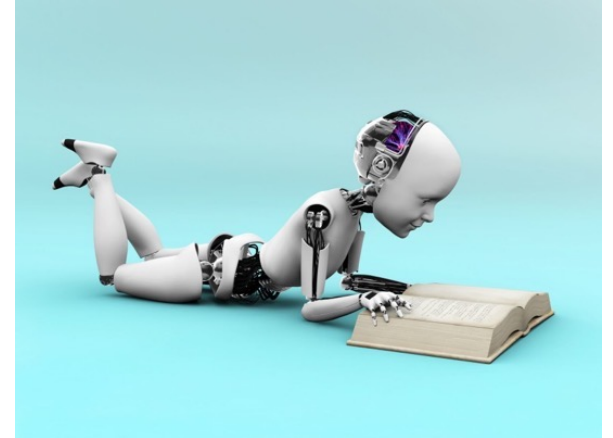


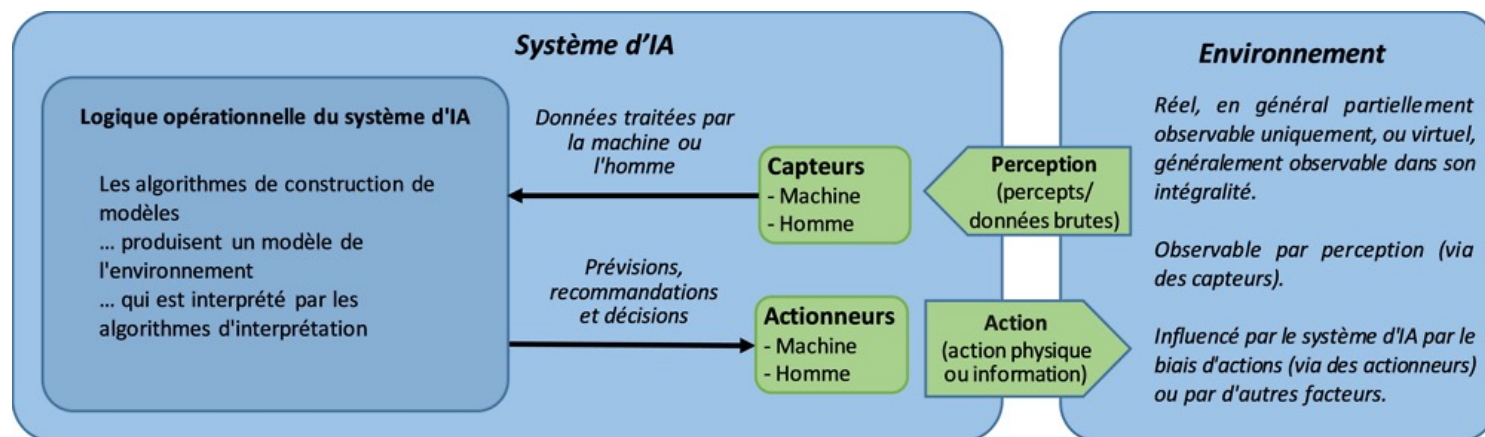
# Comprendre l'Intelligence Artificielle

Comment les machines apprennent-elles ?



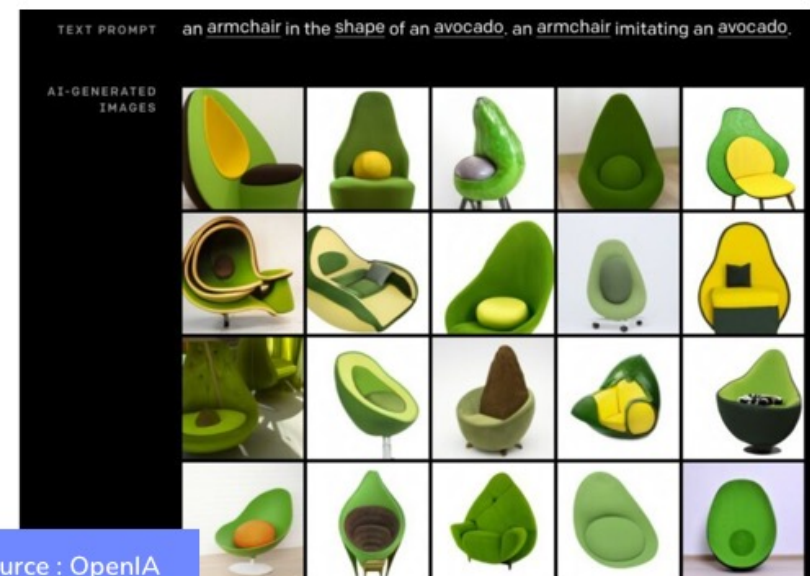
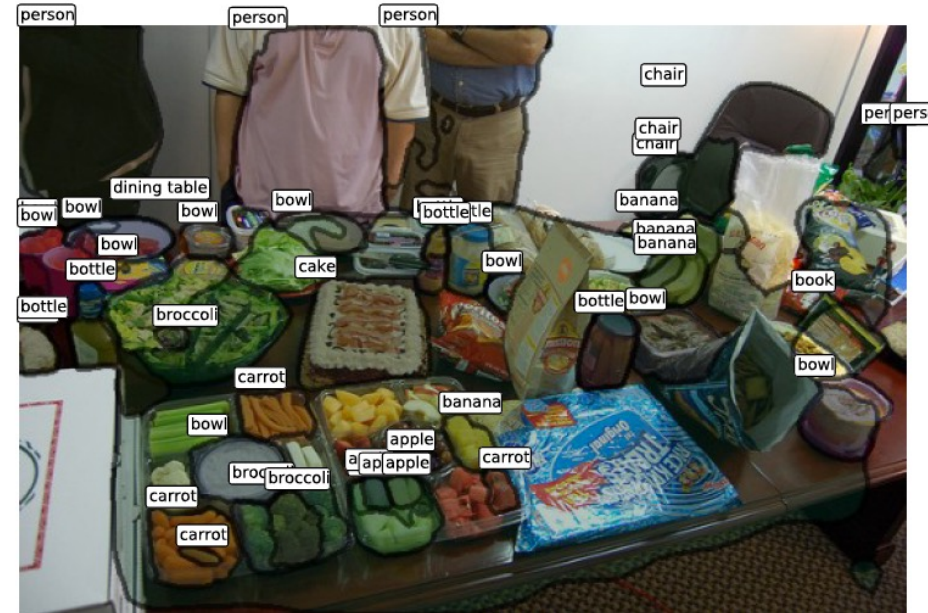
# IA : mythe ou réalité ?

