Modélisation, prédiction et prise de décision en Intelligence Artificielle

Fabien Torre

Journées Académiques de l'IREM de Lille

29 mars 2019

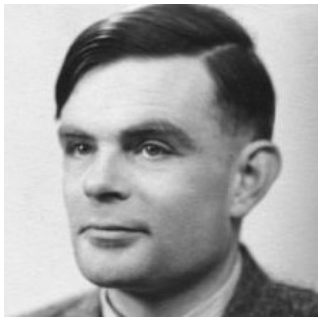
Plan de l'atelier

1. Introduction à l'Intelligence Artificielle
2. Sujets possibles
3. Discussions

L'IA est un domaine scientifique (large), pas une entité...

Naissance

Apparition du domaine entre 1940 et 1960...
coïncide avec la construction des premiers ordinateurs (1945) !



A. Turing 1912-1954

M. Minsky 1927-2016

- 1950, Alan Turing :
  « Computing Machinery and Intelligence »,
- 1956, John McCarthy, Allen Newell,
  Herbert A. Simon, Marvin Minsky :
  conférence de Dartmouth,
- 1961, Marvin Minsky :
  « Steps toward Artificial Intelligence ».

Beaucoup de définitions de l'Intelligence Artificielle

Des définitions qui font référence...

- à la notion d'intelligence,
- aux problèmes visés, difficiles pour les humains.

Jean-Louis Laurière (1986)

L'IA commence là où l'informatique classique s'arrête :
tout problème pour lequel il n'existe pas d'algorithme connu
ou raisonnable permettant de le résoudre relève *a priori* de l'IA.

Le test de TURING (1950, *Can machines think ?*)

Idée : ne pas définir l'Intelligence Artificielle mais la tester...

Protocole du test de TURING (*imitation game*)

Un individu communique à l'aide d'un terminal d'ordinateur avec un interlocuteur invisible. Il doit décider si l'interlocuteur est un être humain ou un système d'IA imitant un être humain.

Points de départ pour l'IA

- Viser des problèmes impossibles pour l'informatique classique.
- Imiter le comportement, pas le fonctionnement (*vision informatique* opposée à celle des *sciences cognitives*).

Premiers objectifs et hiver de l'IA

Les systèmes experts

- remplacer les experts humains,
- en chimie, en médecine, etc.

Compréhension du langage naturel

- représentation du sens des phrases,
- résumé automatique,
- traduction automatique,
- détection de sentiments.

... deux échecs, *hiver de l'Intelligence Artificielle* (années 1970).

Sujets abordés

1 Introduction à l'Intelligence Artificielle

2 Sujets possibles

3 Discussions

Complexité & IA

Jean-Louis Laurière (1986)

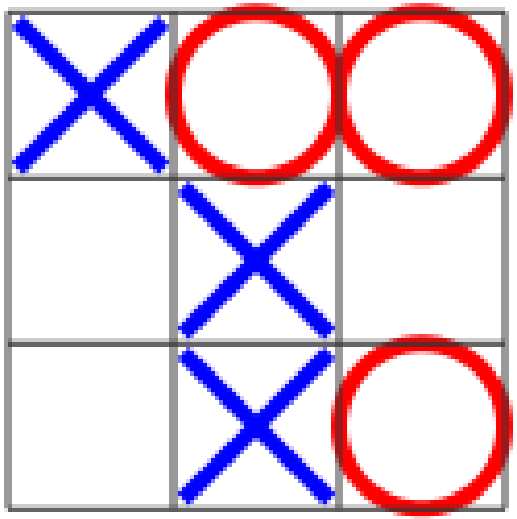
L'IA commence là où l'informatique classique s'arrête :
tout problème pour lequel il n'existe pas d'algorithme connu
ou raisonnable permettant de le résoudre relève *a priori* de l'IA.

