Intelligence artificielle

Introduction à la planification

Elise Bonzon

elise.bonzon@u-paris.fr

LIPADE - Université de Paris
http://www.math-info.univ-paris5.fr/∽bonzon/

Introduction à la planification

1. Qu'est ce que la planification ?
2. Langage de représentation STRIPS
3. Planification dans les espaces d'états
4. Planification dans les espaces de plans
5. Conclusion

Qu'est ce que la planification ?

Qu'est ce que la planification ?

- Tâche qui consiste à trouver une séquence d'actions qui réalisera un objectif

Qu'est ce que la planification ?

- Tâche qui consiste à trouver une séquence d'actions qui réalisera un objectif
  - $\rightarrow$ systèmes autonomes et adaptables capables de raisonner sur leurs capacités et les contraintes provenant de l'environnement

Qu'est ce que la planification ?

- Tâche qui consiste à trouver une séquence d'actions qui réalisera un objectif
  - $\rightarrow$ systèmes autonomes et adaptables capables de raisonner sur leurs capacités et les contraintes provenant de l'environnement
- Définir des mécanismes génériques permettant à des agents autonomes de se coordonner et de coopérer afin de d'accomplir des tâches complexes qu'ils ne peuvent pas réaliser seuls

Qu'est ce que la planification ?

- Tâche qui consiste à trouver une séquence d'actions qui réalisera un objectif
  - $\rightarrow$ systèmes autonomes et adaptables capables de raisonner sur leurs capacités et les contraintes provenant de l'environnement
- Définir des mécanismes génériques permettant à des agents autonomes de se coordonner et de coopérer afin de d'accomplir des tâches complexes qu'ils ne peuvent pas réaliser seuls
- Définir des mécanismes abstraits pour permettre la composition automatique de fonctionnalités

Qu'est ce que la planification ?

- Représentation des problèmes de planification : états, actions et objectifs
  - Description d'un ou plusieurs état(s) initial(aux)
  - Description d'un ou plusieurs état(s) but(s)
  - Description d'un ensemble d'actions que l'agent peut effectuer

  $\rightarrow$ Trouver une séquence d'actions qui mène l'agent de l'état initial à l'état but

Limites des algorithmes de recherche

- L'agent peut être submergé par des actions non pertinentes

Limites des algorithmes de recherche

- L'agent peut être submergé par des actions non pertinentes
- Les heuristiques et les tests de buts sont inadéquats : il faut trouver des heuristiques indépendantes du domaine !

Limites des algorithmes de recherche

- L'agent peut être submergé par des actions non pertinentes
- Les heuristiques et les tests de buts sont inadéquats : il faut trouver des heuristiques indépendantes du domaine !
- Pas d'exploitation de la décomposition du problème

Limites des algorithmes de recherche

- L'agent peut être submergé par des actions non pertinentes
- Les heuristiques et les tests de buts sont inadéquats : il faut trouver des heuristiques indépendantes du domaine !
- Pas d'exploitation de la décomposition du problème

$\Rightarrow$ Nous voulons trouver un langage qui est à la fois

Limites des algorithmes de recherche

- L'agent peut être submergé par des actions non pertinentes
- Les heuristiques et les tests de buts sont inadéquats : il faut trouver des heuristiques indépendantes du domaine !
- Pas d'exploitation de la décomposition du problème

$\Rightarrow$ Nous voulons trouver un langage qui est à la fois

- suffisamment expressif pour décrire une grande variété de problèmes, mais

Limites des algorithmes de recherche

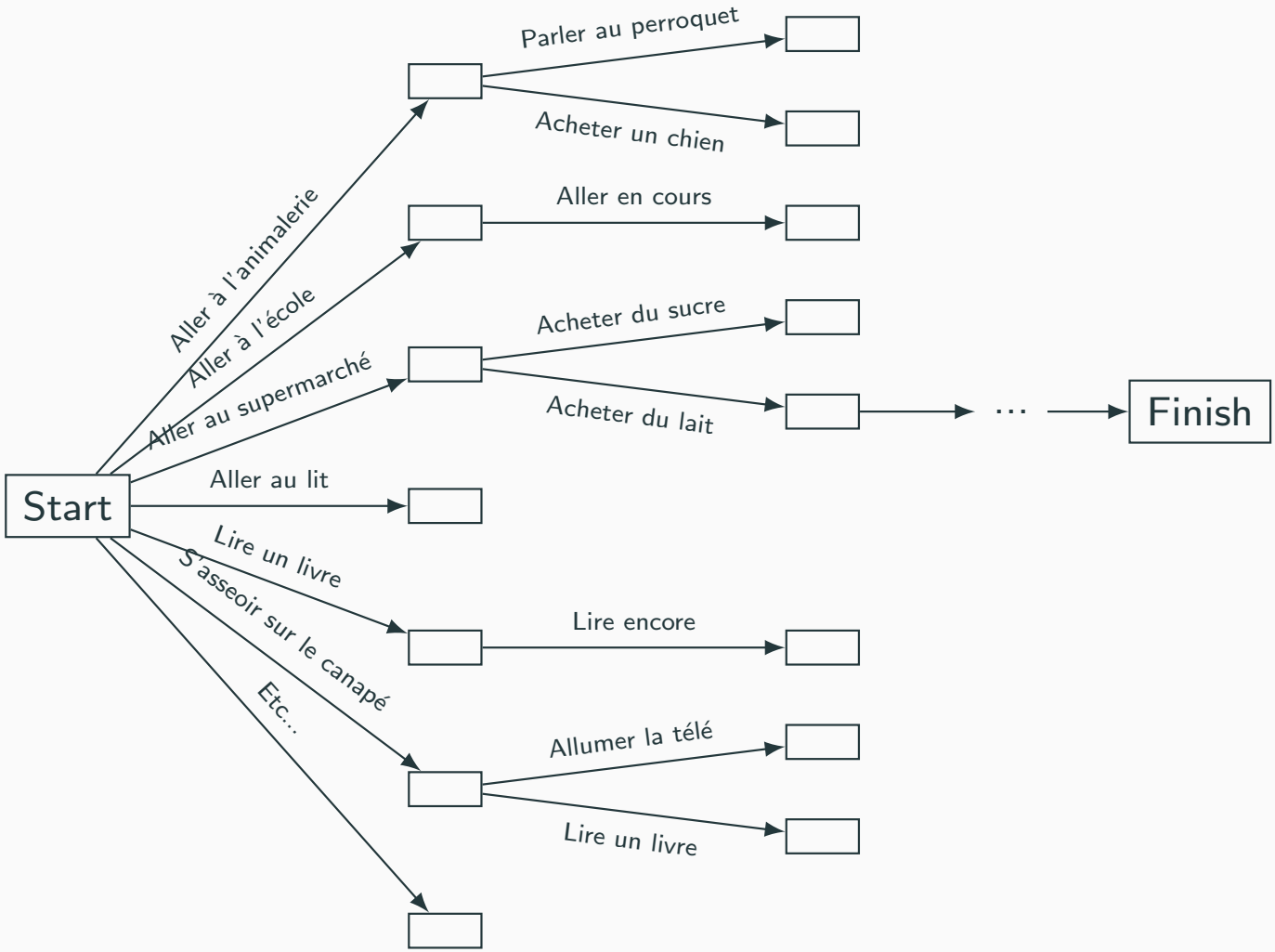
- L'agent peut être submergé par des actions non pertinentes
- Les heuristiques et les tests de buts sont inadéquats : il faut trouver des heuristiques indépendantes du domaine !
- Pas d'exploitation de la décomposition du problème

$\Rightarrow$ Nous voulons trouver un langage qui est à la fois

- suffisamment expressif pour décrire une grande variété de problèmes, mais
- assez restrictif pour permettre à des algorithmes efficaces d'agir

