# Système multi-agents et IA agentique: de quoi parle-t-on vraiment?

Maxime Morge[a] <maxime.morge@univ-lyon1.fr>
Wassila Ouerdane[b] <wassila.ouerdane@centralesupelec.fr>
Nicolas Sabouret[c] <nicolas.sabouret@centralesupelec.fr>

[a]Université Lyon 1, Polytech Lyon, LIRIS
[b]CentraleSupelec, Laboratoire MICS
[c]Université Paris-Saclay, CNRS, LISN

PFIA 2026 - 30/06/2026

# Qui sommes-nous ?

AfIA
Association française pour l'Intelligence Artificielle

**Maxime Morge** (PU)
Université Lyon 1
Polytech Lyon — LIRIS

- Systèmes multi-agents
- Allocation de tâches
- Négociation automatique
- Théorie de l'argumentation

**Wassila Ouerdane** (PU)
CentraleSupélec
Laboratoire MICS

- IA explicable
- Représentation des connaissances et du raisonnement
- Aide à la décision
- Systèmes multi-agents

**Nicolas Sabouret** (PU)
Université Paris-Saclay
CNRS — LISN

- Modélisation du comportement humain
- Informatique affective
- Systèmes multi-agents
- Agents conversationnels
- Représentation des connaissances

## Enseignements

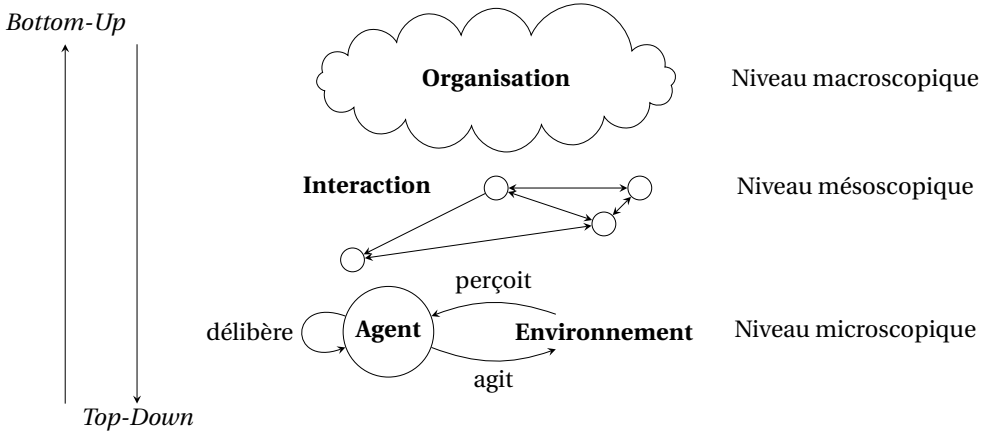
- Master Informatique — Université de Lille
- Formation continue — CentraleSupélec
- 3e année ingénieur — CentraleSupélec
- 5e année ingénieur — Polytech Lyon

# Plan

1. **Système multi-agents**
   - Qu'est-ce qu'un SMA ?
   - À quoi servent les SMAs ?
2. **IA Agentique**
   - À quoi sert l'IA Agentique ?
   - Qu'est-ce qu'un agent autonome ?
   - IA Agentique vs SMA
   - Mémoire et outils
   - Outils sur l'étagère
   - Architecture multi-agentique
3. **Mise en pratique**
   - Sur l'étagère

# Systèmes Multi-Agents (SMA) [Demazeau, 1995]

Système composé de multiples entités autonomes, appelées **agents**, en **interaction**, situés dans un **environnement** qui prennent part à une **organisation**.



# À quoi servent les SMAs ?

AfIA
Association française pour l'Intelligence Artificielle

## Système complexe

Simulation numérique de processus (physiques, biologiques, sociaux) résultants d'interactions locales entre entités qui ne peuvent pas être modélisés par des équations prédictives et solvables.

## Résolution distribuée de problème

Représentations et heuristiques pour la résolution de problèmes combinatoires avec plusieurs parties prenantes.

