

# Représentation des connaissances

## Réseaux Sémantiques

Master LASTIC – Université d'Orléans

<https://perso.limsi.fr/hamon/Teaching/Orleans/KRep-2017-2018/>

Thierry Hamon

`hamon@limsi.fr`

LIMSI-CNRS &  
Institut Galilée - Université Paris 13

Septembre – octobre 2017

# Réseaux sémantiques

- Modèle logique : Difficultés de la représentation des connaissances
  - Logique des propositions : Système décidable mais avec un temps de décision exponentiel
  - Autres logiques (logique des prédicats, logiques non-classiques) : plus expressives, mais semi-décidables, voire indécidables
- Comment rendre les inférences efficaces ?
  - Restreindre la logique
  - Abandonner l'exigence de formalisation complète de la sémantique attendue par la logique (complétude)
- Une solution (?) : Rendre plus facile la manipulation de la représentation

# Plan

- Les premiers réseaux
- Historique rapide
- Présentation générale
- Réseaux à propagation de marqueurs
- Réseaux sémantiques partitionnés
- Graphes conceptuels

# Les premiers réseaux

- Issus des premiers travaux en psychologie cognitive des années 60-70
- Rechercher si la mémoire est-elle organisée avec une notion de proximité entre concepts ?

## Les premiers réseaux : expériences

- Mesurer des temps de réponse à certaines questions
- Faire entendre la liste de mots et mesurer les temps de rappel

## Les premiers réseaux : expériences

- Présenter à des sujets un objet cible et leur proposer oralement une suite de mots à relier ou non à cet objet
- Les erreurs et les temps de réponses selon les rapports qui existent entre les mots proposés et l'objet cible.

# Les premiers réseaux : expériences

## Conclusions

- Mémoire associative
- Notion d'un objet typique
  - Certains hyponymes ont une appartenance plus solide à leur catégorie que d'autres
  - Influence de cette caractéristique sur le temps de réponse
  - L'objet typique est jugé comme appartenant à sa catégorie plus rapidement que l'objet « moins » typique

# Les premiers réseaux : expériences

- Principe d'économie
  - intéressant en informatique
  - moins pertinent chez l'homme dont la mémoire semble avoir une capacité sans bornes



# Les premiers réseaux

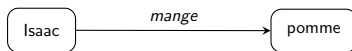
- Du point de vue psychologiques ces travaux sont plutôt abandonnées aujourd'hui
- Les praticiens de l'IA font des programmes qui utilisent cette structure de réseaux

## Définition

- Un réseau sémantique est un graphe orienté et étiqueté
- Ce graphe est formé de nœuds - représentant les concepts – reliés par des arcs
- Le concept n'acquiert tout son sens que par les relations qui le lient aux autres concepts
- Une liaison entre deux nœuds étiquetés par A et B ont la propriété d'être en relation par R :  $R(A,B)$

## Définition

- Les arcs du graphe représentent alors des relations (généralement binaires) entre ces concepts
- Les nœuds comme les arcs sont étiquetés
- Exemple :



# Historique rapide

- Quillian (1968, 1969)
  - Proposition de deux modèles avec l'ambition d'en faire un modèle de la mémoire associative humaine
  - Système
    - basé sur des procédures de raisonnements fondées sur la méthode de propagation d'activation
    - permettant d'explicitier les liens entre deux concepts donnés

## Historique rapide

- Raphael (1968) : *Semantic Information Retrieval*
  - Utilisation des réseaux pour répondre à des questions demandant des raisonnements simples
- Simmons (1972, 1973)
  - Réseau dans lequel le choix des arcs était fondé sur la notion de cas sémantique
- Possibilité du système :
  - Analyser d'une phrase
  - Traduction du sens en une structure de réseau
  - Génération des réponses à des questions portant sur le contenu de ce réseau

