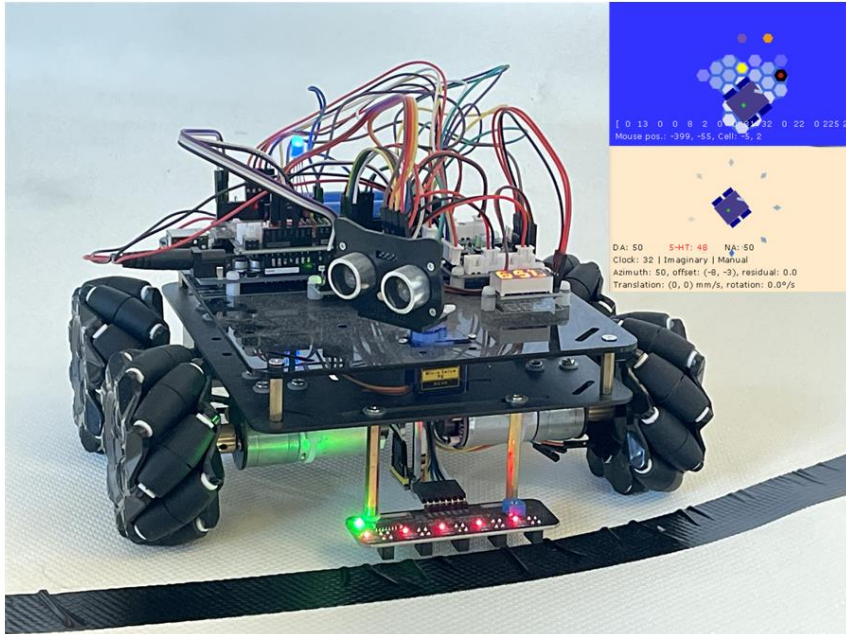


Intelligence Artificielle Développementale



23 Septembre 2025

olivier.georgeon@gmail.com

<http://www.oliviergeorgeon.com>

Déroulement du cours

UE « IA et Cognition » (30h): Marie Lefevre

Module « IA Développementale » (9h) Olivier Georgeon

- Mercredi 23 septembre: 4.5h
- Mercredi 30 septembre: 4.5h

Contrôle des connaissances:

- TD par groupe de 2: 33% de la note de contrôle continu
- Rendu par mail le **dimanche 18 octobre**
- Examen final: 6 points sur 20

Objectifs pédagogiques

Après ce cours, vous serez capables de:

- Cours
 - Expliquer ce qu'est l'IA développementale
 - Expliquer les inspirations en provenance de la philosophie, l'épistémologie, les sciences cognitives, la psychologie
 - Nommer quelques auteurs de référence en IA développementale
 - Différencier IA en domaine modélisé / non modélisé
- TD
 - Implémenter un agent minimaliste dans lequel on ne code pas a priori une ontologie du "monde".

Introduction

Qu'est ce que l'IA développementale
?

IA Développementale

- **Faire des robots capables d'apprendre comme des bébés**



Vieux rêve de l'IA

Instead of trying to produce a program to simulate the adult mind, why not rather **try to produce one which simulates the child's**? If this were then subjected to an appropriate course of education one would obtain the adult brain.

Presumably, the child brain is something like a notebook [...]. Rather little mechanism, and lots of blank sheets. [...]. **Our hope is that there is so little mechanism in the child brain that something like it can be easily programmed.** The amount of work in the education we can assume, as a first approximation, to be much the same as for the human child.

Computing machinery and intelligence
(**Alan Turing**, 1950, *Mind*, philosophy journal).



Origine du terme « développemental »

- Psychologie développementale
 - L'épistémologie génétique (Piaget 1970)
 - La construction du réel chez l'enfant (Piaget 1977)
- Jean Piaget (1896-1980)
 - https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget
 - Biologiste, psychologue, épistémologue, sociologue
 - Professeur, université de Neuchatel, Lausanne, Genève
 - Directeur du Bureau International d'Education
 - Fondateur du Centre International d'Epistémologie Génétique
- Concepts repris en IA:
 - « The construction of reality in the robot » (Ziemke 2001)

Positionnement dans le champ de l'IA

Techniques d'IA

- Raisonnement symbolique
 - Systèmes à base de règles
- Apprentissage par renforcement
 - Maximisation d'une fonction de récompense
- Apprentissage profond
 - Régression
- Apprentissage développemental
 - Mécanismes de schémas
 - Inspiré par la biologie et l'épistémologie

