HAL
open science

Etude de la pertinence d'un kanban adaptatif avec des contraintes multicritères: Cas d'une cellule de découpe

Rémy Guion, Hind El Haouzi, André Thomas

To cite this version:

Rémy Guion, Hind El Haouzi, André Thomas. Etude de la pertinence d'un kanban adaptatif avec des contraintes multicritères: Cas d'une cellule de découpe. 4èmes Journées Doctorales / Journées Nationales MACS, JD-JN-MACS, Jun 2011, Marseille, France. pp.CDROM. hal-00583986

HAL Id: hal-00583986

https://hal.science/hal-00583986v1

Submitted on 7 Apr 2011

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.

Etude de la pertinence d'un kanban adaptatif avec des contraintes multicritères: Cas d'une cellule de découpe

Rémy GUION [1+2], Hind EL HAOUZI[1+2], André THOMAS[1]
(1)Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN-UMR 7039), Nancy-Université, CNRS
ENSTIB 27 rue Philippe SÉGUIN, B.P. 1041
88051 Epinal cedex 9 France
(2)Trane SAS, 1 rue des Amériques, 88190 Golbey
Remy_Guion@trane.com, hind.elhaouzi@cran.uhp-nancy.fr, andre.thomas@enstib.uhp-nancy.fr

Résumé — Le kanban traditionnel est adapté à un environnement stable. Lorsque la variabilité de la demande devient trop importante, l'utilisation traditionnelle du kanban n'est plus efficace. En effet, les paramètres du kanban doivent être réajustés pour suivre l'évolution de la demande. L'objectif de ce papier est de proposer une approche qui permet de répondre à une variation exceptionnelle de la demande. En s'appuyant sur les informations issues des produits et des kanbans, il est possible de déterminer le moment opportun pour utiliser une carte supplémentaire dite « extra carte ». Ce nouveau mode de gestion nommé Kanban « adaptatif » / « dynamique » sera étudié à partir d'une plateforme de simulation. Celle-ci reflète le comportement complexe (contrainte multicritères) de la cellule de fabrication « Front End » de la Société Trane.

Mots clés — : Kanban adaptatif, Kanban dynamique, Bin Packing, Système contrôlé par le produit

I. INTRODUCTION

Afin de répondre aux exigences du client, les industries ont adopté une stratégie de personnalisation du produit dite de « Mass Customisation » [13]. Suite à cette généralisation, le nombre de références de pièces constituant un produit fini a fortement augmenté. Par ailleurs, l'évolution rapide des exigences clients, entraîne une variation importante de la consommation de chaque composant ainsi qu'une augmentation du nombre de références utilisées sur les lignes d'assemblage. Pour répondre à une demande très variable, les entreprises ont évolué vers un mode de pilotage « juste à temps ». C'est dans ce cadre de production que la visibilité ainsi que le pilotage des flux sont des éléments importants à préserver [14] afin d'avoir une maîtrise des coûts de production.
Dans le but de mettre en œuvre le concept du Juste à temps, l'outil kanban est largement utilisé [19]. Le kanban est efficace pour contrôler le niveau d'en-cours et réapprovisionner les lignes de production efficacement, dans le cadre d'une consommation relativement stable. Le dimensionnement des paramètres kanban (nombre de cartes et nombre de pièces par cartes) s'appuie sur les caractéristiques de chaque boucle (lot économique, capacité des conteneurs, délais de réapprovisionnement, demandes journalières) [13].

