Planification d’actions

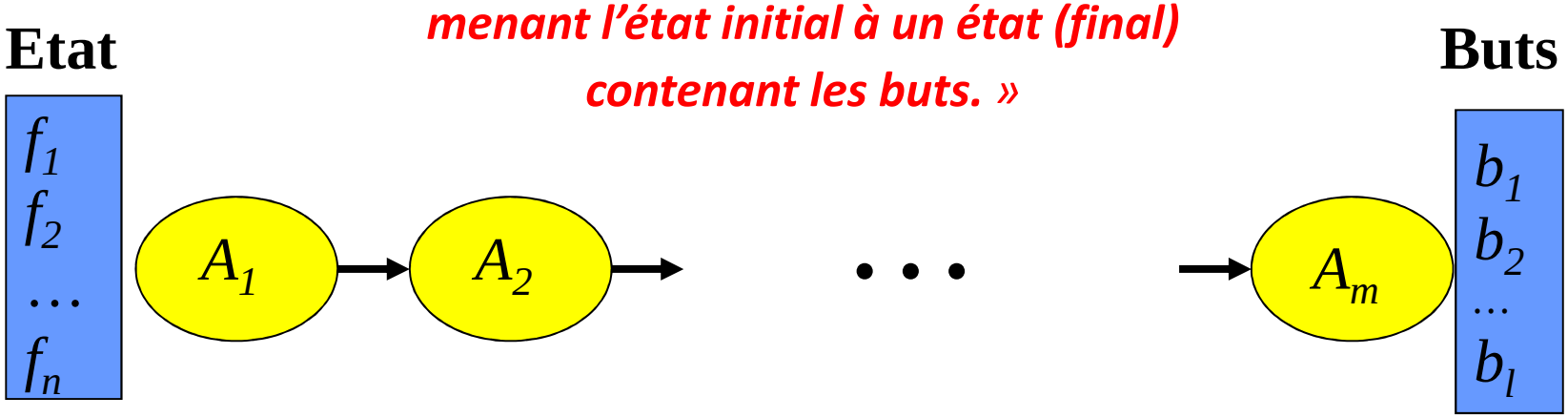
Philippe Morignot
pmorignot@yahoo.fr

Plan du cours

- Définition
- Modèle et Langages
- Exemple
- Algorithmes : espace des états, espace des plans, plan de graphe, par SAT, par PPC, par algorithmes évolutionnaires, HTN.

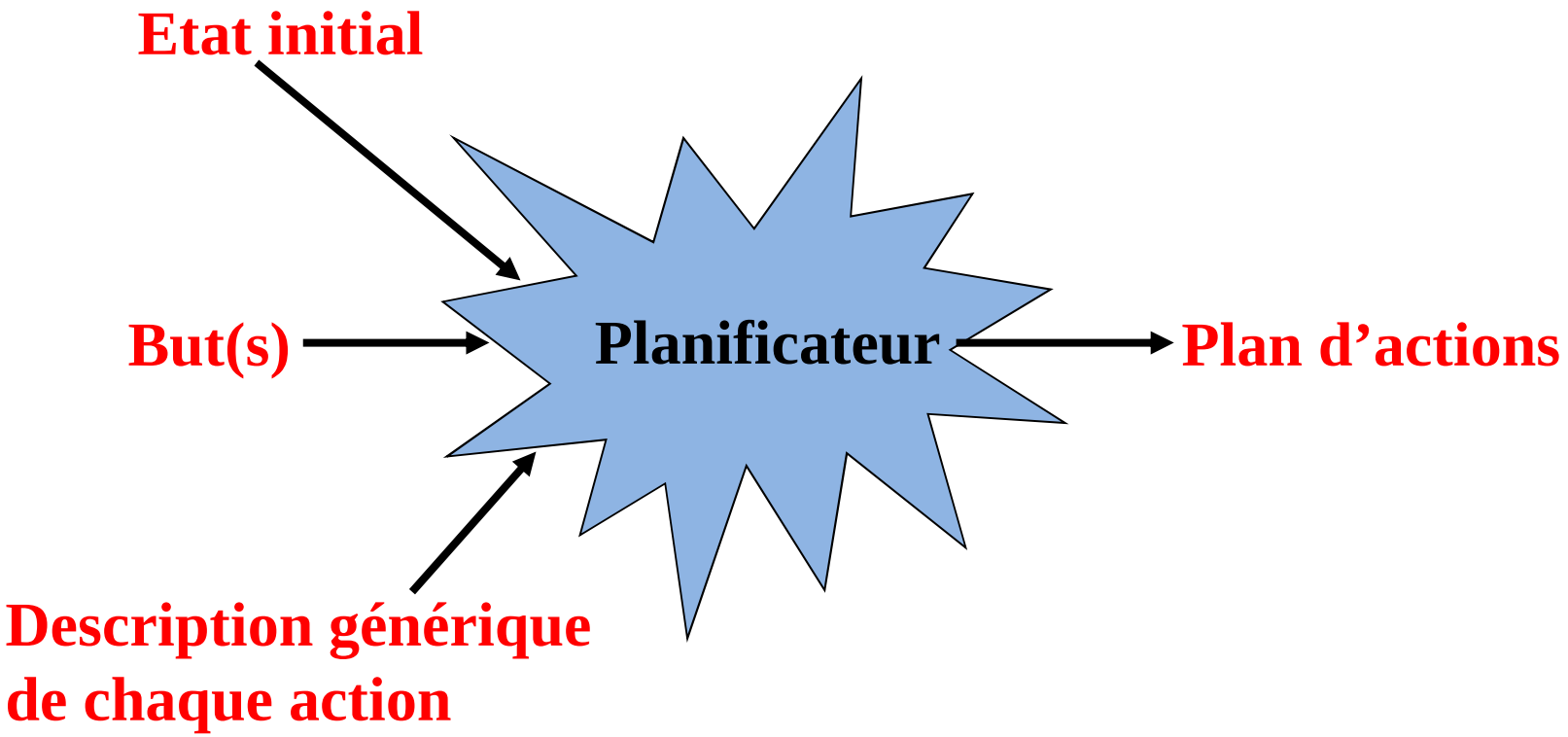
Enoncé

« Etant donnés des actions génériques possibles,
un état et des buts,
trouver une séquence d'actions instantiées,
menant l'état initial à un état (final)
contenant les buts. »



- « ***Planification d'actions*** » / « ***synthèse de plan*** » / « ***génération de plans d'actions*** » : activité de construction d'un plan.
- « ***Planificateur*** » / « ***planificateur de tâches*** » / « ***planificateur d'actions*** » : programme informatique qui résout ce problème.
  - Différent de « planificateur de chemin » en Robotique.

Un planificateur d’actions



Difficulté

- Domaine du grutier :
  - 1 grue, *a* lieux, *b* camions, *c* piles de containeurs, *d* containeurs.

- Si $a = 5$, $b = 3$, $c = 3$, $d = 100$, alors ~ 10^{277} états.
- La planification classique est NP.
- **On ne peut pas expliciter tous les états.**

Hypothèses

- Hyp. 1 : ***l'agent est la seule cause de changement dans l'environnement***.
  - Pas d'autre agent, artificiel ou humain.
- Hyp. 2 : ***l'environnement est totalement observable, l'agent en a une connaissance parfaite***.
  - L'agent ne raisonne (e.g., planifie) pas sur des choses qu'il ne connait pas.
- Hyp. 3 : ***l'environnement est statique***.
  - Même si l'environnement peut avoir des lois de comportements, il ne bouge pas spontanément.
- Hyp. 4 : ***le nombre d'objets considérés est fini***.
  - Logique des propositions.

Planning Domain Definition Language (PDDL) (1 / 2)

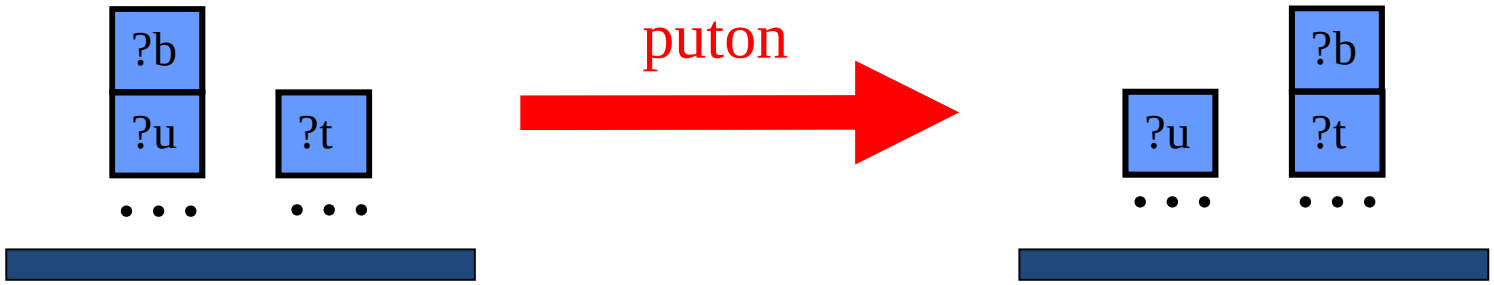
- Langage de représentation pour définir :
  - un domaine : opérateurs
  - un problème : état et buts.
- Un opérateur est composé de :
  - **Pré-conditions :** termes qui doivent être vrai pour que l'action puisse s'exécuter.
  - **Effets / post-conditions :** termes que l'exécution de l'action change par rapport à l'état entrant (liste d'ajouts ADD-LIST / de retraits DELETE-LIST).
    - Une post-condition peut être positive ou négative.
- Un terme peut être parfois vrai, parfois faux, suivant l'instant où on le considère dans le plan.
  - Connecteur *« not »*. Ex. : (**not** (SUR SOURIS TAPIS))
  - *« Fluent » (littéral).* Ex. : (SUR SOURIS TAPIS)

PDDL : exemple de domaine
Le monde des cubes

- Opérateur :

```
(:action puton
 :parameters (?b ?u ?t - block)
 :precondition (and (clear ?b)
                    (on ?b ?u))
                    (clear ?t))
 :effect (and (not (on ?b ?u)) (clear ?u)
              (on ?b ?t) (not (clear ?t))))
```

puton ?b ?u ?t	
(clear ?b) (on ?b ?u) (clear ?t)	(not (on ?b ?u)) (clear ?u) (on ?b ?t) (not (clear ?t))



- Et la table ? Et le bras ? Et si plusieurs bras ? Et si les cubes sont colorés ? Ou avec une encoche ? Ou de dimensions variables ?
- Conditionnelles ? Quantification universelle ?

PDDL : représentation

- Problème de la **qualification** : en pratique, on ne peut pas lister toutes les pré-conditions dans un opérateur.
- Problème de la **ramification** : en pratique, on ne peut pas lister toutes les post-conditions dans un opérateur.
- Exemple : opérateur « Démarrer une voiture »
  - Pré-conditions : clé-dans-le-barillet ET clé-tournée
  - Post-conditions : moteur-tourne

Planning Domain Definition Language (PDDL) (2 / 2)

- **Résolution du problème du cadre :** lors de l'exécution d'un opérateur, ce qui n'est pas explicitement changé par une post-condition est considéré comme inchangé.
- **Hypothèse du monde clos :** dans un état, un terme qui n'est pas mentionné est considéré comme étant *faux*.
  - Par opposition à *l'hypothèse du monde ouvert* (ontologies) : dans un état, ce qui n'est pas mentionné est considéré comme étant *inconnu*.