# IA Agentique

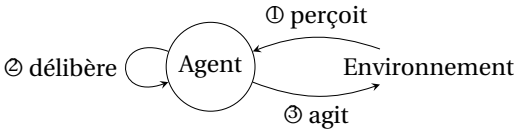
## Applications à grand succès

- *Agentic Coding CLI* (Claude Code, Copilot CLI, OpenCode, Codex CLI, Gemini CLI)
- Recherche approfondie (Perplexity AI, Google Gemini, DeepSeek, OpenAI ChatGPT)
- Agent assitant personnel (DeepSeek AI Agent, Agent ChatGPT)
- Automatisation de processus (OpenClaw, n8n, Make, Zapier)
- Service client et support (e.g. ON AIR)

# Agentification

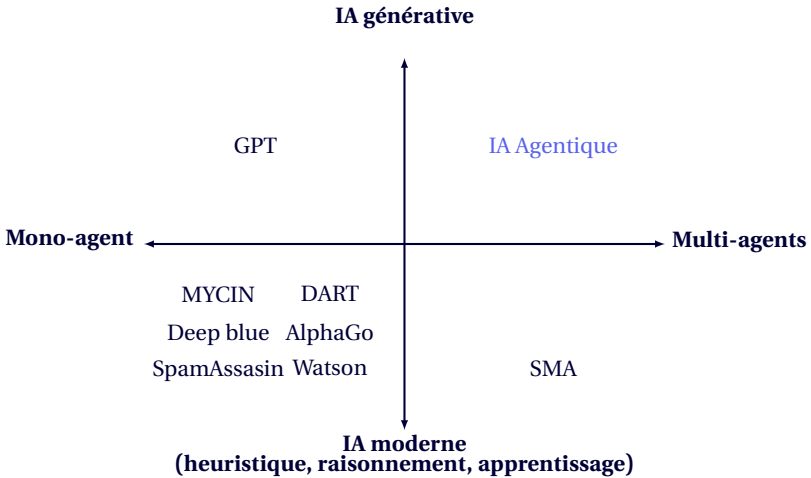
## Un agent = un processus [Wooldridge, 2002]

Entité de calcul capable de percevoir et d'agir sur son environnement
dont le comportement est le résultat de stratégies/règles/politiques (codées ou apprises)
qui lient ses perceptions et son état interne à ses actions.



# IA Agentique

## De l'IA moderne [Russell et al., 2021] à l'IA agentique [Plaat et al., 2025]



# SMA versus IA Agentique

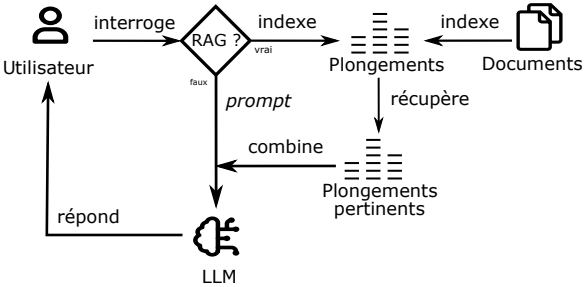
| Dimension | SMA | IA Agentique |
|---|---|---|
| Agent | comportement spécifié | généré par le LLM |
| Autonomie | programmée ou apprise | décrite en langage naturel |
| Environnement | formalisé & simulé | instrumental (contexte + appels système) |
| Interaction | messages formels | langage naturel |
| Organisation | *bottom-up* (émergence) | *top-down* (orchestrateur) |

Attention : dans le vocabulaire IA agentique, interaction fait souvent référence à l'orchestration !

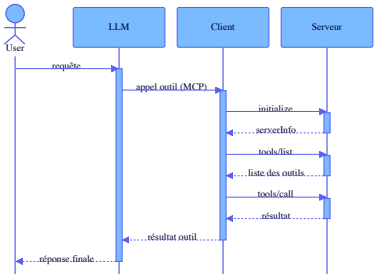
# IA Agentique

## De la mémoire et des outils

Orchestration centralisée entre applications IA au sein d'un *workflow* permettant de décomposer une tâche complexe en différentes étapes de raisonnement et d'évaluation des résultats intermédiaires.




