



IA et Nous

Histoire de l'IA

«Je pense que plus on connaît le passé, mieux on est préparé pour l'avenir.»

Theodore Roosevelt

Plan

1. Naissance

Années 1940

2. Age d'or

1956 -1970

3. Premier hiver

1970-1980

4. Boom

1980-1987

5. Deuxième hiver

1987-1993

6. De nos jours

L'ordinateur

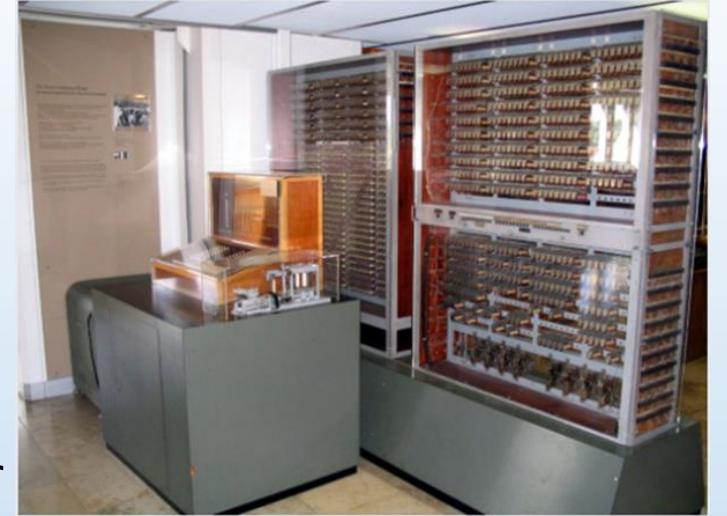
1941

Le Konrad Zuse est le premier ordinateur programmable au monde. Il Utilisant **2000 relais** et fonctionnait avec des mots de **22 bits**.

Il fut terminé en 1941 à Berlin.

Il fut détruit par les bombardements en 1943

il a ouvert la voie à **l'idée** qu'il était possible de programmer un ordinateur pour pouvoir un jour **répliquer la conscience humaine !!!**



1951

l'UNIVAC I (Universal Automatic Computer) est installé en **1951** au bureau du recensement américain



Les débuts de l'IA



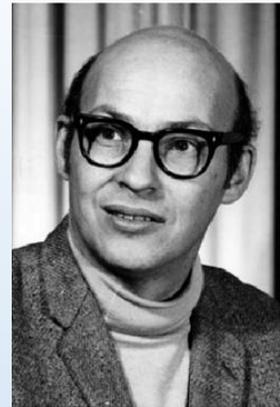
Warren Weaver
1894-1978

1949 publie un mémo
sur la **traduction**
automatique des
langues.



John McCarthy
père du terme IA
et de LISP

1950 ont proposé la 1ère définition de l'IA



Marvin Minsky



Herbert Simon
(1916-2001)

Allen Newell
(1927-1992)

Pères du cognitivisme

Les pionniers de l'IA

Le terme « **intelligence artificielle** » est utilisé pour la première fois par **John McCarthy** lors de la conférence **Dartmouth** qu'il a organisée en **1956** et qui est considérée comme l'un des grands débuts du sujet en informatique

Les deux approches de l'IA

Deux approches de l'IA émergent dans les années 1940

Symbolique

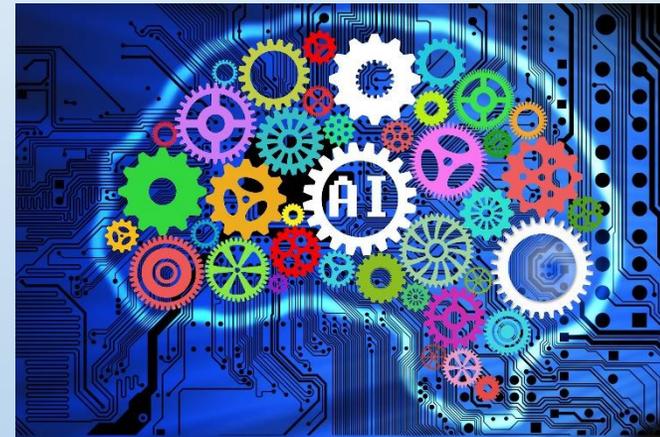
modéliser le comportement



Sciences humaines

Connexionniste

modéliser les mécanismes



Neurosciences

Le cognitivisme

Le cognitivisme : la pensée peut être décrite à un niveau abstrait comme manipulation de symboles. Cette approche établit un lien entre la pensée et le langage : **système de symboles**.

En 1949, **Warren Weaver** (1894-1978) écrit un mémorandum où il spécule, à la suite de **Leibniz**, sur l'existence de règles linguistiques communes à toutes les langues et veut appliquer ce principe à la traduction automatique sur ordinateur.

Dans le **contexte de la guerre froide**, la traduction automatique du russe en anglais ou de l'anglais au russe paraît cruciale. En 1954, un premier programme, écrit à l'université de Georgetown permet de traduire plusieurs dizaines de phrases simples.

Le programme utilise **250 mots et seulement 6 règles de grammaire** et tourne sur un **IBM 701**.



Le cognitivisme

Travaux de Simon et Newell

Herbert Simon (1916-2001), économie et science politique
cherche à comprendre comment les individus
prennent des décisions, en particulier dans le cadre
des organisations

Les idées de **Simon** et de **Newell** convergent :
La **rationalité limitée** de Simon implique que la
prise de décision repose sur des procédures
permettant de pallier les manques d'information
en tenant compte du contexte.

Pour Newell, ces procédures sont des **Heuristiques**.

Allen Newell (1927-1992), physique, puis thèse en
mathématiques.
Durant ses études, il a été fortement influencé par le
mathématicien hongrois **Georges Polya** (1887-1985), qui
avait introduit la notion **d'heuristique pour la résolution de
problème** (*How to solve it*, 1945).



Raisonnement symbolique et le théoricien logique

Simon et Newell considèrent que la condition *nécessaire et suffisante* pour qu'une machine puisse faire preuve d'intelligence est qu'elle soit un **système physique de symboles**.

Etre intelligent, c'est aussi être capable de construire des **heuristiques**, de les tester, de les faire évoluer.

Aidés par un programmeur de la **RAND***, Cliff Shaw, ils développent **Logic Theorist** en **1956**, un programme de démonstration automatique de théorème (voir l'article *The logic theory machine: A Complex Information Processing System*, 1956).

Logic Theorist est considéré comme le premier programme informatique relevant du domaine de l'IA.

C'est l'une des premières formulations d'un mouvement philosophique que **John Searle** appellera plus tard « **intelligence artificielle forte** » : **comme les humains, les machines peuvent posséder un esprit**.

Pour faciliter la programmation du Logic Theorist, Newel, Simon et Shaw développent le langage IPL (Information Processing Language) en 1956. Ils inventent pour cela les structures de listes.

The Logic Theorist (1956)



* Research and Development, laboratoire d'idées américain.

Le Cerveau

- 85×10^9 neurones .
- 10^4 Synapses/neurone $\rightarrow 10^{15}$ synapses
- 1,4 kg - 1,7 litres
- Cortex 2500 cm^2 - 2 mm épaisseur
- 180 000 km de « câbles »
- 250 millions de neurones par mm^3
- 25 W

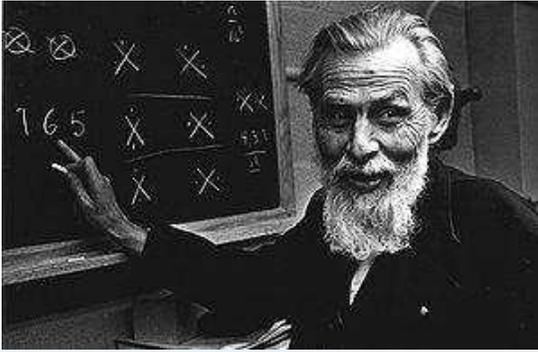
L'apprentissage modifie l'efficacité des synapses :

- renforcement,
- affaiblissement
- apparition/disparition



Le neurone formel

Le connexionnisme



Warren McCulloch (1898-1969), et Walter Pitts *
(1923-1969), neurologues, inventent en **1943** le
premier modèle mathématique du neurone
biologique, **le neurone formel**



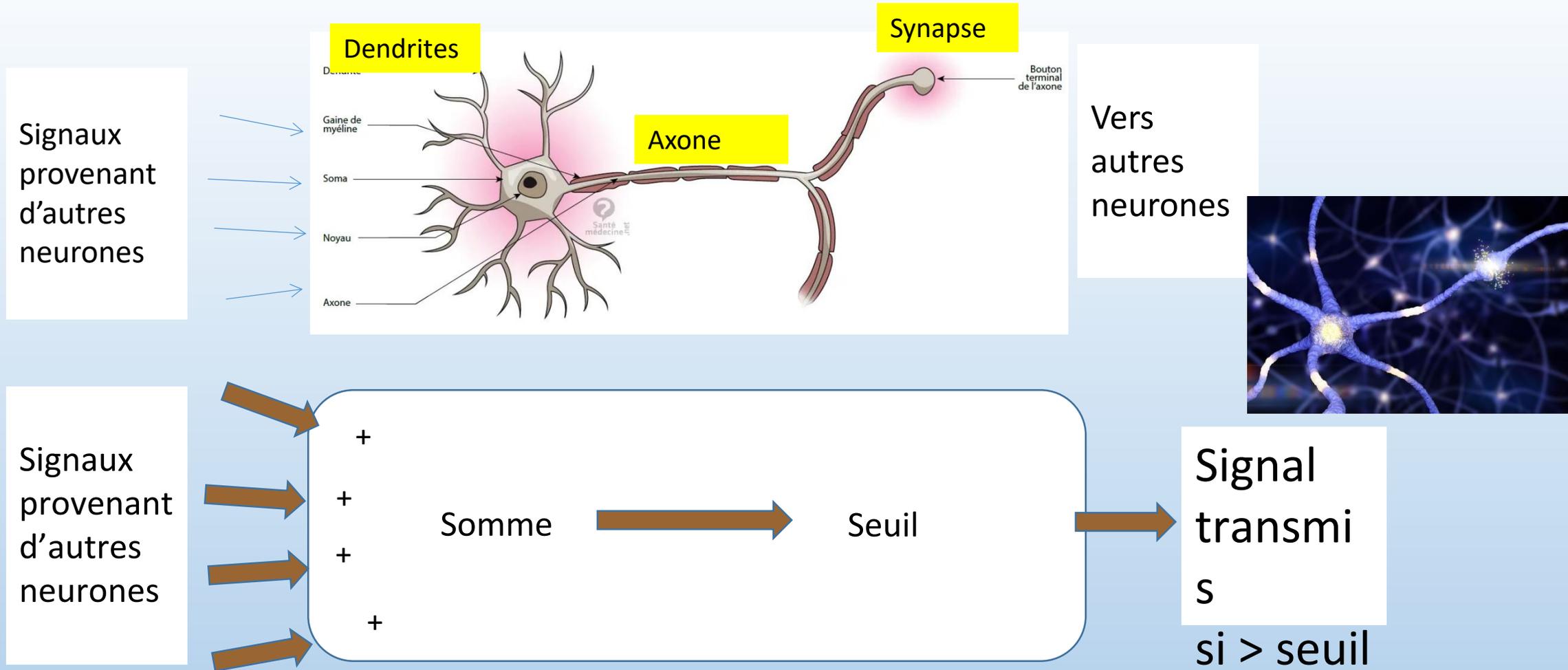
Une nouvelle approche émerge : **le connexionnisme**.

Puisqu'il semble hors de portée de modéliser le comportement global du cerveau,
ils proposent de reproduire dans une machine le fonctionnement interne du cerveau humain.
Mais cette approche postule que le cerveau et l'architecture de ses centaines de milliards de cellules est
mathématiquement modélisable, et qu'il puisse exister un ordinateur assez puissant pour faire tourner un
tel modèle.

En 2013 *Projet de l'UE - Human brain project : simuler le cerveau humain*

* **Marvin Minsky** était un de leurs élèves et allait devenir l'un des plus importants leaders et innovateurs en IA

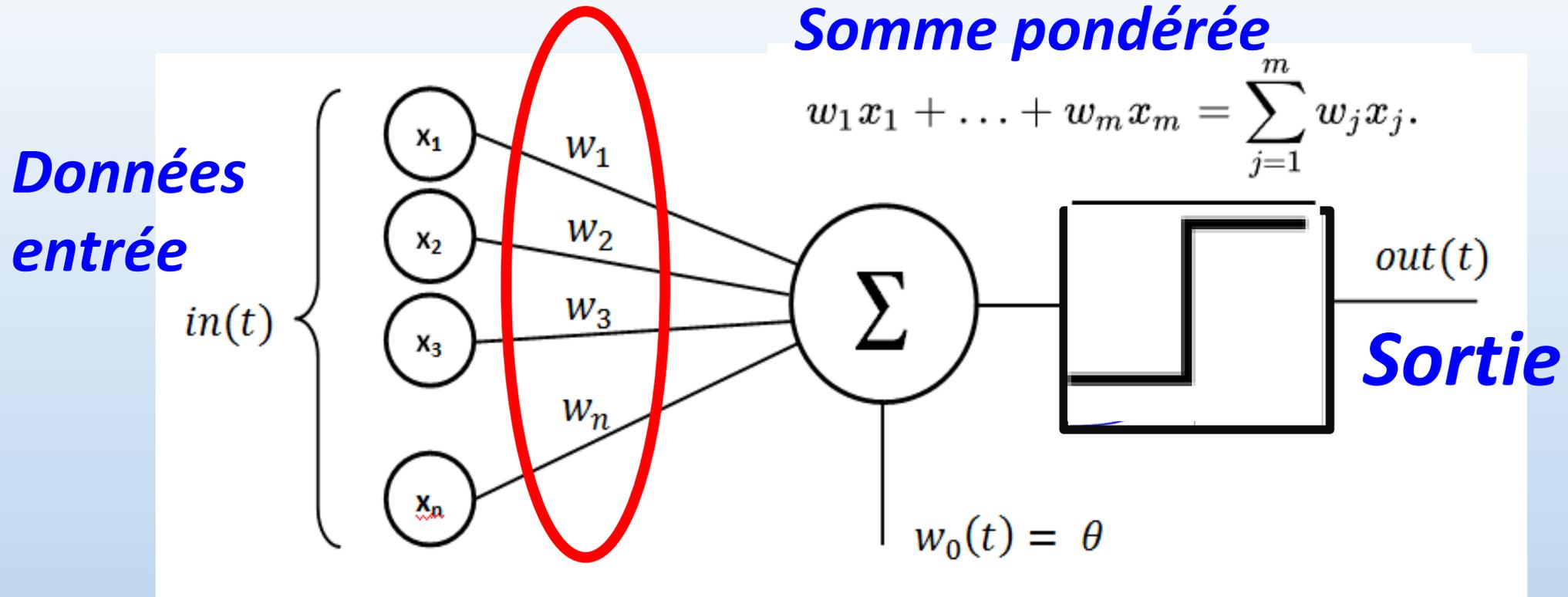
Modélisation neurone



Renforcement de certains liens → Apprentissage

Le neurone formel

McCulloch et Pitts 1943



Poids synaptiques
Paramètres

L'IA dans les jeux

Jeu de dames (1951)



Le premier logiciel fonctionnel démontrant une intelligence artificielle fut écrit en **1951** à l'Université de Manchester. Destiné à jouer aux dames, il tournait sur un Ferranti Mark 1, aussi connu sous le nom de Manchester Electronic Computer. Le programme fut conçu par **Christopher Strachey**. Un programme permettant de jouer aux échecs a aussi été conçu durant cette période, mais la machine était trop lente et le jeu se limitait à un échec et mat en 2 coups. Le Mark 1 utilisait une architecture à mots de 20 bits. Chaque mot contenait une instruction. La mémoire utilisait 8 tubes contenant chacun 64 mots, soit l'équivalent d'une page. La mémoire centrale était composée d'un tambour magnétique contenant 512 pages.

