

# **Cours d'introduction à l'Intelligence Artificielle**

## **Partie I**

Simon Gay

# Introduction à l'Intelligence Artificielle

- **À quoi sert ce cours ?**

- Connaître (et reconnaître) les formes d'IA les plus répandues
  - ... et les domaines d'applications propres à chacune
- Savoir implémenter les mécanismes de base de différents types
- Utiliser les outils de plus haut niveau (bibliothèques)

- **Ce qu'on ne fera pas**

- Créer une IA deep learning de A à Z
- Créer une IA pour dominer le monde

# **Introduction à l'Intelligence Artificielle**

- **Question primordiale :**

**Qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle ?**

- **Démêlons le vrai du faux...**

# **Introduction à l'Intelligence Artificielle**

- **Question (encore plus) primordiale :**

**Qu'est-ce que l'Intelligence ?**

- **Et ce n'est pas si simple...**

# Introduction à l'Intelligence Artificielle

- **Qu'est-ce que l'Intelligence ?**

- **Définition (Larousse) :** *1 Ensemble des fonctions mentales ayant pour objet la connaissance conceptuelle et rationnelle, 2 Aptitude d'un être humain à s'adapter à une situation, à choisir des moyens d'action en fonction des circonstances*

→ *C'est très vague, et pour cause :*

- *En 1986, plus d'une vingtaine d'experts en psychologie ont été interrogés pour donner une définition de l'intelligence, mais aucun consensus ne s'est dégagé (Sternberg, 1986)*
- *La notion d'intelligence diffère également selon la culture !*

# Introduction à l'Intelligence Artificielle

- **Qu'est-ce que l'Intelligence ?**
  - Capacité d'apprentissage (Beckmann, 2006)
  - Capacité d'adaptation au contexte (Piaget, 1953)
  - capacité à résoudre des problèmes par des solutions nouvelles (Gardner, 1989)
- **L'intelligence artificielle vise à reproduire ces propriétés sur un système artificiel**

# Introduction à l'Intelligence Artificielle

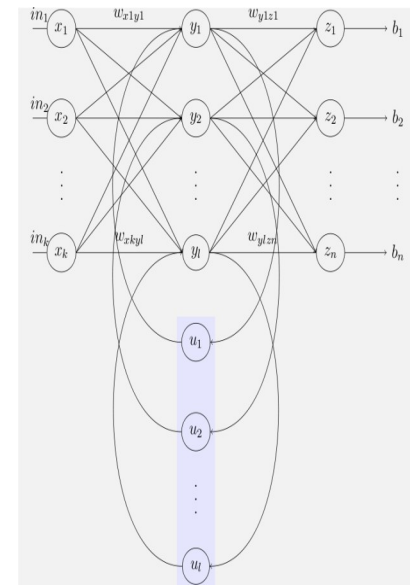
- Deux 'formes' de l'IA
  - **IA de type 'forte'** : vise la conception d'un système complètement autonome, polyvalent, copiant les propriétés de l'intelligence humaine
    - Aucune IA actuelle ne peut y prétendre, on la retrouve surtout dans la SF
    - débats sur la faisabilité d'une telle IA
  - **IA de type 'faible'** : système 'spécialisé' capable d'apprendre et d'imiter une ou plusieurs des propriétés de l'intelligence humaine ou animale pour résoudre une tâche prédéfinie (ex. jouer aux échecs), souvent plus efficacement que l'humain.

# Introduction à l'Intelligence Artificielle

- Dès les débuts de l'IA, deux approches ont émergé :

- **IA symbolique** : algorithme constitué de symboles et de règles logiques. Résolution d'un problème par des méthodes et procédure manipulant ces règles et ces symboles (inférences et déductions).
- **IA numérique (ou connexionniste)** : algorithme constitué d'un ensemble de valeurs et de mécanismes d'apprentissage permettant de faire converger ces valeurs vers une solution

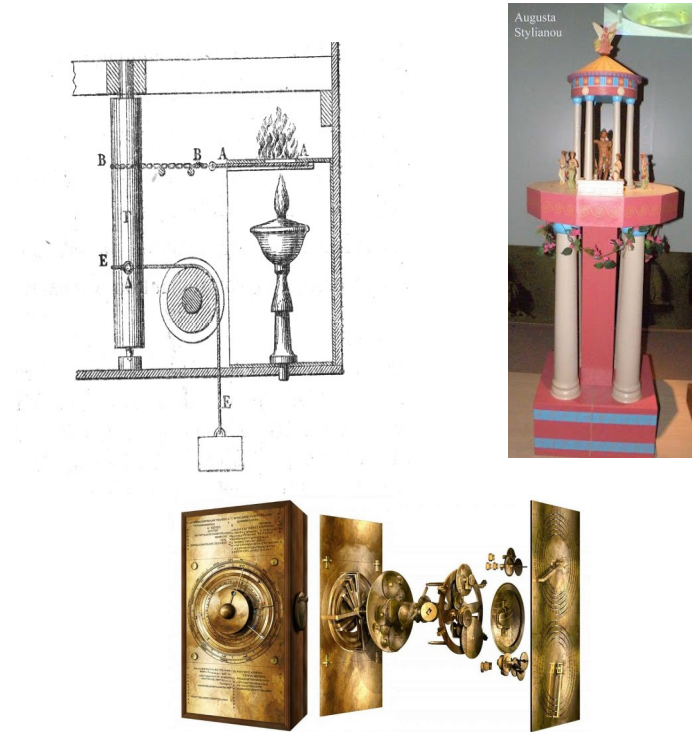
```
frère_ou_sœur(X,Y) :- parent(Z,X), parent(Z,Y), X \= Y.  
parent(X,Y) :- père(X,Y).  
parent(X,Y) :- mère(X,Y).  
mère(trude, sally).  
père(tom, sally).  
père(tom, erica).  
  
?- frère_ou_sœur(sally, erica).  
oui.
```





