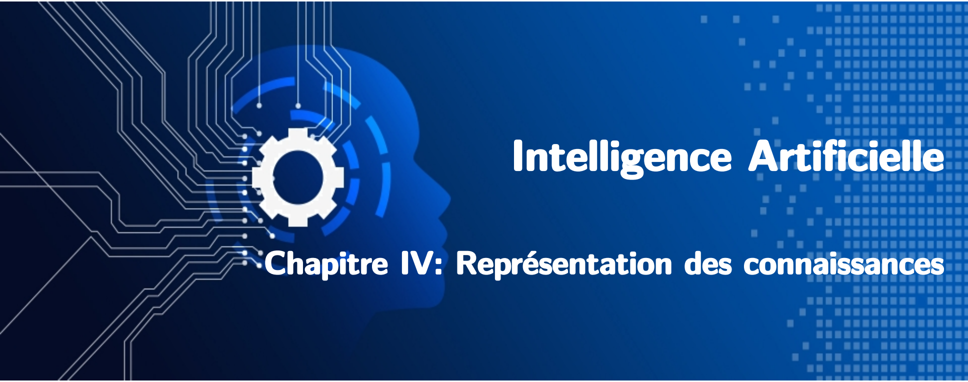
Université de Jijel

$3^{ème}$ année Licence Informatique



Intelligence Artificielle

Chapitre IV: Représentation des connaissances

Boudebza Souâad

souad.boudebza@univ-jijel.dz

Plan

1. Introduction
2. La logique propositionnelle
3. Les réseaux sémantiques

Introduction

- Quelle que soit la catégorie de la connaissance impliquée dans la résolution d'une problématique, il prime avant tout de la représenter sous une forme compréhensible par un programme informatique.
- Il existe plusieurs formalismes de représentation. Parmi les plus courants : les représentations logiques et les réseaux sémantiques.

Représentations logiques

- Originaires des développements théoriques dans le domaine de la logique formelle, ces représentations remontent aux premiers jours de l'IA : au premier système logique de reproduction du raisonnement humain "Logic Theorist" de Newell, Shaw et Simon (1956).
- Ce mode de représentation est basé sur un domaine important des mathématiques : **la logique**.
- Il utilise plus particulièrement :
  - **La logique propositionnelle**
  - **La logique des prédicats**
  - Mais **d'autres logiques** non standard sont également utilisées.
- La logique est souvent utilisée en conjonction avec des systèmes à base de règles de production.
- Permet de **représenter** des connaissances et de **raisonner** sur ces connaissances

La logique propositionnelle

- Logique d'ordre zéro.
- Une logique très simple sur laquelle se base presque toutes les logiques étudiées aujourd'hui.
- Les éléments de base sont des **propositions** (ou variables propositionnelles) qui représentent des énoncés qui peuvent être soit **vrais** soit **faux** dans une situation donnée.
    - Une connaissance qui est vraie ou fausse.

La logique propositionnelle

- **Exemple :**
  - Il pleut
  - Il fait beau
  - Je fais mes courses le Samedi
  - Il y a un bon film à la télévision ce soir

La logique propositionnelle

- **Exemple :**
  - **p1** Il pleut
  - **p2** Il fait beau
  - **p3** Je fais mes courses le Samedi
  - **p4** Il y a un bon film à la télévision ce soir
- Chacun de ces énoncés représente une proposition.
- On nome chaque proposition élémentaire

La logique propositionnelle

- On peut construire de **nouvelles propositions** à partir de celles qui existent en ajoutant des **connecteurs** :
  - Il pleut et Il y a un bon film à la télévision ce soir
  - Je ne fais pas mes courses le Samedi
  - Il pleut si et seulement si il ne fait pas beau

La logique propositionnelle

- On peut construire de **nouvelles propositions** à partir de celles qui existent en ajoutant des **connecteurs** :
  - Il pleut et Il y a un bon film à la télévision ce soir

$$p1 \wedge p4$$

  - Je ne fais pas mes courses le Samedi

$$\neg p3$$

  - Il pleut si et seulement si il ne fait pas beau

$$p1 \leftrightarrow \neg p2$$

- Les propositions et les connecteurs doivent être assemblés selon une **syntaxe** bien précise qui produit ainsi des **formules correctement établies**.