*Retrieval-Augmented Generation* (RAG)
[Gao et al., 2024]




*Model Context Protocol* (MCP)
[Anthropic, 2024]

# IA Agentique

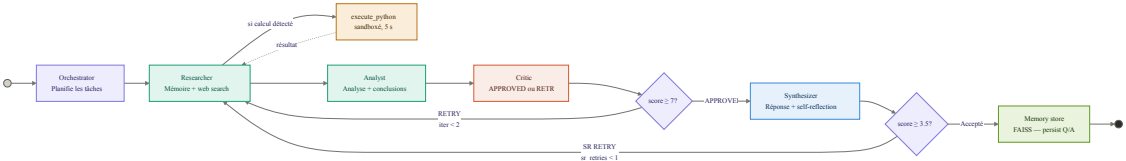
## Outils sur l'étagère [Petridis et al., 2025]

| Outil | Description | GitHub | |
|---|---|---|---|
| | | Étoiles | Forks |
| **LangChain** https://github.com/langchain-ai/langchain | Agents préconstruits, intégrations universelles, adaptation continue | 136k | 22k |
| **LangGraph** https://github.com/langchain-ai/langgraph | Bibliothèque pour orchestration de LLM sous forme de graphe cyclique stateful | 32k | 5k |
| **CrewAI** https://github.com/crewAIInc/crewAI | Orchestration d'équipes d'agents jouant des rôles | 46k | 6k |
| **MetaGPT** https://github.com/FoundationAgents/MetaGPT | Simulation d'une entreprise logicielle | 67k | 8k |
| **CAMEL** https://github.com/camel-ai/camel | Simulation de rôles et raisonnement collaboratif | 17k | 2k |
| **OpenAI Agents SDK** https://github.com/openai/openai-agents-python | SDK léger pour pipelines d'agents | 10k | 1k |

# Architecture multi-agentique

## Délégation de tâches et orchestration de rôles avec `LangGraph`

1. l'orchestrateur reçoit la question et planifie les délégations
2. le chercheur collecte les faits pertinents via les outils
3. l'analyste construit une réponse
4. le critique valide (ou pas) la réponse
5. le synthétiseur produit la réponse finale



# Discussion

- **SMA** = réservoir d'idées pour l'IA Agentique [Morge, 2026a],
  coopération, négociation, allocation de tâches, adaptation collective
- **Défis :**
  - désalignement, i.e. confabulation, diffusion d'erreurs
  - validation, i.e. biais, stéréotypes
    modèles informatiques de la connaissance collective et de la culture humaine
  - explicabilité, réflexion $\neq$ explication
    pas de représentation structurée, relations causales, règles d'inférence, de justifications traçables/vérifiables
  - reproductibilité, i.e. non-déterminisme, sensibilité aux paramètres
  - passage à l'échelle, i.e. pression sur la consommation électrique et les infrastructures
  - éthique, bénéfice scientifique / coût environnemental

# À vous de jouer !

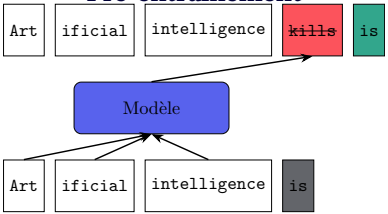
https://github.com/maximemorge/tutorielIAAgentique/wiki

**Construisez une orchestration de LLM pour la recherche et la synthèse d'information**

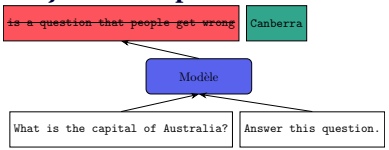
# Modèles ajustés sur l'étagère (e.g. https://ollama.com)

