



RÉÉQUILIBRAGE DYNAMIQUE DES LIGNES D'ASSEMBLAGE



W. RAMDANE CHERIF- KHETTAF

Maître de Conférences

Mines Nancy / Université de Lorraine / LORIA

Wahiba.ramdane-cherif@mines-nancy.univ-lorraine.fr

H. BRIL

Maître de conférences

Université de Lorraine / CRAN

hind.el-houzi@univ-lorraine.fr



SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET ENJEUX

- 1.1 Objectif de l'étude
- 1.2 Contexte industriel
- 1.3 Comment réagir aux aléas ?
- 1.4 Littérature
- 1.5 Hypothèses

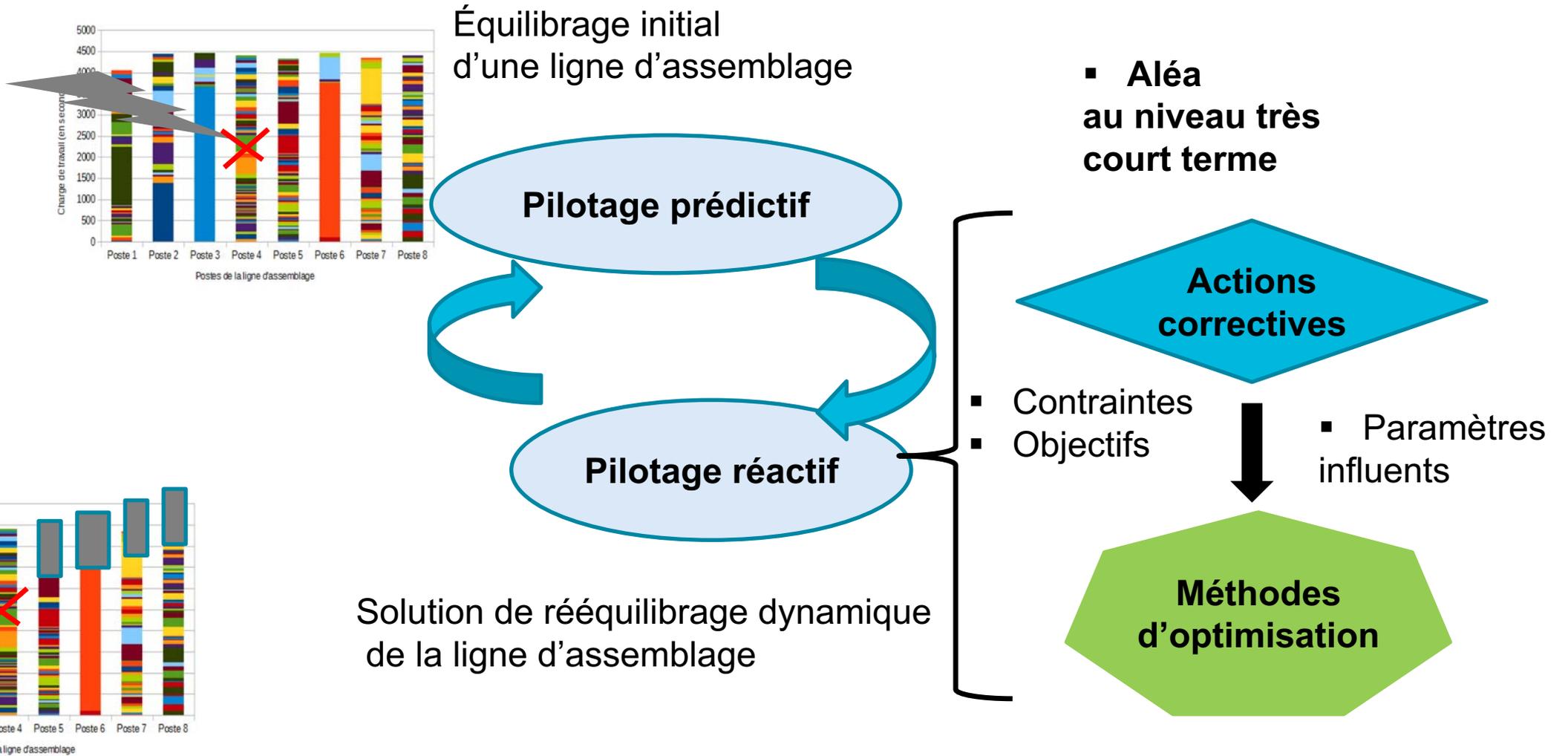
2. FORMALISATION ET RÉOLUTION DU PROBLÈME

- 2.1 Formulation
- 2.2 Principe de la méthode ILS
- 2.3 ILS pour le rééquilibrage de lignes
- 2.4 Cas d'étude
- 2.5 Choix entre plusieurs méthodes