Lorsque la consommation d'un kanban change de façon significative de façon exceptionnelle, il est nécessaire de remettre rapidement en cause le paramétrage des boucles kanban dans le temps, dans le but de garantir le comportement optimal du kanban [20].
Tardif a montré que dans un environnement instable, le kanban traditionnel ne permet plus de réapprovisionner les postes à temps pour éviter des ruptures de stock [18]. En effet, le calcul des paramètres kanban se base sur les prévisions de consommation portant sur un horizon plus ou moins long. La rigidité des paramètres du kanban dans un environnement de consommation instable, entraîne des risques de rupture de stock ou de sur-stockage [17]. Ces mêmes auteurs ont prouvé l'importance d'un kanban « adaptatif »/ « dynamique » dans un environnement instable.
Le kanban traditionnel induit une certaine myopie (effet boite noire), qui ne permet pas d'obtenir des informations pertinentes sur l'état de la production. Ces informations permettraient alors au « décisionnaire » d'obtenir une vision globale du système de production et ainsi d'effectuer des choix pertinents en fonction des contraintes du processus de fabrication et de la charge de production à venir.
Pour résoudre ces problèmes, la communauté de l'Intelligent Manufacturing Systems (IMS) [1] a soutenu le concept de « Système Contrôlé par le Produit » (SCP). Ce concept est novateur dans la mesure où il confère directement au produit des capacités permettant d'assurer les fonctionnalités palliant, entre autre, à des problèmes de visibilité. Par opposition au classique MRP2, système centralisé et hiérarchisé, le concept de SCP est une manière différente de voir le pilotage d'un atelier ou, d'une manière générale, les flux physiques de produits et de matières. Selon ce concept, le produit peut porter, de manière continue ou discontinue, des informations. Il peut aussi en donner à et/ou en capter de son environnement immédiat. Il peut enfin sur la base de ces informations, et faisant suite à un traitement qu'il opérerait lui-même, prendre des décisions relatives à son propre devenir et les faire appliquer par les éléments constitutifs de son environnement [14].
Cette instrumentation pourrait alors synchroniser les flux physiques avec les flux d'informations (Figure 1).

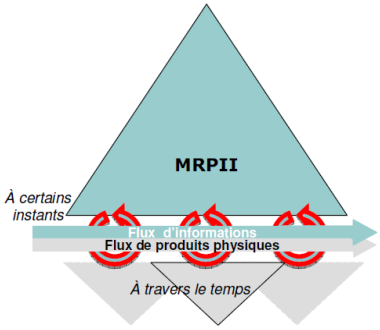


Figure 1 Synchronisation Flux physiques - d'informations [14]

En récupérant les informations issues des processus de fabrication (dans notre cas des cartes kanban) en différents

points stratégiques, il est envisageable d'alimenter le système d'information en temps réel dans le but d'améliorer la visibilité du travail à effectuer.
C'est dans ce contexte que nous nous proposons d'apporter des améliorations dans l'utilisation du kanban (instrumenté à l'aide des technologies Auto-Id) afin de prendre en compte la variabilité de la demande et ainsi prendre les bonnes décisions pour piloter la production.
Dans ce travail, nous allons mettre en évidence les problèmes de ruptures de stock lorsqu'on utilise le kanban « traditionnel » dans un environnement instable, puis nous étudierons en quoi un kanban adaptatif peut palier à ce problème à travers un cas industriel.

La partie suivante (partie 2) présente le contexte et la problématique industrielle qui sont à la base notre étude.
Par la suite nous effectuerons un état de l'art sur les méthodes de détermination des paramètres du kanban (du kanban traditionnel et du kanban dynamique) ainsi que sur le problème de myopie inhérent à l'utilisation de celui-ci. A la suite de cette bibliographie, nous listerons les objectifs et la problématique scientifique (partie 3).
Dans la partie 4, nous proposerons une approche permettant de rendre le kanban adaptatif. La partie 5 présentera une application sur la cellule de découpe « Front End » de la Société Trane.
A partir des résultats obtenus, une conclusion ainsi qu'une analyse des perspectives seront proposées.

II. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE INDUSTRIELS

L'entreprise Trane se consacre au développement, à l'industrialisation et à la commercialisation d'unités de climatisation et de réfrigération, portant sur les marchés industriels, tertiaires et résidentiels. Cette entreprise compte plus de 27 sites de production dans le monde. En France, elle compte deux sites de production situés dans le département des Vosges (Golbey et Charmes).
Dans un souci d'amélioration continue, TRANE a mis en place la méthode Demand Flow Technology (DFT) [2], [5] qui impose une gestion à la demande selon les principes et les outils du juste à temps et impose, surtout, une standardisation stricte des procédés et des méthodes de travail.
La DFT entraîne une réorganisation de l'espace productif en lignes de production spécifiques, en pipelines, par l'implantation physique dans l'usine et la synchronisation des flux, dans l'objectif de réduire les surfaces de production et d'améliorer la circulation des flux.
Mais dans le but d'améliorer la productivité, équilibrer les charges et rationnaliser les en-cours en tôlerie, les moyens de production des deux sites ont été regroupés pour former le feeder Tôlerie : Front End.

