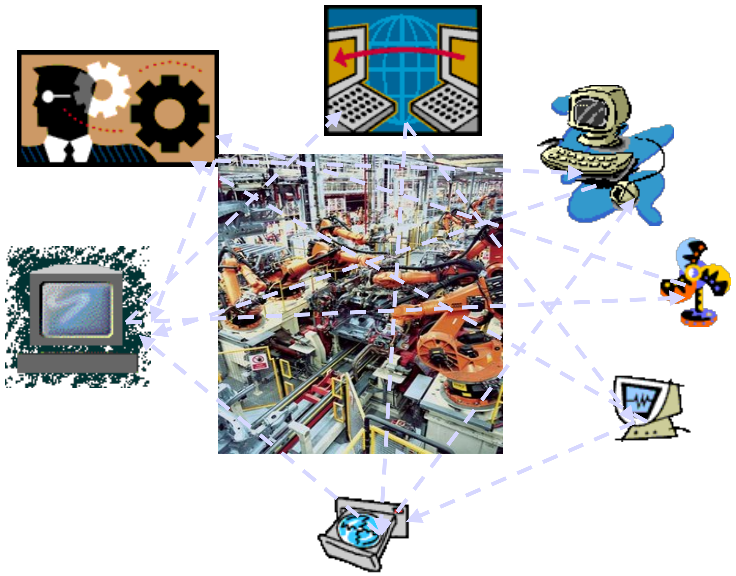
Synthèse de contrôleur discret

Hassane ALLA
hassane.alla@gipsa-lab.fr

gipsa-lab

grenoble
image
parole
signal
automatique



Essais et corrections successives

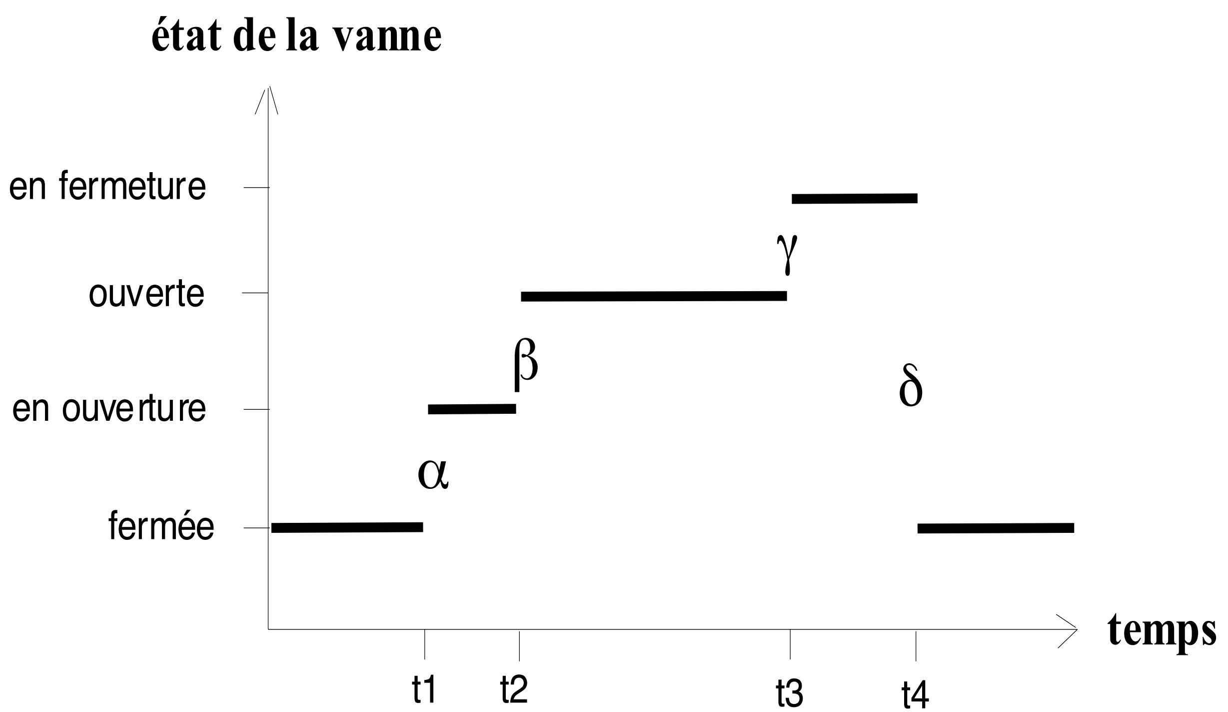
Coûteux et approximatifs

Conception du système de commande doit garantir la sécurité

Méthodes et Outils formels aidant à la conception de systèmes de commande

Espace d'états discrets

- évolution par occurrence d'évènements
- événements : asynchrones et instantanés



Outils de modélisation

- **Automates**
- **Réseaux de Petri**

Commande

des systèmes à événements discrets

Professeur W. M. WONHAM
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Toronto, 10 King's College Road
Toronto, Ontario M5S 1A4, Canada
http://odin.control.toronto.edu/DES/

Introduction

- **Motivation et objectif de la commande des SED**

Développer des techniques formelles pour garantir :

- le respect des cahiers de charges

- la sûreté de fonctionnement des systèmes automatisés

- **Approches utilisées**

- ***Théorie des automates et langages formels***

- ***Réseaux de Petri***

- ***Théorie des jeux***

- ***Algèbres des dioïdes***

Introduction

- SED : - espace d'états discret
  - évolution par occurrence d'évènements

- Théorie de la commande par supervision

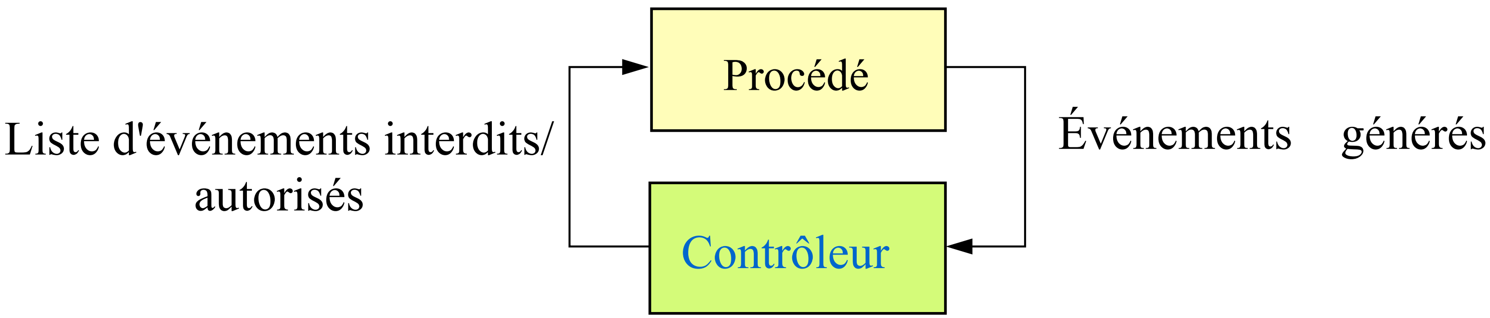
  Objectif :

