

EVALUATION DE LA ROBUSTESSE D'UN ORDONNANCEMENT SOUMIS À DES PANNES MACHINE- UNE APPROCHE BASÉE SUR LES SED STOCHASTIQUES

Sara HIMMICHE^{1,2}, Alexis AUBRY^{1,2}, Pascale MARANGE^{1,2}, Jean-François PETIN^{1,2}

¹ Université de Lorraine, CRAN, UMR 7039, F-54506 Vandœuvre-lès-Nancy

² CNRS, CRAN, UMR 7039, France

{sara.himmiche, pascale.marange, alexis.aubry, jean-francois.petin}@univ-lorraine.fr

AM2I

INS2I
INSIS

CONTEXTE

C Evolution industrielle → Industrie 4.0

- C Plusieurs exigences:
 - C Flexibilité et agilité,
 - C Perturbations

C Problématique: Ordonnancement de la production dans ce contexte en considérant les perturbations.

C Questions de recherche:

- C Comment prendre en considération les perturbations?
- C Comment modéliser le comportement d'un ordonnancement perturbé?
- C Comment évaluer la performance de l'ordonnancement?

C Hypothèse de recherche:

- C L'utilisation des SED **stochastiques** et la vérification statistique pour évaluer la robustesse d'un ordonnancement soumis à des perturbations

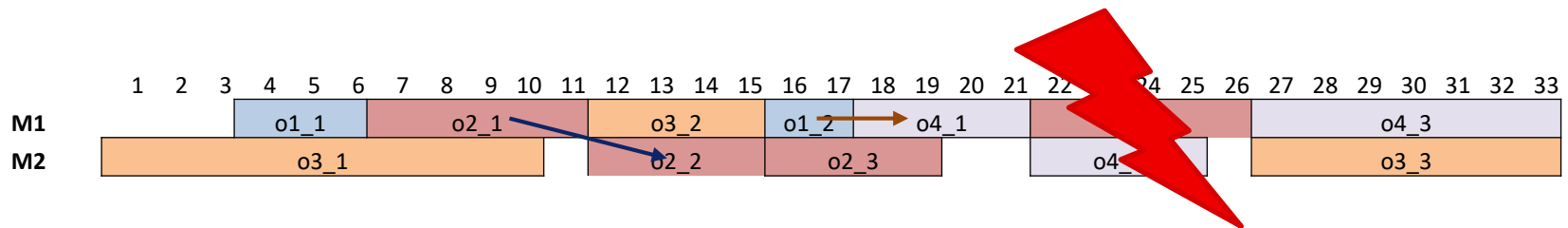
INTRODUCTION : L'ORDONNANCEMENT DE PRODUCTION

C Un atelier de production :

- C Atelier (Job Shop, Flow Shop, Open Shop) est un ensemble de machines et de jobs (tâches).
- C Chaque job a besoin d'un ensemble d'opérations pour être réalisé.

C Un ordonnancement de production S :

- C Allocation des opérations aux machines adaptées .
- C Séquencement des opérations sur les machines (dates de début et de fin).
- C Durée totale de l'ordonnancement C_{max} .
- C Contraintes de précédence:
 - C Précédence contrainte par la gamme du job,
 - C Précédence contrainte par la séquence des opérations sur la machine.



C Quel est l'impact de la perturbation sur un ordonnancement prédictif ?

PRISE EN COMPTE DES PERTURBATIONS

C Identification:

C Plusieurs types de perturbations:

	Incertitude	Aléa
Système	Durée d'exécution d'opérations, Durée de réparation, ...	Panne machine, Produit défectueux, ...
Environnementale	Demande client, Durée de livraison, d'approvisionnement, ...	Rupture d'approvisionnement, Arrivée de commande urgente, ...

C Modélisation:

C Stochastique: les perturbations sont des variables aléatoires qui suivent des distributions de probabilité définies.

C Prise en compte:

C Proactif: prendre en compte des perturbations hors ligne pour construire des solutions qui résistent aux perturbations

C Evaluer la performance d'une solution d'ordonnancement en considérant les perturbations.

ROBUSTESSE EN ORDONNANCEMENT

C Définition:

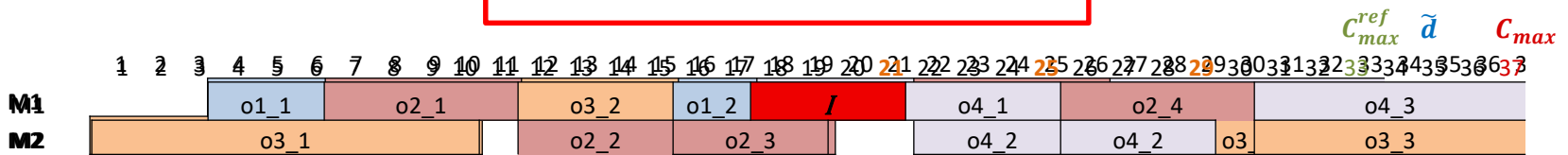
- Une solution est dite robuste si sa performance est peu sensible aux perturbations (Billaut et al., 2008).

C Mesure de robustesse:

- Niveau de service ou niveau de robustesse (Dauzère-Pérès et al., 2008): « La probabilité qu'un critère est inférieur (ou supérieur) à une valeur donnée »
 - Le critère ici est la durée totale de l'ordonnancement (Makespan) C_{max}
 - La valeur donnée est ici une deadline qui doit être respectée \tilde{d} .

C Formellement:

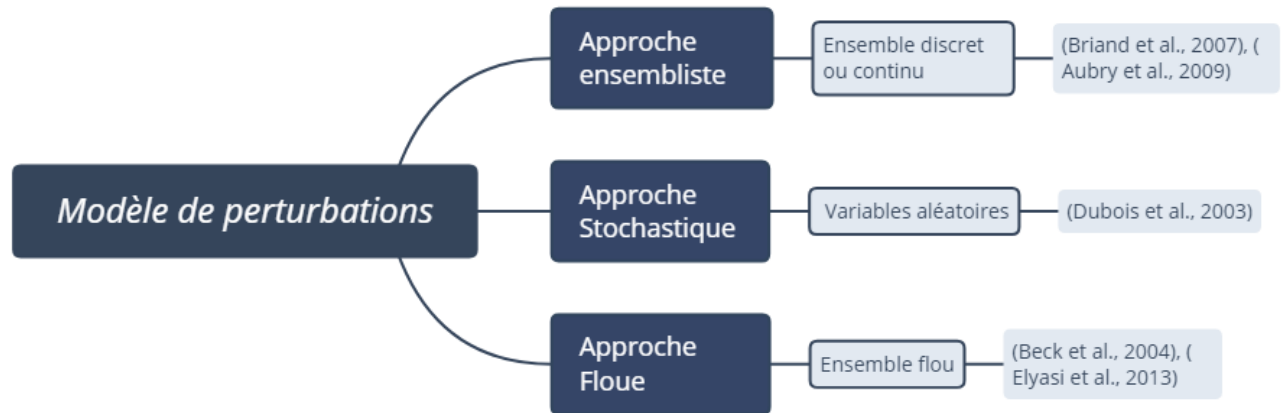
$$\Pr(C_{max}(S, I) \leq \tilde{d})$$



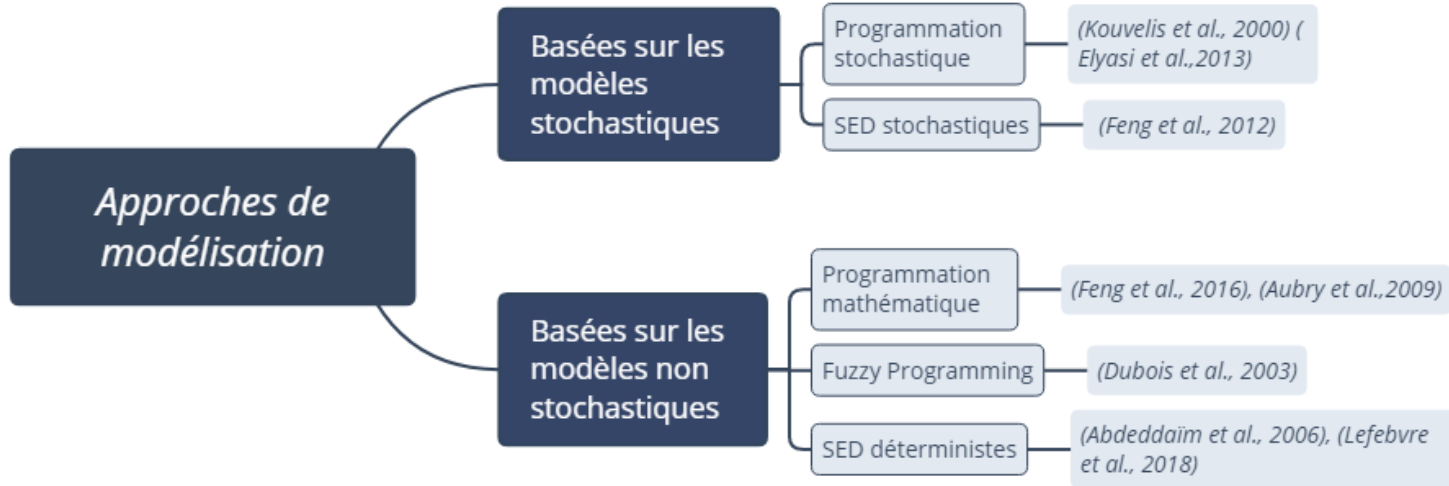
- Cette métrique mesure la probabilité Pr que le Makespan $C_{max}(S, I)$ d'un ordonnancement S exposée à des perturbations I soit inférieur ou égal à une deadline définie \tilde{d} .

ÉTAT DE L'ART

C Description des perturbations:

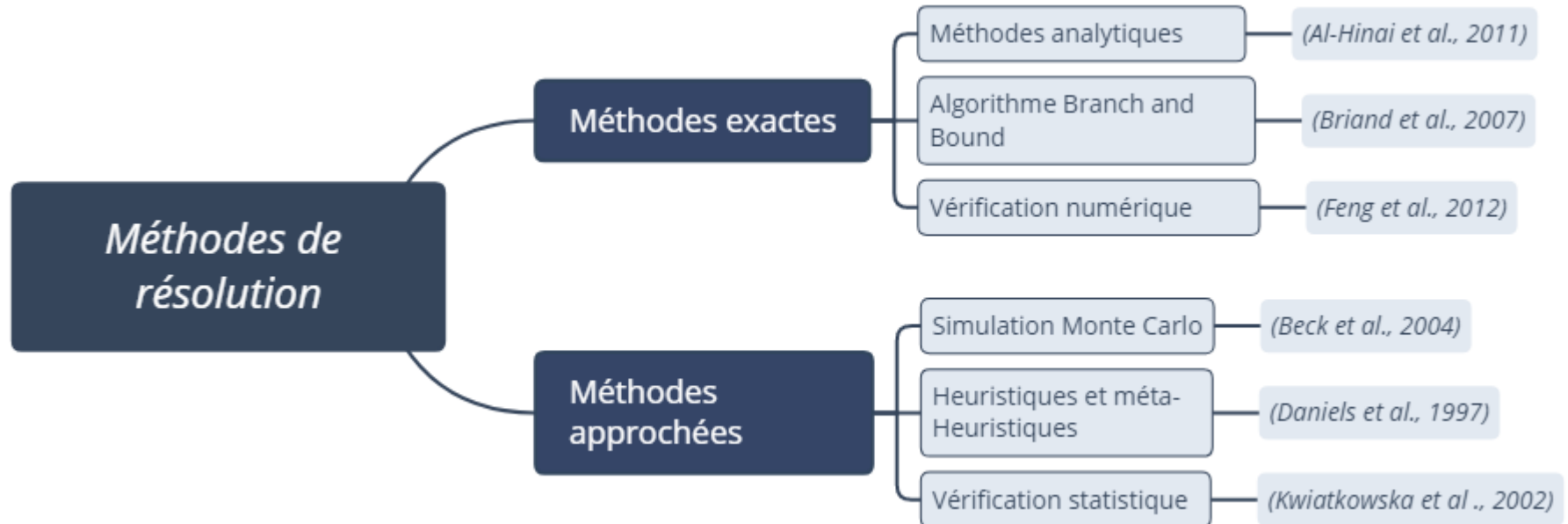


C Modélisation du problème:



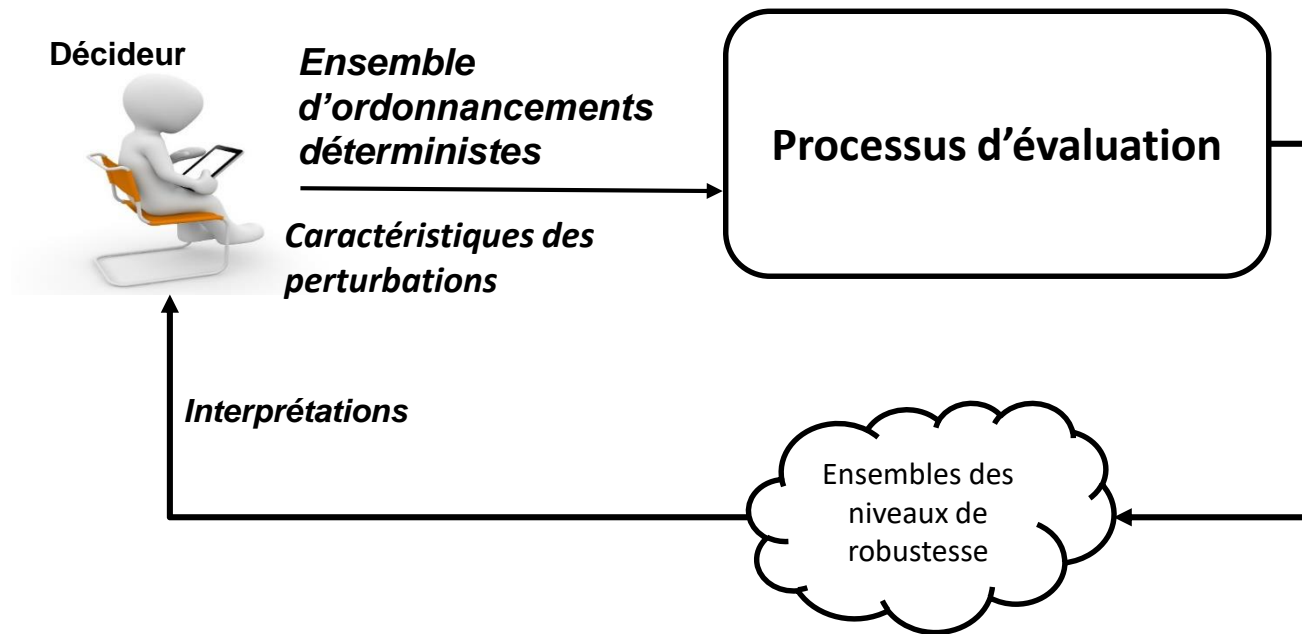
ÉTAT DE L'ART

➤ Résolution du problème:



➔ Une approche basée sur les modèles SED stochastiques et la vérification statistique .