# Introduction à l'Intelligence Artificielle : historique

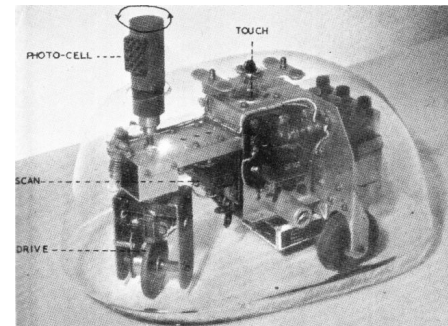
- **Histoire de l'Intelligence Artificielle**
- **Antiquité : le mythe de l'homme artificiel...**
  - Vulcain et ses automates
  - Mythe de Pygmalion
  - Golem
- **... et les premiers automates**
  - Égypte : statues animées
  - Grèce : théâtres d'automates, machine d'Anticytère
- **Moyen-Âge et renaissance**
  - Chevalier de Léonard de Vinci
  - Automate de Vaucanson (XVIII<sup>ème</sup>)
  - Le premier robot ? Automate serveur de thé (XVII<sup>ème</sup>)



# Introduction à l'Intelligence Artificielle : historique

- **Histoire récente**

- Chien électrique de John Hammond et Benjamin Miessner (1912)
- Karel Čapek : Rossum's Universal Robots (1921) : invention du mot '**robot**'
- émergence de la *cybernétique* en 1942
  - Tortues autonomes de Walter Grey (1950)
- Premières formes de Machine Learning (1951)
  - Régression Logistique (1944?)
  - K-nearest neighbors
- **1956 : l'intelligence artificielle devient officiellement un domaine de recherche scientifique (conférence de Dartmouth)**



# Introduction à l'Intelligence Artificielle : historique

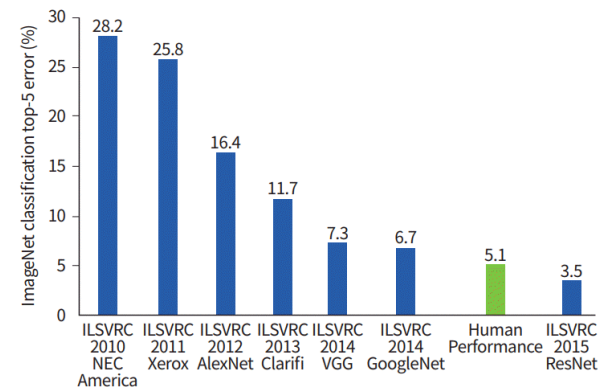
- **1956 : les débuts, le premier âge d'or de l'IA**
  - Effervescence et optimisme
    - Anecdote : en 1966, deux professeurs du MIT demandent à un groupe d'étudiants, pour leur projet d'été, de connecter une caméra à un ordinateur pour décrire la scène. On imagine la suite...
  - Perceptrons : le premier réseau de neurones artificiels (1957)
  - Programmation logique (IA symbolique, 1958)
  - Approches évolutionnistes (1965)
  - Approches non-supervisées : K-means (1967)

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : historique

- **Histoire de l'Intelligence Artificielle**
- **1974 : premier crash de l'IA**
  - Face au manque de résultats, les financements sont supprimés un peu partout dans le monde → premier hiver de l'IA
- **Débuts années 80 : reprise grâce aux systèmes experts.**
  - Règne *total* des approches symboliques
  - Apparition de l'apprentissage par renforcement (1988) et des Systèmes Multi-Agents (milieu années 80)
  - Côté IA numérique, les réseaux deviennent multi-couche et les cartes auto-adaptatives font leur apparition (mais ça n'intéresse personne)
- **Milieu années 90 : manque de progrès des systèmes experts**
  - Second hiver de l'IA

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : historique

- Histoire de l'Intelligence Artificielle
- **1997 : coup de tonnerre : l'ordinateur Deep Blue (IBM) bat Kasparov, le champion mondial des échecs**
  - Nouveau regain d'intérêt pour l'IA de la part de la recherche et des industriels  
→ second âge d'or de l'IA
  - Apparition de la robotique développementale (milieu années 90) puis de l'intelligence développementale (milieu années 2000)
  - Apparition vers 2010 de réseaux de neurones avec un très grand nombre de couches (mais personne n'y croit)
- **2012 : coup de tonnerre (encore!) : l'approche Deep Learning bat de très loin tous les records au concours ILSVRC (reconnaissance d'image)**
  - Encore plus fort : en 2016, *AlphaGo* bat le champion du monde du jeu de go (autrement plus complexe que les échecs :  $10^{600}$  VS  $10^{120}$  combinaisons possibles)



# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- **Plusieurs types d'IA**

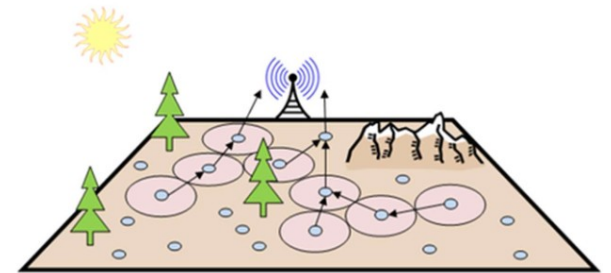
**!! il n'existe pas de classification officielle**

- **Symbolique : inférence et déduction sur des symboles et règles**
  - Programmation logique
  - Systèmes experts
- **numérique/connexionnisme : ajustement de valeurs numériques et de connexions entre des éléments**
  - Réseaux de neurones
  - Régression logistique
  - Algorithmes génétiques
  - Apprentissage par renforcement
  - ....
- **Émergence : résolution de problèmes par un ensemble de structures très simples**
  - Systèmes multi-agents

