



Validation d'un contrôleur par observation de son comportement dans un système bouclé

Anaïs Guignard
LURPA, ENS Cachan

Plan de la présentation

Introduction : Objectif et méthode

Partie I : Plate-forme expérimentale

- 1) Introduction
- 2) Description de la plate-forme
- 3) Acquisition des données

Partie II : Reconnaissance d'un langage observé par un modèle de spécification

- 1) Modèle de la spécification
- 2) Influence de l'algorithme d'implantation
- 3) Exemple

Perspectives

Objectif : Validation d'un contrôleur

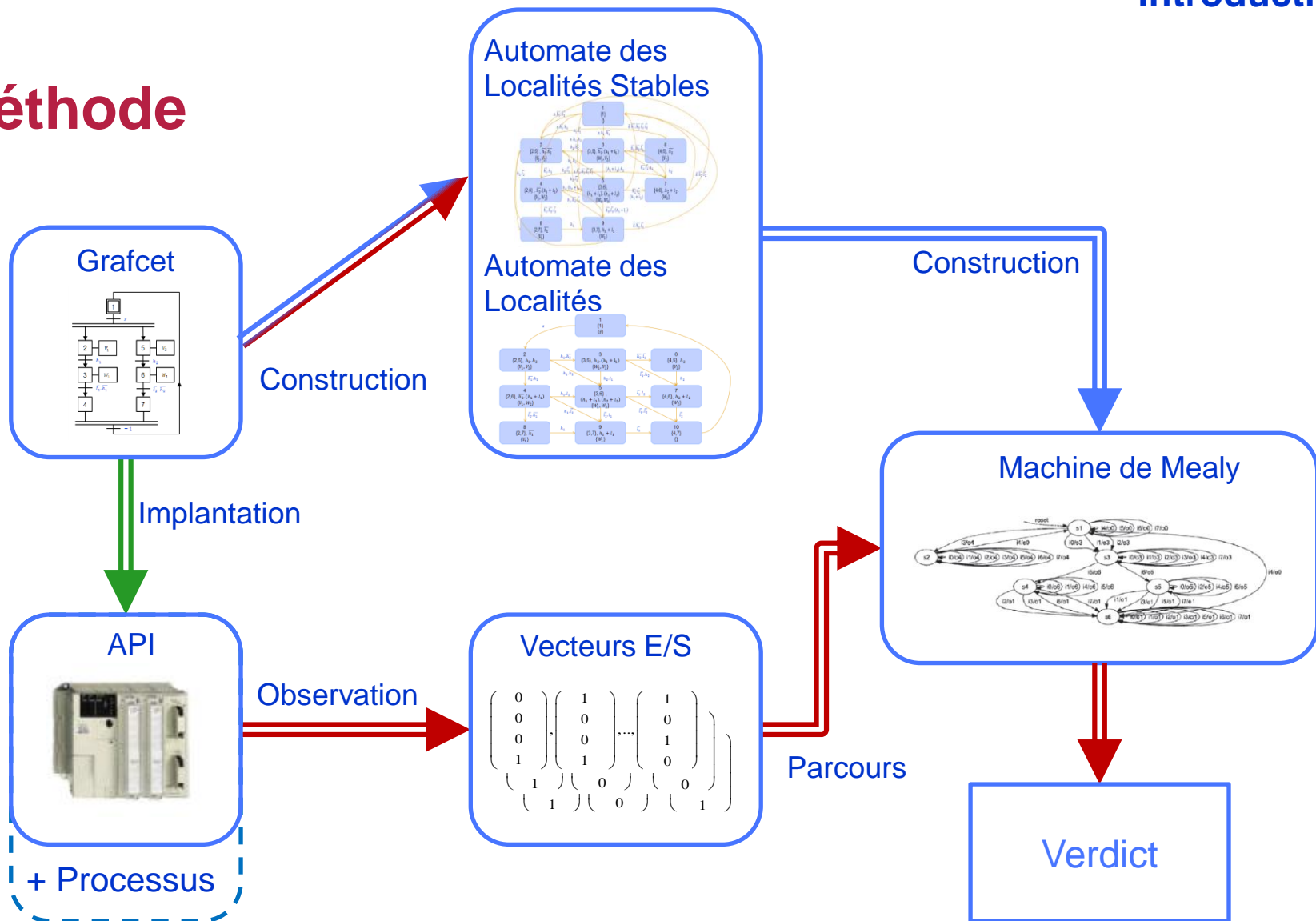
Est-ce que l'implantation se comporte comme la spécification ?

Idée :

Validation de l'implantation exécutée par un Automate Programmable Industriel dans un système bouclé avec partie opérative réelle ou simulée.

- **Par des méthodes d'identification.**
 - Observation du système bouclé.
 - Construction du modèle identifié correspondant.
 - Comparaison avec la spécification.
- **Par reconnaissance du langage observé par la spécification.**
 - Formalisation du modèle de la spécification.
 - Observation du système bouclé.
 - Parcours du modèle de la spécification .