Système à base de règles

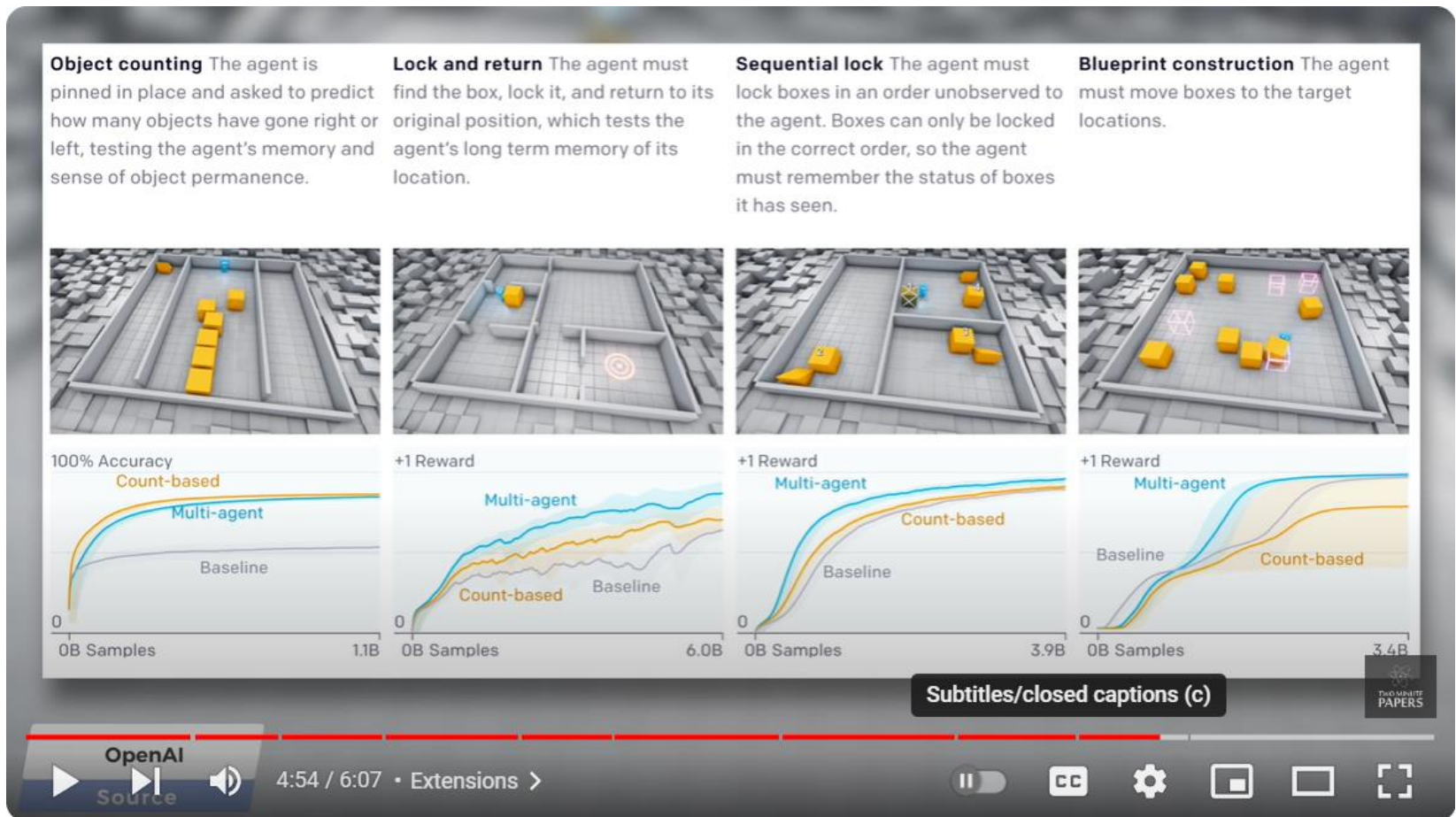
- Basé sur une **ontologie** du domaine
 - Discours sur ce qui « est »
 - Ensemble des entités, propriétés, relations, et sémantique du domaines
 - Michel Héon <https://youtu.be/UlxLBmDk9oM>

Exemple d'apprentissage par renforcement



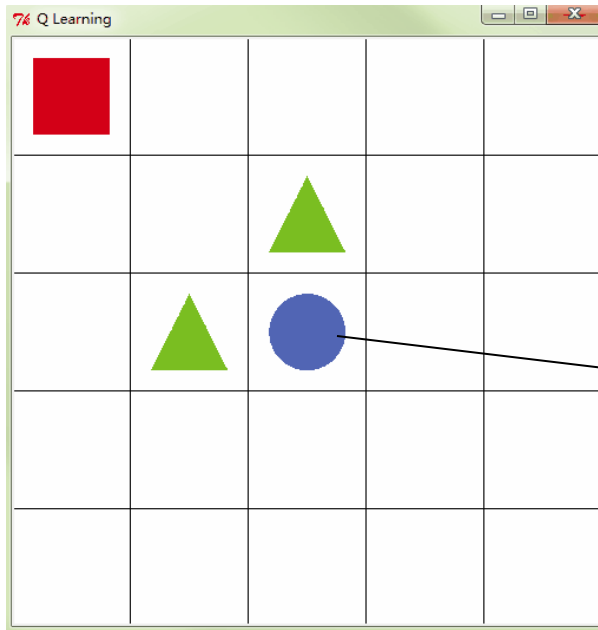
<https://youtu.be/kopoLzvh5jY?si=HdgnRpOW2zN7-eL6>

