

ÉTUDE DE LA SOUS-TRAITANCE INDUSTRIELLE DANS UN CONTEXTE DE MAINTENANCE INTÉGRÉE

M.DAHANE, C.CLEMENTZ, N.REZG

Projet COSTEAM – INRIA Nancy Grand Est.

Équipe Systèmes de Production (SdP), Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique (LGIPM).

UFR MIM. Île du Saulcy. 57045. Metz, Cedex 01. France.

dahane@univ-metz.fr, clementz@enim.fr, rezg@univ-metz.fr

RESUME : *La sous-traitance comme une des grandes formes de coopération inter-entreprises est devenue une pratique très répandue capable de répondre aux nouvelles exigences du monde économique et industriel. Dans cet horizon, nous proposons dans cet article une étude d'un système de production prestataire de sous-traitance. Ce système est composé d'une machine M fonctionnant pour satisfaire un client principal via un stock. Pour maximiser l'exploitation de cette machine, on décide de l'allouer à des tâches périodiques de sous-traitance. Notre objectif est de proposer et d'étudier une politique capable de garantir l'équilibre recherché entre la gestion de la maintenance, le contrôle de la production et l'activité de la sous-traitance assurant les intérêts de l'entreprise ainsi que ses différents partenaires, à savoir le client principal et le donneur d'ordres de sous-traitance.*

MOTS-CLES : *Sous-traitance, maintenance préventive, production, simulation, design expérimental.*

1. INTRODUCTION

Dans un monde industriel et commercial sans frontière, la quête des coûts de production suffisamment bas pour faire face à la concurrence a bouleversé les méthodes d'organisation des entreprises, favorisant de nouvelles méthodes de coopération avec les pays d'économie émergente. Parmi ces méthodes, la sous-traitance est devenue une pratique très répandue dans le monde industriel (Amesse et al. 2001), mais qui n'est pas toujours justifiée par les coûts de production. Elle s'inscrit, dans beaucoup de situations, dans une logique de coopération et de coordination basées sur des motivations technologiques et stratégiques.

Selon (Grosman, 2005), la sous-traitance signifie plus que l'achat des matières premières et des marchandises intermédiaires. Elle consiste à trouver un associé avec lequel l'entreprise peut établir un rapport bilatéral basé sur un cahier de charges précis de sorte qu'il devienne capable de produire les marchandises ou les services adaptés aux besoins de l'entreprise.

(Kimura, 2001) remarque que la sous-traitance industrielle n'est pas toujours définie explicitement dans la littérature, néanmoins, il cite que dans sa plus large acception, la sous-traitance se rapporte à l'achat d'une partie d'un produit ou d'un processus d'une entreprise différente. En se référant à d'autres auteurs, tels que (Kawasaki, 1998), on définit la relation de sous-traitance comme «une relation contractuelle dans laquelle une grande société demande à une petite société de conduire un travail commissionné (production de pièces, de composants ou de produits finis) sous une position dominante.»

Selon la définition de la Commission européenne et de l'Association Française de Normalisation, le preneur d'ordres (le sous-traitant) est tenu de se conformer exactement aux directives ou spécifications techniques arrêtées par le donneur d'ordres. Le donneur d'ordres garde la responsabilité technique, commerciale et juridique des produits et des composants (SESSI, 2006).

Nos travaux ont comme but d'étudier une entreprise (un système de production) 'A', à la fois fournisseur d'un certain nombre de clients traditionnels 'B', sous forme de relation classique client – fournisseur et prestataire de sous-traitance fournie à un autre entreprise 'C' appelée donneur d'ordres de sous-traitance sous forme d'une relation donneur d'ordres – sous-traitant, caractérisée par des tâches périodiques appelées tâches de sous-traitance (TST). Devenir un sous-traitant est justifié par la volonté de l'entreprise 'A' de mieux exploiter les capacités de production dont elle dispose tout en diversifiant ses relations avec ses clients directs. En effet, la sous-traitance est vue comme une opportunité et un choix stratégique visant à garantir un rapport gagnant – gagnant entre ces différents protagonistes.

Dans ce cadre, la contrainte de ce travail est de trouver le meilleur compromis entre la gestion interne de l'entreprise 'A' en terme de maintenance et de production, et la gestion de ces activités externes, à savoir, sa relation client – fournisseur avec ses principaux clients, et sa relation donneur d'ordres – sous-traitant avec les donneurs d'ordres ayant les meilleurs offres.

Cependant, au plan interne, le système étudié (c'est-à-dire l'entreprise 'A') est régi par une approche faisant le

couplage entre la gestion de la maintenance et la gestion de la production, dite de maintenance intégrée.