Le jeu de dames d'[Arthur Samuel](#), développé au milieu des années **1950** et au début des années **1960**, a fini par acquérir un niveau suffisant pour défier un bon amateur³³.

De fait, l'intelligence artificielle dans les jeux sert d'étalon des avancées de l'intelligence artificielle.

Le test de Turing

Le test de Turing (1950)



Alan Turing proposa un **test permettant de déterminer si une intelligence artificielle est similaire ou impossible à distinguer d'une intelligence humaine.**

Le test demande à un individu de communiquer par messages textuels avec un ordinateur et un humain.

S'il n'est pas capable de distinguer les deux, l'intelligence artificielle passe le test.

Le plus grand point faible de ce test est le fait qu'il repose sur l'idée qu'un homme est capable de juger et distinguer le comportement d'un autre homme de celui d'une machine.

Or, le programme indien Cleverbot a montré que dans 37 % des cas, l'interlocuteur humain était jugé être une machine. Aujourd'hui, le programme ALICE est sans doute la référence dans ce domaine, mais aucun logiciel n'a pour l'instant passé le test.

Expérience de pensée de la chambre chinoise

John Searle. 1980

<https://iep.utm.edu/chineser/>



Anglophone ne parle pas chinois

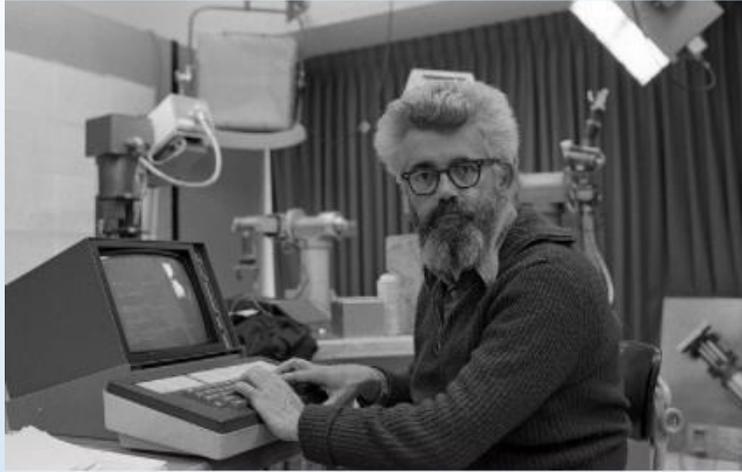
Dispose de règles en anglais pour corrélérer les symboles et fournir la réponse

John Searle

- *IA faible : simule la pensée. Même s'il répond comme un humain, l'ordinateur ne comprend pas*
- *IA forte : l'ordinateur pourrait comprendre et avoir d'autres états cognitifs*

1956 Conférence de Dartmouth

Dartmouth Conference (1956)



*Le terme « **intelligence artificielle** » est utilisé pour la première fois par **John McCarthy** lors de la conférence **Dartmouth** qu'il a organisée en **1956** et qui est considérée comme l'un des grands débuts du sujet en informatique*

Les organisateurs de la conférence de **Dartmouth** prévoient que soient abordés diverses questions autour de l'idée de **machine pensante** :*

- **Comment simuler la pensée et le langage au travers de règles formelles?***
- **Comment faire penser un réseau de neurones?***
- **Comment doter une machine de capacité d'apprentissage automatique?***
- **Comment doter une machine de créativité?***

****McCarthy, Minsky, Rochester et Shannon** auxquels se sont joints **Simon et Newell***

Age d'or : 1956 - 1970

Contexte de guerre froide – Espace – Culture (Hippies – Rock, ...)

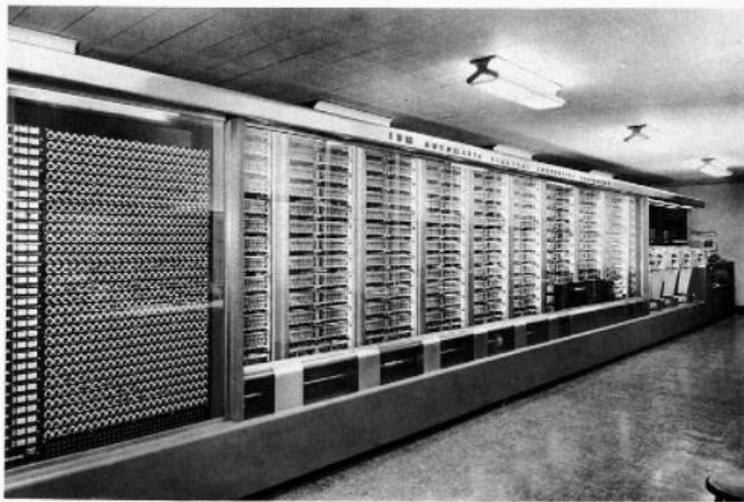
Trois grands domaines

- 1. Le connexionnisme*
- 2. Le raisonnement symbolique*
- 3. Dialogue machine en langage naturel*

Les progrès du connexionnisme

Frank Rosenblatt invente en 1957 le premier réseau de neurones artificiels à une seule couche : le Perceptron

Perceptron (1960)



II Front View of the Calculator

Il implémente sur un IBM 704 le Perceptron et parvient à simuler le processus de mémorisation en appliquant la règle de Hebb :

"des neurones qui s'excitent ensemble se lient entre eux." (cells that fire together, wire together).

Ils renforcent leurs connexions, leurs liens synaptiques : c'est ce que les neurosciences appellent la plasticité synaptique

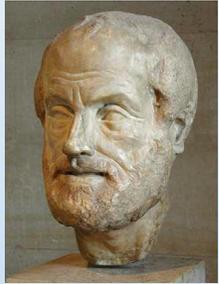
Ce fut un boom

On pensait que, grâce au Perceptron, on pourrait réaliser des machines capables d'écrire, de parler, de marcher, voire même d'avoir une conscience !!!

L'essor du cognitivisme

L'approche connexionniste, pourtant mise en avant dans l'appel de Darmouth, va être marginalisée au profit du **cognitivisme**

En 1957, **Newell et Simon** programment le **General Problem Solver (GPS)** qui étend les principes utilisés dans le Logic Theorist et implémente **l'analyse fins moyens** utilisant l'arborescence de recherche avec chaînage arrière ou avant.



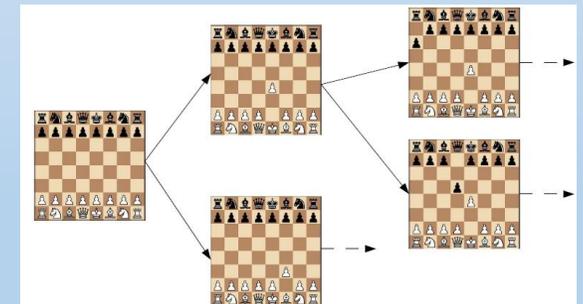
L'analyse fin moyens avait déjà été définie par **Aristote 2300** ans plus tôt

GPS fut employé pour résoudre des casse-têtes, des intégrations symboliques, et des décryptages de codes secrets, mais il est surtout resté un programme de recherche

The General Problem Solver (1957)

General Problem Solver (1957)

- ↳ Generalization of Logic Theorist
 - general framework for solving any problem, given the proper setup
 - rules separated from knowledge base
 - "Weak method" doesn't use domain-specific heuristics
 - goal: to be a better psychological model of human cognition
 - have subjects describe what they are doing as they solve problems
- ↳ Means-ends analysis
 - determine differences between current state & goal state
 - break into sub-problems [divide & conquer]
 - reduce the differences by means of operators
- ↳ Backtracking



L'essor du cognitivisme

LISP (1958)



Pour faciliter l'écriture de ces programmes, John McCarthy développe le langage **LISP** List Processing, permettant la manipulation d'éléments enchainés les uns aux autres, pour reproduire le caractère associatif de la mémoire humaine. Ces structures sont aujourd'hui utilisées dans tous les langages de programmation.

LISP devient le principal langage de l'IA.

Avec Fortran (FORMula TRANslator) 1956, LISP est l'un des plus anciens langages de programmation informatique. Ils sont encore utilisés.

Les promesses du cognitivisme

Devant ces avancées rapides, **Newell et Simon** prédisent en **1958** dans leur article *Heuristic Problem Solving* **qu'avant 10 ans** :

1. un ordinateur deviendra **champion du monde d'échecs**, sauf si les règles l'empêchent de **participer à la compétition**.
2. un ordinateur **découvrira et prouvera un nouveau et important théorème mathématique**.
3. un ordinateur **écrira de la musique qui sera considérée comme esthétique par les critiques**.
4. la plupart des **théories psychologiques** auront la forme de **programmes d'ordinateur**.

L'optimisme est à son comble et les recherches progressent dans toutes les directions.

- Mathématiques : 1961, **James Slagle** (calcul intégrales) -
- Reconnaissance de formes : 1959, **Oliver Selfridge**,
- Détection de similarité 1963 **Tom Evans**,
- Simulation d'un psychothérapeute **ELIZA** 1965 **Joseph Weizenbaume**

Au début des années **1960**, le MIT (Minsky), la CMU* (Newell & Simon) et Stanford (MacCarthy) reçoivent **plusieurs millions de dollars** pour financer les laboratoires d'IA.

* Carnegie Mellon campus

Des machines qui comprennent le langage naturel

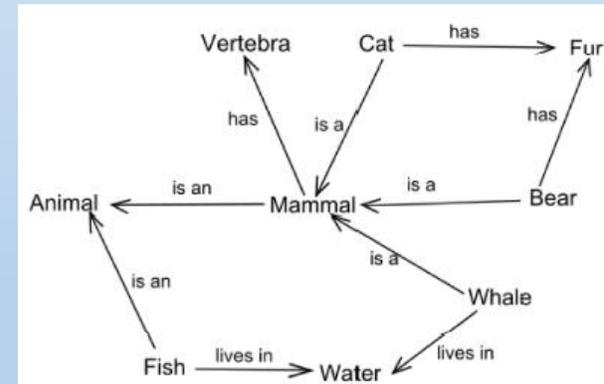
Les problèmes rencontrés par la traduction automatique montrent que l'interprétation des phrases nécessite d'analyser leur structure pour tenir compte du contexte.

Les grammaires de **Chomsky** en **1957**, vont servir pour l'analyse des textes mais aussi pour la reconnaissance de la parole et la synthèse vocale lorsqu'elles sont couplées avec des systèmes d'analyse des sons. En **1961**, le premier système d'analyse vocale, l'IBM **Shoeblox**, reconnaît **16** mots, dont les dix chiffres, mais pas les phrases.

En **1964**, les programmes **STUDENT** (réalisé par Daniel Bobrow thésard de Simon) et **SIR** (réalisé par Bertram Raphael, étudiant de Minsky), résolvent des problèmes algébriques simples avec une interface en langue naturelle appauvrie. **STUDENT** et **SIR** sont écrits en **LISP** et utilisent des grammaires formelles pour reconnaître les phrases.

Un **réseau sémantique** représente des concepts (par ex. « maison », « porte ») à l'aide de nœuds et les relations entre les concepts (par ex. « possède un ») par des liaisons entre ces nœuds.

Le premier programme d'IA à utiliser un réseau sémantique a été écrit par [Ross Quillian](#) en **1968**



Des machines qui comprennent le langage naturel

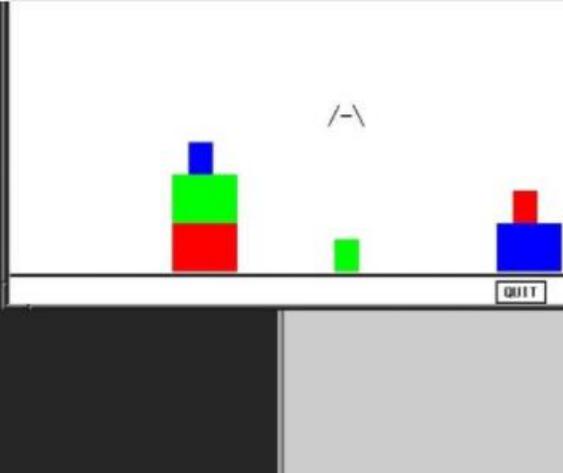
SHRDLU (1968)

```
Move mouse pointer to this window
Type a sentence - 'help' for help - type 'bye' to exit
? help

You can:
1. give a command to MOVE or PUT a block somewhere.
2. ask where a block is, ask whether a block is on
   another block, ask what blocks are on a block, or ask
   which block is on another block

Examples of things you can type:

put a green block on a blue block
move the little red block onto a big green block
put a block on the table onto a blue block
put the block on a block on a block on a red block
is the big red block on the small green one
where is the small blue block
put it on the table
put the big green block on it
what is on the big green block
what is on the block on the big green one
```



Conçu par Terry Winograd à MIT, **SHRDLU** est un des premiers programmes informatiques de compréhension de langage naturel. Le but est de pouvoir avoir une « conversation » avec sa machine. Écrit en Micro Planner et en Lisp, il tournait sur des PCP-6.

SHRDLU était avant tout un logiciel de décomposition analytique qui était capable de déchiffrer l'anglais.

L'utilisateur pouvait bouger des objets dans un environnement qui était grandement simplifié pour pouvoir être contrôlé à l'aide de 50 mots seulement.

SHRDLU utilisait aussi de la mémoire pour offrir du contexte.

Il était ainsi possible de demander de « placer un cône vert sur un bloc rouge », puis de « retirer le cône ».

Le système déduisait automatiquement que « le cône » était le cône vert mentionné précédemment.

<https://www.youtube.com/watch?v=bo4RvYJYOzI> 3'45"

Les démonstrations étaient particulièrement impressionnantes, mais sa portée est restée limitée. En effet, en dehors du monde simpliste des blocs, ce genre de programme est beaucoup moins pertinent.