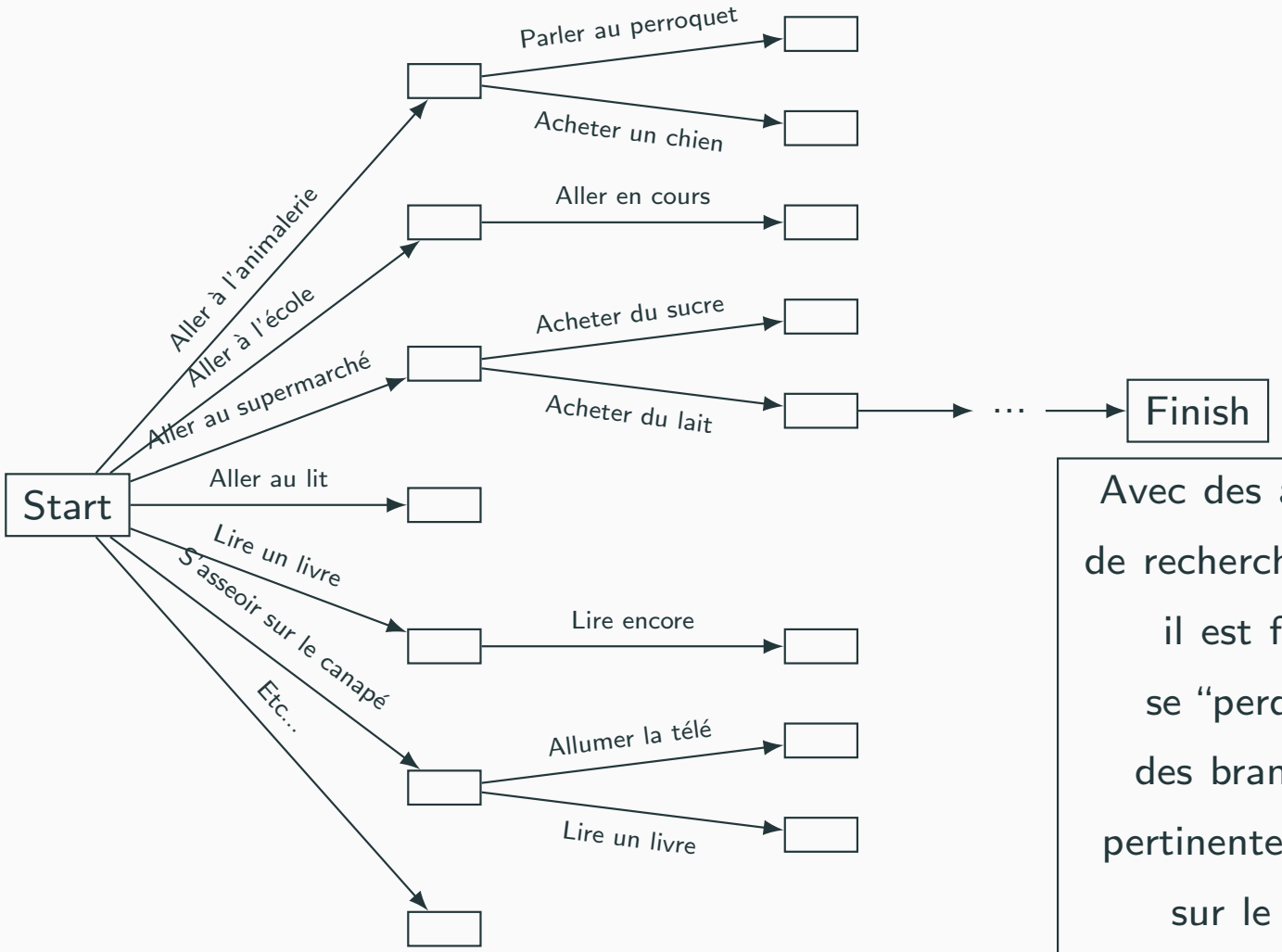
Limites des algorithmes de recherche

But : Acheter du lait et une perceuse sans fil



Limites des algorithmes de recherche

But : Acheter du lait et une perceuse sans fil



Avec des algorithmes de recherche classique, il est facile de se “perdre” dans des branches non pertinentes (s'asseoir sur le canapé par exemple...)

Générer un plan

- Etant donné
  - Une description du monde
  - Un état initial du monde
  - Une description du but
  - Un ensemble d'actions disponibles pour changer le monde
- On veut trouver
  - Une liste d'actions permettant de passer de l'état initial à un état qui satisfait le but
- Représenter les changements
  - Savoir comment une action modifie le monde
  - Garder en mémoire les états du monde (a-t'on déjà été dans cet état avant ?)
  - Pouvoir répondre aux questions à propos des états du mondes *potentiels* (qu'est-ce qu'il se passerait si... ?)

Environnements de planification

- Les environnements considérés dans la planification classique sont :
  - Totalement observables
  - Déterministes
  - Finis
  - Statiques – les changements ne sont dus qu'aux seules actions des agents
  - Discrets – le temps est implicite, les actions n'ont pas de durée
- La planification est "offline", le planificateur ne prend pas en compte les changements pouvant survenir pendant qu'il planifie

Applications

- Militaire
  - → Mission de déminage naval
  - → Mission d'hélicoptères de combats
- Aérospaciale
  - → Deep Space One
  - → Prises de vues satellitaires
- Robotique industrielle
  - → Ligne d'assemblage, transport
- Vie de tous les jours
  - → Aspirateur automatique, tondeuse automatique
- Informatique
  - → Composition de services web
  - → Informatique ambiante ⇒ nouvelles applications

Langage de représentation STRIPS

Langage de planification

- L'état du monde est décrit par une série de prédicats en logique du premier ordre
- Etat = conjonction de littéraux positifs
  - Exemple :

    $$\texttt{A(Avion1, Paris)} \wedge \texttt{A(Avion2, Toulouse)}$$

  - Les états (littéraux en logique du premier ordre) doivent être sans variable ni fonction

Hypothèse du monde clos

Hypothèse du monde clos

Hypothèse du monde clos : Tout ce qui n'est pas explicitement défini comme étant vrai dans un état est considéré comme étant faux

Hypothèse du monde clos

Hypothèse du monde clos

Hypothèse du monde clos : Tout ce qui n'est pas explicitement défini comme étant vrai dans un état est considéré comme étant faux

Il est donc inutile de mettre des littéraux négatifs dans la description d'un état : pour dire que quelque chose est faux, il suffit de ne pas l'écrire, et ce sera considéré comme étant faux

Langage de planification

- But = conjonction de littéraux positifs sans variable ni fonction
  - Le but est satisfait si au moins les littéraux spécifiés sont vrais, d'autre littéraux peuvent aussi être vérifiés
- Représentation des actions :
  - Nom de l'action + paramètres (ex : `Voler(p,from,to)`)
  - Pré-conditions : conjonction de **littéraux positifs**, *ce qui doit être vrai pour pouvoir appliquer l'action*
  - Effets : conjonction de **littéraux (positifs et négatifs)**, *ce qui est vrai ou n'est plus vrai une fois que l'action a été appliquée*

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions
- Logique du premier ordre : un état satisfait les pré-conditions s'il existe une **substitution** permettant d'unifier les pré-conditions avec les littéraux de l'état

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions
- Logique du premier ordre : un état satisfait les pré-conditions s'il existe une **substitution** permettant d'unifier les pré-conditions avec les littéraux de l'état
- Exemple

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions
- Logique du premier ordre : un état satisfait les pré-conditions s'il existe une **substitution** permettant d'unifier les pré-conditions avec les littéraux de l'état
- Exemple
  - Etat : `A(A1,Orly)` $\wedge$ `A(A2,Blagnac)` $\wedge$ `Avion(A1)` $\wedge$ `Avion(A2)` $\wedge$ `Aeroport(Orly)` $\wedge$ `Aeroport(Blagnac)`

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions
- Logique du premier ordre : un état satisfait les pré-conditions s'il existe une **substitution** permettant d'unifier les pré-conditions avec les littéraux de l'état
- Exemple
  - Etat : $\texttt{A(A1,Orly)} \wedge \texttt{A(A2,Blagnac)} \wedge \texttt{Avion(A1)} \wedge \texttt{Avion(A2)} \wedge \texttt{Aeroport(Orly)} \wedge \texttt{Aeroport(Blagnac)}$
  - Pré-conditions : $\texttt{A}(x,\textit{from}) \wedge \texttt{Avion}(x) \wedge \texttt{Aeroport}(\textit{from}) \wedge \texttt{Aeroport}(\textit{to})$

