



جامعة 8 ماي 1945 قالمة
UNIVERSITE 8 MAI 1945 - GUELMA



Les Méthodes bio-inspirées

Master 2 STIC

Dr. Mohammed Nadjib KOUAHLA

Motivation

Depuis quelques années, les chercheurs informaticiens ont trouvé dans le monde naturel, une source d'inspiration inépuisable pour la conception de nouveaux systèmes informatiques.

Il s'agit de puiser dans les comportements des êtres naturels de nouvelles approches pour la résolution de problèmes difficiles.

Le rôle de l'informaticien est d'observer et comprendre les mécanismes et processus qui régissent les comportements dits « intelligents » de ces individus pour la résolution des problèmes courants, puis extraire à partir de ces études des modèles implantables sur des machines dont les résultats pourront être validés par rapport à ceux observés dans la nature.

Introduction

La nature est une source puissante d'inspiration pour résoudre des problèmes complexes en informatique, puisqu'elle montre des phénomènes extrêmement divers, dynamiques, robustes, complexes et intéressants.

Elle trouve toujours la solution optimale pour résoudre son problème, et maintient l'équilibre parfait entre ses composantes. Nouvelle ère est ouverte avec les algorithmes inspirés de la nature (Bio-inspiré) qui sont des métaheuristiques imitant la nature pour résoudre des problèmes d'optimisation.

Dans les décennies passées, de nombreux efforts de recherches ont été concentrés dans ce secteur particulier.

Historique

- L'informatique bio-inspirée est « aussi vieille » que l'informatique et les sciences cognitives

1943 : le neurone formel (McCulloch et Pitts)
1948 : la cybernétique (Wiener)
1948 : la théorie des automates (Von Neumann)
1948 : le test d'une machine intelligente (Turing)
1955 : l'intelligence artificielle (Simon, Chomsky et McCarthy)
1958 : le perceptron (Rosenblatt),
1960 : la règle Delta (Widrow et Hoff)
1962 : algorithmes génétiques (Holland)
1965 : les stratégies évolutionnistes (Rechenberg)

1966 : la programmation Evolutionnaire (Fogel)
1982 : cartes de Kohonen (Kohonen)
1985 : rétropropagation (Rumelhart et al.)
1986 : intelligence comportementale (Brooks)
1987 : vie artificielle (Langton),
1990 : intelligence collective, systèmes multiagent
1991 : ACO (ant-like systems) (Dorigo) ...
1995 : PSO (Particle Swarm Optimization)

à suivre ...

Pourquoi le bio-inspirée?

La nature avec ses phénomènes extraordinaires nous fournit des solutions grâce à des caractéristiques telles que :

- **Emergence** : les éléments simples qui interagissent vont accomplir des tâches extraordinaires.
- **La simplicité de la mise en œuvre.**
- **L'auto-organisation** : l'organisation interne du système se structure automatiquement sans être dirigée par une source extérieure.
- **La modularité** : le système est composé d'éléments simples qui coopèrent ensemble pour atteindre l'objectif global. Le système est donc évolutif.

Pourquoi le bio-inspirée?

- **La décentralisation** : ceci garantit un système robuste, capable de continuer à fonctionner en cas de défaillance d'un de ses composants.
- **La réactivité** : les éléments du système coopèrent et communiquent entre eux via des interactions locales. Ils sont capables de réagir instantanément aux changements d'environnement.
- **L'auto-adaptation** : l'aptitude d'un système à modifier ses paramètres de manière que son fonctionnement demeure satisfaisant en dépit des variations de son environnement.

Pourquoi le bio-inspirée?

- ❑ Les systèmes bio-inspirés sont utiles lorsque:
 - on traite des problèmes qui n'ont pas de solution algorithmique.
 - on traite des données imprécises, bruitées, incomplètes.
 - on cherche des solutions "suffisamment bonnes" à des problèmes pour lesquels les solutions exactes ou optimales sont trop chères ou trop difficiles à trouver.