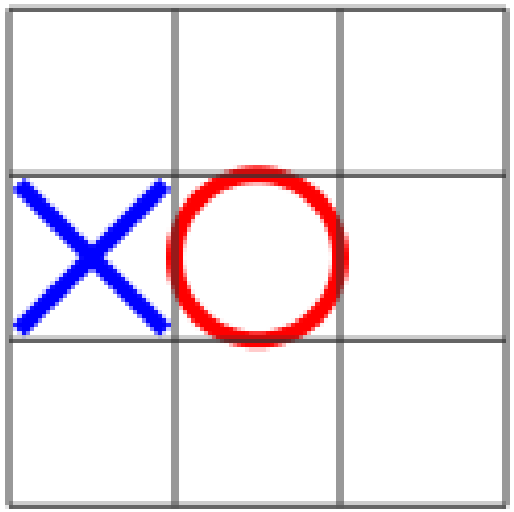
Interprétations algorithmiques

- pas d'algorithme : le problème est indécidable.
- pas d'algorithme raisonnable : tout algorithme résolvant le problème est de complexité exponentielle.

Jeux : l'exemple du morpion

Dans ces deux situations, *comment décider du coup à jouer ?*





Deux casse-têtes (de même nature)

Vous disposez de deux cruches, l'une de 7 litres, l'autre de 5 litres.
Une source d'eau est à disposition, à volonté.
Comment obtenir exactement 4 litres ?

état initial

2	8	3
1	6	4
7		5

état final

1	2	3
8		4
7	6	5

Puzzle du zèbre

1. L'Anglais habite la maison rouge,
2. l'Espagnol possède un chien,
3. le Japonais est peintre,
4. l'Italien boit du thé,
5. le Norvégien habite la première maison à gauche,
6. le propriétaire de la maison verte boit du café,
7. la maison verte est à droite de la blanche,
8. le sculpteur élève des escargots,
9. le diplomate habite la maison jaune,
10. on boit du lait dans la maison du milieu,
11. le Norvégien habite à côté de la maison bleue,
12. le violoniste boit du jus de fruit,
13. le renard est dans une maison voisine de celle du médecin,
14. le cheval est à côté de la maison du diplomate.

Qui possède le zèbre et qui boit du vin ?

Pourquoi l'hiver de l'IA ?

- Pourquoi les systèmes experts n'ont-ils pas remplacé les experts humains ?
- Pourquoi les machines ne maîtrisent-elles toujours pas le langage naturel ?

Apprentissage (1/3) : médecine

Plusieurs milliers de patients suivis, chacun décrit par :
sexe, *âge*, *taille*, *poids*, *fumeur ou non*, *diabète*,
fréquence cardiaque, *cholestérol*, *antécédents*, etc.

```
H,72,170,81,58,162,53,0,0,3,5.1,NON FUMEUR,3.17,27.9  PAS RISQUE
H,68,175,77,68,171,85,0,0,0,6.7,NON FUMEUR,3.2,25.0   PAS RISQUE
F,68,152,59,84,171,73,0,0,0,8.5,NON FUMEUR,3.2,25.4   PAS RISQUE
F,83,147,46,88,180,80,2,3,3,8.5,FUMEUR,0.1,21.3       RISQUE
H,79,173,67,64,161,76,0,0,0,5.4,NON FUMEUR,3.3,22.5   RISQUE
```

Objectif : accident cardiovasculaire dans les 5 ans ?

Apprentissage (2/3) : données « mystère »

```
x,x,x,x,o,o,o,b,b,positive
x,x,x,o,x,b,o,b,o,positive
x,x,x,o,b,x,o,b,o,positive
x,x,x,b,x,o,o,b,o,positive
x,x,x,b,o,b,b,o,b,positive
x,x,x,b,b,b,o,o,b,positive
b,x,o,b,o,x,o,b,x,negative
b,x,b,o,o,o,x,b,x,negative
b,o,o,x,o,x,o,x,x,negative
b,b,o,x,x,o,b,x,o,negative
x,o,x,x,o,o,o,x,x,negative
o,x,x,x,o,o,o,x,x,negative
```

Trouver des règles qui distinguent positifs et négatifs.

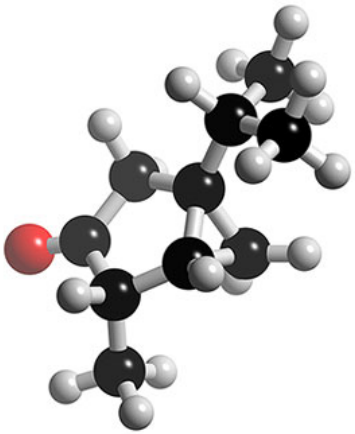
Apprentissage (3/3) : données structurées

```
CASSONDRA CHIA CORTNEY
CRISTA CRISTINE ECHO
HEIDI HERB HUNG JAVIER
JOLINE KANDI KENIA
KRISTI LAEL LEDA LINH
NANCEY NICHOLAS ROMONA
```

Séquences (adn, prénoms, etc.)