Personne n'a 6×10^9 vies !



https://youtu.be/Lu56xVIZ40M?si=Ob1re_9I34UnPM6b&t=294

Reinforcement learning



Predefined set of states

Predefined transitions

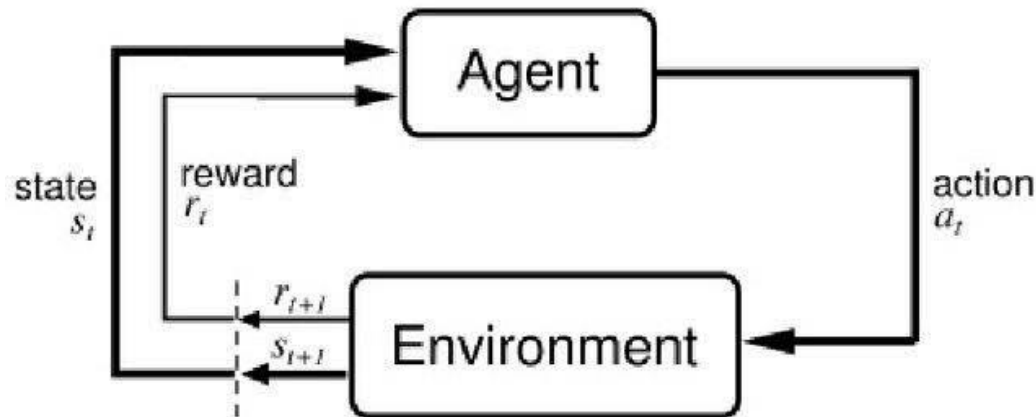
Predefined final goal and reward

Example Q-learning

<https://youtu.be/gOwU3aoEAmg>

Richard Sutton and Andrew Barto

- Reinforcement Learning: An introduction (Sutton and Barto 2014)
- <https://web.stanford.edu/class/psych209/Readings/SuttonBartoIPRLBook2ndEd.pdf>
- Markov Decision Process (MDP)

