

# A real life case study of an integrated problem with production and transportation constraints.

Étude d'un cas réel de problème intégré avec des contraintes d'ordonnancement et de transport.

Manuel Iori<sup>1</sup>, [Marina Vinot](#)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, 42122 Reggio Emilia, Italy.

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne, Complexe Scientifique Des Cézeaux, CNRS, LIMOS UMR 6158, 63178 Aubière.



18-21 Février 2019, Le Havre, France



UNIMORE  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA



# Les problèmes intégrés et l'industrie

## Introduction

- Flow-Shop / Job-Shop with Transport

- Succession d'opérations à réaliser sur des machines
- Robots pour déplacer les produits

→ Les opérations de transport sont déduites du problème d'ordonnancement avec la notion de gamme

- Flexible Manufacturing System (FMS)

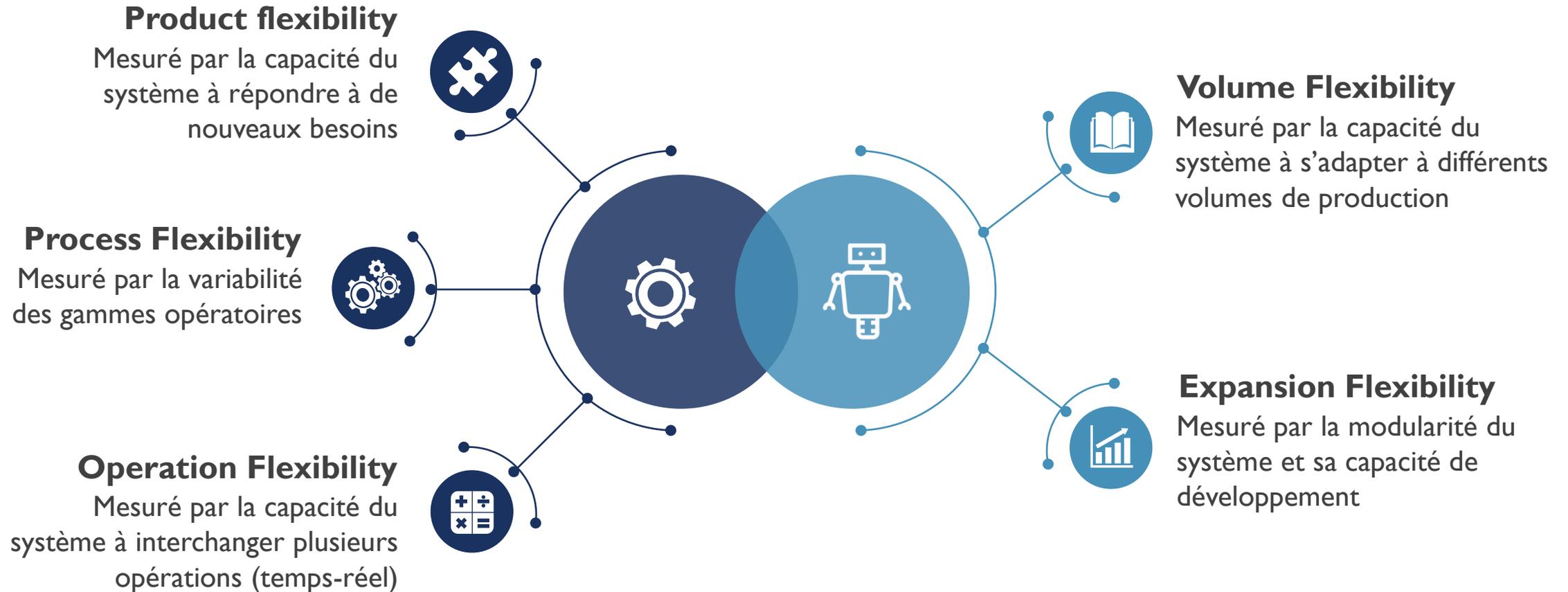
- Systèmes intégrés
- Machines outils
- Stations (opérations manuelles, inspections, etc.)
- Système de manutention automatique (déplacement des produits)

→ Les opérations de transports permettent au système de s'adapter. Il n'y a pas de notion de gamme

