trois grands tournants dans les années 1980 :
 1. développement des programmes d'IA appelés « systèmes experts » → adoption par les entreprises, la connaissance devient le sujet central de la recherche en IA
 2. le gouvernement japonais finance massivement l'IA à travers son initiative « ordinateurs de 5^{ème} génération »
 3. renaissance du connexionnisme à travers les travaux de John Hopfield et David Rumelhart (PDP Research Group)
- début de la micro-informatique domestique : Macintosh d'Apple et PC avec le système d'exploitation Windows
- premiers succès commerciaux des réseaux de neurones

Historique

- Le nouveau déclin (début des années 1990)

- à la fin des années 1980, la Strategic Computing Initiative de la DARPA a coupé ses financements à l'IA
- la nouvelle direction de la DARPA ayant conclu que l'intelligence artificielle n'est plus de « dernière mode », elle a redirigé les subventions vers des projets plus propices à des résultats rapides
- vers 1991, les objectifs impressionnants listés en 1981 par le Japon pour ses ordinateurs de cinquième génération n'ont pas été atteints : la barre avait été placée beaucoup trop haut → fin du programme d'intelligence artificielle mené par le gouvernement japonais

Historique

- Les nouvelles prouesses (fin des années 1990)
 - 1997 → Deep Blue d'IBM bat Garry Kasparov : 2 victoires, 3 nulles et 1 défaite (3,5 à 2,5)
 - Deep Blue est devenu le premier système informatique de jeu d'échecs à battre Garry Kasparov (*world champion*)
 - Deep Blue était une machine titanesque, produit de 5 ans de travail et de centaines de milliers de dollars d'investissement
 - ce succès, et ceux qui suivront, ne reposent pas sur de nouveaux paradigmes révolutionnaires mais sur une application minutieuse des techniques d'ingénierie et sur la puissance phénoménale des ordinateurs (p.ex. Deep Blue calcule environ 200 millions de coups par seconde)

Historique



Historique

- Les nouvelles prouesses (années 2000-2010)

- années 2000 : nouvel intérêt pour les données (Internet)
→ naissance de nouveaux géants sur le terrain du numérique
- 2011 → début du projet *Google Brain* : projet de recherche d'apprentissage en profondeur (*deep learning*)
- 2011 → en février, dans un match de démonstration du jeu télévisé *Jeopardy!*, les deux plus grands champions de *Jeopardy!*, Brad Rutter et Ken Jennings ont été battus avec une marge confortable par le système de question/réponse conçu par IBM, au centre de recherche *Watson*.

Watson est un superordinateur IBM (IBM Power Systems) : 90 serveurs Power 750 réunis dans 10 racks (2880 cœurs), utilisation du framework *Hadoop* pour parcourir la grande quantité de contenu disponible (200 millions de pages en 3 s)

Historique



Historique

- Les nouvelles prouesses (années 2000-2010)

- 2012 → *Large Scale Visual Recognition Challenge* : jusqu'alors : stagnation des taux d'erreur à 25% au mieux → 16% d'erreurs avec des réseaux de neurones profonds
- Les auteurs de cette méthode sont Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever & Geoffrey E. Hinton → (NIPS 2013)
- Alex Krizhevsky : Univ. Toronto → Google
- Ilya Sutskever : Univ. Toronto → Stanford Univ. → DNNResearch → Google (2013-2015) → OpenAI
- Geoffrey E. Hinton (Cambridge, Edinburgh) → UCSD → CMU → UC London → Univ. Toronto → Google (2015)
- mais aussi à Google : Andrew Ng, Jeff Dean, Tomas Mikolov
- Google n'est pas seul à chasser les pros de l'IA : Facebook (Yann LeCun, Vladimir Vapnik, Mikolov) ou Baidu (Ng)...

