

Bienvenue à CSI 4506!

CSI 4506 - Automne 2025

Marcel Turcotte

Version: sept. 4, 2025 15h20

Préambule

Message du jour (MOTD)



- 2025-08 – Directrice de l'IA, [Cohere](#)
- 2023-03 – 2025-05 VP Recherche IA, Meta
- 2017-05 – 2023-02 Directrice, Facebook Artificial Intelligence Research (FAIR), Montréal
- 2004-08 – Professeure, Université McGill

[Cohere raises US\\$500-million, hires former Meta AI expert Joelle Pineau, Joe Castaldo](#), The Globe and Mail, 2025-08-14.

[Joëlle Pineau](#), une éminente scientifique canadienne en informatique, est née à Ottawa et a eu une carrière exemplaire dans le domaine de la recherche en intelligence artificielle. Elle a auparavant occupé le poste de vice-présidente de la recherche en IA chez Meta et a été directrice de Facebook Artificial Intelligence Research (FAIR) à Montréal. Actuellement, elle est la directrice de l'IA chez Cohere.

Cohere, une entreprise canadienne d'IA, se consacre au développement de technologies avancées de traitement du langage naturel (NLP) visant à doter les entreprises de modèles de langage de pointe. Deux de ses cofondateurs, Aidan Gomez et Nick Frosst, ont précédemment mené des recherches chez Google Brain. Ils sont également co-auteurs de l'article phare "[Attention is All You Need](#)," qui a introduit l'architecture transformer, une avancée clé en apprentissage automatique. L'article a 192 363 citations selon Google Scholar.

- [Le gouvernement Carney misera sur une entreprise canadienne](#), Joël-Denis Bellavance, La Presse Plus, 2025-08-19.

<https://youtu.be/Sq1QZB5baNw>

La présentation comprend quatre vidéos, mais nous n'en visionnerons qu'une seule. Ces vidéos ont été choisies pour leur aspect science-fiction et leur utilisation de l'IA générative.

L'approche de Figure se distingue nettement des méthodes antérieures. Ces dernières reposaient souvent sur des modules séparés pour résoudre différents problèmes. Par exemple, un robot utilisait un algorithme de planification pour trouver un chemin optimal, et le raisonnement était fortement scripté («on rails»), limitant ainsi les tâches et les capacités d'apprentissage.

Nous voyons ici une approche de bout en bout basée sur des réseaux de neurones. L'apprentissage profond vise à produire des systèmes flexibles, généraux et capables d'apprendre. Inspiré par les grands modèles de langage (LLMs), nous observons maintenant le développement de grands modèles d'actions (LAMs).

Les vidéos sur les nouveaux modèles de Google DeepMind sont tout aussi impressionnantes.

Comment vous sentez-vous face à ces développements?

<https://youtu.be/Z3yQHYNXPws>

<https://youtu.be/UIZAiXYceBI>

<https://youtu.be/nXVvvRhiGjl>

Objectifs d'apprentissage

- **Clarifier** la proposition
- **Discuter** le plan de cours
- **Articuler** les attentes
- **Explorer** les différentes définitions de "l'intelligence artificielle"

Il est probable que notre premier cours se termine assez tôt, ce qui nous laissera du temps pour discuter après la présentation, si vous le souhaitez.

Je souhaite clarifier ma proposition. J'ai opté pour une approche spécifique pour introduire les concepts et je souhaite expliquer les raisons de ce choix.

Après vous avoir présenté le plan de cours et les attentes, nous discuterons des différentes définitions de l'intelligence artificielle.

Proposition

Aperçu du cours

Description officielle

Concepts et méthodes de base de l'intelligence artificielle. Connaissances et représentation des connaissances. Recherche, recherche stratégique, jeux de stratégie. Raisonnement et déduction. Incertitude en intelligence artificielle. Introduction au traitement du langage naturel. Éléments de base de la planification. Éléments de base de l'apprentissage automatique.

Voici la description officielle du cours. À la fin de cette présentation, vous trouverez le code Python que j'ai utilisé afin de produire cet extrait sonore.

Cette description de cours date de plusieurs années, plaçant l'apprentissage automatique à la fin de l'énumération.

Buts: Apprentissage profond tôt

** (Legg et Hutter 2007, traduction GPT-4o)**

Pour la communauté plus large de l'informatique et des technologies de l'information, l'**IA** est généralement **identifiée par les techniques qui en ont émergé**, lesquelles, à **différentes époques**, peuvent inclure la **démonstration de théorèmes**, la **recherche heuristique**, les **jeux**, les

systèmes experts, les **réseaux neuronaux**, les **réseaux bayésiens**, le **fouille de données**, les **agents**, et récemment, **l'apprentissage profond**.

- **L'apprentissage profond** est tellement dominant que j'ai choisi de structurer tout autour de celui-ci.

Qu'est-ce que cela signifie?

La bonne vieille IA de style classique (GOFAI) reposait sur **l'ingénierie des connaissances faite à la main**, mais elle a été largement remplacée par **l'apprentissage automatique** en raison de la disponibilité accrue des données, des ressources informatiques et des nouveaux algorithmes.

...

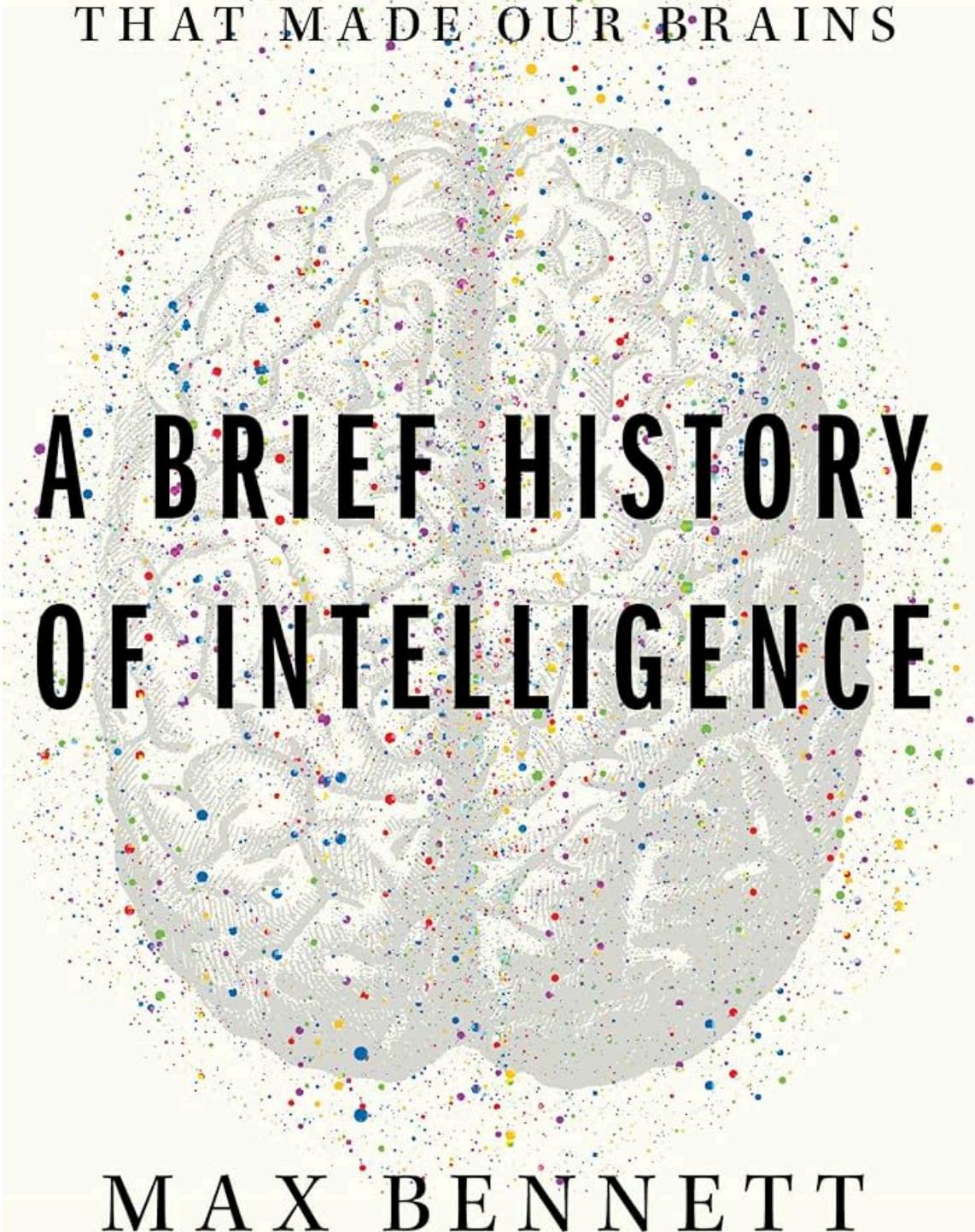
L'apprentissage profond a eu un impact significatif sur divers domaines, notamment le traitement du langage naturel, la robotique et la vision par ordinateur.

