

Algorithmes d'apprentissage

le cas d'école du jeu de Go

Denis Kuperberg

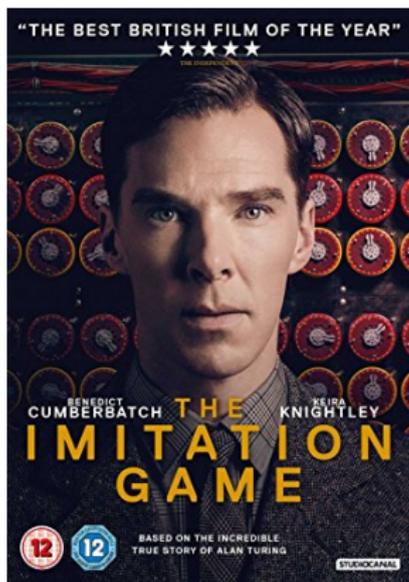
Chargé de Recherche en informatique théorique

CNRS, LIP, ENS Lyon





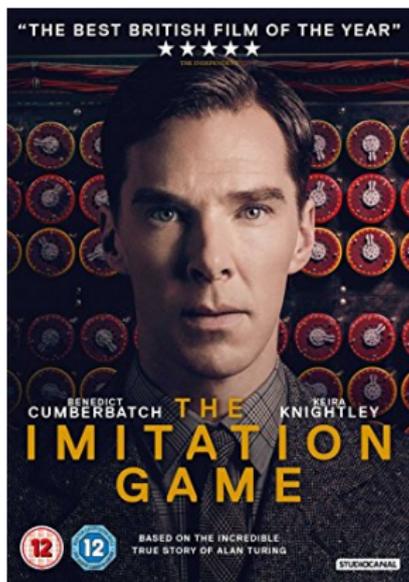
Alan Turing



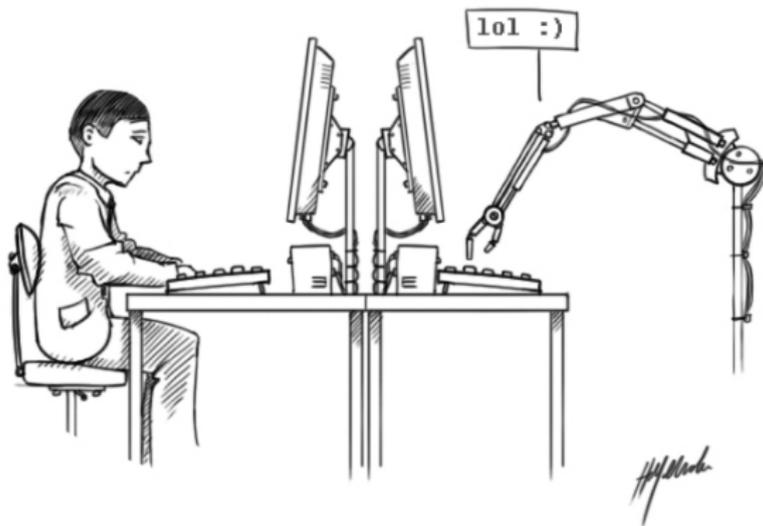


Alan Turing

- ▶ 1936: Machines de Turing (ordinateur)
- ▶ 1939-1945: Décryptage d'Enigma
- ▶ 1948-1952: Programme d'échecs
- ▶ 1950: Intelligence artificielle



Le test de Turing



La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)

La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)
- ▶ Impossible d'écrire le "programme du cerveau" directement

La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)
- ▶ Impossible d'écrire le "programme du cerveau" directement
- ▶ Enfance: longue phase d'apprentissage

La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)
- ▶ Impossible d'écrire le "programme du cerveau" directement
- ▶ Enfance: longue phase d'apprentissage

Conclusions de Turing pour l'IA:

- ▶ Construire une "machine-enfant"

La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)
- ▶ Impossible d'écrire le "programme du cerveau" directement
- ▶ Enfance: longue phase d'apprentissage

Conclusions de Turing pour l'IA:

- ▶ Construire une "machine-enfant"
- ▶ Longue phase d'apprentissage

La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)
- ▶ Impossible d'écrire le "programme du cerveau" directement
- ▶ Enfance: longue phase d'apprentissage

Conclusions de Turing pour l'IA:

- ▶ Construire une "machine-enfant"
- ▶ Longue phase d'apprentissage
- ▶ Seul espoir d'atteindre une IA performante

La naissance du Machine Learning

Constats de Turing:

- ▶ Cerveau humain compliqué (son estimation: ≈ 1000 Go)
- ▶ Impossible d'écrire le "programme du cerveau" directement
- ▶ Enfance: longue phase d'apprentissage

Conclusions de Turing pour l'IA:

- ▶ Construire une "machine-enfant"
- ▶ Longue phase d'apprentissage
- ▶ Seul espoir d'atteindre une IA performante

A. M. Turing (1950) *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind* 49: 433-460.

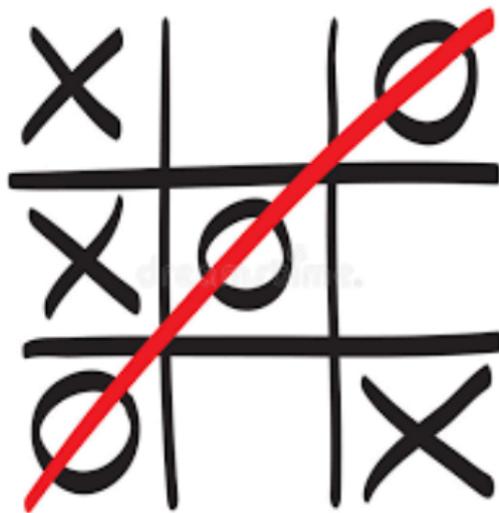
COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

