

Coordination d'actions

Introduction

- *SMA* est un paradigme de programmation
- Agent étend la notion d'objet en y ajoutant les notions de processus et d'autonomie.
- les agents sont caractérisés par :
 - un ensemble de données internes (encapsulées),
 - éventuellement de données externes,
 - de capacités (ce qui correspond aux méthodes en POO).
- Ensemble de protocoles d'interaction permettent de spécifier les envois de messages possibles dans le SMA.

Objets versus agents

Objets

pas d'autonomie	l'objet est invoqué par un appel de méthode qu'il ne peut refuser (pas de réactivité)
Faible niveau de socialité	interaction simple et rigide (pas d'évolution dans le temps)

Agents

Autonomie de contrôle	l'agent décide de son comportement en fonction de son état, croyances, connaissances, perceptions de l'environnement, requêtes des autres
Socialité	composante très importante, complexité des interactions, des organisations
Notion d'environnement	importante et complexe

Interaction

D'autres schémas d'interactions:

- **Collaboration :**

manière de répartir le travail entre plusieurs agents

- **Coordination d'actions**

manière dont les actions des différents agents doivent être organisés dans le temps et l'espace

❖ D'une manière générale on dit **Coopérations**

Coopération = collaboration + coordination + résolution de conflits

forme générale d'interaction pour les agents capables d'avoir un projet explicite

Qui fait quoi ?

Où ?

Et avec quels moyens ?

Quand ?

Situations d'interaction (selon Ferber)

Classement des situations d'interaction selon les buts, les ressources et les compétences des agents :

- **Buts compatibles ou incompatibles**
- **Ressources suffisantes ou insuffisantes**
- **Compétences individuelles suffisantes ou insuffisantes**

Situations d'interaction (selon Ferber)

Buts	Ressources	Compétences	Situation
Compatibles	Suffisantes	Suffisantes	Indépendance
Compatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Collaboration simple
Compatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Encombrement
Compatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Collaboration coordonnée
Incompatibles	Suffisantes	Suffisantes	Compétition individuelle pure
Incompatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Compétition collective pure
Incompatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Conflits individuels pour des ressources
Incompatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Conflits collectifs pour des ressources

Situations d'interaction (selon Ferber)

Le tableau met en évidence l'influence de trois critères objectifs, compétences, ressources sur la situation d'interaction induite (الناجمة).





En l'occurrence (في هذه الحالة) , la compatibilité des objectifs induit des situations de coopération dès que les ressources ou les compétences sont insuffisantes.

Actions coopératives

- Les actions coopératives sont des actions d'un agent qui ne peuvent être exécutées que si l'agent opère dans un environnement multi-agent.
- Il peut s'agir d'actions permettant de solliciter (يَلْتَمِس) quelque chose auprès d'autres agents.
- Les actions coopératives sont importantes non seulement dans les situations où plusieurs agents doivent travailler ensemble pour atteindre un objectif commun, mais également dans les situations où chaque agent a son propre objectif.

Exemple introductif





- Trois nouveaux étudiants *A*, *B* et *C* déménagent dans un appartement partagé et prévoient (Organiser à l'avance) de décorer leurs chambres.
- Chacun voudrait accrocher un de ses objets au mur, par exemple, *A* voudrait accrocher un miroir, *B* un diplôme et *C* un tableau.
- *A* et *B* savent utiliser un clou ou une vis pour effectuer leur travail, mais *C* sait utiliser la vis uniquement. *A* n'a ni un clou ni une vis. *B* a les deux. *C* n'a qu'un clou. Pour utiliser un clou, il faut un marteau. Parmi les trois, seul *B* a un marteau.

	Etudiant <i>A</i>		Etudiant <i>B</i>		Etudiant <i>C</i>	
Avoir			  			
Savoir utiliser	Clou	Vis	Clou	Vis	Clou	Vis
	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Avoir besoin	(Clou ou vis) et marteau		Rien		Vis	

❖ Les étudiants ont-ils un plan commun permettant à chacun d'atteindre son objectif ?

Exemple introductif





- Intuitivement, nous pouvons voir que seul **B** peut accomplir son travail indépendamment de **A** et **C**.
- Les trois peuvent atteindre leurs objectifs si **B** utilise le marteau et le clou pour accrocher son diplôme, puis donne le marteau à **A** et la vis à **C**, respectivement.

	Etudiant <i>A</i>		Etudiant <i>B</i>		Etudiant <i>C</i>	
Avoir			  			
Savoir utiliser	Clou	Vis	Clou	Vis	Clou	Vis
	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Avoir besoin	(Clou ou vis) et marteau		Rien		Vis	

Exemple introductif

En revanche,

- si *C* donne le clou à *A* et utilise la vis pour accrocher son tableau. *A* utilise le clou (de *C*) et le marteau (de *B*) pour accrocher son miroir.
- Bien sûr, pour éviter les moments désagréables, *A* devrait demander le clou (de *C*) et le marteau (de *B*) et *C* devrait demander le vis (de *B*).

	Etudiant <i>A</i>		Etudiant <i>B</i>		Etudiant <i>C</i>	
Avoir			  			
Savoir utiliser	Clou	Vis	Clou	Vis	Clou	Vis
	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Avoir besoin	(Clou ou vis) et marteau		Rien		Vis	

Cependant,

- il est facile de voir que si *B* ou *C* ne veulent rien donner, alors seulement *B* peut atteindre son objectif.
- De plus, si *B* décide d'utiliser la vis au lieu d'utiliser le clou pour accrocher son diplôme, *C* n'a aucun moyen de réaliser son objectif.

Exemple introductif

- Dans l'exemple précédant, l'action de donner un clou, un marteau ou une vis entre les étudiants peut être considérée comme une action coopérative.
- L'action de demander quelque chose à d'autres peut également être considérée comme une action coopérative.
- Il est évident que sans certaines actions coopératives, pas tous les étudiants peuvent atteindre leurs propres objectifs.
- Même avec les actions coopératives à leur disposition, les étudiants pourraient encore avoir besoin de se coordonner pour créer leurs plans correspondants.

Example introductive

- Considérons **A** et **B** qui sont dans une pièce et étudient à leurs tables.
- Chacun d'eux est assis à côté d'un interrupteur qui peut contrôler la lampe dans la pièce. Le basculement d'un des interrupteurs changera le statut de la lumière.
- Supposons que **A** et **B** maintiennent leurs représentations du monde séparément. (Ils pourraient utiliser la même théorie à cette fin, mais nous ne l'imposerons pas.)
- Évidemment, si **A** retourne l'interrupteur à côté d'elle, le monde dans lequel **B** se trouve changera également.
- De même, si **A** et **B** soulèvent une table et la placent à un endroit différent, leur action commune change également le monde des deux.

Le choix de techniques de coordination

Motivations

- capacités individuelles insuffisantes (ex: charges trop lourdes à transporter)
- cohérence (réguler les conflits sémantiques: buts contradictoires, accès aux ressources...)
- efficacité, traitement de l'incertain
- recomposition des résultats (solutions partielles)

Coordination

[*Jennings 1996*] : Processus par lequel un ou plusieurs agents raisonnent sur leurs actions locales et sur les actions des autres (par anticipation) afin d'assurer la cohérence des actions communes

[*Lesser 1987*] : D'un point de vue multi-agents, l'objectif de la coordination est de s'assurer que :

- Les activités des agents permettent de résoudre toutes les composantes du problème global
- Les interactions entre les agents sont cohérentes et s'intègrent dans la solution globale
- Les groupes définis sont cohérents

Coordination

Pourquoi ?

La coordination est un ensemble de mécanismes permettant :

- d'une part de réduire la compétition
- d'autre part de contribuer à rendre le tout plus performant (synergie) que la somme des agents

Comment ?

La coordination peut être appréhendée de différentes manières.

On distingue principalement deux niveaux :

La coordination objective : celle désirée par le concepteur (normative).

La coordination subjective : celle qui apparaît au niveau des agents.

Coordination

Au niveau des agents, on peut donc :

- Soit forcer la coordination

Interactions « primitives » (ensemble fini de signaux dont l'interprétation est fixée)

Codées en dur dans les agents exemple :

- planification multi-agents distribuée [Georgeff 83]
- Partial Global Planning [Durfee 87]
- planification distribuée [El Fallah et al. 96]

- Soit donner les moyens aux agents de résoudre les conflits
 - Protocole de négociation

Coopération = Collaboration + Coordination + Résolution de conflit

Buts

Moyens

La coordination d'actions est nécessaire pour quatre raisons principales:

- a) Les agents ont besoin d'informations et de résultats que seuls d'autres agents peuvent fournir.**

Par exemple,

- un agent qui construit des murs aura besoin d'être approvisionné en briques,
- un agent qui surveille l'activité d'un procédé industriel en un point donné aura besoin d'informations sur l'état de ce procédé en d'autres endroits.
- Un agent logiciel qui apporte de la valeur ajoutée à un réseau de communication, tel qu'un service d'agence de voyage par exemple, nécessite les services d'autres agents, comme ceux de réservation de chambres et de places d'avions.

La coordination d'actions est nécessaire pour quatre raisons principales:

b) Les ressources sont limitées:

- On ne fait parfois attention aux actions des autres que parce que les ressources dont on dispose sont réduites et qu'on se retrouve à plusieurs à les utiliser. Qu'il s'agisse de temps, d'espace, d'énergie, d'argent ou d'outils, les actions pour être accomplies ont besoin de ressources qui n'existent pas en quantité infinie (c'est parce que l'espace est limité que des véhicules sont obligés de se coordonner pour s'éviter).
- Et la coordination est d'autant plus importante que les ressources sont faibles (pour des déménageurs, plus les objets à déplacer sont lourds et encombrants, plus ils doivent faire attention en accordant leur conduite).
- Il faut donc partager ces ressources de manière à optimiser les actions à effectuer (éliminer les actions inutiles, améliorer le temps de réponse, diminuer les coûts, etc.) tout en essayant d'éviter les conflits éventuels (conflits d'accès, collisions, actions contradictoires, etc.).

La coordination d'actions est nécessaire pour quatre raisons principales:

c) Optimiser les coûts

Coordonner des actions permet aussi de diminuer les coûts en éliminant les actions inutiles et en évitant les redondances d'action.

Par exemple,

- si quelqu'un reçoit deux demandes différentes pour aller chercher des pièces détachées, il sera plus rentable de combiner ces demandes et de ne faire qu'un voyage pour aller chercher ces pièces.
- De même, si deux personnes doivent se rendre au même endroit, elles pourront n'utiliser qu'une voiture et économiser ainsi l'essence correspondant à un trajet supplémentaire.

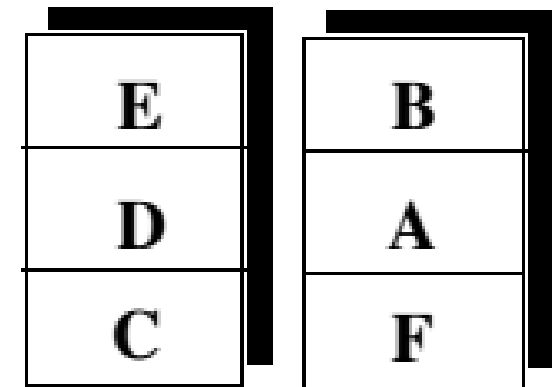
La coordination d'actions est nécessaire pour quatre raisons principales:

- d) On veut permettre à des agents ayant des objectifs distincts mais dépendants les uns des autres de satisfaire ces objectifs et d'accomplir leur travail en tirant éventuellement parti de cette dépendance.

Exemple

La figure 1 illustre cette situation dans le monde des cubes. Deux agents doivent transformer un empilement de cubes en un autre en ne déplaçant à chaque fois qu'un seul cube.

