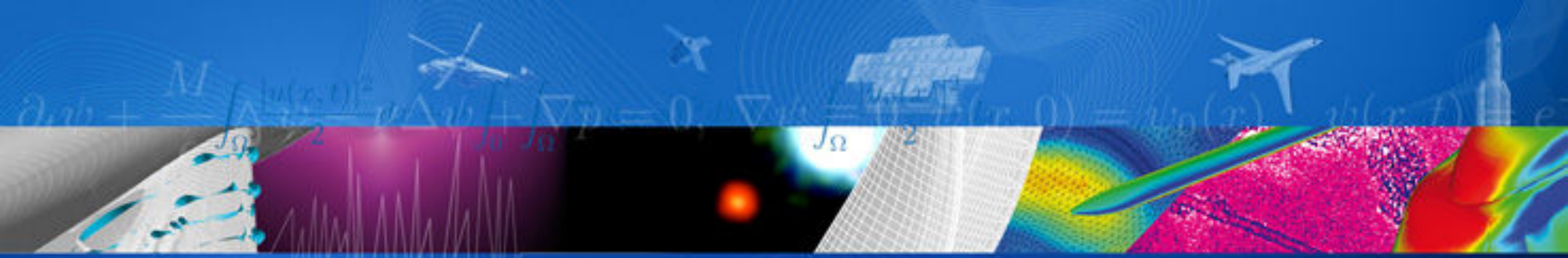


ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

www.onera.fr

Planification
GI313 - Optimisation

Charles Lesire-Cabaniols (ONERA / DCSD)

3A-SEM - 2010-2011

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

Qu'est-ce que planifier ?

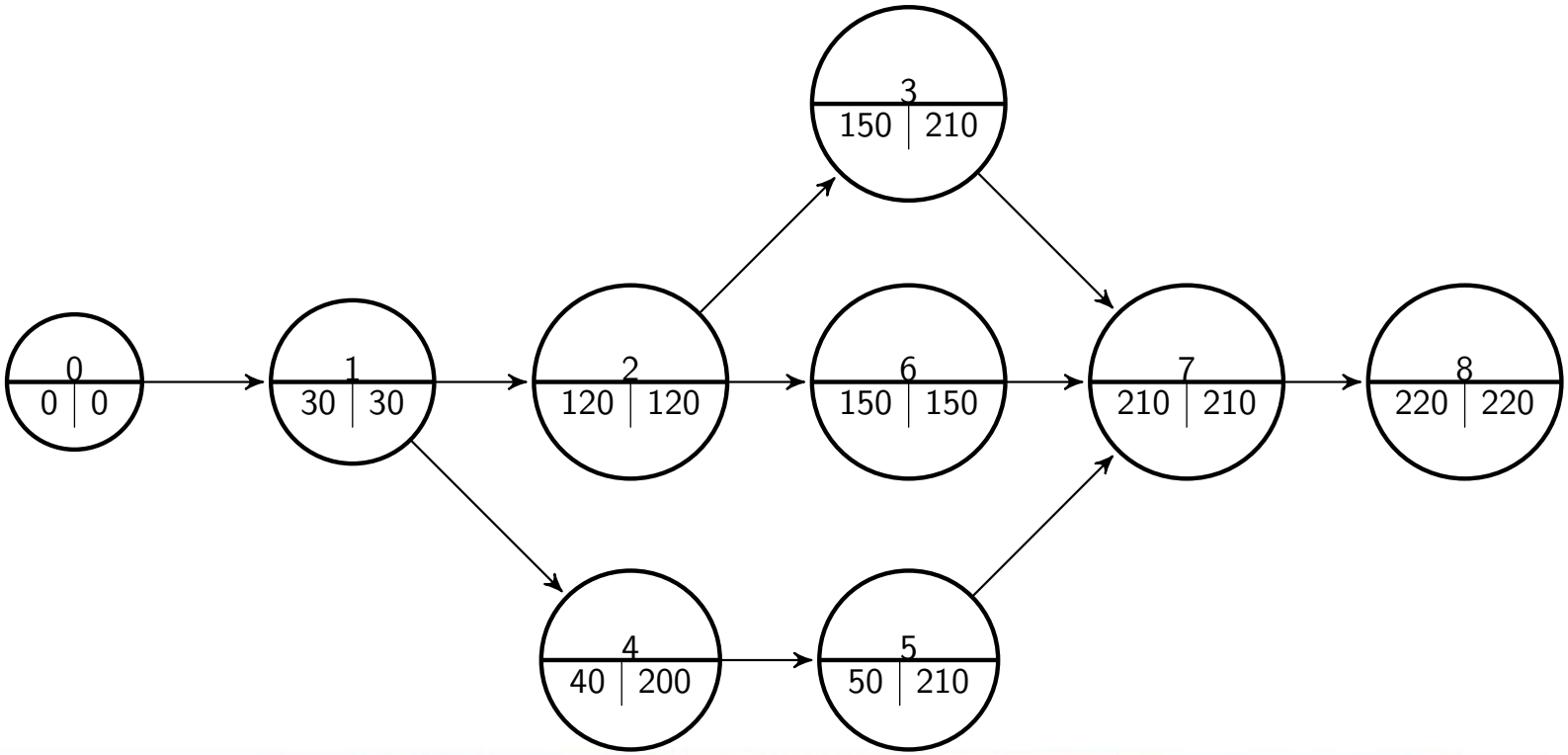
- Planning : Analyse, vérification d'un plan
  - on connaît les actions, leur organisation, leurs ressources
  - on vérifie les contraintes, on obtient les chemins critiques

  ex : élaboration interactive de plans, réseaux PERT...