STRIPS et ADL

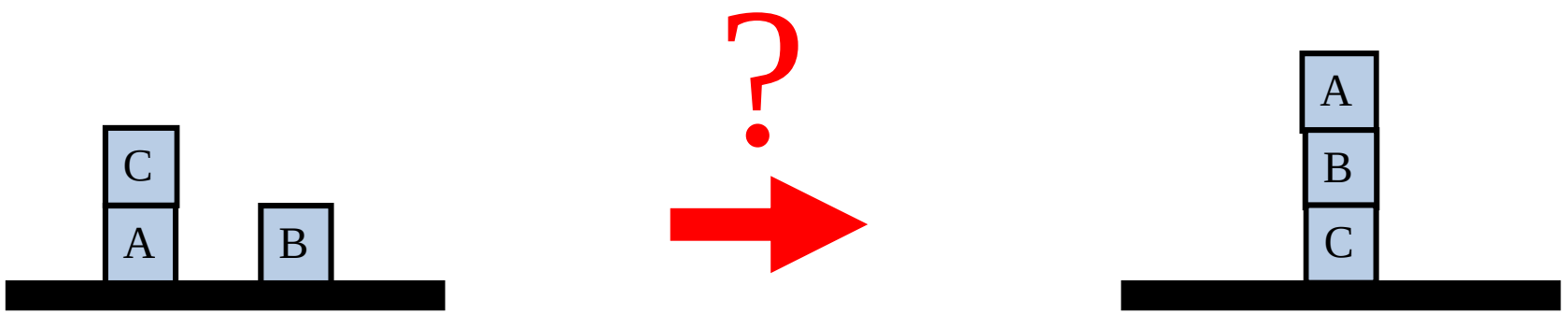
(STanford Research Institute Planning System) (Action Description Language)

Littéraux positifs seulement dans les états : Riche $\wedge$ Célèbre	Littéraux positifs et négatifs dans les états : $\neg$ Riche $\wedge$ $\neg$ Célèbre
Hypothèse du monde fermé	Hypothèse du monde ouvert.
Effet P $\wedge$ $\neg$ Q signifie ajoute P et détruit Q	Effet P $\wedge$ $\neg$ Q signifie ajoute P et $\neg$ Q et détruit $\neg$ P et Q
Propositions seulement dans les buts Riche $\wedge$ Célèbre	Variables quantifiées dans les buts : $\exists$ ***x***, AT(Avion1, ***x***) $\wedge$ AT(Avion2, ***x***)
Les buts sont des conjonctions : Riche $\wedge$ Célèbre	Les buts sont des conjonctions et disjonctions : $\neg$ Pauvre $\wedge$ (Riche $\vee$ intelligent)
Les effets sont des conjonctions	Effets conditionnels : QUAND P : E
Pas d'égalité	Egalité (x = y) prédéfinie
Pas de types	Les variables peuvent être typées

PDDL : exemple de problème

```
(define (problem blocks-24-1)
        (:domain blocks)
        (:objects X W V U T S R Q P O N M L K J I H G F E D C A B)
        (:init
                (CLEAR K) (CLEAR I) (ONTABLE C) (ONTABLE O)
                (ON K F) (ON F T) (ON T B) (ON B G) (ON G R)
                (ON R M) (ON M E) (ON E J) (ON J V) (ON V N)
                (ON N U) (ON U H) (ON H C) (ON I A) (ON A P)
                (ON P Q) (ON Q D) (ON D W) (ON W X) (ON X S)
                (ON S L) (ON L O) (HANDEMPTY))
        (:goal (and
                (ON L C) (ON C P) (ON P Q) (ON Q M) (ON M B)
                (ON B G) (ON G F) (ON F K) (ON K E) (ON E R)
                (ON R A) (ON A W) (ON W T) (ON T N) (ON N J)
                (ON J U) (ON U S) (ON S D) (ON D H) (ON H V)
                (ON V O) (ON O I) (ON I X))))
```

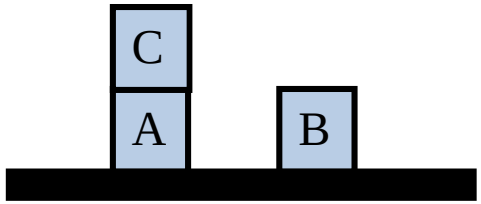
L'anomalie de Gerald Jay Sussman (1/16)

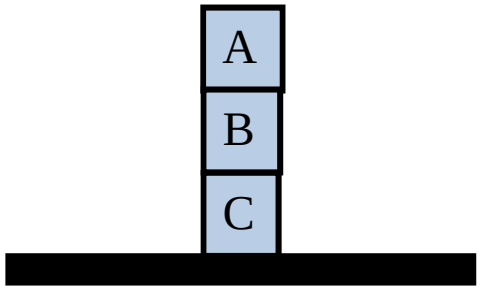


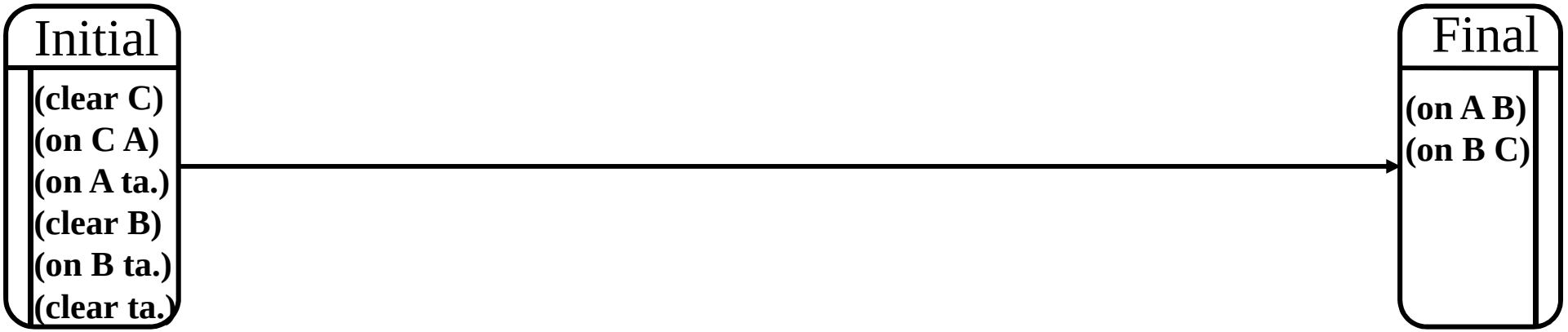
avec :

puton ?b ?u ?t	
(clear ?b) (on ?b ?u) (clear ?t)	(not (on ?b ?u)) (=> (<> ?u table) (clear ?u)) (on ?b ?t) (=> (<> ?t table) (not (clear ?t)))

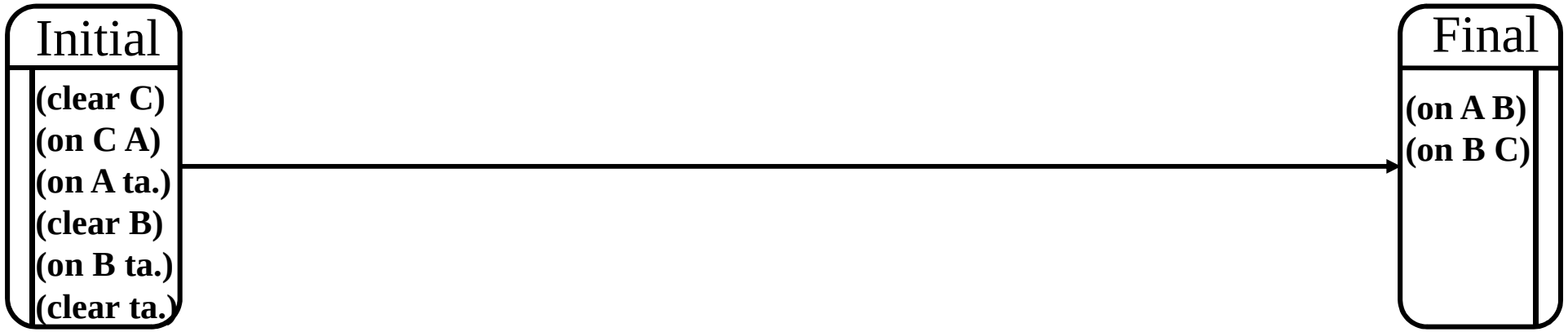
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (2/16)



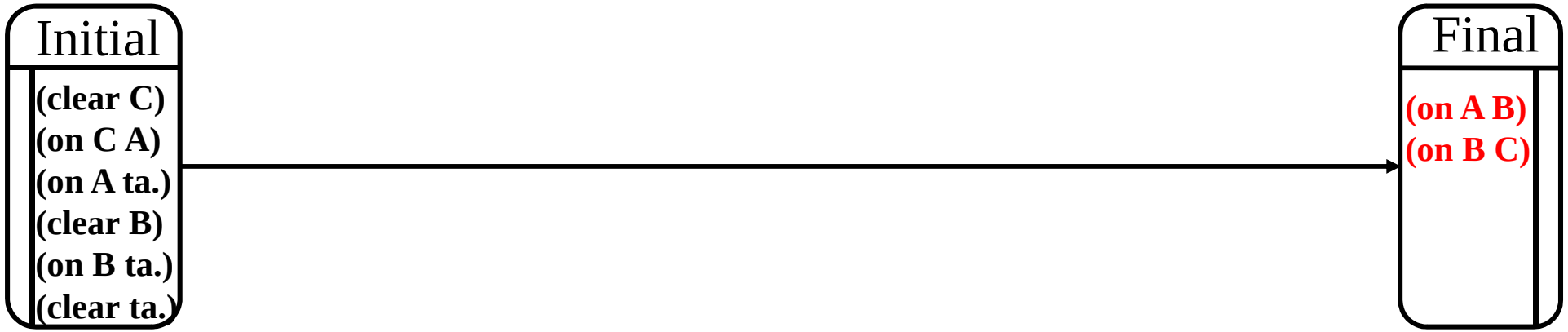




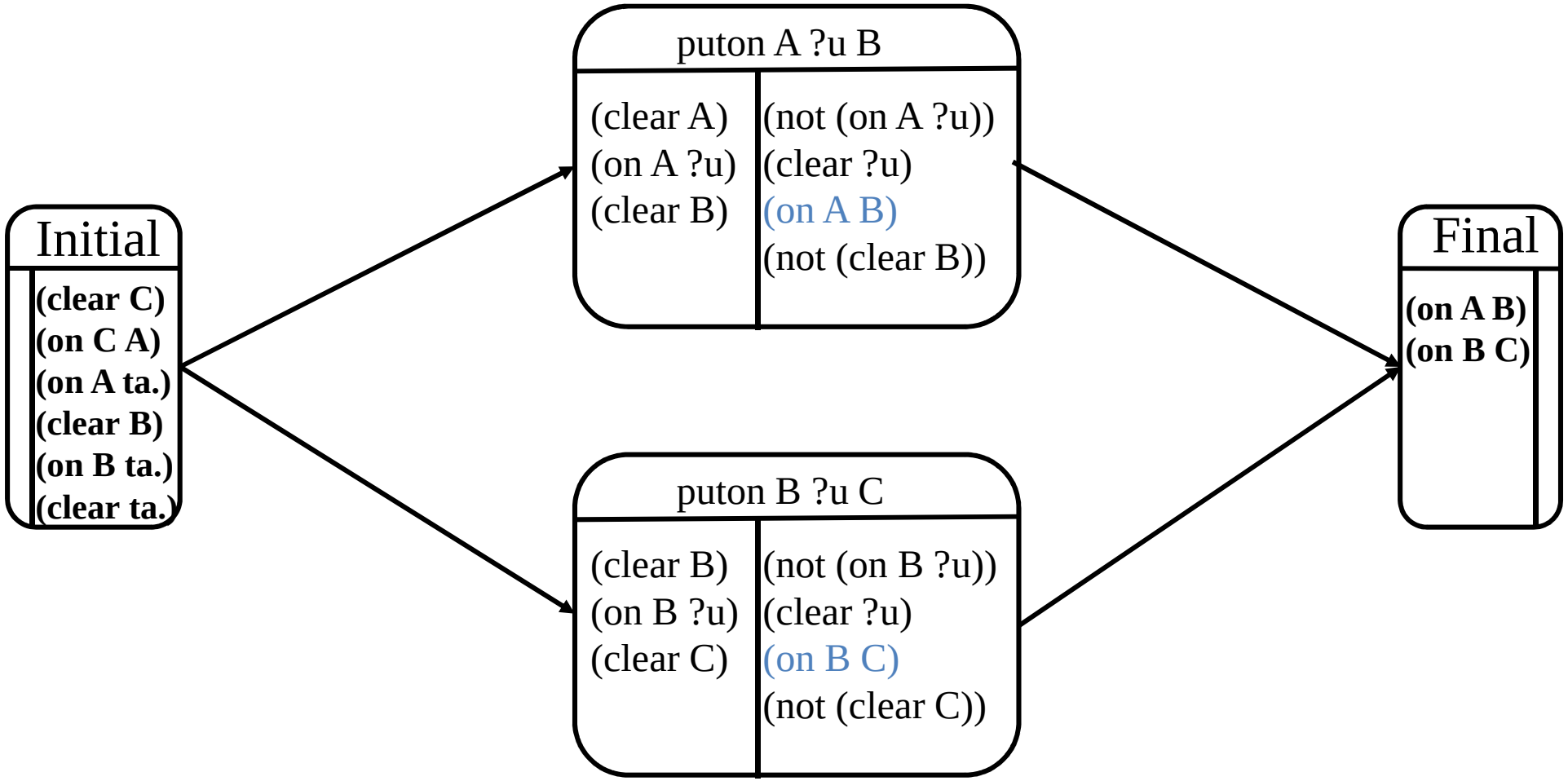
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (2/16)



