Systèmes Experts 7
Prolog - Avancé

Richard.Moot@labri.fr
http://www.labri.fr/perso/moot/SE/

Prolog

- Prolog est un langage de Programmation en Logique
- On donne les définitions des rélations (prédicats) qui nous intéressent et grâce à ces définitions Prolog répond à nos questions.
- A cause de l'algorithme que Prolog utilise, des façons logiquement équivalents pour définir une relation ne donnent pas toujours le même programme

Rappel: Listes

- Liste
- []
- [1|[]]
- [1|[2|[]]]
- [1|[2|[3|[]]]]
- [1|[2|[3|[4|[]]]]]

- Version simple
- []
- [1]
- [1,2]
- [1,2,3]
- [1,2,3,4]

Rappel: Listes

```
% = append(Liste1, Liste2, Liste3)
%
% vrai si Liste3 contient les élements de Liste1
% suivi par les élements de Liste2, c'est-à-dire
% Liste3 est la concatenation de Liste1 et
% Liste2

append([], Ys, Ys).
append([X|Xs], Ys, [X|Zs]) :-
      append(Xs, Ys, Zs).
```

Rappel: Listes

```
% = reverse(Liste1, Liste2)
%
% vrai si Liste1 et Liste2 contiennent les mêmes
% éléments mais dans l'ordre inverse.

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, Rs0),
        append(Rs0, [X], Rs).
```

Rappel: Listes

```
reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

Rappel: Listes

```
?- reverse([a,b,c,d], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

X = a
Xs = [b,c,d]
Reverse = Rs

Rappel: Listes

```
?- reverse([a,b,c,d], Reverse).

reverse([], []).
reverse([a|[b,c,d]], Reverse) :-
        reverse([b,c,d], [a], Reverse).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

X = a
Xs = [b,c,d]
Reverse = Rs

Rappel: Listes

```
?- reverse([b,c,d], [a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

Rappel: Listes

```
?- reverse([b,c,d], [a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

X = b
Xs = [c,d]
Ys = [a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([b,c,d], [a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([b|[c,d]], [a], Reverse) :-
        reverse([c,d], [b|[a]], Reverse).
```

X = b
Xs = [c,d]
Ys = [a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([b,c,d], [a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([b,c,d], [a], Reverse) :-
        reverse([c,d], [b,a], Reverse).
```

X = b
Xs = [c,d]
Ys = [a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([c,d], [b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

Rappel: Listes

```
?- reverse([c,d], [b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

X = c
Xs = [d]
Ys = [b,a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([c,d], [b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([c,d], [b,a], Reverse) :-
        reverse([d], [c,b,a], Reverse).
```

X = c
Xs = [d]
Ys = [b,a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([d], [c,b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

X = d
Xs = []
Ys = [c,b,a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([d], [c,b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([d], [c,b,a], Reverse) :-
        reverse([], [d,c,b,a], Reverse).
```

X = d
Xs = []
Ys = [c,b,a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([], [d,c,b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

Rs = [d,c,b,a]
Rs = Reverse

Rappel: Listes

```
?- reverse([], [d,c,b,a], Reverse).

reverse([], []).
reverse([X|Xs], Rs) :-
        reverse(Xs, [X], Rs).

reverse([], Rs, Rs).
reverse([X|Xs], Ys, Rs) :-
        reverse(Xs, [X|Ys], Rs).
```

Reverse = [d,c,b,a]

Rappel: Listes

```
% = sous_liste(Partie, Totale)
%
% vrai si Totale contient Partie
```

C'est à dire :

```
sous_liste([a,b,c,d], [a,b,c,d,e,f,g]).
sous_liste([b,c,d], [a,b,c,d,e,f,g]).
sous_liste([f], [a,b,c,d,e,f,g]).
sous_liste([], [a,b,c,d,e,f,g]).
```

sont tous vrais.