## Historique rapide : critique

- Absence d'une méthodologie précisant les principes généraux qui sont à la base des représentations
- Vague de la définition de nœuds et des liens entre eux
- Brachman (1979) : KL-ONE
  - Distinction de trois axes
    - La hiérarchie des concepts en classes et sous-classes
    - Explicitation d'autres rapports entre concepts par des liens attributs
    - Un nombre fini de lien primitifs

# Présentation générale

- Graphes élémentaires
- Héritage de propriétés  $\Rightarrow$  Notion d'inférence
- Table de composition des relations
  - Si les concepts  $C1$  et  $C2$  sont liés par une relation  $R1$
  - et si  $C2$  et  $C3$  sont liés par une relations  $R2$ ,
  - Alors  $C1$  et  $C3$  sont liés implicitement par une relation  $R3$   
si  $R1(C1,C2)$  et  $R2(C2,C3)$  alors  $R3(C1,C3)$
- Utilisation dans la recherche d'information

# Présentation générale

- Ambiguïté artificielle dans un réseau
- Relation binaire/action à plusieurs actants
- Concepts prédicatifs : les nœuds représentent non seulement des objets, mais aussi des actions et des situations
- État codé par un nœud et non par un lien
- Notions de prévision et de valeur par défaut pour certains attributs des nœuds prédicatifs



# Problèmes

- Confusion entre individus et classes
- Distinction entre les affirmations vraies pour tous les membres d'une classe et les affirmations qui portent sur la classe elle-même
- Des propriétés générales mémorisées pour une classe ne sont pas valables pour une sous classe

# Solutions

- Distinguer les nœuds représentant une classe de ceux qui sont des occurrences
- Mettre en place des liens variés qui permettront de tenir compte de ces différents aspects

# Types de liens dans les réseaux

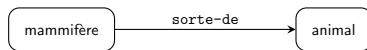
- Liens épistémiques
- Liens logiques
- Liens conceptuels
- Liens spécifiques à un domaine

# Types de liens dans les réseaux

- Liens épistémiques

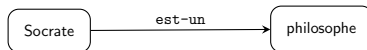
- sorte-de :

- Entre un concept général et un concept plus général
    - Mécanisme de classification, catégorisation
    - Inclusion

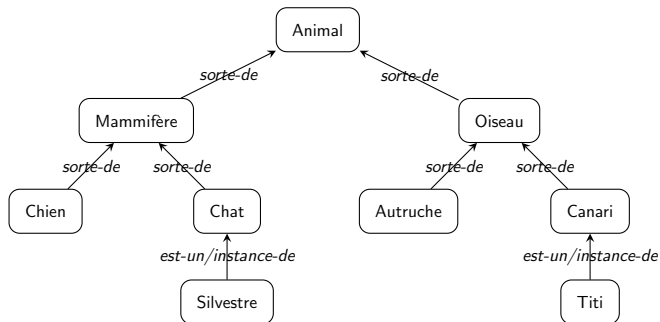


- est-un (instance-de) :

- Entre un concept individuel et un concept général
    - Mécanisme d'identification, de reconnaissance
    - Appartenance



# Exemple

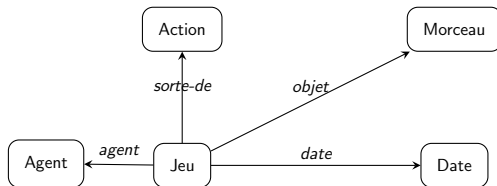


# Types de liens dans les réseaux

- Liens logiques
  - connecteurs logiques
    - négation
    - et
    - ou
  - Modalités
    - il est possible que
    - il est nécessaire que
    - savoir/croire que
    - il est permis que . . . .

# Types de liens dans les réseaux

- Liens conceptuels
  - Inspirés des grammaires de cas de Fillmore
  - Identification des relations générales
  - Liens généraux
    - agent (d'une action)
    - objet (d'une action)
    - récepteur (d'une action)
    - date...



