



Introduction à l'intelligence artificielle

Antoine Cornuéjols

AgroParisTech

antoine.cornuejols@agroparistech.fr

<https://antoinecornuejols.github.io/teaching/AGRO/Cours-IA/iodaa-cours-IA.html>

Organisation

- 8 séances de 3h (cours + TD/TP)
- Programme et références sur :

<http://www.agroparistech.fr/ufr-info/membres/cornuejols/Teaching/AGRO/Cours-IA/iodaa-cours-IA.html>

- Évaluation des connaissances :
 - 4 quizz
 - 2 DMs
 - 1 Mini-Projet
 - 1 examen (Partie Bayésienne)

Plan

- 1- *Introduction à l'IA ; Résolution de problèmes par exploration de graphes*
- 2- *Résolution de problèmes en environnement non déterministe (avec adversaire)*
- 3- *Apprentissage par renforcement*
- 4- *Bayesian reasoning*
- 5- *Bayesian networks*
- 6- *HMM and Co*

Plan du cours n° 1

1- *Introduction à l'IA*

1.1- *C'est quoi l'intelligence ?*

1.2- *Comment étudier l'intelligence ?*

Qu'est-ce que l'IA ?

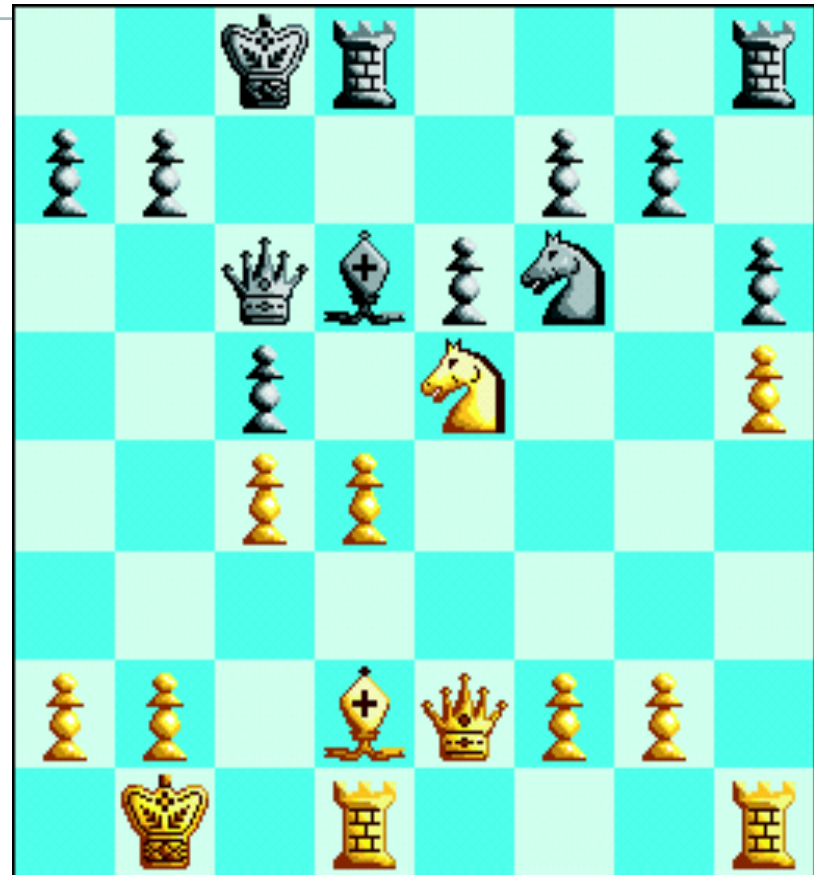
« The study of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. »

Dartmouth Workshop, Summer of 1956

Objectifs pour l'IA

- Réaliser à l'aide de machines des tâches requérant de l'intelligence
 - **Compréhension automatique**
 - À partir de textes. Traduction. Résumé. Dialogue
 - Pour la vision
 - Reconnaissance de la parole
 - Diagnostic
 - **Décision (aide à la)**
 - Planification
 - Véhicules autonomes
 - Assistants personnels

Exemple : jeux



↙ *Prise de décision*

Exemple : robotique

- Perception
- Prise de décision
- Action
- Communication
- Apprentissage



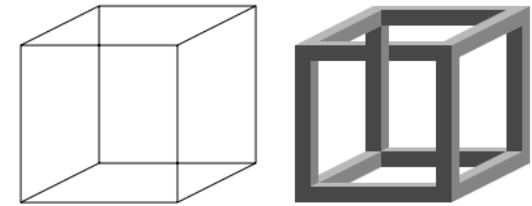
Exemple : « intelligence ambiante »

Action européenne (Kdubiq)

- Omniprésence d'objets « intelligents »
- Percevant leur environnement
- Communiquant entre eux
- Prenant des décisions
- Objectifs :
 - Aide aux usagers

- *Rationalité limitée*
- *Bande passante limitée*
- *Environnements changeants*
- *Apprentissage*

Sources de difficultés ?



- La perception est **ambiguë** de manière inhérente

- « J' ai laissé tomber l' œuf sur le sol et **il** s' est cassé »

- **Rationalité limitée**

- Y-a-t-il un premier coup gagnant aux échecs ?

- **Optimisation multi-objectifs**

- **Information incomplète et/ou incertaine**



Les approches de l'IA

○ L' école symbolique

- La pensée consiste en une séquence de *transformations de représentations*
- ↳ Agents cognitifs délibératifs

○ L' école sub-symbolique

- La pensée consiste en une transmission et une *transformation de signaux*
- ↳ Agents réactifs

○ L' école de la cognition située

- La pensée ne réside pas dans la tête d' un individu isolée mais est *distribuée* au sein d' une *société* (incluant son histoire et sa culture) et *suscitée par le contexte*.
- ↳ Emergence et auto-organisation

Une **histoire** de l'**IA**

Bref historique (1)

0. Le "prequel" ...

- Bacon / Pascal / Descartes / Leibniz
- Babbage & Ada de Lovelace / Boole
- Réflexion sur les fondements des mathématiques

Bref historique (1)