Méthode

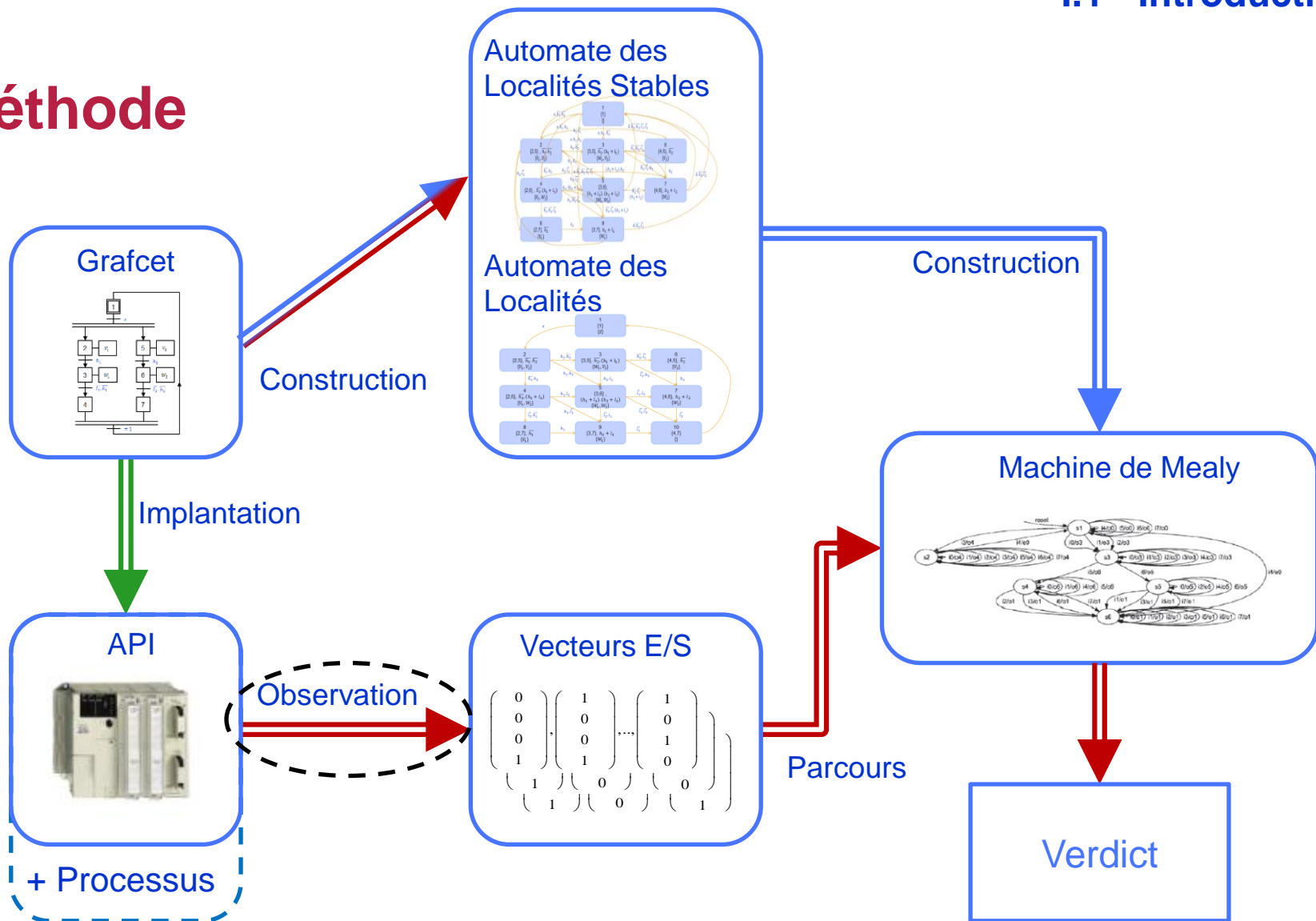


Partie I

Plate-forme expérimentale

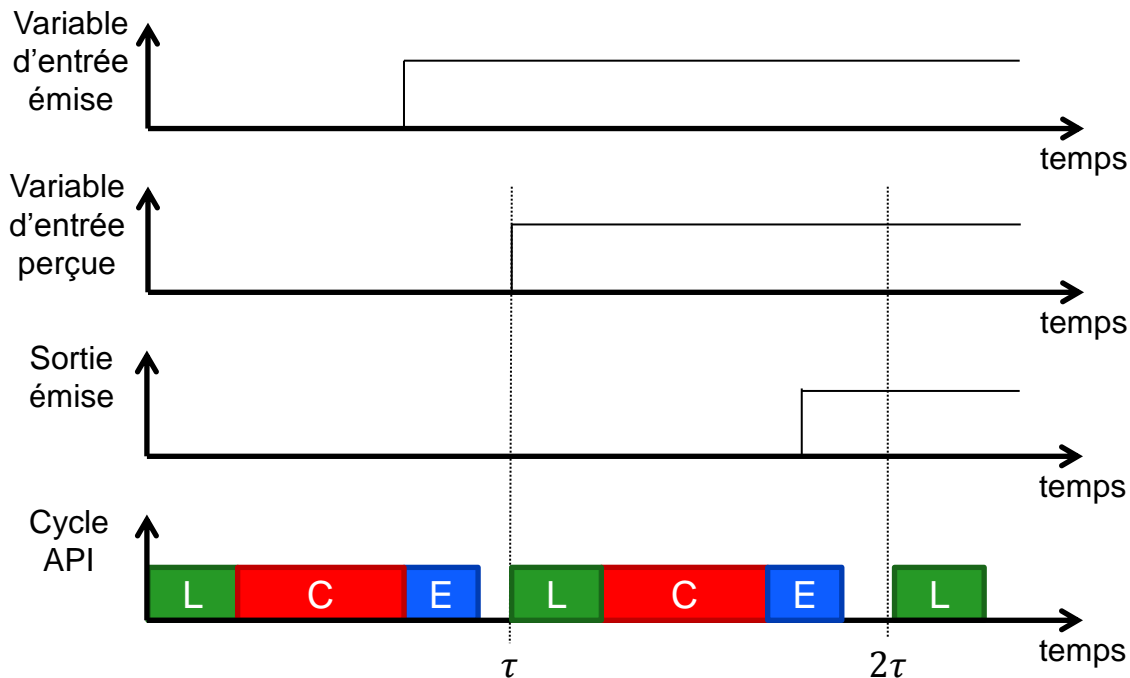
- 1) Introduction
- 2) Description de la plate-forme
- 3) Acquisition des données

Méthode



Généralités sur les Automates Programmables Industriels (API)

À scrutation cyclique des entrées :



