

# **Une toute petite (et incomplète) histoire de l'IA**



# Homère (L 'Iliade 850BC)



- ⌘ Hephaistos (Vulcain), dieu du feu et des forgerons, crée des apprentis mécaniques qui sont intelligents et doués du pouvoir de la parole.
- ⌘ Il créera aussi un homme de bronze, Talos, qui surveille les rives de la Crète et repousse les envahisseurs.

# Egypte hellénique (200BC)



⌘ Les prêtres égyptiens créent de véritables automates, soit mus par des systèmes hydrauliques, soit mus par des systèmes complexes de leviers et de cordes.

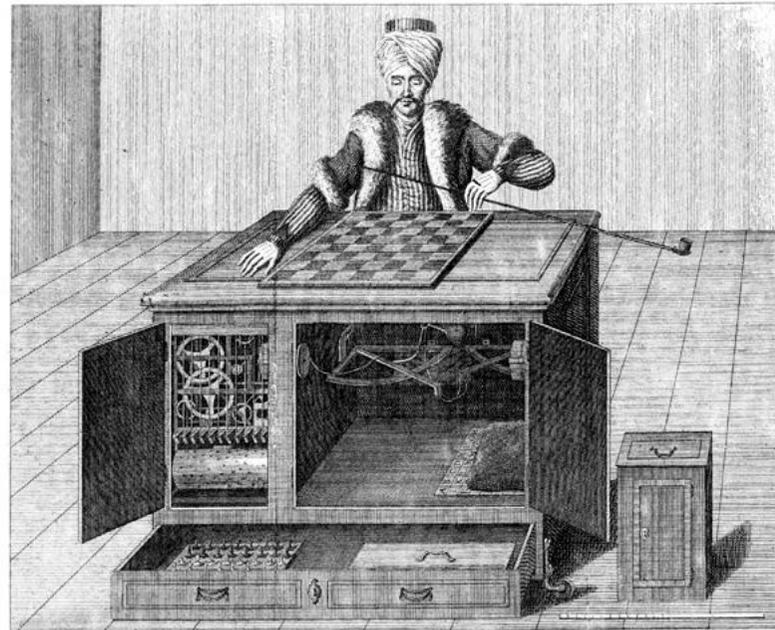
# Le pape Sylvestre II (945-1000)



- ⌘ Est supposé avoir construit un automate qui pouvait dire « oui » ou « non » lorsqu 'on lui posait une question.

# Le Turk

⌘ Construit en 1770 par Wolfgang von Kempelen



*W. de Kempelen del. Che. a. Mechel. casard. Basilica. P. G. Pong. sc.*  
*Par Schachspielte mit verordnen Spiel gezeigt wird von dem L. Inuar d'Chess, tel qu'on le montre avant le jeu par devant.*

# Points forts

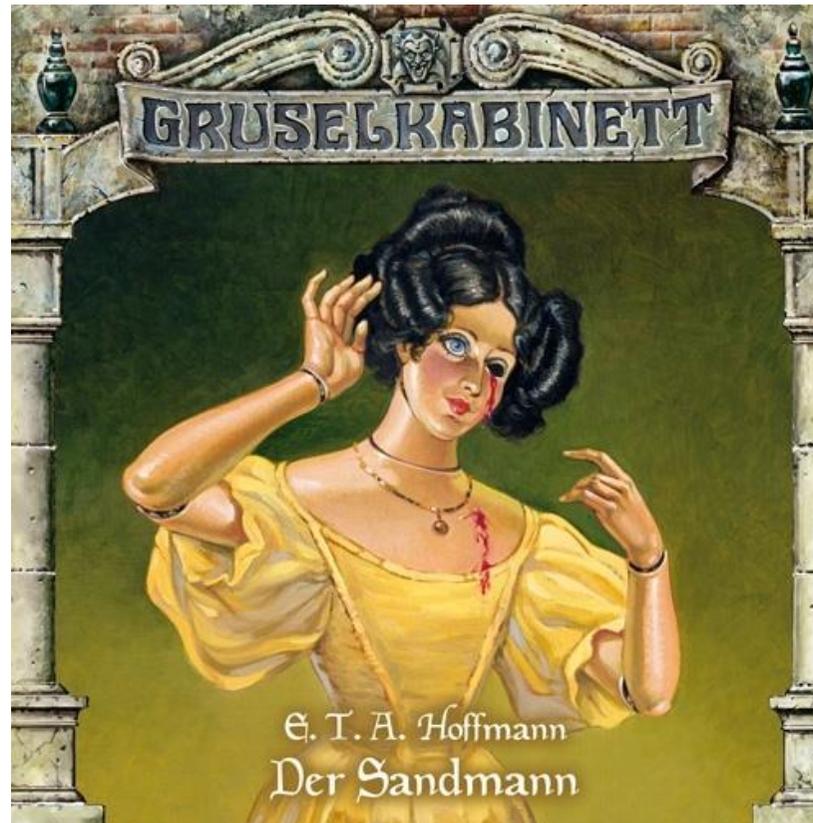


- ⌘ Domaine complètement spécifiable et à information totale
- ⌘ Résultats facilement lisibles: victoire ou défaite
- ⌘ Domaine « représentatif » de l'intelligence humaine
- ⌘ Domaine « populaire » qui attire l'attention...et les financements
- ⌘ Domaine riche et complexe

# Der Sandman (1817)

## E.T.A Hoffman

⌘ Met en scène Olimpia, automate créé par son père, professeur de physique



# Frankenstein (1818)

## Mary Shelley

---

⌘ Pose le mythe de la création se retournant contre son maître



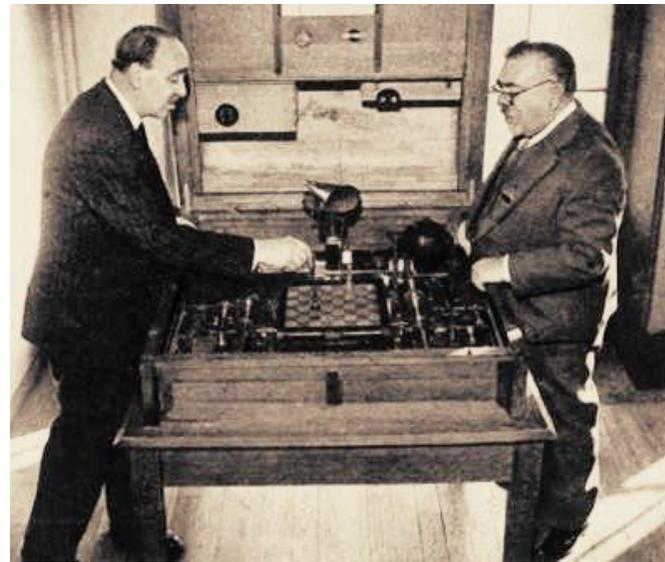
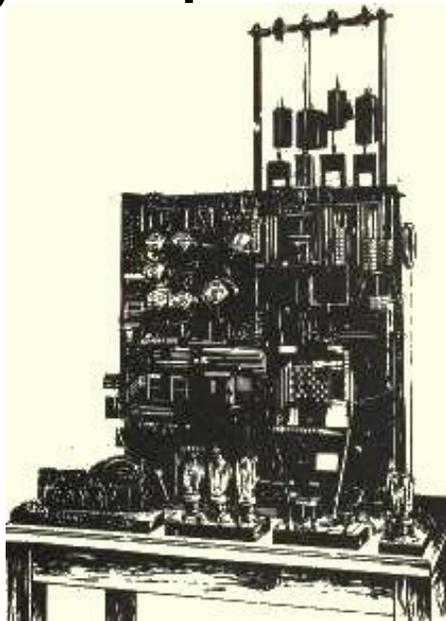
# L'Eve future (1886)

