Histoire de l'Intelligence Artificielle

2- l'aube de l'Intelligence Artificielle

Frédéric Fürst - *www.u-picardie.fr/~furst*

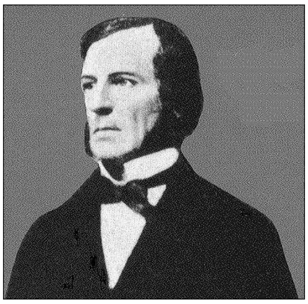
Au XVIIIe siècle, les idées de Hobbes et Locke se répandent et la pensée est vue de plus en plus comme manipulations symboliques susceptibles d'être implémentées dans des machines.

Au XIXe siècle, les travaux des neurophysiologistes identifient le cerveau comme le siège de la pensée et imposent le mécanisme en médecine : le corps n'est qu'une « machine » et les phénomènes physiques suffisent à expliquer la vie, et la pensée.

Le contexte intellectuel est alors favorable à l'émergence de l'IA. Mais réaliser une IA suppose :

- un ou des modèles formels décrivant les mécanismes de la pensée
- des machines capables de manipuler ces modèles pour « penser »

Le XIXe siècle et le début du XXe voient la naissance de la logique moderne et des machines automatiques de traitement de l'information capables de manipuler tout type de représentation formelle.



Georges Boole (1815-1864), mathématicien, veut séparer la logique et la philosophie et rattacher la logique aux mathématiques, en particulier à l'algèbre.

Il conserve la perspective d'Aristote et de Leibniz qui considéraient la logique comme une description de la pensée et propose ce qu'il appelle les lois de la pensée (*An Investigation of The Laws of Thought*, 1854)

Il s'efforce de bâtir une théorie ensembliste et algébrique de la logique.

Il utilise des symboles littéraux (x, y, z, …) pour désigner les classes de choses auxquelles on pense.

Il veut faire coïncider les opérations logiques et les opérations classiques : + pour OU, $\times$ pour ET.

Mais il s'aperçoit vite qu'il ne peut y avoir analogie complète entre calcul logique et calcul arithmétique.

La multiplication-conjonction, qui correspond à une intersection de classes, doit être idempotente : $x \times x = x$.

Les seules valeurs possibles qui vérifient cette propriété sont donc 0 (la classe vide) et 1 (la classe de tout).

On retrouve dans une *algèbre de Boole* des propriétés algébriques classiques :

commutativité de + et $\times$

associativité de + et $\times$

distributivité de $\times$ par rapport à +

0 élément neutre pour + et 1 élément neutre pour $\times$

Mais d'autres propriétés découlent de l'idempotence :

distributivite de + par rapport à $\times$

absorption ($x + x \times y = x$ et $x \times (x + y) = x$)

Les algèbres de Boole ne correspondent donc pas aux structures algébriques classiques.

Il essaie ensuite d'introduire des opérateurs de quantification : ν pour $\forall$ et ν' pour $\exists$

$y = \nu x$	tous les y sont x
$y = \nu(1 - x)$	aucun y n'est x
$\nu y = \nu' x$	il existe des y qui sont x
$\nu y = \nu'(1 - x)$	il existe des y qui sont non x

Cependant, Boole, trop attaché à l'algèbre, restera bloqué par son désir de respecter une analogie forte entre opérateurs arithmétiques et logiques :

- il veut conserver une addition-disjonction qui corresponde au ou exclusif, alors que le ou logique est inclusif (+ doit être idempotente)

- il essaie de faire coïncider négation et soustraction, qui ne correspondent pas tout à fait (l'inverse de x est en fait x+1)

Boole a quand même proposé la première véritable tentative de logique formelle, là où Leibniz n'avait fait que la souhaiter.

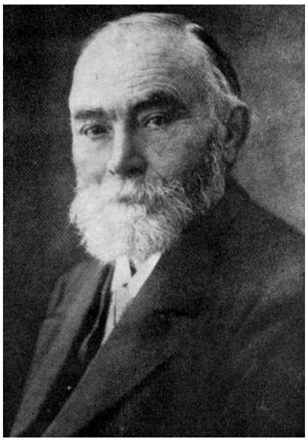
Les algèbres de Boole sont des structures mathématiques utilisées en informatique et en électronique, mais ne sont pas des logiques.