Il est toutefois intéressant de rappeler l'efficacité et l'importance d'une telle approche dans la gestion moderne des systèmes de production qui se base sur une prise en compte simultanée des politiques adoptées au niveau de la maintenance et du contrôle de la production. De nombreuses études se sont intéressées au couplage de la maintenance et la production, parmi lesquelles on peut citer celle de (Buzacott, 1967) qui a étudié l'impact de l'ajout d'un stock intermédiaire sur la productivité d'un système. Dans le même esprit, (Conway et al., 1988) ont analysé par simulation le nombre d'unités produites par un système relativement à la taille du stock intermédiaire. (Cheung et Hausmann, 1997) ont proposé à travers leur étude une optimisation simultanée du stock stratégique et la politique de maintenance du type âge.

(Van der Dyun Schouten et Vanneste, 1995) ont proposé une politique de maintenance préventive basée sur l'âge de la machine et la capacité du stock séparant deux machines. (Rezg et al., 2004) ont présenté une optimisation conjointe de la maintenance préventive et de la gestion du stock pour une ligne de production composée de plusieurs machines en série. (Kenné et Gharbi, 2004) ont étudié une optimisation stochastique du problème de gestion de production et de la maintenance corrective, basée sur un modèle stochastique. Ils ont proposé une méthode pour trouver l'âge optimal des actions de maintenance préventive et les cadences de production optimales pour un système composé de machines identiques.

Dans (Dahane et al., 2006) nous avons prouvé l'optimalité d'une politique de maintenance intégrée, par rapport à une politique de maintenance simple dissociant la gestion de la maintenance et celle de la production dans le cas d'un système composé de deux machines soumises à certaines conditions de surcoût de production. Plus récemment, nous avons présenté dans (Dahane et al., 2007) une modélisation analytique d'un système soumis à une contrainte de sous-traitance intégrant les politiques de maintenance et de production mais sous l'hypothèse d'une machine inaltérable pendant la phase de construction du stock.

Notre objectif à travers cet article est d'étudier par simulation une politique de maintenance intégrée sous la contrainte de la sous-traitance. Il s'agit de déterminer la meilleure période de maintenance préventive et le meilleur niveau de stock à garantir, assurant un coût moyen par unité de temps optimal.

Le reste du papier est organisé comme suit : lors de la prochaine section, nous présentons la problématique et le système étudié. Dans la section 3, nous présentons la politique de maintenance intégrée qui fait l'objet de notre étude. La section 4 est consacrée à l'optimisation de la politique considérée ainsi qu'aux résultats obtenus. La conclusion et d'éventuelles perspectives seront détaillées dans la section 5.

2. PROBLÉMATIQUE

Le système considéré est composé d'une seule machine M qui fonctionne pour alimenter un stock S , à partir duquel la demande du client principal d est satisfaite. À chaque instant t la cadence de la machine M est donnée par $U(t)$. Notons que la machine peut fonctionner avec une cadence maximale U_{max} .

Sur un autre plan, et suite aux pannes aléatoires de la machine M , des actions de maintenance corrective de durées aléatoires sont exécutées. En plus, la machine est soumise à un programme de maintenance préventive de type bloc, c'est-à-dire chaque période T . $MTTR$ et Z_p sont respectivement les durées moyenne d'une action de maintenance corrective et d'une action de maintenance préventive. $MTBF$ désigne la durée moyenne de bon fonctionnement de la machine M . Notons par $\Phi(D)$ le nombre moyen de pannes pendant une période $D = [t_1, t_2]$.

La machine M peut être allouée pour effectuer les tâches de sous-traitance (TST) demandées par le donneur d'ordres de sous-traitance. Ces TST arrivent avec une fréquence A_1 et seront réalisées durant une période utile A_2 . \tilde{A}_1 représente la date effective de début de réalisation de la TST qui prend en compte la fréquence de la TST ainsi que les capacités de son intégration dans le plan de gestion de l'entreprise. On a $\tilde{A}_1 = A_1 \pm \Delta A_1$. D'autre part, \tilde{A}_2 représente la durée globale de la TST qui se compose de la période utile de la TST et les durées de pannes pendant cette période utile. Cette distinction entre la durée globale et utile de la TST est basée sur le fait que les durées de maintenances correctives pendant la sous-traitance ne sont pas comptabilisées dans la durée facturée au donneur d'ordres de sous-traitance.

Nous présentons dans cet article l'optimisation d'une Politique de Maintenance Intégrée sous contrainte de Sous-traitance PMIS, à travers laquelle nous proposons une gestion simultanée de la maintenance et de la production, tout en prenant en compte la contrainte de la sous-traitance. Cette optimisation est basée sur un critère de minimisation des coûts engendrés par les actions de maintenances correctives et préventives ainsi que les coûts de gestion du stock dans le but de déterminer le couple optimal (h^*, T^*) qui désigne le niveau optimal du stock à assurer pendant la phase de construction du stock et la date optimale de maintenance préventive.