# Types de liens dans les réseaux

- Liens spécifiques à un domaine
  - Interopérabilité entre systèmes informatiques
  - Terminologies et les ontologies dans le sens de représentations conceptuelles partagées
  - Exemple : UMLS (Unified Medical Language System - <http://www.nlm.nih.gov/research/umls/>)  
plus de 100 relations regroupées :
    - physiquement relié à
    - spatialement relié à
    - temporairement lié à
    - fonctionnement relié à



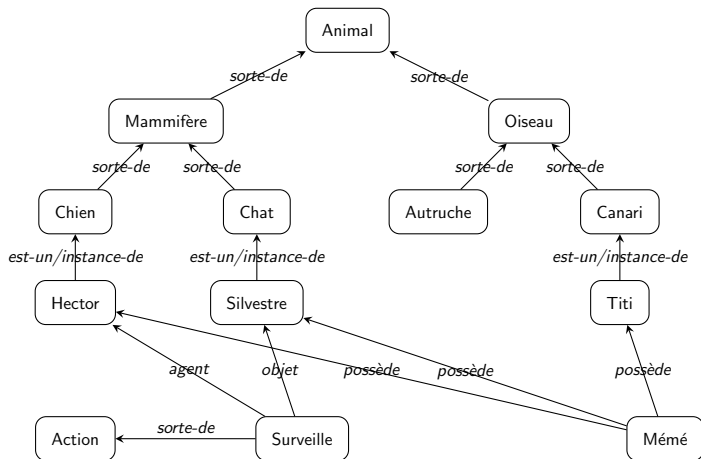
## Types de liens : observations détaillées

- Hiérarchie
- Particularisation
- Équivalence
- Contraste

# Types de liens

- Partie
- Relations spatiales
- Succession
- Fonction

## Exemple (suite)



## Commentaires

- Pas de définition formelle
- Raisonnement associé dépendant des stratégies d'implémentation
- Evolution : définition logique  
⇒ cela nécessite de différencier les nœuds représentant des classes, des nœuds représentant des instances (cf KL-One [Brachman 1977-1985]).

# Réseaux à propagation de marqueurs

Fahlman (1979)

- propose de simuler le fonctionnement neurobiologique d'un ensemble d'éléments capables de propager un nombre limité d'informations
- considère que les nœuds, comme les arcs, sont des micro-processeurs qui possèdent une mémoire locale où l'on peut stocker des marqueurs ( $M_i$ )

## Réseaux à propagation de marqueurs

- Un contrôleur gère l'ensemble du réseau en transmettant des messages ordonnant aux nœuds de diffuser des marqueurs d'un certain type sous certaines conditions
- Les nœuds concernées marquent l'extrémité des arcs dont ils sont l'origine, si ces arcs correspondent aux conditions indiquées

# Réseaux à propagation de marqueurs

Ainsi

- La connaissance est stockée, non pas dans les nœuds eux-mêmes, mais dans la forme des interconnexion qui existent entre eux
- La règle d'inférence prend l'allure d'une propagation en parallèle de marqueurs de différents types

# Réseaux à propagation de marqueurs : éléments de base

- Deux types de nœuds
  - Nœuds individus ( $\circ$ )
  - Nœuds classes ( $\bullet$ )
- Chaque concept est représenté par deux nœuds
  - Nœud individu typique
  - Nœud ensemble des individus



# Réseaux à propagation de marqueurs : éléments de base

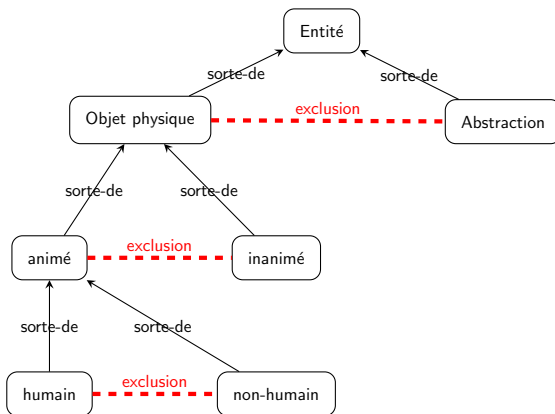
- Arcs
  - Copie virtuelle
  - Rôle
  - Sorte-de
    - Arcs universels
    - Arcs annulables
    - Liens : exception
  - égalité