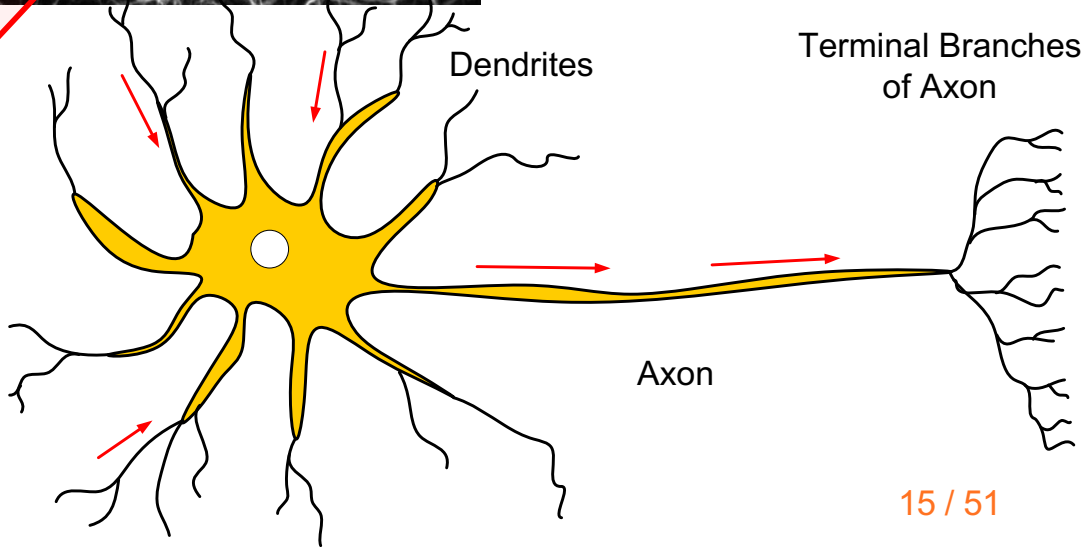
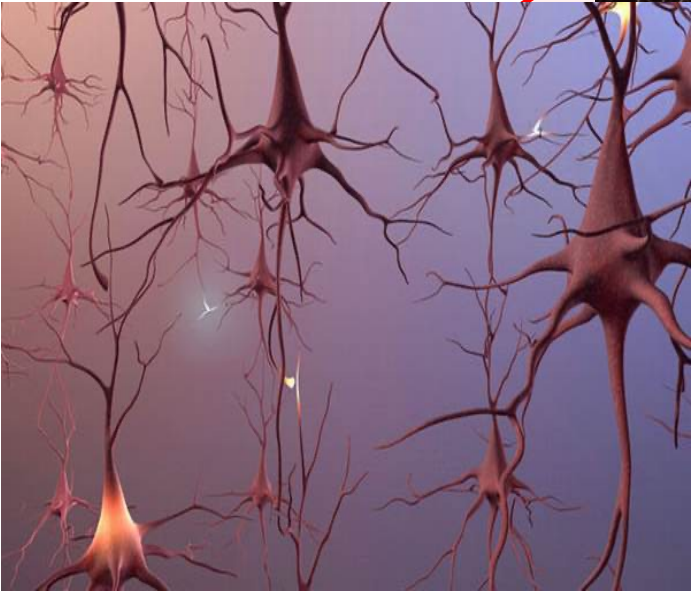
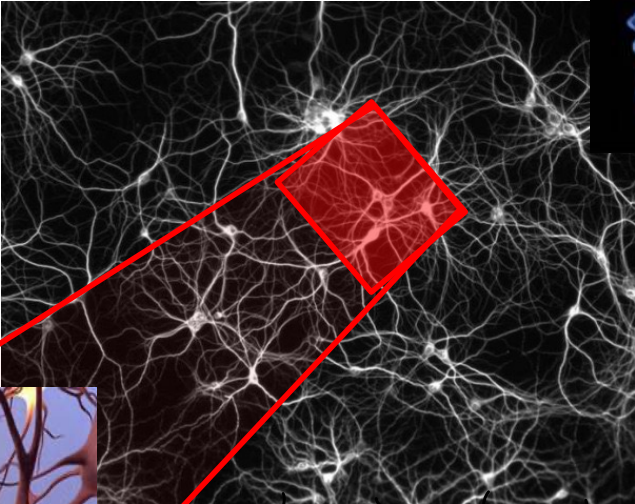
0. Le "prequel" ...

- Bacon / Pascal / Descartes / Leibniz
- Babbage & Ada de Lovelace / Boole
- Réflexion sur les fondements des mathématiques

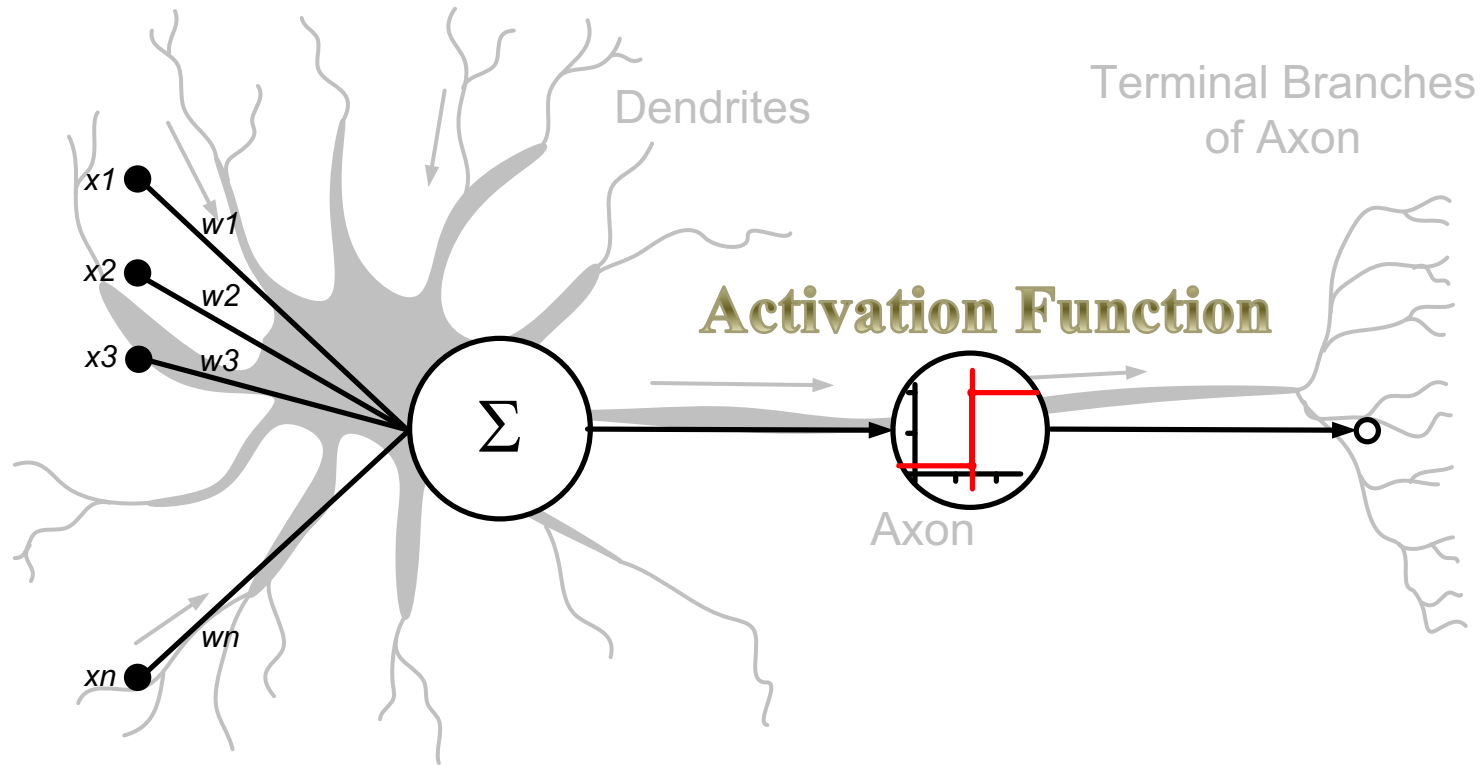
1. Les pionniers de l' IA (~1936 - ~1956)

- **Turing** : les fonctions calculables sont définies par une machine
- **Von Neumann** : architecture des ordinateurs, réflexions sur les automates
- **McCulloch & Pitts** (1943) : Premier modèle formel du neurone
- **Hebb** (1949) : assemblées de neurones et règle d' apprentissage
- Les conférences **Macy** et la première **Cybernétique**

Biological Neurons



1^{er} modèle formel de neurone



McCulloch & Pitts (1943)

Bref historique (2)