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONTEXTE ET ENJEUX

OBJECTIF DE L'ÉTUDE



CONTEXTE INDUSTRIEL



Produits

Personnalisation de masse

Grande variété

Grand volume de production

Hétérogénéité des clients, et des procédés

Les usines

Demand Flow Technology

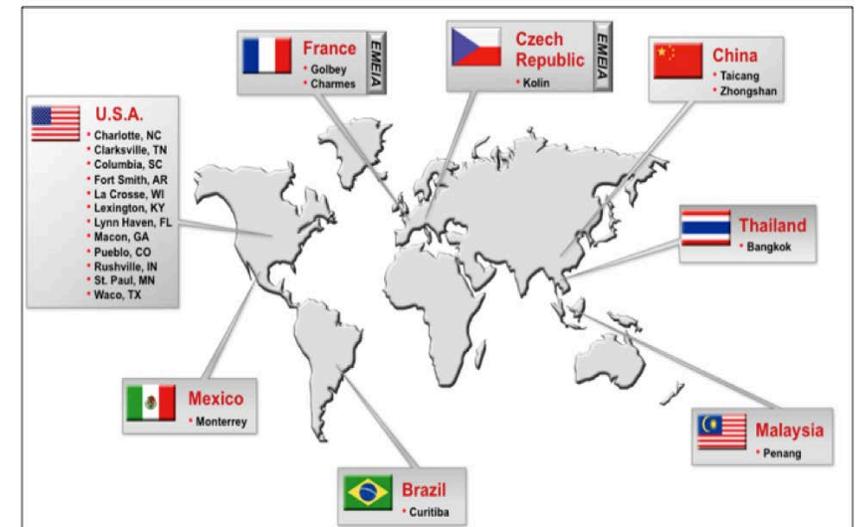
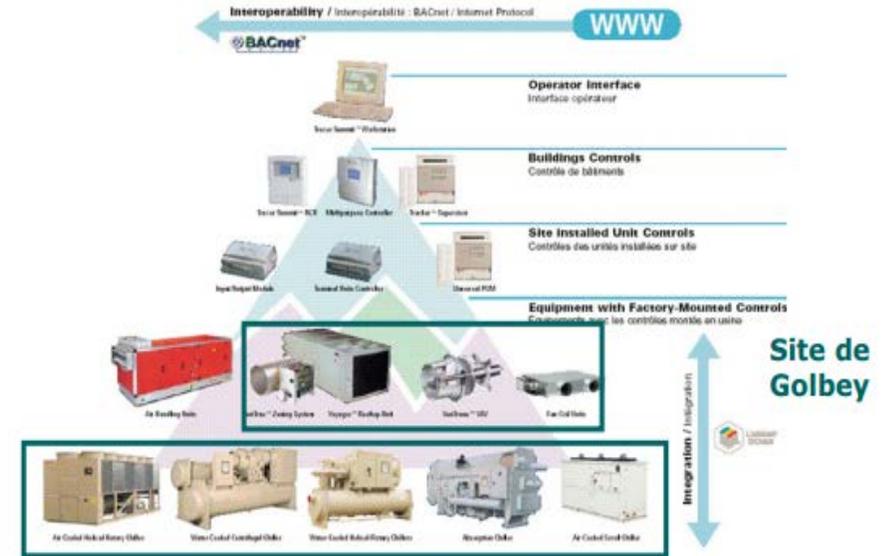
Juste -à-temps

Fréquence de sortie

Takt time =

Temps de production

Nb de produits à fabriquer

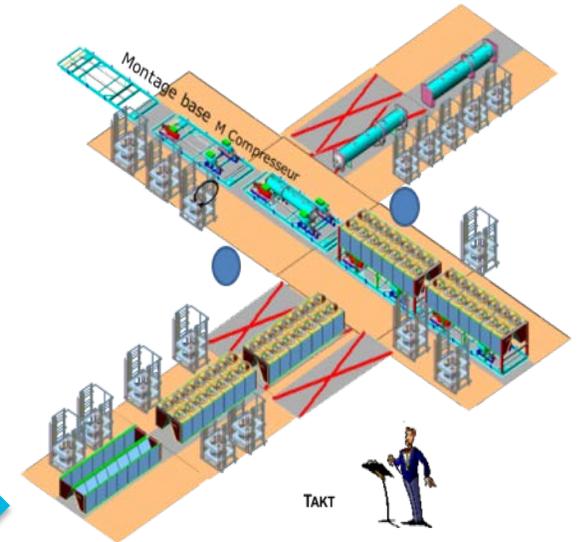
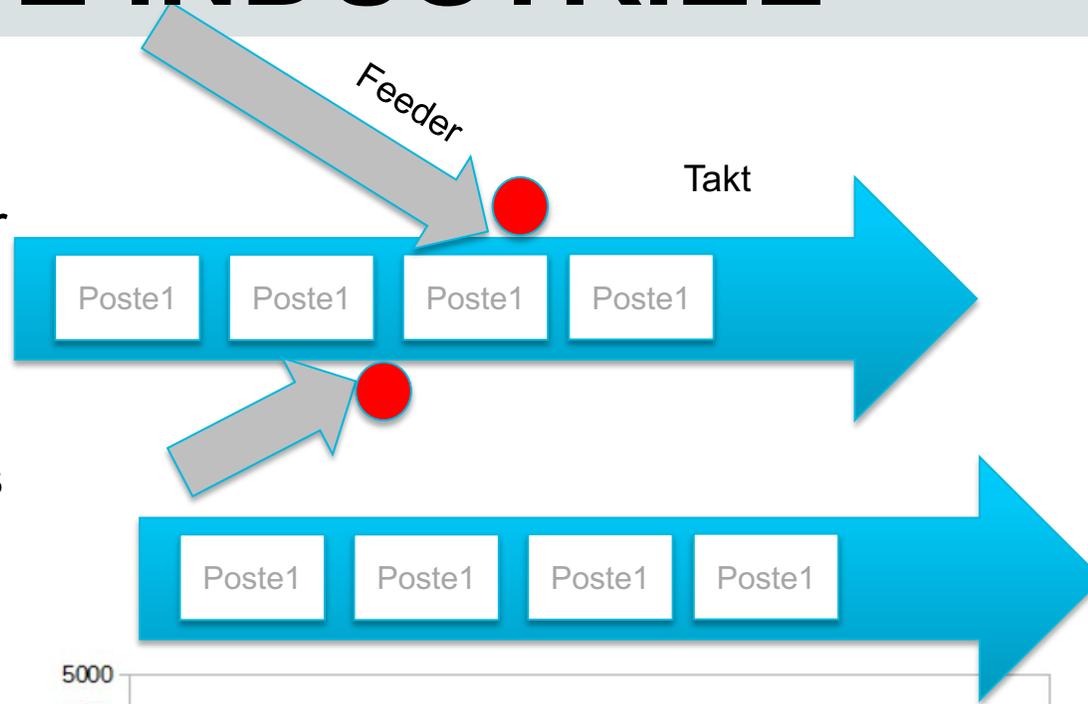


CONTEXTE INDUSTRIEL

Ligne d'assemblage pour une famille de produits

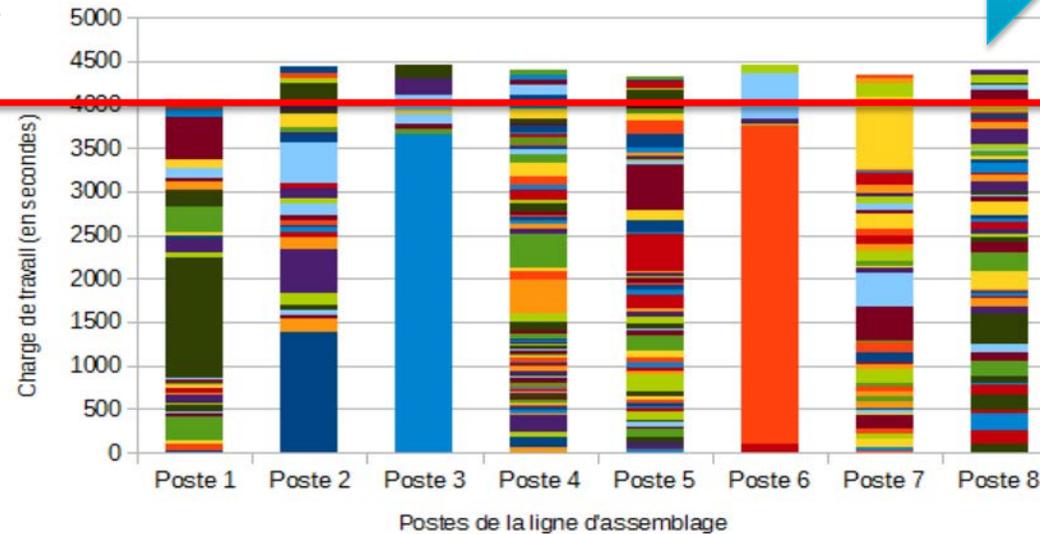
Des lignes secondaires pour les sous-ensembles

