Ecriture en Prolog d'un démonstrateur basé sur l'algorithme des tableaux pour la logique de description *ALC*

Quelques rappels préliminaires

I - Logique de description *ALC*

1) Alphabet

- Concepts atomiques : A, B, C, …
- Rôles atomiques : R, S, U, V , …
- Symboles : {⊔, ⊓, ∃, ∀, ¬, ⊤, ⊥, . }
- Instances de concepts : a, b, …

2) Base de connaissances

- TBox - Axiomes terminologiques :
  Définitions : C ≡ D
  Subsomptions : C ⊑ D (se lit C est subsumé par D)
- ABox - Assertions :

Assertions de concepts : a : C
Assertions de rôles : 〈a, b〉 : R

3) Grammaire

concept ::= 〈concept atomique〉
| ⊤
| ⊥
| ¬ 〈concept〉
| 〈concept〉 ⊔ 〈concept〉
| 〈concept〉 ⊓ 〈concept〉
| ∃ 〈rôle〉 . 〈concept〉
| ∀ 〈rôle〉 . 〈concept〉

4) Sémantique de ∃ et ∀

Etant donnée une interprétation $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, .^{\mathcal{I}})$, on a :

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

Exemple 1 - Avoir au moins un enfant qui est humain : ∃a_enfant.Humain.

Exemple 2 - Ne pas avoir d'enfants qui sont humains (on peut toutefois en avoir qui ne soient pas humains) : ¬∃a_enfant.Humain.

$(\forall R.C)^I = \{x \in \Delta^I \mid \forall y, (x, y) \in R^I \rightarrow y \in C^I\}$.

Exemple 1 - Avoir uniquement des enfants humains (mais ne pas nécessairement en avoir) :
∀a_enfant.Humain

Exemple 2 - Ne avoir pas uniquement des enfants humains (ie avoir au moins un enfant qui ne soit pas humain) : ¬∀a_enfant.Humain

II - Algorithme des tableaux pour la logique de description $\mathcal{ALC}$

1) Règles de réécriture

Etant donné un ensemble de formules F écrites en $\mathcal{ALC}$ sous forme normale négative,

	Si F contient	Ajouter a F
(Règle-⊓)	a : C ⊓ D	a : C et a : D
(Règle-⊔)	a : C ⊔ D	a : C ou a : D (deux branches)
(Règle-∀)	a : ∀R.C et 〈a, b〉 : R	b : C
(Règle-∃)	a :∃R.C	〈a, b〉 : R et b : C, où b est un nouvel objet

2) Principe de l'algorithme

L'algorithme consiste à developper l'arbre de démonstration en appliquant récursivement les règles précédentes.

Une branche est dite *fermée*, si elle contient deux assertions a : A et a : ¬A.
Une branche est dite *complète*, si plus aucune règle ne s'applique.
L'algorithme s'arrête, si toutes les branches sont fermées ou si une branche est complète.
L'ensemble de formules F est *insatisfiable* si et seulement si toutes les branches de l'arbre sont fermées.

III - Le prédicat cut (noté '!') en Prolog

Le prédicat ! est le coupe-choix. Normalement, Prolog doit fournir toutes les instantiations possibles de toutes les variables apparaissant dans le but qu'on lui demande de vérifier.
Illustrons ce processus :

Soit la base de faits et de règles suivante :
homme(nicolas).
homme(fabien).
femme(magali).
femme(caroline).
enfant(chloe).
enfant(justine).

On cherche à former une famille fictive pour jouer dans un film avec un homme pour le père, une femme pour la mère et un enfant tenant le rôle de l'enfant du couple.
On définit :
famille(X,Y,Z) :- homme(X), femme(Y), enfant(Z).
On soumet à Prolog le but : famille(X,Y,Z).

famille(X,Y,Z)

homme(X)	femme(Y)	enfant(Z)
X=nicolas.	Y=magali	Z=chloe

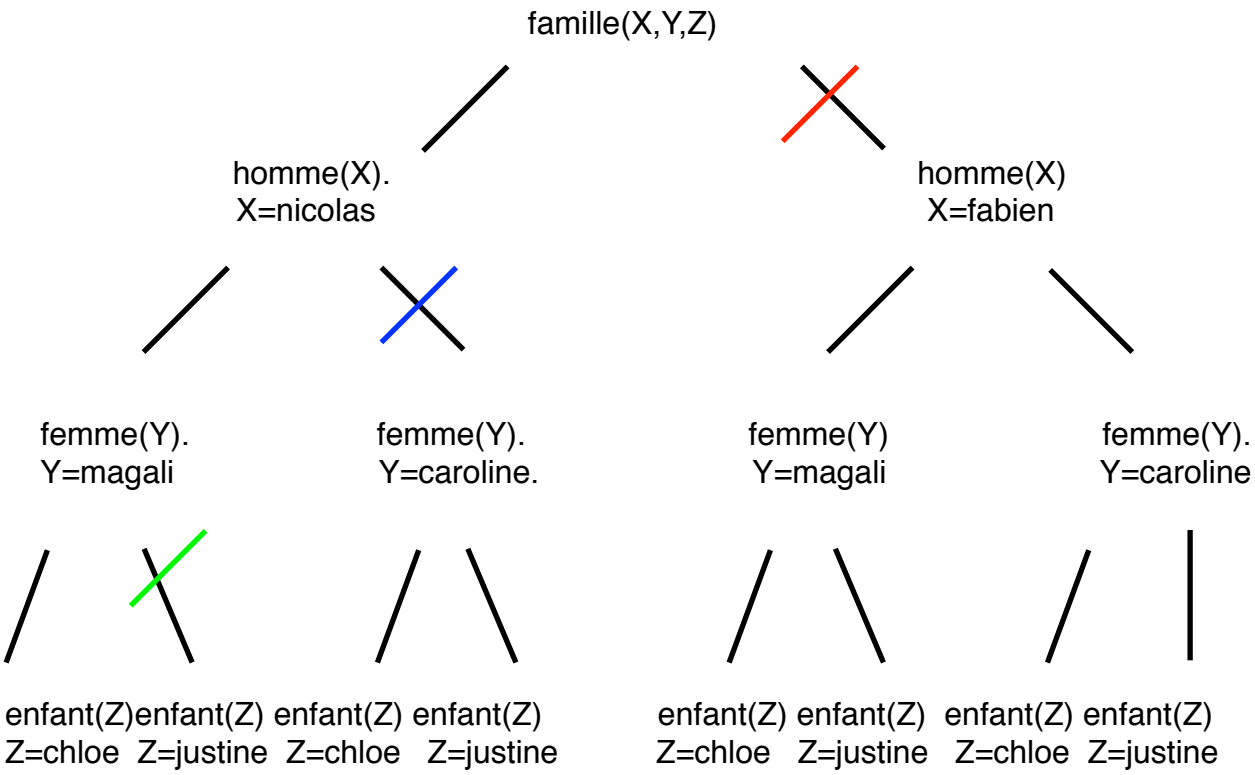
……..