Qu'est-ce que planifier ?

- Planning : Analyse, vérification d'un plan
  - on connaît les actions, leur organisation, leurs ressources
  - on vérifie les contraintes, on obtient les chemins critiques

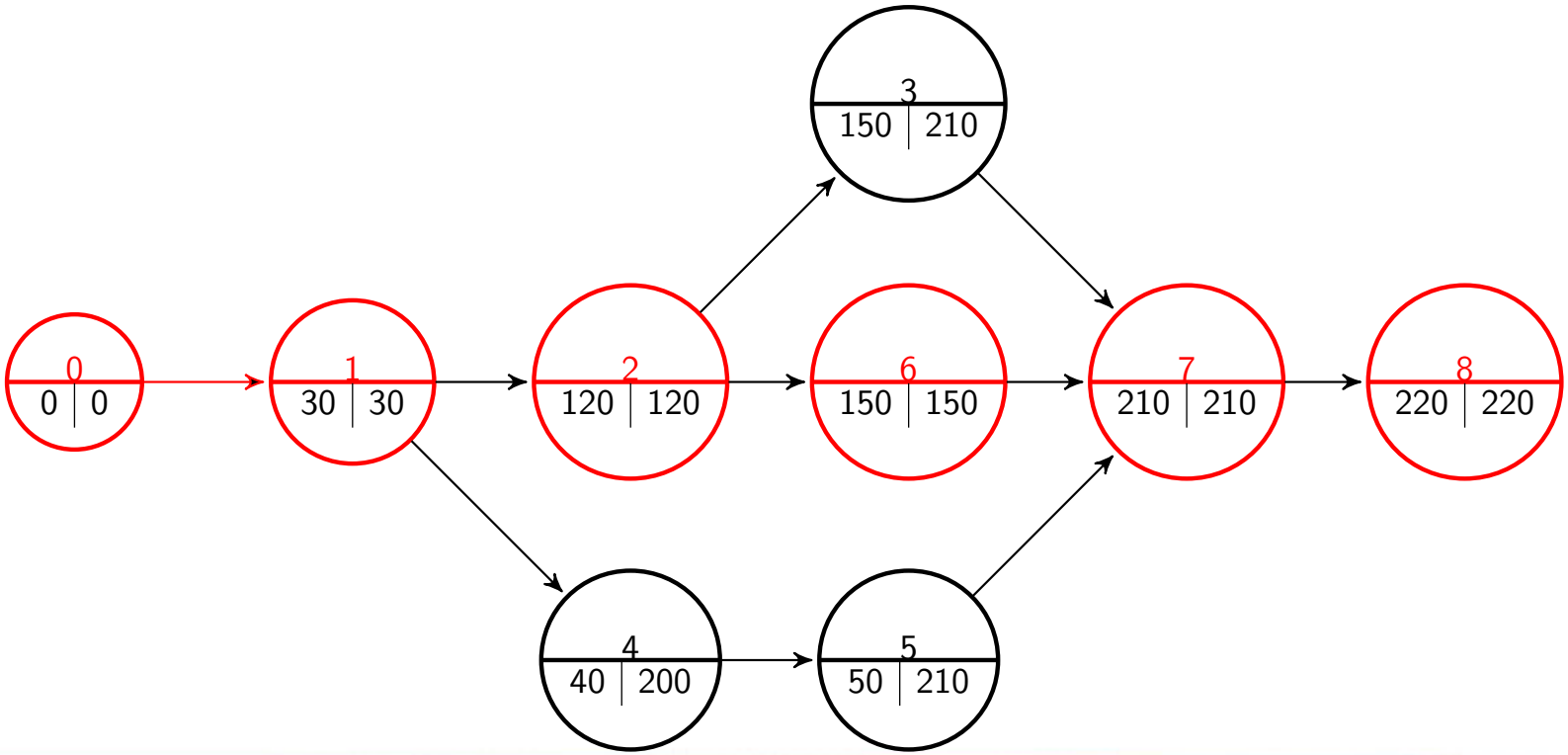
  ex : élaboration interactive de plans, réseaux PERT...



Qu'est-ce que planifier ?

- Planning : Analyse, vérification d'un plan
  - on connaît les actions, leur organisation, leurs ressources
  - on vérifie les contraintes, on obtient les chemins critiques

  ex : élaboration interactive de plans, réseaux PERT...



Qu'est-ce que planifier ?