Rappel: Listes

```
% = sous_liste(Partie, Totale)
%
% vrai si Totale contient Partie

sous_liste(Partie, Totale) :-
      append(Partie, _Apres, Liste),
      append(_Avant, Liste, Totale).
```

Rappel: Listes


```
% = sous_liste(Partie, Totale)
%
% vrai si Totale contient Partie

sous_liste(Partie, Totale) :-
      append(Partie, _Apres, Liste),
      append(_Avant, Liste, Totale).
```

Prolog

- On a déjà vu des concessions à l'efficacité, par exemple le calcul des expressions arithmétique avec "is" qui ne sont pas purement logique.
- Aujourd'hui on va voir des autres constructions qui ont qu'un sens procédurel : si on ne fait pas attention, elles peuvent détruire le sens logique des prédicats dont elles sont utilisés.

Prolog
Constructions non-logiques

- Les constructions non-logiques qu'on a déjà vu sont:
  - X is Expression
  - == et \==

Prolog
Constructions non-logiques

- Les constructions non-logiques qu'on a déjà vu sont:
  - X is Expression
  - == et \==

X is X0 + 1

"is" a un sens pour Prolog que quand on connaît la valeur de X0

Prolog
Constructions non-logiques

- Les constructions non-logiques qu'on a déjà vu sont:
  - X is Expression
  - == et \==

Contrairement à l'unification X == Y échoue quand X et Y sont deux variables qui peuvent dénoter des objets différents.

Prolog
Constructions non-logiques

- Les constructions non-logiques se divisent en plusieurs catégories:
  - entree/sortie (interaction avec fichiers et l'utilisateur)
  - contrôle (de la recherche des preuves)
  - introspection (verification de types)
  - meta-programmation (changements du base de données, etc.)

Prolog
Entrée/Sortie

- Les entrées et sorties se font grâce à quelque prédicats (comme "read" et "write") qui sont conçu juste pour ça.
- Les sens logique des ses prédicats est "true" (vrai) mais on s'intéresse plutôt aux effets de borne (side effects) qui sont généralement l'affichage ou la lecture des termes.

Prolog
Entrée/Sortie

- read(Terme) - Terme est une variable qui sera unifié avec un Terme lu du clavier; pour entrer ce Terme, l'utilisateur doit terminer par "." et Terme doit respecter le syntaxe des termes en Prolog
- write(Terme) - écrit Terme vers le terminal.
- writeln(Terme) - comme write(Terme), mais finit sur une nouvelle ligne; équivalent à write(Terme), nl

Prolog
Entrée/Sortie

- nl, saut de ligne
- writeln(Terme), équivalent à "write(Terme),nl"
- tab(Int), imprime Int espaces.

Prolog
Entrée/Sortie

```
% = write_liste(Liste)
% ecrit Liste vers le terminal, avec
% chaque element sur une ligne.

write_liste([]).
write_liste([X|Xs]) :-
        writeln(X),
        write_liste(Xs).
```

Prolog
Entrée/Sortie

- l'outil le plus puissant pour imprimer des termes est format(Atome, Liste) qui joue un rôle similaire à printf en C.
- Atome est un atome en Prolog, qui peut contenir plusieurs expressions du forme ~x qui on une interprétation qui dépend de x.
- Liste contient un nombre de termes qui dépend du nombre d'expressions ~x

Prolog
Entrée/Sortie

Exemple:

```
format('~w', [Terme])        % ~w = write
format('~w~n', [Terme])      % ~n = nl
format(' - ~w~n' [Terme])

        = write(' - '),
          write(Terme),
          nl
```

Prolog
Entrée/Sortie

```
% = write_liste(Liste)
% ecrit Liste vers le terminal, avec
% chaque element sur une ligne.

write_liste([]).
write_liste([X|Xs]) :-
        format(' - ~w~n', [X]),
        write_liste(Xs).
```

Prolog
Entrée/Sortie

- pour l'interaction avec l'utilisateur vous avez le droit d'utiliser un petit bibliothèque qui nous transformera les symboles entrées par l'utilisateur en liste de termes.
- ce bibliothèque traite les espaces et les symboles ponctuation comme séparateurs de mot

Prolog
Entrée/Sortie

Exemple

read_line(Liste)

|: Jean aime Marie, mais ce n'est pas depuis tres longtemps.