## Réseaux à propagation de marqueurs : algorithme de raisonnements

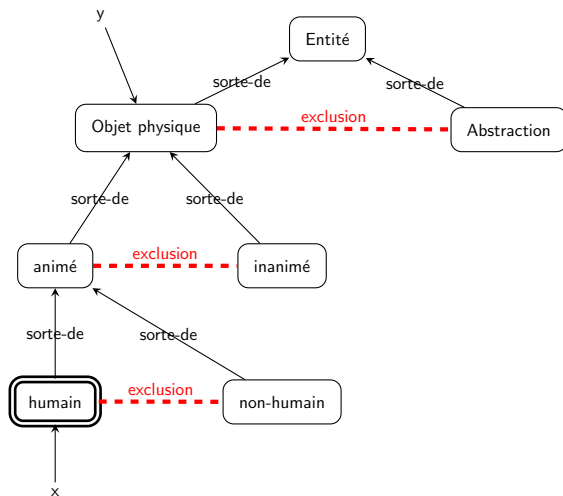
Pour savoir si  $x$  est lié implicitement à  $y$  par un lien de type  $R$  :  
 $R(x, y)$

- Marquer  $x$  par  $M_1$
- Propager  $M_1$  vers l'amont à travers les arcs sorte-de
- Tous les nœuds marqués  $M_1$  et dont part un arc  $R$  propagent  $M_2$  à l'extrémité de cet arc
- Propager  $M_2$  vers l'amont à travers les arcs sorte-de
- Si  $y$  est marqué  $M_2$  alors  $R(x, y)$  est vrai