Augustus de Morgan (1806-1871) propose un formalisme pratique pour la logique, introduit la notion d'univers du discours (reprise par Boole), met en évidence la dualité entre le et ET le OU (les fameuses lois de Morgan) et surtout introduit une logique des relations.

La syllogistique ne reconnaît que des inclusions de classes (*tout homme est mortel*) et des appartenances d'instance à une classe (*Socrate est un homme*).

Les autres relations doivent pourtant être exprimées, par exemple la relation de méronymie (partie-tout) : *si un homme est un animal, la tête d'un homme est la tête d'un animal.*

Charles Sanders Peirce (1839-1914) continuera à développer la logique des relations, invente la sémiotique (théorie des signes), introduit les quantificateurs et les tables de vérité.



Gottlob Frege (1848-1925) est d'abord géomètre, puis il s'intéresse aux bases de l'arithmétique et décide de travailler sur la logique pour donner un fondement formel aux mathématiques.

Il publie en 1879 son livre *Begriffsschrift* (calcul conceptuel), considéré comme la naissance de la logique moderne. Il y décrit le calcul des proposition et le calcul des prédicats et évite les erreurs de Boole en ne considérant l'arithmétique que comme une extension de la logique.

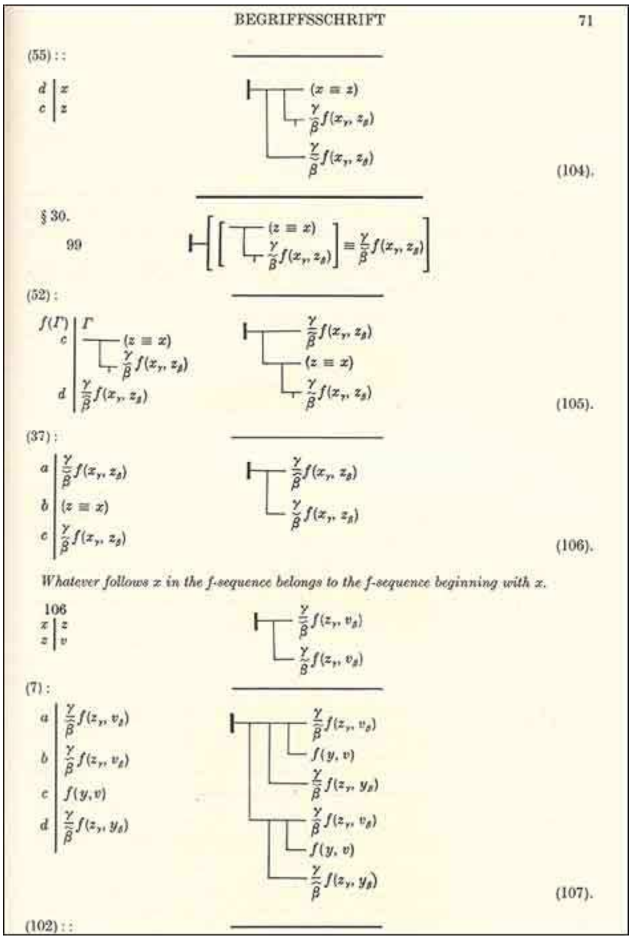
La logique devient un modèle formel de la pensée, indépendant du langage. Elle y gagne une rigueur mathématique, mais y perd la richesse sémantique des langues naturelles : « *j'appelle pensée ce dont on peut demander s'il est vrai ou faux* » (*Der Gedanke*, 1919).

Frege considère les objets de la pensée comme n'appartenant ni au monde matériel des sensations, ni au monde des représentations symboliques, qui ne sont ni vraies ni fausses, mais au monde des Idées : « *penser ce n'est pas produire les pensées, mais les saisir* ».

Frege fait une dépression en 1902, lorsque Russel énonce son paradoxe qui semble remettre en cause la possibilité d'une logique formelle : *l'ensemble des ensembles n'appartenant pas à eux-mêmes appartient-il à lui-même ?*

A la fin de sa vie, il reviendra vers la géométrie pour trouver une nouvelle voie permettant de fonder rigoureusement les mathématiques.

Son formalisme graphique pour écrire la logique n'a pas été repris (le formalisme moderne a été introduit par Guiseppe Peano et Bertrand Russel).