Liste = [jean, aime, marie, mais, ce, n, est, pas, depuis, tres, longtemps]

Prolog
Entrée/Sortie

- ceci nous permet de trouver des motifs dans le symboles entrées par l'utilisateur
- par exemple:
  - membre(bonjour, Liste)
  - sous_liste([mal,de,tete], Liste)

Prolog
Entrée/Sortie

Alors, les interactions peuvent être des choses comme :

```
start :-
        writeln('Bienvenu !'),
        writeln('Parlez-moi de votre problème').
        read_line(Mots),
        boucle(Mots).
```

Prolog
Entrée/Sortie

```
boucle(Mots) :-
        reponse(Mots),
        read_line(PlusDeMots),
        boucle(PlusDeMots).

reponse(Mots) :-
        membre(bonjour, Mots),
        writeln('Bonjour. Bien de vous revoir').
```

Prolog
Entrée/Sortie

```
reponse(Mots) :-
        membre(bonjour, Mots),
        writeln('Bonjour. Bien de vous revoir').
reponse(Mots) :-
        sous_liste([mal,de,tete], Mots),
        writeln('Prenez un aspirine').
reponse(Mots) :-
        sous_liste([mon,X], Mots),
        format('Parlez-moi plus de votre ~w~n', [X]).
```

Prolog
Entrée/Sortie

- Ce stratégie de réponse à base de la recherche de motifs ("pattern matching") a été utilisé par **Eliza**, un genre de psychiatre virtuel.
- Prolog permet l'analyse syntaxique plus profond, mais pour notre but (et pour votre projet) des règles comme on vient de voir vont suffire.

Prolog
Contrôle

- Prolog permet plusieurs constructions qui ont pour but de changer la façon dont Prolog cherche des preuves.
- Le plus important est la coupure "!" (en Anglais cut)
- Beaucoup d'autres constructions (comme le "if...then...else", la négation et "once") se définissent grâce à la coupure.

Prolog
Contrôle

- Attention : essayer d'éviter la coupure le plus possible !
- Un prédicat qui contient une coupure n'a pas d'interprétation logique (au moins pas nécessairement, contrairement aux clauses en Prolog "pure") : c'est-à-dire que le sens de la coupure est procédural

Prolog
Contrôle

- Il y a plusieurs raisons pour utiliser une coupure. Le plus important est l'efficacité : la coupure peut aider Prolog à éviter de faire des calculs inutiles.
- Mais, cherchez toujours d'abord une solution sans coupure.
- Et écrivez clairement dans le commentaire ce que la coupure est censée de faire.

Prolog
Contrôle

- Le sens de la coupure "!"
  - réussit toujours (comme "true")
  - toutes les solutions alternatives pour le prédicat (des clauses du même prédicat après celui-ci) sont éliminés.
  - toutes les solutions alternatives pour des prédicats qui apparaissent dans le clause avant la coupure sont éliminés.

Prolog
Entrée/Sortie

```
boucle([au,revoir]) :-
        !,
        fin.

boucle(Mots) :-
        reponse(Mots),
        !,
        read_line(PlusDeMots),
        boucle(PlusDeMots).
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
        auteur(X, _).
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
        auteur(X, _),
        !.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
      auteur(X, _),
      !.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
      auteur(X, _),
      !.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
      auteur(X, _),
      !.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
      auteur(X, _),
      !.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
	auteur(X, _),
	!.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
	auteur(X, _),
	!.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
	auteur(X, _),
	!.
```

Prolog
Contrôle

```
% = auteur(Auteur, Livre)
auteur(leo_tolstoy, anna_karenina).
auteur(leo_tolstoy, war_and_peace).

% = auteur(Auteur)
% vrai si Auteur est l'ecrivain d'au moins un livre

auteur(X) :-
	auteur(X, _),
	!.
```

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, Max).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y.

    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, Max).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y,
        !.
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, Max).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y,
        !.
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

X = 34
Y = 24
Max = X = 34

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 34).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(34,24,34) :-
        34 >= 24,
        !.
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

X = 34
Y = 24
Max = X = 34

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 34).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(34,24,34) :-              X = 34
        34 >= 24,                 Y = 24
        !.                    Max = X = 34
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 34).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(34,24,34) :-              X = 34
        34 >= 24,                 Y = 24
        !.                    Max = X = 34
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 34).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(34,24,34) :-              X = 34
        34 >= 24,                 Y = 24
        !.                    Max = X = 34
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 34).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(34,24,34) :-              X = 34
        34 >= 24,                 Y = 24
        !.                    Max = X = 34
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, Max).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,X) :-
      X >= Y,
      !.
max(X,Y,Y) :-
      Y > X.
```

X = 0
Y = 24
Max = X = 0

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, 0).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(0,24,0) :-
      0 >= 24,
      !.
max(X,Y,Y) :-
      Y > X.
```