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions
- Logique du premier ordre : un état satisfait les pré-conditions s'il existe une **substitution** permettant d'unifier les pré-conditions avec les littéraux de l'état
- Exemple
  - Etat : $\texttt{A(A1,Orly)} \wedge \texttt{A(A2,Blagnac)} \wedge \texttt{Avion(A1)} \wedge \texttt{Avion(A2)} \wedge \texttt{Aeroport(Orly)} \wedge \texttt{Aeroport(Blagnac)}$
  - Pré-conditions : $\texttt{A}(x, \textit{from}) \wedge \texttt{Avion}(x) \wedge \texttt{Aeroport}(\textit{from}) \wedge \texttt{Aeroport}(\textit{to})$
  - Substitution : $\theta = \{x/\texttt{A1}, \textit{from}/\texttt{Orly}, \textit{to}/\texttt{Blagnac}\}$

Sémantique du langage

- Une **action** est applicable à chaque état qui satisfait les pré-conditions
- Logique du premier ordre : un état satisfait les pré-conditions s'il existe une **substitution** permettant d'unifier les pré-conditions avec les littéraux de l'état
- Exemple
  - Etat : $\texttt{A(A1,Orly)} \wedge \texttt{A(A2,Blagnac)} \wedge \texttt{Avion(A1)} \wedge \texttt{Avion(A2)} \wedge \texttt{Aeroport(Orly)} \wedge \texttt{Aeroport(Blagnac)}$
  - Pré-conditions : $\texttt{A}(x, \textit{from}) \wedge \texttt{Avion}(x) \wedge \texttt{Aeroport}(\textit{from}) \wedge \texttt{Aeroport}(\textit{to})$
  - Substitution : $\theta = \{x/\texttt{A1}, \textit{from}/\texttt{Orly}, \textit{to}/\texttt{Blagnac}\}$
  - Substitution 2 : $\theta = \{x/\texttt{A2}, \textit{from}/\texttt{Blagnac}, \textit{to}/\texttt{Orly}\}$

Sémantique du langage

- Action a menant d'un état s_1 à un état s_2
  - Chaque littéral positif l dans l'**effet** de a est ajouté à s_2
    - Si l est déjà dans s_2 il n'est pas ajouté deux fois
  - Chaque littéral négatif $\neg l$ dans l'**effet** de a est supprimé de s_2
    - Si l n'est pas dans s_2, rien ne change
- Solution d'un problème de planification : séquence d'actions permettant de mener d'un état initial à un état qui satisfait le but

Le langage STRIPS

- STRIPS : **Stanford Research Institute Problem Solver** (1971)
  - Action : nom de l'action et paramètres nécessaires pour appliquer l'action
  - Préconditions : ensemble des prédicats devant être **vrais** pour pouvoir appliquer l'action
  - Effets : modifications des prédicats après l'exécution de l'action
    - Retraits : prédicats qui étaient vrais et qui sont maintenant faux
    - Ajouts : prédicats qui étaient faux et qui sont maintenant vrais
- Suffisamment expressif pour décrire de nombreux problèmes
- Suffisamment restrictif pour être utilisé par des algorithmes efficaces

Exemple : le monde des blocs

- L'univers est composé d'un ensemble de blocs cubiques et d'une table
- Les blocs sont mobiles, la table est immobile
- Un agent déplace les blocs
- Un bloc peut être sur la table ou sur un autre bloc
- Il ne peut pas y avoir plus d'un bloc sur un autre bloc
- La table est assez grande pour que tous les blocs puissent y prendre place
- L'ordre des blocs sur l'axe horizontal n'est pas important

Exemple : le monde des blocs

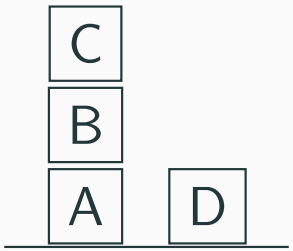
- Prédicats :
  - `Bloc(`x`)` : `Bloc(A), Bloc(B), Bloc(C), Bloc(D)`
  - `Sur(`x`, `y`)` : `Sur(C,B), Sur(B,A)`
  - `SurTable(`x`)` : `SurTable(A), SurTable(D)`
  - `Libre(`x`)` : `Libre(C), Libre(D)`

Exemple : le monde des blocs

- Prédicats :
  - `Bloc(`x`)` : `Bloc(A), Bloc(B), Bloc(C), Bloc(D)`
  - `Sur(`x`, `y`)` : `Sur(C,B), Sur(B,A)`
  - `SurTable(`x`)` : `SurTable(A), SurTable(D)`
  - `Libre(`x`)` : `Libre(C), Libre(D)`
- L'état du monde est une conjonction de prédicats :
  `Bloc(A)` $\wedge$ `Bloc(B)` $\wedge$ `Bloc(C)` $\wedge$ `Bloc(D)` $\wedge$ `SurTable(A)` $\wedge$ `Sur(B, A)` $\wedge$ `Sur(C, B)` $\wedge$ `SurTable(D)` $\wedge$ `Libre(C)` $\wedge$ `Libre(D)`

Exemple : le monde des blocs

- Prédicats :
  - `Bloc(`x`)` : `Bloc(A), Bloc(B), Bloc(C), Bloc(D)`
  - `Sur(`x`, `y`)` : `Sur(C,B), Sur(B,A)`
  - `SurTable(`x`)` : `SurTable(A), SurTable(D)`
  - `Libre(`x`)` : `Libre(C), Libre(D)`
- L'état du monde est une conjonction de prédicats :
  `Bloc(A)` $\wedge$ `Bloc(B)` $\wedge$ `Bloc(C)` $\wedge$ `Bloc(D)` $\wedge$ `SurTable(A)` $\wedge$ `Sur(B, A)` $\wedge$ `Sur(C, B)` $\wedge$ `SurTable(D)` $\wedge$ `Libre(C)` $\wedge$ `Libre(D)`



Exemple : le monde des blocs

Actions :

- Déplacer le bloc b, qui est sur le bloc x, pour le mettre sur le bloc y

  `Action(Deplacer(b,x,y) :`

  `PRECOND : Sur(b,x)` $\wedge$ `Libre(b)` $\wedge$ `Libre(y)` $\wedge$ `Bloc(b)` $\wedge$
  `Bloc(x)` $\wedge$ `Bloc(y)` $\wedge$ `(b` $\neq$ `x)` $\wedge$ `(b` $\neq$ `y)` $\wedge$ `(x` $\neq$ `y)`
  `EFFET : Sur(b,y)` $\wedge$ `Libre(x)` $\wedge$ $\neg$`Sur(b,x)` $\wedge$ $\neg$`Libre(y))`

Exemple : le monde des blocs

Actions :

- Déplacer le bloc b, qui est sur le bloc x, pour le mettre sur le bloc y

  `Action(Deplacer(b,x,y) :`

  `PRECOND : Sur(b,x) ∧ Libre(b) ∧ Libre(y) ∧ Bloc(b) ∧ Bloc(x) ∧ Bloc(y) ∧ (b ≠ x) ∧ (b ≠ y) ∧ (x ≠ y)`

  `EFFET : Sur(b,y) ∧ Libre(x) ∧ ¬Sur(b,x) ∧ ¬Libre(y))`

- Déplacer le bloc b, qui est sur x, pour le mettre sur la table

  `Action(DeplacerSurTable(b,x)`

  `PRECOND : Sur(b,x) ∧ Libre(b) ∧ Bloc(b) ∧ Bloc(x) ∧ (b ≠ x)`

  `EFFET : Sur(b,Table) ∧ Libre(x) ∧ ¬Sur(b,x))`

Exemple : le monde des blocs

Actions :

- Déplacer le bloc b, qui est sur le bloc x, pour le mettre sur le bloc y

  `Action(Deplacer(b,x,y) :`

  `PRECOND : Sur(b,x) ∧ Libre(b) ∧ Libre(y) ∧ Bloc(b) ∧ Bloc(x) ∧ Bloc(y) ∧ (b ≠ x) ∧ (b ≠ y) ∧ (x ≠ y)`
  `EFFET : Sur(b,y) ∧ Libre(x) ∧ ¬Sur(b,x) ∧ ¬Libre(y))`

- Déplacer le bloc b, qui est sur x, pour le mettre sur la table

  `Action(DeplacerSurTable(b,x)`

  `PRECOND : Sur(b,x) ∧ Libre(b) ∧ Bloc(b) ∧ Bloc(x) ∧ (b ≠ x)`
  `EFFET : Sur(b,Table) ∧ Libre(x) ∧ ¬Sur(b,x))`