A la fin du XIXe siècle, la logique moderne est née et permet de représenter formellement une partie importante des pensées et des raisonnements.

$$\text{homme(Socrate)} \wedge (\forall x\ \text{homme}(x) \Rightarrow \text{mortel}(x)) \Rightarrow \text{mortel(Socrate)}$$

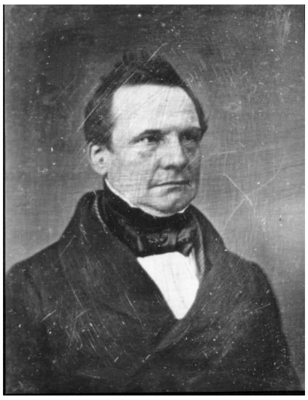
Loi de Morgan : $\vdash \forall x \forall y\ \neg(x \wedge y) \Leftrightarrow \neg x \vee \neg y$

Démonstration de non (non p) = p : $$\dfrac{\dfrac{\dfrac{[(p \to \bot) \to \bot] \qquad [p \to \bot]}{\bot}\,(\to E)}{p}\,(RAA)}{((p \to \bot) \to \bot) \to p}\,(\to I)$$

La logique classique suffit à modéliser les raisonnements mathématiques, relativement pauvres, mais modéliser la variété des raisonnements humains demande davantage d'expressivité.

Le XXe siècle verra éclore les logiques non classiques (logique modales, logiques multivaluées, logique intuitionniste, logique floue, …).

Il ne reste plus alors, pour construire une intelligence artificielle, qu'à construire les machines capables de manipuler ces jeux de symboles ...



Charles Babbage (1791-1871), mathématicien, inspiré par les travaux de Pascal et Leibniz, veut automatiser les mathématiques.

Il s'occupe d'abord de réaliser une machine à calculer les polynômes à coefficients entiers reposant sur la méthode des différences, la Machine à différences.

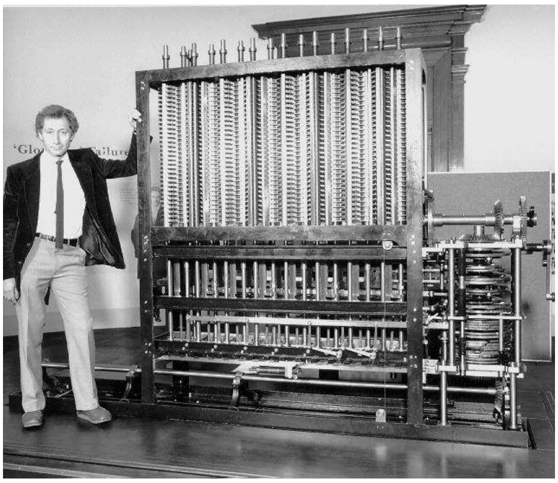
Puis il concevra une machine universelle de traitement numérique, la Machine analytique, qui préfigure les ordinateurs modernes.

La mathématicienne **Ada, comtesse de Lovelace** (1815-1852), fille du poète Byron, participe aux travaux de Babbage.

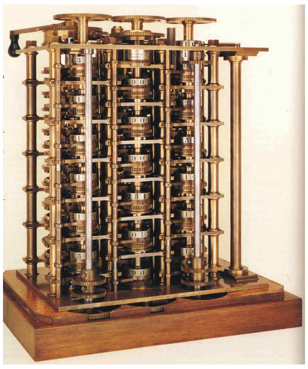
Ada, que Babbage appelait l'*enchanteresse des nombres*, est considérée parfois comme la véritable créatrice des machines.

Elle est la première personne à avoir écrit des programmes, destinés à la Machine analytique, et est donc considérée comme la première informaticienne.

La **Machine à différences**, purement mécanique, est actionnée par une manivelle.



Pas assez spécialisée, la Machine à différences et celles qui s'en inspirent ne furent que peu utilisées pour le calculs de tables numériques.

