

# **Etude et optimisation des techniques liées au changement de série pour la production de pièces de fine mécanique aérospatiales**

Ing. F. FETZER  
Ing. C.DEMEULDRE  
ECAM – Bruxelles

*Cet article est un aperçu d'un travail de fin d'études réalisé au sein du département d'industrialisation de la S.A.B.C.A, présentant le résultat d'une étude du changement de série sur les centres d'usinage dédiés à la production de pièces aérospatiales. L'analyse effectuée, basée sur la méthode S.M.E.D., a permis une identification des besoins liés au changement d'outillage et d'outils de coupe. Des solutions concrètes d'améliorations techniques économiquement avantageuses sont proposées.*

*Mots-clés : usinage, SMED, changement de série, aéronautique, outillage, outils de coupe, ergonomie*

*This article is the short version of a thesis about the series change on the machining centers used for the production of aeronautical components. This work was realized in the Industrialization department of S.A.B.C.A., Brussels. The analysis, based on the S.M.E.D. methodology, has allowed the identification of the needs generated by the change of tooling and of cutting tools.*

*Keywords : machining, SMED, series change, aeronautic, tooling, cutting tools, ergonomics*

## 1. Introduction

Pour une entreprise fabriquant une importante variété de pièces, le changement de série sur un centre d'usinage est fréquent. Cela implique un nombre important de changement d'outils de coupe, de programme d'usinage et d'outillages. Ces changements impactent donc la durée de production, la qualité des pièces produites, et présentent des risques principalement pour le centre d'usinage et les outils de coupe.

Cet article reprend les réflexions ayant amené la proposition de solutions optimales d'un point de vue technique et économique aux différents besoins identifiés lors du changement de série des centres d'usinage, en formant un projet d'amélioration selon l'optique S.M.E.D.

## 2. La méthode d'analyse « S.M.E.D. »

### 2.1. Définition

Le besoin de réduire le temps de latence d'une machine de production lors d'un changement de série n'est pas neuf. Ce souhait est rencontré dans toutes les entreprises devant changer régulièrement de pièces produites, en usinage comme en moulage, si bien qu'il existe déjà des méthodes proposées par les initiateurs de ces recherches. La méthode S.M.E.D. est l'une de ces méthodes. C'est en suivant les étapes de cette méthode que l'analyse de la situation à la S.A.B.C.A. a pu être effectuée.

Le terme « S.M.E.D. » est l'acronyme des mots anglais « Single Minute Exchange of Die », ce qui peut se traduire littéralement par « Changement d'outillage en moins de 10 minutes ».

La méthode S.M.E.D. est une méthode d'analyse et d'optimisation s'inscrivant dans une dynamique de « Just-in-Time ».

L'Association française de normalisation (AFNOR) propose la définition suivante :

*« Méthode d'organisation qui cherche à réduire de façon systématique le temps de changement de série, avec un objectif quantifié. »<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> AFNOR NF X 50-310

## 2.2. Mise en œuvre

D'une façon pratique, la méthodologie permettant d'analyser les changements d'outillages et de les améliorer peut être appliquée grâce aux quatre étapes principales.

- *Phase 1: Identifier chaque opération du changement d'outillage*
- *Phase 2: Identifier les opérations externes et internes*
- *Phase 3: Convertir les opérations internes en opérations externes*
- *Phase 4: Rationnaliser les opérations*

La première phase est la plus importante. La synthèse complète des opérations de montage et de leur durée dans un tableau permet de mettre en évidence sans effort les premiers points critiques. Par exemple, la simple constatation des erreurs de montage récurrentes, des déplacements de l'opérateur fréquents pour collecter du matériel, des difficultés d'accès, etc. permet de prendre immédiatement des mesures qui s'imposent et qui amélioreront déjà le changement de série.

Cette première phase permet une compréhension quantifiée du besoin, et les phases suivantes s'attachent à résoudre ce besoin.

Notons enfin qu'une étude S.M.E.D. complète implique de réaliser chacune des phases pour l'ensemble du parc machines de l'entreprise, pour chaque pièce et avec chaque opérateur.

## 2.3. Résultats de l'analyse

Dans le cadre du travail de fin d'études réalisé, les impératifs de production et la durée impartie n'ont permis de centrer l'étude que sur un centre d'usinage, lors du changement de série d'une pièce.

Le tableau ci-dessous reprend les constatations observées lors de ce changement de série.