Historique

- Les nouvelles prouesses (années 2000-2010)

- octobre 2015 → AlphaGo (de Google DeepMind) gagne par 5 à 0 un match contre Fan Hui, 2^{ème} dan professionnel et champion d'Europe : 1^{ère} victoire d'une IA contre un joueur professionnel, sans handicap et sur un goban 19×19
- 2016 → match AlphaGo - Lee Sedol (meilleur joueur du monde) est remporté par l'IA de Google qui a gagné toutes les parties sauf la quatrième parmi les 5 jouées
- principe d'AlphaGo : combinaison de techniques d'apprentissage automatique et de parcours de graphe, associées à de nombreux entraînements avec des humains, d'autres ordinateurs, et surtout sur des copies de lui-même

Historique



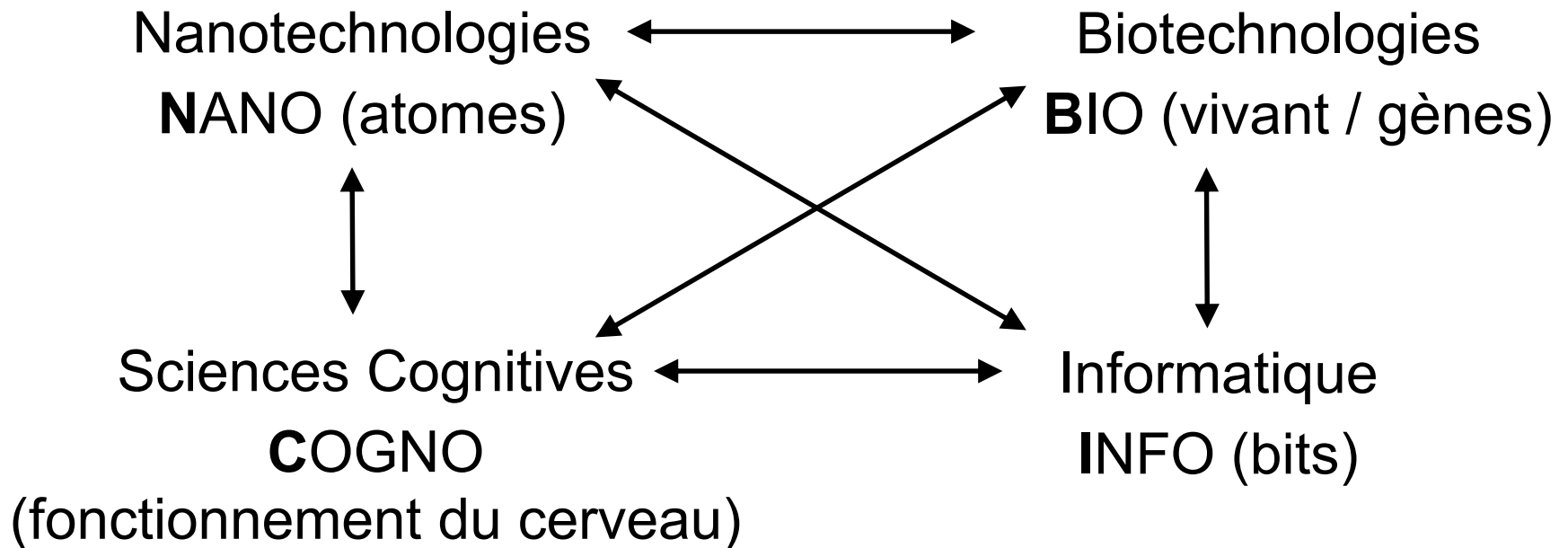
Historique

- Le temps des inquiétudes (années 2010)

- Janvier 2015 → des entrepreneurs (Bill Gates, Elon Musk), scientifiques (Stephen Hawking) et experts en IA (Peter Norvig, Stuart J. Russell) signent une lettre ouverte sur l'IA appelant à la recherche sur les impacts sociétaux de l'IA. La société peut tirer d'importants bénéfices potentiels de l'IA mais les chercheurs ne doivent pas créer une chose qui ne peut pas être contrôlée (« intelligence superhumaine »)
- 19 janvier 2017 → audition publique au Sénat, ouverte à la presse, sur l'intelligence artificielle (<https://videos.senat.fr>) → enjeux éthiques, enjeux économiques, politiques et de souveraineté (justice, finance, sécurité intérieure, défense)