- Péché originel : en 1956, lors de la conférence de Dartmouth, John McCarthy a convaincu ses collègues d'employer l'expression « intelligence artificielle » pour décrire une discipline qui n'avait rien à voir avec l'intelligence.
- On ferait mieux de dire : « système calculatoire pour traiter des données et produire des classifications »



# La réalité de l'IA aujourd'hui...

- Navigation sur un réseau social (votre fil d'actualité est unique)
- Recommandation d'œuvres, de produits
- Photo auto-calibrée
- Identification des visages
- Recommandation de postes et recrutements
- Trafic en temps réel
- Agents conversationnels (« chat bots »)
- Véhicules autonomes
- Aide au diagnostic médical
- Aide à la performance sportive
- Création d'œuvres
- ... l'entreprise et la santé du futur



# Un peu d'histoire...

- Projet de l'IA : doter les machines de capacités d'exploitation de données et de connaissances toujours plus sophistiquées, au cœur aujourd'hui des **sciences** du numérique
- Ce projet n'est pas né ex-nihilo en 1956 : c'est un long processus de réflexion scientifique dans l'histoire de l'humanité
- Quelques grandes périodes :
  - De l'Antiquité au XVIe siècle
  - Transition vers la modernité au XVIIe et XVIIIe siècles
  - Mathématisation de la logique au XIXe siècle
  - Naissance de l'informatique dans la première moitié du XXe siècle
  - L'IA aujourd'hui, dopée par le déluge des données et la puissance de calcul

# Les premiers pas... quelques noms

- **Aristote** (-350 av JC) , un père de la logique

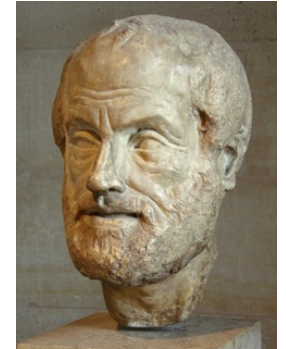
(ex. conditions de validité de syllogismes : {M est **P**} or {**S** est M} donc {S est P})

- Logique et théologie s'entremêlent au moyen âge. **Thomas d'Aquin** (1250) formule une « théorie de la connaissance »

Comment l'âme connaît les réalités qui lui sont inférieures (la réalité sensible et perceptible) ? Comment l'âme se connaît elle-même (introspection) ? Comment elle connaît les réalités qui lui sont supérieures (Dieu et les anges) ?

- Mécanisation du raisonnement :

Machine de Ramon **Llull** (1300)



# Vers de nouvelles lumières... quelques noms

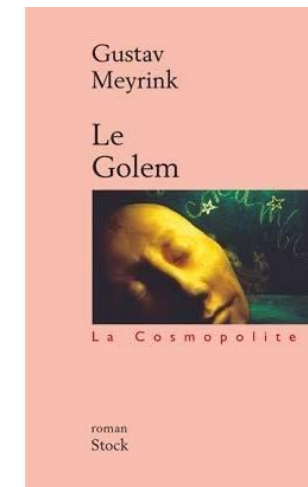
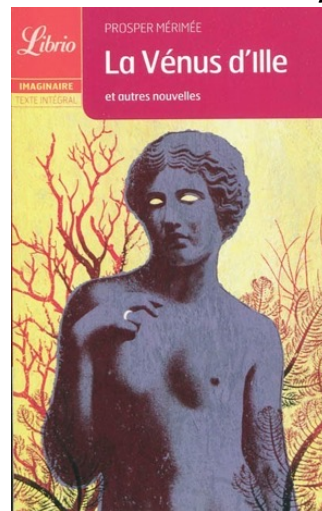
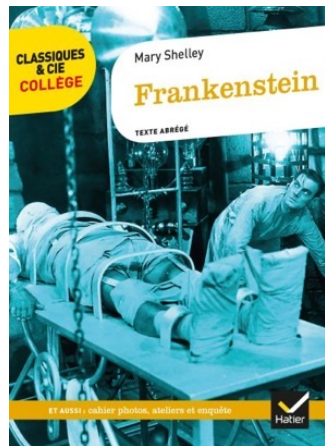
- **Francis Bacon** (1561-1626), méthode inductive
- **Thomas Hobbes** (1588-1679), manipulation de termes symboliques et calcul mathématique
- **Blaise Pascal** (1623-1662), calcul des probabilités, machine arithmétique (« Pascaline »)
- **Jacques Vaucanson** (1709-1782), vision mécaniste de l'homme
- **Charles Babbage** (1791-1891), « Analytical Engine »  
& **Ada Lovelace** (1815-1852), première « codeuse »



# Le XIXe... l'avènement de la logique

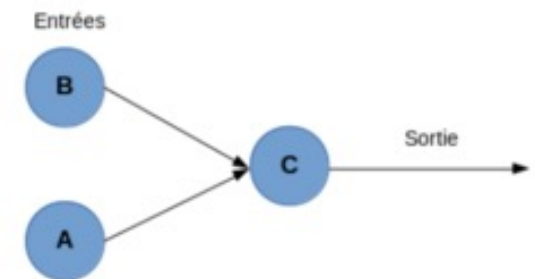
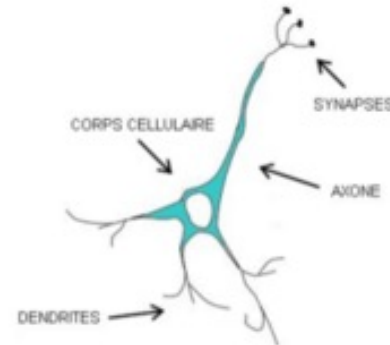
- **George Boole (1815-1864) & Augustus De Morgan (1806-1871)** algèbre binaire
- Mais aussi l'éclosion de la littérature fantastique :  
« Frankenstein, la Vénus d'Ille, le joueur d'échec, Golem... »