- ⌘ Roman écrit par le comte de Villiers de l'Isle-Adam
- ⌘ Met en scène un andréïde féminin, nommée Eve



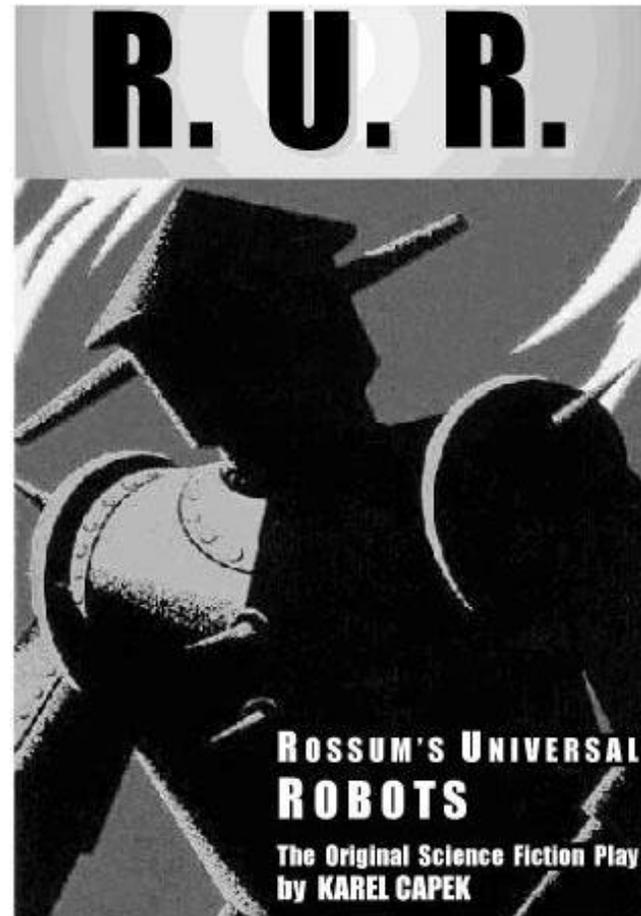
# El Ajedrecista (1910)

⌘ Leonardo Torres y Quevedo. Jue la finale Roi contre Roi+Tour. En 1920, version magnétique.



# Les robots (1920)

⌘ Karel Kapec  
(tchèque) publie le  
roman Rossum 's  
Universal Robots  
(R.U.R). Robota  
signifie « corvée » en  
tchèque.



# Metropolis (1926)



# Un vieil argument anti IA



- ⌘ « Les machines sont limitées dans ce qu'elles peuvent calculer, c'est Turing qui l'a montré ».
- ⌘ Ceux qui l'emploient n'ont pas compris grand-chose à la notion de calculabilité, comme nous allons le voir...

# Un peu de théorie: l'infini..



- ⌘ 1638: Galilée remarque que « les nombres peuvent-être associés avec leur carré »
- ⌘ Y a-t-il « autant » de carrés que d'entiers?
- ⌘ Que veut dire « autant »?

# Un peu de théorie: les ensembles



- ⌘ Fin du XIXème siècle: Cantor formalise la notion d 'ensemble, de bijection et d 'équipotence
- ⌘ « Autant » signifie « peut-être mis en relation 1-1 (bijection) avec »
- ⌘ Il reste à trouver les grandes relations d 'équipotence

# Un peu de théorie: dénombrabilité

- ⌘ Premier ensemble étudié: l'ensemble des entiers naturels **N**
- ⌘ Il est équipotent à l'ensemble des entiers relatifs, aux nombres algébriques, aux fractions rationnelles, etc
- ⌘ On peut numéroter les fractions:

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	1/1	2/1	3/1
<b>2</b>	1/2	2/2	3/2
<b>3</b>	1/3	2/3	3/3

# Un peu de théorie

- ⌘ **N** ainsi que tous les ensembles « numérotables » est dit « dénombrable »
- ⌘ L'ensemble des fonctions de **N** dans **N** est « plus grand » que **N** (on va le voir)
- ⌘ Pour information:
  - ⊞ L'ensemble des fonctions de **N** dans **N** est équipotent à **R** (les nombres réels)
  - ⊞ Existe-t-il des ensembles « entre » **N** et **R** ? C'est une proposition indécidable (dans l'axiomatique classique Zermelo-Frankel de **N** [Cohen 1963])

# Un peu de théorie

- ⌘ Y a-t-il des ensembles plus grand que  $\mathbf{N}$  ?
- ⌘ Supposons que l'on peut numéroter l'ensemble des fonctions de  $\mathbf{N}$  dans  $\mathbf{N}$  :  $f_1, f_2, \dots$
- ⌘ Soit la fonction  $g$  définie par:  $g(i) = f_i(i) + 1$
- ⌘  $g$  est une fonction de  $\mathbf{N}$  dans  $\mathbf{N}$  donc il existe  $n$  tel que:
  - ⊠  $f_n(i) = g(i)$  pour tout  $i$
- ⌘ Pour  $i = n$ , on a  $f_n(n) = g(n) = f_n(n) + 1$
- ⌘ Absurde: cet ensemble n'est pas dénombrable

# Les machines de Turing

- ⌘ Une bande de papier infinie divisée en cases
- ⌘ Un pointeur, qui indique la case active
- ⌘ Un indicateur d'états qui garde en mémoire l'état de la machine
- ⌘ Un programme sous la forme d'un tableau à deux entrées (voir exemple suivant)
- ⌘ Les machines de Turing sont dénombrables (simple à démontrer)

# Les machines de Turing

- ⌘ Programme de la machine effectuant  $f(x)=x+1$
- ⌘ Ex: Si la machine est dans l'état  $z_0$  et que la case contient un 0, elle reste dans l'état  $z_0$ , écrit un 0 et va à droite.

	B	0	1
$z_0$	$(z_1, B, G)$	$(z_0, 0, D)$	$(z_0, 1, D)$
$z_1$	$(z_h, 1, I)$	$(z_h, 1, I)$	$(z_1, 0, G)$

# Thèse de Church-Turing



- ⌘ Une fonction est calculable au sens intuitif du terme si elle est calculable par une machine de Turing.
- ⌘ Cette notion de calculabilité est équivalente à celle définie en utilisant les fonctions récursives générales de Church.

# Argument anti IA



- ⌘ Les machines de Turing sont dénombrables
- ⌘ L'ensemble des fonctions de  $\mathbb{N}$  dans  $\mathbb{N}$  n'est pas dénombrables
- ⌘ Donc un calculateur ne peut pas tout faire
- ⌘ .....
- ⌘ Sauf qu'un cerveau humain ne fait pas mieux...

# Un exemple de problème non calculable



⌘ Le problème de Post:

⌘ Soit les deux listes suivantes:

⌘ (aabb, ab, aab)

⌘ (bb, abaa, b)

⌘ Peut-on construire une liste d'indices telle que la concaténation des éléments de la première liste est égale à la concaténation des éléments de la seconde?

# Solution sur un cas particulier du problème de Post

⌘ Reprenons les deux listes précédentes:

☒ (aabb, ab, aab)

☒ (bb, abaa, b)

⌘ La solution est (2,3,2,1)

☒ Liste 1: ab(2) aab(3) ab(2) aabb(1) => abaababaabb

☒ Liste 2: abaa(2) b(3) abaa(2) bb(1) => abaababaabb

⌘ On peut prouver qu'il est impossible de trouver un algorithme résolvant le problème de Post dans le cas général

# Le problème de Post: quelques enseignements

- ⌘ Le problème de Post ne peut se résoudre (dans le cas général) car:
  - ⊞ Si le problème a une solution, l'algorithme la trouvera bien en un temps fini (il suffit d'imaginer un algorithme énumérant toutes les listes possibles en commençant par les listes de taille 1, puis 2, etc...)
  - ⊞ En revanche si le problème n'a pas de solution, l'algorithme est incapable de dire en un temps fini qu'il n'y a pas de solution (ce résultat est démontrable).