→ Flexibilité

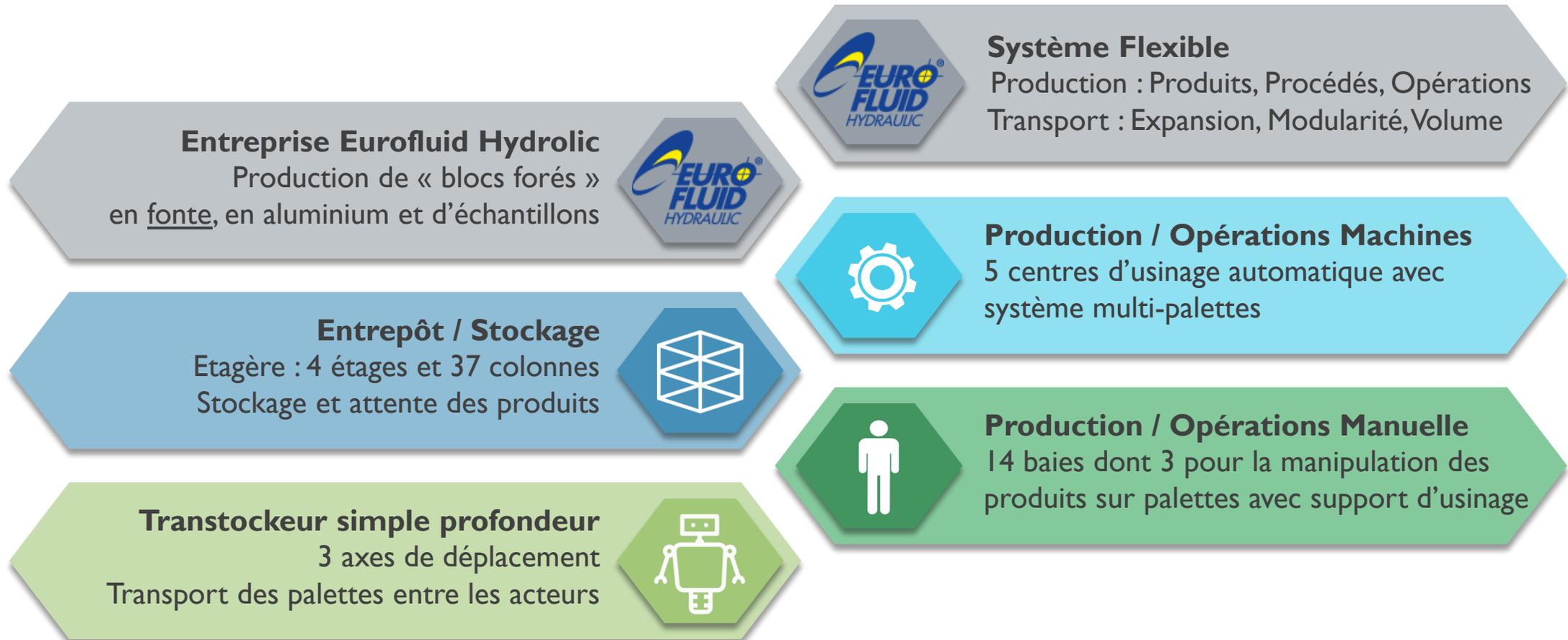
# Flexible Manufacturing System (FMS)

L'expression de la flexibilité d'un système de production (Browne et al. 1984)