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- **IA par émergence : les systèmes multi-agents**

- En partie d'inspiration biologique : les insectes sociaux (fourmis, abeilles...)
- Système constitué d'éléments très simples en interaction
- Un comportement global complexe émerge des comportements simples des unités (le tout est supérieur à la somme des éléments)
- Pas forcément d'apprentissage (pas toujours du machine learning, donc)



- **Applications**

- Simulation de phénomènes complexes
- Optimisation de chemins
- Cinéma et jeux vidéos (simulation de grandes armées, e.g. Le Seigneur des Anneaux)



# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- Plusieurs types d'IA
- **Symbolique : inférence et déduction sur des symboles et règles**
    - Programmation logique
    - Systèmes experts
- **numérique/connexionnisme : ajustement de valeurs numériques et de connexions entre des éléments**
    - Réseaux de neurones
    - Régression logistique
    - Algorithmes génétiques
    - Apprentissage par renforcement
    - ....
  - **Émergence : résolution de problèmes par un ensemble de structures très simples**
    - Systèmes multi-agents



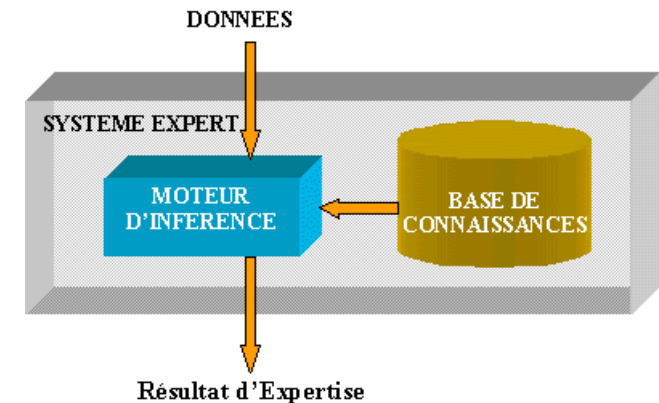
# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- **Les IA symboliques**

- Ensemble de règles fournies par le concepteur
- Repose sur la manipulation de 'symboles'
- Modèle le plus connu : le système expert
  - Cherche à reproduire la connaissance d'un humain expert dans un domaine
- Langages de programmation logique
  - PROLOG
- Pas d'apprentissage (dans la grande majorité des cas)

- **Applications**

- Très répandus dans le domaine de la prise de décision dans un domaine particulier (ex : médecine)



# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- **Plusieurs types d'IA**
- **Symbolique : inférence et déduction sur des symboles et règles**
  - Programmation logique
  - Systèmes experts
- **numérique/connexionnisme : ajustement de valeurs numériques et de connexions entre des éléments**
  - Réseaux de neurones
  - Régression logistique
  - Algorithmes génétiques
  - Apprentissage par renforcement
  - ....
- **Émergence : résolution de problèmes par un ensemble de structures très simples**
  - Systèmes multi-agents

# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

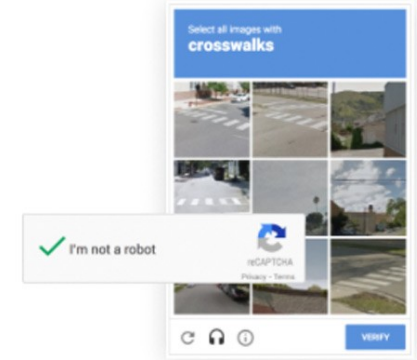
## Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : toute une famille**

- **Apprentissage supervisé** : modèle d'apprentissage où on connaît les résultats des données d'entrée. L'entraînement se fait sur un jeu d'essais dont les résultats sont connus, puis on exploite le système avec des entrées dont on ne connaît pas le résultat.
- **Apprentissage non-supervisé** : modèle d'apprentissage qui ne nécessite pas de connaître les résultats du jeu d'essais. Le système doit converger vers une solution optimale (au moins localement)
- **Apprentissage par renforcement** : le système peut agir sur son environnement et est activement impliqué dans son processus d'apprentissage. Le système effectue des actions et apprend des résultats obtenus.

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

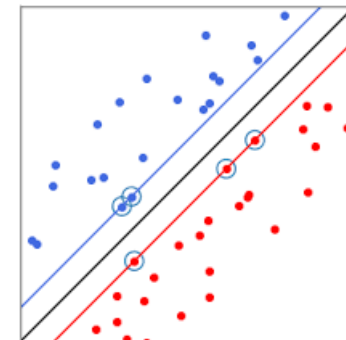
- **Les IA numériques : apprentissage supervisé**



- Apprentissage sur un jeu d'essais dont on connaît le résultat à obtenir.
  - il faut dans un premier temps construire et labelliser à la main le jeu d'essais

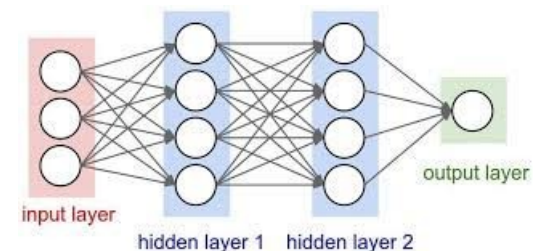
- Approches mathématiques :

- K-NN
- Régression logistique
- Arbre de décision
- SVM



- Approches d'inspiration biologique :