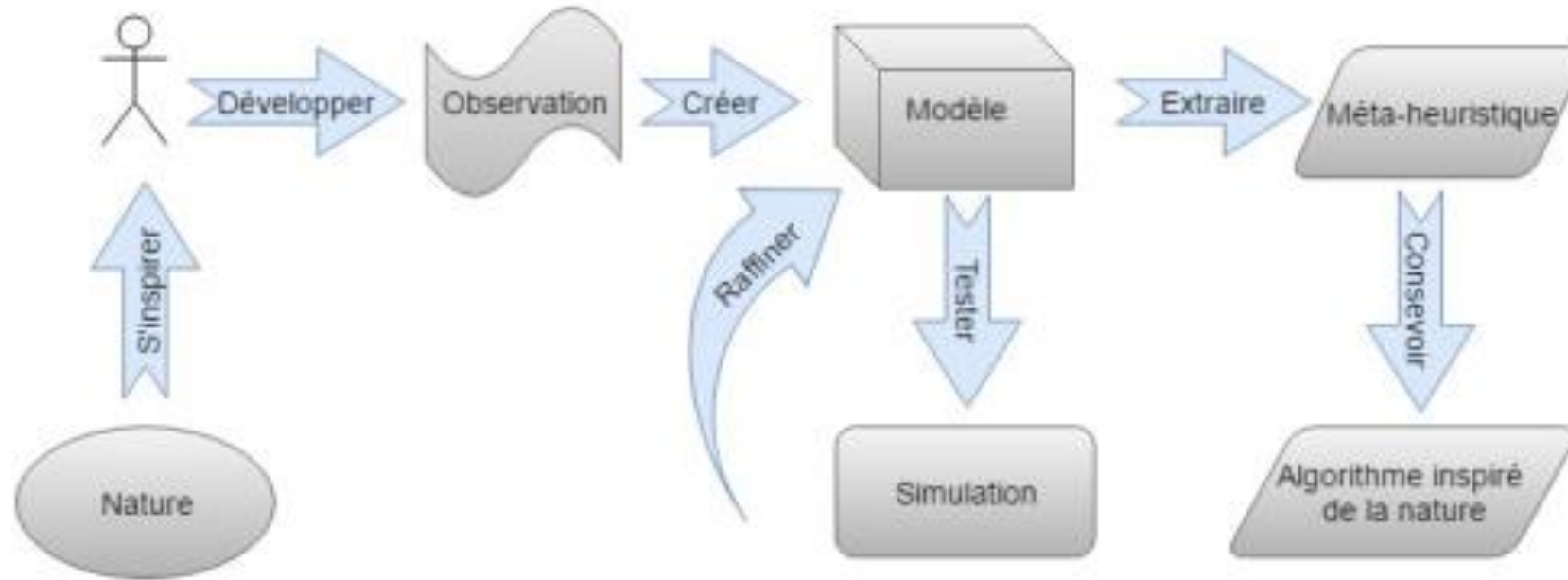
Processus de création d'un algorithme inspiré de la nature

La nature donne l'inspiration aux chercheurs de développer une observation d'un phénomène naturel particulier.

Premièrement, Les développeurs créent et testent un modèle, utilisent des simulations mathématiques qui aident à raffiner le modèle original.

Ensuite, le modèle raffiné sera utilisé pour extraire une méta heuristique qui peut être utilisée comme une base pour finalement concevoir un algorithme inspiré de la nature.

Processus de création d'un algorithme inspiré de la nature



Passage d'un phénomène naturel à un algorithme inspiré de la nature

Une méta heuristique

une métaheuristique est une méthode algorithmique capable de guider et d'orienter le processus de recherche dans un espace de solution, souvent très grand à des régions riches en solutions optimales. Le fait de rendre cette méthode abstraite et plus générique conduit à une vaste utilisation pour des champs d'applications différents.

A ces applications, les métaheuristicues permettent, de trouver des solutions, peut-être pas toujours optimales, en tout cas très proches de l'optimum et en un temps raisonnable. Elles se distinguent en cela des méthodes dites exactes, qui garantissent certes la résolution d'un problème, mais au prix de temps de calcul prohibitifs.

Contexte

- Besoin croissant de systèmes:
 - « Intelligents »
 - Embarquables
- Approches:
 - Traitement de signal
 - Statistiques
 - **Bio/neuro-inspiration**
 - ...