1ère solution : X=nicolas,Y=magali,Z=chloe
Après avoir trouvé cette solution, Prolog va revenir sur le dernier choix réalisé, c'est-à-dire le choix de la clause enfant(chloe).
et il va faire le choix de la clause suivante dans l'ordre des clauses du prédicat enfant :
enfant(justine).

2ème solution : X=nicolas,Y=magali,Z=justine
Ayant épuisé tous les choix possibles pour la variable Z du dernier prédicat, enfant, Prolog va revenir sur le choix antérieur, celui de la variable Y et il va instancier Y grâce à la seconde clause du prédicat femme : femme(caroline) et va essayer à nouveau d'instancier la variable Z à l'aide des 2 clauses du prédicat enfant pour générer 2 solutions supplémentaires et ainsi de suite. Il reviendra ensuite sur l'instantiation de la variable X. Ces retours sur les choix sont appelés des backtracks.

Par défaut, Prolog backtracke systématiquement sur le choix des valeurs affectées aux variables libres, c'est-à-dire à instancier.

Le prédicat prédéfini cut, qui s'écrit '!', permet de « couper les choix » de la façon suivante. Lorsque l'on met un cut dans la partie droite d'une clause Prolog parmi les autres prédicats de cette partie, on indique à Prolog de ne pas backtracker sur les instantiations possibles des prédicats qui se trouvent avant le cut dans la partie droite de la clause, ainsi que de ne pas backtracker sur les instantiations de la tête de la clause.
Si l'on schématise les instantiations dans l'exemple précédent par l'arbre suivant :



Le parcours de cet arbre en profondeur d'abord schématise l'enchaînement des backtracks effectués par Prolog sur les instantiations des variables X, Y et Z.

Si l'on écrit la clause :
famille(X,Y,Z) :- homme(X), !, femme(Y), enfant(Z).
on va supprimer le backtrack sur les instantiations possibles du prédicat homme, donc on ne va pas explorer la branche droite partant de famille(X,Y,Z), c'est-à-dire que l'on n'examine pas l'instantiation de la variable X avec fabien, ni a fortiori les instantiations possibles à partir de là pour Y et Z. On a donc coupé la branche où figure le trait rouge.
Les solutions trouvées sont, dans l'ordre :
(nicolas,magali,chloe), (nicolas,magali,justine),(nicolas,caroline,chloe),
(nicolas,caroline,justine)

Si l'on écrit la clause :
famille(X,Y,Z) :- homme(X), femme(Y), !, enfant(Z).
on coupe alors les choix possibles sur les variables X et Y des prédicats homme et femme qui se trouvent avant le cut.
Dans ce cas, non seulement la « branche rouge » est coupée (non explorée), mais aussi la branche bleue.
Les solutions trouvées sont, dans l'ordre :
(nicolas,magali,chloe), (nicolas,magali,justine)

Enfin, si l'on écrit la clause :
famille(X,Y,Z) :- homme(X), femme(Y), enfant(Z), !.
on coupe aussi les choix possibles pour la variable Z du prédicat enfant situé avant le cut.
Dans ce cas, les branches rouge, bleue et verte sont coupées.
La seule solution trouvée est :
(nicolas,magali,chloe)

Mettre un cut en dernier prédicat de la partie droite d'une clause revient à demander à Prolog une seule solution pour l'instantiation du but exprimé par la tête de la clause en question.

Structure du programme Prolog implémentant le démonstrateur

Partie 1 - Préliminaires

Dans cette partie, on va préparer une Tbox et une Abox à partir desquelles on testera le programme réalisé en lui fournissant une proposition à démontrer.
La Tbox et la Abox seront représentées grâce aux prédicats Prolog suivants :

- `equiv(ConceptAtom,ConceptGen)`
qui précise les équivalences entre concepts, le premier paramètre étant un concept atomique et le second un concept quelconque (au sens de la grammaire des concepts, voir plus loin) auquel il est équivalent.

- `inst(Instance,ConceptGen)`
qui précise les instantiations de concepts.

- `instR(Instance1, Instance2, role)`
qui précise instantiations de rôles.

- `cnamea(ConceptAtom)`
qui précise les identificateurs des concepts atomiques.