...

Cependant, l'apprentissage profond présente actuellement des **limites**, notamment en matière de **raisonnement**, où l'IA symbolique excelle et pourrait potentiellement offrir des perspectives précieuses.

Mais aussi

EVOLUTION, AI, AND THE
FIVE BREAKTHROUGHS
THAT MADE OUR BRAINS



**A BRIEF HISTORY
OF INTELLIGENCE**

MAX BENNETT

- Dans **A Brief History of Intelligence** (Bennett 2023), Max Bennett discute des **étapes importantes de l'évolution de l'intelligence humaine** et établit des parallèles avec les progrès de l'intelligence artificielle (IA).
- L'apprentissage lui-même représente l'une des premières étapes et la plus largement comprise dans l'évolution de l'intelligence.

Curieusement, le développement de l'IA a été largement influencé par des approches logiques (IA symbolique). Le développement de l'IA a été fortement marqué par des courants intellectuels ancrés dans la philosophie et les mathématiques, plutôt que dans la biologie et son évolution. Les raisonnements en philosophie et en mathématiques reposent sur des fonctions cognitives complexes, peut-être moins bien comprises et ayant évolué plus tardivement.

L'apprentissage lui-même représente l'une des premières étapes et la plus largement comprise dans l'évolution de l'intelligence.

Il aurait été logique d'aborder l'étude de l'intelligence en progressant des formes les plus simples aux formes les plus complexes.

Buts: Appliqué

** Andrew Ng, [The Batch, April 10, 2024](#)**

De nombreux développeurs de logiciels craignent que les **grands modèles de langage** ne rendent **les programmeurs humains obsolètes**. Nous doutons que l'IA remplace les programmeurs, mais nous croyons que **les programmeurs qui utilisent l'IA remplaceront ceux qui ne le font pas**.

(traduction GPT-4o)

- Chaque fois que possible, les concepts seront introduits avec du code.

Buts: Rigueur académique

En recherchant la clarté et l'accessibilité, ce cours vise à trouver un équilibre entre le **discours informel** et la **précision** nécessaire à la rigueur académique. L'objectif est que les apprenants non seulement saisissent, mais aussi **appliquent, évaluent et analysent de manière critique** les concepts discutés tout au long du cours.

Plan de cours

Informations sur le cours

Sites web

- turcotte.xyz/teaching/csi-4506
- uottawa.brightspace.ca

Horaire

- **Cours magistraux:** Lundi 10h à 11h20 et mercredi 8h30 à 9h50 DMS 1120
- **Heures de bureau:** Lundi 15h à 16h20 STE 5106
- **Horaire officiel:** www.uottawa.ca/etudiants-actuels/horaire-cours

Évaluation

| Catégorie | Pourcentage |
|--------------|---------------|
| Travaux | 40% (4 x 10%) |
| Quiz | 20% |
| Examen final | 40% |

Matériel de lecture

Je m'appuierai sur les deux manuels listés ci-dessous, ainsi que sur des publications scientifiques pertinentes. Toutes les sources d'information seront citées. Pour la plupart des gens, je m'attends à ce que mes notes de cours soient suffisantes.

- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4ème éd.). Pearson.
- Poole, D.L., & Mackworth, A.K. (2023) *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents* (3ème éd.). Cambridge University Press. (Disponible gratuitement en ligne en [format HTML](#))

La [librairie du campus](#) a commandé un petit nombre d'exemplaires de ces livres, pour ceux qui sont intéressés.

Nous ne suivons pas strictement le cadre proposé par (Russell et Norvig 2020) et (Poole et Mackworth 2023). En particulier, bien que ces manuels utilisent le concept d'agent intelligent comme thème central, des domaines tels que l'apprentissage automatique (ML), le traitement automatique du langage naturel (NLP) et la vision fonctionnent comme des communautés distinctes. Dans ces communautés, les problèmes ne sont généralement pas formulés en termes d'agents.

Il y a deux sites web à utiliser. Sur mon site personnel, vous trouverez les présentations et des exemples de code. Sur Brightspace, vous soumettrez vos travaux et participerez aux groupes de discussion.

Pendant le cours, visitez mon site personnel. Vous y trouverez le programme complet, le calendrier du cours, des informations sur l'équipe, ainsi qu'une brève biographie de l'instructeur.

Testeurs bêta

Ce sera ma deuxième itération de ce contenu. Votre aide pour identifier ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas sera très appréciée.

Avertissements

CSI 4506 est un cours d'introduction à l'intelligence artificielle, offrant un aperçu bref de divers sujets dans ce domaine vaste. **Chaque sujet couvert pourrait être exploré beaucoup plus en profondeur à travers un ou plusieurs cours de niveau supérieur.**

L'objectif principal de CSI 4506 est de fournir aux étudiants une compréhension de base des principaux domaines qui constituent l'intelligence artificielle.

...

Les chevauchements avec d'autres cours sont inévitables, mais je ferai de mon mieux pour les minimiser.

