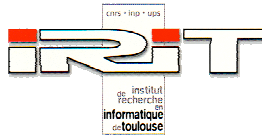


# Algorithmique de la Planification

## Cours 6 : Espaces de plans partiels

Pierre REGNIER  
IRIT - Université Paul Sabatier  
<http://www.irit.fr/~Pierre.Regnier>



## 0. Plan de l'exposé

---

1. Introduction
  - 1.1. Planificateurs essentiels
  - 1.2. Définitions
2. Algorithmes
  - 2.1. Espace de recherche
  - 2.2. Algorithme général
  - 2.3. Critères de vérité
  - 2.4. Bilan

## 1.1. Planificateurs essentiels

**TWEAK** [Chapman, 1987]

**SNLP** [McAllester, Rosenblitt, 1991]

**UCPOP** [Penberthy, Weld, 1992]

**REPOP** [Nguyen, Kambhampati, 2001]

**CPT** [Vidal, Geffner, 2004]

Problème de  
planification

Plan solution

Recherche dans les espaces de plans partiels

## 1.2. Définitions

- Un **état**  $E$  du monde de la planification est représenté par un ensemble fini de formules atomiques sans symbole de variable. Une formule atomique de base est aussi appelée un **fluent**.
- Un **opérateur**  $o$  est un modèle d'action. Il est représenté par son nom et un triplet  $\langle pr, ad, de \rangle$  où  $pr$ ,  $ad$  et  $de$  sont des ensembles finis de formules atomiques qui représentent ses préconditions, ajouts et retraits.  $Prec(o)$ ,  $Add(o)$ ,  $Del(o)$  dénotent respectivement les ensembles  $pr$ ,  $ad$ ,  $de$  de l'opérateur  $o$ . Une **action**, dénotée par  $a$ , est une instance de base d'un opérateur  $o$  (toutes les variables de  $o$  sont instanciées).

## 1.2. Définitions

- Un **plan séquentiel**  $P$  est une séquence finie (éventuellement vide) d'actions notée  $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ .
- L'**application**  $\mathcal{A}$  d'un plan d'actions séquentiel  $P$  sur un état  $E$  est définie par :
 
$$E \mathcal{A} P = \begin{array}{ll} \text{Si } P = \langle \rangle \text{ ou } E = \perp \text{ alors } E \\ \text{Sinon} & \text{Si } \text{Prec}(\text{tête}(P)) \subseteq E \\ & \text{Alors } (E \uparrow \text{tête}(P)) \mathcal{A} \text{reste}(P) \\ & \text{Sinon } \perp. \end{array}$$
- Un **problème de planification** est un triplet  $\langle O, I, B \rangle$  où :
  - $O$  dénote un ensemble fini d'opérateurs utilisables dans le domaine de la planification considéré ( $A$  dénote l'ensemble des actions produites par instantiation des opérateurs de  $O$ ),
  - $I$  est l'état initial du problème, il est représenté par un ensemble fini de fluents,
  - $B$  est le but du problème, il est représenté par un ensemble fini de fluents.

## 1.2. Définitions

- Un **plan partiel**, est un triplet  $\langle OP, CO, CI \rangle$  où :
  - $OP$  est l'ensemble des opérateurs du plan partiel,
  - $CO$  est un ordre partiel sur  $OP$ , c'est l'ensemble des contraintes de précédence qui lient les opérateurs deux à deux,
  - $CI$  est l'ensemble des contraintes d'instanciation des variables associées au plan.
- Soit  $AP = \{o_1\theta_1, \dots, o_n\theta_n\} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  un ensemble d'actions  $a_i$  obtenues en instanciant tous les opérateurs  $o_i$  de  $OP$  en respectant les contraintes de  $CI$ . Une **linéarisation** du plan partiel  $P$  est une séquence finie  $S$  des actions de  $AP$ .
- $S$  est une **linéarisation valide** ssi elle satisfait les contraintes d'ordre de  $CO$  :  $\forall a_i, a_j \in S / i < j : a_j < a_i \notin CO$ . L'ensemble de toutes les linéarisations valides de  $P$  est noté  $\text{LinVal}(P)$ .
- **Plan-solution du problème de planification**  $\langle O, I, B \rangle$  : plan partiel  $\langle OP, CO, CI \rangle$  tel que  $\forall S \in \text{LinVal}(P) : B \subseteq (E \mathcal{A} S)$ .