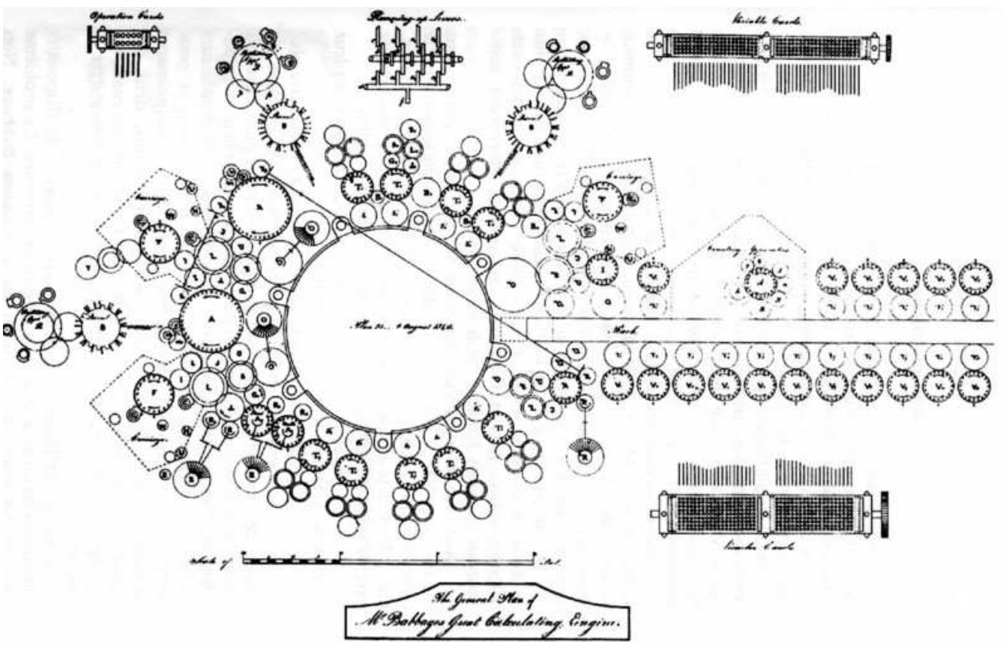


Seuls des **fragments de la Machine analytique** purent être réalisés du temps de Babbage.

La machine peut mémoriser des nombres et les réutiliser dans des calculs ultérieurs. Elle possède des dispositifs d'entrée-sortie.

Surtout, elle incorpore un mécanisme de branchement conditionnel, ce qui lui donne potentiellement les mêmes fonctionnalités que les ordinateurs modernes.

Ada décrit un langage symbolique permettant de donner des instructions à la machine, langage préfigurant l'algorithmique (du nom d'Al-Khawarizmi).



Ada prévoit parfaitement les potentialités et les limitations de la machine : « *la Machine analytique n'a nullement la prétention de créer quelque chose par elle même. Elle peut exécuter tout ce que nous saurons lui ordonner d'exécuter. [...] Son rôle est de nous aider à effectuer ce que nous savons déjà dominer.* ».

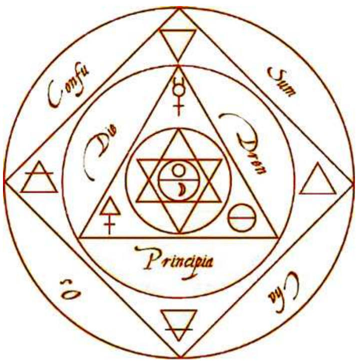
Bien que le support mécanique se révèle inadapté à la réalisation de la Machine analytique, les travaux de Babbage et Ada montrent que réaliser une telle machine est envisageable et qu'elle pourrait être dotée de capacités de traitement de l'information proches de celles des humains.

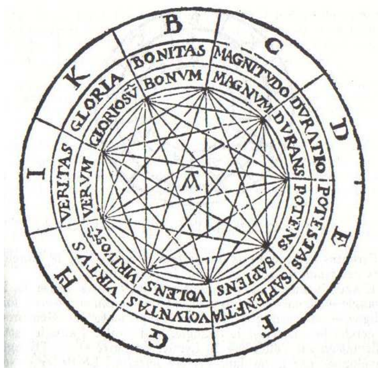
Le rêve de l'IA commence à prendre corps : Mary Shelley publie Frankenstein en 1818.

La tentative de Babbage et Lovelace a échoué, il faudra attendre les années 1940 pour que naissent les premières machines informatiques.

D'Ada Lovelace jusqu'aux années 1950, l'IA et l'informatique seront presque confondues, les grands noms de l'informatique s'intéressent à l'IA et inversement, souvent en confondant création d'un ordinateur et création d'une machine pensante.

Puis l'informatique prendra son essor et de nos jours, la plupart des informaticiens ne font pas d'IA. De même la chimie et l'alchimie furent longtemps confondues.