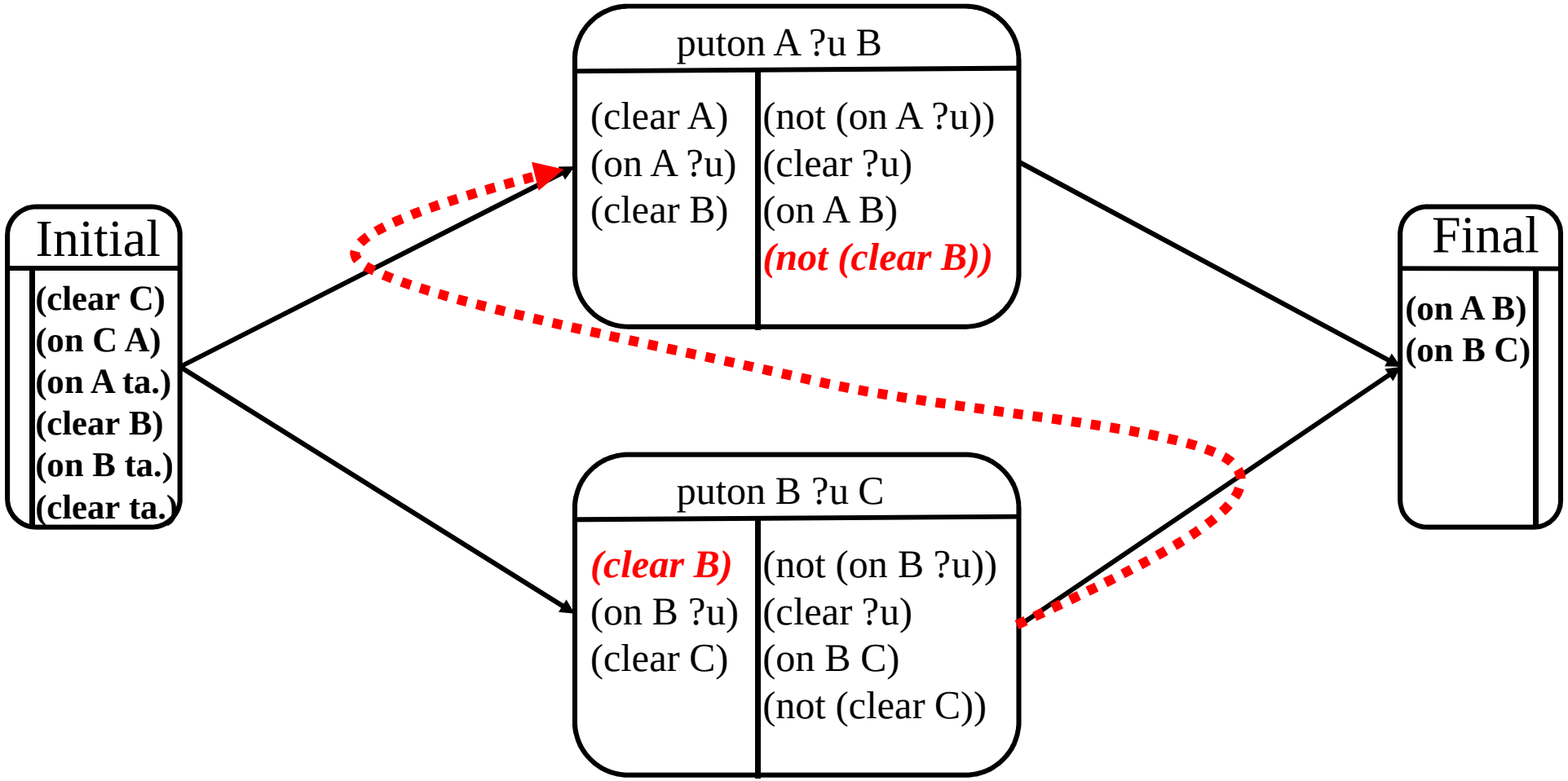
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (3/16)



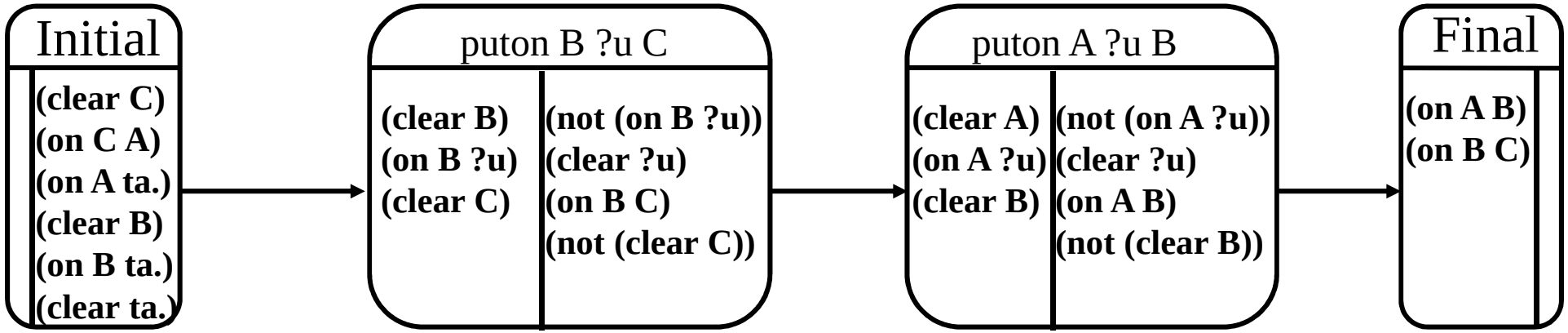
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (4/16)



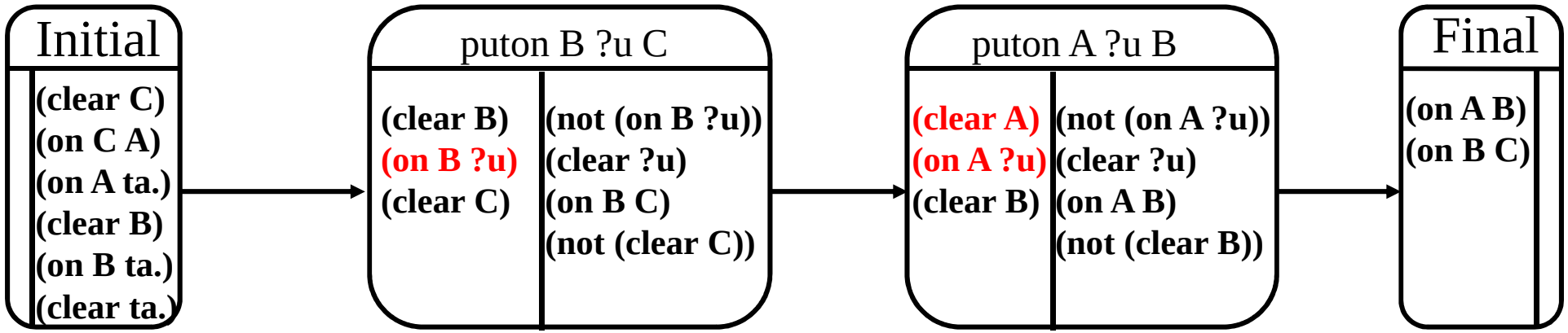
L'anomalie de Gerald Jay Sussman (5/16)



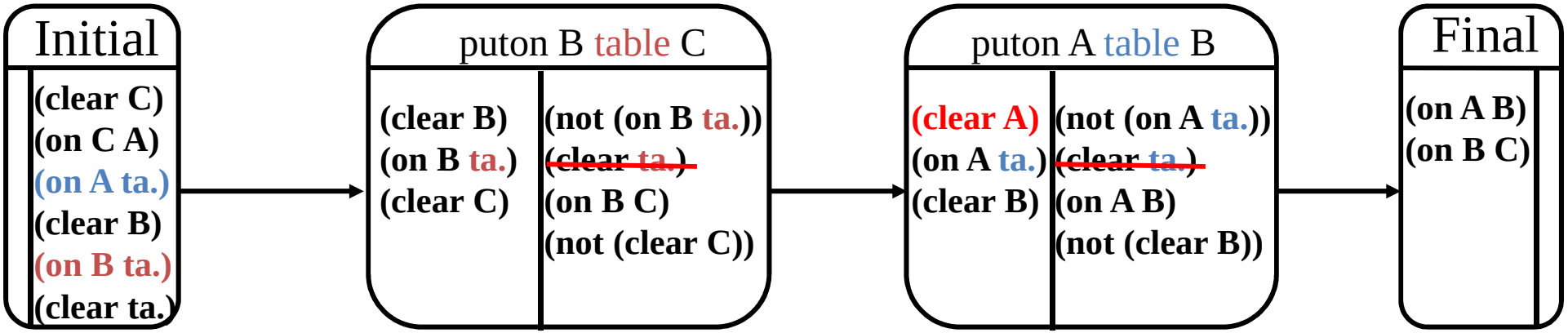
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (6/16)



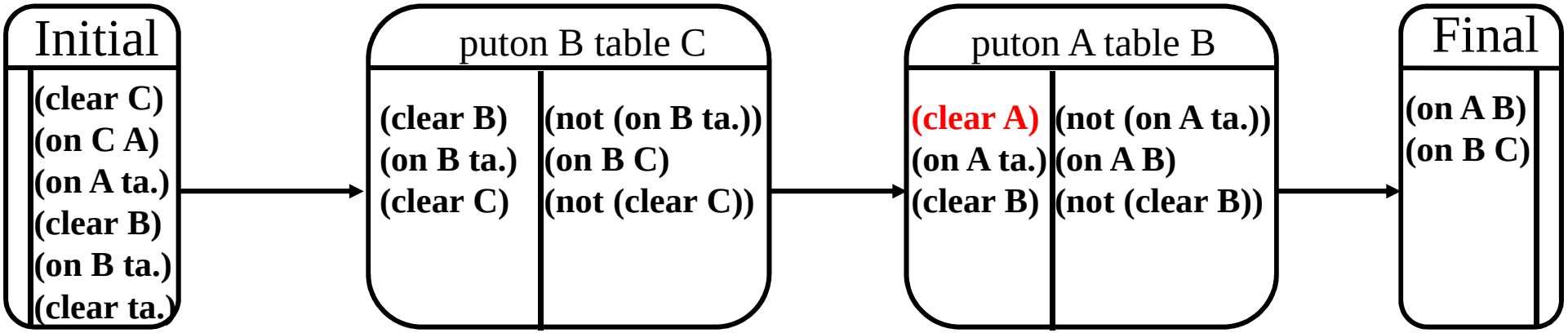
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (7/16)