By A. M. Turing

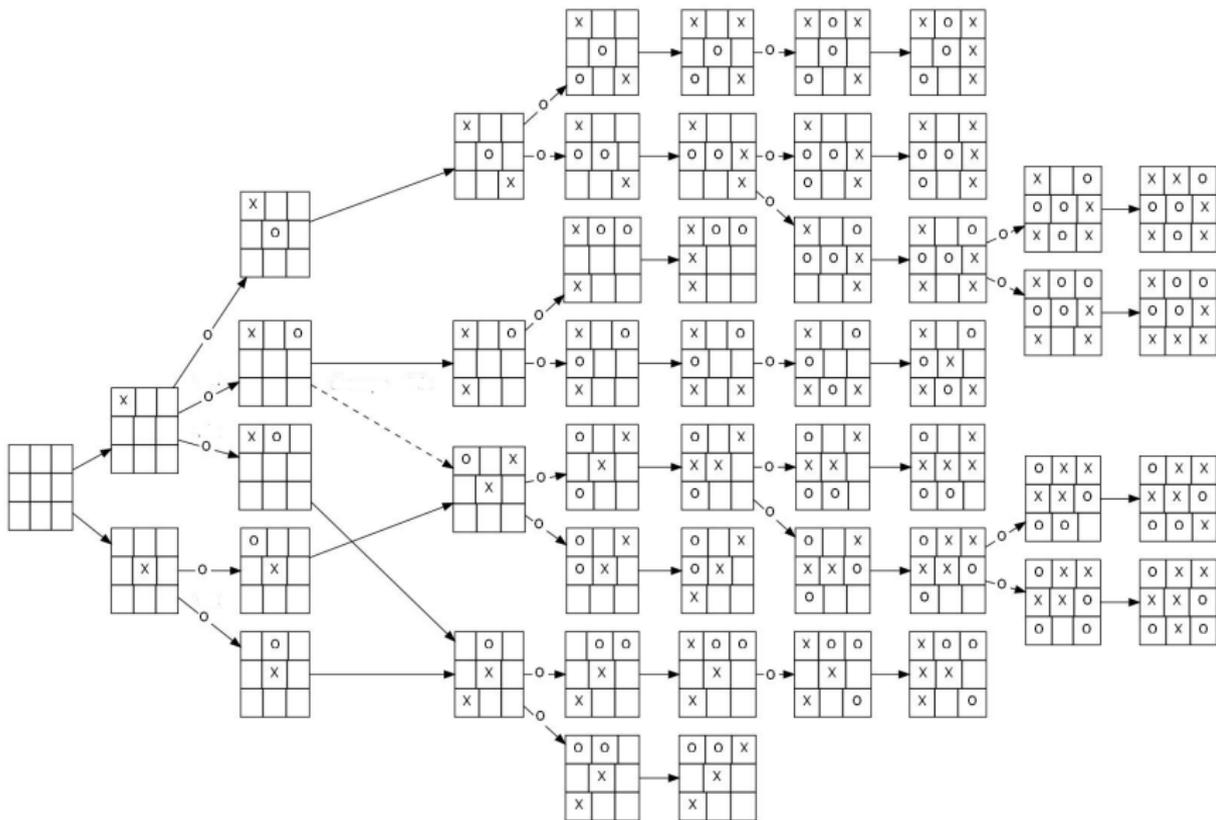
1. The Imitation Game

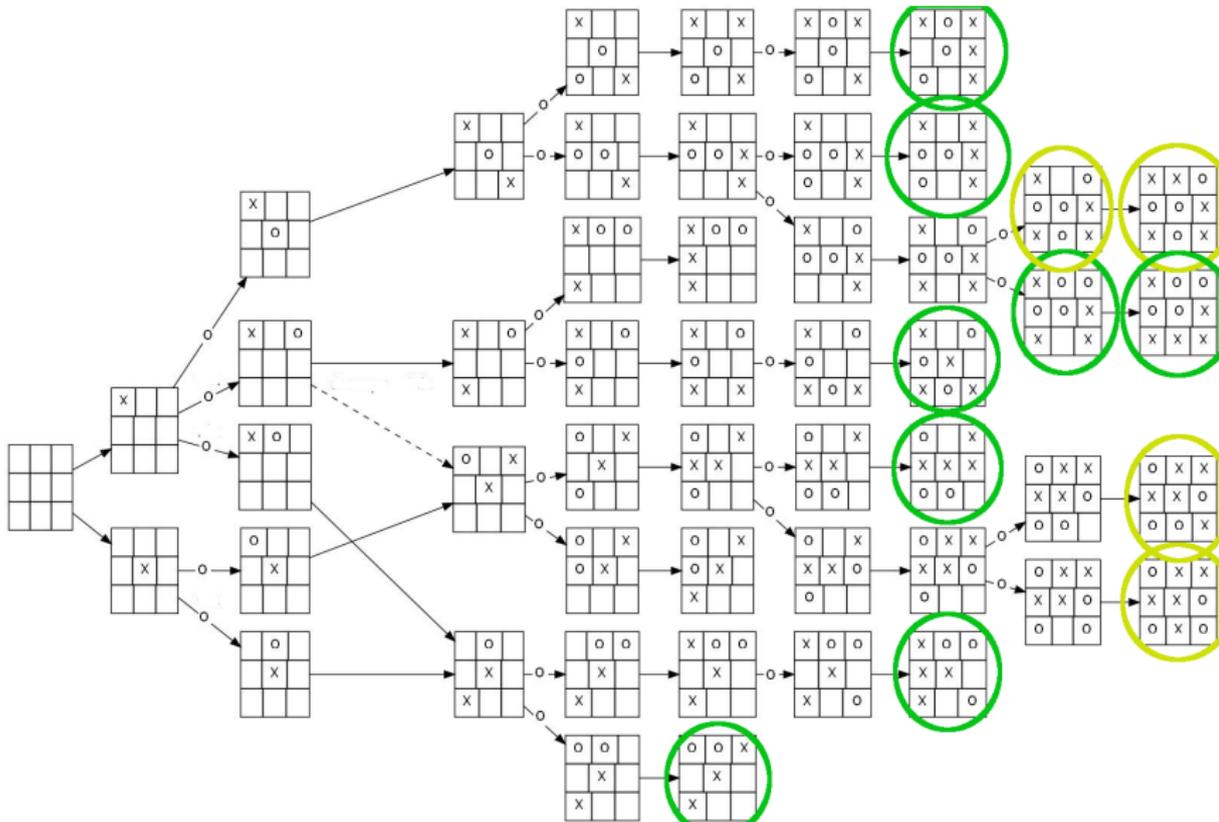
I propose to consider the question, "Can machines think?" This should begin with

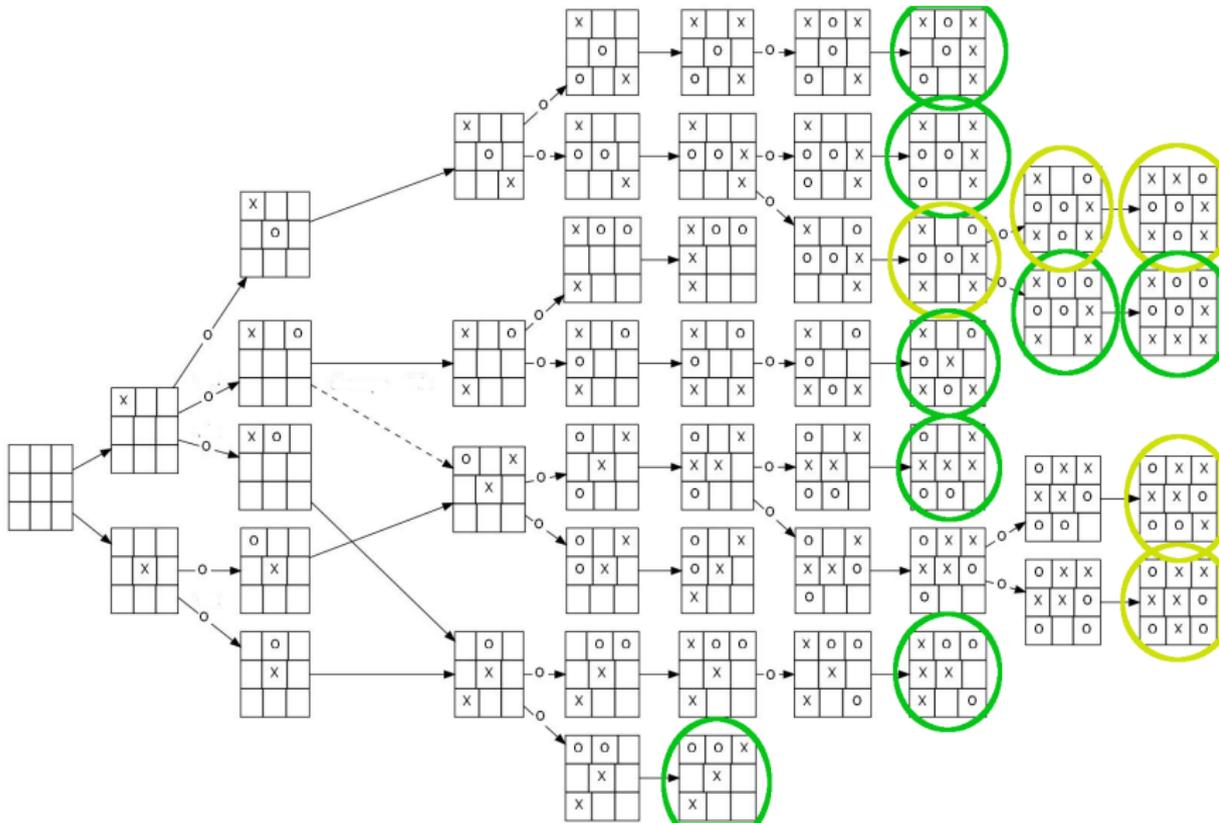
Pour commencer simple...