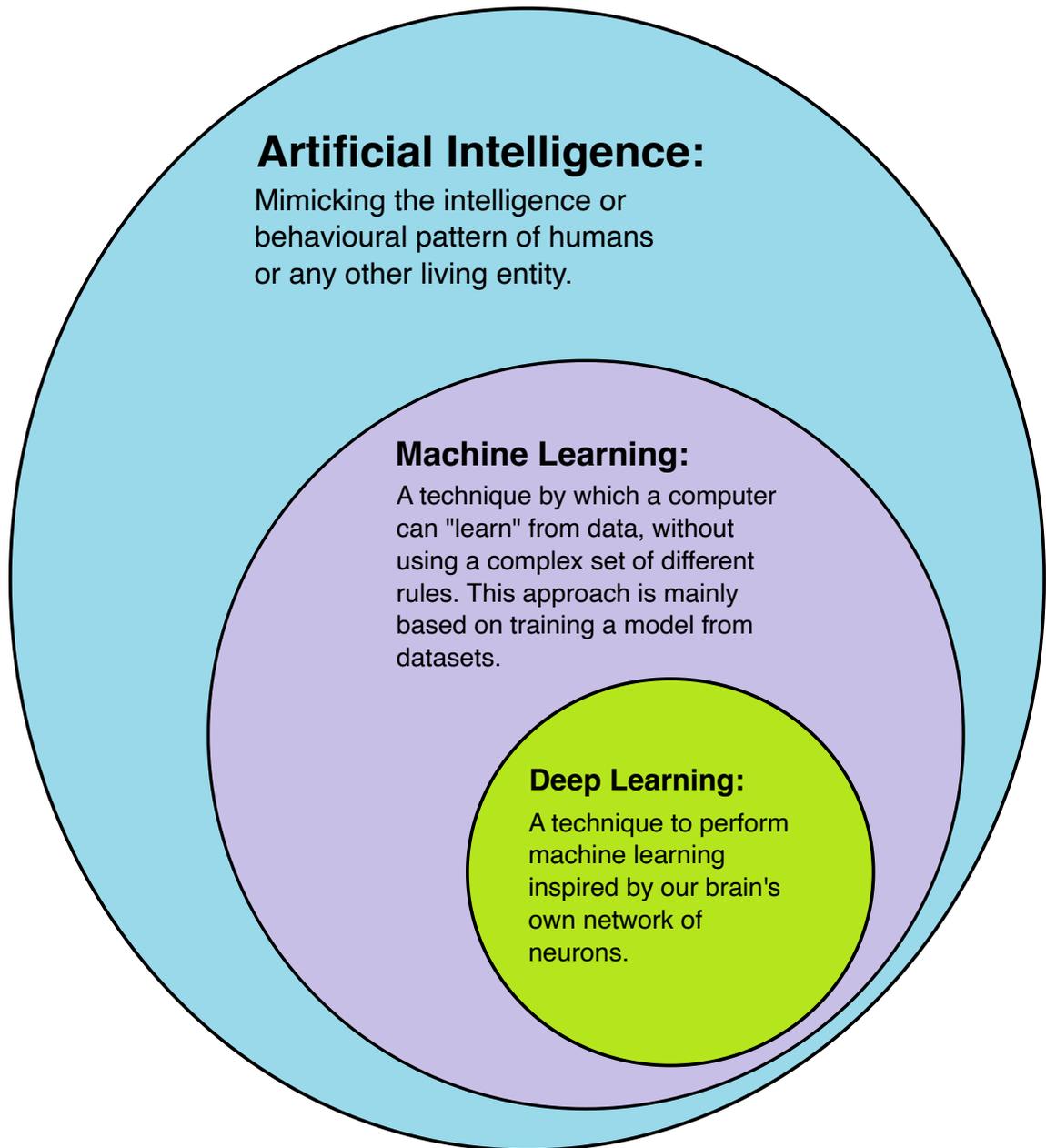
...

Ce cours n'est pas un cours sur l'impact de l'IA sur la société, y compris les questions d'éthique, d'équité, de confiance et de sécurité.

Cet avertissement est en réalité pour moi. Ce sont des sujets qui me passionnent, et j'aimerais vous transmettre tout ce que je sais. Cependant, cela n'est évidemment pas possible. De manière générale, je vais essayer de me concentrer sur un petit nombre d'approches pour bien comprendre les sujets, plutôt que d'adopter une approche exhaustive.

Préparer le terrain : IA, apprentissage profond et vues divergentes sur l'intelligence.

AI, ML, DL



Attribution: Avimanyu786SVG version: Tukijaaliwa, [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), visité le 18 juin 2024.

L'apprentissage profond est tellement répandu aujourd'hui que certaines personnes pourraient le confondre avec l'intelligence artificielle. Comme le montre la figure, l'apprentissage profond (deep learning) est l'une des nombreuses techniques utilisées dans l'apprentissage automatique (machine learning). L'apprentissage automatique, à son tour, est l'une des plusieurs disciplines au sein de l'intelligence artificielle. D'autres disciplines de l'IA incluent la représentation des connaissances, le raisonnement et la planification, le traitement du langage naturel, la vision par ordinateur et la robotique.

D'ici la fin de la session, cette distinction devrait être bien évidente.

Écoles de pensée

- **IA symbolique** (essentiellement basée sur la logique)
- **Connexionnisme** (principalement des réseaux de neurones)

Longtemps considérées comme mutuellement exclusives

Au début de ce cours, il est important de reconnaître qu'il existe deux grandes écoles de pensée en IA : l'**IA symbolique** et le **connexionnisme**. Initialement, l'approche symbolique était dominante dans le domaine de l'IA, mais aujourd'hui, l'approche connexionniste prévaut.

Tours de Hanoï

(pour information uniquement)

<https://youtu.be/PGuRmqpr6Oo>

Voir aussi: Binary, Hanoi and Sierpinski, [Partie 1](#) et [Partie 2](#), de [3Blue1Brown](#).

IA symbolique (Planification)

Problème

Les **Tours de Hanoï** est un jeu avec **trois piquets** et **plusieurs disques de tailles différentes**. Il **commence** avec tous les **disques empilés par ordre décroissant sur un piquet**, et l'**objectif est de déplacer la pile entière sur un autre piquet**, en respectant ces règles.

1. **Un seul disque** peut être déplacé à la fois.
2. Un disque ne peut être placé **que sur un disque plus grand** ou **sur un piquet vide**.

Codage

Action `Move(X,Y,Z)` :

```
Preconditions = {Clear(X), On(X,Y), Clear(Z), Smaller(X,Z)};
Effects = {-On(X,Y), Clear(Y), On(X,Z), -Clear(Z)};
```

Départ

`D1`, `D2`, `D3`, `P1`, `P2`, `P3` sont des symboles, où `D1`, `D2`, et `D3` sont des disques, et `P1`, `P2`, et `P3` sont des piquets.

```
On(D1, D2), On(D2, D3), On(D3, P1),
clear(D1), clear(P2), clear(P3),
Smaller(D1, D2), Smaller(D1, D3), Smaller(D2, D3),
Smaller(D1, P1), Smaller(D1, P2), Smaller(D1, P3),
```

Smaller(D2, P1), Smaller(D2, P2), Smaller(D2, P3),
Smaller(D3, P1), Smaller(D3, P2), Smaller(D3, P3).

Objectif

On(D1, D2), On(D2, D3), On(D3, P3).

Solution

Move(D1, P1, P3)
Move(D2, P1, P2)
Move(D1, P3, P2)
Move(D3, P1, P3)
Move(D1, P2, P1)
Move(D2, P2, P3)
Move(D1, P1, P3)

STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver, 1971) est un **système de planification en IA classique** qui représente les problèmes en termes de :

- **États** : ensembles de prédicats logiques décrivant le monde.
- **Opérateurs (Actions)** : définis par
 - *Préconditions* : prédicats qui doivent être vérifiés pour appliquer l'action,
 - *Liste d'ajout* : prédicats rendus vrais après exécution,
 - *Liste de suppression* : prédicats rendus faux après exécution.
- **But** : un ensemble de prédicats à atteindre.

Un plan est trouvé en appliquant des actions pour transformer l'état initial en un état but, en mettant à jour le monde via les listes d'ajout/suppression.

Ces méthodes seront examinées de manière approfondie à partir du cours 16, consacré aux méthodes de recherche, et du cours 22, qui portera sur les raisonnements formels.

IA Symbolique (Parenté)

Problème

Étant donné quelques **faits** concernant qui est parent de qui (**symboles**) et une poignée de **règles en forme de Horn**, déduisez de nouvelles relations (par exemple, **ancêtre**, **frères et sœurs**, **grand-parent**) par *déduction logique*.