Contrôle qualité



Domotique



Sécurité

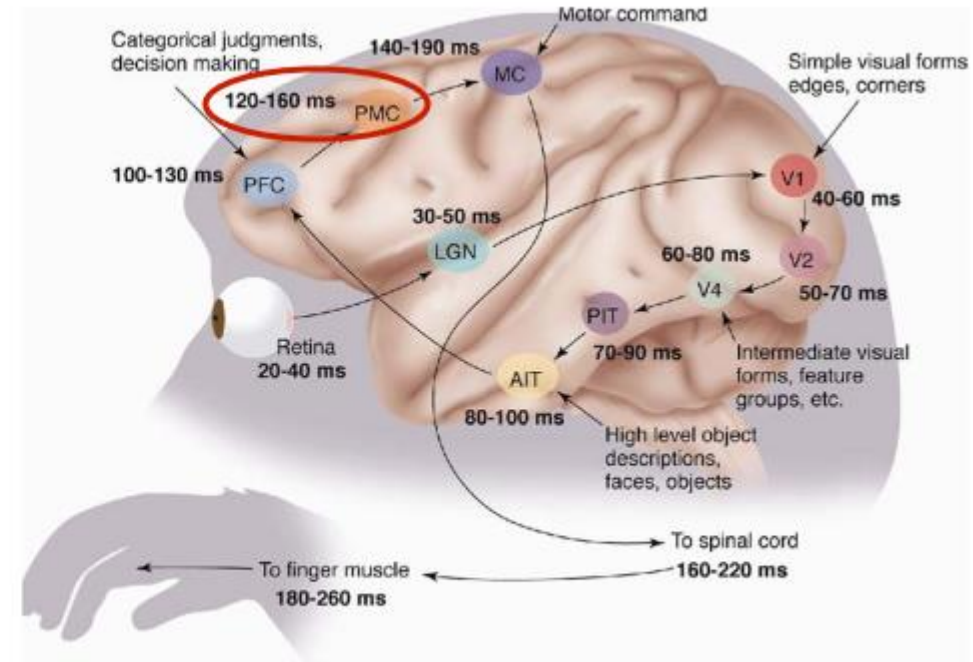


Voitures autonomes

Pourquoi la bio-inspiration?

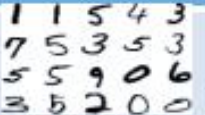





Exemple: le cerveau humain

- 10^{11} neurones
- 10^4 synapses par neurone
- Fréquence de travail: 1 kHz
- 25 Watts



[Thorpe & Fabre-Thorpe 2001]

Solutions Deep neural network Performantes

Database	# Images	# Classes	Best score
MNIST <i>Handwritten digits</i> 	60,000 + 10,000	10	99.79% [3]
GTSRB <i>Traffic sign</i> 	~ 50,000	43	99.46% [4]
CIFAR-10 <i>airplane, automobile, bird, cat, deer, dog, frog, horse, ship, truck</i> 	50,000 + 10,000	10	91.2% [5]
Caltech-101 	~ 50,000	101	86.5% [6]
ImageNet 	~ 1,000,000	1,000	Top-5 83% [1]
DeepFace 	~ 4,000,000	4,000	97.25% [2]

INCREASING COMPLEXITY

Problématiques

Comment choisir des caractéristiques bio-inspirées de manière appropriée et comment réduire leurs complexités algorithmiques ?

Comment les données manipulées par ces algorithmes peuvent elles être codées efficacement de façon a réduire l'utilisation des ressources matérielles ?