2. L' IA : méthodes générales de **raisonnement** (~1956 - ~1968)

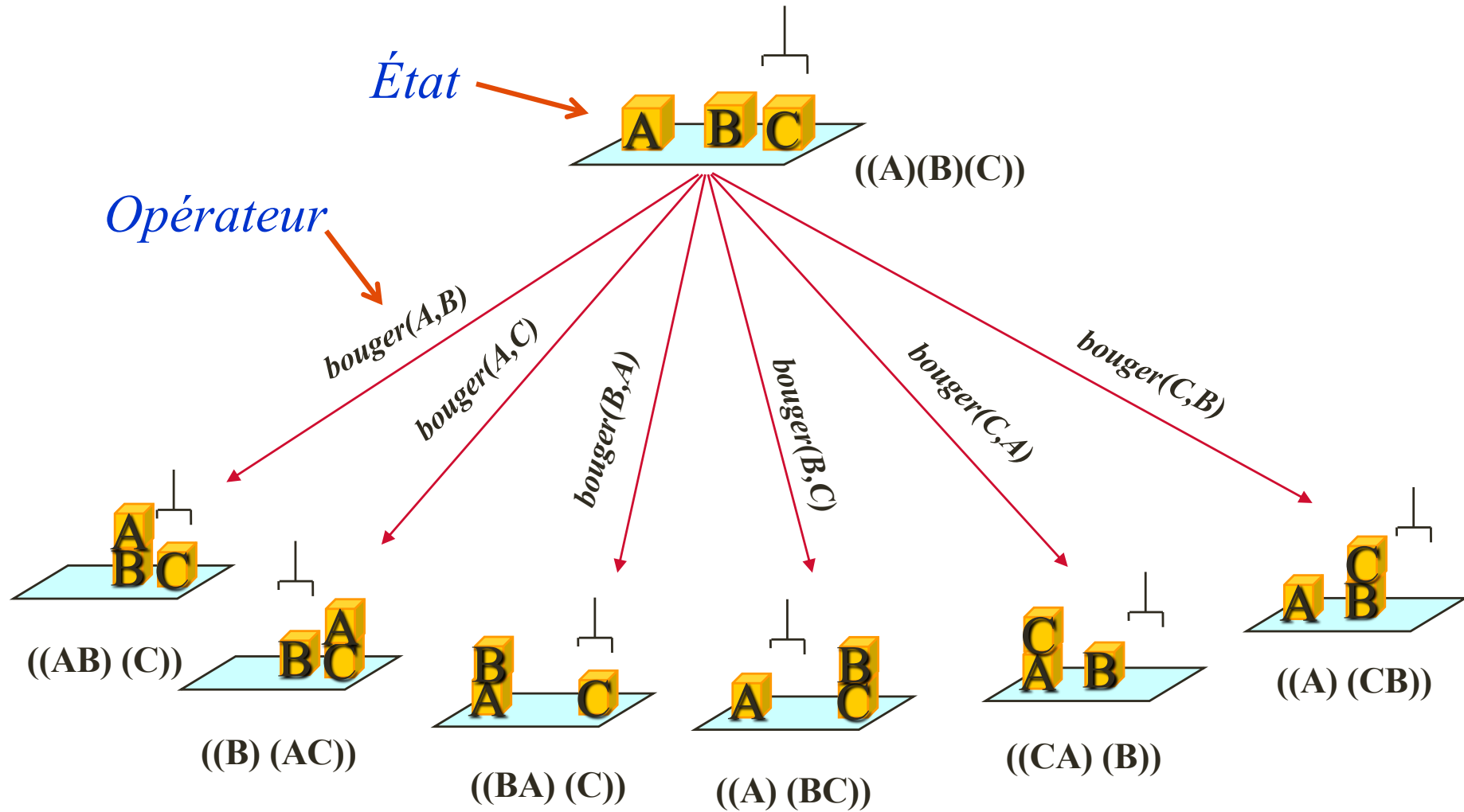
- La pensée comme manipulation de représentations discrètes des connaissances: *IA symbolique*
 - Démonstrateurs de théorèmes (principe de résolution (-> Prolog))
 - Résolveurs universels de problèmes (GPS)
 - Le système CHECKER

