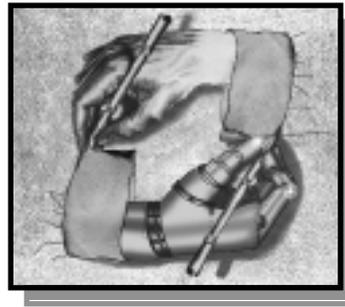




# *Introduction à l'intelligence artificielle*

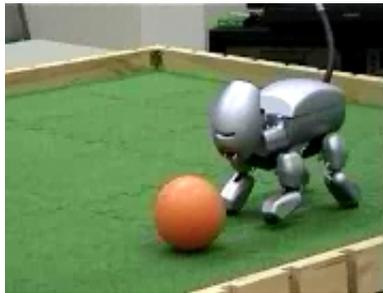


**Jean-Daniel Zucker@lip6.fr**  
**<http://www-poleia.lip6.fr/~zucker>**

**Laboratoire LIP6**  
**Thème APA - Equipe ACASA**



# *Introduction à l'intelligence artificielle*



**Jean-Daniel Zucker@lip6.fr**  
**<http://www-poleia.lip6.fr/~zucker>**

**Laboratoire LIP6**  
**Thème APA - Equipe ACASA**



# *Introduction à l'intelligence artificielle*



**Jean-Daniel Zucker@lip6.fr**  
**<http://www-poleia.lip6.fr/~zucker>**

**Laboratoire LIP6**  
**Thème APA - Equipe ACASA**



## PLAN DU COURS (8 heures)

Cours les Lundi 13 Novembre, 20 Novembre., 27 Novembre. et 4 Décembre:  
De 8h45 à 9h45.

**Chapitre 1 : Introduction à l'Intelligence Artificielle (1 h)**

**Chapitre 2 : Logique et Prolog (3 h)**

**Chapitre 3 : Représentation des connaissances (2 h)**

**Chapitre 4 : Apprentissage Automatique (2 h)**

**TD+TP+Examen**



# Chapitre 1 : Introduction à l'Intelligence Artificielle (IA)



## 1.0. Définition

- 1.1. Problématique
- 1.2. Historique
- 1.3. Un champ pluri-disciplinaire
- 1.4. IA Aujourd'hui
- 1.5. Brevets en IA
- 1.6. Les domaines de l'IA
- 1.7. La représentation des connaissances
- 1.8. Rôle de la logique
- 1.9. Systèmes à base de connaissances
- 1.10. Conclusion



## 1.0. Définition (1/2)

- A la différence de la Philosophie ou de la Psychologie qui sont aussi concernées par l'étude de l'intelligence, **l'IA a le projet de construire (3) des artefacts (2) intelligents (1)**

### 1) intelligence

Qu'est ce que l'intelligence ?

=> Percevoir/Raisonner/Agir/Communiquer

*Evaluation*: capable de passer le test de Turing, jugée comme telle par l'homme.

### 2) artefacts:

machines inorganiques

=> systèmes  $\Phi$  manipulant des symboles

Hyp: symb. correspondent à des objets du monde

### 3) construire

aspect ingénierie

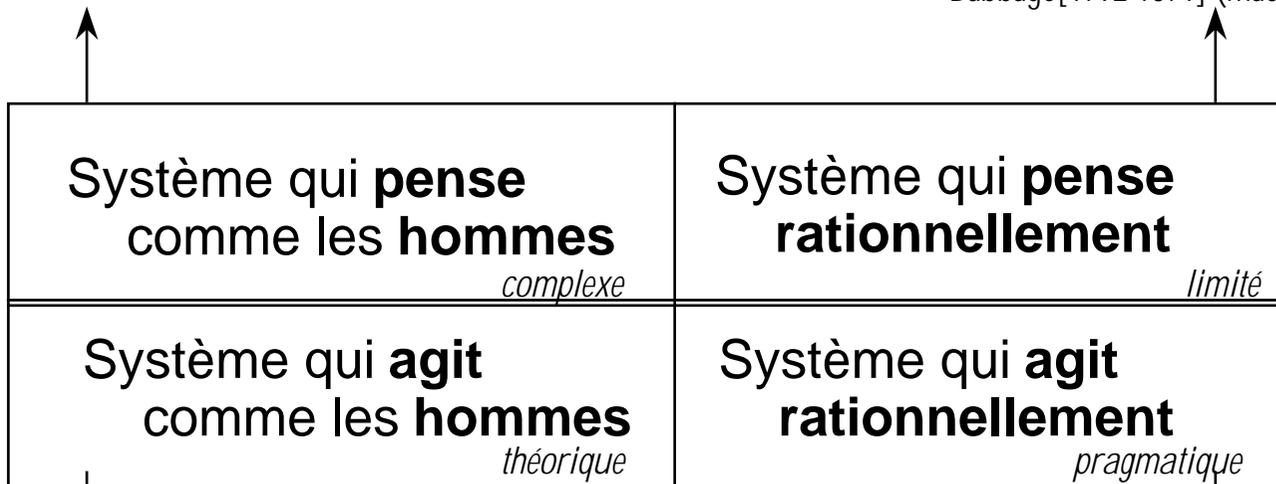
=> agent (perçoit, raisonne, communique et agit)



