



HAL
open science

MODELISATION ET SIMULATION D'UN MODULE D'AJUSTEMENT DE LA CAPACITE D'UN SYSTEME DDMRP

G Dessevre, M. Ali

► **To cite this version:**

G Dessevre, M. Ali. MODELISATION ET SIMULATION D'UN MODULE D'AJUSTEMENT DE LA CAPACITE D'UN SYSTEME DDMRP. 13^{ème} CONFERENCE INTERNATIONALE DE MODELISATION, OPTIMISATION ET SIMULATION (MOSIM2020), 12-14 Nov 2020, AGADIR, Maroc, Nov 2020, AGADIR, Maroc. <hal-03178098>

HAL Id: hal-03178098

<https://hal.science/hal-03178098v1>

Submitted on 23 Mar 2021

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.



HAL Authorization

MODELISATION ET SIMULATION D'UN MODULE D'AJUSTEMENT DE LA CAPACITE D'UN SYSTEME DDMRP

G. DESSEVRE, M. BEN ALI

Laboratoire Poly-DDMRP,
Département de Mathématiques et de Génie Industriel, Polytechnique Montréal
Montréal, Canada
guillaume.dessevre@polymtl.ca, maha.ben-ali@polymtl.ca

RESUME : *La gestion de la production est de plus en plus complexe dans le contexte industriel actuel, volatile et incertain. Les approches à flux poussé et à flux tiré atteignant leurs limites, les auteurs du livre « Demand Driven Material Requirements Planning DDMRP », Ptak et Smith (2011), proposent une nouvelle approche de gestion de production. Basée sur un système de reconstituer de stock, cette approche fonctionne toutefois à capacité infinie. Nous proposons dans cet article de modéliser et simuler un module de calcul de charge permettant d'ajuster la capacité d'un atelier piloté en DDMRP. On cherche ainsi à obtenir un taux de charge autour des 80% en tout temps pour éviter de saturer l'atelier. Ce dernier est soumis à une demande incertaine caractérisée par des pics de commandes. Le module assure un taux de service satisfaisant face à différents scénarios de demande et permet d'évaluer les limites de charge de l'atelier.*

MOTS-CLES : *Gestion de la production, Ajustement de la capacité, DDMRP, Simulation des systèmes*

1 INTRODUCTION

Le Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) a été créé par [Ptak et Smith \(2011\)](#) dans le but de proposer une méthode mixte entre flux poussé et flux tiré. Aujourd'hui, cette méthode attire l'attention, autant dans le monde industriel où de plus en plus d'entreprises la déploient avec succès, que dans le monde académique qui cherche à mieux comprendre, analyser et challenger la méthode dans différents contextes ([Bahu, Bironneau, & Hovelague, 2019](#)).

Le DDMRP se base principalement sur une logique de reconstituer de stocks : des *buffers* sont positionnés sur la nomenclature des produits et lorsque le seuil projeté de ces *buffers* atteint un certain niveau, un ordre d'approvisionnement (ou de production) est émis. Dans cette logique, la plupart des études sur le DDMRP considère des systèmes de production à capacité infinie. Cette mécanique de projection du seuil considère les pics de demande pour anticiper et lisser la charge dans le temps. Toutefois, la prise en compte des pics peut surcharger l'atelier et dépasser la capacité prévue à court terme, entraînant ainsi une saturation de l'atelier et une baisse du taux de service.

Or, plusieurs leviers d'ajustement de la capacité peuvent être mobilisés afin de balancer la charge et la capacité. Ces décisions sont gérées conventionnellement une fois par mois par le Demand Driven Sales & Operations Planning (DDS&OP) de [Ptak et Smith \(2016\)](#). Les auteurs proposent par exemple d'ajuster la taille des *buffers* pour lisser la charge. Un ajustement plus fréquent de la capacité, sur du court terme opérationnel, pourrait être

envisagé afin d'améliorer la performance du système de production.

Dans cet article, nous proposons de modéliser et de simuler un module d'ajustement de la capacité de production d'un atelier géré en DDMRP où les opérateurs sont la ressource goulot. Le module effectue un calcul hebdomadaire de la charge à court terme en considérant des pics de demande, et estime le nombre d'opérateurs nécessaire pour la satisfaire sans saturer l'atelier.

La structure de l'article est comme suit : la section 2 présente une brève revue de littérature sur le DDMRP et sur l'ajustement de la capacité ; la section 3 décrit le cas d'étude et le plan d'expérience ; les résultats de la simulation sont présentés et analysés dans la section 4 ; pour finir sur la conclusion et les perspectives en section 5.

2 REVUE DE LITTERATURE ET CONTRIBUTION DE L'ARTICLE

Dans cette section, la littérature autour du DDMRP, ainsi que les éléments de paramétrage importants pour la compréhension de l'article sont présentés, suivis par une brève littérature sur l'ajustement de la capacité, pour finir avec la contribution de l'article.