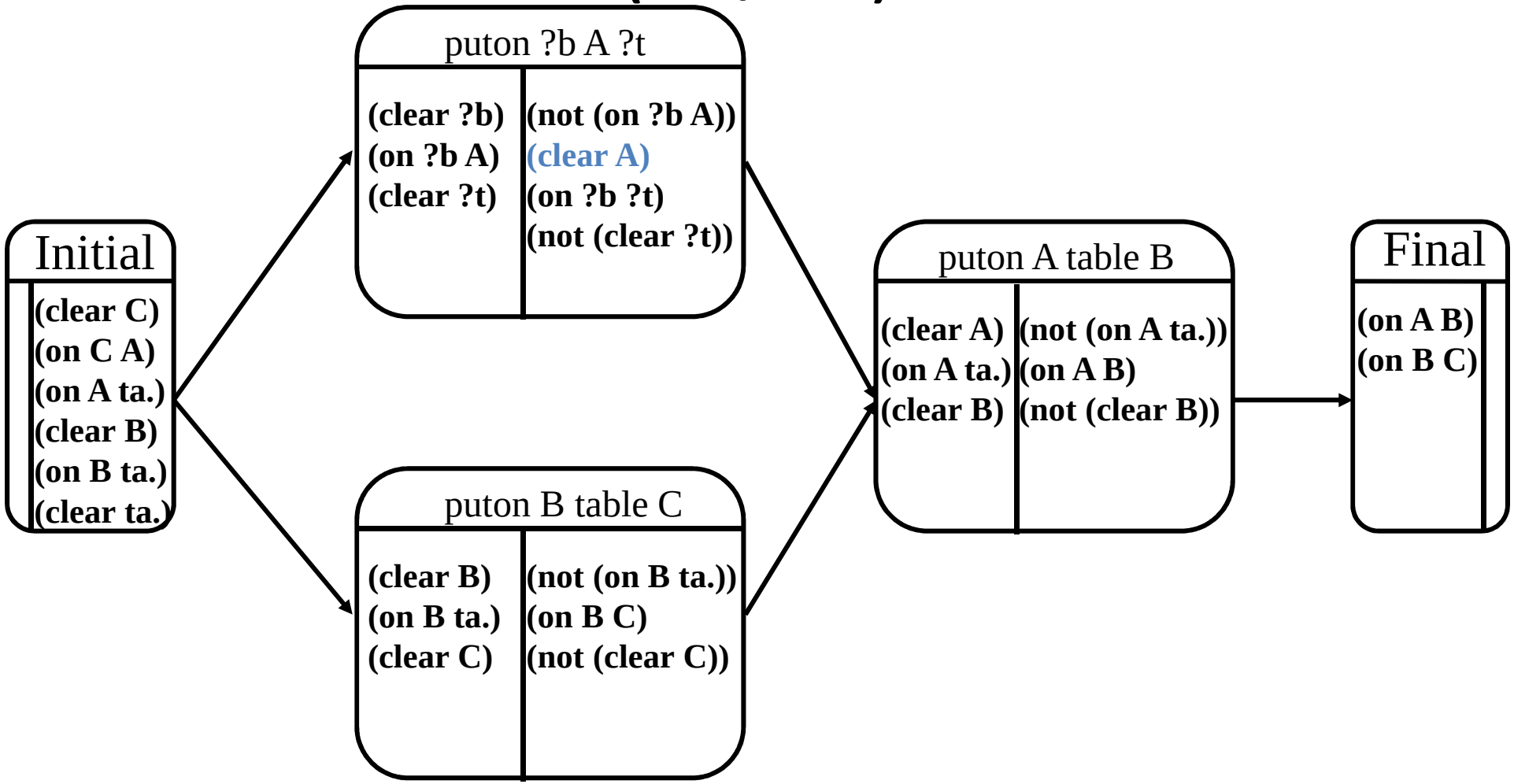
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (8/16)



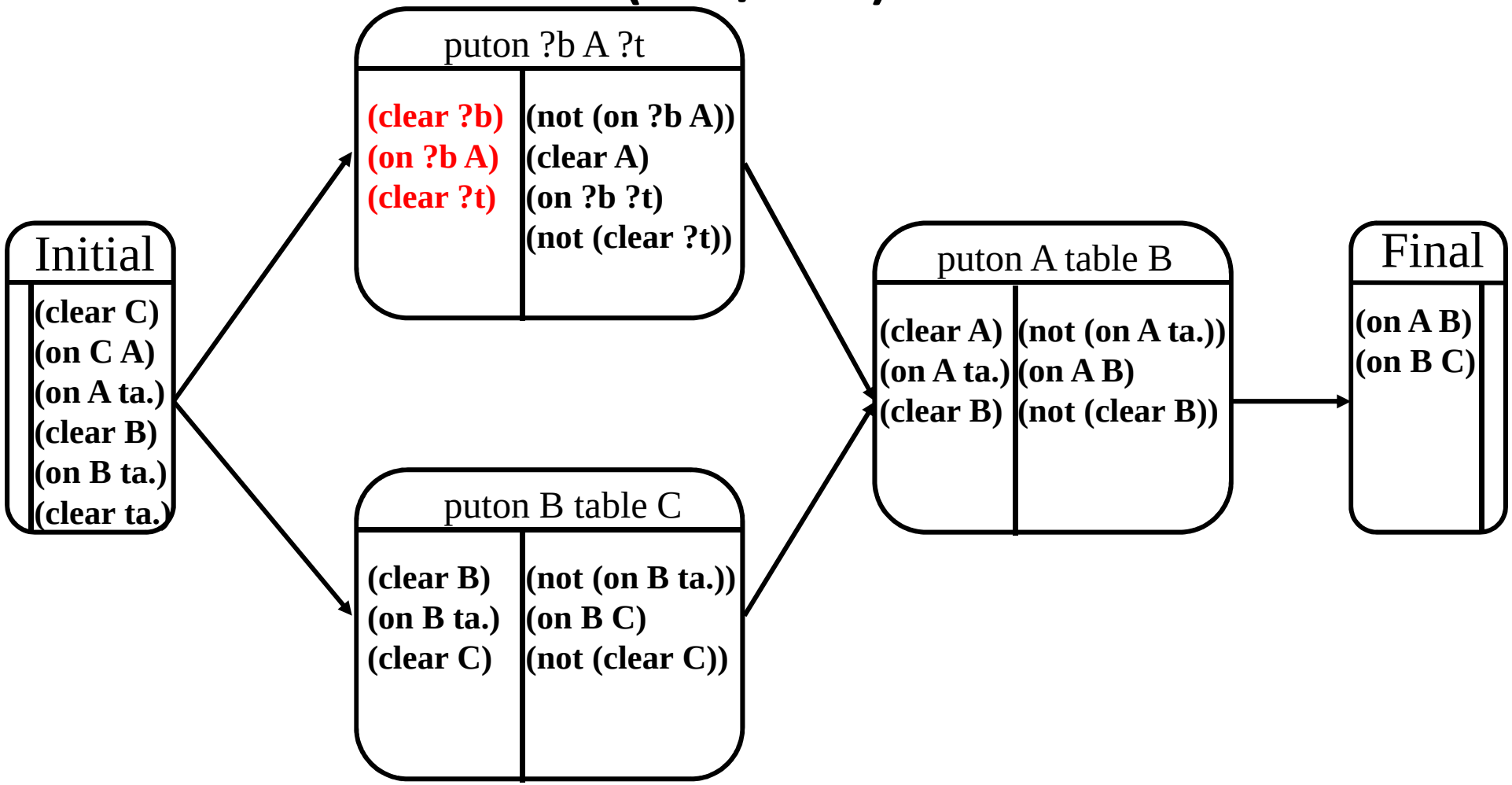
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (9/16)



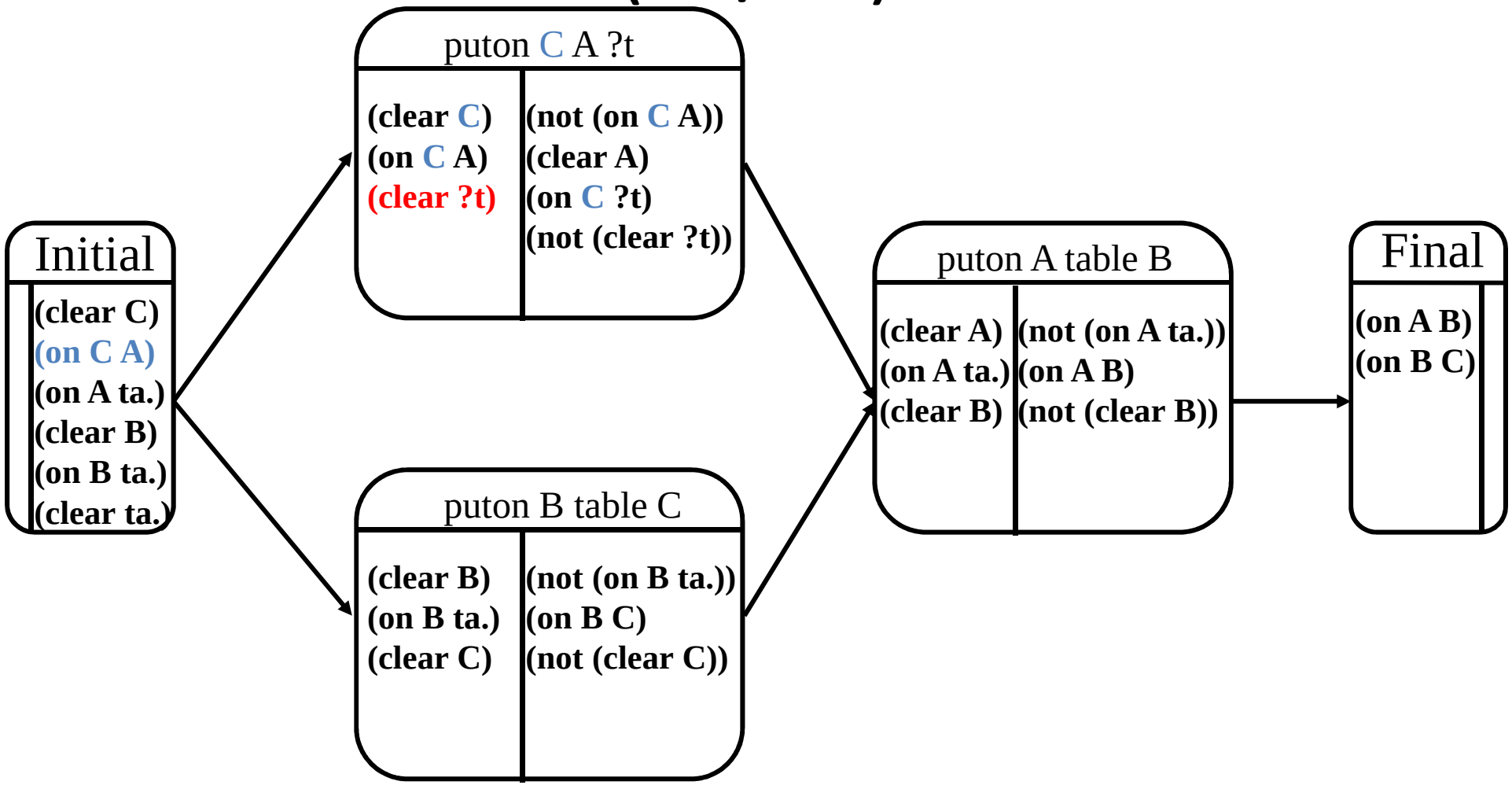
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (10/16)



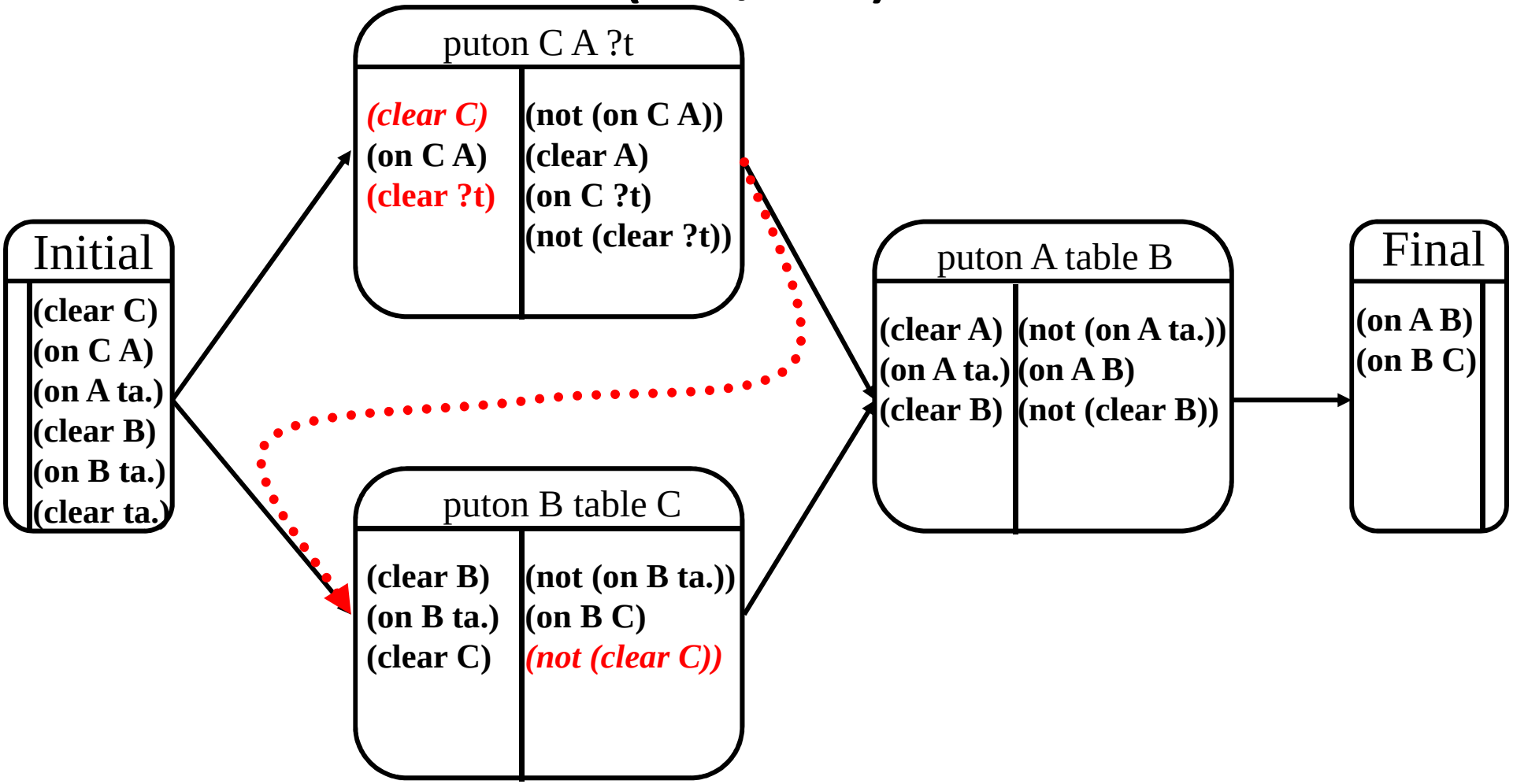
L'anomalie de Gerald Jay Sussman (11/16)



