

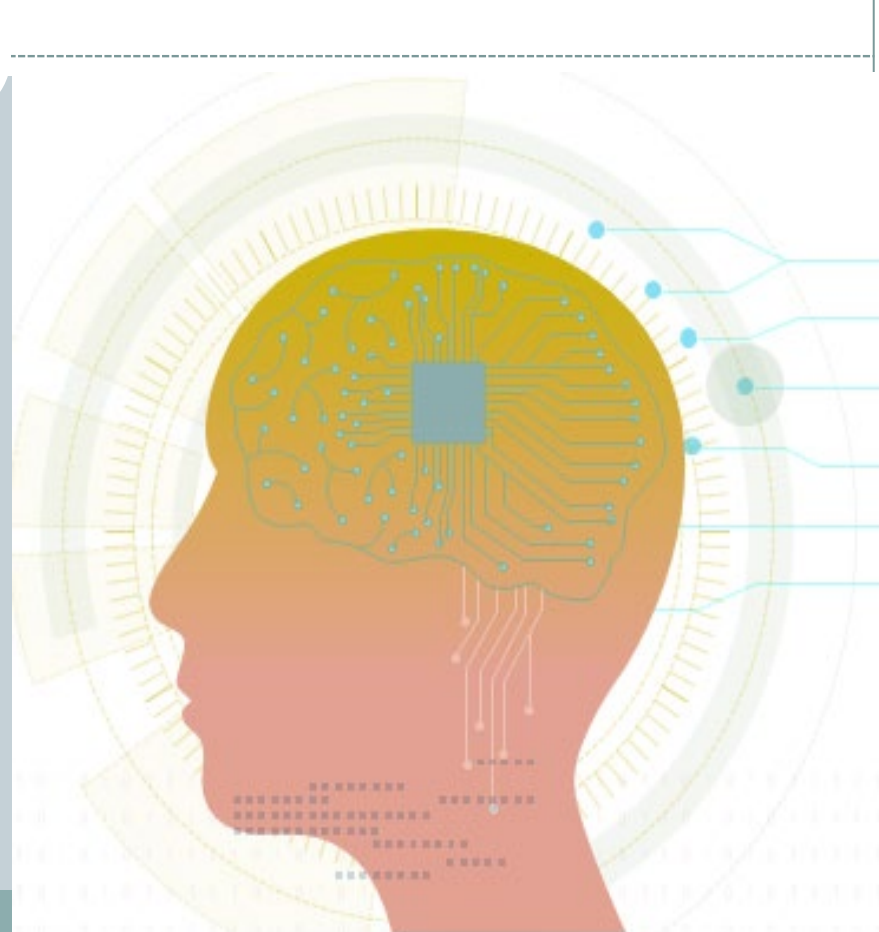
Département d'Informatique Fondamentale et ses Applications  
DIFA

Dr .Esma BENDIAB  
Maître de conférences  
Master 2 SDIA

# Systemes complexes en Intelligence Artificielle

## Introduction Générale

- **Dr. Esma BENDIAB**
- Associate Professor



# Master Academique en SDIA

2

- Semestre : **03**
- Intitulé de la Matière : **Systèmes complexes en Intelligence Artificielle**
- Code : **CSAI**
- Enseignant(e) responsable de la matière:  
**Dr Esma BENDIAB**
- Coefficient de la Matière : **3**
- Nombre d'heures d'enseignement  
(42 H sur 14 semaines)
- Cours : 1H30/ semaine TP : 1H30 /semaine

# Objectifs de l'enseignement

3

- Ce cours a pour objectif de présenter aux étudiants des concepts avancés en systèmes complexes et leur relation avec les sciences de données et l'intelligence artificielle.

## **Connaissances préalables recommandées :**

- Recherche opérationnelle,
- soft computing et metaheuristiques

# Notions abordées



- Systèmes évolutifs et adaptatifs complexes ;
- Systèmes collectifs auto-organisés ;
- • Résolution de problèmes basée sur l'IA pour les systèmes complexes ;
- • Apprentissage automatique pour les systèmes complexes ;
- • Apprentissage profond pour les systèmes complexes ;
- • Informatique neuronale pour les systèmes complexes ; •
- Multi-agent pour les systèmes complexes ;
- • IA basée sur les données pour les systèmes complexes ;
- • Extraction et optimisation de fonctionnalités ;
- • Fusion de fonctionnalités multimodales pour les systèmes complexes ;
- • Informatique biologique pour les systèmes complexes ; •
- Problèmes d'IA et d'optimisation ;
- • Détection, décision et contrôle basés sur l'IA pour les systèmes complexes.