Le tout est synchronisé par la notion du takt time

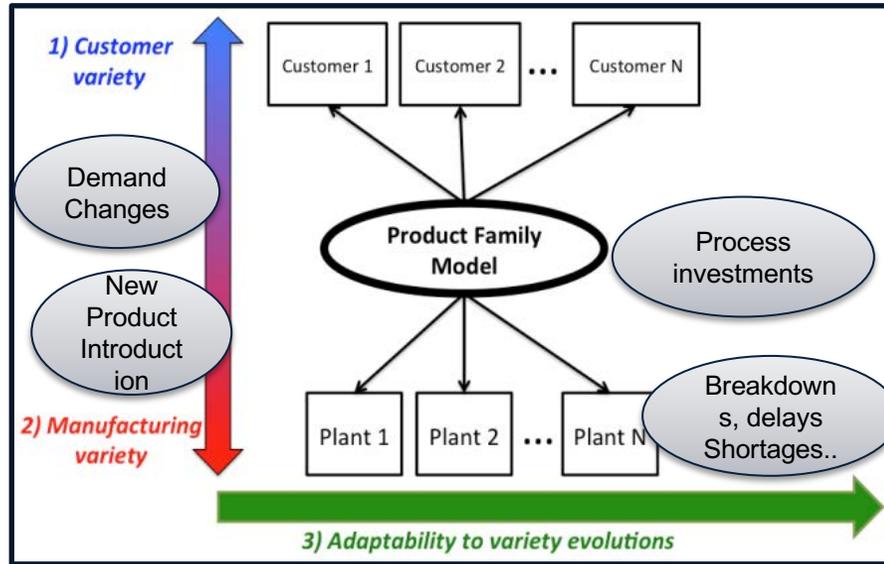


Equilibrage initial

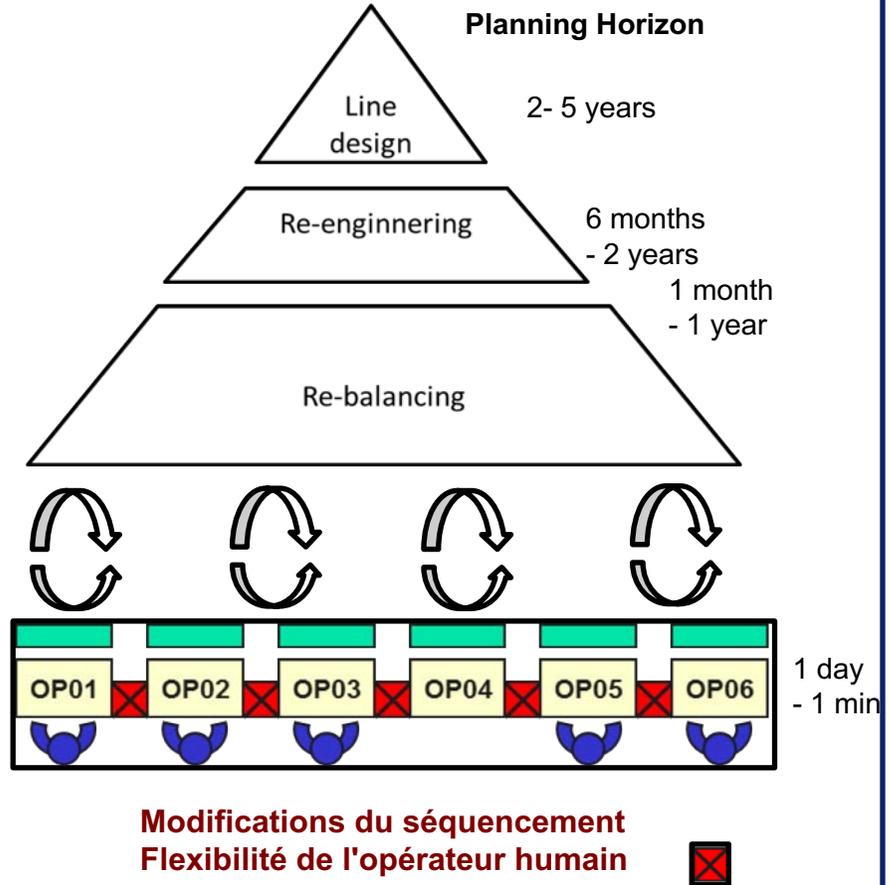
Takt Time



COMMENT RÉAGIR AUX ALÉAS?