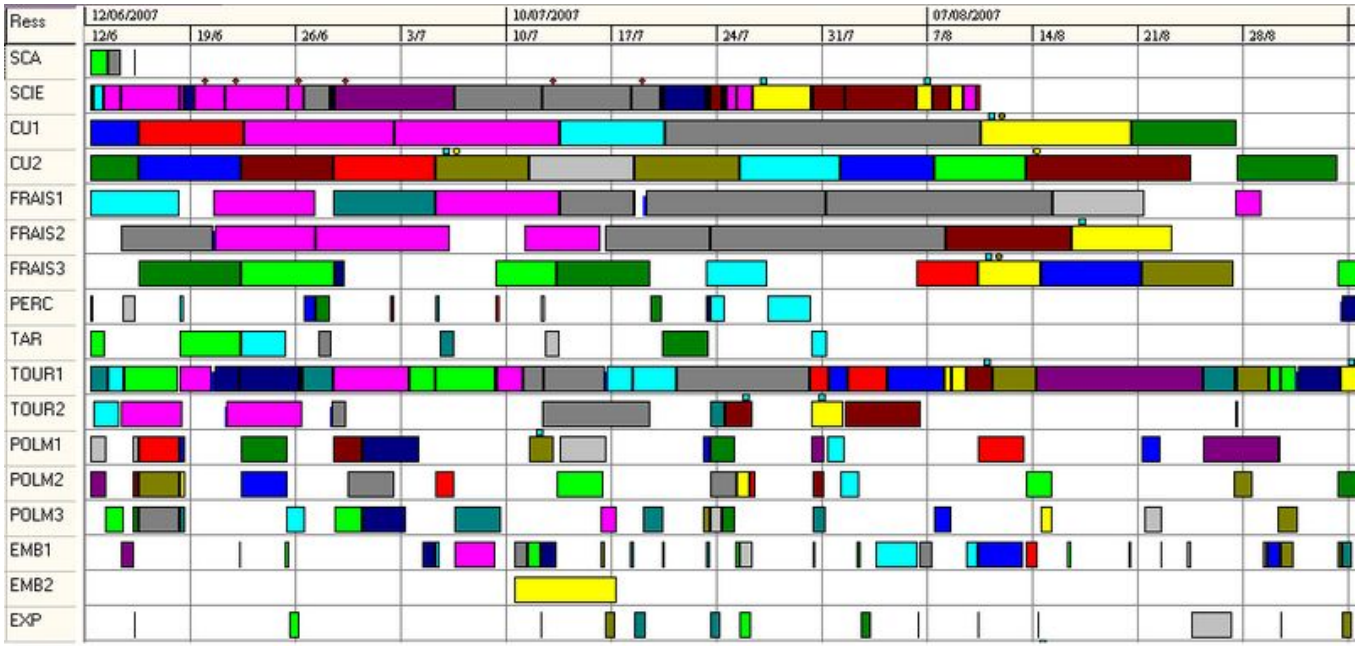
- Ordonnancement : Organisation d'un plan
  - on connaît les actions à faire
  - on cherche leur organisation, les ressources à allouer

  ex : ordonnancement, gestion de ressources...

Qu'est-ce que planifier ?

- Ordonnancement : Organisation d'un plan
  - on connaît les actions à faire
  - on cherche leur organisation, les ressources à allouer

ex : ordonnancement, gestion de ressources...



Qu'est-ce que planifier ?

- Planification : Synthèse d'un plan
  - on connaît les buts à satisfaire, les actions possibles
  - on cherche leur les actions à faire pour atteindre ces buts, leur organisation, les ressources à allouer

  ex : gestion de l'activité d'un système autonome...

Problèmes de planification

- Ingrédients :
  - Modèle de l'environnement
  - Modèles des actions possibles
  - Spécification des objectifs (buts, critères)
  - Données sensorielles sur l'état initial et l'état courant (si utilisation en ligne)
- Diverses formes selon :
  - Le type de tâches à planifier
  - La nature des modèles

Modèle de la planification

Système Etat-Transition $\Sigma = (S, A, E, \gamma)$

- S ensemble dénombrable d'états
- A ensemble fini de symboles d'actions
- E ensemble fini de symboles d'événements
- γ fonction de transition d'états