## 1.2. Définitions

- **Demandeur** (needer) : action **d** du plan, pour laquelle il faut établir la précondition **p**.
- **Etablisser** (establisher) : action **e** permettant d'établir le fluent **p**.
- **Casseur** (clobberer) : action **c** du plan qui détruit le fluent **p**.
- **Chevalier blanc** (white knight) : action **w** qui peut rétablir le fluent **p** détruit par un casseur.

## 2.1. Espace de recherche

- **Nœuds** : plans partiels
  - plan partiel initial contenant :
    - opérateur initial,
    - opérateur but ;
  - plan solution satisfaisant un critère de vérité ;
- **Arcs** : opérations de modification des plans partiels dictés par un critère de vérité ;
- **Algorithmique** : classique, recherche avant guidée par les buts...
  - **Aveugles** : profondeur, largeur, DFID...
  - **Informés** : Gloutons,  $A^*$ ,  $WA^*$ ,  $A\epsilon$ ,  $A^*\epsilon$ ,  $A^{**}$ ,  $B$ ,  $BF^*$ ,  $IDA^*$ ,  $HPA$ ...  
nécessité de fonctions heuristiques pour guider la recherche.

## 2.1. Espace de recherche

- **Choix d'un établissement** : placer avant le demandeur **d** une action **e** (établissement) pour établir une précondition de **d** ;
- **Promotion d'un casseur** : contraindre le casseur **c** à s'exécuter avant l'établissement **e** :  $c < e < d$  (l'établissement de la précondition du demandeur **d** par **e** n'est pas remis en cause par **c**) ;
- **Rétrogradation d'un casseur (démotion)** : contraindre le casseur **c** à s'exécuter après le demandeur **d** :  $d < c$  (**c** ne détruira pas la précondition de **d** créée par l'établissement **e**) ;
- **Séparation casseur / demandeur** : contraindre l'instanciation d'une variable du casseur **c** pour qu'il ne nuise pas au demandeur **d** par la suite (**c** ne peut empêcher d'établir la précondition de **d** qui est concernée) ;
- **Choix d'un chevalier blanc (white knight)** : placer entre le casseur **c** et le demandeur **d**, une action **w** pour rétablir la précondition de **d** détruite par **c**.