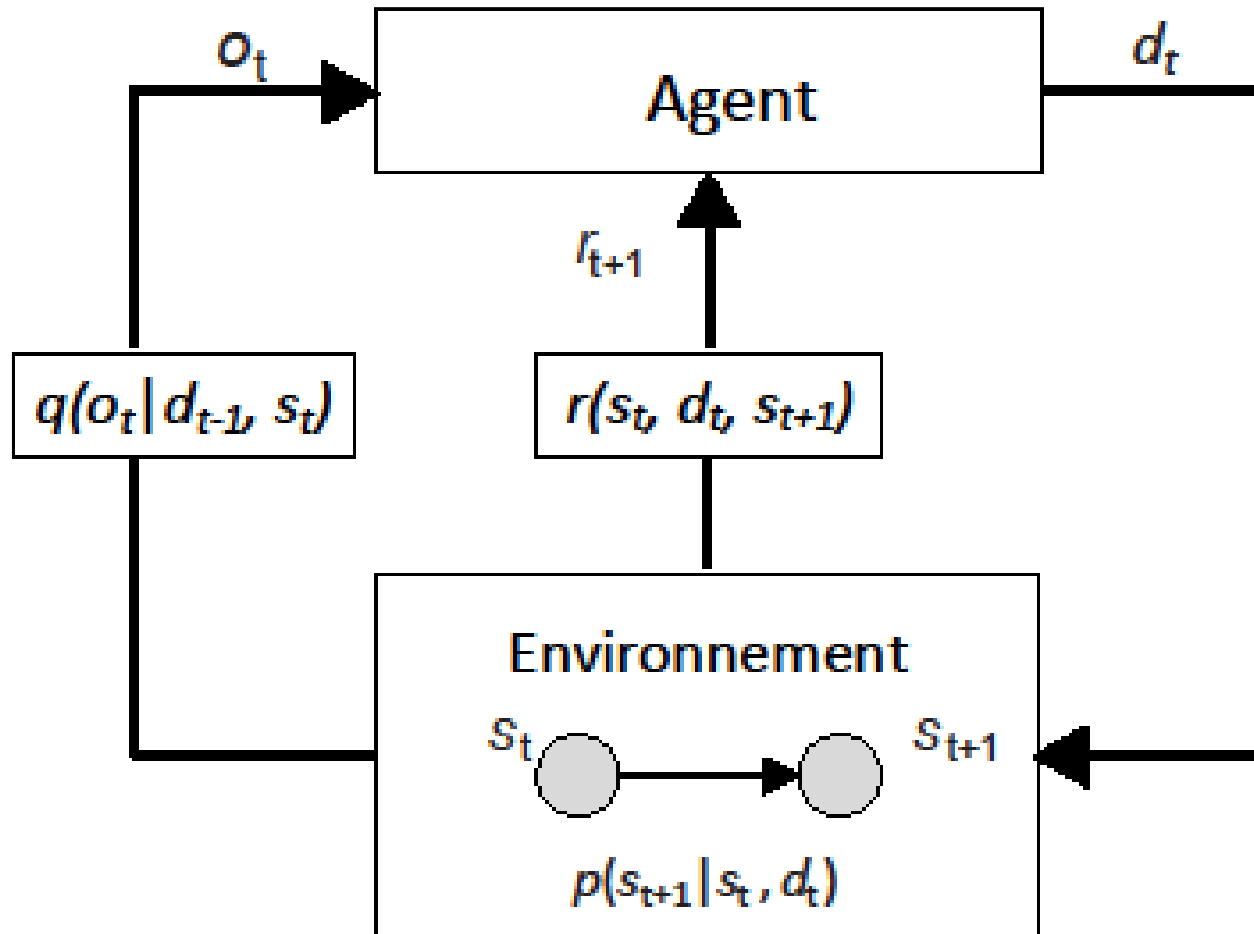


Sutton and Barto 2014

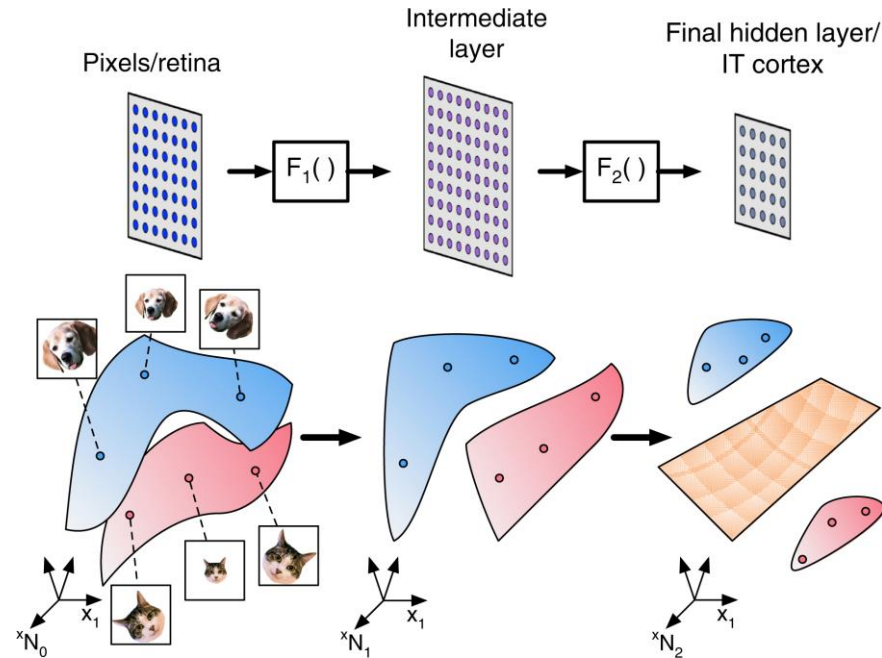
The basic idea is simply to capture the most important aspects of the real problem facing a learning agent interacting with its environment to achieve a goal. Clearly, such an agent must be able to sense the state of the environment to some extent and must be able to take actions that affect the state. The agent also must have a goal or goals relating to the state of the environment. The formulation is intended to include just these three aspects — **sensation, action, and goal** — in their simplest possible forms without trivializing any of them (p. 2).

What we would like, ideally, is a **state signal** that summarizes past sensations compactly, yet in such a way that all relevant information is retained. This normally requires more than the immediate sensations, but never more than the complete history of all past sensations. A state signal that succeeds in retaining all relevant information is said to be Markov, or to have the **Markov property**. (p64).

Partially Observable Markov Decision Process (POMDP)