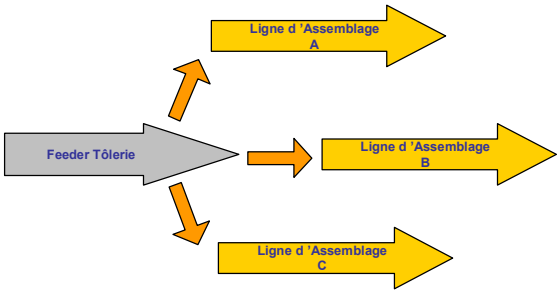


Figure 2 Alimentation du Feeder vers les Lignes d'assemblages

Cette cellule de fabrication fournit aux différentes lignes d'assemblage la tôlerie nécessaire à la réalisation d'unités de climatisation et de réfrigération (fig. 2).
L'activité du Front End se traduit par une production de 2500 pièces par jour, le nombre de références de pièces actuellement utilisées pour les deux sites s'élève à 3000 références.
Les opérations réalisées au sein du Front End sont décrites sur la figure 3. A savoir l'imbrication, le découpage, le pliage ainsi que la peinture des pièces.
A noter que l'imbrication consiste à trouver le rangement le plus économique possible pour un ensemble de pièces sur la feuille de tôle [5].

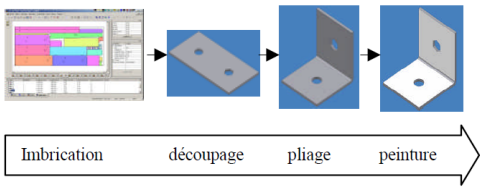


Figure 3 Opérations réalisées dans le Front End

Les demandes de cette cellule sont gérées via un système hybride, kanban traditionnel et MRP, pour alimenter en composants les huit lignes d'assemblage de ces deux usines.
Dans le cas où une pièce est produite en kanban, une boucle kanban est créée entre le Front End et la ligne d'assemblage. La majorité des demandes arrivant dans le Front End est de type kanban.
Concrètement les demandes arrivent au pôle d'imbrication qui fait appel aux deux logiciels des « machines traditionnelles » et de la «Salvagnini» pour minimiser les taux de chutes en regroupant au mieux les demandes. Afin de cadencer la ligne de production, on effectue un regroupement des pièces à imbriquer provenant à la fois d'ordres de fabrication ou de kanban, pour former des « Jobs ».
La variété des pièces constituant un Job entraîne un rendement matière plus ou moins élevé. Afin de limiter les pertes en matières premières, il est possible de modifier la stratégie de formation de « Jobs », ce point sera développé par la suite. On remarque que plus on attend l'arrivée de nouvelles relances kanban, plus on obtiendra une grande diversité de pièces qui permettra d'obtenir rendement matière satisfaisant.
C'est pourquoi la détermination du Job a un impact à la fois sur les délais de réapprovisionnement des pièces produites ainsi que sur les pertes en matières premières. Différents scénarii de production pour former des « Jobs » seront expliqués par la suite (partie 5). Dans le but d'obtenir des informations sur les temps de fabrication ainsi que sur les flux de cette cellule, les kanbans ont été instrumentés grâce aux technologies auto-ID [5].

Avec cette instrumentation, il est possible de suivre le comportement des boucles kanban dans le temps en particulier, le taux de rotation pour chaque boucle.
Les informations issues des processus de fabrication ont permis de mettre en évidence l'inadéquation du dimensionnement des paramètres kanban durant cette période, pouvant engendrer des ruptures de stocks ou des sur-stockages.

Actuellement, le Front End connait des difficultés à définir sa stratégie de production. En effet les contraintes multicritères de la cellule de fabrication rendent sa gestion complexe. Il est fréquent que les lignes d'assemblage soient en rupture de stock suite à une évolution rapide de la demande.

Ceci amène le Front End à diminuer ses temps de réapprovisionnement pour palier à des problèmes ponctuels de paramétrages des boucles kanban. Les conséquences sont nombreuses pour le Front End. En effet, il est difficile pour cette cellule de livrer tous les kanbans dans les délais initialement prévus. Les kanbans dont le paramétrage est adéquat à la consommation actuelle, pourront sans problème être livrés dans les délais prévus, alors que pour les autres cela ne sera pas possible. Le Front End ne connaissant pas les priorités de chaque boucle kanban (myopie), il est donc contraint à les produire rapidement. Cela a pour effet de diminuer ses capacités à optimiser ses propres performances (exemple : Rendement matière, niveau d'en-cours-WIP-). De plus, il doit mobiliser un effectif suffisant afin d'accélérer le réapprovisionnement des kanbans et ainsi éviter que les lignes d'assemblage tombent en rupture de stock.