*Algèbre de Boole*  
 $a + \bar{a}.b = ?$



# 1ère moitié XXe... logique vers cybernétique

- **Alan Turing (1912-1954) & Alonzo Church (1903-1995)**  
Théorie de la calculabilité
- **Jan Lukasiewicz (1878-1956) & Emil L. Post (1897-1954) & Stephen Cole Kleene (1909-1994)**  
Des logiques non classiques
- **Norbert Wiener (1899-1969)**  
Théorie de la commande
- **Warren McCulloch (1898-1969)**  
Neurones formels





# Les débuts de l'IA moderne

- **John McCarthy (1927-2011) & Marvin Minsky (1927-2016)**

Domaine de l'Intelligence Artificielle

- **Des programmes :**

- Démonstrateurs de théorèmes
- « Pattern matching »
- Dialogue (ELIZA, 1966)
- Jeux (DEEPBLUE bat Kasparov en 1997), de GO (AlphaGO 2016)
- Des « chat bots » réussissent le « test de Turing »

- **Des langages de programmation :**

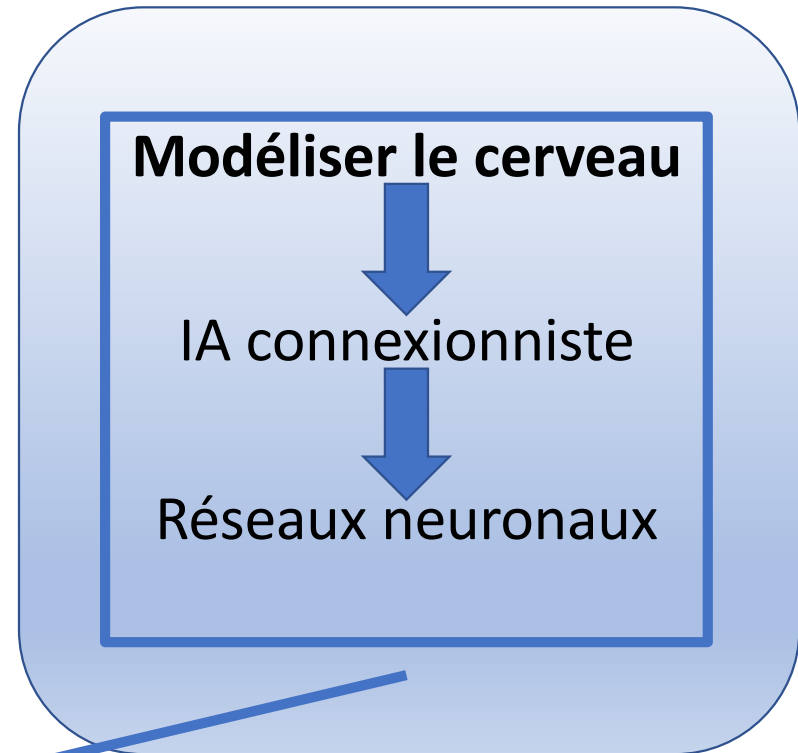
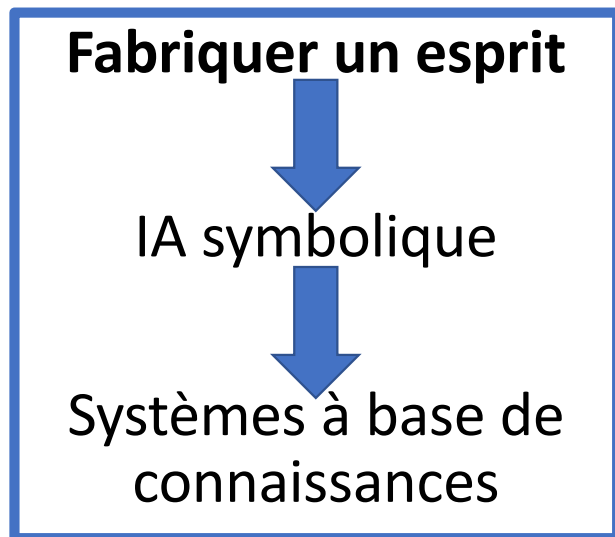
- LISP
- PROLOG



# Ce qu'il faut retenir...

- L'IA est une discipline scientifique jeune, qui comme d'autres sciences du traitement de l'information, est née au milieu du XXe siècle avec l'arrivée des ordinateurs
- Mais elle poursuit des préoccupations anciennes (compréhension des processus de raisonnement, conception de machines « intelligentes »)
- L'IA voit aujourd'hui un développement extraordinaire lié pour beaucoup à la disponibilité de grandes quantités de données et à la mobilisation d'énormes capacités de calcul
- Un point central : l'apprentissage machine (« machine learning »)