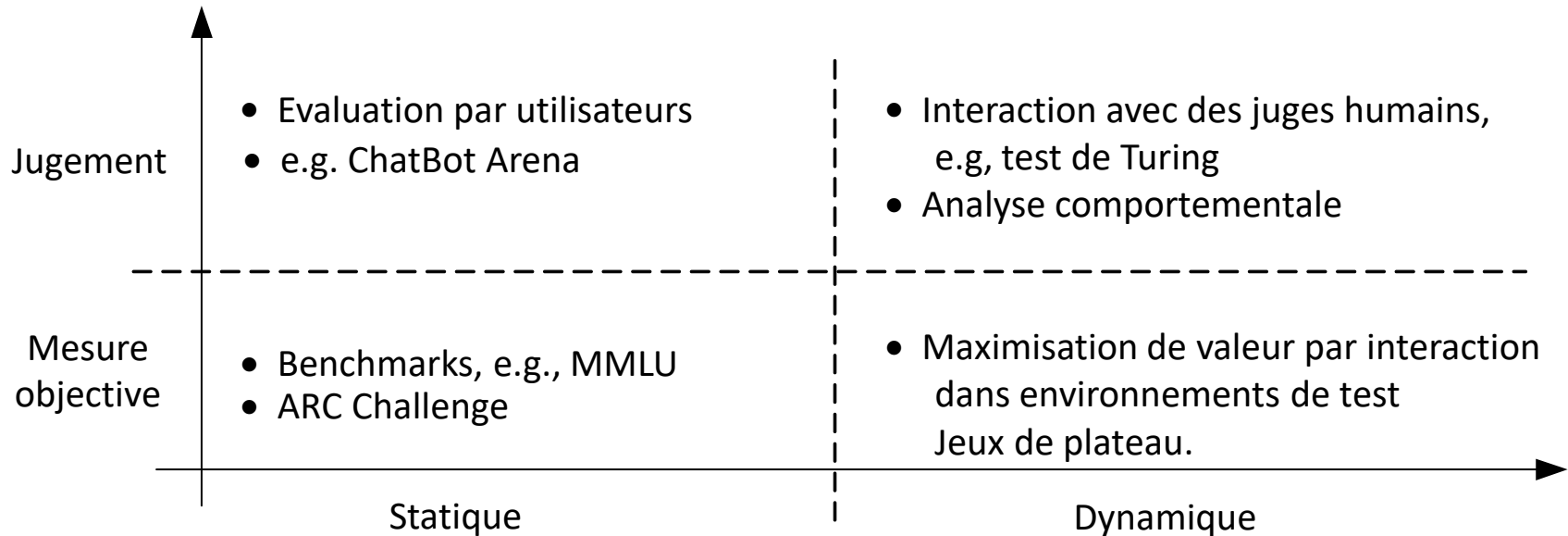
Deep learning



- Nécessite des données étiquetées
- Pas d'apprentissage incrémental

Objectifs, évaluation, applications

Modes d'évaluation



Legg and Hutter, *Universal Intelligence : A Definition of Machine Intelligence*, (2007), <http://arxiv.org/abs/0712.3329>

Statique vs dynamique

- **Tests statiques**

- Capacité à résoudre un problème présenté en une seule fois
- Exemple: Benchmarks de LLM (MMLU)
- Focalise sur le raisonnement et la connaissance

- **Tests dynamiques**

- L'agent interagit avec l'environnement de test pendant une certaine période de temps
- Exemple: gagner à un jeu de plateau
- Focalise sur la mise en place d'une stratégie

Measuring Massive Multitask Language Understanding (MMLU)

Mesure le taux de réponses correcte

Conceptual Physics	When you drop a ball from rest it accelerates downward at 9.8 m/s^2 . If you instead throw it downward assuming no air resistance its acceleration immediately after leaving your hand is	
	(A) 9.8 m/s^2	✓
	(B) more than 9.8 m/s^2	✗
	(C) less than 9.8 m/s^2	✗
College Mathematics	(D) Cannot say unless the speed of throw is given.	✗
	In the complex z -plane, the set of points satisfying the equation $z^2 = z ^2$ is a	
	(A) pair of points	✗
	(B) circle	✗
	(C) half-line	✗
	(D) line	✓

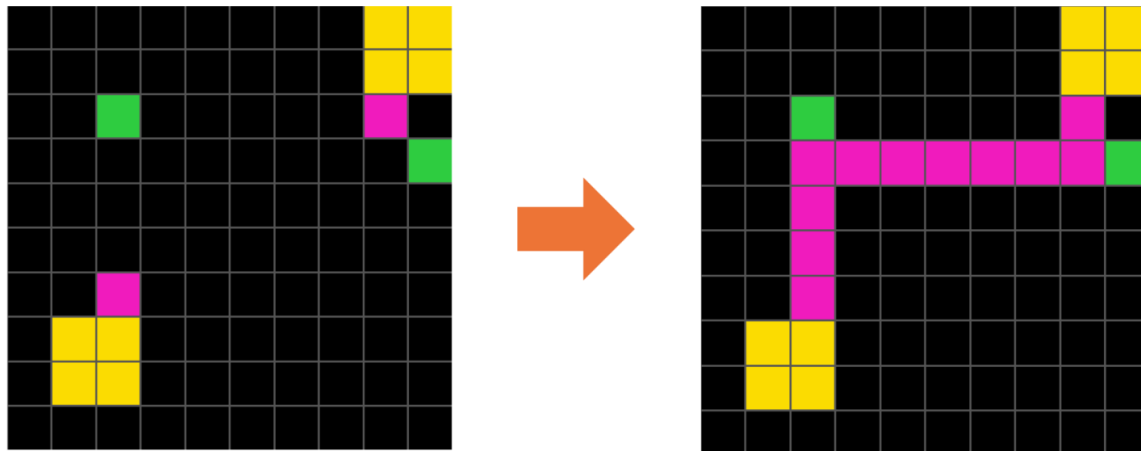
Figure 4: Examples from the Conceptual Physics and College Mathematics STEM tasks.

