



HAL
open science

Réordonnement dynamique rapide dans un contexte de système contrôlé par le produit sur un poste de travail soumis à un fort taux de reprises

Mélanie Noyel, André Thomas, Philippe Thomas, Patrick Charpentier

► To cite this version:

Mélanie Noyel, André Thomas, Philippe Thomas, Patrick Charpentier. Réordonnement dynamique rapide dans un contexte de système contrôlé par le produit sur un poste de travail soumis à un fort taux de reprises. Journées Produits Intelligents, JPI 2015, Mar 2015, Valenciennes, France. hal-01134907

HAL Id: hal-01134907

<https://hal.science/hal-01134907>

Submitted on 24 Mar 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Réordonnement dynamique rapide dans un contexte de système contrôlé par le produit sur un poste de travail soumis à un fort taux de reprises

**Mélanie NOYEL^{1,2}, André THOMAS¹, Philippe THOMAS¹,
Patrick CHARPENTIER¹**

1. Université de Lorraine, CRAN, UMR 7039

Campus Sciences, BP 70239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

2. Acta-Mobilier - Parc d'activité Macherin Auxerre Nord 89270 Moneteau

RESUME. Dans le contexte de logistique et de production d'une entreprise de laquage haut de gamme, nos précédents travaux ont montré qu'un système de réordonnement dynamique de la production du robot de laquage, poste goulot soumis à un fort taux de reprises dues à la non-qualité résiduelle et aux boucles de production (Noyel et al., 2014), est incontournable mais d'une grande complexité. L'idée de donner de l'intelligence au produit afin de le rendre capable d'interagir avec les hommes et les machines de manière à participer aux décisions de réordonnement est aujourd'hui crédible. Le principal verrou technologique résultait de la très haute qualité de toutes les surfaces de la pièce qui interdit l'insertion d'un tag RFID (Noyel et al., 2014). Après de nombreuses recherches techniques, ceci nous a conduit à abandonner l'idée de rendre chaque produit intelligent au profit des porteurs de lots élémentaires, à savoir le contenant qui rassemblera uniquement des pièces dont la gamme de fabrication est strictement identique. Chaque conteneur intelligent est donc capable de signaler sa disponibilité, de communiquer son niveau d'urgence ainsi que ses spécificités. D'autre part, la machine est aussi équipée d'un système d'intelligence relatif aux conditions de maîtrise de la qualité (Noyel et al., 2012). Ces 2 parties prenantes peuvent ainsi collaborer afin de réaliser un réordonnement en fonction des paramètres des conteneurs disponibles en amont de la machine (horizon de planification, ordre de priorité, etc...), des paramètres des conteneurs en cours de passage sur la machine (réservation de plage de production (Noyel et al., 2013), prévision de réparations, etc...) et des données qualités. Notre système permet donc l'optimisation rapide du planning de production par réordonnement dynamique afin de garantir une fluidité de la production malgré des aléas fréquents (pannes, manques matière, réparations des produits défectueux, etc...) tout en assurant la maîtrise de la qualité.

MOTS-CLES : contrôle par le produit, réordonnement dynamique

KEYWORDS: Product driven systems, dynamic rescheduling

1. Introduction

L'objectif de ce papier est de présenter une approche rapide et simplifiée de réordonnancement dynamique dans un contexte industriel particulier de production de façades laquées de très haute qualité ; ce qui rajoute de nombreuses contraintes aux contraintes d'ordonnancement traditionnelles. L'ordonnancement sur un poste goulot soumis à ces contraintes devient particulièrement compliqué. Dans notre cas, le poste goulot est un robot de laquage qui présente aussi la particularité d'intégrer l'étape de séchage, ce qui impose donc l'heure de passage de la deuxième couche de laque directement à la sortie du tunnel de séchage. Sans cela il faudra décharger le lot pour le recharger ensuite, ce qui crée une étape de manutention augmentant par là-même le risque d'abimer les pièces. Sans tenir compte de la qualité mais en prenant en compte ce principe de planification automatique du second et éventuellement du troisième passage du lot sur la machine, nous avons pu réaliser un programme linéaire afin de trouver la solution optimale d'ordonnancement en tenant compte des dates souhaitées de fin de production des lots. Le temps de calcul est pertinent lorsque peu de lots sont à ordonnancer mais devient vite incohérent dès que le nombre de lots augmente. Le système proposé dans ce papier permet à la fois de rester dans des conditions simplifiées d'ordonnancement (en minimisant le nombre de lots à ordonnancer à un instant T) tout en permettant d'intégrer la notion de qualité en interdisant l'ordonnancement des lots dont le risque de produire un défaut dans les conditions de production actuelles est trop fort. Ce système est composé de différents sous-systèmes faisant l'objet de travaux dédiés dans d'autres publications. Nous cherchons ici à montrer comment ces systèmes interagissent entre eux en fonction des produits, que l'on qualifiera d' « intelligents », qui gravitent autour d'eux.