## Exemple

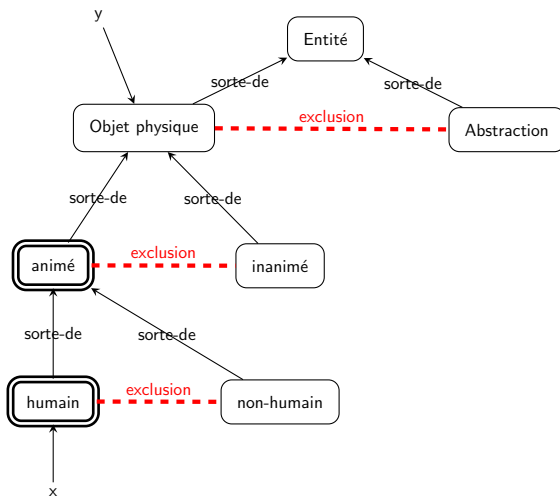


## Exemple



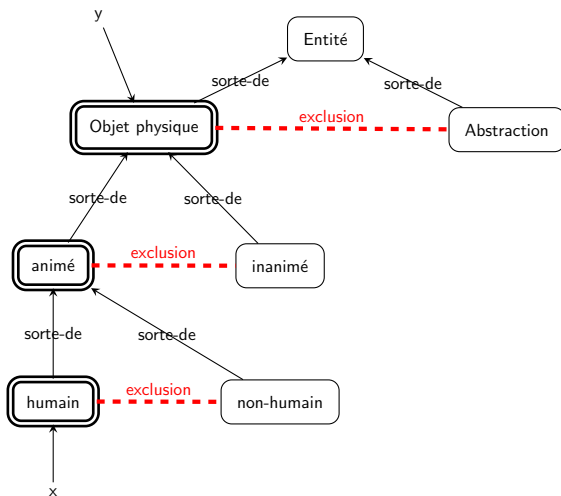
Marquage de *humain* avec  $M_1$

## Exemple



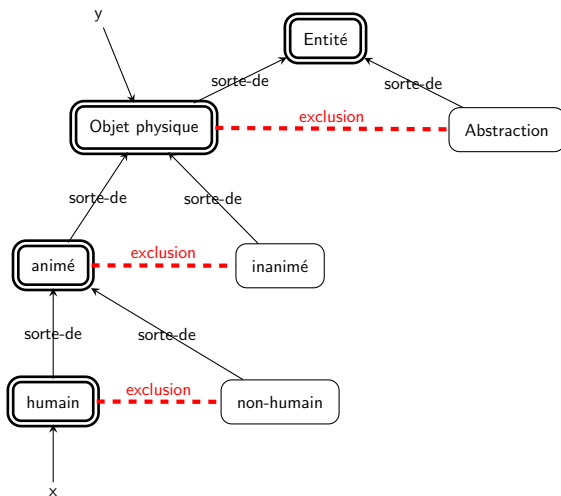
Marquage de *humain* avec  $M_1$  puis propagation

## Exemple



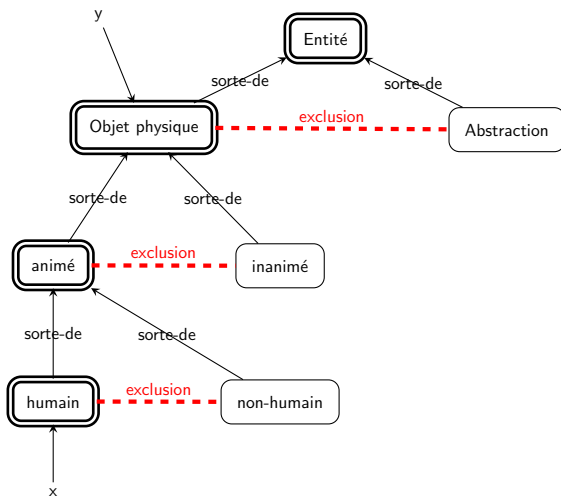
Marquage de *humain* avec  $M_1$  puis propagation

## Exemple



Marquage de *humain* avec  $M_1$  puis propagation

## Exemple



Marquage de *humain* avec  $M_1$  puis propagation  
*objet physique* est marqué avec  $M_1$ . Donc  $R(x, y)$  est vrai



# Réseaux à propagation de marqueurs

- Propriété importante des algorithmes
  - Le temps de raisonnement est proportionnel au diamètre du réseau

# Réseaux à propagation de marqueurs : Conclusion

- Gestion des exceptions
- Il existe des informations exprimables en logique du 1er ordre qui ne le sont pas dans ce type de réseau : *Tout père aime ses enfants*
- L'acquisition des connaissances dans le réseau
  - Création de nouveaux nœuds ou de nouveaux arcs
  - Aspects plus complexes permettant des tests de cohérence

# Réseaux sémantiques partitionnées

Hendrix (79)

- Notion d'espace / partition
  - La possibilité de délimiter des sous-ensembles de nœuds et d'arcs
  - Ces espaces représentent un certain nombre de concepts et des affirmations au sujet de ces concepts
  - Chaque partition (espace) peut être considéré elle-même comme un noeud

# Réseaux sémantiques partitionnées : Types de liens utilisés

- Liens épistémiques / Arcs ensemblistes
  - e
    - Appartenance d'un élément à une classe
    - est-un
  - s
    - inclusion d'une sous-classe dans une classe
    - sorte-de
  - de (d=distinct)
    - Appartenance d'un élément à une classe, mais cet élément est distinct de tous les autres éléments de la classe liés par un lien de
  - ds

# Réseaux sémantiques partitionnées : Types de liens utilisés

- Liens conceptuels / arcs casuels
  - On utilise des cas sémantiques pour étiqueter des arcs sortant de nœuds qui représentent des actions ou des situations
    - agent, objet
    - date début, date fin
    - récepteur, etc.