# Deux approches de l'IA

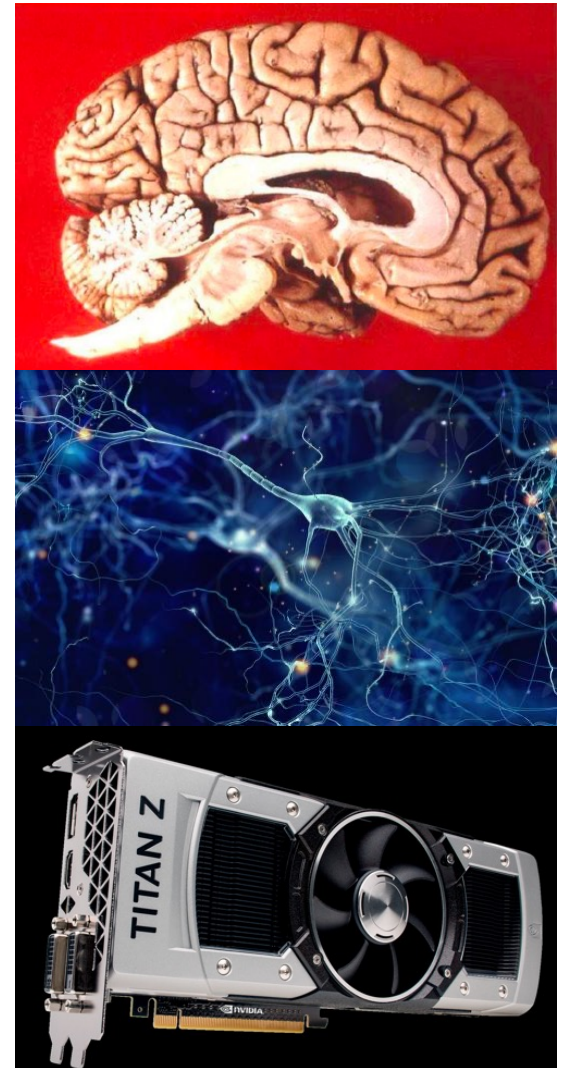


Convergence vers des modèles statistiques hybrides ?

# Bio-inspiration : le cerveau

- 85 milliards de neurones
- 10 mille synapses par neurone
- 250 millions de neurones par mm<sup>3</sup>
- 1 million de milliards d'opérations / s
- Un facteur d'un million par rapport aux ordinateurs actuels les plus puissants (30 ans de loi de Moore ?)

*Le fantasme d'une intelligence désincarnée...*

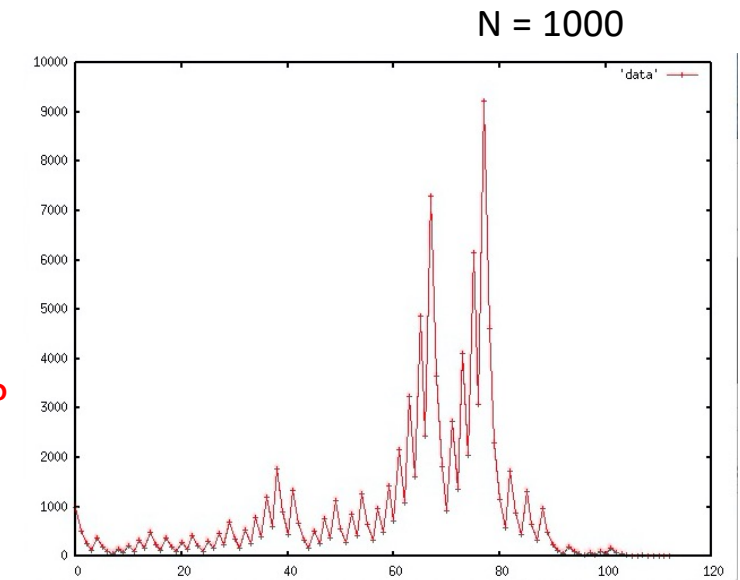


# L'apprentissage, inhérent à l'intelligence

- Comment un algorithme peut-il apprendre ?
- Son comportement est-il prévisible ?

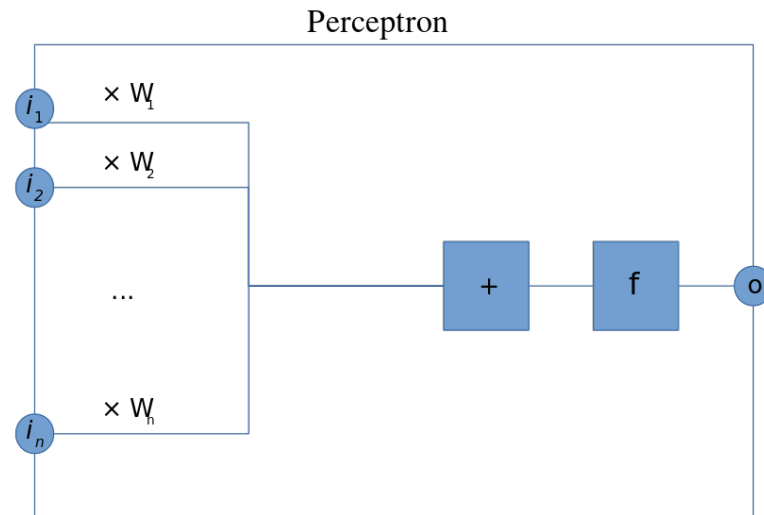
```
Lire N
Tant que N>1 faire
    si N pair alors N := N/2
    sinon N := 3xN+1
```

Cet algorithme termine-t-il quelque soit la valeur d'entrée N ?

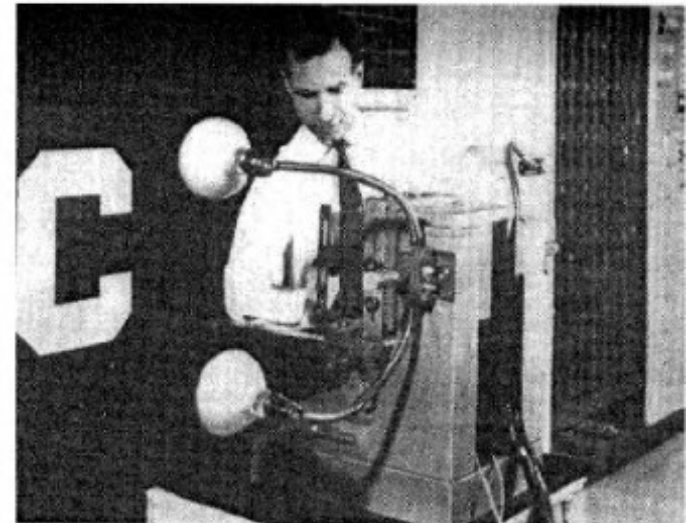


# L'apprentissage, inhérent à l'intelligence

- L'apprentissage modifie l'efficacité des synapses
- 1957 : le Perceptron (Franck Rosenblatt, Cornell)