- Réseaux de neurones artificiels



# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : apprentissage supervisé**
  - **Réseaux de neurones artificiels**
    - Constitués de *neurones formels* (représentation TRÈS simplifiée d'un neurone biologique)
    - Très nombreux types de réseaux (simple ou multi-couche, propagation unidirectionnelle, récurrente ou à connexion totale...)
    - **Propriétés :**
      - Un réseau de neurones, quel que soit son type est un classifieur
      - Un réseau, même profond, ne pense pas et n'interprète pas ses résultats
      - Un réseau ne connaît rien de plus que ce qu'il a appris dans le jeu de données
        - possibles biais statistiques
    - **Applications :**
      - Toute application nécessitant une classification : reconnaissance d'images, de son, de texte, TLN, traduction automatique, aide à la décision...
      - ... et pour lesquelles on dispose d'une grande base de données d'apprentissage

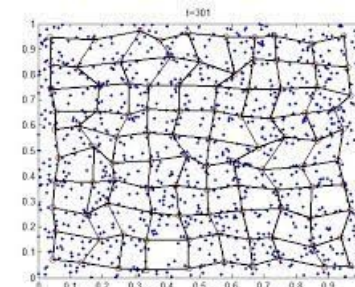
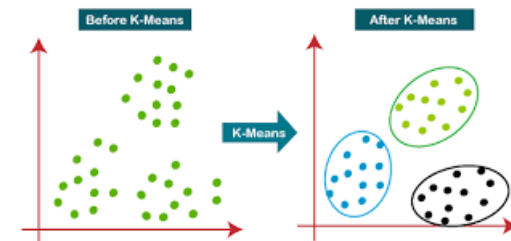
# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : toute une famille**
  - **Apprentissage supervisé** : modèle d'apprentissage où on connaît les résultats des données d'entrée. L'entraînement se fait sur un jeu d'essais dont les résultats sont connus, puis on exploite le système avec des entrées dont on ne connaît pas le résultat.
  - **Apprentissage non-supervisé** : modèle d'apprentissage qui ne nécessite pas de connaître les résultats du jeu d'essais. Le système doit converger vers une solution optimale (au moins localement)
  - **Apprentissage par renforcement** : le système peut agir sur son environnement et est activement impliqué dans son processus d'apprentissage. Le système effectue des actions et apprend des résultats obtenus.

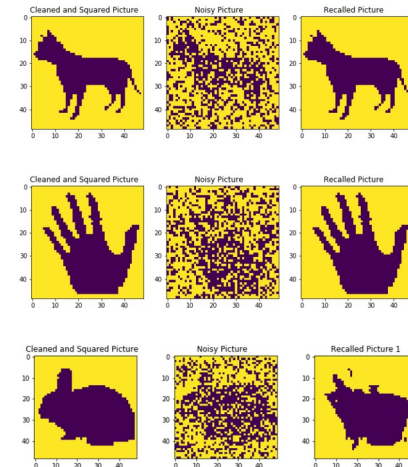
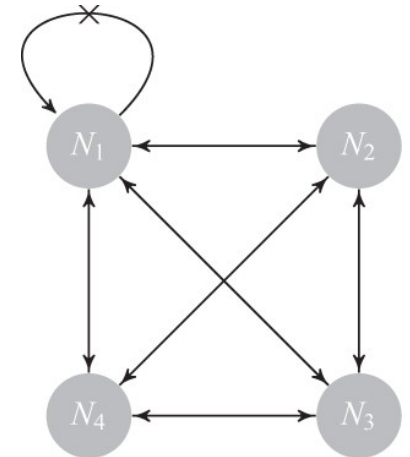
# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : apprentissage non supervisé**
  - Apprentissage sur un jeu d'essais sans résultat connu.
    - Ces approches servent à organiser l'information
    - le système converge vers une solution optimale (au moins localement)
  - Approches mathématiques :
    - K-means
    - Regroupements hiérarchiques
  - Approches d'inspiration biologique :
    - Réseaux de neurones artificiels non-supervisés



# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

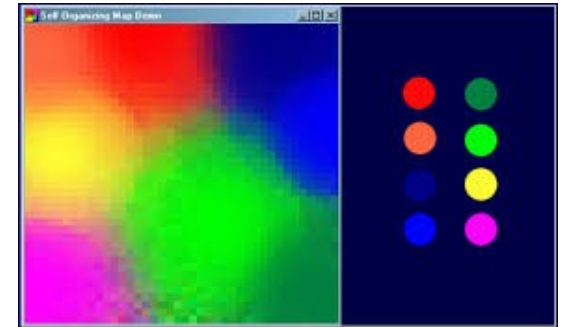
- Les IA numériques : apprentissage non supervisé
  - Réseaux de neurones artificiels non-supervisés
  - Réseaux les plus connus :
    - Réseau de Hopfield : la mémoire associative
      - Réseau récursif et asynchrone
      - Entraînement : on présente un ensemble de vecteurs d'entrées
      - Le réseau va se structurer pour définir une forme stable pour chaque vecteur d'entrée
      - Quand on présente un vecteur incomplet ou dérivé d'un vecteur d'entraînement, le réseau va converger vers la forme stable du vecteur le plus proche
        - Le réseau de Hopfield peut reconstituer une image incomplète ou bruitée
      - Limite : nombre de motif max =  $0,14 \times \text{nombre de neurones}$
      - Utilisé dans la recherche pour étudier le fonctionnement de la mémoire





# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- Les IA numériques : apprentissage non supervisé
  - Réseaux de neurones artificiels non-supervisés
  - Réseaux les plus connus :
    - Cartes Auto-Organisatrices (ou Cartes Autoadaptatives, ou cartes de Kohonen, ou SOM)
      - Inspirées du fonctionnement du cortex cérébral
      - Réseau à deux dimensions
      - Entrées : espace topographique à N-dimensions ( $N > 2$  sinon le réseau n'a aucun intérêt)
      - Des échantillons sont présentés au réseau
        - Le neurone le plus actif se rapproche de l'échantillon, ainsi que ses voisins
        - deux entrées proches spatialement activent des neurones proches sur la carte
    - La carte auto-organisatrice permet de mapper un espace à N-dimension sur un espace à 2 dimensions en conservant la notion de proximité entre les éléments



# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : toute une famille**
  - **Apprentissage supervisé** : modèle d'apprentissage où on connaît les résultats des données d'entrée. L'entraînement se fait sur un jeu d'essais dont les résultats sont connus, puis on exploite le système avec des entrées dont on ne connaît pas le résultat.
  - **Apprentissage non-supervisé** : modèle d'apprentissage qui ne nécessite pas de connaître les résultats du jeu d'essais. Le système doit converger vers une solution optimale (au moins localement)
  - **Apprentissage par renforcement** : le système peut agir sur son environnement et est activement impliqué dans son processus d'apprentissage. Le système effectue des actions et apprend des résultats obtenus.