Plusieurs cas peuvent se présenter:



Exemple

- a) Si les objectifs sont compatibles et si les empilements initiaux et finaux sont totalement indépendants (figure 2.a),
- ✓ on se trouve dans une situation neutre ou d'indépendance, les deux agents ayant la possibilité d'accomplir leurs actions de manière totalement autonome.

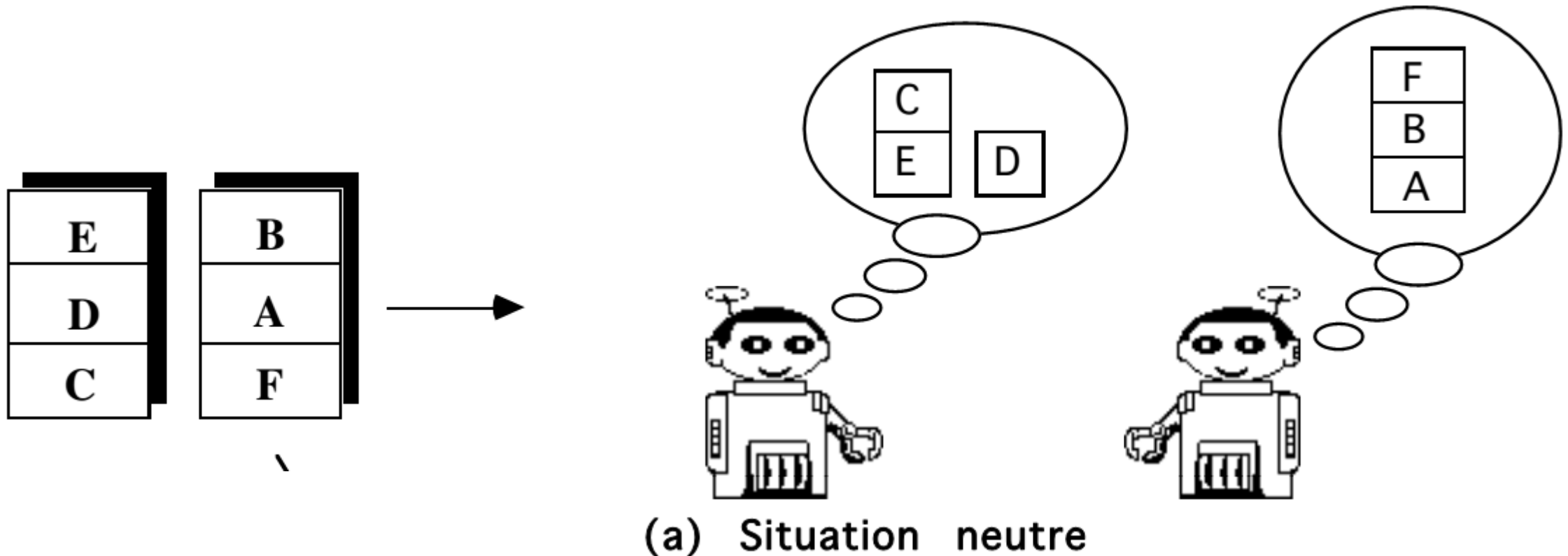
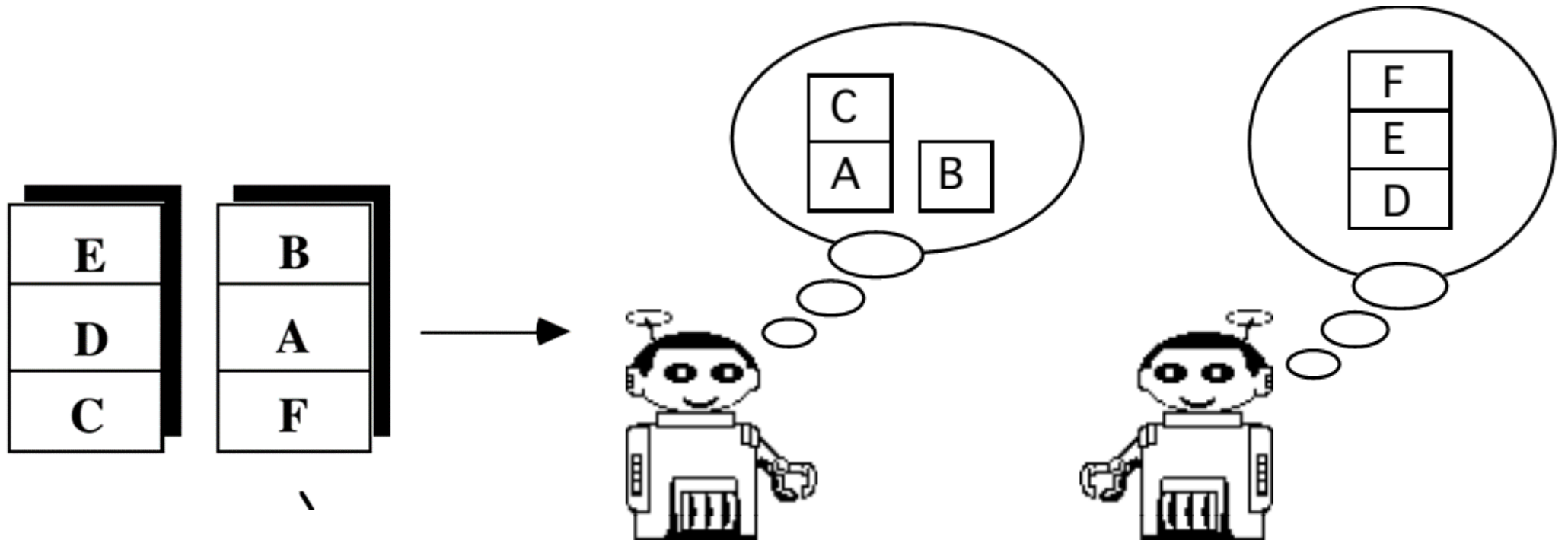


Figure 1. Quelques situations d'interaction

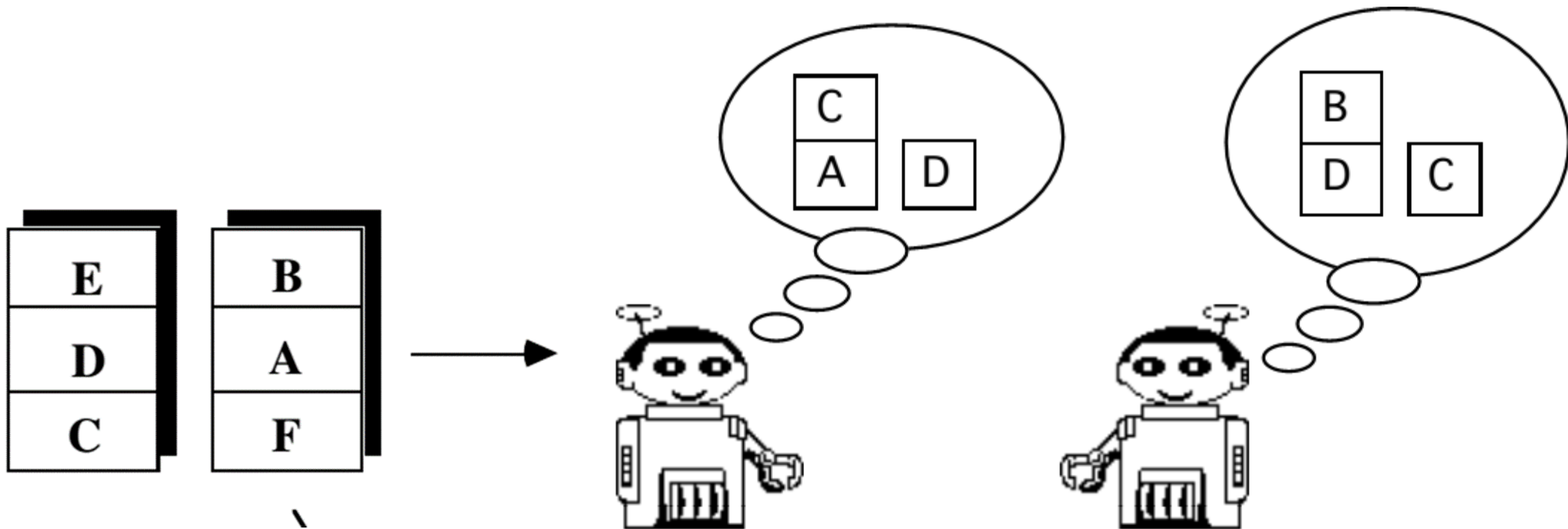
- b) Si les objectifs sont compatibles mais les cubes placés de telle façon que les agents aient à tenir compte de leurs actions réciproques.
- ✓ Dans ce cas, les agents doivent éviter de se gêner et si possible s'aider mutuellement pour que chacun satisfasse ses buts (figure 2.b). Il s'agit alors d'une situation de coopération, que nous avons appelée collaboration coordonnée, nécessitant une coordination des actions.



(b) Situation de coopération
avec coordination d'actions

c) Si, enfin, les objectifs sont incompatibles

- ✓ c'est- à-dire que les buts de l'un viennent en contradiction avec ceux de l'autre (figure 1.c), alors soit on estime que le système est incohérent, soit on se situe dans le cadre d'une situation de compétition



(c) Situation de compétition

La coordination comme résolution de problème

Avec qui coordonner ses actions?

la définition des agents avec lesquels on doit se coordonner est souvent donnée par le problème lui-même.

Par exemple,

deux déménageurs, qui doivent synchroniser leurs gestes pour éviter de faire tomber les meubles qu'ils portent, n'ont pas à se poser la question de savoir avec qui ils doivent coordonner leurs action, car c'est de toute évidence avec l'autre porteur.

Les dépendances mutuelles entre actions

Percevoir et déterminer les agents avec lesquels on doit coordonner ses actions ne suffit pas. Il faut pouvoir aussi gérer les interdépendances qui existent entre les actions d'un ensemble d'agents.

Par exemple,

supposons que trois bateaux doivent se croiser en mer, comme le montre la figure 2. Si le bateau *A1* ne prend en compte que le bateau *A2*, il peut aller sur sa droite, mais se faisant il risque d'entrer en collision avec le bateau *A3*. Or *A3* ne peut pas changer sa route pour éviter *A1* sous peine de s'échouer sur la petite île. De ce fait, il lui faut tenir son cap (يجب عليه أن يواصل المسيرة), et c'est à *A2* et *A1* de l'éviter.