# Contenu de la matière :

5

- Introduction générale
- Chap 1. Systèmes évolutifs et adaptatifs complexes ;
  - Algorithmes évolutionnaires
- Chap 2. Systèmes collectifs auto-organisés ;
  - Optimisation par essaim de particulaires
  - Optimisation par colonie de fourmis
- Chap 3 Systèmes immunitaires artificiels
- .....
- Coming soon

# Introduction Générale

# Introduction



- L'intelligence artificielle (IA), repose de plus en plus sur des systèmes complexes pour accomplir des tâches variées.
- Ces systèmes désignent des ensembles d'agents, d'algorithmes, et de processus interconnectés qui interagissent pour produire des comportements globaux émergents.

# Introduction



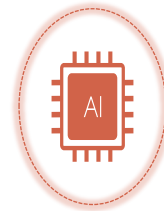
- Les systèmes complexes jouent un rôle fondamental dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA).
- Leur nature dynamique et interconnectée les rend appropriés pour modéliser des phénomènes tels que les réseaux sociaux, les systèmes économiques et biologiques.
- Cette présentation explore les définitions, caractéristiques, défis et applications de ces systèmes dans le contexte de l'IA. Nous examinerons également des études de cas illustrant leur efficacité et leur pertinence dans le monde moderne.



A dark blue oval containing the letters 'AI' in a bold, orange, sans-serif font.

# AI

# L'intelligence artificielle



L'intelligence artificielle (IA) est la capacité d'un ordinateur numérique ou d'un robot contrôlé par un ordinateur à accomplir des tâches couramment associées aux êtres intelligents.

Les systèmes d'IA sont censés être dotés des processus intellectuels caractéristiques des humains, tels que la capacité à raisonner, découvrir du sens, généraliser ou apprendre de l'expérience passée.

# L'intelligence artificielle (IA)



- L'intelligence artificielle (IA) est une branche populaire de l'informatique qui concerne la construction de machines « intelligentes » capables d'exécuter des tâches intelligentes.

# Les systèmes complexes



- Repose sur l'idée fondamentale selon laquelle un système manipulant des éléments divers et élémentaires constitue un tout qui soit différent de la somme de ses parties.

# Systèmes Complexes

12

- Le terme de complexité renvoie à un entrelacement inaperçu sous-jacent à l'apparition d'un phénomène.
- Cette notion de complexité se propulse sur certains systèmes les rendant ainsi complexes.
- Les systèmes complexes sont des systèmes **non linéaires, auto organisés** qui se balancent entre l'ordre et le chaos pour qu'enfin **émerge**, à des niveaux les plus hauts, un comportement complexe **non prédictible**.

# Systemes Complexes

13

- Se basent sur l'observation d'interactions entre entités.
- Ces entités peuvent être simples ou plus complexes .
- S'intéresse à l'étude des phénomènes émergents.
- Son étude pour ces phénomènes montre que la complexité d'un système se crée à partir d'interactions simples et non plus par introduction de connaissances de la part de l'utilisateur .

# Exemples de systèmes complexes naturels

14

- Le système immunitaire est ensemble de cellules et de molécules dont l'interaction aboutit à un mécanisme d'identification et par la suite élimination des éléments pathogéniques.
- Une colonie de fourmis échange des phéromones et bâtit une fourmilière, mais aucune fourmi n'a conscience de la fourmilière.
- Un réseau de gènes interagit par activations et inhibitions, un ensemble de gènes activés définit un tissu : les gènes activés et inhibés ne sont pas les mêmes dans les cellules de la peau ou dans celles d'un muscle.
- La dynamique d'une cellule est constituée de protéines en réactions chimiques, son évolution permet une adaptation au milieu.
- Le cerveau est un ensemble de neurones qui se transmettent des impulsions électriques.

# Exemples de systèmes complexes naturels

15

- La bourse voit des courtiers effectuer des transactions, qui créent des phénomènes globaux tels que bulles ou krachs.
- Un tas de sable provoque des collisions entre les grains qui font naître des avalanches.
- Une entreprise est un ensemble de personnes et d'organisations qui interagissent entre elles, et qui interagit par ailleurs avec son environnement par l'intermédiaire de ses parties prenantes .
- Les réseaux sociaux en ligne peuvent être assimilés à un système complexe social où les utilisateurs sont des agents en interactions.
- On peut citer encore un vol d'étourneaux ou un troupeau de moutons, la propagation d'une épidémie, d'une rumeur sur un nouveau produit, des réseaux de criminalité, le développement d'un embryon...