X = 0
Y = 24
Max = X = 0

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, 0).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(0,24,0) :-
      0 >= 24,
      !.
max(X,Y,Y) :-
      Y > X.
```

X = 0
Y = 24
Max = X = 0

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, Max).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,X) :-
      X >= Y,
      !.
max(X,Y,Y) :-
      Y > X.
```

X = 0
Y = 24
Max = Y = 24

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, 24).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,X) :-
    X >= Y,
    !.
max(0,24,24) :-
    24 > 0.
```

X = 0
Y = 24
Max = Y = 24

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, 24).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,X) :-
    X >= Y,
    !.
max(0,24,24) :-
    24 > 0.
```

X = 0
Y = 24
Max = Y = 24

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, 24).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,X) :-
    X >= Y,
    !.
max(0,24,24) :-
    24 > 0.
```

X = 0
Y = 24
Max = Y = 24

Prolog
Contrôle

?- max(0, 24, 24).

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,X) :-
    X >= Y,
    !.
max(X,Y,Y) :-
    Y > X.
```

X = 0
Y = 24
Max = Y = 24

Prolog
Contrôle

```
?- max(0, 24, 24).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y,
        !.
    max(X,Y,Y) :-
        Y > X.
```

Si le test dans le premier clause échoue on peut être sûr que le test dans le deuxième clause réussit.

Prolog
Contrôle

```
?- max(0, 24, Max).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y,
        !.
    max(X,Y,Y).
```

Alors, on peut être tenté de supprimer le deuxième test.
Quel est le problème avec ce programme ?

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 24).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y,
        !.
    max(X,Y,Y).
```

Echec d'unification, car un ne peut pas unifier X à la fois avec 34 et avec 24.

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 24).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,X) :-
        X >= Y,
        !.
    max(X,Y,Y).
```

Réussit, car il n'y a plus de vérification que Y > X.

Prolog
Contrôle

```
?- max(34, 24, 24).

    % = max(X, Y, Z)
    % vrai si Z est le maximum de X et Y.

    max(X,Y,Z) :-
          X >= Y,
          !,
          Z = X.
    max(X,Y,Y).
```

Version correcte : unification explicite <u>après</u> la coupure.

Prolog
Contrôle

```
% = membre(Element, Liste)
%
% vrai si Liste contient Element.
% s'utilise pour chercher un Element, mais aussi
% pour enumerer les differents Elements

      membre(X, [X|_]).

      membre(X, [_|Ys]) :-
            membre(X, Ys).
```

Prolog
Contrôle

```
% = verifie_member(Element, Liste)
%
% vrai si Element est strictement egal a un
% des membres de Liste.

verifie_membre(X, [Y|_]) :-
      X == Y,
      !.
verifie_membre(X, [_|Ys]) :-
      verifie_membre(X, Ys).
```

Prolog
Contrôle

- Alors, quel est la différence entre
  - membre(a, [a,b,c]). ("member" est prédéfini et marche pareil)
  - verifie_membre(a, [a,b,c]). ("memberchk" est prédéfini et marche pareil)

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
_ = [b,c]

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
_ = [b,c]

Réussite directe, mais ...

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
_ = [b,c]

Prolog a encore le choix !

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
_ = [b,c]

C'est-à-dire, si on demande une autre solution ...

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
_ = [b,c]

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
_ = a
Ys = [b,c]

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(a, [_|[b,c]]) :-
membre(a, [b,c]).

X = a
_ = a
Ys = [b,c]

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [a,b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(a, [_|[b,c]]) :-
membre(a, [b,c]).

X = a
_ = a
Ys = [b,c]

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
X = b
échec!

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
Ys = [c]

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [b,c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
Ys = [c]

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
X = c
échec!

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, [c]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
Ys = []

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, []).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
Ys = []

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, []).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
[] \= [X|_]
échec!

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

?- membre(a, []).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
membre(X, Ys).