  - Synthèse de loi de commande

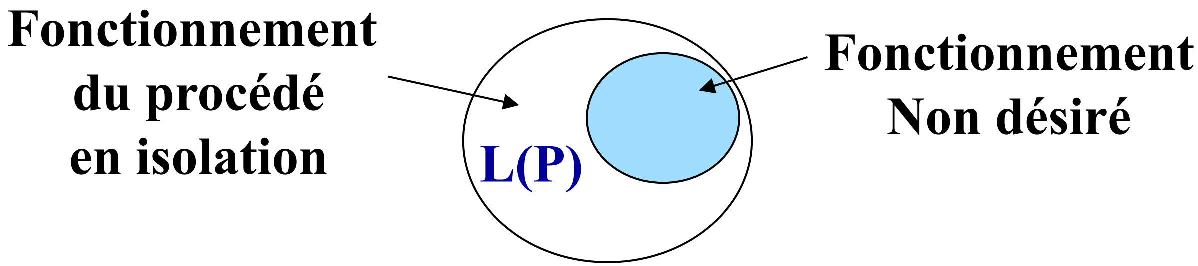
Commande par Supervision

- Théorie initiée par Ramadge & Wonham

Schéma fonctionnel :



Commande par Supervision



- Séquence physiquement possible $\neq$ Séquence désirée

- Objectifs de la commande d'un SED :
  - Interdire le fonctionnement non désiré
  - Garantir au SED un comportement libre au maximum dans le fonctionnement désiré.

Commande par Supervision

- Structure de contrôle : Partition de l'alphabet

Σ

Σ_C : ensemble des événements contrôlables

ex : ouvrir vanne, démarrer machine, envoyer donnée …ACTIONS

Σ_U : ensemble des événements incontrôlables envoyés par le procédé, comme réponse à l'exécution d'une commande

ex : fin de traitement, vanne fermée … CAPTEURS,

ou des événements spontanés (non observables) ex : panne …

☞ Une loi de commande : <u>autorisation</u> ou <u>interdiction</u> d'événement

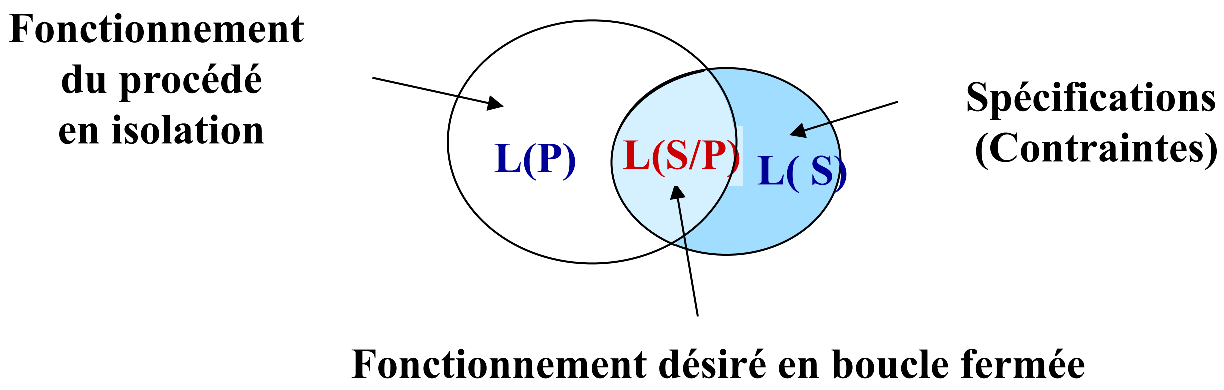
☞ Le Contrôleur n'a l'habilité que d'agir sur les événements contrôlables

Commande par Supervision

Objectif : Satisfaire des spécifications logiques.

