L I P 6 C N R S

Logiques de description I

LREC – Cours 3

Jean-Gabriel Ganascia

Introduction aux logiques de description

Syntaxe des logiques de description

Sémantique

Références bibliographiques

- *Description Logics*, Franz Baader, Ian Horrocks, Ulrike Sattler, in « Handbook of Knowlefge Representation », editeurs Frank Van Harmelen, Vladimir Lifschitz, Bruce Porter, chapitre 3, pp. 135-179
- *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*, F. Baader, E. Franconi, B. Hollunder, B. Neble, H.-J. Profitlich, Cambridge University Press, 2003

Logiques terminologiques
Logiques de description…

Formalismes inspirés des <u>représentations sémantiques</u> *(réseaux sémantiques, frame, graphes conceptuels, …)*

TKRS*: Terminological Knowledge Representation Systems*

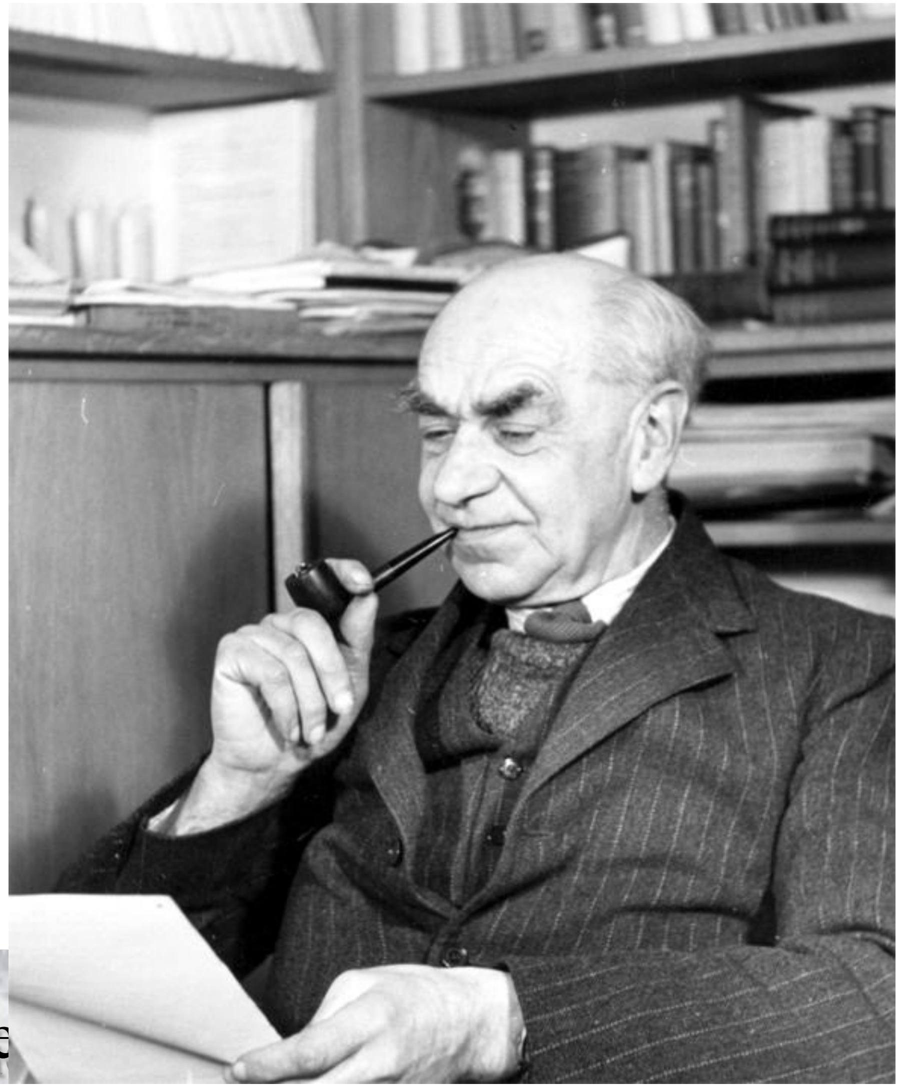
<u>Deux composants</u>

- **Classes générales d'individus** – *T-Box*
  - **Propriétés générales des classes**
  - **Relations entre les classes**
- **Instanciation de ces schémas** – *A-Box*
  - **Assertions relatives à des individus**

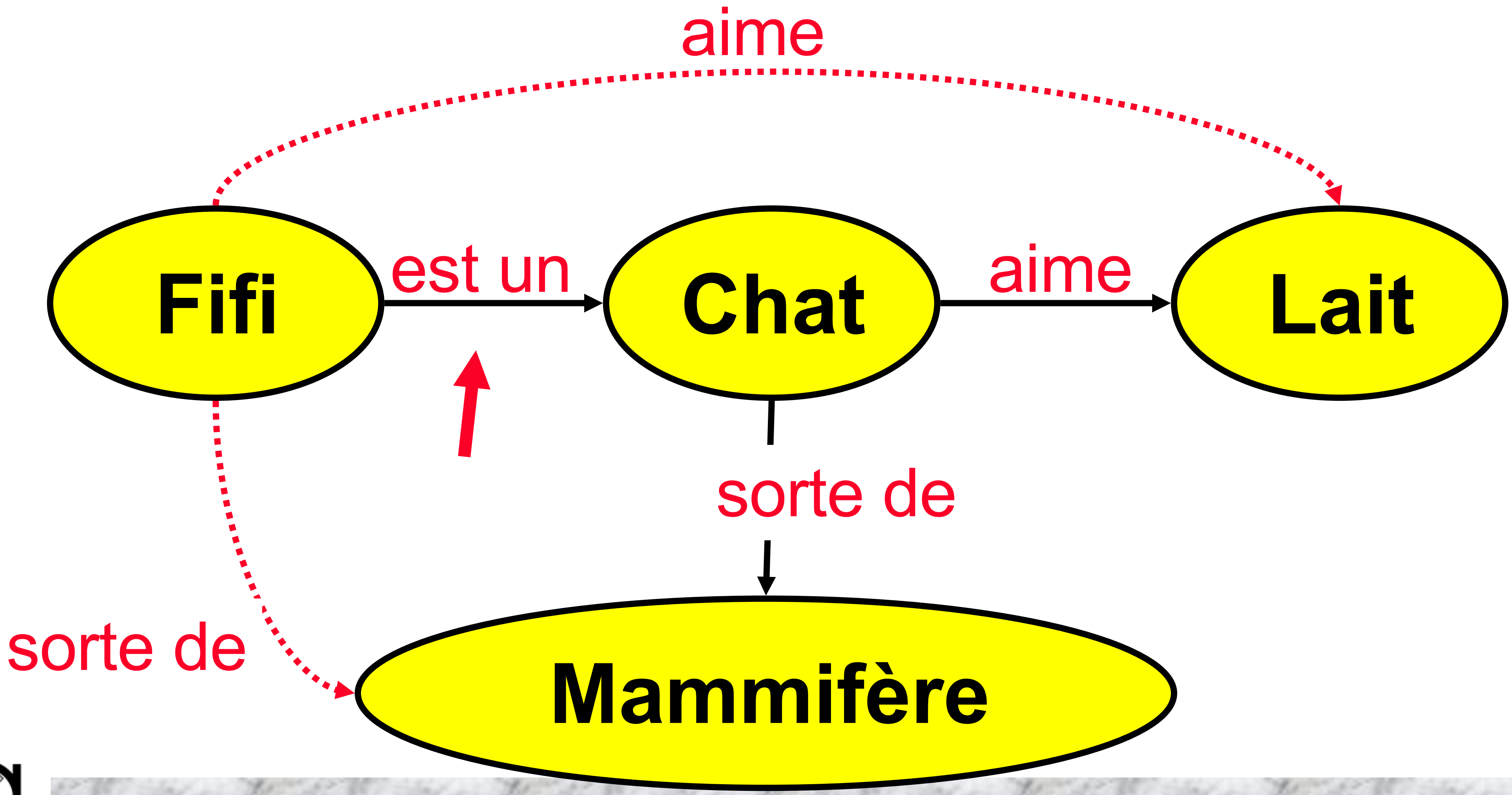
Organisation de la mémoire

Sir Frederic Charles Bartlett (1886-1969)

- Entités
- Propriétés
- Organisation hiérarchique des entités



Inférences: liens 'est un' ou 'sorte de' Un nœud hérite des propriétés de ses pères sauf s'il y a contradiction



Représentation en logique des prédicats du premier ordre

- Prédicats d'arité 1 or 2 (unaires ou binaires)
  - Concepts: arité 1
  - Relations: arité 2
- Des règles peuvent être utilisées pour traduire l'héritage et quelques contraintes
- Mère EST-UN Parent

  $\forall X$ Mère(X) $\rightarrow$ Parent(X)
- Tous les enfants de Parent sont des Personne

  $\forall X,Y$ Parent(X) $\wedge$ aEnfant(X, Y) $\rightarrow$ Personne(Y)
- On s'attend à ce que certaines inférences soient faites
  - Héritage: toutes les propriétés d'une superclasse devraient aussi être des propriétés de ses sous-classes.
  - Ainsi, tous les enfants de Mère doit être des Personne

    $\forall X,Y$ Mère(X) $\wedge$ aEnfant(X, Y) $\rightarrow$ Personne(Y)

Logiques terminologiques
Logiques de description
…

Formalismes inspirés des représentations sémantiques *(réseaux sémantiques, frame, graphes conceptuels, …)*

Se distinguent des représentations sémantiques par une sémantique formelle

- **Fragments décidables de la logique du premier ordre**
- **Procédures de décision pour la résolution de problèmes clefs:**
  - **Satisfiabilité – cohérence**
  - **Subsomption**
- **Systèmes implémentés – très efficaces**

L
I
P
6

C
N
R
S

Logique de description

- **Termes (noms de concepts + relations)**
  - **Concepts: prédicats unaires**
  - **Rôles: relations binaires**

TBox

Terminologie

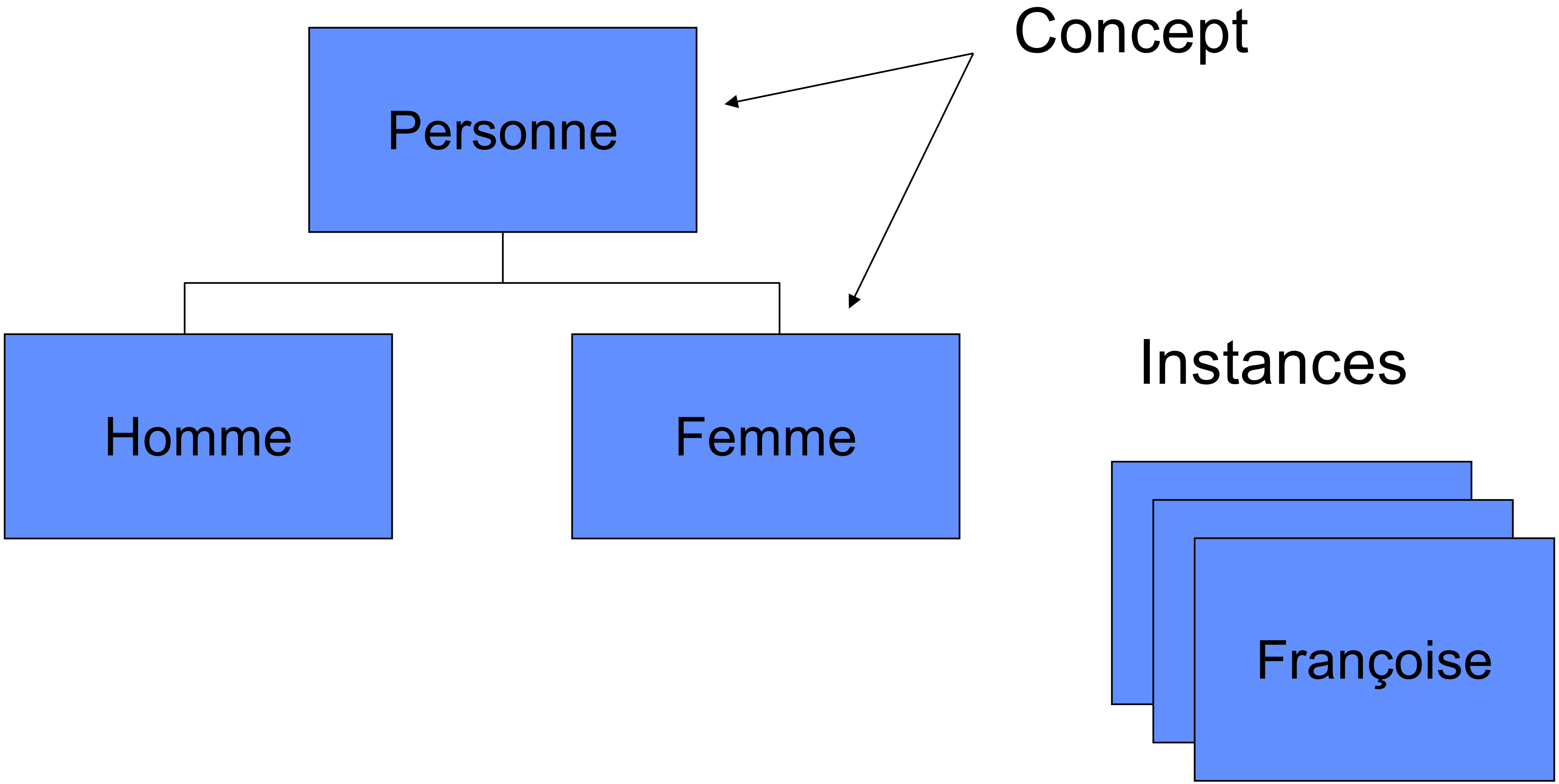
- **Contraintes (propriétés et opérateurs)**
  - **Négation, intersection, union,**
  - **Quantification universelle, existentielle**
  - **Contraintes sur les cardinalités des ensembles (nbre côtes · 8)**
  - **…**