# 1.0. Quatre types de définition de l'IA (2/2)

**Modélisation cognitive**  
(GPS (Newel & Simon,61))

**Logicisme:** pensée logique  
Pascal[1623-1662] (machine à calculer)  
Leibnitz[1646-1716] (machine à raisonner)  
Babbage[1792-1871] (machine analytique)



**Système passant le test de Turing(1950)**  
Apprendre des K. (s'adapter)  
Représenter des K. (mémoriser)  
Résoudre des Pb. (raisonner)  
Comprendre (communiquer)

**Agent rationnel (199X)**  
agit selon ses croyances pour  
atteindre des objectifs  
(pas seulement logique)



## 1.1. Problématique

- **Les domaines privilégiés de l'IA : là où il n'y a pas d'algorithme à la portée des machines.**
- **Comme les problèmes qui ont une *combinatoire* trop importante**

crypto-arithmétique, jeux, mots croisés, planification, jeux, économie, ...

exemple: SEND + MORE = MONEY  $9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 = 362\,880$  essais possibles.

- **... qui nécessitent une démarche *heuristique*.**

exemple: le jeu d'échecs ( $10^{160}$ )

Les heuristiques relèvent de connaissances d'ordre pragmatique et traduisent un savoir-faire, une expérience plutôt qu'un calcul systématique.



- **L'intelligence artificielle a aussi vocation à simuler le raisonnement humain.**

- modéliser les K. et les modes de raisonnement d'un expert humain
- les rendre accessibles à un non informaticien.



## Qu'est ce que l'IA concrètement

- 1) **Rechercher** (analyser, résoudre des problèmes, trouver des méthodes de résolution)
- 2) **Représenter** des connaissances (logique, règles, mémoire, cas, langue naturelle, etc.)
- 3) **Mettre en application** les idées 1) et 2) (Systèmes Experts, pilotes automatiques, agents d'interfaces, robots, Data Mining, etc.)



## 1.2. Historique

- **Les années lumières (euphorie et grands espoirs) 1956-1966**
  - **Logic Theorist** (Newell, Shaw et Simon, 1956)  
démonstration de théorèmes de la logique des propositions
  - Reconnaissance de caractères, La “souris cybernétique”,  
le **perceptron** (Rosenblatt,58), Dames anglaises (Samuel,59)]
  - **General Problem Solver** (1969): résolveur de problèmes général
  - Projet de traduction automatique (1966: rapport **ALPAC**)
  - Weizenbaum, J., (1966) **ELIZA** - A computer program for the study of  
natural language communication between man and machine.  
Communications of the ACM, 9.1:36-45.
- **Les années noires 1966-1969**

## 1.2 Historique

- **Le renouveau (les premiers systèmes experts) 1969-1979**
  - **DENDRAL** réalise l'analyse automatique des spectres de masse pour déterminer la structure moléculaire du CORPS chimique étudié.  
“ Heuristics Dendral : A program for generating explanatory hypotheses in organic chemistry.” de B. Buchanan, Sutherland, Feigenbaum, Machine Intelligence, 1969
  - **MYCIN** diagnostique les maladies infectieuses du sang et propose un traitement approprié. “ Computer based medical consultations : MYCIN” de E. Shortliffe, 1976
- **L'IA institutionnalisée 1980-aujourd'hui**
  - Une industrie (SE, Systèmes d'apprentissage, interfaces ergonomiques, Data Mining, etc.)



## 1.2 Historique

- **Les principaux langages de l'intelligence artificielle**
  - Lisp (1960, J. McCarthy)
  - **Prolog** (1973, A. Colmerauer), Prolog avec contraintes
  - SmallTalk (1972, A. Kay)
  - JAVA (1994) , C++, Scheme, ...