- Déplacer le bloc b, qui est sur la table, pour le mettre sur x

  `Action(DeplacerDeTable(b,x)`

  `PRECOND : Sur(b,Table) ∧ Libre(b) ∧ Libre(x) ∧ Bloc(b) ∧ Bloc(x) ∧ (b ≠ x)`
  `EFFET : ¬Sur(b,Table) ∧ ¬Libre(x) ∧ Sur(b,x))`

Exemple : le monde des blocs

- Etant donné un problème
  - Etat initial : `Bloc(A)` $\wedge$ `Bloc(B)` $\wedge$ `Bloc(C)` $\wedge$ `Bloc(D)` $\wedge$ `Sur(C, B)` $\wedge$ `Sur(B, A)` $\wedge$ `SurTable(A)` $\wedge$ `SurTable(D)` $\wedge$ `Libre(C)` $\wedge$ `Libre(D)`
  - Etat final : `Bloc(A)` $\wedge$ `Bloc(B)` $\wedge$ `Bloc(C)` $\wedge$ `Bloc(D)` $\wedge$ `Sur(A, B)` $\wedge$ `Sur(C, D)` $\wedge$ `SurTable(B)` $\wedge$ `SurTable(D)` $\wedge$ `Libre(A)` $\wedge$ `Libre(C)`
- Planification : trouver un enchaînement d'actions permettant de passer de l'état initial à l'état final
- Problème difficile
- Plusieurs méthodes de planifications existent

Planification dans les espaces d'états

Planification dans les espaces d'états

- Algorithmes les plus simples pour la planification
- Algorithmes de recherche dans lesquels l'espace de recherche est un sous-ensemble de l'espace d'états
  - Nœud : état du monde
  - Arc : transition, action
  - Chemin entre l'état initial et un état satisfaisant le but : plan d'actions
- Tout algorithme d'exploration complet (comme par exemple A^*) est un algorithme de planification complet

Planification dans les espaces d'états

Planification par recherche en chaînage avant

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration
- Le facteur de branchement est élevé

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration
- Le facteur de branchement est élevé
  - Toutes les actions applicables sont prises en considération

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration
- Le facteur de branchement est élevé
  - Toutes les actions applicables sont prises en considération
- Nécessité d'heuristiques

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration
- Le facteur de branchement est élevé
  - Toutes les actions applicables sont prises en considération
- Nécessité d'heuristiques
- Algorithme de recherche en chaînage avant : déterministe

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration
- Le facteur de branchement est élevé
  - Toutes les actions applicables sont prises en considération
- Nécessité d'heuristiques
- Algorithme de recherche en chaînage avant : déterministe
- Algorithme de recherche en chaînage avant : correct et complet

Planification par recherche en chaînage avant

- Procède de l'état initial vers l'état final en utilisant les techniques d'exploration
- Le facteur de branchement est élevé
  - Toutes les actions applicables sont prises en considération
- Nécessité d'heuristiques
- Algorithme de recherche en chaînage avant : déterministe
- Algorithme de recherche en chaînage avant : correct et complet
  - Si le problème de planification a un plan solution, l'algorithme en chaînage avant va le retourner. Sinon, il retourne un échec.

Algorithme de recherche en chaînage avant

Algorithm 1: RechAvant(A, s_0, g)

début

  si s_0 *satisfait* g **alors** **retourner** *un plan vide* π

  sinon

    active $\leftarrow \{a | a$ est une action de A et precond(a) est vrai dans $s_0\}$

    si *active* $= \emptyset$ **alors** **retourner** Echec

    sinon

      Choisir_action $a_1 \in$ active

      $s_1 \leftarrow \gamma(s_0, a_1)$

      $\pi \leftarrow$ RechAvant(A, s_1, g)

      si $\pi \neq$ Echec **alors** **retourner** $a_1.\pi$; **sinon** **retourner** Echec

fin

Exemple : changer un pneu

- Actions :

  `Action(Sortir(NvPneu,Coffre)`

  `PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)`

  `EFFET : ¬ Dans(NvPneu,Coffre) ∧ Au(NvPneu,Sol)`

  `Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)`

  `PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)`

  `EFFET : ¬ Sur(PneuPlat,Essieu) ∧ Au(PneuPlat,Sol)`

  - `Action(Mettre(NvPneu,Essieu)`

    `PRECOND : Au(NvPneu,Sol) ∧ Au(PneuPlat,Sol)`

    `EFFET : Sur(NvPneu,Essieu) ∧ ¬ Au(NvPneu,Sol)`

- Etat initial : `Sur(PneuPlat, Essieu) ∧ Dans(NvPneu,Coffre)`
- But : `Sur(NvPneu,Essieu)`

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : `Sur(PneuPlat, Essieu)` $\wedge$ `Dans(NvPneu,Coffre)`

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : $\texttt{Sur(PneuPlat, Essieu)} \wedge \texttt{Dans(NvPneu,Coffre)}$
  - $\texttt{Action(Sortir(NvPneu,Coffre)}$

    $\texttt{PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)}$

    $\texttt{EFFET : } \neg \texttt{ Dans(NvPneu,Coffre)} \wedge \texttt{Au(NvPneu,Sol)}$

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 2 : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 2 : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
  - Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)

    PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)

    EFFET : $\neg$ Sur(PneuPlat,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 2 : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
  - Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)

    PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)

    EFFET : $\neg$ Sur(PneuPlat,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
- Etat 3 : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 2 : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
  - Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)

    PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)

    EFFET : $\neg$ Sur(PneuPlat,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
- Etat 3 : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
  - Action(Mettre(NvPneu,Essieu)

    PRECOND : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)

    EFFET : Sur(NvPneu,Essieu) $\wedge$ $\neg$ Au(NvPneu,Sol)

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 2 : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
  - Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)

    PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)

    EFFET : $\neg$ Sur(PneuPlat,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
- Etat 3 : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
  - Action(Mettre(NvPneu,Essieu)

    PRECOND : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)

    EFFET : Sur(NvPneu,Essieu) $\wedge$ $\neg$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 3 : Sur(NvPneu,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)

Exemple : changer un pneu

- Etat initial : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Dans(NvPneu,Coffre)
  - Action(Sortir(NvPneu,Coffre)

    PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)

    EFFET : $\neg$ Dans(NvPneu,Coffre) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 2 : Sur(PneuPlat, Essieu) $\wedge$ Au(NvPneu,Sol)
  - Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)

    PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)

    EFFET : $\neg$ Sur(PneuPlat,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
- Etat 3 : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
  - Action(Mettre(NvPneu,Essieu)

    PRECOND : Au(NvPneu,Sol) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)

    EFFET : Sur(NvPneu,Essieu) $\wedge$ $\neg$ Au(NvPneu,Sol)
- Etat 3 : Sur(NvPneu,Essieu) $\wedge$ Au(PneuPlat,Sol)
- But : Sur(NvPneu,Essieu) satisfait dans cet état

Amélioration du chaînage avant : planificateur "Fast Forward"

- "Fast Forward" s'appuie sur :
  - un algorithme spécifique de gradient appelé Enforced Hill Climbing
  - une heuristique qui s'appuie sur une étude d'atteignabilité
  - un agenda de buts
  - une heuristique pour élaguer les successeurs non prometteurs

Planification dans les espaces d'états

Planification par recherche en chaînage arrière

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :
  - Accomplir l'un des termes de la conjonction

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :
  - Accomplir l'un des termes de la conjonction
  - Ne pas annuler un des terme désiré

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :
  - Accomplir l'un des termes de la conjonction
  - Ne pas annuler un des terme désiré
  - action consistente

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :
  - Accomplir l'un des termes de la conjonction
  - Ne pas annuler un des terme désiré
  - action consistente
- Arrêt lorsqu'on obtient un sous-ensemble de littéraux qui satisfont l'état initial

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :
  - Accomplir l'un des termes de la conjonction
  - Ne pas annuler un des terme désiré
  - action consistente
- Arrêt lorsqu'on obtient un sous-ensemble de littéraux qui satisfont l'état initial
- Nécessité d'heuristiques pour choisir l'action