Nous présenterons donc dans un premier temps le contexte industriel et les perspectives possibles, voire nécessaires, avant de décrire le système global ainsi que le fonctionnement de ses sous-systèmes puis de conclure.

2. Contexte et bibliographie

La particularité du contexte industriel résulte principalement du fait que la qualité de surface des produits à fabriquer est telle qu'elle rend l'identification des pièces très difficile (impossible d'insérer un tag RFID à l'intérieur sans dégrader la pièce par exemple, difficile d'apposer des codes-barres autocollants à cause du fait qu'il faut les retirer et les remettre à chaque étape de travail sur la surface en question, etc...). Cette qualité engendre aussi un taux de réparation avoisinant les 30%, ce qui conduit à des flux de reprises conséquents et une prise en compte difficile de cette charge de travail supplémentaire. Ainsi lorsqu'on souhaite tenir compte à la fois du résultat en terme de qualité et des lots de reprises à planifier en urgence pour un ordonnancement, le problème devient extrêmement difficile à formaliser mathématiquement. L'anticipation de la non-qualité ne peut être posée que de manière probabiliste et on ne peut donc pas anticiper les éventuels

changements de série à prévoir ni la capacité à réserver. Le problème complet d'ordonnement dans ce contexte perturbé par ce niveau de qualité instable est donc particulièrement complexe. D'autre part, le délai proposé au client ne laisse que très peu de marge pour la fabrication. Ainsi, lorsqu'un lot de pièce est défectueux, il faut pouvoir le réordonner très rapidement pour qu'il puisse être pris en charge dans les minutes qui suivent. Cette réactivité imposée pour sauvegarder la compétitivité de l'entreprise nous pousse à envisager une simplification « contrôlée et intelligente » pour pouvoir faire du réordonnement dynamique rapide. Le concept du Système Contrôlé par le Produit (SCP), né en 2003 (Morel et al., 2003) avec le principe de combiner avec plus de flexibilité les modes de pilotage centralisés avec les modes de pilotage distribués en tenant compte des capacités du produit à jouer un rôle actif de synchronisation des échanges entre les différents modes et différents éventuels systèmes d'informations et de décision, semble être alors une bonne piste. La connaissance de l'état exact du système peut être obtenue « sur le terrain » grâce à des moyens tels que les technologies infotroniques. En plus de permettre une traçabilité simple et sécurisée des produits sur la chaîne logistique (Srivastava, 2004), la communauté de l'Intelligent Manufacturing System affirme que coupler les produits avec ce type de technologie (telle que la RFID) dotées de capacités de communication, voire d'intelligence (agents) peut permettre de satisfaire les nouvelles exigences de flexibilité et d'adaptabilité dont les entreprises ont besoin face aux contraintes actuelles (Thierry et al., 2008). Les techniques d'identification sont un pré-requis pour la distribution de l'intelligence comme pour la simple traçabilité dans le sens où elles permettent de rendre le produit « intelligent ». En effet, dans notre interprétation du concept SCP, les produits deviennent des « holons » composés d'une partie physique et d'une partie informationnelle qui leur donne la capacité de participer à des décisions locales concernant leur propre fabrication. Chaque produit devient alors « agent » du système de décision et constitue le lien matériel entre les flux physiques et d'informations. Les technologies Auto-ID (Mac Farlane et al., 2003) permettent donc d'appliquer ce principe en attribuant à chaque produit un identifiant unique. Même en déportant physiquement les capacités de mémorisation, de communication et de prise de décision sur des systèmes externes aux produits, c'est tout de même le produit qui est le garant de l'information. Il est alors possible d'assurer le suivi et le contrôle de chacun et, donc, de permettre de nouvelles méthodes de décision centrées sur les produits eux-mêmes.