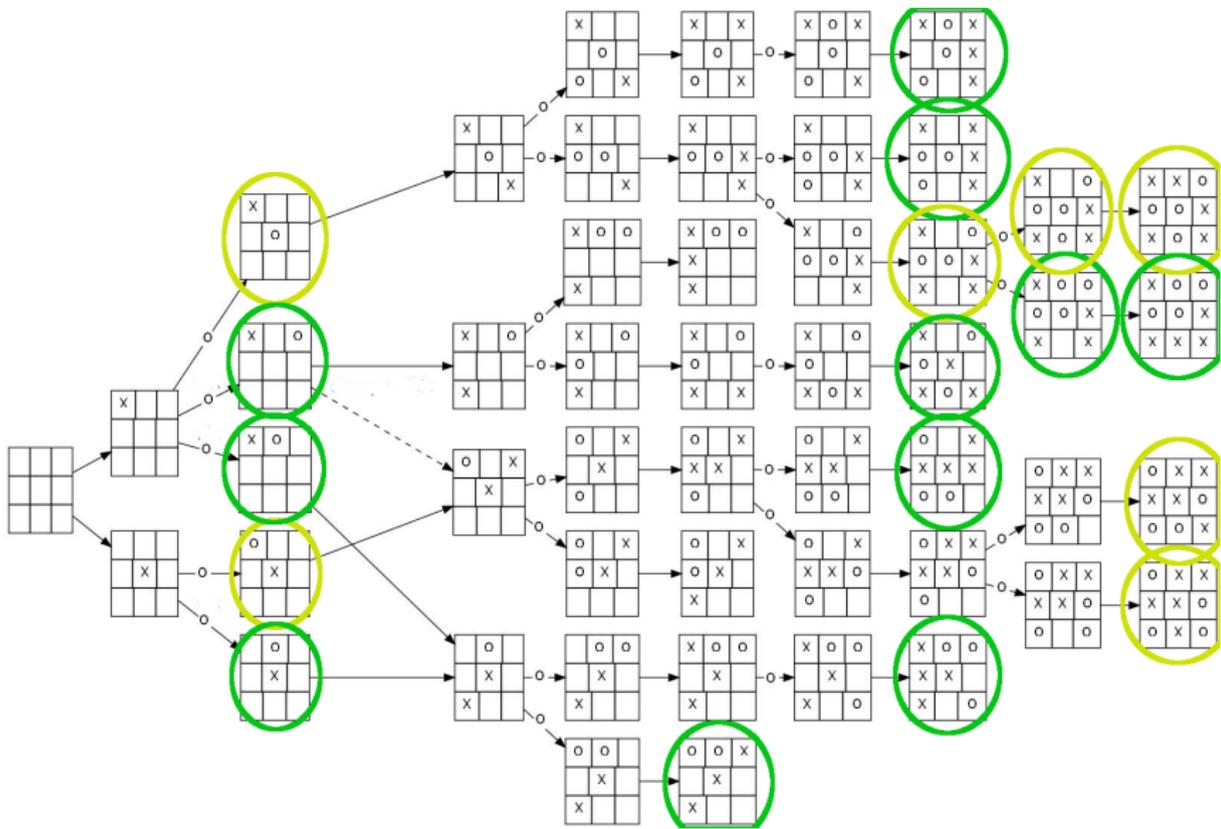


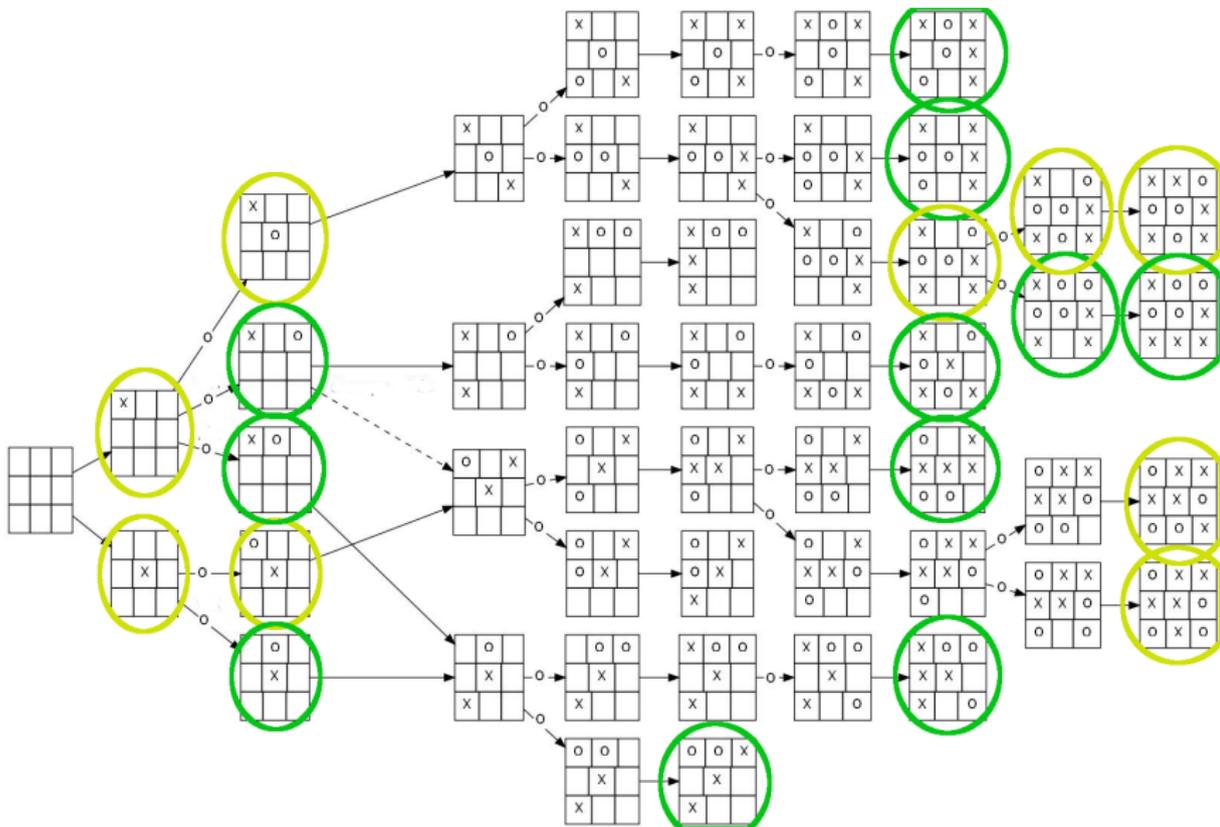
- ▶ Arbre de jeu
- ▶ Stratégie



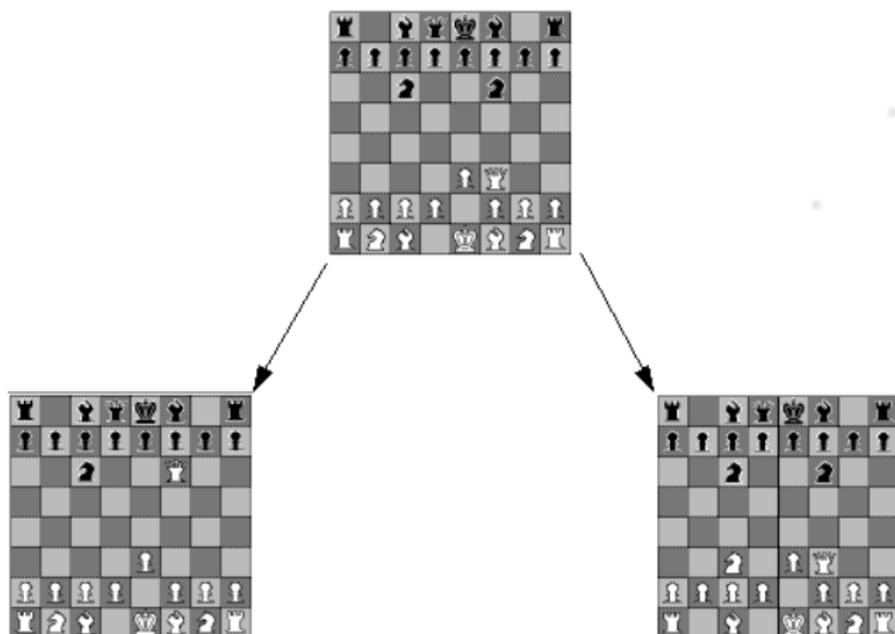




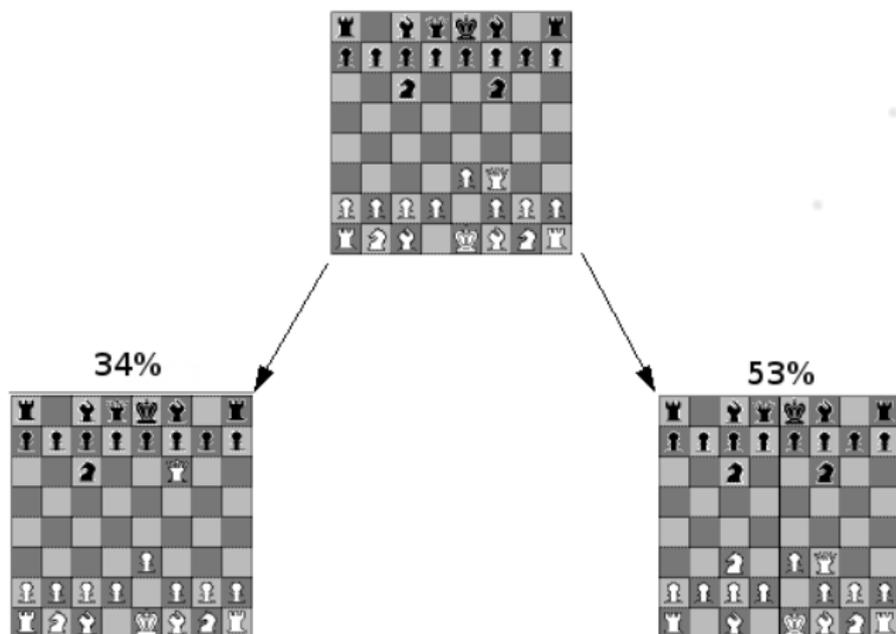




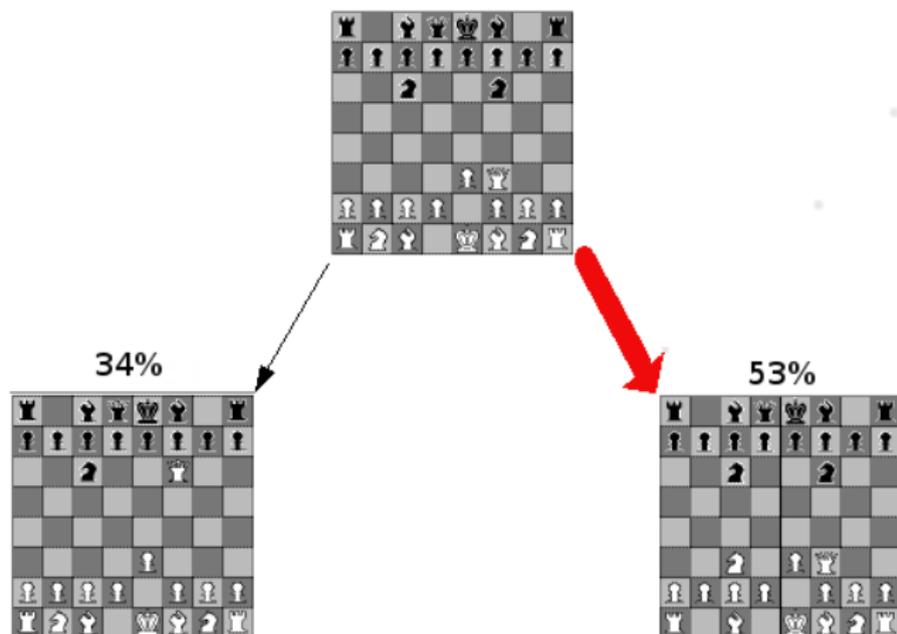
La force brute aux échecs



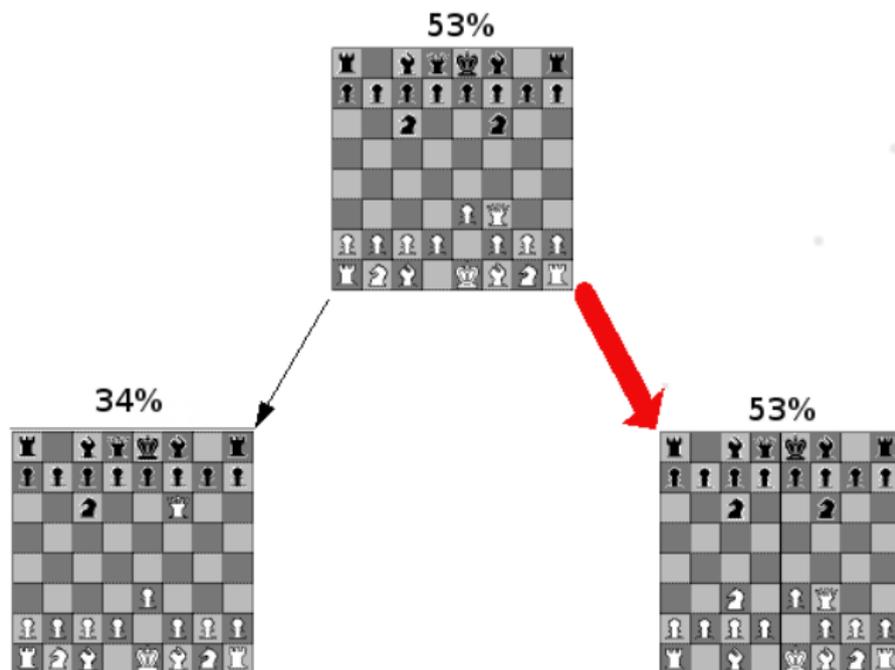