Est-ce à dire que l'IA n'est qu'une chimère qui finira par être abandonnée?

Avant même que l'IA ne naisse officiellement, sa possibilité théorique est mise en cause par le théorème de Gödel, qui illustre les limites de l'approche mécaniste.

Au début du XXe siècle, reprenant le rêve de Leibniz et de Babbage, des mathématiciens cherchent à mécaniser les mathématiques, pour en extirper toute erreur.

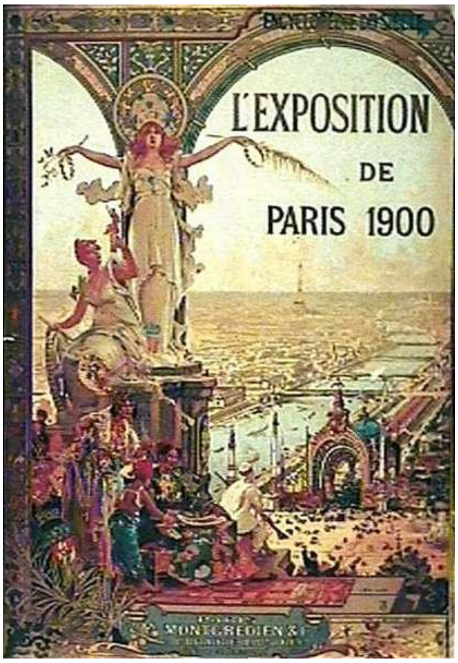
David Hilbert (1862-1943) pose en 1922 le problème de la décision (Entscheidungproblem) : *peut on toujours décider de façon mécanique si un énoncé est vrai?*

Son projet n'est rien moins que de réduire les mathématiques à des manipulations symboliques formelles.

En 1928, il pose de façon plus large la question de la consistance, de la complétude et de la décidabilité des mathématiques.

Mécaniser les mathématiques permettrait potentiellement de mécaniser toute pensée, car, après les travaux de Maxwell, l'univers entier paraît modélisable par les mathématiques.

La Belle Epoque est en Europe l'époque de toutes les certitudes :



- croyance en la vérité scientifique (gravitation, électromagnétisme, …) et au réductionnisme.

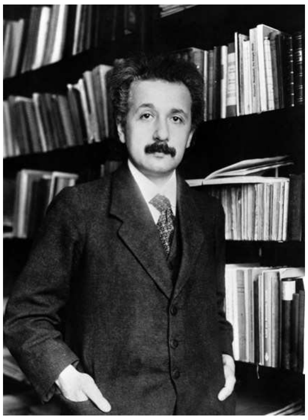
- croyance dans les bienfaits du progrès technique (Jules Verne, …)

- croyance dans le progrès social (par transformation, révolution, …)

- croyance dans le progrès économique et une croissance sans fin

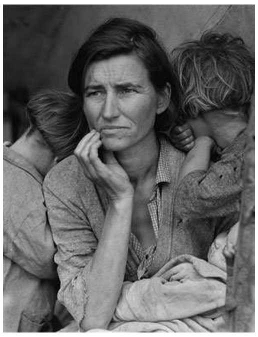
- croyance dans la supériorité intellectuelle, morale, culturelle et religieuse de l'Europe

En quelques années, toutes ces certitudes vont s'effondrer ....

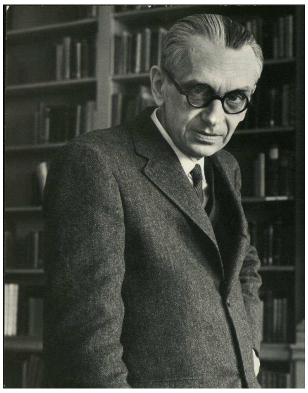


La 1e Guerre Mondiale révèle les méfaits du progrès technique et annonce la fin de la suprématie européenne.

Les découvertes en physique montrent que les théories scientifiques ne peuvent plus être considérées comme « vraies ».



La Crise de 1929 prouve que les progrès économique et social ne sont pas assurés et que le capitalisme peut mener à la catastrophe.



Les mathématiques résistent à cette ruine de l'édifice intellectuel jusqu'à la publication en 1931 par le logicien **Kurt Gödel** (1906-1978) de son fameux théorème d'incomplétude :

Un système formel comprenant les entiers ne peut à la fois être complet et consistant. De plus, sa consistance ne peut être prouvée « à l'intérieur » du système.