APPROCHE PROPOSÉE



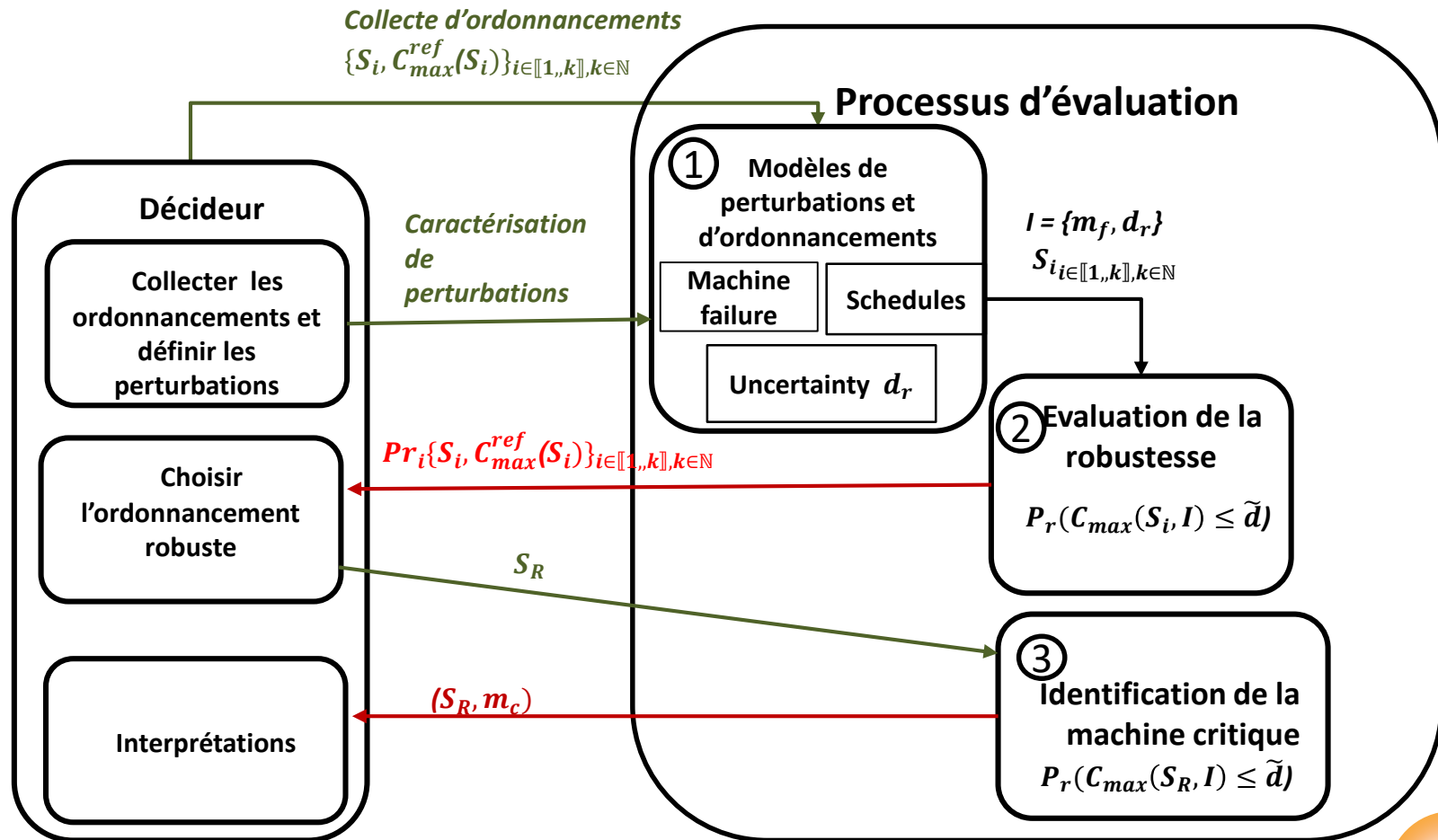
C Caractéristiques des perturbations de type panne machines:

- C Une seule machine peut tomber en panne dans l'horizon d'ordonnement,
- C Parc homogène de machines: la machine en panne est choisie uniformément dans M
- C Durée de réparation: suit une distribution de probabilité dans $[d_r^{min}, d_r^{max}]$

APPROCHE PROPOSÉE

C Principe de l'approche:

- C Une approche à trois étapes intégrant le décideur dans le processus d'évaluation

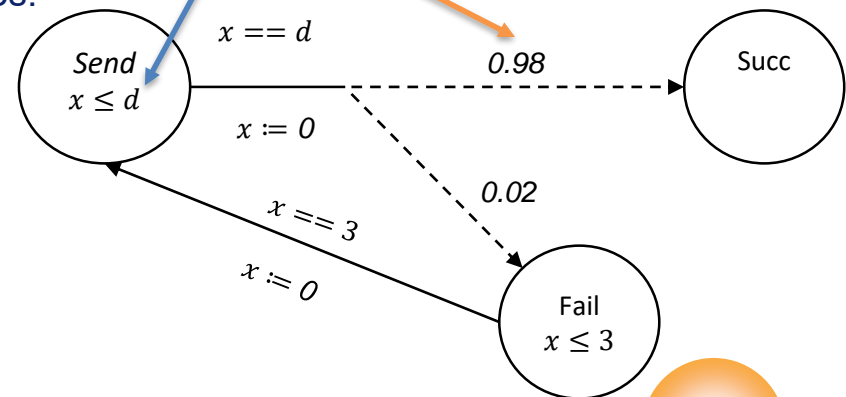


MODÉLISATION

SED stochastiques – Automates temporisés stochastiques

Un automate temporisé stochastique est un tuple $A = (L, V, E, H, Inv, P, T, L_m, l_0, v_0)$:

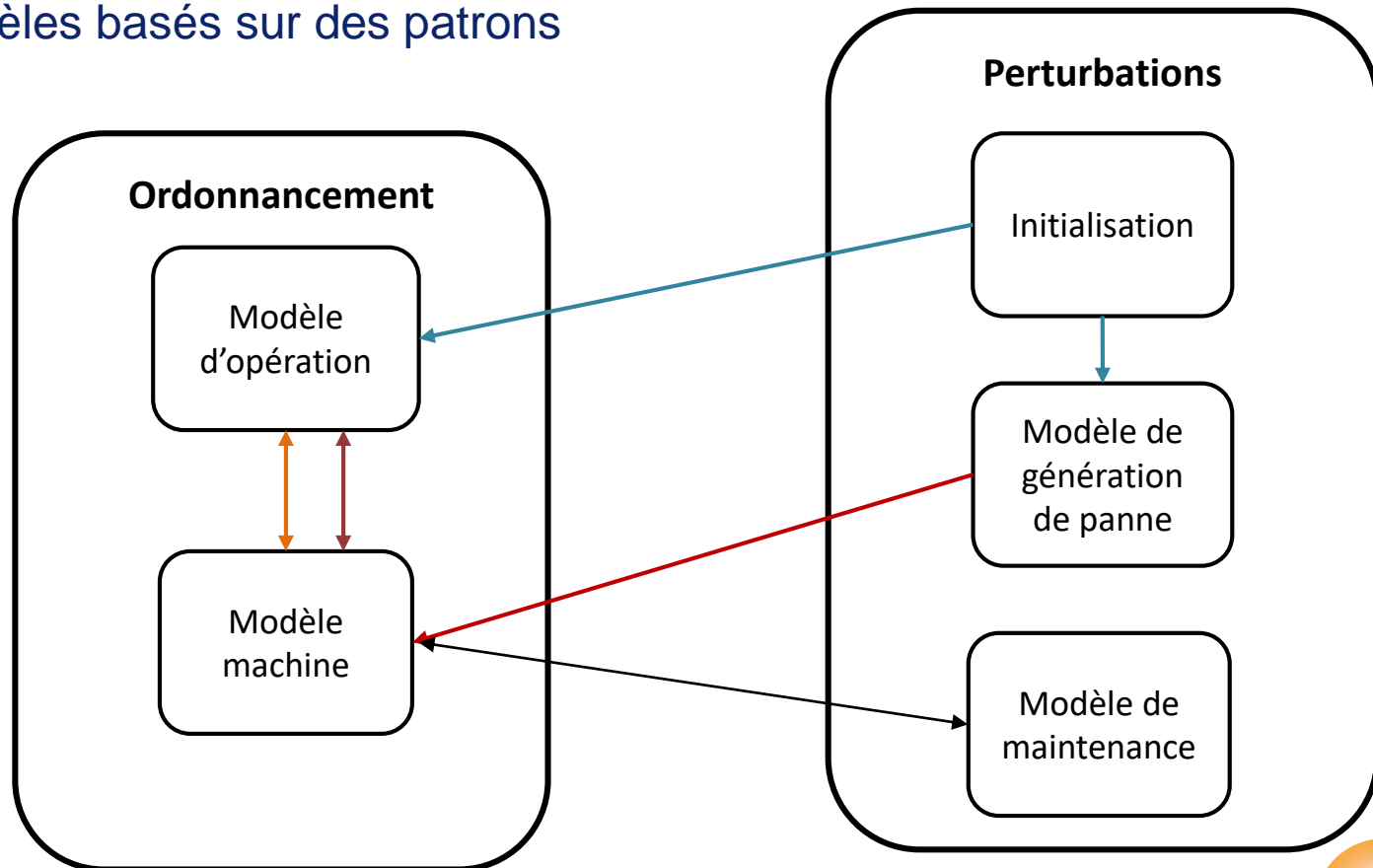
- L est un ensemble fini de localités.
- V est un ensemble fini de variables.
- E est un ensemble fini d'événements synchronisant.
- H est un ensemble d'horloges.
- Inv est un ensemble d'invariants (conditions sur les horloges dans les locations)
- P est un ensemble fini de probabilités: **discrètes** ou **continues**
- T est un ensemble de transitions $(l; e; g; m; l') \in L \times E \times G \times M \times L$.
- $L_m \in L$ est l'ensemble de localités marquées.
- l_0 est la localité initiale de l'automate.
- v_0 est le vecteur d'initialisation des variables.



MODÉLISATION DU PROBLÈME

C Approche de modélisation:

- C Modularité
- C Modèles communicants
- C Modèles basés sur des patrons

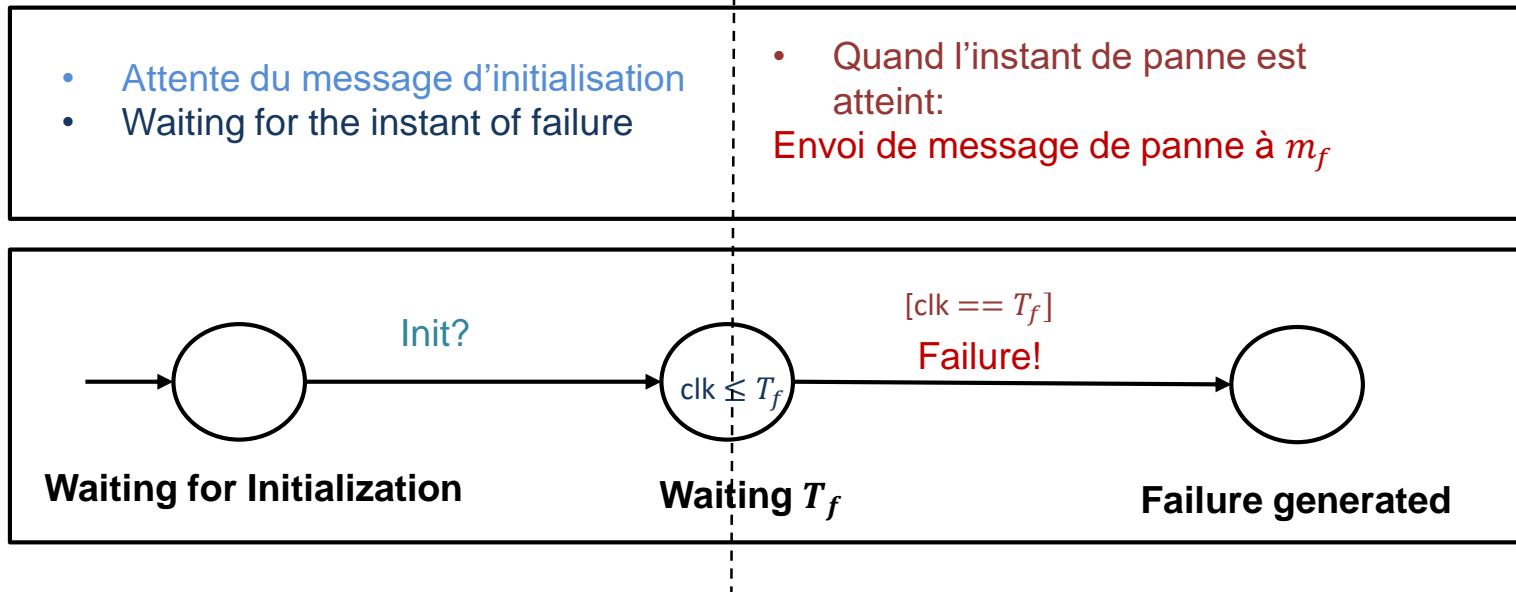


MODÈLES DE PERTURBATIONS

C Initialisation:

- C Une fonction aléatoire est exécutée pour le choix uniforme de machine en panne m_f .
- C L'instant de panne T_f est choisi uniformément dans les intervalles actifs de m_f
- C Envoi du message d'initialisation à (O) et (FG)