# Réseaux sémantiques partitionnées : Types de liens utilisés

## Liens logiques

- Connecteurs
  - Existence de nœuds particuliers dans le réseau destinés à représenter les concepts correspondant aux connecteurs
    - négation
    - conjonction
    - disjonction
    - implication
  - Modalités
- Quantificateurs

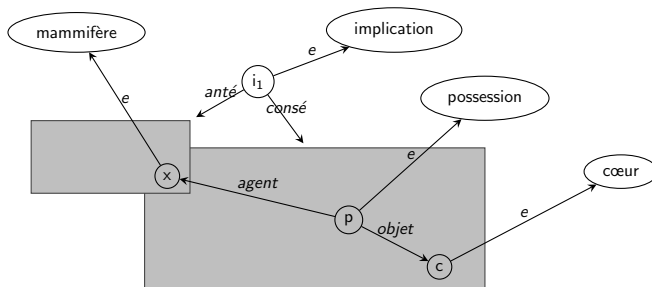
## Réseaux sémantiques partitionnées : raisonnements

### SNIFFER [Fikes et Hendrix, 1977]

- compare un réseau représentant un question au réseau total des connaissances du système
- la mise en correspondance de ces deux réseaux constituent alors la réponse cherchée
- lorsque la correspondance d'un arc de la question avec un arc du réseau général n'a pu être établie, le système cherche dans ce dernier des formules permettant de poursuivre la déduction

## Exemple

*tout mammifère a un cœur* –  $\forall x \text{ mammifere}(x) \rightarrow \exists \text{cœur}(y) \wedge \text{possede}(x, y)$



*Pour tout x, si x est un mammifère, alors il existe une instance de possession dont l'agent est x et l'objet est un individu c dont on affirme l'existence tel que c appartient à la classe cœur.*

- Pas de représentation de  $\exists x$  : un nœud représente l'existence de l'objet dans la partition où il apparaît
- $\forall x$  : x est à l'intersection des rectangles *anté* et *consé* d'une même implication



# Graphes conceptuels

Sowa 84

- *a priori* pas conçus pour aucune application particulière
- Idée générale : Toutes les autres formes de représentation pourraient être réécrites sous la forme de graphes conceptuels
- Origine des idées : la psychologie de la vision  
La perception consiste en l'élaboration d'un modèle à partir d'images partielles (percepts) que l'on cherche à combiner.

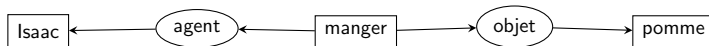
# Graphes conceptuels

- Les concepts concrets se distinguent des concepts abstraits parce qu'ils sont associés à un percept
- Les concepts abstraits acquièrent un sens à travers un vaste réseau sémantique qui finit par les relier aux concepts concrets
- Le sens d'un concept se réduit alors à sa position relative par rapport aux autres concepts

## Graphes conceptuels : définition

- Graphe conceptuel : graphe bipartie orienté
  - 2 sortes de nœuds : concept et relation
  - Les nœuds sont liés par des arcs orientés
  - Un arc lie toujours un concept à une relation
  - Un nœud concept peut être isolé (non rattaché)

Exemple :

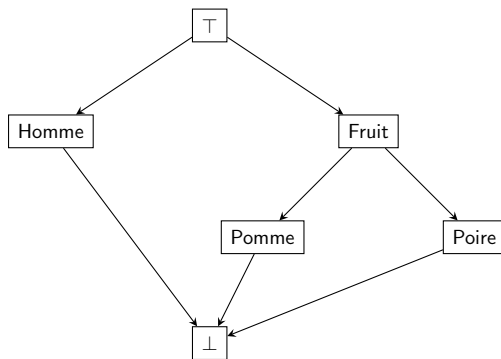


[Isaac] <- (agent) <- [mange] -> (objet) -> [pomme]

# Graphes conceptuels : le formalisme

- Un ensemble de noms de concepts de deux types
  - Type « universel » : supérieur à tout élément ( $\top$ )
  - type « absurde » : inférieur à tout élément ( $\perp$ )
- Pour chaque couple de concepts, on définit
  - un sur-type-commun-minimal
  - un sous-type-commun-maximal
- Définition intentionnelle : Treillis