Historique

- Aujourd'hui et demain : les NBIC



Historique

- Aujourd'hui et demain : les NBIC

- Convergence de domaines émergents :

- Nanotechnologies :

- action sur la matière à l'échelle quasi-atomique (10^{-9} m)
- création de matériaux aux nouvelles propriétés

- Biologie / Biotechnologies :

- action sur le vivant et en particulier sur les gènes
- utilisation d'outils de génie génétique
(p. ex. les « ciseaux moléculaires » CRISPR-Cas9)
- = nanotechnologie « humide » parce que basée sur des matériaux humides (organiques) au lieu d'être secs

Historique

- Aujourd'hui et demain : les NBIC
- Convergence de domaines émergents :
 - Informatique :
 - traitement de l'information / science du contrôle
 - intelligence artificielle / robotique / réalité virtuelle / informatique quantique...
 - Sciences Cognitives (ou Sciences de la Cognition) :
 - étude de l'esprit, de sa nature et de ses mécanismes
 - étude du cerveau
 - approche pluridisciplinaire : neurosciences, psychologie, sciences du langage, philosophie, informatique...

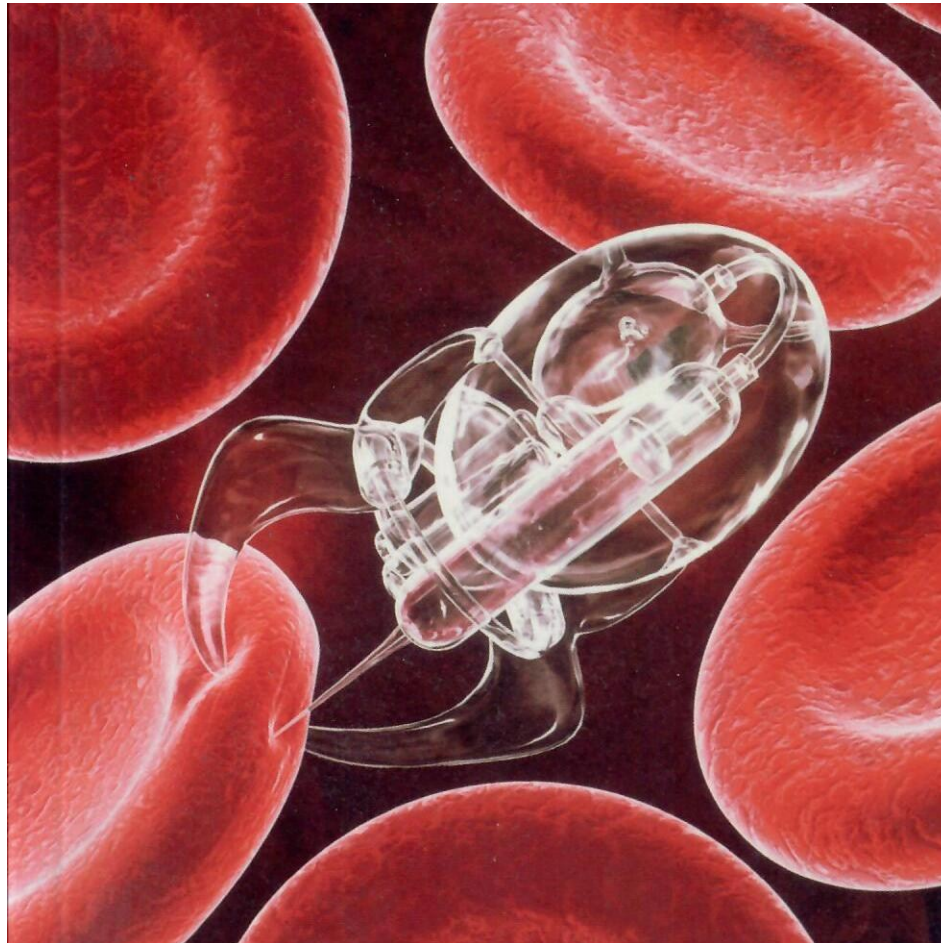
Historique

• Aujourd'hui et demain : les NBIC

- Meilleure connaissance de l'esprit et du cerveau
 - création de nouvelles machines intelligentes
 - action à une échelle moléculaire et atomique
 - contrôle par les technologies informatiques
- Exemples d'applications :
 - « robots biologiques » :
nanorobots permettant de traiter les maladies à l'échelle moléculaire (reprogrammation cellulaire et génomique)
 - action de la pensée sur le contrôle d'objets connectés
 - NBIC = « BANG » pour Bits, Atomes, Neurones et Gènes

Historique

- Aujourd'hui et demain : les NBIC



Conclusion

- **Prospectives**
- NBIC → saut quantitatif et qualitatif de l'espèce humaine ?
- transhumanisme
 - amélioration par la transformation individuelle
 - concentration sur l'individu
 - vision narcissique ? repli sur soi ?
- hyperhumanisme (Joël de Rosnay)
 - évolution de l'Homme en complémentarité et en symbiose intégrée et collective avec les machines numériques et l'intelligence artificielle ?

Conclusion

- Faut-il avoir peur de l'intelligence artificielle ?

- mythe de Frankenstein
→ crainte que les machines ne se retournent contre l'Homme