La reconfiguration adaptative des paramètres kanban apparait comme une solution possible pour palier aux problèmes d'une variation rapide de la demande de chaque boucle kanban et ainsi améliorer les performances du Front End.

A partir de ce contexte industriel, nous allons effectuer dans la partie suivante un état de l'art concernant le kanban adaptatif/dynamique et, en particulier, le problème de visibilité.

III. BIBLIOGRAPHIE

L'effet boite noire induit par le Juste à temps, en particulier par l'utilisation du kanban, a engendré des problèmes de visibilité dans le processus de fabrication [4], [14]. Le manque de visibilité (myopie) de la production, se traduit par l'impossibilité de connaître l'état de la production en temps réel. Dans le cadre d'une production en Juste à temps, la visibilité permet de donner des indications aux opérateurs sur les opérations à effectuer. Ainsi, la visibilité apporte un moyen de définir des priorités dans l'exécution d'opérations et d'assurer la cohérence des décisions prises localement avec le plan de production issu du système centralisé. L'instrumentation du produit a permis d'obtenir une vision globale du système de production et ainsi améliorer la visibilité au sein du processus de fabrication. Cette visibilité donne à l'opérateur des informations pertinentes pour l'aider lors d'une prise de décision. Afin de coordonner l'ensemble des décisions, il est possible d'utiliser un système d'aide au pilotage de la production rendant le comportement du kanban actif [10].

Différentes études [18] [16] ont permis de mettre en évidence les limites du kanban lors d'une variation rapide de la consommation d'un composant. Le paramétrage des boucles kanban amène, dans un environnement instable, à des ruptures de stock. En s'appuyant sur les règles du kanban traditionnel, il n'existe pas de méthode permettant de palier à une variation rapide de la demande, le seul moyen est d'augmenter le nombre de cartes kanban en circulation dans une boucle avec le risque d'augmenter le niveau de stock lorsque la demande va diminuer.
De plus on remarque qu'il est déjà trop tard lorsque l'on décide de modifier les paramètres du kanban. La détection d'un problème de paramétrage d'une boucle, s'effectue généralement lorsque le « client » tombe en rupture de stock. Il existe un besoin d'être proactif dans la manière de paramétrer les boucles dans le but d'éviter des ruptures de stock.
Les contraintes industrielles ainsi que des études scientifiques [16] montrent qu'il est plus pertinent d'agir sur le nombre de cartes en circulation que sur le nombre de pièces par carte. Par exemple, le nombre de pièces qu'il est possible de placer dans un conteneur est limité.
Le paramètre du kanban sur lequel il est possible d'agir est le nombre de cartes en circulation pour chaque boucle kanban.

La mise en place de cartes supplémentaires dans une boucle kanban de manière ponctuelle, permet de suivre au mieux l'évolution rapide de la demande. Ces cartes sont appelées « extra-cartes ».
La méthode proposée par Framinan [8] consiste à ajouter ou à retirer des extra-cartes suivant le taux de service souhaité pour une boucle kanban. L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'il ne permet pas de détecter une variation rapide de la demande et donc d'éviter des ruptures de stock.
La méthodologie proposée en 1997 par Gupta [9] consiste à insérer des extra-cartes. Ce processus est déclenché lorsqu'un seuil bas est atteint. Cette extra-carte sera retirée lorsqu'un nombre suffisant de cartes kanban disponibles chez le client sera atteint.
Afin de déterminer les seuils à appliquer durant une période donnée pour une boucle kanban, plusieurs techniques de résolution ont été proposées dans la littérature : Algorithme génétique, méthode de recherche locale, recuit simulé [16].

Il est possible que cette méthode engendre une augmentation du niveau de stock inutilement. En effet lorsque l'on atteint un seuil bas, on introduit une extra-carte supplémentaire dans la boucle, dans le cas où la consommation diminuerait par la suite, le réapprovisionnement normal aurait suffi à répondre à la demande.
On note aussi qu'il est nécessaire de réévaluer le niveau de stock chez le client lorsque la carte kanban revient chez le fournisseur afin de déterminer s'il faut ajouter ou retirer une extra-carte.
Enfin, lorsque l'on recherche un optimum pour la période suivante, afin d'appliquer la méthodologie de Gupta, il est nécessaire de connaitre exactement le taux de demande du processus ainsi que le taux de production pour la période à venir.