3. LA POLITIQUE DE MAINTENANCE INTÉGRÉE SOUS LA SOUS-TRAITANCE

3.1. Définition

La politique de maintenance intégrée sous contrainte de sous-traitance PMIS consiste à allouer la machine M pour réaliser une seule TST durant le cycle $T+Z_p$ après avoir assuré le niveau seuil h du stock S à partir de l'instant $t = \tilde{A}_1$ et pour une durée utile A_2 .

Nous distinguons deux cas possibles :

Cas 1 : Il n'y a pas de pénurie

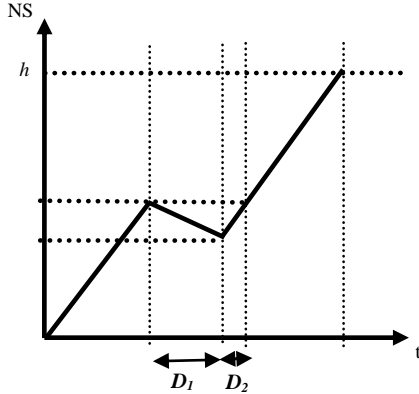


Figure 2. Cas 1 : Comportement du niveau du stock pendant la phase I.

La figure ci-dessus illustre le comportement du niveau du stock pendant la phase I de construction du stock dans le cas où il n'y pas de situation de pénurie. Dans ce cas nous obtenons :

$$\begin{cases} D_1 = \Phi(h/\alpha)MTTR \\ D_2 = ((d\Phi(h/\alpha)MTTR)/\alpha) \end{cases}$$

Ainsi, on a $\Omega = (((\alpha + d)\Phi(h/\alpha)MTTR)/\alpha)$

Et par conséquent la date probable d'aller en TST est :

$$\tilde{A}_1 = \frac{h + (\alpha + d)\Phi(h/\alpha)MTTR}{\alpha}$$

Cas 2 : Il y a une pénurie

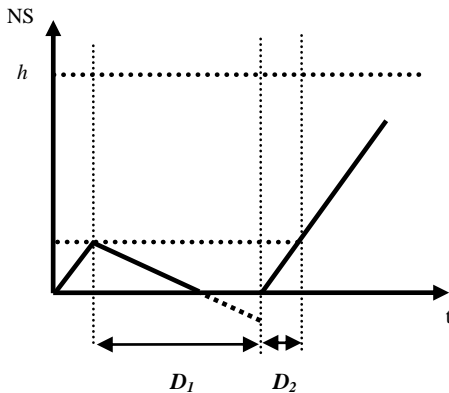


Figure 3. Cas 2 : Comportement du niveau du stock pendant la phase I.

La figure 3 ci-dessus illustre le comportement du niveau du stock pendant la phase I de construction du stock dans le cas où il y a possibilité de pénurie. Dans ce cas nous obtenons :

$$\begin{cases} D_1 = \Phi(h/\alpha)MTTR \\ D_2 < ((d\Phi(h/\alpha)MTTR)/\alpha) \end{cases}$$

Ainsi, on a $\Omega < (((\alpha + d)\Phi(h/\alpha)MTTR)/\alpha)$

Et par conséquent la date probable d'aller en TST est :

$$\tilde{A}_1 < ((h + (\alpha + d)\Phi(h/\alpha)MTTR)/\alpha)$$

Dans le cas général, la phase I peut être composée des deux scénarios à la fois. Cela implique que pour la politique PMIS la date probable d'exécution de la TST \tilde{A}_1 , est telle que :

$$\frac{h}{\alpha} \leq \tilde{A}_1 \leq \frac{h + (\alpha + d)\Phi(h/\alpha)MTTR}{\alpha}$$

3.3. Politique d'affectation à la sous-traitance

Comme le stipule l'hypothèse 3, la stratégie d'affectation de la machine M à la sous-traitance adoptée par la politique PMIS impose que la machine soit allouée pour effectuer la TST demandée à partir de l'instant $t = \tilde{A}_1$, pour une durée utile \tilde{A}_2 .

3.4. Politique de maintenance

La politique PMIS adopte une stratégie de maintenance qui stipule d'exécuter des actions de maintenance à chaque panne, et une action de maintenance préventive aux instants kT ($k=1, n$).