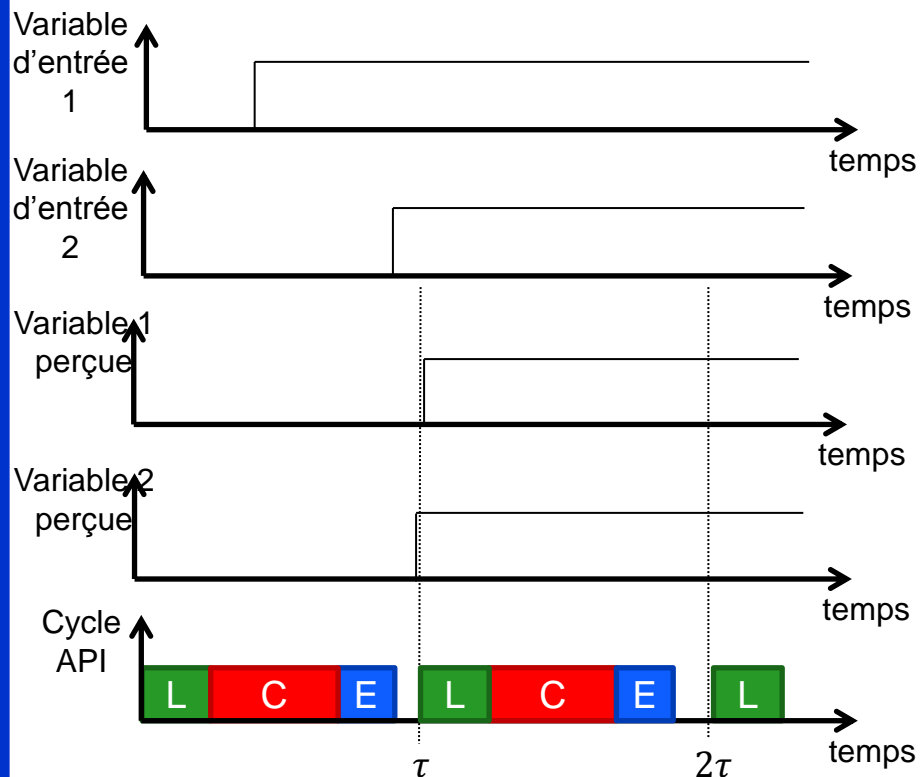
τ = Temps de cycle de l'API.

Le délai entre un événement d'entrée et l'évènement de sortie en réponse peut varier entre t_c le temps de calcul des sorties et 2τ .

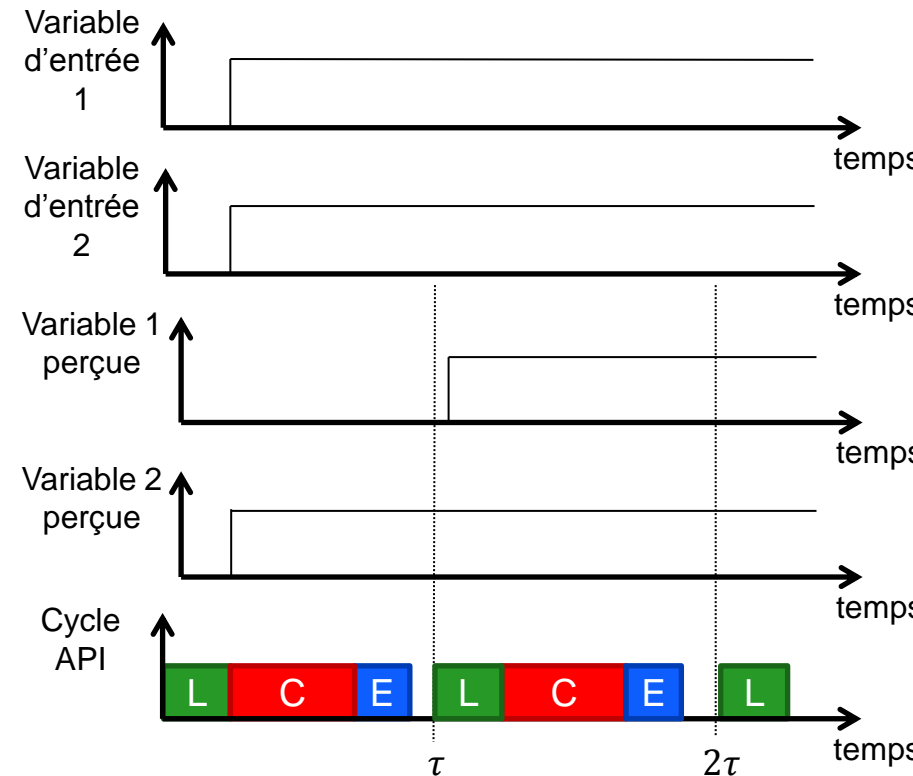
L : Lecture
C : Calcul
E : Emission

Généralités sur les Automates Programmables Industriels (API)

Deux évènements asynchrones peuvent être perçus comme synchrones.



Deux évènements synchrones peuvent être perçus comme asynchrones.