Dans le cas de la Société Trane, il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble des contraintes de la cellule afin de déterminer le paramétrage des boucles kanban.
La solution serait alors pour le Front End de pouvoir utiliser des extra-cartes en tenant compte de ces contraintes.
Suite à cet état de l'art, on remarque que la libération d'une extra-carte ne prend pas en compte la consommation future. Il est donc intéressant de rechercher la manière optimale de générer une extra-carte sur la base des informations du plan de production indiquant la consommation future de chaque composant.
Il existe donc une opportunité à utiliser ces informations afin de rendre le comportement du kanban proactif et adaptatif.

IV. PROPOSITION ET TRAVAUX REALISES

A. Objectifs/Exigences scientifiques abordés

L'objectif de nos travaux est de proposer une approche permettant de rendre le comportement du kanban adaptatif et proactif.

Cette approche permettra alors d'éviter les ruptures de stock lors d'une variation rapide de la demande.
Il sera aussi possible de déterminer le moment opportun pour produire une extra-carte afin de minimiser les coûts associés.
L'étude du kanban adaptatif s'appuiera sur une plateforme de simulation afin d'étudier les différents impacts sur la production.

B. Approche proposée

L'approche se décompose de la manière suivante :
La première étape consiste à transformer les besoins nets de chaque composant en paramètres kanban en se basant sur les données issues du plan de production pour la période à venir.
Dans une seconde étape, en se basant sur une estimation de l'état du stock (nombre cartes kanban disponibles sur le point de consommation) ainsi que des délais de réapprovisionnement de la boucle kanban habituels, on utilise une heuristique simple qui a pour objectif de détecter d'éventuelles ruptures de stock pour la période à venir.
Au final, cela nous permettra de déterminer le nombre de pièces qu'il faut produire afin de palier aux futures ruptures de stock.
A partir des dates de rupture et des quantités manquantes, il est donc possible de déterminer les extra-cartes à utiliser.
Cette approche nous donne donc les dates ainsi que la quantité nécessaire de composants à livrer pour répondre aux besoins.

C. Plateforme de simulation

Dans le but d'étudier la pertinence de la proposition, nous avons développé la plateforme de simulation suivante (figure 4).

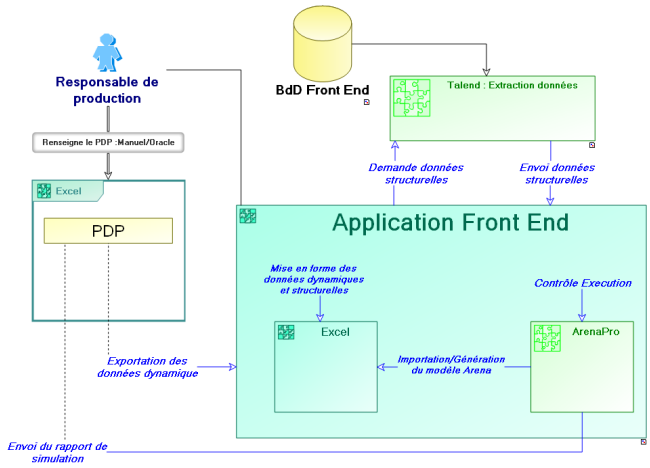


Figure 4. Plateforme de simulation

Celle-ci permet de comparer la pertinence d'une stratégie de production avec une autre. Pour simuler le comportement de la cellule de fabrication, on utilise un logiciel de simulation à événement discret : ARENA. Cet outil permet d'évaluer les indicateurs de performance de la cellule de production (temps de cycle, WIP, etc.).

Le rôle du système d'information qui alimente la plateforme de simulation est important. En effet, c'est à partir de l'ERP qu'il est possible de récupérer facilement les informations concernant le programme directeur de production (PDP) ainsi que les paramétrages des boucles kanban.

Il est aussi possible de récupérer la consommation de chaque composant (à partir de la nomenclature) ainsi que leurs gammes.

Dans le but de rendre la plateforme de simulation générique, un certain nombre d'hypothèses ont été faites.
Entre autre, l'initialisation de l'état du stock qui joue un rôle important lors de la simulation des boucles kanban. Il est donc nécessaire que celui-ci soit le reflet du stock réel. Dans le cadre de notre étude, nous avons simulé la production de produits finis durant une période suffisamment longue afin de faire disparaître les effets de bord.
Il est important de noter que la plateforme de simulation est en cours de validation. L'objectif de ces travaux est à ce jour d'instrumenter le produit dans le but d'obtenir une vision globale du processus de fabrication. Ainsi il sera possible d'utiliser ces données pour effectuer la validation de la plateforme de simulation.