Planification par recherche en chaînage arrière

- Procède de l'état final vers l'état initial
- Limite le facteur de branchement
  - Habituellement, le but a peu d'opérateurs applicables
  - Ne considère que les actions **pertinentes**
- Action pertinente pour le but sous forme conjonctive :
  - Accomplir l'un des termes de la conjonction
  - Ne pas annuler un des terme désiré
  - action consistente
- Arrêt lorsqu'on obtient un sous-ensemble de littéraux qui satisfont l'état initial
- Nécessité d'heuristiques pour choisir l'action
- Algorithme de recherche en chaînage arrière : correct et complet

Recherche dans les espaces d'états

- Recherche dans les espaces d'états : recherche d'un plan totalement ordonné
- Séquence d'actions strictement linéaires
- Ordre chronologique de planification
- Une approche plus souple peut être nécessaire : résoudre différents sous-buts et combiner les sous-plans

$\Rightarrow$ Planification en ordre partiel

Planification dans les espaces de plans

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.
- La solution d'un plan change, on parle de plan partiel

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.
- La solution d'un plan change, on parle de plan partiel
- La planification est considérée comme un processus de raffinement de plans qui peut :

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.
- La solution d'un plan change, on parle de plan partiel
- La planification est considérée comme un processus de raffinement de plans qui peut :
  1. ajouter des actions

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.
- La solution d'un plan change, on parle de plan partiel
- La planification est considérée comme un processus de raffinement de plans qui peut :
  1. ajouter des actions
  2. ajouter des contraintes d'ordre entre les actions

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.
- La solution d'un plan change, on parle de plan partiel
- La planification est considérée comme un processus de raffinement de plans qui peut :
  1. ajouter des actions
  2. ajouter des contraintes d'ordre entre les actions
  3. ajouter des liens causaux

Qu'est ce que la recherche dans un espace de plans ?

- L'espace de recherche n'est plus un espace d'états mais un espace de plans
- Les nœuds sont des plans partiellement spécifiés
- Les arcs sont des opérateurs de raffinement permettant de compléter le plan partiel
  - permettre d'atteindre un but encore non atteint
  - supprimer une incohérence dans le plan, etc.
- La solution d'un plan change, on parle de plan partiel
- La planification est considérée comme un processus de raffinement de plans qui peut :
  1. ajouter des actions
  2. ajouter des contraintes d'ordre entre les actions
  3. ajouter des liens causaux
  4. ajouter des contraintes d'instanciation sur les variables

Planification partiellement ordonnée

- Stratégie du moindre engagement (*least commitment*) : se compromettre uniquement sur les aspects pertinents des actions, en laissant les autres aspects à plus tard

Planification partiellement ordonnée

- Stratégie du moindre engagement (*least commitment*) : se compromettre uniquement sur les aspects pertinents des actions, en laissant les autres aspects à plus tard
- Un planificateur qui peut placer deux actions dans un plan sans spécifier laquelle intervient en premier est appelé planificateur en ordre partiel

Planification partiellement ordonnée

- Stratégie du moindre engagement (*least commitment*) : se compromettre uniquement sur les aspects pertinents des actions, en laissant les autres aspects à plus tard
- Un planificateur qui peut placer deux actions dans un plan sans spécifier laquelle intervient en premier est appelé planificateur en ordre partiel
- La solution est présentée comme un graphe d'actions

Planification partiellement ordonnée

- Stratégie du moindre engagement (*least commitment*) : se compromettre uniquement sur les aspects pertinents des actions, en laissant les autres aspects à plus tard
- Un planificateur qui peut placer deux actions dans un plan sans spécifier laquelle intervient en premier est appelé planificateur en ordre partiel
- La solution est présentée comme un graphe d'actions
- Linéarisation du plan : le planificateur représente un ordre entre toutes les étapes

Exemple : chaussures et chaussettes

- Problème : mettre chaussures et chaussettes
- Actions :

  `Action(LeftSock()` *pas de paramètre*

  `PRECOND : BareLeftFoot`

  `EFFET : LeftStockOn` $\wedge$ `¬BareLeftFoot)`

  `Action(RightSock()`

  `PRECOND : BareRightFoot`

  `EFFET : RightStockOn` $\wedge$ `¬BareRightFoot)`

  `Action(LeftShoe()`

  `PRECOND : LeftStockOn`

  `EFFET : LeftShoeOn)`

  `Action(RightShoe()`

  `PRECOND : RightStockOn`

  `EFFET : RightShoeOn)`

- Etat initial : `BareLeftFoot` $\wedge$ `BareRightFoot`
- But : `LeftShoeOn` $\wedge$ `RightShoeOn`

Exemple : chaussures et chaussettes

- Le but peut être atteint de plusieurs façons différentes
  - chaussette droite, chaussure droite, chaussette gauche, chaussure gauche
  - l'inverse
  - les deux chaussettes puis les deux chaussures...

Exemple : chaussures et chaussettes

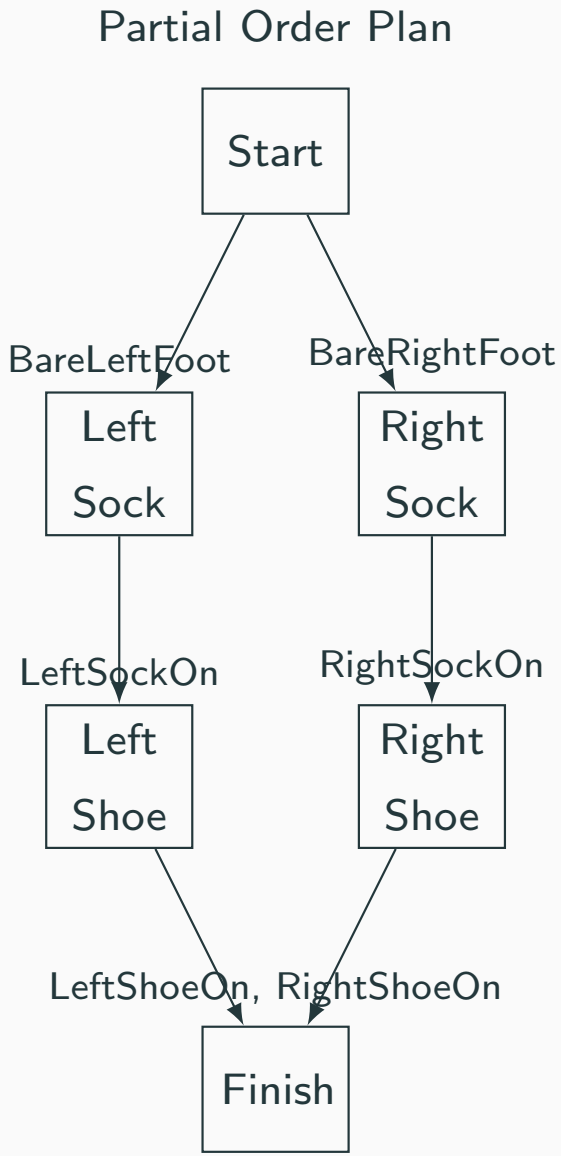
- Le but peut être atteint de plusieurs façons différentes
  - chaussette droite, chaussure droite, chaussette gauche, chaussure gauche
  - l'inverse
  - les deux chaussettes puis les deux chaussures...
- L'idée est donc de représenter en *parallèle* les actions pouvant être effectuées dans un ordre quelconque

Exemple : chaussures et chaussettes

- Le but peut être atteint de plusieurs façons différentes
  - chaussette droite, chaussure droite, chaussette gauche, chaussure gauche
  - l'inverse
  - les deux chaussettes puis les deux chaussures...
- L'idée est donc de représenter en *parallèle* les actions pouvant être effectuées dans un ordre quelconque
- et de conserver les liens temporels existants