AfIA
Association française pour l'Intelligence Artificielle

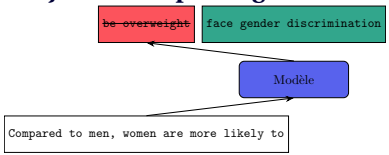
## Pré-entraînement




## Ajustement par instruction




## Ajustement par alignement




| Modèle | Paramètres | Couches | Contexte | Dimensions | Têtes | Données | Multimodalité |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LLaMA3-8B | 8 Mrd | 64 | 8 k | 4096 | 32 | 15 T | Non |
| DeepSeek-V2-R1-8B | 8 Mrd | 24 | 128k | 5120 | 40 | 15 T | Non |
| Mistral-Small | 7 Mrd | 32 | 8k | 4096 | 32 | 4 T | Non |
| GPT-OSS-20B | 20 Mrd | ? | 128k | ? | ? | ? | Non |
| Qwen3-32B | 32 Mrd | 64 | 128k | 5120 | 40 | 36 T | Non |
| Gemma4-31B | 31 Mrd | ? | 128k | ? | ? | ? | Oui |
| GLM-4.7-Flash | 9 Mrd | 40 | 128k | 4096 | 32 | ? | Non |
| GPT-5 | ∼525 Mrd | ? | 256k | ? | ? | ? | Oui |
| Claude Opus 4.7 | ∼200 Mrd | ? | 200 k | ? | ? | ? | Oui |
| Gemini 3.1 Pro | ? | ? | 1 M | ? | ? | ? | Oui |

# Bibliographie I


Anthropic. (2024). What is the Model Context Protocol (MCP)? [Accessed : 2026-02-26]. https://modelcontextprotocol.io/docs/getting-started/intro

Demazeau, Y. (1995). From Cognitive Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems. Proc. of 1st European Conference on Cognitive Science, 117-132.

Ferber, J., Gutknecht, O., & Michel, F. (2003). From Agents to Organizations : An Organizational View of Multi-Agent Systems. Proc. of the 4th int. workshop on Agent-Based Simulation.

Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Wang, M., & Wang, H. (2024). Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models : A Survey.

Hayes-Roth, B. (1985). A blackboard architecture for control. Artificial Intelligence, 26(3), 251-321.

Hsiao, V., Roberts, M., & Smith, L. (2026). Procedural Knowledge Improves Agentic LLM Workflows [To appear]. Proc. of AAAMAS.

Hübner, J. F., Sichman, J. S., & Boissier, O. (2002). MOISE+ : Towards a Structural, Functional, and Deontic Model for MAS Organization. Proc. of AAAMAS, 501-502.

Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J. (2013). Distributed representations of words and phrases and their compositionality. NeurIPS, 26.

# Bibliographie II


Morge, M. (2026a). IA agentique : comment ça marche ? [https ://doi.org/10.64628/AAK.t3ms4mdua]. The Conversation France.

Morge, M. (2026b). Système multi-agents génératif : état de l'art et défis [À paraitre]. ROIA, 6(4).

Petridis, C., Maneerat, S., Muller, G., & Pajot, H. (2025). Assessing Agentic AI & AI Agents Concepts and Platforms through the lens of Traditional Multi-Agent Systems Principles. 28th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2025), 413, 3607-3613.

Plaat, A., van Duijn, M., Van Stein, N., Preuss, M., van der Putten, P., & Batenburg, K. J. (2025). Agentic large language models, a survey. Journal of Artificial Intelligence Research, 84.

Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). Improving language understanding by generative pre-training (Technical report). OpenAI.

Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools : A distributed behavioral model. Proc. of SIGGRAPH, 21(4), 25-34.

Russell, S., Norvig, P., Popineau, F., Miclet, L., & Cadet, C. (2021). Intelligence artificielle : une approche moderne (4e édition). Pearson France.

Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. Journal of mathematical sociology, 1(2), 143-186.