V. APPLICATION

A. Facteurs de contrôle :

L'étude du comportement du Front End a permis de définir avec les experts de la cellule de fabrication, les différents facteurs de contrôle. Ces derniers, permettent de modifier le comportement de la plateforme de simulation en les paramétrant (Tab.1).

Facteurs de contrôle	Modalité 1	Modalité 2
Choix Scénario	Scénario 1	Scénario 2
Effectif	2x8	3x8
Rendement matière	85%	70%
Extra carte	Non	Oui

Tableau 1 Liste des facteurs de contrôle du Front End

1. Scénarii

Dans le cadre d'un plan d'expériences, les deux scénarii proposés reflètent les différentes stratégies adoptées pour créer un « Job ».
Scénario 1 : Respect des délais de livraison avec un lancement opportuniste du Job si le taux de chute est satisfaisant.
Scénario 2 : Dans le cas où le lancement d'un Job est important afin d'éviter de dépasser les délais de livraison, on crée le Job optimisant le rendement matière, les kanbans qui n'ont pas été fabriqués durant ce Job seront forcement créés lors du Job suivant.

2. Effectif utilisé :

Afin de répondre à la demande à temps, il est possible de fonctionner avec 2 ou 3 équipes par jour.

3. Rendement Matière :

Les deux modalités proposées correspondent à niveau bas facilement atteignables : 70 % et un niveau haut plus difficile à atteindre (85%).

B. Réponses du Front End

L'étude du Front End a permis de mettre en évidence trois réponses.

La première concerne le coût des pénalités de retard correspondant au coût engendré par une rupture de stock.
La seconde concerne les coûts des pertes en matières premières obtenues lors de la découpe des pièces dans une tôle.
La dernière réponse quantifie le coût du nombre moyen de pièces en en-cours dans la cellule de fabrication (WIP moyen).
Il est possible de comparer les différentes stratégies en utilisant une fonction objectif (Z) regroupant les réponses du Front End.
Nous considérons les essais définis par le plan d'expériences (e = 1,…E), E correspondant au nombre d'essais à réaliser.
Les variables C_{1e}, C_{2e}, C_{3e} expriment respectivement les coûts de pénalité, les coûts matière et le coût du WIP relatif à l'essai *e*.

$$Z = \min \sum_{e=1}^{E} \sum_{i=1}^{3} C_{ie} \qquad (1)$$

L'optimisation des coûts de production, se traduit par la minimisation de la fonction objectif (Z) (1).
Pour déterminer la stratégie optimale de production et ainsi étudier l'impact des extra-cartes sur le Front End, nous avons réalisé un plan d'expériences. Celui-ci est basé sur la méthode Taguchi [7] et nous avons utilisé la table L8 (2^7). Cette table permet d'étudier le comportement du Front End en effectuant uniquement 8 essais. La table L8 (2^7) rend possible l'étude de 4 facteurs de contrôle et de 3 interactions.
Les essais réalisés ainsi que les réponses obtenues lors des simulations sont décrits dans le tableau 2.

Afin d'étudier le comportement des facteurs de contrôle ainsi que les interactions des extra-cartes avec les autres facteurs de contrôle, nous avons utilisé le logiciel Minitab. Cet outil permet d'appliquer la méthode Taguchi sur les essais réalisés précédemment. Les graphiques d'effets permettent d'analyser l'impact des différents facteurs de contrôle sur les réponses du Front End.
On remarque que suivant le facteur de contrôle étudié, l'impact des extra-cartes sur les réponses est différent. Les extra-cartes diminuent fortement les coûts de pénalités associés à des ruptures de stock, mais augmentent le coût en matières premières et du WIP (Annexe A).
En effet, la mise en place des extra-cartes induit une augmentation de la charge de travail et donc une plus grande utilisation de la matière première.
Le plan d'expériences réalisé a permis d'étudier 3 interactions : (Annexe B). On remarque qu'il existe des légères interactions entre les Scénarii avec les facteurs de contrôle « effectif » et « rendement matière » qui ne perturbent que faiblement le comportement du Front End.
L'avantage d'un plan d'expériences est qu'il est possible avec un faible nombre d'essais, de déterminer le réglage optimal des facteurs de contrôle et ainsi obtenir une réponse optimale. Afin de comparer les essais entre eux, on utilise la fonction objectif Z (1).