## 1.3. Un champ pluri-disciplinaire

- **Informatique (systèmes, codage, ... )**
- **Linguistique (syntaxe, sémantique, pragmatique, ...)**
- **Psychologie (intelligence humaine, animale, développement)**
- **Ergonomie (analyse des tâches)**
- **Biologie, Statistique, Economie, Ethologie, ...**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



☹ **Ambitions initiales abandonnées**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- ☺ **Les retombées de l'IA sont partout**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)
- 😊 **Vous les utilisez au quotidien sans le savoir**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)
- 😊 **Vous les utilisez au quotidien sans le savoir**

### **Validation de factures American Express**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)
- 😊 **Vous les utilisez au quotidien sans le savoir**

**Validation de factures American Express  
Compagnons Office**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)
- 😊 **Vous les utilisez au quotidien sans le savoir**

**Validation de factures American Express**  
**Compagnons Office**  
**3611 pages jaunes, [www.pagesjaunes.fr](http://www.pagesjaunes.fr)**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- 😊 **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)
- 😊 **Vous les utilisez au quotidien sans le savoir**

**Validation de factures American Express**

**Compagnons Office**

**3611 pages jaunes, [www.pagesjaunes.fr](http://www.pagesjaunes.fr)**

**Jeux de réflexion sur ordinateur**

## 1.4. IA aujourd 'hui le constat, 1



- ☹ **Ambitions initiales abandonnées**
  - on ne pense plus faire une IA à court terme
- ☺ **Les retombées de l'IA sont partout**
  - objets, agents, méthodologies, représentation des connaissances
  - approches causales, qualitatives
  - fouille de données, fouille de texte
  - statistiques non linéaires (réseaux neuronaux)
  - programmation par contraintes
  - nouvelles méthodes d 'optimisation (évolution artificielle)
- ☺ **Vous les utilisez au quotidien sans le savoir**

**Validation de factures American Express**

**Compagnons Office**

**3611 pages jaunes, [www.pagesjaunes.fr](http://www.pagesjaunes.fr)**

**Jeux de réflexion sur ordinateur**

**Téléphonie mobile etc..**

## 1.4. IA aujourd 'hui, le constat, 2



- **Apport de l 'IA:**

- « experience-based reasoning » - façon de penser, d 'aborder les problèmes
- modélisation
- découverte de connaissances
- amélioration de méthodes et approches existantes
  - ⇒ statistiques et data mining
  - ⇒ RO et PPC
  - ⇒ SIAD et CBR
  - ⇒ GED, recherche d 'informations et de connaissances
  - ⇒ Interfaces
  - ⇒ workflow et partage de connaissances
  - ⇒ réalité virtuelle
  - ⇒ ...

**l 'IA est cachée presque partout, mais souvent trop bien cachée**

## 1.5. Brevets en IA



## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »
  - 25 applications par ans, banque, air-espace, télécommunications etc.

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »
  - 25 applications par ans, banque, air-espace, télécommunications etc.
  - Nombre de brevets US utilisant les termes « Artificial Intelligence »

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »
  - 25 applications par ans, banque, air-espace, télécommunications etc.
  - Nombre de brevets US utilisant les termes « Artificial Intelligence »
    - ⇒ 100 il y a 10 ans, 1700 en 1998 + 3900 « reliés »

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »
  - 25 applications par ans, banque, air-espace, télécommunications etc.
  - Nombre de brevets US utilisant les termes « Artificial Intelligence »
    - ⇒ 100 il y a 10 ans, 1700 en 1998 + 3900 « reliés »
    - ⇒ 2200 classés dans le domaine « IA »

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »
  - 25 applications par ans, banque, air-espace, télécommunications etc.
  - Nombre de brevets US utilisant les termes « Artificial Intelligence »
    - ⇒ 100 il y a 10 ans, 1700 en 1998 + 3900 « reliés »
    - ⇒ 2200 classés dans le domaine « IA »
    - ⇒ **3400 utilisent l'IA dans un contexte plus large**

## 1.5. Brevets en IA



- **Buchanan & Uthurusamy « AI Magazine » printemps 99**
  - 10ème Conférence annuelle « Innovative Applications of Artificial Intelligence »
  - 25 applications par ans, banque, air-espace, télécommunications etc.
  - Nombre de brevets US utilisant les termes « Artificial Intelligence »
    - ⇒ 100 il y a 10 ans, 1700 en 1998 + 3900 « reliés »
    - ⇒ 2200 classés dans le domaine « IA »
    - ⇒ **3400 utilisent l'IA dans un contexte plus large**
    - ⇒ Les plus récentes sont avec des techniques d'apprentissage: RN et EA



## 1.6. Grands domaines de l'IA

- **Reconnaissance et synthèse de la parole**(ex: réservation d'hôtel, 11artificiel )
- **Reconnaissance et synthèse d'images** (ex. recherche d'info)
- **Reconnaissance de l'écriture** (ex: recon. cheques, codes postaux)
- **Langage naturel** (ex: interfaces, text mining, Web Mining)
- **Planification** (ex: Partage resource satellite DigitalWpress 's service PCAIApril2000)
- **Aide à la décision**  
(ex: SE temps réels et autonome: contrôle de trajectoire du satellite Voyager)
- **Aide à la programmation** (ex: agents d'interface)
- **Apprentissage / Adaptatif**  
(ex: construction de systèmes experts, classification automatique de galaxie, contrôleurs de robots ...)
- **Jeux**  
(e.g. Echecs(DeeperBlue à 2600), Checkers (Champion), Othello (Champion), BackGammon(champion), GO (bon amateur).
- **Médecine:**  
Aide à la décision (SE), prédiction de patients à risques, analyse automatique d'images médicales



