

# Proposition d'une nouvelle démarche d'industrialisation préliminaire des pièces d'automobile

F. GUINI<sup>1</sup>, A. EL BARKANY<sup>2</sup> et A. JABRI<sup>3</sup>

1. Laboratoire de Génie Mécanique, FST de Fès, [fatimazahra.guini@gmail.com](mailto:fatimazahra.guini@gmail.com)

2. Laboratoire de Génie Mécanique, FST de Fès, [a\\_elbarkany2002@yahoo.fr](mailto:a_elbarkany2002@yahoo.fr)

3. Laboratoire de Génie Mécanique, FST de Fès, [abdelouahhab.jabri@usmba.ac.ma](mailto:abdelouahhab.jabri@usmba.ac.ma)

## Résumé

L'objectif de ce travail est de proposer à une entreprise manufacturière une approche d'industrialisation préliminaire d'un nouveau produit au sein d'un atelier de fabrication des pièces mécaniques. La démarche proposée a pour but de déterminer un processus de fabrication adéquat via une planification systématique du niveau de qualité de ce dernier en se basant sur l'analyse AMDEC et une méthode d'évaluation à savoir l'outil QFD afin de calculer un indicateur de capacité global du procédé sélectionné. Une gestion de flux de production d'un système Flow shop sera envisagée par notre approche afin d'établir un planning de fabrication optimal. Une étude de cas sera présentée pour illustrer cette approche dans le processus d'usinage de 3 disques de frein pleins.

**Mots clefs :** *Industrialisation, AMDEC, QFD, Capacité, Flow shop Ordonnancement.*

## 1. Introduction

Dans cet article, nous proposons à une société marocaine de fonderie, une approche d'industrialisation préliminaire d'un nouveau produit qui peut soutenir le planificateur de processus afin de satisfaire les objectifs stratégiques de l'entreprise. Cette approche comprend des outils qui ont prouvé leur capacité à accroître la rentabilité des entreprises en améliorant la qualité des produits et en réduisant les délais de livraison au client.

À ce jour, de nombreuses activités de recherche et de développement ont été consacrées à l'élaboration d'un certain nombre de méthodes différentes afin d'évaluer l'impact du processus de développement sur la qualité des produits. Chin et al. [1] ont proposé une approche pour réaliser la planification préliminaire de la qualité dans laquelle le QFD est incorporé. Alaa.al [2] propose une approche qui combine l'optimisation de la qualité et du coût de production d'un produit. Jabri.al [3] propose une approche d'amélioration de la performance des gammes d'usinage.

Afin de déterminer les ressources de fabrication avec une capacité de traitement appropriée, les outils de déploiement de la qualité de fonction (QFD), de l'analyse de mode de défaillance (AMDEC Processus) et de l'évaluation de la capacité des ressources sont

utilisés. Ensuite, pour supporter la cadence demandée par le client, une étude de dimensionnement de la ligne de fabrication est prise en compte. Finalement, pour chasser les pertes de temps dues au choix de l'ordre de passage des types de pièce sur la ligne de fabrication, un algorithme d'ordonnancement est appliqué.

Le reste de cet article est organisé comme suit : une présentation de l'approche proposée est décrite dans la section 2. Les méthodes et les outils sont expliqués dans la section 3. La dernière section intègre une étude de cas.

## 2. L'approche proposée

L'industrialisation d'un produit englobe toutes les activités qui aident à transformer le produit, à contrôler la qualité de sa réalisation et à gérer le flux de sa production. La figure 1 montre les étapes de l'approche proposée.

### 2.1 Conception d'une gamme d'usinage

La conception d'une gamme d'usinage a comme objectif de définir les opérations qui doivent être effectués afin de transformer les matières en produit fini. D'après Weill [4], l'élaboration d'une gamme d'usinage doit respecter les tâches suivantes : Choisir les types des opérations et les outils qui peuvent les exécuter; sélectionner les machines-outils; Ordonner les opérations d'usinage en tenant compte des antériorités techniques et économiques; Examiner les possibilités de mise en position et les cotes de fabrication ; Préciser pour chaque phase les conditions de travail (vitesse de coupe, l'avance, profondeur de passe); et finalement, la rédaction d'un dossier de fabrication contenant les résultats obtenues dans les étapes précédentes.