La force brute aux échecs



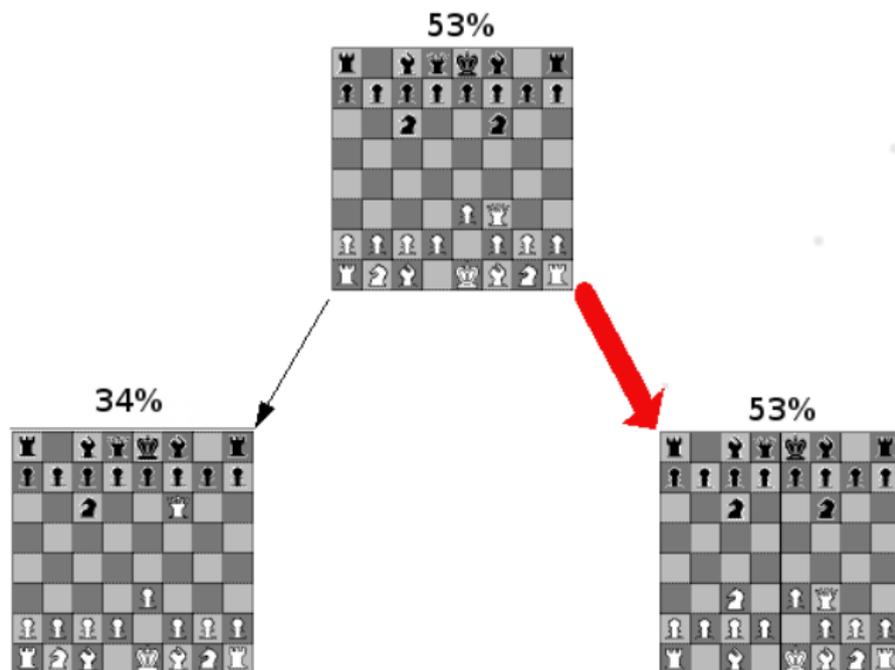
La force brute aux échecs



La force brute aux échecs



La force brute aux échecs



Minimax: Evaluation → Max → Min → ... → Max

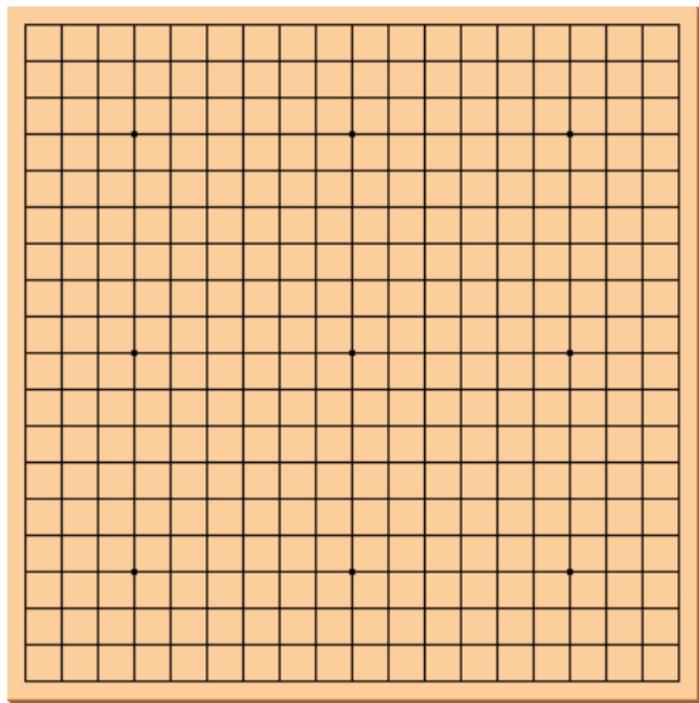
Victoire historique pour l'IA

→ 1997: Victoire de **Deep Blue** (IBM) contre Kasparov.