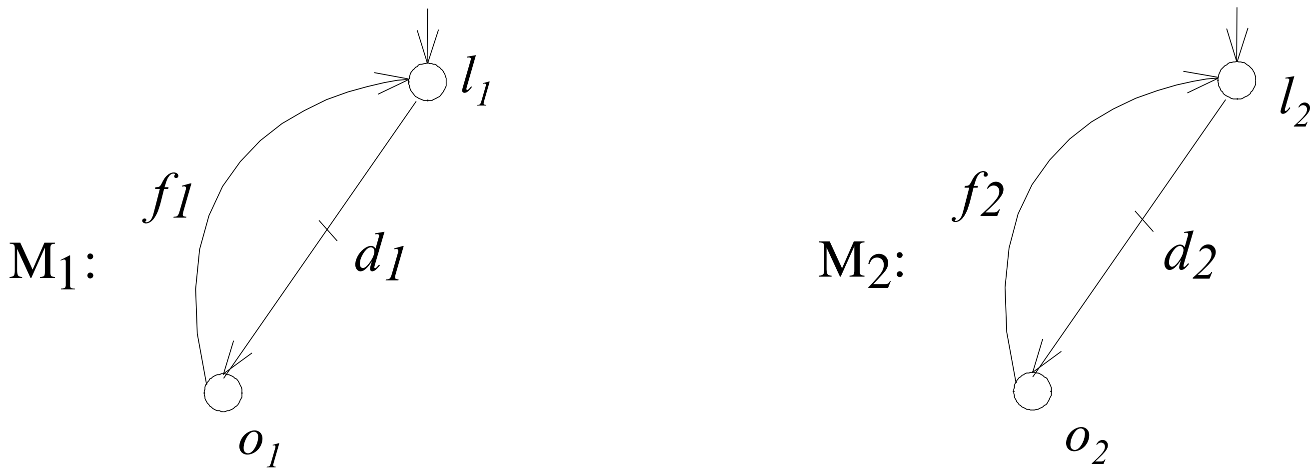
Fonctionnement en boucle fermée =

Fonctionnement du procédé couplé à son contrôleur



Système manufacturier

un système manufacturier

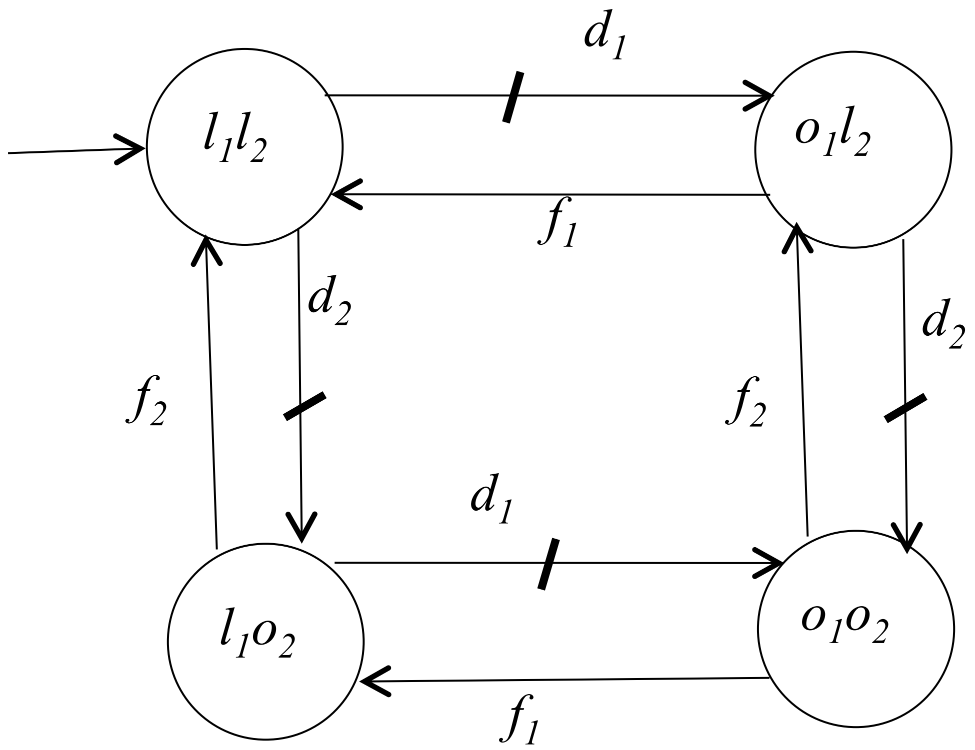


Modèle des machines M_1 et M_2.

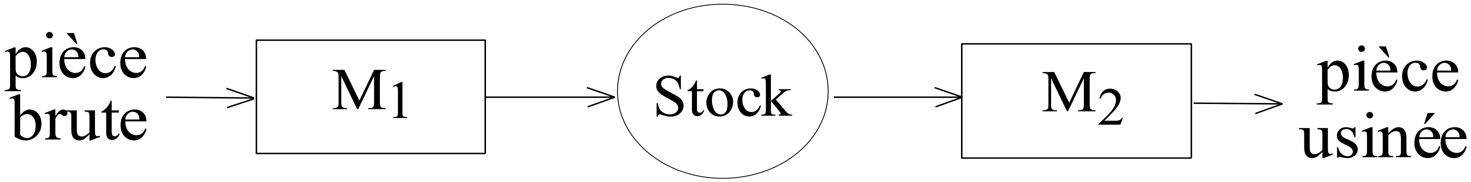
- $\Sigma_c = \{d_1, d_2\}$ Evénements contrôlables
- $\Sigma_u = \{f_1, f_2\}$ Evénements incontrôlables

Modèle du procédé

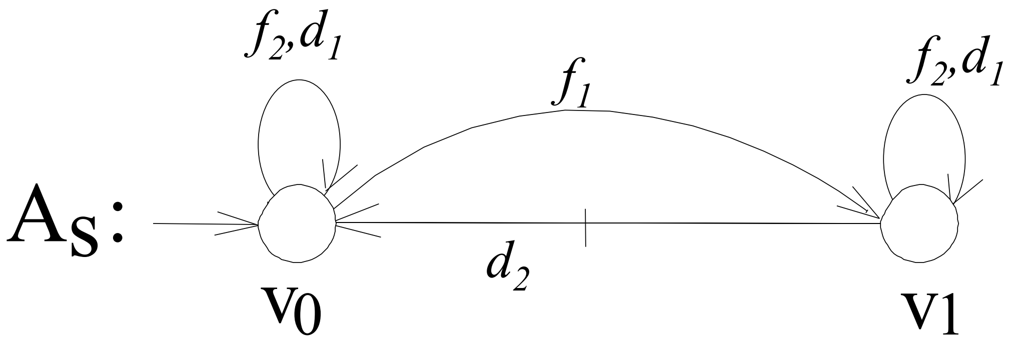
$\boldsymbol{P}$:



Spécifications



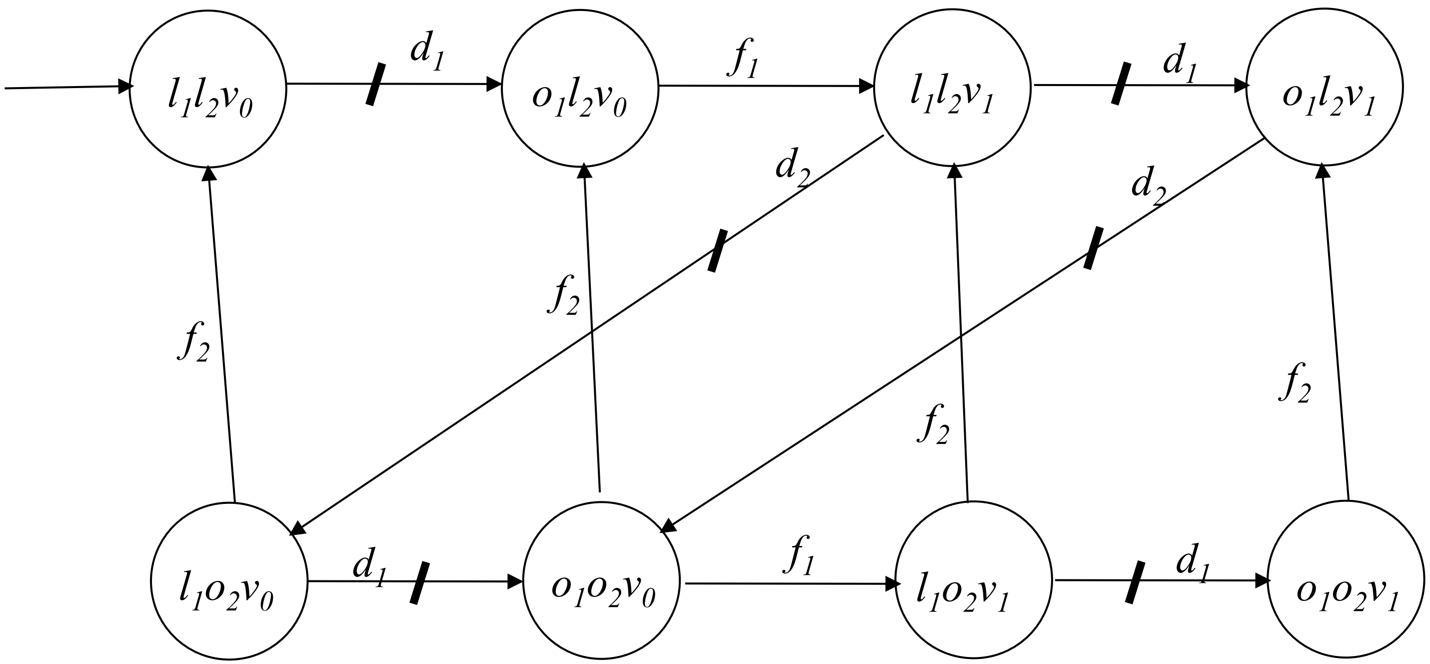
Système manufacturier sous la contrainte de stock limité à 1 et de gamme M_1 suivie de M_2.