# Le problème de Post: quelques enseignements



- ⌘ Le problème de l'arrêt du calcul n'est pas lié à la structure d'un calculateur. Un être humain aura exactement le même type de difficulté
- ⌘ L'argument de la « dénombrabilité » des machines de Turing ne tient pas pour réfuter la possibilité d'une IA...

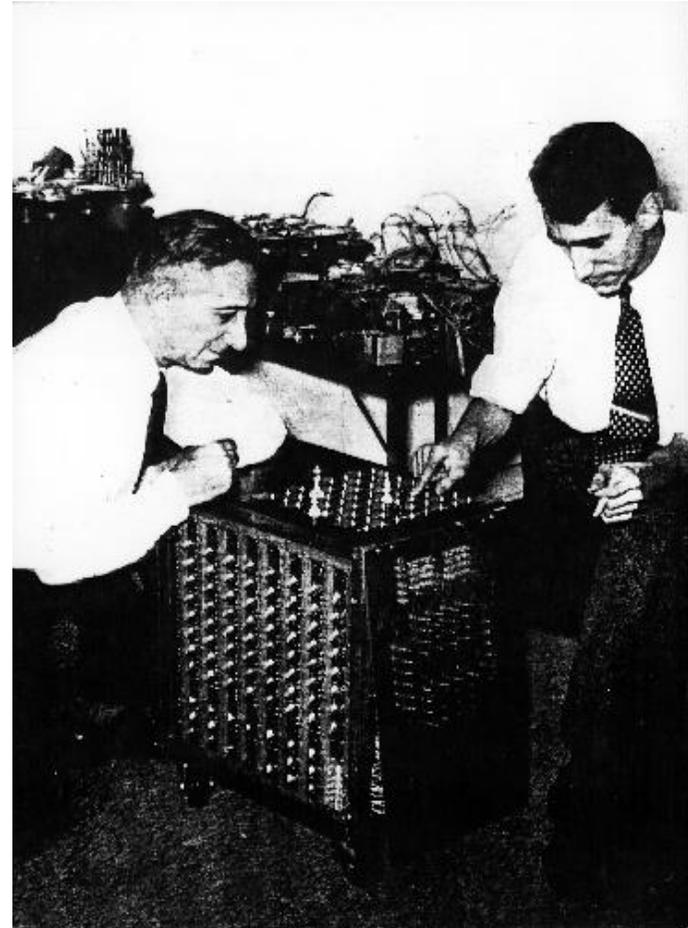
# Les débuts de l'IA



- ⌘ 1945-1955: la préhistoire
- ⌘ De nombreux spécialistes du décryptage se lancent dans la traduction automatique
- ⌘ Débuts enthousiastes
- ⌘ Prédications délirantes
- ⌘ Echecs cuisants

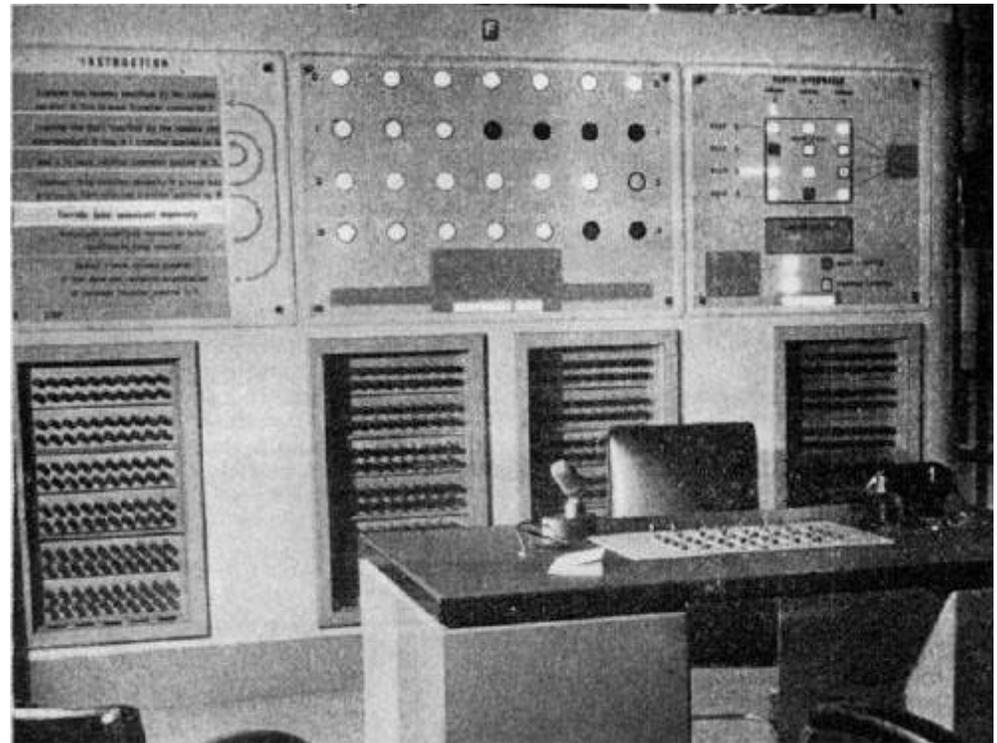
# La machine de Shannon (1950)

⌘ Construite par Claude Shannon, elle est capable de jouer des fin de parties comportant 6 pièces.



# Le nimrod (1951)

- ⌘ Construit par Ferranti pour une exposition.
- ⌘ Joue parfaitement au jeu de Nim.
- ⌘ 6Kw, 40m<sup>3</sup>



# Le turochamp (1952)



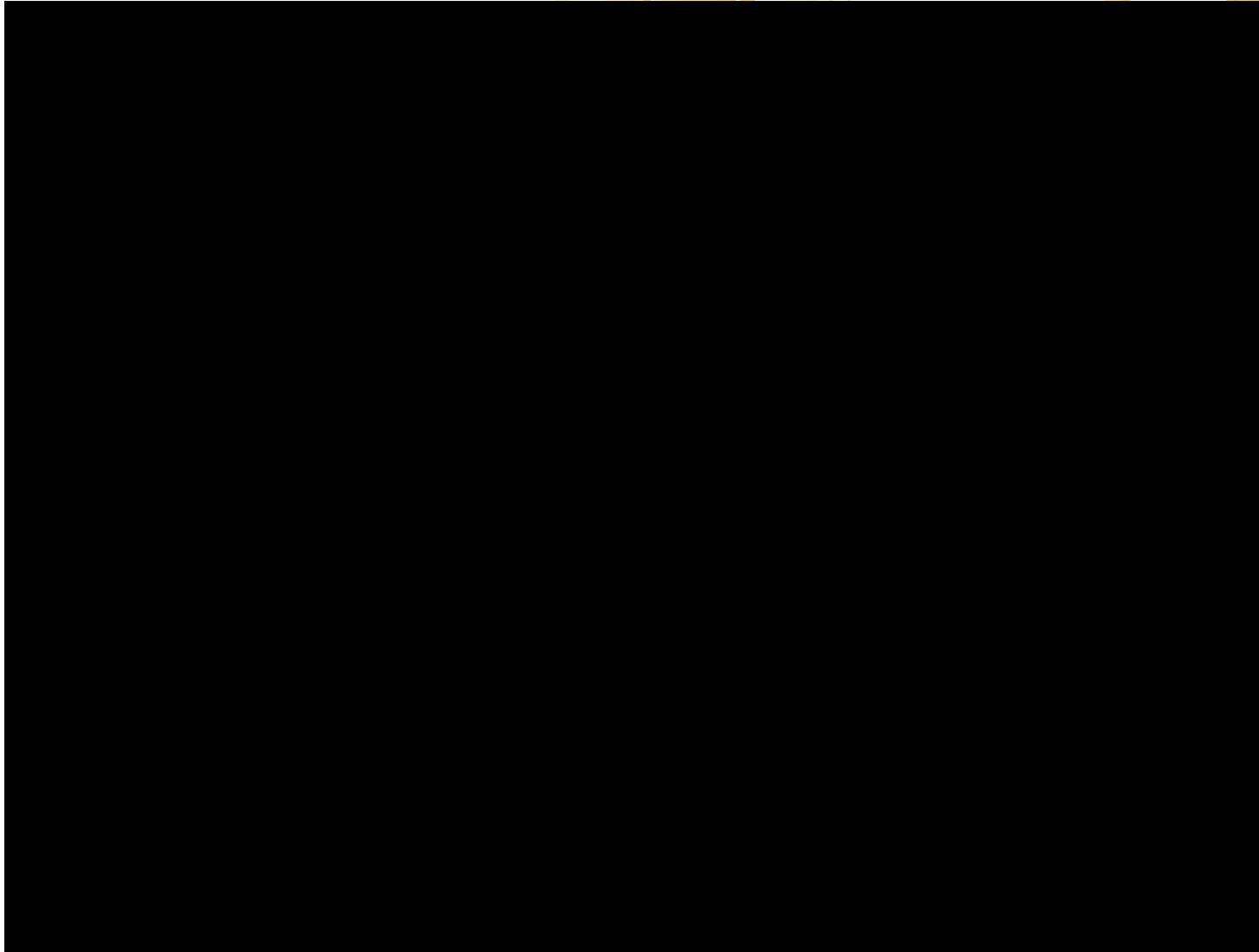
⌘ En 1952, Alan Turing construit un jeu d'instructions (le turochamp) qui constitue le premier « programme » d'échecs existant. Faute de machine capable de l'exécuter, le programme sera simulé par Turing dans une partie contre un étudiant, Alick Glennie.