Partie I

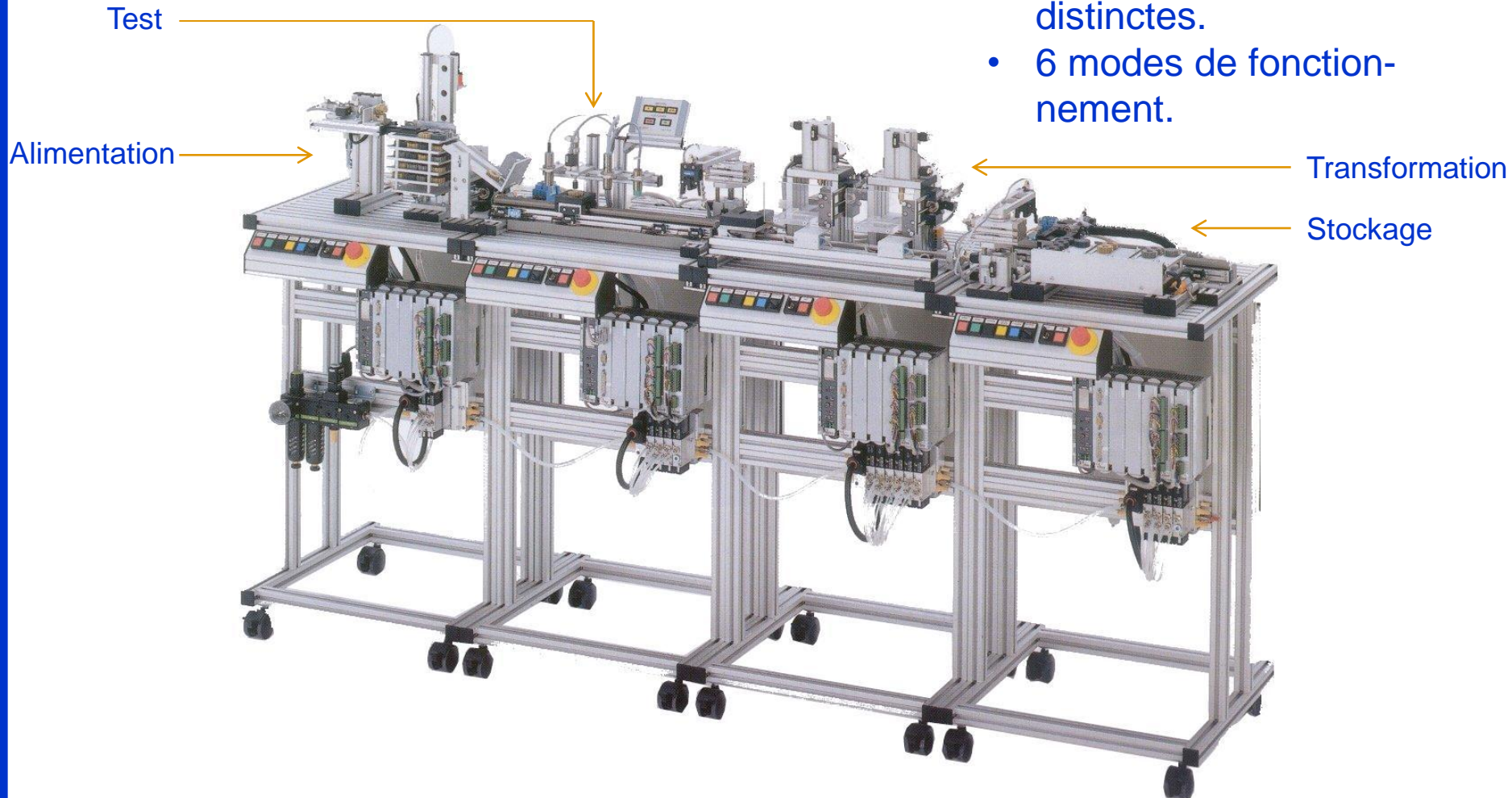
Plate-forme expérimentale

- 1) Introduction
- 2) Description de la plate-forme**
- 3) Acquisition des données

Plate-forme Bosch

I.2 - Description de la plate-forme

- Processus industriel.
- 141 entrées-sorties.
- Composé de 4 stations distinctes.
- 6 modes de fonctionnement.



Produit traité

De une à six palettes sur le monte-charge.

Trois type de matériaux différents :

- Acier
- PVC
- Bronze



Présence ou absence de bague dans les roues.



Modes de fonctionnement

6 Modes de fonctionnement :

- **3 Modes de traitement des roues**

- Ajout : Insérer des bagues dans toutes les roues vides.
- Retrait : Retirer les bagues de toutes les roues qui en sont pourvues.
- Avancé :
 - Insérer des bagues dans les roues vides en acier.
 - Retirer les bagues des roues en PVC.
 - Retirer si nécessaire puis remettre de nouvelles bagues dans les roues en cuivre.

- **2 Modes de stockage**

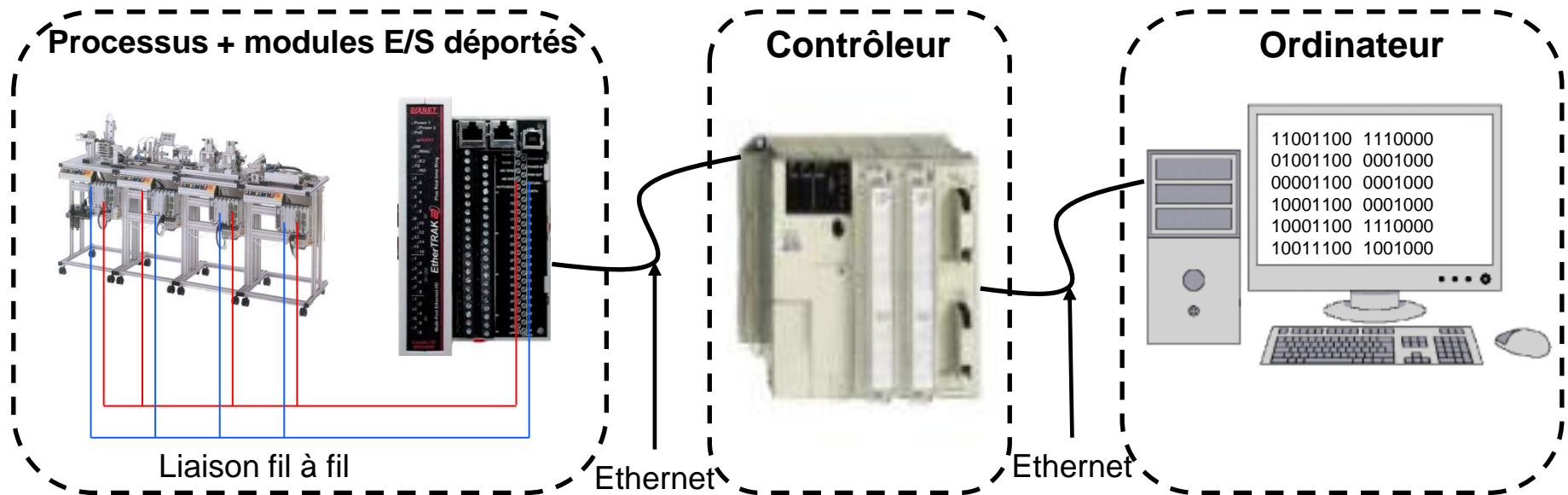
- Roues rangées par ordre d'arrivée.
- Roues rangées par type de matériau.

Partie I

Plate-forme expérimentale

- 1) Introduction
- 2) Description de la plate-forme
- 3) Acquisition des données**

Méthode d'acquisition



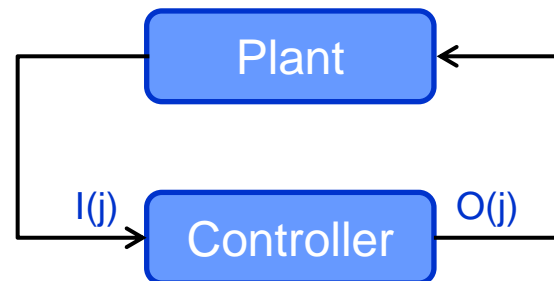
Filtrage des données

Soit un système en boucle fermé composé de :

- Un processus physique (plant).
- Un contrôleur logique (API).

au j -ème cycle,

- Les entrées $I(j) = (I_1(j), \dots, I_n(j))^T$ sont lues.
- Les sorties $O(j) = (O_1(j), \dots, O_m(j))^T$ sont émises.



Filtrage des données

Une observation est définie par un ensemble de vecteurs Entrée/Sortie.