- `cnamena(ConceptNonAtom)`
qui précise les identificateurs des concepts non atomiques

- `iname(Instance)`
qui précise les identificateurs des instances.

- `rname(Role)`
qui précise les identificateurs des rôles.

On notera que dans la Tbox, nous ne représenterons pas de relations de subsumption, par souci de simplification.
On constituera un fichier .pl représentant la Tbox et la Abox de l'exercice 3 du TD4.
Ce fichier sera systématiquement chargé avant de pouvoir utiliser le démonstrateur à développer. Bien entendu, si l'on souhaite tester le démonstrateur avec une autre Tbox et une autre Abox, il suffira de créer un nouveau fichier .pl les représentant et de charger ce fichier avant d'utiliser le démonstrateur.

Attention !
Remarque 1 :
Vous devez vous assurer que les définitions de concepts données pour la Tbox ne sont pas circulaires, c'est-à-dire auto-référentes, sinon vous risquez le bouclage dans le traitement des expressions de concepts.
Vous pouvez, dans cette intention, écrire un prédicat **`autoref(C,D)`** qui teste si le concept C apparait directement ou indirectement dans la définition D.
Si la tâche vous paraît trop ardue, prenez soin de ne pas avoir de définition circulaire pour les concepts définis dans la Tbox.

Exemples de définitions de concepts circulaires :
sculpture ≡ objet ⊓ ∀cree_par.sculpteur
sculpteur ≡ personne ⊓ ∃a_cree,sculpture

Si l'on remplace l'identificateur du concept complexe sculpteur par sa définition dans la définition du concept complexe sculpture, on obtient :

sculpture ≡ objet ⊓ ∀cree_par.(personne ⊓ ∃a_cree,sculpture)
C'est ce que l'on appelle une Tbox définitoire avec cycles, qu'il faut éviter.

Remarque 2 :
On peut considérer que la Tbox et la Abox données par le biais d'un fichier sont correctes, dans le sens où l'expression des concepts utilisés (les concepts non atomiques en particulier) est correcte sur le plan syntaxique et sur le plan sémantique.
Par contre, comme on le verra plus loin, il est nécessaire de vérifier la correction syntaxique et la correction sémantique des expressions que l'utilisateur entrera au clavier lorsqu'il sera sollicité pour fournir une proposition à démontrer. Les prédicats que l'on créera à cet effet seront donc utilisables également pour vérifier la correction de la Tbox et de la Abox chargées par fichier, ce qui constitue tout de même une bonne précaution.

Remarque 3 :
On n'oubliera pas de lister dans les clauses donnant les identificateurs de concepts atomiques (prédicat **`cnamea`**) les identificateurs **`anything`** et **`nothing`** qui correspondent respectivement à ⊤ et ⊥.

Partie 2 - Saisie de la proposition à démontrer

I - Types de propositions à prouver

Cette partie a pour but d'acquérir la proposition à prouver à l'aide du démonstrateur.

Cette proposition peut revêtir deux formes :

- L'instance I appartient au concept C (I : C).

- Les concepts C1 et C2 ont une intersection vide (C1 ⊓ C2 ⊑ ⊥).

I est désignée par son identificateur et les concepts peuvent être désignés par leur identificateur ou leur définition sous forme d'expression selon la grammaire des concepts.

Le principe est le même dans les deux cas pour démontrer la proposition, à l'aide de la méthode des tableaux : on ajoute sa négation aux assertions de concepts et aux assertions de rôles de la Abox et l'on démontre que l'ensemble est insatisfiable.

La définition d'un concept dans une telle proposition est donnée en notation préfixée lorsque l'on utilise un opérateur binaire portant sur deux concepts comme intersection ou union.

Par exemple, pour exprimer : A ⊓ B, on utilise and(A,B).

De même, pour A ⊔ B, on utilise or(A,B), pour ¬A, not(A).

De façon analogue, pour des définitions de concepts comportant ∃ ou ∀ :

- pour ∃R:C, l'expression donnée sera : some(R,C)
- pour ∀R:C, l'expression donnée sera : all(R,C)

1er cas

Proposition de type : I : C

La négation de cette proposition que l'on doit ajouter aux assertions de la Abox est : I : ¬C

Avant d'ajouter cette proposition à la Abox, il est nécessaire d'effectuer le traitement suivant sur le concept ¬C :

a) remplacer de manière récursive les identificateurs de concepts complexes par leur définition,

b) mettre les expressions obtenues sous forme normale négative.

2ème cas

Proposition de type : C1 ⊓ C2 ⊑ ⊥

La négation de cette proposition est : ∃ inst, inst : C1 ⊓ C2

De même que dans le cas précédent, il faut traiter de façon similaire l'expression du concept C1 ⊓ C2, avant d'ajouter l'assertion de concept à la Abox.

II - Traitement à effectuer sur la proposition à ajouter dans la Abox

2-1) Remplacement des noms de concepts complexes et vérification de la correction syntaxique et sémantique

Lorsque l'on est en début de démonstration et que l'on a la proposition à ajouter à la Abox à partir de celle fournie par l'utilisateur, en même temps que le traitement a) précédent, il est nécessaire de vérifier la correction sémantique et syntaxique de cette proposition.

• Pour ce qui est de la **correction sémantique**, on pourra la vérifier avec les prédicats `cnamea, cnamena, iname,rname,` c'est-à-dire que l'on vérifiera que tout identificateur de concept, d'instance, de rôle en est bien un, car on peut avoir facilement la liste des identificateurs des concepts atomiques, celle des concepts non atomiques, celle des instances et celles des relations.