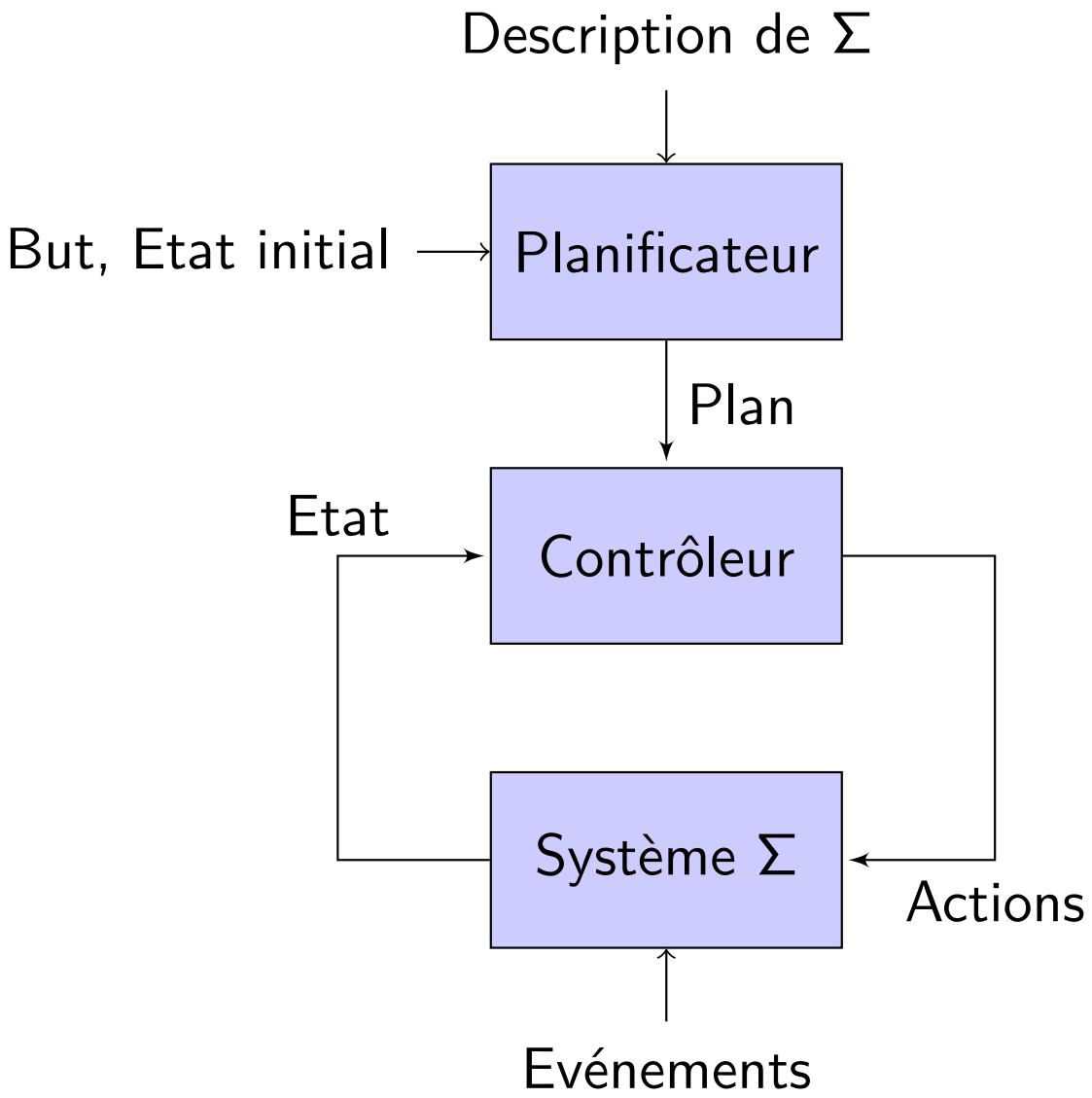
$$\gamma : S \times (A \cup E) \rightarrow 2^S$$

- si $u \in E$, $\gamma(s, u)$ transitions contingentes
- si $u \in A$, $\gamma(s, u)$ transitions contrôlées