# Le « test de Turing »



- ⌘ Test supposé définir « l'intelligence ».
- ⌘ Un ordinateur peut-il se faire passer pour un être humain en dialoguant avec lui à travers un écran et un clavier?
- ⌘ The « chinese room argument » (John Searle, 1980): la simulation de l'intelligence est-elle de l'intelligence?

# **Univac 1 commercial**

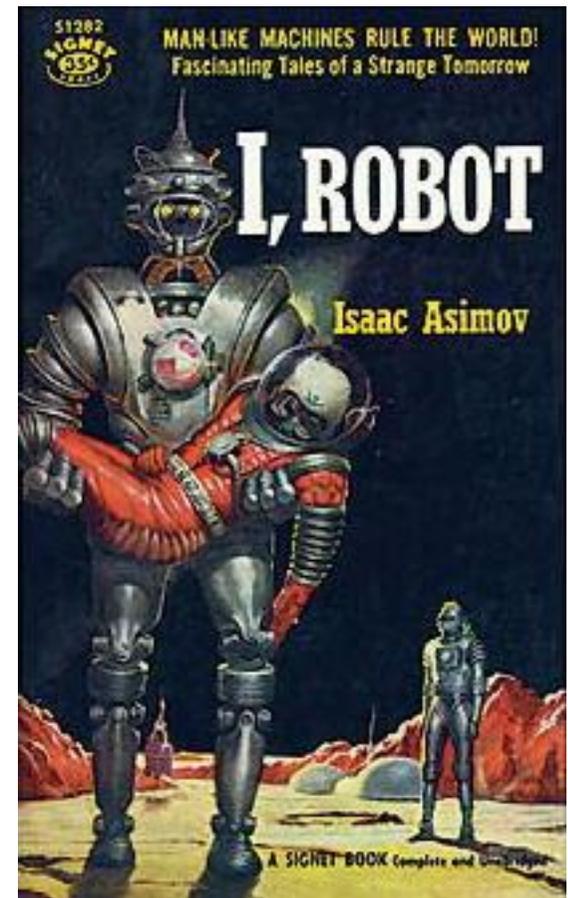


# Univac election



# I, Robot

- ⌘ Parution en 1950 de *I, Robot* d'Isaac Asimov, recueil de nouvelles (1939-1950)
- ⌘ Fixe les « 3 lois de la robotique »
  - ☒ A robot may not injure a human being or, through inaction, allow a human being to come to harm.
  - ☒ A robot must obey the orders given to it by human beings, except where such orders would conflict with the First Law.
  - ☒ A robot must protect its own existence as long as such protection does not conflict with the First or Second Law.



# **Forbidden planet (1956)**

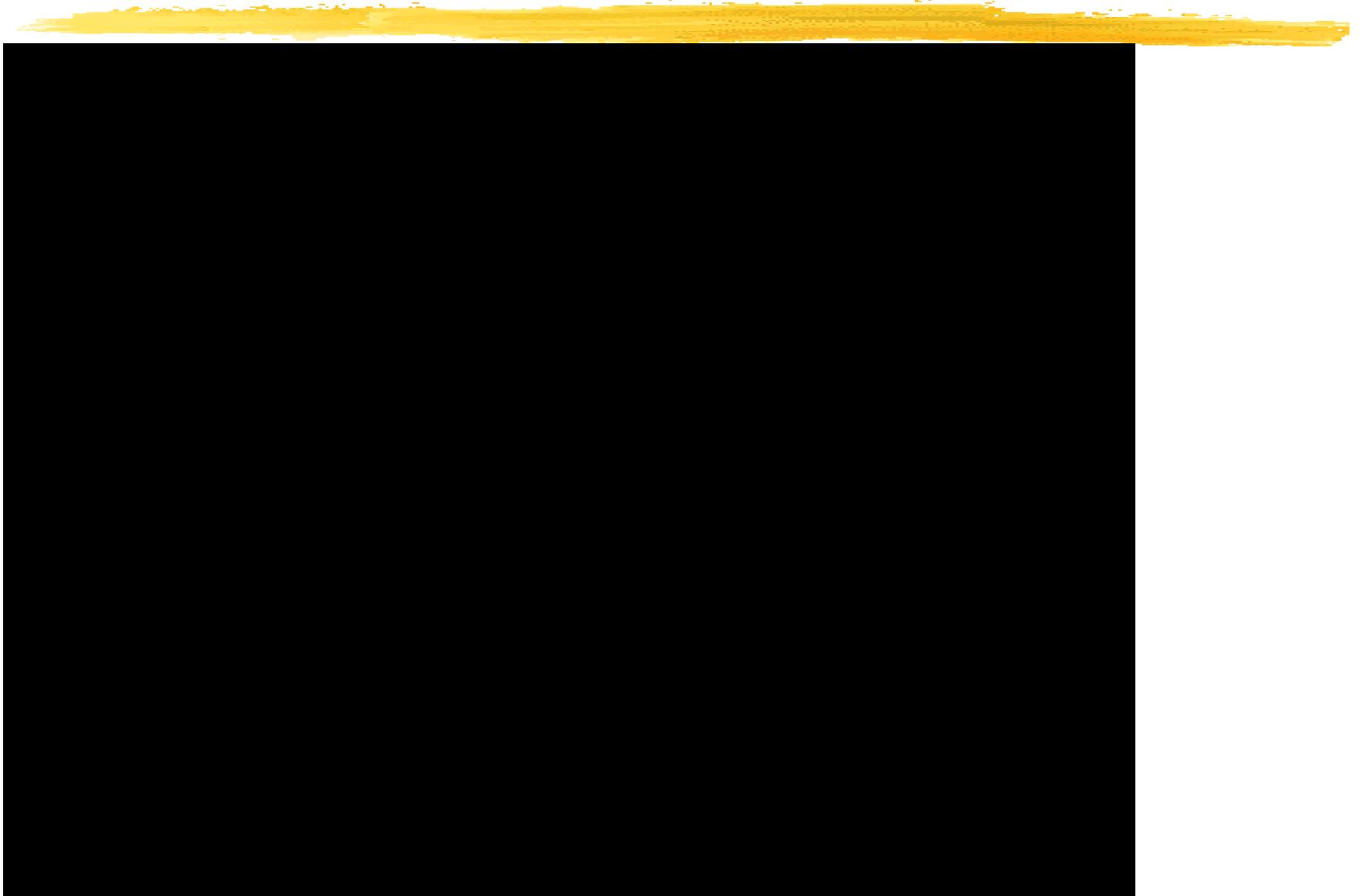
## **Robby the robot**



# Semi Automatic Ground Environment (SAGE)



**SAGE**



# IA: les vrais débuts (55-70)



- ⌘ IA fondée par John Mc Carthy sur le postulat mécaniste
- ⌘ 1956: the Logic Theorist (Newell, Simon, Shaw)
- ⌘ 1957: General Problem Solver
- ⌘ 1958: Checkers (Samuel)
- ⌘ 1960: DENDRAL (système expert)