Ceci peut être décrit suivant les différentes phases du fonctionnement de la machine durant un cycle :

- Phase I : $[0, \tilde{A}_1]$: La machine peut tomber en panne avec une moyenne $\Phi(\tilde{A}_1)$. Chacune des actions de maintenance corrective exécutées sur la machine durant cette période génère un coût M_C .
- Phase II : $[\tilde{A}_1, \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2]$: La machine est allouée à la sous-traitance mais peut tomber en panne avec une moyenne $\Phi(\tilde{A}_2) = \Phi(A_2)$. Chacune des actions de maintenance corrective exécutées sur la machine durant cette période génère un coût \tilde{M}_C . Avec $\tilde{M}_C > M_C$.
- Phase III : $[\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2, T]$: Après la sous-traitance la machine peut tomber en panne avec une moyenne $\Phi(T - \tilde{A}_2 - h/\alpha) = \Phi(T) - \Phi(A_2)$. Chaque action de maintenance corrective pendant cette période génère un coût M_C .
- Phase IV : $[T, T + Z_p]$: À la partir de la date T , on exécute sur la machine une action de maintenance préventive à un coût M_p , avec $M_p < M_C$.

4. ÉTUDE DE LA POLITIQUE PMIS BASEE SUR LA SIMULATION

À cause de la complexité du cycle de production de la politique PMIS, engendré notamment par la probabilité de panne pendant la phase de construction du stock, on a décidé d'établir une étude basée sur la simulation. Le modèle de simulation de la politique PMIS est conçu pour déterminer le coût total moyen par unité de temps correspondant à des valeurs données des variables de décisions, qui représentent l'âge de maintenance préventive T et le niveau seuil du stock h à assurer pendant la phase I. Ce coût total moyen par unité de temps associé à la politique PMIS est composé des coûts moyens de maintenance, de gestion de stock et de pénurie, notés respectivement : L_M , L_S et L_P .

Ainsi :

$$C_t^{PMIS} = L_M + L_S + L_P$$

Le modèle analytique du coût C_t^{PMIS} est établi en se basant sur le design expérimental. Le modèle obtenu sera optimisé pour déterminer les valeurs optimales des variables de décision T^* et h^* , ainsi que le coût moyen optimal qui leur est associé.

La figure 4 décrit la méthodologie utilisée dans l'optimisation de la politique PMIS.

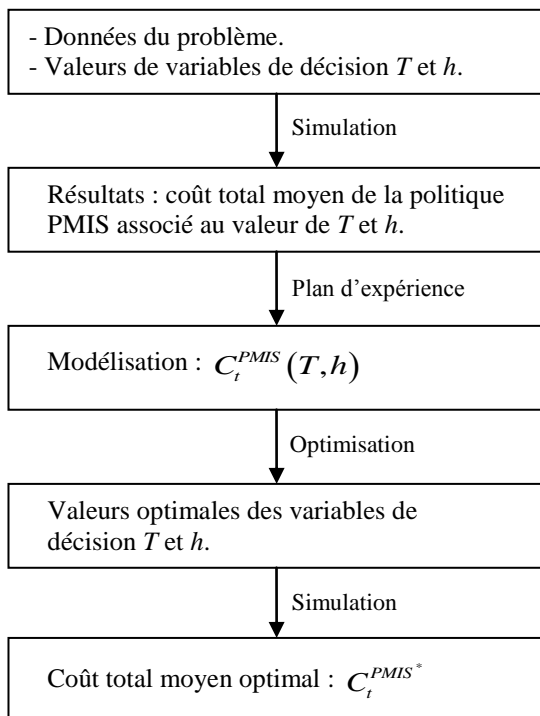


Figure 4. Méthodologie d'optimisation de PMIS.

4.1. Modèle de simulation

Un des principes de la simulation à évènement discrets est la logique (la manière) avec laquelle le système

évolue dans le temps. Il existe deux approches pour commander le temps :

- Le découpage du temps, dans ce cas, le système évolue avec des tranches de temps fixes.
- Le prochain évènement, dans cette approche, le système avance jusqu'au prochain évènement.

Dans cet article, la simulation est basée sur les deux approches. Nous avons d'abord découpé le temps en plusieurs intervalles de longueur $T+Z_p$ qui correspondent aux cycles de maintenance préventive, ce qui concorde avec les principes de la première approche.

Ensuite, et pour chaque cycle T , l'évolution dans le temps est basée tout d'abord sur un découpage de temps, engendrant quatre principaux états : phase I, TST, fonctionnement à la demande puis maintenance préventive, ainsi que sur le principe du prochain évènement pendant chacun de ces quatre états. Les évènements susceptibles d'arriver dépendent de la nature de l'état du système (Une demande, fin de production d'une pièce, début de maintenance...), et font basculer la machine entre fonctionnement et maintenance, ou produisent des modifications sur les coûts engendrés.

