

Module IAS1122 : Intelligence artificielle

Introduction à l'intelligence artificielle

Relwende Aristide YAMEOGO MD-MPH-PhD¹

¹Assistant hospitalo-universitaire en informatique médicale - UFR / Sciences de la Santé - Université Joseph KI-ZERBO

Master 2 IMSD
Année 2021 - 2022

7 - 10 Février 2022



Objectifs du cours

- Comprendre l'évolution de l'IA
- Expliquer les méthodes de l'IA
- Analyser les enjeux éthiques de l'IA
- Décrire les principales applications de l'IA

Plan

- 1 Introduction
- 2 Définitions
- 3 Fondements de l'IA
- 4 Histoire moderne de l'IA en informatique
- 5 Différentes approches de l'IA
- 6 Cycle de vie d'un système d'IA

Introduction

- Nouvel essor de l'IA
 - ▶ Augmentation de la puissance de calcul
 - ▶ Réduction des coûts d'accès à la technologie
 - ▶ Développement des nouveaux outils technologiques
 - ▶ Amélioration des algorithmes
- Impacts sur tous les domaines
- Intérêts particuliers pour la santé
 - ▶ Réduction des dépenses de santé
 - ▶ Amélioration de la qualité de soins
 - ▶ Meilleure politique de santé

Introduction

- Enjeux éthiques de l'IA
 - ▶ Qualité des données de santé
 - ▶ Gouvernance des algorithmes
 - ▶ Interprétation des données
 - ▶ Responsabilité des acteurs
 - ▶ Définition de la maladie
- Enjeux épistémologiques
- Complexité du domaine de la santé
 - ▶ Humain comme objet d'étude
 - ▶ Relation médecin-patient
 - ▶ La santé : un concept difficile à appréhender

Intelligence

Ethymologie du mot intelligence

Le mot Intelligence vient du latin *intellegentia* (faculté de comprendre), dérivé du latin *intellegere* signifiant comprendre, et dont le préfixe *inter* (entre), et le radical *legere* (choisir, cueillir) ou *ligare* (lier) suggèrent principalement l'aptitude à relier des éléments qui sans elle resteraient scindés.

- Plusieurs branches (Khaldoun, 2006)
 - ▶ Intelligence discernante ou tactique
 - ▶ Intelligence expérimentale ou stratégique
 - ▶ Intelligence spéculative, scientifique ou politique

Types d'intelligence

Neufs types d'intelligence (Gardner, 1997)

- logico-mathématique
- linguistique ou verbale
- intrapersonnelle
- interpersonnelle
- visio-spatiale
- naturaliste
- musicale
- kinesthésique
- existentialiste ou spirituelle

Intelligence artificielle

Intelligence artificielle (Minsky, 1956)

Marvin Lee Minsky, l'un des créateurs de l'intelligence artificielle, la définit comme « *la construction de programmes informatiques qui s'adonnent à des tâches qui sont, pour le moment, accomplies de façon plus satisfaisante par des êtres humains car elles demandent des processus mentaux de haut niveau tels que : l'apprentissage perceptuel, l'organisation de la mémoire et le raisonnement critique* »

Définitions

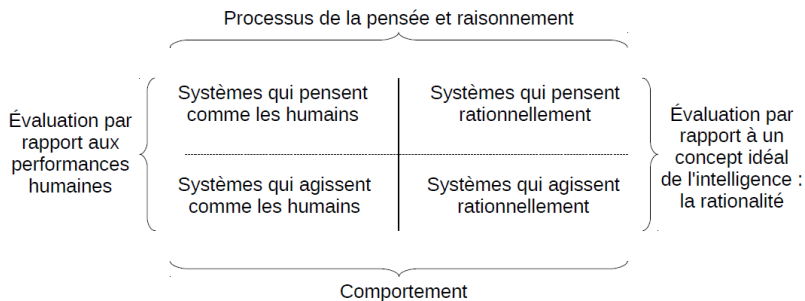


Figure 1 – Approche de la définitions de l'IA par catégories

Définitions : approche humaine

La machine doit agir comme l'humain

- La machine doit passer le test de Turing
- Six fonctionnalités pour passer le test complet
 - ▶ La maîtrise du langage naturel
 - ▶ La représentation de la connaissance (stockage de ce qu'elle sait ou entend)
 - ▶ Le raisonnement automatisé
 - ▶ L'apprentissage (adaptation + détecter les invariants et les extrapoler)
 - ▶ Une vision artificielle
 - ▶ Un corps robotisé