Chaque vecteur $I/O(k) = \begin{bmatrix} I(j) \\ O(j) \end{bmatrix}$ est défini comme suit :

- $I/O(1) = \begin{bmatrix} I(1) \\ O(1) \end{bmatrix}$
- Soit $I/O(k) = \begin{bmatrix} I(j) \\ O(j) \end{bmatrix}$, $I/O(k+1) = \begin{bmatrix} I(l) \\ O(l) \end{bmatrix}$ avec :
 - $l = \min_i \left(i > j \text{ avec } \begin{cases} I(i) \neq I(j) \\ \text{ou} \\ O(i) \neq O(j) \end{cases} \right)$

Exemple

Soit un système composé de deux variables d'entrée $I = \{I_1, I_2\}$ et deux variables de sortie $O = \{O_1, O_2\}$.

Les données observées donnent la séquence de vecteurs :

$$Obs = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Le filtrage des données ne garde que les vecteurs présentant une différence par rapport à leur prédécesseur.

$$I/O = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Quelques chiffres

Acquisition sur une opération de traitement :

- 3 Palettes.
- 3 types de matériaux avec présence ou non de bagues.
- Mode avancé.
- Rangement par type de matériau.

Durée : Environ 5 minutes.

Filtrage des données effectué par l'API.

Résultats :

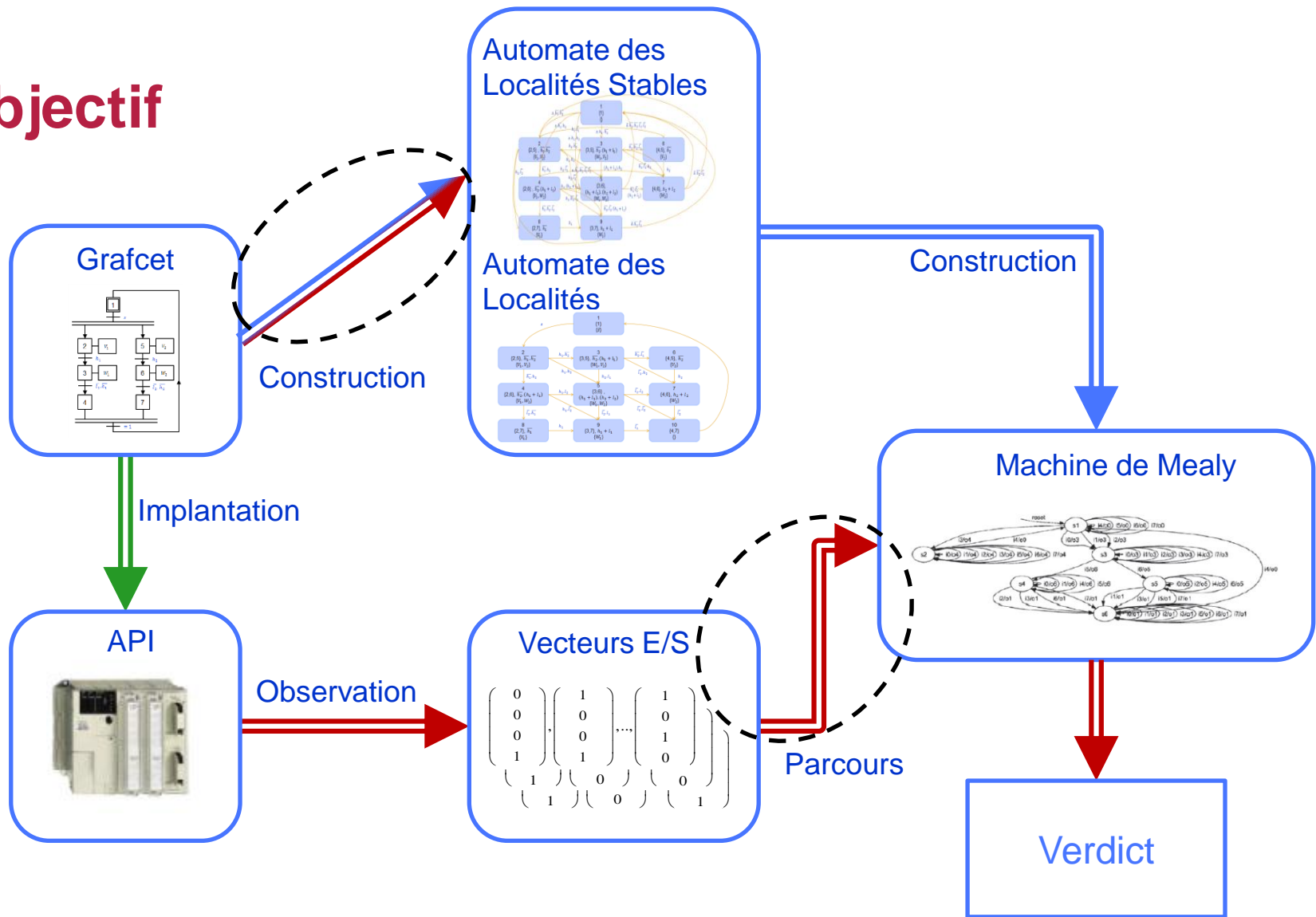
- Environ 30 000 cycles API
- Entre 3100 et 3300 vecteurs E/S

Partie II

Reconnaissance d'un langage observé par un modèle de la spécification

- 1) Modèle de la spécification
- 2) Influence de l'algorithme d'implantation
- 3) Exemple

Objectif



Définition du Grafcet

Un grafcet est un 4-uplet $G = (I_G, O_G, C_G, S_{initG})$ avec :

- I_G : L'ensemble des entrées logiques.
- O_G : L'ensemble des sorties logiques.
- C_G : L'ensemble des graphes.
 - S_G : L'ensemble des étapes.
 - $T_G = (S_U, S_D, E_{Cond(I_G, S_G)})$: l'ensemble des transitions.
 - A_G : L'ensemble des actions continues A_C ou mémorisées A_S .
- S_{initG} L'ensemble des étapes initiales.

Hypothèses sur le modèle de la spécification

- Non temporisé.
- Pas de front dans les conditions de franchissement des transitions.
- Pas d'étape source ou puits.
- Pas de compteurs.
- Pas d'action associée sur les transitions.
- Pas d'étapes encapsulantes ni d'ordre de forçage.