L'espoir

L'intelligence met en jeu

des processus généraux de **raisonnement**

Raisonnement / résolution de problèmes

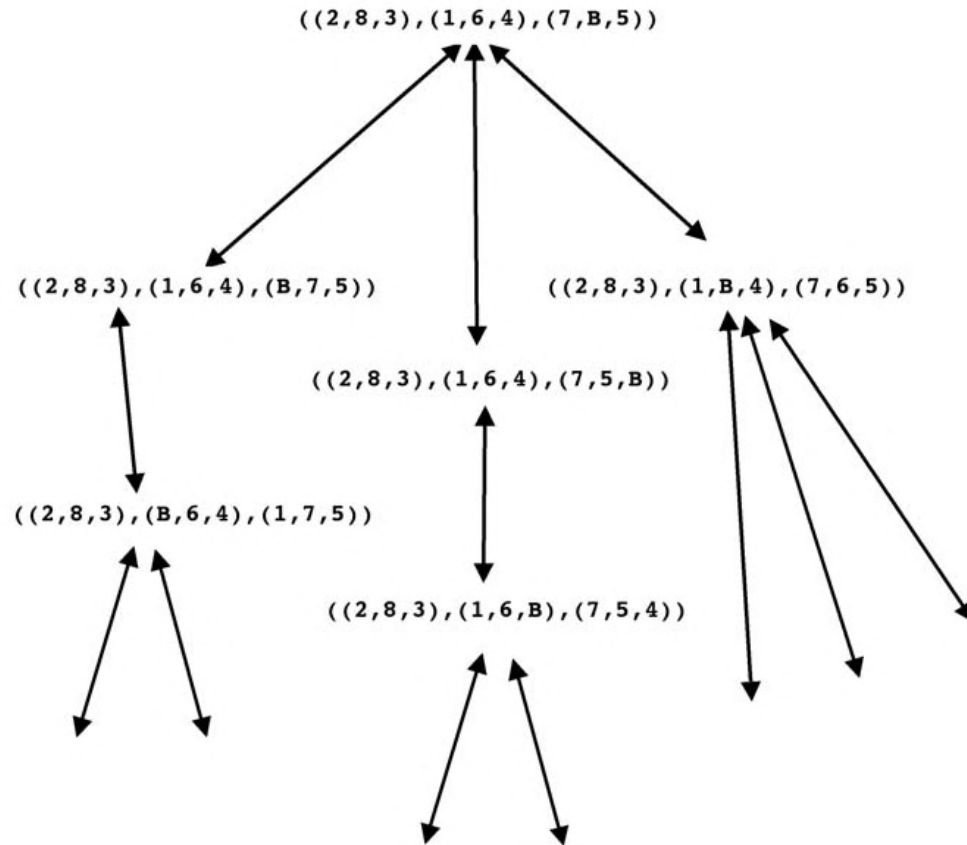


Raisonnement / résolution de problèmes

2	8	3
1	6	4
7		5

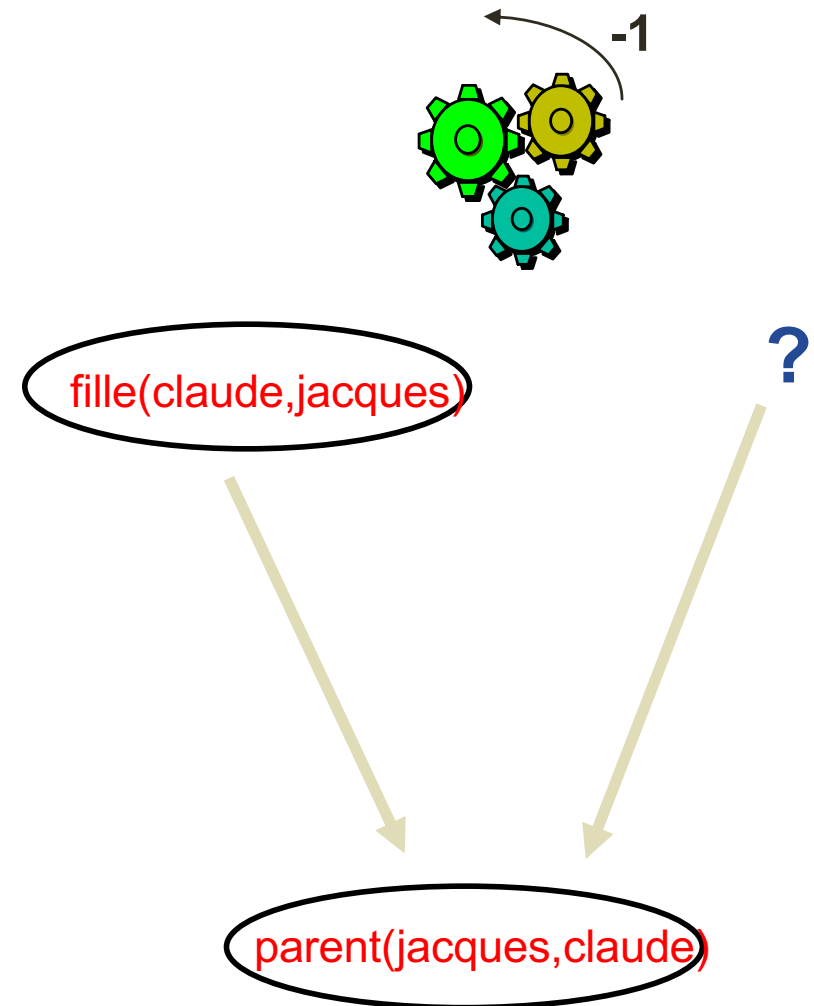
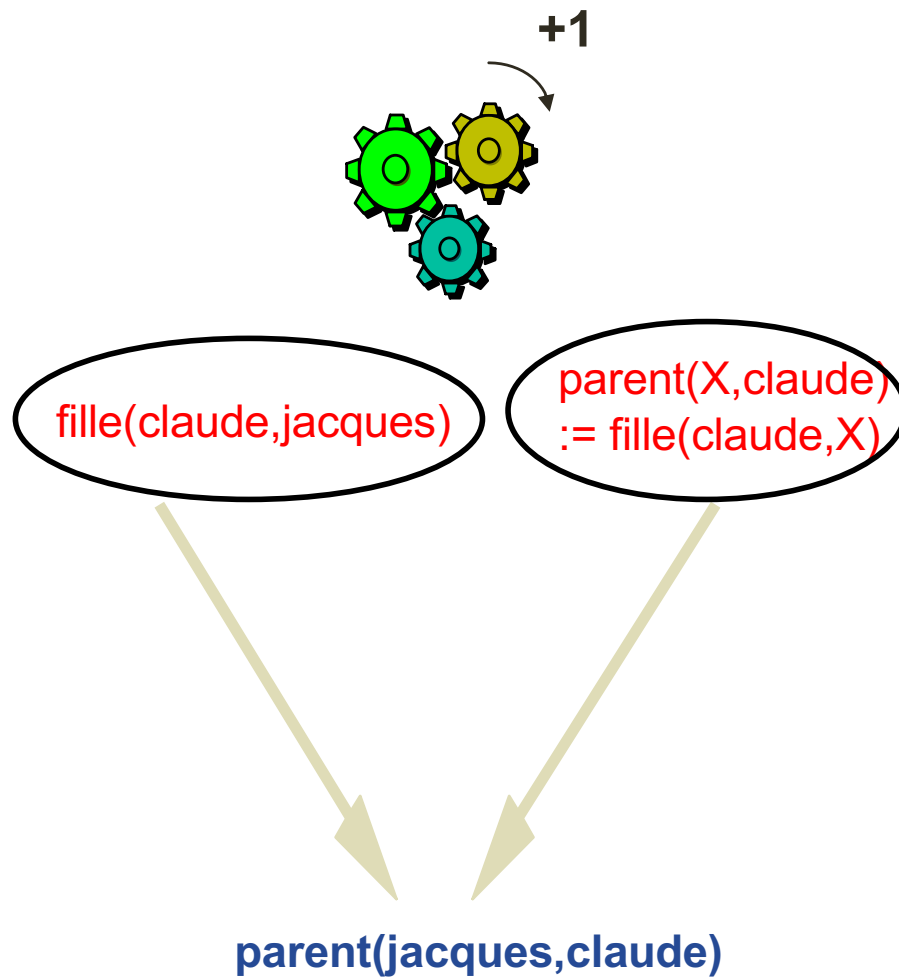


1	2	3
8		4
7	6	5



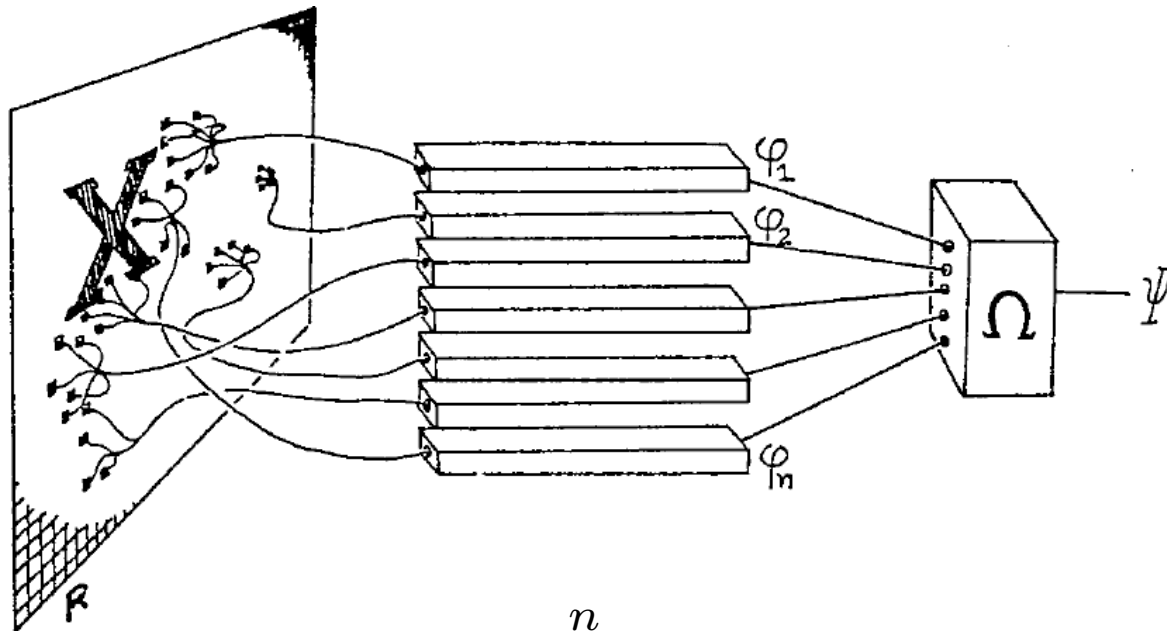
- Recherche dans un graphe

Un exemple d'induction : inversion de la résolution



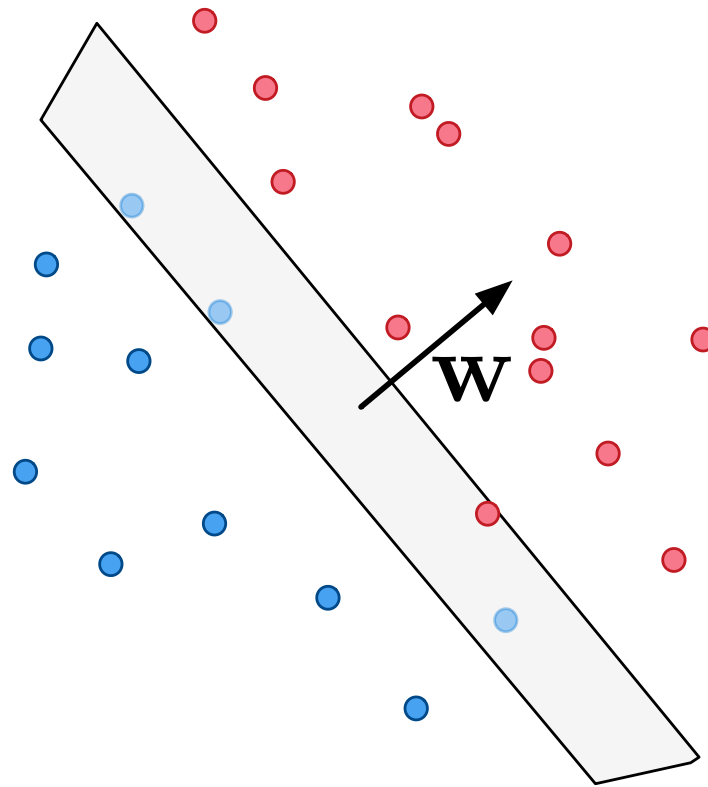
Premier connexionnisme : le perceptron

- Frank Rosenblatt (1958 – 1962)



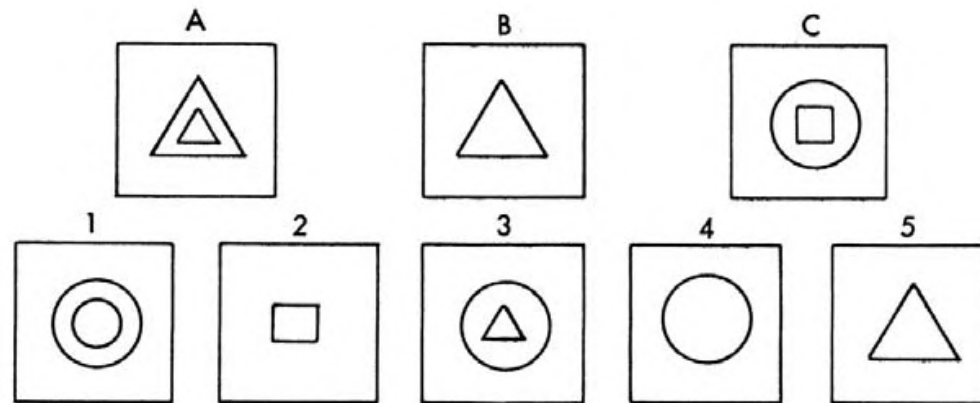
$$\Psi(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n w_i \phi_i(\mathbf{x})$$

The perceptron: a linear discriminant



1 9 6 8 : que sait-on faire ?