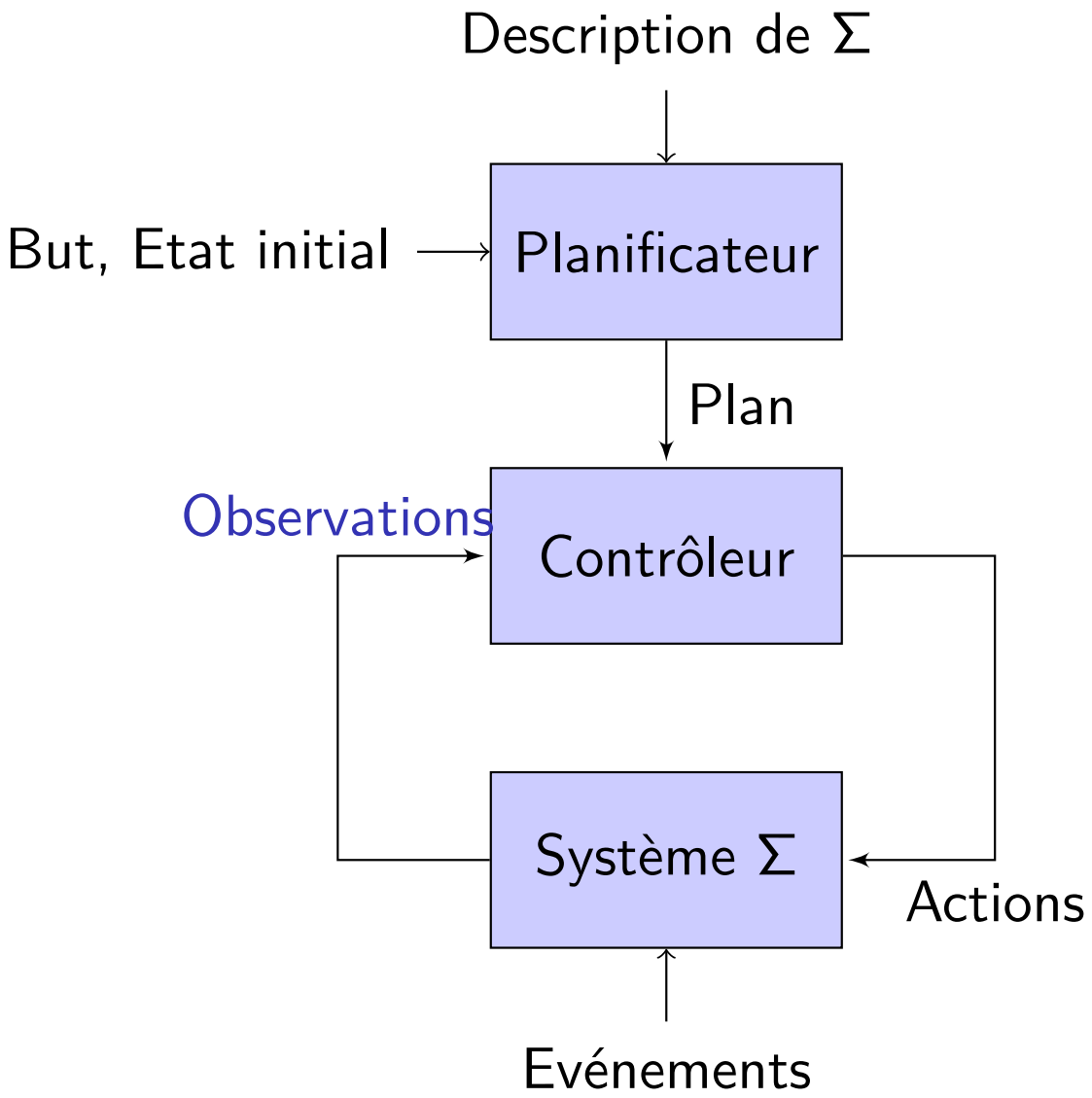
Problème de planification

quelles actions appliquer à quels états en vue de réaliser des objectifs ?

Modèle de la planification



Modèle de la planification



Modèle de la planification

- Plan :

$$\pi : S' \subset S \rightarrow A$$

Modèle de la planification

- Plan :

$$\pi : S' \subset S \rightarrow A$$

- Observations :

Modèle de la planification

- Plan :

$$\pi : S' \subset S \rightarrow A$$

- Observations :
  - O ensemble fini d'observations

Modèle de la planification

- Plan :

$$\pi : S' \subset S \rightarrow A$$

- Observations :
  - O ensemble fini d'observations
  - Fonction d'observation $\eta : S \rightarrow O$

Modèle de la planification

- Plan :
$$\pi : S' \subset S \rightarrow A$$
- Observations :
  - O ensemble fini d'observations
  - Fonction d'observation $\eta : S \rightarrow O$
- Plan :
$$\pi : O' \subset O \rightarrow A$$

Modèle de la planification

- Hypothèses classiques :
  1. Σ fini (monde fermé)
  2. Σ observable ($\eta = I$)
  3. Σ déterministe ($|\gamma(s,u) \leq 1$)
  4. Σ statique
  5. Buts = états explicites
  6. Temps implicite
  7. Traitement hors-ligne

Modèle de la planification

- Hypothèses classiques :
  1. Σ fini (monde fermé)
  2. Σ observable ($\eta = I$)
  3. Σ déterministe ($|\gamma(s,u) \leq 1$)
  4. Σ statique
  5. Buts = états explicites
  6. Temps implicite
  7. Traitement hors-ligne
- $2 + 3 \Rightarrow$ contrôle en boucle ouverte

Formes de planification

- Planification de mouvements
  - Trajectoires géométriques en 3D, lois de commande le long des trajectoires
- Planification de la perception
  - Quelle information est requise ?
  - Quand ? Où ? Comment ? Pour quoi ?
- Planification de tâches de manipulation
  - Primitives sensori-motrices, utilisant les forces, la vision...

Formes de planification

- Planification de la communication
  - Interaction homme-robot
  - Coopération multi-robots
  - Quelles requêtes, comment, quels retours ?
- Planification de tâches générique
  - Modèles et algorithmes généraux à plusieurs types de problèmes

Planification de tâches

- Définition :
  - Synthèse d'une trajectoire abstraite dans un espace de recherche
  - pur choisir et organiser des actions en prédisant leurs effets
  - en vue de satisfaire un but ou un critère
- Ingrédients :
  - Description des états du monde et des buts
  - Description des actions

Planification de tâches

- Système Etat-Transition $\Sigma = (S, A, \gamma)$
  - S ensemble fini d'états
  - A ensemble fini de symboles d'actions
  - γ fonction de transition d'états

$$\gamma : S \times A \rightarrow A$$

Représentation graphique

- Exemple des robots-dockers
  - N sites
  - K conteneurs à déplacer entre ces sites
  - P piles réparties sur ces sites
  - R robots pouvant acheminer ces conteneurs
- Actions :
  - move un robot r se déplace de l à l'
  - load un robot r charge un conteneur k porté par un bras c
  - unload
  - take un bras c saisit un conteneur k sur le sommet d'une pile p
  - put