## 2.1. Espace de recherche

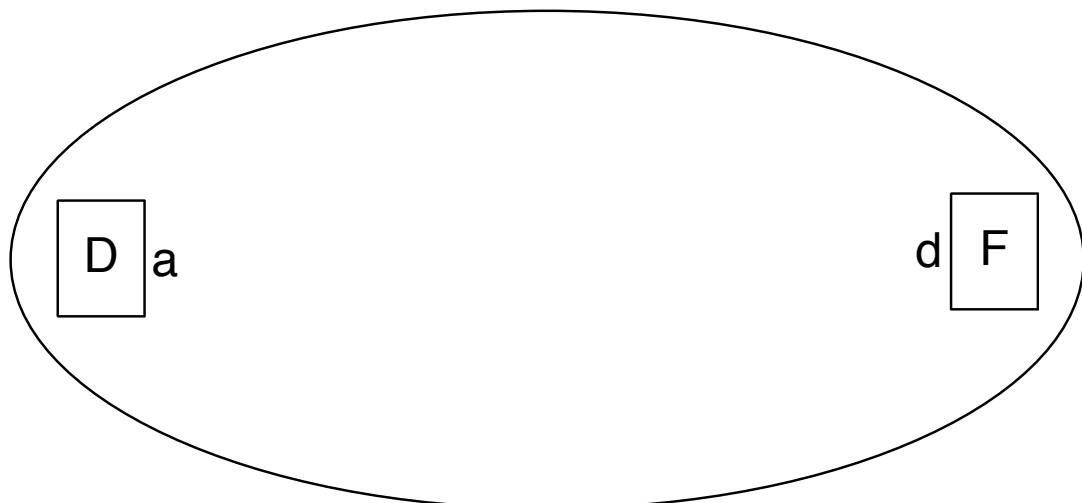
A :  $a \rightarrow +b$

B :  $a \rightarrow +c -a$

C :  $b\ c \rightarrow +d$

Plan initial = {Actions, Contraintes}

- Actions = {D,F} : { }
- Contraintes = {(D,F)} : { }



## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

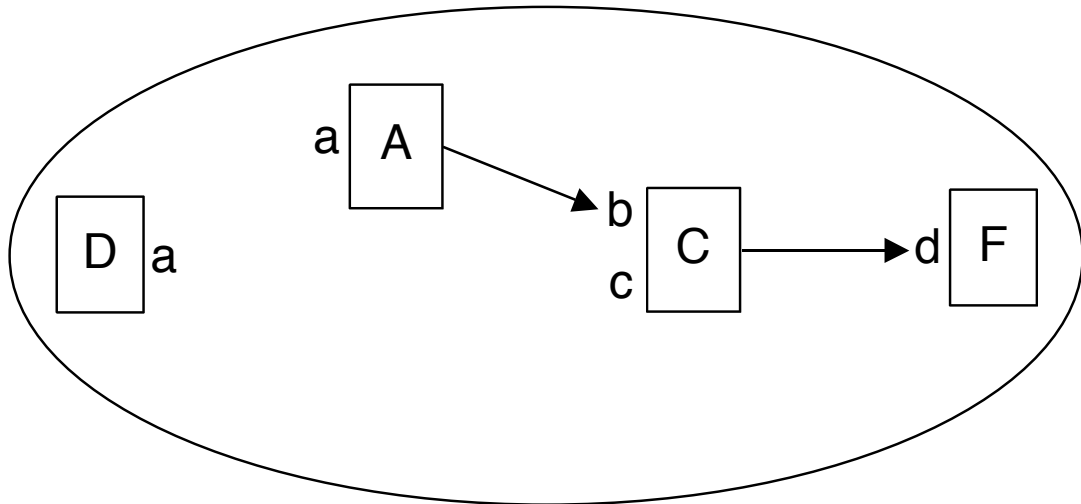
$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b\ c \rightarrow +d$