## 1.7. La représentation des connaissances

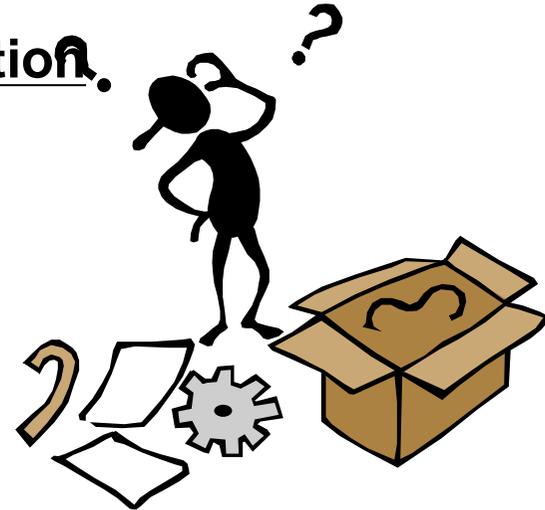
- **Problème central en IA**
- **Mise en évidence d'un problème en amont :**
  - l'acquisition des connaissances
  - la modélisation des connaissances
- **Plusieurs formes de représentation**
  - Représentation objet
  - Règles de production
  - ...

## 1.8. Rôle de la **logique**

- Un formalisme de représentation des connaissances
- Un mécanisme d 'inférence: la déduction.

**central pour :**

- PROLOG
- Systèmes à base de connaissances





## 1.9. Les systèmes à base de connaissances

### Le transfert d'expertise

- Pour Edward Feigenbaum ( Stanford ), les systèmes experts sont des “ *programmes conçus pour raisonner à propos de tâches dont on pense qu'elles requièrent une expertise humaine considérable.* ” L'expertise humaine n'est pas toujours accessible (exemple de la médecine d'urgence).

Un système expert a vocation à faciliter le transfert d'expertise:

- de l'expert vers l'entreprise, dans le cas d'un départ
- de l'expert vers un utilisateur averti, dans le cas d'un expert indisponible
- de l'expert vers d'autres experts, dans le cas d'une coopération.