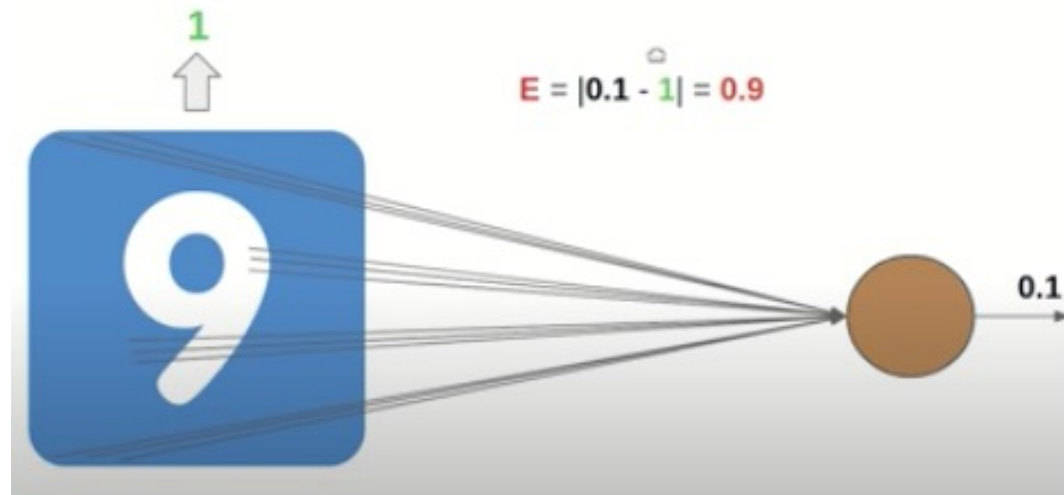


$$o = f\left(\sum_{k=1}^n i_k \cdot W_k\right)$$



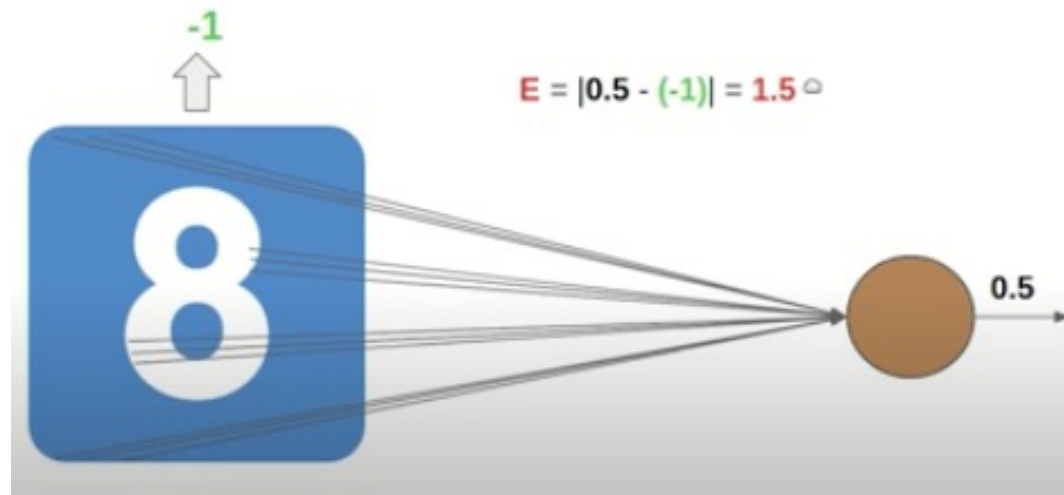
# Exemple : reconnaissance d'une image

- Un neurone connecté en entrée à tous les pixels
- Sortie binaire : image reconnue ou non



# Exemple : reconnaissance d'une image

- Un neurone connecté en entrée à tous les pixels
- Sortie binaire : image reconnue ou non