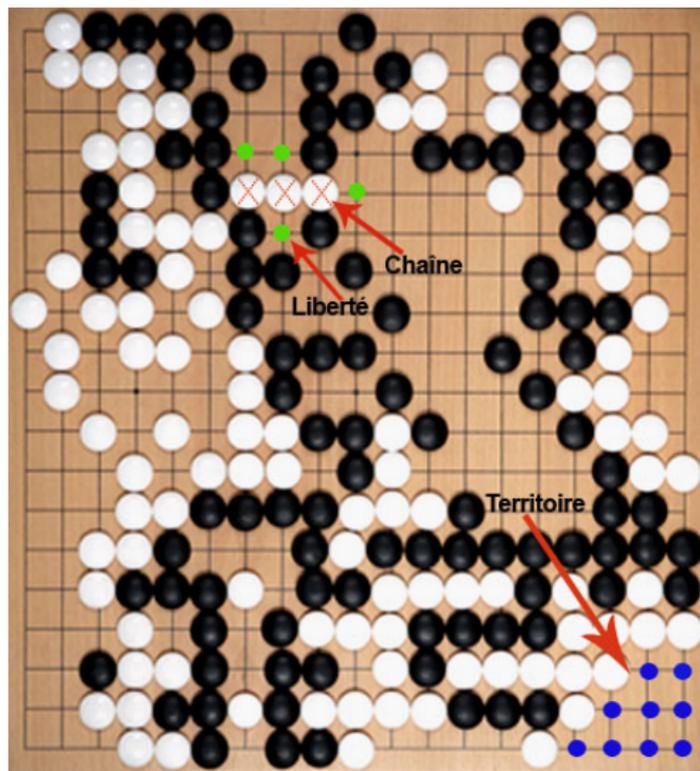


- ▶ Expertise de joueurs d'échecs
- ▶ Profondeur de Minimax: 6 à 20 coups.
- ▶ 200 millions positions/seconde

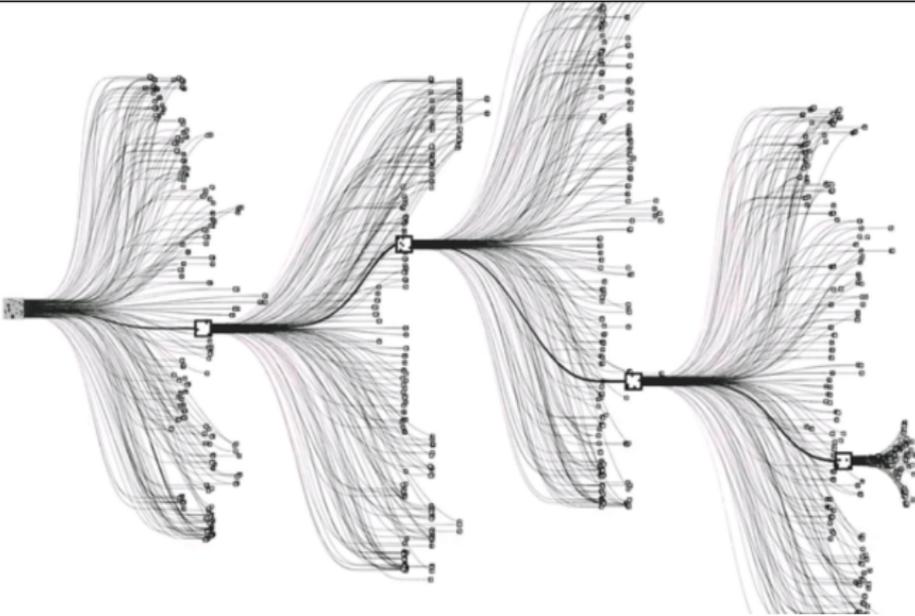
Le Go, ultime bastion des humains



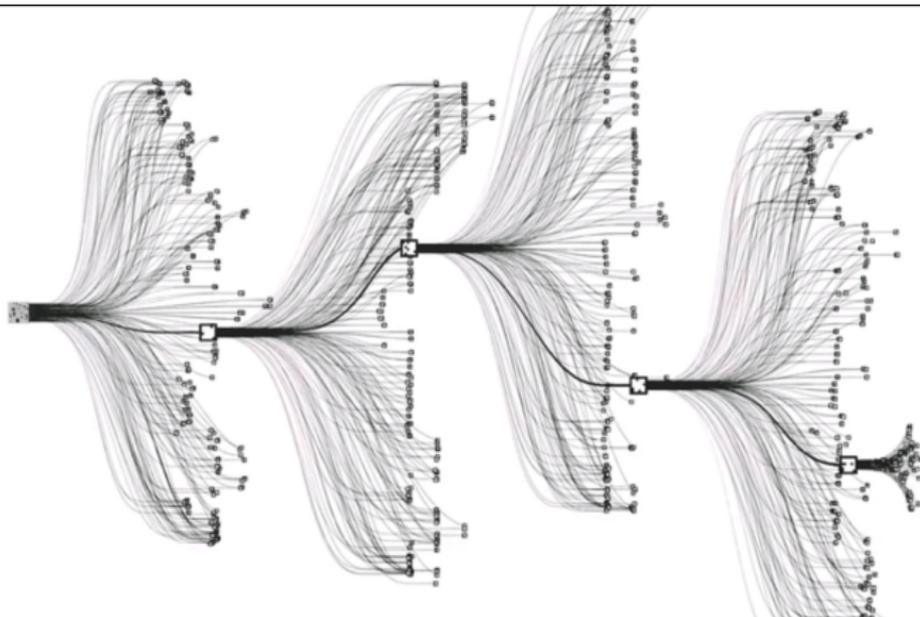
Le Go, ultime bastion des humains



Arbre du go



Arbre du go



Configurations (2016):

2081681993819799846994786333448627702865224538845305484256
3945682092741961273801537852564845169851964390725991601562
8128546089888314427129715319317557736620397247064840935

Comment évaluer une position ?

Comment évaluer une position ?

Algorithme de Monte-Carlo: la puissance du hasard

Comment évaluer une position ?

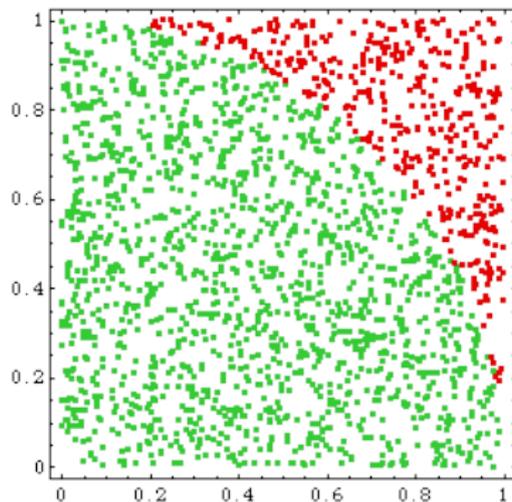
Algorithme de Monte-Carlo: la puissance du hasard

Exemple pour calculer π

Comment évaluer une position ?