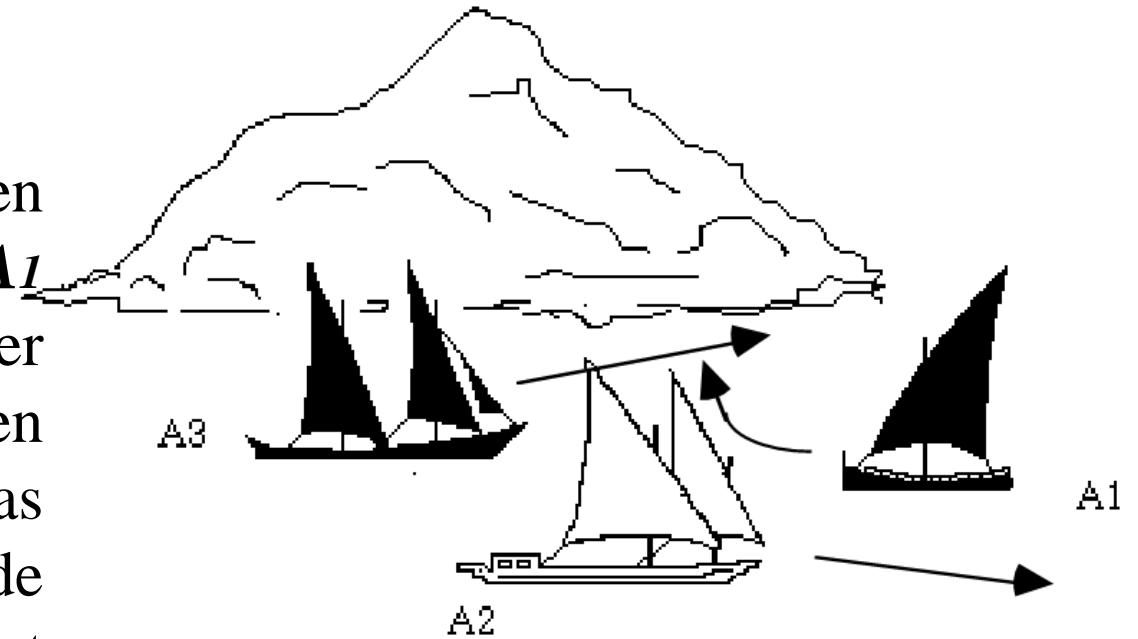


Figure 2. Evitement de collision entre bateaux

Relations entre actions

Von Martial 1992 a classé en deux grandes catégories les relations pouvant exister entre les actions lorsqu'elles sont accomplies simultanément par plusieurs agents:

1. Les **relations négatives** ou **conflictuelles** sont celles qui gênent ou empêchent plusieurs actions de s'accomplir simultanément. Cet aspect négatif peut évidemment être dû soit à l'incompatibilité des objectifs, soit à la limitation des ressources,
2. Les **relations positives**, ou **synergiques**, sont celles qui favorisent les actions en les faisant bénéficier les unes des autres et donc tendent à une plus grande efficacité que si les actions étaient réalisées de manière indépendante.

Relations entre actions

3. La **relation d'égalité** signifie que certaines actions ne sont pas liées à un agent particulier et peuvent être réalisées par un autre agent.
4. La **relation de subsumption** indique que l'action a d'un agent A fait partie des actions b d'un agent B , et donc qu'en accomplissant b , B réalise du même coup a .
5. La **relation de faveur** précise qu'une action, en s'accomplissant, favorise la possibilité d'accomplir une autre action.

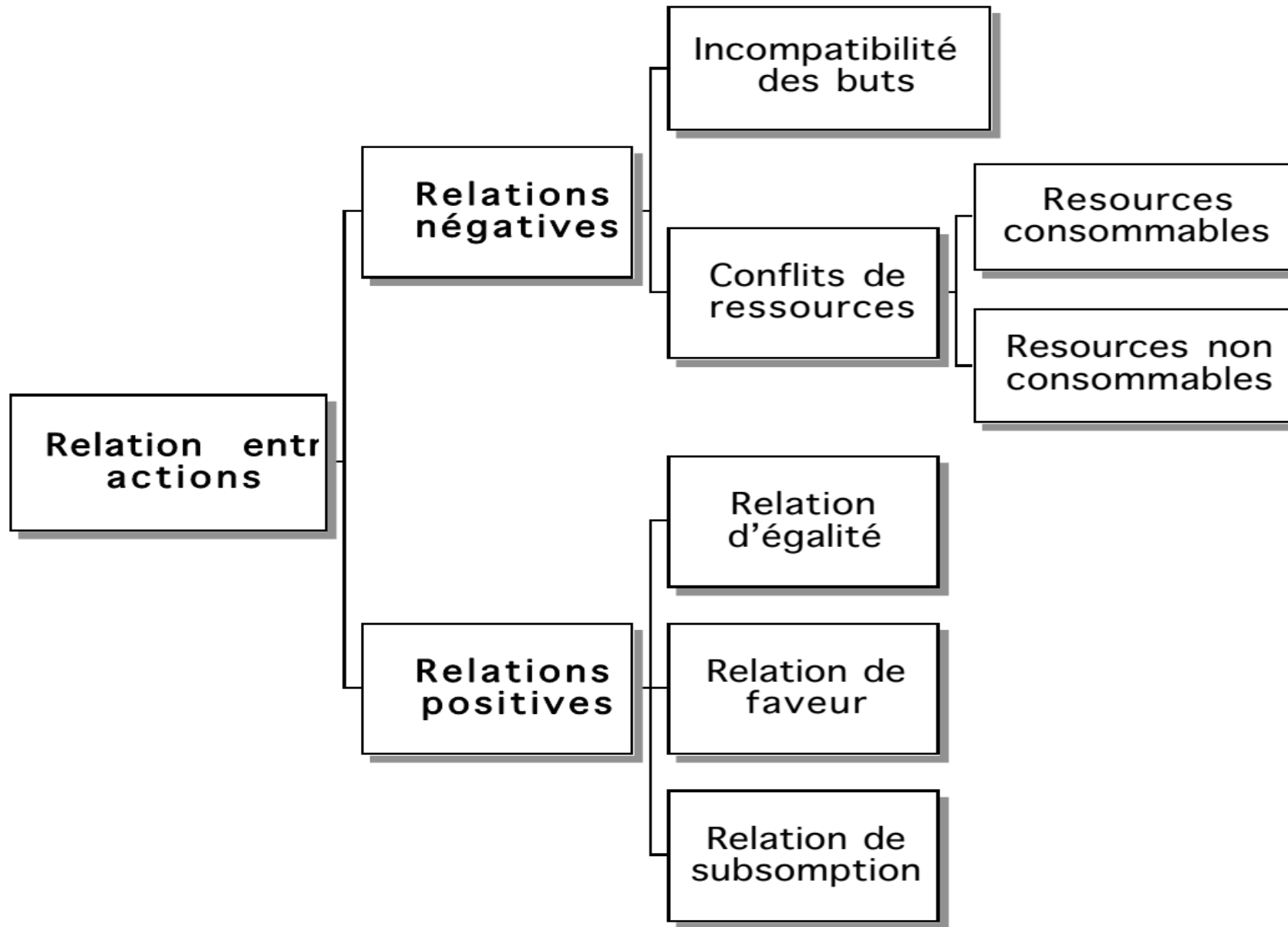


Figure 3. Les types de relations entre actions

Formes de coordination d'action

a) Coordination par synchronisation

Toute coordination d'action doit décrire précisément l'enchaînement des actions, ce qui induit une nécessaire synchronisation de leur exécution.

- La synchronisation, il s'agit de gérer la simultanéité de plusieurs actions et de vérifier que le résultat des opérations soit cohérent.
- Les principaux problèmes et algorithmes de synchronisation sont issus des systèmes distribués et sont utilisés tels quels dans le contexte des systèmes multi-agents.

Formes de coordination d'action

a) Coordination par synchronisation

Synchronisation d'actions

Synchroniser plusieurs actions, c'est définir la façon dont s'enchaînent les actions de manière à ce que leur déroulement dans le temps concorde et qu'elles puissent être accomplies "juste au bon moment".

1) Synchronisation de mouvements

Dès que plusieurs éléments doivent se mouvoir ensemble, il est nécessaire de synchroniser leur déplacement.

1) Synchronisation de mouvements

Par exemple,

- un cycliste doit faire attention que lorsque sa jambe droite appuie sur la pédale de droite, la gauche se relâche et vice-versa.
- Si l'on considère chacune des jambes du cycliste comme un agent, il faut donc synchroniser la poussée de chaque jambe de manière à ce qu'elle ne puisse s'effectuer que si la pédale correspondante se trouve en position haute.
- Par exemple, la synchronisation des jambes du cycliste s'expriment très simplement sous la forme d'un réseau de pétri
- Chaque jambe est représentée sous la forme d'une place et d'une transition,
 - la place représentant la jambe dans l'état "haut",
 - la transition correspondant à l'action d'appuyer sur la pédale.
 - A l'état initial on suppose qu'une seule des places est marquée.

1) Synchronisation de mouvements

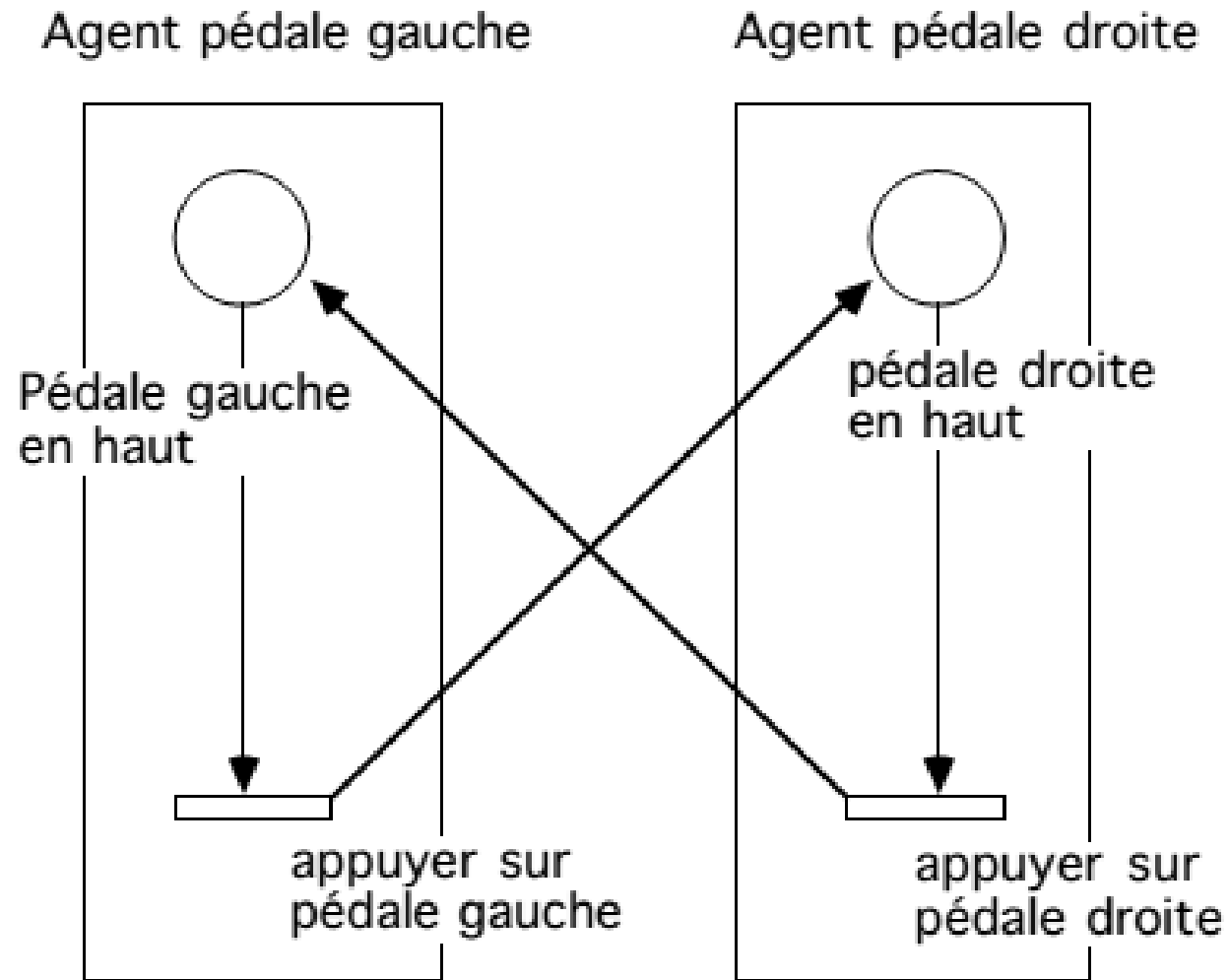


Figure 4. Synchronisation des actions des deux jambes d'un cycliste

2) Synchronisation d'accès à une ressource

- Lorsque plusieurs agents doivent partager une ressource, ils doivent synchroniser leurs actions et éviter ainsi que leurs actions deviennent incohérentes.
- Supposons, (Georgeff 1983) que deux robots, *Clotaire* et *Chilpéric*, aient à utiliser la même machine pour construire le premier des écrous, le second des boulons