Modèle de la spécification
conçu indépendamment du procédé

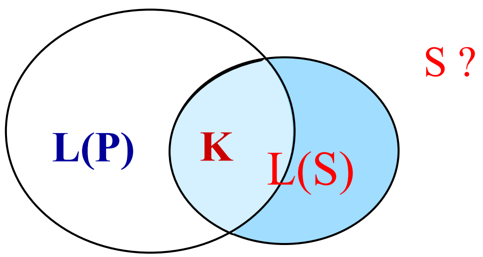
Fonctionnement en boucle fermée désiré

$$M = P \parallel_S A_S$$



Concept de contrôlabilité

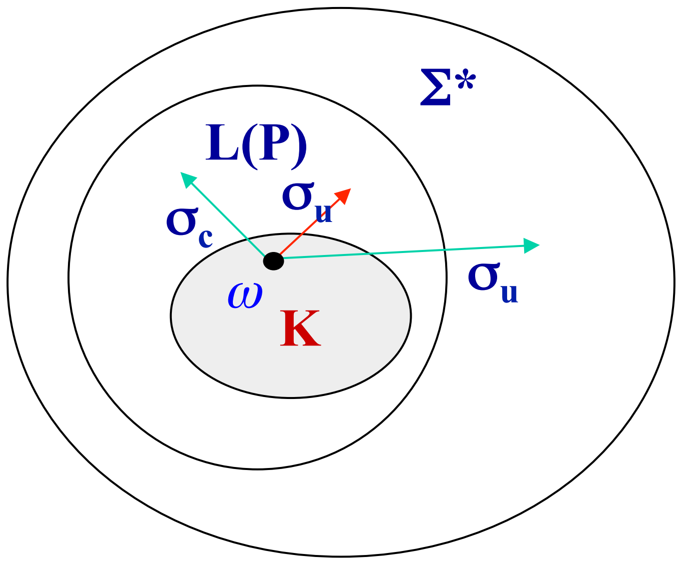
Problème : Etant donné un SED *P* (fonctionnement *L(P)*),
A quelles conditions existe-t-il un contrôleur *C* tel que le système commandé ait un comportement en boucle fermée *L(C/P) = K* pour *K* fixé ?



Concept de contrôlabilité

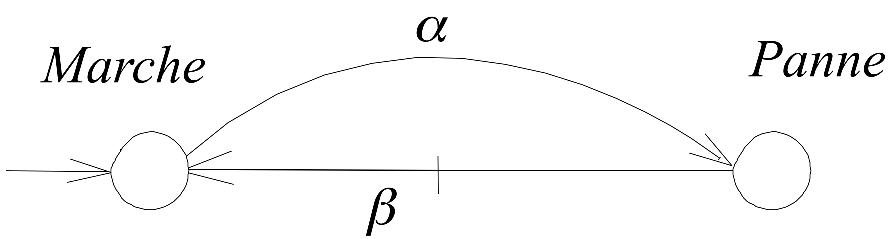
Définition : Le langage $K \subset \Sigma^*$ est dit contrôlable par rapport à un langage $L(P)$ si :

$$K.\Sigma_u \cap L(P) \subset K$$



Concept de contrôlabilité : Exemple

Procédé : Machine pouvant tomber en panne



$L(P) = (\alpha\beta^*)(\varepsilon + \alpha) =$
$\varepsilon + \alpha + \alpha\beta + \alpha\beta\alpha +$
$\alpha\beta\alpha\beta + \ldots$

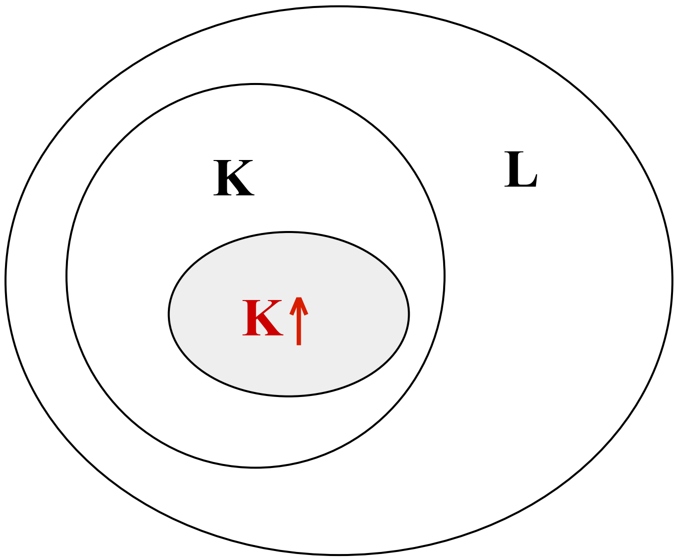
Soit $K = \varepsilon + \alpha + \alpha\beta$

K est-il contrôlable par rapport à $L(P)$? NON

Résultats fondamentaux

Proposition 1 : Pour tout $K \subset L(P)$ clos préfixiellement , Il existe un contrôleur C tel que $L(C/P) = K$ *si et seulement si* K est et contrôlable.