- Raisonnement
 - Résolution de problème
 - Mémoire associative
- Jeu de dames
- **Analogie**
- Conversation (?)
 - Eliza
- Apprentissage
 - Reconnaissance de caractères
 - Jeu de dames



Vision artificielle

- Stanford AI Lab



Figure 8.1: Site of the Stanford AI Lab from 1966 until 1980. (Photograph courtesy of Lester Earnest.)

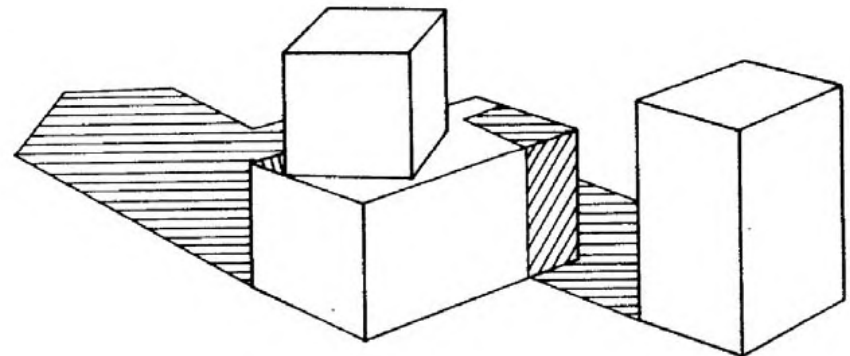
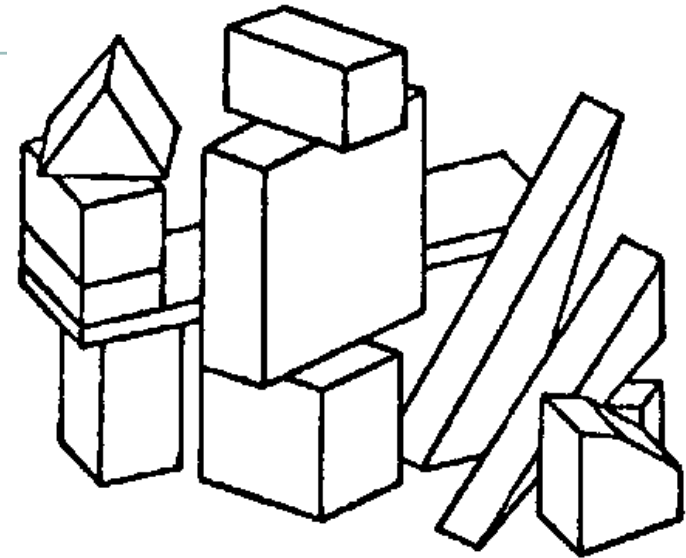


Figure 9.15: A scene with shadows analyzed by Waltz's program. (Illustration used with permission of David Waltz.)

Robotique mobile

Vision +
planification +
interface par
langage pseudo
naturel

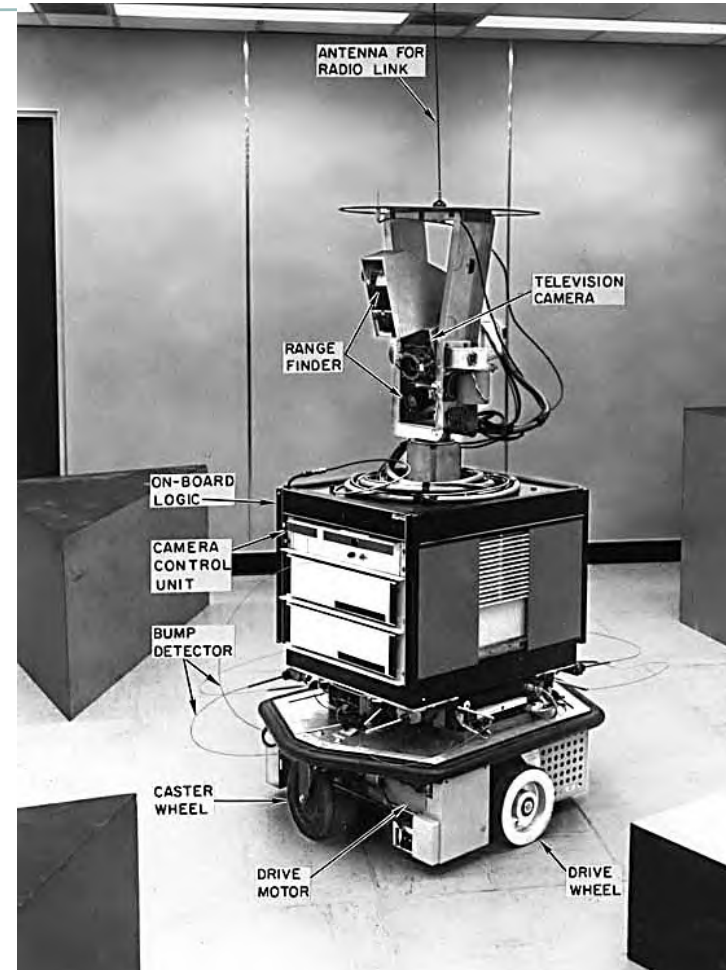


Figure 12.3: Shakey as it existed in November 1968 (with some of its components labeled). (Photograph courtesy of SRI International.)

SHRDLU

Interface en langage pseudo naturel

1. pick up a big red block.

In order to pick up the red block, it had to clear it off by finding a space for the green one and moving the green one away.

OK.

The system answers "OK" when it carries out a command.

2. grasp the pyramid.

There are three pyramids in the scene, so the program does nothing.

I DON'T UNDERSTAND WHICH PYRAMID YOU MEAN.

3. find a block which is taller than the one you are holding and put it into the box.

The system has to figure out what is meant by "one" and "it," as well as using deduction to decide which block it is holding.

BY "IT," I ASSUME YOU MEAN THE BLOCK WHICH IS TALLER THAN THE ONE I AM HOLDING.

Printed out to keep us informed.

The hand has to set down the red block to pick up the taller blue one.

OK.

4. what does the box contain?

THE BLUE PYRAMID AND THE BLUE BLOCK.

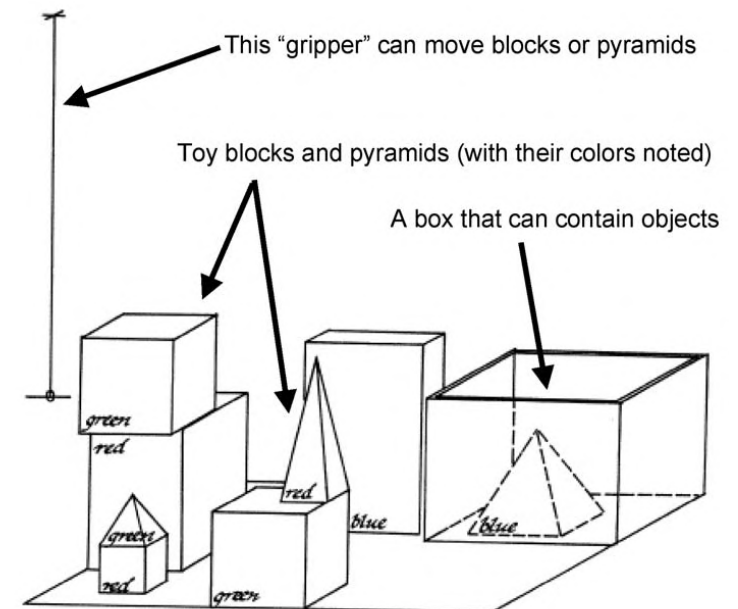


Figure 13.2: SHRDLU's world. (Illustration used with permission of Terry Winograd.)