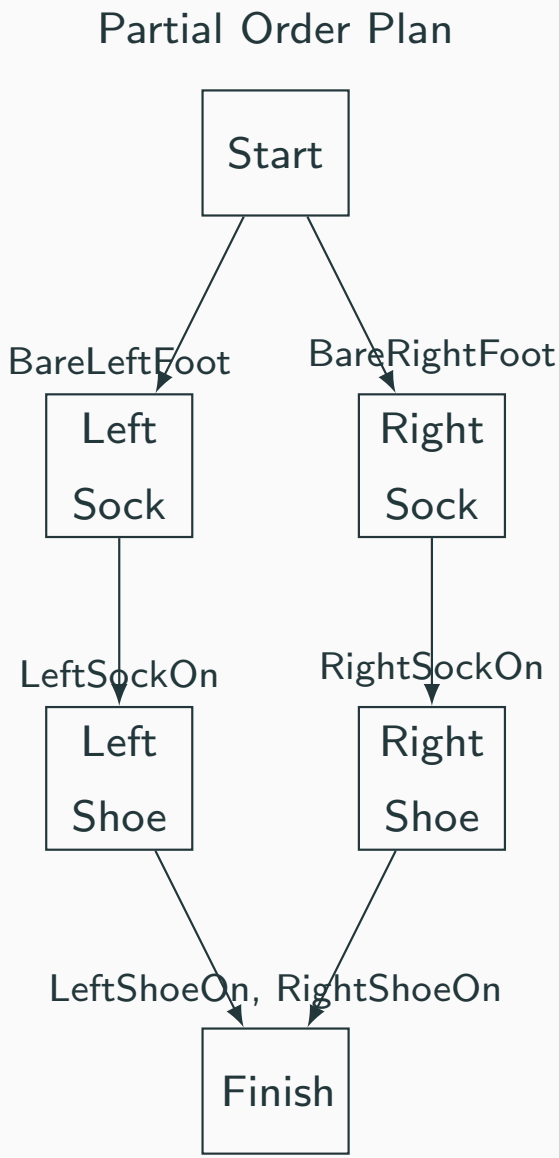
Exemple : chaussures et chaussettes

- Le but peut être atteint de plusieurs façons différentes
  - chaussette droite, chaussure droite, chaussette gauche, chaussure gauche
  - l'inverse
  - les deux chaussettes puis les deux chaussures...
- L'idée est donc de représenter en *parallèle* les actions pouvant être effectuées dans un ordre quelconque
- et de conserver les liens temporels existants



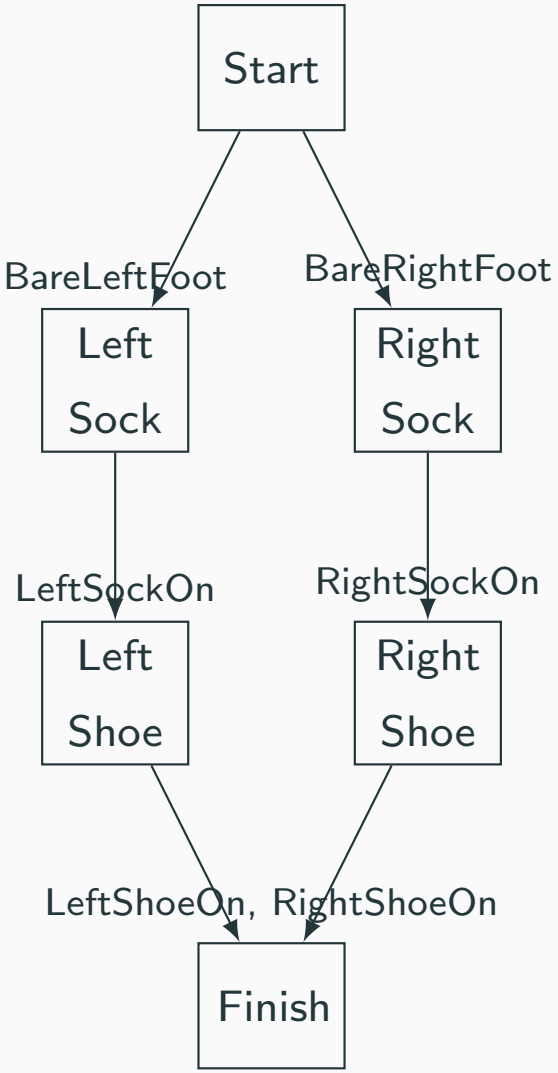
Exemple : chaussures et chaussettes

- Le but peut être atteint de plusieurs façons différentes
  - chaussette droite, chaussure droite, chaussette gauche, chaussure gauche
  - l'inverse
  - les deux chaussettes puis les deux chaussures...
- L'idée est donc de représenter en *parallèle* les actions pouvant être effectuées dans un ordre quelconque
- et de conserver les liens temporels existants
- **Ce plan partiellement ordonné correspond à 6 plans totalement ordonnés**



Exemple : chaussures et chaussettes

Partial Order Plan



Total Order Plans

Composantes d'un plan partiellement ordonné

Un plan partiellement ordonné est un tuple $\langle A, \prec, B, L \rangle$ où

- $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$ est un ensemble d'actions
  - Un plan vide contient uniquement les actions *départ* et *fin*
- $\prec$ est un ensemble de contraintes d'ordre entre les actions
  - Chaque contrainte spécifie le fait qu'une action doit survenir avant une autre
  - Si l'action a_i doit être exécutée avant a_j, on écrira $a_i \prec a_j$
- B est un ensemble de contraintes d'instanciation sur les variables de A
- L est un ensemble de liens causaux entre les actions, noté $a_i \xrightarrow{p} a_j$, tels que
  - $a_i, a_j \in A$ sont deux actions
  - $a_i \prec a_j$ est une contrainte d'ordre définie dans $\prec$
  - Signifie que la proposition p est un effet de a_i et une précondition de a_j

Solution d'un plan partiellement ordonné

- Une solution est un plan complet et consistant que l'agent peut accomplir et qui garantit l'accomplissement du but
  - Complet : toutes les préconditions sont satisfaites par une action précédente, et ne sont pas annulées par une autre action
  - Consistant : Il n'y a pas de cycle dans les contraintes d'ordonnancement, et pas de conflits entre les liens causaux

Défaut et menace

- Une action a_k est une menace pour un lien causal $a_i \xrightarrow{p} a_j$ ssi :
  - a_k a un effet $\neg q$ qui est potentiellement incohérent avec p
  - les contraintes d'ordres $a_i \prec a_k$ et $a_k \prec a_j$ sont cohérentes avec $\prec$
  - les contraintes d'instanciation résultant de l'unification de p et de q sont cohérentes avec B
- Un défaut dans un plan partiellement ordonné est soit
  - un sous-but, c'est à dire la précondition d'une action de A qui n'est pas supportée par un lien causal
  - une menace, c'est à dire une action qui interfère avec un lien causal

Exemple : changer un pneu

- Actions :

  `Action(Sortir(NvPneu,Coffre)`

  `PRECOND : Dans(NvPneu,Coffre)`

  `EFFET : ¬ Dans(NvPneu,Coffre) ∧ Au(NvPneu,Sol))`

  `Action(Retirer(PneuPlat,Essieu)`

  `PRECOND : Sur(PneuPlat,Essieu)`

  `EFFET : ¬ Sur(PneuPlat,Essieu) ∧ Au(PneuPlat,Sol))`

  - `Action(Mettre(NvPneu,Essieu)`

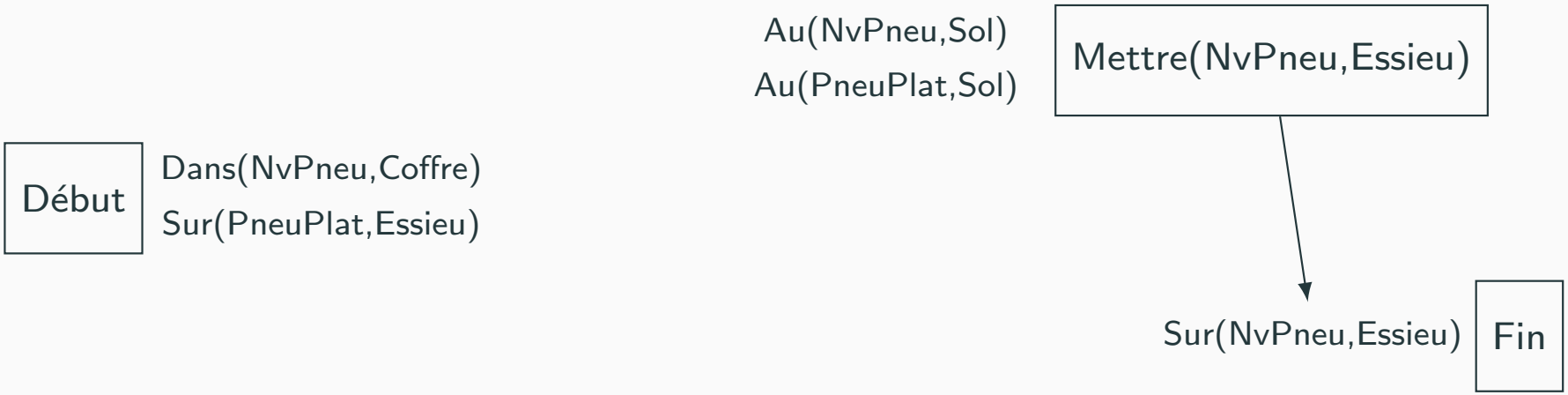
    `PRECOND : Au(NvPneu,Sol) ∧ Au(PneuPlat,Sol)`