- Peut être composé de plusieurs Grafcet partiels.
- Peut contenir des macro étapes.
- Actions continues ou mémorisées, conditionnelles ou non.

Partie II

Reconnaissance d'un langage observé par un modèle de la spécification

1) Modèle de la spécification

2) Influence de l'algorithme d'implantation

3) Exemple

Algorithmes d'implantation pour le Grafcet

- **Sans recherche de stabilité (Un franchissement de transitions par cycle)**
 - 1) Lecture des entrées.
 - 2) Calcul de la nouvelle localité (état) active.
 - 3) Emission des sorties.
 - 4) Retour en 1).
- **Avec recherche de stabilité (Evolutions fugaces traitées en un seul cycle)**
 - 1) Lecture des entrées.
 - 2) Calcul de la nouvelle localité (état) active.
 - 3) S'il existe une localité accessible depuis cette localité
 - Mise à jour des sorties mémorisées, retour en 2).
 - Sinon aller en 4).
 - 4) Emission des sorties.
 - 5) Retour en 1).

Automate des localités stables

Issu des travaux de Provost.

Un automate des localités stables (ALS) est un 5-uplet

$ALS = (I_{SLA}, O_{SLA}, L, l_{init}, Evol)$:

- $I_{SLA} = I_G$ l'ensemble des entrées logiques.
- $O_{SLA} = O_G$ l'ensemble des sorties logiques.
- L l'ensemble des localités avec $l \in L = (S_{Act}, O_{Em}, E_{Stabl})$ où :
 - S_{Act} est un sous-ensemble des étapes du Grafcet.
 - O_{Em} est un sous-ensemble des sorties émises du Grafcet.
 - $E_{Stabl}(I_G)$ est une expression booléenne de I_G .
- l_{init} la localité initiale.
- $Evol$ l'ensemble des évolutions $e \in Evol = (l_U, l_D, E_{Evol})$ où :
 - l_U est la localité amont.
 - l_D est la localité aval.
 - $E_{Evol}(I_G)$ est une expression booléenne sur I_G vérifiée pour franchir la transition.

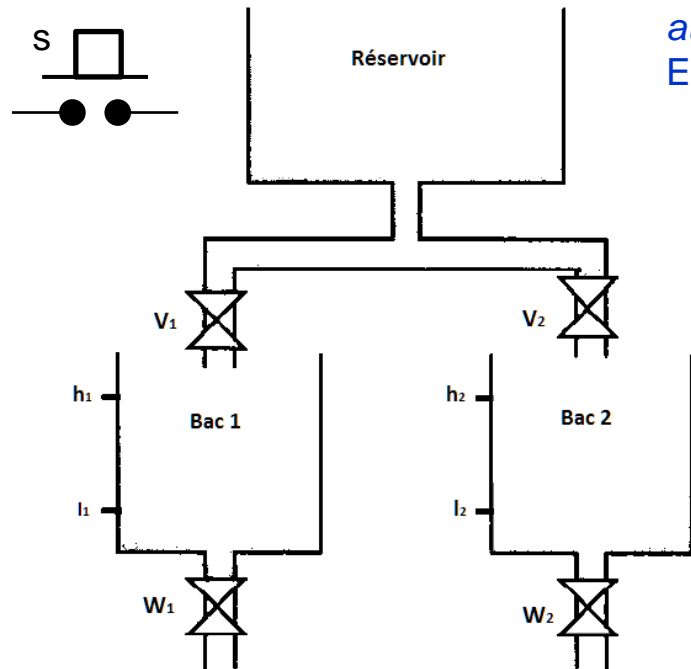
Partie II

Reconnaissance d'un langage observé par un modèle de la spécification

- 1) Modèle de la spécification
- 2) Influence de l'algorithme d'implantation
- 3) Exemple**