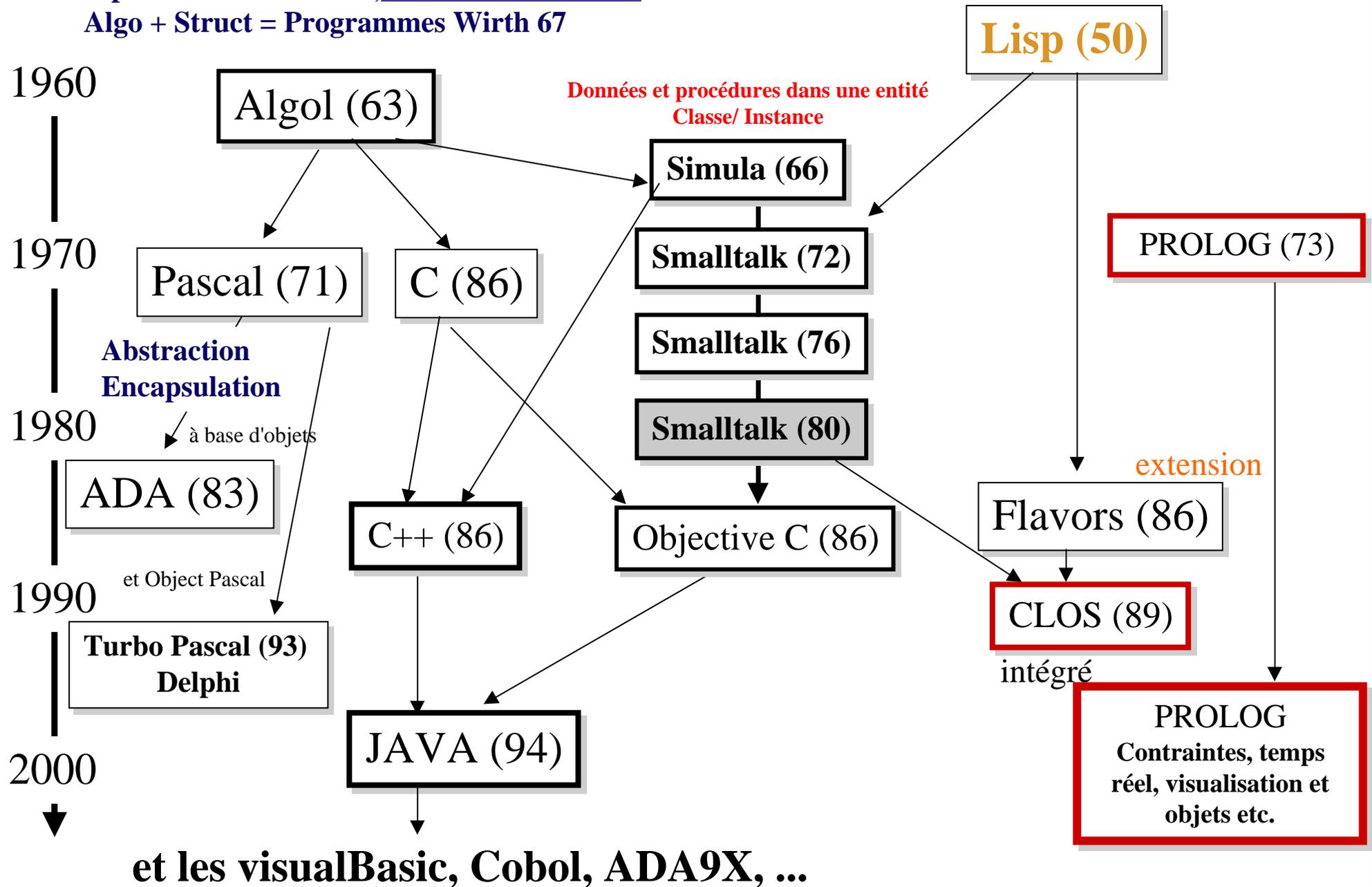
## 1.10. Conclusion



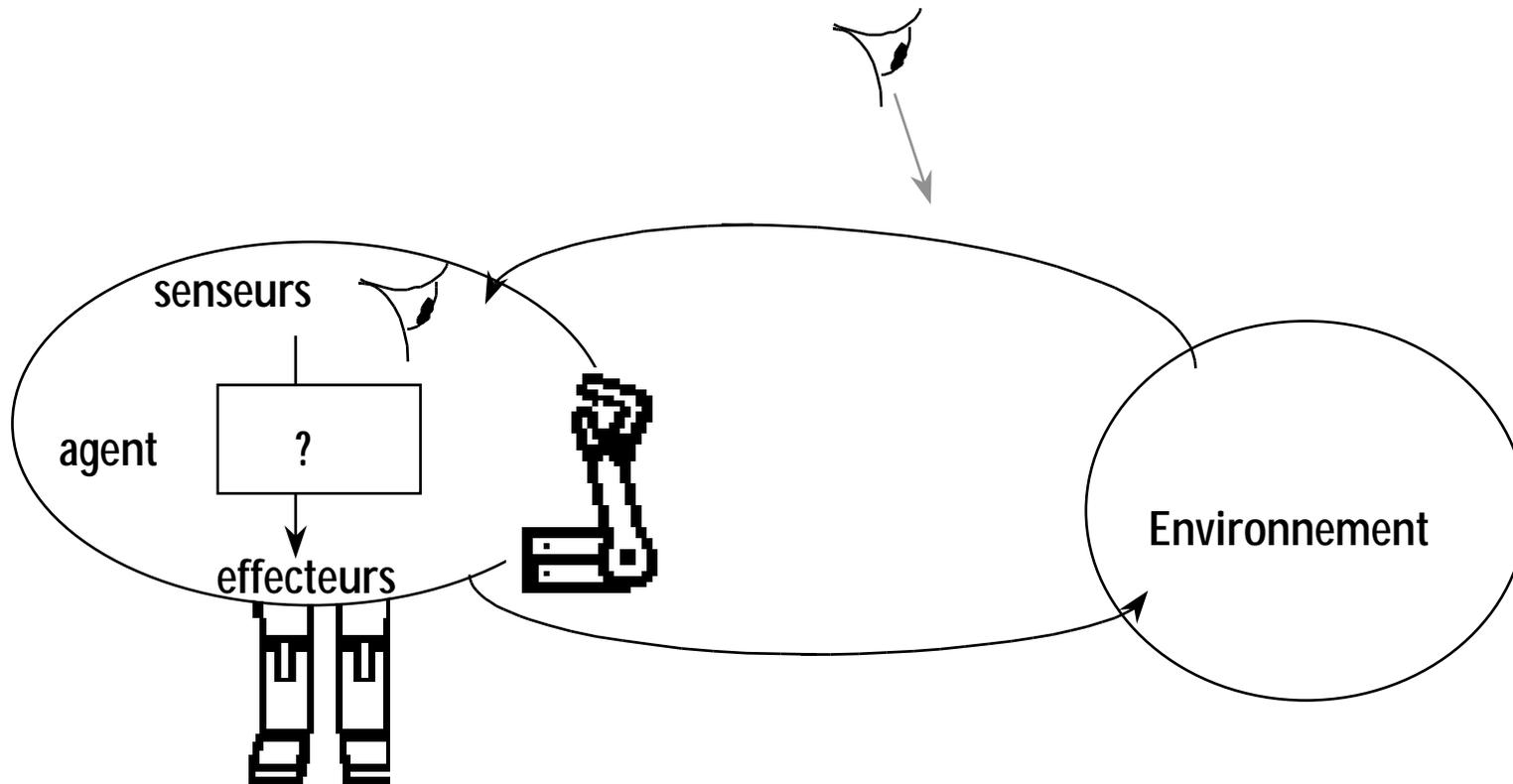
- Aujourd'hui **l'IA est partout** sans que l'on s'en rende compte ou préoccupe.
- Rôle de plus en plus important dans la conception, les interfaces, internet, les robots, ...
- Une meilleure intégration de l'IA dans les applications informatiques
- Une démarche génie logiciel n'est pas toujours facile. Des environnements: JAVA, Prolog, Smalltalk, etc.
- Évolution de l'IA intelligence Artificielle vers l'IA informatique avancée