2.1 Littérature autour du DDMRP

Après sa première apparition dans la troisième édition du *Orlicky's Material Requirements Planning* de [Ptak et Smith \(2011\)](#), où les auteurs exposent les limites des méthodes traditionnelles et introduisent leur nouvelle approche, de nombreux chercheurs se sont intéressés au

potentiel de la méthode DDMRP. Initialement, les publications ont porté sur la comparaison du DDMRP aux méthodes traditionnelles (MRP2 et Kanban) pour légitimer sa pertinence ([Ihme & Stratton, 2015](#); [Miclo, R, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016](#); [Miclo, Romain, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2018](#); [Shofa & Widyarto, 2017](#)). Récemment, les publications se sont tournées plus vers les différentes parties du DDMRP : [Martin, Baptiste, Lamothe, Miclo et Lauras \(2018\)](#) s'intéressent au paramétrage des *buffers* et proposent un arbre de décision pour mieux les piloter, [Lee et Rim \(2019\)](#) présentent une méthode différente de calcul du stock de sécurité des *buffers*, ([Dessevre, Martin, Baptiste, Lamothe, & Lauras, 2019](#)) et ([Dessevre, Martin, Baptiste, Lamothe, Pellerin, et al., 2019](#)) s'intéressent au contrôle des temps de défilement et du paramètre Facteur de délai. Une étude plus récente de [Vidal, Lauras, Lamothe et Miclo \(2020\)](#) porte attention au niveau stratégique avec le concept de l'*Adaptive Sales & Operations Planning*. Notons que de nombreuses publications ([Dessevre, Martin, Baptiste, Lamothe, Pellerin, et al., 2019](#); [Ihme & Stratton, 2015](#); [Miclo, R et al., 2016](#); [Shofa & Widyarto, 2017](#)) ont utilisé la simulation comme outil d'étude. [Ptak et Smith \(2016\)](#) continuent d'intégrer de nouveaux éléments à la méthode avec l'apparition d'une œuvre plus complète, et récemment l'intégration du *Demand Driven Adaptive Enterprise* dans l'œuvre de [Ptak et Smith \(2018\)](#).

2.2 Éléments de paramétrage du DDMRP

Selon [Ptak et Smith \(2016\)](#), la génération d'ordres d'approvisionnement se base sur l'équation du flux déterminée par la formule suivante :

$$\text{Équation du flux net (EFN)} = \text{Stock en main} + \text{Stock en cours de production} - \text{demande qualifiée} \quad (1)$$

où la demande qualifiée correspond à la somme de la demande du jour, des pics de demande détectés à court-terme, ainsi que la demande en retard.

Pour qu'une demande journalière soit considérée comme un pic, il faut que celle-ci soit dans un horizon donné et que l'amplitude du pic dépasse un seuil bien défini. La figure 1 illustre un exemple où le seuil (en tirets) est fixé à 100 pièces et l'horizon (en pointillés) à 6 jours : la demande qualifiée correspond à la somme de la demande du jour 1 et du pic détecté au jour 5, soit $50 + 120 = 170$ pièces.

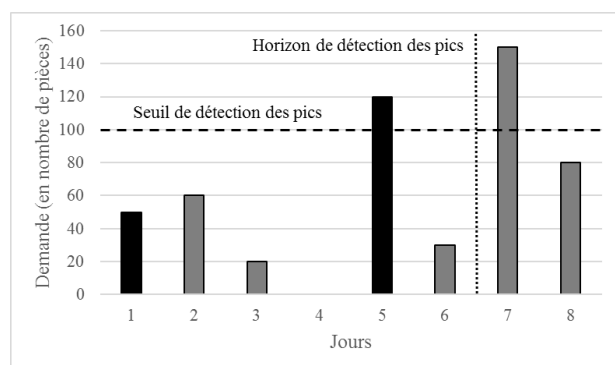


Figure 1 : Exemple de calcul de la demande qualifiée

Si l'EFN est au-dessous du Top du Jaune du *buffer*, un ordre de rechargement jusqu'au Top du Vert est émis (voir [Ptak et Smith \(2016\)](#) pour plus de détails sur les formules de dimensionnement des *buffers*). Cependant, il n'est pas clair, en pratique comme en théorie, comment exploiter la flexibilité capacitaire d'un atelier afin d'absorber les pics de demande, tout en gardant un niveau de charge raisonnable.

2.3 Ajustement de la capacité dans la littérature

La littérature sur les problèmes capacitaires à court et à moyen termes cherche à équilibrer la demande prévisionnelle et la capacité disponible ([Vollman, Berry, & Whybark, 1992](#)). Il existe plusieurs approches pour ajuster la charge et la capacité telles que la production anticipée sur des périodes de sous-activité, entraînant un stockage temporaire, ou encore l'utilisation des capacités résiduelles postérieures en différant la satisfaction de la demande ([Graves, 1999](#); [Vollmann, 2005](#)). Des revues exhaustives sur le sujet sont présentées par ([Beach, Muhlemann, Price, Paterson, & Sharp, 2000](#)) et ([De Toni & Tonchia, 1998](#)).