La logique propositionnelle (Syntaxe)

Vocabulaire

- Un ensemble de variables propositionnelles (atomes) : $\{p, q, r, ...\}$
- Un ensemble de connecteurs : $\{\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow\}$
- Un ensemble de délimiteurs : $\{(,)\}$

Formules bien formées (FBF)

- Un atome (proposition élémentaire) est une FBF
- $\neg H$ est une FBF si H est une FBF
- $(H \wedge K), (H \vee K), (H \rightarrow K), (H \leftrightarrow K)$ sont des FBF si H et K sont des FBF.

La logique propositionnelle (Sémantique)

- Logique bi-valuée :
  - fausse (F) (ou 0)
  - vraie (V)(ou 1)
- L'interprétation consiste à donner une valeur de vérité à une variable. $\delta(p) \in \{V, F\}$
- On définit l'interprétation associée à chaque connecteur grâce aux tables de vérité.

A	B	$\neg A$	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \rightarrow B$	$A \leftrightarrow B$
V	V	F	V	V	V	V
V	F	F	F	V	F	F
F	V	V	F	V	V	F
F	F	V	F	F	V	V

La logique propositionnelle (Sémantique)

- Remarque :
  - Les règles de priorité des connecteurs logiques sont les suivants, par ordre de priorité décroissante : ( ), $\neg$, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\leftrightarrow$

La logique propositionnelle (Formules particulières)

- Tautologie : (ou formule valide) est une formule qui est toujours vraie :
  - Toutes les interprétations ne contiennent que des V.
  - Exemple : $p \vee \neg p$

p	$\neg p$	$p \vee \neg p$
V	F	V
V	F	V
F	V	V
F	V	V

La logique propositionnelle (Formules équivalentes)

- Formules Tautologiquement équivalentes :
  - Les tables de vérités sont les mêmes : $\forall\delta, \delta(A) = \delta(B)$
  - Condition nécessaire et suffisante : $(A) \leftrightarrow (B)$ est une tautologie.

La logique propositionnelle (Formules équivalentes)

Exemples :

- $A \lor \neg A = V$ (loi du tiers exclus)
- $\neg\neg A \Leftrightarrow A$ (double négation)
- $A \rightarrow B \Leftrightarrow \neg A \lor B$
- $A \leftrightarrow B \Leftrightarrow (A \rightarrow B) \land (B \rightarrow A)$
- $A \lor A \Leftrightarrow A \land A \Leftrightarrow A$ (loi d'idempotence)
- Lois de Morgan
  - $\neg(A \lor B) \Leftrightarrow \neg A \land \neg B$
  - $\neg(A \land B) \Leftrightarrow \neg A \lor \neg B$
- Distributivité
  - $(A \land B) \lor C \Leftrightarrow (A \lor C) \land (B \lor C)$
  - $(A \lor B) \land C \Leftrightarrow (A \land C) \lor (B \land C)$
- Communtativité
  - $A \land B \Leftrightarrow B \land A$
  - $A \lor B \Leftrightarrow B \lor A$
- Associativité
  - $(A \land B) \land C \Leftrightarrow A \land (B \land C)$
  - $(A \lor B) \lor C \Leftrightarrow A \lor (B \lor C)$

La logique propositionnelle (Déductions)

- La logique propositionnelle permet de :
  - représenter des connaissances
  - raisonner sur ces connaissances
- Les règles d'inférence permettent d'effectuer un certain nombre de déductions sur les propositions et sont à la base des mécanismes de raisonnement.
- On en distingue deux :
  - le modus Ponens : $(X \wedge (X \rightarrow Y) \rightarrow Y)$
  - le modus Tollens : $(\neg Y \wedge (X \rightarrow Y) \rightarrow \neg X)$

La logique propositionnelle (Exercice 1)

Enoncé : Les formules dans la table ci dessous sont-elles des formules bien formées ?