A cet effet, on pourra utiliser le très pratique prédicat **`setof`** .

`setof(Motif, But, Liste)`

setof/3 crée une liste des instantiations de Motif par retours arrières sur But et unifie le résultat dans Liste. Si le But n'a pas de solution, **setof** retournera la liste vide []. Il y a suppression des doublons.
Exemple : On veut récupérer la liste des instances de la Abox précédente.
On soumet à Prolog le but suivant :
setof(X, iname(X),L).
On va avoir pour réponse : L=[david, vinci, joconde, sonnets, michelAnge]

• Pour ce qui est de la **correction syntaxique**, on dispose de la grammaire des concepts donnée en rappel, on va voir au paragraphe suivant comme il est facile en Prolog de transposer une grammaire en un analyseur syntaxique.

2-2) Mise sous forme normale négative
Il s'agit de transformer une proposition de telle sorte que, s'il y a des négations dans l'expression d'un concept, elles portent directement sur un concept atomique.

On va examiner la façon de concevoir la définition d'un prédicat qui met sous forme normale négative un concept ou la négation d'un concept, ce concept étant lui-même défini selon la grammaire des concepts en $\mathcal{ALC}$, vue dans les rappels.

Voici les règles de mise sous forme normale négative (nnf : negative normal form) d'un concept. On envisage tous les cas pour l'expression possible du concept (on constatera le caractère récursif de la définition de la fonction nnf) :

nnf(not(and(C1,C2))) ::= or(nnf(not(C1)),nnf(not(C2)))	(1)
nnf(not(or(C1,C2))) ::= and(nnf(not(C1)),nnf(not(C2)))	(2)
nnf(not(all(R,C)))= some(R,nnf(not(C)))	(3)
nnf(not(some(R,C)))=all(R,nnf(not(C)))	(4)
nnf(not(not(C))=C	(5)
nnf(not(C))=not(C), si C est un concept atomique	(6)
nnf(and(C1,C2))=and(nnf(C1),nnf(C2))	(7)
nnf(or(C1,C2))=or(nnf(C1),nnf(C2))	(8)
nnf(some(R,C))=some(R,nnf(C))	(9)
nnf(all(R,C))=all(R,nnf(C))	(10)
nnf(C)=C si C est un concept atomique	(11)

Exemple : Soit le concept C dont la définition est la suivante :
C = personne ⊓ (¬(∃a_ecrit.livre) ⊓ (∃a_edite.livre))

Avec une notation préfixée :
C = and(personne,and(not(some(a_ecrit,livre)),some(a_edite,livre)))

Mettons sous nnf la négation de C :
nnf(not(C)) =
nnf(not(and(personne,and(not(some(a_ecrit,livre)),some(a_edite,livre)))))
(par la règle 1)
or(nnf(not(personne)),nnf(not(and(not(some(a_ecrit,livre)),some(a_edite,livre)))))=
(par les règles 6 et 1)
or(not(personne),or(nnf(not(not(some(a_ecrit,livre)))),nnf(not(some(a_edite,livre)))))=
(par la règle 5)
or(not(personne),or(nnf(some(a_ecrit,livre)),nnf(not(some(a_edite,livre)))))=
(par les règles 9 et 4)
or(not(personne),or(some(a_ecrit,nnf(livre)),all(a_edite,nnf(not(livre))))=
(par les règles 11 et 6)
or(not(personne),or(some(a_ecrit,livre),all(a_edite,not(livre))))

et voici la définition du prédicat nnf en Prolog :

```
nnf(not(and(C1,C2)),or(NC1,NC2)):- nnf(not(C1),NC1),
nnf(not(C2),NC2),!.
nnf(not(or(C1,C2)),and(NC1,NC2)):- nnf(not(C1),NC1),
nnf(not(C2),NC2),!.
nnf(not(all(R,C)),some(R,NC)) :- nnf(not(C),NC),!.
nnf(not(some(R,C)),all(R,NC)):- nnf(not(C),NC),!.
nnf(not(not(X)),X):-!.
nnf(not(X),not(X)):-!.
nnf(and(C1,C2),and(NC1,NC2)):- nnf(C1,NC1),nnf(C2,NC2),!.
nnf(or(C1,C2),or(NC1,NC2)):- nnf(C1,NC1), nnf(C2,NC2),!.
nnf(some(R,C),some(R,NC)):- nnf(C,NC),!.
nnf(all(R,C),all(R,NC)) :- nnf(C,NC),!.
nnf(X,X).
```

Il est calqué sur la définition de la fonction nnf précédente.

Pourquoi avoir mis systématiquement un prédicat de coupure de choix, !, en fin de clause dans toutes les clauses sauf la dernière?
Chacune des clauses correspond à un cas pour l'expression du concept dont on cherche la forme normale négative. Etant donné donc un concept, pour utiliser une des formules de « calcul » exprimées par les clauses, il faut que l'expression du concept s'unifie avec le premier argument du prédicat nnf de cette clause. Si l'on a trouvé une telle clause, il n'est pas nécessaire d'aller trouver une autre solution, donc une autre clause, pour calculer encore la nnf de notre concept, puisque cette dernière est unique. On peut ainsi mettre un cut en dernière position dans les parties droites des clauses.
Il faut toutefois examiner ce processus plus finement. Si l'on regarde par exemple la première clause et les 4 suivantes, on s'aperçoit que si notre concept s'unifie avec l'expression `not(inter(C1,C2))`, il ne risquera pas de s'unifier avec le premier argument du prédicat nnf dans les clauses suivantes. L'intérêt de mettre un cut est simplement d'éviter à Prolog d'aller examiner ces clauses et de tenter une unification vouée à l'échec.