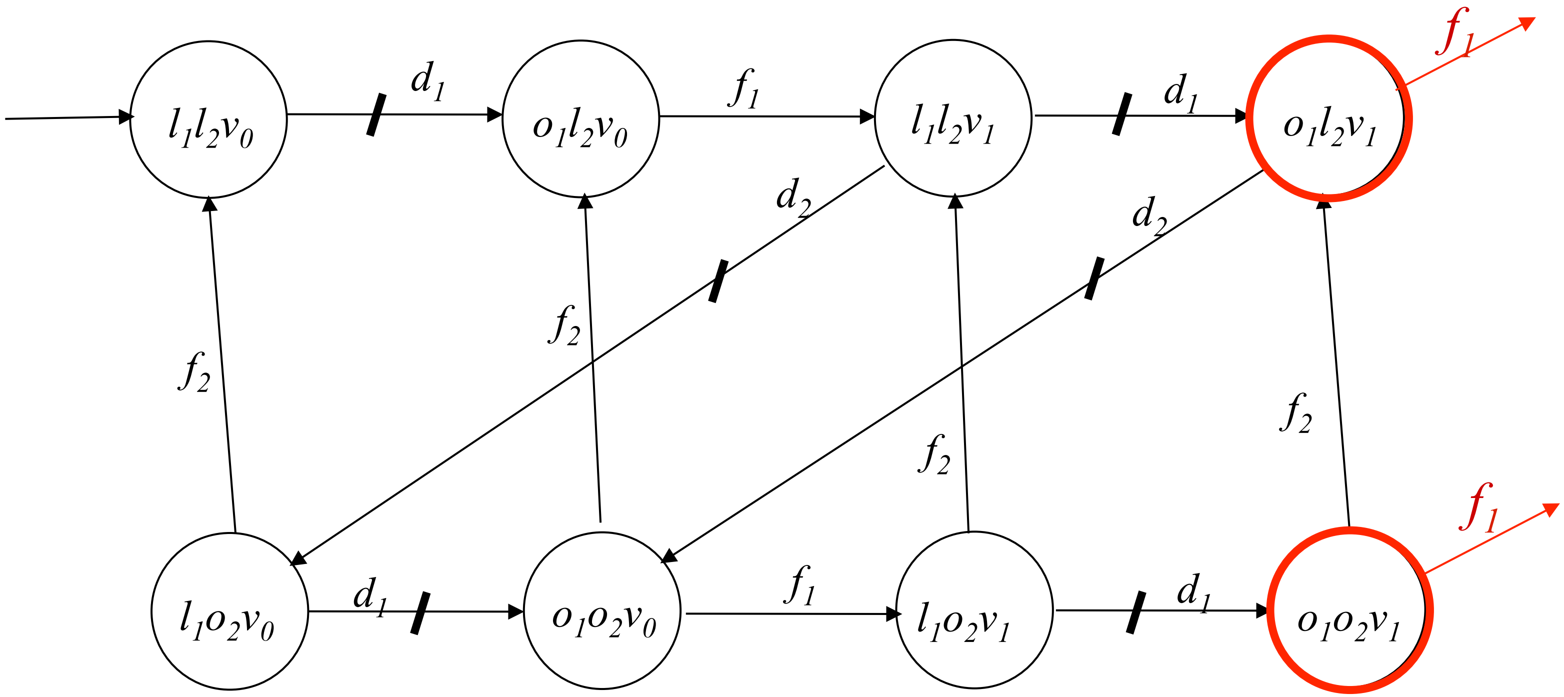
Proposition 2 : Si $K \subset L(P)$ n' est pas contrôlable, Il existe un sous-langage de K contrôlable maximal $K\uparrow$.



Machine

Soit $K\uparrow = \varepsilon + \alpha$

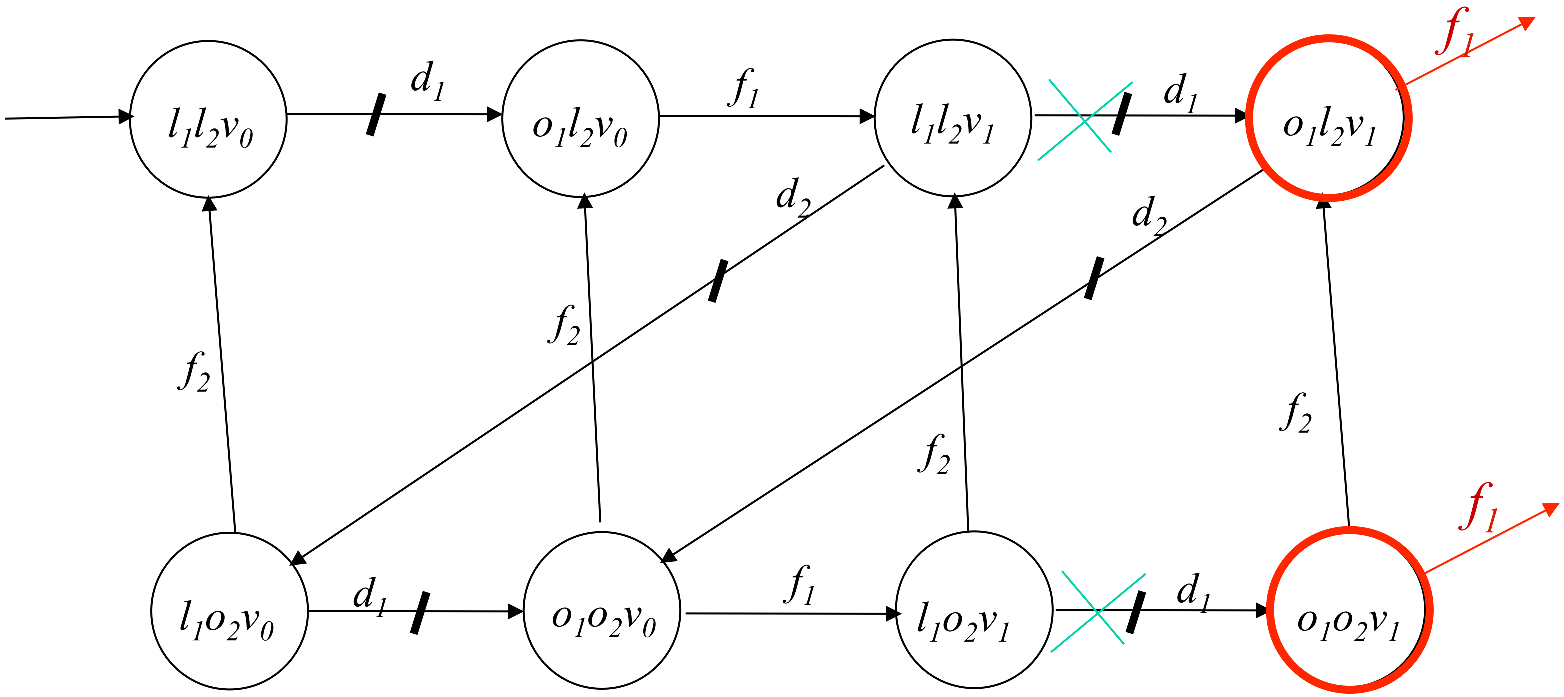
Exemple de synthèse



Le langage généré par cette stratégie n'est pas contrôlable par rapport à $L(P)$:
Car soit $\omega = d_1f_1d_1,\ \omega.f_1 \in L(p)$ *mais* $w.f_1 \notin L(A_S)$