$a \vee b \wedge c$
$\neg\ a \vee b \wedge c$
$a \vee \neg\ b \wedge c$
$a\ \neg \vee b \wedge c$
$(a)b$
$\neg\ b(a)$
$a \vee \neg(b \wedge c)$
$a\ \neg\ (\vee\ b \wedge c)$
$a \rightarrow b$
$a \leftarrow a$
$a \rightarrow b \leftrightarrow c$
$a \rightarrow \neg\ (b \leftrightarrow c)$
$a\neg \rightarrow b$

La logique propositionnelle (Exercice 1)

Solution :

$a \vee b \wedge c$	oui
$\neg\ a \vee b \wedge c$	oui
$a \vee \neg\ b \wedge c$	oui
$a \neg \vee b \wedge c$	non
$(a)b$	non
$\neg\ b(a)$	non
$a \vee \neg(b \wedge c)$	oui
$a \neg (\vee b \wedge c)$	non
$a \rightarrow b$	oui
$a \leftarrow a$	non
$a \rightarrow b \leftrightarrow c$	oui
$a \rightarrow \neg\ (b \leftrightarrow c)$	oui
$a\neg \rightarrow b$	non

La logique propositionnelle (Exercice 2)

Enoncé : Traduisez les énoncés suivants en formule logique :

1. Quand il fait beau, Ali est heureux ; il fait soleil ; donc, Ali est heureux.
2. Quand il fait beau, Ali est heureux ; or, il fait mauvais ; donc Ali est malheureux.
3. Quand il fait beau, Ali est heureux ; or, Ali est malheureux ; donc il fait mauvais.

La logique propositionnelle (Exercice 2)

Solution : Ci-dessous une suite de propositions élémentaires qui nous aideront à formaliser les énoncés. Notons **b** "il fait beau" et **h** "Ali est heureux".

1.
   - **Hypothèse 1 :** $H1 \equiv b \rightarrow h$ (Quand il fait beau, Ali est heureux).
   - **Hypothèse 2 :** $H2 \equiv b$ (il fait soleil).
   - **Conclusion :** $C \equiv h$ (Ali est heureux).
   - **Formulation :** $H1 \wedge H2 \rightarrow C \equiv (b \rightarrow h) \wedge b \rightarrow h$.
2.
   - **Hypothèse 1 :** $H1 \equiv b \rightarrow h$ (Quand il fait beau, Ali est heureux).
   - **Hypothèse 2 :** $H2 \equiv \neg b$ (il fait mauvais).
   - **Conclusion :** $C \equiv \neg h$ (Ali est malheureux).
   - **Formulation :** $H1 \wedge H2 \rightarrow C \equiv (b \rightarrow h) \wedge \neg b \rightarrow \neg h$.
3.
   - **Hypothèse 1 :** $H1 \equiv b \rightarrow h$ (Quand il fait beau, Ali est heureux).
   - **Hypothèse 2 :** $H2 \equiv \neg h$ (Ali est malheureux).
   - **Conclusion :** $C \equiv \neg b$ (il fait mauvais).
   - **Formulation :** $H1 \wedge H2 \rightarrow C \equiv (b \rightarrow h) \wedge \neg h \rightarrow \neg b$.

La logique propositionnelle (Exercice 3)

Enoncé : Soit le raisonnement suivant : Quand il fait soleil, je mets mes lunettes ou je ne sors pas. Je ne reste à la maison que sans lunettes et par temps gris. Donc si je ne mets pas mes lunettes, c'est qu'il fait gris.

1. Formaliser ce raisonnement en utilisant les variables suivantes : **s** : il fait soleil, **l** : je mets mes lunettes, **m** : je reste à la maison.
2. Montrer que le raisonnement ci-dessus est correct (valide).

La logique propositionnelle (Exercice 3)

Solution :

1. on peut formaliser le raisonnement donné par la formule suivante : A $= ((s \rightarrow (l \vee m)) \wedge (m \rightarrow (\neg\, l \wedge \neg\, s))) \rightarrow (\neg\, l \rightarrow \neg\, s)$
2. Le raisonnement considéré est valide car la formule (A) est une tautologie ; montré à la table de vérité suivante : soient le sous formules : I $= s \rightarrow (l \vee m)$, II $= m \rightarrow (\neg l \wedge \neg s)$, III $= (\neg l \rightarrow \neg s)$ avec (A) = (I $\wedge$ II) $\rightarrow$ III.

