



Prise en compte des incertitudes pour le pilotage des systèmes de production

Deux approches complémentaires

Journées STP

19 mai 2016 – Groupe IMS2

Alexis Aubry



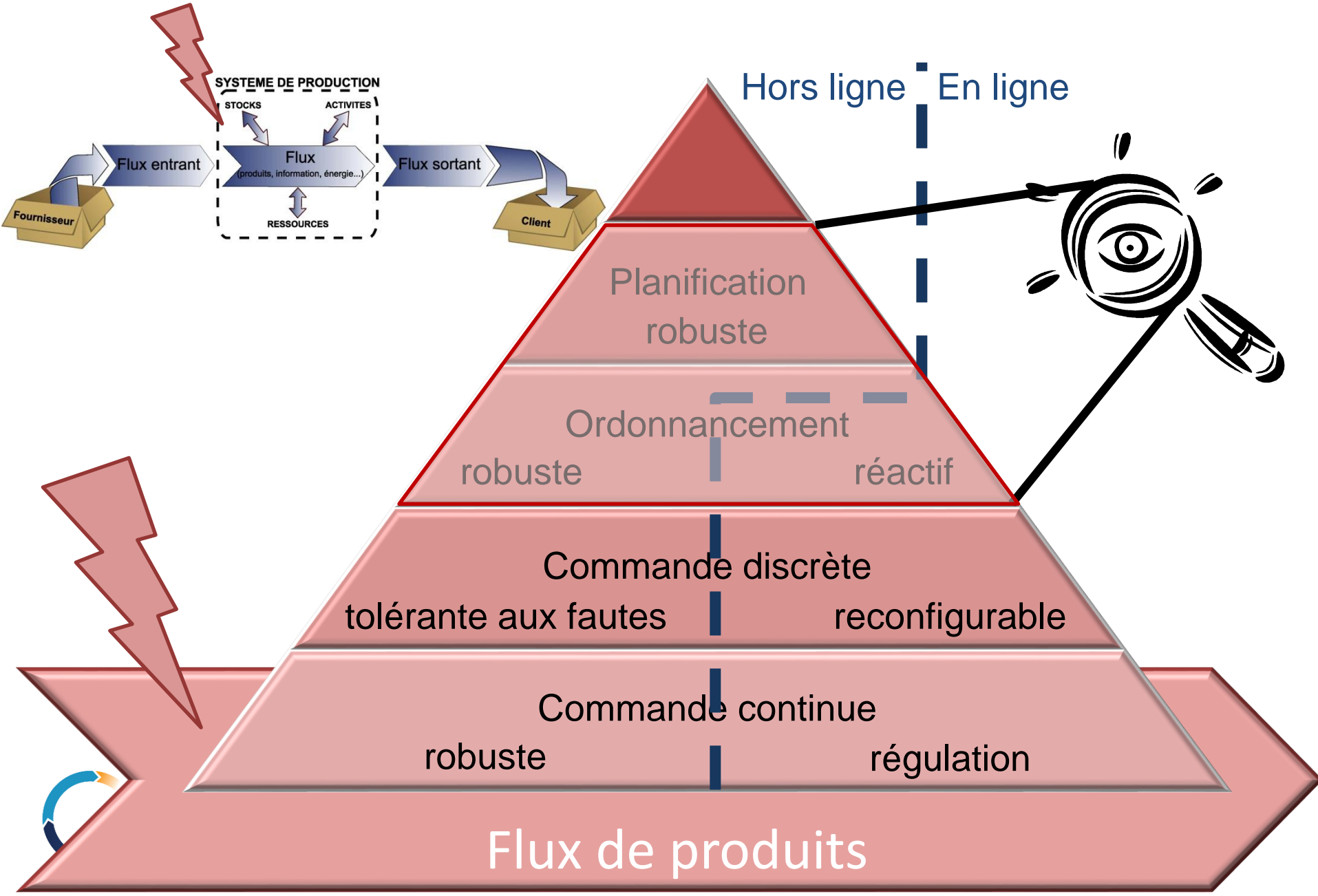
UMR
7039



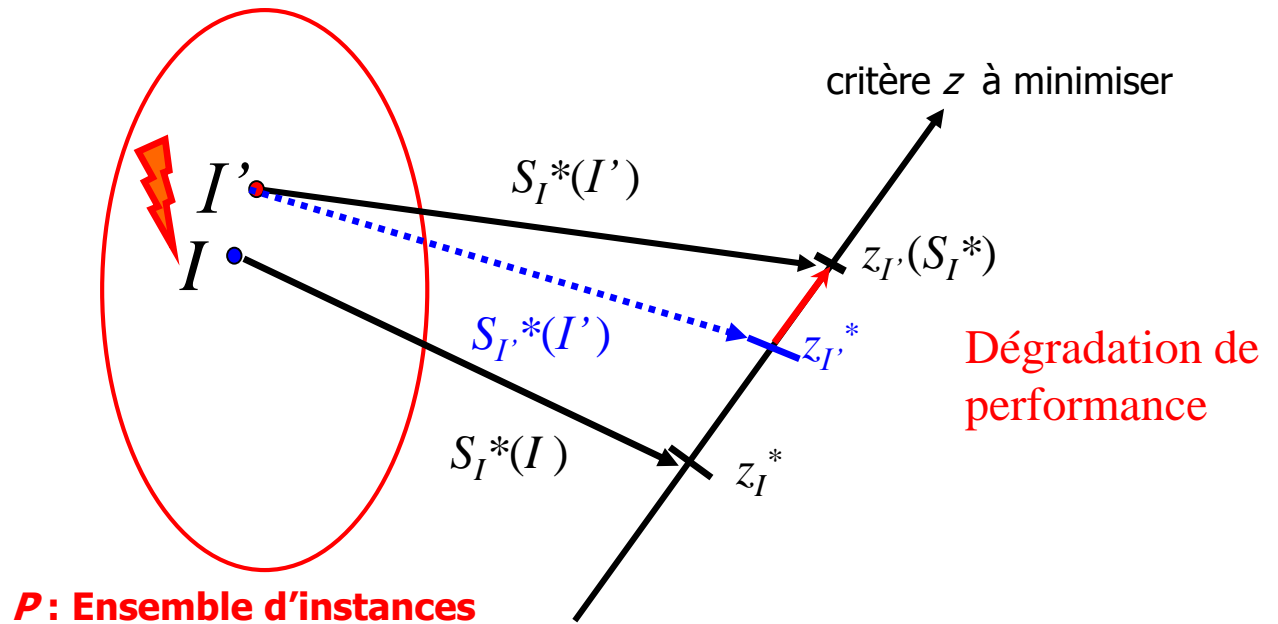
UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