Prolog

Prolog (1972)

```

LOG:USER
st, max_o
*****
]
Damen 1
]
*****

domains
  pos = integer
  pos_list = pos*
  halb_stellung = reference pos 1
  stellung = reference halb_stell
  stellung_list = stellung*
  farbe = weiss ; schwarz

database
  zug_list(stellung_list)

predicates
  NONDETERM member(pos, pos_list)
  NONDETERM member_rest(pos, pos_list, pos_list)
  length(pos_list, integer).
  NONDETERM repeat
  grund_stellung(stellung)
  opposit(farbe, farbe)
  gewonnen(integer)
  NONDETERM diag_move(farbe, pos, pos)
  valid_pos(pos)
  RM possible_move(farbe, pos, pos)
  stein(pos, pos_list, pos_list)
  RM zug_pos_gen(farbe, stellung, stellung)
  stellung(stellung)
  (farbe, stellung, stellung_list)
  ng(integer, farbe, farbe, stellung, integer)
  _list(integer, farbe, farbe, stellung_list, int

Message
best_move
exec_move
exec
run
member
delete_stein
possible_move
diag_move
of option or select with + or +

```

Prolog est un langage de programmation logique qui est utilisé en intelligence artificielle et en informatique linguistique. Conçu par **Alain Colmerauer à Marseille en 1970**, le premier système utilisant Prolog apparut en **1972**.

Il est l'un des premiers langages de programmation logique et est resté longtemps populaire.

En plus d'être utilisé dans le traitement du langage naturel, il est utilisé dans les systèmes experts, et les preuves de théorèmes. Les chercheurs européens en intelligence artificielle ont souvent privilégié **Prolog au lieu de LISP**.

Ce ne sont pas des langages utilisés aujourd'hui au quotidien par la plupart des programmeurs, mais ils sont toujours vivants, surtout **Lisp**.

L'optimisme

La première génération de chercheurs en IA fait les prévisions suivantes :

1958, [H. Simon](#) et [Allen Newell](#) : « **d'ici dix ans** un ordinateur sera **le champion du monde des échecs** » et « **d'ici dix ans, un ordinateur découvrira et résoudra un nouveau théorème mathématique majeur⁶¹** ».

1965, [H. Simon](#) : « des machines seront capables, **d'ici vingt ans**, de **faire tout travail que l'homme peut faire** ».

1967, [Marvin Minsky](#) : « **dans une génération [...]** le problème de la création d'une 'intelligence artificielle' [sera] **en grande partie résolu** ».

1970, [Marvin Minsky](#) (dans le magazine [Life](#)) : « **Dans trois à huit ans** nous aurons une machine avec **l'intelligence générale d'un être humain ordinaire**

Et au cinéma : en 1968, l'IA fait son apparition au cinéma avec le film de Stanley Kubrick « 2001 a space odyssey », qui met en scène **HAL** (Heuristically programmed Algorithmic computer), un ordinateur intelligent qui pilote un vaisseau spatial mais finit par tuer des passagers.

Premier hiver

1970- 1980

- *Crise scientifique*
- *Crise financière*
- *Crise philosophique et morale*

Crise scientifique

Connexionnisme : crise du XOR

En 1969, Marvin Minsky et Seymour Papert montrent que les neurones formels ne peuvent enregistrer que des données linéairement séparables.

De plus le neurone formel ne peut simuler la fonction OU exclusif (XOR)

Les travaux sur les réseaux de neurones s'arrêtent quasi totalement pendant 10 ans..

Table du AND

| x_1 | x_2 | y |
|-------|-------|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

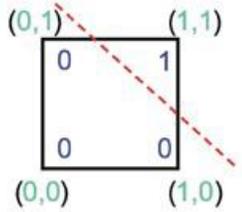
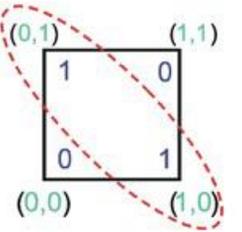


Table du XOR

| x_1 | x_2 | y |
|-------|-------|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |



Cognitivisme :

Les grammaires formelles **insuffisantes** : ne peuvent traiter de l'ambiguïté (place des mots...), ne prennent pas en compte **le contexte** etc.

Les travaux sur le **raisonnement symbolique** se poursuivent dans le domaine **mathématique**

La découverte de nouveaux théorèmes, prédite par Newell et Simon en 1958 **n'est jamais venue**

Limites de puissance de calcul et de capacités de stockage :

La puissance et la mémoire très insuffisantes : elles suffisaient à peine à démontrer des modèles **simplistes**.

Crise du financement

Promesses non tenues

Portée réduite des programmes réalisés

Impossibilité de les étendre à d'autres domaines

Le gouvernement britannique, la DARPA et le NRC, (Conseil américain de la recherche) finissent par couper pratiquement tous les fonds de recherche fondamentale en IA.

Ce comportement commence dès **1966** quand un rapport critique les efforts de traduction automatisée. Après avoir dépensé **20 millions de dollars**, le NRC décide de tout arrêter

En 1973 :

- la **DARPA** met fin à tous ses financements dans le domaine de l'intelligence artificielle.
- le **British Science Research Council** supprime les budgets. Le laboratoire d'Edinburgh, à la pointe des recherches en IA en Europe, est en partie démantelé.

Crise philosophique

Les philosophes se posent des questions sur la pertinence du projet lancé par la conférence de Dartmouth.

La première question posée par le projet de l'IA est celui de son intérêt.

Weizenbaum met en garde contre l'utilisation inconsidérée de futures machines intelligentes (*Computer Power and Human Reason: From Judgment To Calculation*, **1976**).

Et si la machine voulait **devenir humaine à la place de l'humain ?**

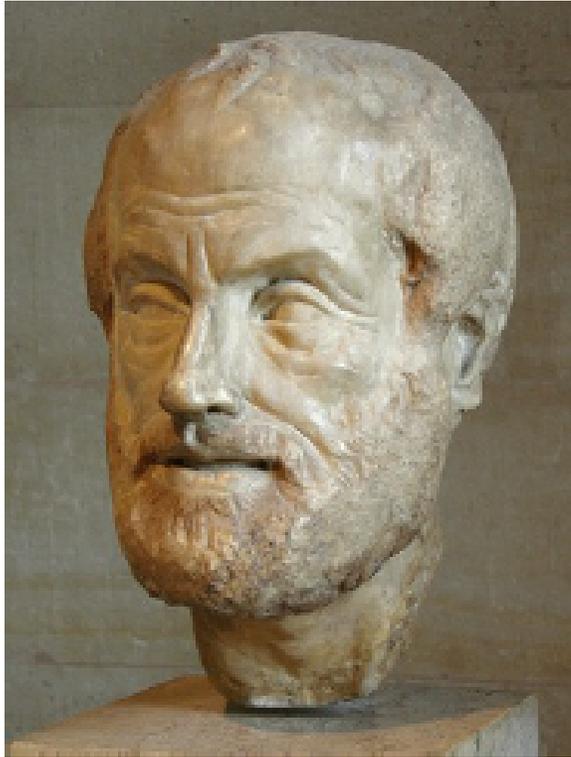
Hubert Dreyfus, philosophe, critique les travaux réalisés en IA dans *What computers can't do* (**1972**), traduit en français sous le titre *Intelligence Artificielle, mythes et limites*).

Sa principale critique vise la **réduction de l'intelligence à une manipulation symbolique** et laissant de côté le sens.

Terry Winograd, l'inventeur de SHRDLU, abandonne ses travaux d'IA à la fin des années 70 et soutient Dreyfus.



L'intérêt



Est il pertinent de doter les machines d'une **intelligence** ?

« Si chaque instrument pouvait, par ordre ou par pressentiment, accomplir son oeuvre propre, et si les navettes tissaient d'elles mêmes et les plectres jouaient de la cythare, alors les maitres d'oeuvre n'auraient plus besoin de manoeuvres, ni les maitres d'esclaves. Les vrais hommes abandonneraient alors les taches viles, si indignes d'eux, pour ne plus se consacrer qu'aux activités de citoyens et à la recherche du savoir et de la sagesse qu'il procure. ». (**Aristote**, La Politique, chapitre 4).

Retour au réalisme

*Les années 70 et 80 vont être consacrées à revoir les objectifs et à trouver des applications **limitées et réalistes**.*

*Les techniques initiales vont se perfectionner : **réseaux de neurones, programmation logique, etc.***

*De nouvelles branches de l'IA vont apparaître : **apprentissage, raisonnement à partir de cas, programmation par contraintes, algorithmes génétiques, systèmes multi-agents etc.***

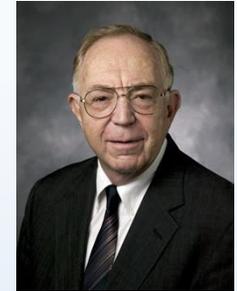
Boom

1980- 1987

- *Les systèmes experts*
- *La révolution de la connaissance*
- *La renaissance du connexionnisme*
- *L'essor de l'apprentissage*
- *Le retour du financement*
- *Les ordinateurs de 5^{ème} génération*

Systemes experts

Edward Feigenbaum, ancien thésard de **Simon**, invente le terme Knowledge Engineering (Ingénierie des Connaissances) **en 1977** et développe le **Knowledge System Laboratory** (www.ksl.stanford.edu).



Le premier **système expert Dendral**, commencé en **1965**, identifie des composants chimiques à partir de relevés spectrométriques.

Edward H. Shortliffe **en 1972**, **MYCIN**, le plus connu des **SE**, est dédié au diagnostic de maladies infectieuses du sang. **En 1978**, **MYCIN** obtient score plus élevé que des experts humains.



En 1980, un système expert appelé **Xcon**, dont l'objectif est d'optimiser la configuration des ordinateurs **VAX** à livrer aux clients, est réalisé par **Carnegie-Mellon** pour **DEC (Digital Equipment Corporation)**.

Le succès est énorme, car l'entreprise **peut économiser dès 1986 jusqu'à 40 millions de dollars par an**.



En 1985 plus d'un milliard de dollars est investi en intelligence artificielle.

Systemes experts

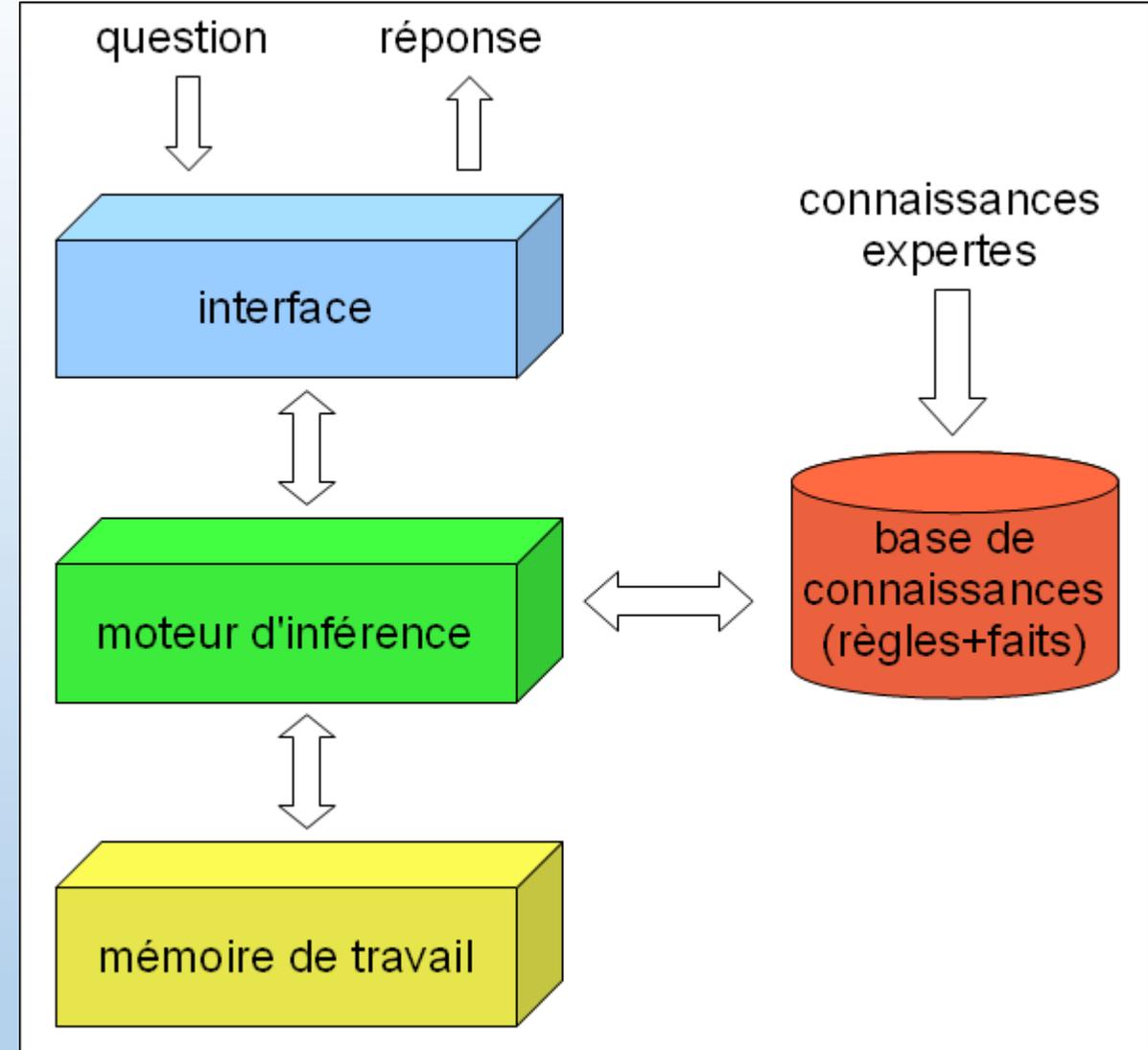
Un **système expert** encapsule de la **connaissance** sous forme de **règles** et de **faits** et dispose d'un mécanisme d'inférence lui permettant d'utiliser ces connaissances pour résoudre un problème.