Prénoms masculins ?

Prénoms féminins ?



Graphes (molécules, réseaux sociaux, etc.)

Molécule cancérigène ?

Critiques de l'IA et actualités

- Discussion sur la notion d'intelligence ?
- Critiques du test de Turing ?
- Liens avec l'actualité ?

Discussions possibles

3 Discussions

- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Explosion exponentielle : les morts-vivants

Un enseignant vient de muter en une créature indéterminée.

Il est pour l'instant le seul de son espèce mais il va chaque jour, dès demain, contaminer et transformer une nouvelle personne.

À son tour, chaque nouveau muté va chaque jour, à partir du lendemain de sa propre transformation, contaminer une personne.

Combien de temps sera nécessaire pour infecter toute l'humanité (soit 7 milliards et 500 millions de personnes) ?

34 jours !

Algorithme non raisonnable : les tours de Hanoï

Objectif et règles du jeu

- déplacer la pyramide du piquet (a) au piquet (c),
- en bougeant un plateau à la fois,
- sans jamais poser un plateau sur plus petit que lui.

... et avec plus de plateaux ? n plateaux nécessitent $2^n - 1$ actions.

Loi de Moore et angle d'attaque

La loi de Moore... n'est d'aucune aide !

Comment en IA attaque-t-on des problèmes exponentiels ?

Pistes

- partir d'algorithmes classiques,
- injecter de la connaissance experte,
- évaluer expérimentalement, par compétition.

Indécidabilité

Kurt Gödel

- Problème de l'arrêt,
- implication entre clauses de Horn,
- paradoxe barbier.

```
Algorithme A (n : entier)
{ algorithme numéro 15 }
Début
  Afficher(n+1)
Fin
```

```
Algorithme B (n : entier)
{ algorithme numéro 32 }
Variable i : entier
Début
  i ← n
  Répéter
    i ← i+1
  Jusqu'à i ≤ n
  Afficher(i)
Fin
```

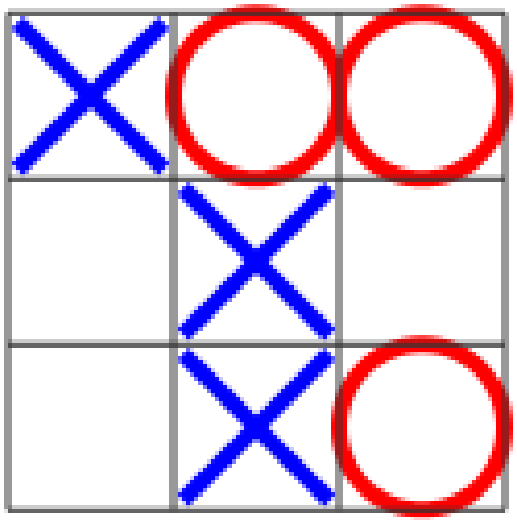
```
Algorithme C (n : entier)
{ algorithme numéro 145 }
Variable i : entier
Début
  i ← 5
  Répéter
    i ← i+2
  Jusqu'à i ≤ n
  Afficher(i)
Fin
```

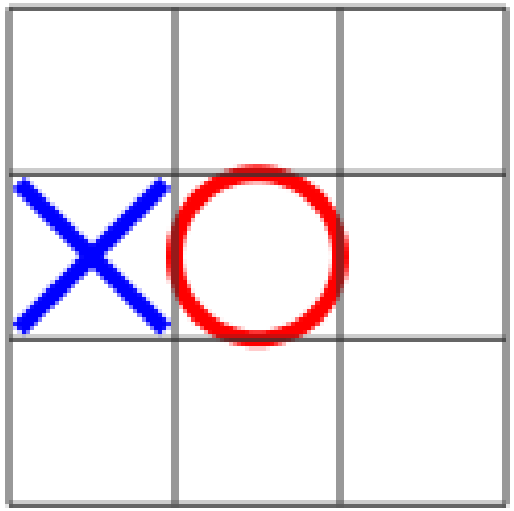
Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Jeux : l'exemple du morpion