# Cas d'étude d'un système de production flexible

## Introduction du problème



# Cas d'étude d'un système de production flexible

## Illustration de l'atelier



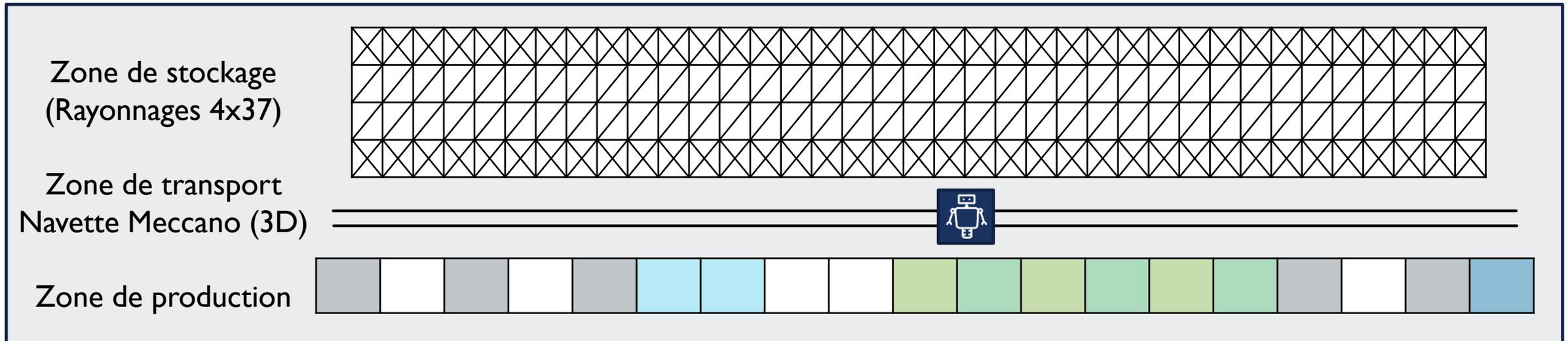
Postes pour les opérations manuelles  
(palette + support d'usinage)

Postes pour les opérations manuelles  
(palette de stockage)



# Cas d'étude d'un système de production flexible

## Représentation de l'atelier de production



 Zone de stockage des palettes + supports d'usinage       Zone de stockage des palettes de stockage

 Machines CNC

 Entrées (Matières premières)

 Sorties (Produits Finis)

 Postes pour les opérations manuelles (palette + support d'usinage)

 Postes pour les opérations manuelles (palette de stockage)

 Postes de surveillance

# Cas d'étude d'un système de production flexible

## Fonctionnement du système

Ensemble de requête  $P$  pour la fabrication de produit  $p = 1, \dots, |P|$

### ■ Client

- Spécificités du produit  $p$
- Quantité de pièces :  $q_p$
- Date d'échéance :  $d_p$

### ■ Production

- Machine affectée au produit  $p$  :  $m_p$
- Taille des lots associés au produit  $p$  :  $\delta_p$
- Nombre de phase opératoire associées au produit  $p$  :  $\varphi_p$

### ■ Objectif

- Améliorer les performances du système
- Minimiser les temps d'attente des opérateurs et des machines