Définitions : approche humaine

La machine doit penser comme les humains

- Comment pensent les humains ?
- Trois techniques pour déterminer le fonctionnement de la pensée
 - ▶ L'introspection (se saisir de ses propres pensées)
 - ▶ La psychologie (Observer un individu dans ses actions)
 - ▶ L'imagerie cérébrale
- Cerveau = programme informatique

Définitions : approche rationnelle

La machine doit penser rationnellement

- Syllogisme
- Premiers programmes informatiques capables de résoudre des problèmes logiques
- Deux inconvénients
 - ▶ Difficile d'isoler une connaissance informelle pour l'utiliser de façon formelle, notamment si la connaissance n'est pas sûre à 100%
 - ▶ grande différence entre résoudre un problème « en théorie » et « en pratique ». Pour être plus clair, si le système n'est pas guidé dans le choix des priorités, la capacité de calculs peut rapidement être épuisée dans la recherche du « meilleur moyen ».

Définitions : approche rationnelle

La machine doit penser rationnellement

- Approche de l'agent rationnel
- Pour être rationnel, l'agent doit théoriquement être capable de :
 - ▶ Fonctionner de façon autonome,
 - ▶ Percevoir son environnement,
 - ▶ Persister pendant une période prolongée,
 - ▶ S'adapter aux changements,
 - ▶ Poursuivre des objectifs

Définitions : approche rationnelle

La machine doit agir rationnellement

- Agent rationnel doit passer le test de Turing
- Deux avantages pour cette approche :
 - ▶ L'agent conclut logiquement que l'action qu'il va entreprendre permettra d'atteindre les objectifs fixés, puis inférera (inférer signifie agir en connaissance de faits)
 - ▶ Si l'agent ne peut pas être sûr à 100% que l'action qu'il va effectuer permettra d'atteindre objectifs, il doit évaluer la meilleure solution et agir malgré son incertitude.

Fondements de l'IA

- L'IA s'appuie sur de nombreuses disciplines scientifiques et sur des techniques qui s'améliorent au fil du temps.
- La conceptualisation de l'IA s'appuie également sur plusieurs travaux et inventions antérieurs :
 - ▶ la définition du syllogisme par Aristote en 384 av. JC.
 - ▶ la création par Héron d'Alexandrie des premiers automates au I^{er} siècle après JC
 - ▶ l'invention de l'Ars Magna de Ramon Lulle en 1275

Fondements de l'IA

Syllogisme

En logique, le syllogisme est un raisonnement logique mettant en relation au moins trois propositions : deux ou plus d'entre elles, appelées « prémisses », conduisent à une « conclusion ». Aristote a été le premier à le formaliser dans son Organon.

Un exemple très connu de syllogisme est : « Tous les hommes sont mortels, or Socrate est un homme ; donc Socrate est mortel »

Fondements de l'IA

Automates d'Héron

Héron d'Alexandrie créa des automates mus par l'eau, s'intéressa à la vapeur et à l'air comprimé. Principalement connu pour les machineries décrites dans son *Traité des pneumatiques*, on lui doit par exemple un projet de machine utilisant la contraction ou la raréfaction de l'air pour ouvrir automatiquement les portes d'un temple ou faire fonctionner une horloge.