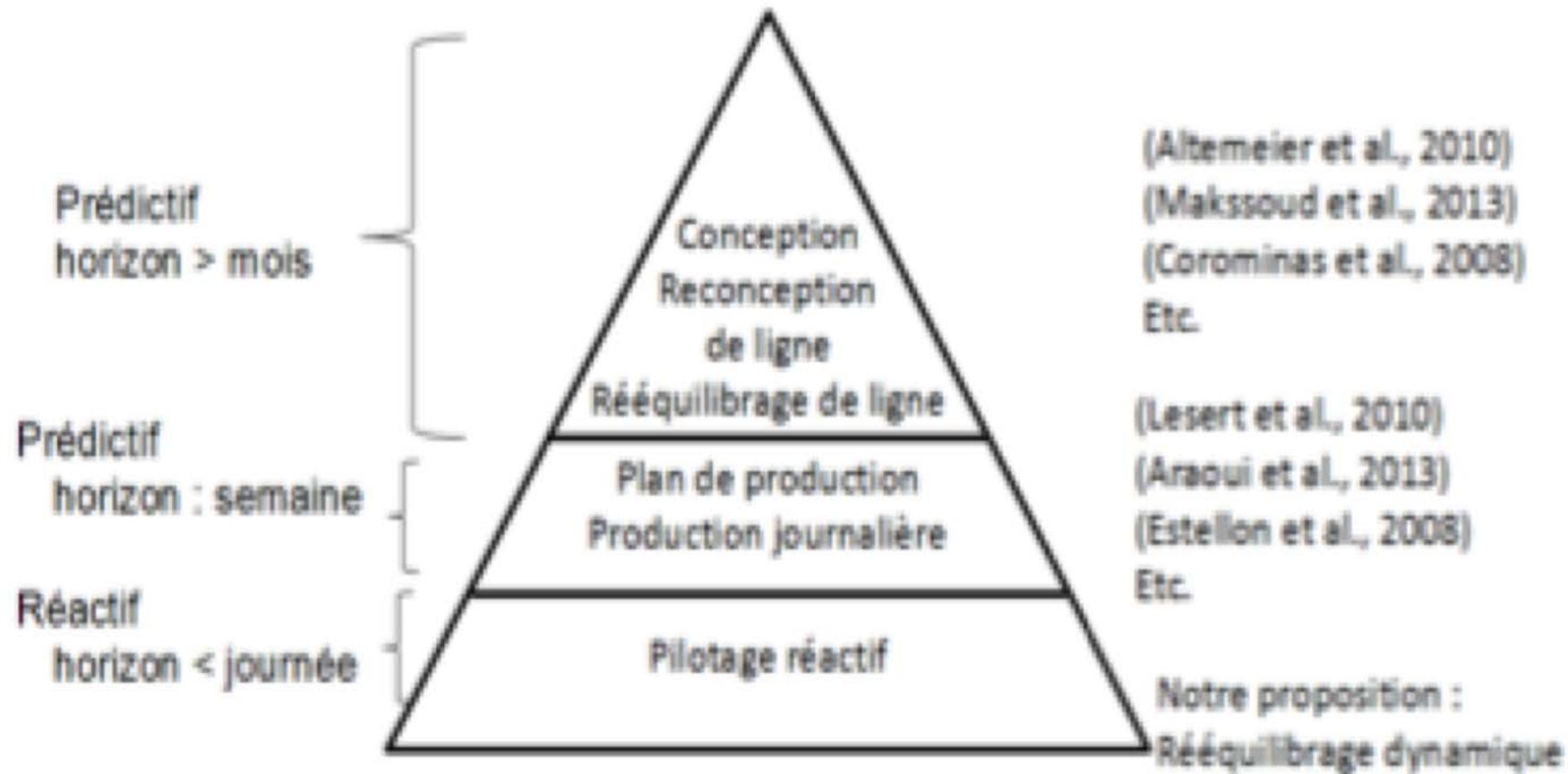
Assemblage de lignes



**EXPLORER LE RÉÉQUILIBRAGE
DYNAMIQUE FACE À DES PERTURBATIONS
À TRÈS COURT TERME**

**SIMPLICITÉ DE MISE EN ŒUVRE POUR FAIRE
FACE À LA VARIÉTÉ DES PROBLÈMES
(DIFFÉRENTES CONTRAINTES, DIFFÉRENTS
NIVEAUX D' ACTIONS)**

COMMENT RÉAGIR AUX ALÉAS?



LITTÉRATURE

Rééquilibrage de lignes d'assemblage

- nouveaux produits
- demande clients
- postes opérateurs
- durée des tâches
- ...

Long terme/ Moyen terme

- Affectation machine/position
- Affectation des ressources humaines
- Utilisation de ressources humaines supplémentaires
- Formation de personnels
- ...

- durée des tâches
- panne de production
- rupture d'approvisionnement
- ...

Court terme

- Reséquencement
- Flexibilité des opérateurs

Gamberini et al. 2006, Miltenburg, 2002,
Gamberini et al. 2009, Araoui et al., 2013,..

ALBP

Classification

(Scholl, 1999 ; Becker and Scholl, 2006 ; Scholl and Becker, 2006 ; Boysen et al., 2007 ; Boysen et al., 2008 ; Battaïa and Dolgui, 2013)

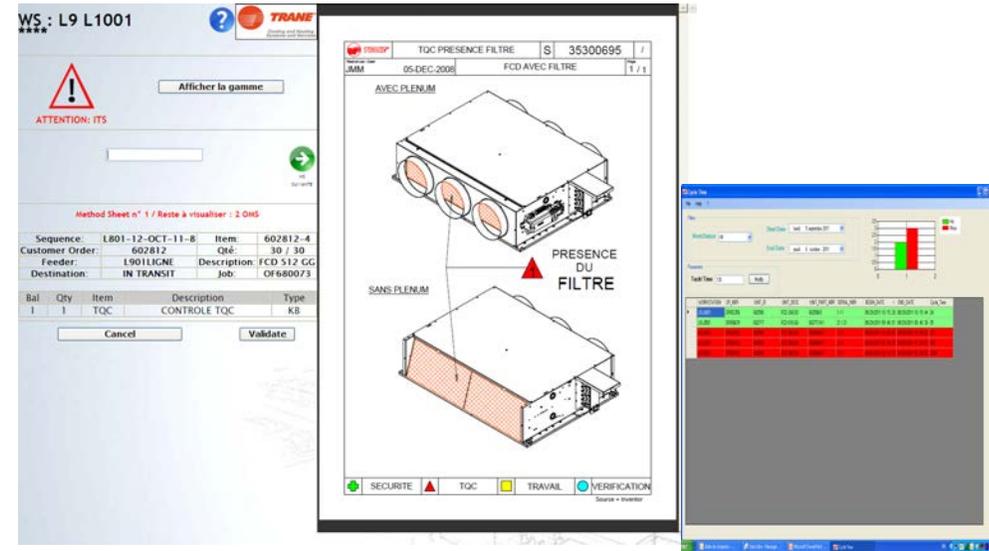
Notre but est donc de proposer une réallocation des tâches à effectuer sur le produit concerné afin que le takt time ne soit pas dépassé.

HYPOTHÈSES

Système piloté par produit

Chaque produit est identifié et son acheminement est connu

Toutes les tâches nécessaires sur chaque poste de travail sont affichées en temps réel



Système de Kitting

Il n'y a pas de problème avec la matière première

Amélioration continue

Flexibilité, travaux standards, multi-compétences....