La logique propositionnelle (Exercice 3)

Solution (suite) :

s	l	m	$l \vee m$	I	$\neg l \wedge \neg s$	II	III	$I \wedge II$	**(A)**
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	1	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	0	1

La logique propositionnelle (Exercice 4)

Enigme : Trois collègues, Ali, Bilal et Chakib déjeunent ensemble chaque jour ouvrable. Les affirmations suivantes sont vraies :

i.) Si Ali commande un dessert, Bilal en commande un aussi.

ii.) Chaque jour, soit Bilal, soit Chakib, mais pas les deux, commandent un dessert.

iii.) Ali ou Chakib, ou les deux, commandent chaque jour un dessert.

iv.) Si Chakib commande un dessert, Ali fait de même.

Questions

1. Exprimer les données du problème comme des formules propositionnelles
2. Que peut on en déduire sur qui commande un dessert ?

La logique propositionnelle (Exercice 4)

Solution :

1. On introduit des variables propositionnelles **a**, **b**, **c** qui représentent le fait que Ali **(a)**, Bilal **(b)** et Chakib **(c)** commandent un dessert. On traduit ainsi le problème :
   - i.) $a \rightarrow b$
   - ii.) $(b \wedge \neg c) \vee (\neg b \vee c)$ ou $(b \vee c) \wedge (\neg (b \wedge c))$
   - iii.) $a \vee c$
   - iv.) $c \rightarrow a$

La logique propositionnelle (Exercice 4)

Solution (suite) :

2. On peut faire une table de vérité pour regarder tous les modèles possibles :

a	b	c	$a \Rightarrow b$	$(b \wedge \neg c) \vee (\neg b \vee c)$	$a \vee c$	$c \Rightarrow a$
V	V	V	V	F	V	V
V	V	F	V	V	V	V
V	F	V	F	V	V	V
V	F	F	F	F	V	V
F	V	V	V	F	V	F
F	V	F	V	V	F	V
F	F	V	V	V	V	F
F	F	F	V	F	F	V

La seule interprétation qui rend vrai les quatre affirmations correspond à la deuxième ligne dans laquelle Ali et Bilal commandent un dessert mais pas chakib.

La logique propositionnelle (Exercice 5)

Une énigme policière

- Un meurtre a été commis au laboratoire, le corps se trouve dans la salle de conférences...
- On dispose des informations suivantes
  - La secrétaire déclare qu'elle a vu l'ingénieur dans le couloir qui donne sur la salle de conférences
  - Le coup de feu a été tiré dans la salle de conférences, on l'a donc entendu de toutes les pièces voisines
  - L'ingénieur affirme n'avoir rien entendu
- **On souhaite démontrer que si la secrétaire dit vrai, alors que l'ingénieur ment.**

La logique propositionnelle (Exercice 5)

Formalisation en logique propositionnelle

- **p :** la secrétaire dit vrai
- **q :** l'ingénieur était dans le couloir au moment du crime
- **r :** l'ingénieur était dans une pièce voisine de la salle de conférences
- **s :** l'ingénieur a entendu le coup de feu
- **t :** l'ingénieur dit vrai

La logique propositionnelle (Exercice 5)

Résolution de l'énigme

- Les informations de l'énoncée se traduisent par les implications :
    - $p \rightarrow q$
    - $q \rightarrow r$
    - $r \rightarrow s$
    - $t \rightarrow \neg s$
- Il s'agit de prouver la validité de la formule :
    - $((p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow r) \wedge (r \rightarrow s) \wedge (t \rightarrow \neg s)) \rightarrow (p \rightarrow \neg t)$

La logique propositionnelle (Exercice 5)

Démonstration

- $((p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow r) \wedge (r \rightarrow s) \wedge (t \rightarrow \neg s)) \rightarrow (p \rightarrow \neg t)$
- Cette formule ne peut être fausse que si :
  - $(p \rightarrow \neg t)$ est faux c'est-à-dire si p et t sont vrais
  - la prémisse est vraie, c'est-à-dire toutes les implications sont vraies.
- Comme t doit être vrai, s doit être faux, donc r faux, donc q faux, donc p faux, et il y a contradiction
- Donc la proposition est vraie : si la secrétaire dit vrai, alors l'ingénieur ment.