    `EFFET : Sur(NvPneu,Essieu) ∧ ¬ Au(NvPneu,Sol))`

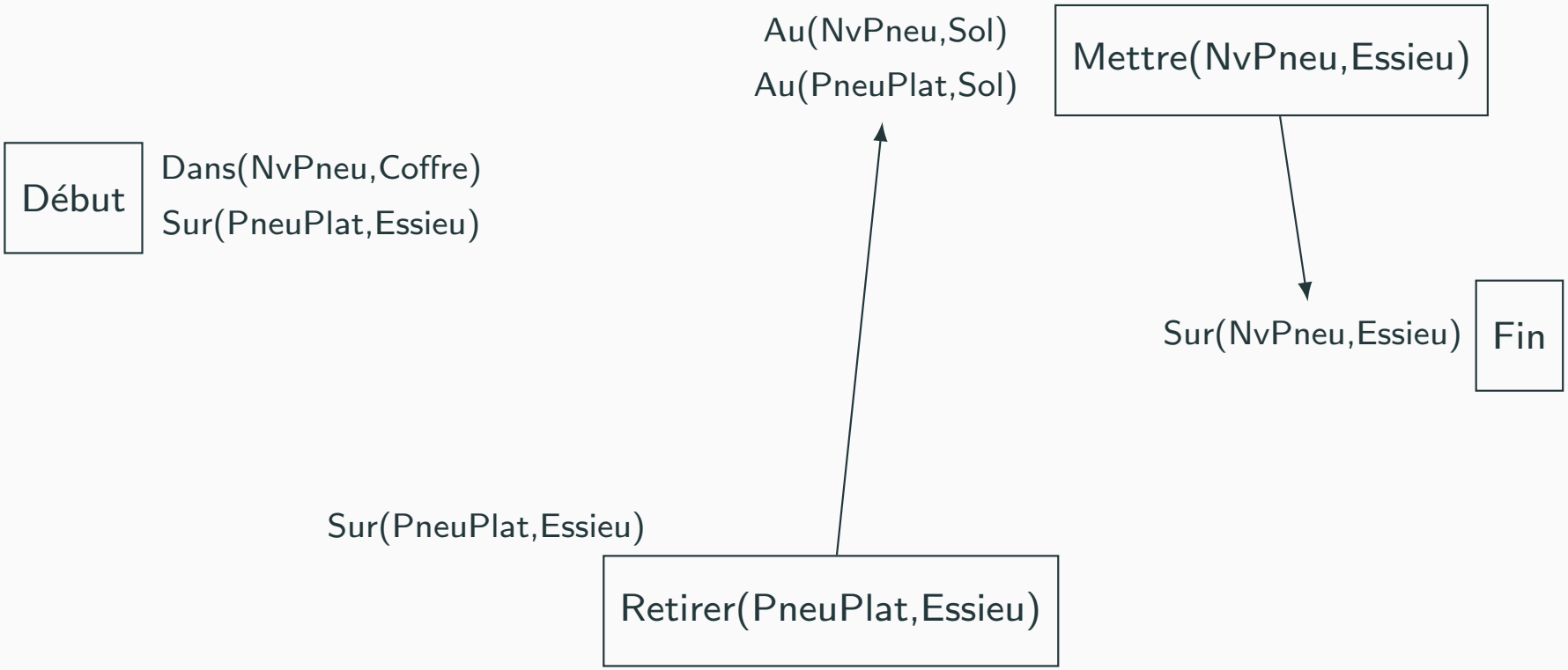
- Etat initial : `Sur(PneuPlat, Essieu) ∧ Dans(NvPneu,Coffre))`
- But : `Sur(NvPneu,Essieu)`