Exemple de règle de **DENDRAL** :

Si le spectre de la molécule présente deux pics x_1 et x_2 tels que $x_1 - x_2 = M + 28$

et $x_1 - 28$ est un pic élevé et $x_2 - 28$ est un pic élevé et au moins l'un des pics x_1 et x_2 est élevé

Alors la molécule contient un groupe cétone



La révolution de la connaissance

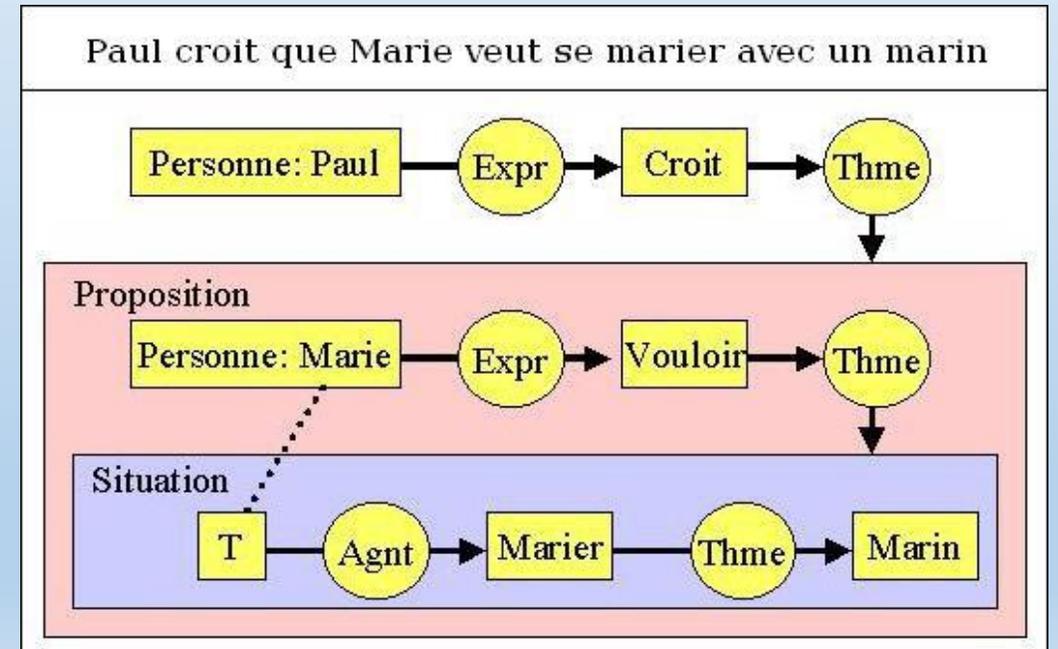
Pour **Feigenbaum** l'intelligence est d'abord une affaire de **connaissance**, plus que de calcul ou de raisonnement.

Les systèmes de bases de connaissance et l' ingénierie des connaissances sont devenus centraux dans la recherche en intelligence artificielle des années 1980¹¹⁷.

En 1984, le projet **Cyc**, base de connaissances portant sur toutes les connaissances de culture générale..

La **version 2.0** de l'OpenCyc contient **des centaines de milliers de notions (concepts) et des millions d'assertions** les concernant (www.opencyc.org).L

En 1984, **John Sowa**, chercheur à IBM, propose un modèle de représentation de connaissances de type **réseau sémantique** Dont le raisonnement repose sur des mécanismes de la théorie des graphes : **les graphes conceptuels**.



L'essor de l'apprentissage

L'apprentissage qui vise à permettre aux programmes de *s'améliorer automatiquement*, va devenir une des branches importantes de l'IA à partir des années 80.

De nombreux modèles mathématiques, **souvent probabilistes**, ont été développés

Les principes de **l'apprentissage automatique** s'inspirent des processus d'apprentissage humains :

- apprentissage supervisé
- apprentissage non supervisé
- apprentissage par renforcement ou par récompense .

L'apprentissage automatique - Exemple

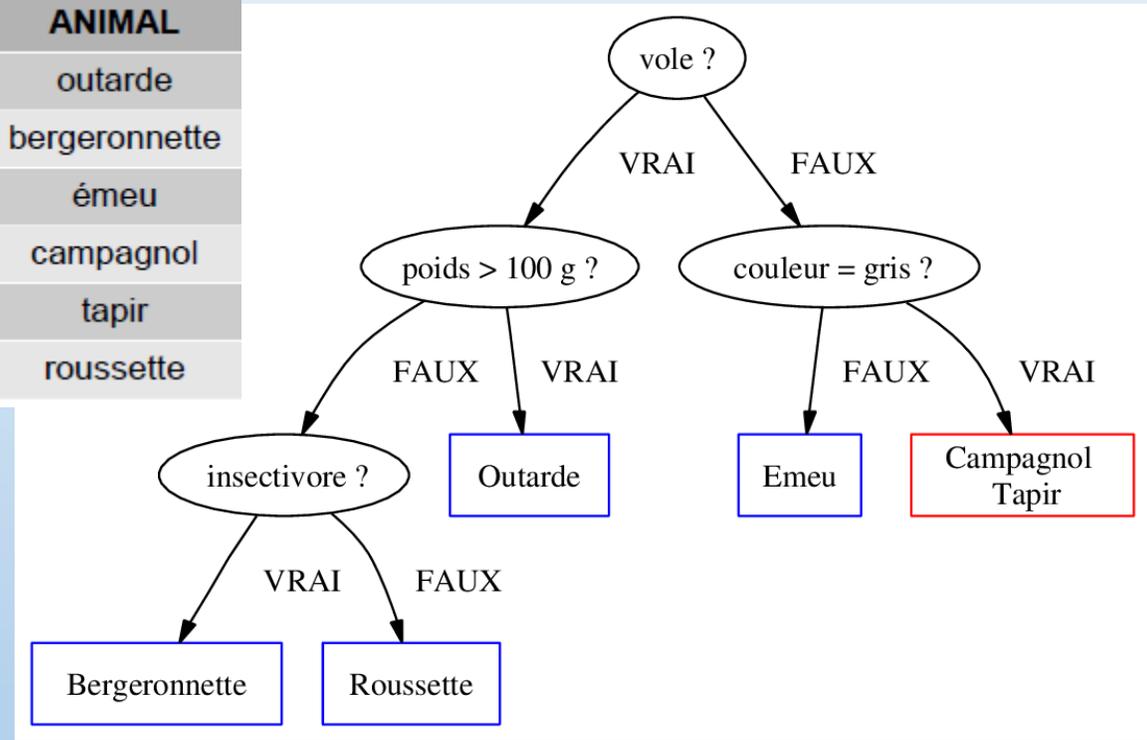
Ross Quinlan propose en 1983 le premier **algorithme pour l'apprentissage des arbres de décision**, nommé ID3

Exemple d'apprentissage supervisé :

On veut développer un système capable d'apprendre à reconnaître des animaux et on dispose de descriptions d'animaux

| VOLE | POIDS | COULEUR | NUTRITION | PEAU | ANIMAL |
|------|-------|---------------|-------------|--------|---------------|
| oui | 1kg | roux | granivore | plumes | outarde |
| oui | 20g | gris et jaune | insectivore | plumes | bergeronnette |
| non | 100kg | noir et blanc | omnivore | plumes | émeu |
| non | 5g | gris | granivore | poils | campagnol |
| non | 40kg | gris | herbivore | poils | tapir |
| oui | 60g | noir | frugivore | poils | roussette |

Comment construire **l'arbre de façon optimale** pour que son parcours soit efficace ?



La reprise des financements

Ordinateurs de 5^{ème} génération

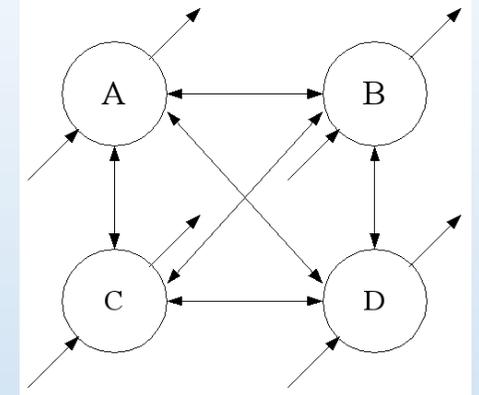
*En 1981, le **gouvernement japonais** décide de lancer le Japon dans la course à l'IA. Le projet d'ordinateur de cinquième génération est lancé. **500 millions de dollars en 10 ans**/ Utilisation de Prolog.*

*Aux USA, **la DARPA** (Defense Advanced Research Projects Agency) réplique avec le programme **Strategic Computer Initiative**, qui recevra **un milliard de dollars**.*

La renaissance du connexionnisme

Au début des **années 80**, redémarrage de travaux sur les **réseaux de neurones** et le **traitement automatique des langues**

En **1982**, **Hopfield** propose un modèle de réseau particulier (totalement connecté) et un nouveau principe d'apprentissage, **la rétropropagation du gradient** qui permettent de résoudre le problème soulevé par Minsky et Papert (**XOR**)
C'est un réseau de neurones à mémoire adressable par son contenu (associative)



En **1989**, **Rumelhart** et le psychologue **McClelland** publient largement sur le **Traitement Parallèle Distribué** et la **rétropropagation de gradient**.

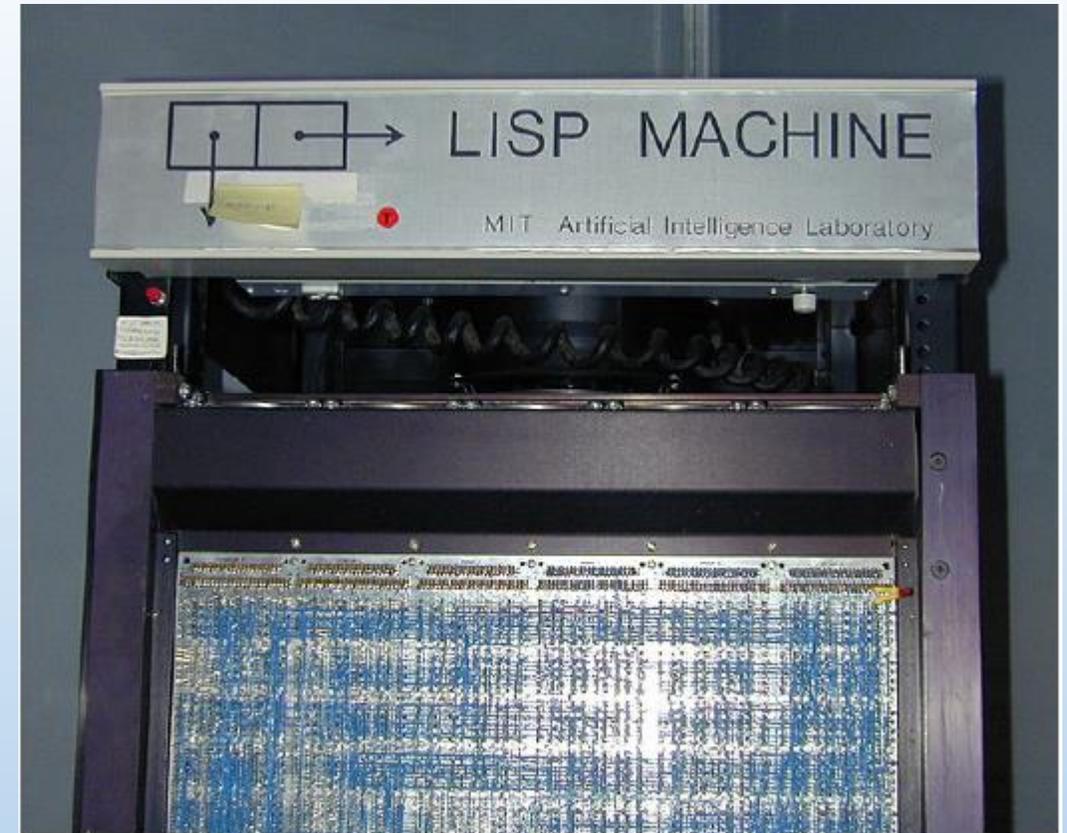
De nombreuses applications industrielles : diagnostic (voitures Renault, photocopieurs Canon, ...), compression de données (JVC), prévision de consommation d'eau (Lyonnaise des Eaux, CGE), d'électricité (EDF), de trafic routier (Cofiroute) ou de cours boursiers, reconnaissances des formes, etc.

➔ **Créer un cerveau artificiel à base de neurones formels reste cependant utopique**

2^{ème} hiver 1987-1993

*De nouvelles désillusions apparaissent
à la fin des années 1980*

En 1987, les **machines LISP**, optimisées pour l'exécution de code LISP, sont abandonnées face à l'essor **du Personal Computer (PC)**.



2^{ème} hiver 1987-1993

En 1988, face au manque de résultat, le financement du Strategic Computer Initiative est stoppé.

*En 1990, le projet de cinquième génération japonais est également arrêté. Il n'a produit que quelques avancées en informatique, **architectures parallèles** en particulier.*

IBM s'oppose depuis toujours à tout ce qui est étiqueté IA, alors que Xerox a misé un moment sur les machines LISP et que DEC a lancé quelques projets de systèmes experts.

*Vers 1991, les objectifs impressionnants listés en 1981 par le Japon pour ses Ordinateurs de cinquième génération n'ont pas été atteints. D'ailleurs certains d'entre eux, comme le fait de « **mener une conversation ordinaire** » ne l'ont toujours pas été vingt ans plus tard₁.*

Comme pour d'autres projets en intelligence artificielle, la barre a été placée beaucoup trop haut

Un échec

Smart Truck (1989)



Smart Truck représente un des grands échecs du département américain de la Défense et un tournant dans le monde de l'intelligence artificielle.

Smart Truck est le nom donné à un projet visant à créer un véhicule militaire **autonome** capable de prendre la place de soldats.

La machine était **lente** et tellement **peu convaincante** que le projet a été abandonné cinq ans après sa mise en route et un investissement de **500 millions de dollars**.

Les scientifiques et l'armée se sont rendu compte qu'il était pour l'instant impossible de construire un robot capable de remplacer l'homme.

C'est à partir de ce moment que le monde de l'intelligence artificielle a cessé de vouloir se rapprocher de la science-fiction et qu'il a simplement cherché à optimiser des logiciels en les rendant plus flexibles et plus pertinents

Une réussite

DART (1991)

RDA: ULN Details

ULN Detail Display for ULN: **9AG2** Created: 09/12/02 Sep 94 Updated: 13/10/02 Dec 95

Unit Information

Force Desc: RANGER INF BN Baseline:

Unit Name: 0005 IN BN 01 RANGER Nonbaseline: POC MR CAUSON AT GOLF COURSE

UTC: WRS:AA Component: ACTIVE POC: Validation Def:

PIF: ProvOrg: UTC: 00FAB Proj Code: CE: Flag Date:

SEC: 07083H4001 GCC:

FFC: 7 Services: A ULC: SN Service Rcv: TUCHA Icd: PIF:

Routina Informati

| GEO | GEO Name | Mode | Sec | Crfg | 1st | 2nd | ID | AddOn | Days Code | Lockac | RLD |
|--------|----------|--------------|-----|------|-----|-----|----|-------|-----------|---------|------|
| Origin | LECG | RUNTER AAF | | | | | | | | | C000 |
| POE | LECG | RUNTER AAF | | | | | | | | | C000 |
| POD | FTZH | EL BORMA | A | K | P | C | | 001 | A | | C000 |
| Dest | TFAL | TQZEUR/NEFTA | L | D | A | N | | | | | C001 |
| ILDC | | | | | | | | | | No ILDC | CRD |

Personne: 4

| Personne | Cargo | Bulk | Oversize | Outsize | NAT | Total | Nbr CCCs |
|-----------|--------|-------|----------|---------|-----|-------|----------|
| PAK: 603 | STONS: | 113.7 | 6 | 0 | 0 | 119.7 | 0.0 |
| Auth: 603 | MTONS: | 284 | 23 | 0 | 0 | 307 | SOFT: |

LAD On Call RBD On Call Refresh SQFT Apply Cancel Close

DART (Dynamic Analysis and Replanning Tool) est un programme démontrant une intelligence artificielle qui fut utilisée durant la guerre du Golfe de 1990.

L'outil sert à faciliter la prise de décision en optimisant et planifiant le transport de ressources ou en résolvant d'autres problèmes logistiques.