- **Assertions (énumérations)**
  - **Constantes**
  - **Instances des concepts et des rôles sur ces constantes**

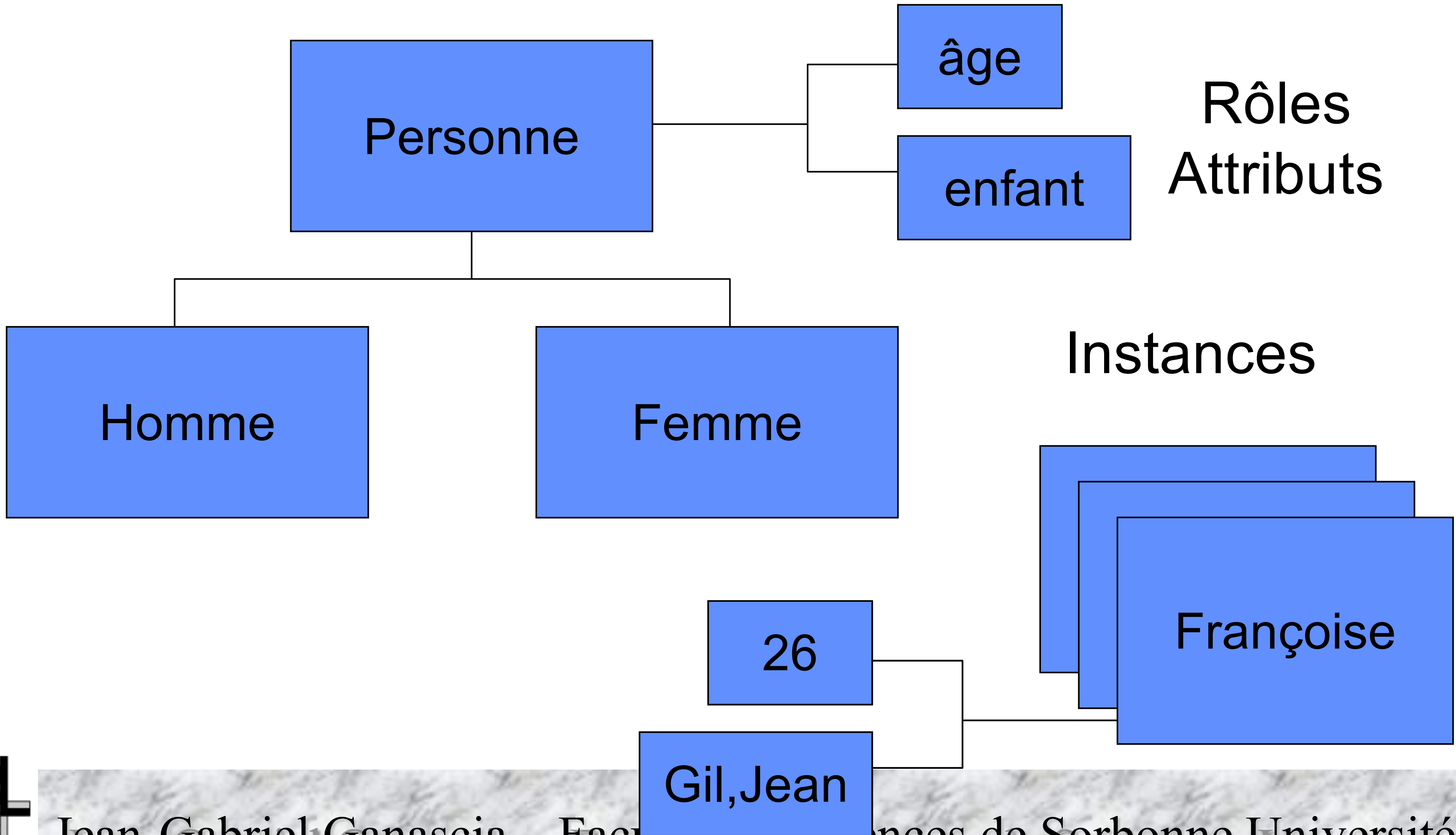
ABox

Assertions

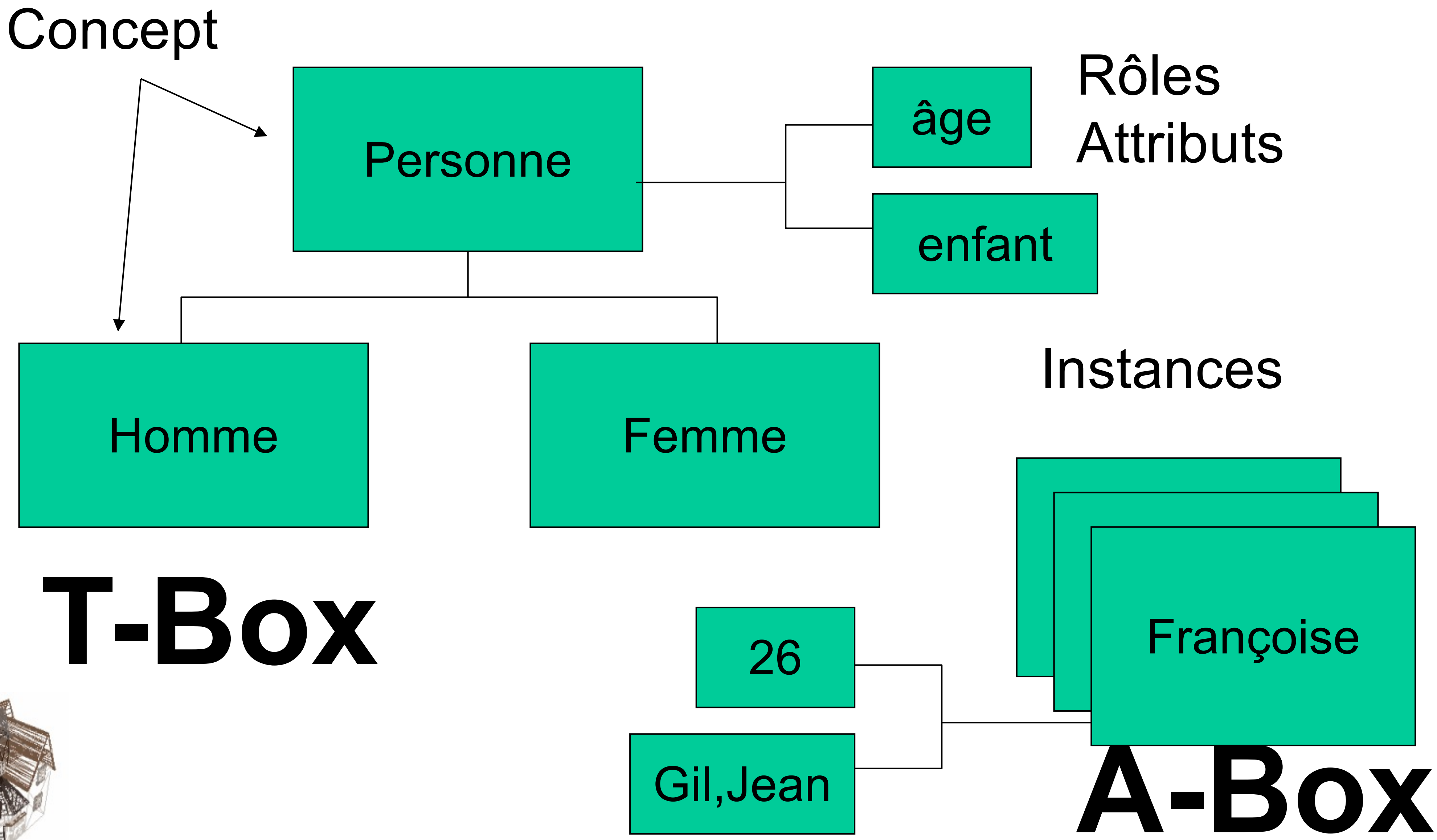
Inférence sur les représentations emboîtées: héritage et instances



Inférences sur les représentations emboîtées: héritage et instances



T-Box et A-Box

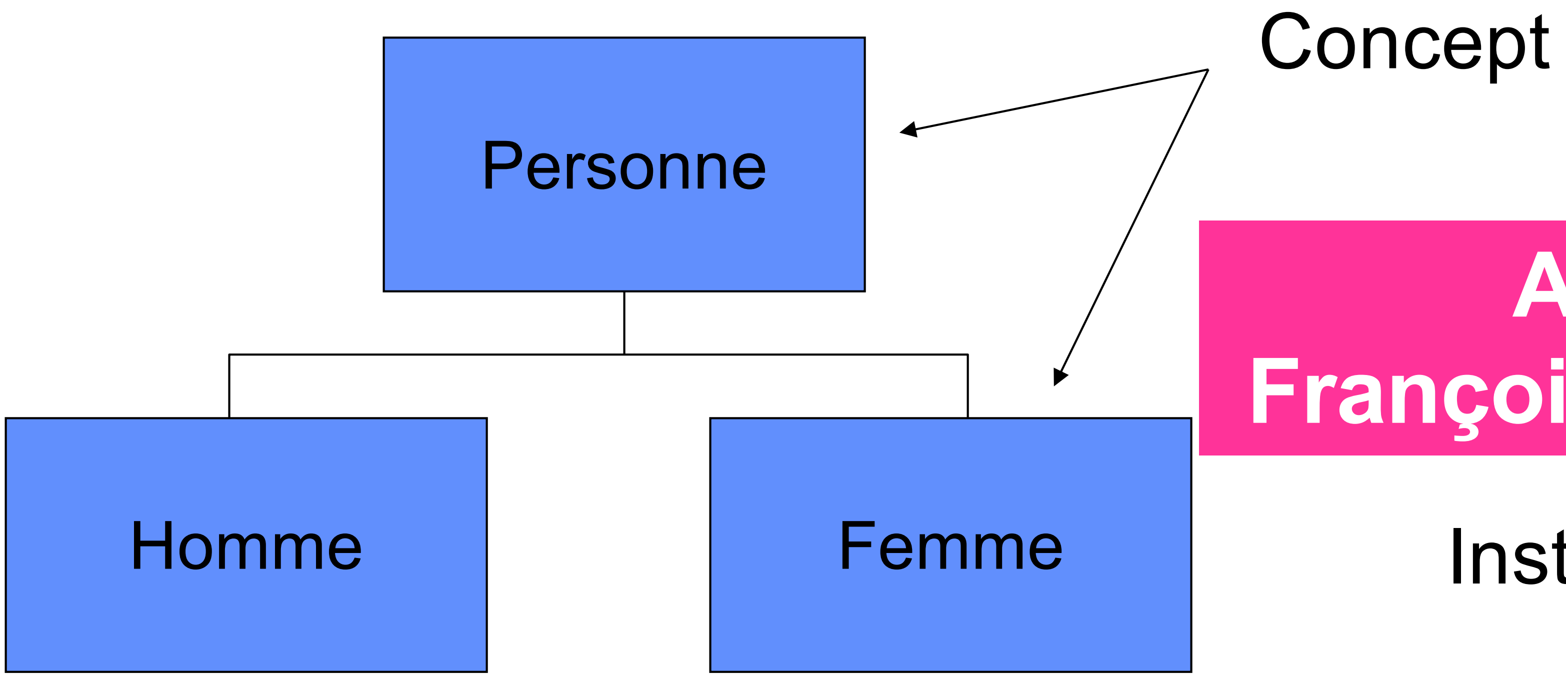


Concept
Personne
âge
enfant
Rôles
Attributs
Homme
Femme
Instances
T-Box
Françoise
26
Gil,Jean
A-Box