Les réseaux sémantiques

[Ross Quillian, 1968 : Semantic memory]

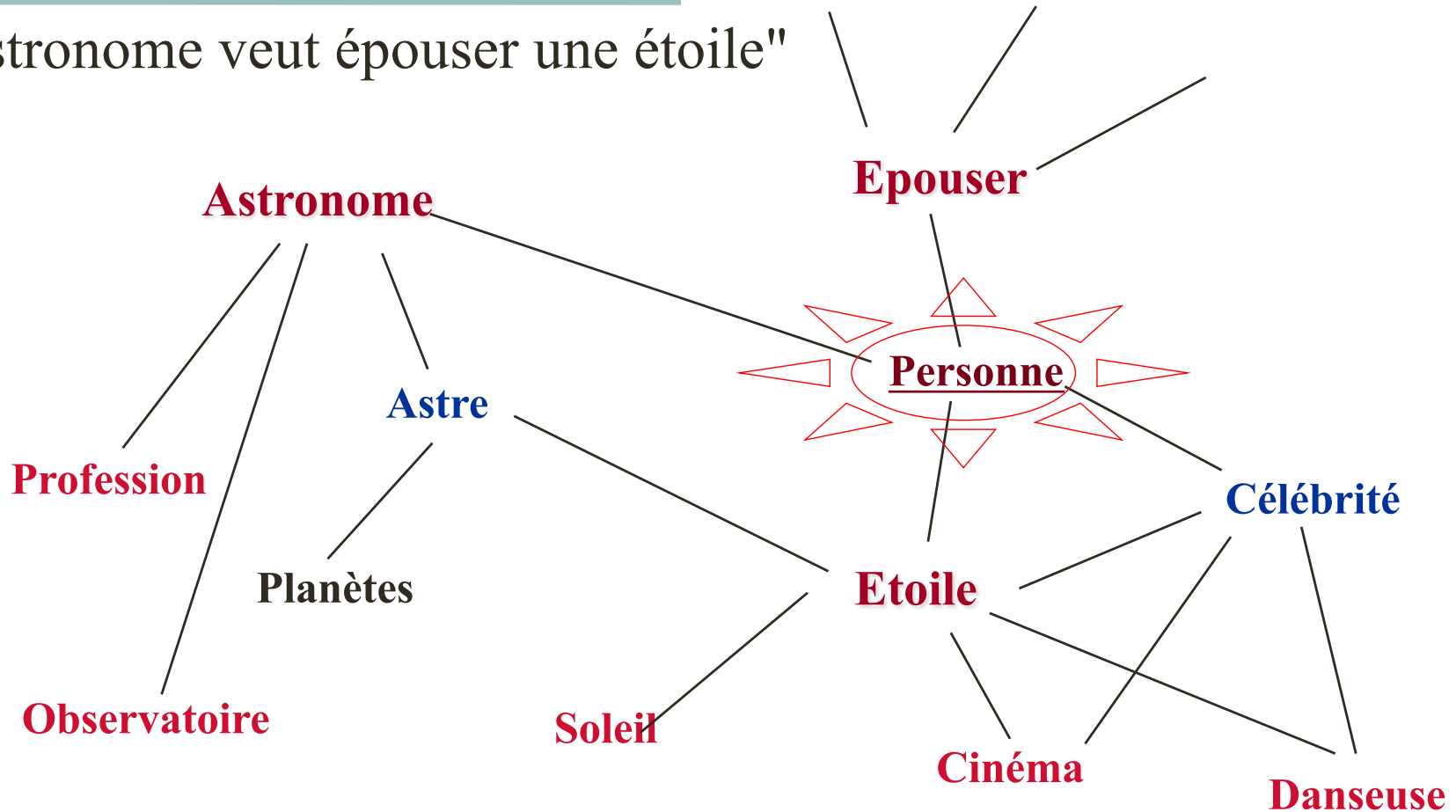
- Résolution d'ambiguïtés
(par intersection de propagation de marqueurs)

"L'astronome voulait épouser une étoile"

- Un concept **acquiert un sens** à travers le réseau sémantique dans lequel il s'insère et **les relations qu'il a avec d'autres concepts**

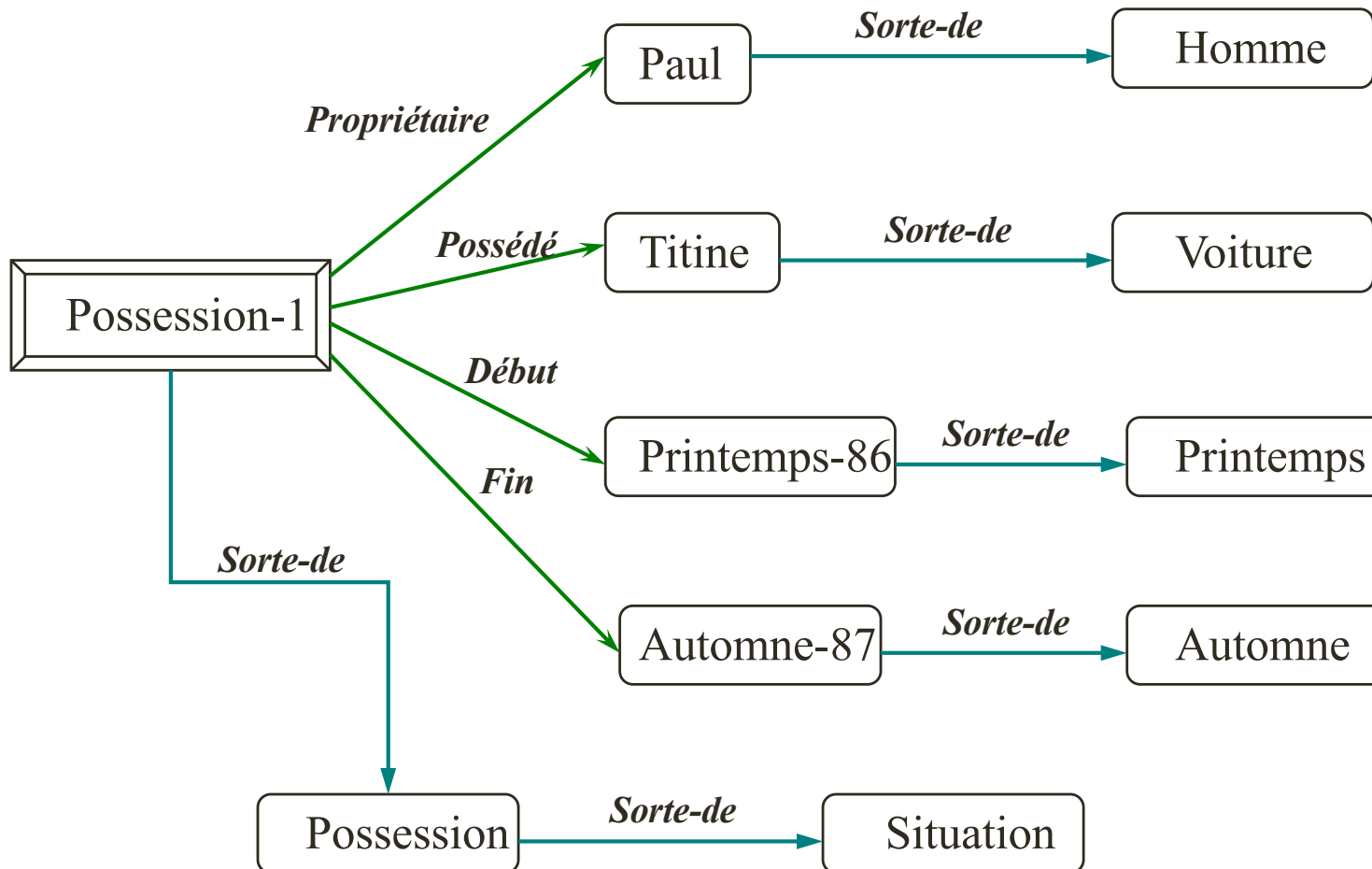
Les réseaux sémantiques

"L'astronome veut épouser une étoile"



Inférence par propagation d'*activité* ou de *marqueurs* : focalise l'attention

Les réseaux sémantiques



Bref historique (2)