2) Synchronisation d'accès à une ressource

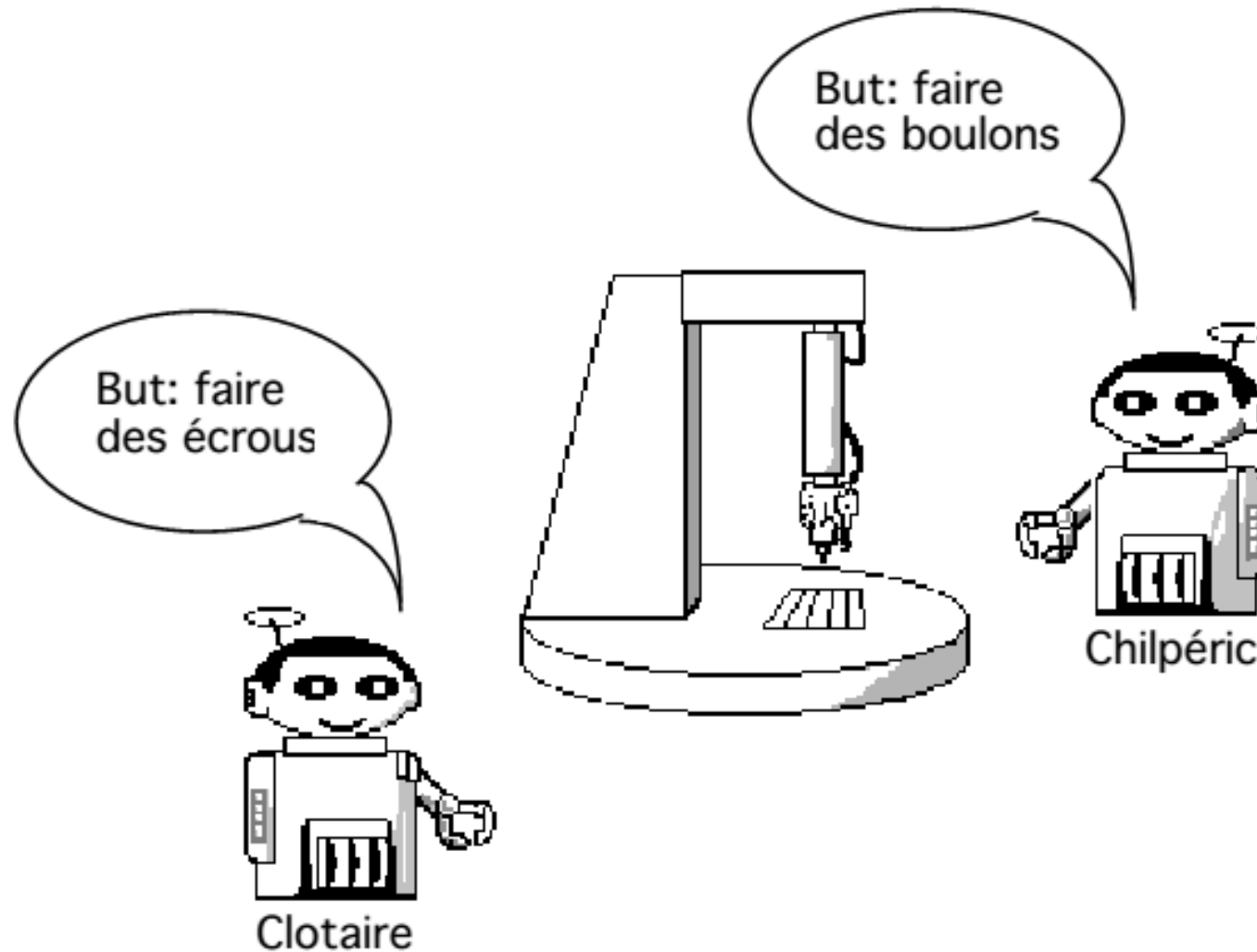


Figure 5: Clotaire et Chilpéric doivent partager la machine pour faire des écrous et des boulons.

2) Synchronisation d'accès à une ressource

- ✓ Le comportement de *Clotaire* consiste à répéter indéfiniment la suite des actions suivantes:

Comportement Clotaire

Aller jusqu'à la machine

Placer un morceau de métal sur la machine

Faire un écrou

Porter l'écrou dans le stock des écrous

- ✓ Celui de *Chilpéric* ne diffère pas beaucoup du précédent:

Comportement Chilpéric

Aller jusqu'à la machine

Placer un morceau de métal sur la machine

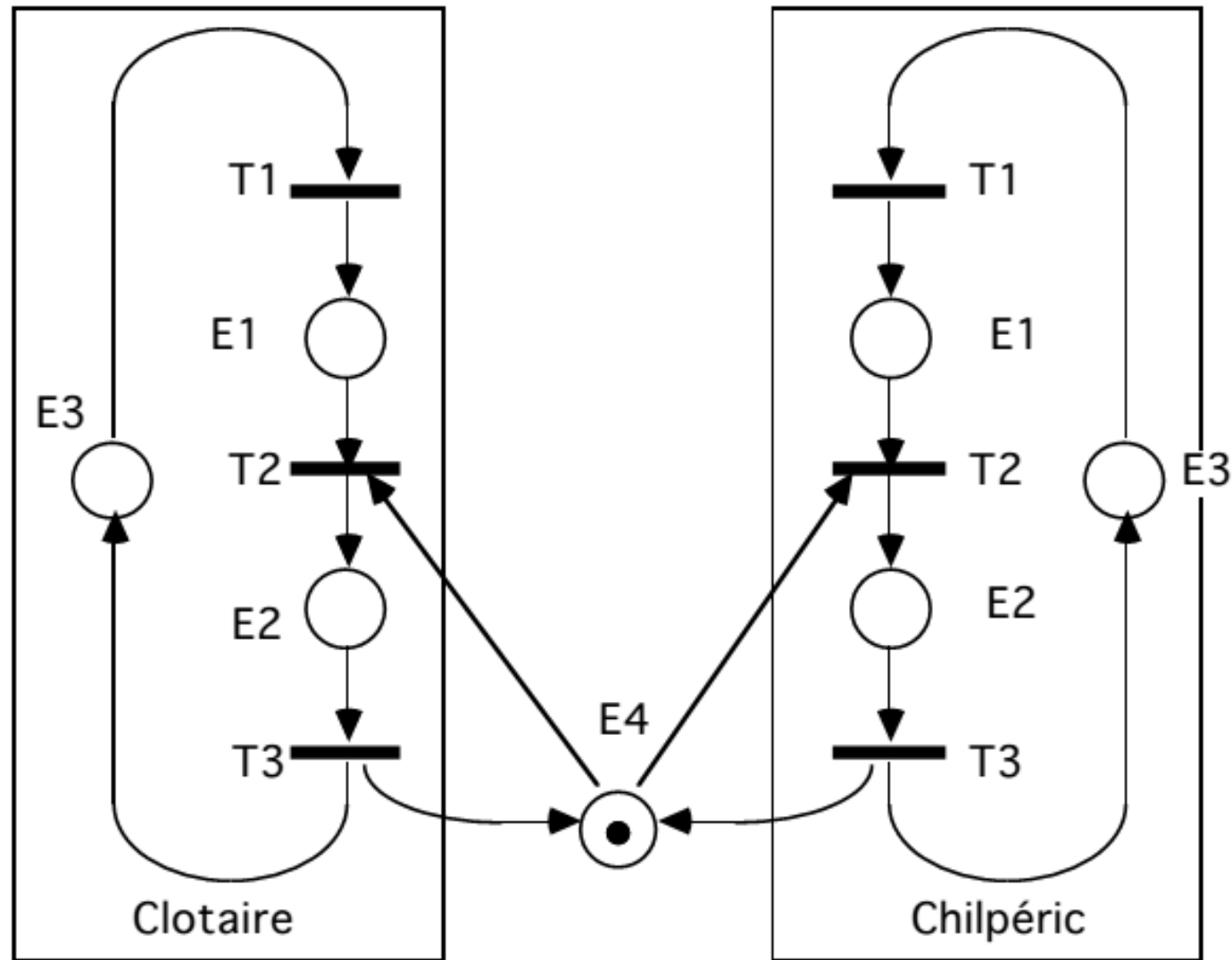
Faire un boulon

Porter le boulon dans le stock des boulons

2) Synchronisation d'accès à une ressource

- Lorsque *Clotaire* utilise la machine, il ne faut pas que *Chilpéric* vienne toucher ses boutons et dérégler le travail de l'autre robot.
- De ce fait, il est nécessaire d'introduire des mécanismes de synchronisation qui auront pour but de placer l'utilisateur de la machine en section critique et d'obliger l'autre à attendre son tour.
- Pour résoudre ce problème, il faut faire en sorte que chaque robot, tant qu'il n'a pas reçu un feu vert pour utiliser la machine, se mette en attente.
- La figure suivante montre une modélisation de ce système à l'aide de réseaux de Pétri.
- Le comportement de chacun des agents est modélisé sous la forme d'une boucle sans fin
- l'occupation de la machine est figurée sous la forme d'une simple place.

2) Synchronisation d'accès à une ressource

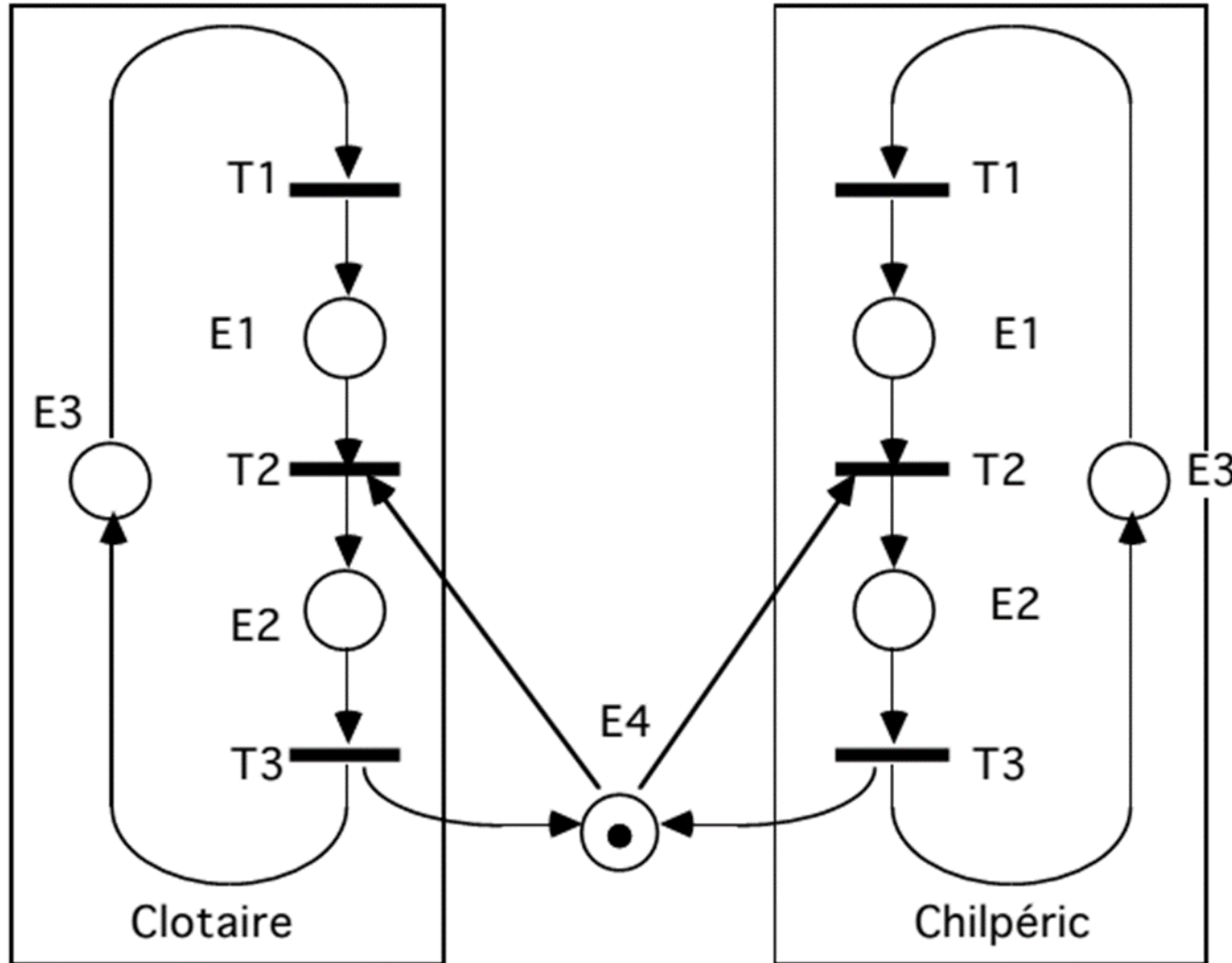


T1: aller vers la machine
T2: placer un morceau de métal
T3: fin de réalisation de la pièce
et stockage de la pièce

E1: en attente de la machine
E2: en cours de réalisation de la
pièce
E3: en cours de stockage de la pièce
E4: machine occupée

Figure 6: Modélisation de la synchronisation des actions de Clotaire et Chilpéric pour faire des écrous et des boulons

2) Synchronisation d'accès à une ressource



Lorsqu'un robot veut travailler sur la machine et que cette dernière est disponible, il consomme le jeton et commence à travailler.