### 2.2 La maison de la qualité (QFD)

Le QFD est une approche permettant de traduire de façon appropriée les attentes du client en spécifications du produit et de son processus. A partir d'un dessin de définition de la pièce à produire, on peut extraire des informations correspondant aux caractéristiques de la qualité qui sont des caractéristiques géométriques, mécaniques, physiques et chimiques. On s'intéresse, pour l'étude de notre cas, aux caractéristiques géométriques [5].

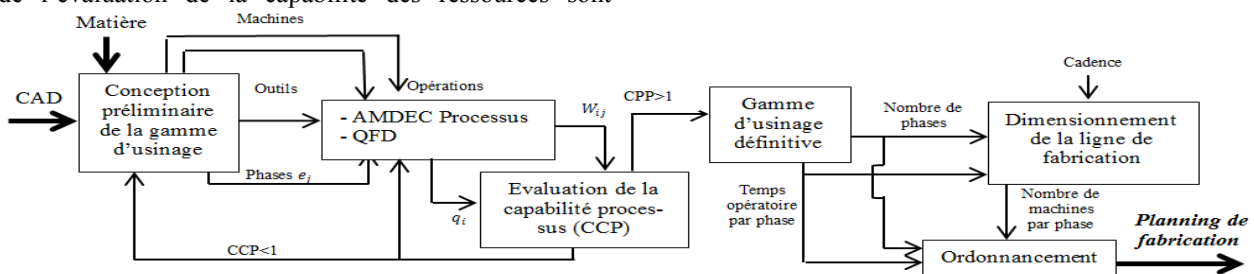


Figure 1 : Approche proposée pour l'industrialisation préliminaire d'un nouveau produit.

### 2.3 AMDEC Processus

Une analyse AMDEC Processus sur chacune des opérations permet de vérifier opération par opération et dégager les anomalies qui pourraient être générées. Pour se faire, les experts effectuent la notation (entre 1 et 10) de la fréquence d'apparition de la défaillance (F), de sa gravité (G) et de sa probabilité de non détection (D) et consignent l'ensemble dans un tableau. La criticité est alors le produit de ces trois notes :  $C=F.G.D$ , ce qui permet de classer les défaillances et définir les priorités. Des actions doivent finalement se mettre en place pour diminuer la fréquence ou améliorer la détection afin de diminuer les défaillances les plus critiques [3].

### 2.4 L'évaluation de la capacité processus

L'objectif de cette étape est d'évaluer la qualité d'un procédé par la mesure de la capacité du processus. L'indicateur adopté dans le cadre de cette approche est l'indicateur de Capacité Composite CCP proposé par Zheng [6]. Il est calculé à partir de la matrice qualité, un processus est alors "capable" si son CCP est supérieur à 1. Le CCP peut être estimé par la formule suivante :

$$CCP = \prod_{i=1}^m (Cq_i)^{v_i} \quad (1)$$

$Cq_i$  : La capacité d'assurer la caractéristique de la qualité  $q_i$ .

$$Cq_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} \cdot Ce_j, \quad i=1; 2...; m \quad (2)$$

$W_{ij}$  : Les coefficients des relations entre  $q_i$  et  $e_j$ .

$Ce_j$  : L'indicateur de la capacité du  $j^{\text{ème}}$  élément du processus ( $e_j$ ).

$$Ce_j = (1 + \frac{x_j - x_j^0}{U_j - L_j})^{\gamma_j} \quad \text{Si } x_j \text{ est indice 'mieux-grand'} \quad (3)$$

$$Ce_j = (1 - \frac{x_j - x_j^0}{U_j - L_j})^{\gamma_j} \quad \text{Si } x_j \text{ est indice 'pire-grand'} \quad (4)$$

$x_j^0, x_j$  : La valeur cible et la valeur actuelle de la mesure de la qualité de l'élément  $e_j$ ,

$L_j, U_j$  : Les limites inférieures et supérieures techniquement faisables par l'élément  $e_j$ .