Dans ces deux situations, *comment décider du coup à jouer ?*

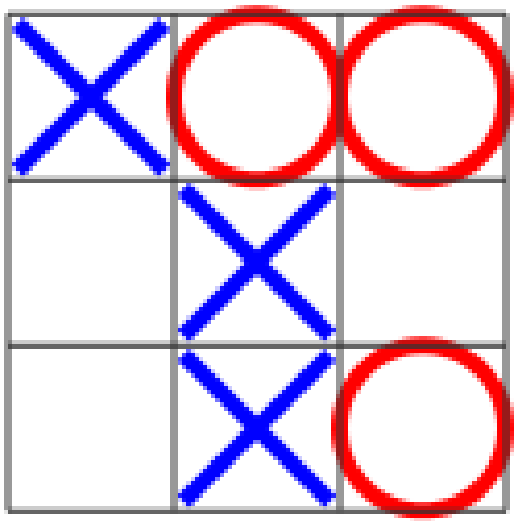




Fonction heuristique

Heuristique (du grec εὑρίσκω, eurisko, *je trouve*)

- [psychologie] opération (mentale), rapide et intuitive.
- « une méthode empirique de résolution de problème, dont la validité ou l'efficacité n'est pas prouvée »,
- dans la vie réelle ? choisir une file d'attente, etc.



- 2 lignes possibles pour les ✕
- 1 ligne possible pour les ○
- l'état vaut 2-1 = +1 pour les ✕

Importance et caractéristiques de la fonction heuristique

Succès = qualité de la heuristique + descente en profondeur.

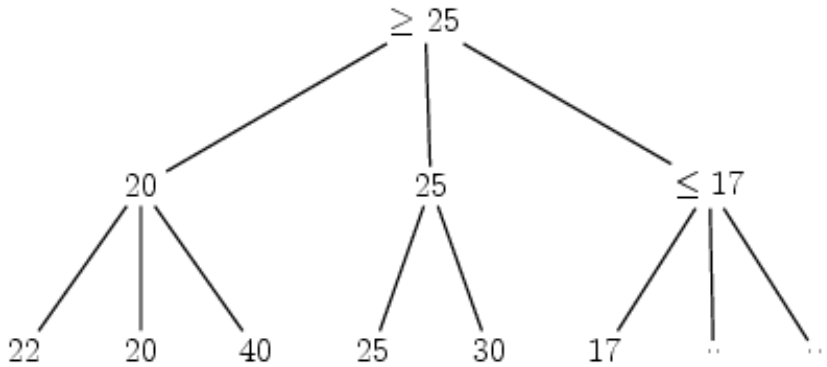
La clef c'est donc la heuristique qui idéalement doit être...

- rapide à calculer pour permettre une exploration profonde,
- nulle pour les matches nuls,
- positive si la situation est favorable au joueur artificiel,
- négative sinon,
- diverse selon les états,
- pertinente !

Permet à chacun d'exprimer sa vision du jeu !

Une optimisation possible : les coupes

Sur un arbre dont la racine est de type MAX :



On peut couper sans risque sous le nœud ≤ 17.

Coupe sous un nœud MIN : coupe alpha.

Les jeux en IA

Domaine actif de l'Intelligence Artificielle depuis sa naissance...

- dames anglaises (damier 8×8) : de 1947 à 2007 (résolu),
- échecs : de 1967 à 1997 (champion du monde),
- go : de 1974 à 2017 (champion du monde).

Autres jeux possibles : jeu de Nim, morpion, puissance 4, reversi, awalé, dames, échecs, go, *breakthrough*, Havannah, Hex, etc.

Méthodes vues

1. arbre complet et remontée des fins de partie par min-max,
2. arbre limité, remontée par min-max des fins de partie et 0 si partie en cours,
3. arbre limité, remontée par min-max des fins de partie et valeur heuristique si partie en cours,
4. idem avec coupes : algorithme alpha-bêta.

Selon la difficulté du jeu et les niveau/motivation des étudiants !

Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Exemple : le problème des cruches

Vous disposez de deux cruches, l'une de 7 litres, l'autre de 5 litres.
Une source d'eau est à disposition, à volonté.
Comment obtenir exactement 4 litres ?

un état = un couple (grande cruche, petite cruche)
état initial : $(0, 0)$
états finaux : $(4, ?)$ et $(?, 4)$

opérateurs : RemplirPetite RemplirGrande JeterPetite JeterGrande ViderPetiteDansGrande ViderGrandeDansPetite CompléterPetite CompléterGrande

Enchaînement d'opérateurs amenant de l'état initial à l'état final ?

Exemple : le taquin

état initial

2	8	3
1	6	4
7		5

état final

1	2	3
8		4
7	6	5

un état = une matrice 3×3 + les coordonnées de la case vide

opérateurs (qui déplacent la case vide !) :
`HAUT`, `BAS`, `GAUCHE` et `DROITE`.

Enchaînement d'opérateurs amenant de l'état initial à l'état final ?

Bilan des recherches non informées

Sur le taquin

- $9! = 362\,880$ états différents,
- 181 440 réellement accessibles depuis un état initial fixé,
- facteur de branchement ≥ 2, profondeur 30.

Sur les méthodes

- méthodes trop gourmandes en mémoire ou en temps,
- sans garantie de trouver la solution la plus courte.

Objectifs

- accélérer la recherche,
- limiter l'occupation mémoire,
- garantir la terminaison et la solution optimale.

A^* : fonctions d'évaluation

Principes

- *information heuristique* pour orienter la recherche,
- algorithme A^* pour l'utiliser.

Fonctions

Nous nous donnons une fonction f capable d'évaluer un nœud n :

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

- $g(n)$ coût du meilleur chemin connu pour atteindre n,
- $h(n)$ estimation du coût du chemin entre n et un état final,
- $f(n)$ estimation du coût de la meilleure solution passant par n.

Heuristique pour le taquin

Il s'agit d'évaluer le nombre d'étapes nécessaires entre l'état courant et l'état final...

état courant

6	4	3
8		5
2	1	7

état final

1	2	3
8		4
7	6	5

On peut utiliser la distance de Manhattan...

$$h(\text{état courant}) = 3 + 3 + 0 + 2 + 1 + 3 + 2 + 0 = 14$$

Importance et caractéristiques de la fonction heuristique

La clef c'est donc la fonction h qui idéalement doit être...

- nulle pour les états finaux,
- rapide à calculer,
- proche de h^*,
- mais minorante : $\forall n : h(n) \leq h^*(n)$,
- diverse selon les états,
- monotone.

Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Puzzle du zèbre

- De la famille des problèmes combinatoires,
- exemples : puzzle du zèbre, emploi du temps, sudoku, problèmes des reines, SEND + MORE = MONEY, etc.
- résolution avec de la programmation par contraintes.

Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Langage naturel

- Analyse grammaticale : problème de complexité exponentielle,
- représentation du sens : les graphes conceptuels,
- traduction automatique à la google aujourd'hui... ?

Les systèmes experts

Avancées précieuses pour l'IA

- représentation des connaissances : faits et règles,
- raisonnement : déduction, *modus ponens*, etc.

Goulot d'étranglement de l'Intelligence Artificielle

- malgré tout, échec des systèmes experts,
- car il manque les connaissances expertes elles-mêmes,
- difficulté à les récupérer auprès d'un expert humain.

Deux pistes

- recueil de connaissances expertes (*knowledge management*),
- apprentissage automatique (intelligence artificielle).

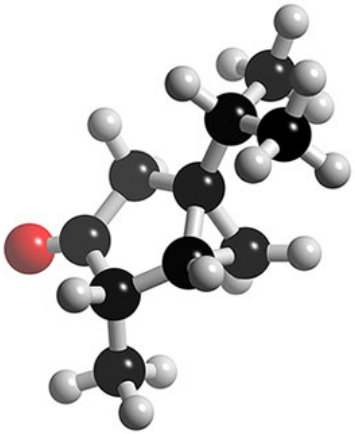
Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Apprentissage sur différents types de données

Méthodes par généralisation...

- attributs-valeurs généralisés en intervalles,
- séquences généralisées en automates ou en boules de mots,
- graphes généralisés en programme logique.



active(M) $\leftarrow$ atom(M,A1,carbon,22),
atom(M,A2,carbon,10),
bond(M,A1,A2,1).