Le théorème de Gödel montre que même les mathématiques, domaine qui paraît le plus formalisable, ne peuvent être totalement réduites à un système formel. Le projet d'Hilbert s'effondre.

Le lien que Turing va établir entre systèmes formels et machines va permettre d'appliquer le résultat de Gödel à l'IA.

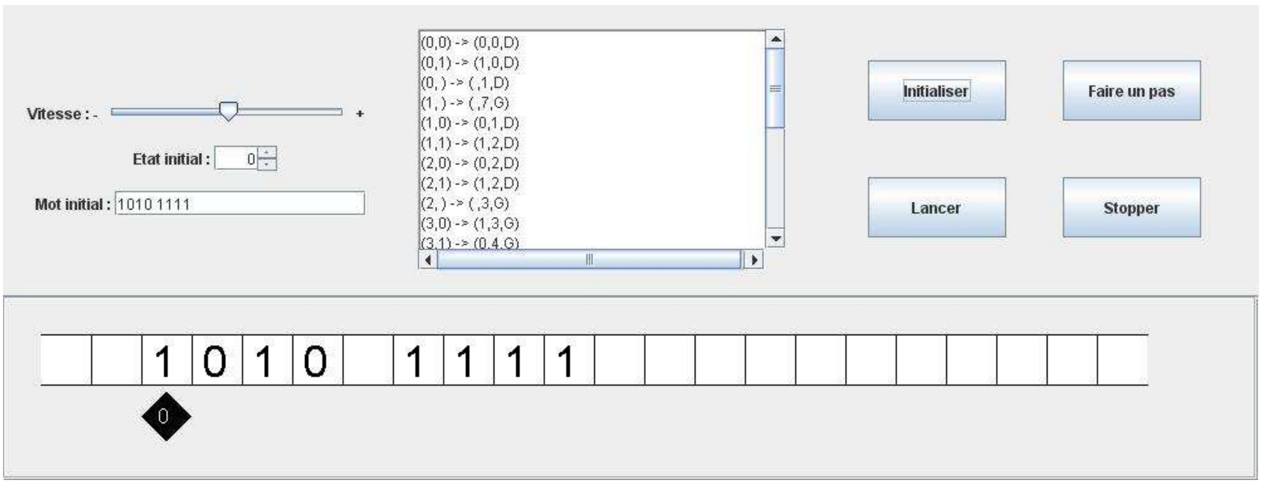
Alan Turing (1912-1954), mathématicien considéré comme le père de l'informatique en tant que science, a joué également un rôle fondamental en IA.

Il étudie les mathématiques et travaille sur le problème de la calculabilité à **Cambridge**. Il obtiendra son doctorat en 1938 à Princeton.

Turing invente à Cambridge en 1936 la notion de machine de Turing, procédé formel permettant de définir ce qu'est un énoncé décidable (ou une fonction calculable).

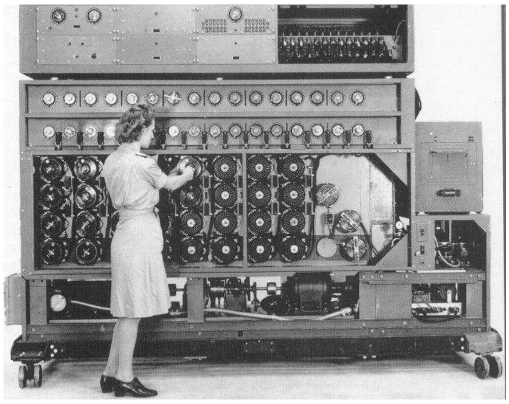
Dans son article de 1936, *Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem,* Turing montre l'indécidabilité du problème de l'arrêt d'une machine de Turing en utilisant, comme Gödel, la méthode de la diagonale de Cantor.