## Exemple



# Graphes conceptuels : le formalisme

- À chaque concept sont attachés
  - Un mot ou un symbole
  - Un représentant dans le monde
- À chaque nom de concept est associé un ensemble d'objets qui sont des référents possible de ce concept
- On définit alors un concept par un couple  $(t, ref)$  où  $t$  est un type,  $ref$  la référence du concept

# Graphes conceptuels : le formalisme

- On distingue
  - les concepts génériques (\*)
  - les concepts individuels (#suivi d'un nombre)
- les concepts mesure : @

## Exemples :

- [Homme : \*] : un homme (n'importe lequel - concept générique)
- [Homme : #42] : un homme en particulier (concept individuel)
- [Homme : John] : un homme nommé Paul (concept individuel)
- [hauteur : @170] : un concept mesure (1,70m)
- [Homme : {\*}@4] : 4 hommes

# Graphes conceptuels : le formalisme

- Graphe simple
  - Un ensemble de concepts et un ensemble de relations tels que
    - Chaque concept est relié à au moins une relation
    - Chaque relation est reliée à un nombre de concepts



# Graphes conceptuels : modifications

- Le formalisme permet de définir des nouveaux types et de déduire des nouveaux graphes à l'aide de règles d'inférence
- On peut simplifier ou développer des graphes
  - Remplacer un sous-graphe par le concept correspondant
  - Remplacer un concept par le sous-graphe qui le définit

# Graphes conceptuels : modifications

- Création de nouveaux graphes par des opérations
  - d'effacement
  - d'insertion
  - de jointure

portant sur des sous-graphes ou sur des liens

# Graphes conceptuels : compréhension d'histoires

## Modèle de monde ouvert

- est un triplet  $M = (V, F, I)$ 
  - Ensemble de graphes simples
    - $V$  : ensemble des faits élémentaires vrais
    - $F$  : ensemble des faits élémentaires faux
  - $I$  : ensemble des référents possibles
- dans lequel tout graphe donné pourra prendre l'une des trois valeurs de vérité : vrai, faux, inconnu

# Graphes conceptuels : compréhension d'histoires

- Une base de monde est formé
  - d'un monde ouvert
  - d'un ensemble  $S$  de schémas et de prototypes
  - d'un ensemble  $L$  de lois du monde
- La compréhension d'une histoire consiste à construire, à partir de cette base, un monde ouvert cohérent avec ce qui est énoncé

# Graphes conceptuels : compréhension d'histoires

Pour chaque phrase

- 1 Construction du graphe conceptuel correspondant
- 2 Mise en place de liens de coréférence avec les graphes conceptuels précédents
- 3 Utilisation du contexte (ensemble des schémas liés aux concepts présents) pour résoudre d'éventuelles ambiguïtés et intégrer des connaissances générales
- 4 Ajout des affirmations à  $V$ , des négations à  $F$
- 5 Activation des lois  $L$ , à chaque ajout dans  $F$  ou  $V$ , pour interdire cet ajout en cas d'incohérence ou pour en déduire de nouveaux faits

## Graphes conceptuels : points forts

- Modèle de représentation générale très clair
- Niveau de représentation intermédiaire entre le langage et la logique formelle
- Intégration d'une culture générale est très vaste
- Rigueur logique de la représentation alliée à la considération d'aspects sémantiques

# Réseaux sémantiques : conclusion

- Avantages
  - La notion de proximité
  - Une certaine lisibilité, aspect visuel
  - Un assez bon niveau de déclarativité
- Inconvénients
  - Peu fondés théoriquement
  - Mécanismes de raisonnement sont peu traçables
  - Pas de sémantique formelle

# Réseaux sémantiques : conclusion

- Types d'applications
  - Organisation du lexique
    - Terminologie
    - Réseaux lexicaux (WordNet)
    - Ontologies
- Recherche d'information
- Aide à la navigation dans un hypertexte (Web)
- Portails d'entreprise (Intranet)
- TAL
- Gestion des connaissances (KM, mémoire d'entreprise)
- E-learning