$j=1,2,...,n$ ; avec  $n$  : le nombre d'éléments du processus ( $l_{e_j}$ ).

### 2.5 Dimensionnement d'une ligne de fabrication type flow shop

Le dimensionnement d'une ligne de fabrication est la précision des ressources nécessaire sur chaque phase pour respecter la cadence demandée par le client, c'est-à-dire, définir le nombre de poste de travail sur chaque phase. Les démarches de dimensionnement d'une ligne de fabrication flow shop ont fait l'objet d'une revue de littérature [7] :

Le nombre total minimum de machines nécessaires sur une ligne de fabrication est :

$$N_{min} = \frac{\sum_{i=1}^k Tt(i)}{T_c} \quad (5)$$

$Tt(i)$  : temps d'exécution des  $k$  phases avec  $i = 1$  à  $k$

$T_c$  : Temps de cycle maximal du poste goulet.

$$T_c = R * C \quad (6)$$

$R$  : Rendement global de la ligne (taux de rebut)

$C$  : Cadence en unité de temps / pièce.

-Si  $Tt(i) > T_c$ , alors mettre  $N_p$  poste en parallèle pour exécuter cette phase avec :

$$N_p = \frac{Tt(i)}{T_c} \quad (7)$$

-Si  $Tt(i) < T_c$ , alors grouper les opérations adjacentes ( $i=i-1$  ou  $i=i+1$ ) jusqu'à ce que  $Tt(i) \leq T_c$ .

### 2.6 L'ordonnement d'un atelier type flow shop

Le but de l'ordonnement d'un atelier flow shop est de trouver un ordre de passage qui correspond à un MAKESPAN optimal. Il y a  $k!$  ordres de passage possibles, il faut donc calculer le makespan pour tous les ordres de passage puis choisir le meilleur. G.Javel [8] propose un algorithme d'ordonnement qui est :

On désire par  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  un ensemble de "n" types de pièce doit visiter, dans cet ordre, les phases  $ph_1, ph_2, \dots, ph_n$ . On prend  $\theta_{i,j}$  la durée de l'opération exécutée par la phase  $ph_j$  sur le produit  $p_i$ . Supposons que l'ordre d'entrée des produits dans le système soit de l'ordre  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Désignons par  $t_{i,j}$  l'instant où le produit  $p_i$  est pris en charge par la phase  $ph_j$ . Pour que cet événement se réalise, il faut que les deux conditions suivantes soient réunies :

- $p_i$  a quitté  $ph_{j-1}$  (si  $j > 1$ ) au plus tard à l'instant  $t_{i,j}$ .
- $p_{i-1}$  (Si  $i > 1$ ) a quitté  $ph_j$  au plus tard à l'instant  $t_{i,j}$ .

Ces conditions s'écrivent :

$$t_{i,j} = \max(t_{i-1,j} + \theta_{i,j}; t_{i,j-1} + \theta_{i,j}) \quad \text{si } i > 1 \text{ et } j > 1 \quad (8)$$

Le premier produit  $p_1$  qui entre dans le système n'est ralenti par aucun produit qui le précéderait. Par conséquent :

$$t_{i,j} = t_{i,j-1} + \theta_{i,j} \quad \text{si } i > 1 \quad (9)$$

Les produits passent sur la première phase dès que celle-ci se libère, donc :

$$t_{i,1} = t_{i-1,j} + \theta_{i,j} \quad \text{si } j > 1 \quad (10)$$

On calcule donc le makespan pour tous les ordres de passage possibles et on choisit l'ordre de passage correspondant au plus petit makespan.

### 3. Etude de cas

Pour illustrer la mise en œuvre de l'approche proposée, nous allons présenter la démarche à suivre par le planificateur. La pièce que nous proposons dans le cadre de cet exemple est un disque de frein plein en fonte grise (Fig. 3) qu'on trouve dans le système de freinage des véhicules. La société va recevoir de la part du client des disques déjà moulés et prêts à usiner, elle s'est engagé à usiner 680.000 disques par an, soit 2400 pièces par jour, dont 30% des disques type p1, 20% des disques type p2 et 50% des disques type p3.