Représentation graphique

- Complexité
  - Nombre d'états possibles : $\mathcal{O}(n^r\, p^k\, k!)$
  - $n = 5,\ p = 15,\ r = 3,\ k = 100 \Rightarrow \sim 10^{277}$ états !!
- Impossible de construire Σ explicitement (et donc d'appliquer des techniques de recherche de chemin dans des graphes)

Langage de représentation

- Langage de représentation des états et des actions
- Hypothèses classiques :
  - transitions instantannées, pas de durée, pas de parallélisme
  - monde statique, pas de transitions contingentes
  - connaissance complète
  - actions déterministes
- Formule : conjonction de littéraux
- Hypothèse du monde clos : ce qui n'est pas explicitement affirmé est faux

Langage de représentation

```
(define (domain dock-worker-robot)
  (:requirements :strips :typing)
  (:types
    location ; several connected locations
    pile ; attached to location holds a pallet and a stack of containers
    robot ; holds at most 1 container, only 1 robot per location
    crane ; belongs to a location to pickup containres
    container
  )
  (:predicates
    (adjacent ?l1 ?l2 - location) ; l1 is adjacent to l2
    (attached ?p - pile ?l - location) ; p attached to l
    (belong ?c - crane ?l - location) ; c belongs to l
    (at ?r - robot ?l - location) ; r is at l
    (occupied ?l - location) ; there is a robot at l
    (loaded ?r - robot ?k - container) ; r loaded with container k
    (unloaded ?r - robot) ; r is empty
    (holding ?c - crane ?k - container) ; c is holding k
    (empty ?c - crane) ; c is empty
    (in ?k - container ?p - pile) ; k is within p
    (top ?k - container ?p - pile) ; k is on top of p
    (on ?k1 ?k2 - container) ; k1 is on k2
  )
```

Langage de représentation

```
(:action move
   :parameters (?r - robot ?from ?to - location)
   :precondition (and (adjacent ?from ?to) (at ?r ?from) (not (occupied ?to)))
   : effect (and (at ?r ?to) (not (occupied ?from)) (occupied ?to)
    (not (at ?r ?from))))
(: action load
   :parameters (?c - crane ?k - container ?r - robot)
   :vars (?l - location)
   :precondition (and (at ?r ?l) (belong ?c ?l) (holding ?c ?k) (unloaded ?r))
   :effect (and (loaded ?r ?k) (not (unloaded ?r)) (empty ?c)
    (not (holding ?c ?k))))
(: action unload
   :parameters (?c - crane ?k - container ?r - robot)
   :vars (?l - location)
   :precondition (and (at ?r ?l) (belong ?c ?l) (loaded ?r ?k) (empty ?c))
   :effect (and (unloaded ?r) (holding ?c ?k) (not (loaded ?r ?k))
    (not (empty ?c))))
(: action take
   :parameters (?c - crane ?k - container ?p - pile)
   :vars (?l - location ?else container)
   :precondition (and (belong ?c ?l) (attached ?p ?l) (empty ?c)
    (in ?k ?p) (top ?k ?p) (on ?k ?else))
   :effect (and (holding ?c ?k) (top ?else ?p) (not (in ?k ?p))
    (not (top ?k ?p)) (not (on ?k ?else)) (not (empty ?c))))
(: action put
   :parameters (?c - crane ?k - container ?p - pile)
   :vars (?l - location ?else container)
   :precondition (and (belong ?c ?l) (attached ?p ?l)
    (holding ?c ?k) (top ?else ?p))
   :effect (and (in ?k ?p) (top ?k ?p) (on ?k ?else)
    (not (top ?else ?p)) (not (holding ?c ?k)) (empty ?c)))
```

Langage de représentation

```
(define (problem dwrpb1)
  (:domain dock-worker-robot)
  (:objects
    r - robot
    l1 l2 - location
    c1 c2 - crane
    p1 q1 p2 q2 - pile
    a b c d e f pallet - container)
  (:init
    (adjacent l1 l2) (adjacent l2 l1)
    (attached p1 l1) (attached q1 l1) (attached p2 l2) (attached q2 l2)
    (belong c1 l1) (belong c2 l2)
    (in a p1) (in b p1) (in c p1)
    (in d q1) (in e q1) (in f q1)
    (on a pallet) (on b a) (on c b)
    (on d pallet) (on e d) (on f e)
    (top c p1) (top f q1) (top pallet p2) (top pallet q2)
    (at r l1) (unloaded r) (occupied l1)
    (empty c1) (empty c2))
  (:goal
    (and (in a p2) (in b p2) (in c p2)
      (in d q2) (in e q2) (in f q2))))
```

Langage de représentation

- forall (?x - type) : boucle sur les éléments d'un type
- when cond effect : applique l'effet lorsque la condition est vraie

Transitions

- Calcul progressif : result(a, s)

$$s \models \mathit{precond}(a) \Rightarrow s' = (s - \mathit{effets}^-(a)) \cup \mathit{effets}^+(a)$$