Les États-Unis ont aussi fait appel à l'intelligence artificielle pour **guider les missiles**.

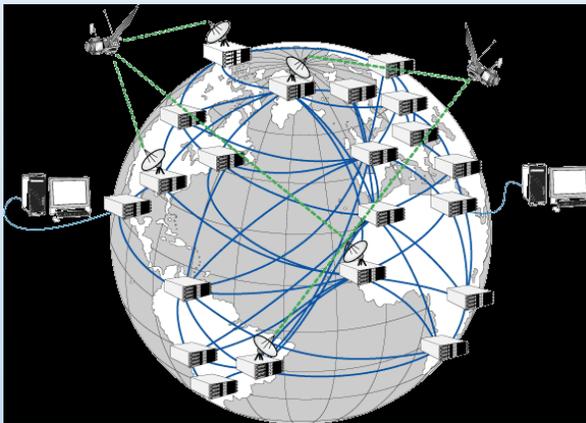
DART a fait économiser des millions de dollars à l'armée américaine en trouvant des solutions à **des problèmes complexes** qui plombaient les coûts de l'armée.

Aujourd'hui, on retrouve en partie la technologie de DART dans les systèmes contrôlant les aéroports, les chemins de fer ou les emplois du temps d'employés.

L'essor du PC et de la robotique

Les années 1990 voient l'informatique se diffuser massivement dans le monde professionnel mais également dans le grand public.

Les **ordinateurs personnels deviennent courants, et** sont de plus en plus puissants et compacts. Ils deviennent plus performants que les fleurons du marché, tels que la meilleure [machine Lisp](#) de [Symbolics](#).



L'Internet fait des ordinateurs un des principaux outils de communication

La robotique continue à se développer et fait même son entrée dans le grand public.



Le Web- La toile

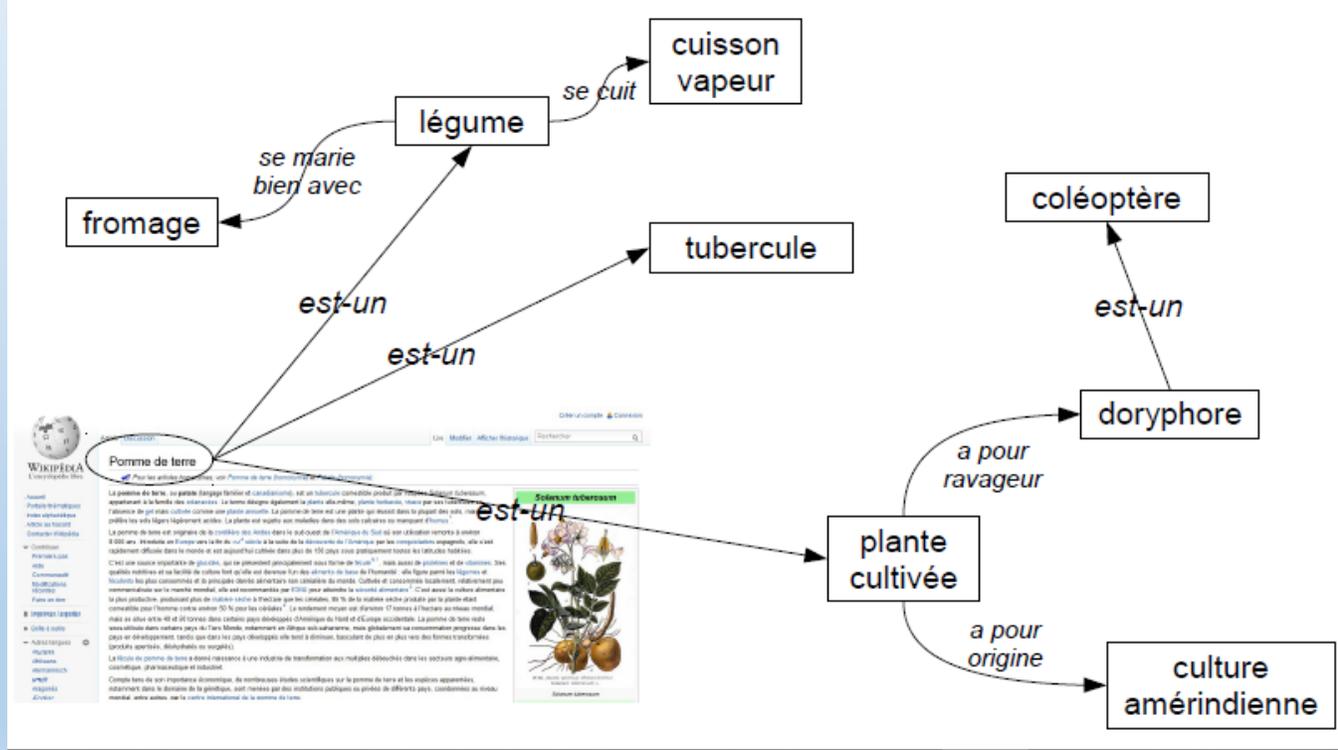
La popularisation du Web rend nécessaire d'introduire de **l'intelligence dans les moteurs de recherche**.
Idéalement, un moteur de recherche devrait avoir les mêmes capacités qu'un libraire ou un bibliothécaire humain sur les documents papier

Tim Berners-Lee, qui a inventé le **World Wide Web** en **1989**, lance au début des **années 2000** le projet de **Web Sémantique** (ou Web 3.0).

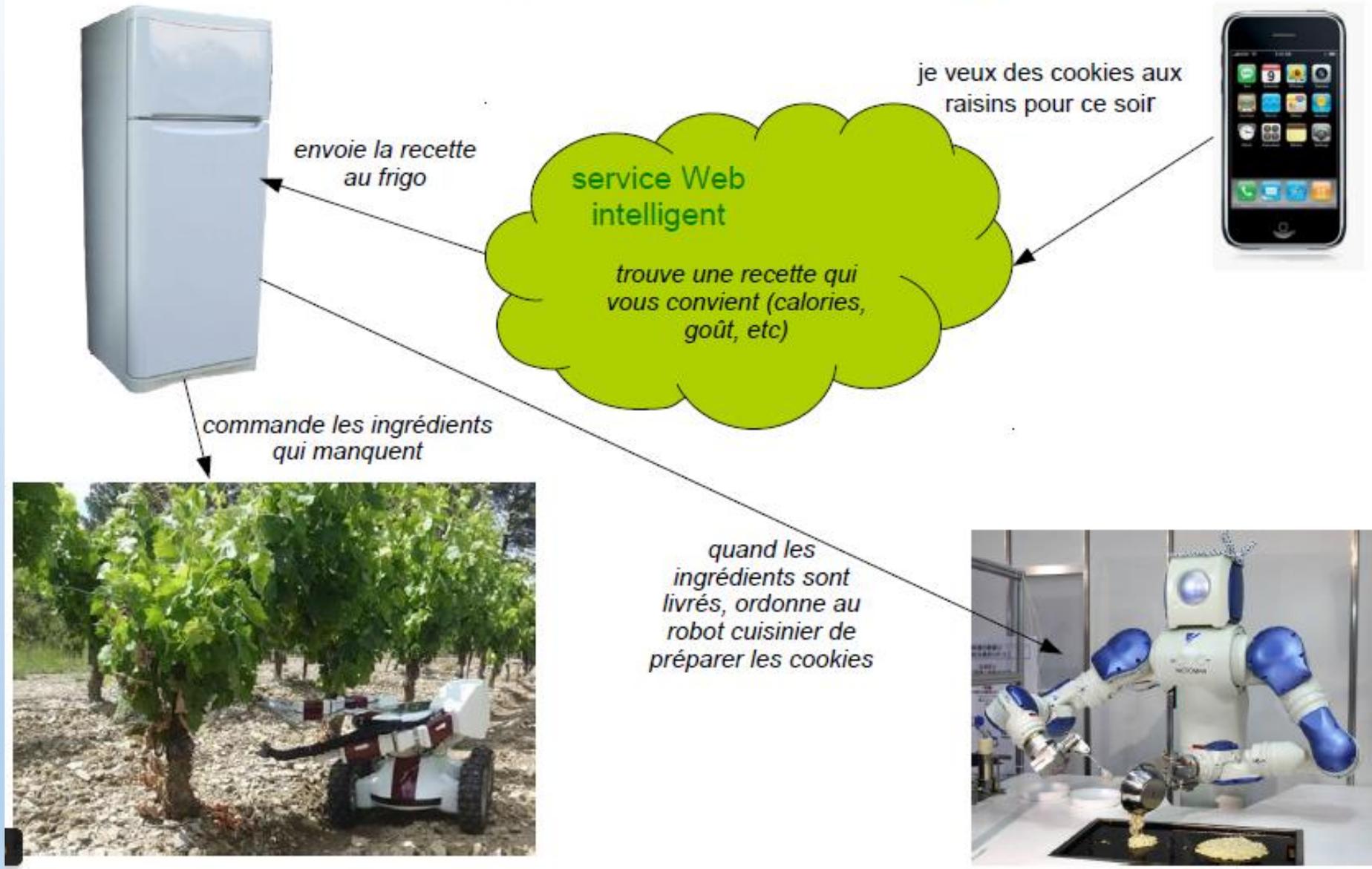
Le **Web des données (Linked Data)** consiste à ajouter au dessus des pages Web des **représentations du sens** du contenu des pages.

Cette **sémantique** des termes s'exprime par des concepts et des relations entre ces entités.

Ce sont ce que les informaticiens appellent des **ontologies** (programmation « Objet »)



Le **Web des objets** consiste à lier les objets électroniques au Web. L'intelligence ajoutée au Web à l'aide d'ontologies rend alors les objets « intelligents ».



Les outils mathématiques

Les chercheurs en intelligence artificielle développent et utilisent des outils mathématiques sophistiqués comme jamais auparavant.

Ils prennent conscience que de nombreux problèmes que l'intelligence artificielle doit résoudre ont déjà été traités dans d'autres domaines comme les [mathématiques](#), l'[économie](#) ou la [recherche opérationnelle](#)

Le livre-charnière de 1988 de [Judea Pearl](#) intègre les [probabilités](#) et la [théorie de la décision](#) avec les [réseaux bayésiens](#), les [modèles de Markov cachés](#), la [théorie de l'information](#), le [calcul stochastique](#) et plus généralement l'[optimisation mathématique](#).

Des descriptions mathématiques s'appliquent aux paradigmes primordiaux de l'[intelligence computationnelle](#) comme les [réseaux neuronaux](#) et les [algorithmes évolutionnistes](#).

Quelques réussites sont venues avec la montée en puissance des ordinateurs et d'autres ont été obtenues en se concentrant sur des problèmes isolés spécifiques et en les approfondissant avec les plus hauts standards d'intégrité scientifique.

Néanmoins, la réputation de l'IA, dans le monde des affaires au-moins, est loin d'être parfaite.

On n'arrive pas à vraiment expliquer les raisons de l'échec de l'intelligence artificielle à répondre au rêve d'un niveau d'intelligence équivalent à l'homme qui a captivé l'imagination du monde dans les années 1960

*Tous ces facteurs expliquent la **fragmentation de l'IA en de nombreux sous-domaines concurrents** dédiés à une problématique ou une voie précise.*

L'IA a été à la fois plus prudente mais aussi plus fructueuse que jamais.

L'IA moderne



L'IA moderne

Actuellement, depuis le tournant du millénaire environ, l'IA est de nouveau en plein essor.

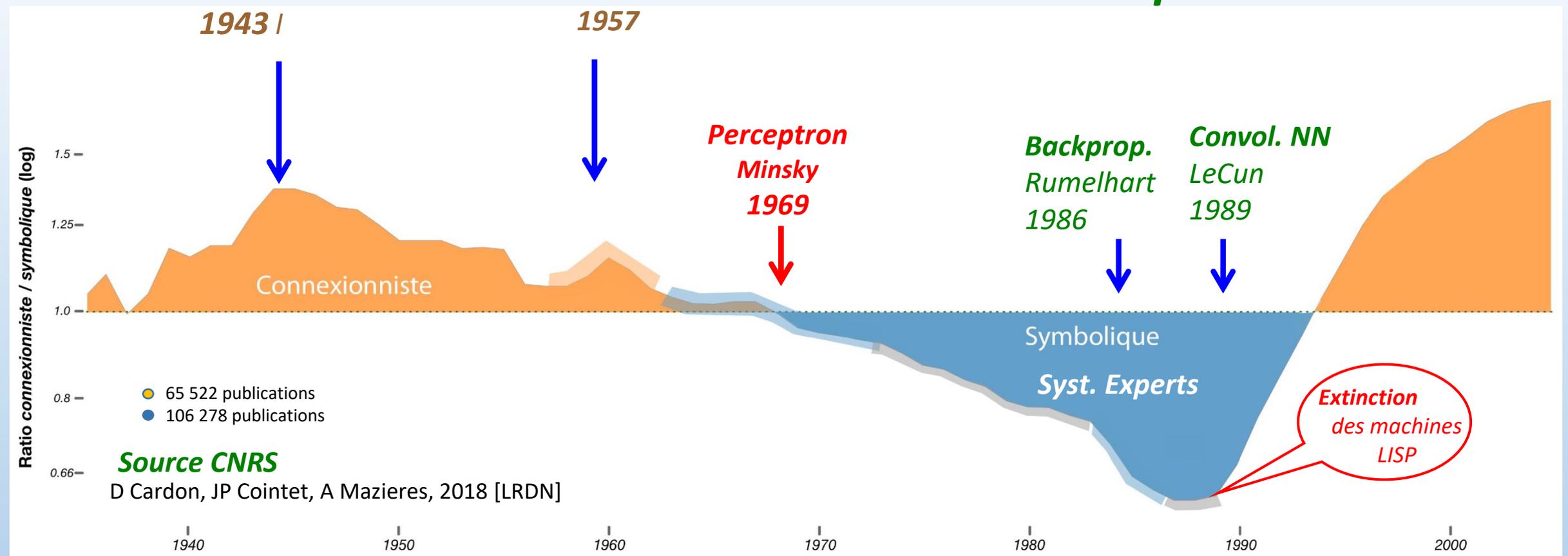
Les méthodes modernes en matière d'IA tendent à se concentrer sur la **division d'un problème en un certain nombre de problèmes plus petits, isolés et bien définis**, et à les résoudre **l'un après l'autre**.

L'IA moderne permet de contourner les grandes questions sur le **sens de l'intelligence, de l'esprit et de la conscience**, et de se concentrer sur la **mise en place de solutions pratiques à des problèmes concrets**.

Une autre caractéristique des méthodes d'IA moderne, étroitement liées au travail dans le monde réel, chaotique et complexe, est la capacité de **gérer l'incertitude à l'aide des probabilités**

Enfin, la phase ascendante que connaît actuellement l'IA est largement due **au retour des réseaux de neurones et de techniques d'apprentissage profond** capables de traiter mieux que jamais les images et autres données du monde réel.