La flexibilité capacitaire des ateliers est un atout majeur pour contrer les erreurs de prévisions. [Bish, Muriel et Biller \(2005\)](#) exposent certains avantages, comme l'amélioration des ventes, et mettent en garde contre les effets dus aux oscillations en production et en approvisionnement. [Ou et Feng \(2019\)](#) présentent un algorithme d'ajustement capacitaire considérant les coûts de production et les coûts d'ajustement de la capacité. [Hu, Guan, Han et Wen \(2017\)](#) proposent un modèle mathématique pour résoudre des problèmes d'ajustement capacitaire où les machines peuvent être réglées différemment en fonction de la production souhaité.

Du côté du DDMRP, les ajustements capacitaires sont gérés principalement par le DDS&OP. Il s'agit d'un niveau de prise de décision faisant le pont entre le niveau stratégique et le niveau opérationnel, visant à harmoniser la demande (portfolio et nouvelles activités) et la capacité en se basant sur des indicateurs de performance clés ([Ptak & Smith, 2016](#)). A titre d'exemple, les auteurs proposent d'ajuster le dimensionnement des *buffers* en utilisant un Facteur d'ajustement planifié pour lisser la charge. Cela dit, les ajustements capacitaires du DDS&OP semblent convenir pour une vision à moyen terme, et non pour un point de vue opérationnel à court terme comme nous le proposons dans cet article.

2.4 Contribution de l'article

Le DDMRP est de plus en plus sous le feu des projecteurs des chercheurs et la méthode se déploie dans l'industrie. Cependant, aucune étude ne s'est penchée sur les problèmes liés à l'intégration de pics de demande, notamment pour balancer la charge et la capacité à court terme dans un atelier en exploitant la flexibilité capacitaire. Nous proposons dans cet article de modéliser un

module d'ajustement de la capacité d'un atelier piloté en DDMRP et de simuler sa performance face à une demande incertaine caractérisée par des pics de commandes.

3 METHODOLOGIE

Dans cette section, nous introduisons le cas d'étude, soit les paramètres de l'atelier de production, ainsi que la demande à laquelle il fait face. Ensuite, nous présentons le module d'ajustement de la capacité proposé et le plan d'expérience.

3.1 Paramètres de l'atelier

Nous considérons un atelier composé d'une ligne de production de 6 machines en série. La ligne produit 30 articles ayant des temps de production et des temps de changement de série différents. Plusieurs sources de variabilité ont été incorporées au système, principalement reliées à la demande et aux opérations de production : les temps de production et de changement de série suivent des lois triangulaires à $\pm 20\%$ autour de la moyenne, et la première machine et la cinquième machine de la ligne sont sujettes à des pannes représentant respectivement 10% et 15% du temps d'ouverture (les temps de pannes et les temps entre les pannes suivent des lois exponentielles). Les *Decoupled Lead Time*, Facteur de délai et Facteur de variabilité sont tous égaux et valent respectivement 5 jours (40 heures), 50% et 50%.

La production de chaque article est pilotée par un *buffer* de stock DDMRP. Les *buffers* sont vérifiés tous les jours en même temps, et ceux dont l'EFN est inférieure au Top du Jaune lancent un ordre de fabrication pour reconstituer le *buffer* jusqu'au Top du Vert. Les ordres sont ordonnancés selon la priorité basique du DDMRP : le produit dont le ratio entre l'EFN et le Top du Jaune est le plus faible est prioritaire (Ptak & Smith, 2016). Pour le reste, les ordres sont traités en premier-arrivé premier-servi. Le seuil de détection de pics est fixé à la moitié de la Zone Rouge pour tous les produits, et l'horizon de détection des pics est fixé à 3 semaines.

Nous faisons l'hypothèse que les matières premières sont disponibles en tout temps et qu'un opérateur doit être présent durant toutes les opérations (changement de série et production), pour qu'un article soit produit sur une machine. Afin de justifier le besoin d'ajuster périodiquement la capacité de l'atelier, ce dernier est paramétré de façon à ce que les opérateurs soient des ressources goulots. L'atelier fonctionne 8 heures par jour, 5 jours par semaine et gère les commandes partielles. Nous avons choisi ce type d'atelier car il semble correspondre à ce que l'on pourrait trouver dans l'industrie entre deux *buffers* gérés en DDMRP.

Nous supposons que chaque produit possède un signal de demande distinct, tel que détaillé dans la sous-section suivante.

3.2 Génération de la demande

L'atelier fait face à trois profils différents de demande pour les 30 produits fabriqués. Une demande est caractérisée par deux paramètres : la taille moyenne de la commande (en quantité de pièces) et le temps moyen entre deux commandes (en jours). Ces paramètres sont explicités ci-dessous.

Pour les 30 produits, les tailles de commandes sont uniformément dispersées à $\pm 20\%$ autour de la taille de commande moyenne associée à chaque produit. Les temps inter-arrivés des commandes d'un produit sont exponentiellement distribués autour d'une espérance de 2 jours. Lorsqu'une commande arrive, l'expédition doit se faire dans les 5 à 10 prochains jours (suivant une loi uniforme), permettant d'avoir une visibilité d'une semaine sur les expéditions à réaliser.