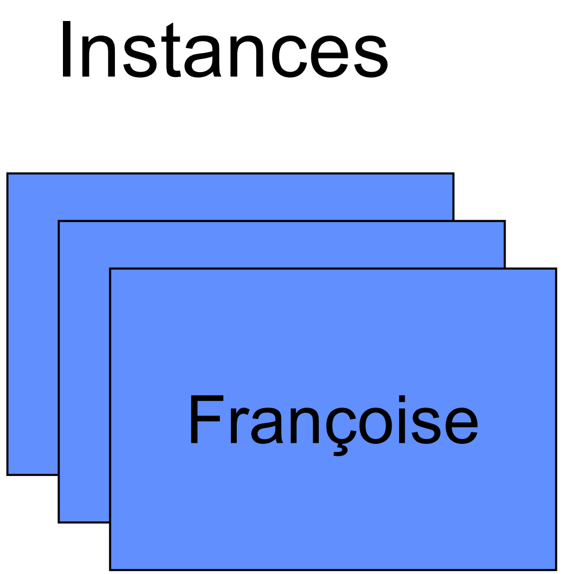
Eléments de base du langage des logiques de description

- **Connecteurs de concepts:**
  - **Intersection:** $\sqcap$
  - **Union:** $\sqcup$
  - **Subsomption:** $\sqsubseteq$ **(Homme** $\sqsubseteq$ **Personne: Homme** *est subsumé par* **Personne)**

Représentation des concepts et instances à l'aide de logiques de descriptions



ABox
Françoise:Femme



TBox

$$\text{Homme} \sqsubseteq \text{Personne}$$
$$\text{Femme} \sqsubseteq \text{Personne}$$
$$\text{Homme} \sqcap \text{Femme} \sqsubseteq \bot$$

L
I
P

Représ

ABox

Françoise:Femme

<Françoise, 26>:age

<Françoise, Gil>:enfant

<Françoise,Jean>:enfant

Personn

TBox

Homme $\sqsubseteq$ Per

Femme $\sqsubseteq$ Personne

Homme $\sqcap$ Femme $\sqsubseteq \bot$

Personne $\sqsubseteq \exists$age

Parent $\equiv \exists$enfant $\sqcap$ Personne

Père $\equiv \exists$enfant $\sqcap$ Homm

Mère $\equiv \exists$enfant $\sqcap$ Femme

Père $\equiv$Parent $\sqcap$ Hom

Mère $\equiv$Parent $\sqcap$ Femme

Instances

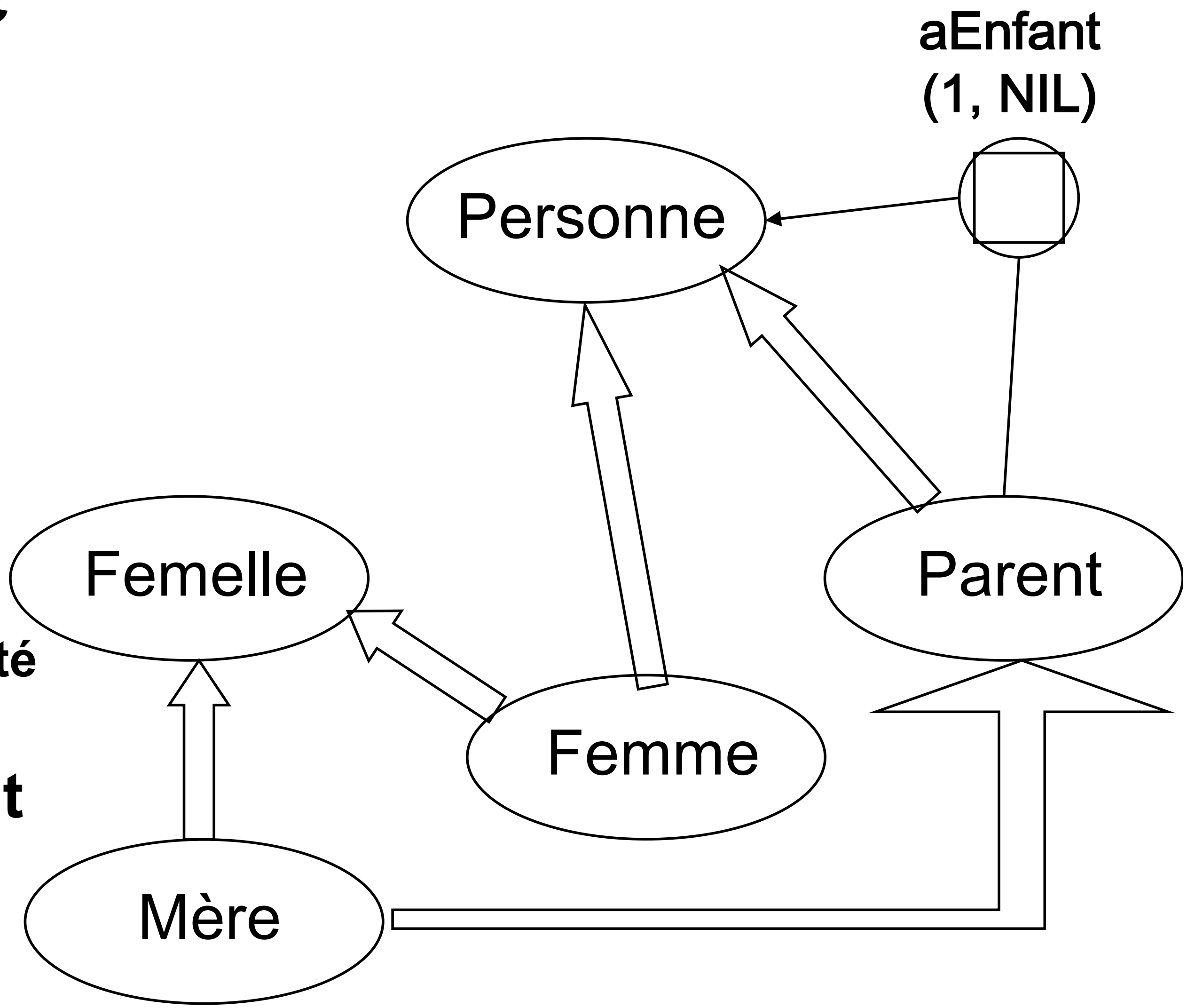
26

Gil,Jean

Françoise

Un exemple

- **Personne**, **Femelle**, etc sont des concepts
- **aEnfant** est une propriété associée au concept Personne
  - **aEnfant** relie **Parent** à **Personne**
  - (1,Nil) cardinalité
    Nil signifie infinité. Un Parent est une Personne avec entre 1 et une infinité d'enfants
- Les larges flèches sont des liens "**EST-UN**"
  - Une **Mère** est un (spécialisation d'un) **Parent**



L
I
P
6

C
N
R
S

Eléments de base du langage des logiques de description

- Connecteurs de concepts:
  - Intersection: $\sqcap$
  - Union: $\sqcup$
  - Subsomption: $\sqsubseteq$ (Homme $\sqsubseteq$ Personne: Homme *est subsumé par* Personne)
- **Restrictions de rôle:**
  - **Universelle:$\forall r.C$**
  - **Existentielle:$\exists r.C$**
  - **Cardinalité:$\leq_n r.C$**

Qu'est ce que ∀r.C et ∃r.C signifient?

- Un « FouDeChiens » est quelqu'un dont les animaux de compagnie sont tous des chiens, ici {C}

  FouDeChiens = ∀hasPet.Dog

  $\{p \mid \forall\, a, \langle p, a\rangle \in hasPet \rightarrow a \in Dog\}$

  On peut l'écrire plus simplement:

  $\{p \mid \forall\, a, hasPet(p, a) \rightarrow Dog(a)\}$

- Un « AmateurDeChiens » est quelqu'un qui possède un chien , ici {A, C}

  AmateurDeChiens = ∃hasPet.Dog

  $\{p \mid \exists a\ hasPet(p, a)\ \&\ Dog(a)\}$

hasPet	
A	Fido
A	Fluffy
B	Tabby
C	Rover
C	Flip

Cat
Fluffy
Tabby

Dog
Fido
Rover
Flip

L I P 6 C N R S

Pas de variables…

Homme ⊓ ¬Femme ⊓ (∃marié.Médecin) ⊓ (∀aEnfant.(Médecin ⊔ Avocat))

- Symbole union (⊔) et intersection (⊓) de concepts
- **Quantificateur existentiel**: ∃marié.Médecin
  - Ensemble des individus mariés à **au moins** un médecin
- **Quantificateur universel**: (∀aEnfant.(Médecin ⊔ Avocat))
  - Ensemble des individus dont **tous** les enfants sont soit médecin, soit avocats
- **Axiomes:** ∃aEnfant.Humain ⊑ Humain (**subsomption**)
  - Seuls les êtres humains peuvent avoir des enfants humains
- **Axiomes:** Père ≡ Homme⊓∃aEnfant.T

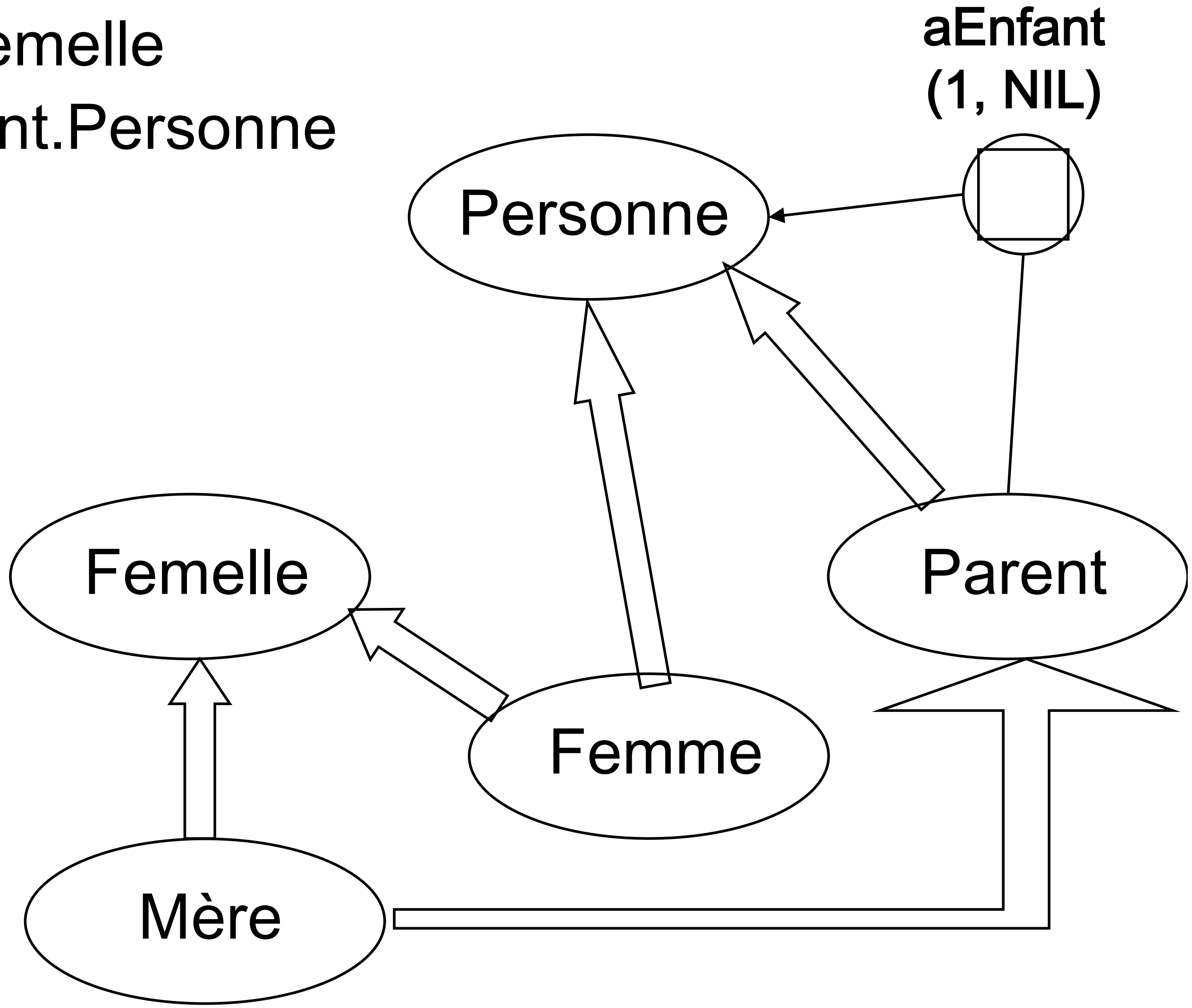
Autre exemple

TBox:

Femme ≡ Personne ⊓ Femelle

Mère ≡ Femme ⊓∃aEnfant.Personne

Mère ≡ Femelle⊓Parent



ABox:

aEnfant(Marie, Pierre)

ou

<Marie, Pierre>:aEnfant

L I P 6 C N R S

Remarque sur la notation

Usuellement

- Les concepts sont des chaînes de caractères qui commencent par une majuscule: Homme, Femme, Personne, Femelle, Mère, Parent…
- Les rôles sont des chaînes de caractères qui commencent par une minuscule: age, enfant, aEnfant, aFemmeFamille…

Expressions complexes

Personne ⊓ ¬Femelle

Homme ⊔ Femme

Individus ayant une fille:

∃aEnfant.Femme

Individus dont tous les enfants sont des filles:

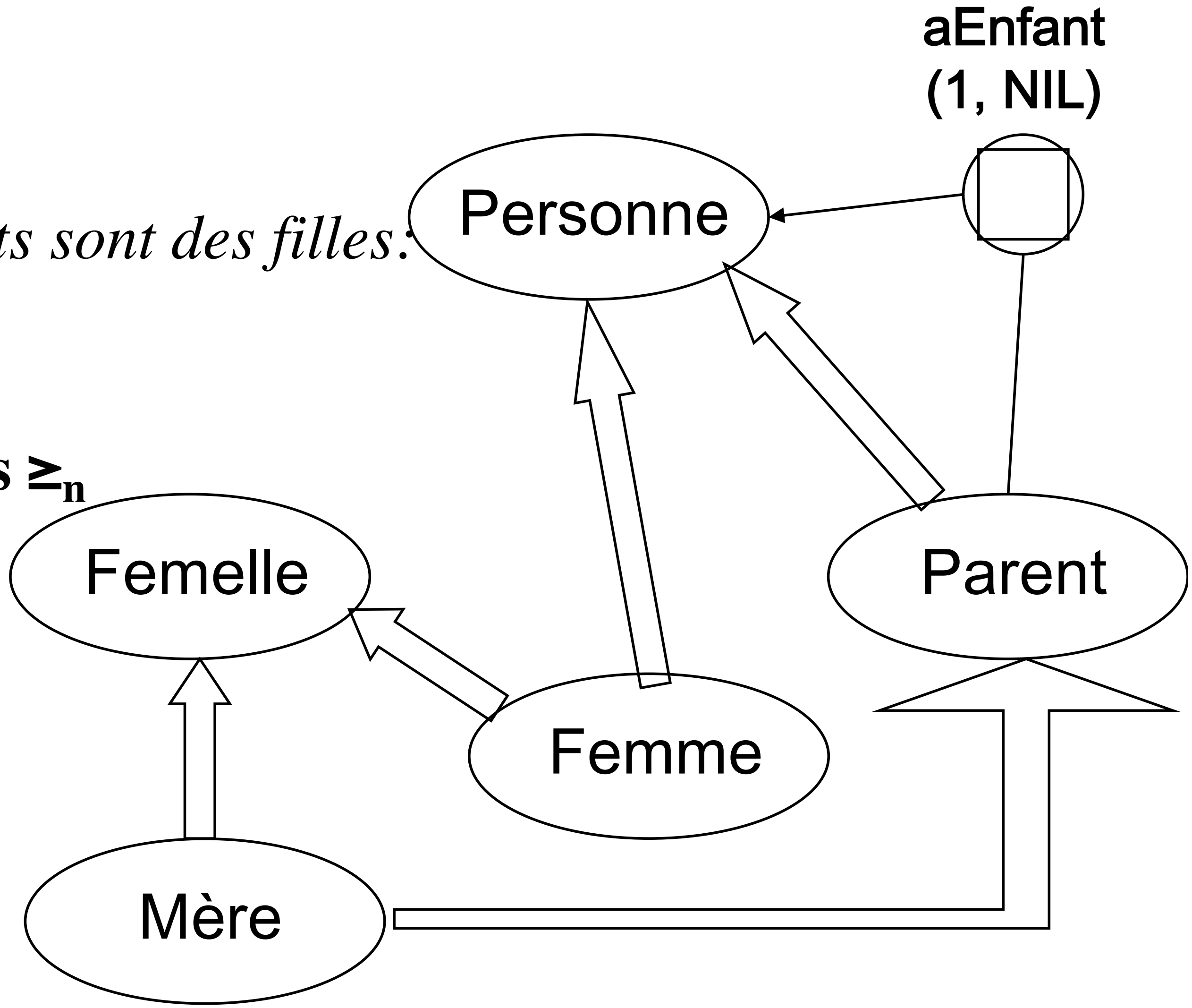
∀aEnfant.Femme

Restrictions sur les nombres $\geq_n$

Personnes ayant au moins trois enfants:
$\geq_3$aEnfant

Intersection

Femme ayant au moins deux filles:
Femme ⊓ $\geq_2$aEnfant.Femme



Expressions complexes

Personne $\sqcap \neg$Femelle

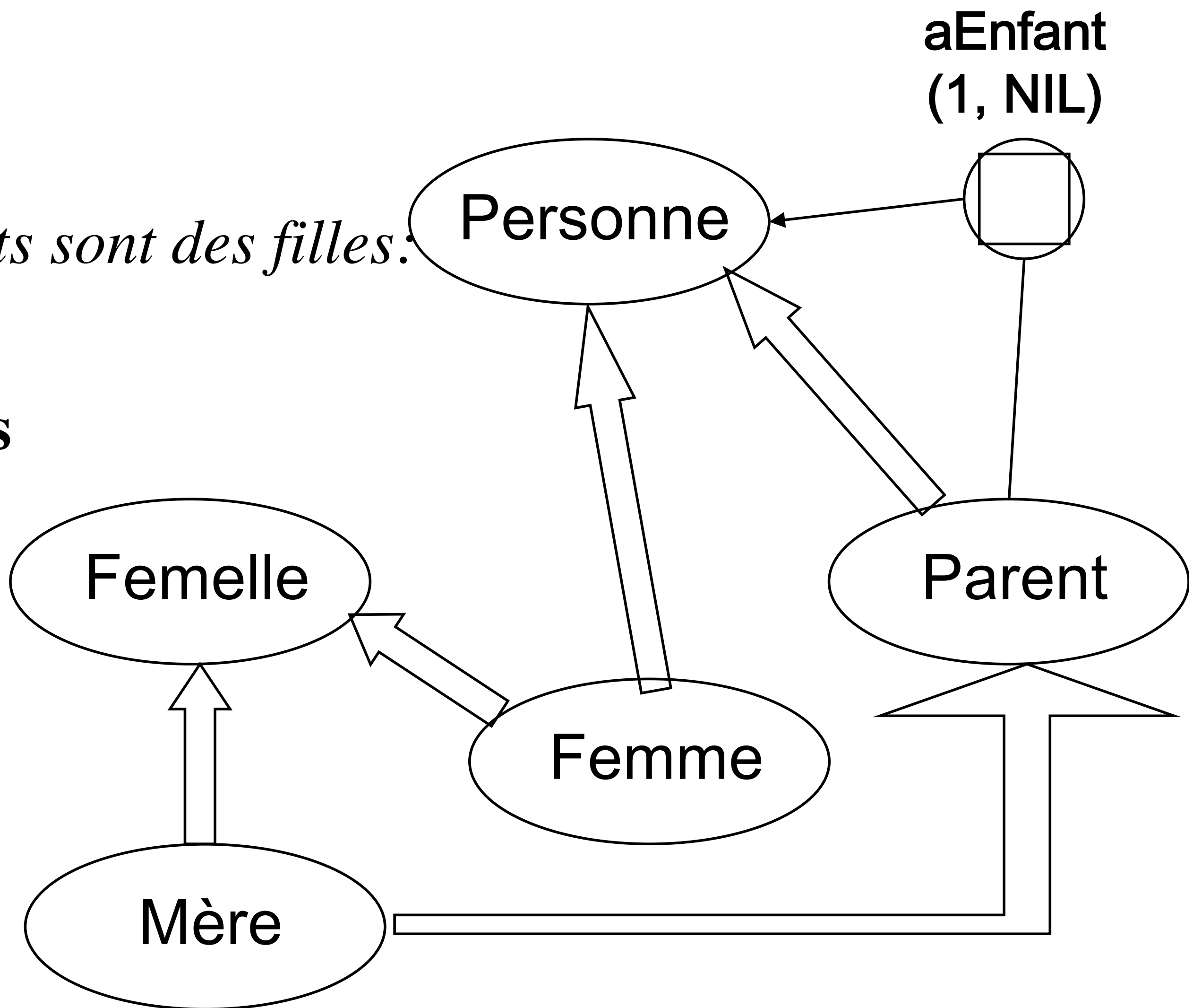
Homme $\sqcup$ Femme

Individus ayant une fille:

$\exists$aEnfant.Femme

Individus dont tous les enfants sont des filles:

$\forall$aEnfant.Femme



Restrictions sur les nombres

Personnes ayant au moins trois enfants:

$\geq_3$aEnfant

Intersection de rôles

Femme ayant au moins deux filles:

Femme $\sqcap \geq_2$(aEnfant $\sqcap$ aFemmeFamille)

[aFemmeFamille: *rôle qui associe à l'individu x toutes les femmes de sa famille*]

LIP6 CNRS

Exemple

Problème

Supposons que l’on veuille décrire les concepts suivants:

1. Etudiants qui assistent à des cours de LRC,

2. Etudiants qui n’assistent qu’aux cours de LRC

3. Etudiants qui assistent à tous les cours de LRC

utilisant

- les concepts **Etudiant** et **CoursLRC** et
- Les rôles **assiste** et **non_assiste**

Solution

1. **Etudiant ⊓ ∃assiste.CoursLRC**

2. **Etudiant ⊓ ∀assiste.CoursLRC**

3. **Rôle non_assiste**

Etudiants qui n’assistent pas à un cours de LRC

Etudiant ⊓ ∃non_assiste.CoursLRC

Etudiants qui assistent à tous les cours de LRC

Etudiants ⊓ ¬∃non_assiste.CoursLRC

Etudiants ⊓ ∀non_assiste.¬CoursLRC

Histoire des logiques de description 1

- **Phase 0** *(1965-1980)***:** pre-DL → introduction réseaux sémantiques et frames. Critiques liées au manque de sémantique formelle. Tentatives de conception de *réseaux d'héritage structurés* (Brachman)
  KL-One: premier système de logique de description

- **Phase 1** *(1980-1990)***:** premières implémentation
  KL-One, K-Rep, Krypton, Back, Loom
  Utilisation d'*algorithmes de subsomption structurelle* très efficaces, mais non complets, voire même indécicables sauf pour des fragments très pauvres

Histoire des logiques de description 2

- **Phase 2** *(1990-1995)***:** introduction d’algorithmes fondés sur les tableaux. Permet de décider de la cohérence d’une base de connaissance. Premiers systèmes utilisant ces méthodes: Kris et Krack. Implémentations efficaces, même si la complexité dans le pire des cas n’est plus polynomiale

- **Phase 3** *(1995-2000)***:** développement de procédures d’inférences pour des logiques de descriptions très expressives basées sur les tableaux ou la traduction dans des logiques modales. Exploration des liens avec le logiques modales

- **Phase 4** *(2000)***:** application web sémantique, systèmes d’information, … Utilisation DL moins expressives…

Jean-Gabriel Ganascia – Faculté des sciences de Sorbonne Université

La « *famille* » des logiques de description

- Une logique de description donnée et définie par des concepts, des roles et des opérateurs
- La logique $\mathcal{AL}$ (Attribute Language) contient uniquement la négation atomique et la quantification existentielle limitée
  - Les concepts sont construits en utilisant avec les connecteurs $\sqcap$, $\neg$, $\exists$ et $\forall$
- La plus petite logique de description avec les connecteurs contenant la logique propositionnelle est $\mathcal{ALC}$ (équivalente à la logique multimodale $K_{(m)}$) – cela signifie $\mathcal{AL}$ et complémentation $\mathcal{C}$
  - Les concepts sont construits en utilisant $\sqcap$, $\sqcup$, $\neg$, $\exists$ et $\forall$
- $\mathcal{FL}^-$ correspond à $\mathcal{AL}$ sans la négation atomique
- $\mathcal{FL}_0$ correspond à $\mathcal{FL}^-$ sans la quantification existentielle limitée