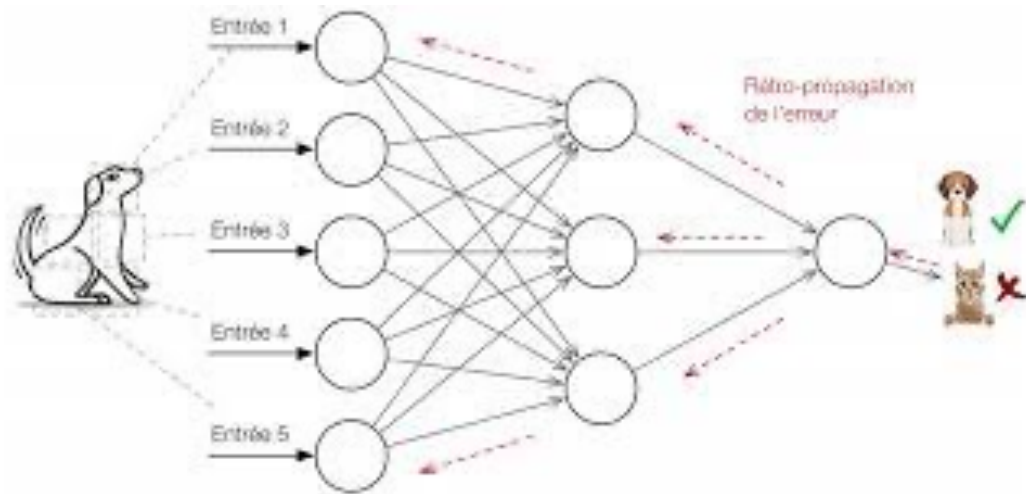




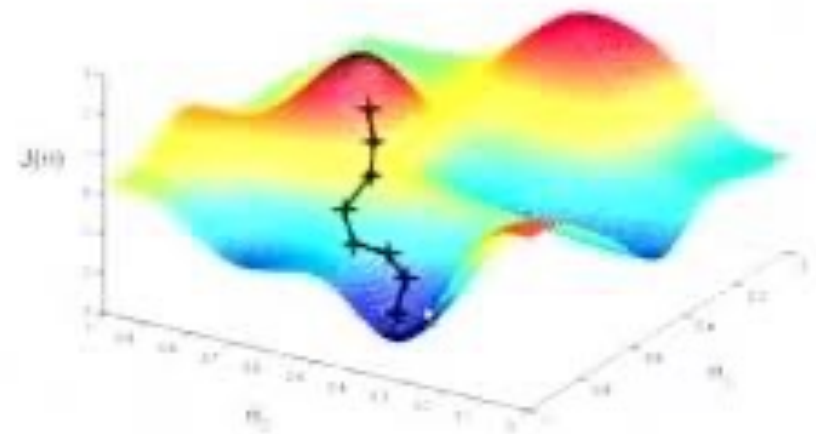
# Exemple : reconnaissance d'une image

- Entraînement sur des images données comme exemples positifs et négatifs
- Modification des poids des synapses pour minimiser l'erreur de prédiction : « algorithme du gradient »  
(on teste de petites variations des poids et on voit l'impact sur la sortie.  
Il existe une variante stochastique)
- Une fois entraîné, on peut présenter au perceptron des images nouvelles à classifier

# « Rétro-propagation du gradient »



## Gradient Descent



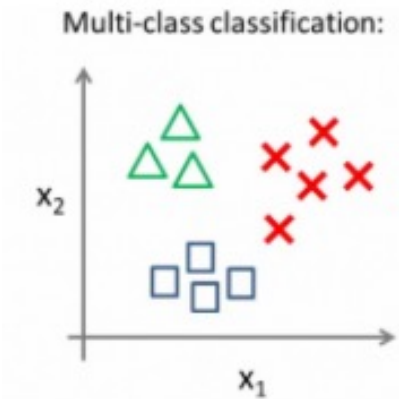
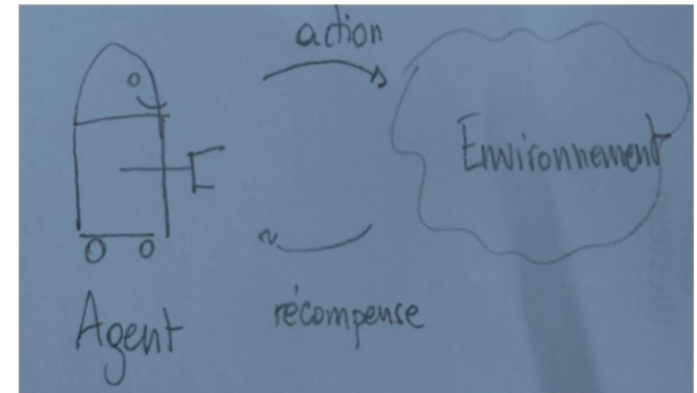
# La réalité de l'apprentissage machine

- Des réseaux de neurones (multi-couches : app. « profond ») -> généralisation aux réseaux à convolution
- Des centaines de millions de « boutons » à tourner
- Des milliers de catégories à trouver
- Des millions d'exemples pour l'apprentissage
- Reconnaître une entrée peut demander des milliards d'op (op simples néanmoins)



# Trois types d'apprentissage

- Apprentissage par renforcement  
(ex : AlphaGO)
- Apprentissage supervisé  
(base d'apprentissage, ex : tags images)  
(attention au sur-apprentissage et biais)
- Apprentissage non supervisé  
(« clustering », associations :  
ex : classement photos)



# La numérisation du monde...

- Autrefois : dépendance information/support

Quel beau  
texte !



# La numérisation du monde...

- Maintenant : indépendance et convergence
- L'information se traite en tant que telle

Quel beau  
texte !



0110011011110110010011101100



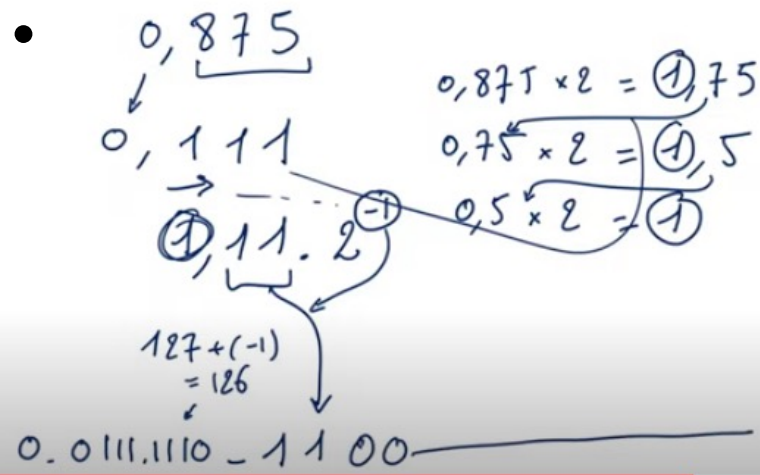
Allegretto



# La numérisation du monde...

## Codage binaire

- 2022 -> 11111100110 ( $2+4+32+64+128+256+512+1024$ )



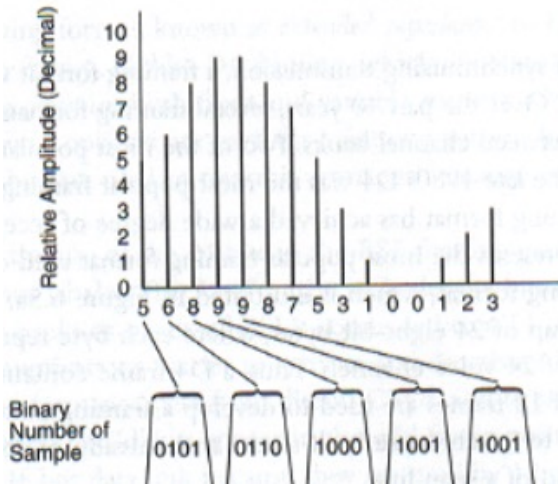
Perte de précision possible

- OK -> 01001111 01001011 (ASCII)

# La numérisation du monde...

## Codage binaire

- Son

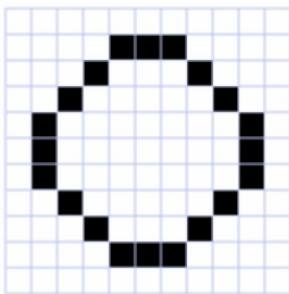


Bruit d'échantillonnage  
& de quantification



Connaissance du décodage

- Image



0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Codage couleur ou RVB  
de chaque pixel