X = a
[_|Ys] \= []
échec

Prolog va essayer d'en trouver.

Prolog
Contrôle

```
?- membre(a, []).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
    membre(X, Ys).
```

X = a
[_|Ys] \= []
échec

Prolog va essayer d'en trouver.
Et ça prend de l'effort!

Prolog
Contrôle

```
?- membre(a, [a,a,a]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
    membre(X, Ys).
```

Deuxième problème potentiel: qu'est-ce qui ce passe avec la question en haut ?

Prolog
Contrôle

```
?- membre(a, [a,a,a]).

membre(X, [X|_]).

membre(X, [_|Ys]) :-
    membre(X, Ys).
```

Deuxième problème potentiel: qu'est-ce qui ce passe avec la question en haut ?

Prolog dit "oui", comme il faut, mais il le fait trois fois

Prolog
Contrôle

```
?- verifie_membre(a, [a,b,c]).

verifie_membre(X, [Y|_]) :-
    X == Y,
    !.

verifie_membre(X, [_|Ys]) :-
    verifie_membre(X, Ys).
```

X = a
Y = a
_ = [b,c]

Prolog
Contrôle

```
?- verifie_membre(a, [a,b,c]).

verifie_membre(X, [Y|_]) :-          X = a
      X == Y,                        Y = a
      !.                             _ = [b,c]

verifie_membre(X, [_|Ys]) :-
      verifie_membre(X, Ys).
```

Prolog
Contrôle

```
?- verifie_membre(a, [a,b,c]).

verifie_membre(X, [Y|_]) :-          X = a
      X == Y,                        Y = a
      !.                             _ = [b,c]

verifie_membre(X, [_|Ys]) :-
      verifie_membre(X, Ys).
```

Prolog
Contrôle

```
?- verifie_membre(a, [a,b,c]).

verifie_membre(X, [Y|_]) :-          X = a
      X == Y,                        Y = a
      !.                             _ = [b,c]

verifie_membre(X, [_|Ys]) :-
      verifie_membre(X, Ys).
```

Prolog
Contrôle

- une <u>coupure vert</u> est une coupure qui élimine des démonstrations, mais n'élimine pas de solutions : c'est à dire qu'il aide Prolog à éviter des démonstrations qui ne peuvent pas réussir.
- une <u>coupure rouge</u> est un coupure qui élimine des démonstrations mais aussi des solutions.

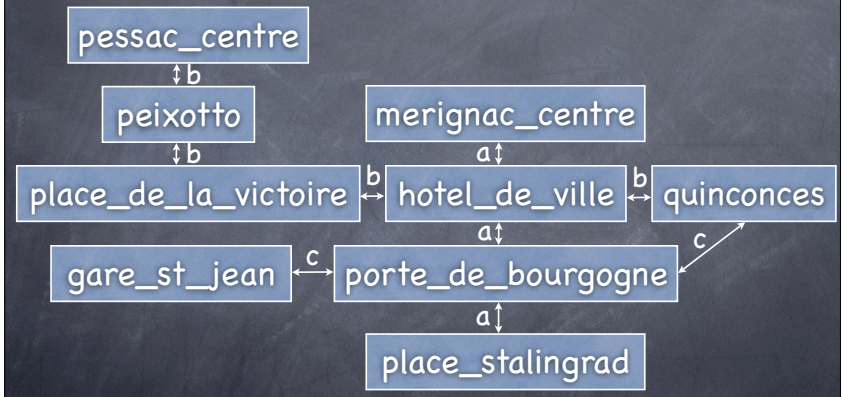
Prolog
Contrôle - négation

- On a vu que les clauses de Horn sont une restriction sur des formules en forme normale disjonctive tel que il y a exactement un littéral positif par clause.
- La négation en Prolog est une remédie partielle pour permettre d'avoir plusieurs littéraux positifs dans un clause.