Pilotage sous incertitudes des systèmes de production



Perturbations et performance en optimisation

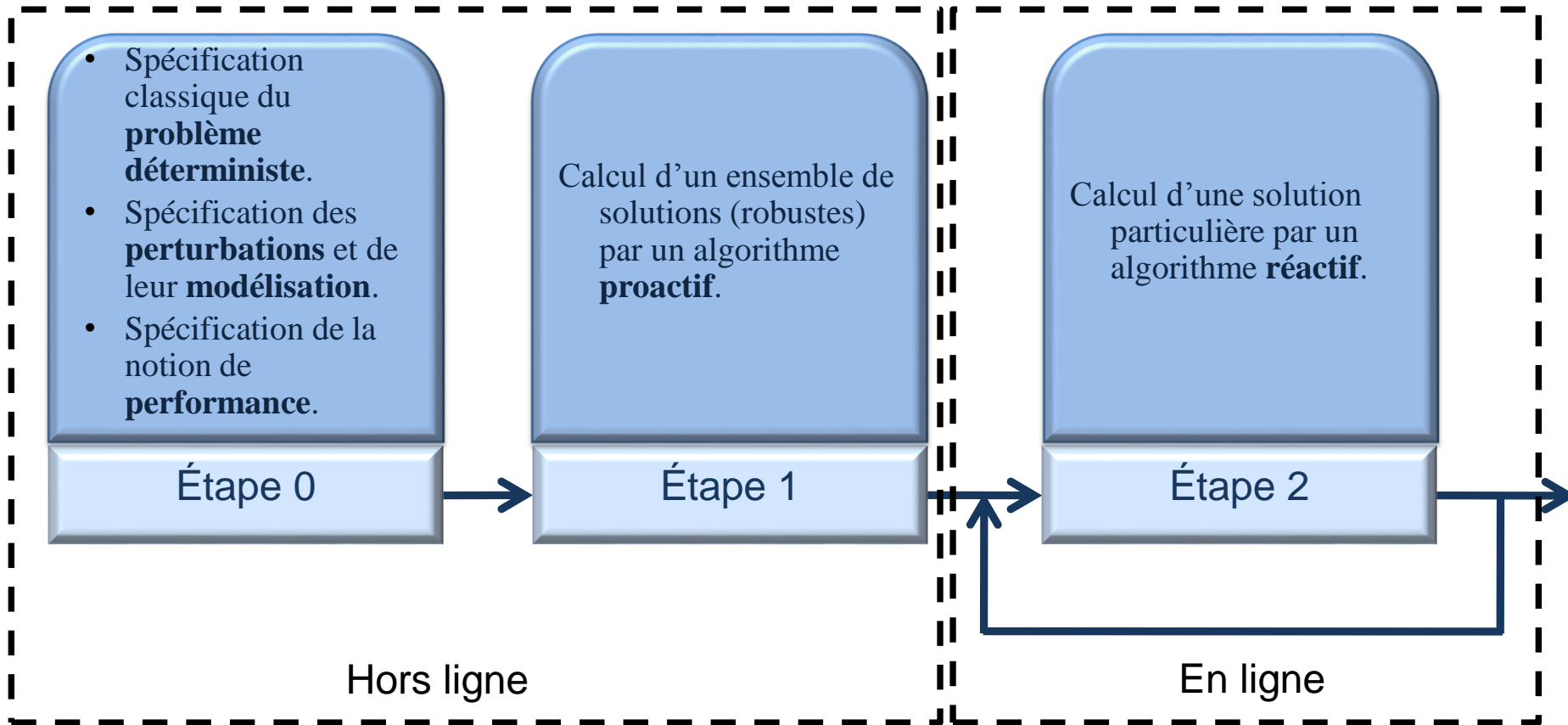


Questions

- Comment prendre en compte les perturbations?
- Comment garantir des performances malgré les perturbations?



PROCÉDURE DE RÉOLUTION (GOTHA)



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Une solution S est L_λ -robuste sur un ensemble d'instances P , relativement au critère de robustesse λ si elle vérifie :

$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$

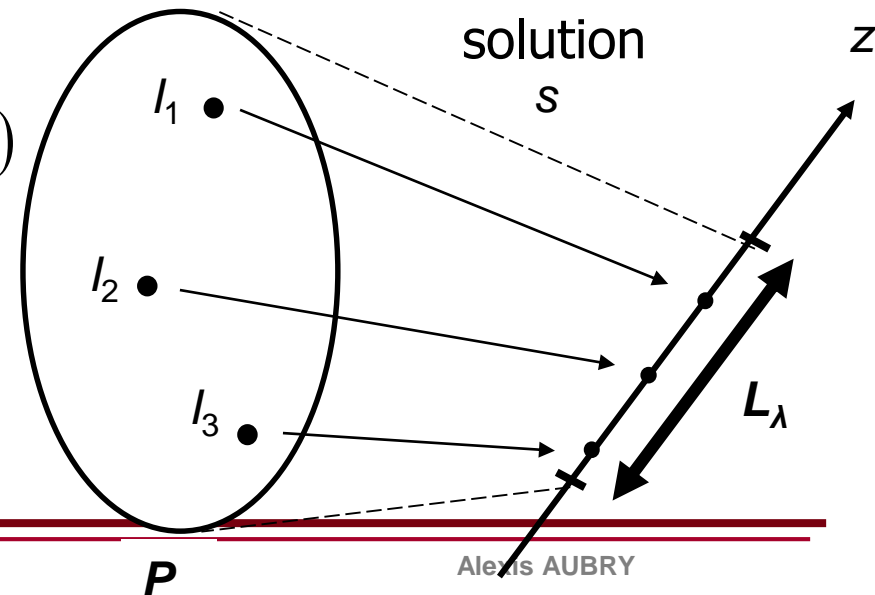
S solution

P ensemble d'instances : modélisation de l'incertitude

z critère d'optimalité (performance locale)

λ critère de robustesse (performance globale)

L_λ niveau de performance désiré ou garanti



TRAVAIL EN COLLABORATION AVEC
MIREILLE JACOMINO, MARIE-LAURE
ESPINOUSE ET ANDRÉ ROSSI



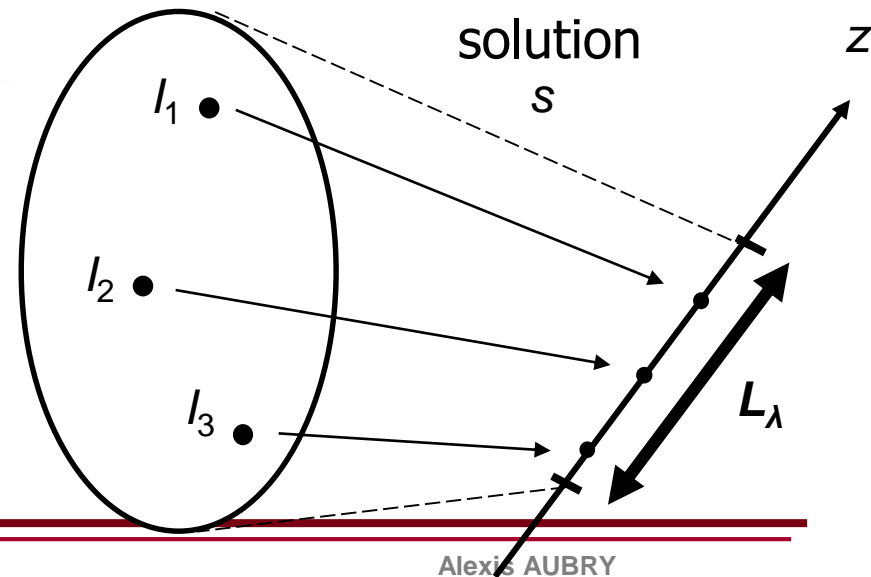
ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je
connais

Ce que je
cherche

Type de
problème

$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$

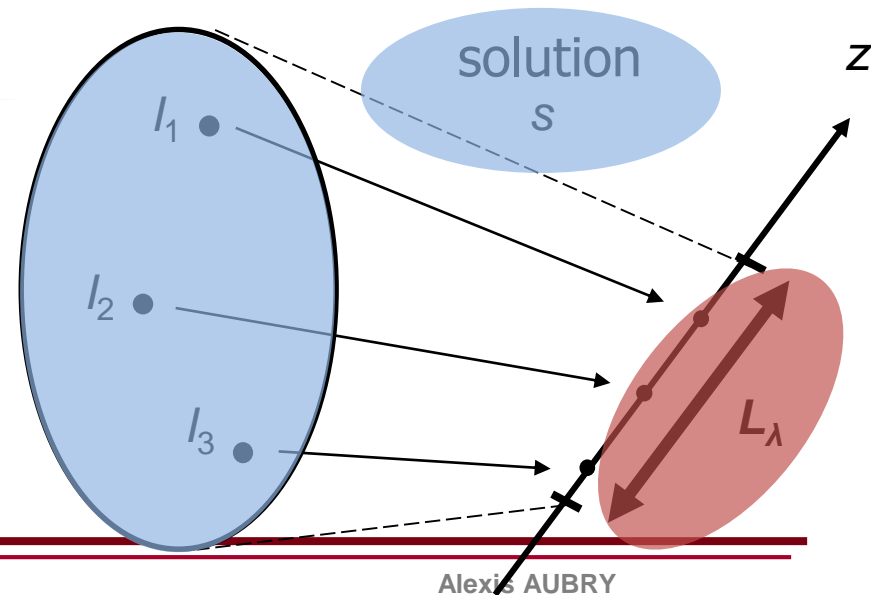


ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je connais	Ce que je cherche	Type de problème
S, P	L_λ	Analyse de sensibilité

(Hall and Posner, 2004)
(Mahjoub *et al.*, 2008)

$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$

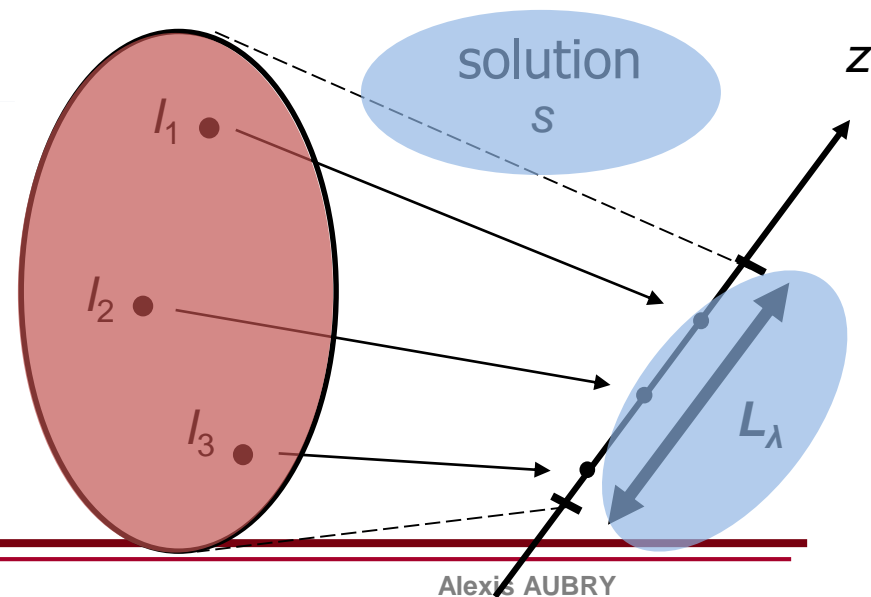


ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je connais	Ce que je cherche	Type de problème
S, P	L_λ	Analyse de sensibilité
S, L_λ	P	Analyse de stabilité