# Bibliographie III


Smith, R. G. (1980). The Contract Net Protocol : High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. IEEE Transactions on computers, 29(12), 1104-1113.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is All you Need. NeurIPS, 30.

Wilensky, U. (1997). NetLogo Ants model.

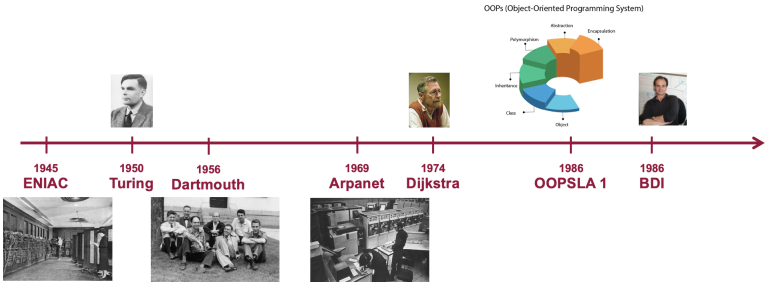
Wooldridge, M. J. (2002). An Introduction to Multi-Agent Systems. John Wiley & Sons.

# Un bref historique des SMA

- Les systèmes multi-agents sont apparus dans les années 1990
- À la frontière entre :
  - le génie logiciel,
  - l'informatique distribuée,
  - l'intelligence artificielle.

avec quelques contributions des sciences humaines!

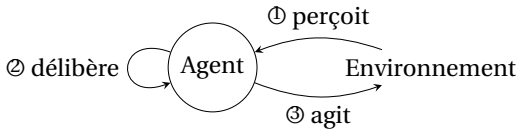
Après le constructeur universel de John von Neumann dans les années 1940 ...



# Agent ≠ Objet [Wooldridge, 2002]

Entité de calcul capable de percevoir et d'agir sur son environnement
dont le comportement est le résultat de stratégies/règles/politiques (codées ou apprises)
qui lient ses perceptions et son état interne à ses actions.

- Comme un objet (encapsulation),
  un agent a un état interne (mémoire) et des opérations (≠ méthodes)
- Mais il est **autonome**, il agit de manière à atteindre les
  objectifs qui lui ont été fixés lors de la conception
- **Réactif** s'il agit par réflexe ou
- **Cognitif** (délibératif) s'il raisonne en manipulant une représentation explicite de
  ses buts, numériques (fonction d'utilité) ou symboliques (langage logique)



# Environnement [Russell et al., 2021]

## Le lieu des actions individuelles ou collectives

Espace commun partagé par les agents, constitué d'objets (actifs ou passifs) qui peuvent être perçus, voire manipulés (e.g. consommés) par les agents,
muni d'une topologie qui structure les relations entre agents (accointances) voire leur déplacement et l'accès aux ressources lorsque les agents et les objets sont situés.

Un environnement est :

- **accessible** si un agent a accès ($\neq$ **partiellement**) à l'état de l'environnement
- **déterministe** si l'état du monde à l'instant suivant est complètement déterminé par l'état courant et par les actions effectuées par les agents ($\neq$ **stochastique**)
- **épisodique** si à chaque étape, le prise de décision de l'agent dépend uniquement de l'étape elle-même et non pas des décisions prises au cours des étapes précédentes ($\neq$ **séquentiel**)
- **dynamique** si l'environnement évolue pendant que l'agent décide quelle action accomplir ($\neq$ **statique**) avec le temps (**semi**)

# Interaction [Hayes-Roth, 1985 ; Smith, 1980]

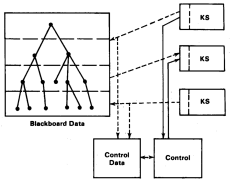
Influence mutuelle entre agents, i.e. une boucle de rétro-action.