Les réseaux sémantiques (Introduction)

- L'utilisation des réseaux sémantiques comme formalisme de représentation de connaissances remonte aux travaux du linguiste Quillian (en 1968). Son modèle de réseau avait pour ambition de constituer un modèle de la mémoire humaine.
- En effet, les réseaux sémantiques sont très utilisés dans les travaux sur le traitement et la compréhension des langages naturels.
- On rappelle qu'un graphe est une structure mathématique où nœuds et arcs n'ont pas de signification particulière alors que dans un réseau sémantique ils ont une signification spécifique d'où l'utilisation du mot sémantique.

Les réseaux sémantiques (Définition)

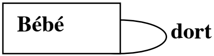
- Un réseau sémantique est un graphe orienté et étiqueté composé :
  - D'un ensemble de **nœuds** étiquetés : représentant généralement des objets,
  - D'un ensemble de **liens** orientés et étiquetés : un lien orienté (ou arc) représente une relation entre deux objets et il est étiqueté en fonction de la relation qu'il représente).

Les réseaux sémantiques (Définition)

- L'objet n'acquiert tout son sens que par les relations qui le lient aux autres objets.
- Une « sémantique » (au sens de la logique) est associée par le biais des relations.

$$A \xrightarrow{R} B \qquad \text{un prédicat binaire } R(A,B)$$

- Un prédicat d'arité 1 est représentée par un graphe comprenant un nœud auquel est attachée une boucle.



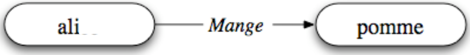
$$\textbf{Bébé} \xrightarrow{\textbf{état}} \textbf{sommeil}$$

- Réseau = conjonction de formules logiques associées à chacun des arcs

Les réseaux sémantiques (Définition)

La représentation graphique

- un nœud est généralement représenté au moyen d'un rectangle, d'un cercle, d'une ellipse.
- Un arc relie un nœud source (queue de l'arc) à un nœud cible (tête de l'arc).



représentation non-graphique :
(ali, Mange, pomme)

Les réseaux sémantiques (Concepts de base)

Les NŒUDS

- **atomiques** : entités élémentaires (valeurs, individus,...)
- **complexes** : entités complexes (propositions, phrases,...)
- ils doivent être **typés** : concept, individu, action, proposition, etc...

Les réseaux sémantiques (Concepts de base)

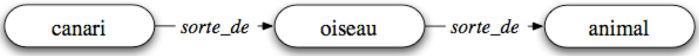
Les LIENS

- **Structurels** : indépendants de la sémantique du domaine (exemple : "sorte_de", "est_un", etc.)
- **Spécifiques** : dépendants de la sémantique du domaine,
- il faut essayer d'augmenter la proportion des liens structurels par rapport aux liens spécifiques.

Les réseaux sémantiques (Noeuds concepts)

- **Exemple :** "les canaris /sont des /oiseaux"
  canaris et oiseaux = concepts (nom communs) –> classe
  sont des = relation –> inclusion de classes (lien « sorte_de »)

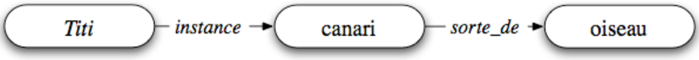
lien « sorte_de »



- Les réseaux sémantiques utilisent généralement deux relations très particulières concernant des objets de l'un des types individu ou classe :
  - **est_un (instance)** : relation entre un individu et une classe exprimant l'appartenance ;
  - **sorte_de** : relation entre deux classes exprimant l'inclusion.