**Pb. conception et maintenance, besoin de structurer:**  
**Algo + Struct = Programmes Wirth 67**

**Model. Raisonement, besoin de structurer K.**



## Annexe: Architecture d'un agent intelligent



Russel & Norvig, Artificial Intelligence a  
Modern Approach, **Prentice Hall Series in  
Artificial Intelligence, 1995**



ence a  
eries in



<http://www.lip6.fr/microbes>

ence a  
eries in



## Bibliographie Sommaire

- **J.-G. Ganascia, *L'intelligence Artificielle***, Coll. DOMINOS, Flammarion, 1993
- **Ginsberg, M. (1997). *Essentials of Artificial Intelligence***, Morgan Kaufmann.
- **J.-L. Laurière, *Intelligence Artificielle : résolution de problèmes par l'homme et la machine***, Eyrolles, 1987
- **Russel & Norvig, *Artificial Intelligence a Modern Approach***, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, 1995
- **J.-G. Ganascia, *L'âme machine***, Seuil, 1990



## PLAN DU COURS (8 heures)

- **Chapitre 1 : Introduction à l'Intelligence Artificielle (1 h)**
- **Chapitre 2 : Logique et Prolog (3 h)**
- **Chapitre 3 : Représentation des connaissances (2 h)**
- **Chapitre 4 : Systèmes adaptatifs et Apprentissage (2 h)**

**TD+TP+Examen**



## Chapitre 2 : Logique et PROLOG

**2.1. Logique des propositions**

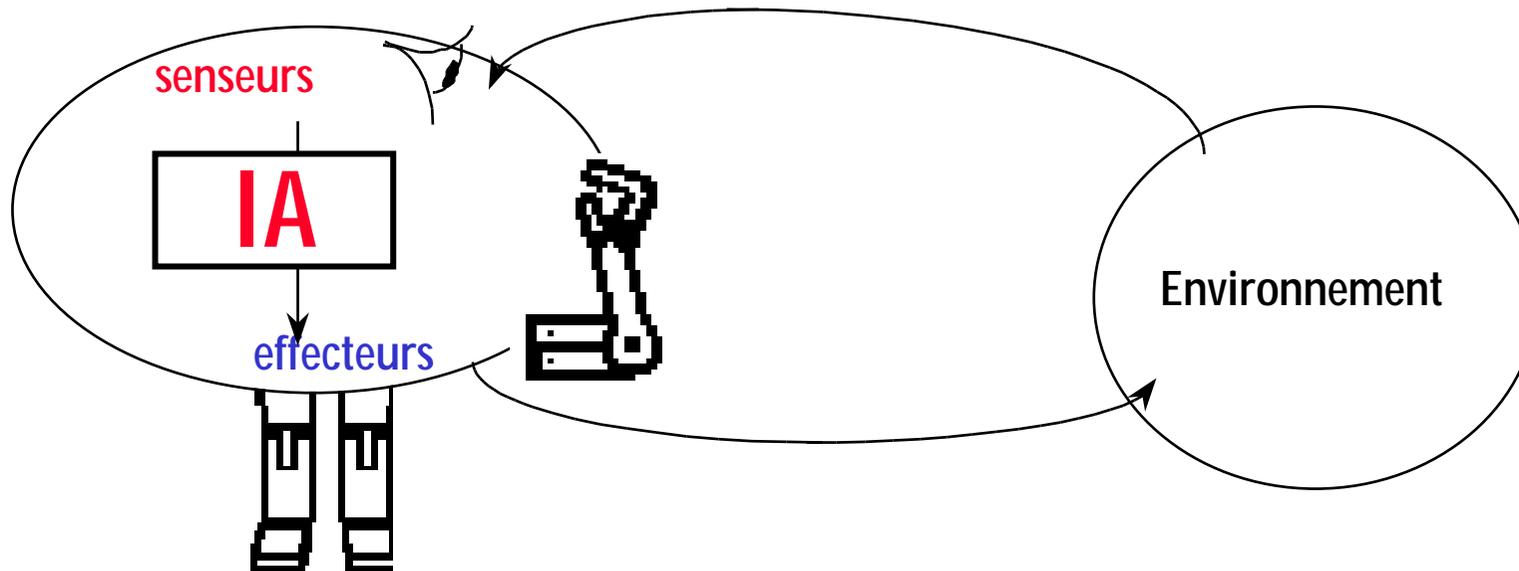
**2.2. Logique des prédicats du premier ordre**