Règles

father(F,C) :- male(F), parent(F,C).

mother(M,C) :- female(M), parent(M,C).

```
sibling(X,Y) :- parent(P,X), parent(P,Y), X \= Y.
```

```
grandparent(G,C) :- parent(G,P), parent(P,C).
```

```
ancestor(A,D) :- parent(A,D).
```

```
ancestor(A,D) :- parent(A,X), ancestor(X,D).
```

Faits

```
% faits/symboles
```

```
male(alan). female(brenda).
```

```
male(chris). female(dina).
```

```
male(eli). female(fiona).
```

```
parent(alan, chris).
```

```
parent(brenda, chris).
```

```
parent(chris, dina).
```

```
parent(dina, eli).
```

```
parent(dina, fiona).
```

Requête

```
?- grandparent(G, dina).
```

```
% Attendu : G = alan ; G = brenda.
```

```
?- ancestor(A, fiona).
```

```
% Attendu : A = dina ; A = alan ; A = brenda ; A = chris ;
```

```
?- sibling(eli, fiona).
```

```
% Attendu : vrai.
```

L'exemple précédent démontre l'application de la programmation logique, spécifiquement Prolog, pour articuler les relations entre les entités.

- **Séparation claire** des connaissances (faits) et du raisonnement (règles).
- **Explications** : les arbres de preuve de Prolog rendent les déductions inspectables.
- **Récursion** illustre la puissance expressive (par exemple, ancestor/2).

IA Symbolique (Prérequis)

Problème

Étant donné les **prérequis des cours** et l'ensemble **complété** d'un étudiant, déduire quels cours ils **peuvent suivre ensuite**. Cela montre le *raisonnement par contraintes symboliques*.

Règles

```

all_prereqs_met(Etudiant, Cours) :-
    \+ (prereq(Cours, P), \+ completed(Etudiant, P)).

can_take(Étudiant, Cours) :-
    all_prereqs_met(Etudiant, Cours),
    \+ completed(Etudiant, Cours).

```

Cours

```

% --- Graphe des cours (faits, symboles) ---

prereq(csi2120, csi2110).
prereq(csi2110, iti1121).
prereq(csi2110, mat1338).
prereq(iti1121, iti1120).

```

Étudiants

```

% --- Dossier étudiant (faits, symboles) ---

completed(alex, iti1121).
completed(alex, iti1120).
completed(alex, mat1338).

```

Requête

```

?- can_take(alex, csi2110).
% true

?- can_take(alex, csi2120).
% false

?- can_take(alex, iti1121).
% false

?- all_prereqs_met(alex, csi2110).
% true

```

Un autre exemple utilisant la programmation logique (Prolog).

- Montre **la satisfaction des contraintes** et **la négation dans le monde clos**.
- Facile à étendre avec des cours optionnels, co-requis ou anti-requis.
- Produit des **recommandations auditables** (pourquoi/pourquoi pas).

La négation par échec, qui est représentée par `\+` (antislash-plus), en Prolog.

- `\+ Goal` réussit si `Goal` ne peut pas être prouvé.
- Sémantique : **hypothèse du monde clos** — si ce n'est pas dans la base de connaissances, nous supposons que c'est faux.

La règle

```
all_prereqs_met(Étudiant, Cours) :-  
    \+ (prereq(Cours, P), \+ completed(Étudiant, P)).
```

se lit comme suit :

" all_prereqs_met(Etudiant, Cours) est vrai **s'il n'existe pas** un prérequis P pour Cours tel que Etudiant n'a pas complété P."

Ou, plus naturellement :

"Un étudiant a satisfait tous les prérequis pour un cours lorsque chaque cours qui est listé comme prérequis a déjà été complété par cet étudiant."

IA symbolique

- "Leur principe fondateur était que **la connaissance** peut être représentée par un **ensemble de règles**, et les programmes informatiques peuvent utiliser **la logique** pour manipuler cette connaissance." (Strickland 2021)
- "Les chercheurs développant l'IA symbolique ont entrepris d'**enseigner explicitement aux ordinateurs** le monde." (Strickland 2021)
- "(. . .) un **système de symboles** a les **moyens nécessaires** et **suffisants** pour **une action intelligente générale**."
(Newell et Simon 1976) Quels étaient les principaux défis associés à l'IA symbolique ?

Notez l'importance du mot « explicitement » dans cet énoncé. Il ne s'agit pas de fournir des exemples à l'ordinateur, mais bien de décrire les connaissances humaines à l'aide de la logique.

Les chercheurs de l'époque étaient convaincus que l'approche symbolique est la clé du succès.

IA symbolique

- Quels étaient les **principaux défis** associés à l'**IA symbolique** ?

Connexionniste

Inspirés par la biologie, les **réseaux de neurones artificiels** (ANNs) sont des modèles computationnels conçus pour **imiter le réseau de neurones du cerveau humain**. Ils sont constitués de couches de **nœuds interconnectés (neurones)**, chaque **connexion** ayant un **poids** associé.

...

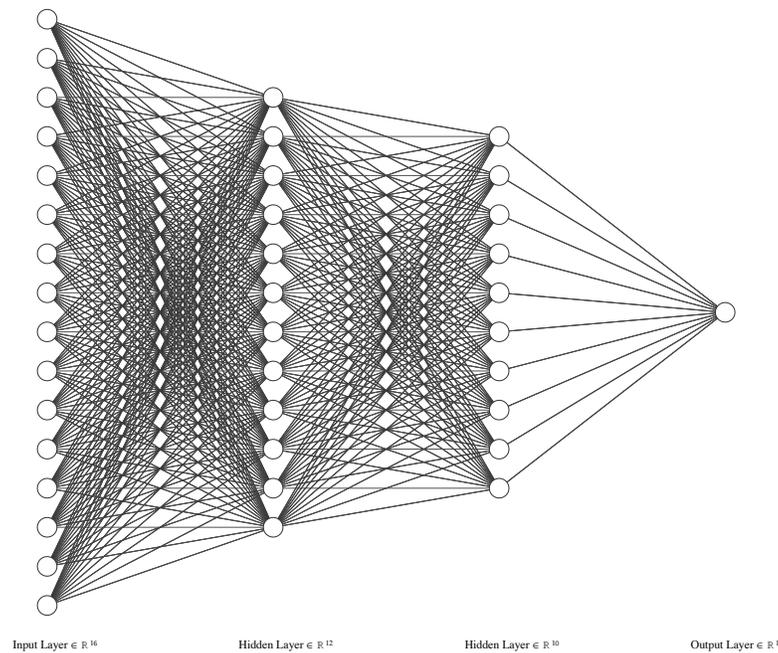
Les ANNs traitent les données d'entrée à travers ces connexions pondérées, et l'**apprentissage** se produit en **ajustant les poids** en fonction des **erreurs** dans les **données d'entraînement**.

Voir: playground.tensorflow.org

Le terme "connexionnistes" vient de l'idée que les nœuds dans ces modèles sont interconnectés. Au lieu d'être explicitement programmés, ces modèles apprennent leur comportement par l'entraînement.

L'apprentissage profond est une approche connexionniste.

Connexionniste



Attribution: LeNail, (2019). NN-SVG: Publication-Ready Neural Network Architecture Schematics. Journal of Open Source Software, 4(33), 747, <https://doi.org/10.21105/joss.00747> (GitHub)

Définir l'IA

Sondage

Perceptions et attitudes face à l'intelligence artificielle

- La majorité des étudiants manifestent une disposition généralement positive envers l'IA. Si votre perspective diffère, veuillez élaborer.