ARC: Socle de connaissance

- **Géométrie élémentaire, spatialisation** : reconnaître et manipuler des formes simples (lignes, rectangles, triangles, cercles). Différencier les formes même après des transformations (rotation, translation, symétrie, déformation). Détecter les positions et distances.
- **Objets et leur persistance** : Les objets existent de manière continue ; ils ne peuvent pas apparaître ou disparaître sans raison ; ils peuvent interagir selon les circonstances
- **Nombres et comptage** : il est possible de compter des petits nombres d'objets ou propriétés, et former des groupes dénombrés.
- **Agentivité** : certains objets peuvent être identifiés comme « agents » poursuivant une intention ou un but. On distingue les objets animés et inanimés.

Abstract Reasoning Challenge

<https://arcprize.org/play>



CONGRATULATIONS !

You've solved the ARC Prize Daily Puzzle. You are still more (generally) intelligent than AI.

Mesure objective vs. jugement

- Il existe une mesure numérique de la capacité à atteindre un objectif
 - *Universal Intelligence* de Legg et Hutter (2007):
Espérance de gain sur tous les environnements possibles pondérés par leur complexité
- Il n'existe pas de mesure numérique
 - On attend d'une vraie intelligence qu'elle soit capable de désobéir ou de renoncer à un objectif (Beyond reward and punishment, David Deutsch 2019)
 - « I am not what happened to me, I am what I choose to become » (Carl Jung)

Chatbot Arena

<https://lmarena.ai/>

The screenshot shows the LMArena website interface. The browser tab is 'Overview Leaderboard | LMArena'. The address bar shows 'lmarena.ai/leaderboard/'. The page has a navigation bar with tabs: Overview, Text, WebDev, Vision, Text-to-Image, Image Edit, Search, and a 'Start Voting' button. The 'Overview' tab is active, displaying a welcome message and a link to explore deeper insights. Below the navigation bar, there are two main sections: 'Text' and 'WebDev'. Each section has a table of ranked models. The 'Text' section is updated '3 days ago' and lists: 1. gemini-3-pro, 2. grok-4.1-thinking, 3. grok-4.1. The 'WebDev' section is updated '2 days ago' and lists: 1. gemini-3-pro, 2. gpt-5.1-medium, 3. claude-sonnet-4-5-20250929-t... On the left sidebar, there is a 'New Chat' button, a 'Leaderboard' button, and a 'Start building' button. A 'Hide this' button is also visible.

Overview Leaderboard | LMArena

lmarena.ai/leaderboard/

Trace player example English to French, It... Debugging JavaScri... adb Le Monde.fr - Actua... Springer LaTeX tem... Tous les favoris

LMArena

New Chat

Leaderboard

Overview Text WebDev Vision Text-to-Image Image Edit Search Start Voting

See how leading models stack up across text, image, vision, and beyond. This page gives you a snapshot of each Arena, you can explore deeper insights in their dedicated tabs. Learn more about it [here](#).

Text 3 days ago

Rank	Model
1	gemini-3-pro
2	grok-4.1-thinking
3	grok-4.1

WebDev 2 days ago

Rank	Model
1	gemini-3-pro
2	gpt-5.1-medium
3	claude-sonnet-4-5-20250929-t...

Build, compare, and vote in the Code Arena

Our new Code feature lets you chat your way to real apps and websites.

Start building

Hide this

Take your chats anywhere

Analyse des comportements

Where's the action? The pragmatic turn in cognitive science (Engel et al., 2013)

Opinion

Trends in Cognitive Sciences May 2013, Vol. 17, No. 5

Box 2. Deployment of sensorimotor contingencies for object categorization

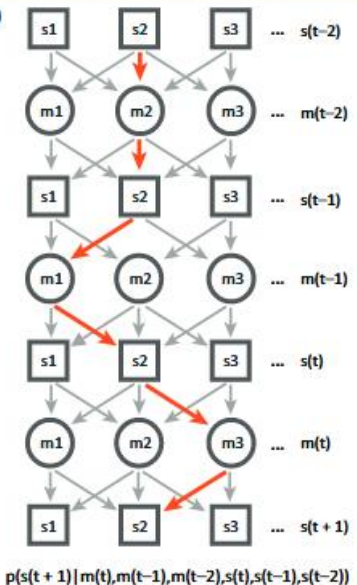
In a recent study [57], a simple computational model of object recognition was developed in which actions are an integral component of the perceptual process. In this model, sensorimotor contingencies (SMCs) were implemented as multistep, action-conditional probabilities of future sensory observations. Using the LEGO Mindstorms™ toolkit, a mobile robot was assembled that could move along a line and was equipped with an ultrasound distance sensor (Figure 1A). It could use its two arms together with its locomotion to move two different objects into different directions. By activating different SMCs, the system learned to distinguish the two object classes. SMCs were implemented by a set of Markov models with increasing history lengths. A record of past movements and sensory observations determined

the system's current action context (Figure 1B). In this model, learning of SMCs corresponded to determining the conditional probability of making a sensory observation given the past movements and observations. The robot experiment showed that different objects generated different probability distributions, which could partially overlap. The size of the overlap depended on history length. Short history lengths produced distributions with large overlap for different objects, reflecting the general effect of movements on the sensor readings independently of the object under consideration. With increasing history length, the conditional probability became more and more object-specific, suggesting that SMCs can be used for the learning of object concepts [92].