Lorsqu'il termine la réalisation de sa pièce, il franchit la transition T3, ce qui redonne le jeton à la place E4.

Figure 6: Modélisation de la synchronisation des actions de Clotaire et Chilpéric pour faire des écrous et des boulons

Implémentation cette structure sous la forme d'agents

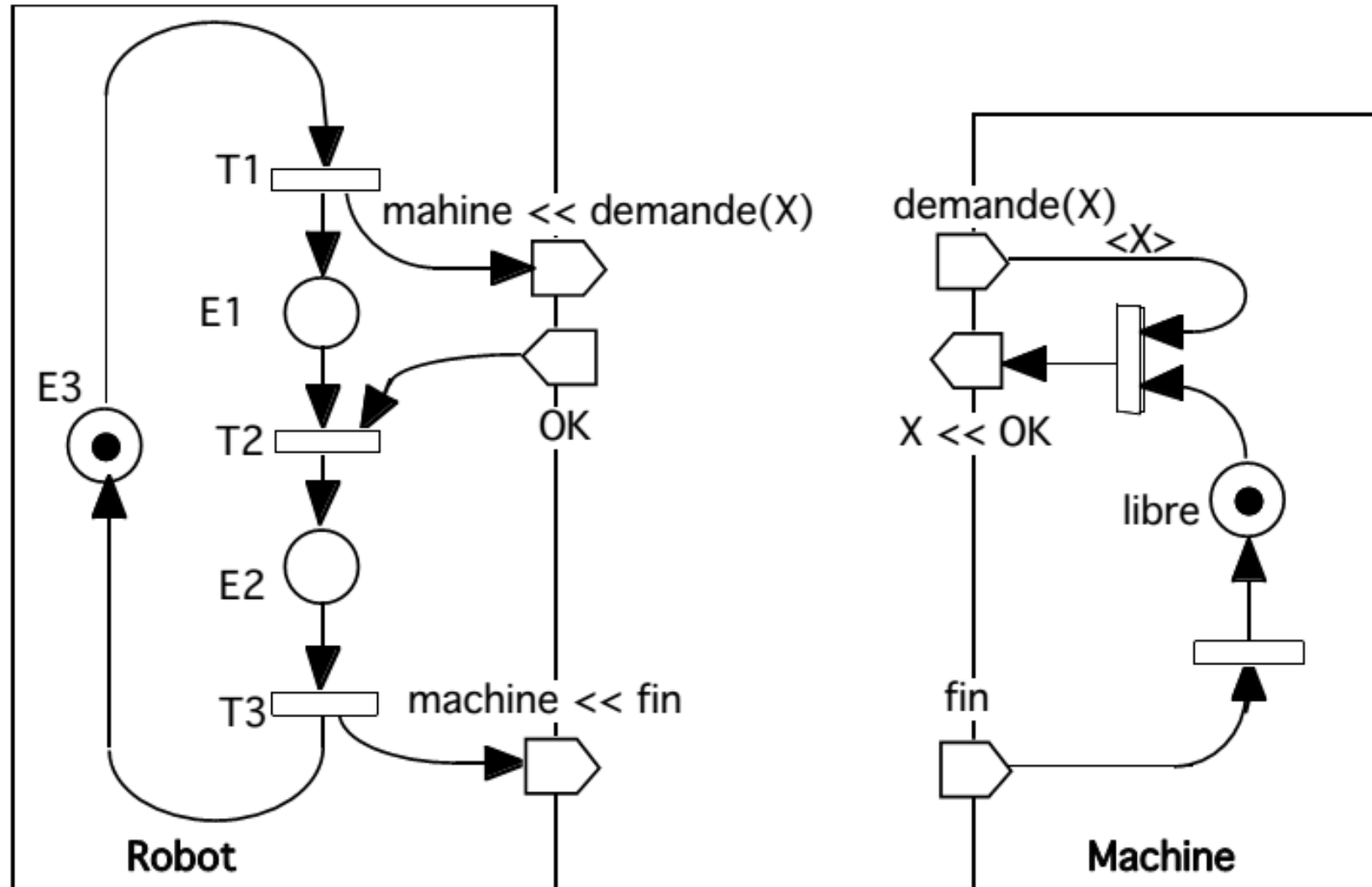


Figure 7: Description du comportement des agents de type Robot et Machine permettant de synchroniser l'accès à la machine

Implémentation cette structure sous la forme d'agents

- La solution la plus simple consiste à considérer la machine comme un agent qui répond aux demandes des robots et leur indique lorsqu'ils peuvent travailler.
- Lorsqu'un robot s'approche de la machine, il envoie une demande d'utilisation à la machine,
- laquelle répond par un acquittement (message Ok), ce qui permet au robot de réaliser sa pièce.
- Lorsqu'il a terminé, il envoie un message Fin, qui libère la machine et permet à un autre robot de travailler.

b) Coordination par planification

- Cette technique, qui est la plus traditionnelle en IA, repose sur un découpage de l'action en deux phases:
- Dans la première, on réfléchit sur l'ensemble des actions à effectuer pour atteindre un but en produisant un ensemble de plans.
- Dans la seconde, on choisit l'un de ces plans que l'on exécute.
- De plus, dans les systèmes multi-agents, les différents plans élaborés par les agents peuvent entraîner des conflits d'objectifs ou d'accès à des ressources. Il faut alors coordonner les plans de manière à résoudre ces conflits et satisfaire ainsi les buts des différents agents.

Planification multi-agent

L'action comme processus

Un processus est une abstraction qui représente une action et qui peut elle-même se décomposer en sous-processus jusqu'à aboutir aux processus atomiques indécomposables.

Par exemple,

- préparer Spaghetti-Bolognaise est un processus qui représente l'ensemble des manières particulières pour préparer des spaghetti bolognaise.
 - Pour s'accomplir, ce processus nécessite l'exécution de sous-processus tels que préparer-Sauce et cuire-Spaghetti qui peuvent s'exécuter simultanément.
 - Le processus cuire-Spaghetti peut s'exprimer sous la forme prendre-Casserole, remplir-Casserole-Eau, chauffer-Casserole, mettre-Spaghetti-Dans-Casserole, retirer-Spaghetti.
- ❖ L'action est alors une instanciation particulière du processus qui décrit un ordre d'exécution des différents sous-processus qui le composent.

Planification multi-agent

➤ Modélisation du processus sous forme d'un automate

Un processus peut être décrit sous la forme d'un automate.

Par exemple,

imaginons le monde où *Clotaire* peut être localisé en cinq endroits différents. Supposons qu'il veuille aller en 5 pour récupérer l'outil.

Il peut y aller soit en passant par

- pièces 2 et 3 ou
- par 2 et 4.

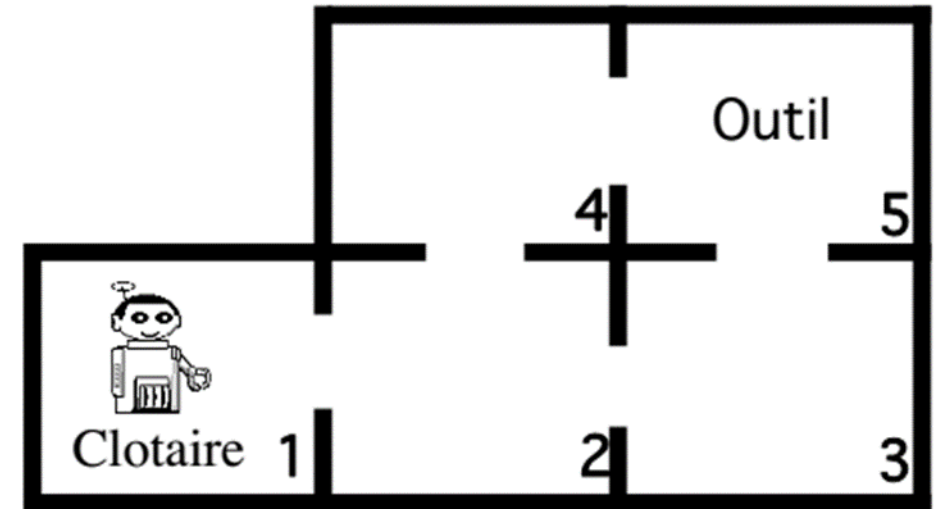


Figure 8: Le robot Clotaire veut aller en 5.

Planification multi-agent

➤ Modélisation du processus sous forme d'un automate

Le modèle de processus associé à aller-Pièce5 s'exprime sous la forme de la figure suivante:

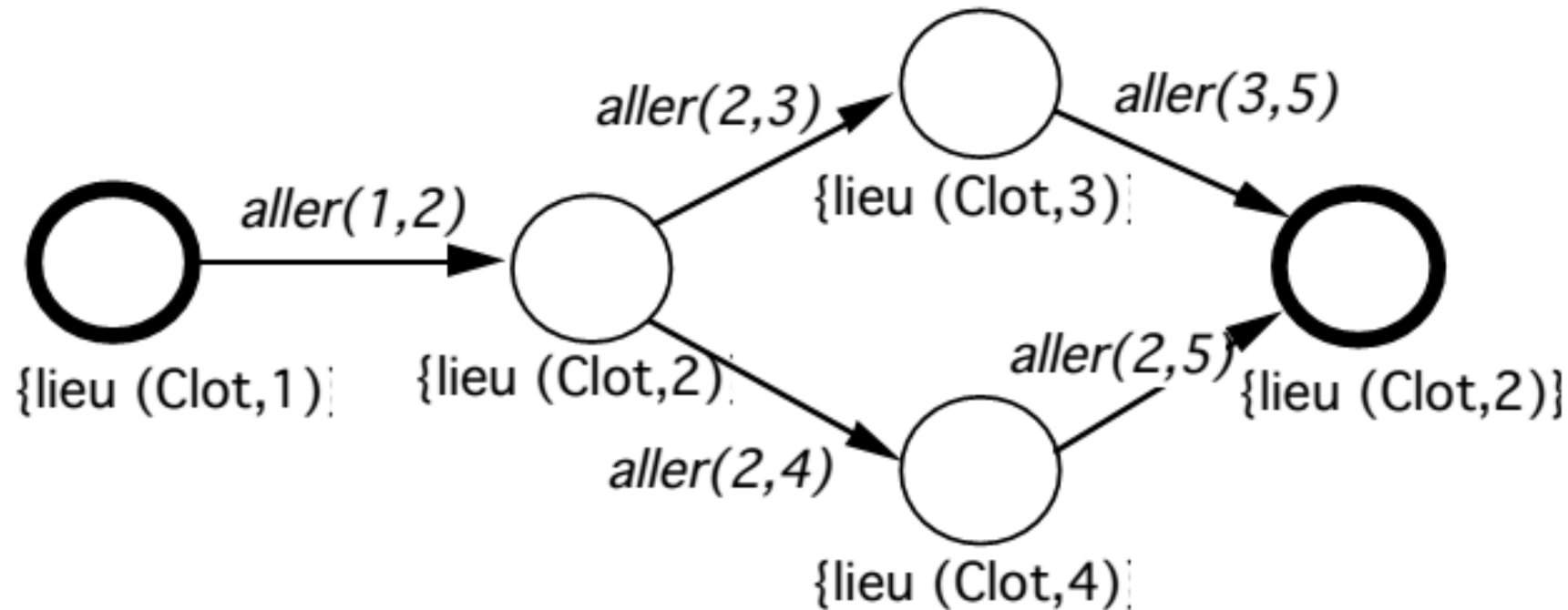


Figure 9: Un plan de Clotaire pour parvenir à son but

Modes de planification multi-agent

Planifier des actions en univers multi-agents peut se décomposer en trois étapes distinctes. La construction de plans, la synchronisation/coordination des plans et l'exécution de ces derniers.