2. L' IA : méthodes générales de **raisonnement** (~1956 - ~1968)

- La pensée comme manipulation de représentations discrètes des connaissances: *IA symbolique*
 - Démonstrateurs de théorèmes (principe de résolution (-> Prolog))
 - Résolveurs universels de problèmes (GPS)
 - Le système CHECKER

- Premier connexionnisme
 - Le Perceptron [Rosenblatt, 1957-1962]

Bref historique (2)

2. L' IA : méthodes générales de **raisonnement** (~1956 - ~1968)

- La pensée comme manipulation de représentations discrètes des connaissances: **IA symbolique**

- Démonstrateurs de théorèmes (principe de résolution (-> Prolog))
- Résolveurs universels de problèmes (GPS)
- Le système CHECKER

- Premier **connexionnisme**

- Le Perceptron [Rosenblatt, 1957-1962]

- **MAIS des échecs :**

- La traduction automatique
- Les experts ne sont pas des experts universels !?
- Le Perceptron est limité

Bref historique (3)

3. “Knowledge is power” (~1968 - ~1980)

□ Représentation des connaissances

- Représentations structurées : réseaux sémantiques, scripts, schémas et frames (précurseurs des LO), ...
- Des extensions de la logique : logiques non monotones, logiques temporelles, logique floue, ...
- De nombreux systèmes “intelligents” : ARCH, AM, MAGGIE, BORIS, PLANNER, ...
- Projet CYC

□ Utilisation des connaissances : les systèmes experts

➤ Problème : *comment acquérir toutes les connaissances nécessaires ?*

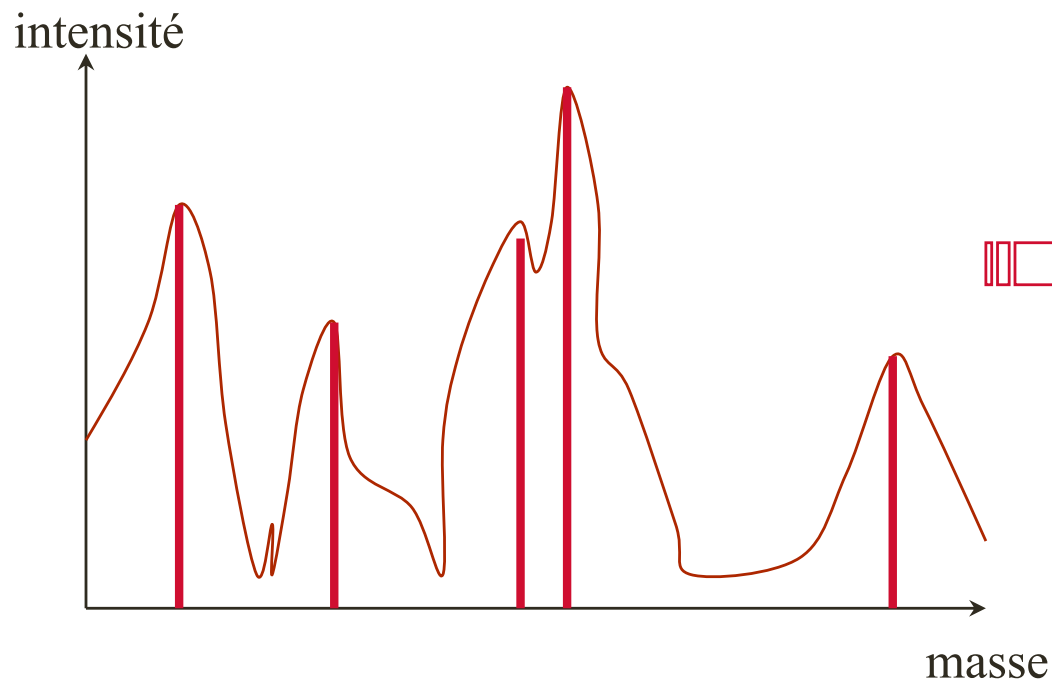
Comment généraliser ces expériences (souvent appliquées à des “problèmes jouet”) ?

Les systèmes à base de connaissances

- Les Systèmes Experts
- BORIS
- Les limites

Les systèmes experts : DENDRAL

- Le système DENDRAL
 - Pour la NASA : 1965 - ...
 - Y a-t-il de la vie sur Mars ?
 - Spectrographie de masse



*Formule développée
du composé
chimique ?*

Les systèmes experts : DENDRAL

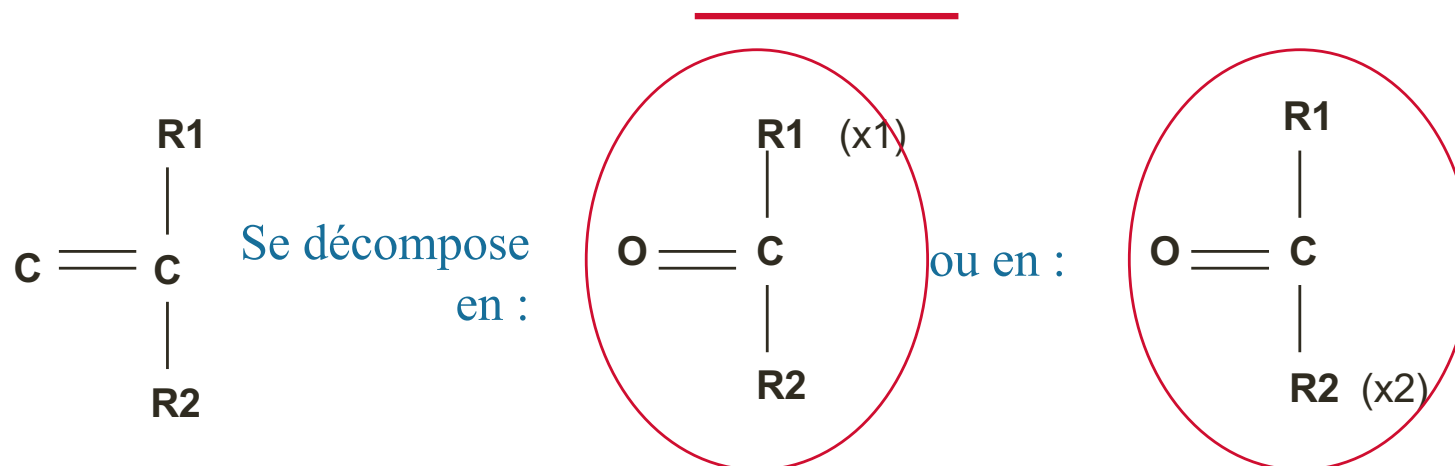
- Exemples de connaissances

- Règle :

Si le spectre de la molécule présente deux pics x_1 et x_2 tels que :

1. $x_1 - x_2 = M + 28$
2. $x_1 - 28$ est un pic élevé
3. $x_2 - 28$ est un pic élevé
4. au moins l'un des pics x_1 et x_2 est élevé

Alors la molécule contient un groupe cétone



Les systèmes experts : MYCIN

MYCIN : Mes recommandations thérapeutiques seront basées sur les infections probables et les organismes infectieux potentiels suivant :

L'organisme peut être : 1° pseudomonias aeruginosa, 2° klebsiellia pneumoniae, 3° escherichia coli, 4° bacteroides fragilis, 5° enterobacteriaceae, 6° proteus non mirabilis

Voulez-vous me donner la gravité de la maladie de M. Fred Smith sur une échelle de 0 à 4 ?

Médecin : 3

MYCIN : M. Fred Smith présente-t-il des réactions allergiques à un quelconque agent microbien ?

Médecin : Non

MYCIN : Quel est son poids en kilos ?

Médecin : 70

Les systèmes experts : MYCIN

MYCIN : Ma recommandation thérapeutique sera en premier choix : pour couvrir les points <1 2 3 5 6>, prescrire de la Gentamicine, dose 119 mg 98 h IV, pendant 10 jours;

Pour couvrir le point 4, prescrire de la Clindamycine, dose 595 mg 96 h IV, pendant 14 jours.

Désirez-vous éventuellement éliminer certains médicaments ?