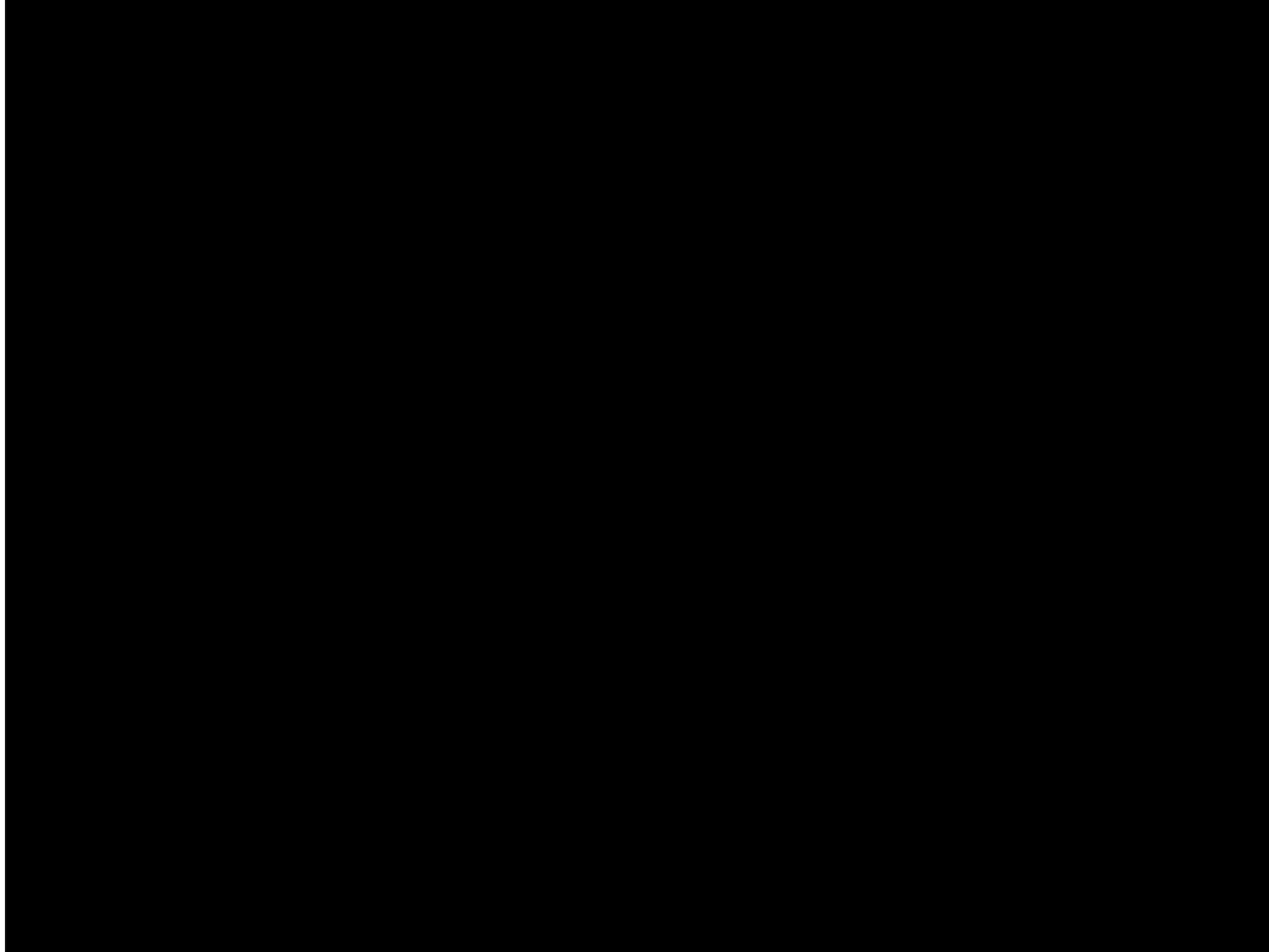
# IA: les vrais débuts



- ⌘ Conclusions radicalement opposées
- ⌘ Simon déclare (1958) qu 'avant dix ans
  - ☒ Un programme d 'échecs sera champion du monde
  - ☒ Un programme de démonstration automatique démontrera un théorème important
- ⌘ Samuel est pessimiste