$\mathcal{FL}_0$: la plus simple logique de description

Syntaxe

Alphabet

- **concepts atomiques A, B, C, D…**
- **Rôles atomiques r, s, u, v, …**
- **Symboles {$\sqcap$, $\forall$, .}**

Grammaire

concept ::= <concept atomique> |
<concept> $\sqcap$ <concept> |
$\forall$<role atomic>.<concept>

L I P 6 C N R S

$\mathcal{FL}^-$ Syntaxe

Alphabet

- **concepts atomiques A, B, C, D…**
- **Rôles atomiques r, s, u, v, …**
- **Symboles {⊓ , ∃, ∀, .}**

Grammaire

concept ::= <concept atomique> |
<concept> ⊓ <concept> |
∃<role atomique> |
∀<role atomic>.<concept>

$\mathcal{FL}^-$: base de connaissance Σ = <TBox, ABox>

- **TBox: axiomes terminologiques C $\sqsubseteq$ D, C $=$ D**
  - **Définitions**

    Parent=∃aENFANT ⊓ Personne
  - **Subsomptions**

    Homme ⊑ Personne *(⊑: subsomption)*

- **ABox: assertions a:C, <a, b>:R**
  - **Assertions de concepts**

    Jean:Parent

    Jean:Personne ⊓∃aENFANT

    Albert:personne
  - **Assertions de rôles**

    <Jean, Thomas>:aENFANT

$\mathcal{FL}^-$: Sémantique intuitive

concept ::= <concept atomique> |
<concept> ⊓ <concept> |
∃<role atomique> |
∀<role atomic>.<concept>

- **Concepts: classes, ensemble d'individus**
- **Rôles: relations entres paires d'individus**
- **Concepts atomiques: concepts primitifs**
- ∃R**: existence d'un élément couvert par le rôle R**

exemple: ∃aENFANT : concept des choses qui ont des enfants

- C ⊓ D: **le concept conjoint C et D**

exemple: ∃aENFANT ⊓ personne: parents

- ∀R.C **: restriction d'un concept**

exemple: ∀aENFANT.Medecin : concept des choses dont tous les enfants sont médecins…

Expressions complexes

$\text{Personne} \sqcap \neg\text{Femelle}$

$\text{Homme} \sqcup \text{Femme}$

Individus ayant une fille:

$\exists \text{aEnfant.Femme}$

Individus dont tous les enfants sont des filles:

$\forall \text{aEnfant.Femme}$

Restrictions sur les nombres

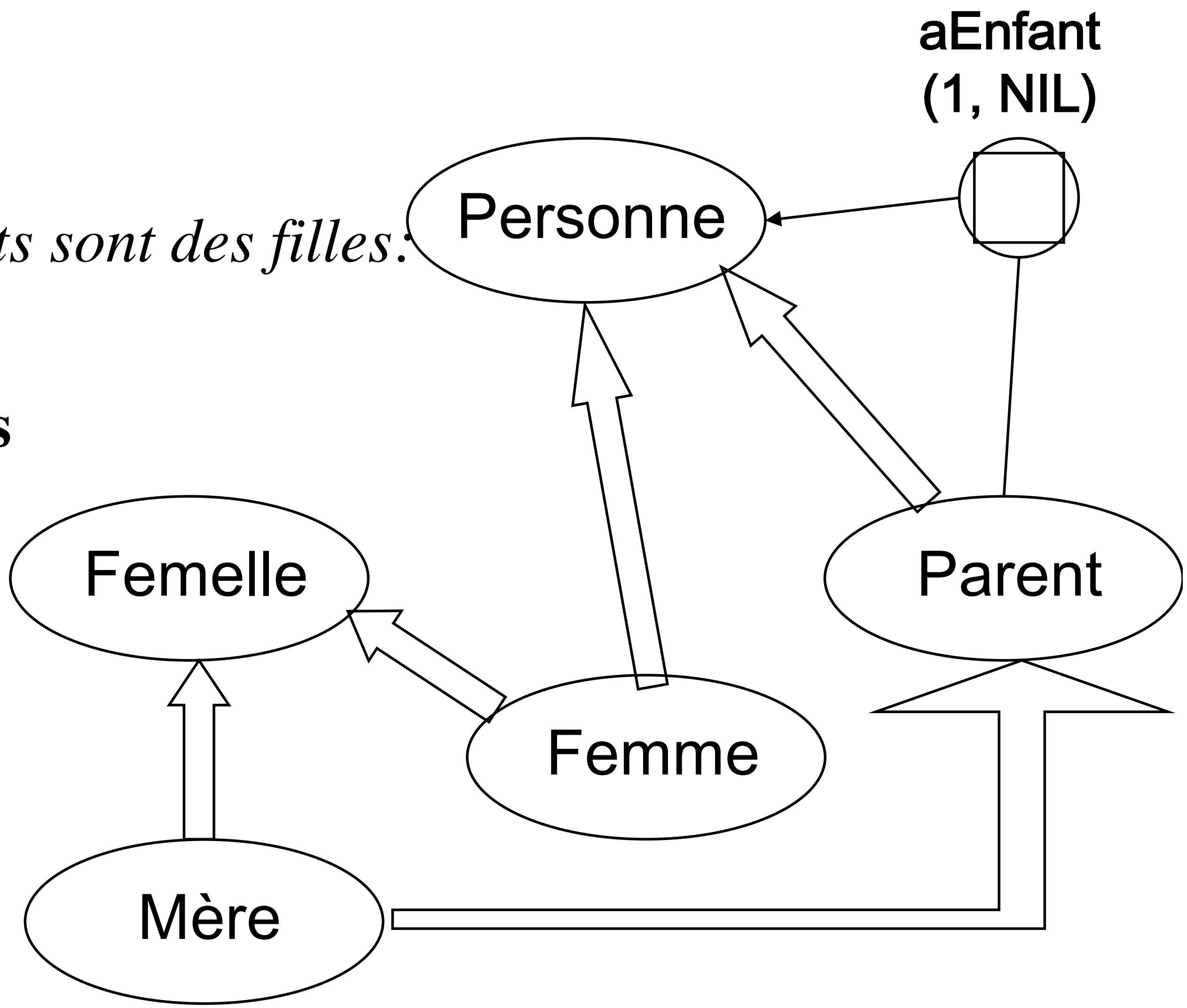
Personnes ayant au moins trois enfants:

$\geq_3 \text{aEnfant}$

Intersection de rôles

Femme ayant au moins deux filles:

$\text{Femme} \sqcap \geq_2(\text{aEnfant} \sqcap \text{aFemmeFamille})$



ABox:

aEnfant(Marie, Pierre) *ou* <Marie, Pierre>:aEnfant

$\mathcal{AL}$ Syntaxe

Alphabet

- **concepts atomiques A, B, C, D…**
- **Rôles atomiques r, s, u, v, …**
- **Symboles {$\sqcap$, $\exists$, $\forall$, $\neg$, .}**

Grammaire

concept ::= <concept atomique> |
<concept> $\sqcap$ <concept> |
$\exists$<role atomique> |
$\neg$<concept atomique> |
$\forall$<role atomic>.<concept>

$\mathcal{ALC}$: la plus simple des logiques de description propositionnelles

Alphabet

- **Ensemble de concepts atomiques A, B, C, D…**
- **Ensemble de rôles atomiques r, s, u, v, …**
- **Symboles {⊔,⊓,∃,∀,¬,⊤,⊥,.}**

Grammaire

  - **⊤ et ⊥ sont des concepts**
- **Si C et D sont des concepts:**
  - **¬C est un concept** *(et pas uniquement un concept atomique)*
  - **C ⊔ D et C ⊓D sont des concepts**
- **Si r est un rôle et C un concept**
  - **∀r.C et ∃r.C sont des concepts**

La « *famille* » des logiques de description: les extensions de $\mathcal{AL}$

- $\mathcal{S}$ est souvent utilisé pour dénoter $\mathcal{ALC}$ avec roles transitifs ($\mathcal{R}_+$)
- Des lettres additionnelles indiquent d'autres extensions:
  - $\mathcal{H}$ pour les axiomes d'inclusion de rôles (hiérarchie de rôles aFille $\sqsubseteq$ aEnfant)
  - $\mathcal{O}$ pour noms (classes nominales – singleton, exemple: {Italie})
  - $\mathcal{I}$ pour les rôles inverses (estEnfantDe qui correspond à aEnfant^{-1})
  - $\mathcal{N}$ pour les restrictions sur les nombres (de la forme $\exists^{\leq n}$, $\exists^{\geq n}$)
  - $\mathcal{Q}$ pour les restrictions qualifiées sur les nombres (de la forme $<_n r.C$, $>_n r.C$)
- p.e. OWL est $\mathcal{ALC}$+ $\mathcal{R}_+$ + hierarchie de rôles + classes nominales + inversion de rôles + restrictions qualitifées sur les nombres = $\mathcal{SHOIQ}$

$\mathcal{ALCN}$: ajout contraintes sur les cardinalités

Alphabet

- Ensemble de concepts atomiques A, B, C, D…
- Ensemble de rôles atomiques r, s, u, v, …
- Symboles $\{\sqcup, \sqcap, \exists, \forall, \neg, \top, \bot, .., \exists^{\leq n}, \exists^{\geq n}\}$

Grammaire

  - $\top$ et $\bot$ sont des concepts
- **Si C et D sont des concepts:**
  - $\neg C$ est un concept
  - $C \sqcup D$ et $C \sqcap D$ sont des concepts
- **Si r est un rôle et C un concept**
  - $\forall r.C$ et $\exists r.C$ sont des concepts
- **Si r est un rôle**
  - $\exists^{\leq n} r$ et $\exists^{\geq n} r$ sont des concepts

Exercise

1. Nobody steal.
2. No human does steal.
3. All human are honest
4. At least one human is a king. *(with a king as a role)*
5. At more one human is a king
6. Pierre is a king

7. One cannot be both a man and a woman

king and steal are roles

L I P 6 C N R S

Exercise *(following)*

1. A minor is a person less than 18 years old
2. Family whose children are all minor.
3. Man who has more than three daughters
4. A woman whose children are less than 3 years old
5. A woman who is the child of a man who is older than 90

hasAge and hasChildren are roles,

Minor, Person, Family, Man, Woman and ≤ 18 are concepts

1^{st} order logic semantics - recall

- Being given a **domain** $\mathcal{D}$
- We call "**interpretation**" a function *i* which attributes:
  - **To any n-ary function f_n of $\mathcal{F}_n$, a function from $\mathcal{D}^n$ to $\mathcal{D}$, which is denoted $i[f_n]$**
  - **To each n-ary predicate symbol p_n of $\mathcal{P}_n$, a function from $\mathcal{D}^n$ to $\{v, f\}$, which is denoted $i[p_n]$**

- A formula is "valid" if it is true in all the interpretations of all domains
- A formula is "satisfiable" if it is true for at least one interpretation of one domain.
- A formula is "unsatisfiable" if it is never true in any domain, i.e. if it is false in all interpretations of all domains.

$\mathcal{FL}^-$: Sémantique formelle

Une interprétation $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, .^{\mathcal{I}})$ consiste en

- **Un ensemble non vide $\Delta^{\mathcal{I}}$ (le *domaine*)**
- **Un fonction (la *fonction d'interprétation*) qui associe**
  - **À tout concept C, un sous-ensemble $C^{\mathcal{I}}$ de $\Delta^{\mathcal{I}}$**
  - **À tout rôle r, un sous-ensemble $r^{\mathcal{I}}$ de $\Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$**
  - **À tout individu i, un élément $i^{\mathcal{I}}$ de $\Delta^{\mathcal{I}}$**

$\mathcal{FL}^-$: Fonction d'extension

Une fonction d'interprétation $.^{\mathcal{I}}$ est une *fonction d'extension* ssi

- **$(C \sqcap D)^{\mathcal{I}} = C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}}$**
- **$(\forall r.C)^{\mathcal{I}} = \{x \in \Delta \mid \forall y.\ (x, y) \in r^{\mathcal{I}} \Rightarrow y \in C^{\mathcal{I}}\}$**
- **$(\exists r)^{\mathcal{I}} = \{x \in \Delta \mid \exists y.\ (x, y) \in r^{\mathcal{I}}\}$**

Remarque: $C^{\mathcal{I}}$ est l'ensemble des individus de l'extension de C dans l'interprétation $\mathcal{I}$

Ainsi, écrire $x \in C^{\mathcal{I}}$ est équivalent à C(x).