# Introduction à l'Intelligence Artificielle :

## Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : apprentissage par renforcement**

- Intelligence incarnée : un agent artificiel est en interaction avec un environnement
- L'agent perçoit son environnement, agit et analyse les conséquences de son action
  - une forme d'apprentissage supervisé par l'agent lui-même

- Approches goal-oriented :

Le concepteur attribue une récompense sur l'atteinte d'un but ou de certaines actions

- Reinforcement Learning (1988)
- Q-Learning (1989)

- Approche behavior-based :

Étude de l'émergence de comportements

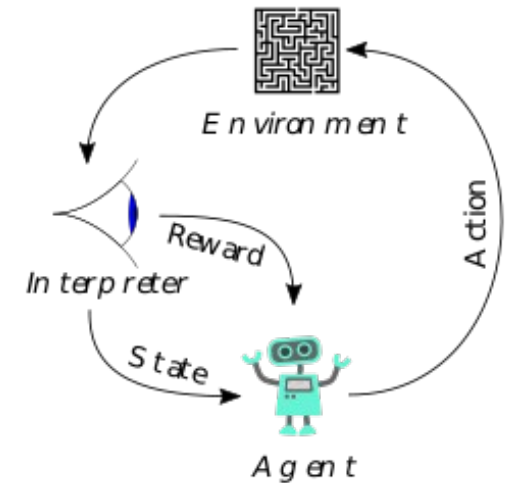
- Robotique développementale (milieu années 90)
- Intelligence développementale (milieu années 2000)

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : apprentissage par renforcement**

- **Reinforcement learning (RL)**

- L'agent dispose d'un ensemble d'action et peut percevoir un ensemble d'état.
    - Une récompense est attribuée quand l'agent atteint certains états
    - L'agent apprend à se déplacer d'état en état pour atteindre une récompense



- **Q-Learning : un modèle particulier de RL**

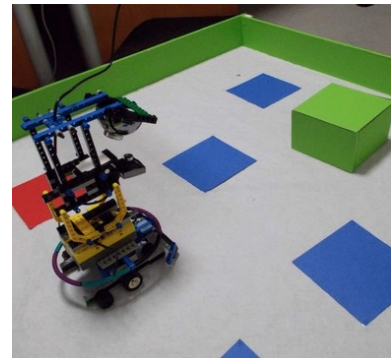
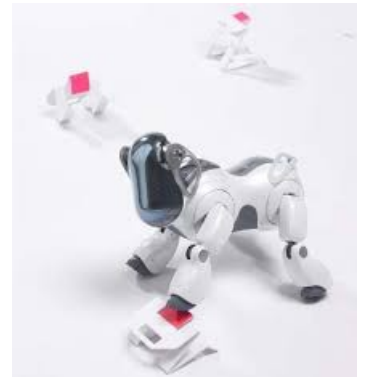
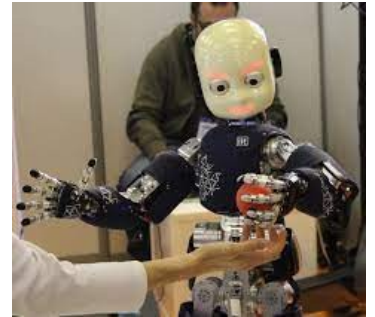
- Même principe, mais on considère les actions qui permettent d'atteindre une récompense (dans le cas où on ne sait pas comment passer d'un état à l'autre)

- **Applications :**

- Applications robotiques, finance (trading), bots virtuels, diagnostic automatique (médecine)...

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : apprentissage par renforcement**
  - **Robotique développementale**
    - Domaine de recherche fondamentale visant à étudier certaines étapes du développement sensorimoteur chez l'homme (et parfois chez l'animal)  
ex : marcher à 4 pattes, coordination main-œil, se mettre en position debout, attraper un objet...
    - Approches très bio-inspirées
    - Modèles très variés (le développement de l'enfant passe par de nombreuses étapes)
    - Système de motivation intrinsèque (ex : curiosité)
  - **Apprentissage développemental**
    - Domaine de recherche visant à étudier l'émergence de comportements et de l'interprétation de l'environnement par des agents simples, mais sur la 'vie' entière de l'agent
    - Approches inspirées de la psychologie (ex Piaget, Gibson)
    - Agent totalement autonome et indépendant (pas d'accès aux états, pas de récompense)
    - Motivation intrinsèque liées aux interactions entre l'agent et l'environnement.