Exemple : changer un pneu

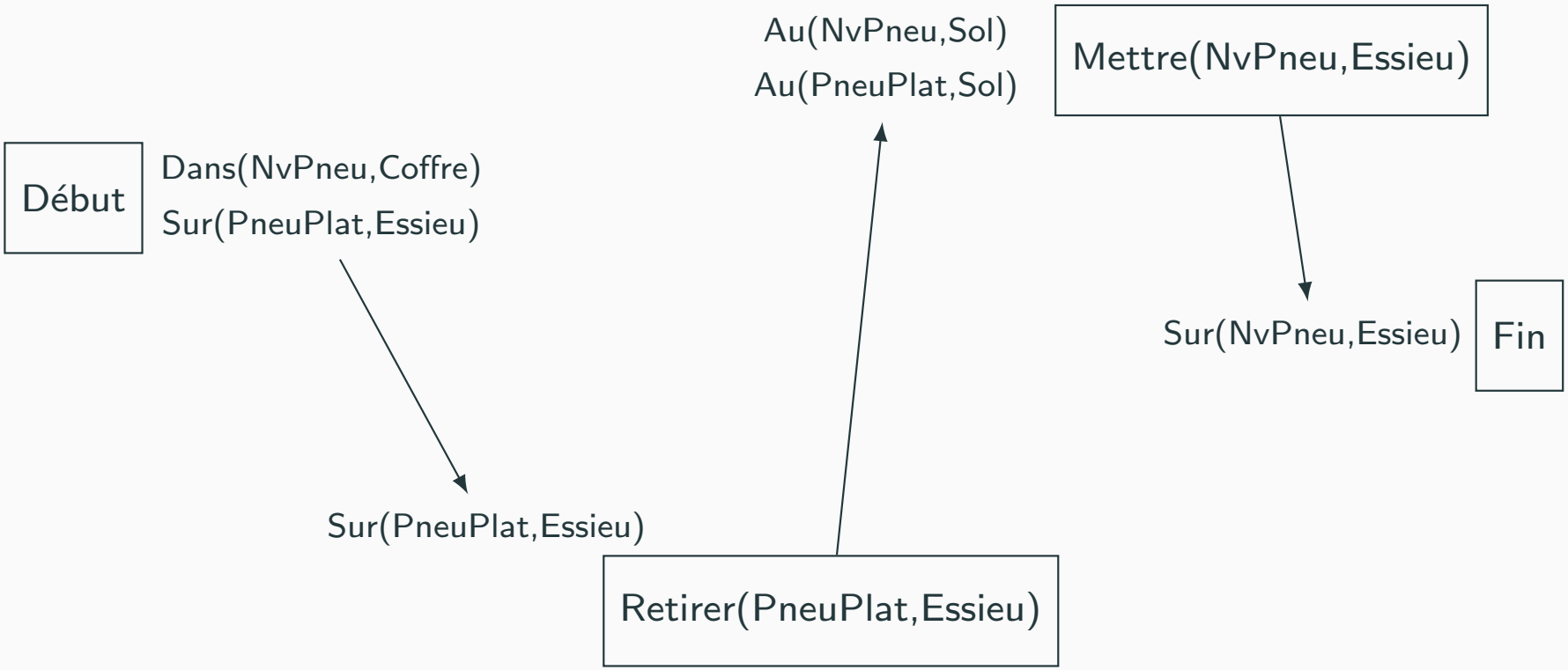
Exemple : changer un pneu



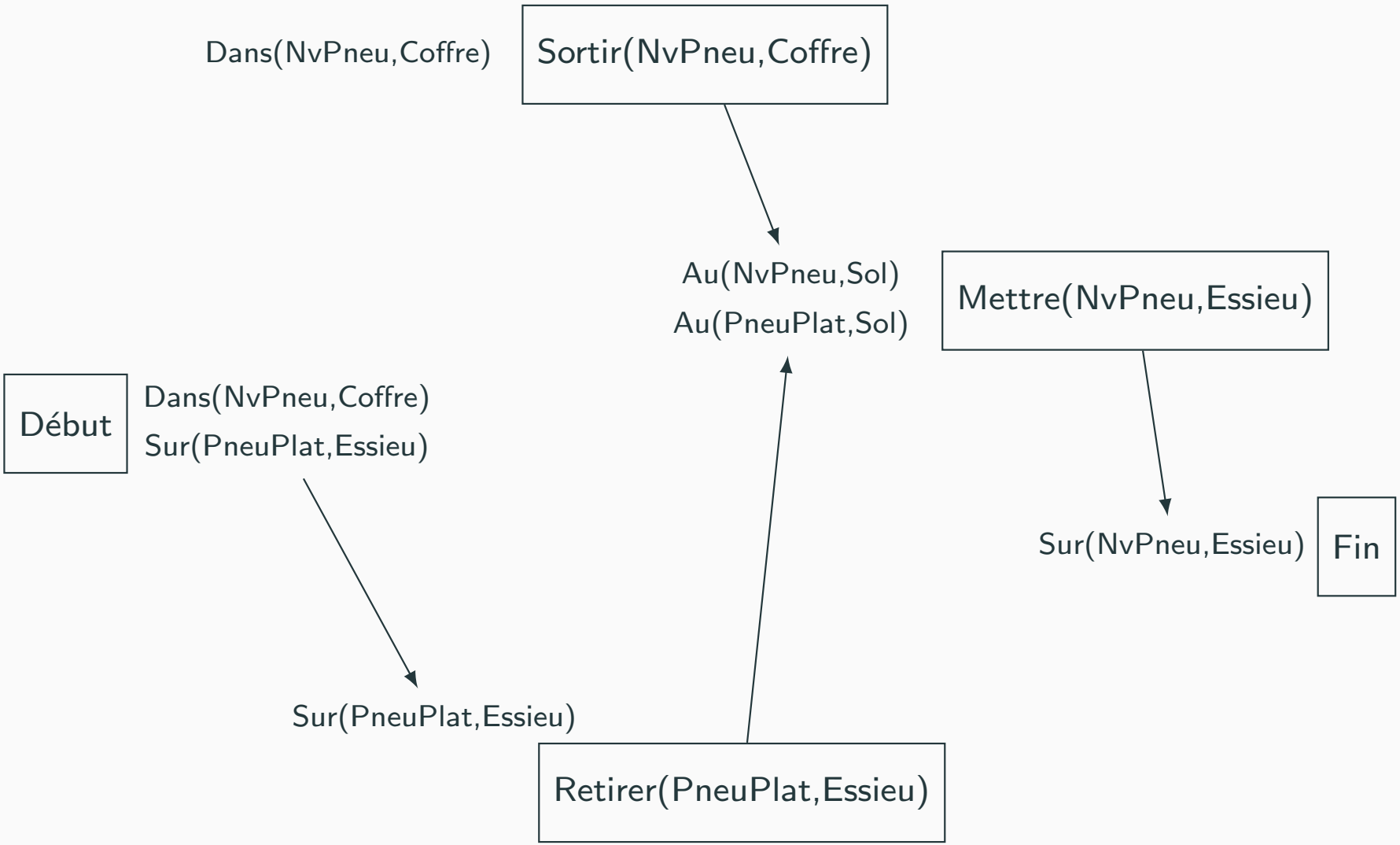
Exemple : changer un pneu



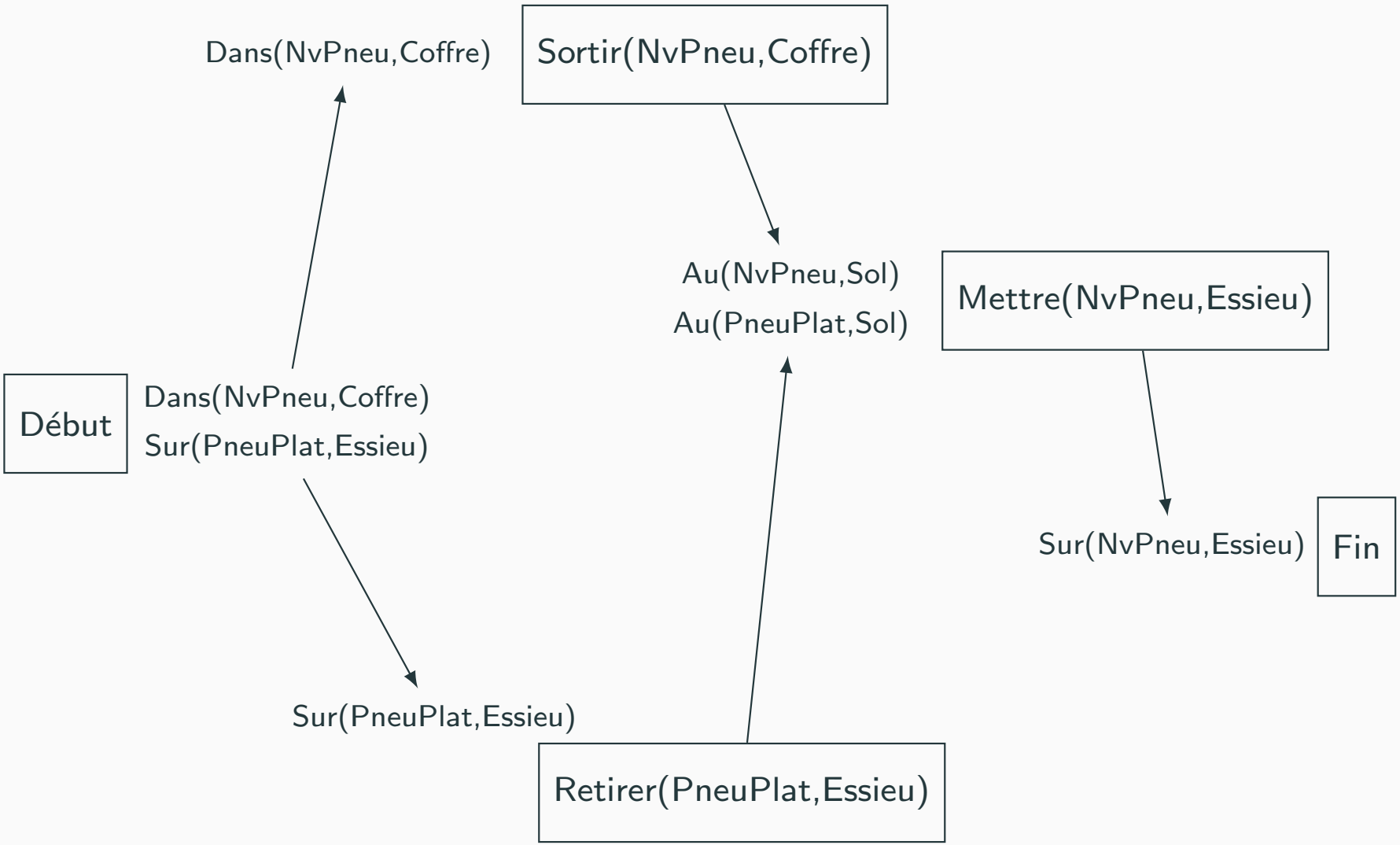
Exemple : changer un pneu



Exemple : changer un pneu



Exemple : changer un pneu



Conclusion

Conclusion

- Langage de représentation STRIPS
- Planification dans les espaces d'états
  - $\rightarrow$ Produit des séquences d'actions
- Planification dans les espaces de plans
  - $\rightarrow$ Produit des plans partiellement ordonnés
- Il existe aussi la *planification dans les graphes*
  - $\rightarrow$ Produit des plans solution qui sont des séquences d'ensembles d'actions
    - Graphe de planification
    - Moins expressive que dans les espaces de plans, mais plus que dans les espaces d'états

Extension de la représentation classique

- La représentation classique STRIPS est très limitée. Des extensions sont nécessaires pour décrire des problèmes intéressant.
- Les principale extensions sont :
  - Le typage des variables
  - Les opérateurs de planification conditionnels
  - Les expressions quantifiées
  - Les préconditions disjonctives
  - L'axiomatique et l'inférence
  - etc.
- Le langage de planification PDDL (Planning Domain Description Langage) permet de prendre compte ces extension