Simulation d'une machine de Turing sur la page ***http://www.u-picardie.fr/~furst/Turing.html***

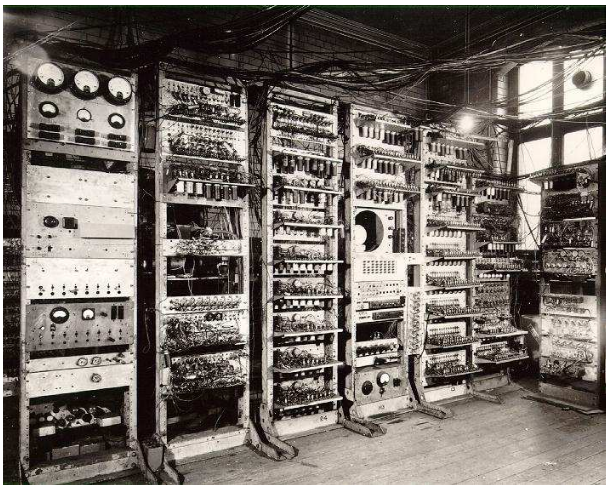


Turing montre également que toute machine capable d'effectuer un calcul peut être simulée par une machine de Turing universelle dotée du programme adéquat codé sur son ruban. Données et programmes sont alors confondus, ce qui permet le branchement conditionnel, mécanisme de base de l'algorithmique.

Pendant la 2e Guerre Mondiale il dirige la construction des **Bombes**, machines électromécaniques de décodage des messages militaires allemands encodés par les **machines Enigma**.

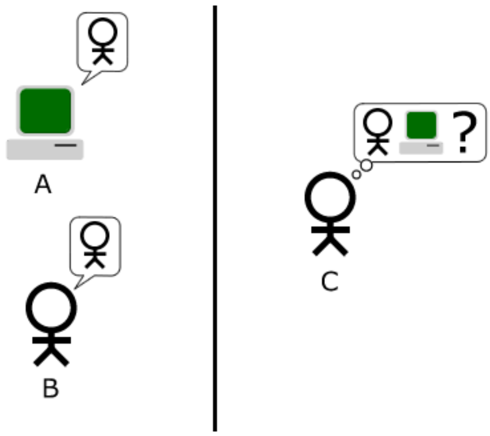


En 1949, Turing participe à la réalisation d'un des premiers ordinateurs, le **Manchester Mark 1**.



En montrant que les machines ne peuvent tout calculer, les travaux de Gödel et de Turing semblent s'opposer au projet de l'Intelligence Artificielle. Pourtant, Turing considère qu'il n'y a pas de limite entre « mécanique » et « intelligent » et que le cerveau est semblable aux ordinateurs en train de naitre.

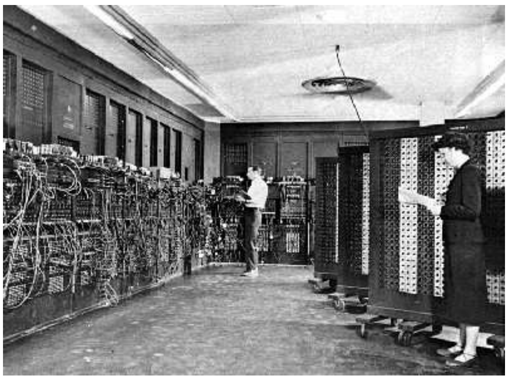
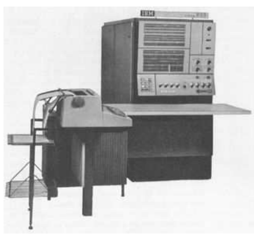
Convaincu que les machines vont devenir « intelligentes », il propose en 1950 dans un article intitulé *Computing Machinery and Intelligence*, un test qui permettrait de déterminer quand ce point sera atteint :



Le **Test de Turing** n'a pour le moment jamais été passé avec succès par aucune machine … bien qu'un prix de $100000 soit prévu pour son concepteur (*http://www.loebner.net/Prizef/loebner-prize.html*).

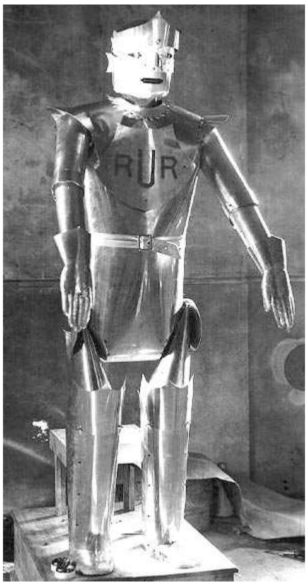
Dans l'article où il présente le test qui porte son nom, Turing expose sa vision de la pensée humaine comme mécanisme mathématique. Il critique toutes les objections faites à la possibilité d'une machine pensante (théorème de Gödel, la conscience, l'objection d'Ada Lovelace, etc) et les réfute.