(Sotnikov)

$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$



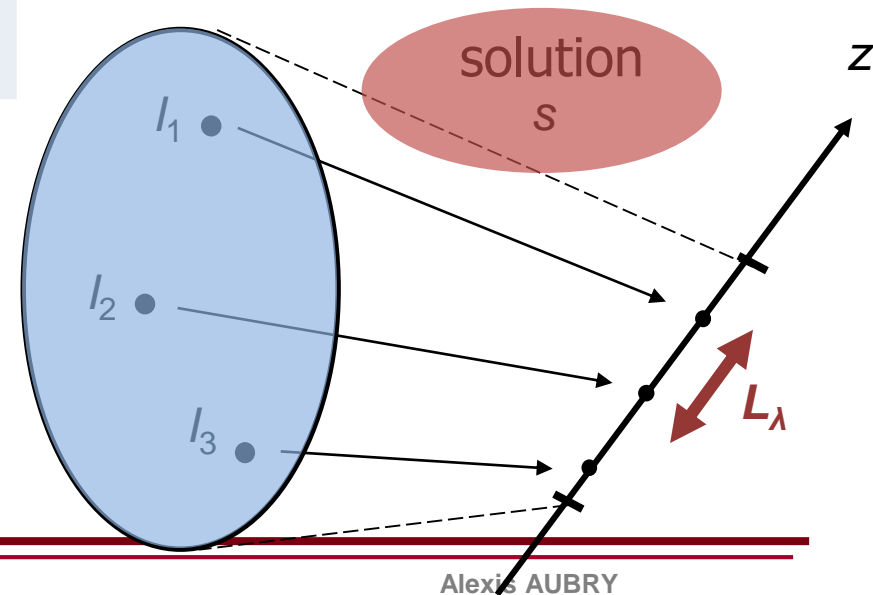
ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je connais	Ce que je cherche	Type de problème
S, P	L_λ	Analyse de sensibilité
S, L_λ	P	Analyse de stabilité

P	$S, \min\{L_\lambda\}$	Robustesse (sensibilité)
-----	------------------------	--------------------------

(Kouvelis and Yu, 1997)

$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$



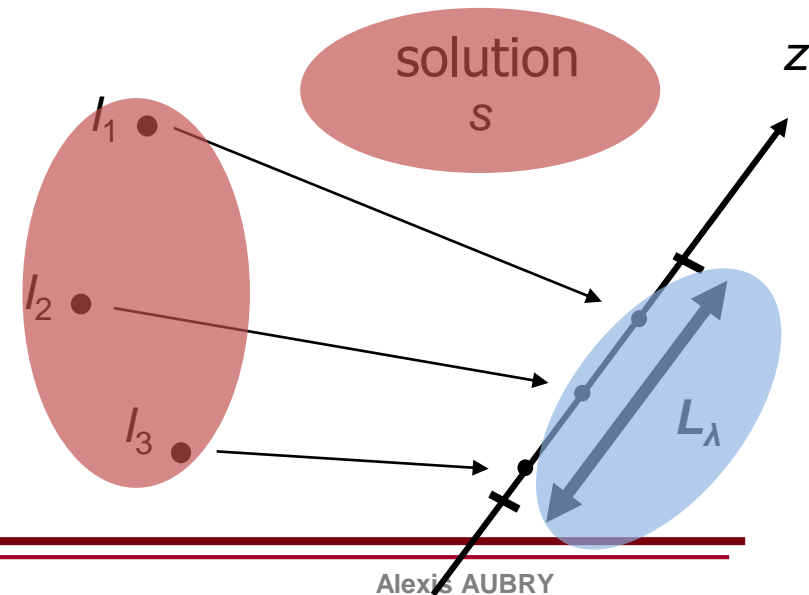
ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je connais	Ce que je cherche	Type de problème
S, P	L_λ	Analyse de sensibilité
S, L_λ	P	Analyse de stabilité

P	$S, \min\{L_\lambda\}$	Robustesse (sensibilité)
L_λ	$S, \max\{P\}$	Robustesse (stabilité)

(Aubry, Espinouse, Jacomino, Rossi)

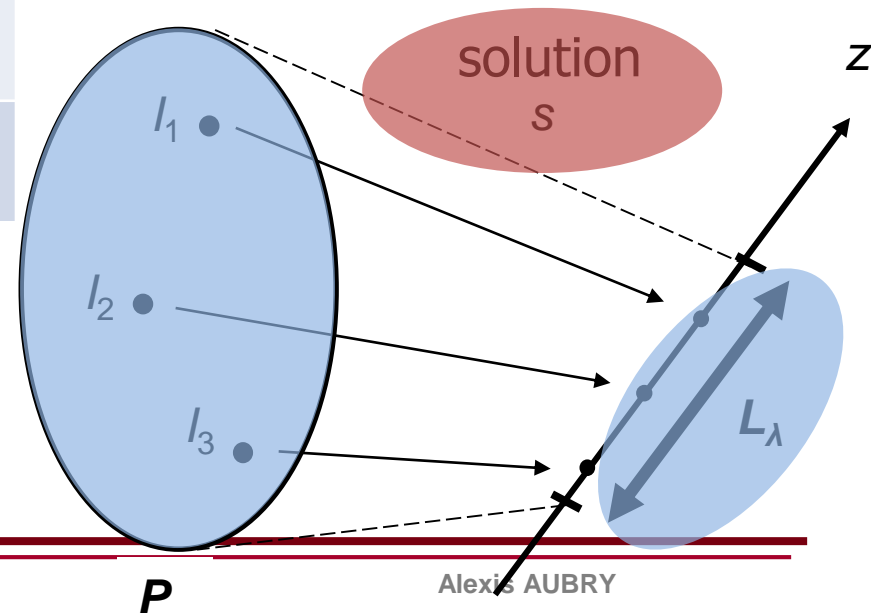
$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je connais	Ce que je cherche	Type de problème
S, P	L_λ	Analyse de sensibilité
S, L_λ	P	Analyse de stabilité
P, L_λ	S	Robustesse (stabilité / sensibilité)
P	$S, \min\{L_\lambda\}$	Robustesse (sensibilité)
L_λ	$S, \max\{P\}$	Robustesse (stabilité)

$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$

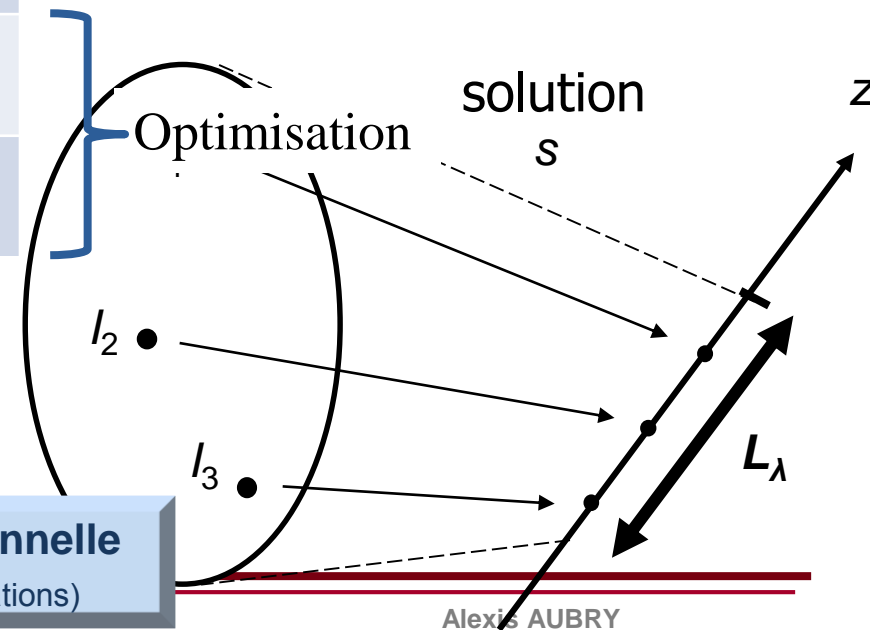


ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : CADRE DE MODÉLISATION PROPOSÉ

Ce que je connais	Ce que je cherche	Type de problème
S, P	L_λ	Analyse de sensibilité
S, L_λ	P	Analyse de stabilité
P, L_λ	S	Robustesse (stabilité / sensibilité)
P	$S, \min\{L_\lambda\}$	Robustesse (sensibilité)
L_λ	$S, \max\{P\}$	Robustesse (stabilité)

} Evaluation

Satisfaction de contraintes (faisabilité)