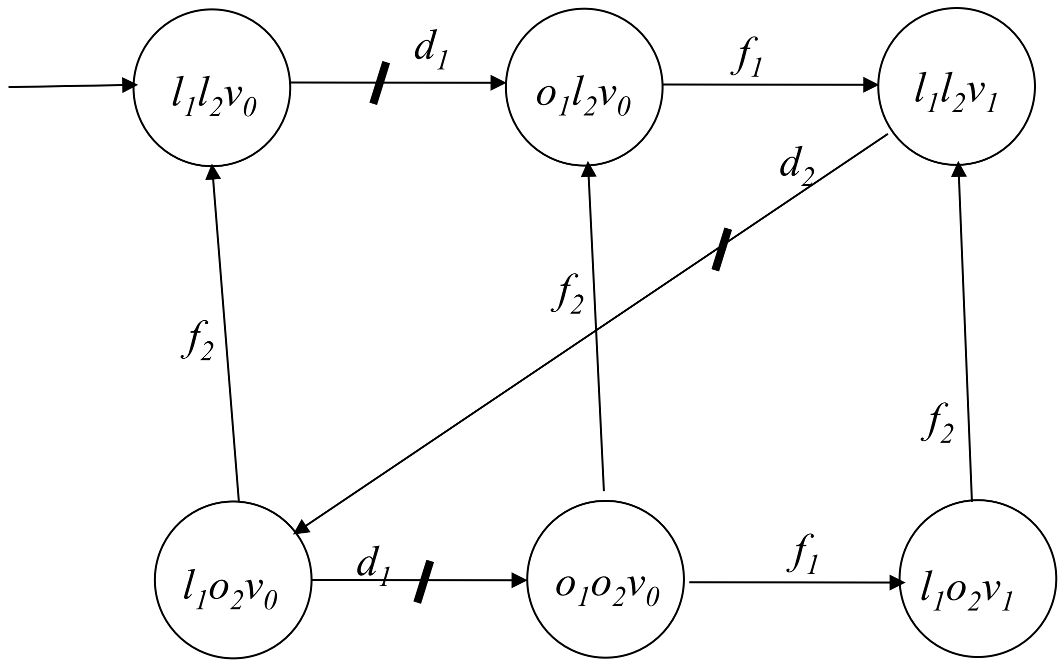
Cette commande en boucle fermée n'est pas possible.

Le contrôleur



On supprime les états qui ne sont pas atteignables et les arcs correspondants.

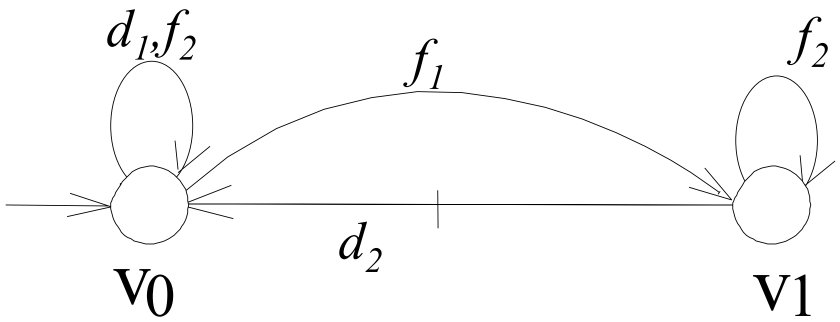
Le contrôleur



Le langage généré par cette stratégie est contrôlable par rapport à $L(P)$

Cette commande en boucle fermée est implémentable

Le contrôleur : une solution plus simple



Stratégie de production *avant service*

Conclusion

→ Méthode formelle de synthèse de contrôleurs :

- Garantit à priori le respect des spécifications tout en laissant le fonctionnement bouclé le plus libre possible

  → ***Contrôleur maximal permissif***

- Permet d'éviter toute simulation

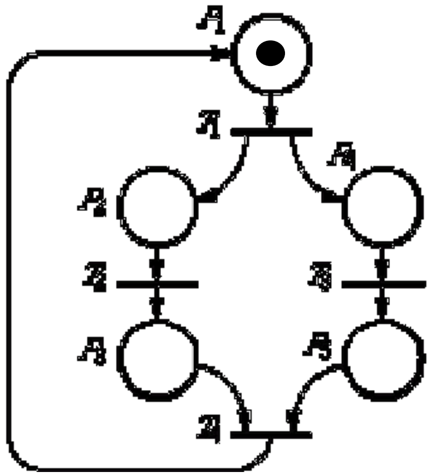
- Inconvénient majeur : explosion du nombre d'états

Synthèse de contrôleur basée

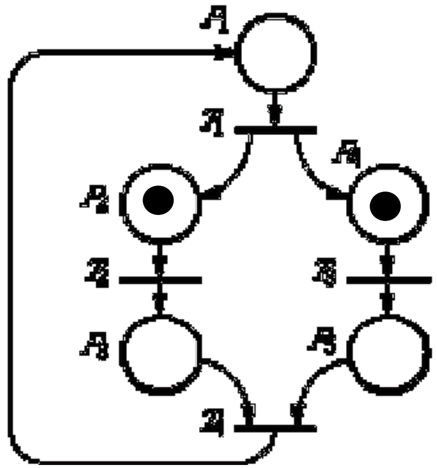
Sur les réseaux de Petri

K. Yamalidou, J. O. Moody, M. Lemmon and P. Antsaklis,
"*Feedback Control of Petri Nets Based on Place Invariants*",
Automatica, Vol. 32, No. 1, pp. 15-28, 1996.

Le réseau de Petri (RdP)

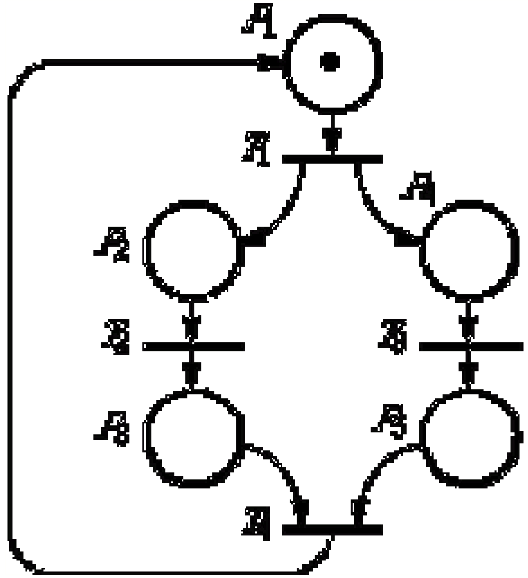


Franchissement de T_1



Matrice d'incidence d'un RdP

$T_1 \quad T_2 \quad T_3 \quad T_4$



$$
\mathbf{W} = \begin{array}{c c}
\begin{array}{cccc} T_1 & T_2 & T_3 & T_4 \end{array} & \\
\begin{bmatrix}
-1 & 0 & 0 & +1 \\
+1 & -1 & 0 & 0 \\
0 & +1 & 0 & -1 \\
+1 & 0 & -1 & 0 \\
0 & 0 & +1 & -1
\end{bmatrix} & \begin{array}{c} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{array}
\end{array}
$$

Commande basée sur les invariants de marquage

Une méthode pour construire un contrôleur en boucle fermée d'un SED modélisé par RdP.