Plan partiel = {Actions, Contraintes}

• Actions = {A, C}

• Contraintes = {(A, C)}

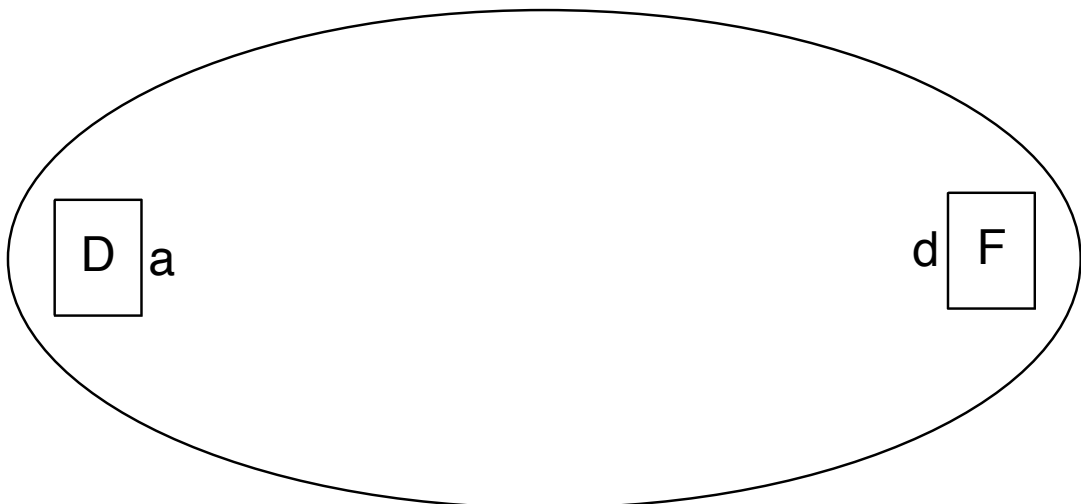


## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b\ c \rightarrow +d$

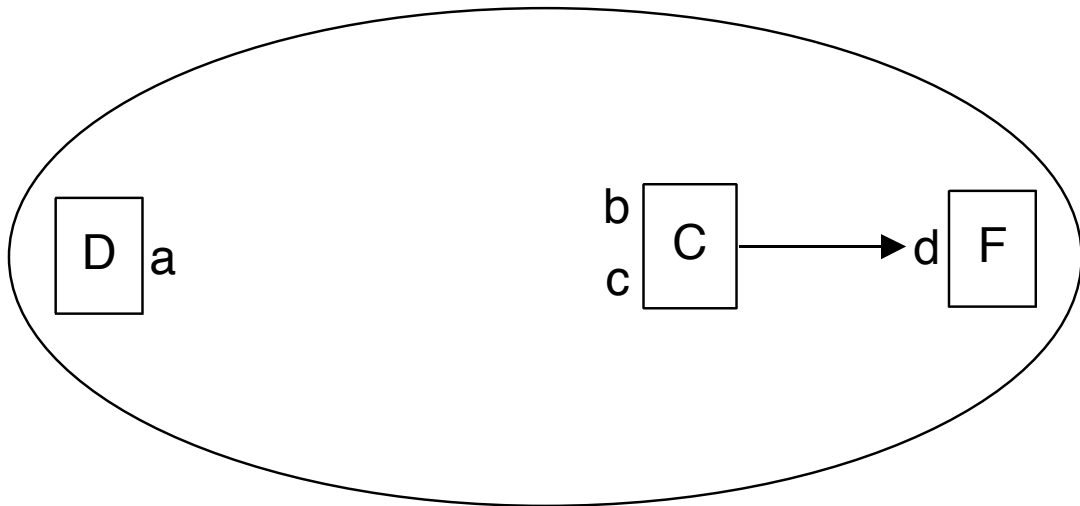
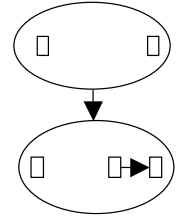


## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b c \rightarrow +d$

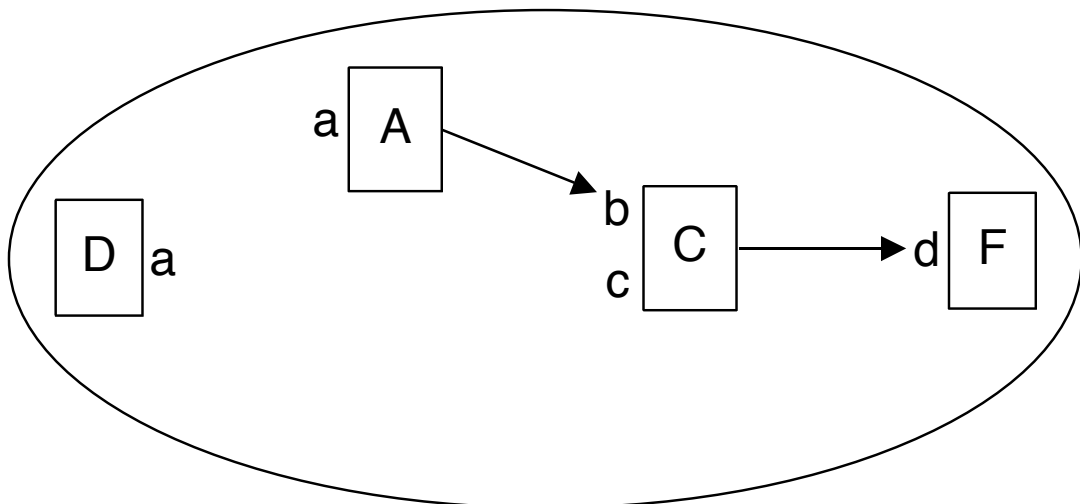
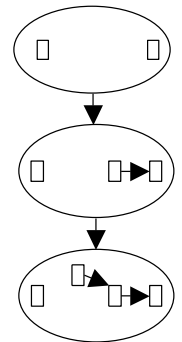


## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b c \rightarrow +d$

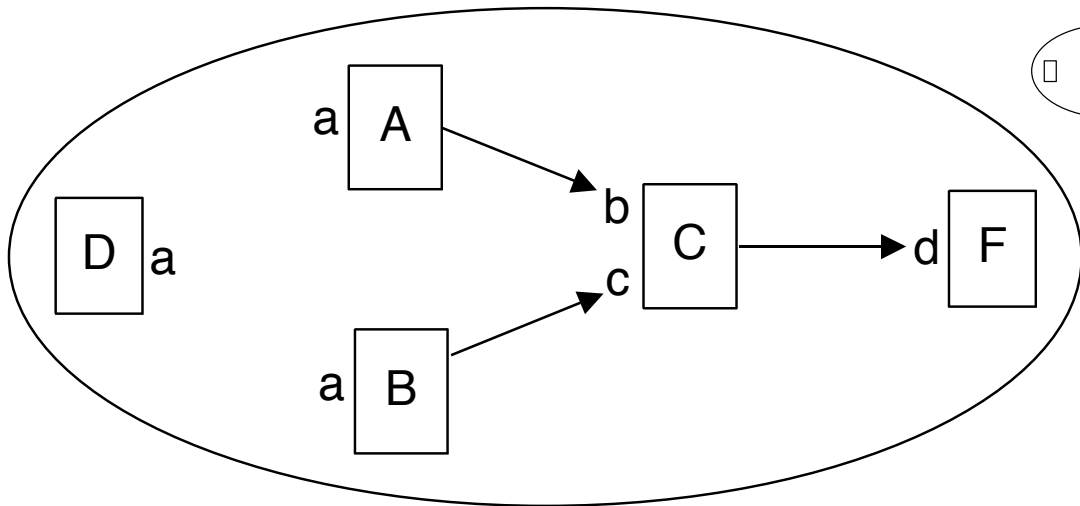


## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b\ c \rightarrow +d$

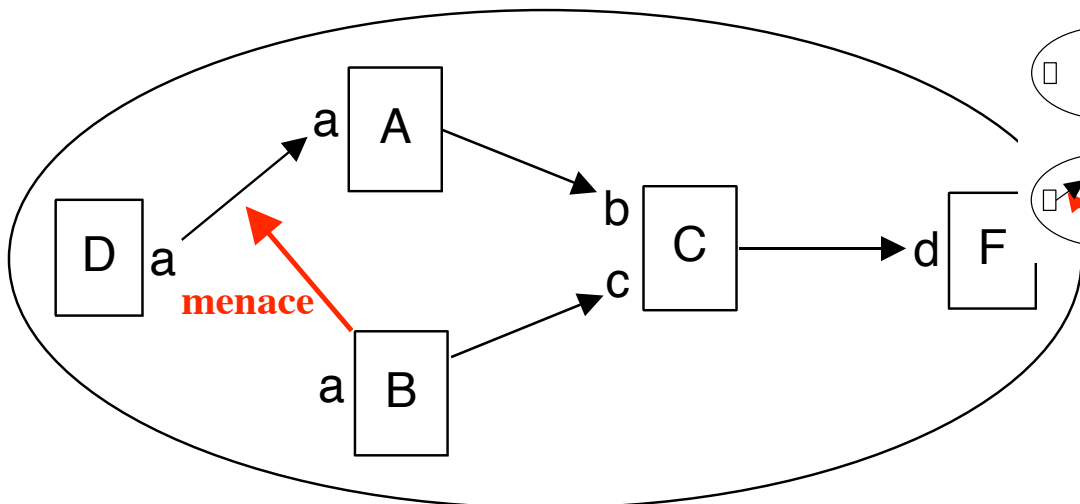


## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b\ c \rightarrow +d$



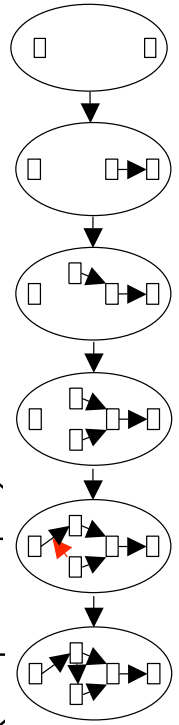
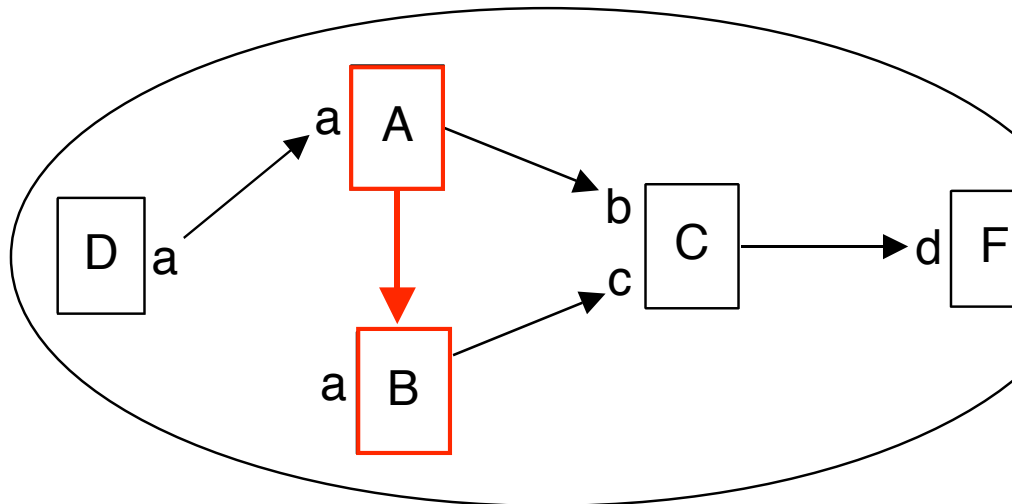


## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

$C : b\ c \rightarrow +d$



## 2.1. Espace de recherche

$A : a \rightarrow +b$

$B : a \rightarrow +c -a$

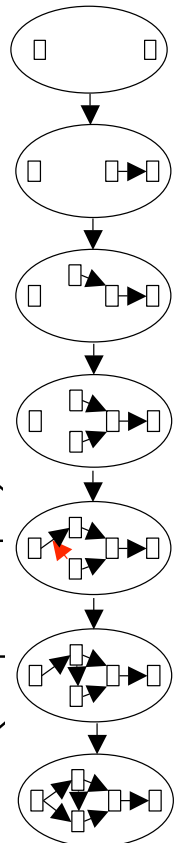
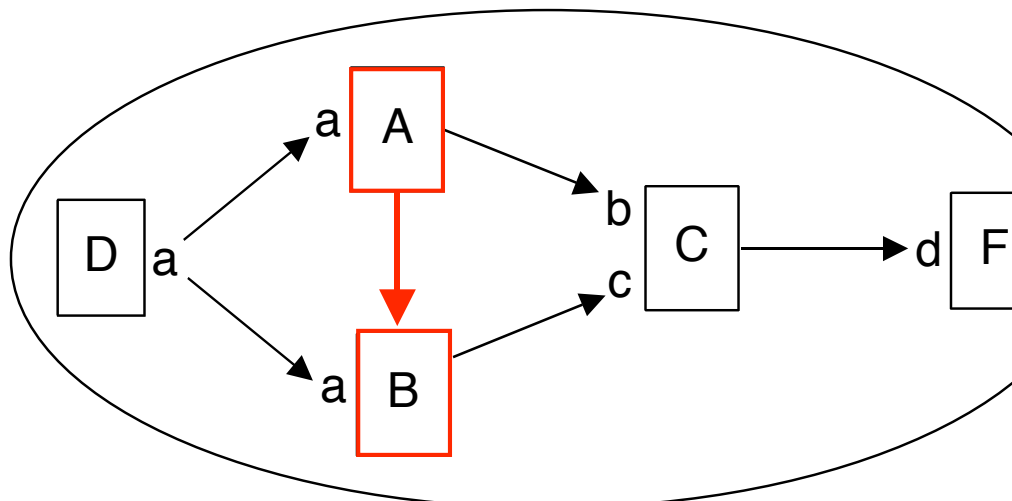
$C : b\ c \rightarrow +d$

Plan solution = {Actions, Contraintes}

• Actions = {A, B, C}

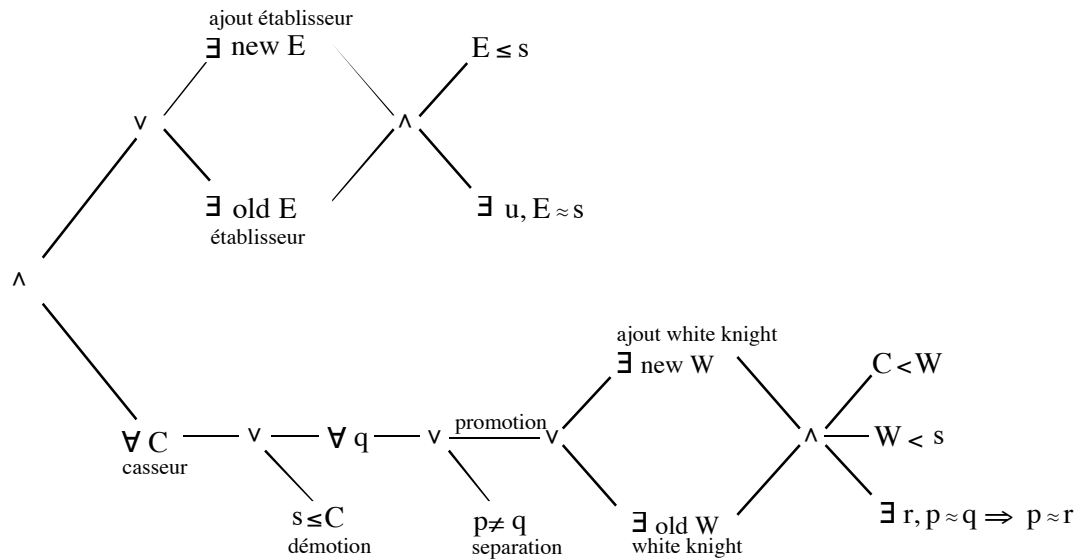
• Contraintes = {(A, B), (A, C), (B, C)}