- la destruction des emplois
→ remplacement des emplois les moins qualifiés par des robots et des professions intellectuelles par des programmes d'intelligence artificielle qui sont capables de rivaliser avec les médecins, les juristes, les journalistes, les enseignants...
- *Pour une intelligence artificielle maîtrisée, utile et démystifiée*
→ rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (15 mars 2017)

Conclusion

• Les questions liées à l'intelligence artificielle

- questions éthiques
 - IA et robotique, usage militaire, sécurité, vie privée...
- questions de gouvernance
 - encadrement par les pouvoirs publics
- questions de société
 - faut-il faire évoluer l'espèce humaine ?
 - de *l'humain réparé* à *l'humain augmenté* ?
- questions du rapport à l'intelligence artificielle et aux robots
 - une « vallée dérangement » (*uncanny valley*) ?
 - vers une empathie artificielle ? (Serge Tisseron)

Références

- « Pour une intelligence artificielle maîtrisée, utile et démystifiée », rapport de M. Claude DE GANAY, député et Mme Dominique GILLOT, sénatrice, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, n° 464 tome I (2016-2017) - 15 mars 2017 : <https://www.senat.fr/notice-rapport/2016/r16-464-1-notice.html>
- Lettre ouverte sur l'intelligence artificielle (janvier 2015) signée par des spécialistes en IA, des scientifiques de renom et des grands acteurs du monde industriel :
<https://futureoflife.org/ai-open-letter/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Letter_on_Artificial_Intelligence
- Daniel CREVIER, « À la recherche de l'intelligence artificielle », Paris : Flammarion, 1997
(traduction de *The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*, New York : BasicBooks, 1993)

Crédits d'illustration

- *Kasparov Vs. Deep Blue*
George Widman, 1996 (Forbes, 2011)
- *IBM-Watson Defeats Humans in “Jeopardy!”*
Jeopardy Productions (CBS News, 2011)
- *AlphaGo seals 4-1 victory over Go grandmaster Lee Sedol*
The Guardian (Yonhap/Reuters, 2017)
- Photo de couverture de *Bionano-éthique : Perspectives critiques sur les bionanotechnologies* (Vuibert, 2008),
Micro-seringue © Coneyl Jay, Science Photo Library