***Opérations de changement d'outillage***

N°	Tâche / opération	Type	Durée H :m :s	Tps. Cumulé H :m :s
1	Lire dossier	Externe	00:01:20	00:01:20
2	Chercher Vis (mesure)	Externe	00:00:40	00:02:00
3	Chercher plaque de montage	Externe	00:01:00	00:03:00
4	Chercher M12 x 60	Externe	00:03:00	00:06:00
5	Chercher M16 x 40	Externe	00:02:00	00:08:00
6	Chercher Mors	Externe	00:02:00	00:10:00
7	Démonter les tablettes	Externe	00:04:00	00:14:00
8	Nettoyer	Externe	00:00:30	00:14:30
9	Démonter étau	Externe	00:01:00	00:15:30
10	Monter étau sur plaque	Externe	00:02:00	00:17:30
11	Monter plaque sur machine	Externe	00:06:00	00:23:30
12	Vérification usinage	Externe	00:00:30	00:24:00
13	Poursuite usinage	Externe	00:00:00	00:24:00
14	Montage vis-mère étau	Externe	00:03:00	00:27:00
15	Démontage	Externe	00:01:00	00:28:00
16	Chercher les bons becs	Externe	00:01:00	00:29:00
17	Remontage étaux	Externe	00:02:00	00:31:00
18	Montage mors arrières	Externe	00:02:00	00:33:00
19	Mesure hauteur (vérif.)	Externe	00:02:00	00:35:00
20	Montage mors avant	Externe	00:01:00	00:36:00
21	Réglage des étaux	Externe	00:01:00	00:37:00
22	Chercher la matière	Externe	00:01:00	00:38:00
23	Montage de la matière	Externe	00:00:30	00:38:30
24	Réglage matière s/ étaux	Externe	00:05:00	00:43:30
25	Contrôle	Externe	00:03:00	00:46:30

***Opérations de changement d'outillage***

N°	Tâche / opération	Type	Durée <i>hh :mm :ss</i>	Tps. Cumulé <i>hh :mm :ss</i>
1	Sélection	Homme	00:00:30	00:00:30
2	Déplacement	Machine	00:00:30	00:01:00
3	Déchargement manuel	Homme	00:00:05	00:01:05
4	Sélection dans la mém.	Homme	00:01:00	00:02:05
5	Suppression de la mém.	Homme	00:00:02	00:02:07
6	Introduction dans la mém.	Homme	00:00:40	00:02:47
7	Nettoyage	Homme	00:00:10	00:02:57
8	Info outil	Homme	00:00:40	00:03:37
9	Chargement manuel	Homme	00:00:05	00:03:42
10	Déplacement	Machine	00:00:30	00:04:12

### 3. Changement d'outillage

#### 3.1. Définition

L'outillage reprend l'ensemble des éléments montés sur la table de la machine qui permettent de maintenir un bloc de matière pendant son usinage. Ces éléments sont variés et peuvent être nombreux en fonction du type de pièce fabriquée.

Chaque élément d'outillage différent est fixé individuellement sur la table du centre d'usinage à l'aide de taraudages, présents dans la table de la machine, à intervalles réguliers. Tous ces éléments d'outillages doivent être montés et démontés fréquemment. En effet, la fabrication d'une pièce passe très souvent par un changement complet de la position de celle-ci afin de pouvoir l'usiner sur toutes les faces.

La figure ci-contre présente une ébauche de pièce maintenue par des étaux dynamométriques, fixés sur la table du centre d'usinage grâce à des vis (non représentées) traversant leur bâti.

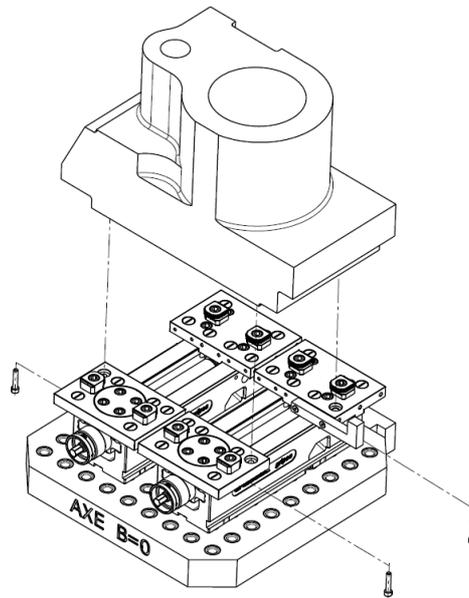


Figure 1 : Exemple d'outillage

Le montage de cet outillage sur une table de machine doit être fait avec attention, tout comme le montage d'une pièce semi-finie sur celui-ci, afin de garantir la précision du positionnement de la pièce entre deux opérations.