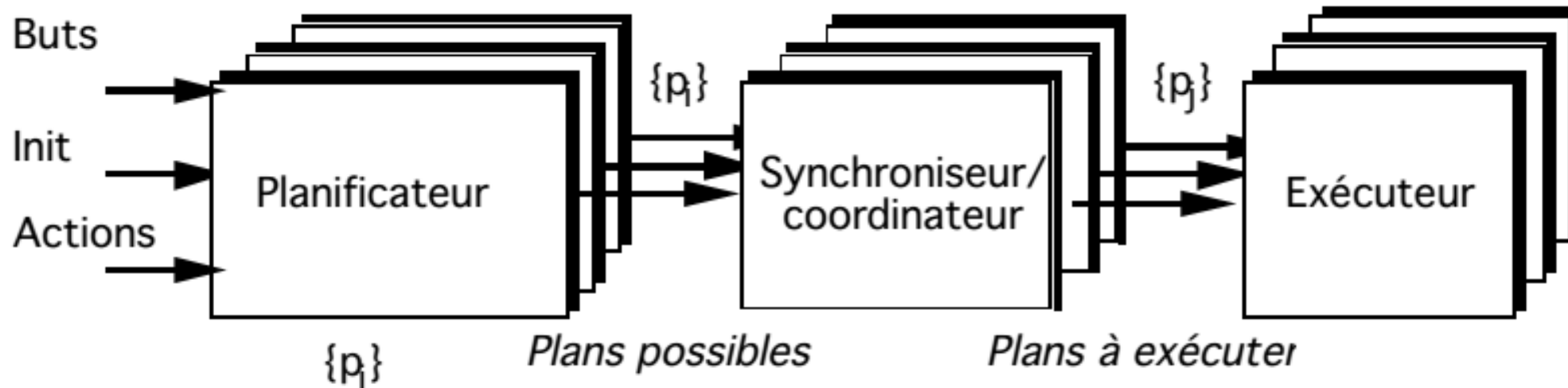


Figure 11: La planification multi-agent peut faire appel à plusieurs planificateurs, plusieurs synchroniseurs/coordonateurs et, évidemment, à plusieurs exécuteurs.

Modes de planification multi-agent

Trois grands modes d'organisation classiques de la planification multi-agent sont:

1. la planification centralisée pour agents multiples,
2. la coordination centralisée pour plans partiels,
3. la planification distribuée.

1. Planification centralisée pour agents multiples

La planification centralisée pour agents multiples suppose qu'il n'existe qu'un seul planificateur, c'est-à-dire qu'un seul agent capable de planifier et d'organiser les actions pour l'ensemble des agents, comme le montre la figure 12.

Cet agent traite aussi généralement de la synchronisation des plans ainsi que de l'allocation des tâches aux autres agents dont le rôle se cantonne alors à n'être que de simples exécutants.

1. Planification centralisée pour agents multiples

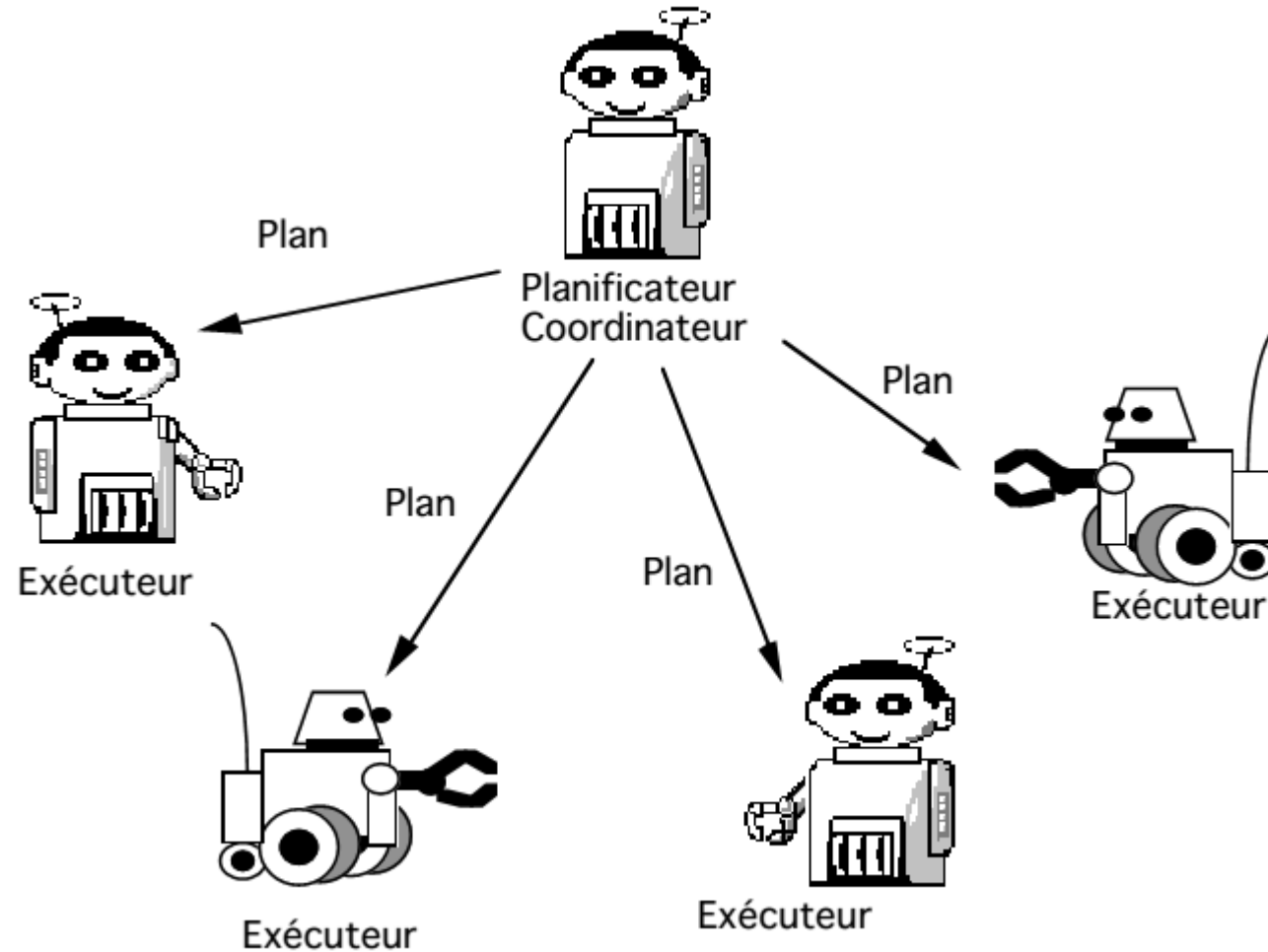


Figure12: Dans la planification centralisée pour agents multiples, un agent unique, le planificateur est chargé de produire un plan global dont les actions sont ensuite allouées aux exécuteurs.

1. Planification centralisée pour agents multiples

Les techniques de construction centralisée de plans pour agents multiples reprennent celles de la planification pour agents uniques et s'effectuent généralement en trois temps

1. On cherche d'abord un plan général partiel, qui puisse s'exprimer sous la forme d'un graphe acyclique.
2. On détermine ensuite les branches qui peuvent être exécutées en parallèle et on introduit des points de synchronisation chaque fois que deux branches de calcul se rejoignent.
3. Enfin, on alloue l'exécution des tâches aux différents agents concernés.

1. Planification centralisée pour agents multiples

Par exemple,

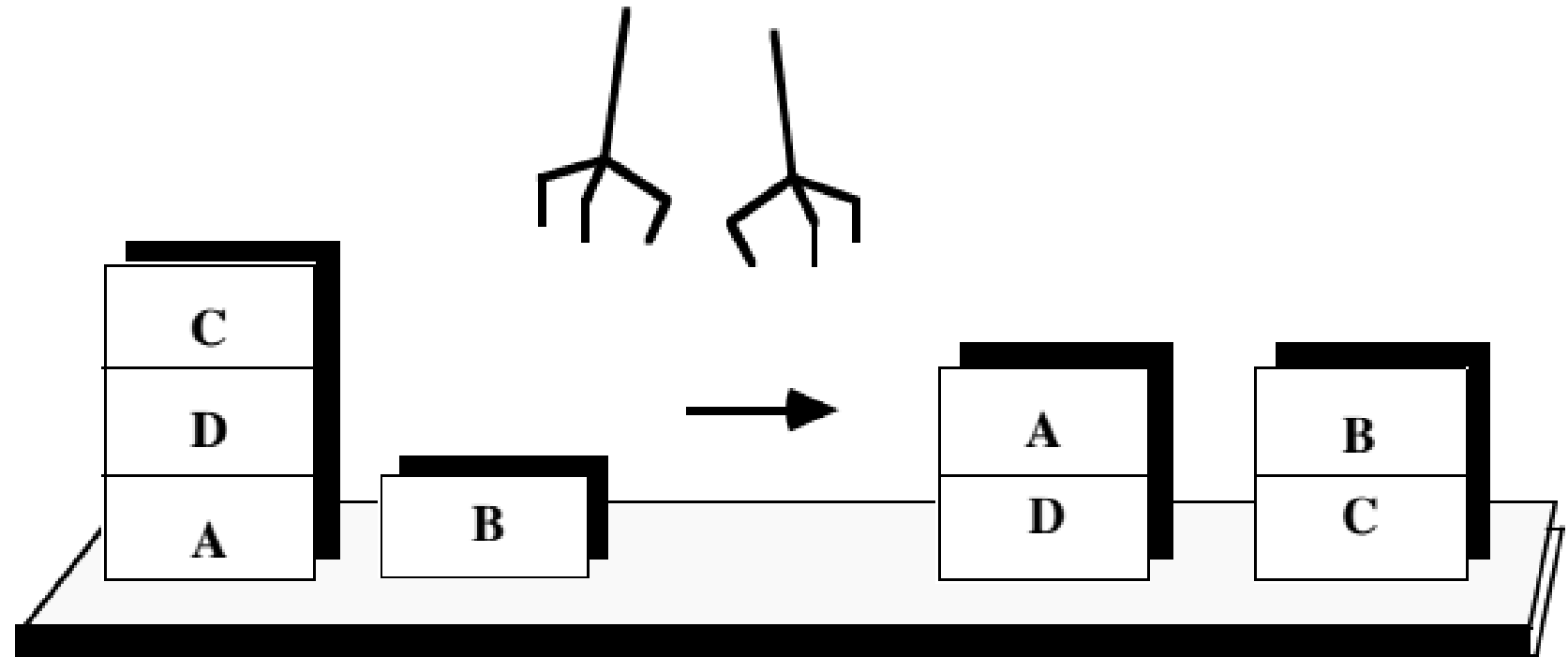


Figure 13: Un problème de déplacement de cubes, mais on cherche ici à l'exécuter par deux agents simultanément.