La figure 5 ci-dessous décrit le fonctionnement de notre système pendant un cycle $T+Z_p$ qui résulte du découpage du temps de ce cycle. La machine M passe d'abord par une phase de construction du stock à sa cadence maximale. Pendant cette phase elle peut tomber en panne. En atteignant le niveau désiré, la machine est affectée pour effectuer une TST pour une période globale \tilde{A}_2 . À la suite de cette période, elle passe à un mode de fonctionnement à la demande jusqu'à la date T de maintenance préventive.

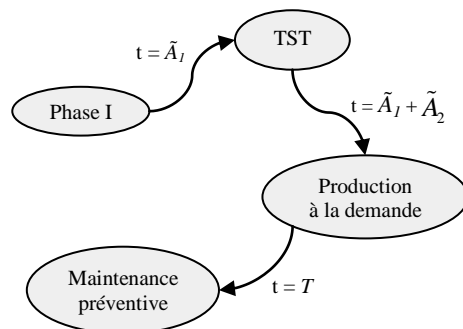


Figure 5. Découpage du temps, et les états de la machine M pendant un cycle.

Cependant, la figure 6, illustre les détails de l'évolution du temps durant chaque état du cycle. Nous remarquons sur la figure ci-dessous les différents états du système à chaque étape de son fonctionnement.

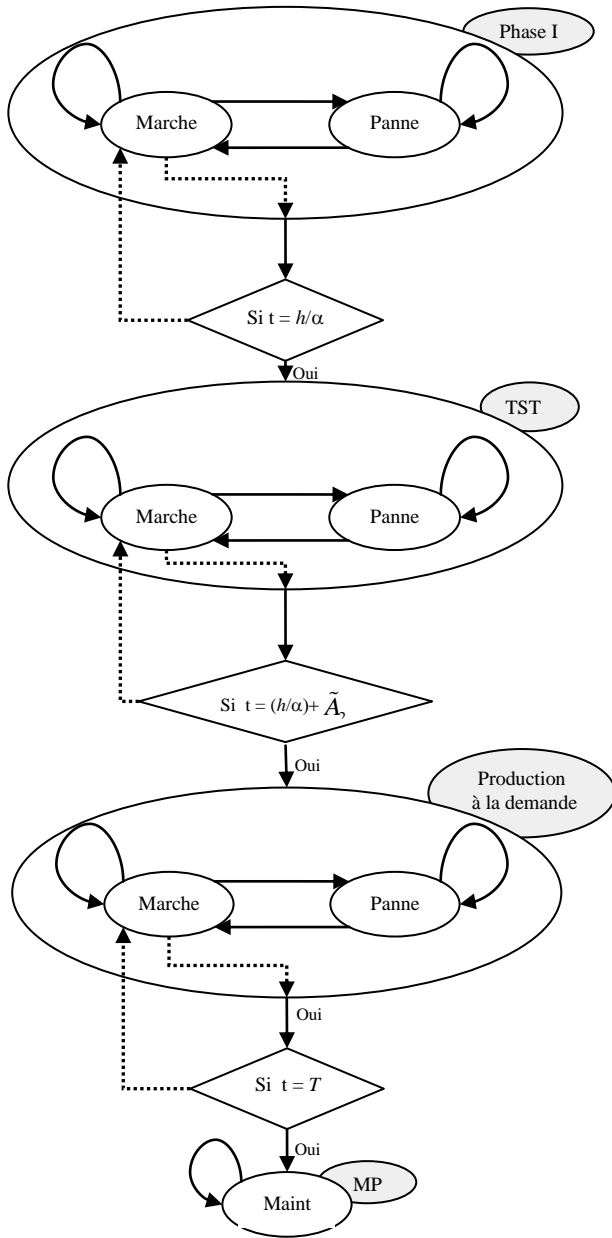


Figure 6. Étape du fonctionnement de la machine M pendant un cycle.

4.2. Algorithme de simulation

Ainsi, en se basant sur la logique décrite ci-dessus, l'algorithme que nous avons suivi dans notre simulation peut être résumé comme suit :

Entrées :

- Les lois de pannes, maintenance préventive et corrective : $f(\cdot)$, $gp(\cdot)$, $gc(\cdot)$,
- Fréquence de la sous-traitance : A_1 et sa durée : A_2 ,
- Les paramètres de la demande d ,
- Les coûts des maintenances : M_P , M_C , \tilde{M}_C , coût de stockage : C_S , coût de pénurie : C_P ,
- Temps de simulation : $tsim$.

Sorties : Coût total moyen pour chaque couplet (T, h) .