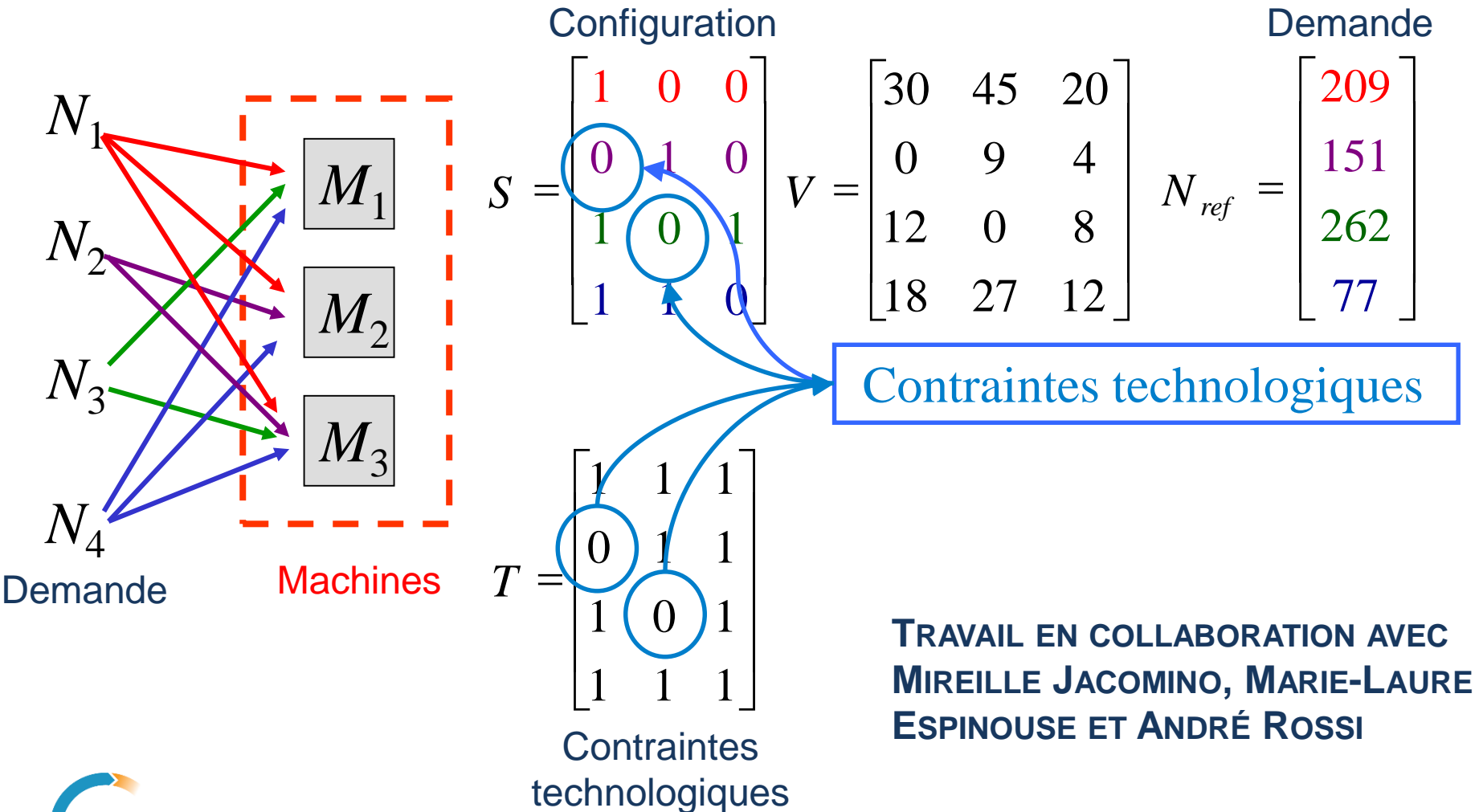
$$\lambda(S, z, P) \leq L_\lambda$$

⇒ Problèmes classiques en Recherche Opérationnelle

(à condition d'avoir spécifié z, λ, L_λ et d'avoir modélisé les perturbations)

ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne

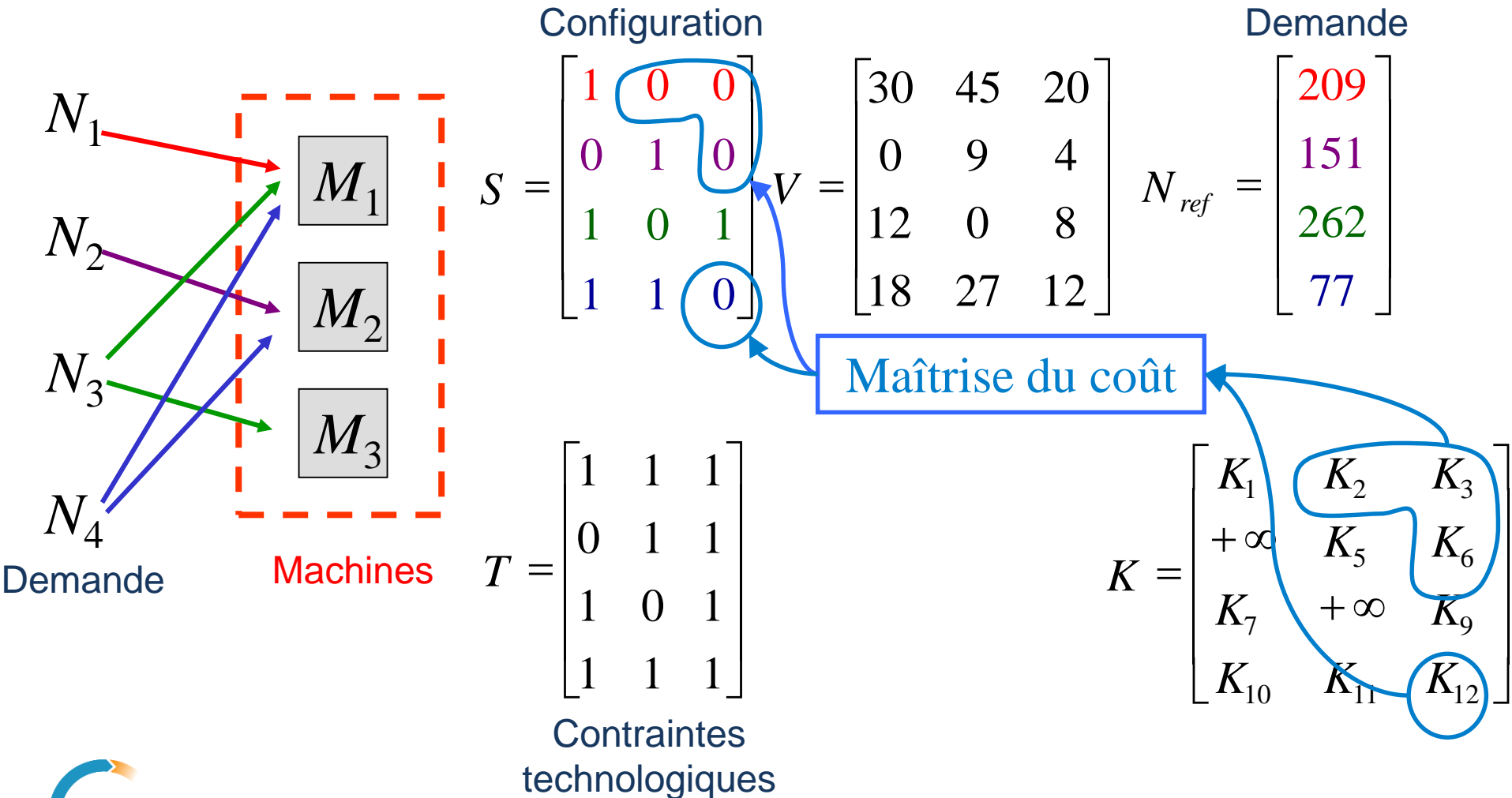


TRAVAIL EN COLLABORATION AVEC
MIREILLE JACOMINO, MARIE-LAURE
ESPINOUSE ET ANDRÉ ROSSI



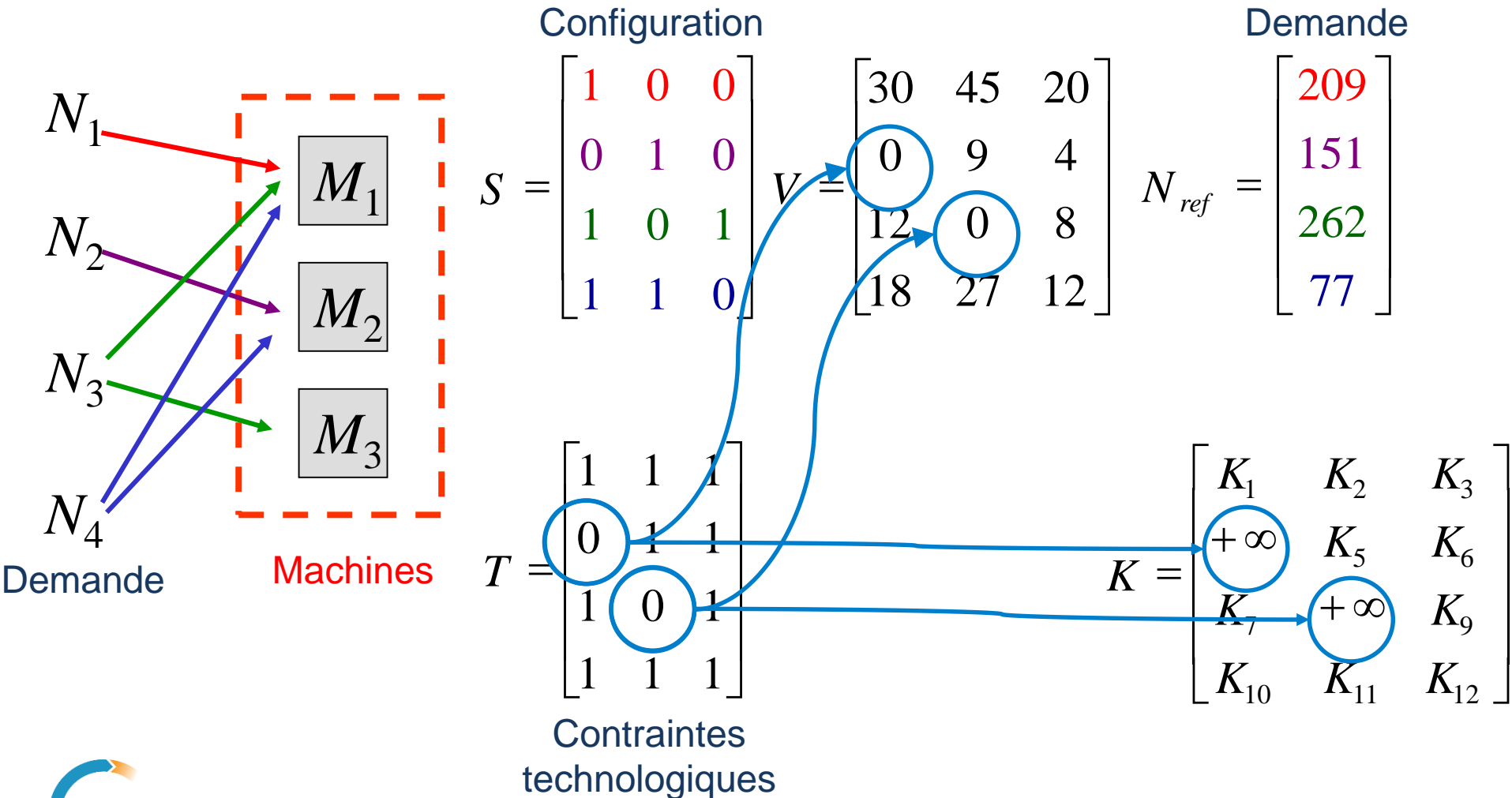
ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne



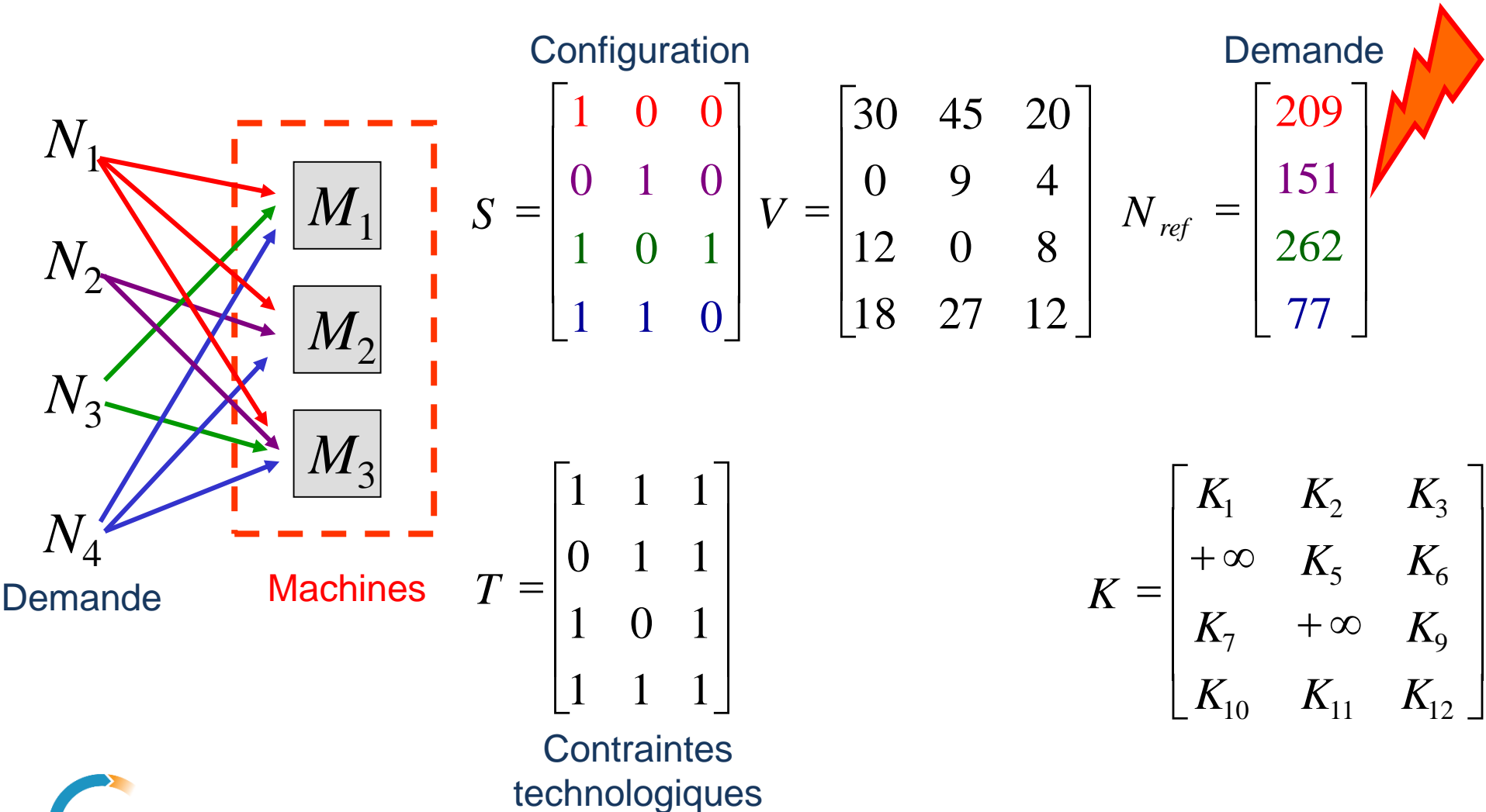
ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

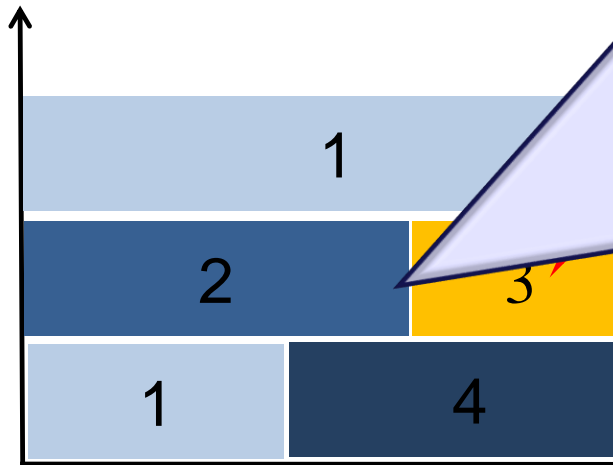
- Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne

Performance locale : durée totale de la production (makespan)



⇒ Résolution à l'aide d'un PL :

$$C_{max} = PL(S, V, N)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \min C_{max} \\ \sum_{j=1}^m R(i, j) \times S(i, j) \times V(i, j) = N(i) \quad \forall i \in [1, n] \\ \sum_{i=1}^n R(i, j) \times S(i, j) \leq C_{max} \quad \forall j \in [1, m] \\ R(i, j) \geq 0 \quad \forall (i, j) \in [1, n] \times [1, m] \end{array} \right.$$

⇒ Garantir le respect des

les incertitudes sur la demande

ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - Performance globale : respect d'une deadline malgré les incertitudes sur la demande

$$W(S, C_{max}, P) \leq \tilde{d}$$

S : configuration

P : ensemble de demandes potentielles (modélisation de l'incertitude)

C_{max} : durée totale de la production (makespan)

W : critère du coût maximal (ou pire cas)