La demande des produits 1 à 5 est relativement stable, sujette à des pics de commandes. Les temps entre les commandes représentant des pics sont également exponentiellement distribués autour d'une d'espérance de 5 ou de 20 jours (voir plus loin le tableau 1). Les pics de commandes sont détectés trois semaines à l'avance. En résumé, pour les produits 1 à 5, on reçoit en moyenne une commande tous les deux jours pour chaque produit, ainsi qu'un pic de commande tous les 5 ou 20 jours.

La demande des produits 6 à 15 est à la base stable. Nous proposons de rajouter un effet de saisonnalité dans certains scénarios : les signaux de demande des produits 6 à 15 (à la base stables) sont remplacés par des signaux en échelons de 25 semaines. La demande de la haute saison est considérée comme le double de celle de la basse saison.

La demande des produits 16 à 30 quant à eux est stable en tout temps. La Figure 2 représente les signaux de demande pour un produit de chaque profil de demande : le produit 5 (courbe noire, avec des pics), le produit 10 (courbe en pointillée, en échelons) et le produit 20 (courbe en tiret, stable en tout temps).

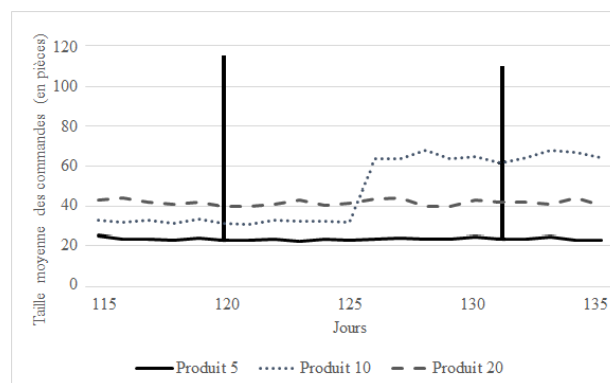


Figure 2 : Signaux de demande des produits 5, 10 et 20 entre les jours 115 et 135

3.3 Module d'ajustement de la capacité

Le module d'ajustement a pour but de calculer la charge de travail à court terme et d'estimer la capacité requise, soit le nombre d'opérateurs nécessaire pour éviter de saturer l'atelier en fluidifiant la charge.

Le calcul se fait en fin de chaque semaine (le vendredi soir) dans le but de déterminer le nombre d'opérateurs nécessaire pour la semaine qui suit (à partir du lundi matin). Le nombre d'opérateurs demeure le même tout le long de la semaine.

Le module suit les étapes suivantes :

1) Estimation du nombre de pièces à produire dans les prochains jours : il s'agit de prendre en compte les commandes de la semaine à venir en faisant l'hypothèse qu'elles vont déclencher un ordre de fabrication ;

2) Prise en compte des pics de la troisième semaine : Puisque les pics vont entrer dans l'horizon de détection à partir de la troisième semaine, ils vont être considérés dans l'EFN et seront ainsi produits dès le lundi par anticipation. Ils doivent donc être ajoutés aux nombres de pièces à produire ;

3) Calcul de la charge à venir : il s'agit de multiplier le nombre de pièces à produire par les temps de production et d'ajouter les temps de changement de série afin d'obtenir le temps de production requis ;

4) Estimation du nombre d'opérateurs nécessaire pour la semaine à venir : on se fixe un taux de charge cible de 80% pour les opérateurs, ce qui correspond au ratio du temps de production requis sur le temps total disponible. Le temps de production requis étant calculé à l'étape 3, le module estime dans cette étape le temps total disponible, c'est-à-dire le nombre d'opérateurs multiplié par les 40 heures d'ouverture par semaine de l'atelier.

Par exemple, si le temps de production requis pour la semaine qui suit est estimé à 140 heures (charge calculée à l'étape 3), le temps total disponible doit être $140 / 0.8 = 175$ heures pour obtenir un taux de charge de 80%. Sachant qu'un opérateur ne peut travailler qu'au maximum 40 heures par semaine, il faut $175 / 40 = 4.375$ opérateurs. Le module arrondit toujours à l'unité supérieure, dans cet exemple il estimera alors qu'il faut 5 opérateurs pour la semaine qui suit.

Le module d'ajustement permet donc de calculer et de décider du nombre d'opérateurs nécessaire pour la semaine à venir. Cela dit, il ne peut y avoir au maximum que 6 opérateurs puisque l'atelier se compose de 6 machines.

Si le module calcule qu'il faut plus que 6 opérateurs, l'atelier risque d'être saturé et d'autres solutions de compensation doivent être envisagées (par exemple, réduire les temps de changement de série ou sous-traiter une partie de la production).

La figure 3 reprend les étapes principales du modèle simulé (génération de la demande, des ordres de fabrication, production et module d'ajustement capacitaire).

Dans ce qui suit, les expériences dans lesquelles le module a été simulé sont décrites.

3.4 Plan d'expériences

Le but de la simulation est d'analyser la performance du système de production avec et sans l'ajustement de la capacité de production.