# Cas d'étude d'un système de production flexible

## Fonctionnement du système

(S) Zone de stockage

(M) Machine

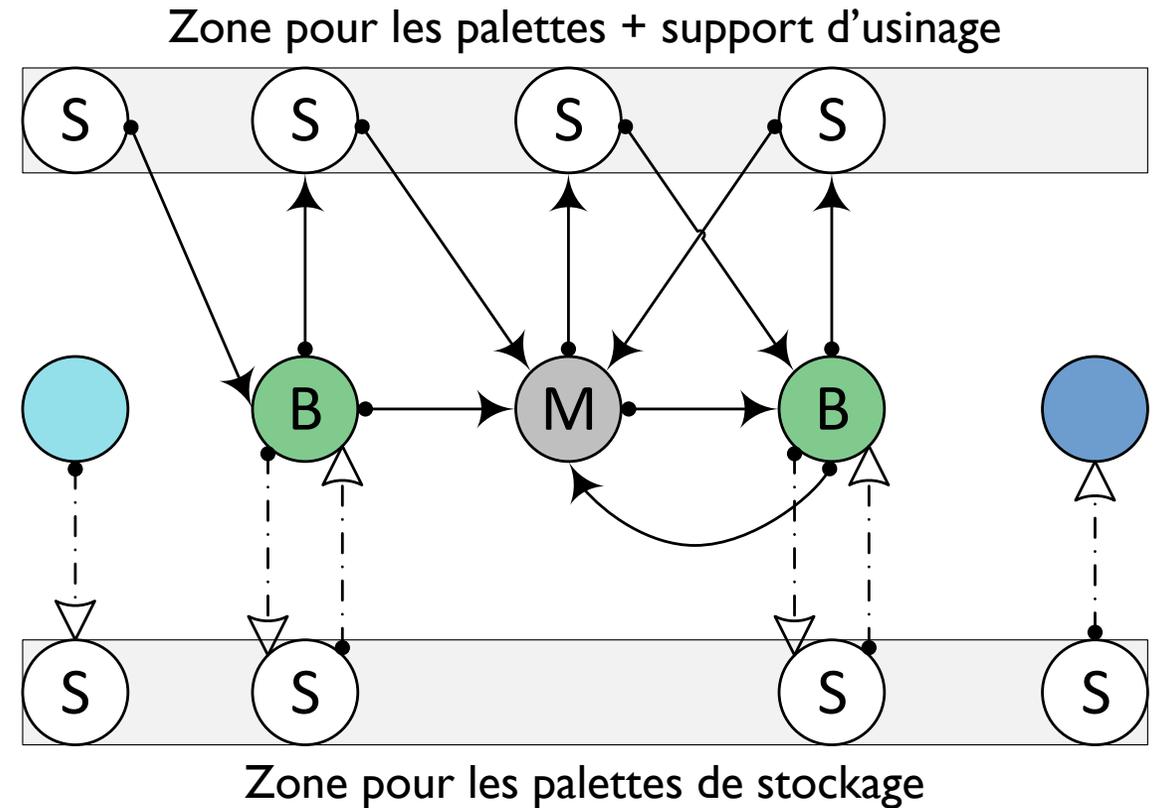
(B) Baie

(●) Entrée des matières premières

(●) Sortie des produits finis

→ Déplacement du robot avec palette + support d'usinage

→ Déplacement du robot avec palette de stockage

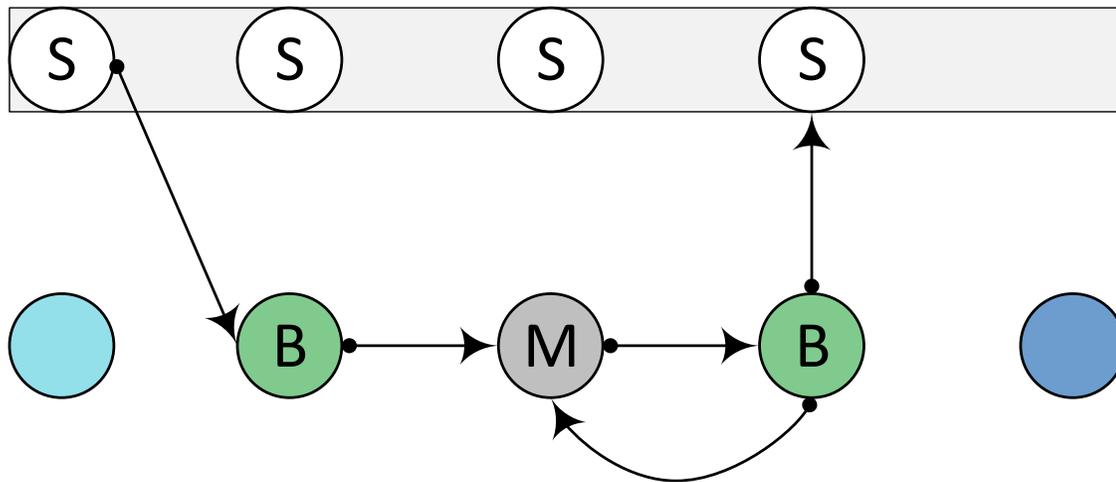


# Cas d'étude d'un système de production flexible

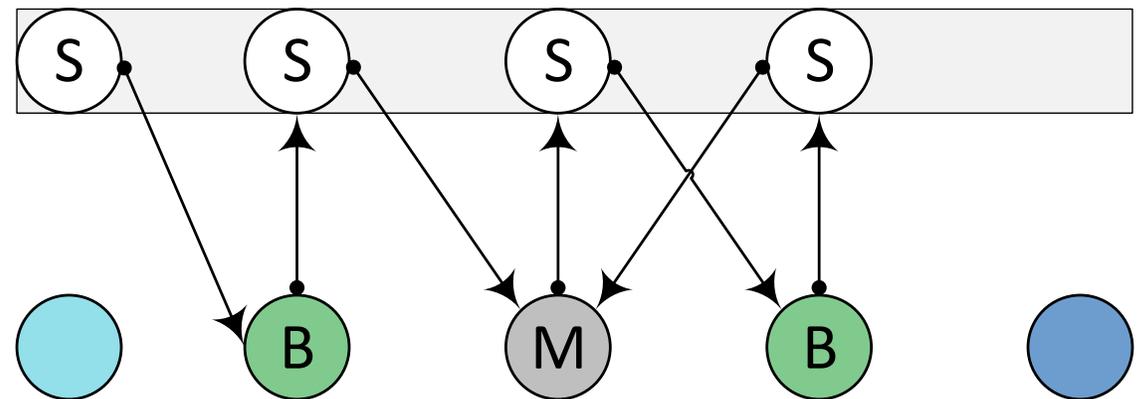
## Modélisations du problème

Modèles focalisés sur les déplacements du robot avec les palettes + support d'usinage