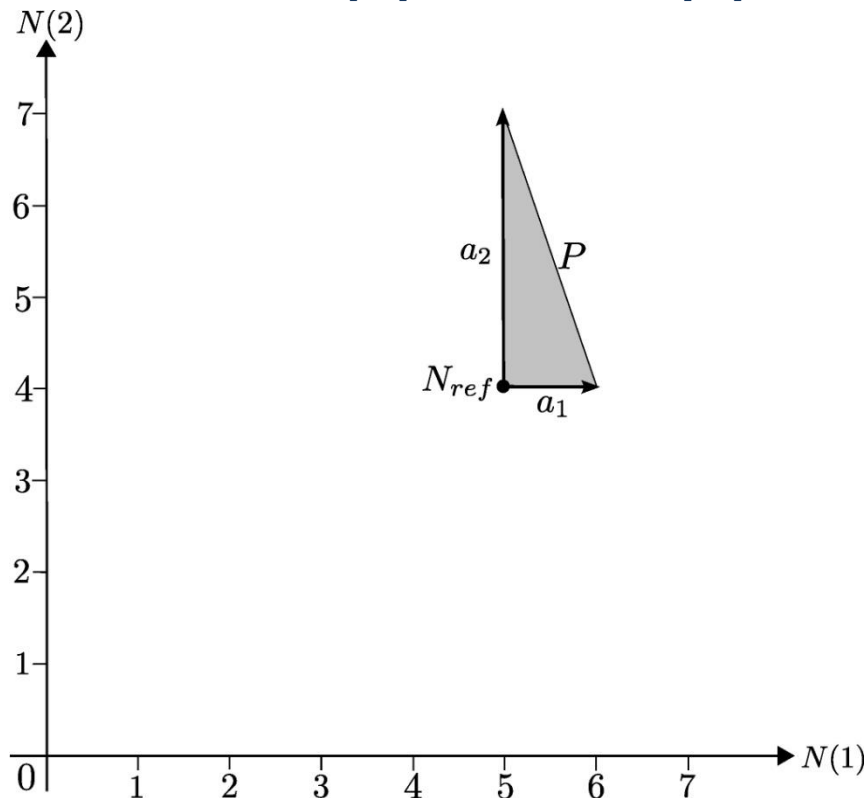
\tilde{d} : deadline exigée ou garantie dans le pire des cas



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - Modélisation de l'incertitude (ensemble P)

$$P = \left\{ N \mid N = N_{ref} + \sum_{k \in [1,n]} \alpha_k \cdot a_k \cdot e_k \wedge \sum_{k \in [1,n]} \alpha_k \leq 1 \wedge \alpha_k \geq 0, \forall k \in [1,n] \right\}$$



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - 1^{er} problème de robustesse : Evaluation de la sensibilité d'une configuration donnée

$$W(S, C_{max}, P) \leq \tilde{d}$$

Question

« Etant donnée une **configuration** S , et un **ensemble de demandes** P , quelle est la **durée totale de production** dans le pire des cas ? »

Réponse (facile) : $\tilde{d} = \max_k \{PL(S, V, N_{ref}^k)\}$ avec $N_{ref}^k = N_{ref} + a_k \cdot e_k$



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - 2^{ème} problème de robustesse : Evaluation de la stabilité d'une configuration donnée

$$W(S, C_{max}, P) \leq \tilde{d}$$

Question

« Etant donnée une **configuration S**, quel est l'**ensemble de demandes P** sur lequel une **deadline donnée** est respectée ? »

Réponse (facile) : Déterminer tous les a_k solution du programme linéaire :

$$\left\{ \begin{array}{l} \max a_k \\ \sum_{j=1}^m V(i, j) \times R(i, j) = N_{ref}(i) \quad \forall i \neq k \in [1, n] \\ \sum_{j=1}^m V(k, j) \times R(k, j) = N_{ref}(k) + a_k \\ \sum_{i=1}^n R(i, j) \leq \tilde{d} \quad \forall j \in [1, m] \\ (1 - S(i, j)) \times R(i, j) = 0 \quad \forall (i, j) \in [1, n] \times [1, m] \\ R(i, j) \geq 0 \quad \forall (i, j) \in [1, n] \times [1, m] \\ a_k \geq 0 \end{array} \right.$$



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - 3^{ème} problème de robustesse : Recherche d'une configuration robuste (stable et peu sensible)

$$W(S, C_{max}, P) \leq \tilde{d}$$

Question

« Etant donné un ensemble de demandes P et une deadline à respecter, quelle est une configuration S robuste ? »

Réponse (facile) : Tester $S=T$ et vérifier si $C_{max} = PL(T, V, N_{ref}^k) \leq \tilde{d}$ pour tous les k



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - 4^{ème} problème de robustesse : Configuration la moins sensible

$$W(S, C_{max}, P) \leq \tilde{d}$$

Question

« Etant donné un ensemble de demandes P et une deadline à respecter, quelle est une configuration S qui minimise le temps total de production dans le pire des cas ? »

Réponse (triviale) : c'est $S=T$



ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - 5^{ème} problème de robustesse : Configuration la plus stable

$$W(S, C_{max}, P) \leq \tilde{d}$$

Question

« Etant donné **une deadline à respecter**, quelle est **une configuration S** qui maximise l'**ensemble de demandes P** sur lequel la deadline est respectée ? »

Réponse (triviale) : c'est $S=T$

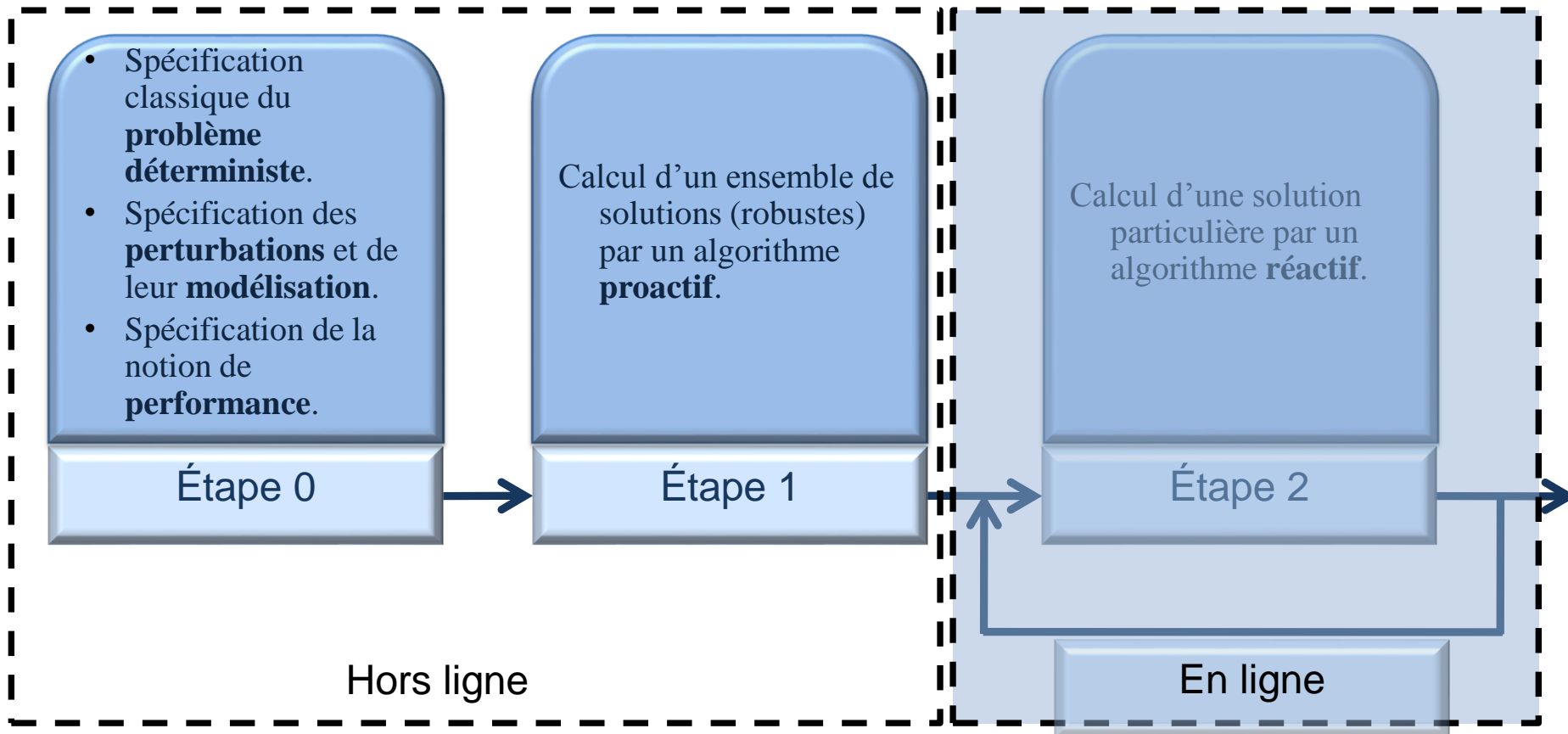


ROBUSTESSE (HORS LIGNE) : APPLICATION À UN EXEMPLE

- **Systèmes flexibles de production : configuration hors ligne**
 - Problème la configuration $S=T$ est aussi la plus onéreuse
 - On a donc besoin d'un compromis entre le coût de la configuration et sa robustesse.
 - **Que se passe-t-il si une perturbation non prévue (dans le modèle) arrive ?**
- ⇒ **Besoin de prendre en compte des perturbations en ligne**



PROCÉDURE DE RÉOLUTION (GOTHA)



ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

- Ordonnancement d'ateliers flexibles de production en utilisant les modèles des SED