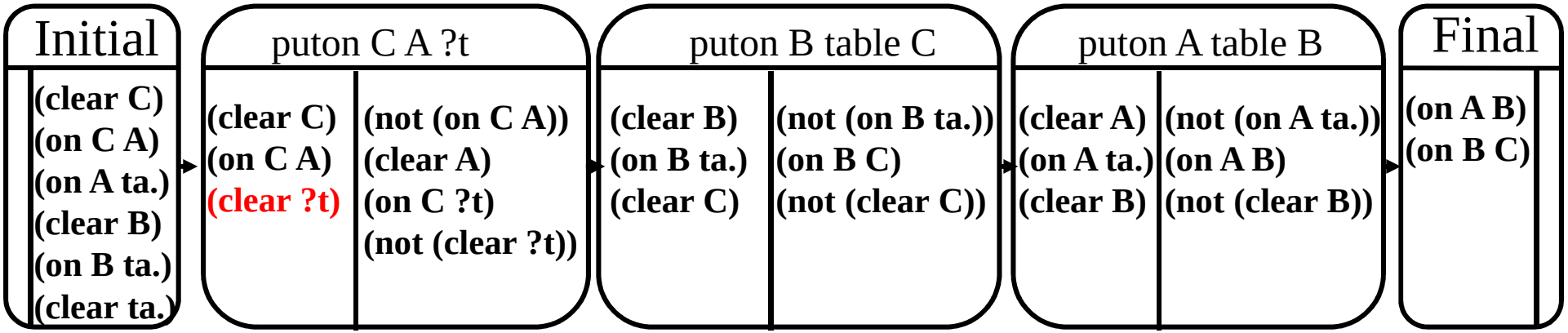
L'anomalie de Gerald Jay Sussman (12/16)



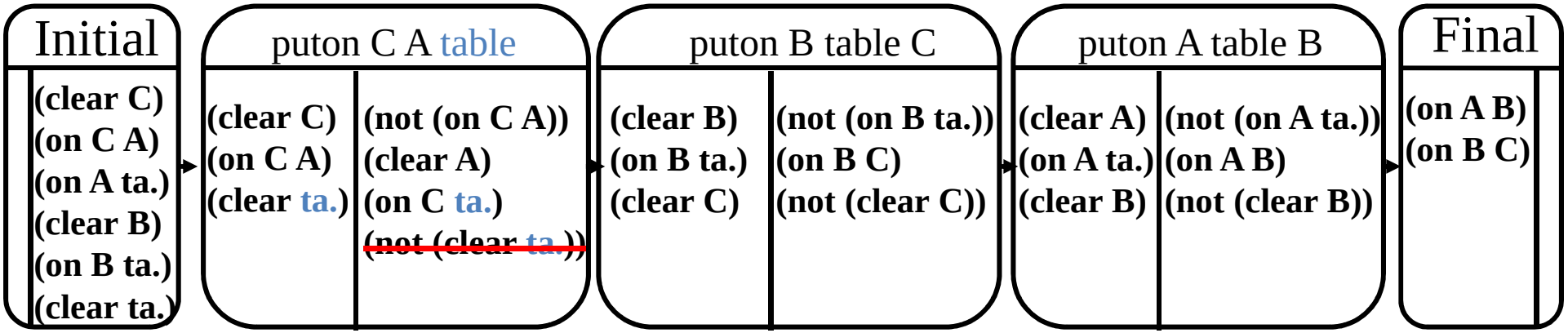
L'anomalie de Gerald Jay Sussman (13/16)



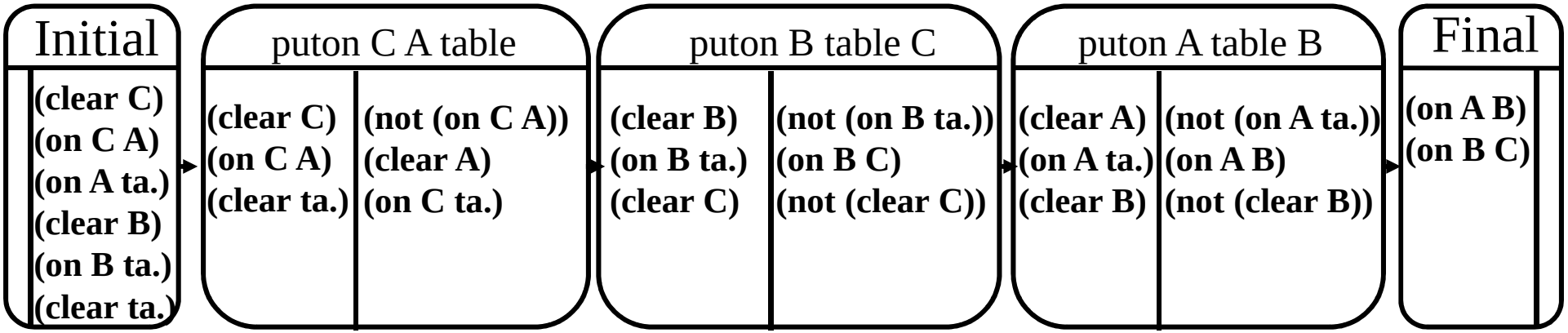
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (14/16)



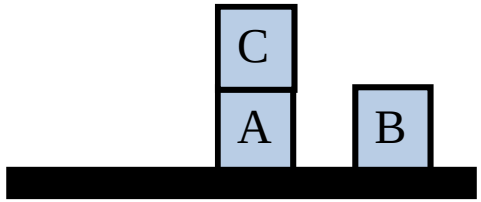
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (15/16)



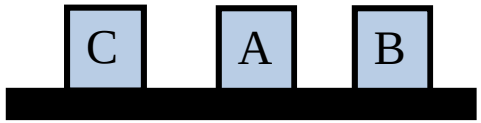
L’anomalie de Gerald Jay Sussman (16/16)



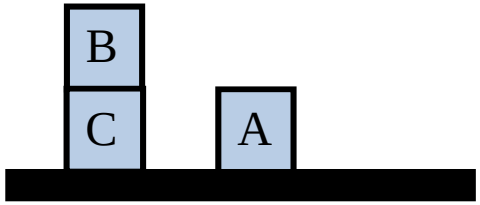
L’anomalie de Gerald Jay Sussman : solution



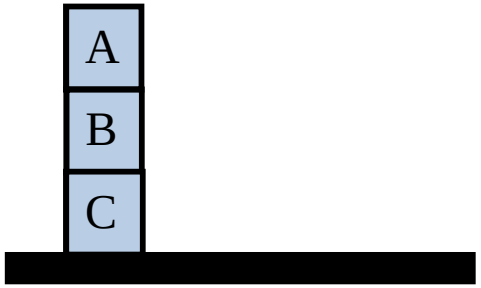
(1)



(2)



(3)

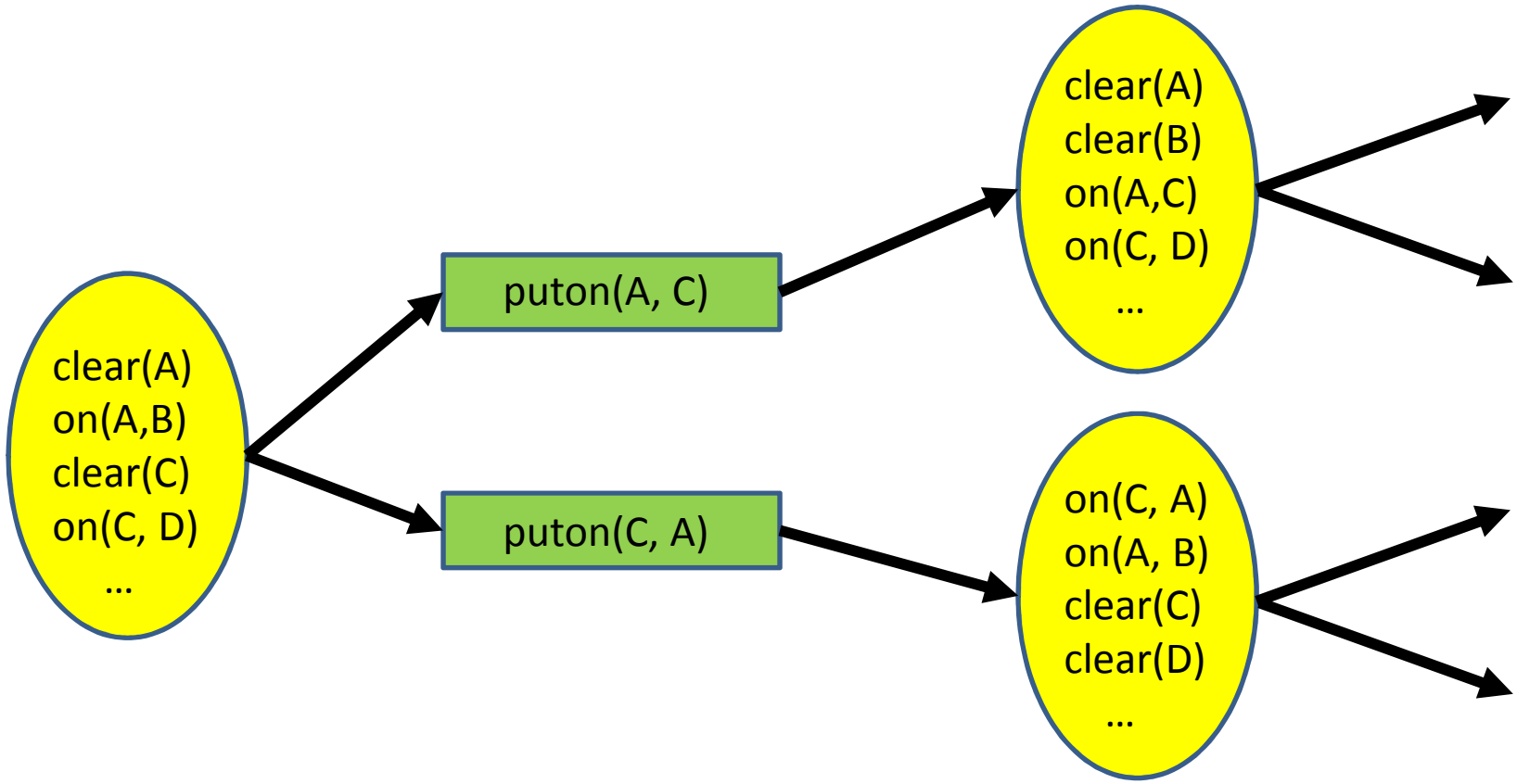


(4)

Algorithme dans un espace d'états : Recherche avant (1 / 2)

- Un état S_i = un état de l'environnement.
  - S_0 = état initial = $f_1, \ldots, f_n$.
  - Exemple : une configuration de cubes.
- *Successeurs(S_i)* = les *N* nouveaux états $\{ S_{i+1}, \ldots, S_{i+N} \}$ atteignables par un opérateur applicable en chaînage avant à S_i :
  - Toutes les préconditions sont présentes dans S_i ; ajouter les effets positifs à S_i et retrancher les effets négatifs de S_i pour obtenir S_{i+j}.
- *bool Solution(S_i)* ssi S_i contient les buts $b_1, \ldots, b_l$.
- Algorithme : tout algorithme de recherche dans un espace d'états (par ex., A*).