Apprentissage : un exemple en médecine 1/2

Objectif : accident cardiovasculaire dans les 5 ans ?

Plusieurs milliers de patients suivis, chacun décrit par :
sexe, *âge*, *taille*, *poids*, *fumeur ou non*, *diabète*,
fréquence cardiaque, *cholestérol*, *antécédents*, etc.

```
H,72,170,81,58,162,53,0,0,3,5.1,NON FUMEUR,3.17,27.9  PAS RISQUE
H,68,175,77,68,171,85,0,0,0,6.7,NON FUMEUR,3.2,25.0   PAS RISQUE
F,68,152,59,84,171,73,0,0,0,8.5,NON FUMEUR,3.2,25.4   PAS RISQUE
F,83,147,46,88,180,80,2,3,3,8.5,FUMEUR,0.1,21.3       RISQUE
H,79,173,67,64,161,76,0,0,0,5.4,NON FUMEUR,3.3,22.5   RISQUE
```

Imitation expertise humaine... ou découverte scientifique !

Apprentissage : un exemple en médecine 2/2

Exemple de règle apprise

```
SI Sexe vaut H ET Age vaut 70 ou plus ET Taille est inférieure à 175cm
ET Cholestérol total est au-dessus de 5.2 ALORS RISQUE
```

Dans l'esprit du test de TURING :

- le médecin n'a pas forcément cette règle dans la tête,
- mais il peut la lire et la comprendre.

Autres applications en médecine ?

Expressions liées : *machine learning*, *datamining*, *big data*, *réseaux de neurones*, *deep learning*, *etc.*

Apprentissage : généralités

Principes du raisonnement inductif

- apprentissage = généralisation = compression,
- apprendre des règles (théorie) à partir de faits (exemples),
- en vue de faire des prédictions sur de nouveaux cas.

Difficulté du saut inductif

- « il n'y a pas de base absolue sur laquelle fonder l'induction » (Hume 1737)
- pas de saut inductif = apprentissage par cœur,
- apprentissage par cœur = pas de prédiction possible,
- nécessité d'un *saut inductif*, non fondé : une heuristique ?

Définition IA : pour être intelligent il faut être capable d'apprendre.

Sommaire

3 Discussions
- Complexité et indécidabilité (morts-vivants, tours de Hanoï, etc.)
- Jeux à deux joueurs (morpion, puissance 4, reversi, etc.)
- Casse-têtes (compte est bon, taquin, labyrinthes, etc.)
- Problèmes combinatoires (puzzle, emploi du temps, sudoku, etc.)
- Hiver de l'IA (systèmes experts et langage naturel)
- Apprentissage (généralisation et prédiction, médecine, etc.)
- Critiques de l'IA et actualités (test de Turing, définitions, etc.)

Questions

Autour de la notion d'intelligence

- définition ? conscience de soi ? ia faible / forte ? émotions ?
- nature de l'intelligence : symbolique ou numérique ?
- forcément besoin d'heuristiques ? émotions ? hasard ?
- critiques du test de Turing ?

Dans l'actualité

- traduction automatique chez Google ? Tay chez Microsoft ?
- jeu de Go ? (min-max + apprentissage + aléatoire)
- raisonnement : comprendre et résoudre des analogies ?
- décision médicale ? vie privée ? singularité ?
- explicabilité (proche du test de Turing ?).

Critiques du test de Turing

Le test est trop facile

- passer le test sans être intelligent : Eliza (1964-1966).
- garder le silence ou faire des erreurs pour sembler humain.

Le test est trop difficile (Robert French)

On peut être intelligent et échouer au test,
en particulier si l'on ne maîtrise pas le langage naturel.

Question liée : comment détecter une intelligence extraterrestre ?

Notre position finale (pour aujourd'hui !)

Le test de Turing reste un bel outil, qui trace une ligne de travail et nous dispense de donner une définition de l'intelligence.

Faire semblant d'être intelligent ou l'être vraiment,
ne serait-ce pas la même chose ?

Edsger W. Dijkstra (1984)

The question of whether Machines Can Think... is about as relevant as the question of whether Submarines Can Swim.