Par contre, regardons la clause :
`nnf(not(X),not(X)) :- !.`

Un concept de la forme `not(and(C1,C2))` ou `not(or(C1,C2))` ou `not(some(R,C))`, par exemple, peut s'unifier avec le premier argument du prédicat nnf de cette clause et si Prolog tentait d'utiliser cette clause, il déduirait que la nnf de ce concept est lui-même, ce qui est faux !
C'est pour éviter cela que l'on a mis un cut à la fin des clauses précédentes. De ce fait, on est sûr que si Prolog tente d'utiliser cette clause, c'est que le concept en question commence par une négation, mais qu'après on ne trouve pas dans son expression ni and, ni or, ni all, ni some, ni non, cas qui auraient été traités dans les clauses précédentes, c'est donc un concept atomique et alors la nnf de sa négation est sa négation elle-même.

Pour vérifier la syntaxe des concepts donnés par l'utilisateur au clavier, on utilisera un analyseur syntaxique construit sur la grammaire des concepts donnée dans les rappels. Son écriture sera analogue à celle du prédicat nnf précédent, à ceci prêt que le prédicat **`concept`** à écrire doit être d'arité 1 et que c'est au travers de ce prédicat que la vérification de la correction sémantique doit être faite.

Partie 3 - Démonstration de la proposition

Cette partie représente le coeur du démonstrateur, puisqu'elle implémente l'algorithme de résolution basé sur la méthode des tableaux.

On doit montrer que l'ensemble des assertions de la Abox étendue, que l'on a construite dans la partie 2 et que l'on va désigner désormais par Abe, est insatisfiable.
On va construire progressivement un arbre de résolution à partir de ces assertions.

Le noeud racine de l'arbre de résolution contient les assertions de Abe.

La boucle de résolution est la suivante :
Sur le noeud en cours, on va tenter d'appliquer l'une des règles suivantes, dans cet ordre (choisi arbitrairement) :

La règle ∃

Si, dans Abe, on trouve une assertion de la forme a : ∃R.C, alors on ajoute les assertions 〈a, b〉 : R et b : C, où b est un nouvel objet et l'on génère un nouveau noeud de l'arbre de résolution.

La règle ⊓

Si, dans Abe, on trouve une assertion de la forme a : C ⊓ D, alors on ajoute à Abe les assertions a : C et a : D et l'on génère un nouveau noeud de l'arbre de résolution.

La règle ∀

Si, dans Abe, on trouve des assertions de la forme a : ∀R.C et 〈a, b〉 : R, alors on ajoute à Abe l'assertion b : C et l'on génère un nouveau noeud de l'arbre de résolution.

La règle ⊔

Si, dans Ab, on trouve une assertion de la forme a : C ⊔ D, alors on génère deux nouveaux noeuds frères de l'arbre de résolution. Dans l'un, on ajoute à Abe l'assertion a :

C et dans l'autre, on ajoute à Abe l'assertion a : D . Ces deux noeuds sont les racines respectives de deux nouvelles branches de l'arbre de résolution.

Si l'une des règles s'applique et qu'elle apporte au moins une nouvelle assertion, on teste s'il y a un clash dans Abe, c'est-à-dire deux assertions de la forme a : C et a : ¬C.

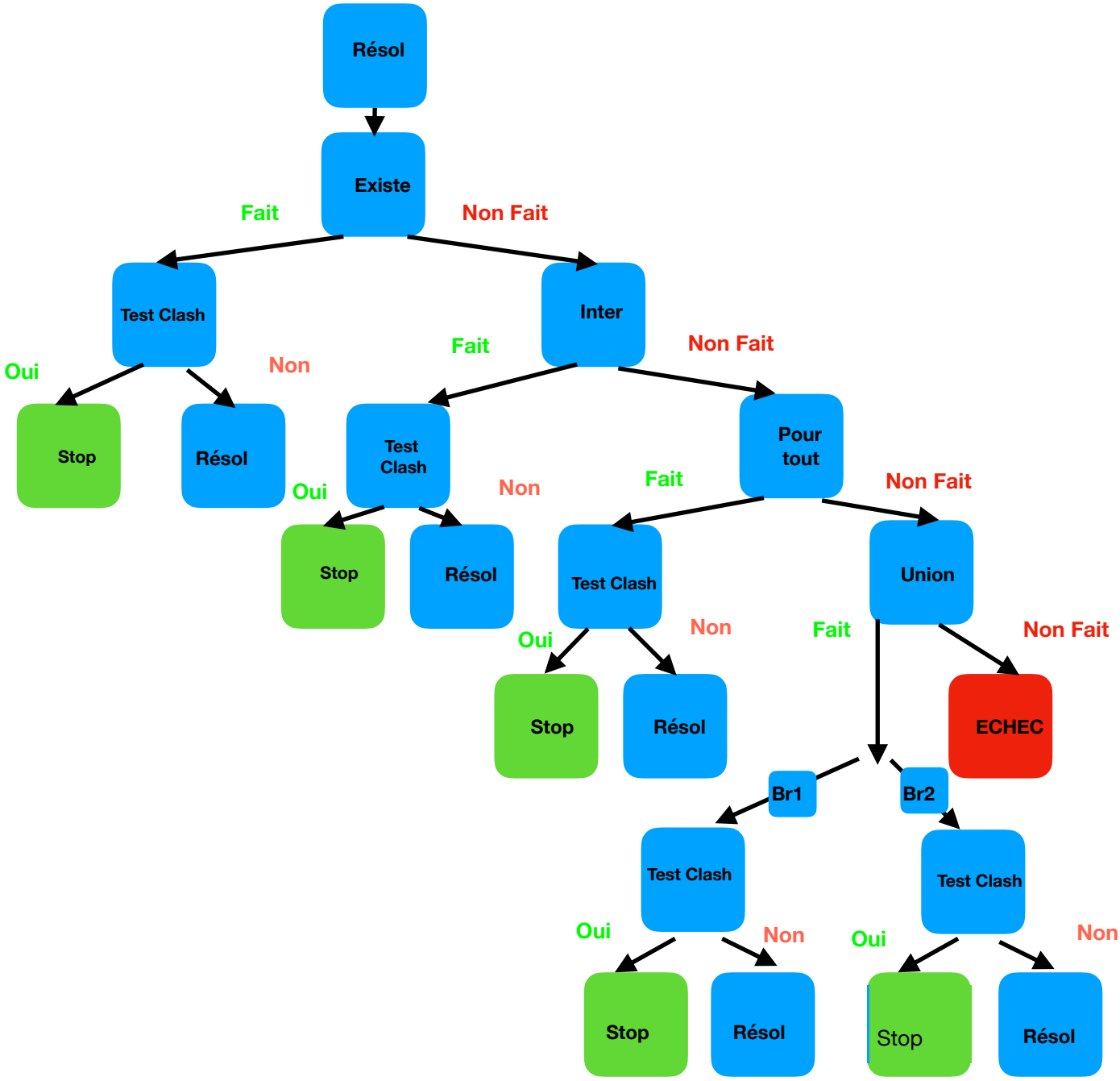
- Si c'est le cas, la branche est fermée et on abandonne le développement de cette branche.
- Si ce n'est pas le cas, on tente d'appliquer à nouveau une règle, puisqu'on sait que Abe a évolué et qu'il est possible qu'une règle s'applique de ce fait. On se rebranche donc sur la boucle de résolution.