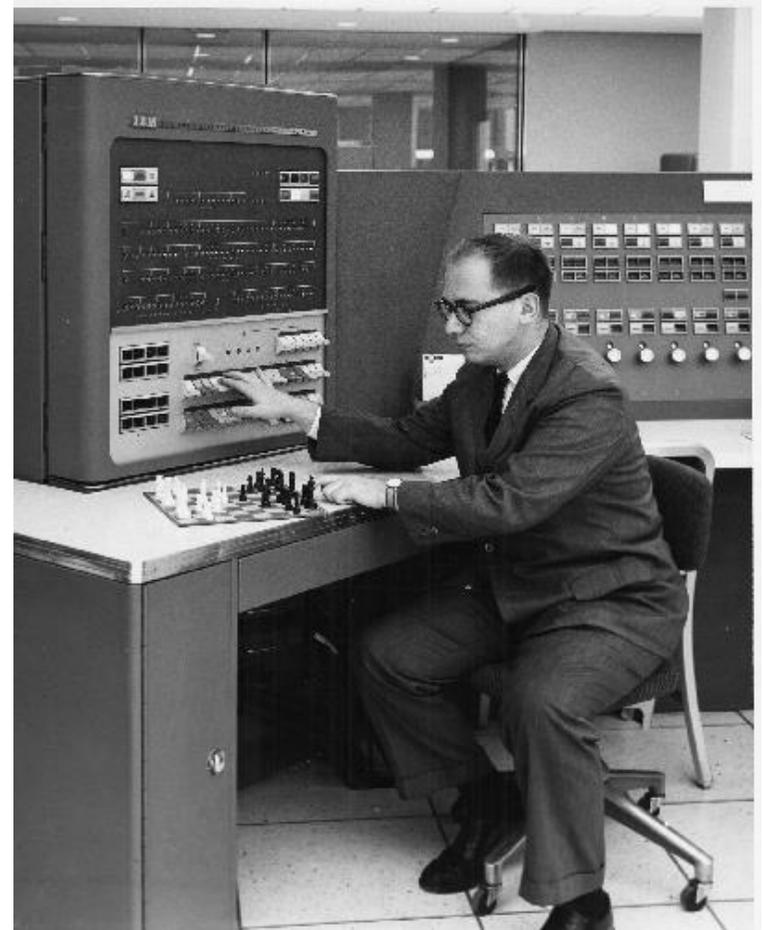
# **Daisy Bell**

**by 7094**



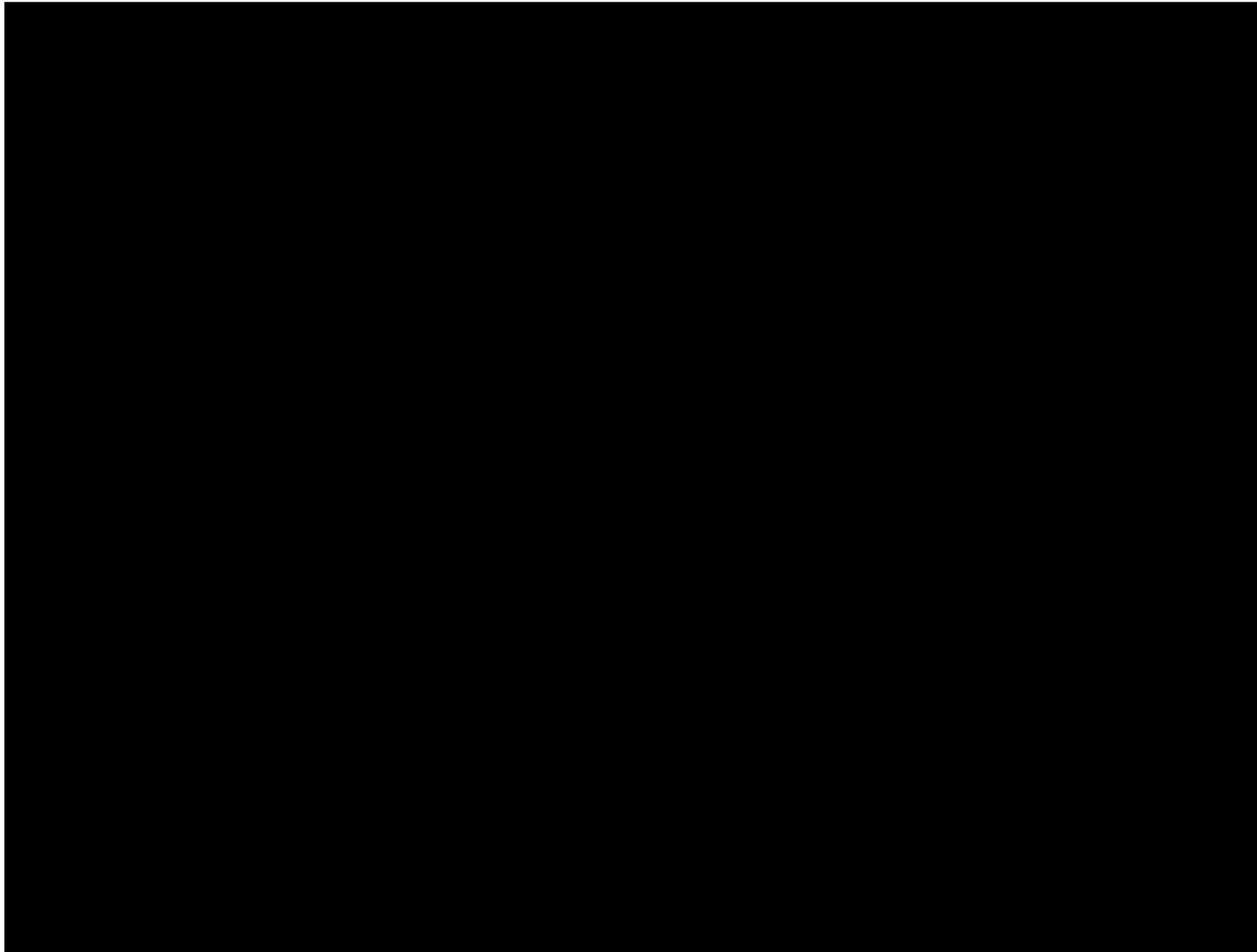
# The Bernstein Chess Program (1957)

- ⌘ Écrit par Alex Bernstein sur un IBM 704
- ⌘ Premier vrai programme d'échecs
- ⌘ Calcule 4 niveaux en minimax en 8 minutes, avec de l'élagage (Shannon B)



Alex Bernstein

# The Bernstein Chess Program



# NSS (Newell, Simon and Shaw) 1958

- ⌘ « Goal directed »
- ⌘ Reste extrêmement faible
- ⌘ Shannon type B



# 2001, l'odyssée de l'espace Kubrick, (1968)

- ⌘ Film très documenté qui reprend beaucoup de ce que certains scientifiques pensaient à l'époque