3. Descriptif des sous-systèmes du système global

3.1. Le système d'anticipation de la non-qualité

La maîtrise de la qualité est un des points prioritaires pour les entreprises, car il s'agit souvent de l'exigence client principale, mais aussi car le niveau de qualité produit influence la gestion de production. Elle fait l'objet de nombreux travaux depuis les années 50 avec par exemple la méthode COQ (Cost of quality) (Feigenbaum, 1951) jusqu'aux méthodes d'anticipation de la non-qualité dont Taguchi a été l'un des pionniers et qui fût diffusée dans sa méthode Taguchi's

Quality Engineering (TQE) (Taguchi, 1989). Spécialement étudiée pour les applications industrielles, cette méthode est la première à proposer une anticipation de la qualité à travers l'ajustement et le contrôle des paramètres influant sur la qualité. Avec des plans d'expériences optimaux (Optimal Experimental Design – OED), elle permet le réglage optimal de la machine en fonction d'un objectif de qualité donné. Cette méthode aboutit généralement à une amélioration du niveau de qualité de 5% (Duffua et al., 2004). Cependant, la méthode Taguchi a un inconvénient important ; il s'agit de la difficulté de trouver le réglage optimal de chacun des facteurs dans le cas où ils sont trop nombreux et si beaucoup d'entre eux sont non contrôlables, ou s'il y a trop d'interactions. Par exemple, si la température est un facteur important, il peut être difficile de simultanément tenir compte de sa gamme complète de variation et de garantir un réglage optimal. La solution que nous proposons pour notre système, est aussi une approche d'anticipation de la non-qualité par la prédiction grâce à des techniques basées sur l'apprentissage. Pour cela, différentes techniques ont été proposées dans la littérature incluant les algorithmes basés sur la logique (arbres de décision, classifieurs basés sur des règles...), les réseaux de neurones (Perceptrons Multicouches (MLPs), réseaux de fonction radiale de base (RBF)), les algorithmes d'apprentissages statistiques (classifieur naïf bayésien, réseaux Bayésien) et les Support Vector Machines (SVM). Nous retenons, dans notre cas, le réseau de neurones qui semble apporter les meilleurs résultats en matière d'approximation de fonctions non linéaires. Il reste cependant un dernier inconvénient majeur qui est la non-réactivité. En effet, ces méthodes ne permettent pas toujours l'adaptation à une évolution du système de production. L'adaptabilité du système de prévision peut être obtenue en utilisant des cartes de contrôle (control chart) qui permettent de déclencher le réapprentissage du réseau de neurones au meilleur moment pour optimiser la nervosité du système et la consommation de temps. (Noyel et al., 2013)

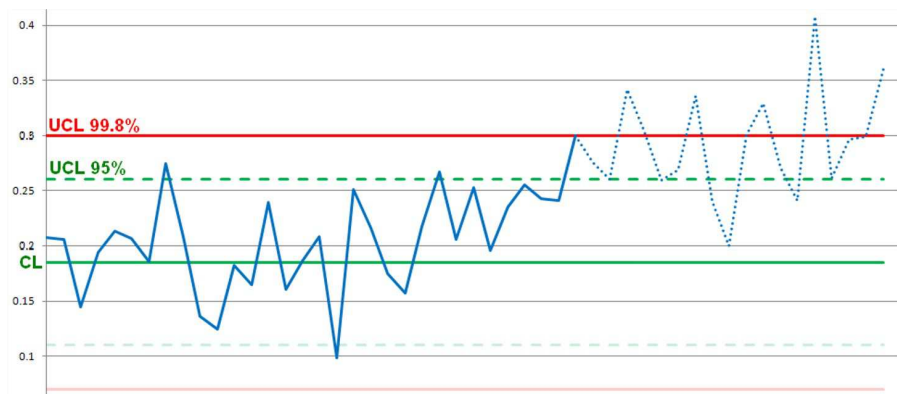


Figure 1. Surveillance de l'évolution du taux de mauvaises classifications à l'aide d'une carte de contrôle.