Les réseaux sémantiques (Noeuds individus)

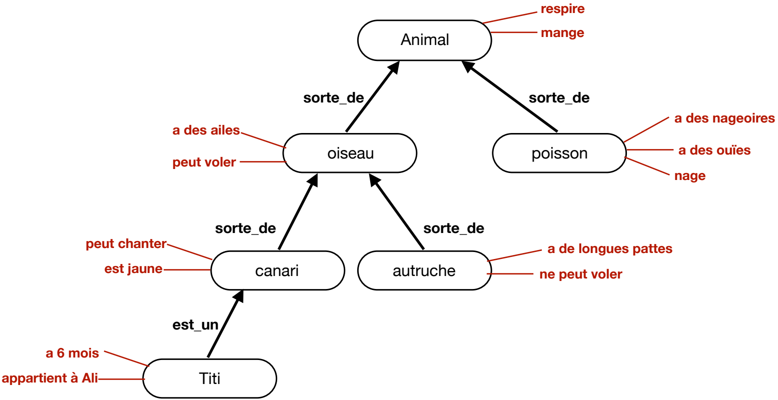
- **Exemple :** "Titi /est un /canari"
  canari = concepts
  Titi = individu (nom propre) –> élément d'un ensemble
  est_un = relation –> appartenance d'un élément à une classe
  lien « instance »
  lien « instance » = lien structurel



- lien structurel indépendant du domaine représente une inclusion
  - d'individus
  - de propriétés

Les réseaux sémantiques (Propriétés)

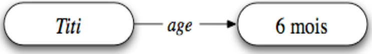
- Les **propriétés** sont des informations rattachées à chaque nœud du réseau sémantique :
  - Elles sont Simples
  - Elles ne permettent pas de répondre à des questions comme : "quel est l'âge de Titi ?" "quelle est la couleur des canaris ? "



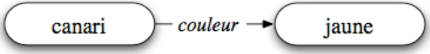
Les réseaux sémantiques (Attributs)

- Un attribut est une relation qui relie un nœud concept ou un nœud individu à une valeur ou propriété.

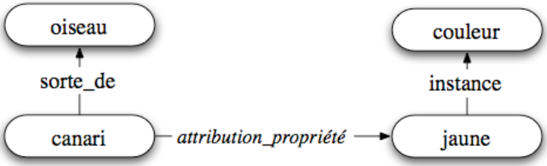
« l'age de Titi est de 6 mois »



« la couleur des canaris est le jaune »

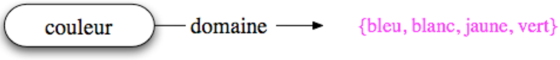


- Lien spécifique dont le sens dépend du domaine d'application.
- On peut le rendre plus structurel en créant un **noeud-attribut**et en ajoutant le lien structurel **attribution_propriété**.



Les réseaux sémantiques (Attributs)

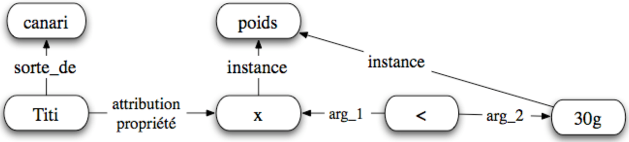
- Un noeud-attribut est une classe sémantique de nœud dont les instances sont des propriétés
- Un attribut peut lui-même être caractérisé :



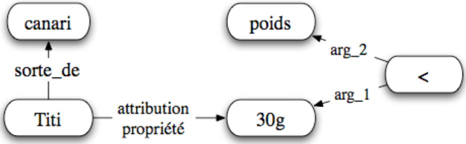
- **domaine** = relation structurelle permettant de vérifier des contraintes d'intégrités.

Les réseaux sémantiques (Attributs)

- Un noeud-attribut peut être relié à une ou plusieurs valeurs par l'intermédiaire d'un **opérateur** :



soit en simplifiant:



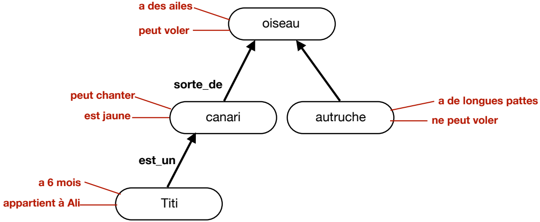
- Cet opérateur peut être n-aire :

Les réseaux sémantiques (L'héritage)