Fondements de l'IA

Ars Magna

L'Ars Magna est un ouvrage écrit en latin par Girolamo Cardano et dont la première édition, sous le titre *Artis magnæ, sive de regulis algebraicis*, remonte à 1545. Cet ouvrage est particulièrement célèbre pour contenir les premières solutions publiées du nombre complexe, des équations cubiques et quartiques, c'est-à-dire les solutions de polynômes de degré 3 et 4.

Fondements de l'IA

- Disciplines fondamentales de la mise en place et de l'évolution de l'IA
 - ▶ philosophie (rationalisme et logique) : peut-on utiliser des règles formelles pour tirer des conclusions valides ? Quel rapport l'esprit entretient-il avec la nature physique du cerveau ? D'où provient la connaissance ? Comment la connaissance conduit-elle à l'action ?
 - ▶ psychologie (modélisation de la cognition) : comment les hommes et les animaux pensent-ils et agissent-ils ? Quels sont les rapports entre le langage et la pensée ?

Fondements de l'IA

- Disciplines fondamentales de la mise en place et de l'évolution de l'IA
 - ▶ mathématiques (algorithmique, calculabilité et probabilité) :
quelles sont les règles formelles qui permettent de tirer des conclusions valides ? Qu'est ce qui peut être calculé ?
Comment raisonne-t-on à partir d'informations incertaines ?
 - ▶ économie (théorie de la décision et recherche opérationnelle) :
comment prendre des décisions qui maximisent les gains ?
Comment faire quand les autres risquent de ne pas coopérer ?
Comment y parvenir alors que les gains sont susceptibles d'être éloignés dans le futur ?

Fondements de l'IA

- Disciplines fondamentales de la mise en place et de l'évolution de l'IA :
 - ▶ neurosciences (cerveau ordinateur) : quels sont les mécanismes qui permettent au cerveau de traiter l'information ?
 - ▶ linguistique (traitement automatique de la langue, représentations des connaissances) : comment faire pour représenter les connaissances ?
 - ▶ ingénierie informatique : comment construire un ordinateur performant ?
 - ▶ théorie du contrôle et cybernétique : comment faire en sorte que des artefacts opèrent de façon autonome ? »

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Évolution parallèle à celle de l'informatique
- Une histoire en dents de scie
 - ▶ Période faste entre 1957 et 1973
 - ▶ Période de disette jusqu'au début des années 80
 - ▶ Désillusion durant la décennie 1990
 - ▶ Rebond par la digitalisation de l'économie

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Warren McCulloch et Walter Pitts en 1943 : modèle de neurone artificiel à partir de :
 - ▶ l'état du savoir sur la physiologie de base et la fonction des neurones dans le cerveau
 - ▶ l'analyse formelle de la logique propositionnelle de Russell et Whitehead
 - ▶ théorie de calcul de Turing

Modèle de neurone artificiel

un modèle de neurones artificiels dans lequel chaque neurone est caractérisé par un état « marche » (excité stimulant un potentiel d'action) ou « arrêt » ; le passage à l'état « marche » se produisant en réponse à une stimulation émise par un nombre suffisant de neurones voisins.

Histoire moderne de l'IA en informatique

Définition d'un nombre calculable

Alan Turing définit un nombre réel calculable comme étant un nombre dont l'expression décimale est calculable avec des moyens finis. Autrement dit, il existe une machine de Turing qui permet d'énumérer la suite de tous les chiffres de ce nombre (en un temps infini).

Par extension, un nombre complexe est calculable si sa partie réelle et sa partie imaginaire sont simultanément calculables.

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Donald Hebb, en 1949, a découvert la plasticité neuronale

Plasticité neuronale

la faculté du cerveau à se réorganiser, à former de nouvelles connexions entre les neurones, et/ou d'activer de nouveaux neurones, de nouvelles fonctions pour les neurones) (Hebb, 2005 ; Spatz, 1996), appelée « apprentissage hebbien » dans lequel l'efficacité synaptique augmente lors d'une stimulation présynaptique répétée et persistante de la cellule postsynaptique

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Alain Turing met en place de test de Turing en 1950

Test de Turing

Le test de Turing met au défi des testeurs (hommes et femmes) de reconnaître si leur interlocuteur est un humain ou une machine, grâce à l'analyse des réponses à une série de questions posées au travers d'une interface masquant l'interlocuteur.