# Systèmes Complexes & comportement émergent

16

Entités	Interactions	Comportement émergent
Grains de sable	Collisions	Avalanches
Gènes	activation et inhibitions	points fixes
Protéines	réactions chimiques	vie d'une bactérie
Neurones	impulsions électriques	Pensée
Fourmis	Phéromones	Fourmilière
Etourneaux	évitements et alignement	Essaim
Investisseurs	Transactions	bulle financière
Personnes	rencontres	propagation d'épidémies ou de rumeurs



# Pourquoi les Systèmes Complexes?

17

✓ Valeur heuristique indéniable.

✓ Capacités d'optimisation.

✓ L'évolution

L'évolution: offre la possibilité d'adaptation à un environnement dynamique, quand un événement imprévu se produit le système peut évoluer.

✓ L'émergence

L'émergence: un processus où les phénomènes à un certain niveau résultent des interactions des niveaux plus bas.

**« le tout est plus que la somme des parties »**

# Caractéristiques des Systèmes Complexes en IA



- Non linéarité.
- Emergence
- Auto-organisation
- Dynamique évolutive
- Adaptation

# Caractéristiques des Systèmes Complexes en IA

- **Interactions non linéaires** : Les entités du système interagissent de manière non linéaire, ce qui signifie que des changements mineurs peuvent entraîner des effets disproportionnés ou inattendus.
- **Emergence** : Le comportement global du système émerge de l'interaction locale des agents, créant des motifs ou des structures à grande échelle qui ne peuvent être prévues à partir de l'étude des composants individuels.
- **Auto-organisation** : Les systèmes complexes sont capables de s'organiser sans direction extérieure. Cette auto-organisation découle de l'interaction continue des éléments du système.
- **Dynamique évolutive** : Un SEAC évolue en fonction des stimuli externes et de ses propres interactions internes. Il peut changer ses structures, ses comportements ou même ses règles d'interaction au fil du temps.
- **Adaptation** : Ces systèmes possèdent une capacité d'adaptation qui leur permet de répondre aux changements environnementaux. Ils ajustent continuellement leur comportement pour maximiser leur efficacité ou leur survie.

# Modèles et Méthodes Utilisés



- Algorithmes évolutionnaires
- Systèmes adaptatifs
- Systèmes multi-agents
- Réseaux neuronaux profonds
- .....

# Applications des Systèmes Complexes en IA



- 1. Conduite autonome
- 2. Systèmes de recommandation
- 3. Optimisation des réseaux électriques intelligents
- 4. Reconnaissance de la parole et traduction automatique
- 5. Jeux et simulations complexes

# Applications des Systèmes Complexes en IA



- **Conduite autonome :**

- Les systèmes de conduite autonome, comme ceux développés par Tesla ou Waymo, sont des systèmes complexes en IA.
- Ils intègrent plusieurs sous-systèmes (vision par ordinateur, planification de trajectoire, interaction avec d'autres véhicules, etc.) qui interagissent en temps réel pour prendre des décisions sûres et efficaces sur la route.
- **Comportement émergent :** Ces systèmes doivent adapter leurs actions en fonction de conditions dynamiques (trafic, météo, comportement des autres conducteurs), et peuvent parfois produire des comportements collectifs surprenants, comme la formation de nouveaux schémas de trafic.

# Applications des Systèmes Complexes en IA



- **Systèmes de recommandation :**
- Les plateformes comme Netflix, YouTube ou Amazon utilisent des systèmes complexes d'apprentissage automatique pour proposer du contenu aux utilisateurs.
- Ces systèmes prennent en compte des millions de points de données (historique de visionnage, interactions sociales, tendances globales) pour générer des recommandations personnalisées.
- **Comportement émergent :** L'interaction entre les recommandations faites à des millions d'utilisateurs et les tendances émergentes peut provoquer des phénomènes de popularité virale, où certains contenus deviennent extrêmement populaires grâce à des boucles de rétroaction positives.

# Applications des Systèmes Complexes en IA



- **Optimisation des réseaux électriques intelligents (smart grids) :**  
Les systèmes intelligents de gestion de l'énergie intègrent des millions de capteurs et d'appareils interconnectés pour réguler l'offre et la demande d'électricité.
- Ces systèmes doivent réagir aux changements instantanés dans la consommation d'énergie et aux variations de production des sources d'énergie renouvelables.
- **Comportement émergent :** Les smart grids peuvent générer des phénomènes comme des oscillations de la demande d'énergie ou des réponses coopératives entre les producteurs d'énergie décentralisés, créant des patterns d'auto-régulation et d'optimisation de la distribution d'énergie.