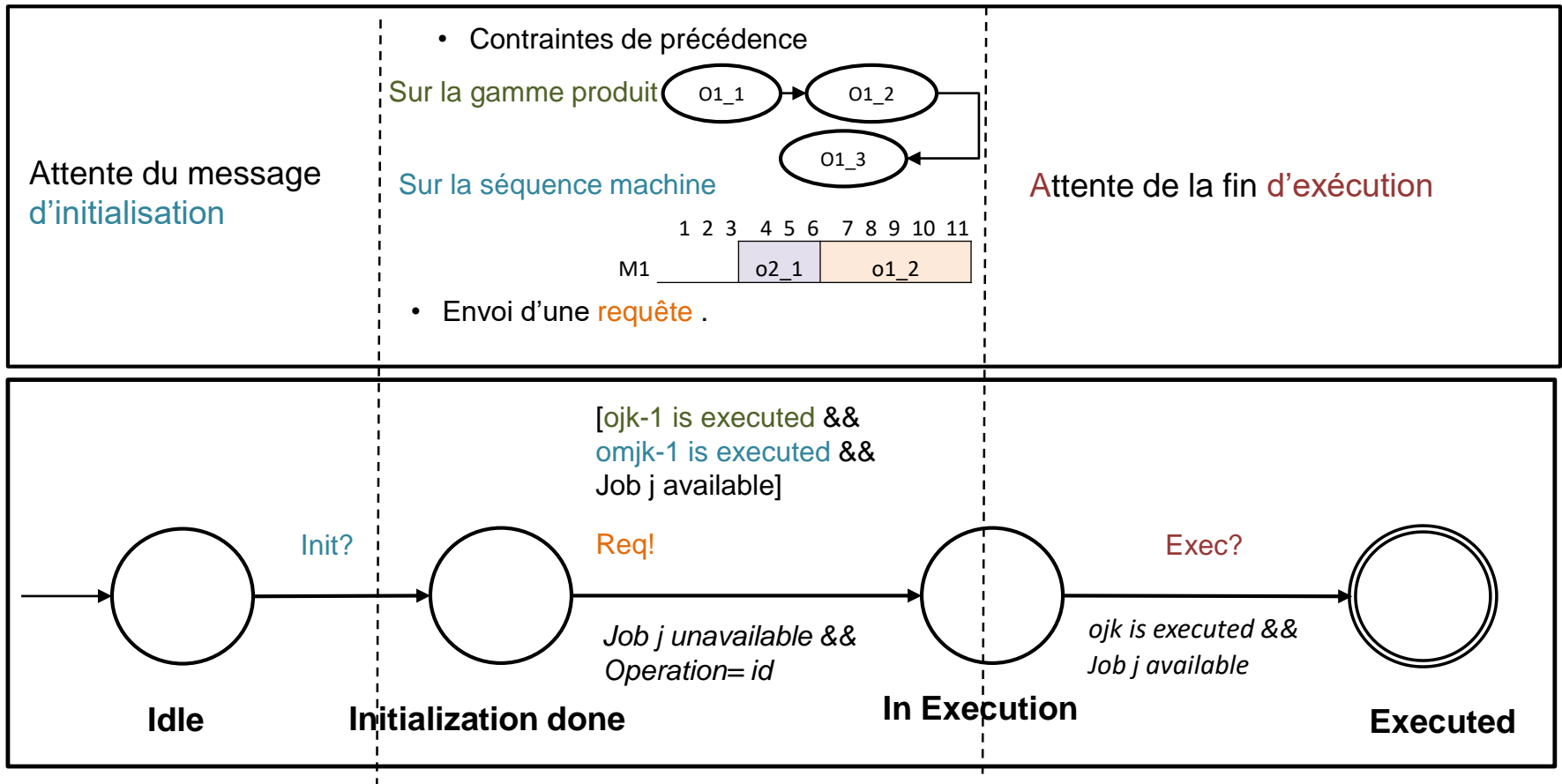
C Génération de panne (FG)



MODÈLE ORDONNANCEMENT

C Patron d'opération (O):

C Comportement de l'opération durant l'exécution de l'ordonnancement.

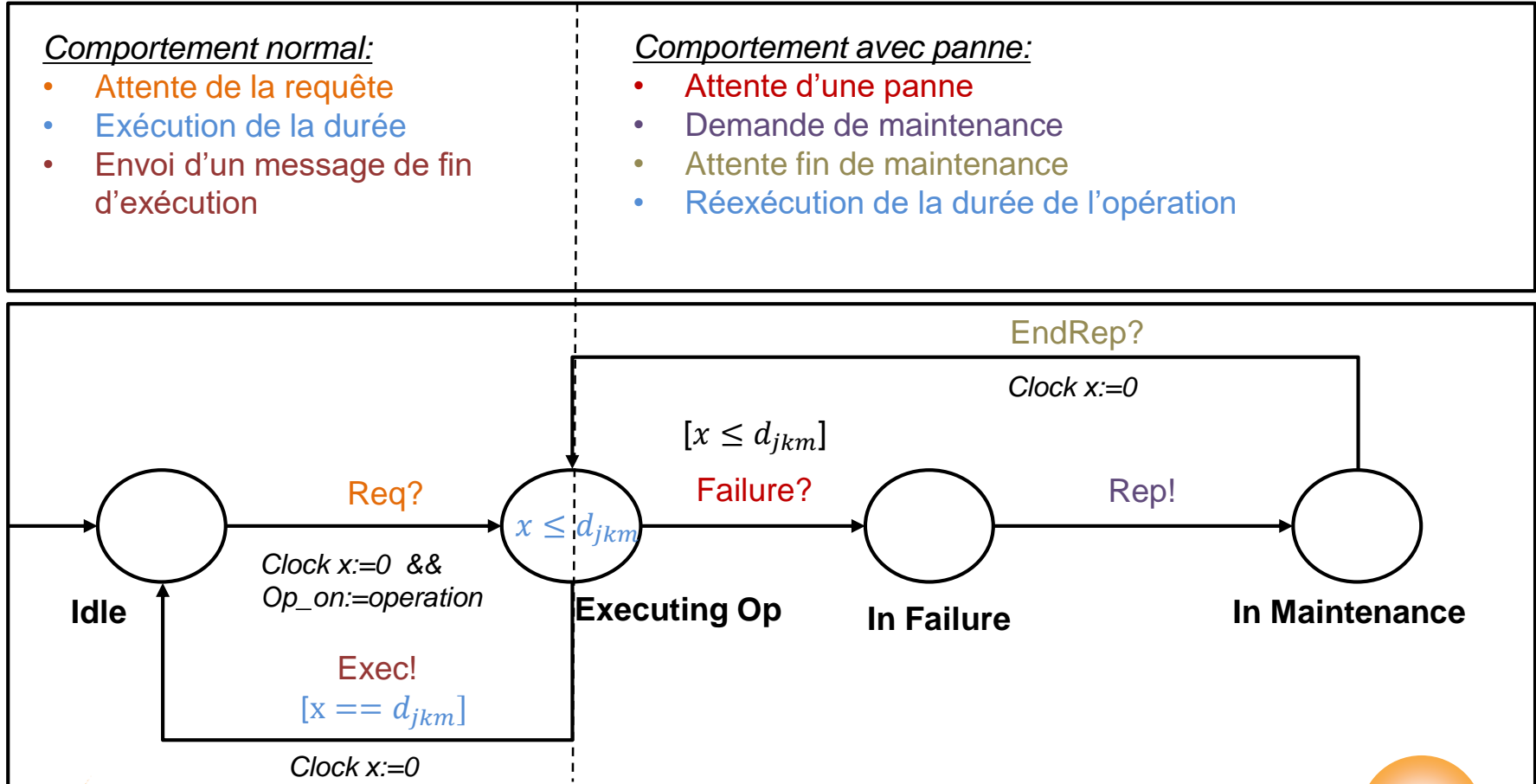


MODÈLE ORDONNANCEMENT

C Pattern machine (M):

C Deux comportements :

C Avec / ou sans panne.