Deux indicateurs de performance sont considérés : le taux de service client (soit le pourcentage de commandes satisfaites par rapport au nombre total de commandes reçues) et le taux de charge des opérateurs afin de

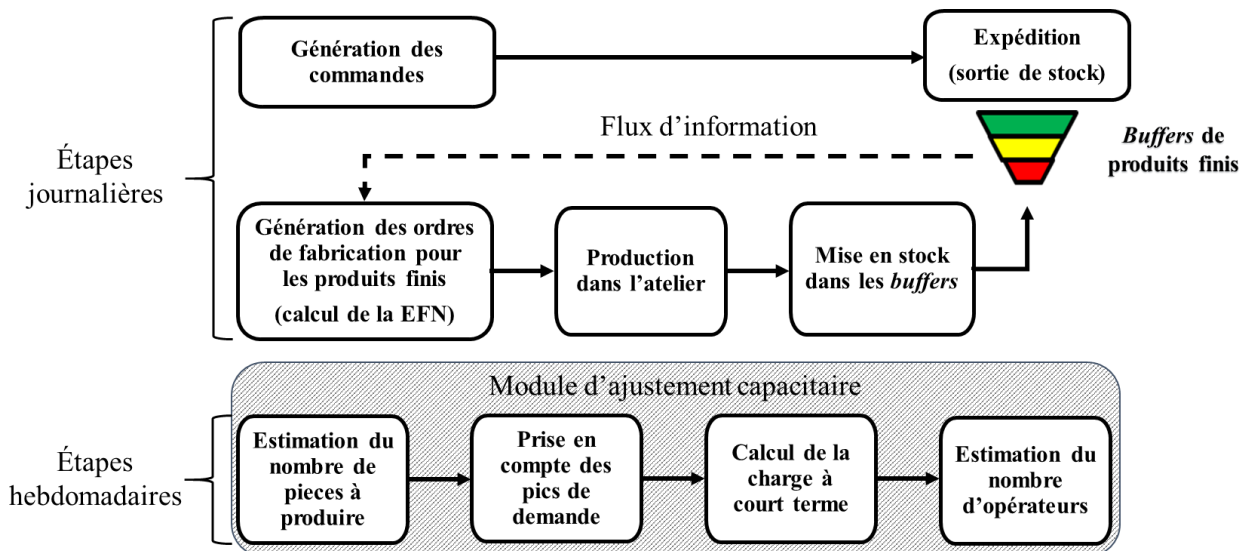


Figure 3 : Schéma des principales étapes du modèle simulé

refléter d'une part le niveau de satisfaction de la demande, et d'autre part le niveau de saturation de l'atelier. Une commande est dite satisfaite lorsque le stock du produit est disponible en quantité suffisante le jour où il doit être expédié vers le client. Sinon la commande est insatisfaite et entre dans une file, attendant que le stock soit de nouveau disponible.

Le plan d'expérience est exécuté sous deux étapes :

- Étape 1 : simuler différentes amplitudes de pics de commandes pour démontrer l'efficacité du module et identifier trois niveaux différents d'amplitude (importante, moyenne et faible) requis pour les expériences de l'étape 2 ;
- Étape 2 : simuler différents signaux de demande dans le but de challenger davantage le module.

Dans l'étape 1, nous comparons la performance de l'atelier avec et sans le module d'ajustement des opérateurs. Une première simulation a été réalisée pour estimer le nombre d'opérateurs nécessaire pour faire tourner l'atelier dans des conditions de base (scénario de base sans les pics et sans la possibilité de faire l'ajustement). Cette étude préliminaire a déterminé qu'en moyenne 3.75 opérateurs sont actifs dans l'atelier. Nous considérerons donc 4 opérateurs disponibles en tout temps pour l'atelier sans module d'ajustement de la capacité.

L'amplitude moyenne des pics de commande associé à un produit donné correspond à un multiple de la consommation journalière moyenne (« *Average Daily Usage* » ADU) de ce produit. Pour cette première étape, nous considérons un multiple variant de 0 (aucun pic) à 20 (les amplitudes des pics sont égales à 20 fois l'ADU).

Dans l'étape 2, le plan d'expérience de la deuxième étape considère 24 scénarios qui se distinguent par quatre critères :

- la possibilité d'ajustement de la capacité (modèle de simulation avec ou sans le module d'ajustement de la capacité) ;
- la fréquence des pics de commandes modélisée par l'espérance des temps entre les pics de commandes est de 5 ou 20 jours ;
- la demande des produits 6 à 15 : stable ou saisonnière (en échelon) ; et
- l'amplitude des pics de demande pour les produits 1 à 5 : importante (I), moyenne (M) et faible (F). Ces trois niveaux sont identifiés à l'étape 1.

La simulation est faite sur un horizon de 110 semaines, dont une mise en régime permanent de 10 semaines. Un total de 105 expériences sont réalisées (81 dans l'étape 1 et 24 dans l'étape 2), considérant 100 réplifications pour chaque expérience. La version 15.10 du logiciel Arena est utilisée avec Windows 7.