**2.3. PROLOG**

**2.4. Environnement PROLOG**

**2.5. Quelques prédicats prédéfinis**

### Architecture d'un agent intelligent

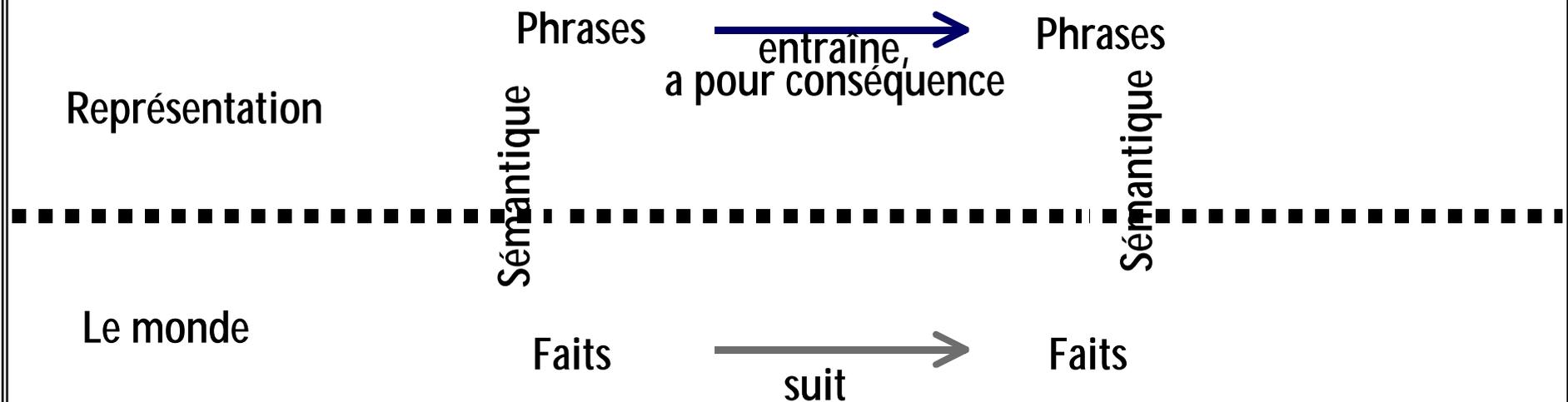


Russel & Norvig, *Artificial Intelligence a Modern Approach*, Prentice Hall Series in *Artificial Intelligence*, 1995



# Représentation des Connaissances

- Son but est de permettre à l'agent de disposer sous une forme informatique des moyens d'atteindre ses buts
- Deux aspects dans une représentation des connaissances:
  - La **syntaxe**: des **phrases** qui sont mémorisées par l'agent sous forme physique (électrons).
  - La **sémantique**: les faits du monde auxquels correspondent les **phrases**.





## FAITS

P1: Avoir\_des\_citrouilles  
P2: Epoque\_Halloween  
P3: Cours\_citrouille\_elevé  
P1 & P3 => P5

## DEDUCTION





## FAITS

P1: Avoir\_des\_citrouilles  
P2: Epoque\_Halloween  
P3: Cours\_citrouille\_elevé  
P1 & P3 => P5

## DEDUCTION

P5: Etre\_Riche





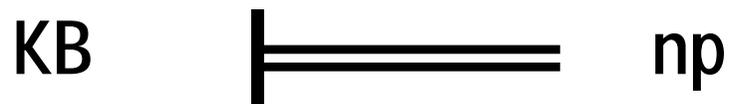
# Inférences

- **But: générer de nouvelles phrases (np) vraies sachant que les anciennes sont vraies (La knowledge Base: KB)**
- **Une règle d'inférence  $r_i$  permet soit:**
  - de générer de nouvelles phrases np qui prétendent être la conséquence sémantique de KB
  - de prétendre tester si une phrase np est la conséquence logique ou non de KB



L'ensemble des dérivations élémentaires est appelé la preuve

Notation: conséquence logique (sur le monde)





# Décidabilité

vrai ou faux ?