- Constats

<i>Approche de résolution</i>	<i>Obtention de la solution</i>		<i>Modélisation du problème</i>		
	Optimalité	Efficacité	Complexité de modélisation	Généricité	Evolutivité
<i>MILP</i>	+	-	-	-	-
<i>Méta-heuristique</i>	-	+	-	-	-
<i>Heuristique dédiée</i>	-	+	-	-	-

- Travaux antérieurs dans le domaine SED ont montré l'intérêt d'utiliser des modèles SED pour résoudre des problèmes d'ordonnancement.
 - Efficacité de résolution
 - Modélisation naturelle
 - Capacité intrinsèque des modèles à représenter la dynamique
 - Modèles paramétrables

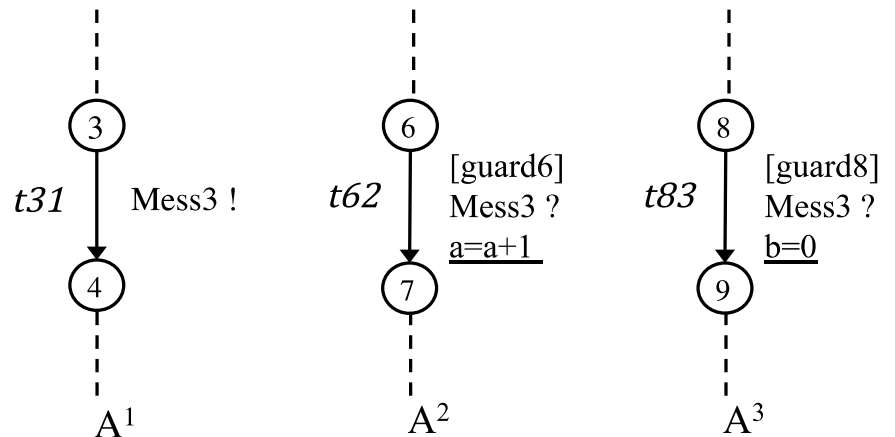
**TRAVAIL EN COLLABORATION AVEC
PASCALE MARANGÉ ET JEAN-
FRANÇOIS PÉTIN**



ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

- Automates communicants

- Définition : $A = (S, V, L, T, S_m, s_0, v_0)$
 - S : ensemble des localités
 - V: ensemble des variables
 - L : ensemble des messages
 - T : ensemble des transitions
 - S_m : ensemble des localités marquées
 - s_0 : localité initiale
 - v_0 : valeur initiale des variables



ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

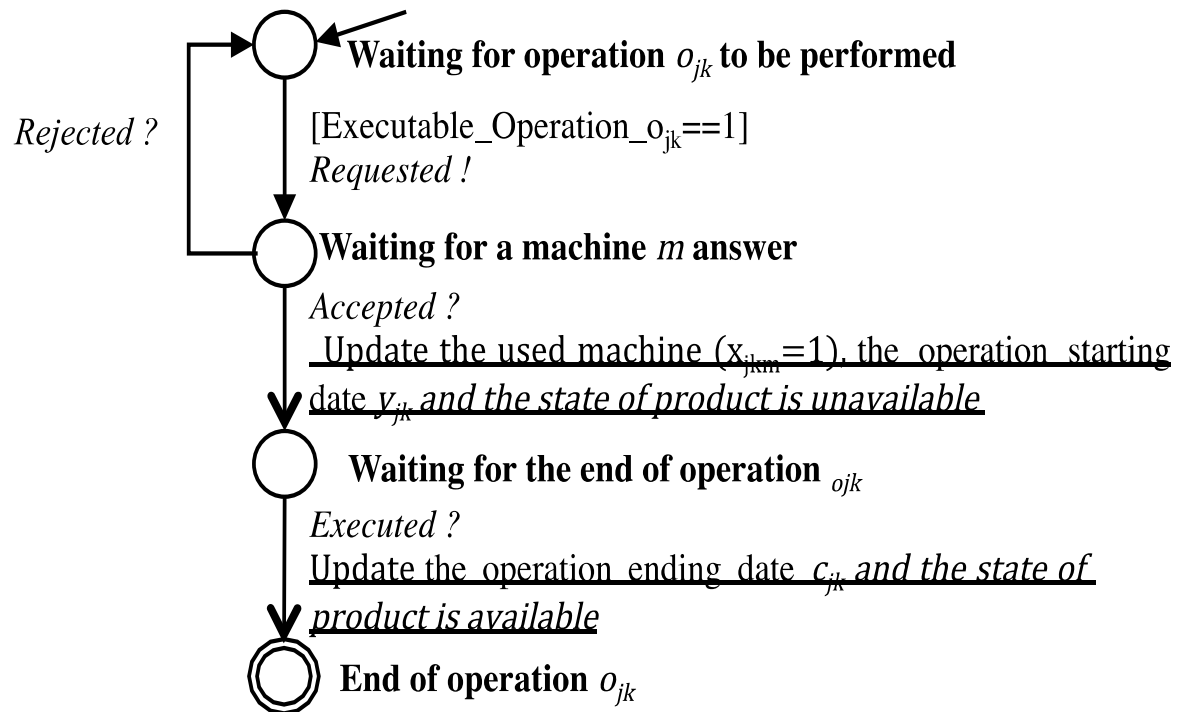
- **Automates communicants**
 - Idée : Proposer un patron (automate) pour les produits et un autre patron pour les machines et les faire communiquer.
 - Mise en application du concept de contrôle par le produit : le produit connaît sa gamme de fabrication et demande aux bonnes machines de réaliser la prochaine opération.
- **Contexte : ateliers flexibles**
 - Gamme de fabrication logique : plusieurs machines ont la capacité de réaliser la même opération
 - Hybridation possible sur les types d'atelier : flowshop/jobshop/openshop



ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

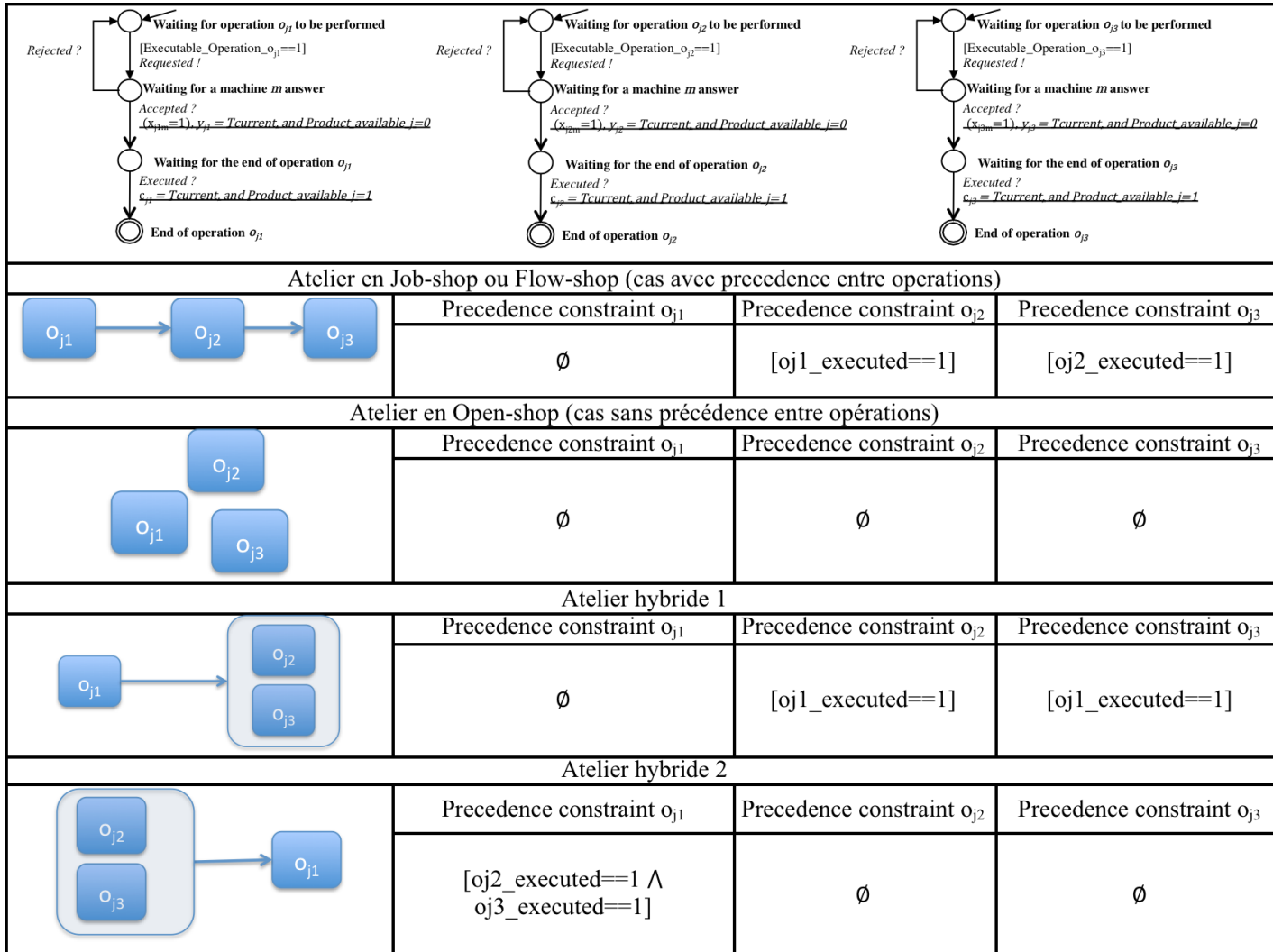
• Patron de modélisation d'un produit (opération)