En effectuant une analyse de la fonction objectif Z suivant le réglage des facteurs de contrôle (Annexe A et B), on déduit que le meilleur choix à effectuer du point de vue stratégique est donc d'utiliser le scénario 1, de travailler avec 3 équipes, d'avoir un objectif de rendement matière de 85% et d'utiliser des extra-cartes. On remarque que cette configuration a déjà été testée durant le plan d'expériences, c'est pourquoi il n'a pas été nécessaire d'effectuer une nouvelle simulation pour valider ce résultat.

VI. ANALYSE

D'un point de vue plus global, on remarque que l'impact de la mise en œuvre d'extra-cartes est très important sur la cellule de fabrication.
En effet, l'extra-carte apporte une grande contribution pour réduire les coûts de production en évitant les ruptures de stock.
D'après les graphiques d'effets des facteurs, on remarque que la mise en place des extra-cartes tend à augmenter les coûts du WIP (Annexe A). La raison de ce phénomène vient de la proactivité de l'approche proposée. En effet lors de la simulation, nous produisons des composants qui permettront d'éviter les futures ruptures de stock. Ce qui explique aussi que les pertes en matière première sont plus importantes.

VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de notre étude a été de montrer qu'un kanban adaptatif induira une meilleure productivité qu'un kanban traditionnel.
Lors de notre étude nous avons proposé une approche utilisant des extra-cartes dans le but d'améliorer le comportement du kanban. Nous l'avons appliquée à un cas industriel (Front End). Afin d'étudier l'apport de cette approche sur le système, nous avons utilisé une plateforme de simulation reflétant le comportement du système de production réel.

Dans l'objectif d'effectuer un réglage optimal des facteurs de contrôle, nous avons utilisé un plan d'expériences selon la méthode Taguchi. Le plan d'expériences a permis de mettre en évidence l'impact très positif des extra-cartes sur les coûts de production.
La mise en œuvre de l'approche proposée permettrait d'alerter suffisamment tôt les « décisionnaires » des futures ruptures des stocks en proposant la production d'extra-cartes.
Le problème majeur du Front End est de devoir livrer d'urgence des kanbans afin d'éviter des ruptures de stock répétitives.
Il semblerait que la mise en place des extra-cartes au sein du Front End, permette d'améliorer sa gestion en évitant de produire des kanban en urgence.
Le fait que l'on utilise à la fois le plan de production ainsi que les données de traçabilité des cartes kanban comme données d'entrée rend l'approche proposée proactive.

Essai	Scénario	Effectif	Rendement Matière	Extra-Carte	Coût pénalité de retard	Coût perte matière	Coût WIP moyen	Z
1	1	1	1	1	4102	5615	626	10343
2	1	1	2	2	374	7050	1078	8502
3	1	2	1	2	0	7070	580	7650
4	1	2	2	1	3990	5720	221	9931
5	2	1	1	2	348	7100	1032	8480
6	2	1	2	1	4012	5700	581	10293
7	2	2	1	1	3990	5800	328	10118
8	2	2	2	2	0	7145	569	7714

Tableau 2 : Essais réalisés en utilisant la table L8 (2^7)

La problématique de recherche étant validée, nos travaux vont désormais s'orienter vers des recherches concernant d'autres modes de pilotage permettant d'optimiser conjointement rendement matière, synchronisation de flux et reconfiguration des gammes de fabrication de la cellule.
En effet, le nombre de références appartenant à un Job peut être différent de ce qui avait été initialement ordonnancé de manière prédictive par l'ERP.

VIII. REMERCIMENTS

Les auteurs remercient le soutien financier du CPER 2007-2013 "Structuration du Pôle de Compétitivité Fibres Grand'Est", du Conseil Général des Vosges, de la Région Lorraine, de la DRRT, du FNADT et des fonds européens FEDER.

IX. REFERENCES

[1] Babiceanu R., Chen F., « Development and Applications of Holonic Manufacturing Systems : 498 A Survey », *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 17, n° 1, p. 111-131, February, 2006

[2] Costanza J. Just-In-Time manufacturing excellence John Costanza Institute of Technology Inc.; 3rd edition. ISBN: B0006ENXLI, 1996

[3] J. Daaboul, A. Bernard, and F. Laroche Implementing Mass Customization: Literature Review, 2009

[4] T. C. Edwin Cheng,T. C. E. Cheng,Susan Podolsky,P. Jarvis, Just-in-time manufacturing: an introduction, 1984

[5] Hind El Haouzi, Approche méthodologie pour l'intégration des systèmes contrôlés par le produit dans un environnement de juste-à-temps : Application à l'entreprise TRANE. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, France, 2008