Scénario	Amplitude des pics	Demande Produits 6 à 15	Esp. des temps entre pics	Ajustement de la capacité
1	I	En échelon	20	Oui
2	I	En échelon	20	Non
3	I	En échelon	5	Oui
4	I	En échelon	5	Non
5	I	Stable	20	Oui
6	I	Stable	20	Non
7	I	Stable	5	Oui
8	I	Stable	5	Non
9	M	En échelon	20	Oui
10	M	En échelon	20	Non
11	M	En échelon	5	Oui
12	M	En échelon	5	Non
13	M	Stable	20	Oui
14	M	Stable	20	Non
15	M	Stable	5	Oui
16	M	Stable	5	Non
17	F	Échelon	20	Oui
18	F	Échelon	20	Non
19	F	Échelon	5	Oui
20	F	Échelon	5	Non
21	F	Stable	20	Oui
22	F	Stable	20	Non
23	F	Stable	5	Oui
24	F	Stable	5	Non

Tableau 1 : Plan d'expérience de l'étape 2

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Illustration du mode de fonctionnement du module

La figure 4 permet de mieux comprendre le mode de fonctionnement du module d'ajustement de la capacité au cours du temps.

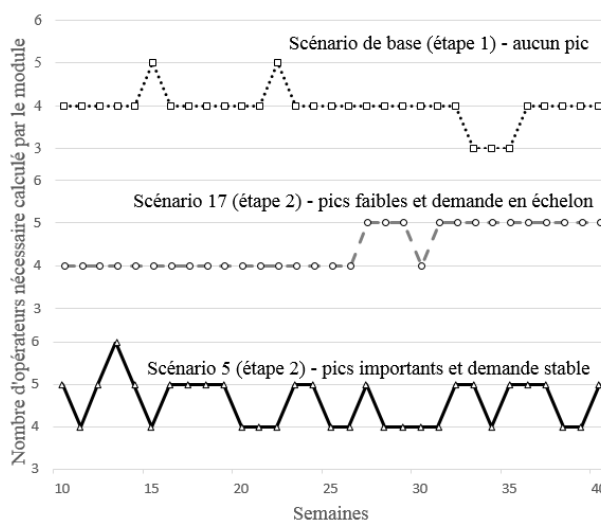


Figure 4 : Nombre d'opérateurs calculé par le module au cours du temps (semaines 10 à 40)

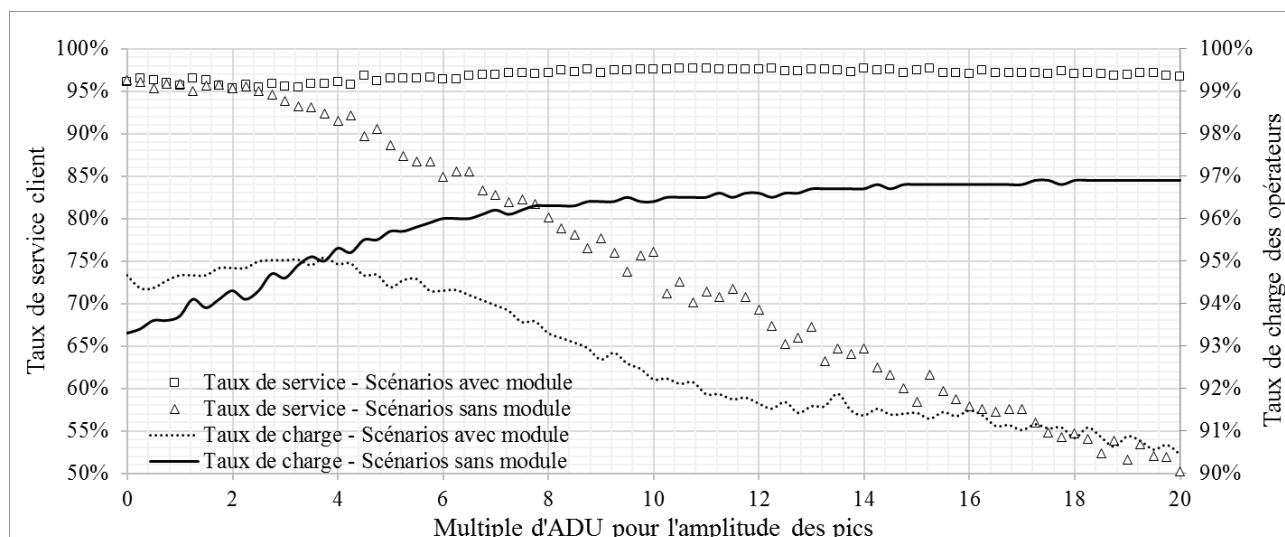


Figure 5 : Taux de service et taux de charge des opérateurs en fonction de l'amplitude des pics de commande, avec et sans module d'ajustement des opérateurs

Il s'agit des résultats de calcul du nombre d'opérateurs entre les semaines 10 et 40 pour les scénarios suivants :

- Le scénario de base (étape 1), où aucun pic n'est considéré et en moyenne 4 opérateurs suffisent à balancer la charge ;
- Le scénario 17 (étape 2), où l'amplitude des pics est faible et la demande en échelon des produits 6 à 15 pousse le module à estimer qu'il faut 5 opérateurs au lieu de 4 à partir de la semaine 25 ; et
- Le scénario 5 (étape 2), où l'amplitude des pics est importante et fait osciller le nombre d'opérateurs entre 4 et 5 (jusqu'à 6 parfois).