1. Planification centralisée pour agents multiples

- Dans le cas d'une planification centralisée, on construit un plan comme s'il n'y avait qu'un seul agent, et le résultat de l'étape 1 donne un graphe partiel acyclique qui présente deux branches d'exécution parallèles pour la réalisation des opérations $poserTable(D)$ et $poser(A,D)$ d'une part et $poser(B,C)$ d'autre part.
- Le plan une fois réalisé, il faut placer des points d'exécution pour empêcher les agents de se trouver en conflit et faire en sorte que les actions effectuées le long d'une branche de calcul ne soient exécutées que si les précédentes sont bien terminées
- Par exemple, on peut faire exécuter simultanément $poserTable(D)$ et $poser(B,C)$ puisqu'il n'existe aucune interférence (تداخل) possible dans l'exécution de ces actions.

1. Planification centralisée pour agents multiples

Il est alors possible de construire un graphe d'exécution sous la forme d'un réseau de Pétri qui montre les points de parallélisations ainsi que ceux de synchronisation nécessaire :

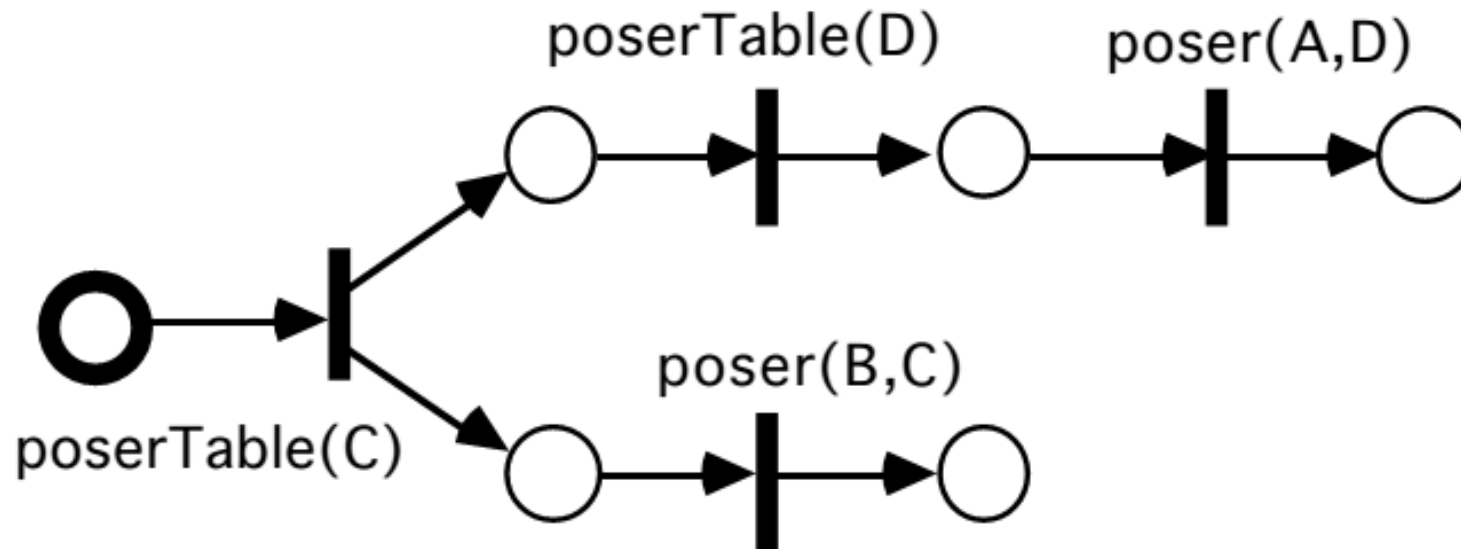


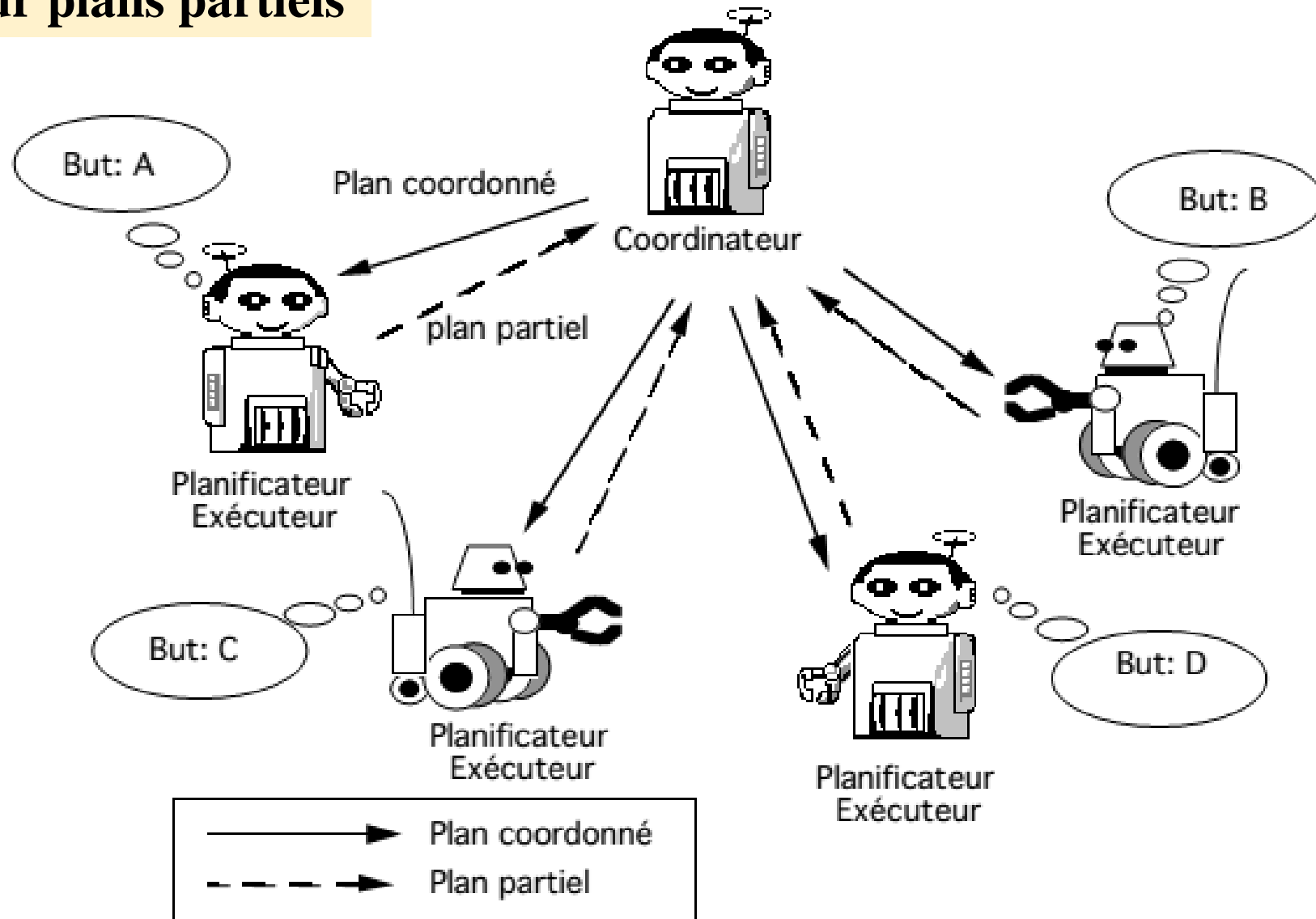
Figure 14: Plan de résolution d'un problème de cube

2. Coordination centralisée pour plans partiels

- Centraliser que la coordination.
- Dans ce cas, chaque agent construit indépendamment son propre plan partiel qu'il envoie au coordinateur.
- Ce dernier tente alors de synthétiser (تركيب, تجميع) tous ces plans partiel en un seul plan global cohérent.
- Il s'agit alors de dégager les conflits potentiels et de les supprimer, soit en ordonnant les actions, soit en déterminant les points de synchronisation (تزامن) nécessaires.

2. Coordination centralisée pour plans partiels

Dans la coordination centralisée pour plans partiels, un agent est chargé de la fusion et de la synchronisation des plans partiels construits indépendamment par les agents.