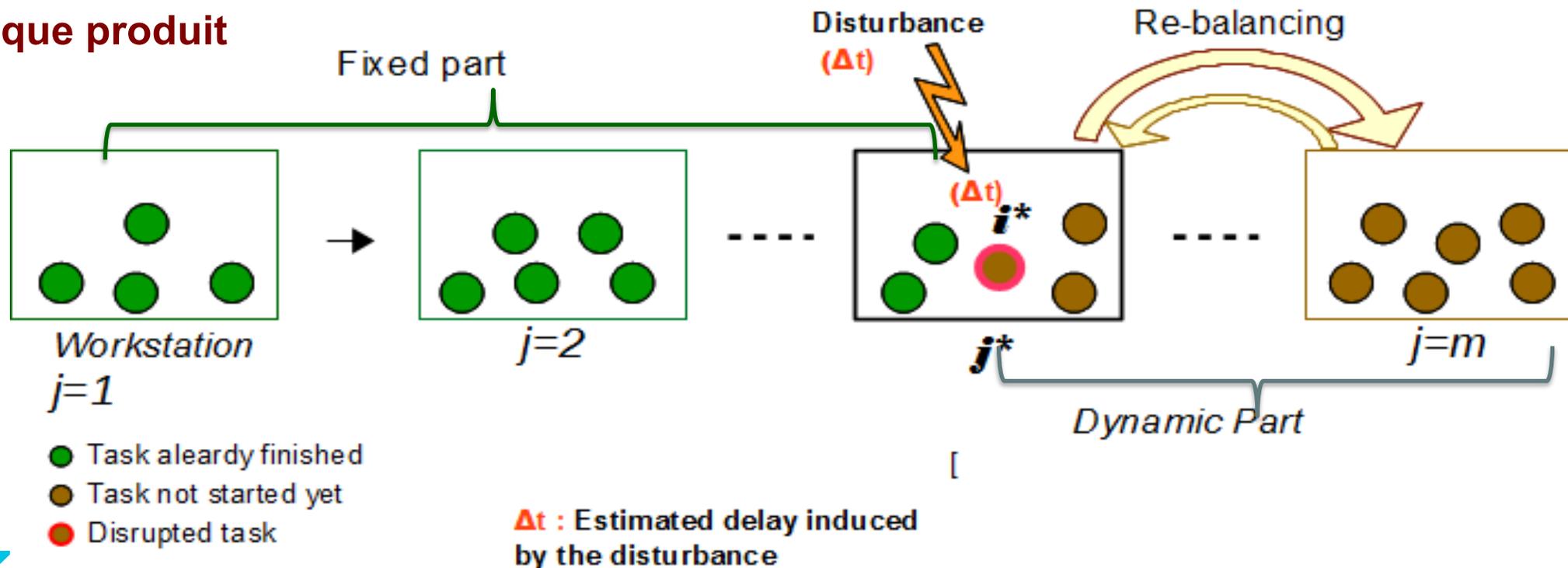
FLUX PHYSIQUE

FORMALISATION ET RÉOLUTION

FORMULATION

- L'équilibrage initial de la ligne a déjà été effectué.
- Le temps de traitement des tâches est constant
- Chaque tâche peut être assignée à n'importe quelle station.
- Le graphique de priorité est donné.

Pour chaque produit



FORMULATION

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if task } i \text{ is assigned to workstation } j; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\min \max_{j \in J^*} St_j$$

s.t.

$$x_{ij_0} = 1, \forall i \in A_{j_0} \setminus I^*$$

$$x_{ij} = 0, \forall i \in A_{j_0} \setminus I^*, \forall j \in J^* \setminus \{j_0\}$$

$$\sum_{j \in J^*} x_{ij} = 1, \forall i \in I^*$$

$$\sum_{j \in J^*} p_{ii'j} x_{ij} \leq \sum_{k \in J^*} p_{ii'k} x_{i'k}, \forall i, i' \in I^*, i \neq i'$$

$$St_j = \sum_{i \in I^* \cup A_{j_0}} (t_{ij} + \Delta t_{ij}) x_{ij}, \forall j \in J^*$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in I^* \cup A_{j_0}, \forall j \in J^*$$

} Fixer la dernière tâche de la station impactée (j_0)