Ratio nombre de publications



1^{er} Hiver
1970-1980

2^{ème} Hiver
1987-1993



Nouvelle approche

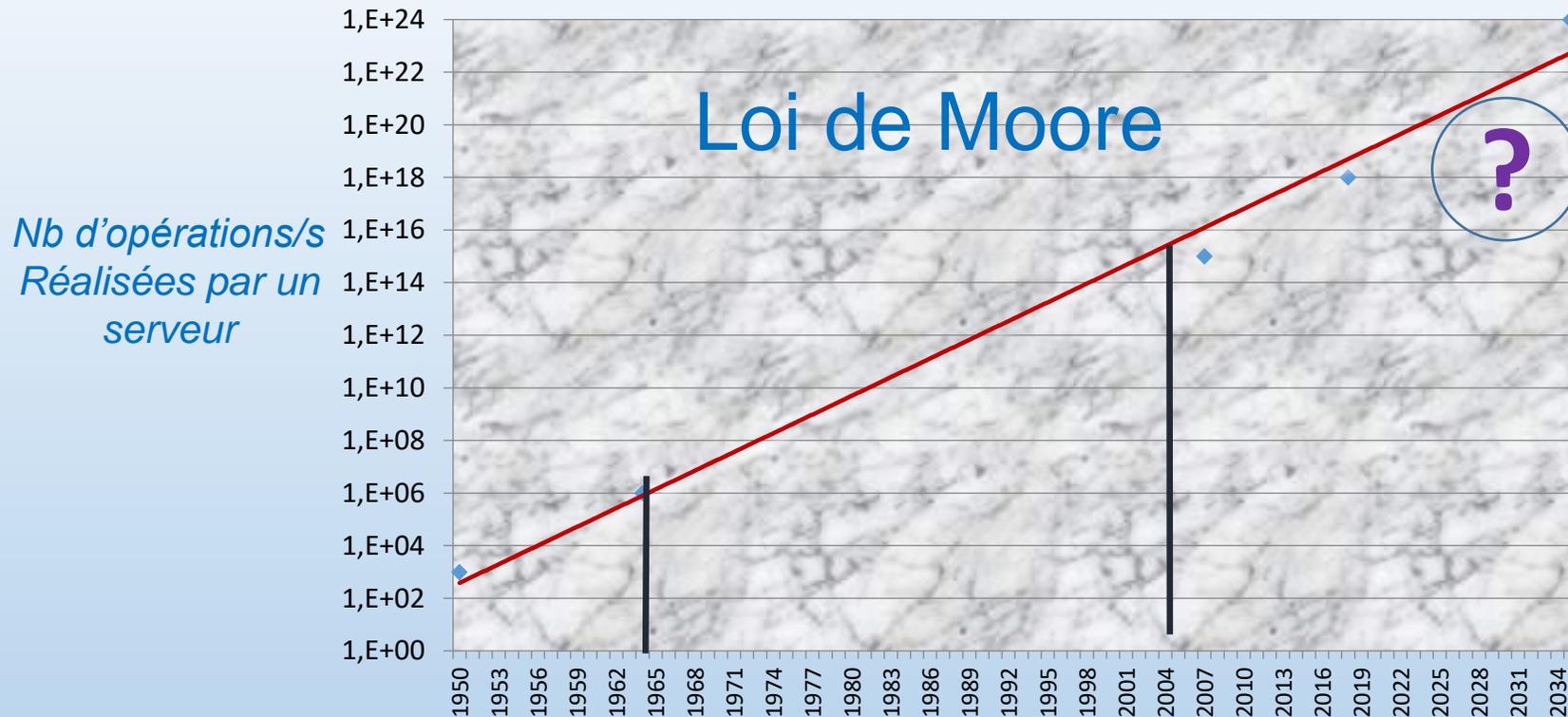
Et les réussites sont là bien que le domaine de l'intelligence artificielle n'ait quasiment reçu aucun crédit :

- *l'[exploration de données](#),*
- *la [robotique industrielle](#),*
- *la [logistique](#),*
- *la [reconnaissance vocale](#),*
- *des applications bancaires,*
- *des diagnostics médicaux,*
- *la [reconnaissance de formes](#),*
- *le moteur de recherche de [Google](#).*

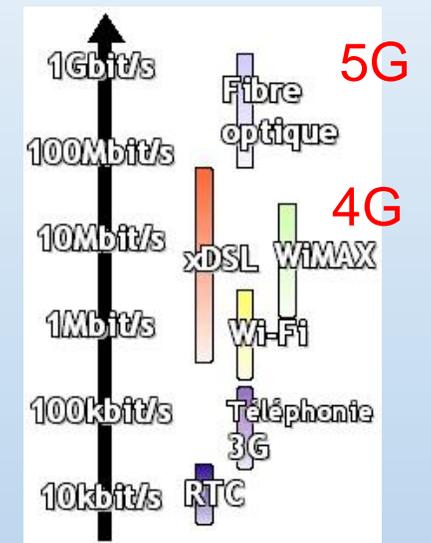
[New York Times](#) le rapporte en 2005 : « Les scientifiques en informatique et les ingénieurs logiciel ont évité l'expression 'intelligence artificielle' par crainte d'être considérés comme de doux illuminés rêveurs

Envolée de la puissance de calcul

- **Loi de Moore**



Capacités de transport



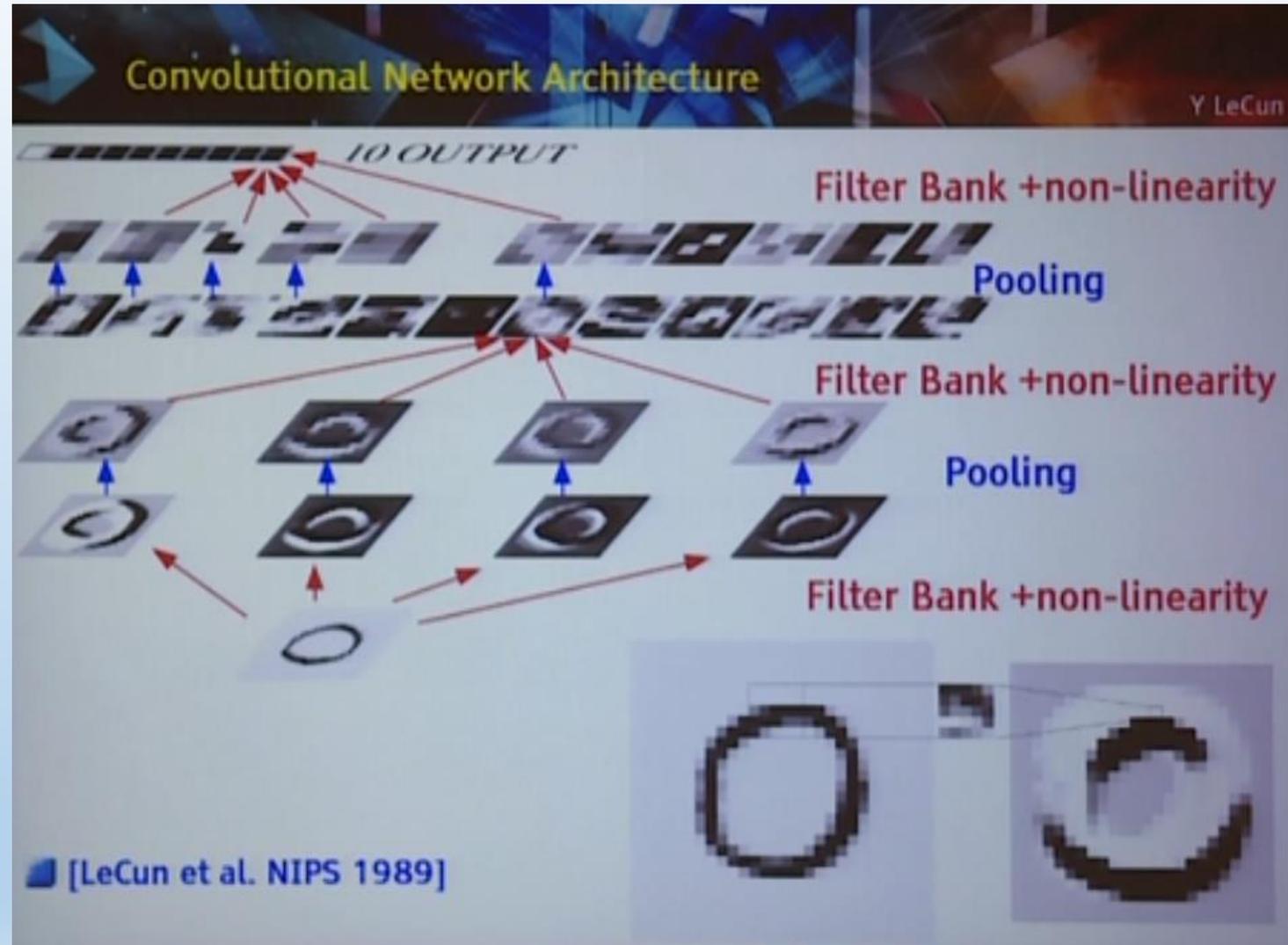
D'après les spécialistes, grâce aux évolutions de la gravure et l'architecture, la loi de Moore devrait continuer à se vérifier au moins jusqu'en 2035. Ainsi le même serveur pourra réaliser 10^{24} opérations par seconde soit un milliard de fois plus qu'en 2007



Essor du Deep Learning

Les réseaux convolutifs ConvNet ou CNN

Yann Lecun 1989



Des verrous qui sautent

1975: 'Personal Computers'
ALTAIR 8800 - MITS



- 8 000 transistors
- Puissance mémoire: 0,256 KB
- Vitesse processeur: 2 MHz
- Taille transistor: 1 mm²

2017: Smart phone



- 2 milliards de transistors
- Puissance mémoire: 1 000 000 KB
- Vitesse processeur: 1 400 MHz
- Taille transistor: 30 nm²

Capacité des puces

En août 2014, IBM a présenté la première puce électronique « cognitive » vraiment puissante, TrueNorth.

5,4 milliards de transistors, gravés en 28 nm, sont organisés en s'inspirant du cerveau biologique, en neurones et en synapses.

On y trouve un réseau de 4094 cœurs neuro-synaptiques, soit un **million de neurones** et **256 millions de synapses programmables**.

Le processeur sait identifier et reconnaître des éléments dans des images générées par 50 à 100 caméras à 24 images par seconde

Il consomme 70 mW

Avec 48 de ces processeurs, IBM a pu égaler la composition d'un cerveau de rongeur, avec environ 48 millions de neurones.

Capacité des puces

Avril 2021

La Société américaine **Cerebras** a développé le Wafer Scale Engine V2 à **850 000 cœurs** intégré dans le système CS2

Puis a associé 192 systèmes CS-2 pour atteindre près de **163 millions de cœurs**.

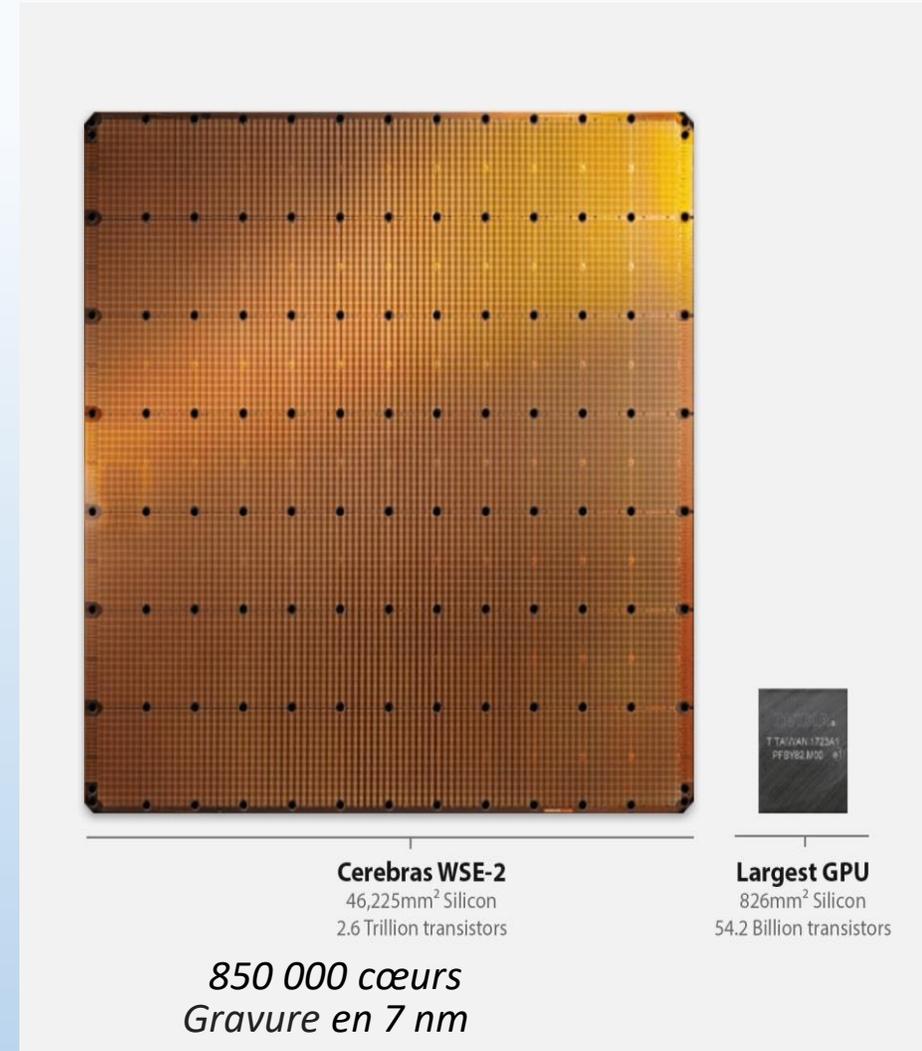
120 billions (120 10^{12}) connexions potentielles.

Notre cerveau : 10^{15} connexions synaptiques, soit un facteur 10 !!!

Utilisés pour entraîner GPT-3

Ce système consomme 23 kw !!