4.2 Étape 1 – Effet de l'amplitudes des pics

Cette étape vise à démontrer l'apport du module d'ajustement de la capacité en présence de pics de commande et à identifier trois niveaux d'amplitudes des pics requis pour les expériences de l'étape 2.

La figure 5 présente les résultats de l'étape 1 :

- En abscisse : le multiplicateur d'ADU caractérisant l'amplitude des pics de commande ;
- En ordonné à gauche : le taux de service client, représenté par les marques carrées avec le module et triangulaires sans le module ;
- En ordonné à droite : le taux de charge des opérateurs, représenté par la courbe en pointillé avec le module et pleine sans le module.

Les résultats démontrent que plus l'amplitude des pics est importante, plus le taux de service diminue sans le module d'ajustement (jusqu'à 50% pour des pics correspondant à 20 fois la demande moyenne).

L'atelier peut supporter des pics assez petits, puis il commence à saturer. Avec le module d'ajustement, le nombre d'opérateurs s'adapte à la charge de l'atelier et le taux de service est maintenu autour des 98%.

À partir des deux courbes du taux de service, nous identifions trois niveaux d'amplitude des pics : une amplitude importante de 20 ADU, une amplitude moyenne de 10 ADU (correspondant à un taux de service qui descend au-delà de 95%) et une amplitude faible de 2,5 ADU (le seuil au-delà duquel le système sans le module performe moins qu'avec le module).

4.3 Étape 2 – Effet des signaux de la demande

Les résultats des 24 scénarios de l'étape 2 sont illustrés dans la figure 6 page suivante, avec à gauche le taux de service et à droite le taux de charge. Les barres grises et noires représentent respectivement les résultats sans et avec le module d'ajustement de la capacité.

Sans ajustement de la capacité, le taux de charge varie entre 94% et 99% et le taux de service est en moyenne autour des 60%. Avec l'ajustement de la capacité, le taux de charge varie au-delà de 77%, et le taux de service sont au-dessus des 90%, excepté pour les scénarios 3, 4, 7 et 8. En effet, le taux de service est de 50% avec le module d'ajustement, comparé à 30% sans le module. Il s'agit des « pires » scénarios (taux de charge de 99%) où des pics d'amplitude importante (20 fois l'ADU) surgissent toutes les semaines et les produits 5 à 15 subissent une saisonnalité augmentant la charge de l'atelier en haute saison. Le module d'ajustement de la capacité atteint ses limites dans ces quatre scénarios : il ne peut plus balancer la charge et la capacité (6 opérateurs ne suffisent plus) et arrive à satisfaire juste 50% de la demande.

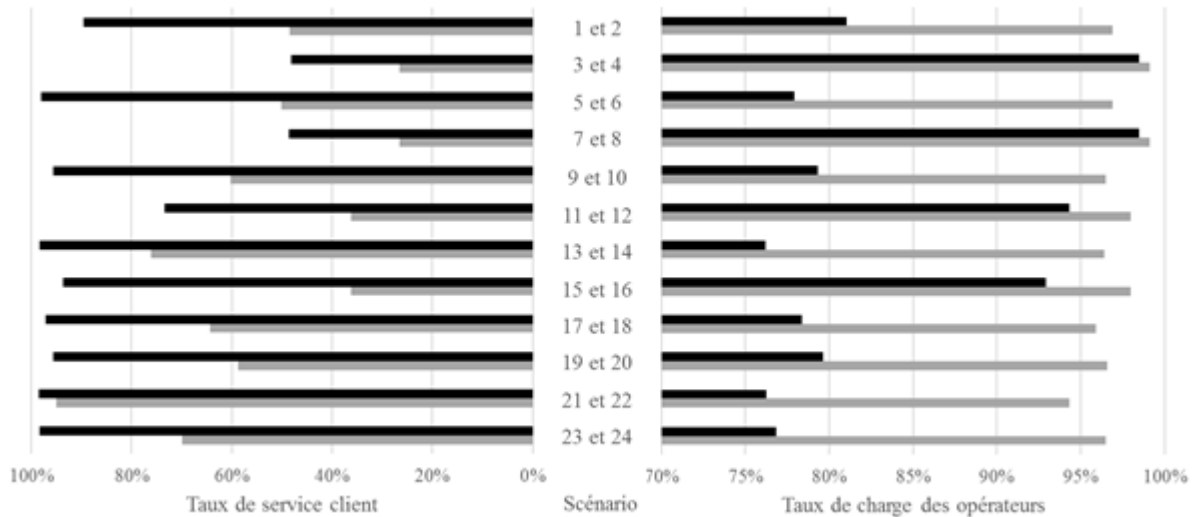


Figure 6 : Taux de service et taux de charge des opérateurs pour chaque scénario sans (barres grises) et avec (barres noires) ajustement de la capacité

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous modélisons et simulons un module d'ajustement de la capacité d'un atelier géré en DDMRP. Ce module permet de considérer des pics de demande et d'harmoniser la charge et la capacité à court terme face à différents scénarios de demande.