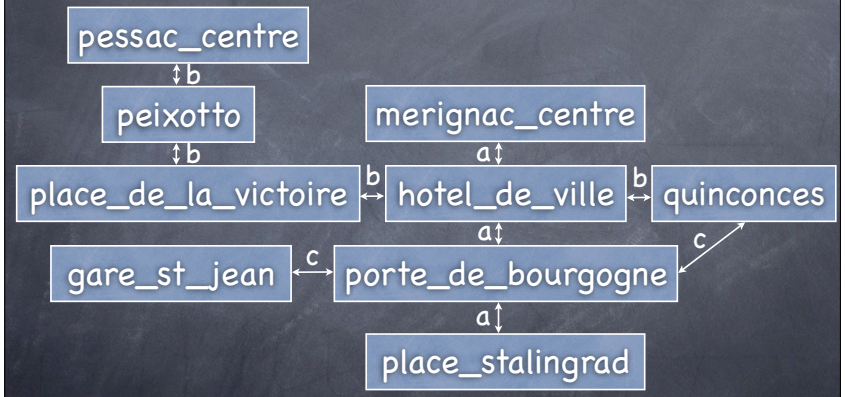
Prolog
Contrôle - négation

- La négation comme il est présent dans Prolog s'appelle "négation as failure" : une littéral est faux quand il n'y a pas de preuve pour démontrer qu'il est vrai.
- C'est pour ça que l'inverse de "true" (vrai) ne s'appelle pas "false" (faux) mais "fail" (échec).

Tramway



Tramway



connexion(place_stalingrad, porte_de_bourgogne, a).

Tramway

On peut prendre chaque connexion dans les deux sens

```
connexion_sym(Source, Destination, Ligne) :-
        connexion(Source, Destination, Ligne).
connexion_sym(Source, Destination, Ligne) :-
        connexion(Destination, Source, Ligne).

connexion(place_stalingrad, porte_de_bourgogne, a).
connexion(porte_de_bourgogne, gare_st_jean, c).
...
```

Tramway

```
chemin(Source, Destination) :-
        connexion(Source, Destination, _).
chemin(Source, Destination) :-
        connexion(Source, Arret, _),
        chemin(Arret, Destination).
```

Tramway

```
chemin(Source, Destination) :-
        connexion(Source, Destination, _).
chemin(Source, Destination) :-
        connexion(Source, Arret, _),
        chemin(Arret, Destination).
```

Quel est le problème avec ce programme ?

Tramway

```
?- chemin(place_stalingrad, peixotto, Chemin).


chemin(Source, Destination, Chemin) :-
        chemin(Source, Destination, [], Chemin).

chemin(Source, Destination, Chemin0, Chemin) :-
        reverse(Chemin0, Chemin).
chemin(Source, Destination, Chemin0, Chemin) :-
        connexion_sym(Source, Arret, Ligne),
        \+ member(c(Arret,_,_), Chemin0),
        chemin(Arret, Destination,
                [c(Source,Arret,Ligne)|Chemin0], Chemin).
```

Prolog
Contrôle - négation

- On peut définir la négation avec la coupure et "fail" (l'inverse de "true", l'atome dont la preuve échoue directement.

Prolog
Contrôle - négation

```
non_membre(Element, Liste) :-
        membre(Element, Liste),
        !,
        fail.
non_membre(_Element, _Liste).
```

Prolog
Contrôle - négation

- Faites attention à la négation s'il y a un terme avec des variables libres. Le but
  \+ auteur(leo_tolstoy, Livre)
  ne veut pas dire "quels sont les livres qui ne sont pas écrit par leo_tolstoy" mais "il n'y a pas de livre dont leo_tolstoy est l'écrivain.

Prolog
Contrôle - négation

```
non_auteur(Ecrivain, Livre) :-
        auteur(Ecrivain, Livre),
        !,
        fail.
non_auteur(_Ecrivain, _Livre).
```

Prolog
Contrôle - if then else

```
% = max(X, Y, Z)
% vrai si Z est le maximum de X et Y.

max(X,Y,Z) :-
      X >= Y,
      !,
      Z = X.
max(X,Y,Y).
```

Prolog
Contrôle - if then else

```
% = max(X, Y, Z)

max(X,Y,Z) :-
   (
      X >= Y
   ->
      Z = X
   ;
      Z = Y
    ).
```

Prolog
Introspection

- Il y a plusieurs prédicats en Prolog qui permettent de déterminer le type d'un terme.
  - var(X), vrai si X est une variable libre
  - atomic(X), vrai si X est une terme atomaire (constante, nombre entier ou réel)
  - compound(X), vrai si X est une terme complexe (du forme f(A,B))

Prolog
Introspection

- Un liste L est dit un liste propre si est seulement si L ne contient pas de sous-listes qui sont des variables libres.
- Alors [], [X,a] et [X,Y,Z] sont des listes propres.
- Mais X, [a|Y] et [a,b,c|Z] ne sont pas propres.