Cerveau humain 20 W



Capacité des puces

2023 Août 2023 NVIDIA

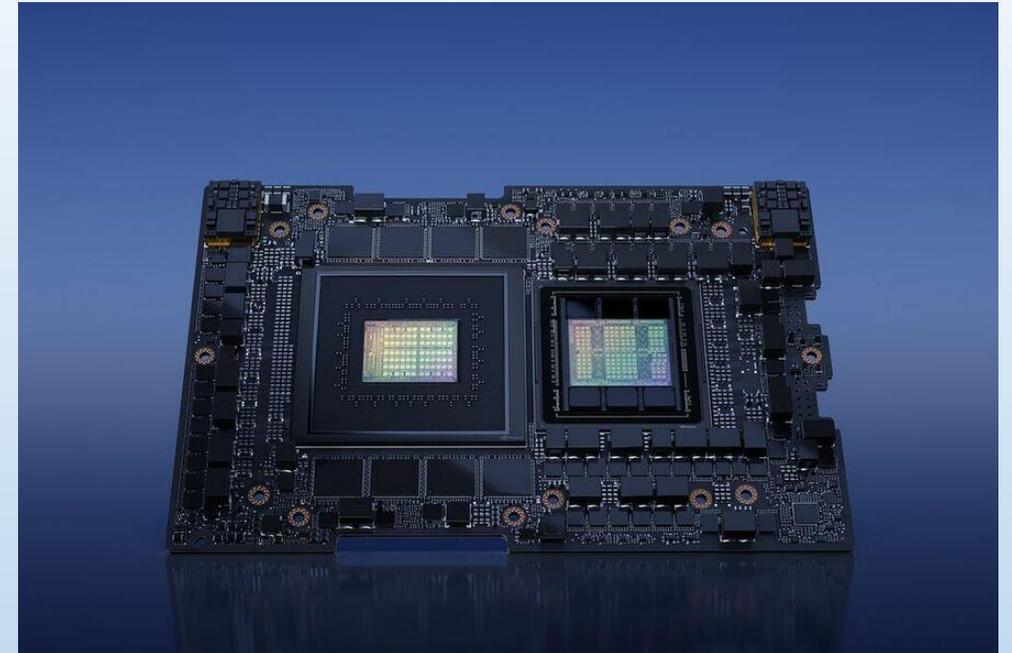
NVIDIA® GH200

Cette nouvelle puce combine un CPU Grace à 72 cœurs avec un GPU H100, spécialement conçu pour l'accélération des calculs liés à l'IA.

La nouveauté provient de la mémoire associée.

Celle-ci passe de 96 Go de mémoire HBM3 à 141 Go de mémoire HBM3e, qui est "50% plus rapide que l'actuelle HBM3", selon [Nvidia](#).

La nouvelle GH200 devrait entrer en production avant la fin de l'année, pour une commercialisation prévue au deuxième trimestre 2024.



Cette puce est au cœur d'un nouveau supercalculateur, baptisé DGX GH200, capable d'entraîner les prochains modèles d'IA générative

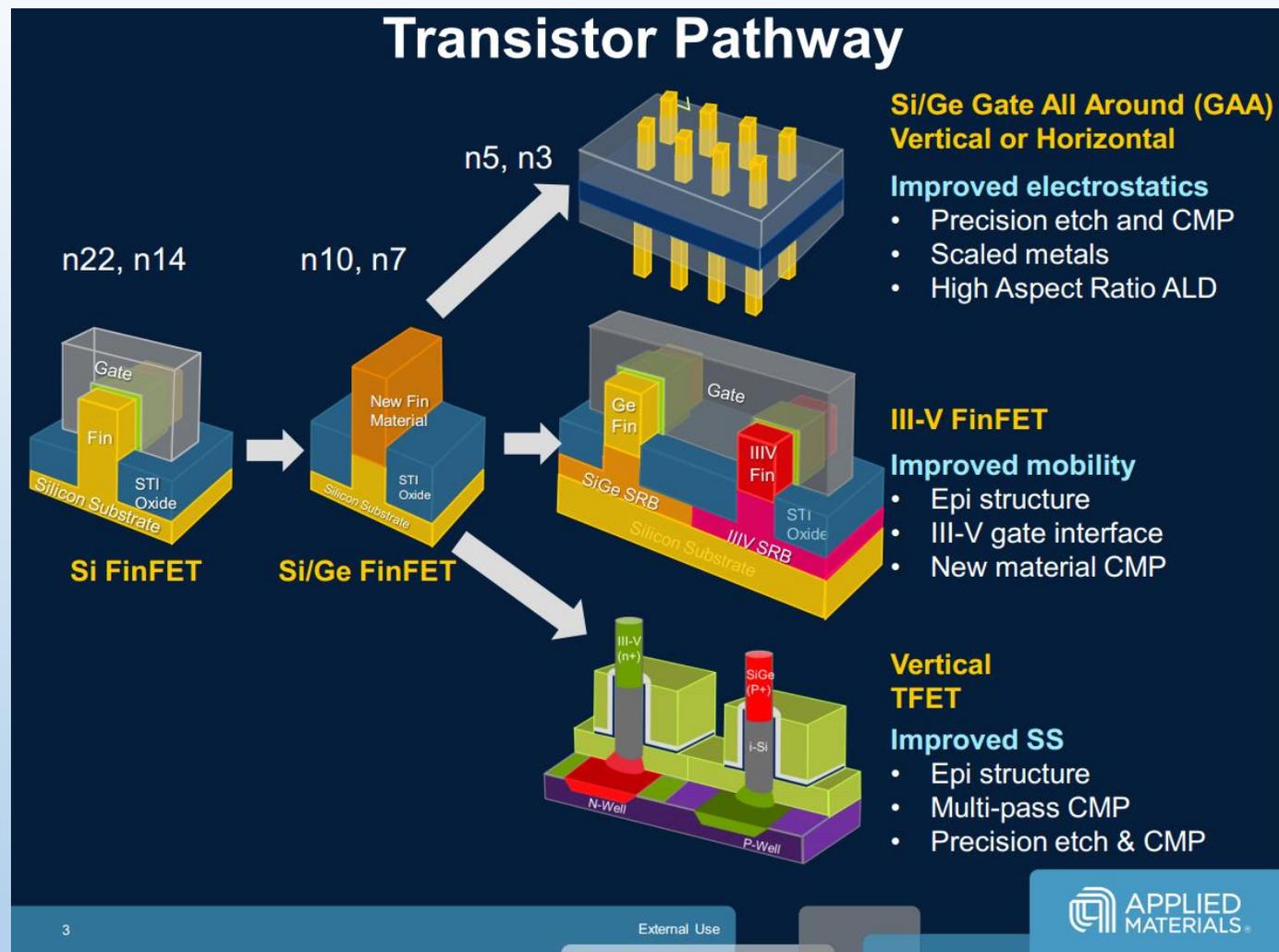
Puces

Décembre 2022

Les puces 3 nanomètres

Samsung a été le premier à se lancer à l'été 2022.

TSMC franchit également le pas.



*Réussites
Marquantes
À ce jour*

Jeu d'Echecs : Victoire de Deep Blue

Victoire de Deep Blue sur Kasparov (1997)



La victoire de Deep Blue sur Kasparov fut possible grâce à l'utilisation de modèles utilisant les principes du seuil de satisfaction de l'individu.

La machine était capable de s'adapter et trouver une solution satisfaisante si rapidement que le grand maître a admis que la machine jouait comme un homme.

En effet, auparavant, les grands maîtres arrivaient à battre les ordinateurs en prédisant le coup le plus rationnel. Cela permettait d'anticiper la réaction de la machine pour pouvoir la vaincre..

M. Kasparov demanda une revanche, mais IBM refusa et démonta la machine. L'un des deux racks constituant Deep Blue se trouve aujourd'hui au musée national de l'histoire américaine.

Watson gagne au Jeopardy

Watson gagne au Jeopardy (2011)



Destiné aux diagnostics médicaux, **Watson** s'est distingué en gagnant au jeu télévisé Jeopardy.

La machine est capable de répondre à des questions posées dans un anglais naturel au lieu d'un code utilisant la syntaxe d'un langage de programmation.

Watson avait 4 To d'informations à sa disposition, dont le texte de Wikipedia et l'équivalent de 200 millions de pages de contenu. La machine n'était pas connectée à Internet durant la partie, mais pouvait traiter l'équivalent **d'un million de livres à la seconde.**

Le système qui a joué au jeu télévisé regroupait 90 serveurs IBM PowerPC 750.

En 2016, un centre de recherche de la faculté de médecine de l'[université de Tokyo](#) a utilisé Watson pour le diagnostic d'un cas rare de [leucémie](#). En dix minutes, le supercalculateur a trouvé la véritable cause ; les médecins estiment qu'il leur aurait fallu deux semaines pour faire la même tâche, rendant le traitement beaucoup plus incertain.

Google AlphaGo

L'IA a battu le meilleur joueur mondial du jeu de go.

L'intelligence artificielle DeepMind de Google était derrière le programme AlphaGo, qui a gagné 4 parties sur 5 face au champion humain, le joueur coréen Lee Sedol qui ne savait pas qu'il allait jouer contre une machine



Les premières versions d'AlphaGo ont été implémentés en utilisant un réseau de neurones profond. AlphaGo a été entraîné pour « imiter » les joueurs humains, en retrouvant les coups enregistrés lors de dizaines de milliers de parties menées par des joueurs experts.

Une fois un certain niveau atteint, il s'est entraîné à jouer des millions de parties contre d'autres instances de lui-même, utilisant l'apprentissage par renforcement pour s'améliorer

À partir de 2018 en particulier, un projet collaboratif et open source, Leela Zero, a obtenu en un an des résultats analogues, portables sur des ordinateurs individuels, et même sur des smartphones..

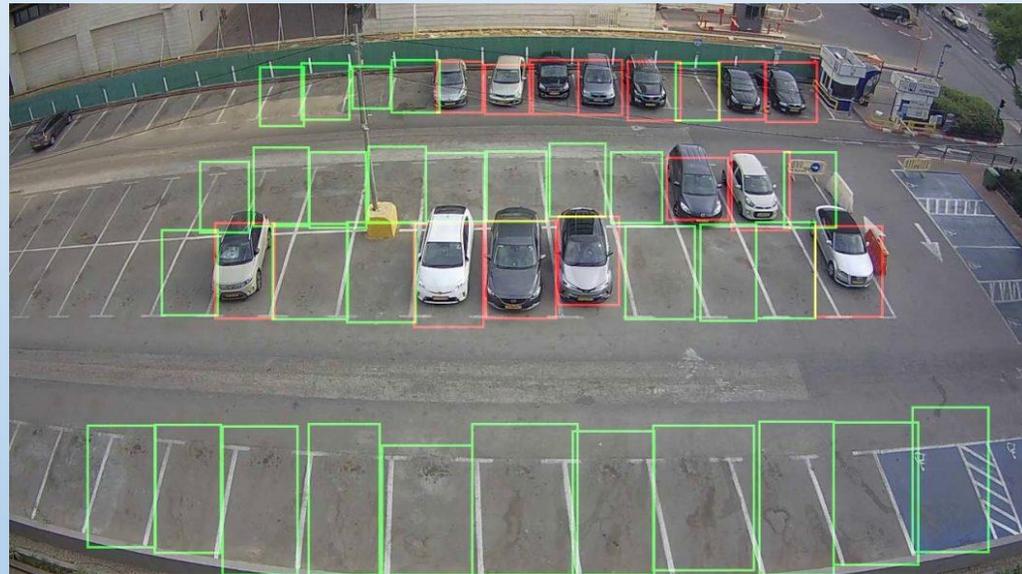
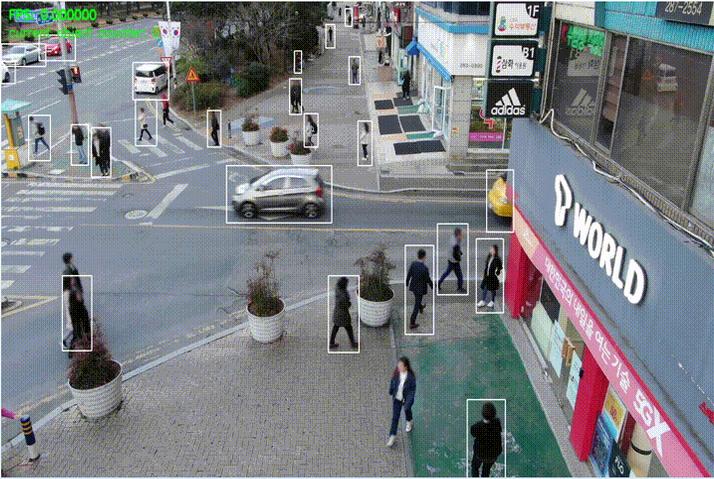
Google AlphaFold DeepMind AlphaBet

Mi 2022

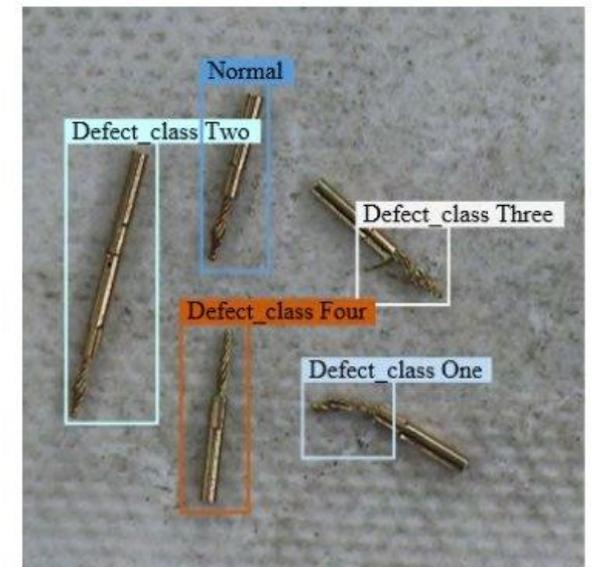
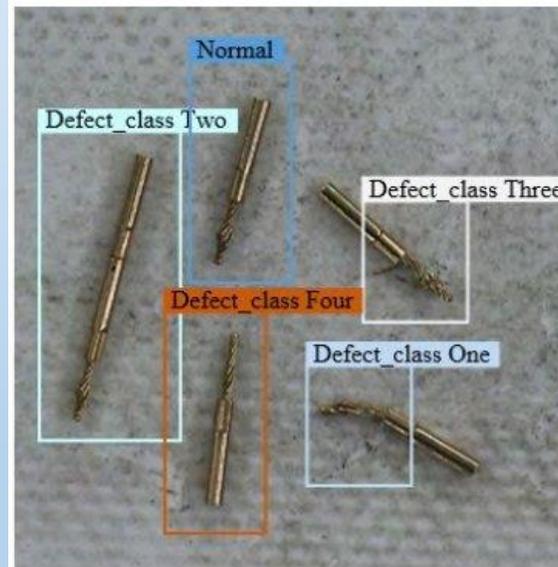
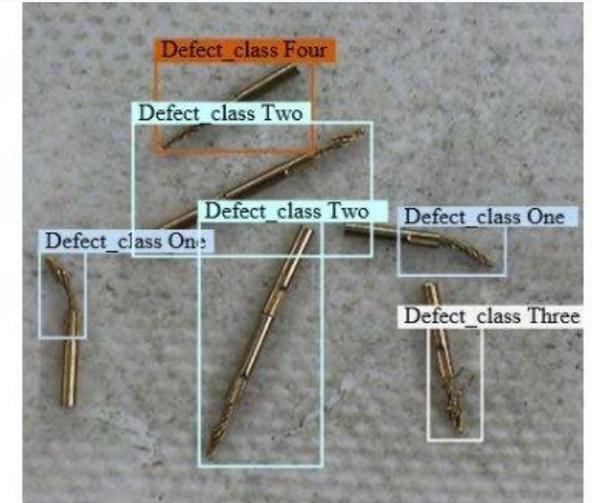
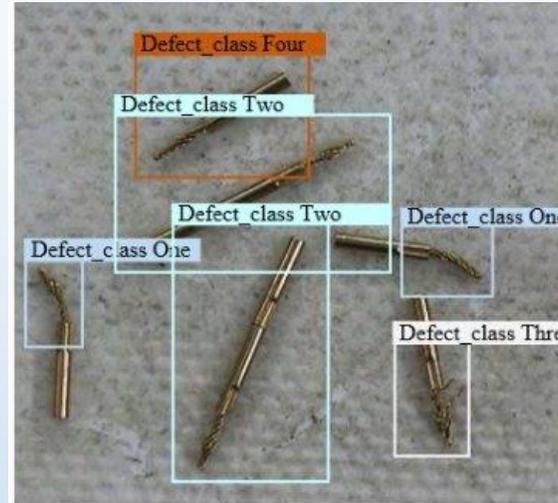
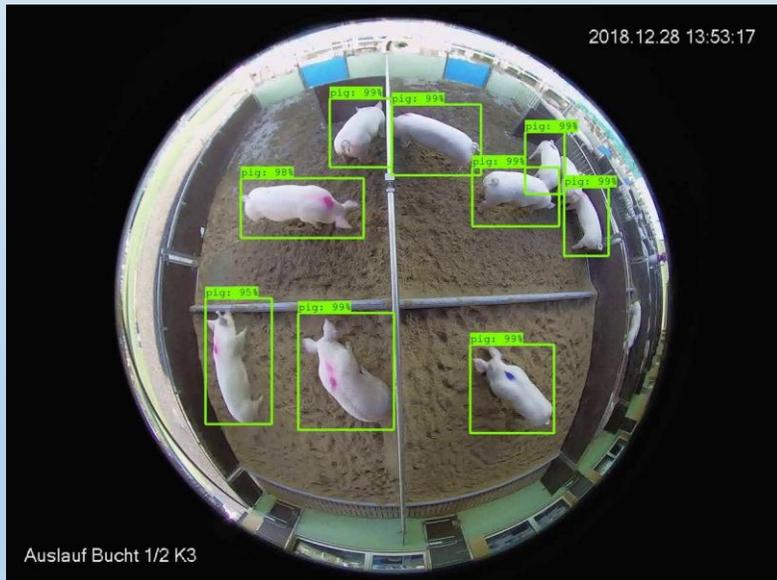
Prédit la structure 3D d'une protéine uniquement à partir de sa séquence d'acides aminés