- **Le concepteur désire imposer un ensemble de contraintes linéaires sur le marquage du RdP.**

C'est la stratégie du contrôle

- **Le calcul est basé sur le concept d'invariants de marquage.**

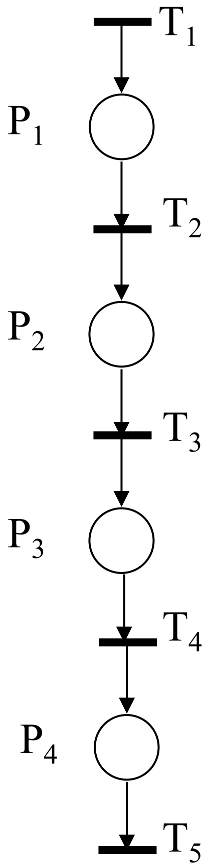
Approche

- **Le système à commander est un RdP, W_p Matrice d'incidence**

- **Le rôle du Contrôleur est de forcer le procédé à respecter certaines contraintes imposées à son comportement**

Contrôleur : RdP, W_c Matrice d'incidence

Exemple



Stratégie de contrôle :

$M(P_1) + M(P_2) \leq 1$ *et* $M(P_2) + M(P_3) \leq 1.$

Résultat de base

Modèle du Procédé W_p

Contrôleur W_c ??

$$W = \begin{bmatrix} W_p \\ W_c \end{bmatrix}$$

Matrice d'incidence du système commandé

Les contraintes sont données par : $Lm_p \leq b$

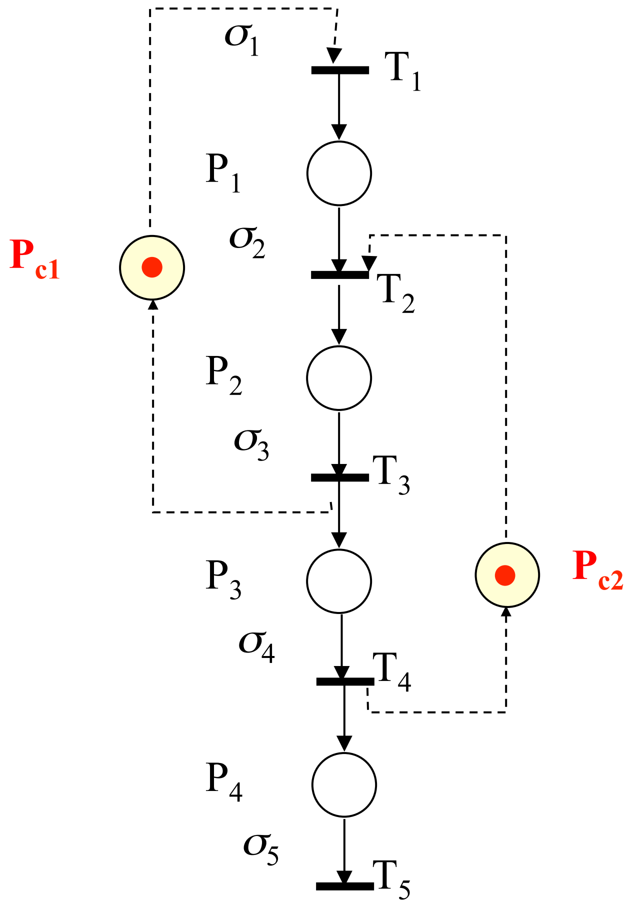
Idée : Créer l'invariant

$Lm_p + m_c = b$

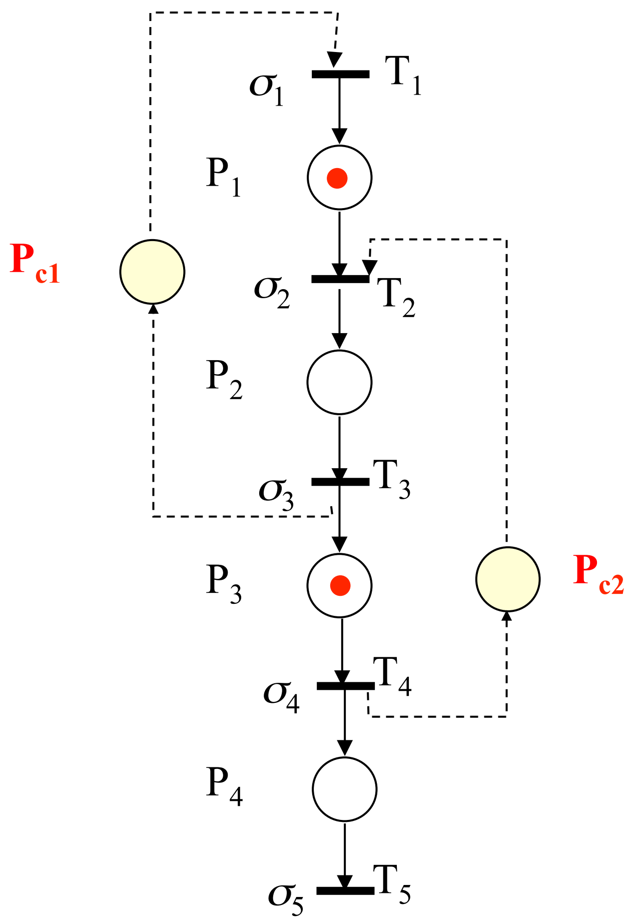
Le RdP de contrôleur est donnée par :

$$W_c = -LW_p$$

Le contrôleur



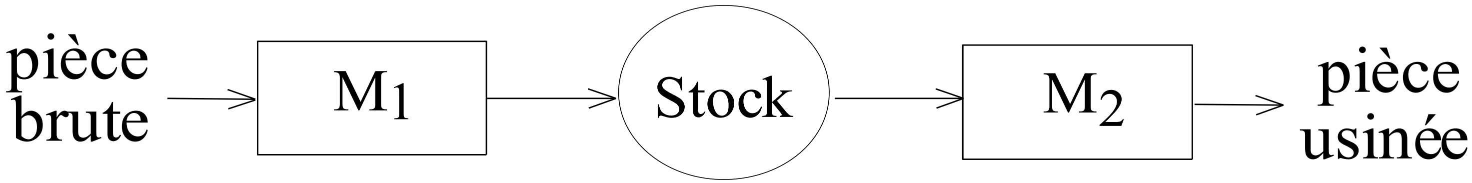
Problème de la contrôlabilité



Que se passe-t-il si par exemple, σ_2 n'est pas contrôlable ?

Solution : Il faut remonter les chemins

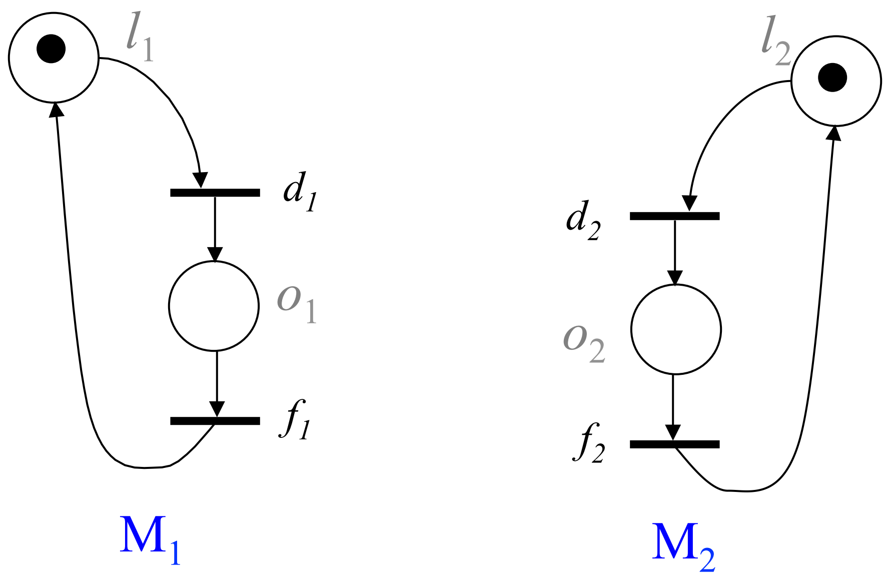
Système manufacturier



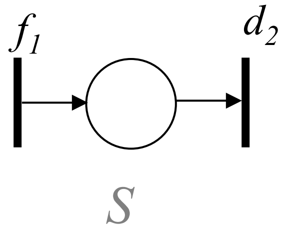
Système manufacturier sous la contrainte de stock limité à 1 et de gamme M_1 suivie de M_2.