Les sources d'inspiration

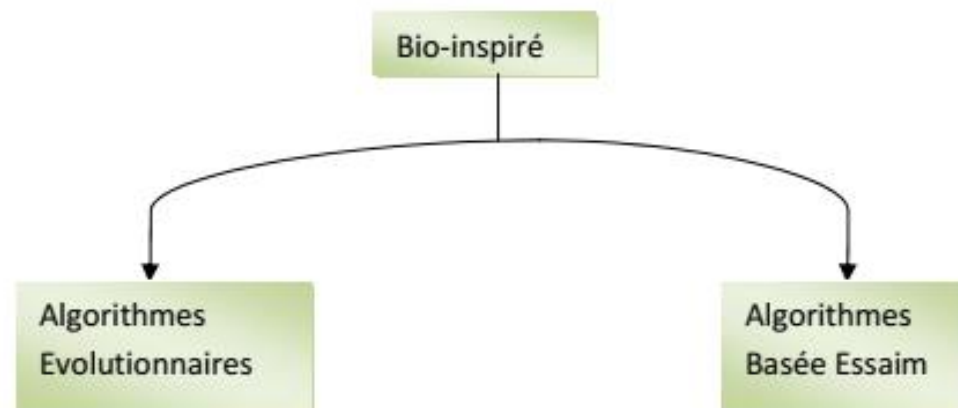
le **système immunitaire** a inspiré une loi de commande appelée IMF « Immune Feedback », cette loi tire parti du grand potentiel d'adaptabilité et de la robustesse inné du **système immunitaire naturel** face aux divers germes et microbes, ces derniers peuvent être associés aux perturbations et incertitudes qui agissent sur le système.

Les sources d'inspiration

Le **cerveau humain** est un autre exemple, il est connu entre autre pour : le traitement intelligent de l'information, le traitement distribué, le haut niveau de parallélisme, l'apprentissage, l'adaptation, la tolérance élevée aux informations inexactes... etc. a inspiré **les réseaux de neurones artificiels**, ces derniers ont été utilisés avec succès dans divers domaines dont le traitement d'image, la commande des systèmes... etc.

Classification des algorithmes bio-inspirés

En outre, l'observation de phénomènes naturels a donné lieu à de multiples algorithmes d'optimisation qu'on peut classer dans deux grandes catégories : les **algorithmes évolutionnaires** et les **algorithmes à base de l'intelligence distribuée**.



Classification des algorithmes bio-inspirés

Les algorithmes évolutionnaires sont des algorithmes de recherche stochastiques et d'optimisations heuristiques directement inspirés de la théorie de l'évolution naturelle énoncée par Charles Darwin en 1859, le principe fondamental étant que les individus les mieux adaptés à leur environnement survivent et peuvent se reproduire, laissant une descendance qui transmettra leurs gènes.

Il existe de nombreux modèles du calcul évolutionnaire dont :

- La programmation évolutionnaire (L.J. Fogel 66),
- les stratégies d'évolution (Rechenberg 65,73, Schwefel 65,81),
- la programmation génétique (J. Koza, 92),
- les algorithmes génétiques (Holland 75).

Classification des algorithmes bio-inspirés

Les algorithmes à base de l'intelligence distribuée ou intelligence collective, il s'agit d'un ensemble d'algorithmes inspirés de l'apparition de phénomènes cohérents à l'échelle d'une population dont les individus agissent selon des règles simples.

En effet, la manière dont des individus interagissent permet l'émergence de formes, d'organisations, ou de comportements collectifs, complexes ou cohérents, tandis que les individus eux se comportent à leur échelle indépendamment de toute règle globale.

Par exemple, la façon dont un essaim d'oiseaux vole vers un objectif précis, en prenant toujours le chemin optimal, ou encore la capacité d'une colonie de fourmis à trouver un chemin optimal vers une source de nourriture (toujours le plus court et le plus rapide), est d'une magnifique perfection.

Classification des algorithmes bio-inspirés

C'est donc tout à fait logique que ces phénomènes ont inspirés des algorithmes d'optimisation très efficaces, respectivement connus sous le nom de PSO pour « Particle Swarm Optimization » et ACO pour « Ant Colony Optimization »

Heuristique Vs méta heuristique

Une heuristique est une méthode de résolution spécialisée à un problème particulier. Qui a pour but de trouver une solution réalisable en un temps raisonnable, mais pas nécessairement optimale.

L'usage d'une heuristique est pertinent pour calculer une solution approchée d'un problème difficile et ainsi accélérer le processus de résolution exacte.

Une méta-heuristique est une heuristique générique qu'il faut adapter à chaque problème.

Une méta-heuristique est un processus itératif qui subordonne et guide une heuristique, en combinant intelligemment plusieurs concepts pour explorer et exploiter tout l'espace de recherche. Des stratégies d'apprentissage sont utilisées pour structurer l'information afin de trouver efficacement des solutions optimales, ou presque-optimales.

Conclusion