Début

- Pour chaque couplet (T, h) , Faire :
 - Initialiser l'état du système à l'état de fonctionnement.
 - Tant que $tsim$ n'est pas écoulé faire simuler le fonctionnement du système :
 - Simuler un le fonctionnement de la machine M pendant un cycle T
 - Lire l'état du système e .
 - Déterminer le prochain évènement parmi l'ensemble des évènements correspondants à e .
 - Effectuer les mises à jours (les coûts, le niveau du stock, ...) appropriées à cet évènement.
 - Éventuellement, basculer vers le nouvel état du système.
 - Enregistrer le coût résultant.

Fin.

4.3. Analyse de la variance

Notre objectif à travers cette partie est de déterminer le couple (T^*, h^*) en déterminant le coût total moyen optimal par unité de temps C_t^{PMIS} .

Pour illustrer notre démarche, nous avons considéré l'exemple numérique présenté par le tableau 1.

M_C	\tilde{M}_C	M_P	C_P	C_S
3000	5000	300	1000	5

Tableau 1. Structure des coûts en um (unités monétaires)

La machine M peut produire avec une cadence maximale $U_{max} = 60$ pièces/u.t (unité de temps). Sa durée de vie suit la loi de Weibull $(2, 100)$ avec une moyenne $MTBF = 88.6$ u.t. La durée moyenne de maintenance corrective est $MTTR = 15$ u.t et celle de la maintenance préventive est $Z_p = 5$ u.t.

D'autre part, la demande $d = 10$ pièces/u.t, pour $\alpha = (U_{max} - d) = 50$ pièces/u.t. La durée utile de la sous-traitance $A_2 = 50$ u.t.

Pour la modélisation des résultats de la simulation, on a utilisé le design expérimental à trois niveaux $(-1, 0, 1)$ et à deux facteurs. Les deux facteurs sont les variables de décision, à savoir, l'âge de maintenance préventive T et la capacité du stock h . L'âge de maintenance préventive varie entre 110 et 120. La capacité du stock h quant à elle varie entre 650 et 770.

Le Tableau 2 fait les correspondances entre les niveaux réels des variables de décision T et h adoptées dans la simulation et les valeurs utilisées dans le plan d'expériences.

	Niveau -1	Niveau 0	Niveau 1
T	110	115	120
h	650	710	770

Tableau 2. Correspondance entre les niveaux réels et ceux du plan d'expériences.

À partir de ce tableau, on définit les relations de correspondance, soient :

$$X_T = \frac{T-115}{120-115} = \frac{1}{5}T - 23$$

Et :

$$X_h = \frac{h-710}{770-710} = \frac{1}{60}h - \frac{71}{6}$$

Après plusieurs essais, nous avons obtenu les courbes suivantes :

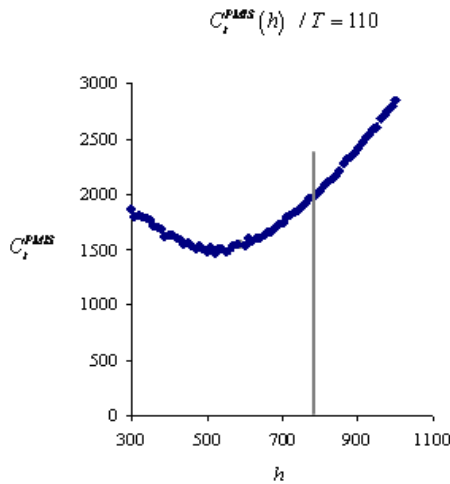


Figure 7. Coût total moyen $C_t^{PMIS}(h)$ pour $T = 110$.

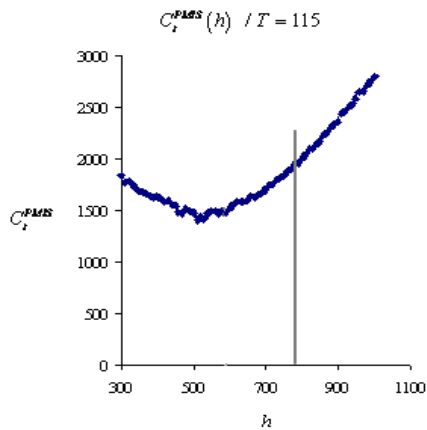


Figure 8. Coût total moyen $C_t^{PMIS}(h)$ pour $T = 115$.

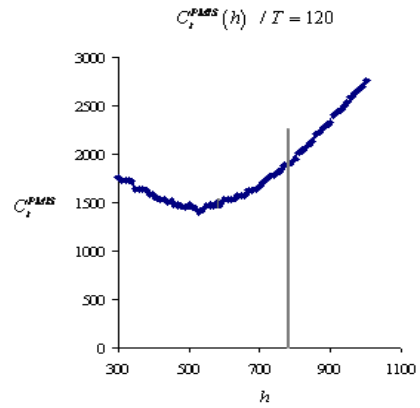


Figure 9. Coût total moyen $C_t^{PMIS}(h)$ pour $T = 120$.