# 2001, the HAL computer

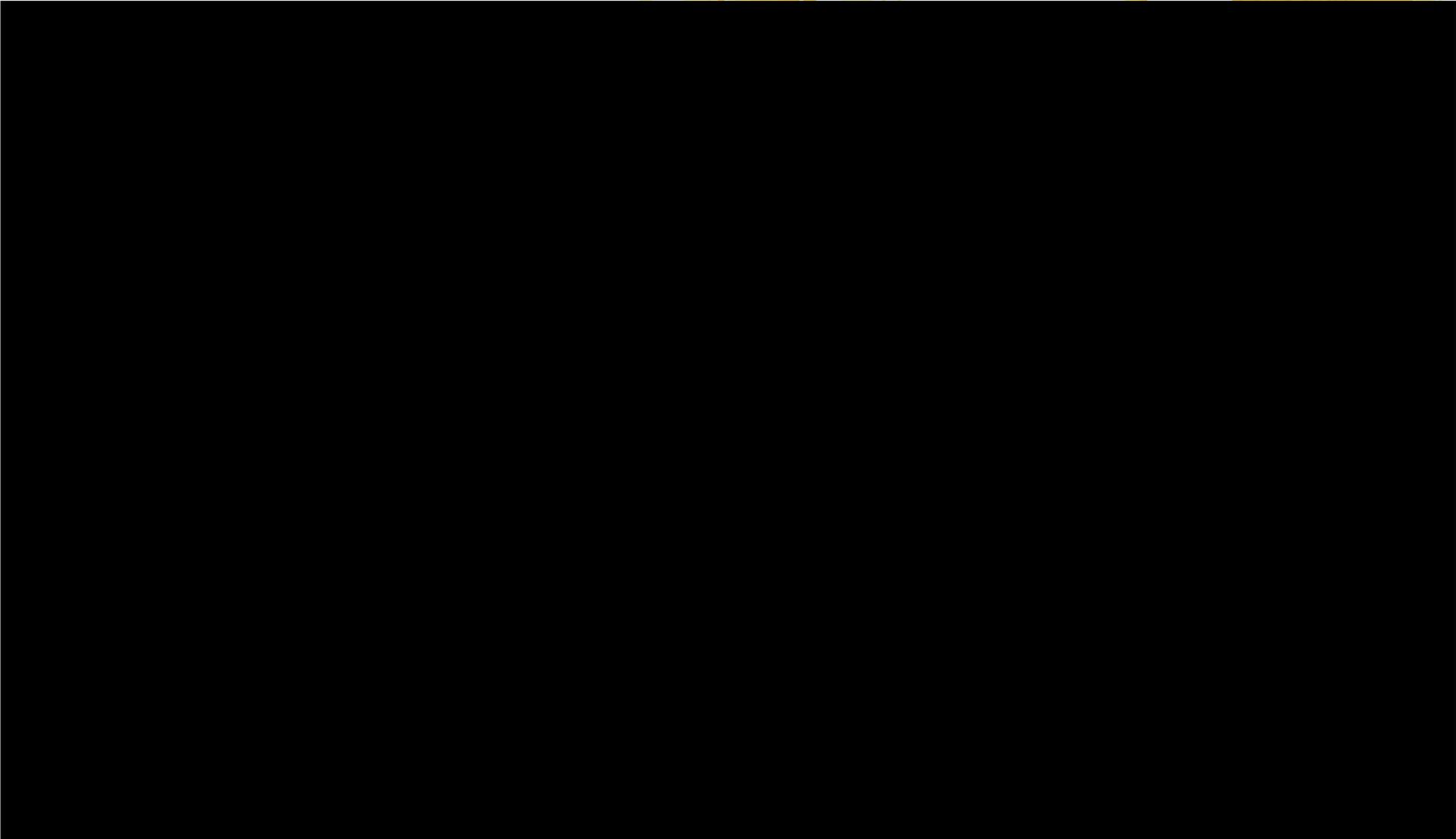
⌘ H : Heuristically programmed

⌘ AL: Algorithmic computer

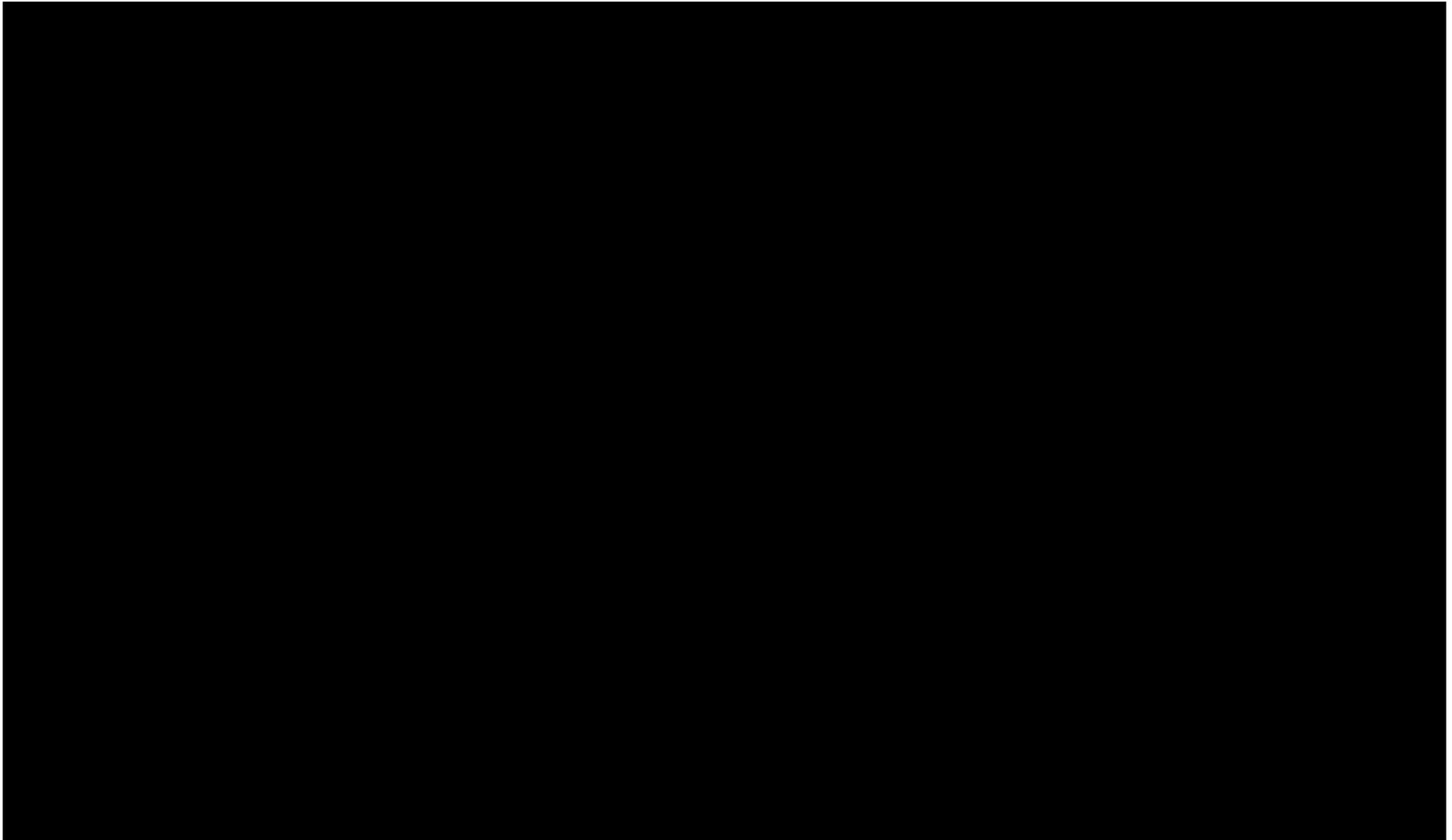
⌘ Référence (involontaire?) à IBM

⊡ (H->I, A->B, L->M)

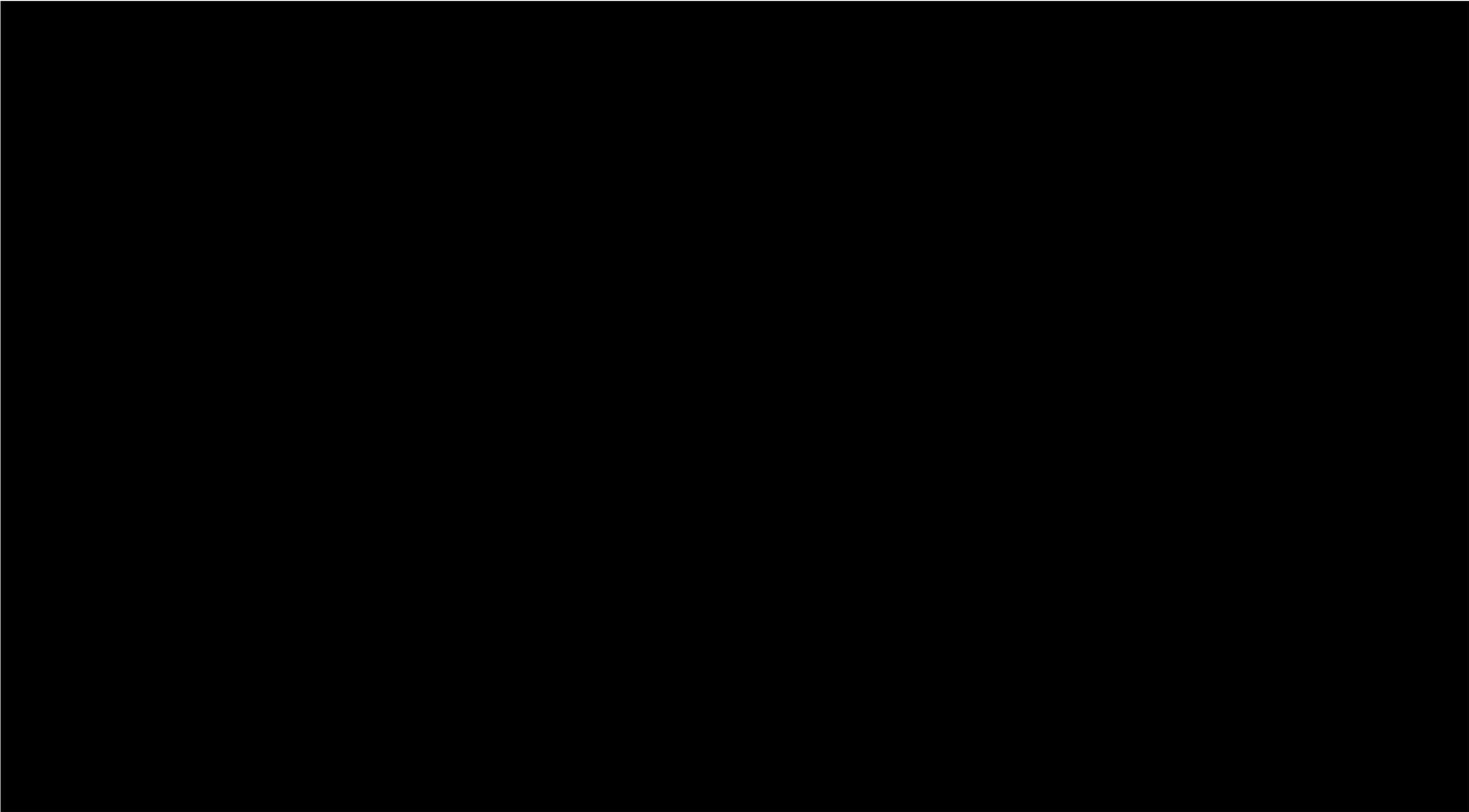
**« Bishop to b3... »**



**« Everything is going  
extremely well »**



**« Hal, open the door... »**



# Daisy Bell



# IA: la spécialisation 70-80



⌘ Séparation de l'IA en plusieurs branches

- ☑ Compréhension du langage
- ☑ Démonstration automatique
- ☑ Jeux
- ☑ Systèmes experts
- ☑ Perception
- ☑ Apprentissage
- ☑ etc...