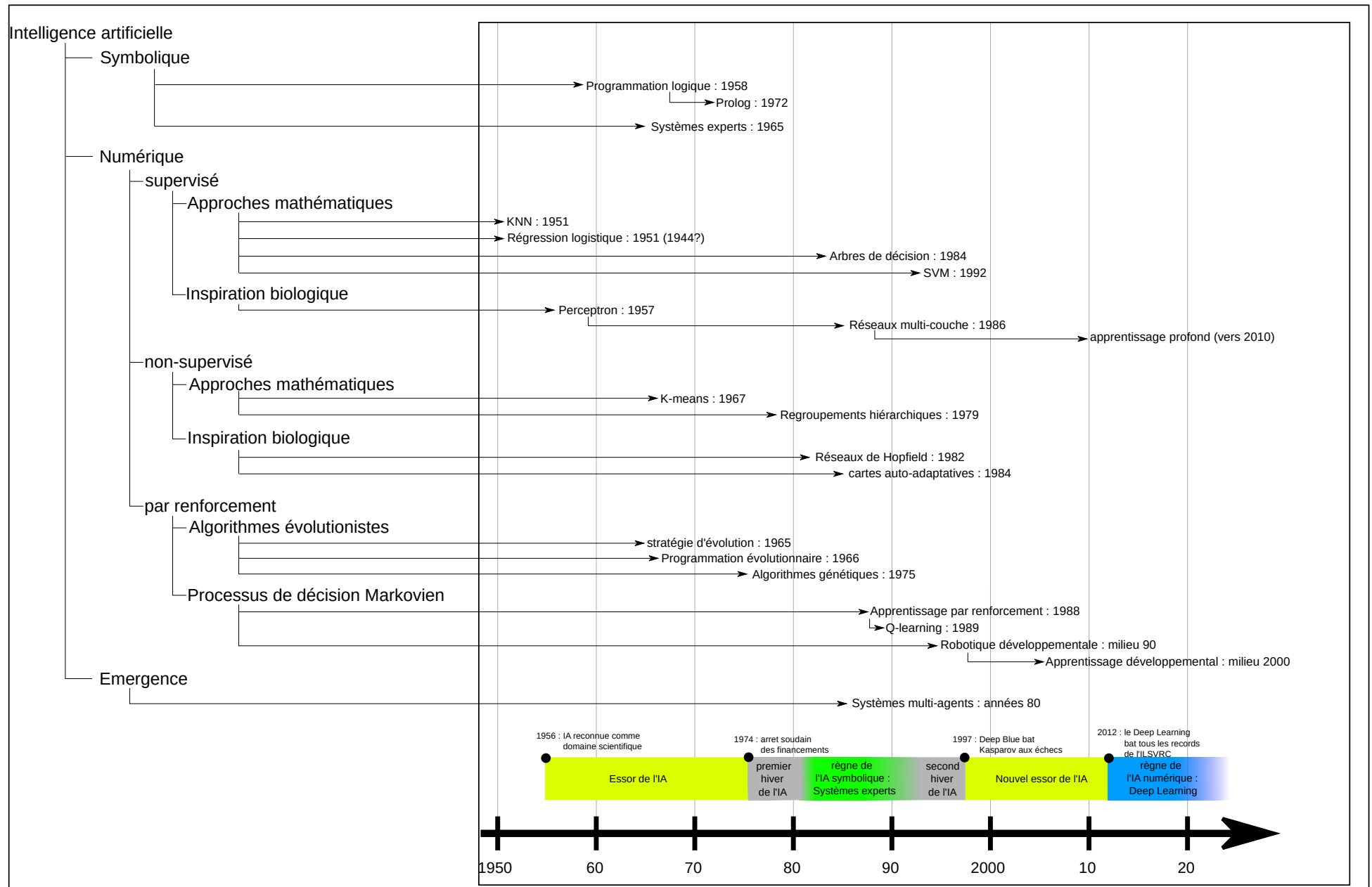
# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA

- **Les IA numériques : apprentissage par renforcement**
  - **Un type d'apprentissage particulier : les algorithmes génétiques**
    - Inspirées du principe de l'évolution des espèces
    - « apprentissage » (optimisation) d'une génération d'individus à la suivante
  - **Principe :**
    - Le problème est encodé par une série de paramètres : les génomes
    - Une population est créée avec des génomes aléatoires
    - Après simulation ou mesure de performance, les meilleurs génomes sont mélangés (avec mutations aléatoires), une nouvelle génération est créée
    - Optimisation de génération en génération
  - **Applications :**
    - Optimisation, routage



Spacecraft antenna

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Les formes de l'IA : récapitulatif



# **Cours d'introduction à l'Intelligence Artificielle**

## **Partie 2 : le neurone**

Simon Gay



# Introduction à l'Intelligence Artificielle

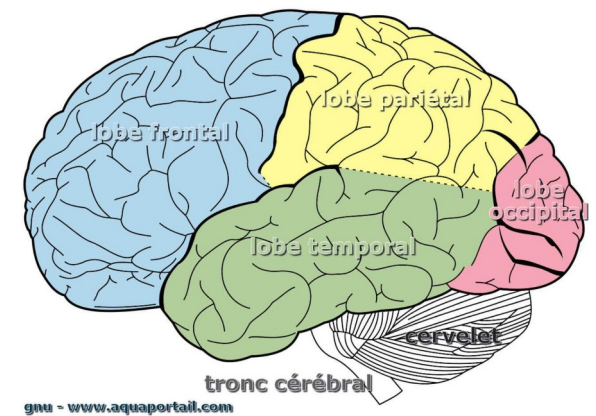
- L'intelligence artificielle cherche à imiter certaines propriétés de l'intelligence humaine ou animale
- Cette intelligence est issue du plus incroyable et mystérieux organe : le cerveau



- Analysons-le un peu plus en profondeur !