[6] Hind El Haouzi, Rémi Pannequin, André Thomas, Génération automatique de plateformes de simulation pour des systèmes organisés en plus tires. *7e Congrès international de génie industriel*, 2007

[7] William Y. Fowlkes, l'Ingénierie Robuste Utiliser la demarche Taguchi pour concevoir des produits et des systèmes robustes, 1998

[8] Framinan, J. M., González, P. L., Ruiz-Usano, R., Dynamic card controlling in a CONWIP system. *International Journal of Production Economics*, 99, 102-116, 2006

[9] Gupta, An algorithm to dynamically adjust the number of kanbans in stochastic processing times and variable demand environment. Production Planning and Control, 8(2), p. 133-141, 1997

[10] Thomas Klein, Le kanban actif pour assurer l'interopérabilité décisionnelle centralisé/distribué: Application à un industriel de l'ameublement. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, France, 2009

[11] Ina S. Markhaam et al., A rule induction approach for determining the number of kanbans in a just-in-time production system. Computers & Industrial Engineering, Vol 34, No 4, p.717-727, 1998

[12] Andrew D.Martin et al., 1998, Using tabu search to determine the number of Kanbans and lotsizes in a generic kanban system. *Annals of Operations Research*, 78, p. 201 -217, 1998

[13] Monden, Y., How Toyota Shortened Supply Lot Production Time, Waiting time and Conveyance Time. Industrial Engineering, 13(9), p. 22-30, 1981

[14] Rémi Pannequin, André Thomas, Gérard Morel, Proposition d'un environnement d'évaluation pour la mise en œuvre d'un pilotage par le produit. Journal Européen des Systèmes Automatisés, 43, 4-5(2008) p. 487-511, 2008

[15] Giovani Da Silveira, Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, p. 1-13, 2001

[16] G. D. Sivakumar & P. Shahabudeen, Design of multi-Stage adaptive kanban system. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 38:321–336, 2008

[17] Takahashi, Morikama, Nakamura, Reactive JIT ordering system for changes in the mean and variance of demand. International Journal of Production Economics, p. 191-196, 2004

[18] Tardif, V. and L. Maaseidvaag. An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems. European *Journal of Operation Research*, 132, p. 411-424. , 2001

[19] E.Vollmann Manufacturing planning and control systems,1992

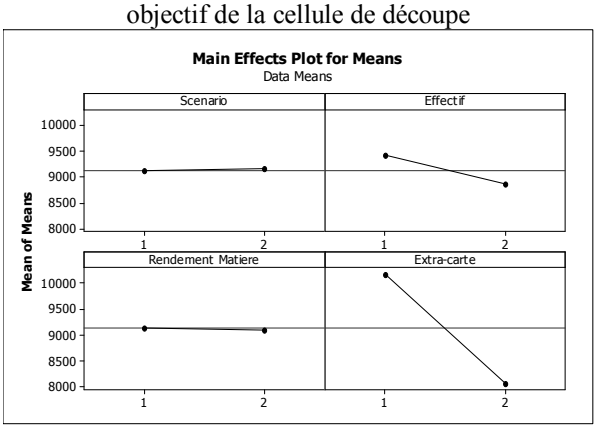
[20] Chang Yih, Generic kanban system for dynamic environnements, International journal of production research, Vol. 32 p.889-902, 1994

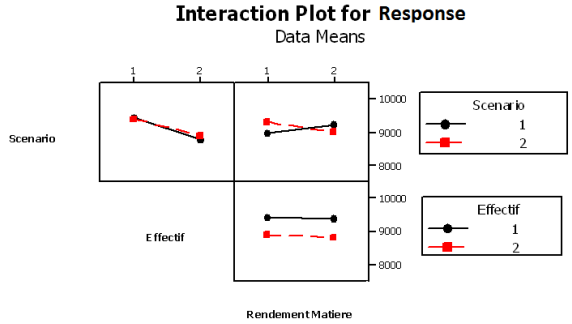
Annexe A. Graphique d'effet des facteurs de contrôle sur la fonction objectif de la cellule de découpe

Annexe B. Interactions étudiées de la cellule de découpe à partir de la table L8 (2^7)

ANNEXE A :

Graphique d'effet des facteurs de contrôle sur la fonction objectif de la cellule de découpe



ANNEXE B :

Interactions étudiées de la cellule de découpe à partir de la table L8 (2^7)