- Calcul inverse : regress(γ, a)

$$\gamma \cap \mathit{effets}^-(a) = \emptyset \Rightarrow \mathit{regress} = \mathit{precond}(a) \cup (\gamma - \mathit{effets}^+(a))$$

Forward

Forward$(S, S_g, path)$

if $s \models S_g$ **then**
  return path
else
  applicables $\leftarrow \{a \in A \,/\, s \models precond(a)\}$
  if applicables $= \emptyset$ **then**
    return FAIL
  else
    Choose $a \in$ applicables
    return *Forward*$(result(a, s), S_g, path.a)$
  end if
end if

Forward

- $Forward(s_0, S_g, \emptyset)$
- Algorithme simple
- Algorithme complet
- Méthode Choose permet de guider la recherche :
  - en largeur (Breath-First Search)
  - en profondeur (Depth-First Search)
  - en prenant en compte le coût des actions (Best-First Search)
  - guidée par une heuristique

A^*

Require : $G = (S, E)$ le graphe implicite, s_0 état initial, S_g but

$\forall s \in S,\ g(s) \leftarrow \infty, p(s) \leftarrow s \qquad c(s_0) \leftarrow 0,\ \mathcal{O} \leftarrow \{s_0\}$

while $\mathcal{O} \neq \emptyset$ **do**

  $x \leftarrow argmax_{argmin\, g(i)+h(i)}\, g(i)$

  if $x \models S_g$ **then**

    return SUCCESS

  end if

  $\mathcal{O} \leftarrow \mathcal{O}/\{x\}$

  for all $y \in S\,/\,(x, y) \in E$ **do**

    if $g(y) > g(x) + k(x, y)$ **then**

      $g(y) \leftarrow g(x) + k(x, y)$

      $p(y) \leftarrow x$

      $\mathcal{O} \leftarrow \mathcal{O} \cup \{y\}$

    end if

  end for

end while

A^*

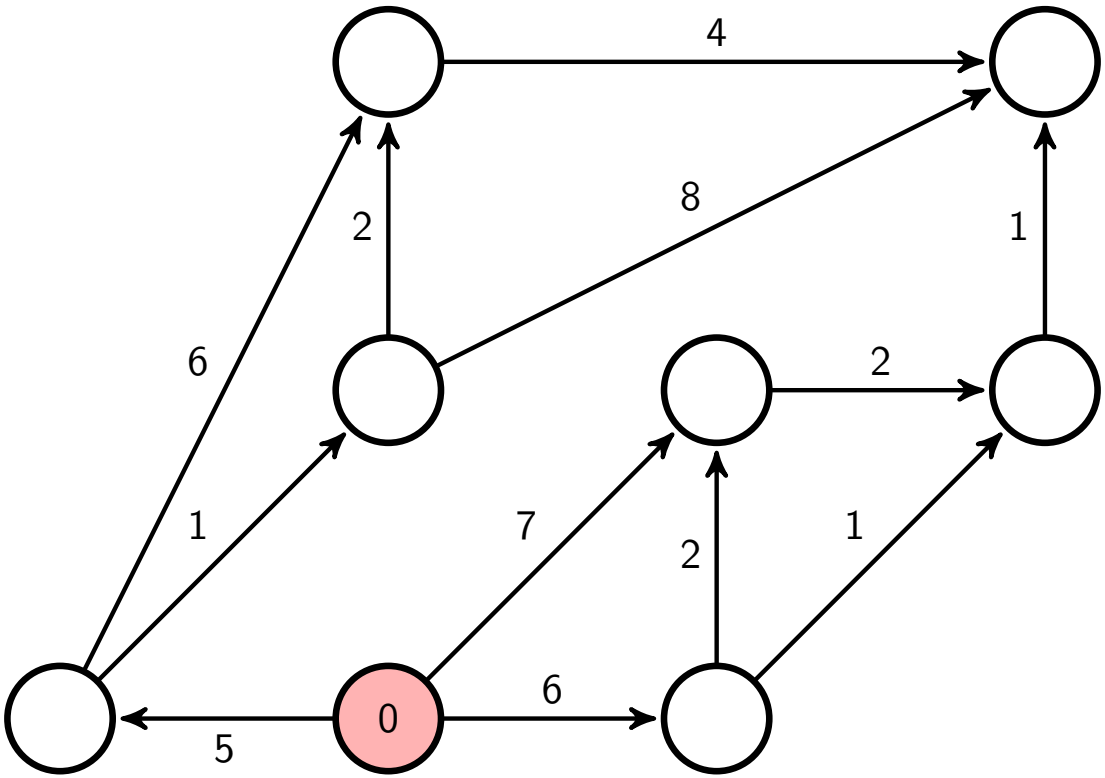
- Si G est fini, l'algorithme termine
- Si h est minorante, l'algorithme est complet et optimal

$$h \text{ minorante} \Leftrightarrow \forall s \in S,\ h(s) \leq g(s)$$

- Complexité :
  - h minorante : $\mathcal{O}(N^2)$
  - h monotone : $\mathcal{O}(N)$

$$h \text{ monotone} \Leftrightarrow \forall (u,v) \in E,\ h(u) - h(v) \leq k(u,v)$$