post-traité, donne : <A, B, C>



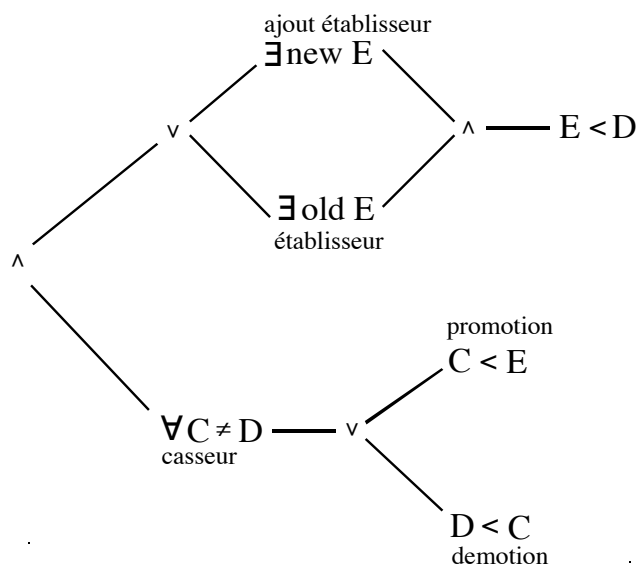
## 2.2. Critères de vérité

- Critère de vérité de TWEAK [Chapman, 87]



## 2.2. Critères de vérité

- Critère de vérité de PWEAK [Puget, Jacopin, 93]



## 2.3. Algorithme général

**Appel initial :** RGEF (Actions, {Début, Fin}, {Buts}, {Début < Fin}) ;

**Fonction** RGEF (Actions, ActionsPlan, Buts, Contraintes) ;

**Terminaison :**  
 Si Buts =  $\emptyset$  Alors retourner (Contraintes, ActionsPlan) ;

**Choix d'une précondition p à établir :**  
 { telle que  $p \in \text{But}$  }  
 $p \leftarrow \text{ChoisirBut}(\text{Buts})$  ;

**Choix d'un établisseur e :**  
 { tel que  $p \in \text{ajouts}(e)$  }  
 $e \leftarrow \text{ChoisirEtablisseur}(p, \text{Actions})$  ;  
 Si ChoixImpossible Alors retourner (échec) ;

**Résolution des conflits (démotion, promotion) :**  
 Pour chaque c possible pour  $e \rightarrow d$  Faire :  
 $o \leftarrow \text{ChoisirContrainte}(\{c < e\}, \{d < c\})$  ;  
 Contraintes  $\leftarrow$  Contraintes  $\cup \{o\}$  ;

**Mise à jour :**  
 Buts  $\leftarrow$  (Buts - {p})  $\cup$  Préconditions(e) ;  
 ActionsPlan  $\leftarrow$  ActionsPlan  $\cup \{e\}$  ;

**Appel récursif :**  
 RGEF (Actions, ActionsPlan, Buts, Contraintes, ) ;

**Fin.**

## 2.4. Bilan

- **Performances (à nuancer) :**
  - Moins efficace que la recherche dans les espaces d'états ;
- **Atouts (à nuancer) :**
  - Qualité des plans-solutions (moindre engagement) : nombre d'actions, parallélisme, flexibilité, temps minimum d'exécution...
- **Difficultés :**
  - Choisir efficacement l'ordre des sous-buts et des techniques de résolution de conflits ;
  - Diriger la recherche : fonctions heuristiques indépendantes du domaine ;
- **Systèmes :**
  - TWEAK, PWEAK, SNLP, UCPOP, REPOP, CPT...