Contraintes d'affectation

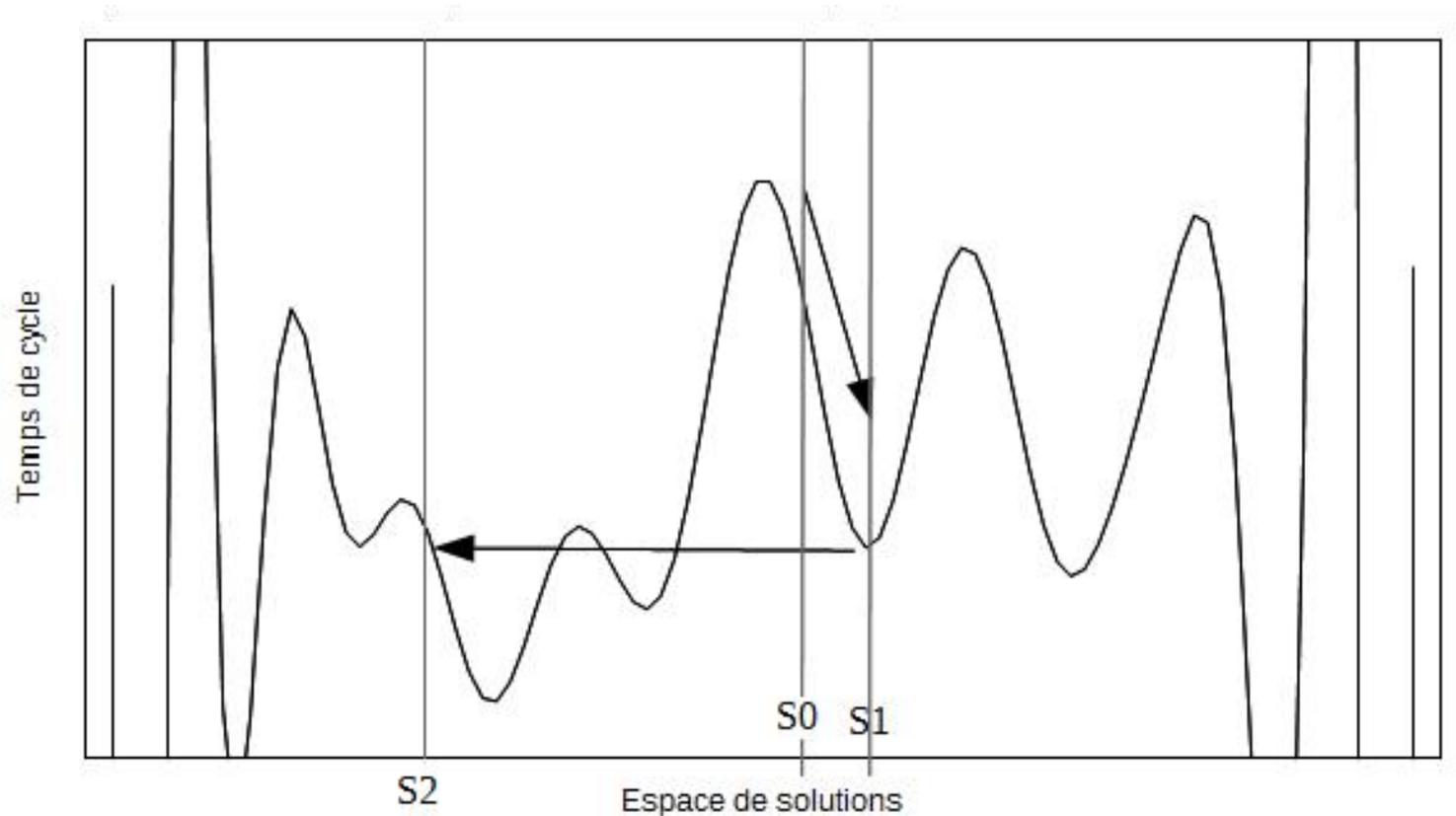
Contraintes de précédences

Définition du temps dans chaque station

Variables de décision (valeurs possibles)

PRINCIPE DE LA MÉTHODE ILS

○ Définition d'une solution initiale



○ Application d'une perturbation

- Pour sortir d'un minimum local

○ Recherche de solution par voisinage

- Recherche d'un minimum
- Amélioration progressive de la solution

ILS POUR LE RÉÉQUILIBRAGE DE LIGNES

procedure *Iterated Local Search*

$s_0 \leftarrow \text{GenerateInitialSolution}$

$s^* \leftarrow \text{LocalSearch}(s_0)$

repeat

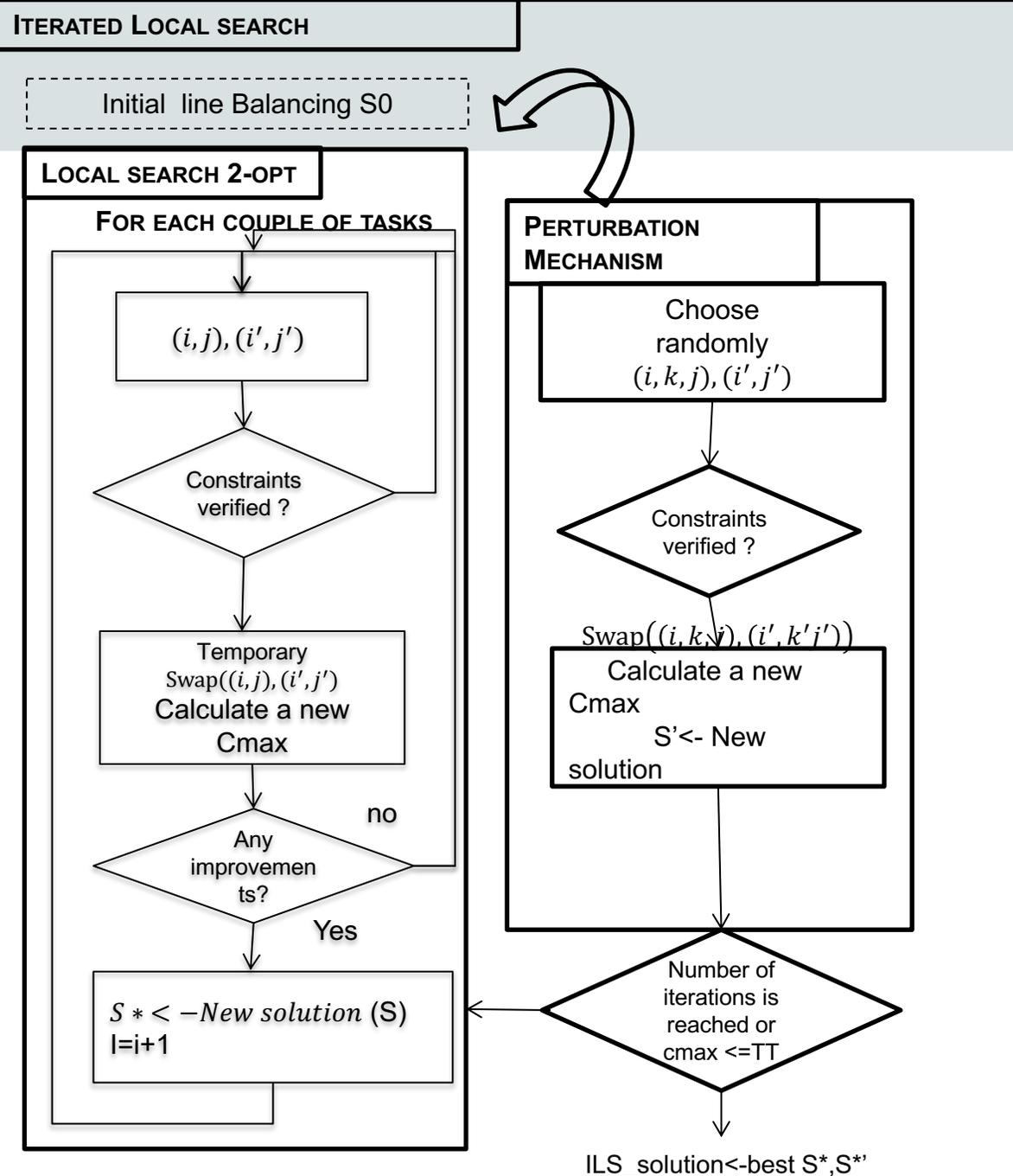
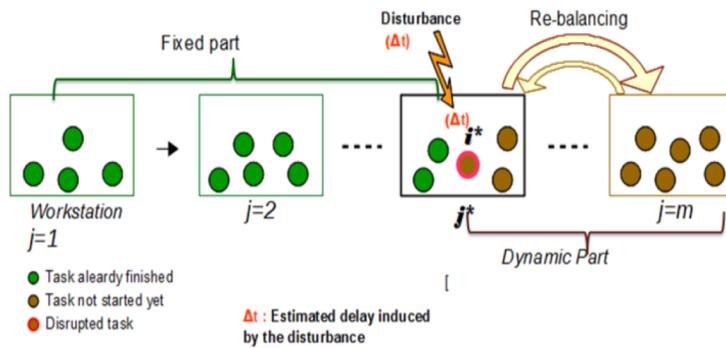
$s' \leftarrow \text{Perturbation}(s^*, \text{history})$