Algorithmes dans un espace d'états : Recherche avant (2 / 2)

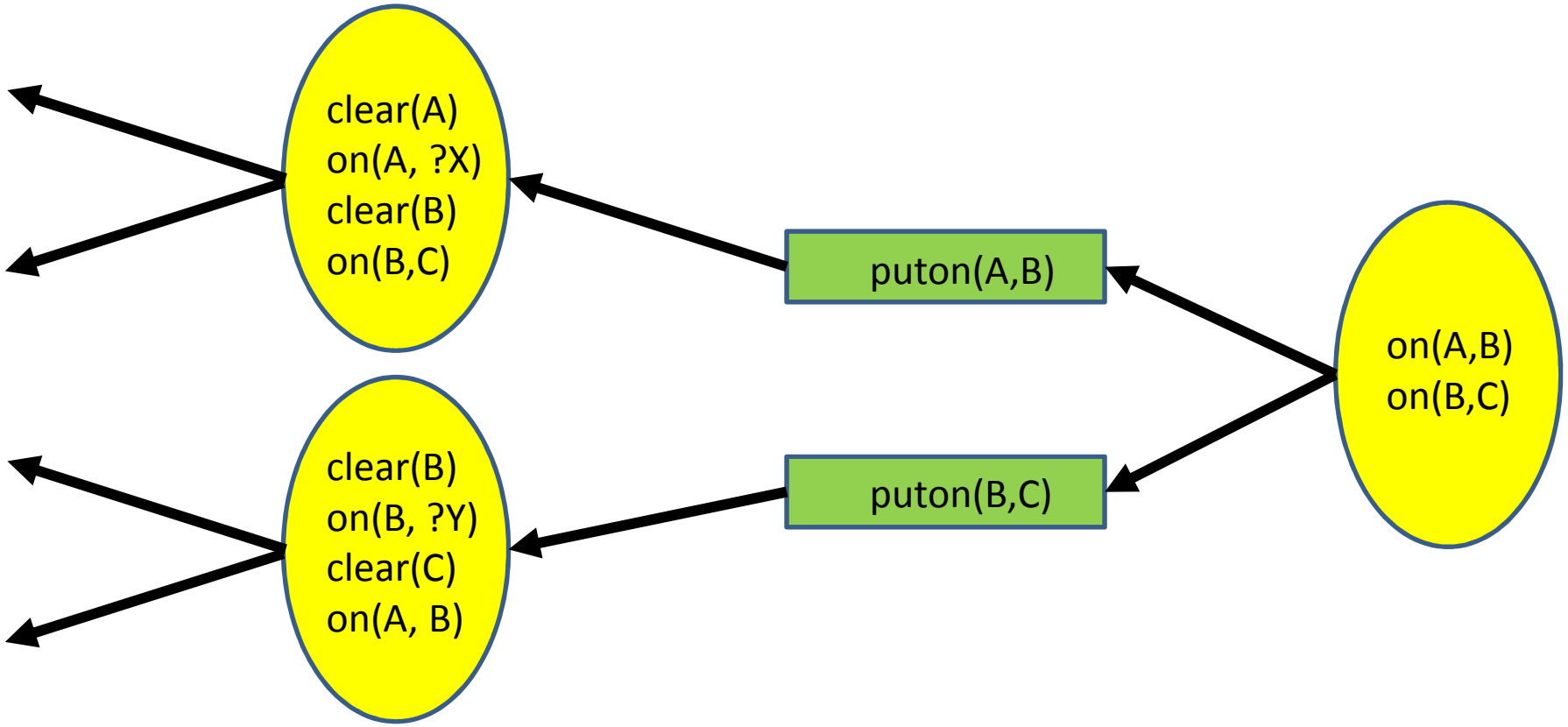


Algorithme dans un espace d'états : Recherche arrière (1 / 2)

- Un état S_i = un état de l'environnement.
  - S_0 = les buts = $b_1, \ldots, b_l$.
- *Prédécesseurs(S_i)* = N nouveaux états $\{ S_{i+1}, \ldots, S_{i+N} \}$ obtenus en appliquant un opérateur en chaînage arrière à S_i.
  - Un opérateur est applicable ssi il possède une post-condition qui s'unifie avec un terme de S_i.
  - Ajouter les préconditions à S_i pour obtenir S_{i+j}.
- *bool Solution(S_i)* ssi S_i contient les littéraux $f_1, \ldots, f_n$.

- Algorithme : tout algorithme de recherche dans un espace d'états (par ex., A*).

Algorithme dans un espace d'états : Recherche arrière (2 / 2)



Algorithmes dans un espace d'états : Heuristiques

- Une fonction heuristique = une estimation de la distance à la solution + admissibilité.
- Trouver une bonne heuristique est difficile.
- Utiliser un problème relaxé : le coût optimal pour le problème relaxé est une heuristique du problème général.
  - Problème relaxé : Ne pas considérer les pré-conditions ; ne pas considérer les post-conditions négatives.
  - Exemple : buts = $A \wedge B \wedge C$

  Act(X, Eff.: $A \wedge P$) Act(Y, Eff.: $B \wedge C \wedge Q$) Act(Z, Eff.: $B \wedge P \wedge Q$)

  Les actions X et Y suffisent (interaction positive), donc coût de 2.

  Mieux que la résolution indépendante des 3 buts (coût 3).

Algorithme dans un espace de plans partiels (1 / 2)

- Plan = (Descriptions ***T***, Opérateurs ***Op***, OrdrePartiel ***O***, Unification ***U***).
- Définitions :
  - Conflit : une post-condition qui peut détruire un lien causal (menace).
  - Satisfaire une pré-condition ***p*** : faire qu'il y ait un opérateur (ou pseudo opérateur initial) avant ***p***, dont une post-condition ***q*** s'unifie avec ***p***.

- *PLANIFICATEUR(**T, Op., O, U**)* :

  TANTQUE conflit || au moins 1 pré-condition non satisfaite

  1. Résoudre les conflits ;
  2. Choisir une pré-condition ***p*** non satisfaite ;
  3. Satisfaire ***p*** :
     - Ajouter à ***U*** une contrainte d'unification / de non-unification;
     - Ajouter à ***O*** une contrainte de précédence ;
     - Ajouter à ***Op*** un opérateur de ***T*** partiellement instantié.

Planificateur dans l'espace des plans partiels (2 / 2)

- Un état = un plan partiellement ordonné et partiellement instantié.

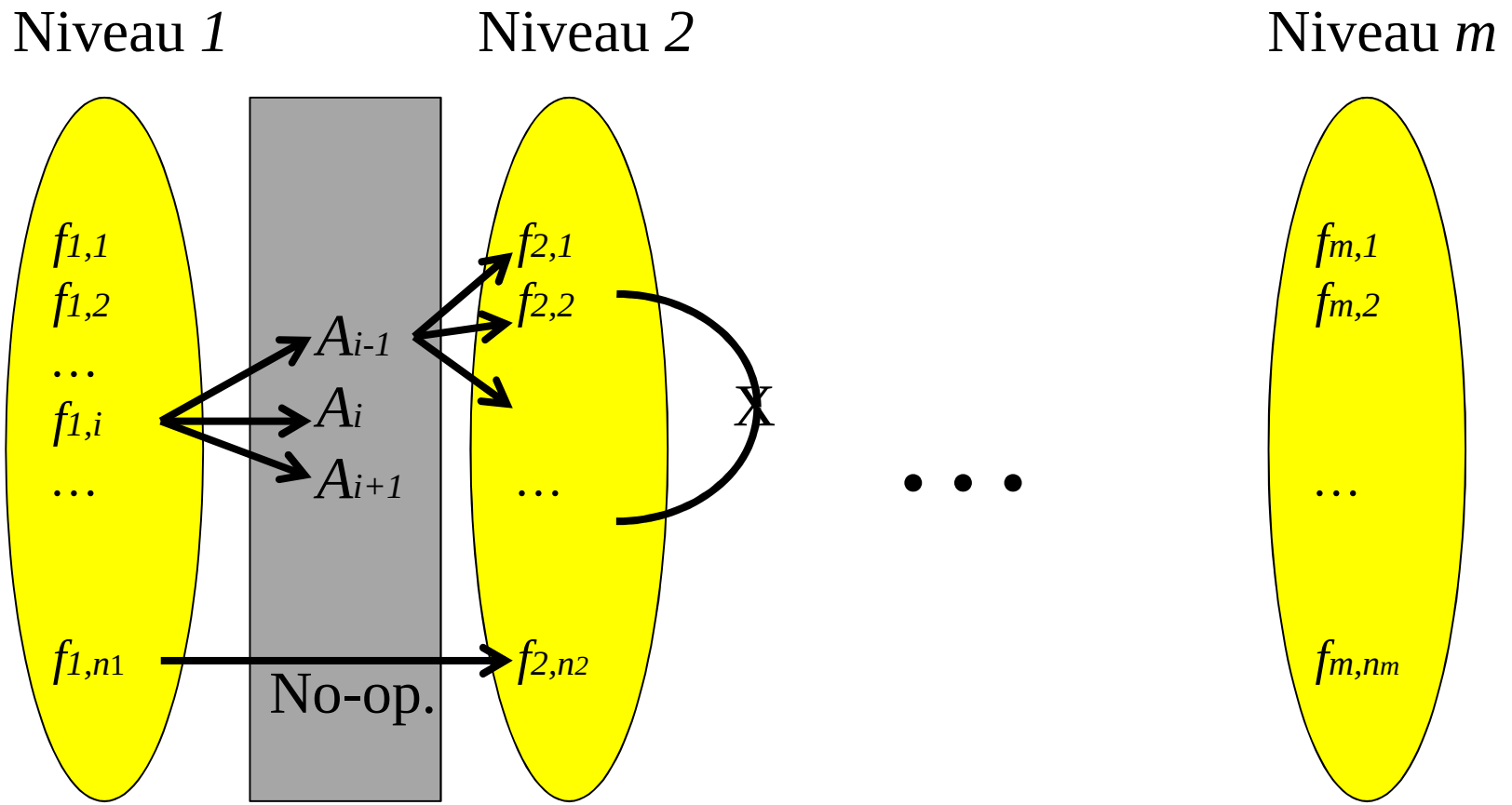
- *PLANIFICATEUR(**T**, **Op.**, **O**, **U**) :*

  Algorithme de recherche dans un espace d'états (par ex., A*) :

  - Un état = un plan partiel (***T***, ***Op.***, ***O***, ***U***).
  - Un successeur = obtenu par résolution de conflit, ou satisfaction d'une pré-condition.
    - Ajout d'une contrainte d'unification / non-unification à ***U***
    - Ajout d'une contrainte de précédence à ***O***
    - Ajout d'un opérateur de ***T*** à ***Op***
  - Une fonction solution = aucun conflit && toutes les pré-conditions sont satisfaites.

- Heuristique : nombre de préconditions non satisfaites, nombre de conflits

Plan de graphe (1 / 4)



- Niveaux avec *mutex* (relations d'exclusions mutuelles) : un niveau n'est pas un état.
- Plan de graphe avant, et recherche arrière.

Plan de graphe (2 / 4)

- Structure de données :
  - Plan de graphe = termes et opérateurs en niveaux alternés
  - No-op
- Algorithme GRAPHLAN(S_0, Buts, T)
  A. Poser le niveau initial égal à S_0
  B. TANT QUE (!plan-solution || S_i != S_{i-1})
     1. SI les buts sont dans le dernier niveau et ne sont pas mutex
        ALORS rechercher un plan-solution depuis le dernier niveau en arrière.
            SI un tel plan-solution est trouvé, ALORS SUCCES.
     2. Expansion du plan de graphe sur 1 niveau
        a) Développer toutes les actions possibles
        b) Relations *mutex*

Plan de graphe (3 / 4)

- Relations d'exclusion mutuelle (*mutex*) entre opérateurs :
  - Effets inconsistants : un opérateur possède un effet qui nie un effet d'un autre opérateur.
  - Interférence : un effet d'un opérateur est la négation d'une précondition d'un autre opérateur.
  - Besoins en compétition : une précondition d'un opérateur est mutex avec une précondition d'un autre opérateur.
- Mutex entre littéraux de même niveau :
  - L'un est la négation de l'autre.
  - Toute paire d'action possible, qui les établit, est mutex.

Plan de graphe (4 / 4)

- Recherche en arrière d'un plan-solution dans le plan de graphe :
  - Une recherche dans un espace d'états (ou CSP dynamique).
  - Etat initial = niveau S_n avec les buts
  - Prédécesseurs = choisir un sous-ensemble d'actions dans A_{i-1} sans conflit qui satisfasse les buts de S_i.
  - But = arriver à S_0 avec tous les buts satisfaits.