Mais Turing est homosexuel et en 1952, il est condamné à la castration chimique. Ne pouvant le supporter, il se suicide en mangeant une pomme empoisonnée au cyanure.

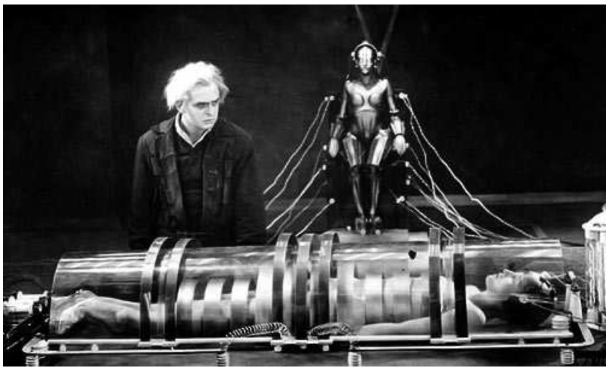



Tous les ordinateurs existants, ou ayant existé, peuvent être considérés comme des réalisations physiques de machine de Turing universelles.

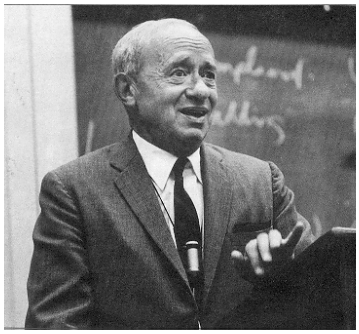
Le prix Turing, le Nobel de l'informatique, a été créé en 1966 en son honneur.



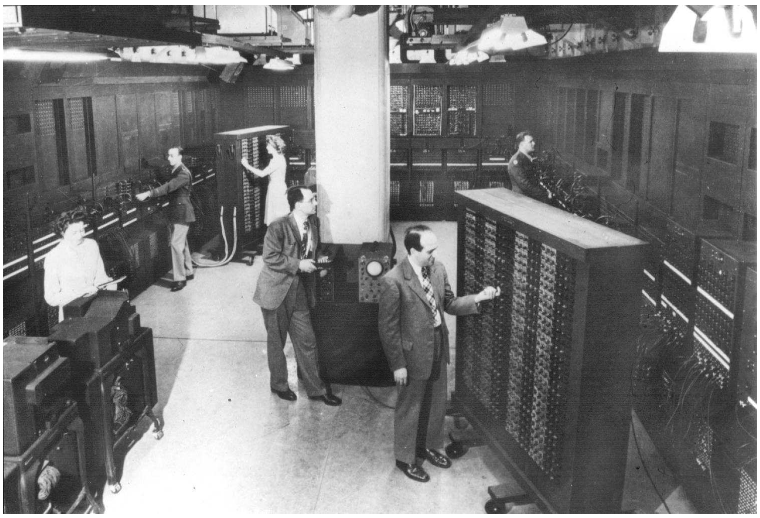
L'IA qui va bientôt naitre suscite autant d'espoir que de crainte, comme le montre **RUR** (Rossum's Universal Robots), pièce de théatre de Karel Capek, qui introduit en 1921 le terme *robot*, ou le film de Fritz Lang **Metropolis** en 1926.



La solution du problème de la décision dans sa forme la plus générale est négative. Il est certain qu'à l'écoute de cette information beaucoup de mathématiciens ont exprimé un profond soulagement. Probablement certains dans leurs nuits d'insomnie ont pensé avec horreur au moment où un mathématicien sournois trouverait une solution positive et construirait une machine qui résoudrait n'importe quel problème mathématique complètement mécaniquement. Le danger est écarté, les mathématiciens peuvent dormir tranquillement. (***Alfred Tarski,*** *1902-1983)*



Les calculateurs électromécaniques des années 1930-1940 vont bientôt laisser la place aux machines électroniques Turing-complètes dont la première, l'**ENIAC** (Electronic Numerical Integrator Analyser and Computer) est réalisée en 1946 à Philadelphie.



Réaliser physiquement une machine de Turing suppose de réduire son ruban infini à une mémoire de taille finie et couper ce ruban inaugure la naissance du premier ordinateur et de l'ère informatique.