- Il existe une large gamme d'opinions concernant la probabilité d'issues catastrophiques dues à l'IA (P(doom)).
- Un nombre relativement restreint d'étudiants exprime des inquiétudes quant au remplacement de leurs emplois par l'IA.
- Peu d'étudiants perçoivent les systèmes d'IA actuels comme véritablement intelligents.
- Les opinions sur l'Intelligence Artificielle Générale (AGI) et la Super-intelligence varient considérablement.
- Les préoccupations principales entourant l'IA incluent le déplacement potentiel des emplois et l'utilisation abusive, avec des problèmes de confidentialité également notés.
- De nombreux étudiants considèrent que les secteurs médical et de la santé sont des domaines où l'IA pourrait exercer une influence significative.
- Une portion substantielle d'étudiants croit que l'IA est excessivement médiatisée.
- Moins de 20 % des étudiants possèdent une expérience substantielle en intelligence artificielle.

Pourquoi définir l'IA ?

- **Améliorer la clarté et la communication** : Établir une compréhension mutuelle des critères d'évaluation, des tests de référence et des jalons.
- **Aborder les implications éthiques, sociales et juridiques** : Permettre aux décideurs de développer des réglementations minimisant les risques liés à l'IA.

Une définition opérationnelle

** (Wang 2019) (traduction GPT-4o)**

Pour la grande communauté de l'informatique et de la technologie de l'information, l'IA est généralement identifiée par les techniques issues de celle-ci, qui à différentes périodes peuvent inclure la **démonstration de théorèmes**, la **recherche heuristique**, les **jeux**, les **systèmes experts**, les **réseaux de neurones**, les **réseaux bayésiens**, l'**exploration de données**, les **agents**, et récemment, l'**apprentissage profond**.

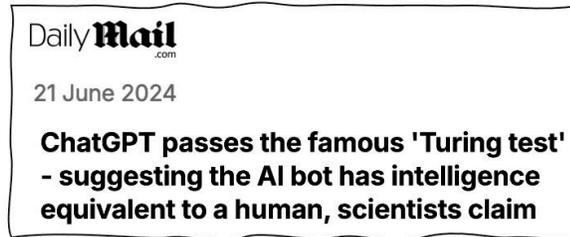
Contexte

- **Engouement** («*hype*») significatif.
- Plusieurs entreprises de premier plan, dont [DeepMind](#) et [OpenAI](#), se concentrent principalement sur le développement de l'**intelligence artificielle générale** (IAG).

- Si l'IAG devenait une réalité, **ses implications pourraient profondément impacter divers aspects de nos vies**, y compris l'éducation, l'emploi, les structures économiques et les avancées scientifiques.

L'IA a donc un grand potentiel pour influencer le cours de vos vies. Il est donc pertinent de prendre le temps de définir ce qu'est l'IA et d'explorer ses différentes approches.

Je vous préviens tout de suite, il n'existe pas de consensus sur la définition de l'IA, pas plus que sur celle de l'intelligence.



Attribution: Melanie Mitchell, Substack, [The Turing Test and Our Shifting Conceptions of Intelligence](#), 15 août 2024.

Question

User: The man and the goat want to enjoy a picnic near a river, but there's a wolf. What to do with the zucchini?

...

ChatGPT 5: You've got the classic river-crossing (wolf-goat-cabbage ⇒ here, zucchini).

Boat carries you + one item. Unsafe pairings: wolf with goat; goat with zucchini.

Minimal plan:

1. Take goat over.
2. Return alone.
3. Take wolf over.
4. Bring goat back.
5. Take zucchini over.
6. Return alone.
7. Take goat over.

Conclusion: keep the zucchini never alone with the goat; ferry it on step 5.

...

Source: Andriy Burkov, publié sur [LinkedIn](#) il y a 3 semaines.

Question

User: Surgeon but child, hospital, it have a no, why it so?

...

ChatGPT 5: You're pointing to the classic riddle:

Car crash → injured child → surgeon says "I can't operate—this is my child."

Resolution: the surgeon is the child's mother (or another parent in a non-heteronormative family).

The "paradox" arises from implicit gender assumptions about surgeons.

...

Source: Andriy Burkov, publié sur [LinkedIn](#) il y a 3 semaines.

La nature complexe de l'intelligence

...

- **Artificielle** concerne la création d'entités ou de phénomènes qui imitent les processus naturels en utilisant la technologie ou des matériaux synthétiques, une définition largement reconnue et acceptée.
- Par conséquent, définir **l'intelligence artificielle** nécessite fondamentalement de clarifier d'abord ce que nous entendons par **intelligence**. Étonnamment, "malgré

une longue histoire de recherche et de débat, il n'y a toujours pas de définition standard de l'intelligence." (Legg et Hutter 2007, traduction GPT4o)

Comment définissez-vous l'intelligence?

- Quelles sont les **caractéristiques** que vous associez avec l'**intelligence**?
- "**Intelligence** is a very general mental capability that, among other things, involves the ability to **reason, plan, solve problems, think abstractly, comprehend complex ideas, learn quickly and learn from experience.**"
 - Publié à l'origine dans le Wall Street Journal en 1994, le contenu a été réimprimé en 1997: (Gottfredson 1997)

Une IA peut-elle faire des erreurs?

Capacités essentielles

** Douglas Hofstadter**

Personne ne sait où se situe la frontière entre un comportement non intelligent et un comportement intelligent, en fait, suggérer qu'il existe une frontière nette est probablement absurde. Mais les capacités essentielles pour l'intelligence sont certainement :

1. répondre aux situations de manière très **flexible**;
2. tirer parti des circonstances **fortuites**;
3. donner un sens à des messages **ambigus** ou **contradictaires**;
4. reconnaître l'**importance relative des différents éléments** d'une situation;
5. trouver des **similarités** entre des situations malgré les différences qui peuvent les séparer;
6. établir des **distinctions** entre les situations malgré les similarités qui peuvent les lier;
7. **synthétiser** de nouveaux concepts en prenant des anciens concepts et en les assemblant de nouvelles façons;
8. proposer des **idées qui sont nouvelles.**"

Pour certains concepts complexes, tracer une frontière claire peut s'avérer difficile. Prenons l'exemple du concept de vie. Les humains, les plantes et les insectes sont considérés comme vivants, tout comme les microorganismes tels que les bactéries. En revanche, les virus et les viroïdes ne le sont pas.

François Chollet, Créateur de **Keras**

**** François Chollet****

L'intelligence réelle ne consiste pas à maîtriser une compétence individuelle, a-t-il soutenu, mais à **appliquer ce qui a été appris à une nouvelle situation différente.**

Selon lui, l'intelligence est la capacité à **acquérir efficacement de nouvelles compétences** que la formation n'a pas préparées, dans le but d'accomplir des tâches suffisamment différentes de celles qu'un système a vues auparavant.

Plus l'étendue des nouvelles compétences est large, plus l'ordinateur se rapproche de l'intelligence générale artificielle.

"Si vous pouvez rendre le processus d'apprentissage aussi efficace en termes d'information qu'un esprit humain, alors vous avez une IGA," a déclaré Chollet.