Histoire de moderne de l'IA en informatique

- John McCarthy et Fernando Corbató vers la fin 1950 :
 - ▶ La technique du temps partagé : l'utilisation partagée et simultanée des performances d'un ordinateur grâce à l'usage des temps morts des calculs d'un utilisateur au profit d'un second
 - ▶ Le langage LISP

LISP : List Processing

LISP est la plus ancienne famille de langages de programmation à la fois impératifs et fonctionnels. Développé initialement en tant que modèle pratique pour représenter des programmes (par contraste avec la notion théorique de machine de Turing), il est devenu dans les années 1970 et 80 le langage de choix pour la recherche en intelligence artificielle.

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Marvin Lee Minsky, l'un des pionniers de l'IA :
 - ▶ Premier programme d'IA : Logic Theorist dont le but est la démonstration automatique des théorèmes
 - ▶ GPS : General Problem Solver : un système de résolution de problème général fondé sur des techniques dites d'analyse moyen - fin

Histoire moderne de l'IA en informatique

- 1960 - 1970 : Essor de l'IA avec les systèmes experts
 - ▶ Programmation difficile et coûteux
 - ▶ Problèmes de cohérence des règles
 - ▶ Problème de complétude des règles

Dendral

Le premier système expert fut Dendral en 1965, créé par les informaticiens Edward Feigenbaum, Bruce Buchanan, le médecin Joshua Lederberg et le chimiste Carl Djerassi. Il permettait d'identifier les constituants chimiques d'un matériau à partir de spectrométrie de masse et de résonance magnétique nucléaire, mais ses règles étaient mélangées au moteur.

- JA Robinson : Le langage PROLOG pour les systèmes de résolution automatiques en 1965

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Années 1980 : IA devient une industrie
 - ▶ Premier système expert commercial : R1 (Digital Equipment Corporation)
 - ▶ Création de centaines d'entreprises dans la vente des systèmes experts, des systèmes de vision artificielle et des robots
- Années 1990 : IA devient tabou = "Informatique avancée"

Histoire de moderne de l'IA en informatique

- Fin des années 1990 : Avancées notables de l'IA
 - ▶ Développement de internet et des moteurs de recherche
 - ▶ augmentation des performances des machines
 - ▶ Augmentation des capacités de stockage
 - ▶ Augmentation de la puissance de calcul
- 1997 : Deep Blue bat le champion Russe Garry Kasparov aux jeux d'échec
- Années 2000 : Explosion des technologies et des applications concrètes de l'IA : avènement du web, du cloud computing et du big data

Histoire moderne de l'IA en informatique

- Facteurs du nouvel élan de l'IA
 - ▶ l'accès à des volumes importants de données aussi variées pour entraîner et tester les algorithmes
 - ▶ l'amélioration de la puissance de calcul des ordinateurs pour accélérer le calcul des algorithmes d'apprentissage associée à une réduction importante des coûts d'acquisition
 - ▶ la capacité de distribution des calculs sur un grand nombre de machines connectées en réseaux
 - ▶ une amélioration des méthodes scientifiques et des algorithmes de programmation

Histoire de moderne de l'IA en informatique

- Dans le domaine de la santé : début dans les années 1960
 - ▶ Premier système expert MYCIN en 1970 par Buchanan et Shortliffe
 - ▶ Générateur EMYCIN conçu à partir de MYCIN pour

MYCIN

le système MYCIN est un système spécialisé dans le diagnostic des maladies du sang et la prescription de médicaments notamment les antibiotiques