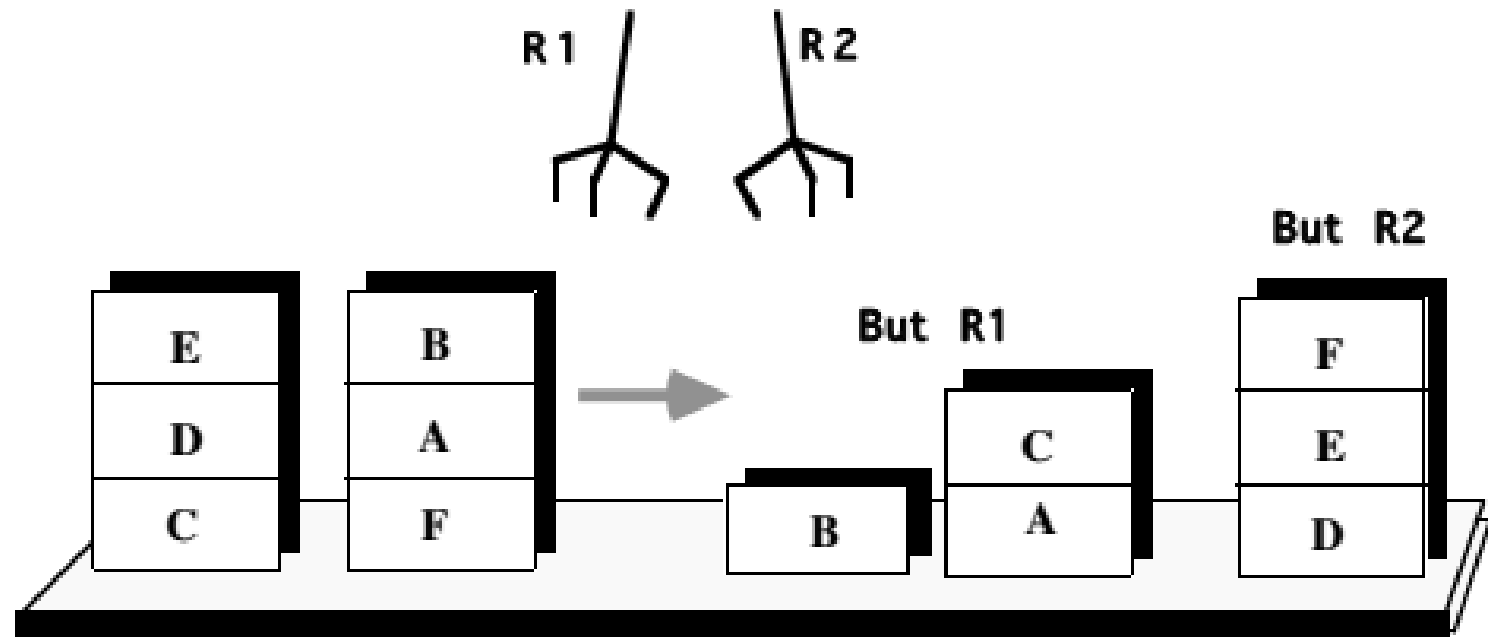


2. Coordination centralisée pour plans partiels

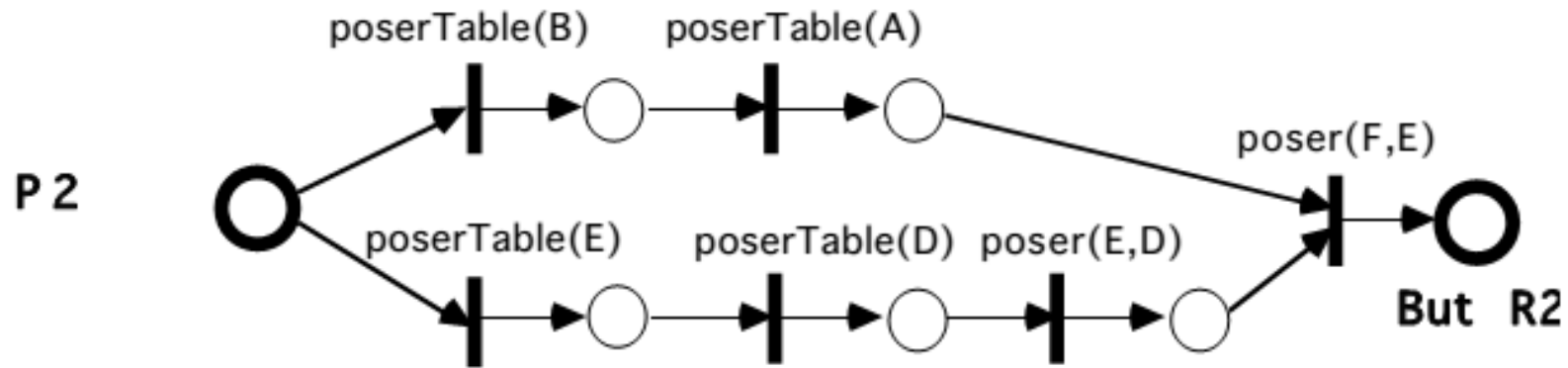
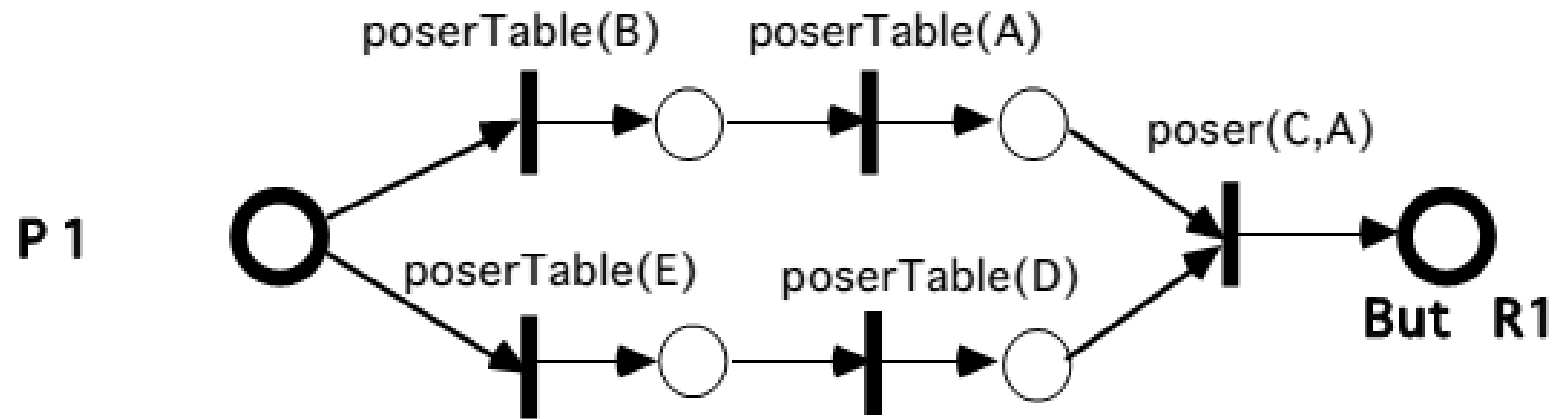
Supposons par exemple que deux robots aient à réaliser chacun un empilement de cubes à partir d'un ensemble de cubes communs, et que chaque agent n'ait aucune connaissance des buts de l'autre. Les buts des robots sont les suivants:

Buts R1 = `sur(B,Table)`, `sur(A,Table)`, `sur(C,A)`

Buts R2 = `sur(D,Table)`, `sur(E,D)`, `sur(F,E)`



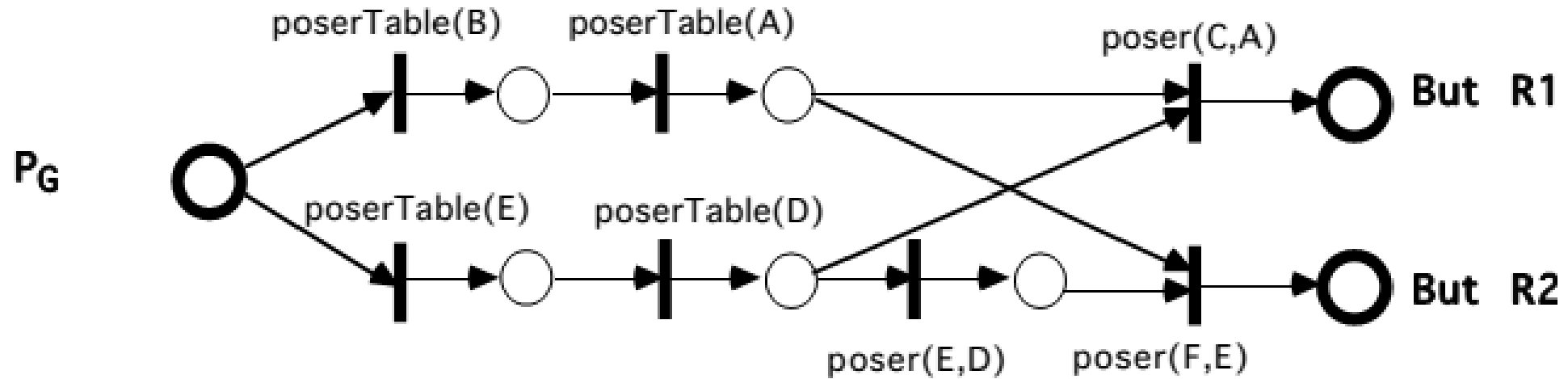
2. Coordination centralisée pour plans partiels



Les plans partiels des deux agents

2. Coordination centralisée pour plans partiels

La fusion des plans *P1* et *P2* est relativement simple, puisqu'il n'y a pas de point de conflits. Il suffit donc à un superviseur général de superposer les deux plans et donc de définir un plan global *PG* qui soit la synthèse (ترکیب, تجميع) de ces deux plans partiels.



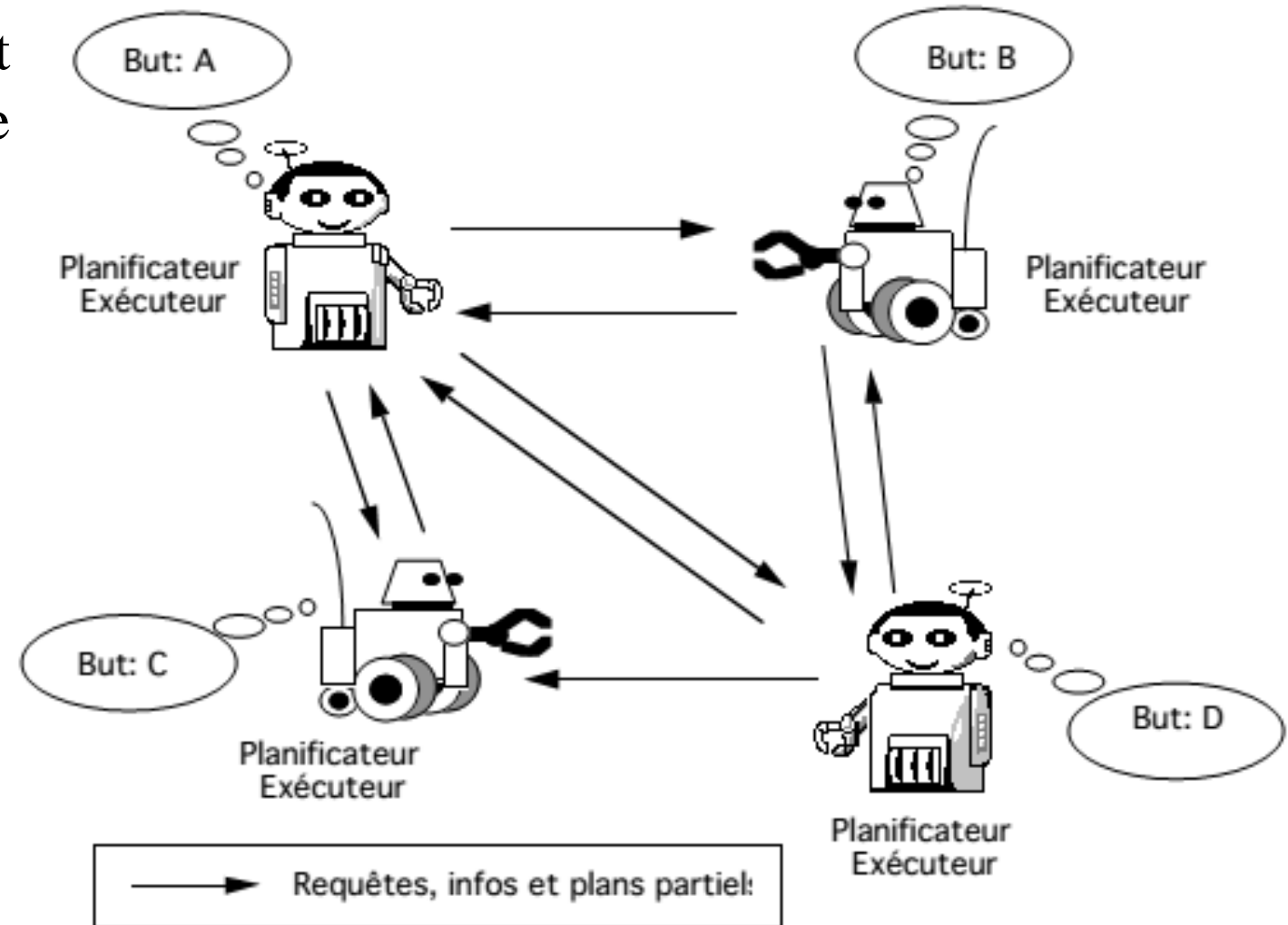
Synthèse des plans partiels de *R1* et *R2*

3. Coordination distribuée pour plans partiels

- La planification distribuée introduit encore plus de répartition des travaux en supposant qu'il n'existe aucun agent centralisateur, ni pour planifier des plans globaux, ni pour coordonner des plans partiels.
- Dans la planification distribuée, chaque agent planifie individuellement les action qu'il compte accomplir en fonction de ses propres buts.
- La difficulté porte alors non seulement sur la résolution des conflits potentiels qui peuvent intervenir lors de l'exécution des plans, mais aussi, sur la reconnaissance des situations synergiques qui peuvent se présenter lorsque les actions des uns peuvent être utiles à la réalisation des buts des autre

3. Coordination distribuée pour plans partiels

- Chaque agent dispose (لديه) de buts et de plans lui permettant de résoudre ses buts.
- Le problème consiste pour ces agents à échanger des informations portant sur leurs plans et leurs buts, afin que chacun puisse satisfaire ses objectifs.



Le modèle de planification distribuée. Chaque agent dispose de buts et de plans partiels qu'il peut communiquer à d'autres agents.