À partir de ces différentes courbes on conclut que le modèle analytique du coût total moyen est quadratique, ainsi, la forme générale de l'expression du coût total moyen par cycle sera sous la forme :

$$C_t^{PMIS}(X_T, X_h) = a_0 + a_1X_T + a_2X_h + a_3X_T^2 + a_4X_h^2 + a_5X_TX_h$$

Remarque : Dans les figures 7, 8 et 9 le coût moyen par unité de temps est représenté à partir d'un niveau seuil $h = 300$ pour éviter un problème d'échelle, et cela afin de bien montrer la convexité de la courbe.

En effectuant la simulation (2 répliques x 1000000 ut), on obtient la matrice des essais suivante :

Essai	T	h	C_t^{PMIS}
1	110	650	1530,588895
2	110	710	1463,429741
3	110	770	1551,724705
4	115	650	1486,445960
5	115	710	1435,894984
6	115	770	1490,401283
7	120	650	1488,907886
8	120	710	1444,138593
9	120	770	1495,643640

Tableau 3. Matrice des essais.

Coefficients	signification	dl	Signification moyenne	F-expérimental	F-théorique	S/N
XT	1687.472	1	1687.472	20.413	10.1	S
Xh	69.471	1	69.471	0.840	10.1	NS
XT^2	1505.468	1	1505.468	18.211	10.1	S
Xh^2	7754.220	1	7754.220	93.801	10.1	S
$XT.Xh$	151.512	1	151.512	2.074	10.1	NS
Régression	$1.9974(10)^7$	6	$3.329(10)^6$	$4.027(10)^4$	8.44	GS
Résidu	247.999	3	82.666			
Totale	$1.9974(10)^7$	9				

Tableau 4. Analyse de variance.

Le tableau 4 ci-dessus présente une analyse de variance pour déterminer les coefficients influents sur le coût C_i^{PMIS} .

À partir des résultats de cette analyse et en éliminant les coefficients non significatifs, l'expression du coût devient :

$$C_i^{PMIS}(X_T, X_h) = a_0 + a_1 X_T + a_3 X_T^2 + a_4 X_h^2$$

Sachant que :

$$a_0 = 1429.53, a_1 = -16.77, a_3 = 27.43 \text{ et } a_4 = 62.26$$

On trouvera :

$$C_i^{PMIS}(X_T, X_h) = 1429.53 - 16.77 X_T + 27.43 X_T^2 + 62.26 X_h^2$$

En remplaçant les valeurs des termes X_h et X_T l'expression finale du coût sera :

$$C_i^{PMIS}(T, h) = 1.097T^2 - 255.765T + 0.017h^2 - 24.560h + 25047.928$$

La courbe isoréponse associée à cette équation est illustrée par la figure suivante :

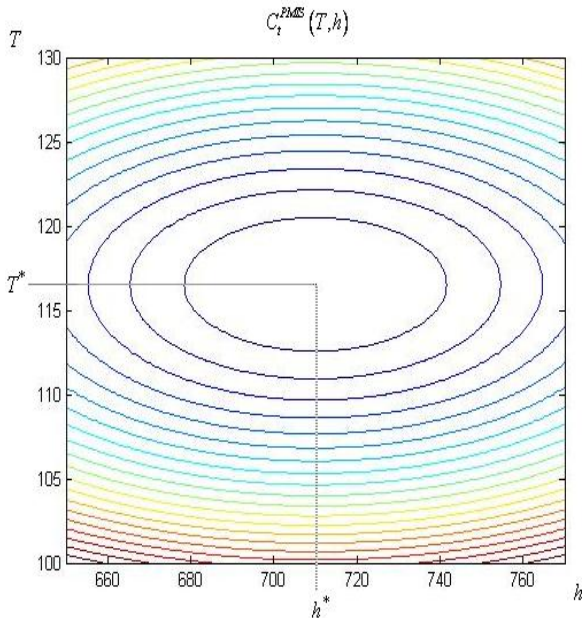


Figure 10. La courbe isoréponse de C_i^{PMIS} en fonction de T et h .