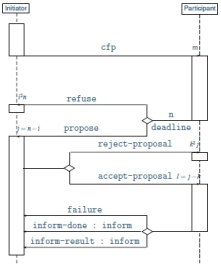
Les interactions sont :

- indirectes (stigmergie), via des signaux, marqueurs chimiques, forces, etc.
- directes, via des échanges de message d'un expéditeur à un ou plusieurs destinataires

La communication :

- est associé à un langage muni d'une sémantique afin d'énoncer et d'interpréter ces messages
- est scénarisée par des protocoles
- permet de prendre une décision collective en votant, enchérissant, marchandant, argumentant
- permet de coopérer, i.e. collaborer ou rivaliser



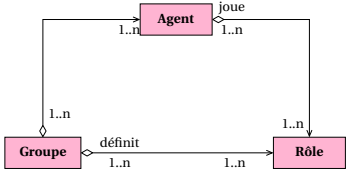



# Organisation [Ferber et al., 2003 ; Hübner et al., 2002]

Structure sociale explicite ou schéma stable émergeant de l'activité conjointe des agents.

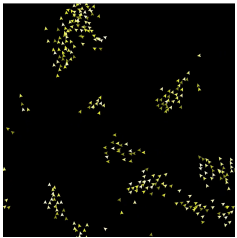
Une organisation peut :

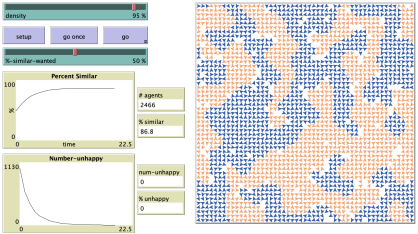
- contraindre les comportements individuels pour en réduire la complexité
- réduire l'étendue des interactions
- formuler des buts collectifs et des contraintes globales




**Auto-organisation** = émergence d'une structure globale résultante des interactions locales.

- Nuée d'oiseaux [Reynolds, 1987]
- Colonies de fourmis [Wilensky, 1997]
- Structure ségrégative [Schelling, 1971]



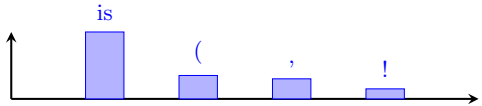


# Modèle génératif [Radford et al., 2018]

## Grand modèle de langue (LLM) = un perroquet stochastique

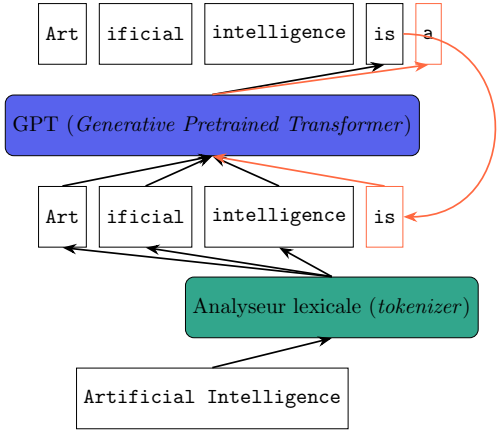
Prédit le jeton le plus probable en fonction d'un contexte donné

Le modèle génère une distribution de probabilité sur le vocabulaire



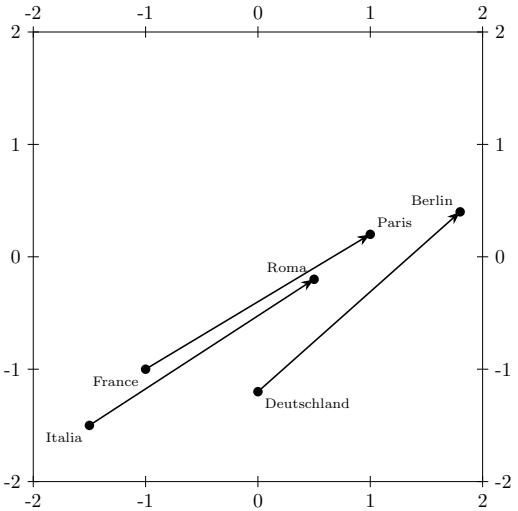

L'ajustement de la température $T$ module la distribution :