3.2. Le système de choix de règles de pilotage des flux

Dans un contexte de flux perturbés par un fort taux de non-qualité, le système de production se retrouve généralement saturé. Dans la littérature, on peut trouver une multitude de règles de pilotage différentes allant des plus simples, telles que le FIFO (First In First Out) ou l'EDD (Earliest Due Date), aux plus complexes. Chacune d'entre elles est préconisée dans des situations particulières et précises. De multiples systèmes de changements automatiques de règles de pilotage existent déjà dans la littérature. Cependant, afin de laisser à l'opérateur humain le choix du prochain lot sur lequel travailler, nous proposons ici (et les justifications peuvent être trouvées dans (Noyel et al., 2014)) une approche graphique avec une cartographie permettant de situer l'état d'encombrement de l'atelier et donc de spécifier aux utilisateurs le comportement à adopter en matière de priorisation des lots. Cette cartographie peut être proposée en deux dimensions afin qu'elle soit facilement compréhensible par tous, chacun des axes présentera alors un indicateur clé du taux de non-qualité et/ou de la perturbation des flux. Un exemple est présenté en Figure 2.

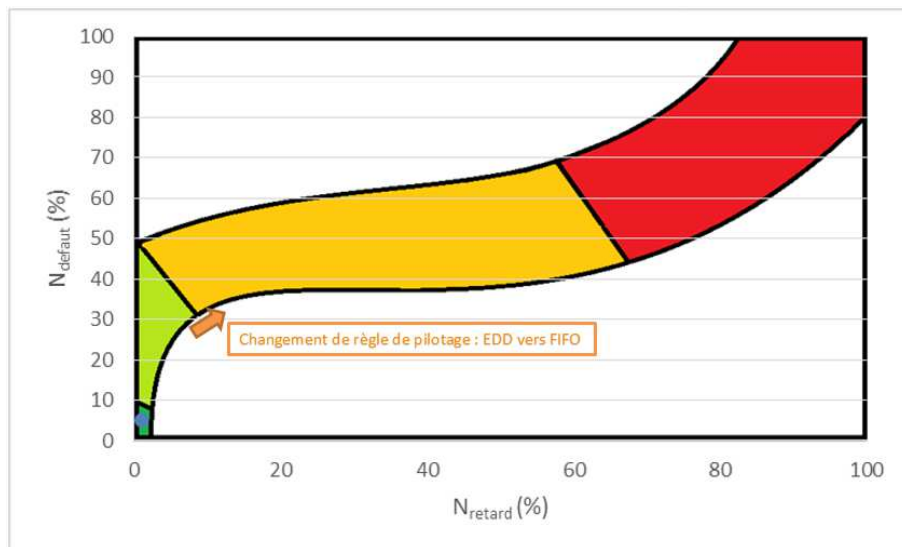


Figure 2. Exemple de cartographie basée sur les indicateurs nombre de défauts détectés (ordonnées) et nombre de retard (abscisses).

Les avantages de cette méthode sont exclusivement tournés vers l'application facile et rapide ainsi que vers la communication et la responsabilisation des ouvriers. Même si, contrairement aux algorithmes, la règle de pilotage la mieux adaptée dans l'absolu ne sera pas toujours mise en évidence, cette cartographie présente d'autres avantages présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Comparaison des concepts de cartographie virtuelle et d'algorithme traditionnel.

	Cartographie visuelle	Algorithme
Complexité	Obligation de simplifier pour ne représenter que deux ou 3 règles de pilotage différentes correspondant à 2 ou 3 états d'encombrement de l'atelier uniquement.	Possibilité de complexifier les règles de pilotage (en les hybridant) de manière à s'adapter au mieux à la situation.
Visibilité / Communication	Possibilité pour tout le monde d'avoir l'information importante sur l'état de l'atelier en un coup d'œil.	Souvent une « boîte noire » qui ne sera pas à la portée de n'importe quel utilisateur.
Standardisation / globalisation	Nécessité d'homogénéisation sur la globalité de l'unité de production.	Possibilité de faire du « cas par cas ».

3.3. La place du container intelligent dans notre Système Contrôlé par le Produit

La volonté de rendre le container intelligent s'est traduit par de multiples raisons :

- Suivre dans l'atelier un groupe de produits ayant la même gamme de fabrication (traçabilité)
- Partager sa date de livraison/degré d'urgence
- Savoir quels chemins (gamme de fabrication) les containers doivent emprunter dans l'atelier et quelles sont les alternatives possibles (gammes alternatives)
- Communiquer avec les machines et autres systèmes dont le système de prévision de la qualité présenté précédemment.
- Retenir des informations « terrains » au fil de leur fabrication comme le temps passé à attendre dans un stock par exemple afin de pouvoir faire respecter la règle FIFO si besoin par l'ordonnanceur.