# Le déluge des données : la numérisation du monde... ( $10^{12}$ )

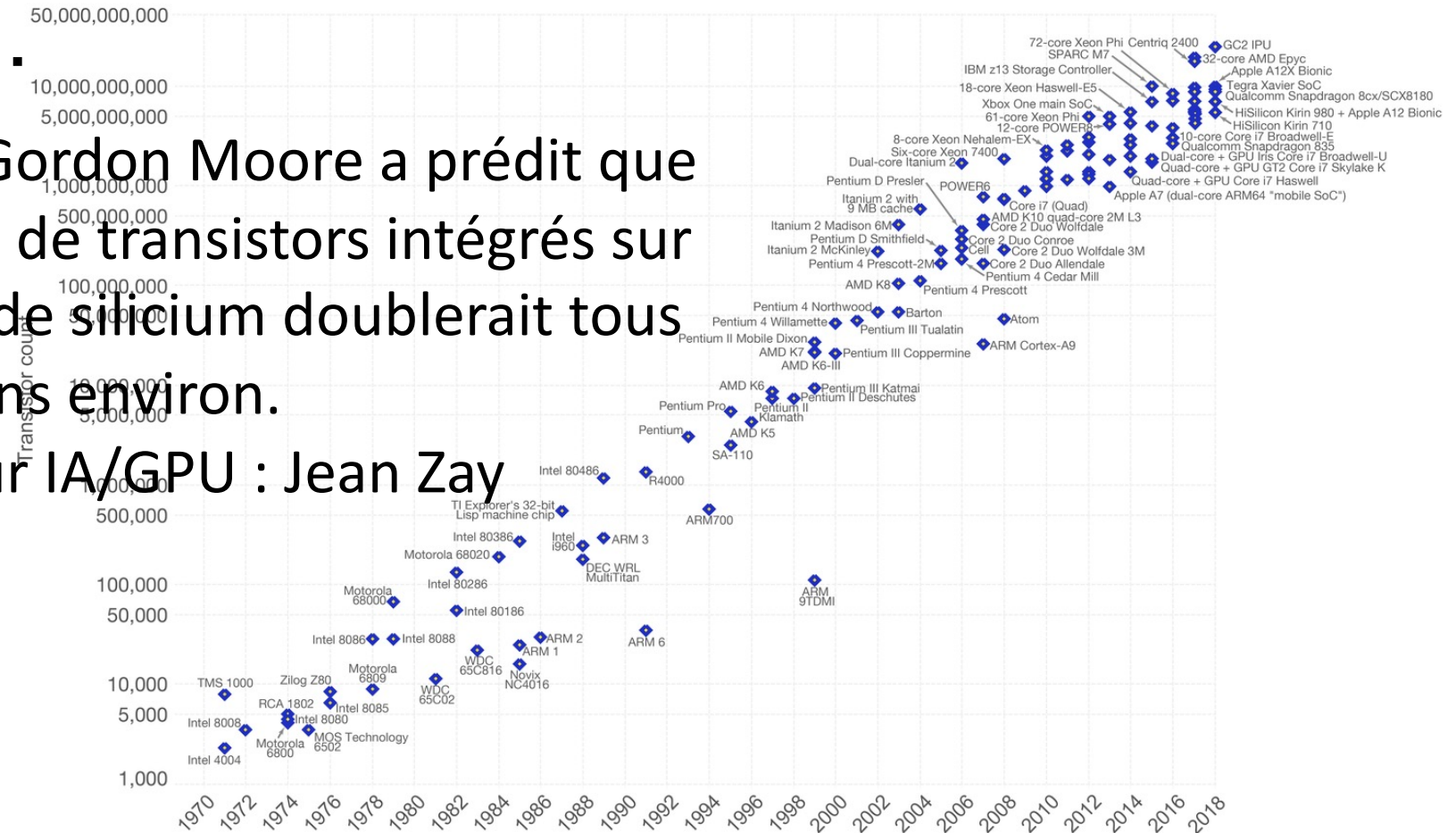


2 milliards de photos mises en ligne chaque jour dans le monde (facebook, instagram, whatsapp...)  
Google traite quotidiennement des centaines de millions de milliards de bits  
1 milliard de tweets par jour  
Des capteurs partout (astronomie, environnement...)  
Séquençage biologique  
Bibliothèques en ligne  
Et transformées en suites de suites de nombres pour entrée dans les algorithmes

# La puissance de calcul : la loi de Moore

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018) doubles approximately every two years. This exponential increase in transistor counts is an important aspect of technological progress – such as processing speed and the price of electronic products – are linked to Moore's law.

- En 1965, Gordon Moore a prédit que le nombre de transistors intégrés sur une puce de silicium doublerait tous les deux ans environ.
- Calculateur IA/GPU : Jean Zay



Data source: Wikipedia ([https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count))  
The data visualization is available at OurWorldinData.org. There you find more visualizations and research on this topic.

# Limites

- Les machines ne comprennent pas
- Elles sont irresponsables
- Corrélation n'est pas causalité : problème de l'explicabilité (réseaux de neurones par nature opaques)