A^*



Heuristiques

- Relaxation : on simplifie le problème pour estimer les coûts
- Compromis entre temps de calcul et qualité de l'heuristique
- Voyageur de commerce :
  - $h_1 = d(r, s)$: distance à la ville suivante
  - $h_2 = d(r, s) + \Sigma_i \min_x d(x, s_i)$: on minimise les distances aux villes restantes
  - $h_3 = d(r, s)+$ coût d'un arbre de recouvrement minimal

Heuristiques

Relaxation

- Ne prendre en compte que les *effets*$^+$
  - admissible, mais difficile à calculer
- Supporser l'indépendance des sous-buts

Heuristiques

Relaxation

- Coût pour réaliser p à partir de s :

$$h(p,s) = \begin{cases} O & \text{si } s \models p \\ \min_a(1 + h(precond(a), s)) & \text{sinon} \end{cases}$$

- Heuristiques possibles :
  - Somme des coûts des litéraux

$$h(s) = \Sigma_{p \in S_g} h(p,s)$$

  - Litéral le plus coûteux

$$h(s) = \max_{p \in S_g} h(p,s)$$

Backward

Backward$(s_0, \gamma, path)$

if $s_0 \models \gamma$ **then**
  return path
else
  Choose $g \in \gamma$
  relevant $\leftarrow \{a \in A \,/\, effts(a) \models g\}$
  if relevant $= \emptyset$ **then**
    return FAIL
  else
    Choose $a \in$ relevant
    return *Forward*$(s_0, regress(\gamma, a), a.path)$
  end if
end if

Planification dans l'espace des plans

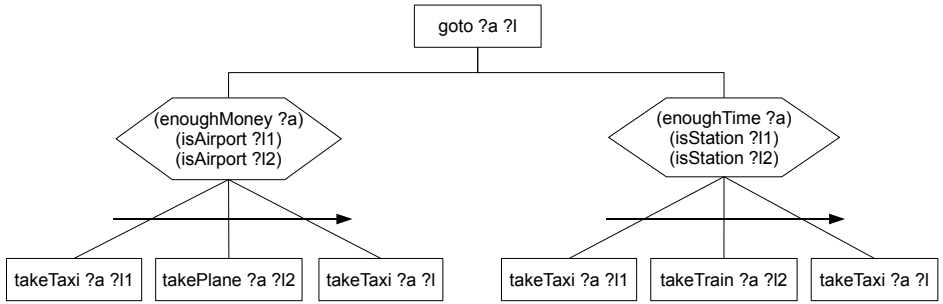
- L'espace de recherche n'est plus l'espace d'état mais l'espace des plans
- L'algorithme passe d'un plan à un autre en essayant de l'améliorer
- Au départ, seulement l'état initial et les buts sont dans le plan
- Le principe est de résoudre les défauts du plan en insérant des actions
- Moindre engagement (pas d'action inutile)
- PSP, POP

Planification disjonctive

- Disjonction pas gérable par les méthodes précédentes
  - traitent un état/un but après l'autre
- GraphPlan
  - Accessibilité des litéraux buts
  - Phase de construction : élaboration descendante d'un P-graphe
  - Phase d'extraction : recherche ascendant à partir des buts

Planification hiérarchique

- Structuration hiérarchique des actions
- Fournit une heuristique pour la recherche
- PSP, HTN, UMCP



Traitement du temps

- Le temps est une ressource particulière
  - écoulement indépendant de l'action
  - disponible pour tous (parallélisme)
- Le temps est structuré par une relation transitive et asymétrique
  - il est irréversible
  - il ordonne la causalité

Représentation du temps

- Représentation géométrique
- Représentation logique
  - argument d'un prédicat, en spécifiant les changements d'état
  - prédicats spécifiques pour les relations temporelles (algèbre d'Allen)
  - logiques temporisés (avec des valeurs numériques)

Planification temporelle

- Programmation par contrainte avec des contraintes temporelles
- Planification dans l'espace des plans, plans temporels
  - IxTeT, RAX, parcPLAN

Mission

- Mission de recherche et d'extinction d'incendie
- Zone de missions découpée en sous-zones
- Exploration des sous-zones à la recherche d'un feu
- Extinction d'un feu si trouvé
- Retour à la base si pas de feu ou plus de cartouche d'extinction

Sujet Application Robotique Dronique

- Développer l'architecture embarquée pour réaliser cette mission
- Environnement de développement en C++ à base de composants
- Composant de navigation (existants)
- Composant de détection (blob rouge sur image / à développer)
- Composant de cartographie (à développer)
- Composant de supervision (à développer)

Sujet de planification

- Quelles actions réaliser pour accomplir la mission ?
- Planification des actions, qui seront intégrées dans le superviseur
- Algorithme FF (Fast Forward)

1. Modélisation le domaine de planification (prédicats, actions)
2. Modéliser un premier problème (en faisant des hypothèses sur l'environnement)
3. Générer un plan
4. Proposer une façon de rendre ce plan robuste aux défauts des hypothèses posées