Le choix d'une technologie infotronique est requis dans ce contexte pour permettre de faire le lien entre le système physique et le système informationnel est souvent tourné vers la RFID. Bien que présentant beaucoup d'avantages et étant souvent présentée comme la solution aux problèmes d'identification, cette technologie pose toutefois quelques problèmes résiduels et n'est pas systématiquement la meilleure option. Dans le cas de produits particuliers de « très

haut de gamme », l'identification à la pièce n'est parfois tout simplement pas possible (Noyel et al., 2012). C'est pour cela que nous avons proposé de transposer l'intelligence sur le porteur d'un « groupe insécable » de produits : le « noyau élémentaire ».

4. Perspectives sur le ré-ordonnancement dynamique dans ce contexte

Chacun des systèmes présentés dans la partie 1 permet d'envisager un ordonnancement d'une manière différente. On peut illustrer le fonctionnement du système global par le schéma présenté en Figure 3.

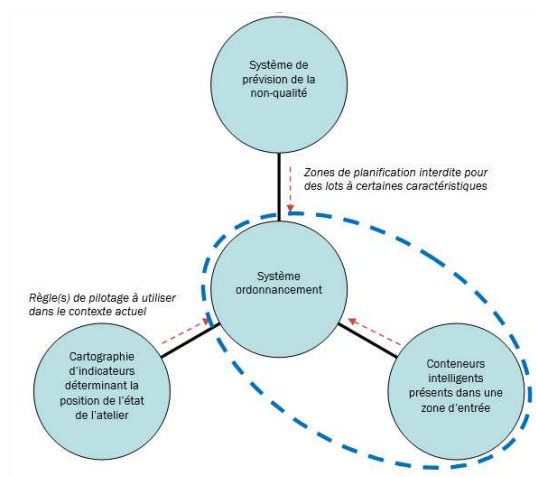


Figure 3. Fonctionnement du système global

Pour avoir une idée du caractère interactif de ce système, la figure 4 présente un logigramme de réflexion et de communication possible qui serait embarqué dans chacun des conteneurs intelligents. Dans cette hypothèse, le conteneur est donc au cœur de la décision en ne signalant sa présence au système d'ordonnancement uniquement si les « conditions qualité » sont réunies, permettant ainsi de ne pas surcharger le travail de l'ordonnanceur qui ne travaille alors qu'avec les lots présents dans la zone et déjà validés. Ces conditions lui permettent donc d'économiser du temps de traitement et d'envisager qu'un simple algorithme traditionnel de programmation linéaire puisse réaliser cette fonction qui semblait particulièrement compliquée au premier abord sans cette décomposition des tâches entre les systèmes acteurs. C'est en revanche à la charge de l'ordonnanceur de s'assurer de la règle de pilotage à utiliser pour son ordonnancement et de demander les informations nécessaires aux lots qui se sont signalés comme disponibles à l'ordonnancement. Ces informations varient donc en fonction de la règle de pilotage en cours. Une règle

FIFO ne requerra que la date d'entrée dans la zone à ordonnancement dynamique tandis qu'une règle EDD requerra la date d'expédition souhaitée par exemple.