De même, $(x, y) \in r^{\mathcal{I}}$ est équivalent à r(x,y)

L I P 6 C N R S

La sémantique du langage $\mathcal{AL}$

Syntaxe	Sémantique
$\top^{\mathcal{I}}$	$\Delta^{\mathcal{I}}$(concept universel)
$\bot^{\mathcal{I}}$	$\emptyset$(concept vide)
$(\neg A)^{\mathcal{I}}$	$\Delta^{\mathcal{I}} \setminus A^{\mathcal{I}}$(négation atomique)
$(C \sqcap D)^{\mathcal{I}}$	$C^{\mathcal{I}} \sqcap D^{\mathcal{I}}$(intersection)
$(\forall\, r.C)^{\mathcal{I}}$	$\{a \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \forall\, b\ (a,b) \in R^{\mathcal{I}} \rightarrow b \in C^{\mathcal{I}}\}$ (restriction de rôle)
$(\exists\, r.\top)^{\mathcal{I}}$	$\{a \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists\, b\ (a,b) \in R^{\mathcal{I}}\}$ (quantification existentielle limitée)
r	$r^{\mathcal{I}} \subset \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$($R$ est un *rôle atomique*)
A	$A^{\mathcal{I}} \subset \Delta^{\mathcal{I}}$ (A est un *concept atomique*)

$\mathcal{ALC}$: la plus simple des logiques de description propositionnelles

Alphabet

- **Ensemble de concepts atomiques A, B, C, D…**
- **Ensemble de rôles atomiques r, s, u, v, …**
- **Symboles {⊔,⊓,∃,∀,¬,⊤,⊥,.}**

Grammaire

- **⊤ et ⊥ sont des concepts**
- **Si C et D sont des concepts:**
  - **¬C est un concept** *(et pas uniquement un concept atomique)*
  - **C ⊔ D et C ⊓D sont des concepts**
- **Si r est un rôle et C un concept**
  - **∀r.C et ∃r.C sont des concepts**

Sémantique $\mathcal{ALC}$

$$(C \sqcap D)^{\mathcal{I}} = C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}}$$
$$(C \sqcup D)^{\mathcal{I}} = C^{\mathcal{I}} \cup D^{\mathcal{I}}$$
$$(\neg C)^{\mathcal{I}} = \Delta^{\mathcal{I}} \setminus C^{\mathcal{I}}$$

Extensions $\mathcal{ALC}$

$$(\exists R.C)^{\mathcal{I}} = \{x \mid \exists y.\langle x, y\rangle \in R^{\mathcal{I}} \wedge y \in C^{\mathcal{I}}\}$$
$$(\forall R.C)^{\mathcal{I}} = \{x \mid \forall y.(x, y) \in R^{\mathcal{I}} \Rightarrow y \in C^{\mathcal{I}}\}$$

Sémantique générale

$$
\begin{array}{rcl}
(C \sqcap D)^{\mathcal{I}} & = & C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}} \\
(C \sqcup D)^{\mathcal{I}} & = & C^{\mathcal{I}} \cup D^{\mathcal{I}} \\
(\neg C)^{\mathcal{I}} & = & \Delta^{\mathcal{I}} \setminus C^{\mathcal{I}} \\
\{x\}^{\mathcal{I}} & = & \{x^{\mathcal{I}}\} \\
(\exists R.C)^{\mathcal{I}} & = & \{x \mid \exists y.\langle x, y\rangle \in R^{\mathcal{I}} \wedge y \in C^{\mathcal{I}}\} \\
(\forall R.C)^{\mathcal{I}} & = & \{x \mid \forall y.(x, y) \in R^{\mathcal{I}} \Rightarrow y \in C^{\mathcal{I}}\} \\
(\leqslant n R)^{\mathcal{I}} & = & \{x \mid \#\{y \mid \langle x, y\rangle \in R^{\mathcal{I}}\} \leqslant n\} \\
(\geqslant n R)^{\mathcal{I}} & = & \{x \mid \#\{y \mid \langle x, y\rangle \in R^{\mathcal{I}}\} \geqslant n\} \\
(R^{-})^{\mathcal{I}} & = & \{(x, y) \mid (y, x) \in R^{\mathcal{I}}\}
\end{array}
$$

LIP6 CNRS

Base de connaissance *Knowledge Base*

- **Une Base de connaissance $\mathcal{K}$ est une paire $\langle \mathcal{T},\mathcal{A} \rangle$ où**
  - **$\mathcal{T}$ est un ensemble d'axiomes "terminologiques" (la Tbox)**
  - **$\mathcal{A}$ est un ensemble d'axiomes "assertionels" (la Abox)**
- **Les axiomes sont de la forme**

  $C \sqsubseteq D$, $C \equiv D$, $r \sqsubseteq s$, $r \equiv s$ et $r^+ \sqsubseteq r$

  où C, D sont des concepts, r, s des rôles et r^+ un ensemble de rôles transitifs

  Remarque: le graphe des définitions doit être acyclique
- **Les axiomes de la Abox sont de la forme:**

  $x{:}D$, $\langle x,y \rangle{:}r$

  où x,y sont des noms d'individus, D un concept et r un rôle

Sémantique formelle: modèle

Si $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, .^{\mathcal{I}})$ est une interprétation

- **a:C est satisfait par $\mathcal{I}$ si $a^{\mathcal{I}} \in C^{\mathcal{I}}$**
- **<a,b>:R est satisfait par $\mathcal{I}$ si $\langle a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}}\rangle \in R^{\mathcal{I}}$**
- **Une interprétation $\mathcal{I}$ est dite être un modèle de la ABox ($\mathcal{I} \models \mathcal{A}$) si toutes les assertions de $\mathcal{A}$ sont satisfaites par $\mathcal{I}$.**
- **Une interprétation $\mathcal{I}$ est dite être un modèle de la TBox ($\mathcal{I} \models \mathcal{T}$) si tous les axiomes de $\mathcal{T}$ sont satisfaites par $\mathcal{I}$.**

Une interprétation $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, .^{\mathcal{I}})$ est dite être un modèle de la base de connaissance Σ si tous les axiomes de Σ sont satisfaites par $\mathcal{I}$.

Une base de connaissance Σ est satisfiable si elle admet un modèle

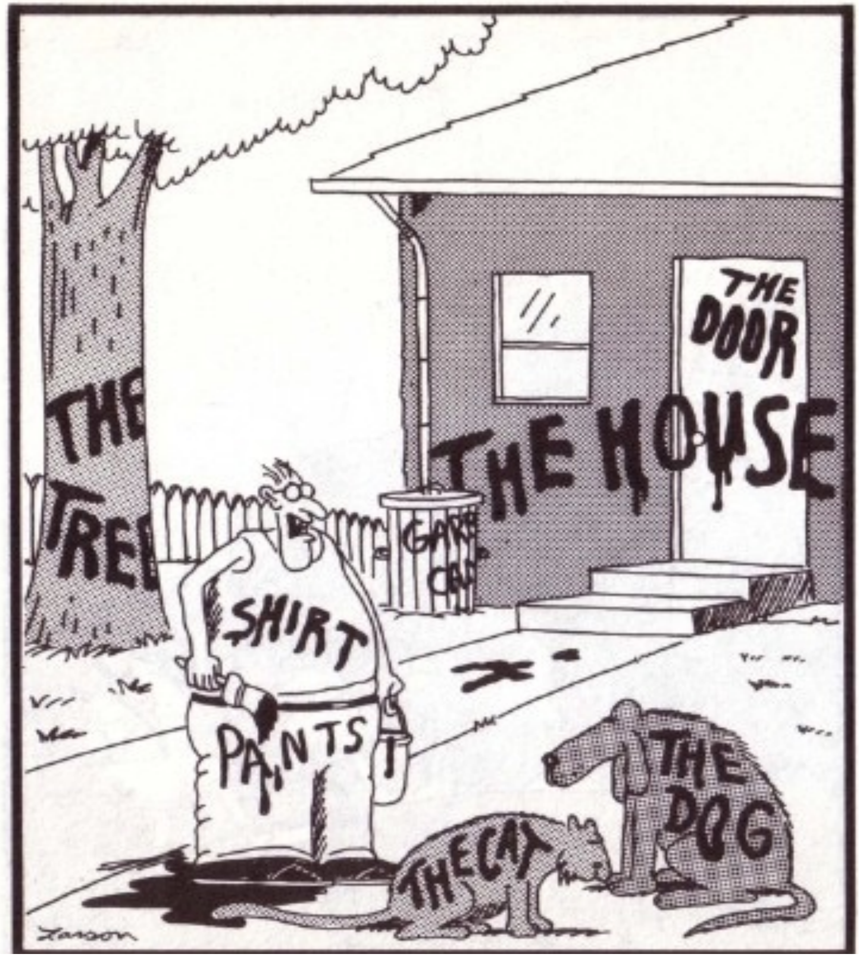
Brève histoire du web sémantique

Tim Berners Lee

- 1990 Invention du web
- 1994 Métadonnées
- 1999 Schémas RDF (Ressource Description Framework)
- 2004 Annotations sémantiques (RDFS) et Ontologies (OWL)

Particularité du web sémantique

- Annotation donnant du sens aux contenus
  - Métadonnées sémantiques
  - Inférences automatiques
- Pas d'analyse directe des contenus
- Autres pistes
- Extraction du sens à partir des textes
- Langage contrôlé



L I P 6 C N R S

Supposons que l'on ait cette page…

WWW2002

The eleventh international world wide web conference

Sheraton waikiki hotel

Honolulu, hawaii, USA

7-11 may 2002

1 location 5 days learn interact

Registered participants coming from

australia, canada, chile denmark, france, germany, ghana, hong kong, india, ireland, italy, japan, malta, new zealand, the netherlands, norway, singapore, switzerland, the united kingdom, the united states, vietnam, zaire

Register now

On the 7th May Honolulu will provide the backdrop of the eleventh international world wide web conference. This prestigious event …

Speakers confirmed

Tim berners-lee

Tim is the well known inventor of the Web, …

Ian Foster

Ian is the pioneer of the Grid, the next generation internet …

Quelle information voit la machine…

🕈🕈🕈📄📁📁📄

❄♒♏ ♏●♏❖♏■⧫♒ ♓■⧫♏❒■♋⧫♓□■♋● ⬥□❒●♎ ⬥♓♎♏ ⬥♏♌ ♍□■♐♏❒♏■♍♏

💧♒♏❒♋⧫□■ ⬥♋♓🙵♓🙵♓ ♒□⧫♏●

☟□■□●◆●◆📪 ♒♋⬥♋♓♓📪 🕆💧✌

⌨📫📂📂 ❍♋⍓ 📄📁📁📄

📂 ●□♍♋⧫♓□■ 🗄 ♎♋⍓⬧ ●♏♋❒■ ♓■⧫♏❒♋♍⧫

☼♏♑♓⬧⧫♏❒♏♎ ◻♋❒⧫♓♍♓◻♋■⧫⬧ ♍□❍♓■♑ ♐❒□❍

♋◆⬧⧫❒♋●♓♋📪 ♍♋■♋♎♋📪 ♍♒♓●♏ ♎♏■❍♋❒🙵📪 ♐❒♋■♍♏📪 ♑♏❒❍♋■⍓📪 ♑♒♋■♋📪 ♒□■♑ 🙵□■♑📪 ♓■♎♓♋📪 ♓❒♏●♋■♎📪 ♓⧫♋●⍓📪 🙰♋◻♋■📪 ❍♋●⧫♋📪 ■♏⬥ ⌘♏♋●♋■♎📪 ⧫♒♏ ■♏⧫♒♏❒●♋■♎⬧📪 ■□❒⬥♋⍓📪 ⬧♓■♑♋◻□❒♏📪 ⬧⬥♓⧫⌘♏❒●♋■♎📪 ⧫♒♏ ◆■♓⧫♏♎ 🙵♓■♑♎□❍📪 ⧫♒♏ ◆■♓⧫♏♎ ⬧⧫♋⧫♏⬧📪 ❖♓♏⧫■♋❍📪 ⌘♋♓❒♏

☼♏♑♓⬧⧫♏❒ ■□⬥

⚐■ ⧫♒♏ ⌨⧫♒ 💣♋⍓ ☟□■□●◆●◆ ⬥♓●● ◻❒□❖♓♎♏ ⧫♒♏ ♌♋♍🙵♎❒□◻ □♐ ⧫♒♏ ♏●♏❖♏■⧫♒ ♓■⧫♏❒■♋⧫♓□■♋● ⬥□❒●♎ ⬥♓♎♏ ⬥♏♌ ♍□■♐♏❒♏■♍♏📬 ❄♒♓⬧ ◻❒♏⬧⧫♓♑♓□◆⬧ ♏❖♏■⧫ …