Jusqu'à présent, les machines sont très en retard, environ 10 000 fois moins efficaces que les cerveaux humains. Par exemple, **il a fallu des millions d'images pour apprendre aux ordinateurs à reconnaître des images de chats, alors que les humains apprennent à les identifier avec seulement une ou deux exemples.**

Savage (2024) (traduction GPT-4o)

Penser, agir, humainement, rationnellement

Russell & Norvig considèrent deux axes.

| | Penser | Agir |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Humain | penser humainement (simulation) | agir humainement (test de Turing) |
| Rationalité | penser rationnellement (logique) | agir rationnellement (agent) |

Voir aussi l'annexe – [Section 9](#) Sur la définition de l'intelligence artificielle

La question de l'intelligence a fait l'objet de nombreux débats dans la littérature et les médias, en particulier lorsqu'il s'agit d'animaux ou d'ordinateurs. Cette abondance d'informations peut biaiser notre réflexion.

Un simple exercice de pensée pourrait offrir une nouvelle perspective : seriez-vous capable de reconnaître l'intelligence chez une entité extraterrestre ?

Rationalité



** (Mohammed, Sookram, et Saridakis 2019)**

La rationalité implique l'**évaluation des choix pour atteindre un objectif ou trouver la solution optimale à un problème**. Simon (1972, p. 161) définit la rationalité comme "un style de comportement approprié à la **réalisation des objectifs fixés**, dans les **limites imposées par les conditions et contraintes données**."

(traduction GPT-4o)

Attribution: [NBC Television, domaine public, via Wikimedia Commons](#)

Étroite vs générale

Intelligence Artificielle Générale (AGI)

L'intelligence artificielle générale (AGI) se réfère à une forme d'intelligence artificielle (IA) qui **égale** ou **dépasse** la compétence humaine dans une **large gamme de fonctions cognitives**.

Alias **intelligence de niveau humain**. Par opposition à l'**intelligence étroite** («*narrow*»), le statut actuel de l'IA, qui effectue une tâche spécifique ou une gamme limitée de tâches.

AlphaFold (1, 2, et 3)

- Je le répète, **il n'y a rien de mal à l'IA étroite**.
- «Two papers in this week's issue dramatically expand our structural understanding of proteins. Researchers at **DeepMind**, Google's London-based sister company, present the latest version of their **AlphaFold** neural network.»
 - Jumper et al. (2021)

Effet/paradoxe de l'IA

** (Wang 2019)**

(. . .) dès qu'un système informatique est construit pour résoudre un problème avec succès, le problème n'est plus "seulement solvable par l'esprit humain," donc n'a plus besoin d'intelligence. Par conséquent, **"l'IA est ce qui n'a pas encore été fait"** (Hofstadter, 1979 ; Schank, 1991), ce qui est connu sous le nom de **"l'effet IA"** (McCorduck 2004, traduction GPT-4o).

Le paradoxe de l'IA est tout à fait fascinant. Aux débuts de l'IA, les chercheurs se concentraient sur des problèmes comme les équations différentielles ou les échecs.

Chaque fois qu'un ordinateur résout l'un de ces grands problèmes, nous en venons à penser que ce problème ne nécessitait finalement pas vraiment d'intelligence pour être résolu.

La défaite de Garry Kasparov aux mains d'IBM Watson en est un parfait exemple.

Impact

Économique

** Beyond the hype: Capturing the potential of AI and gen AI in tech, media, and telecom 2024-02-22**

Les recherches de McKinsey estiment que **l'IA générative** pourrait ajouter à l'économie entre **2,6 billions et 4,4 billions de dollars par an** tout en augmentant l'impact de toute l'intelligence artificielle de 15 à 40 pour cent.

En fait, il semble possible que **dans les trois prochaines années, tout ce qui n'est pas connecté à l'IA sera considéré comme obsolète ou inefficace.**

Sous-domaines de l'IA

1. **Apprentissage Automatique (Machine Learning):** Détection de fraude par carte de crédit
2. **Apprentissage Profond (Deep Learning):** Reconnaissance d'images et de visages
3. **Traitement Automatique du Langage Naturel (Natural Language Processing):** Assistants virtuels comme Siri ou Alexa
4. **Vision par Ordinateur (Computer Vision):** Véhicules autonomes
5. **Robotique (Robotics):** Automatisation industrielle dans la fabrication
6. **Systèmes Experts (Expert Systems):** Support au diagnostic médical
7. **Reconnaissance Vocale (Speech Recognition):** Services de transcription vocale
8. **Planification et Prise de Décision (Planning and Decision Making):** Optimisation de la chaîne d'approvisionnement
9. **Apprentissage par Renforcement (Reinforcement Learning):** IA de jeu dans les jeux de stratégie complexes
10. **Représentation des Connaissances (Knowledge Representation):** Technologies du web sémantique pour la recherche d'information

Notre dernière invention

** (Russell et Norvig 2020)**

L'expert en IA Kai-Fu Lee prédit que son **impact** sera **"plus important que tout ce qui s'est passé dans l'histoire de l'humanité."**

https://youtu.be/sK5_pQV_QEA

Questions

- Le concept d'intelligence peut-il être considéré **indépendamment** des entités qui l'expriment ? C'est le problème de l'**incarnation** (*embodiment*).
- Une **machine** peut-elle manifester une intelligence de niveau humain ?
- Est-il possible de **dissocier** les concepts suivants de celui de l'intelligence?
 - **Agentivité** (*agency*).
 - **Sentience** (*sentience*).
 - **Conscience** (*consciousness*).
 - **Émotions**.
 - **Language**.
 - **Esprit** (*mind*).
- Est-ce qu'une IA peut **souffrir** ?

Pour moi, une définition intéressante de l'intelligence serait de nature similaire à celle du calcul.

Utiliser le **calcul** comme concept analogue peut aider à clarifier cette question. Théoriquement, le calcul est souvent considérée de manière abstraite, indépendamment de toute implémentation physique. Le **théorème de Church-Turing**, un principe fondamental en informatique, affirme que tout calcul réalisable par une machine (plus précisément, une machine de Turing) est universellement applicable. Cela implique que le concept de calcul peut exister indépendamment de son matériel ou de sa forme physique spécifique.

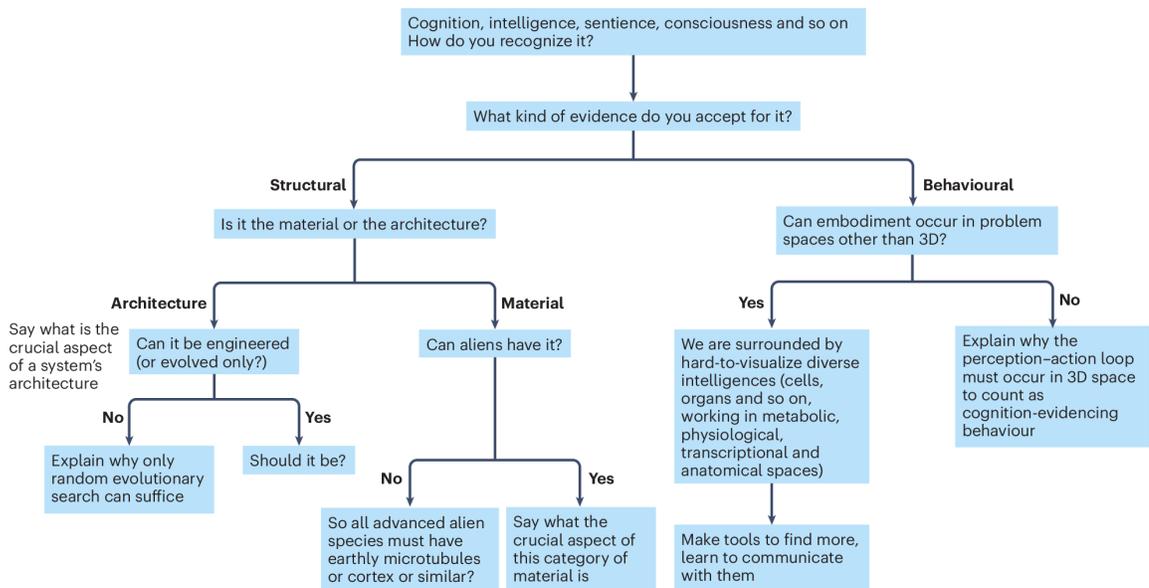
Je dois vous faire une confidence : jusqu'en 2022, j'étais plutôt sceptique. Je faisais souvent un parallèle entre l'intelligence artificielle et l'alchimie. Les alchimistes n'ont jamais réussi à transmuter le plomb en or, car c'est un processus physique, mais leur démarche a conduit au développement de la chimie. De la même manière, nous ne serons peut-être jamais capables de reproduire l'intelligence humaine, mais les retombées de l'IA sont immenses et souvent insoupçonnées, comme le ramasse-miettes introduit par Lisp.