Algorithme de Monte-Carlo: la puissance du hasard

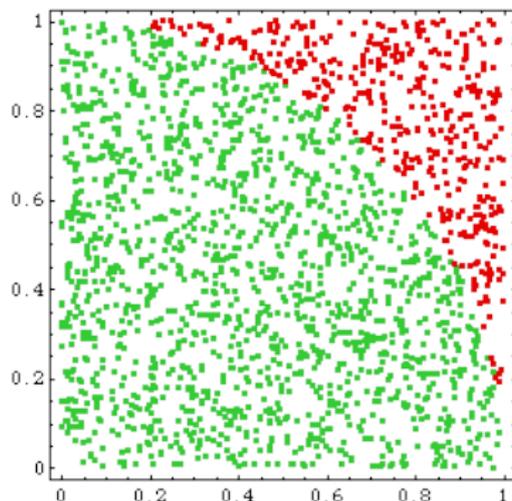
Exemple pour calculer π



Comment évaluer une position ?

Algorithme de Monte-Carlo: la puissance du hasard

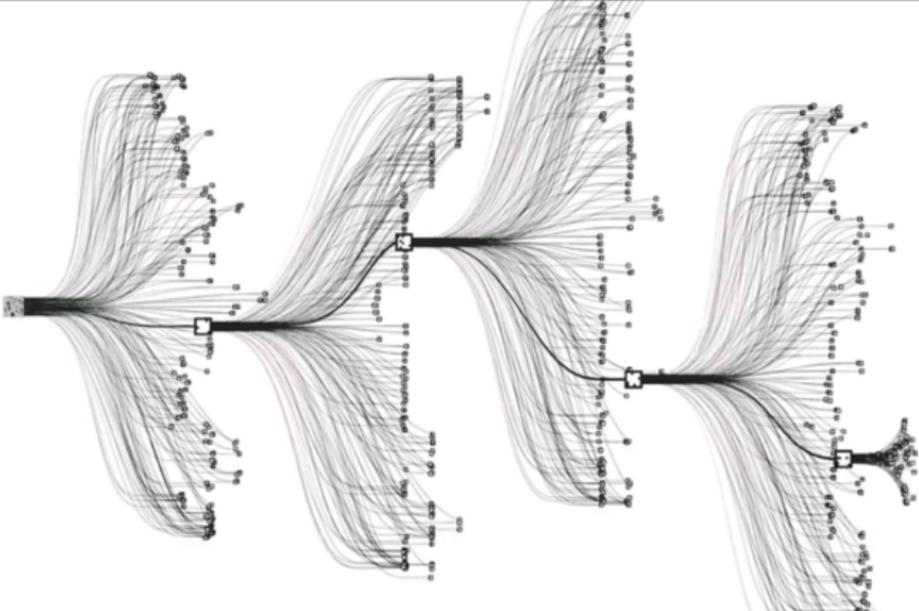
Exemple pour calculer π



Aire du quart de disque: $\pi/4$
Aire du carré: 1

} Proportion de points verts $\approx \pi/4$

Monte-Carlo pour le Go

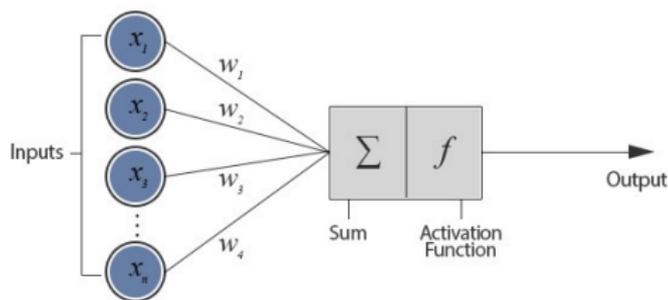


Nouvelle génération d'algorithmes

Réseau de neurones: unités de calcul organisées en *couches*

Chaque "neurone"

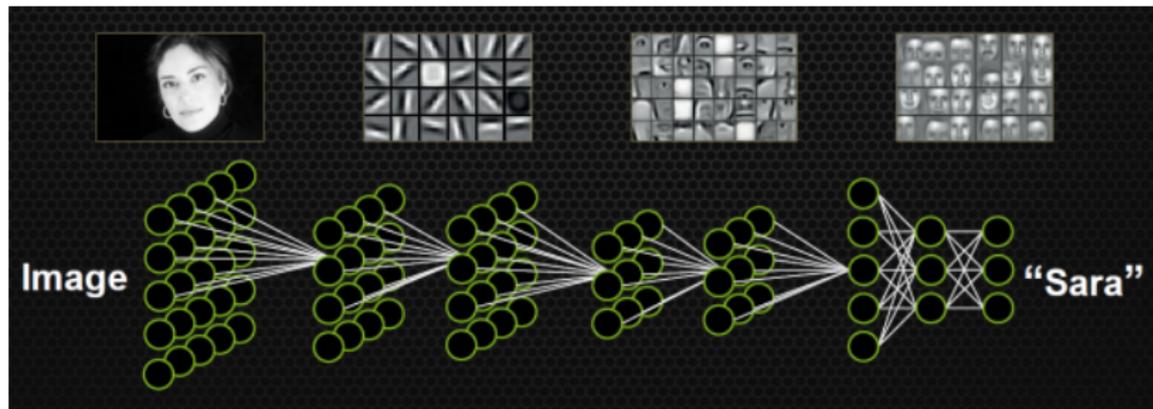
1. reçoit des infos de la couche précédente
2. fait un calcul simple
3. envoie le résultat à la couche suivante



Des neurones autonomes

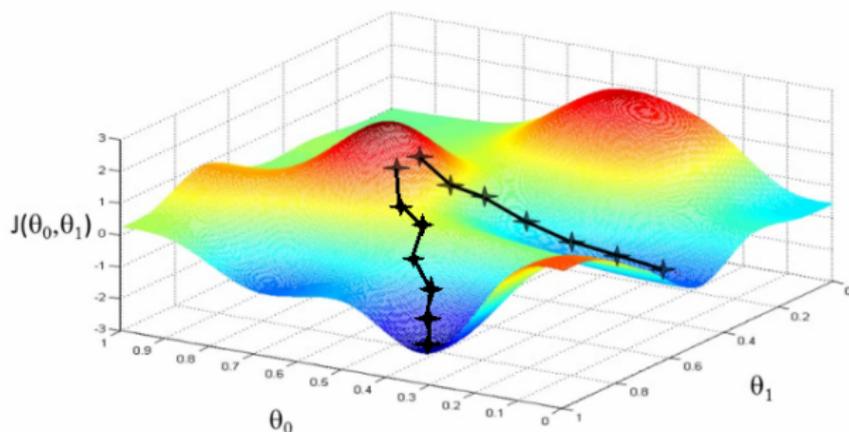
Premiers succès: reconnaissance d'images

Réseau profond: nombreuses couches, identifie lui-même les concepts pertinents.



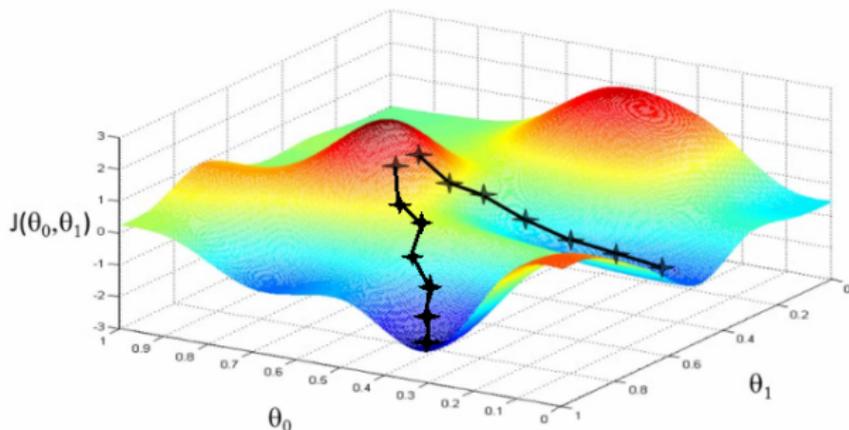
La descente de gradient

Retour aux “machines-enfants” de Turing:



La descente de gradient

Retour aux “machines-enfants” de Turing:



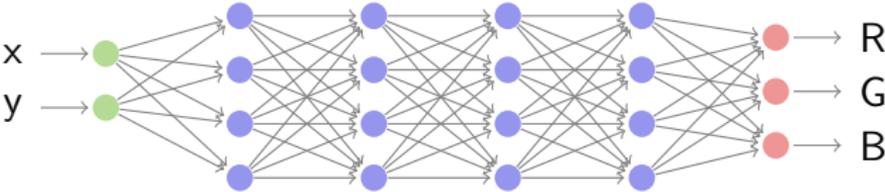
Guidage:

- ▶ Par l'exemple
- ▶ Par renforcement

Exemple graphique: un petit réseau fait maison

But: prédire la couleur d'un pixel en fonction de sa position,

Apprentissage: regarder des pixels au hasard un par un.