💧◻♏♋🙵♏❒⬧ ♍□■♐♓❒❍♏♎

❄♓❍ ♌♏❒■♏❒⬧📫●♏♏

❄♓❍ ♓⬧ ⧫♒♏ ⬥♏●● 🙵■□⬥■ ♓■❖♏■⧫□❒ □♐ ⧫♒♏ 🕈♏♌📪 …

✋♋■ ☞□⬧⧫♏❒

✋♋■ ♓⬧ ⧫♒♏ ◻♓□■♏♏❒ □♐ ⧫♒♏ ☝❒♓♎📪 ⧫♒♏ ■♏⌧⧫ ♑♏■♏❒♋⧫♓□■ ♓■⧫♏❒■♏⧫ …

Comment enrichir cette description ?
Mettre des balises <XML>…

<name>🕈🕈🕈📄📁📁📄 ❄♒♏ ♏●♏❖♏■⧫♒ ♓■⧫♏❒■♋⧫♓□■♋● ⬥□❒●♎ ⬥♓♎♏ ⬥♏♌♍□■</name>

<location>💧♒♏❒♋⧫□■ ⬥♋♓🙵♓🙵♓ ♒□⧫♏● ☟□■□●◆●◆📪 ♒♋⬥♋♓♓📪 🕆💧✌</location>

<date>🖮📫📂📂 ❍♋⍓ 📄📁📁📄</date>

<slogan>📂 ●□♍♋⧫♓□■ 🗄 ♎♋⍓⬧ ●♏♋❒■ ♓■⧫♏❒♋♍⧫</slogan>

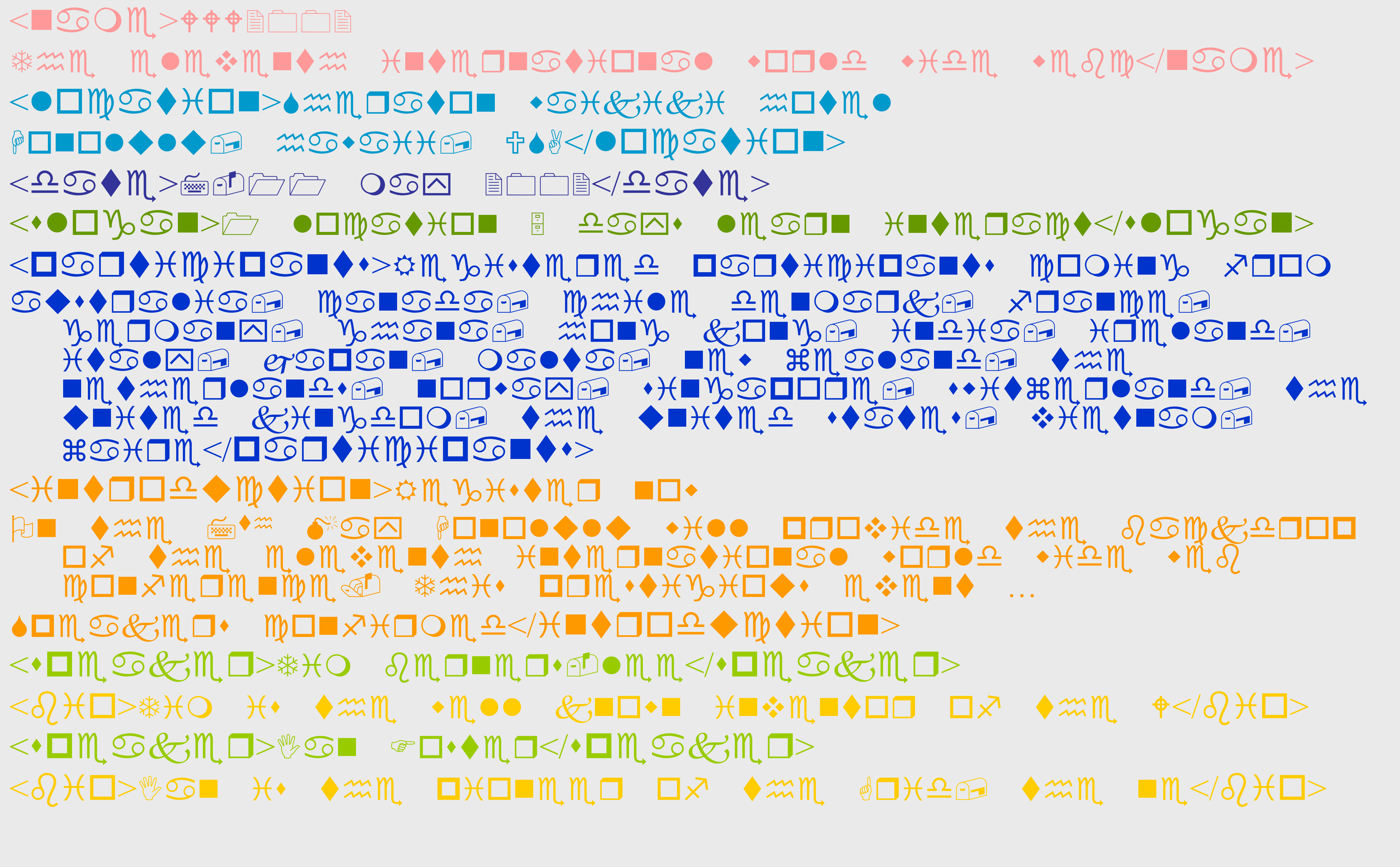
<participants>☼♏♑♓⬧⧫♏❒♏♎ ◻♋❒⧫♓♍♓◻♋■⧫⬧ ♍□❍♓■♑ ♐❒□❍ ♋◆⬧⧫❒♋●♓♋📪 ♍♋■♋♎♋📪 ♍♒♓●♏ ♎♏■❍♋❒🙵📪 ♐❒♋■♍♏📪 ♑♏❒❍♋■⍓📪 ♑♒♋■♋📪 ♒□■♑ 🙵□■♑📪 ♓■♎♓♋📪 ♓❒♏●♋■♎📪 ♓⧫♋●⍓📪 🙰♋◻♋■📪 ❍♋●♋⍓⬧♓♋📪 ■♏⬥ ⌘♏♋●♋■♎📪 ⧫♒♏ ■♏⧫♒♏❒●♋■♎⬧📪 ■□❒⬥♋⍓📪 ⬧♓■♑♋◻□❒♏📪 ⬧⬥♓⧫⌘♏❒●♋■♎📪 ⧫♒♏ ◆■♓⧫♏♎ 🙵♓■♑♎□❍📪 ⧫♒♏ ◆■♓⧫♏♎ ⬧⧫♋⧫♏⬧📪 ❖♓♏⧫■♋❍📪 ⌘♋♓❒♏</participants>

<introduction>☼♏♑♓⬧⧫♏❒ ■□⬥ 🏳■ ⧫♒♏ 🖮⧫♒ 💣♋⍓ ☟□■□●◆●◆ ⬥♓●● ◻❒□❖♓♎♏ ⧫♒♏ ♌♋♍🙵♎❒□◻ □♐ ⧫♒♏ ♏●♏❖♏■⧫♒ ♓■⧫♏❒■♋⧫♓□■♋● ⬥□❒●♎ ⬥♓♎♏ ⬥♏♌ ♍□■♐♏❒♏■♍♏📬 ❄♒♓⬧ ◻❒♏⬧⧫♓♑♓□◆⬧ ♏❖♏■⧫ … 💧◻♏♋🙵♏❒⬧ ♍□■♐♓❒❍♏♎</introduction>

<speaker>❄♓❍ ♌♏❒■♏❒⬧📫●♏♏</speaker>

<bio>❄♓❍ ♓⬧ ⧫♒♏ ⬥♏●● 🙵■□⬥■ ♓■❖♏■⧫□❒ □♐ ⧫♒♏ ⬥♏♌📪</bio>…

La machine voit…



LIP6 CNRS

… mais que se passe t-il avec

<conf>⌖⌖⌖🖹🗀🗀🖹
❄♒♏ ♏●♏❖♏■⧫♒ ♓■⧫♏❒■♋⧫♓□■♋● ⬧□❑●♎ ⬧♓♎♏ ⬧♏♌♍□■</conf>

<place>💧♒♏❒♋⧫□■ ⬧♋♓&♓&♓ ♒□⧫♏●
☝□■□●◆●◆📪 ♒♋⬧♋♓♓📪 ✞💧✌</place>

<date>🖮🖫🗁🗁 ❍♋⍓ 🖹🗀🗀🖹</date>

<slogan>🗁 ●□♍♋⧫♓□■ 🖳 ♎♋⍓⬧ ●♏♋❒■ ♓■⧫♏❒♋♍⧫</slogan>

<participants>☼♏♑♓⬧⧫♏❒♏♎ ❑♋❒⧫♓♍♓❑♋■⧫⬧ ♍□❍♓■♑ ♐❒□❍
♋◆⬧⧫❒♋●♓♋📪 ♍♋■♋♎♋📪 ♍♒♓●♏ ♎♏■❍♋❒&📪 ♐❒♋■♍♏📪
♑♏❒❍♋■⍓📪 ♑♒♋■♋📪 ♒□■♑ &□■♑📪 ♓■♎♓♋📪 ♓❒♏●♋■♎📪
♓⧫♋●⍓📪 ♏♋❒♋■📪 ❍♋●⧫♋📪 ■♏⬧ ⌘♏♋●♋■♎📪 ⧫♒♏
■♏⧫♒♏❒●♋■♎⬧📪 ■□❒⬧♋⍓📪 ⬧♓■♑♋❒□❒♏📪 ⬧⬧♓⧫⌘♏❒●♋■♎📪 ⧫♒♏
◆■♓⧫♏♎ &♓■♑♎□❍📪 ⧫♒♏ ◆■♓⧫♏♎ ⬧⧫♋⧫♏⬧📪 ❖♓♏⧫■♋❍📪
⌘♋♓❒♏</participants>

<introduction>☼♏♑♓⬧⧫♏❒ ■□⬧
🏱■ ⧫♒♏ 🖮⬧♒ 💣♋⌧ ☝□■□●◆●◆ ⬧♓●● ❑❒□❖♓♎♏ ⧫♒♏ ♌♋♍&♎❒□❑
□♐ ⧫♒♏ ♏●♏❖♏■⧫♒ ♓■⧫♏❒■♋⧫♓□■♋● ⬧□❑●♎ ⬧♓♎♏ ⬧♏♌
♍□■♐♏❒♏■♍♏📬 ❄♒♓⬧ ❑❒♏⬧⧫♓♑♓□◆⬧ ♏❖♏■⧫ …
💧□♏♋&♏❒⬧ ♍□■♐♓❒❍♏♎</introduction>

<speaker>❄♓❍ ♌♏❒■♏❒⬧🖫●♏♏</speaker>

<bio>❄♓❍ ♓⬧ ⧫♒♏ ⬧♏●● &■□⬧■ ♓■❖♏■⧫□❒ □♐ ⧫♒♏ ⌖♏♌📪…

Ontologies

« Chaque ontologie est un traité » **T. Gruber**

But: annoter les pages web de façon lisible par les hommes et les machines…

Deux parties:

- **<u>Formelle</u>: utilisables par des agents intelligents**
- **<u>Informelle</u>: transparentes aux hommes**

OWL: Ontologie Web Language

- **Transformation d'une ontologie dans une formalisation XML**

`intersectionOf`	$C_1 \sqcap \ldots \sqcap C_n$
`unionOf`	$C_1 \sqcup \ldots \sqcup C_n$
`complementOf`	$\neg C$
`allValuesOf`	$\forall r.C$
`someValuesOf`	$\exists r.C$
`minCardinality`	$(\geq_n r)$
`inverseOf`	r^{-1}

L I P 6 C N R S

OWL: Ontologie Web Language

- **Human $\sqcap$ Male**

```
<owl:Class>
      <owl:intersectionOf
rdf:parseType="collection">
            <owl:Class rdf:about="#Human"/>
            <owl:Class rdf:about="#Male"/>
      </owl:intersectionOf>
</owl:Class>
```

OWL: Ontologie Web Language

- ≥ 2 HasChild.Human

```
<owl:Restriction>
     <owl:onProperty rdf:resource=“#hasChild”/>
     <owl:minCardinality rdf:about=“#Human”/>
          rdf:datatype=“&xsd:NonNegativeInteger”>2
     </owl:minCardinality>
</owl:Restriction>
```