Le réglage peut donc être long, pour peu que le nombre d'éléments à installer soit important. Si l'installation d'outillage ne peut se faire que lorsque la machine est à l'arrêt (cas d'un centre avec une seule table), le coût de la non-production devient vite important. On comprend l'enjeu poussant les entreprises à supprimer ces temps morts.

### 3.2. Analyse de l'étude S.M.E.D.

L'analyse SMED précédemment décrite a été appliquée lors du changement de série d'une pièce sur un des centres d'usinage dédiés à la production de pièces de fine mécanique aérospatiales. Le tableau récapitulatif ainsi obtenu permet de mettre directement certaines constatations en évidence :

- Les opérations 2 à 6 (08 min 40 sec) sont des recherches de composants manquants,
- Les opérations 14 à 17 (07 min) résultent d'une erreur de montage par rapport au plan fourni (rondelles oubliées dans les alésages), nécessitant un démontage partiel.
- L'opération 22 (01 min) est un déplacement avec une charge potentiellement lourde. Dans certains cas différents de celui-ci, l'emploi d'un transpalette peut être nécessaire et peut donc encore augmenter la durée du montage.

La **durée du montage** pour l'outillage analysé est importante : 46 minutes et 30 secondes ont été nécessaires. Le suivi des opérations de montage ont également montré un important **manque de flexibilité** causé par les étaux utilisés. En effet, l'installation de cet outillage nécessite un démantèlement complet des étaux pour fixer les vis de serrage.

Les entreprises tendent généralement à réduire la quantité de leurs stocks et « en-cours » afin d'améliorer la rentabilité du capital, ce qui pousse celles-ci à tendre vers la production « just-in-time ». Lorsque la durée du changement de série est importante, il est cependant judicieux de produire par lots de taille plus ou moins importante afin de rentabiliser la durée d'installation. La durée du montage d'un outillage tel que celui qui a été analysé n'est pas compatible avec une production à la demande. Une solution technique a donc été recherchée et étudiée.

### 3.3. L'idée

*« Le meilleur changement d'outillage est l'absence de changement d'outillage » [12]*

Cette phrase résume l'ensemble de l'idée qui est décrite ici. Le principe est simple : monter et démonter chaque élément d'outillage lors d'un changement de série présente des risques d'erreurs de montage, des risques d'usure d'outillage, un temps important, etc.

Pourquoi ne pas *supprimer* purement et simplement ces opérations en laissant les outillages montés en permanence sur différentes « palettes » ?

La difficulté est cependant de trouver un système permettant de positionner rapidement et avec une précision satisfaisante ces palettes sur la table de la machine. Un tel système existe : le « Système Point Zéro ».

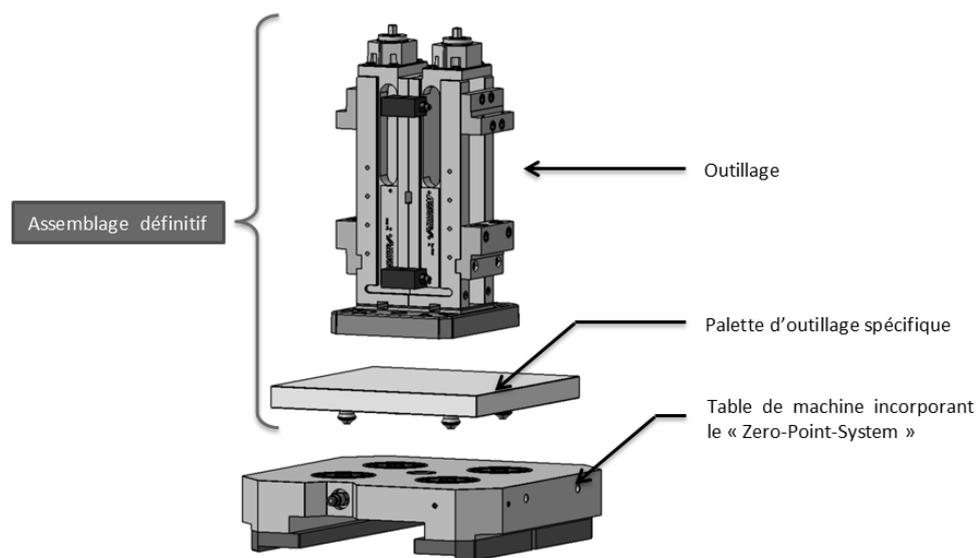


Figure 2 : Assemblage définitif de l'outillage

Le système point zéro (figure 3) est constitué d'un ensemble de mandrins de serrage et de tirettes. Les mandrins sont solidarisés de la table de la machine tandis que les tirettes sont présentes sur les outillages.