- Ne pas représenter la gamme, mais les opérations
- Règles de précedence sont prises en compte dans une garde
- Ajout de la mise à jour de l'état de l'opération
- Prise en compte possible des dates au plus tôt, au plus tard



ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

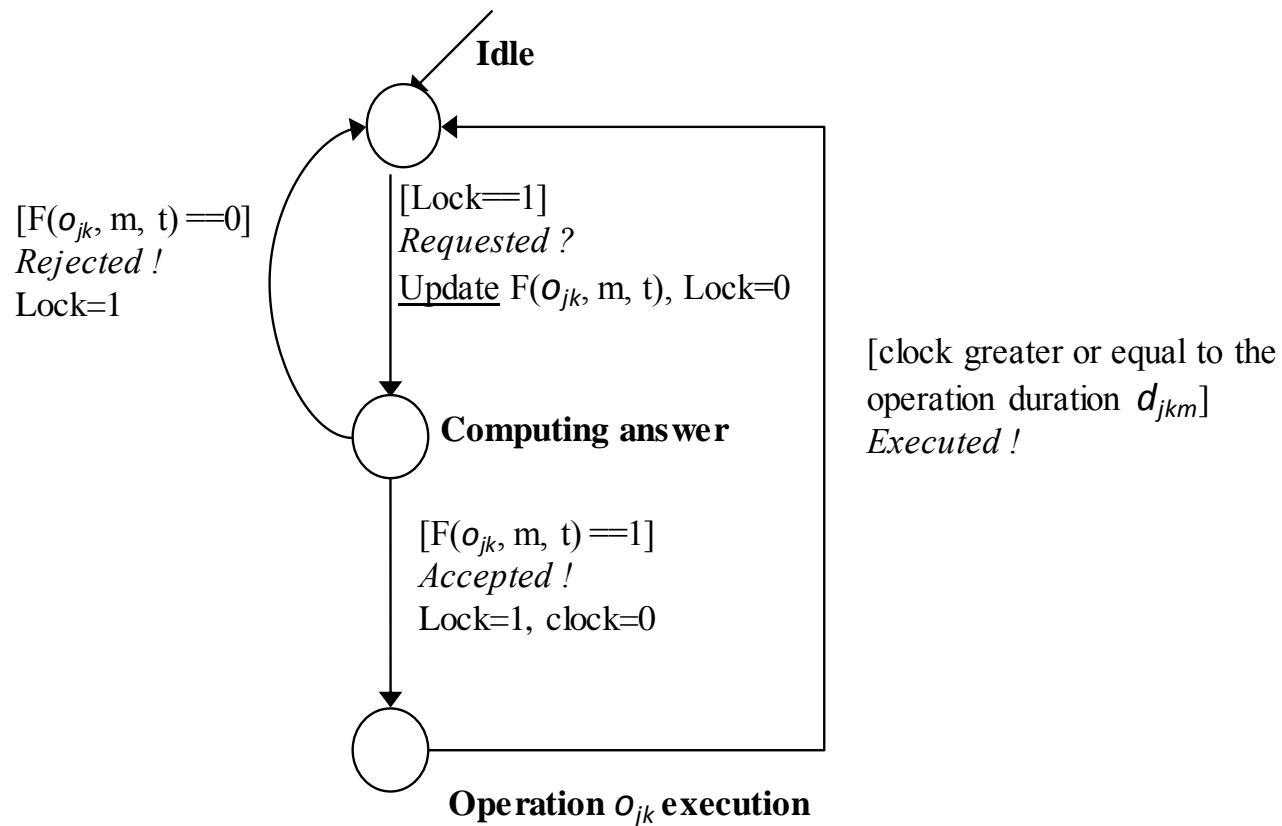
- Patron de modélisation d'un produit



ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

- Patron de modélisation d'une machine

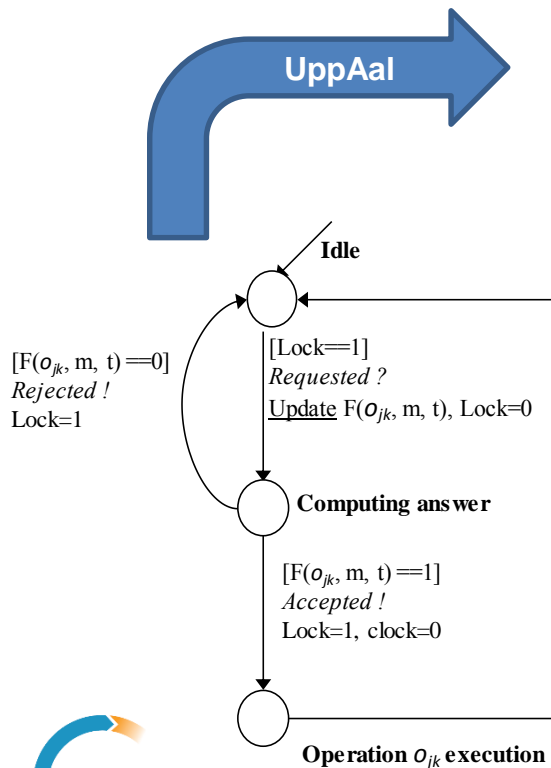
- Utilisation des horloges
 - horloge locale à chaque machine
 - horloge globale pour l'ordonnancement



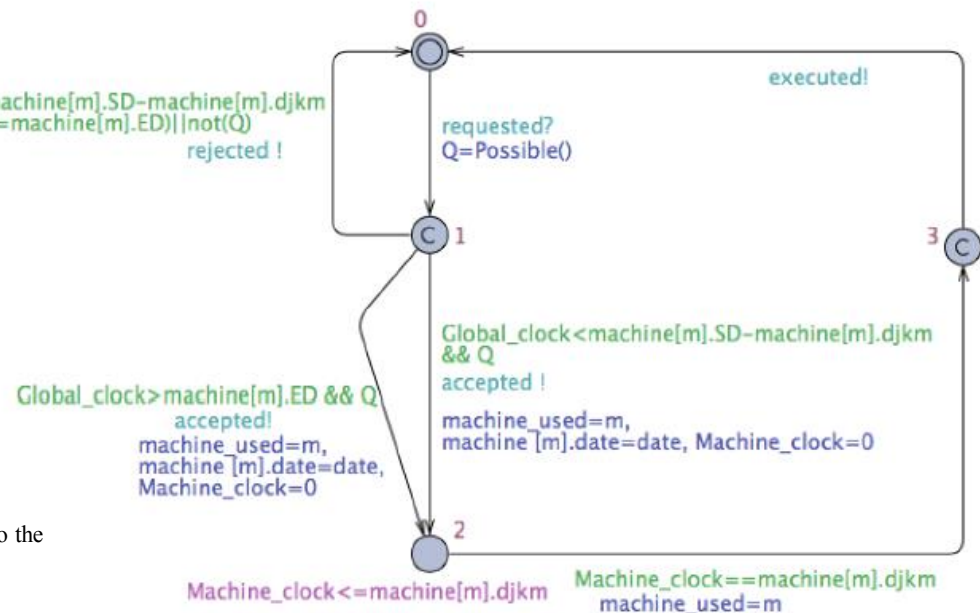
ORDONNANCEMENT RÉACTIF (EN LIGNE)

- **Obtention de l'ordonnancement**

- Un model-checker permet de rechercher l'état dans lequel tous les produits ont été réalisés.
- Analyse de la trace pour retrouver l'ordonnancement
- Utilisation du model-checker UppAal



$[clock\ greater\ or\ equal\ to\ the\ operation\ duration\ d_{jkm}]$
Executed!



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- **Les décisions prises pour le pilotage des systèmes de production se font sous incertitudes**
- **Besoin d'approches pour aider à prendre la bonne décision malgré ces incertitudes**
- **Proposition d'un cadre de modélisation pour des décisions robustes**
 - Permet d'identifier des problèmes de robustesse pertinents et de les définir comme des problèmes « classiques »
 - MAIS nécessite d'avoir un modèle des incertitudes/perturbations attendues
 - Besoin de coupler cette approche à une approche réactive
- **Proposition d'utiliser les outils SED pour l'ordonnancement d'ateliers flexibles**
 - Modèles modulaires et naturels (états des produits et des machines)
 - Génériques
 - Evolutifs (ajout de nouvelles contraintes)
 - MAIS besoin d'expérimenter encore pour comparer aux approches classiques



SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Les automates communicants pourraient-ils faire un outil de modélisation pertinent pour les systèmes multi-agents ?





Prise en compte des incertitudes pour le pilotage des systèmes de production

Deux approches complémentaires

Journées STP

19 mai 2016 – Groupe IMS2

Alexis Aubry



UMR
7039



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