- 1. Il trouve des corrélations entre la séquence et la structure en **étant entraîné** sur les quelques **170 000 structures connues***
- 2. Il prédit les structures des protéines à partir de leurs séquences d'acides aminés : actuellement **2 000 000 de protéines***

Vision informatique



Vision informatique



Vision informatique



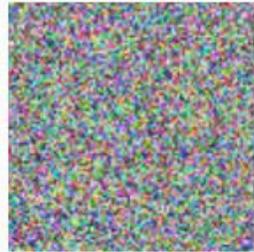
A woman is throwing a frisbee in a park.

- *Tâche évidente pour un humain*
- *Pour une machine, quel algorithme ?*

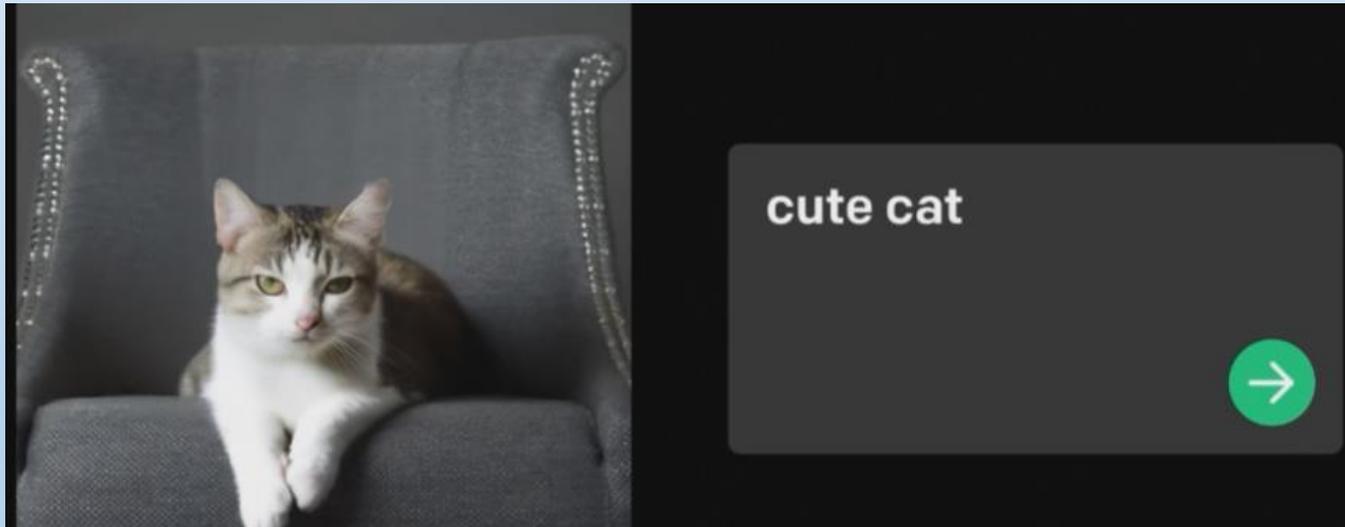
Modèles génératifs

<https://thispersonnotexist.org>

Noise $\sim N(0,1)$



Generative
Model



DALL-E2
d'Open AI
2022

Modèles génératifs

Demande :

Photo d'un grizzly surdimensionné, habillé comme un hipster portant des lunettes de soleil en été et se gelant le cerveau après avoir mangé trop de glace, devant une marina

*DALL-E2
d'Open AI
2022*



Modèles génératifs

Stable Diffusion

CompVis group LMU Munich

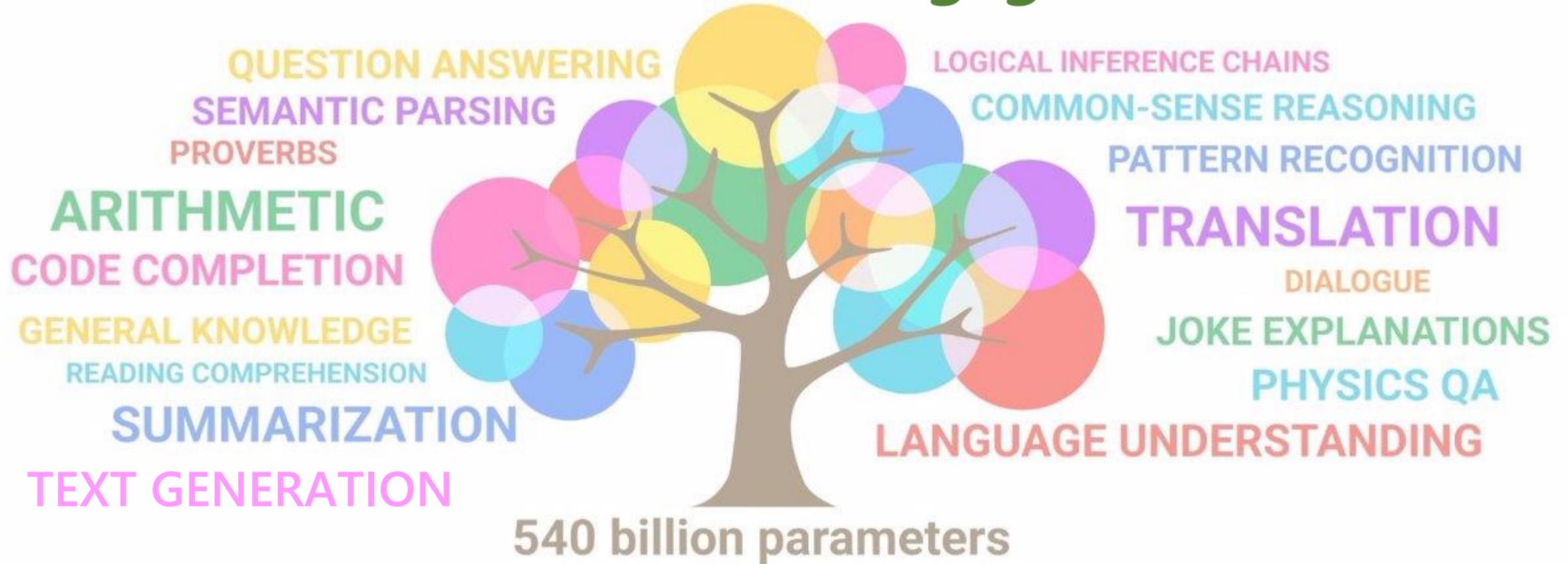
Le code source de Stable Diffusion est public.

Stable Diffusion a été formé sur un sous-ensemble de l'ensemble de données LAION-Aesthetics V2

<https://stablediffusionweb.com/#demo>

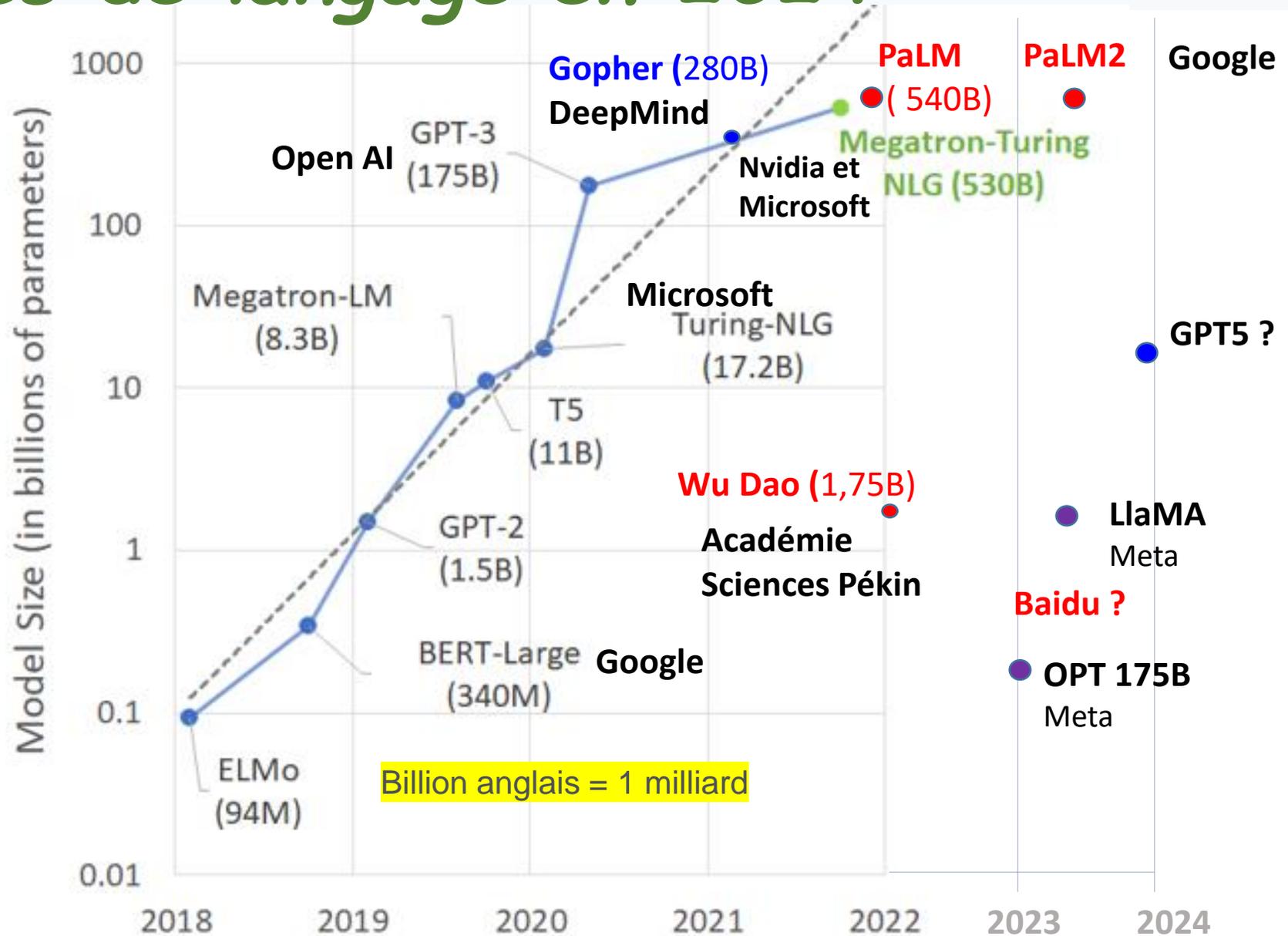
Traitement du Langage Naturel

Modèles de langage



Modèles de langage en 2024

● GPT4 Open AI



Christian Pasco

Figure 4 : Nombre de paramètres de plusieurs modèles de langage pré-entraînés récemment publiés (NVIDIA, 2021)

Les principaux Chatbots en 2023

ChatGPT robot conversationnel **d'Open AI**. (entraîné sur documents figés à mi **2021**)

Bing Microsoft adosse **Bing** développé avec **Open AI** à son moteur de recherche. Il est possible de choisir entre des réponses précises ou créatives.

Bard Le chatbot de **Google** répond à BingGPT4

Claude le Chatbot **d'Anthropic**

Ernie Le géant chinois de la recherche **Baidu** a dévoilé le 17 mars ce robot conversationnel, en développement depuis 2019.

HuggingChat (F.US) le chatbot de **HuggingFace**

Mistral 7B (F) **de Mistral** automne 2023

Grok de **X.AI** d'Elon Musk fin 2023

L'apprentissage

Nous ne sommes plus seuls à pouvoir apprendre

Les algorithmes, le machine learning progressent de façon exponentielle

Mais :

Les machines n'apprennent pas par elles mêmes L'apprentissage est essentiellement supervisé

Elles n'ont pas de « connaissance du monde », de conscience du monde....

Et la nécessité de booster nos cerveaux humains : école, éducation.....

A ce jour...fin 2024

Il n'y a pas d'IA générale

Une multitude de systèmes d'IA, chacun ayant sa spécialité

- *Chaque système réalisant des **tâches spécifiques** avec une certaine « intelligence » et pouvant souvent nous surpasser **pour cette tâche**,*
- *Conçus comme des **outils** pour nous **simplifier la vie***
- *Pour **coopérer avec l'humain***

*Mais capables d'une seule tâche : **IA faible ou étroite**
IA plurielle*

Elle n'est pas vraiment intelligente

Les urgences ?

Le plus grand danger n'est-il pas la création d'un monde à deux vitesses voire à deux degrés d'humanité

Nous ne pouvons plus faire l'économie d'un vaste programme de formation, d'information et de communication auprès de tous les publics sur le périmètre de l'IA, son utilisation, la nécessaire coopération homme machine, la régulation à l'échelle mondiale

Avenir

Stephen Hawking :

*« Notre avenir est une course entre
la puissance de notre technologie
et la sagesse avec laquelle nous l'utiliserons »*

Fin