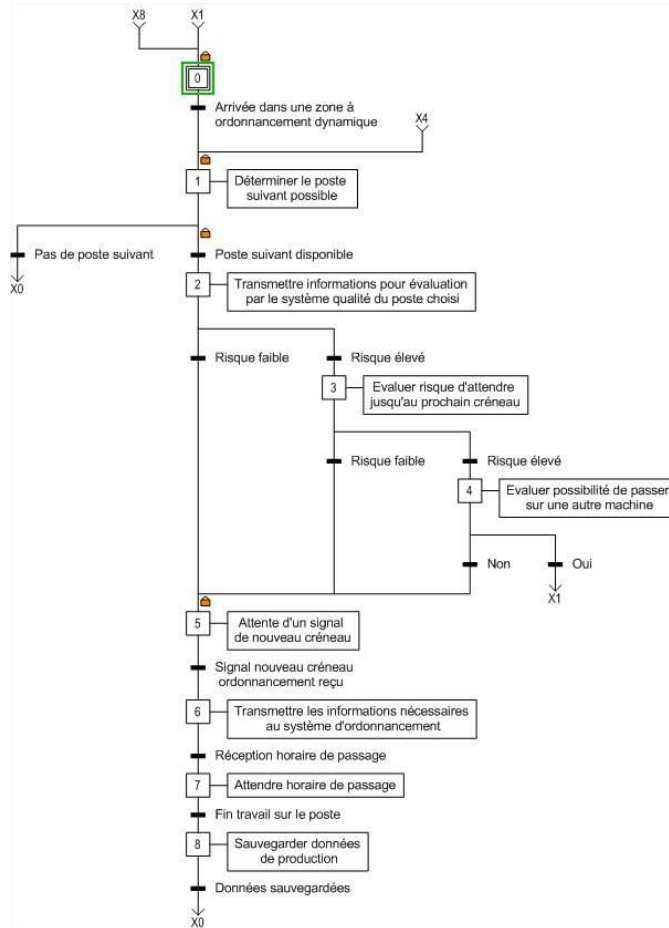


Figure 4. Exemple de logigramme d'un container intelligent

5. Conclusion

La volonté ou l'obligation de prendre en compte la problématique qualité pour le type particulier d'entreprises du luxe dont l'exigence qualité les oblige à se situer à la limite technologique de leur processus de fabrication, transforme les tâches d'ordonnancement en tâches impossibles. Dès que le taux de non-qualité augmente au-delà d'un certain seuil, le système sature et tout planning devient obsolète. Il faut pouvoir rapidement évaluer les bonnes règles de pilotage des flux afin de désengorger l'atelier et procéder à des réordonnements rapides en fonction des

lots présents sur le terrain. Le système de réordonnement rapide présenté dans ce papier est composé de 3 sous-systèmes qui permettent de décomposer les tâches afin de simplifier grandement le problème en apparence très complexe. Un module concerne la qualité. Il est dédié à anticiper la non-qualité dans l'esprit des plans d'expériences de Taguchi, mais mis en œuvre grâce à un réseau de neurones. Ce module est directement utilisé par les containers intelligents qui vérifient ainsi si leur passage sur la machine dans les heures qui viennent n'engendrera pas de non-qualité. Le deuxième système est un système de « switch » ou de « basculement » entre deux ou trois règles de pilotage différentes sous forme d'une cartographie des états de l'atelier possible afin d'avoir un moyen très visuel de détecter et de réagir rapidement lorsque l'on passe le seuil de saturation. Et le troisième système n'est autre que l'ensemble des containers intelligents qui collectent des informations au cours de leur passage dans l'atelier et échangent ces informations avec les autres systèmes afin de prendre des décisions impactant leur fabrication.

Bibliographie et références

- Duffua, S., Khurshed, S., & Noman, S. (2004). Integrating Statistical Process Control, Engineering Process Control and Taguchi's Quality Engineering. *International Journal of Production Research*, 42, 4109-4118.
- Feigenbaum, A. (1951). *Quality control: Principles, practice and administration: An industrial management tool for improving product quality and design and for reducing operating costs and losses*. New-York: McGraw-Hill.
- Mac Farlane, D., Sarma, S., Chirn, J., Wonga, C., & Ashton, K. (2003). Auto ID systems and intelligent manufacturing control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16, 365-376.
- Morel, G., Panetto, H., Zaremba, M., & Mayer, F. (2003). Manufacturing enterprise control and management system engineering paradigms and open issues. *Annual Reviews in Control*, 199-209.
- Noyel, M., Thomas, P., Charpentier, P., Thomas, A., & Brault, T. (2013, Octobre 28). Implantation of an on-line quality process monitoring. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM'13*.
- Noyel, M., Thomas, P., Thomas, A., & Beaupretre, B. (2012). Retour d'expérience industrielle sur le choix d'une technologie d'information portée par les produits. *9ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation, MOSIM'12*.
- Noyel, M., Thomas, P., Thomas, A., Charpentier, P., & Brault, T. (2014). Combinaison d'indicateurs pour évaluer la perturbation des flux dans les ateliers à fort taux de reprises. *10ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation, MOSIM'14*.
- Srivastava, B. (2004). The next revolution in SCM. *Business Horizons*, 47(6), 60-68.
- Taguchi, G. (1989). *Quality Engineering in Production Systems*. NY: MacGraw-Hill.
- Thierry, C., Thomas, A., & Bel, G. (2008). Simulation for product driven system. *Simulation for Supply Chain Management*, 221-255.