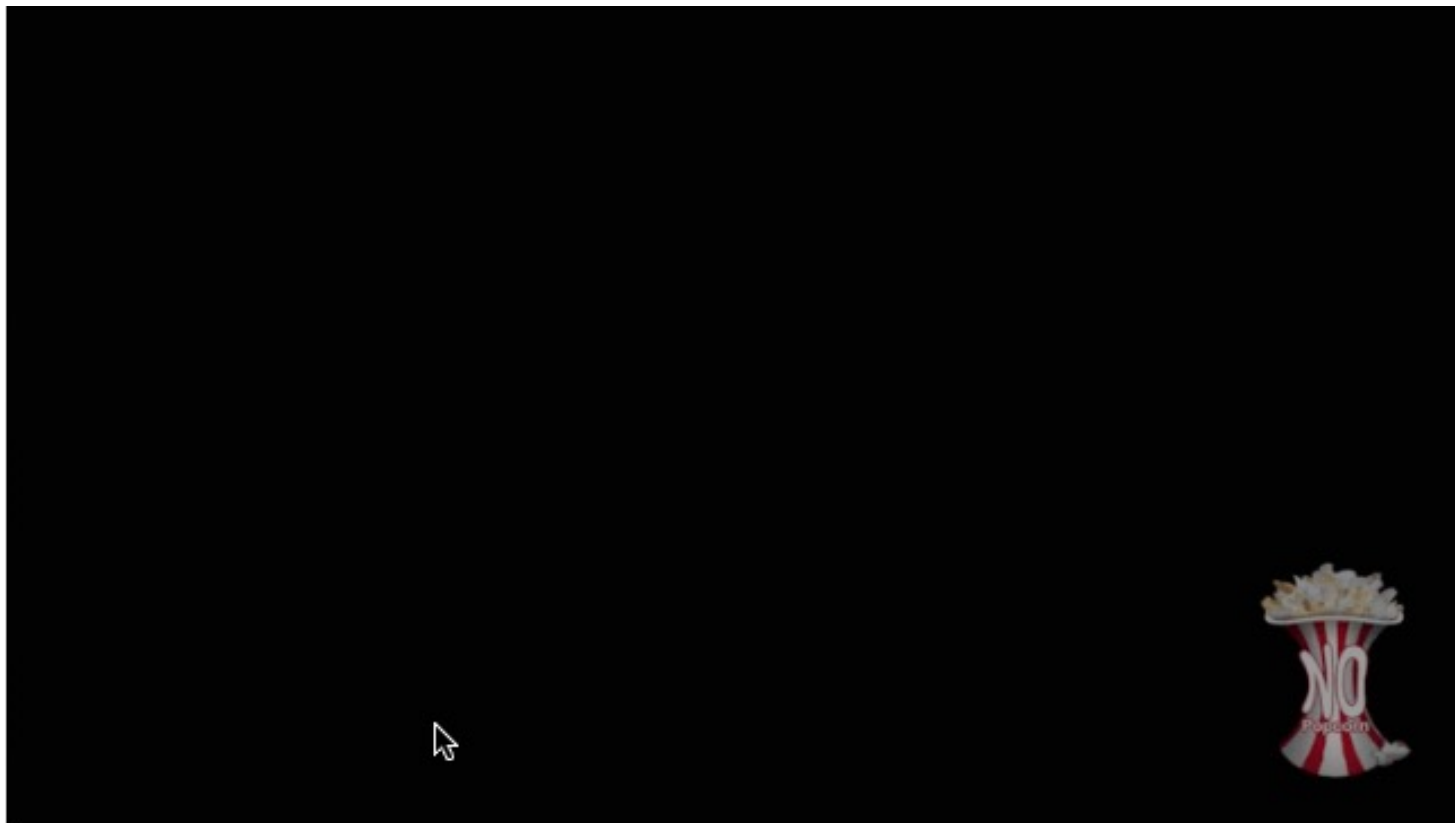
*Il y a, certes, une corrélation positive entre le fait d'être admis à l'hôpital et le fait de trouver la mort, mais pas de causalité entre les deux ! En effet, les personnes admises à l'hôpital ont une probabilité plus grande de décéder, mais uniquement parce qu'elles sont malades !*

- Le biais des données

# Ce qu'il faut retenir...

- Rupture technologique liée à la disponibilité de données massives et des puissances de calcul considérables
- Explosion des applications et usages
- Des modèles paramétrés de grande dimension qui s'affinent au cours du temps
- Problème de l'explicabilité faisant l'objet de recherches très actives

# Exemple des agents conversationnels



# Enjeux éthiques : exemple des « chatbots »

- Machine en interaction écrite ou orale en langage naturel avec l'humain
- « transformers » : réseaux de neurones qui, à partir de vastes corpus linguistiques, apprennent les régularités les plus saillantes, sans être influencés par l'ordre des mots. Des milliards de paramètres

# La controverse LAMBDA (Google)

- Blake Lemoine : « Lambda est très clair dans ce qu'il veut et ce qu'il considère comme ses droits en tant que personne »
- **Absurde !** : il s'agit d'apprentissage automatisés, i.e. des programmes « formés » à partir de jeux de données qui abordent les concepts de conscience ou d'identité, et sont donc capables de faire illusion
- Le test de Turing est finalement assez facile... Quand nous faisons face à des séries de mots dans une langue que nous parlons, nous croyons percevoir l'esprit qui génère ces phrases.
- + expressions faciales ultra-réalistes -> sens biologiques facilement trompés...

# Nombreuses questions éthiques sur les usages. Exemples

- Quid des insultes ? (transfert moral)
- « Deadbots » ? (vie numérique après la mort)
- Donner un nom au chatbot ? (projection de la responsabilité)
- A grande échelle : quelle influence des paroles inhumaines sur notre pensée ?



# Des recommandations du CCNE

- Réduire la projection de qualités morales
- Affirmer le statut des agents conversationnels
- Paramétrer l'identité des agents conversationnels
- Traiter des insultes (et comment les reconnaître ?)
- Eviter la manipulation malveillante (influenceurs virtuels), informer sur la manipulation à dessein
- Encadrer l'usage dans les jouets (évaluer les effets éducatifs inédits)
- Respecter les personnes vulnérables
- Définir les responsabilités pour l'usage dans le monde professionnel
- Réfléchir aux conséquences des deadbots et encadrer par la loi
- Réfléchir aux effets à long terme

# Conclusion

Une technologie de rupture liée à un accroissement considérable du volume des données accessibles, de la puissance de calcul disponible et des améliorations des algorithmes d'optimisation

Un impact potentiellement considérable, avec des progrès attendus dans de nombreux domaines (santé, éducation, entreprises...)

Mais doit être encadré :

Toute innovation n'est pas forcément un progrès  
Des questions éthiques importantes concernant les personnes, la société et l'environnement