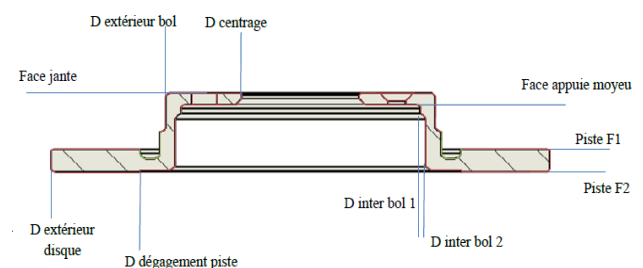


Figure 2 : Croquis du disque de frein.

- Après avoir analysé le dessin de définition de la pièce, les opérations à effectuer sont des opérations de chariotage, dressage et perçage. On aura donc besoin des machines de tournage et de perçage. En respectant les antériorités d'usinage, la pièce passera par 4 phases d'usinage dont 3 sont de tournage et une phase de perçage (même résultats pour tous les types des disques). Pour le type p1, en prenant comme choix préliminaire de

conditions de coupe sur les 2 premières phases de tournage  $V_c = 700m/min$  et  $f = 0.9$  mm/tr, sur la troisième phase  $V_c = 1000m/min$  et  $f = 0.4mm/tr$ , et sur la phase du perçage  $V_c = 120m/min$  et  $f = 0.3mm/tr$  on obtient les temps opératoires par phase sur le tableau 1. Le temps opératoire est obtenu par l'application en ligne du fournisseur des outils d'usinage SANDVIK.

Tableau 1 : Temps d'exécution des phases en seconde

	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4
P1	0.6	0.5	0.46	0.56
P2	0.52	0.48	0.45	0.53
P3	0.49	0.45	0.41	0.53

- Le client demande une cadence de 2400 pièces/jr, soit 100 pièces/h. en appliquant l'algorithme de dimensionnement de la ligne de fabrication, on obtient : 2 machines nécessaires sur chaque phase de tournage et une machine sur la phase perçage. La figure 4 montre la ligne de production.

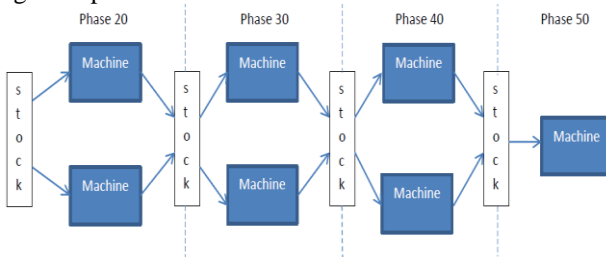


Figure 3: Présentation de la ligne de fabrication

- En passant d'un produit à un autre, un changement d'outil est obligatoire, il faut donc l'introduire lors du calcul du MAKESPAN. Le tableau 2 donne le temps de changement d'outil entre les produits pour toutes les phases :

Tableau 2 : Temps de changement de changement d'outils.

Phase 20		Monter			Phase 30		Monter		
Démonter	P1	-	90	90	Démonter	P1	-	60	60
	P2	90	-	60		P2	60	-	0
	P3	90	60	-		P3	60	0	-
Phase 40		Monter			Phase 50		Monter		
Démonter	P1	-	60	60	Démonter	P1	-	0	15
	P2	60	-	0		P2	0	-	15
	P3	60	0	-		P3	15	15	-

Les équations d'ordonnement deviennent donc :

- $t_{i,j} = \max(t_{i-1,j} + \theta_{i,j}; t_{i,j-1} + \theta_{i,j}) + \text{Temps de changement d'outil si } i > 1 \text{ et } j > 1$  (8)
- $t_{i,j} = t_{i,j-1} + \theta_{i,j}$  si  $i > 1$  (9)
- $t_{i,1} = t_{i-1,j} + \theta_{i,j} + \text{Temps de changement d'outil si } j > 1$  (10)

Il y a 3 types de disques donc on aura 6 ordres de passage à calculer, le tableau 3 donne un exemple de calcul pour l'ordre de passage p1 puis p2 puis p3.