Modèles RdP

Procédé



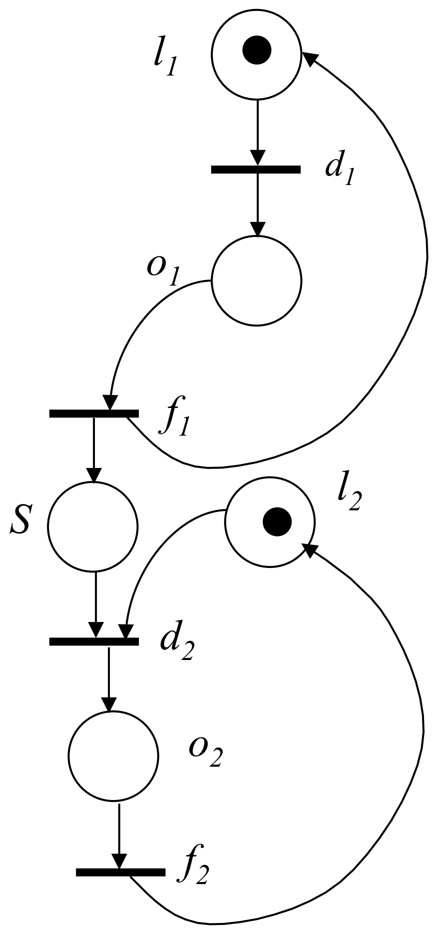
Spécification



M(S) ≤ 1

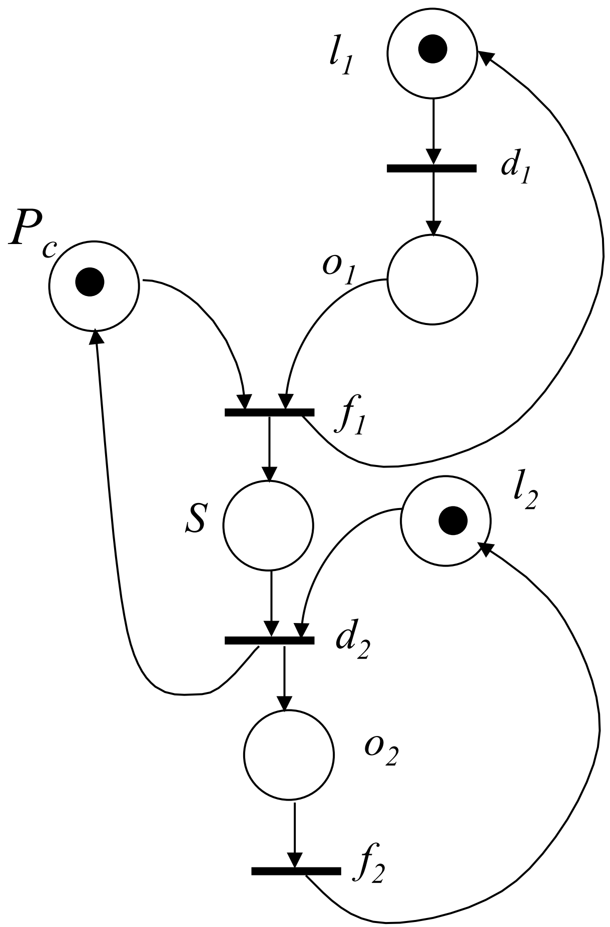
- $\Sigma_c = \{d_1, d_2\}$ Evénements contrôlables
- $\Sigma_u = \{f_1, f_2\}$ Evénements incontrôlables

Fonctionnement en boucle fermée désiré



avec ***M(S)*** **≤ 1**

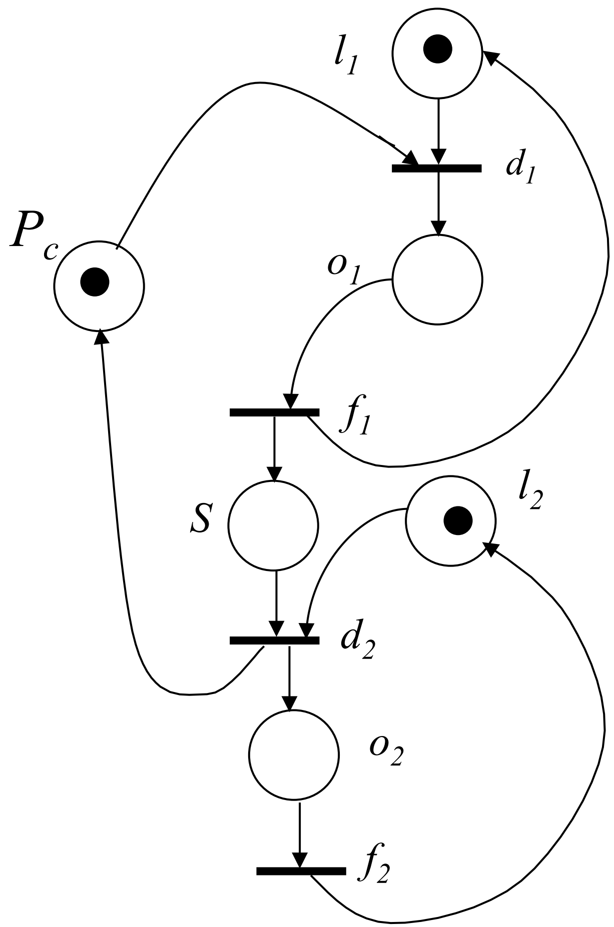
Le résultat de la synthèse



$M(S) \leq 1$
est bien réalisée mais
f_1 est incontrôlable

Ce n'est pas un contrôleur !

Le contrôleur



$M(S) \leq 1$
est bien réalisée

Mais solution manuelle !

Conclusion

- C'est une technique élégante et simple

- Le contrôleur a une taille réduite

- Mais dans le cas général, elle ne donne pas la solution optimale (maximale permissive)

  Quand la solution obtenue n'est pas contrôlable, on ne sait pas comment trouver le contrôleur.

- C'est un problème actuellement ouvert

  Une piste : combiner les deux approches.