# IA: la spécialisation



- ⌘ Les années 70-80 voient le début de la controverse pragmatiste/cognitif
- ⌘ Les pragmatistes s'intéressent avant tout au résultat et se moquent de la méthode (la force brute en est un exemple).
- ⌘ Les cognitifs veulent reproduire le raisonnement humain
- ⌘ Cette guerre de religion fera énormément de dégâts.

# IA: « connexionisme » et « apprentissage »



- ⌘ Années 50: McCulloch, Pitts et Hebb posent les premières idées de réseaux de neurones artificiels et les premières règles d'apprentissage
- ⌘ Rosenblatt (1957) introduit le perceptron, premier système artificiel qui apprend même si certains exemples sont erronés

# IA: cognitifs et connexionnistes



- ⌘ L'approche connexionniste est une approche « boîte noire ».
- ⌘ Elle déplait fortement à la communauté « cognitive ».
- ⌘ En 1969, Minsky et Pappert montrent les limites du perceptron, et massacrent la recherche dans ce domaine pour vingt ans.
- ⌘ Les techniques d'apprentissage ne referont surface que vers la fin des années 80.

# IA 80-90: les années cultes

- ⌘ Arrivée des japonais et du projet 5ème génération
- ⌘ L'IA « cognitive » est à la mode
  - ☑ Systèmes experts
  - ☑ Logique floue
  - ☑ Nombreuses équipes de recherche
- ⌘ Les approches liés à l'apprentissage et au connexionisme sont rejetés au second plan

# IA: 1992-2010



## ⌘ 92-: le retour de balancier (« AI winter »)

- ☑ L'IA cognitive s'est discrédité par des déclarations pompeuses et trop optimistes
- ☑ Le projet 5ème génération se termine en 92 dans la confusion
- ☑ Le terme d'IA lui-même commence à disparaître
- ☑ Malheureusement, de nombreuses excellentes équipes d'IA « formelle » sont entraînées dans la « chute », en raison de la malhonnêteté et du sectarisme d'une partie de la communauté cognitive lors des années précédentes

# IA



- ⌘ Paradoxalement, certaines grandes réalisations de l'IA se produisent dans les années 90, mais pas grâce aux techniques d'IA « cognitives »
- ⌘ L'approche basée sur l'apprentissage et les méthodes connexionnistes et évolutionnaires émerge après 25 ans passée dans l'obscurité:
  - ☑ 1982: Hopfield (réseaux récurrents)
  - ☑ 1986: Rumelhart, Werbos, LeCunn (perceptrons multi-couches)

# DeepBlue (1997)

- ⌘ Supercalculateur fabriqué sur mesure par IBM
- ⌘ 200 millions de positions par seconde (force brute)
- ⌘ Premier ordinateur à battre un champion du monde humain avec un contrôle de temps standard sur 6 parties



# Othello

- ⌘ Les programmes sont aujourd'hui beaucoup plus forts que les meilleurs joueurs humains
  - ☑ 1997: Logistello bat Takeshi Murakami 6-0
- ⌘ Les développements nouveaux ont quasiment cessés.



# « Chess in the Stratosphere »

⌘ Les meilleurs programmes actuels:

☑ Stockfish: open source

☑ Komodo: close source

⌘ ELO >? 3300 sur un Q6600 (quad core)  
2.4GHz

⌘ ELO sur un processeur plus récent  
probablement >? 3400

# Awele (Awari, Awale)

⌘ 2002: Awele is solved (Romein-Bal). La partie est nulle en cas de jeu parfait.



# Les checkers

- ⌘ 2007: l'équipe de Schaeffer et Chinook prouvent que le jeu de checkers est nul en cas de jeu parfait.
- ⌘ Les checkers sont résolus



# Le bridge

- ⌘ Il est difficile d'évaluer le niveau d'un programme de façon objective.
- ⌘ Le meilleur programme actuel (GIB/Matthew Ginsberg) est moins fort que les meilleurs humains, mais est meilleur que la majorité des joueurs de club
- ⌘ Il utilise des méthodes de force brute (Double Dummy Solver et Monte-Carlo)



# IA: 2010-



- ⌘ Le balancier repart (à nouveau) dans l'autre sens...
- ⌘ 2010: fondation de la société DeepMind, championne de l'approche connexionniste et de l'apprentissage

# Go



- ⌘ Longtemps considéré comme inaccessible aux ordinateurs
- ⌘ Facteur de branchement trop important
- ⌘ Notion d'influence difficile à traduire informatiquement
- ⌘ 03/2013: CrazyStone (Remi Coulom) bat Yoshio Ishida (9d) avec 4 de handicap
- ⌘ 09/2015: AlphaGo (DeepMind) bat FanHui
- ⌘ 03/2016: AlphaGo bat Lee Sedol (2<sup>ème</sup> mondial) 4-1
- ⌘ Durant la fin de l'année 2016, AlphaGo « updated » joue en ligne contre les meilleurs joueurs mondiaux et gagne 60-0
- ⌘ "After humanity spent thousands of years improving our tactics, computers tell us that humans are completely wrong... I would go as far as to say not a single human has touched the edge of the truth of Go."  
(Ke Jie)

# IA 2010-



- ⌘ Les approches basées sur l'apprentissage et le data mining (fouille de données) se généralisent. C'est la revanche absolue de l'approche « boîte noire ».
- ⌘ Succès dans bien d'autres domaines que le Go...
  - ☑ Traduction (nouvelle version en 2016 du système google de traduction)
  - ☑ Evolution des moteurs de recherche
  - ☑ .....

# IA 2015:

## la fin de l'humanité arrive...



- ⌘ Stephen Hawking: "Artificial intelligence could spell the end of the human race."
- ⌘ Elon Musk: "I think we should be very careful about artificial intelligence. If I were to guess like what our biggest existential threat is, it's probably that."
- ⌘ Bill Gates: « First the machines will do a lot of jobs for us and not be super intelligent. That should be positive if we manage it well. A few decades after that though the intelligence is strong enough to be a concern."

# The hype



- ⌘ H. L. Mencken: « The whole aim of practical politics is to keep the populace alarmed (and hence clamorous to be led to safety) by menacing it with an endless series of hobgoblins, all of them imaginary. »
- ⌘ Traduction IA très personnelle: “La base de toute activité nécessitant des fonds publics est de faire peur (ou parfois envie) pour obtenir des financements.”

# **Mon opinion personnelle (si elle intéresse quelqu'un...)**

- ⌘ Par pitié ne retombons pas dans les erreurs du passé et arrêtons de dire n'importe quoi.
- ⌘ Jouer au Go, ce n'est pas être maître du monde
- ⌘ L'intelligence artificielle est aussi loin aujourd'hui qu'il y a 30 ans.
- ⌘ Le problème à résoudre est un problème de « hardware »: le cerveau humain, avec son incroyable complexité physiologique, ne peut pas se simuler sur les architectures limitées des calculateurs actuels.