Histoire moderne de l'IA en informatique

- De nombreux progrès en médecine liés à l'application de l'IA
 - ▶ des améliorations dans la puissance de calcul rendent plus rapide la collecte de données et le traitement de données
 - ▶ une augmentation du volume et de la disponibilité des données liées à la santé des particuliers et des soins de santé liés à des dispositifs
 - ▶ une amélioration des capacités du séquençage génomique et du traitement des données génomiques
 - ▶ une mise en œuvre généralisée du dossier de santé électronique
 - ▶ des améliorations dans le traitement du langage naturel et de la vision par ordinateur, permettent à des machines de reproduire le processus humain de perception
 - ▶ des améliorations de la précision de la chirurgie robotisée

Vision conceptuelle de l'IA

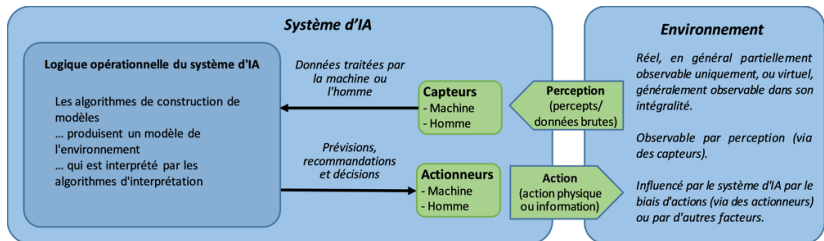


Figure 2 – Vision conceptuelle de l'IA

Vision conceptuelle de l'IA

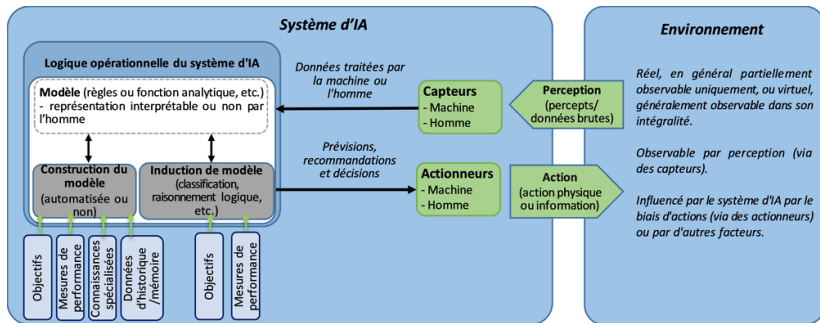


Figure 3 – Vision conceptuelle de l'IA (détails)

Différentes approches de l'IA

■ IA symbolique

Définition

L'IA symbolique est fondée sur la modélisation du raisonnement logique, sur la représentation et la manipulation de la connaissance par des symboles formels. Elle utilise une approche top-down, s'appuyant sur l'intersection entre logique philosophique et mathématique. Elle reproduit le plus fidèlement possible un comportement spécifique prévu à l'avance, mais pas son fonctionnement. Le principe de compréhension ne s'applique pas à la machine, le système imite un comportement intelligent dans un domaine précis et peut résoudre des problèmes.

Différentes approches de l'IA

- IA symbolique
 - ▶ Approche pragmatique
 - ▶ Simulation de l'intelligence humaine par la machine
 - ▶ Imitation du comportement humain
- Nécessité de mise à jour régulière

Différentes approches de l'IA

■ IA symbolique

Chambre chinoise (Searle, 1980)

L'opérateur enfermé dans la chambre reçoit donc des phrases écrites en chinois et, en appliquant les règles qu'il a à sa disposition, il produit d'autres phrases en chinois qui constituent en fait des réponses à des questions posées par un vrai sinophone situé à l'extérieur de la chambre. Du point de vue du locuteur qui pose les questions, la personne enfermée dans la chambre se comporte comme un individu qui parlerait vraiment chinois. Mais, en l'occurrence, cette dernière n'a aucune compréhension de la signification des phrases en chinois qu'elle transforme. Elle ne fait que suivre des règles prédéterminées.