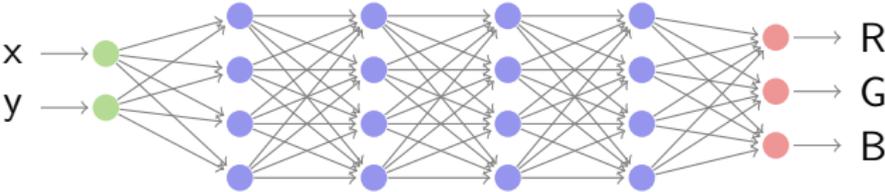
100 000 exemples

1 000 000 exemples

Exemple graphique: un petit réseau fait maison

But: prédire la couleur d'un pixel en fonction de sa position,

Apprentissage: regarder des pixels au hasard un par un.



100 000 exemples

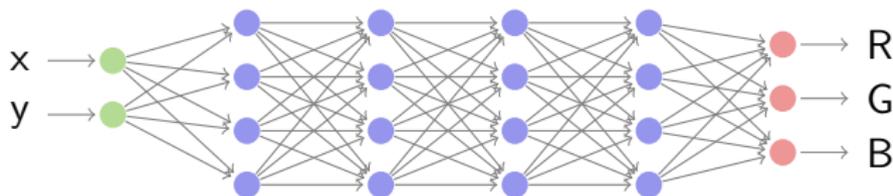


1 000 000 exemples

Exemple graphique: un petit réseau fait maison

But: prédire la couleur d'un pixel en fonction de sa position,

Apprentissage: regarder des pixels au hasard un par un.



100 000 exemples

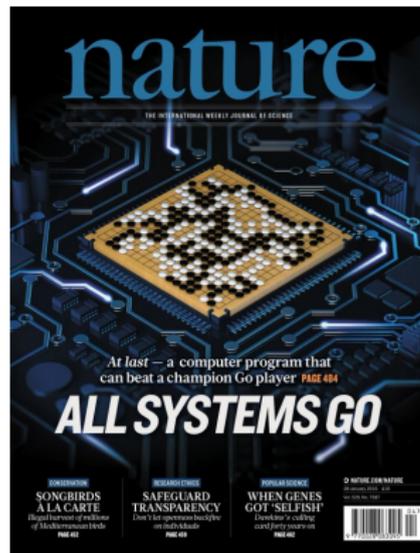


1 000 000 exemples



Premier succès d'AlphaGo de Google Deepmind

Octobre 2015: AlphaGo bat Fan Hui, champion d'Europe, 5 à 0



Premier succès d'AlphaGo de Google Deepmind

Octobre 2015: AlphaGo bat Fan Hui, champion d'Europe, 5 à 0



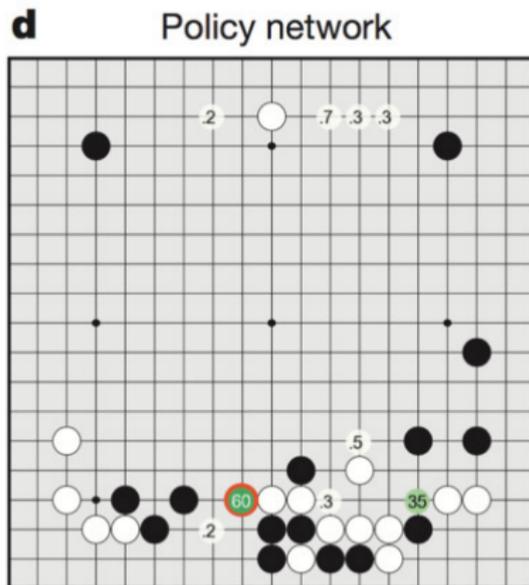
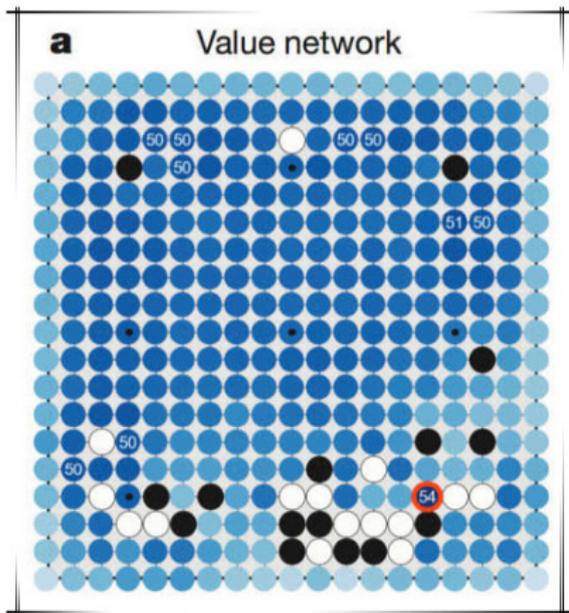
Mars 2016: Défi de Google DeepMind à Lee Sedol,
18 fois champion du monde.

Le Tsunami

Victoire d'AlphaGo contre Lee Sedol 4-1.



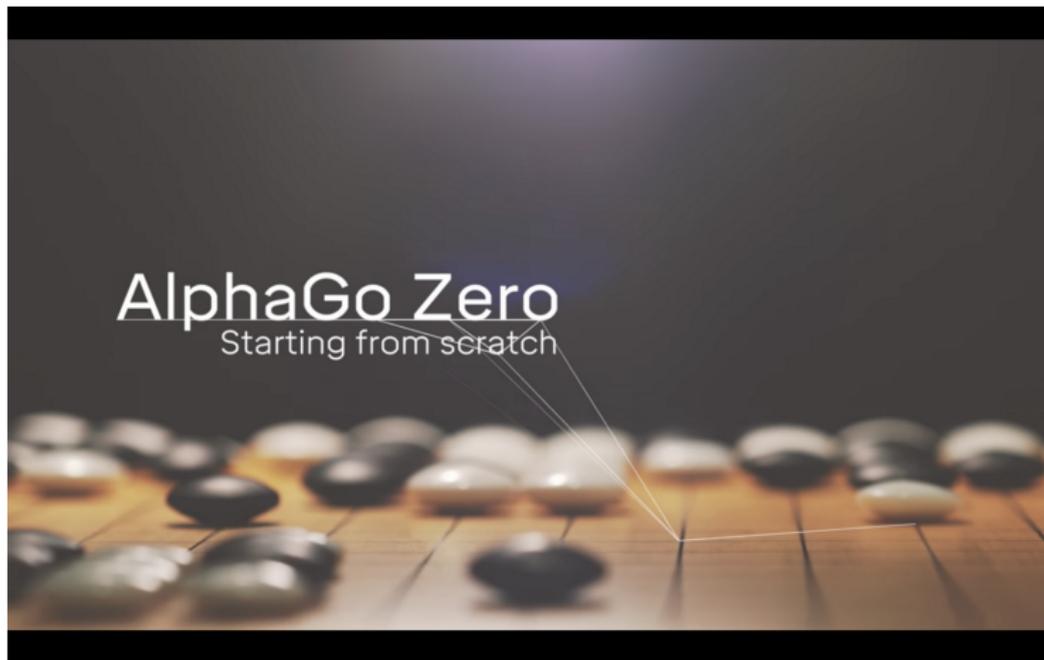
Réseau de neurones pour le Go



Source: Nature

Guidage: Parties humaines, concepts basiques de Go, renforcement.