Si aucune des règles ne s'applique, la situation du noeud en cours ne peut plus évoluer et il n'est donc pas possible de trouver un clash. La branche en cours est complète, **il y a échec de la résolution**.
Si toutes les branches de l'arbre de résolution sont fermées, alors on peut affirmer que la **proposition initiale est démontrée**.

Remarques importantes :
1) Il est clair que lorsque l'on applique une règle ⊓ ou une règle ⊔ ou une règle ∃, l'assertion qui a motivé l'application de cette règle peut être retirée de Abe. Elle ne servira plus.
On peut se poser la question au sujet d'une règle ∀ et l'on peut imaginer qu'elle puisse être utilisée plusieurs fois. On rappelle que lorsque l'on applique une règle ∀, c'est que l'on a pu trouver des assertions de la forme a : ∀R.C et 〈a, b〉 : R, on a alors ajouté à Abe l'assertion b : C.
Supposons que l'on ne supprime pas l'assertion a : ∀R.C, après l'avoir appliquée une fois, on pourra appliquer une autre fois cette règle, si l'on trouve une autre assertion 〈a, b〉 : R dans Abe.
Si, par contre, on applique en une seule fois la règle ∀ à tous les couples possibles d'assertions (∀R.C, 〈a, b〉 : R), si on pouvait l'appliquer une nouvelle fois, cela signifierait qu'une nouvelle assertion 〈a, d〉 : R a été générée par application d'une règle et la seule règle générant une telle assertion aurait pu être la règle a :∃R.C. Or cette règle n'a rien pu apporter comme nouvelle information dans Abe, car l'information qu'elle véhicule, il existe un certain y tel que 〈a, y〉 : R, était évidente puisqu'on avait déjà appliquée la règle ∀R.C au moins une fois et par conséquent, on avait déjà trouvé un tel y !
Ainsi, pour pouvoir supprimer une assertion de la forme ∀R.C de Abe, il faut faire en une seule fois toutes les déductions possibles avec toutes les assertions de rôle de la forme 〈a, y〉 : R que l'on peut trouver.

2) Pour ne pas trop compliquer la programmation, on considère que toute règle qui a pu être appliquée a « réussi », même si les assertions qu'elle a permis de déduire n'ont pas été ajoutées à la Abox étendue, car elles y étaient déjà. Dans ce cas, il est ainsi possible de faire des tests de clash inutiles, à la sortie de l'application de règles qui n'ont produit aucune assertion nouvelle, mais cela n'a pas de conséquence néfaste majeure sur le programme.

On peut schématiser ainsi la boucle de contrôle du processus de développement de l'arbre de démonstration.



Boucle de contrôle du processus de développement de l'arbre de démonstration

Annexe :

Cette annexe donne des indications d'implémentation pour les différentes parties.

Implémentation de la partie 1

On va utiliser le fichier suivant représentant la Tbox et la Abox inspirées de l'exercice 3 du TD4.

```
equiv(sculpteur,and(personne,some(aCree,sculpture))).
equiv(auteur,and(personne,some(aEcrit,livre))).
equiv(editeur,and(personne,and(not(some(aEcrit,livre)),some(aEdite
,livre)))).
equiv(parent,and(personne,some(aEnfant,anything))).

cnamea(personne).
cnamea(livre).
cnamea(objet).
cnamea(sculpture).
cnamea(anything).
cnamea(nothing).

cnamena(auteur).
cnamena(editeur).
cnamena(sculpteur).
cnamena(parent).

iname(michelAnge).
iname(david).
iname(sonnets).
iname(vinci).
iname(joconde).

rname(aCree).
rname(aEcrit).
rname(aEdite).
rname(aEnfant).

inst(michelAnge,personne).
inst(david,sculpture).
```

```
inst(sonnets,livre).
inst(vinci,personne).
inst(joconde,objet).

instR(michelAnge, david, aCree).
instR(michelAnge, sonnets, aEcrit).
instR(vinci, joconde, aCree).
```