Différentes approches de l'IA

■ IA connexionniste

- ▶ Le connexionnisme est un courant de recherche assez vaste qui constitue une voie originale dans l'étude des phénomènes cognitifs.
- ▶ Les modèles connexionnistes utilisent les réseaux de neurones, dont l'organisation et le fonctionnement rappellent, à un certain niveau d'abstraction, les systèmes neuronaux physiologiques.
- ▶ Ces modèles cherchent à faire le lien entre le fonctionnement du cerveau et celui de l'esprit, en proposant des mécanismes qui pourraient expliquer certains aspects de la cognition humaine

Différentes approches de l'IA

■ IA connexionniste

- ▶ La diversité des techniques connexionnistes et de leurs applications entraîne pas mal de confusion sur les buts, les méthodes, et les limites éventuelles des réseaux neuronaux.
- ▶ L'analogie biologique est délibérée, mais le modèle est manifestement très idéalisé. Les unités de traitement sont très simplifiées par rapport à des neurones réels, et la ressemblance est moins convaincante dans le détail qu'au niveau de l'organisation générale du traitement

Différentes approches de l'IA

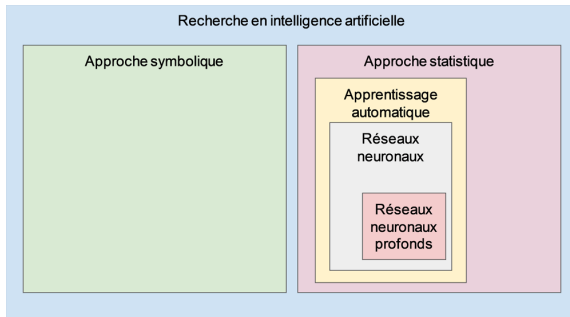


Figure 4 – Différentes approches de l'IA

Différentes phases d'un système d'IA

- **La phase de conception, données et modèles**
 - ▶ La planification et la conception du système d'IA couvrent la définition du concept et des objectifs du système, des principes sous-jacents, du contexte et du cahier des charges, ainsi que la construction éventuelle d'un prototype.
 - ▶ La collecte et le traitement des données englobent les tâches visant à recueillir et nettoyer les données, réaliser les vérifications d'exhaustivité et de qualité, et documenter les métadonnées et les caractéristiques de l'ensemble de données.

Différentes phases d'un système d'IA

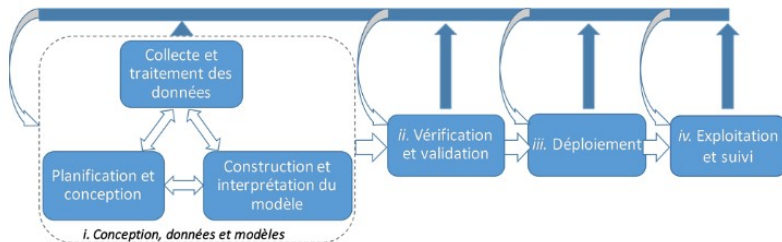
■ La phase de conception, données et modèles

- ▶ Les métadonnées intègrent les informations relatives aux modalités de création de l'ensemble de données, à sa composition, aux usages prévus et à sa maintenance au fil du temps.
- ▶ La construction et l'interprétation du modèle couvrent la création ou le choix des modèles ou des algorithmes, leur calage et/ou leur entraînement, ainsi que leur interprétation.

Différentes phases d'un système d'IA

- **La phase de vérification et validation** comprend l'exécution et le réglage des modèles, avec des tests visant à évaluer les performances au regard de diverses dimensions et considérations.
- **La phase de déploiement (mise en production)** englobe le pilotage, la vérification de la compatibilité avec les systèmes existants, la mise en conformité réglementaire, la gestion des changements organisationnels et l'évaluation de l'expérience des utilisateurs.
- **La phase d'exploitation et de suivi** couvre l'exploitation du système d'IA et l'évaluation permanente de ses recommandations et de ses effets (attendus et imprévus) au regard des objectifs et des considérations éthiques.

Différentes phases d'un système d'IA



Source : Tel que défini et approuvé par l'AIGO en février 2019.

Figure 5 – Cycle de vie d'un système d'IA