Le choc AlphaGo Zero



Guidage: Parties humaines, concepts basiques de Go, renforcement 3 jours.

AlphaZero: Un algorithme général ?



AlphaZero: Un algorithme général ?



Renforcement **4 heures**



Derniers développements

Alphastar: StarCraft II (Jan 2019)



Information incomplète

Temps réel

Planification à long terme

Derniers développements

AlphaStar: StarCraft II (Jan 2019)



Information incomplète

Temps réel

Planification à long terme

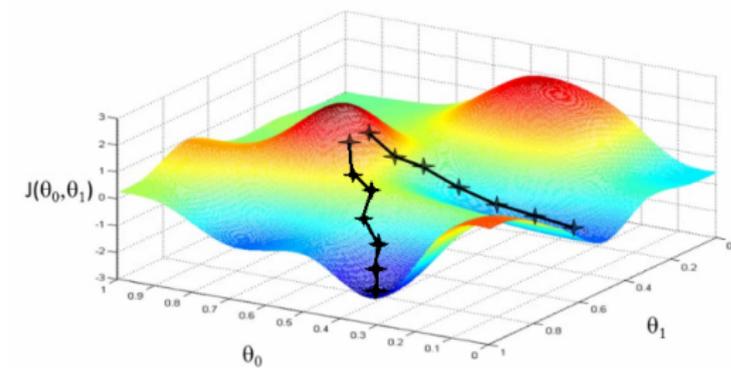
AlphaFold: pliage de protéines (Dec 2018)



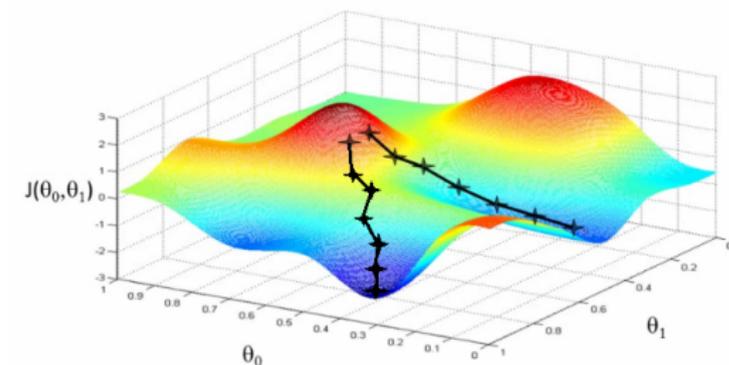
Développement de médicaments

Recherche: Alzheimer, Parkinson, Huntington...

Conclusion

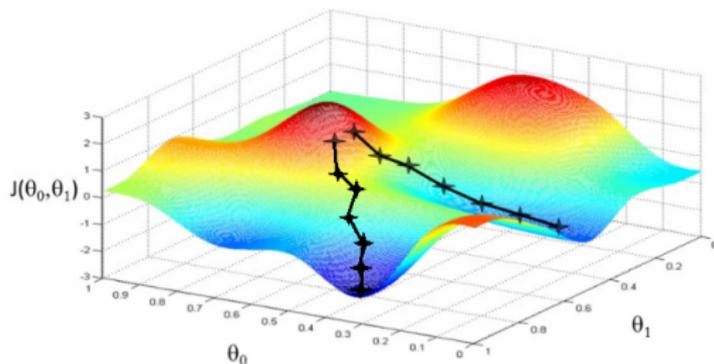


Conclusion



Quelles applications ? Quels défis ?

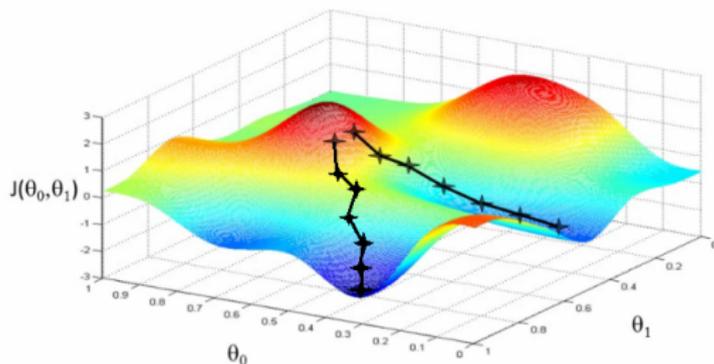
Conclusion



Quelles applications ? Quels défis ?

- ▶ Commerce, traduction, diagnostic médical

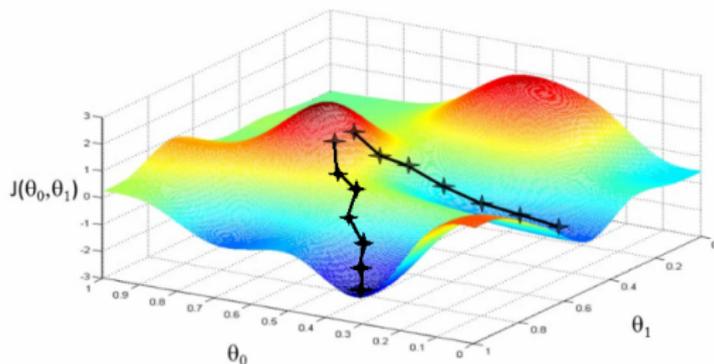
Conclusion



Quelles **applications** ? Quels **défis** ?

- ▶ Commerce, traduction, diagnostic médical
- ▶ Recherche scientifique

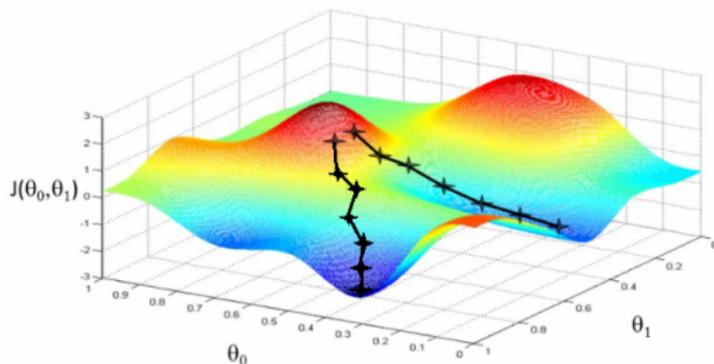
Conclusion



Quelles **applications** ? Quels **défis** ?

- ▶ Commerce, traduction, diagnostic médical
- ▶ Recherche scientifique
- ▶ *Publicité, armement*

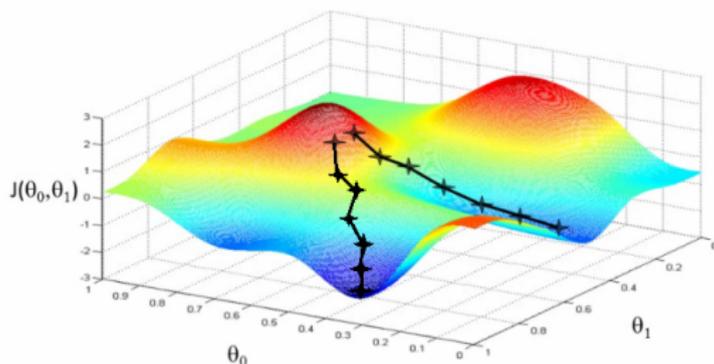
Conclusion



Quelles **applications** ? Quels **défis** ?

- ▶ Commerce, traduction, diagnostic médical
- ▶ Recherche scientifique
- ▶ *Publicité, armement*
- ▶ ...

Conclusion



Quelles **applications** ? Quels **défis** ?

- ▶ Commerce, traduction, diagnostic médical
- ▶ Recherche scientifique
- ▶ *Publicité, armement*
- ▶ ...
- ▶ Meilleure compréhension de l'humain ?

Et surtout: outil **puissant**, à **bien utiliser** !