En interne, on codera la Tbox par une liste de doublets :

```
[(sculpteur,and(personne,some(aCree,sculpture))),
(auteur,and(personne,some(aEcrit,livre))),
(editeur,and(personne,and(not(some(aEcrit,livre)),some(aEdite,livr
e)))),
(parent,and(personne,some(aEnfant,anything)))]
```

Idem pour la Abox, que l'on partitionnera en deux sous-listes, une qui contient les assertions de concepts :
`[(michelAnge,personne), (david,sculpture), (sonnets,livre), (vinci,personne), (joconde,objet)]`

et l'autre qui contient les assertions de rôles :
`[(michelAnge, david, aCree), (michelAnge, sonnet, aEcrit),(vinci, joconde, aCree)]`

Ces deux dernières listes seront bien sûr amenées à évoluer, lorsque l'utilisateur soumettra une proposition à la démonstration et que l'arbre de démonstration se développera progressivement.
Selon la structure des concepts d'appartenance des instances de la liste contenant les assertions de concepts, cette dernière pourra elle-même être subdivisée de façon pertinente.

Quant aux prédicats **`cnamea`**, **`cnamena`**, **`iname`** et **`rname`**, ils permettront de construire respectivement les listes des identificateurs des concepts atomiques, des concepts non atomiques, des instances et des rôles, comme on l'a montré précédemment au II 2-1).

Implémentation de la partie 2

On peut écrire le prédicat qui démarre le programme :

```
programme :-
            premiere_etape(Tbox,Abi,Abr),
            deuxieme_etape(Abi,Abi1,Tbox),
            troisieme_etape(Abi1,Abr).
```

Les prédicats **premiere_etape, deuxieme_etape** et **troisieme_etape** correspondent évidemment au travail effectué dans chacune des parties 1, 2 et 3 détaillées auparavant.

Les paramètres du prédicat **premiere_etape** sont respectivement la liste représentant la Tbox, la liste représentant les assertions de concepts de la Abox et la liste représentant les assertions de rôles de la Abox.

Les paramètres du prédicat **deuxieme_etape** sont respectivement la liste des assertions de concepts initiales de la Abox, la liste des assertions de concepts complétée après la soumission d'une proposition à démontrer et la liste représentant la Tbox.

Les paramètres du prédicat **troisieme_etape** sont respectivement la liste des assertions de concepts complétée et la liste des assertions de rôles qui peut également évoluer lors de la démonstration.

L'implémentation de la partie 2 est donnée partiellement :

```
deuxieme_etape(Abi,Abi1,Tbox) :-

                saisie_et_traitement_prop_a_demontrer(Abi,Abi1,Tbox).


saisie_et_traitement_prop_a_demontrer(Abi,Abi1,Tbox) :-
nl,write('Entrez le numero du type de proposition que vous voulez
demontrer :'),nl,
write('1 Une instance donnee appartient a un concept donne.'),nl,
write('2 Deux concepts n"ont pas d"elements en commun(ils ont une
intersection vide).'),nl, read(R), suite(R,Abi,Abi1,Tbox).

suite(1,Abi,Abi1,Tbox) :-
    acquisition_prop_type1(Abi,Abi1,Tbox),!.
suite(2,Abi,Abi1,Tbox) :-
    acquisition_prop_type2(Abi,Abi1,Tbox),!.
suite(R,Abi,Abi1,Tbox) :-
    nl,write('Cette reponse est incorrecte.'),nl,
    saisie_et_traitement_prop_a_demontrer(Abi,Abi1,Tbox).
```

Les paramètres ont la même signification que précédemment.

Les prédicats **acquisition_prop_type1** et **acquisition_prop_type2** réalisent respectivement l'acquisition d'une proposition de type 1 et l'acquisition d'une proposition de type 2, puis formatent la proposition de manière adéquate comme cela a été expliqué. La liste représentant les assertions de concepts est complétée.

Implémentation de la partie 3

On n'oubliera pas d'ajouter dans le fichier .pl contenant le programme, la clause :

```
compteur(1).
```

qui initialise un compteur que l'on utilisera dans la génération de nouveaux identificateurs.

Voici la définition du prédicat `troisieme_etape` :

```
troisieme_etape(Abi,Abr) :-
                            tri_Abox(Abi,Lie,Lpt,Li,Lu,Ls),
                            resolution(Lie,Lpt,Li,Lu,Ls,Abr),
                            nl,write('Youpiiiiii, on a demontre la
                            proposition initiale !!!').
```

Le prédicat **`tri_Abox`**, à partir de la liste des assertions de concepts de la Abox étendue après soumission d'une proposition à démontrer, génère 5 listes :
- la liste Lie des assertions du type (I,some(R,C))
- la liste Lpt des assertions du type (I,all(R,C))
- la liste Li des assertions du type (I,and(C1,C2))
- la liste Lu des assertions du type (I,or(C1,C2))
- la liste Ls les assertions restantes, à savoir les assertions du type (I,C) ou (I,not(C)), C étant un concept atomique.

Ce tri est réalisé avant le processus de résolution pour accélérer la recherche d'une assertion susceptible de provoquer l'application de l'une des 4 règles permettant de développer l'arbre de démonstration.