Prolog Introspection

```
% = est_liste_propre(Terme)
% vrai si Terme est un liste propre

est_liste_propre(Var) :-
      var(Var),
      !,
      fail.
est_liste_propre([]).
est_liste_propre([_|L]) :-
      est_liste_propre(L).
```

Prolog Introspection

- On a déjà vu que le syntaxe pour les termes (nos structures de données) et les prédicats (nos éléments de programmes) sont similaires.
- Le prédicat call(Terme) prend son argument Terme et l'appelle comme un prédicat.
- call(Terme) se généralise à call(Terme, Arg), call(Terme, Arg1, Arg2) etc.

Prolog Introspection

- Qu'est-ce que ça veut dire ?
  - call(append([a,b],[c,d],Ys))
    est équivalent à append([a,b],[c,d],Ys)
  - call(append, [a,b], [c,d], Ys)
    est aussi équivalent à append([a,b],[c,d],Ys)
  - call(parent, X, Y)
    est équivalent à parent(X,Y)

Prolog Introspection

```
% = map(Liste1, Predicat, Liste2)
%
% applique Predicate(Element1, Element2)
% a chaque element de Liste1 pour obtenir un
% element pour Liste2.

map([], _, []).
map([X|Xs], P, [Y|Ys]) :-
      call(P, X, Y),
      map(Xs, P, Ys).
```

Prolog
Meta-programmes

- call(Terme) nous permet de traiter un terme comme un prédicat (partie du programme) et d'essayer de faire la preuve qui en correspond.
- les prédicats assert(Terme) et retract(Terme) vont plus loin en nous permettent de changer le programme.

Prolog
Meta-programmes

- alors le prédicat
  assert(parent(jean,marie))
  nous ajoute le prédicat
  parent(jean,marie)
  à notre programme. Si parent(jean,marie) était faux (ou ne pas démontrable) avant, il sera vrai après l'assert.

Prolog
Meta-programmes

- si l'ordre des clauses est important, on peut utiliser deux variants d'assert :
  - asserta(Clause) ajoute Clause au début des clauses pour le prédicat,
  - assertz(Clause) ajoute Clause à la fin.

Prolog
Meta-programmes

- inversement, le prédicat
  retractall(parent(_,_))
  supprime tout les clauses du forme parent(X,Y).
- après il n'y aura aucun fait du forme parent(X,Y) dans la base de données.

Prolog
Meta-programmes

- assert et retract sont utiles pour enregistrer des données de façon permanente.
- alors ils peuvent servir pour avoir une base de données dynamique (où les données peuvent changer)
- mais aussi pour faire la tabulation : pour enregistrer les résultats de calcul intermédiaire et ainsi d'éviter de recalculer de résultats.

Prolog
Meta-programmes

```
toutes_solutions(Pred, Solutions) :-
        call(Pred),
        assertz(solution_file(Pred)),
        fail.
toutes_solutions(_Pred, Solutions) :-
        assertz(solution_file(fin)),
        recuperer_solutions(Solutions).
```

Prolog
Meta-programmes

```
recuperer_solutions(Solutions) :-
      retract(solution_file(Element)),
  (
      Element = fin
  ->
      Solutions = []
  ;
      Solutions = [Element|Sols0],
      recuperer_solutions(Sols0)
  ).
```

Prolog
Meta-programmes

- les prédicats findall, bagof et setof (partie de SWI Prolog et beaucoup d'autres) généralisent le prédicat toutes_solutions

Prolog
Un mini Système Expert

- tout ceci nous donne les bons outils pour programmer un système expert.
- je vous donnerai un petit exemple très simple, mais qui sera facile à étendre.

Prolog
Un mini Système Expert

- l'architecture est la suivante :
  - le système expert est dans un certain état,
  - suivant la réponse de l'utilisateur le système expert change d'état et pose une nouvelle question ou donne une réponse.
  - chaque état à une petite explication qui explique le pourquoi de la question ou de la réponse.