P3: Cours\_citrouille\_elevé





# Décidabilité

vrai ou faux ?

P3: Cours\_citrouille\_elevé

empirique



A	B	C
VRAI	VRAI	
VRAI	FAUX	
FAUX	VRAI	
FAUX	FAUX	



# Décidabilité

R1: Si P2 Alors P3

P2: Epoque\_Halloween

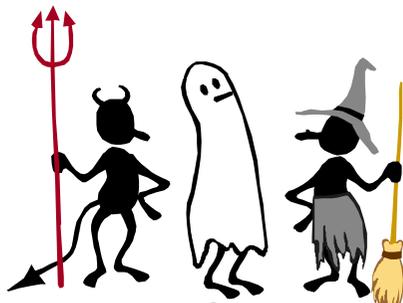
Modus Ponens



## vrai ou faux ?

P3: Cours\_citrouille\_elevé

empirique



1 Novembre 1999



A	B	C
VRAI	VRAI	
VRAI	FAUX	
FAUX	VRAI	
FAUX	FAUX	



## Propriétés des règles d'inférences

- **Si la règle d'inférence ne produit que des phases vraies**
  - Elle préserve la vérité: **cohérente** (sound, truth-preserving)
- **Si la règle d'inférence produit toutes les phases vraies**
  - **Elle est complète**
- **Une théorie complète est décidable s'il existe un algorithme qui permet de déterminer si un énoncé quelconque est (logiquement) vrai ou non.**



# Résultats

- **A l'ordre 0 : le calcul des propositions est complet et décidable**
- **A l'ordre 1 : le calcul des prédicats du premier ordre est *complet* (Gödel, 1930), mais *indécidable* (Church, Turing, 1936)**
- **A l'ordre 2 : le calcul des prédicats du second ordre est *incomplet***



## 2.1. Logique des propositions (syntaxe)

- Proposition

La Rochelle est en Charente-Maritime (V)

La hauteur de la Tour Eiffel est inférieure à 300 m(F)

**Une proposition a une valeur de vérité V ou F**

- Connecteurs

$\wedge$  (ET),  $\vee$  (OU),  $\neg$  (NON),  $\Rightarrow$  (IMPLIQUE),  $\Leftrightarrow$  (EQUIVALENT)

- Formules (propositions connectées suivant des règles)

**$(A \wedge B) \vee C \vee D$**

## 2.1. Logique des propositions (sémantique)

### • Table de vérité (interprétation des formules)

A	B	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \rightarrow B$	$\neg A$	$\neg(\neg A)$	$\neg A \vee B$
V	V	V	V	V	F	V	V
F	V	F	V	V	V	F	V
V	F	F	V	F	F	V	F
F	F	F	F	V	V	F	V

### • Équivalences (formules ayant la même interprétation)

$\neg(\neg A)$  équivaut à  $A$

$A \rightarrow B$  équivaut à  $\neg A \vee B$

*Lois de Morgan*

$\neg(A \wedge B)$  équivaut à  $\neg A \vee \neg B$

$\neg(A \vee B)$  équivaut à  $\neg A \wedge \neg B$



## 2.1. Logique des propositions (autres équivalences)

- **Distributivité**  
 $(A \wedge B) \vee C$  équivaut à  $(A \vee C) \wedge (B \vee C)$   
 $(A \vee B) \wedge C$  équivaut à  $(A \wedge C) \vee (B \wedge C)$
- **Commutativité**  
 $A \wedge B$  équivaut à  $B \wedge A$   
 $A \vee B$  équivaut à  $B \vee A$
- **Associativité**  
 $A \wedge (B \wedge C)$  équivaut à  $(A \wedge B) \wedge C$   
 $A \vee (B \vee C)$  équivaut à  $(A \vee B) \vee C$
- **Contraposée**  
 $A \Rightarrow B$  équivaut à  $\neg B \Rightarrow \neg A$



## 2.1. Logique des propositions

- **Règles d'inférences (règles de dérivation)**

- Modus ponens**

- Si  $A$  et  $(A \rightarrow B)$  Alors on **déduit**  $B$  (noté  $A, (A \rightarrow B) \vdash B$ )

- Modus tollens**

- Si  $\neg B$  et  $(A \rightarrow B)$  Alors on **déduit**  $\neg A$

- Enchaînement**

- Si  $A \rightarrow B$  et  $B \rightarrow C$  alors on **déduit**  $A \rightarrow C$

- **Axiomes, théorème, démonstration, décidabilité**

- axiomes: formules de départ ( $\vdash A$ )

- théorèmes: formules dont il existe une démonstration

- démonstration: enchaînement de dérivations (ou inférences)

- décidabilité: logique des proposition est décidable (il existe un procédé fini permettant de décider si une formule est un thorème ou non)