$s^{*'} \leftarrow \text{LocalSearch}(s')$

$s^* \leftarrow \text{AcceptanceCriterion}(s^*, s^{*'}, \text{history})$

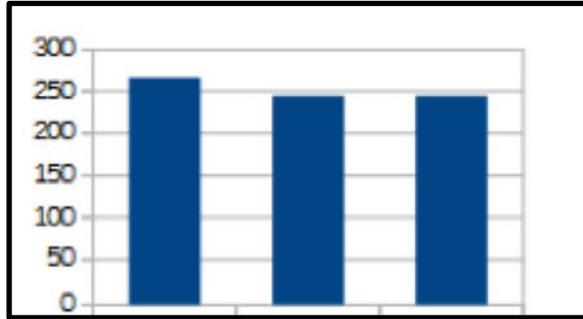
until termination condition met

end



CAS D'ÉTUDE

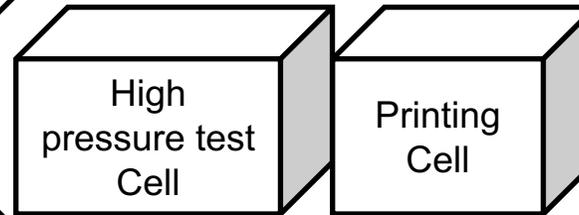
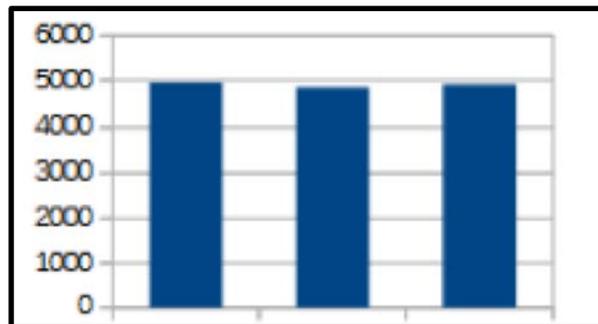
Scenario 1



The large Exchanger (LAL)

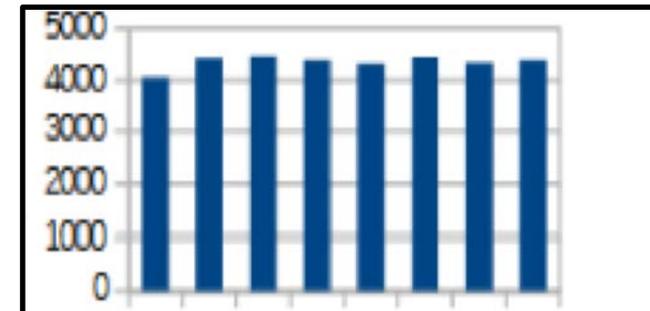
The medium Exchanger (MAL)

Scenario 2



	MAL scenario 1	LAL scenario 2	SAL, scenario 3
takt time	266 s.	5000 s.	4500 s.
m	3	3	8
n	19	110	309
delay duration	40 s.	10 s.	100 s.
impacted task	$i = 4$	$i = 20$	$i = 150$
impacted workstation	$j = 1$	$j = 2$	$j = 5$
J^*	{1,2,3}	{2,3}	{5,6,7,8}

Shared Assembly Line (SAL)
Scenario 3



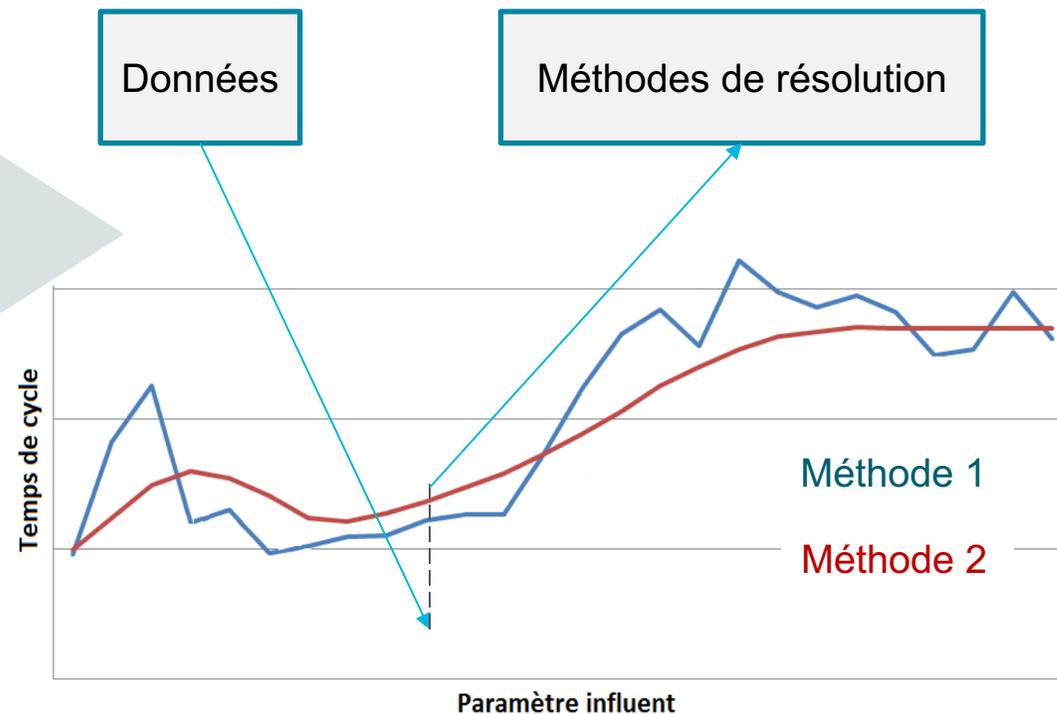
CAS D'ÉTUDE : RESULTATS NUMÉRIQUES

	Resolution time (seconds)		Cmax			
	ILS	Exact	Initial Cmax	ILS	Exact	ILS Perfomance
Scenario 1	30	3	280	279	265	5,3%
Scenario 2	1,8	480	5000	4964	4700	5,6%
Scenario 3	24	>3600	5000	4470	4455	0,3%

CHOIX ENTRE PLUSIEURS MÉTHODES

L'efficacité de la méthode de résolution dépend **des caractéristiques de l'instance** : position de perturbation, nombre de tâches, variation temporelle, marge, nombre de priorités...