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

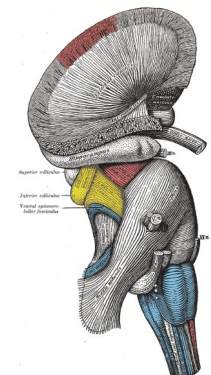
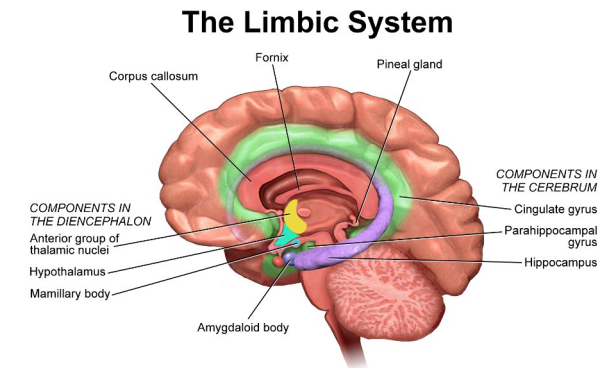
- **Caractéristiques du cerveau humain :**
  - ~80-100 milliards de neurones
  - Autant de cellules *gliales*
    - *Dont une grande partie d'astrocytes*
  - ~  $1,5 \times 10^{14}$  connexions
  - 10.000 à 50.000 neurones et 100 à 500 millions de connexions par mm<sup>3</sup>
- **Nombreuses aires cérébrales :**
  - Cortex :
    - Cortex occipital : traitement des informations visuelles
    - Cortex temporal : traitement du son et localisation spatiale
    - Cortex pariétal : coordination motrice et traitement du toucher
    - Cortex préfrontal : fonction cognitives de haut niveau
  - Cervelet : stabilisation des commandes motrices



# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

## Sous le cortex :

- **Système limbique : impliqué dans la mémoire et les émotions**
  - Nombreuses structures (souvent propre aux mammifères)
    - Corps calleux (liaisons entre les hémisphères)
    - Hippocampe (mémoire à long terme et localisation)
    - Thalamus et hypothalamus (régulation/sécrétion des hormones, régulation de la conscience et du sommeil)
    - ...
- **Le tronc cérébral (sommet de la moelle épinière)**
  - Impliqué dans le traitement sensoriel « bas niveau » et les réflexes
    - Tegmentum (maintien de posture et mouvements volontaires)
    - Tectums (traitements visuel et audio préliminaires, mouvements oculaires)

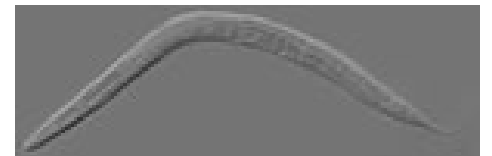


- → **Le cerveau n'est pas un simple réservoir de neurones !**

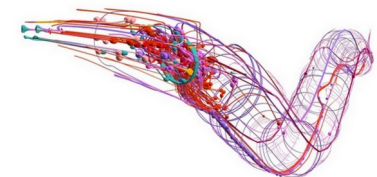
# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

Et si on s'inspirait d'un modèle plus simple ?

- Chat : 760 millions de neurones
- Souris : 71 millions
- Grenouille : 16 millions
- Poissons : 10 millions
- Abeille : 960 000 (1 milliard de connexions)
- Mouche : 250 000 (10 millions de connexions)
- Limace de mer : 18 000
- *Caenorhabditis elegans* : 302 neurones et 7500 connexions



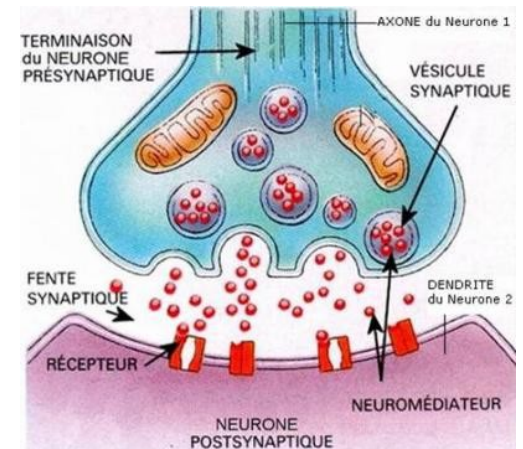
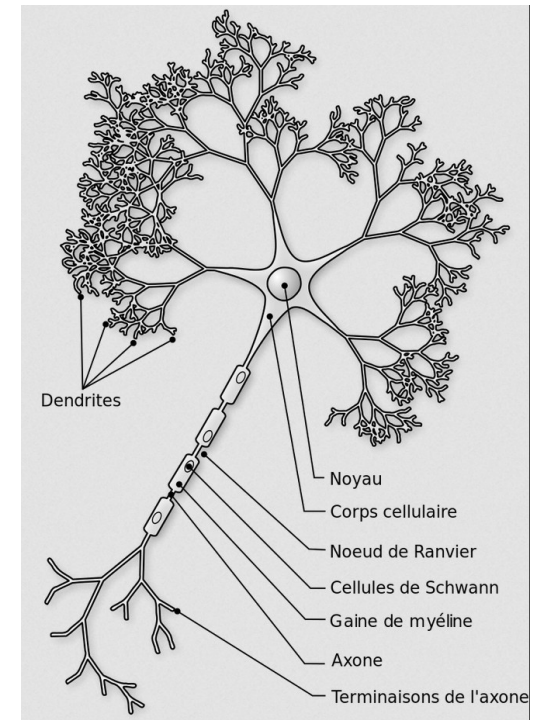
- **En 2011, début du projet OpenWorm pour simuler les 959 cellules du *Caenorhabditis elegans***
  - **Modèle fonctionnel mais débats sur son « réalisme »**



# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

## Étudions le neurone

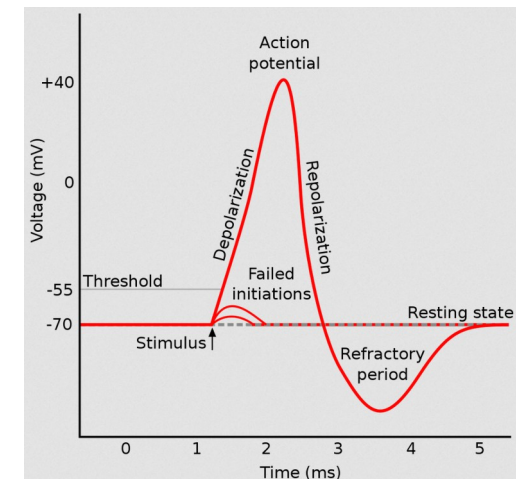
- Anatomie du neurone :
  - Un corps (aussi appelé péricaryon ou soma)
  - Des *dendrites* (env 7000 par neurone)
  - Un *axone* unique
- Les neurones sont reliés par des *synapses*
  - Une synapse relie l'axone d'un neurone et une dendrite d'un autre neurone
  - Transmission du signal unidirectionnel
    - Mais parfois aussi bi-directionnel
  - Pas de contact direct entre les neurones
    - Côté émetteur :
      - Le neurone génère des neurotransmetteurs
    - Côté récepteur :
      - Le neurone détecte les neurotransmetteurs
  - Plus il y a de récepteurs, plus le signal reçu est important
  - Chaque synapse peut contenir plusieurs types de neurotransmetteurs



# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

## Étudions le neurone

- Le neurone fonctionne par impulsion d'1 à 2 millisecondes
  - L'activité d'un neurone peut être mesurée par la fréquence des impulsions
- Le neurone a un potentiel de -70mV par rapport au milieu ambiant (potentiel de repos)
  - Cette tension est liée à la présence d'ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Ca}^{2+}$ )
- Lorsqu'un neurone reçoit des signaux synaptiques, sa tension augmente ou diminue (dépend de la connexion)
- Lorsque la tension dépasse un seuil de -55 mV :
  - les canaux de la membrane s'ouvrent pour faire passer les ions (dépolarisation)
  - Un signal (potentiel d'action) de +100mV est transmis via l'axone
  - Les vésicules synaptiques relâchent des neurotransmetteurs
  - Le neurone revient à son potentiel de repos (-70mV)
- Le signal est donc lié au degré de connexion synaptique entre les neurones



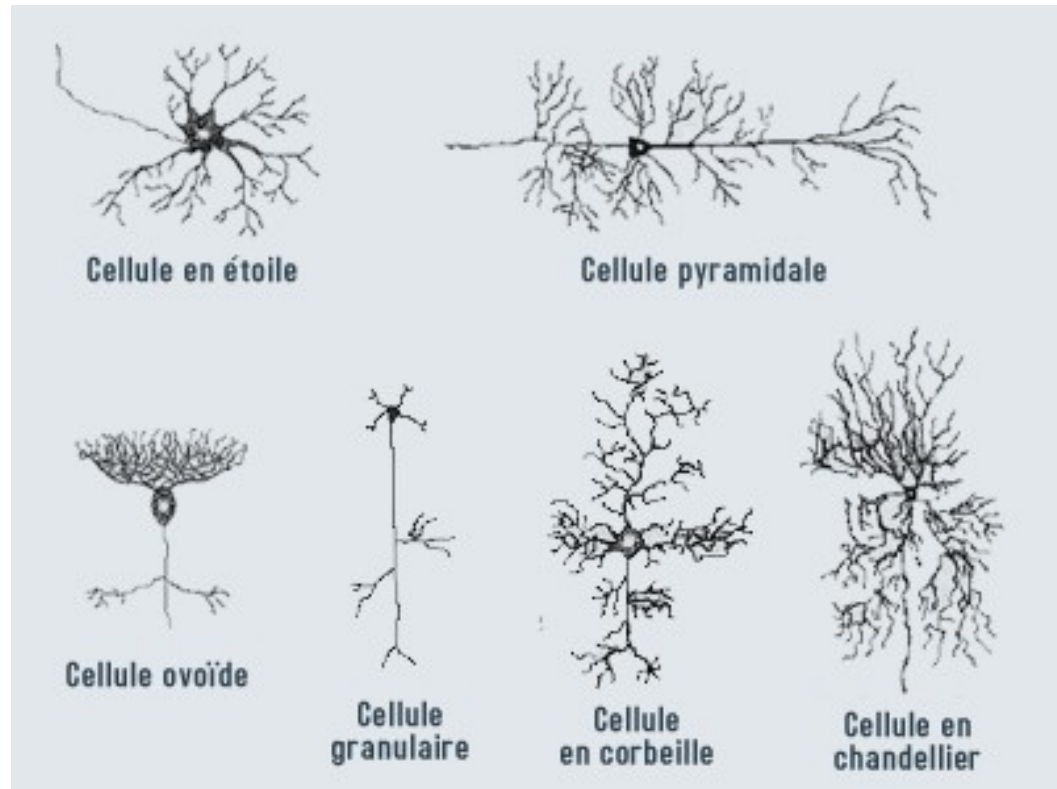
# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

## L'apprentissage

- Mécanisme le plus répandu : principe de Hebb (Donald Hebb , 1949)
  - Des neurones qui s'activent simultanément renforcent leur connexion.
  - → lorsque deux neurones se dépolarisent simultanément, la synapse augmente le nombre de neurotransmetteurs (et inversement)
    - Le neurone en amont a une grande incidence sur l'activation du neurone en aval, cette connexion doit se renforcer.
- Mécanisme dérivé : la polarisation à long terme (utilisée par les neurones de l'hippocampe, mais pas seulement)
  - En cas de stimulation à haute fréquence, la connexion synaptique est renforcée pour une longue durée

# Introduction à l'Intelligence Artificielle : Le cerveau

Les principaux types de neurones (>200 types) :



De nouveaux types sont régulièrement découverts

→ Le dernier en date a été découvert en 2018 (neurones baptisés rosehip)