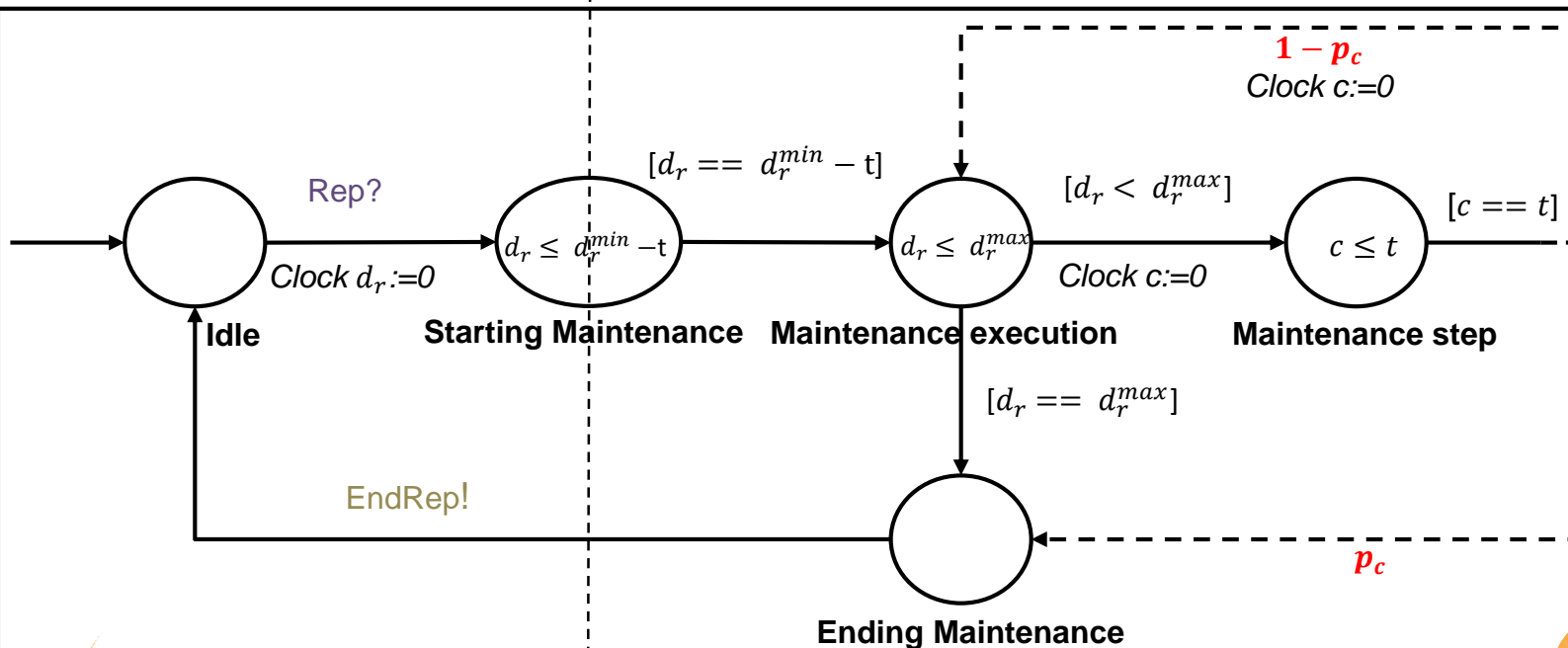
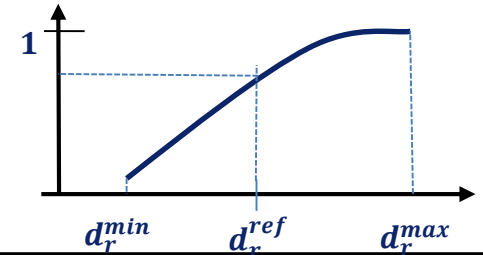
MODÈLE DE PERTURBATIONS

Patron de maintenance(MA):

- Attente de demande de maintenance
- Envoi du message de fin de maintenance.

- La durée de réparation suit une distribution de probabilité géométrique et tronquée:

$$\Pr(d_r = d + d_r^{min}) = (1 - p_c)^{d-1} p_c$$



EVALUATION

C L'objectif d'évaluation:

C Probabilité $\Pr(C_{max}(S_i, I) \leq \tilde{d})$ est calculé pour chaque S_i face à une panne machine aléatoire.

→ Mesure de la robustesse des ordonnancements Pr_i

C Evaluation par vérification statistique:

C Propriété à vérifier en langage PCTL [Baier et al, 1998]:

$$\Pr(C_{max}(S_i, I) \leq \tilde{d}) \rightarrow P =? [F \leq \tilde{d} \text{ "All operations } o_{jk} \text{ are Executed"}]$$

C Quelle est la probabilité que toutes les opérations atteignent leur localité marquée **Executed** avec une durée inférieure ou égale à une deadline donnée \tilde{d}

C Principe de la méthode de résolution:

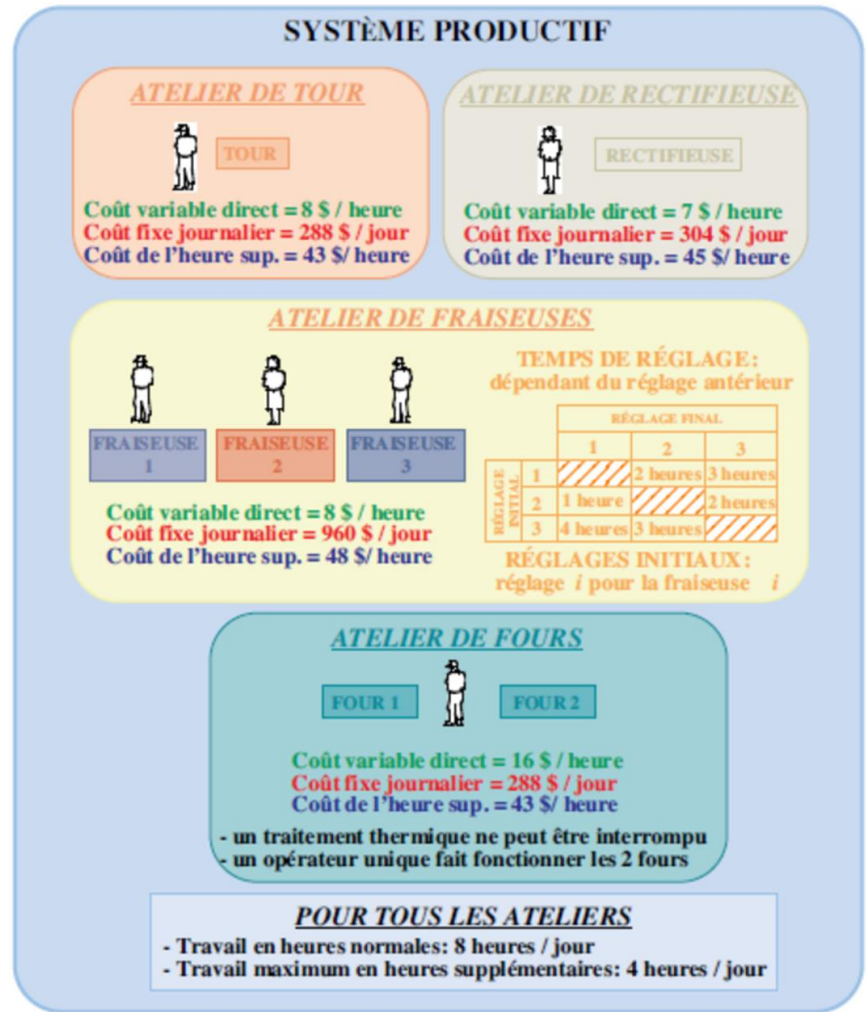
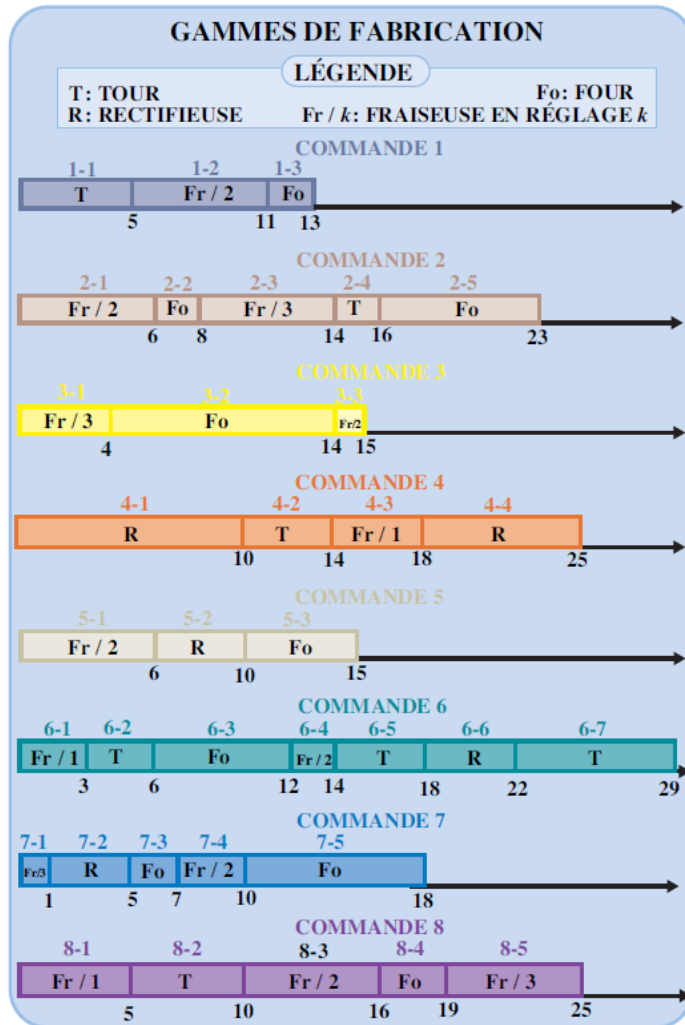
C Approche par simulation

→ Résultats approchés dans un intervalle de confiance

→ A chaque itération: réinitialisation de la machine qui tombe en panne ainsi que de la durée.

APPLICATION

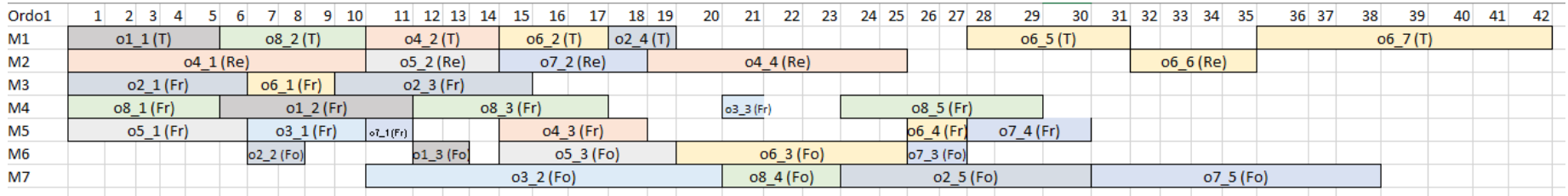
C Etude de cas académique adaptée de [Giard, 2003]



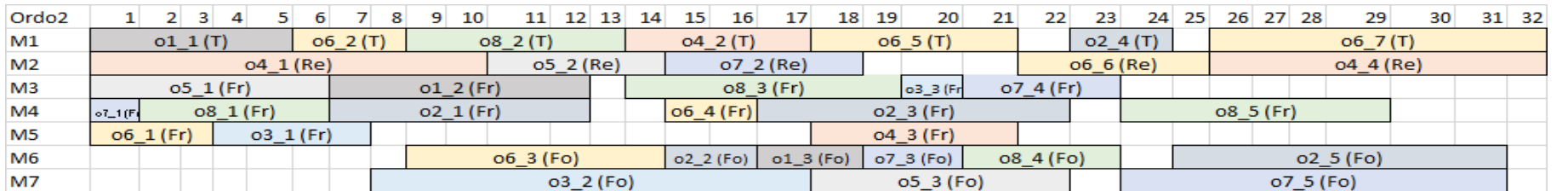
APPLICATION

Collecte des ordonnancements prédictifs déterministes:

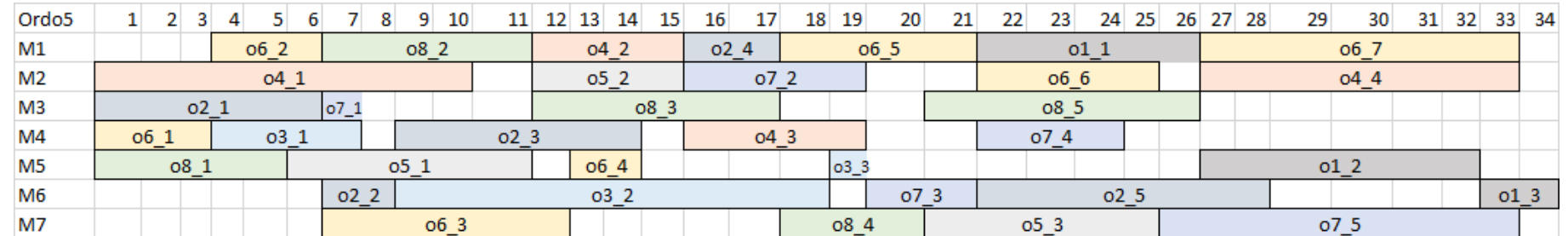
$C_{max}^r = 42UT$



$C_{max}^r = 32UT$



$C_{max}^r = 34UT$



APPLICATION

C Les modèles ATS et la formule PCTL sont implantés dans UppAal SMC (David et al., 2015)