4.4. Optimisation

Afin d'optimiser le coût total moyen par cycle, on le dérivera par rapport à chaque variable de décision de la sorte :

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i^{PMIS}}{\partial T} = 2.194T - 255.765 \\ \frac{\partial C_i^{PMIS}}{\partial h} = 0.034h - 24.560 \end{cases}$$

Ainsi, les valeurs optimales des variables de décisions sont :

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i^{PMIS}}{\partial T} = 0 \Rightarrow T^* = 116.52 \\ \frac{\partial C_i^{PMIS}}{\partial h} = 0 \Rightarrow h^* = 710 \end{cases}$$

Dans ce cas, le coût total moyen optimal par unité de temps correspondant est $C_i^{PMIS}(h^*, T^*) = 1426.967 \text{ u.m.}$ (Voir figure 10 ci-contre).

5. CONCLUSION

Dans cet article nous avons étudié un système de production soumis à une contrainte de sous-traitance, dans un contexte de maintenance intégrée.

Le système considéré est composé d'une machine fonctionnant pour satisfaire la demande du client principal. Afin de maximiser l'exploitation de la machine, il a été décidé d'allouer la machine pour réaliser des tâches de sous-traitance pour un tiers, appelé donneur d'ordres de sous-traitance. Ces tâches sont caractérisées par des fréquences d'arrivée et des durées de réalisations connues. Dans ce cas, la sous-traitance est vue comme une opportunité pour accroître les profits de l'entreprise et un moyen pour diversifier ses relations.

En ayant recours au technique de la simulation et le design expérimental nous avons présenté une politique appelée Politique de Maintenance Intégrée sous contrainte de Sous-traitance PMIS qui repose sur le fait que la machine doit assurer un certain niveau du stock avant qu'elle soit allouée à la sous-traitance. Ce niveau doit satisfaire la demande durant les périodes d'indisponibilité de la machine durant tout le cycle, causées par la sous-traitance et les occurrences des pannes. La politique PMIS a été optimisée en se basant sur un critère de coût économique afin de déterminer le niveau optimal du stock à assurer pendant la phase I, ainsi que l'instant optimal pour exécuter l'action de maintenance préventive.

Cette étude nous permet ensuite d'envisager quelques extensions sur les stratégies à adopter pour garantir une gestion équilibrée de l'entreprise qui prend en compte à la fois sa relation avec son client principal et sa relation de sous-traitance avec les donneurs d'ordres.

REFERENCES

- Amesse, F., Dragoste, L., Nollet, J., Ponce, S., 2001. "Issues on partnering: evidences from subcontracting in aeronautics", *Technovation*, vol. 21, p.559-569.
- Buzacott, J.A., 1967. "Automatic transfer lines with buffer stocks", *International Journal of Production Research*, vol. 5, n° 3, p. 183-200.

- Cheung, K. L., Hausmann, W. H., 1997. "Joint optimization of preventive maintenance and safety stock in an unreliable production environment", *Naval Research Logistics*, 44, 257-272.
- Conway, R., Maxwell, W., Mc Clain, J.O., Thomas, L.J., 1988. "The role of work-in-process inventory in serial production lines", *Operations Research*, 36/2, 229-241.
- Dahane, M., Clémentz, C., Rezg, N., 2006. "Optimalité d'une politique de maintenance intégrée dans un contexte de sous-traitance". *6ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation Modélisation" (MOSIM 2006)*, Rabat, Maroc.
- Dahane, M., Clémentz, C., Rezg, N., 2007. "Couplage de la gestion de la maintenance et de la production sous une contrainte de sous-traitance". *3ème édition du colloque international francophone : « Performances et nouvelles technologies en Maintenance » (PENTOM 2007)*, Mons. Belgique.
- Grossman, G. M., Helpman, E., 2005. "Outsourcing in a Global Economy", *Review of Economic Studies*, 72, 135–159.
- Kawasaki, A., 1998. "The National Economy and SMEs". *The Economics of SMEs*, Edition 4, Tokyo: Yuhikaku.
- Kenne, J.P., Gharbi, A., 2004. "Stochastic optimal production control problem with corrective maintenance", *Computers and Industrial Engineering*, 46, 865-875.
- Fukunari Kimura, 2001. "Subcontracting and the Performance of Small and Medium Firms in Japan". 20 pages. Stock No. 37192. *The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank*.
- Rezg, N., Xie, X, Mati, Y., 2004. "Joint optimization of preventive maintenance and inventory control in a production line using simulation", *International Journal of Production Research*. 15 May 2004, vol. 42, n° 10, p. 2029-2046.
- Service des études et des statistiques, industrielles (SESSI), 2006. "La sous-traitance industrielle en chiffres, métaux, plastiques, caoutchouc, électronique", Production industrielle, hors série. Édition 2006. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Ministère délégué à l'Industrie.
- Van Der Dyun Schouten, F.A., Vanneste, S.G., 1995. "Maintenance optimization of a production system with buffer capacity", *European journal of Operational Research*, vol. 82, n° 2, p.323-338.