Tableau 3 : calcul de Makespan pour l'ordre p1, p2, p3

	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4
P1	0.6	1.1	1.56	2.12
P2	91.12	151.5	211.95	212.21
P3	151.61	151.95	212.36	227.89

Le Makespan pour cet ordre de passage est 227.89, en comparant les résultats obtenus pour les calculs des makespan des autres ordres de passage, on trouve le plus petit est celui de l'ordre de passage p1, p2, p3. La fabrication des pièces doit donc respecter cet ordre afin de les livrer à temps.

- Les caractéristiques de la qualité à satisfaire sont nombreuses pour le disque de frein, on présente celles qui

influence le plus sur la qualité. On utilise donc les équations de la section 2. pour évaluer la capabilité. Le tableau 4 présente les caractéristiques des éléments du processus, et le tableau 5 présente la maison de la qualité.

Tableau 4 : Caractéristique des éléments du processus.

Eléments du procédé	Coeff de corrélation	Lj	Uj	La valeur cible	La valeur actuelle
Outils d'usinage	1	6	11	10	6
Mode de fixation	1,1	0.04	0.06	0.05	0.05
Conditions de coupe	1	0.4	0.9	0.6	0.6

$$C_{e1} = \left(1 - \frac{6-10}{11-6}\right) = 1.8; C_{e2} = 1 \text{ et } C_{e3} = 1.13$$

Tableau 5 : La maison de la qualité.

	Outils d'usinage	Mode de fixation	Conditions de coupe
Planéité	0.18	0.32	0.32
Parallélisme	0.21	0.38	0.38
Battement	0.25	0.25	0.25
$C_{ej}$	1.8	1	1.13

$$C_{q1} = 0.18 * 1.8 + 0.32 * 1 + 0.32 * 1.13 = 1; C_{q2} = 1.18; C_{q3} = 0.98$$

$$CCP = \prod_{i=1}^m (C_{q_i})^{v_i} = 1.13 * 1.18 * 0.98 = 1.3$$

L'indicateur de capabilité composite est donc égal à  $1.3 > 1$ , le processus est donc capable.

## Conclusion

Nous avons présenté dans le cadre de ce travail une démarche à suivre lors de l'industrialisation préliminaire d'un nouveau produit pour permettre à l'entreprise de dégager un processus de fabrication, d'évaluer la capabilité du processus de fabrication, de définir les ressources dont elle aura besoin pour lancer la production et finalement de gérer le flux. Le choix des outils et des conditions de coupe affecte sur le temps opératoire, nos recherches futures vont être donc focalisées sur l'optimisation des gammes d'usinage.

## Références

- [1] Chin, K-S., Zheng, L-Y. and Wei, L. (2003) 'A hybrid rough-cut process planning for quality', International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, Nos. 9-10, pp.733-743.
- [2] Hassan, A., Siadat, A., Dantan, J.-Y., & Martin, P. (2010). Conceptual process planning – An improvement approach using QFD, FMEA, and ABC methods. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 26, pp. 392-401.
- [3] Jabri, A., El barkany, A., & El khalfi, A. (2013). Process planning-a better, cheaper and faster new product. Proceedings in manufacturing systems, 8(1).
- [4] Weill D. R, Conception des gammes d'usinage, Techniques de l'ingénieur, traité Génie mécanique, B 7 025, pp. 1-22, 1993
- [5] Akao Y., Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design, Productivity Press, 2004, ISBN 978- 1-56327-313-1.
- [6] Zheng, L-Y. and Chin, K-S. (2005) 'QFD based optimal process quality planning', International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 26, Nos. 7-8, pp.31-841.
- [7] Ghita Lebbar, Abdellah El Barkany, Abdelouahhab Jabri, 'Scheduling Problems of Flexible Manufacturing Systems: Review, Classification and Opportunities', International Journal of Engineering Research in Africa, (2016)1663-4144, Vol. 26, pp 142-160, October 2016.

[8] Georges Javel, *Organisation et gestion de la production*, 4<sup>ème</sup> édition, Dunod, pp. 192-194, 2010.