(A)

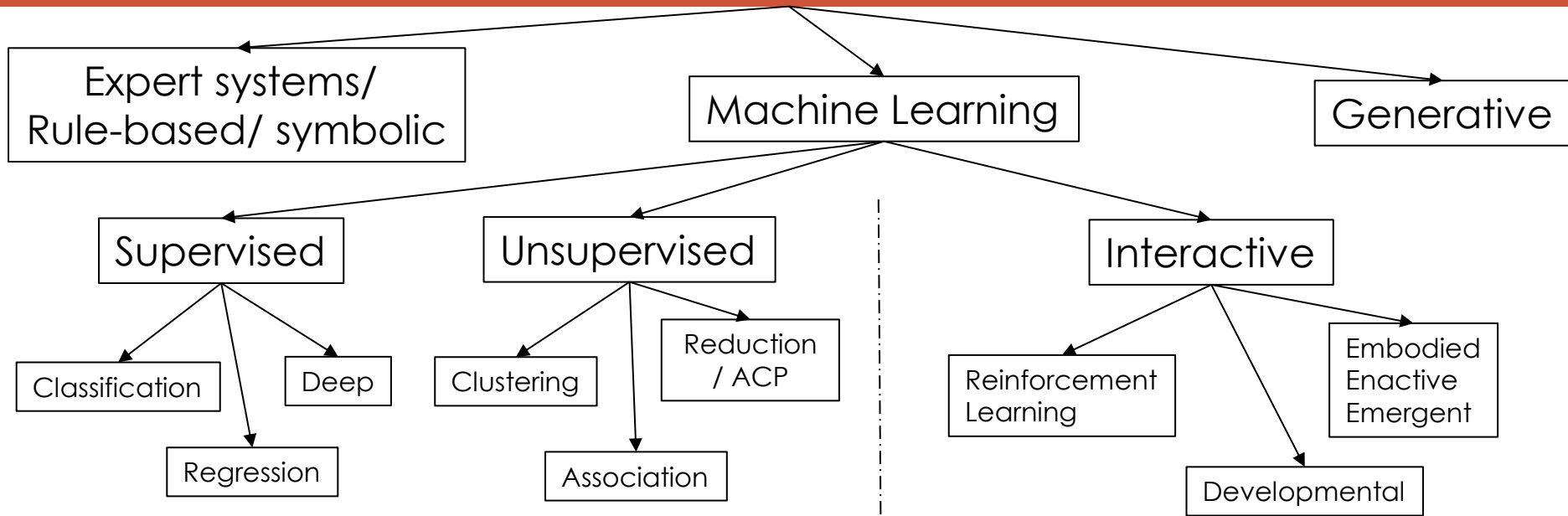


(B)

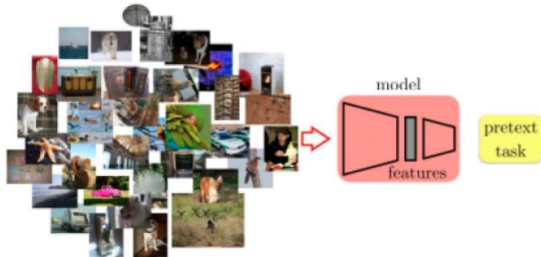


TRENDS in Cognitive Sciences

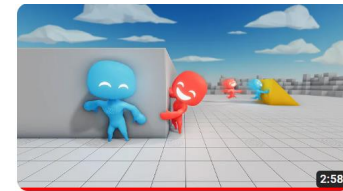
Vue d'ensemble de « l'IA »



Single decision problems
Offline training from samples



Sequential decision problems
Incremental / online learning



Inspiration en philosophie et épistémologie

Signal Sensoriel non Représentationnel

- Signal sensoriel représentationnel
 - Reflète une propriété d'un objet de l'environnement (couleur, forme, gout...)
 - Propriété ontologique de l'environnement
- Signal sensoriel non représentationnel
 - Événement (collision, changement de luminosité...)

Cas d'un système déterministe

Le signal sensoriel $o \in O$ est **représentationnel** si et seulement si il existe une partition $\{S_1, S_2\}$ de S telle qu'à chaque instant, tout état appartenant à S_1 engendre o , et aucun état appartenant à S_2 n'engendre o :

$$\exists \{S_1, S_2\} \in \mathcal{P}(S), \quad \forall t \in T, \quad \left\{ \begin{array}{ll} \forall s \in S_1, & \mathcal{O}_t(s) = o \\ \forall s \in S_2, & \mathcal{O}_t(s) \neq o \end{array} \right.$$

$o \in O$ est non représentationnel s'il existe au moins un état s de l'environnement qui génère parfois o et parfois un autre signal différent de o .