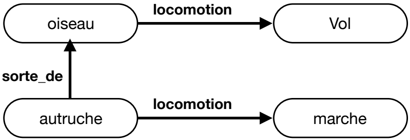
- **L'héritage** dans les RS repose sur des liens de type « **est_un** » ou « **sorte_de** » reliant un concept à un autre concept plus élevé.
- Héritage des propriétés rattachées au concept père au concept fils.
- Le principe d'héritage permet :
  - de nombreuses **déductions automatiques**
  - de définir la notion de **distance sémantique** entre 2 concepts = nombre de liens devant être traversés pour aller d'un concept à l'autre.

Les réseaux sémantiques (L'héritage)

- **Exemple :**



- "canari" est une sorte de "oiseau" : on pourra dire que « le canari a des ailes et peut voler » en remontant les liens « sorte_de ».
- La plupart des oiseaux volent, mais il existe des exceptions. La classe autruche n'hérite pas de la propriété voler de sa superclasse oiseau.
- Les exceptions sont libellées par : n'est pas, n'a pas , ne peut pas, etc.
- une autre forme pour représenter l'exception :



Les réseaux sémantiques (Exercice)

- Représenter le discours suivant en un réseau sémantique :
  Un félin est un carnivore. Un carnivore est un animal qui a les yeux dirigés vers l'avant et qui mange de la viande. Les pattes d'un félin ont des griffes à leurs extrémités. Un félin est un mammifère. Grisou et Garfield sont des chats. Grisou est un chat mâle. Léo est un lion. Les chats et les lions sont des félins. Un cheval est un équidé. Un équidé est un mammifère.

Les réseaux sémantiques (Exercice-Corrigé)

- Pour construire ce réseau sémantique :
  - On lit d'abord tout le texte pour repérer les objets et les relations. En effet, leur réutilisation d'une phrase à l'autre permet de mettre en évidence leur utilité.
  - On sépare les propositions atomiques et on les met sous forme tabulaire.
  - On dessine successivement les parties de réseau correspondant aux propositions atomiques.
  - Éventuellement, on revient sur les choix effectués et on rectifie le réseau.

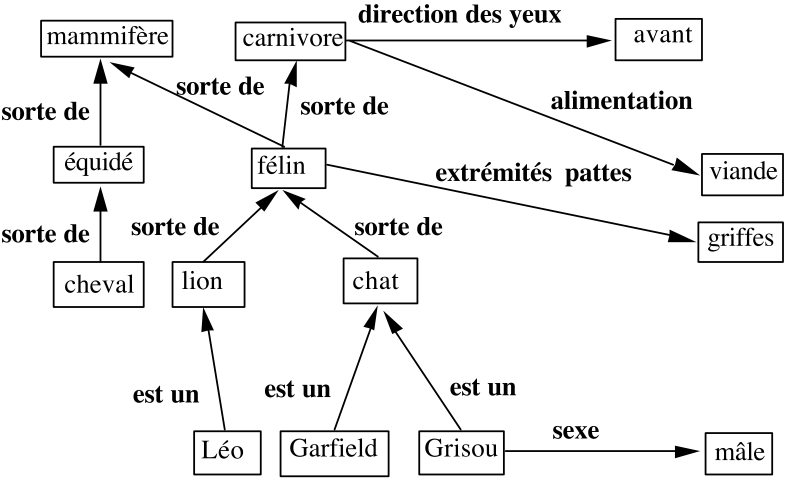
Les réseaux sémantiques (Exercice-Corrigé)

- Propositions atomiques :

Noeud cible	Relation	Noeud destination
félin	sorte_de	carnivore
carnivore	direction des yeux	avant
carnivore	alimentation	viande
félin	extrémités pattes	griffes
félin	sorte_de	mammifère
Grisou	est_un	chat
Garfield	est_un	chat
Grisou	sexe	mâle
Léo	est_un	lion
chat	sorte_de	félin
lion	sorte_de	félin
cheval	sorte_de	équidé
équidé	sorte_de	mammifère

Les réseaux sémantiques (Exercice-Corrigé)

- Le réseaux sémantique :



Questions ?