Plan de graphe
Exemple (1 / 2)

- Etat initial : avoir(Gateau)
- Buts : avoir(Gateau) $\wedge$ mangé(Gateau)
- Action mange(Gateau)

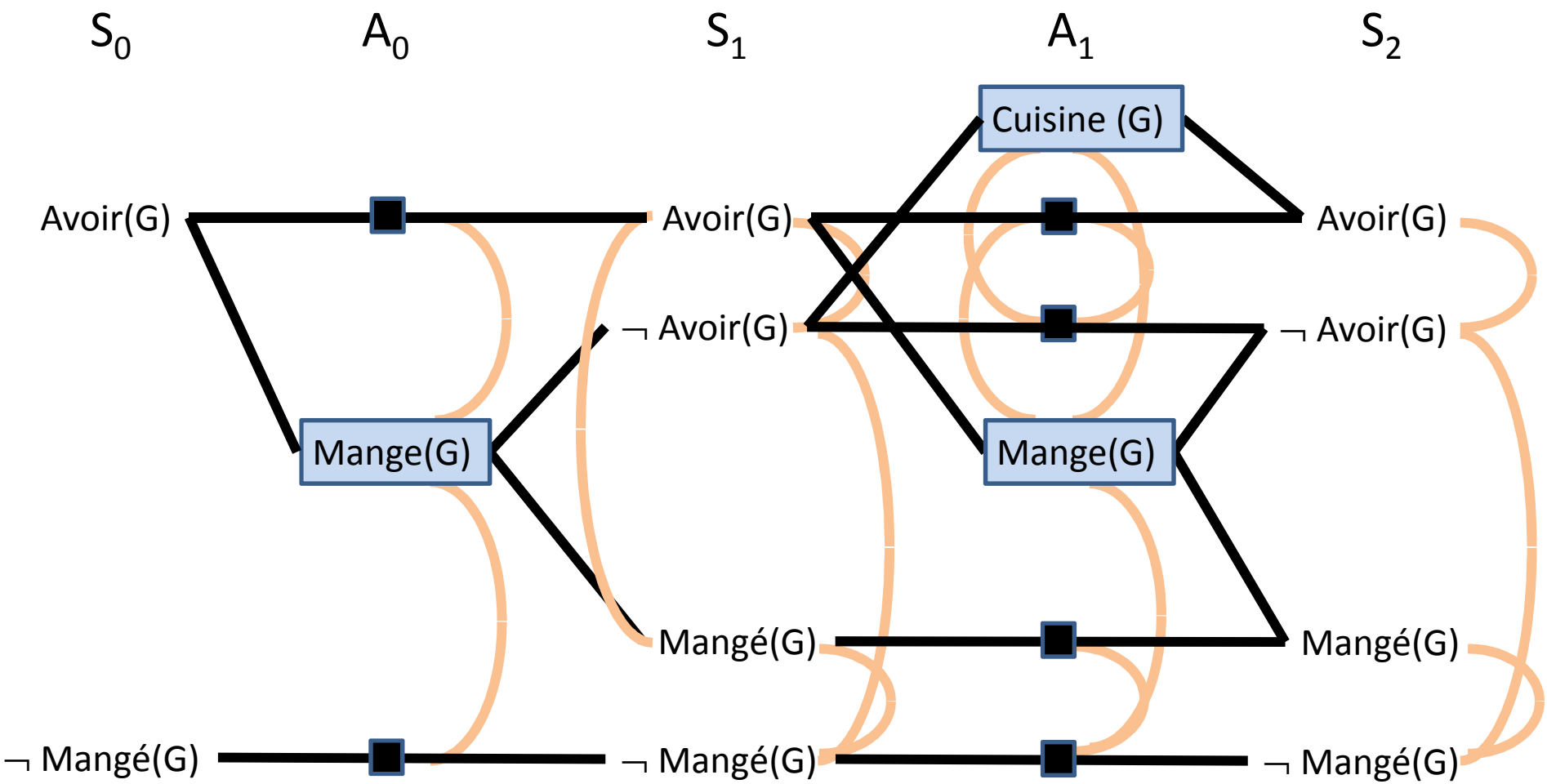
  Pré-conditions : avoir(Gateau)

  Post-conditions : $\neg$ avoir(Gateau) $\wedge$ mangé(Gateau)
- Action cuisine(Gateau)

  Pré-conditions : $\neg$ avoir(Gateau)

  Post-conditions : avoir(Gateau)

Plan de graphe
Exemple (2 / 2)



Plan de graphe
Terminaison

- Le nombre de littéraux par niveau s'accroit de façon monotone.
- Le nombre d'actions par niveau s'accroit de façon monotone.
- Le nombre de mutex par niveau décroit de façon monotone.
- Conclusion : éventuellement retrouver le même niveau deux fois …

Planificateurs par solver SAT (1 / 4)

- Solvers SAT (rappel) :
  - Problème de la **sat**isfiabilité d'une formule logique : « *Trouver la valeur de vérité de chaque proposition qui, ensemble, satisfont une formule logique donnée* ».
  - Exemple de formule : $(\boldsymbol{p} \wedge \boldsymbol{q}) \vee (\boldsymbol{r} \wedge \neg \boldsymbol{s} \wedge \boldsymbol{t}) \vee (\boldsymbol{u} \wedge \boldsymbol{v} \wedge \neg \boldsymbol{w})$
  - Logique des propositions.
  - 3SAT est le 1er problème prouvé NP-complet (1971).
  - Conférence Internationale SAT : http://www.satisfiability.org/
  - Applications : preuves de la correction de circuits intégrés dans un chip, preuve de non risque d'accident dans le programme qui pilote une ligne de métro (par ex., ligne 1 du métro parisien), ….

Planificateurs par solver SAT (2 / 4)

- En logique des propositions, essayer de prouver la formule :

  etat-initial $\wedge$ *tous-les-plans-possibles* $\wedge$ *buts*

- Principe de l'algorithme :

  1. *n = 1* *// Longueur du plan-solution.*
  2. Transformer le problème de longueur *n* en une formule en logique des propositions.
  3. Utiliser un solveur SAT pour essayer de prouver la formule.
     Si prouvé, ALORS extraire le plan-solution de la formule ET SUCCES.
  4. SI le solveur SAT échoue, ALORS incrémenter *n*, ALLER-EN 2.

Planificateurs par solver SAT (3 / 4)

- Dans le monde des cubes, pour l'anomalie de Gerald Sussman :
  - Buts : on(A,B)@T $\wedge$ on(B,C)@T
  - Etat initial : clear(C)@0 $\wedge$ on(C,A)@0 $\wedge$ clear(B)@0
    ($\wedge \neg$ on(A,C)@0 $\wedge \neg$ on(A,B)@0 $\wedge \neg$ on(B,C)@0 $\wedge \neg$ on(B,A)@0
    $\wedge \neg$ on(C, B)@0 $\wedge \neg$ clear(A)@0) // *hypothèse du monde fermé*
  - Une proposition par opérateur instantié :

$\forall$ ***x***, $\forall$ ***y***, $\forall$ ***z***, $\forall$ ***t*** :

on(***x***,***y***)@***t*** $\wedge$ clear(***x***)@***t*** $\wedge$ clear(***z***)@***t*** $\wedge$ puton(***x***,***y***,***z***)@***t*** $\Rightarrow$ clear(***y***)@***t***+1 $\wedge$ on(***x***,***z***)@***t***+1

  - Axiomes sur les préconditions :

$\forall$ ***x***, $\forall$ ***y***, $\forall$ ***z***, $\forall$ ***t*** :

puton(***x***, ***y***, ***z***)@***t*** $\Rightarrow$ on(***x***,***y***)@***t*** $\wedge$ clear(***x***)@***t*** $\wedge$ clear(***z***)@***t***

  - Un seul opérateur à la fois (contraintes d'état) :

$\forall$ ***x***, $\forall$ ***y***, $\forall$ ***y'***, $\forall$ ***z***, $\forall$ ***z'***, $\forall$ ***t*** / ***y*** <> ***y'*** $\wedge$ ***z*** <> ***z'*** :

$\neg$ (puton(***x***, ***y***, ***z***)@***t*** $\wedge$ puton(***x*** ,***y'*** ,***z'***)@***t***)

Planificateurs par solver SAT (4 / 4)

- Complexité de cet encodage : T x |Act| x $|O|^P$ avec :
  - T = taille limite du plan
  - |Act| = nombre d'opérateurs
  - |O| = nombre d'objets
  - P = arité maximum d'un opérateur
- Séparation des symboles : certains symboles séparés seront inutiles dans les axiomes
  - puton1(A) = cube qui est bougé
  - puton2(B) = cube destination
  - puton3(C) = cube du dessous
- Exemple : contrainte d'état :

  puton1(A)@t $\wedge$ (puton2(B)@t $\wedge \neg$ puton2(C)@t $\vee$ puton2(C)@t $\wedge \neg$ puton2(B)@t)
- Complexité de ce 2^e encodage : T x |Act| x |O|

Planificateurs par PPC (1 / 3)

- Programmation par contraintes (rappel) : variables, domaines, contraintes + retour-arrière, consistance d'arc.
- Principe :
  1. Estimer heuristiquement la longueur *n* du plan-solution
  2. Transformer le problème de planification en un CSP
  3. Résoudre cette formulation avec un solver de CSP
  4. SI le solver de CSP échoue, ALORS incrémenter *n*, GOTO 2.
- Exemples :
  - IxTeT du LAAS à Toulouse [Laborie 95].
    http://spiderman-2.laas.fr/RIA/IxTeT/ixtet-planner.html
  - Constraint Programming Temporal planner (CPT) de l'ONERA Toulouse [Vidal 06].
    http://v.vidal.free.fr/onera/#cpt

Planificateurs par PPC (2 / 3)

- Canonicité : un opérateur instantié apparait au plus une fois.
- Pseudo opérateurs : *Start* (sans pré-condition) et *End* (sans post-condition).
- Heuristique pour estimer la durée ***B*** du plan-solution.
- Puisqu'un plan-solution est linéaire, numéroter les instants.
- Actions duratives.
- Déclarer des contraintes redondantes
- Variables du CSP :
  - Date de début de l'opérateur o : $T(\mathbf{o}) \in [\ 0\ ;\ \mathbf{B}\ [$
  - Support de la précondition ***p*** dans l'opérateur ***o*** : $S(\mathbf{p}, \mathbf{o}) \in O(\mathbf{p})$
  - Date de début du $S(\mathbf{p}, \mathbf{o})$: $T(\mathbf{p}, \mathbf{o}) \in [\ 0\ ;\ \mathbf{B}\ [$
  - $InPlan(\mathbf{o}) \in \{0, 1\}$ indique la présence de l'opérateur ***o*** dans le plan

    $InPlan(Start) = 1$, $InPlan(End) = 1$.

Planificateurs par PPC (3 / 3)
Contraintes

- Bornes : $T(Start) + dist(Start, \mathbf{o}) \leq T(\mathbf{o})$ $\quad T(\mathbf{o}) + dur(\mathbf{o}) + dist(\mathbf{o}, End) \leq T(End)$
- Contraintes de support :

  $S(\mathbf{p}, \mathbf{o}) = \mathbf{o'} \Rightarrow T(\mathbf{p}, \mathbf{o}) = T(\mathbf{o'})$

  $\min_{\mathbf{o'} \text{ in } S(\mathbf{p}, \mathbf{o})} (T(\mathbf{o'})) \leq T(\mathbf{p}, \mathbf{o}) \leq \max_{\mathbf{o'} \text{ in } S(\mathbf{p}, \mathbf{o})} (T(\mathbf{o'}))$
- Préconditions : Les supports $\mathbf{o'}$ de la précondition $\mathbf{p}$ de $\mathbf{o}$ doivent précéder o selon $dist(\mathbf{o'}, \mathbf{o})$

  $T(\mathbf{o}) \geq \min_{o' \in D(S(\mathbf{p}, \mathbf{o}))} (T(\mathbf{o'}) + dur(\mathbf{o'}) + dist(\mathbf{o'}, \mathbf{o}))$

  $T(\mathbf{o}) \geq T(\mathbf{p}, \mathbf{o}) + \min_{o' \in D(S(\mathbf{p}, \mathbf{o}))} (dur(\mathbf{o'}) + dist(\mathbf{o'}, \mathbf{o}))$

  $T(\mathbf{o'}) + dur(\mathbf{o'}) + dist(\mathbf{o'}, \mathbf{o}) > T(\mathbf{o}) \Rightarrow S(\mathbf{p}, \mathbf{o}) \neq \mathbf{o'}$
- Liens causaux : Pour toute précondition $\mathbf{p}$ de $\mathbf{o}$ et pour tout $\mathbf{o'}$ qui détruit $\mathbf{p}$, $\mathbf{o'}$ est avant $S(\mathbf{p}, \mathbf{o})$ ou suit $\mathbf{o}$