C Paramètres d'application:

C Durées de réparation sont compris dans l'intervalle $[5, 10] \rightarrow d_r^{min} = 5$ et $d_r^{max} = 10$

C Deadline est choisie par le décideur : $\tilde{d} = C_{max}^{ref} + d_r^{max}$

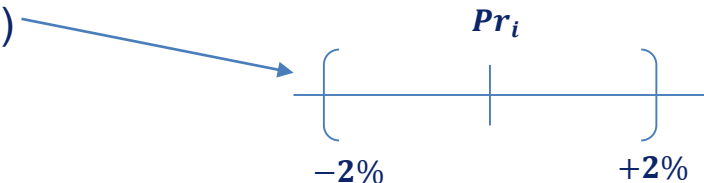
C Paramètres UppAal SMC:

C Intervalle de confiance (98%)

C Précision (99%)

$$Pr_i = 9, \dots \dots \dots$$

99%



RÉSULTATS

Évaluation de la robustesse:

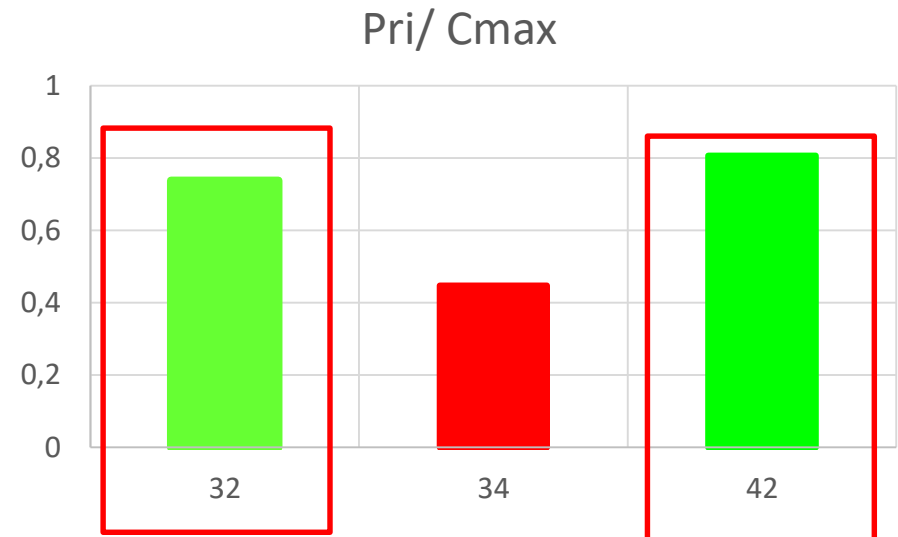
Différents Pr_i :

S	C_{max}^{ref}	\tilde{d}	Pr	Simulation	Time
1	32	42	0,7372	10580	33,17s
2	34	44	0,4476	13478	54,30s
3	42	52	0,8067	8530	21,512s

Plusieurs choix possibles:

Basé sur le niveau de robustesse Pr_i ,

Basé sur le compromis entre C_{max} et Pr_i .



CONCLUSION

C L'approche proposée:

- C Evalue la robustesse d'ordonnancement proactifs face à une panne machine avec une incertitude sur les durées de réparation.
- C Aide le décideur à choisir l'ordonnancement robuste et à définir la machine critique dans ce dernier:
 - C Garantir la performance de l'ordonnancement choisi.
 - C Planifier la maintenance préventive.

C Avantages :

- C Généricité par rapport au type d'atelier.
- C Adaptabilité à différentes perturbations:
 - C Aléa: Panne machine.
 - C Incertitudes : sur les durées d'exécution (Himmiche et al., 2017)

PERSPECTIVES

C Expérimentation

- C Passage a l'échelle sur un cas d'étude industriel pour évaluer l'applicabilité de l'approche.

C Prise en compte de perturbations environnementales:

- C Proactif (Evaluation ou génération de solution)
- C Proactif-Réactif : nécessitant un ré-ordonnancement.

→ Une approche hybride RO et SED est à envisager.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION!

Contact:

sara.himmiche@univ-lorraine.fr

REFERENCES

- C Billaut, J., Moukrim, A., and Sanlaville, E. (2010). Flexibility and Robustness in Scheduling. ISTE.
- C Cassandras, C.G. and Lafortune, S. (2008). Introduction to discrete event systems, second edition. Springer.
- C Dauzere-Peres, S., Castagliola, P., and Lahlou, C. (2013). Service level in scheduling. Flexibility and Robustness in Scheduling, Chapter 5, 99{121.
- C David, A., Larsen, K.G., Legay, A., Mikucionis, M., and Poulsen, D.B. (2015). Uppaal smc tutorial. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 17(4), 397{415.
- C Feng, W., Zheng, L., and Li, J. (2012). The robustness of scheduling policies in multi-product manufacturing systems with sequence-dependent setup times and finite buffers. Computers & Industrial Engineering, 63(4), 1145{1153.
- C Ghezail, F., Pierreval, H., and Hajri-Gabouj, S. (2010). Analysis of robustness in proactive scheduling: A graphical approach. Computers & Industrial Engineering, 58(2), 193{198.
- C Giard, V. (2003). Gestion de la production et des flux: avec CD livre electronique+ Logiciels+ Animations. Economica.
- C Himmiche, S., Aubry, A., Marange, P., DufLOT, M., and Petin, J.F. (2017). Using statistical-model-checking based simulation for evaluating the robustness of a production schedule. 7th Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing: SOHOMA 2017.
- C Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., and Werner, F. (2016). Schedule robustness analysis with the help of attainable sets in continuous ow problem under capacity disruptions. International Journal of Production Research,
- C Kobetski, A. and Fabian, M. (2009). Time-optimal coordination of flexible manufacturing systems using deterministic finite automata and mixed integer linear programming. Journal of Discrete-Event Dynamic Systems: Theory and Applications, 19(3), 287{315.
- C Kouvelis, P., Daniels, R.L., and Vairaktarakis, G. (2000). Robust scheduling of a two-machine ow shop with uncertain processing times. IIE Transactions.
- C Larsen, K.G., Pettersson, P., and Yi, W. (1997). Uppaal in a nutshell. International journal on software tools for technology transfer, 1(1-2), 134{152.
- C Lefebvre, D. (2017). Evaluating the robustness of scheduling in uncertain environment with Petri nets. In VALUETOOLS 2017 - 11th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools. Venice, Italy.
- C Ouelhadj, D. and Petrovic, S. (2009). A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems. Journal of scheduling,.
- C Panek, S., Engell, S., and Stursberg, O. (2006). Scheduling and planning with timed automata. In 16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process Systems Engineering, 1973{1978. Elsevier.
- C Plateau, B. and Atif, K. (1991). Stochastic automata networks for modelling parallel systems. Reo Project.
- C Xiong, J., Xing, L., and Chen, Y. (2013). Robust scheduling for multi-objective flexible job-shop problems with random machine breakdowns. International Journal of Production Economics, 141(1), 112{126