Exemple - Présentation

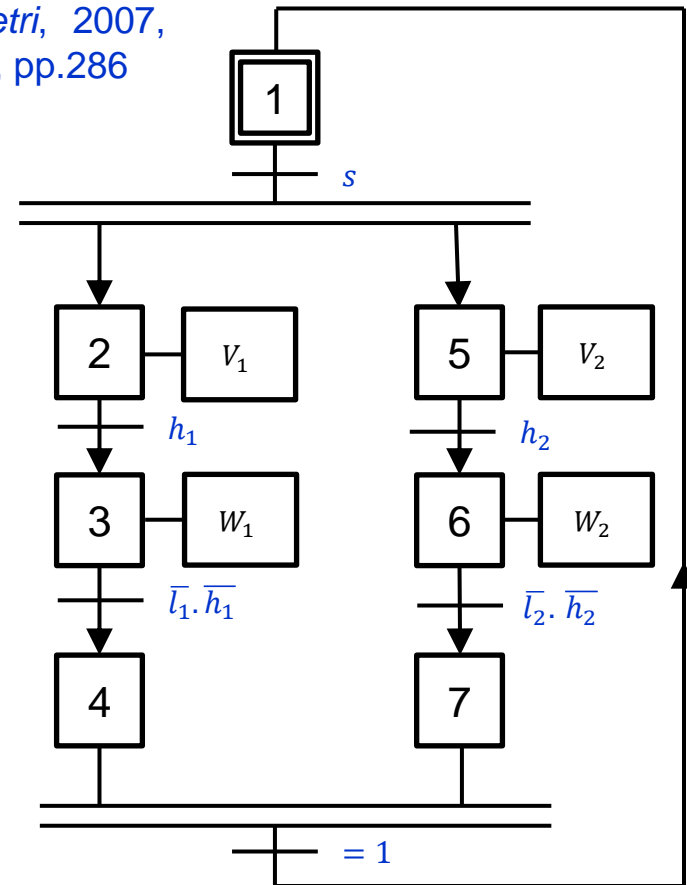
Process



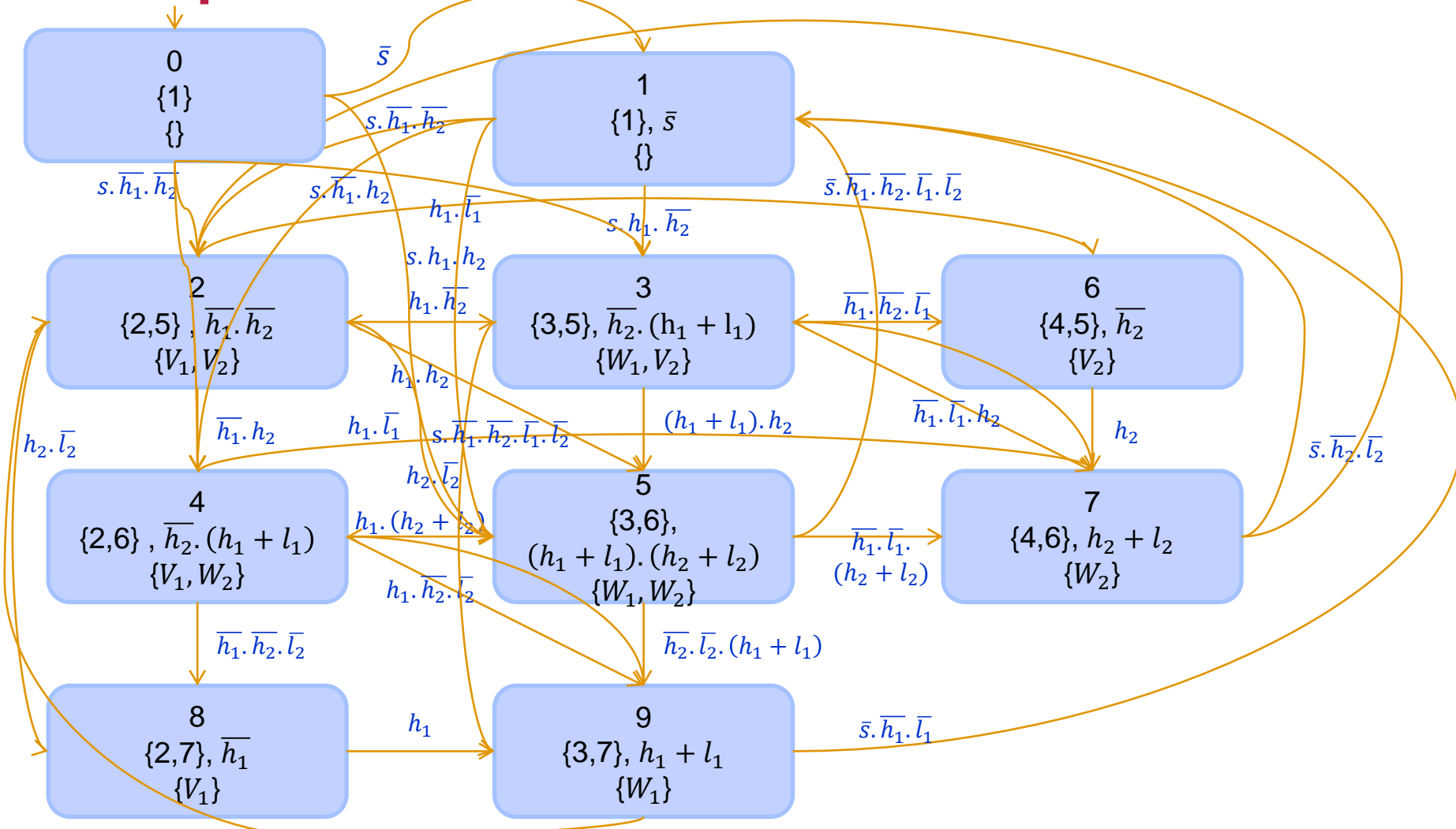
- 5 entrées : s, h_1, l_1, h_2, l_2
- 4 sorties : V_1, W_1, V_2, W_2
- Cycle de remplissage / vidange des cuves sur pression du bouton s

R.David, A.Alla, *Du Grafset au réseau de Petri*, 2007, Editions HERMES, pp.286

Spécification

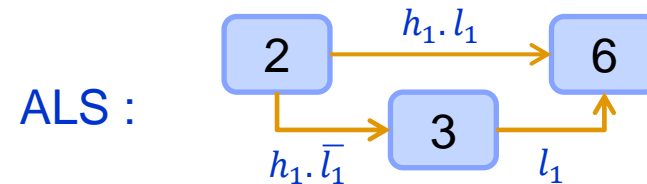
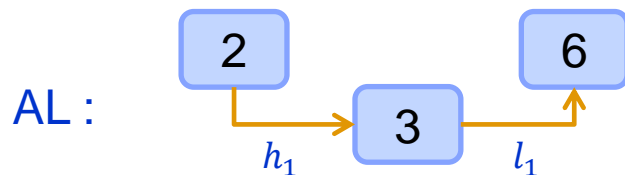


Exemple – Avec recherche de stabilité

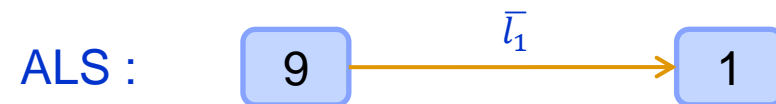
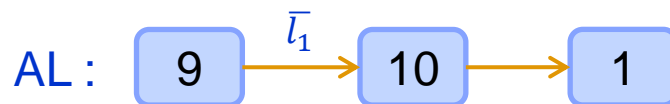