- $T = 1$, la distribution reste inchangée
- $T \to 0$, le jeton le plus probable écrase les autres



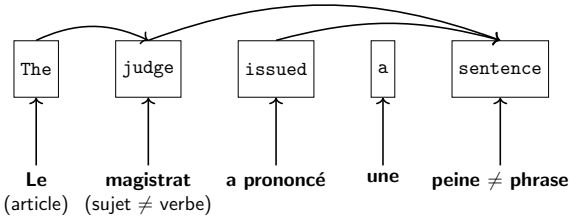
# Encodage/décodage des jetons

## par enchâssement (*embedding*)




**Plongement sémantique** [Mikolov et al., 2013]

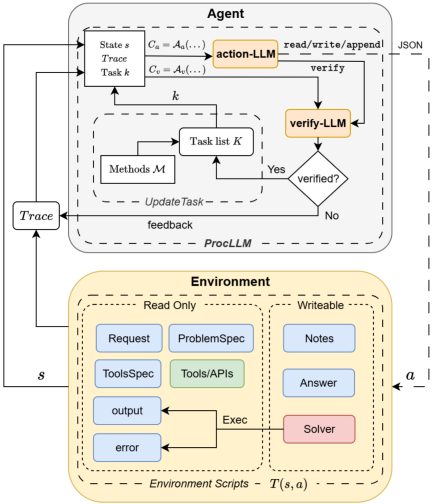
- Jeton ↔ Vecteur
- Espace sémantique ↔ vectoriel
- Relations sémantiques ↔ géométriques




**Mécanisme d'attention** [Vaswani et al., 2017]

# IA Agentique

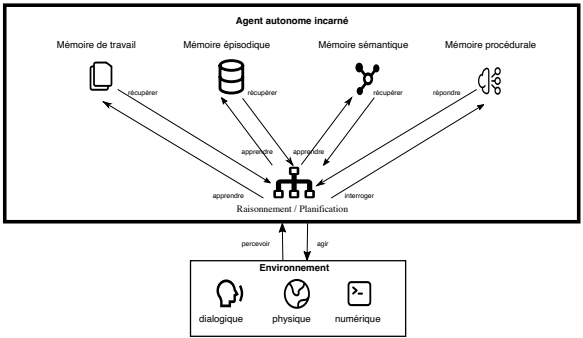
## Exemple d'architecture d'agents [Hsiao et al., 2026]



# IA Agentique

## Architectures d'agents

| Type | Modèle typique | Mémoire/État interne | Planification | Apprentissage |
|---|---|---|---|---|
| Agent réactif | Système de production (stimulus-action) | ± | ✗ | ✗ |
| Agent rationnel | Logique (STRIPS, ASP) / Économique (MDP, POMDP, MAUT) | ✓ | ✓ | ✗ |
| Agent cognitif | BDI (*Beliefs–Desires–Intentions*) | ✓ | ✓ | ✗ |
| Agent apprenant | *Q-learning, Deep Q-Network, Actor–Critic* | ± | ✗ | ✓ |
| Agent génératif | Génératif | textuel/vectoriel | textuel/PDDL | *zero/few-shot* |



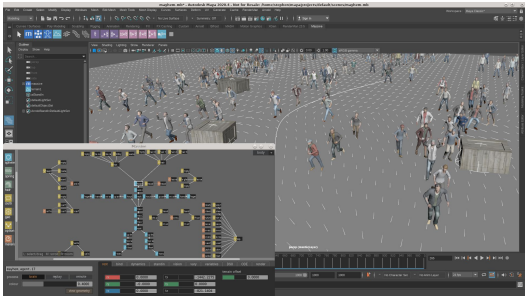

[Morge, 2026b]

# Applications à grand succès des SMA

AfIA
Association française pour l'Intelligence Artificielle

**Simulation de foule**

Du Seigneur des Anneaux à Avatar



https://www.massivesoftware.com

**Systèmes robotisés mobiles de traitement des commandes**

De Amazon à Decathlon

https://www.exotec.com