■ Modèle 1 : Transport direct



■ Modèle 2 : Retour au stock obligatoire



# Cas d'étude d'un système de production flexible

## Modélisations du problème

Formulation linéaire des modèles, modélisation conjonctive/disjonctive

- Variables
  - Variables continues : dates des opérations (machines, baies, transport)
  - Variables binaires : affectation des baies, disjonctions des opérations (machines, baies, transport)
- Contraintes conjonctives
  - Entre les opérations de production (machines et baies), de stockage et de transport pour le même produit
  - Spécificité du problème : affectation des baies
- Contraintes disjonctives
  - Entre les opérations sur les mêmes machines
  - Entre les opérations affectées aux mêmes baies
  - Entre toutes les opérations de transport

# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits

Illustration des contraintes et variables sur un exemple

## ■ 3 produits

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow P1 : q_1 = 4 ; \delta_1 = 2 ; \varphi_1 = 1 ; m_1 = 1 \\ \rightarrow P2 : q_2 = 2 ; \delta_2 = 2 ; \varphi_2 = 2 ; m_2 = 2 \\ \rightarrow P3 : q_3 = 3 ; \delta_3 = 2 ; \varphi_3 = 1 ; m_p = 1 \end{array} \right\} N_p^{tot} \in \llbracket 7, 11 \rrbracket$$