Proposition
d'autres
méthodes
d'optimisation



Définition des
facteurs
influent

CHOIX ENTRE PLUSIEURS MÉTHODES

Proposition d'autres méthodes d'optimisation combinatoires

- Méthode tabou
- Méthode de recherche locale
- Algorithme génétique

Définition des facteurs influent

- Le nombre de tâches
- Le nombre de stations
- Le nombre de précédence
- La densité globale/locale des précédences
- Le temps des tâches et leurs distributions (Moyenne, étendue, tâche la plus longue/courte)
- La marge initiale, c'est-à-dire la somme des différences des temps de stations par rapport au temps de cycle.

CHOIX ENTRE PLUSIEURS MÉTHODES

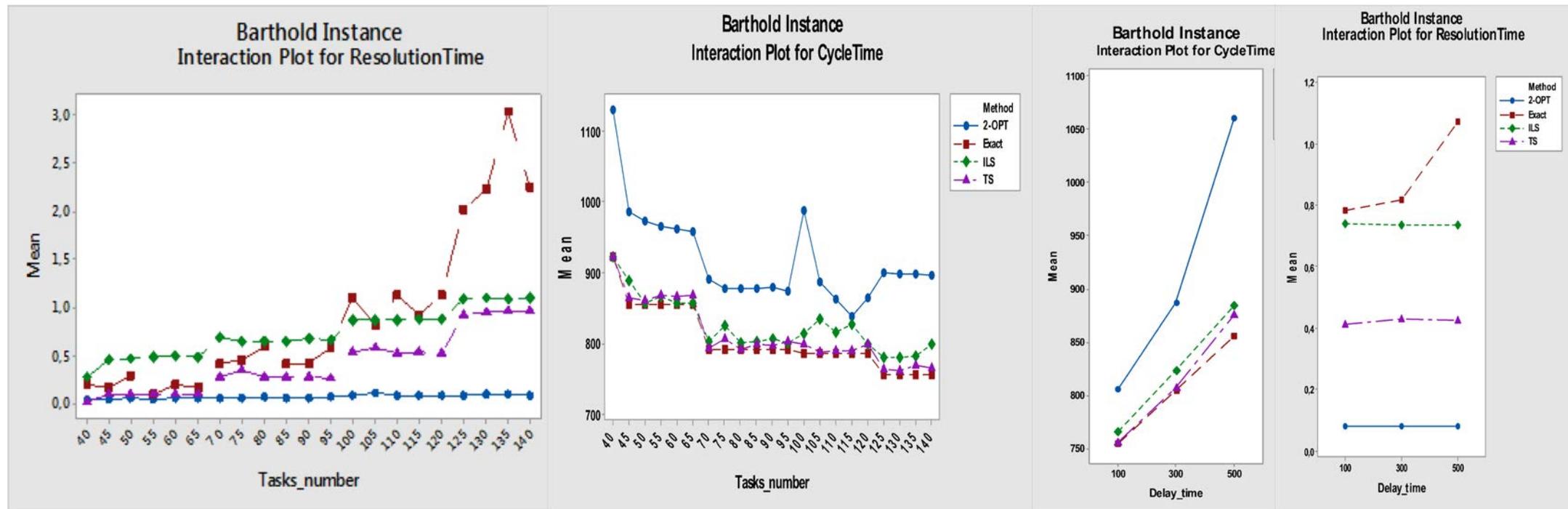
Utilisation d'instances de problèmes de la littérature www.assembly-line-balancing.de de Scholl (1993, 1999) (Barthold.IN et Scholl.IN)

Génération pour chacun des problèmes des nouvelles instances en faisant varier

- Temps de retard
- Position du retard
- L'équilibrage initial

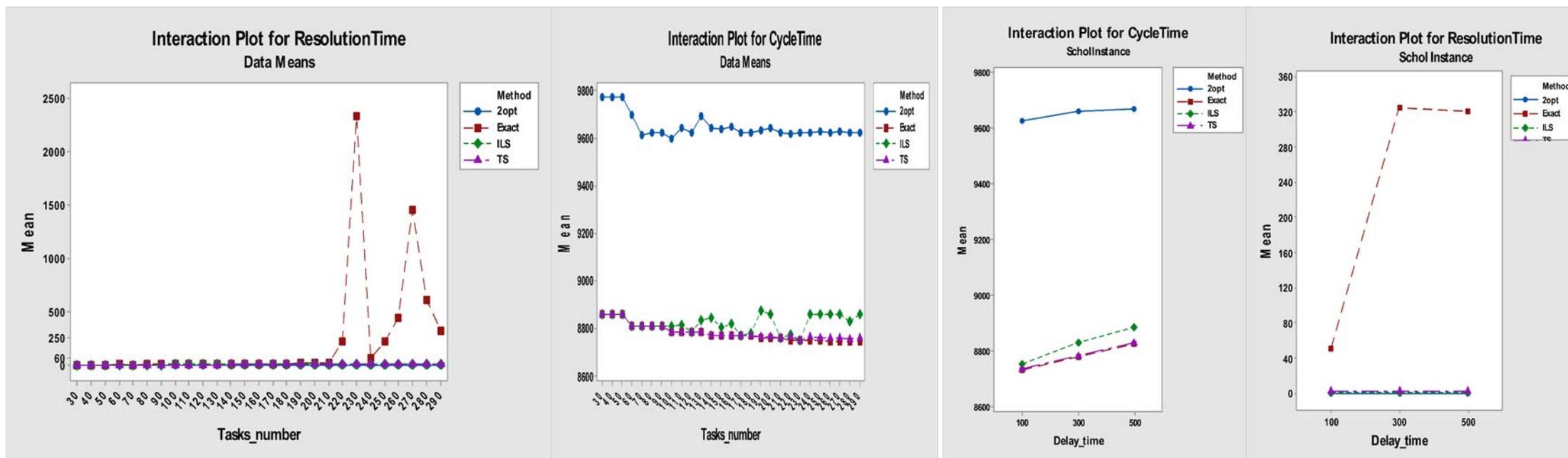
CHOIX ENTRE PLUSIEURS MÉTHODES

RÉSULTATS SUR LES INSTANCES DÉRIVÉES DE BARTHOLD.IN



CHOIX ENTRE PLUSIEURS MÉTHODES

RÉSULTATS SUR L'INSTANCES DÉRIVÉES DE SCHOLL.IN



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Contribution au pilotage réactif pour le rééquilibrage dynamique des lignes d'assemblage
- Proposition de plusieurs méthodes d'optimisation combinatoire
- Application sur un cas industriel

Pour aller plus loin

- Elargir le contexte (contraintes, actions,...)
- Couplage automatique pilotage prédictif/pilotage réactif
- Partie **analyse** du système de pilotage réactif : intégration de l'apprentissage et de l'analyse de données

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