Cas d'un système stochastique

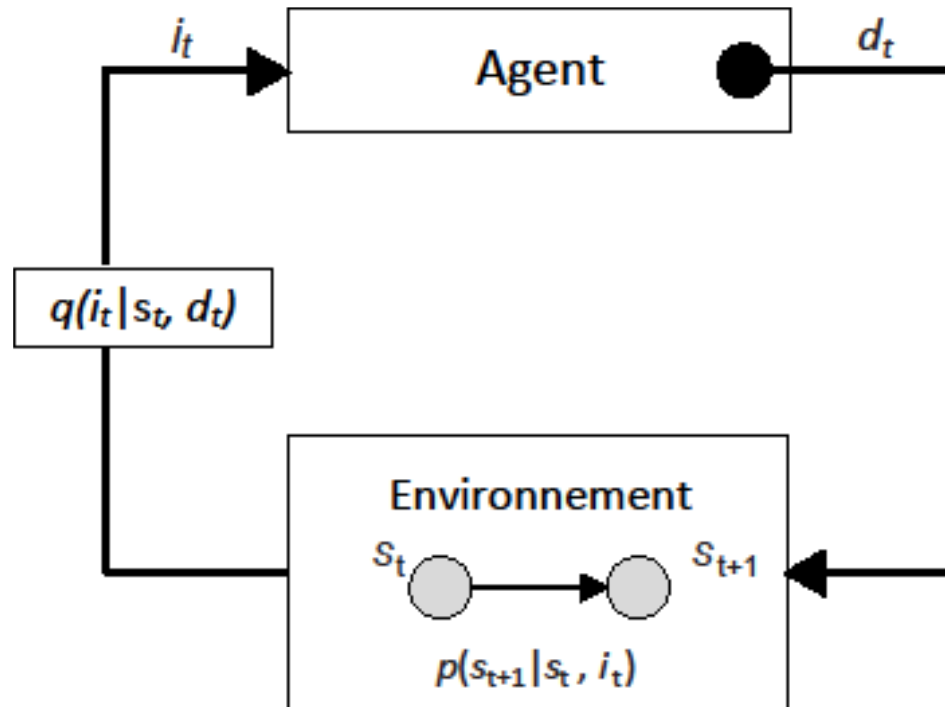
$o \in O$ est représentationnel s'il est toujours tiré de la même distribution stochastique dépendante de s uniquement $q(o_t|s_t)$.

Le signal sensoriel ne dépend pas uniquement de l'état de l'environnement.

Par exemple $q(o_t|d_{t-1}, s_t)$

Enactive Decision Process (EDP)

- Le cycle débute par la décision de l'agent
- Pas de signal de récompense représentationnel



Travaux dirigés

Séance 1

Exercice

Deux actions possibles $A = \{0, 1\}$

Deux outcome possibles $O = \{0, 1\}$

Quatre interactions possibles $I = A \times O = \{00, 01, 10, 11\}$

Environnement

- $\text{env}_1: 0 \rightarrow 0, 1 \rightarrow 1$ (01 et 10 ne se produisent jamais)
- $\text{env}_2: 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0$ (00 et 11 ne se produisent jamais)

Implémenter un agent qui apprenne à anticiper son outcome sans connaître a priori son environnement (env_1 ou env_2).

Il change d'action quand il commence à s'ennuyer

Produire un rapport d'analyse de comportement basés sur les traces.

Consignes pour les TP

- Par groupe de 2.
- Rendre un seul rapport à la fin .PDF
- Indiquer bien le nom des deux membres du groupe
- Envoyer par mail à olivier.georgeon@gmail.com pour le **dimanche 18 octobre** 23h59
- Pour chaque agent 1 à 3
 - Décrire les principes de l'algorithme que vous avez implémenté
 - Inclure des captures d'écran des traces affichées à la console dans différents environnements
 - Expliquer les comportements obtenus en vous appuyant sur les traces.
- Conclure sur ce que vous retirez de cette expérience et suggestions de comment aller plus loin

Setup

Suivre la procédure écrite dans README.md:

<https://github.com/OlivierGeorgeon/Developmental-AI-Lab>

Vous avez deux méthodes possibles :

1. Cloner (ou downloader) le repository
2. Ouvrir les notebook avec Google.colab ou un autre outil online

Méthode 1: Exécuter world.py et vérifiez que vous obtenez la trace d'interaction montrées dans les consignes

Dans les deux cas: Rendre un seul fichier PDF le 18 octobre

Agent 1

Dans le fichier world.py, modifier la class Agent pour créer l'Agent 1 en suivant les instructions :

<https://github.com/OlivierGeorgeon/Developmental-AI-Lab/blob/master/docs/Agent-1.md>

Tester votre agent dans Environment1 puis dans Environment2 en commentant et décommentant les lignes appropriés