Les résultats de la simulation démontrent la capacité de ce module à assurer un taux de service satisfaisant dans la plupart des scénarios, tout en permettant de réduire le nombre d'opérateurs s'ils ne sont pas nécessaires.

Pour aller plus loin, il serait possible désormais de comparer et/ou combiner ce module d'ajustement de capacité avec d'autres mécaniques, dont celles intrinsèques à la méthode DDMRP, soit le dimensionnement des zones des *buffers*, utiliser le Facteur d'ajustement planifié, l'utilisation des *buffers* de capacité, etc.

Des comparaisons peuvent être faites avec les solutions conventionnelles d'ajustement de la capacité comme le recours aux heures supplémentaires, à des équipes supplémentaires de travail, à la sous-traitance capacitaire, etc. Les coûts du changement fréquent du nombre d'employés, ainsi que les contraintes syndicales pourraient également être incorporés.

Enfin, il serait intéressant d'étudier d'autres types d'atelier/de systèmes ainsi que différentes formes de demande pour élargir les conclusions de cette étude.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. Slim Mahmoudi pour son support technique.

REFERENCES

- Bahu, B., Bironneau, L., & Hovelaque, V. (2019). Compréhension du DDMRP et de son adoption: premiers éléments empiriques. *Logistique & Management*, 27(1), 20-32.
- Beach, R., Muhlemann, A. P., Price, D. H., Paterson, A., & Sharp, J. A. (2000). A review of manufacturing flexibility. *European journal of operational research*, 122(1), 41-57.
- Bish, E. K., Muriel, A., & Biller, S. (2005). Managing flexible capacity in a make-to-order environment. *Management Science*, 51(2), 167-180.
- De Toni, A., & Tonchia, S. (1998). Manufacturing flexibility: a literature review. *International journal of production research*, 36(6), 1587-1617.
- Dessevre, G., Martin, G., Baptiste, P., Lamothe, J., & Luras, M. (2019). *Étude d'impact du paramétrage des temps de défilement sur la performance d'un déploiement de la méthode DDMRP*. Communication présentée à CIGI QUALITA 2019-13eme Conférence Internationale CIGI QUALITA, Montréal, Canada.
- Dessevre, G., Martin, G., Baptiste, P., Lamothe, J., Pellerin, R., & Luras, M. (2019). *Decoupled Lead Time in finite capacity flowshop: a feedback loop approach*. Communication présentée à IESM 19-8th International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Shanghai, China (p. p. 142-148).
- Graves, S. C. (1999). Manufacturing planning and control. *Massachusetts institute of technology*, 1-26.

- Hu, Y., Guan, Y., Han, J., & Wen, J. (2017). Joint optimization of production planning and capacity adjustment for assembly system. *Procedia CIRP*, 62, 193-198.
- Ihme, M., & Stratton, R. (2015). *Evaluating demand driven MRP: a case based simulated study*. Communication présentée à International Conference of the European Operations Management Association, Neuchatel, Switzerland.
- Lee, C.-J., & Rim, S.-C. (2019). A Mathematical Safety Stock Model for DDMRP Inventory Replenishment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.
- Martin, G., Baptiste, P., Lamothe, J., Miclo, R., & Luras, M. (2018). *A process map for the demand driven adaptive enterprise model: Towards an explicit cartography*. Communication présentée à 7th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, ILS 2018, July 8, 2018 - July 11, 2018, Lyon, France (p. 664-672).
- Miclo, R., Fontanili, F., Luras, M., Lamothe, J., & Milian, B. (2016). An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1725-1730.
- Miclo, R., Luras, M., Fontanili, F., Lamothe, J., & Melnyk, S. A. (2018). Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. *International Journal of Production Research*, 1-16.
- Ou, J., & Feng, J. (2019). Production lot-sizing with dynamic capacity adjustment. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 261-269.
- Ptak, C., & Smith, C. (2011). *Orlicky's Material Requirements Planning 3/E*: McGraw Hill Professional.
- Ptak, C., & Smith, C. (2016). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*: Industrial Press, Incorporated.
- Ptak, C., & Smith, C. (2018). *The Demand Driven Adaptive Enterprise*: Industrial Press, Incorporated.
- Shofa, M. J., & Widyarto, W. O. (2017). *Effective production control in an automotive industry: MRP vs. demand-driven MRP*. Communication présentée à AIP Conference Proceedings (vol. 1855, p. 020004).
- Vidal, J., Luras, M., Lamothe, J., & Miclo, R. (2020). *Toward an Aggregate Approach for Supporting Adaptive Sales And Operations Planning*. Communication présentée à 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) (p. 1031-1038).
- Vollman, T. E., Berry, W. L., & Whybark, D. C. (1992). *Manufacturing Planning and Control Systems*, Richard D. Irwin. Inc., Homewood, Illinois.
- Vollmann, T. E. (2005). *Manufacturing planning and control for supply chain management*: McGraw-Hill Education.