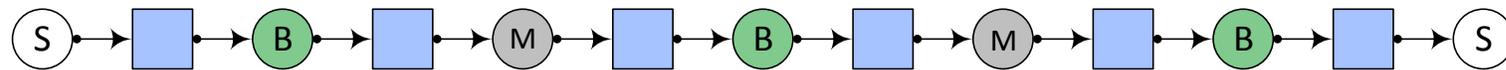
$$N_p^{tot} = N_p^m + N_p^b + N_p^s$$

$$N_p^m = \left( \frac{q_p}{\delta_p} + \varphi_p - 1 \right);$$

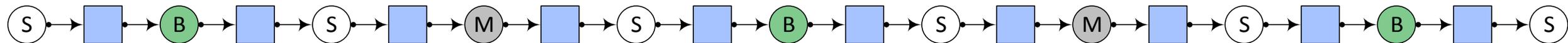
$$N_p^b = N_p^m + 1;$$

$$N_p^s \in \llbracket 2, N_p^m + N_p^b + 1 \rrbracket$$

## ■ Modèle 1

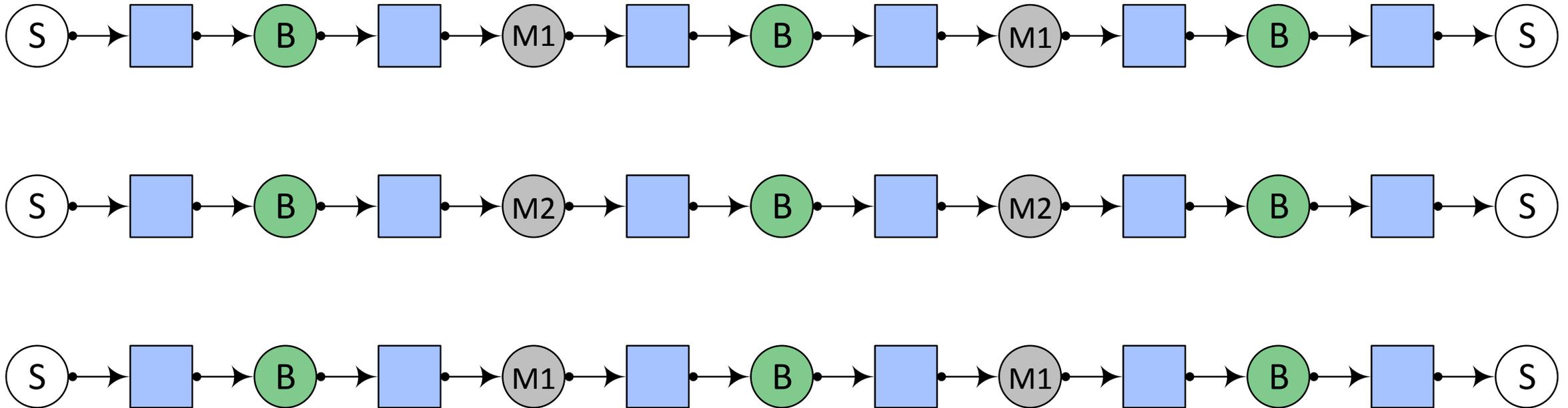


## ■ Modèle 2



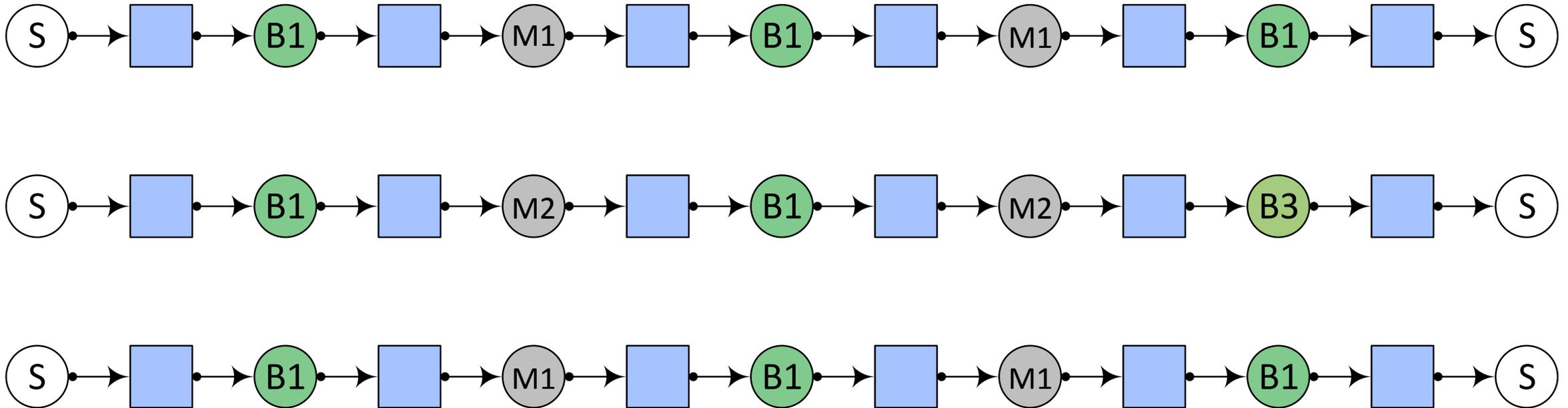
# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits



# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits

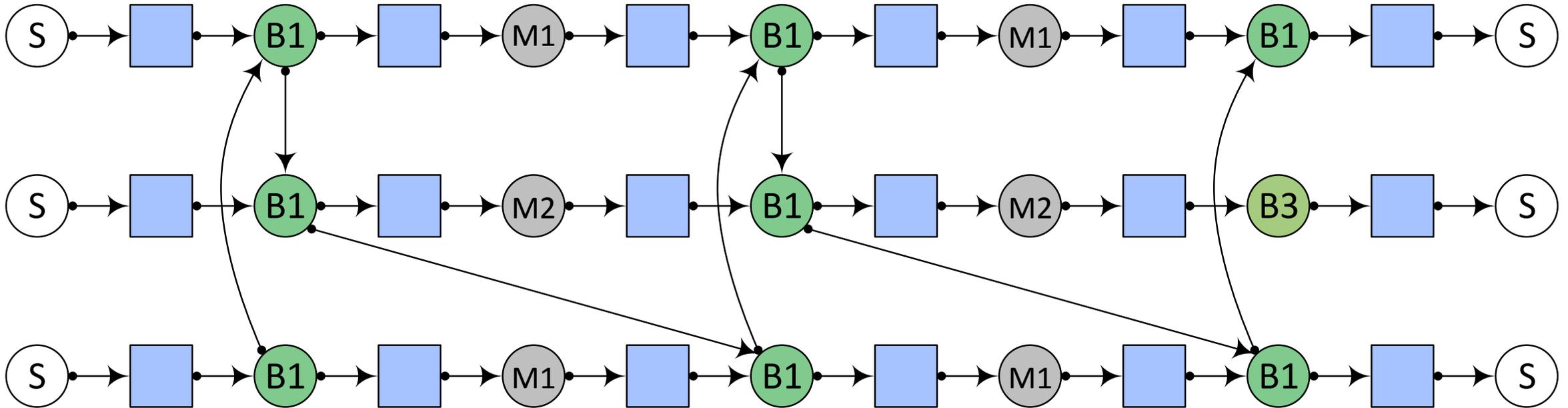


Variables binaires : Affectation des baies  $vb(i, o, b)$

$$\sum_{b \in B} vb(i, o, b) = 1 \quad \forall i \in P, \forall o \in N(i), b(i, o) = 1$$

# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits

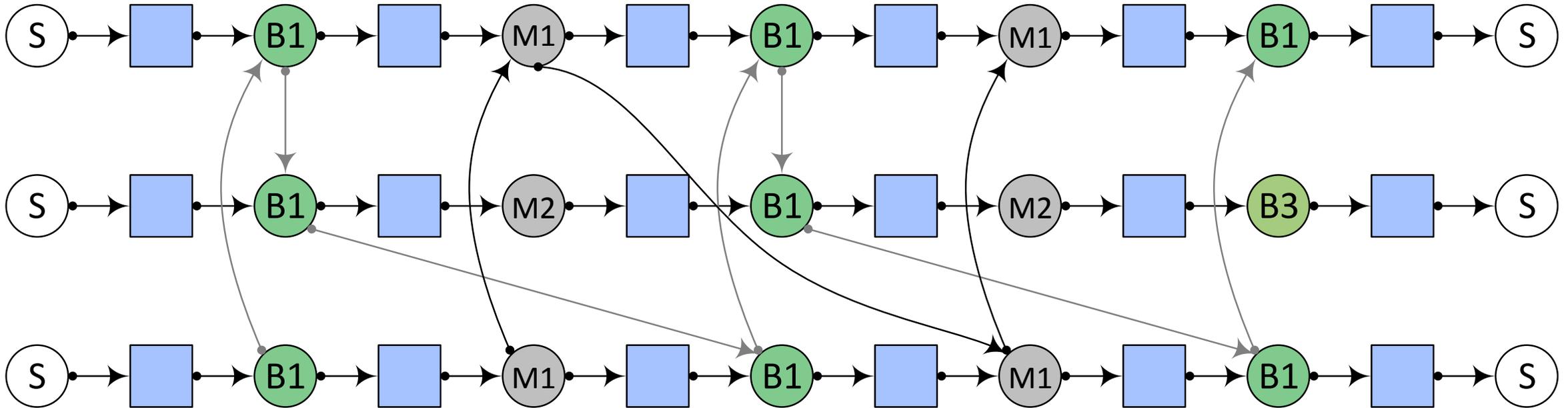


Variables binaires : Disjonctions sur les baies  $vbb(i, o1, j, o2)$

$$S(j, o2) \geq S(i, o1) + db(b) - (3 - vb(i, o1, b) - vb(j, o2, b) - vbb(i, o1, j, o2)) \times M$$

# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits

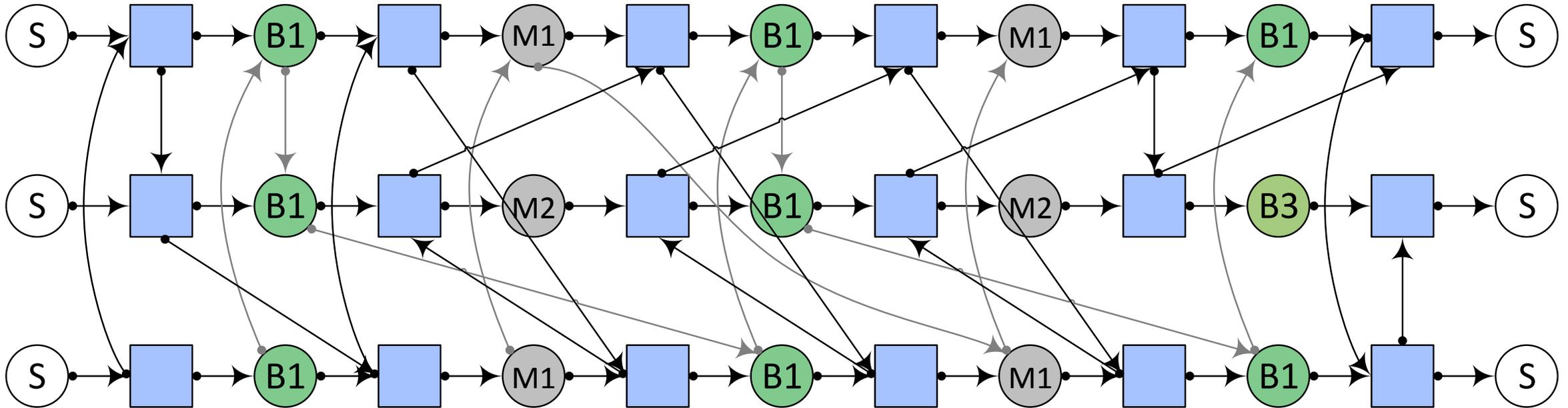


Variables binaires : Disjonctions sur les machines  $v_{bm}(i, o1, j, o2)$

$$S(j, o2) \geq S(i, o1) + dm(b) - (1 - v_{bm}(i, o1, j, o2)) \times M$$

# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits



Variables binaires : Disjonctions sur les opérations de transport  $vbt(i, o1, j, o2)$

# Cas d'étude d'un système de production flexible

Exemple de solution pour 3 produits

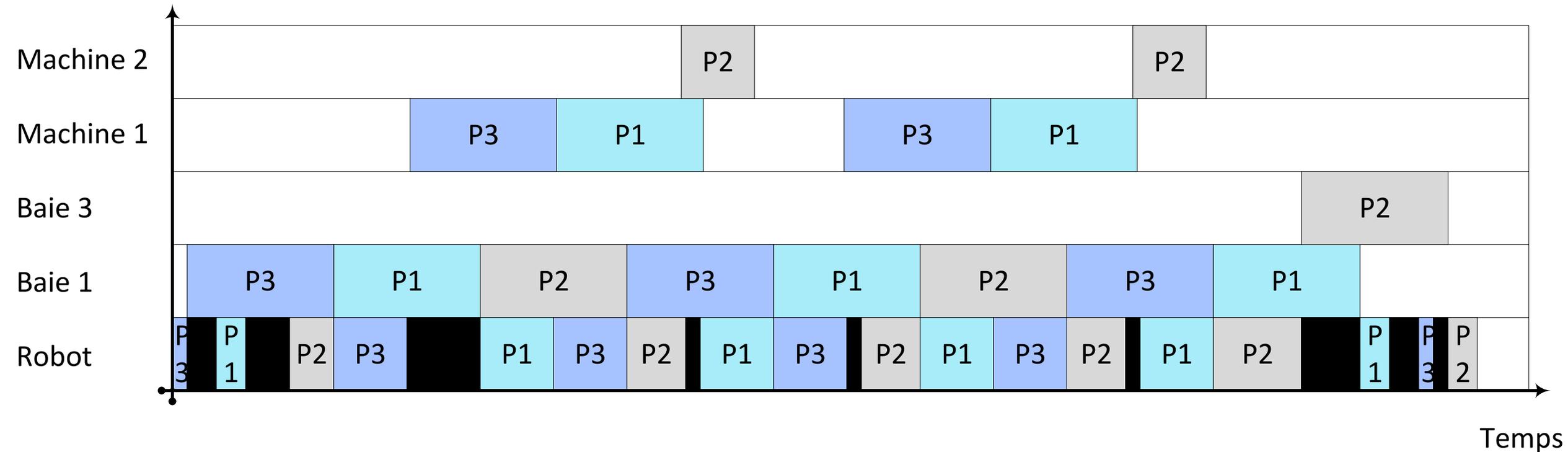


Diagramme de Gantt de la solution pour 3 produits

# Conclusion

Problème complexe et réel (Système de production flexible)

- Deux sous problèmes simplifiés : formulations linéaires
  - Modèle 1 (Var : 227 ; Cst : 2317 ; Opt = 93)
  - Modèle 2 (Var : 431 ; Cst : 3469 ; Opt = 125)
- Valider un modèle
  - Attente des données numériques
  - Discussion de la gestion des palettes de stockage
- Perspectives
  - Méthode de résolution heuristique
  - Méthode dynamique



Merci