Remarques sur les automates des localités stables ou non

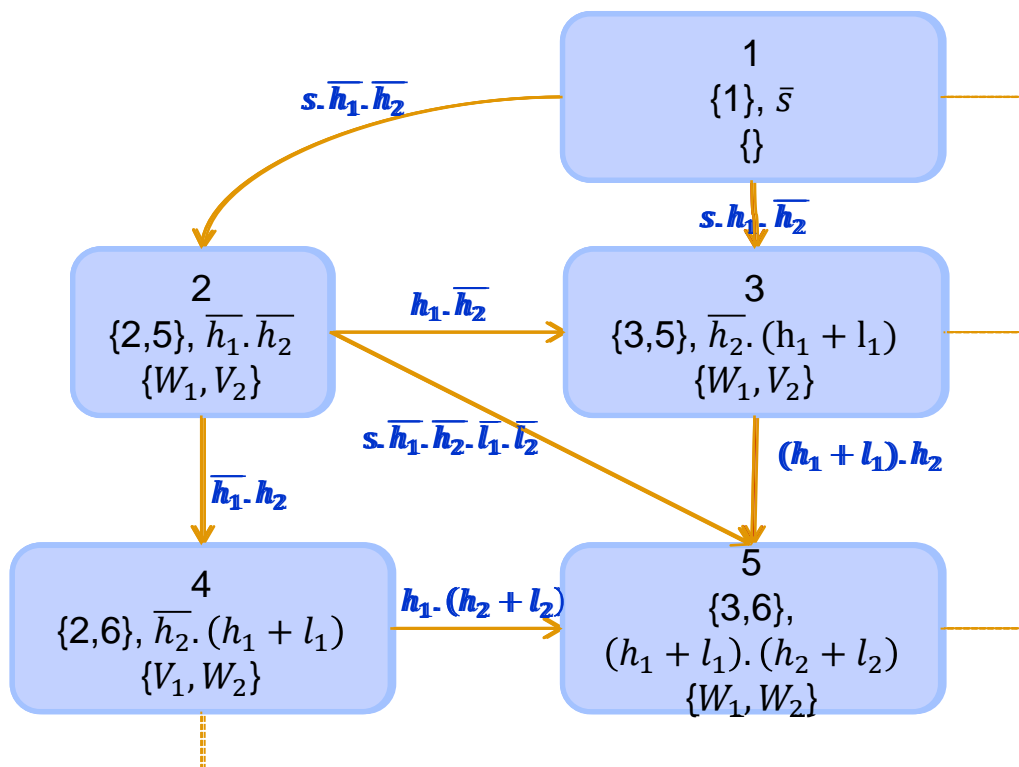
- L'AL contient plus de localités que l'ALS :
 - Les localités sources d'évolutions fugaces uniquement (localités instables) sont supprimées dans l'ALS (ex : Etat 10 de l'AL)
- Différence du nombre d'évolutions entre l'AL et l'ALS :
 - Les évolutions fugaces du Grafcet sont explicitées dans l'ALS (ex : Une évolution fugace passant par les localités $2 \rightarrow 3 \rightarrow 6$ sera décrite pas une évolution supplémentaire $2 \rightarrow 6$ dans l'ALS)



- De chaque localité instable de l'AL partent des évolutions absentes de l'ALS.



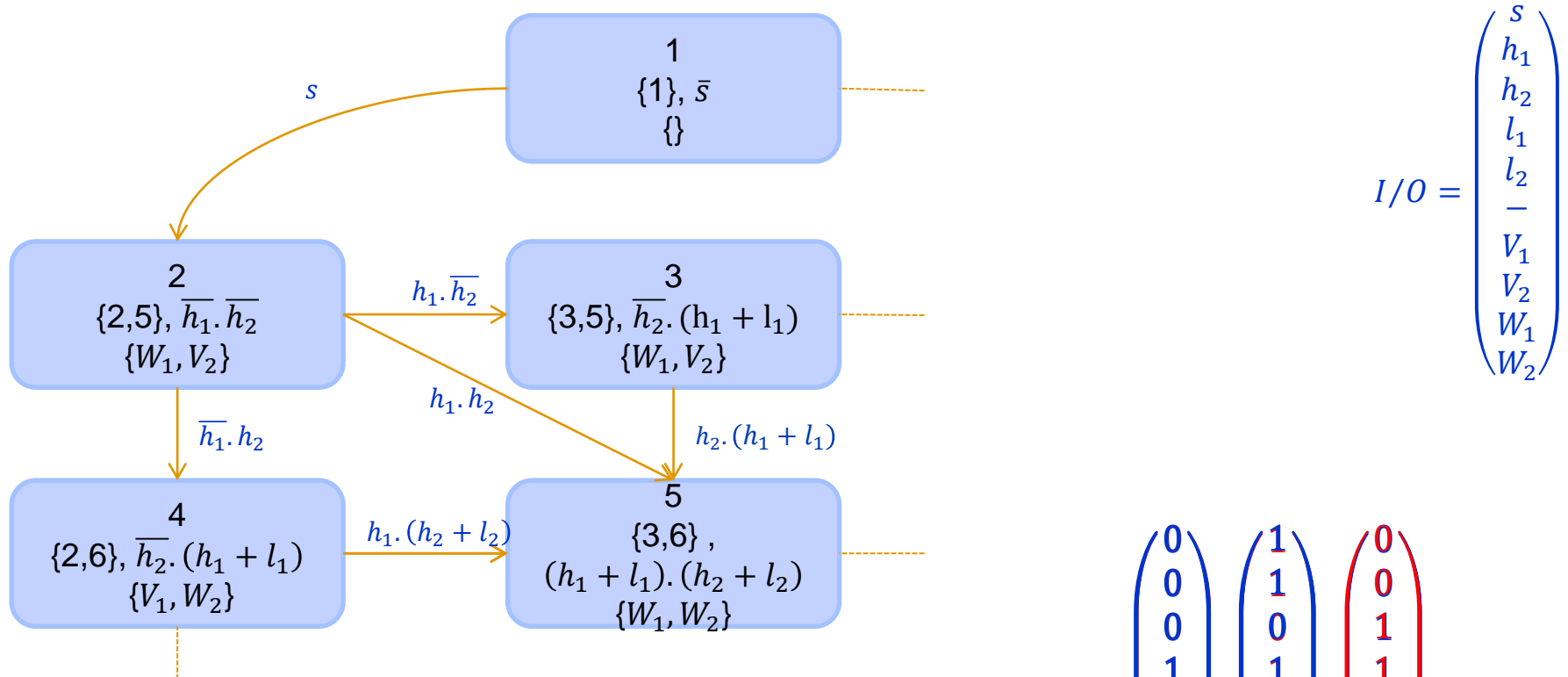
Parcours d'un ALS, cas d'une évolution fugace



$$I/O = \begin{pmatrix} s \\ h_1 \\ h_2 \\ l_1 \\ l_2 \\ - \\ V_1 \\ V_2 \\ W_1 \\ W_2 \end{pmatrix}$$

Séquence observée : $I/O = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \dots$

Parcours d'un AL, cas d'une évolution fugace



Séquence observée : $I/O = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \dots$

Perspectives

Perspectives

- **Développements futurs**
 - Algorithme de génération de l'AL.
 - Impact de l'algorithme d'implantation sur la validation du contrôleur.
 - Taux de couverture lors du parcours de la machine de Mealy issue de l'AL(S) suivant les séquences d'E/S observées.
- **Expérimentation**
 - Utilisation de la plate-forme expérimentale.
- **Mise en place d'un site web pour la diffusion des résultats**

Merci pour votre attention
Avez-vous des questions ?