Médecin : **Oui, la Clindamycine.**

MYCIN : Pour couvrir les points <2 3 4 5 6> donner du Chloramphénicol, dose 1 g 96 h IV, pendant 14 jours;

** Surveiller le taux de globules blancs du patient.

Pour couvrir le point 1, donner de la gentamicine, dose 119 mg 98 h IV, pendant 10 jours.

** Modifier la dose en cas de faiblesse rénale.

Les explications des SEs

MYCIN : L'infection du malade a-t-elle été contractée à l'hôpital ?

Utilisateur : pourquoi ?

TEIRESIAS : [pourquoi est-ce important de savoir cela ?]

Cela aidera à déterminer la catégorie à laquelle appartient l'organisme responsable de l'infection :

- il a déjà été établi que 1° l'organisme est à Gram négatif, 2° c'est un bâtonnet, 3° il se développe à l'air ou sans air,

- donc si l'infection par cet organisme n'a pas été contractée lors du séjour à l'hôpital alors il est presque certain (0,8) que l'organisme est de la catégorie des enterobacteriaceae; de plus, il se peut (0,1 ; règle 37) que ce soit la pseudomonias aeruginosa.

Utilisateur : pourquoi n'avez-vous pas envisagé la possibilité que l'organisme soit un streptocoque ?

TEIRESIAS : la règle 33 aurait dû être utilisée pour identifier l'organisme comme un streptocoque, mais la seconde clause "la morphologie est de type coque" était déjà connue comme fautive et la règle 33 n'a jamais été essayée.

BORIS [Dyer,82]

"Richard hadn't heard from his college roommate Paul for years. Richard had borrowed money from Paul which was never paid back. But now he had no idea where to find his old friend. When a letter finally arrived from San Francisco, Richard was anxious to find out how Paul was."

BORIS [Dyer,82]

"Richard hadn't heard from his college roommate Paul for years. Richard had borrowed money from Paul which was never paid back. But now he had no idea where to find his old friend. When a letter finally arrived from San Francisco, Richard was anxious to find out how Paul was."

Comment traiter un non événement ?

"John walked in the room and Mary was not there" (John désirait voir Mary et s'attendait à la trouver dans la pièce -> pourquoi n'y est-elle pas ? ...)

Ici, on est prêt à comprendre que Richard se sent une obligation vis-à-vis de Paul. Il faut donc des connaissances sur les relations sociales et sur la psychologie.

Comment traiter "had" (possession ?) et "old" (âge de son ami ? Non. Mais pourquoi et comment?)

Comment infère-t-on que cette lettre vient de Paul alors que ce n'est pas dit explicitement ?

Pourtant ...

- Ingénierie des connaissances
- Processus très lourd
- Peu systématisé
- Maintenance difficile

Dépasse le quantum d'action = **la thèse**

L'espoir (suite de la suite)

L'intelligence met en jeu beaucoup de connaissances

que l'on obtiendra par des processus généraux
d'apprentissage

Bref historique (4)

4. Méthodes générales d'apprentissage (~1980 - ~ now)

□ Méthodes symboliques

○ De nombreuses réalisations et nouvelles techniques

- *Algorithme d'élimination*
- *Arbres de décision*
- *Méthode de l'Etoile*

○ Nouveaux principes

- Espace des versions

□ Renouveau du connexionnisme et du mouvement subsymbolique

- Hopfield (1982)
- Le Perceptron Multi-Couches (1985)
- IA distribuée (Algorithmes Génétiques, Vie Artificielle, ...)

Bref historique (5)

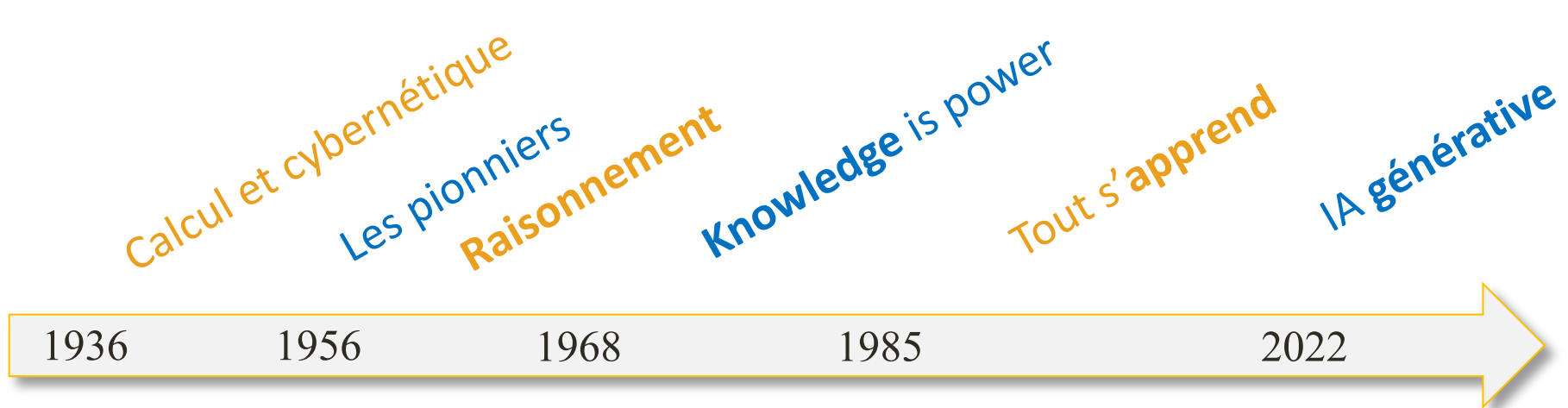
5. Apprentissage statistique et applications (~1995 - ...)

- **Nouvelles méthodes** sans raisonnement
(réseaux de neurones, algorithmes génétiques, réseaux bayésiens, Apprentissage par renforcement, ...)
- Théorie de l'**apprentissage statistique** (données i.i.d.)
- Guidé par les besoins industriels
- *On ne parle **plus de connaissances***

○ Perspectives :

- Données **massives**
- Systèmes à **longue durée de vie**
- **Interactions** avec les experts et utilisateurs et entre des algorithmes adaptatifs
- *Retour de la connaissance ? (causalité)*
- *Vers **rationalité limitée et systèmes complexes hétérogènes à longue vie***

Frise historique



...

Un changement de paradigme

Avant	Après
• Une tâche	
• Entrées – sorties identifiées	
• Apprendre un estimateur entre les deux	
• Critère de performance clair • Intervalles de confiance	
• Sélection / construction des descripteurs • Sémantique statique	

Un changement de paradigme

Avant	Après
<ul style="list-style-type: none">• Une tâche	<ul style="list-style-type: none">• N'importe quelle question ?
<ul style="list-style-type: none">• Entrées – sorties identifiées	<ul style="list-style-type: none">• Pas clair
<ul style="list-style-type: none">• Apprendre un estimateur entre les deux	<ul style="list-style-type: none">• Modèle génératif (compléteur universel)
<ul style="list-style-type: none">• Critère de performance clair• Intervalles de confiance	<ul style="list-style-type: none">• Pas de critère de performance• Aucune garantie sur les résultats
<ul style="list-style-type: none">• Sélection / construction des descripteurs• Sémantique statique	<ul style="list-style-type: none">• Embeddings• Modèles attentionnels (dépendances)• Sémantique contextuelle

Faire de l'intelligence artificielle

- Point de vue des sciences cognitives
 - Comprendre la cognition naturelle par des modèles informatiques
 - Point de vue de l'ingénieur
 - Résoudre des problèmes difficiles par n'importe quelle méthode
 - Point de vue du théoricien
 - Découvrir les lois universelles de la cognition
- Oscillation entre ces trois pôles

Ouvrages conseillés

- R. Callan : *Artificial Intelligence*. Palgrave MacMillan, 2003.
- I. Millington : *Artificial Intelligence for Games*. Morgan Kaufmann, 2006.
- Nilsson N. (98) : *Artificial Intelligence : A new synthesis*. Morgan Kaufmann, 1998.
- E. Rich & K. Knight : *Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, 1991
- S. Russell & P. Norvig : *Artificial Intelligence: A modern approach* (4th ed.).
Prentice Hall, 2021
(Trad. française : « Intelligence artificielle », Pearson Education, 2006, 1184 p.)