Puis, cela m'a frappé : je suis un scientifique, et je me suis demandé ce que cela signifierait si nous n'étions pas capables de produire une intelligence comparable à celle de l'humain.

Richard Feynman, qui a reçu le prix Nobel de physique en 1965, a dit célèbrement : « Ce que je ne peux pas construire. Je ne comprends pas. »

Pourquoi chercher à dissocier l'intelligence d'autres concepts tels que l'agentivité, la conscience et les émotions ? Un système informatique dénué de ces attributs semble, en effet, nettement moins inquiétant.

Approfondir la réflexion



Rouleau, N. & Levin, M. (2024). [Discussions of machine versus living intelligence need more clarity](#). *Nature Machine Intelligence*, 6(12), 1424–1426.

Prologue

Résumé

- **Discuté** le syllabus
- **Distinguer** le concept d'intelligence artificielle du concept d'apprentissage automatique
- **Distinguer** l'IA symbolique de l'IA connexionniste
- **Exploré** les différentes définitions de "l'intelligence artificielle"

Prochain cours

- Introduction à l'apprentissage automatique

Références

Bennett, Max S. 2023. *A brief history of intelligence: evolution, AI, and the five breakthroughs that made our brains*. First edition. New York: Mariner Books.

Gottfredson, Linda S. 1997. « Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and bibliography ». *Intelligence* 24 (1): 13-23.
[https://doi.org/10.1016/s0160-2896\(97\)90011-8](https://doi.org/10.1016/s0160-2896(97)90011-8).

Jumper, John, Richard Evans, Alexander Pritzel, Tim Green, Michael Figurnov, Olaf Ronneberger, Kathryn Tunyasuvunakool, et al. 2021. « Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold ». *Nature*, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>.

Legg, Shane, et Marcus Hutter. 2007. « A Collection of Definitions of Intelligence ». In *Advances in Artificial General Intelligence: Concepts, Architectures and Algorithms*;, 17-24. NLD: IOS Press. <https://doi.org/10.5555/1565455.1565458>.

McCorduck, Pamela. 2004. *Machines Who Think, A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence*. Taylor & Francis Group, LLC.
<https://doi.org/10.1201/9780429258985>.

Mohammed, Anne-Marie, Sandra Sookram, et George Saridakis. 2019. « Rationality ». In *Encyclopedia of Law and Economics*, édité par Alain Marciano et Giovanni Battista Ramello, 1766-74. New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7753-2_404.

Newell, Allen, et Herbert A. Simon. 1976. « Computer science as empirical inquiry: symbols and search ». *Commun. ACM* 19 (3): 113-26.
<https://doi.org/10.1145/360018.360022>.

Nilsson, Nils J. 2005. « Human-Level Artificial Intelligence? Be Serious! ». *AI Mag.* 26 (4): 68-75. <https://doi.org/10.1609/AIMAG.V26I4.1850>.

Poole, David L., et Alan K. Mackworth. 2023. *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*. 3^e éd. Cambridge University Press.

Russell, Stuart, et Peter Norvig. 2020. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4^e éd. Pearson. <http://aima.cs.berkeley.edu/>.

Savage, Neil. 2024. « Beyond Turing: Testing LLMs for Intelligence ». *Commun. ACM*, juin. <https://doi.org/10.1145/3673427>.

Strickland, Eliza. 2021. « The Turbulent Past and Uncertain Future of AI: Is there a way out of AI's boom-and-bust cycle? ». *IEEE Spectrum* 58 (10): 26-31.
<https://doi.org/10.1109/MSPEC.2021.9563956>.

Wang, Pei. 2019. « On Defining Artificial Intelligence ». *Journal of Artificial General Intelligence* 10 (2): 1-37. <https://doi.org/10.2478/jagi-2019-0002>.

Annexe : Sur la définition de l'intelligence artificielle

Wang (2019)

Un **agent** et son **interaction avec l'environnement** sont spécifiés comme un tuple :

$$\langle P, S, A \rangle$$

où

- P une séquence de **signaux d'entrée**, $P = \langle p_0, \dots, p_t \rangle$
- S une séquence d'**états internes**, $S = \langle s_0, \dots, s_t \rangle$
- A une séquence d'**actions**, $A = \langle a_0, \dots, a_t \rangle$

Pour une séquence de moments, $0, \dots, t$.

Humain (H) vs Ordinateur (C)

** (Wang 2019)**

L'IA est conçue comme des systèmes informatiques similaires à l'esprit humain dans un certain sens, bien qu'un ordinateur et un esprit humain ne puissent pas être identiques en tous aspects.

$$\langle P^H, S^H, A^H \rangle \approx \langle P^C, S^C, A^C \rangle$$

...

Wang (2019) propose 5 perspectives: **Structure-IA**, **Comportement-IA**, **Capacité-IA**, **Fonction-IA**, et **Principe-IA**.

1. Structure-IA

(modélisation du cerveau, sciences cognitives)

** (Wang 2019)**

J'appelle ce type de définition "**Structure-IA**," car il nécessite qu'un système IA traverse des **états isomorphes** ou des changements de structure comme le fait le cerveau lorsqu'il reçoit des **entrées similaires**, ce qui produira des **sorties similaires**, donc les trois composants des deux sont par paires similaires les uns aux autres :

$$P^H \approx P^C, S^H \approx S^C, A^H \approx A^C$$

2. Comportement-IA

(Test de Turing)

** (Wang 2019)**

Une façon de reconnaître un esprit semblable à celui de l'homme sans exiger un cerveau semblable à celui de l'homme est d'associer l'intelligence aux comportements externes de l'agent. Après tout, **si un agent se comporte comme un humain, il doit être considéré comme intelligent**, peu importe s'il ressemble à un humain, à l'intérieur ou à l'extérieur.

$$P^H \approx P^C, A^H \approx A^C$$

3. Capacité-IA (Test d'emploi)

** (Wang 2019)**

Dans le cadre de l'agent, cela signifie que C est similaire à H dans le sens où il y a des moments i et j que :

$$p_i^C \approx p_j^H, a_i^C \approx a_j^H$$

** (Wang 2019)**

l'action (solution) que l'ordinateur produit pour une perception (problème) est similaire à l'action produite par un humain pour une perception similaire (. . .) De cette manière, **l'intelligence d'un système est identifiée par un ensemble de problèmes qu'il peut résoudre**, peu importe si ces problèmes sont résolus de la "manière humaine".