Le prédicat **`resolution`** a pour paramètres les 5 listes Lie, Lpt, Li, Lu, Ls, des assertions de concepts de la Abox étendue et la liste Abr des assertions de rôles de celle-ci.
Ce prédicat va utiliser les prédicats suivants, qui possèdent tous les mêmes paramètres qui traduisent l'état de la Abox étendue à un instant donné :

- **`complete_some(Lie,Lpt,Li,Lu,Ls,Abr)`**

Ce prédicat cherche une assertion de concept de la forme (I,some(R,C)) dans la liste Lie. S'il en trouve une, il cherche à appliquer la règle ∃ (voir le schéma de la boucle de contrôle présenté plus haut, qui permet de comprendre la structure de ce prédicat).

- **`transformation_and(Lie,Lpt,Li,Lu,Ls,Abr)`**

Ce prédicat cherche une assertion de concept de la forme (I,and(C1,C2)) dans la liste Li. S'il en trouve une, il cherche à appliquer la règle ⊓ (voir le schéma de la boucle de contrôle présenté plus haut, qui permet de comprendre la structure de ce prédicat).

- **`deduction_all(Lie,Lpt,Li,Lu,Ls,Abr)`**

Ce prédicat cherche une assertion de concept de la forme (I,all(R,C)) dans la liste Lpt. S'il en trouve une, il cherche à appliquer la règle ∀ (voir le schéma de la boucle de contrôle présenté plus haut, qui permet de comprendre la structure de ce prédicat).

- transformation_or(Lie,Lpt,Li,Lu,Ls,Abr)
Ce prédicat cherche une assertion de concept de la forme (I,or(C1,C2)) dans la liste Lu. S'il en trouve une, il cherche à appliquer la règle ⊔ (voir le schéma de la boucle de contrôle présenté plus haut, qui permet de comprendre la structure de ce prédicat).

On écrira également les prédicats suivants (entre autres) :
evolue(A, Lie, Lpt, Li, Lu, Ls, Lie1, Lpt1, Li1, Lu1, Ls1)
A représente une nouvelle assertion de concepts à intégrer dans l'une des listes Lie, Lpt, Li, Lu ou Ls qui décrivent les assertions de concepts de la Abox étendue et Lie1, Lpt1, Li1,Lu1 et Ls1 représentent les nouvelles listes mises à jour.

affiche_evolution_Abox(Ls1, Lie1, Lpt1, Li1, Lu1, Abr1, Ls2, Lie2, Lpt2, Li2, Lu2, Abr2)
Ce prédicat affiche l'évolution d'un état de la Abox étendue (en ce qui concerne les listes des assertions de concepts et la liste des assertions de rôles) vers un état suivant, les 6 premiers paramètres décrivant l'état de départ, les 6 suivants l'état d'arrivée. Abr1 et Abr2 représentent respectivement les états de départ et d'arrivée de l'ensemble des assertions de rôles de la Abox étendue.
L'affichage doit être agréable pour permettre à l'utilisateur de suivre facilement le développement de l'arbre de démonstration. On affichera donc les différentes assertions en utilisant les symboles mathématiques ∃, ⊔, ¬, ∀, ⊓, et une notation infixée et non préfixée.

Les prédicats à écrire sont obligatoires, mais il est évident qu'ils peuvent utiliser d'autres prédicats plus simples non précisés qu'il vous incombera de définir, et ceci dans les 3 parties du programme Prolog.

Et pour finir, quelques utilitaires précieux

---

member(X,L) : prédicat prédéfini, teste si l'élément X appartient à la liste L.

---

concat(L1,L2,L3) : concatène les deux listes L1 et L2 et renvoie la liste L3.

```
concat([],L1,L1).
concat([X|Y],L1,[X|L2]) :- concat(Y,L1,L2).
```

---

enleve(X,L1,L2) : supprime X de la liste L1 et renvoie la liste résultante dans L2.

```
enleve(X,[X|L],L) :-!.
enleve(X,[Y|L],[Y|L2]) :- enleve(X,L,L2).
```

---

genere(Nom) : génère un nouvel identificateur qui est fourni en sortie dans Nom.

```
genere(Nom) :- compteur(V),nombre(V,L1),
               concat([105,110,115,116],L1,L2),
               V1 is V+1,
               dynamic(compteur/1),
               retract(compteur(V)),
               dynamic(compteur/1),
               assert(compteur(V1)),nl,nl,nl,
               name(Nom,L2).
nombre(0,[]).
nombre(X,L1) :-
                R is (X mod 10),
                Q is ((X-R)//10),
                chiffre_car(R,R1),
                char_code(R1,R2),
                nombre(Q,L),
                concat(L,[R2],L1).

chiffre_car(0,'0').
chiffre_car(1,'1').
chiffre_car(2,'2').
chiffre_car(3,'3').
chiffre_car(4,'4').
chiffre_car(5,'5').
chiffre_car(6,'6').
chiffre_car(7,'7').
chiffre_car(8,'8').
chiffre_car(9,’9’).
```

---

lecture(L) : permet d’acquérir au clavier la liste L des termes Prolog entrés par l’utilisateur, de la façon suivante :
l’utilisateur entre un terme Prolog directement suivi d’un point et d’un retour chariot à la vue du prompteur et ainsi de suite. Lorsque l’utilisateur souhaite interrompre la saisie de termes, il doit taper fin, suivi d’un point et d’un retour chariot.

```
lecture([X|L]):-
     read(X),
     X \= fin, !,
     lecture(L).
lecture([]).
```

---

flatten(Liste1,Liste2) : Aplanit Liste1 et met le résultat dans Liste2. Liste1 peut contenir de nombreuses listes imbriquées récursivement. `flatten/2` extrait tous les éléments contenus dans Liste1 et stocke le résultat dans une liste "plane" (à une seule dimension).