# Applications des Systèmes Complexes en IA



- **Reconnaissance de la parole et traduction automatique** : Les systèmes de reconnaissance vocale, comme ceux utilisés dans les assistants virtuels (Siri, Alexa, Google Assistant), et les systèmes de traduction automatique reposent sur des réseaux neuronaux complexes capables de comprendre et de générer du langage naturel.
- **Comportement émergent** : Les modèles de langage profond, comme GPT-4, génèrent des réponses en analysant et en combinant des motifs linguistiques à partir de milliards de paramètres, créant des comportements émergents dans la compréhension du contexte et de la nuance

# Applications des Systèmes Complexes en IA



- **Jeux et simulations complexes** : Les systèmes d'IA dans les jeux comme StarCraft ou Dota 2 exploitent des dynamiques complexes pour s'adapter aux stratégies des joueurs humains en temps réel.
- L'IA doit gérer des milliers de variables et prendre des décisions stratégiques tout en anticipant les actions des adversaires.
- **Comportement émergent** : Dans ces environnements, l'IA peut développer des tactiques sophistiquées ou des stratégies collectives qui n'ont pas été explicitement programmées, mais qui émergent de l'apprentissage par la compétition avec d'autres agents ou joueurs humains.

# Motivations: Pour quoi le « Système complexes et le Natural computing » ?

27

Les approches du natural computing doivent être utilisées lorsque:

- Le problème à résoudre est complexe, c'est à dire, implique un grand nombre de variables ou de solutions possibles, ou il est hautement dynamique, non linéaire, ou lorsqu'il a des objectifs multiples, etc
- Il n'est pas possible de garantir qu'une solution trouvée soit optimale, mais il est possible de trouver une mesure de qualité permettant une comparaison entre les différentes solutions trouvées.
- Le problème à résoudre ne peut pas être convenablement modélisé, tels que la reconnaissance de formes et la classification.

# Motivations: Pour quoi le « Natural computing » ?

28

- Une solution unique n'est pas assez bonne ou lorsque la diversité est importante. La plupart des techniques de résolution de problèmes sont en mesure de fournir une solution unique à un problème donné, mais ne sont pas capables de fournir plus d'une solution. La plupart de ces méthodes sont déterministes quand au natural computing est, dans sa majorité, composé de méthodes stochastiques.
- Les systèmes et les processus biologiques, physiques et chimiques doivent être synthétisés avec réalisme.
- Les phénomènes de la vie doivent être synthétisés dans un milieu artificiel. Peu importe le milieu artificiel (par exemple, un ordinateur ou un robot), l'essence d'un comportement naturel donné ou d'un modèle est extrait et synthétisé dans une forme beaucoup plus simple.
- Les limites des technologies actuelles sont atteintes et de nouveaux matériaux informatiques doivent être sollicités. La nature abonde en informations, en systèmes de stockage et de traitements, et les aspects scientifiques et techniques qui traite la façon d'utiliser ces ressources matérielles naturelles.

# Conclusion



- Les systèmes complexes en IA sont prometteurs pour résoudre des problèmes globaux et dynamiques, mais ils posent également des défis.
- Le développement de nouveaux modèles sera crucial pour l'avenir de l'IA dans des domaines variés tels que la conduite autonome et la gestion énergétique.

# Mode d'évaluation & Références

30

- **Mode d'évaluation :**

- **MoyMatière = Note contrôle\*60%+Note de travaux\*40%**

- **Références & bibliographie**

- Pintea, C-M. (2014). Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problem. Springer. ISBN 978-3-642-40178-7.
- 2. Mitchell, M. (2006).
  - Complex systems: Network thinking. Artificial intelligence, 170(18), 1194 1212.
- 3.Sosnowski, M., Krzywanski, J., & Ščurek, R. (2021). Artificial intelligence and computational methods in the modeling of complex systems. Entropy, 23(5), 586.
- 4. Oliveira, A. L. (2019). Biotechnology, big data and artificial intelligence. Biotechnology journal, 14(8), 1800613.
- 5 Machine Nature: The Coming Age of Bio-Inspired Computing, by Moshe Sipper, McGraw-Hill, New York, 2002.
- 6• Réseau National de Sciences de la Complexité : <http://complexsystems.lri.fr/RNSC>