  $T(\mathbf{o'}) + dur(\mathbf{o'}) + \min_{o'' \in D(S(\mathbf{p}, \mathbf{o}))} (dist(\mathbf{o'}, \mathbf{o''})) \leq T(\mathbf{p}, \mathbf{o}) \quad \vee$

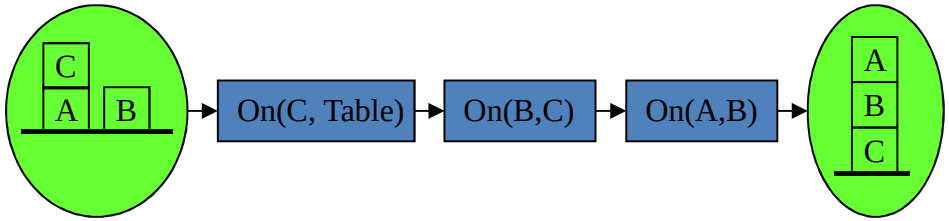
  $T(\mathbf{o}) + dur(\mathbf{o}) + dist(\mathbf{o}, \mathbf{o'}) \leq T(\mathbf{o'})$
- Mutex : si les opérateurs $\mathbf{o}$ et $\mathbf{o'}$ sont mutex, pas de parallélisme

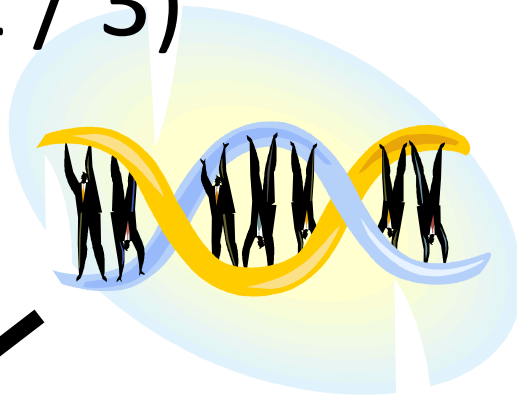
  $T(\mathbf{o}) + dur(\mathbf{o}) + dist(\mathbf{o}, \mathbf{o'}) \leq T(\mathbf{o'}) \vee T(\mathbf{o'}) + dur(\mathbf{o'}) + dist(\mathbf{o'}, \mathbf{o}) \leq T(\mathbf{o})$

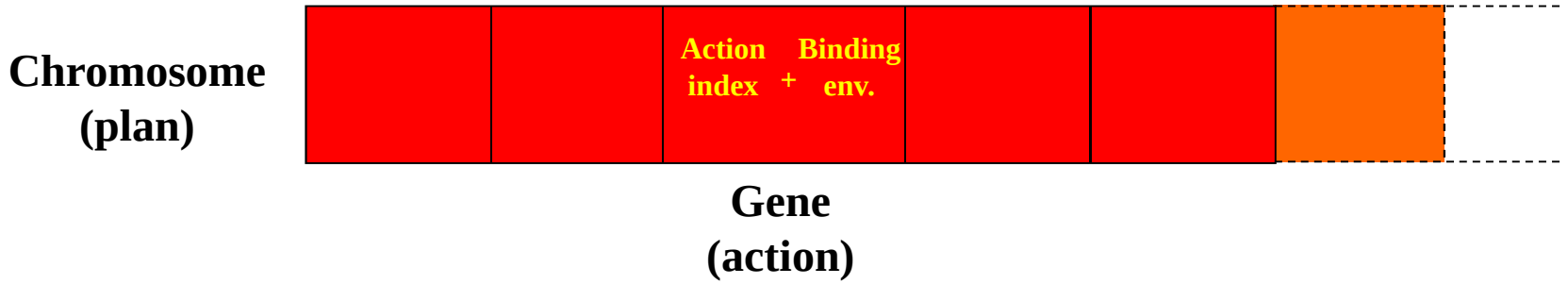
Planificateurs par algorithmes évolutionnaires (1 / 3)

- Algorithmes évolutionnaires (rappels) :
  - Un individu est représenté par un chromosome (une séquence de gènes).
  - Opérateurs de croisement entre 2 chromosomes et de mutation d'un chromosome.
  - Fonction d'adaptation à l'environnement.
  - Emergence d'une solution après N générations de la population d'individus.
- Encodage :
  - Un plan partiel séquentiel est un individu, un gène est un opérateur instantié.
  - Fonction d'adaptation = nombre de « bugs » dans l'individu-plan.

Planificateurs par algorithmes évolutionnaires (2 / 3)



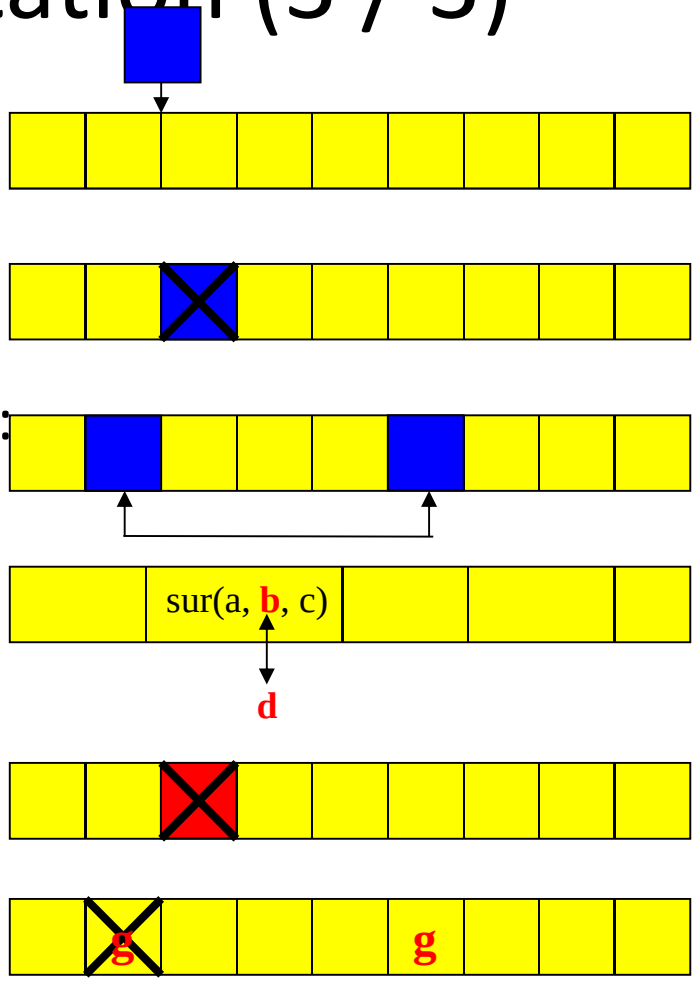




$$C = (a_i, (p_{i,j}, o_j)_{j \in Param(i)})_{i \in [1,N]}$$ where
- a_i : index of i - th action
- $p_{i,j}$: index of j - th parameter in i - th action
- o_j : index of j - th object in the parameter list

Planificateurs par algorithmes évolutionnaires : mutation (3 / 3)

- Ajout aléatoire de gène :
- Retrait aléatoire de gène :
- Permutation aléatoire de deux gènes :
- Remplacement d'un gène :
- Mutations heuristiques :
  - Retrait d'un gène conflictuel :
  - Retrait d'un gène dupliqué :

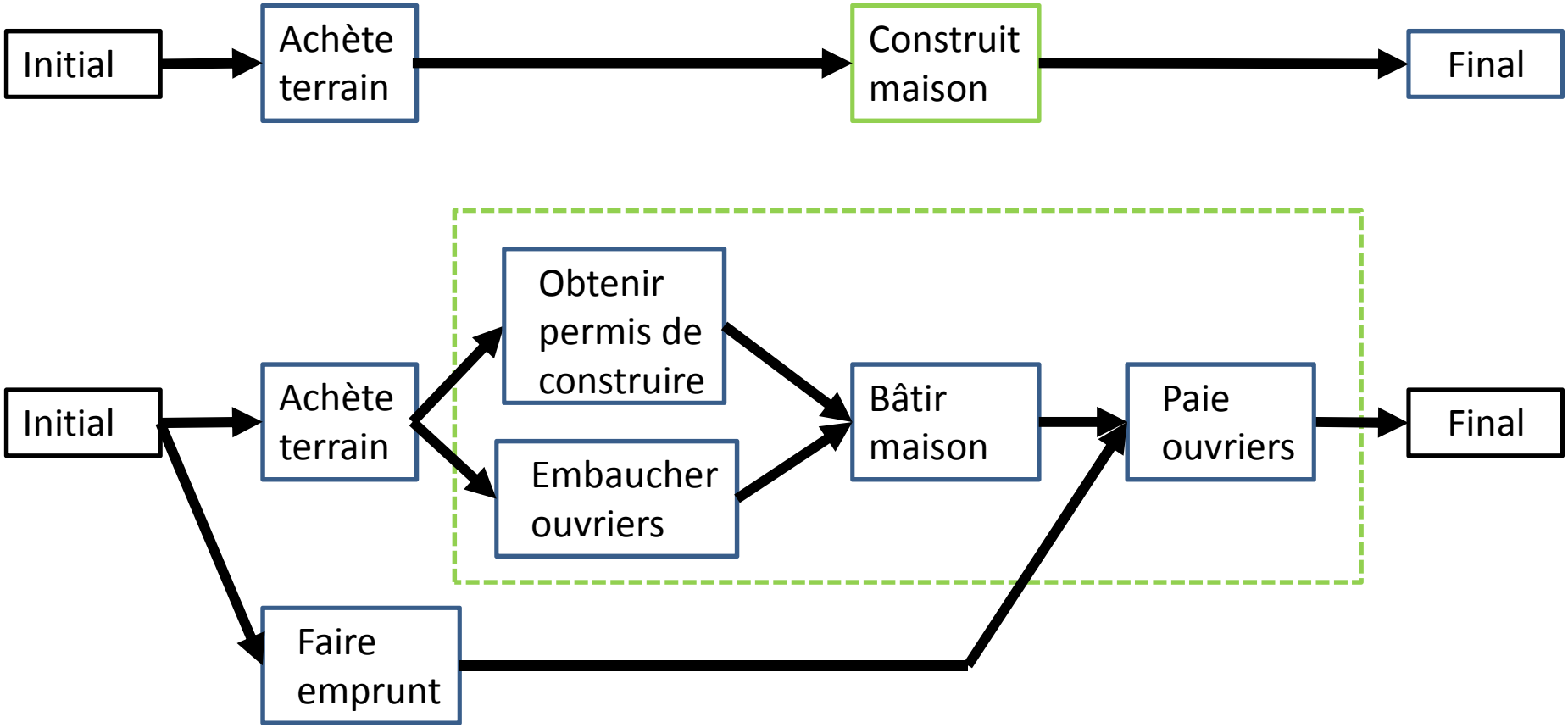


Réseaux de tâches hiérarchiques (1 / 2)

- Un opérateur se décompose en d'autres opérateurs (décomposition d'actions).
  - Connaissance supplémentaire.
  - Bibliothèque de plans.
  - Décomposition potentiellement récursive :

    marcher → faire-un-pas PUIS marcher
- Planifier à un niveau de détails donné, se préoccuper des détails ensuite. Ne pas planifier d'entrée de jeu au plus grand niveau de détail, comme tous les autres planificateurs.
  - Diminuer la complexité.
- Algorithme : cas particulier des planificateurs dans l'espace des plans partiels : la fonction *Successeur()* contient en plus le fait de décomposer une action.

Réseaux de tâches hiérarchiques (2 / 2)



Planification & Exécution

Références

1. Stuart Russell, Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2010, 3rd edition. Chapitre 11.
2. Malik Ghallab, Dana Nau, Paolo Traverso. *Automated Planning: Theory and Practice*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, May 04, 635 pages.
3. Tutorials et cours sur le web (e.g., Joerg Hoffmann).

Conclusion

- La planification d'actions consiste à trouver une séquence d'opérateurs instantiés (un plan) menant un état initial à des buts.
  - Difficile parce que interaction entre sous buts.
- Les opérateurs sont exprimés en STRIPS / ADL / PDDL.
- Plusieurs types d'algorithmes pour construire un planificateur d'actions :
  - Dans l'espace des états (progression, régression).
  - Dans l'espace des plans partiels.
  - Plan de graphe.
  - Basé sur l'utilisation d'un solver SAT.
  - Basé sur la programmation par contraintes.
  - Basé sur les algorithmes évolutionnaires.
  - Réseaux de tâches hiérarchiques.
- Non vus : planification probabiliste, planification conditionnelle, PERT, planification par logique modale (Patrick Doherty), FF et successeurs (Joerg Hoffmann).