L'ontologie Pizza en logique de description

$$\textsc{Pizza} \sqsubseteq \exists\, \mathsf{hasBase}.\textsc{PizzaBase}$$
$$\textsc{Pizza} \sqcap \textsc{PizzaBase} \equiv \bot$$
$$\textsc{NonVegetarianPizza} \equiv \textsc{Pizza} \sqcap \neg\textsc{VegetarianPizza}$$
$$Tr(\mathsf{isIngredientOf})$$
$$\mathsf{isIngredientOf} \equiv \mathsf{hasIngredient}^{-}$$

L I P 6 C N R S

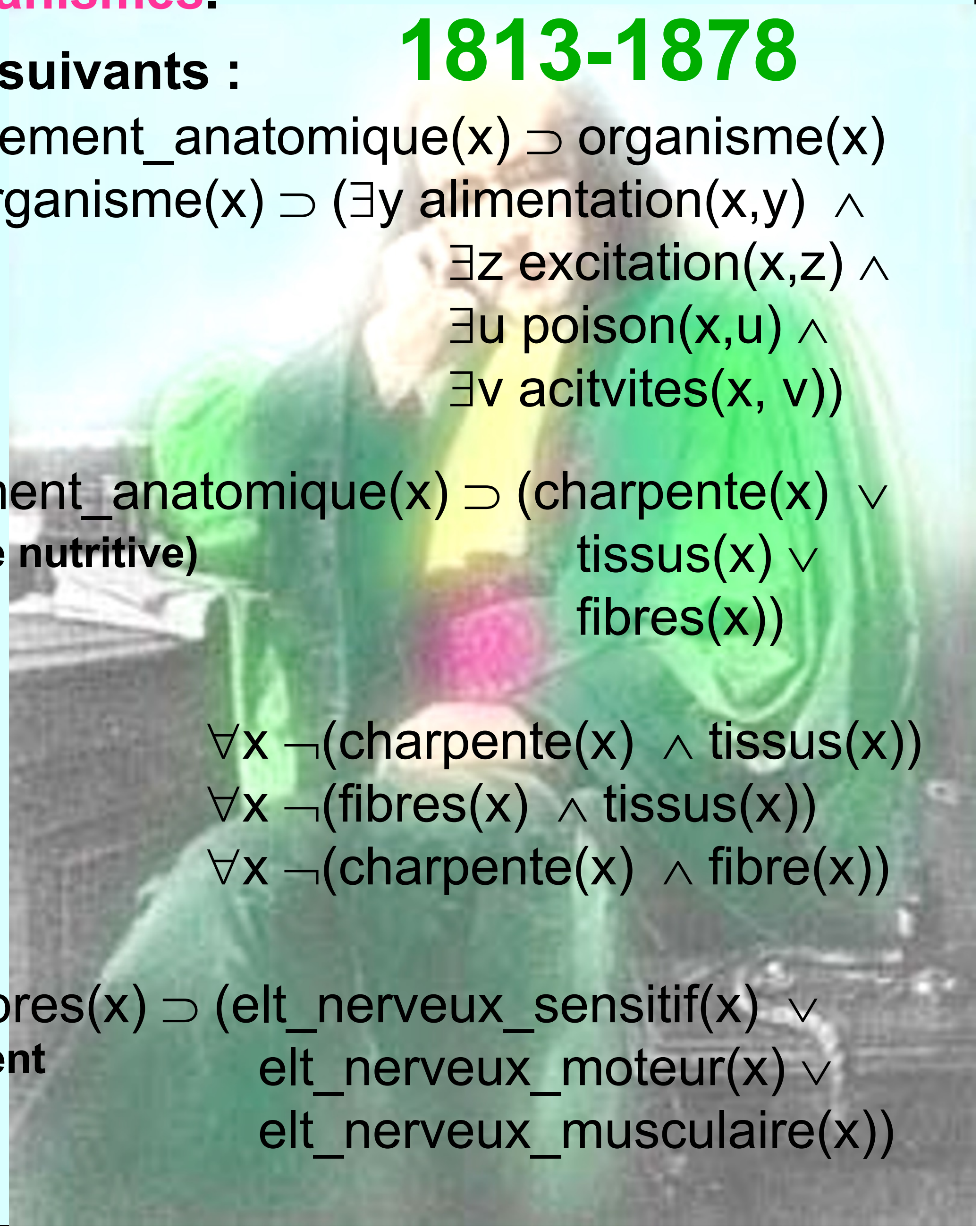
L’ontologie Pizza en OWL

```
<owl:Class rdf:about="#CaperTopping">
    <rdfs:label xml:lang="pt »>CoberturaDeCaper</rdfs:label>
    <rdfs:subClassOf>
        <owl:Class rdf:about="#VegetableTopping"/>
    </rdfs:subClassOf>
    <rdfs:subClassOf>
        <owl:Restriction>
            <owl:onProperty rdf:resource="#hasSpiciness"/>
            <owl:someValuesFrom rdf:resource="#Mild"/>
        </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

Un exemple tiré de Claude Bernard 1813-1878

- Un organisme est composé d'éléments anatomiques.
- Les éléments anatomiques sont des organismes.
- Les organismes possèdent les attributs suivants :
  - Mode d'alimentation
  - Mode d'excitation
  - Poisons
  - Activités
- Trois classes d'éléments anatomiques :
  - Charpente
  - Tissus glandulaires, muqueux, épithéliaux (vie nutritive)
  - Fibres musculaires ou nerveuses (vie active)
- Les fibres elles-mêmes se décomposent en trois catégories :
  - Eléments nerveux sensitifs ou intellectuels : perception, volonté
  - Eléments nerveux moteurs : transmission de l'influx
  - Eléments musculaires : contraction, mouvement

Un exemple tiré de Claude Bernard 1813-1878



- Un organisme est composé d'éléments anatomiques.
- Les éléments anatomiques sont des organismes.
- Les organismes possèdent les attributs suivants :
  - Mode d'alimentation
  - Mode d'excitation
  - Poisons
  - Activités

$$\forall x\ \mathrm{element\_anatomique}(x) \supset \mathrm{organisme}(x)$$

$$\forall x\ \mathrm{organisme}(x) \supset (\exists y\ \mathrm{alimentation}(x,y) \wedge \exists z\ \mathrm{excitation}(x,z) \wedge \exists u\ \mathrm{poison}(x,u) \wedge \exists v\ \mathrm{acitvites}(x, v))$$

- Trois classes d'éléments anatomiques :
  - Charpente
  - Tissus glandulaires, muqueux, épithéliaux (vie nutritive)
  - Fibres musculaires ou nerveuses (vie active)

$$\forall x\ \mathrm{element\_anatomique}(x) \supset (\mathrm{charpente}(x) \vee \mathrm{tissus}(x) \vee \mathrm{fibres}(x))$$

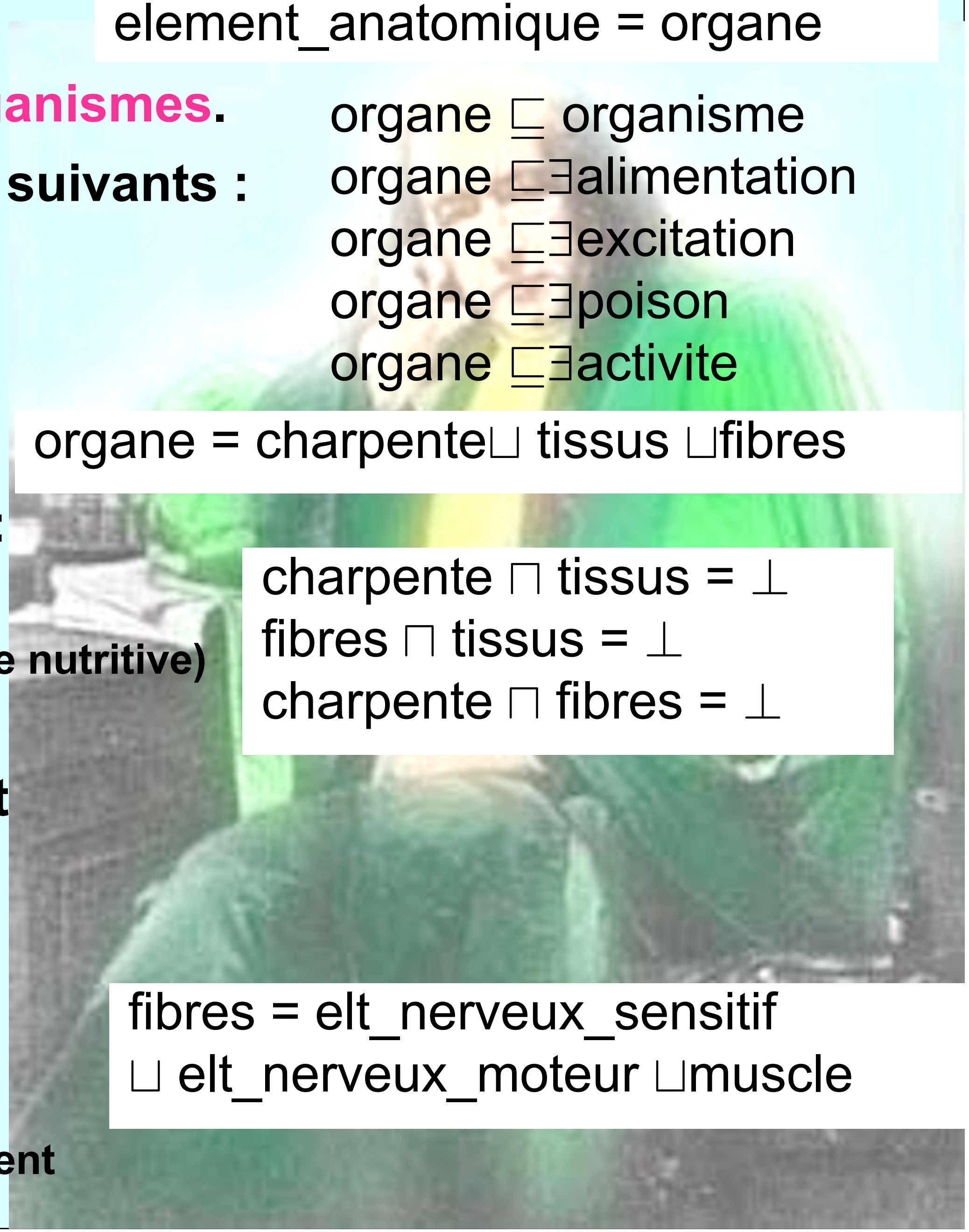
$$\forall x\ \neg(\mathrm{charpente}(x) \wedge \mathrm{tissus}(x))$$
$$\forall x\ \neg(\mathrm{fibres}(x) \wedge \mathrm{tissus}(x))$$
$$\forall x\ \neg(\mathrm{charpente}(x) \wedge \mathrm{fibre}(x))$$

- Les fibres elles-mêmes se décomposent en trois catégories :
  - Eléments nerveux sensitifs ou intellectuels : perception, volonté
  - Eléments nerveux moteurs : transmission de l'influx
  - Eléments musculaires : contraction, mouvement

$$\forall x\ \mathrm{fibres}(x) \supset (\mathrm{elt\_nerveux\_sensitif}(x) \vee \mathrm{elt\_nerveux\_moteur}(x) \vee \mathrm{elt\_nerveux\_musculaire}(x))$$

Un exemple tiré de Claude Bernard 1813-1878

- Un **organisme** est composé d’**éléments anatomiques**.
- Les **éléments anatomiques** sont des **organismes**.
- Les organismes possèdent les attributs suivants :
  - Mode d’alimentation
  - Mode d’excitation
  - Poisons
  - Activités
- Trois classes d’éléments anatomiques :
  - Charpente
  - Tissus glandulaires, muqueux, épithéliaux (vie nutritive)
  - Fibres musculaires ou nerveuses (vie active)
- Les fibres elles-mêmes se décomposent en trois catégories :
  - Eléments nerveux sensitifs ou intellectuels : perception, volonté
  - Eléments nerveux moteurs : transmission de l’influx
  - Eléments musculaires : contraction, mouvement



$organe \sqsubseteq \exists PARTIE.organisme$

$element\_anatomique = organe$

$organe \sqsubseteq organisme$

$organe \sqsubseteq \exists alimentation$

$organe \sqsubseteq \exists excitation$

$organe \sqsubseteq \exists poison$

$organe \sqsubseteq \exists activite$

$organe = charpente \sqcup tissus \sqcup fibres$

$charpente \sqcap tissus = \perp$

$fibres \sqcap tissus = \perp$

$charpente \sqcap fibres = \perp$

$fibres = elt\_nerveux\_sensitif \sqcup elt\_nerveux\_moteur \sqcup muscle$