Capacité-IA (suite)

** (Nilsson 2005)**

"Je suggère que nous remplaçons le test de Turing par ce que j'appellerai le 'test d'emploi.' Pour passer le test d'emploi, **les programmes d'IA doivent être capables de réaliser les tâches normalement effectuées par les humains**. Les progrès vers une IA au niveau humain pourraient alors être mesurés par la fraction de ces tâches qui peuvent être acceptablement réalisées par des machines"

4. Fonction-IA

** (Wang 2019)**

Dans le cadre de l'agent, cette perspective de "**Fonction-IA**" considère que C est similaire à H dans le sens où il y a des moments i et j que :

$$a_i^C \approx f^C(p_i^C), a_j^H \approx f^H(p_j^H), f^C \approx f^H$$

** (Wang 2019)**

Ici, la fonction peut correspondre à la recherche, au **raisonnement**, à l'**apprentissage**, etc., et puisque **l'accent est mis sur les fonctions** (c'est-à-dire les correspondances entrée-sortie), les valeurs concrètes d'entrée et de sortie des deux agents n'ont pas besoin d'être similaires les unes aux autres.

5. Principe-IA (rationalité, logiciste)

** (Wang 2019)**

Comme dans tout domaine, il y a des chercheurs en IA qui essaient de trouver des **principes fondamentaux** qui peuvent uniformément expliquer les phénomènes pertinents. Ici, l'idée vient de l'utilisation de l'intelligence comme une forme de *rationalité* (. . .) qui peut prendre la **meilleure décision possible** dans diverses situations, en fonction de l'expérience ou de l'histoire du système.

$$A^C = F^C(P^C), A^H = F^H(P^H), F^C \approx F^H$$

** (Wang 2019)**

Le F ci-dessus n'est souvent pas spécifié formellement, mais décrit de manière informelle comme un certain "**principe,**" qui ne concerne pas seulement un type de problème et sa solution, mais **l'histoire de vie de l'agent dans diverses situations**, lorsqu'il traite divers types de problèmes.

Code source du jour

```
In [2]: #!/usr/bin/env python3
# -*- Mode: Python -*-
# ai_lecture-01.py
# Author          : Marcel Turcotte & ChatGPT 5
# Created On     : Tue Feb 13 16:29:41 2024
# Last Modified By: Marcel Turcotte
# Last Modified On: Thu Aug 28 15:03:14 EDT 2025
```

```
# In 2024, I developed the initial version of this script.
# This year, I used ChatGPT to revise the code to align with the most recent
# enhance its educational value by incorporating detailed comments,
# and improve its suitability as an instructive example.
```

```
"""
```

```
Didactic example: translate EN->Canadian French, then synthesize audio in EN
```

```
CLI options:
```

```
--format : audio output format (mp3, wav, etc.)
```

```
--voice  : TTS voice (e.g., nova, alloy, verse, etc.)
```

```
--model  : TTS model (tts-1-hd for high quality, gpt-4o-mini-tts for low
```

```
Examples:
```

```
python ai_lecture-01.py --format mp3 --voice nova --model tts-1-hd
```

```
python ai_lecture-01.py --format wav --voice alloy --model gpt-4o-mini-t
```

```
"""
```

```
from __future__ import annotations
```

```
import os
```

```
import argparse
```

```
from pathlib import Path
```

```
from openai import OpenAI, APIError, APIConnectionError, APITimeoutError
```

```
# -----
```

```
# Configuration
```

```
# -----
```

```
client = OpenAI() # Reads OPENAI_API_KEY from environment
```

```
# -----
```

```
# Text Utilities
```

```
# -----
```

```
def translate_to_canadian_french(input_text: str) -> str:
```

```
    """Translate English text to Canadian French (CSI4106->CSI4506)."""
```

```
    instructions = (
```

```
        "You are a careful translator. Translate the user's English text into "
```

```
        "Preserve technical terms and course names. "
```

```
        'If the course code "CSI4106" appears, translate it as "CSI4506".'
```

```
    )
```

```
    try:
```

```
        resp = client.responses.create(
```

```
            model="gpt-4o",
```

```
            instructions=instructions,
```

```
            input=input_text,
```

```
            temperature=0.2,
```

```
            max_output_tokens=1200,
```

```
        )
```

```
        return resp.output_text or ""
```

```
    except (APIConnectionError, APITimeoutError) as net_err:
```

```
        print(f"[Network issue] {net_err}")
```

```
    except APIError as api_err:
```

```

        print(f"[OpenAI API error] {api_err}")
    except Exception as e:
        print(f"[Unexpected error] {e}")
    return ""

# -----
# Audio Utilities
# -----

def synthesize_speech(
    text: str,
    output_path: Path,
    *,
    model: str = "tts-1-hd",
    voice: str = "nova",
    response_format: str = "mp3",
) -> bool:
    """
    Stream synthesized speech to a file on disk.
    Returns True on success, False otherwise.
    """
    output_path.parent.mkdir(parents=True, exist_ok=True)

    try:
        with client.audio.speech.with_streaming_response.create(
            model=model,
            voice=voice,
            input=text,
            response_format=response_format,
        ) as response:
            response.stream_to_file(str(output_path))
        return True
    except (APIConnectionError, APITimeoutError) as net_err:
        print(f"[Network issue] {net_err}")
    except APIError as api_err:
        print(f"[OpenAI API error] {api_err}")
    except Exception as e:
        print(f"[Unexpected error] {e}")
    return False

# -----
# Example script logic
# -----

def main(audio_format: str, voice: str, model: str) -> None:
    """Translate the course intro and synthesize EN & FR audio files."""

    input_text_en = (
        'Welcome to CSI4106, "introduction to artificial intelligence"! '
        "In this course, you will learn about the roots and scope of Artificial Intelligence. "
        "Knowledge and knowledge representation. Search, informed search, and heuristic search. "
        "Deduction and reasoning. Uncertainty in Artificial Intelligence. "
        "Introduction to Natural Language Processing. Elements of planning. "
    )

    input_text_fr = translate_to_canadian_french(input_text_en)

```

```

if not input_text_fr:
    print("[Warning] Translation failed; defaulting to English text only

speech_file_path_fr = Path(f"01_tts_course_description-fr-{{voice}}.{{audio}}")
speech_file_path_en = Path(f"01_tts_course_description-en-{{voice}}.{{audio}}")

if input_text_fr:
    ok_fr = synthesize_speech(
        input_text_fr, speech_file_path_fr, model=model, voice=voice, re
    )
    print(f"[{'OK' if ok_fr else 'Error'}] FR audio → {speech_file_path_

ok_en = synthesize_speech(
    input_text_en, speech_file_path_en, model=model, voice=voice, respor
)
print(f"[{'OK' if ok_en else 'Error'}] EN audio → {speech_file_path_en}")

if __name__ == "__main__":
    if not os.getenv("OPENAI_API_KEY"):
        raise RuntimeError("OPENAI_API_KEY is not set in environment or .env

    parser = argparse.ArgumentParser(description="Translate course intro and
    parser.add_argument(
        "--format",
        default="mp3",
        choices=["mp3", "wav", "aac", "flac", "opus", "pcm"],
        help="Audio output format (default: mp3).",
    )
    parser.add_argument(
        "--voice",
        default="nova",
        help="TTS voice (default: nova). Try 'alloy', 'verse', etc.",
    )
    parser.add_argument(
        "--model",
        default="tts-1-hd",
        choices=["tts-1-hd", "gpt-4o-mini-tts"],
        help="TTS model: 'tts-1-hd' for high quality, 'gpt-4o-mini-tts' for
    )
    args = parser.parse_args()

    main(args.format, args.voice, args.model)

```

Marcel **Turcotte**

Marcel.Turcotte@uOttawa.ca

École de **science informatique** et de génie électrique (SIGE)

Université d'Ottawa