Les mandrins sont ouverts grâce à l'application d'un fluide sous pression, ce qui permet aux tirettes de l'outillage de s'y introduire. Lorsque la pression est supprimée, les mandrins se referment, enserrant ainsi les tirettes et les bloquant avec une force de serrage constante.

Le serrage des tirettes s'effectue de différentes manières selon les fabricants de ce type de système et le fluide peut être hydraulique ou pneumatique selon les modèles et les caractéristiques exigées.

L'illustration suivante présente un système hydraulique à billes.

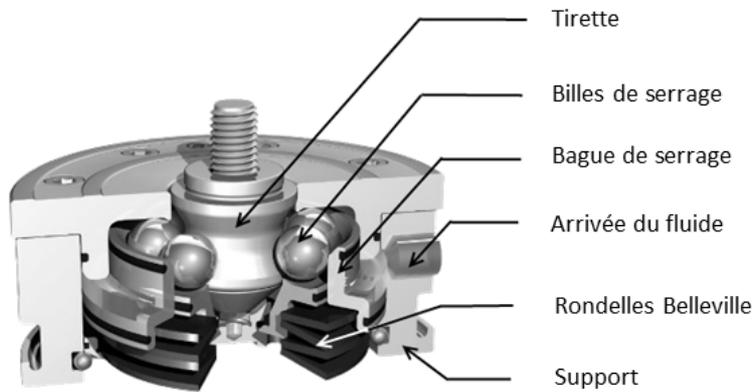


Figure 3 : Principe de fonctionnement d'un système point zéro [10]

Le système point zéro répond parfaitement aux critères suivants :

- **Précision** : La répétabilité du système est garantie à  $5\mu\text{m}$ , ce qui représente un gain théorique en précision par rapport au serrage par vis de centrage
- **Rapidité** : Le système, actionné par un fluide, est très rapide.
- **Sécurité** : Tous les systèmes de ce genre sont passifs. Ils disposent de puissantes rondelles Belleville permettant le serrage en position.
- **Flexibilité** : Ces systèmes permettent une interchangeabilité optimale puisque tous les outillages auraient la même interface.

### 3.4. Etude d'intégration

Le choix de ce type de système a des conséquences importantes sur le centre d'usinage et l'organisation de la production. L'aspect technique de cette solution a été étudié en profondeur et seules les différentes étapes et leurs conclusions sont reprises dans cet article.

#### *Contraintes dimensionnelles*

Installer un système de ce type a plusieurs conséquences dont il faut impérativement tenir compte pour la sélection du fabricant et du modèle spécifique.

La plus contraignante dans le cas analysé concerne les limites de déplacement de la table de la machine lors de l'usinage.

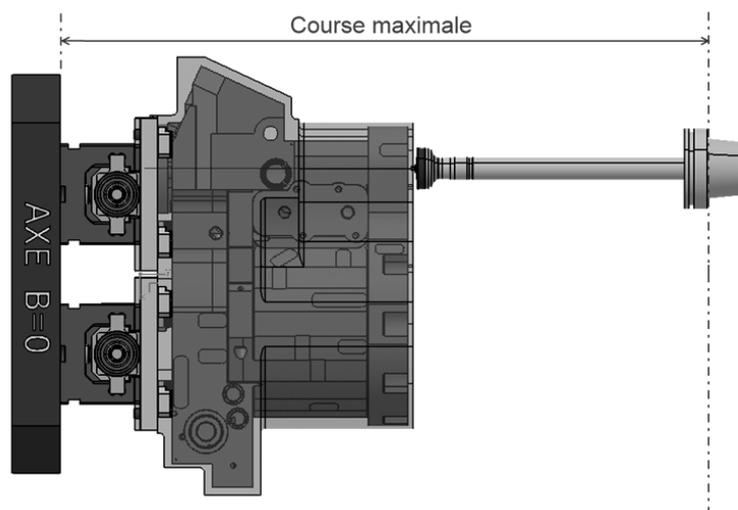


Figure 4 : Situation critique

Une analyse exhaustive de toutes les pièces fabriquées sur le centre d'usinage concerné a permis de mettre en évidence que pour l'une des pièces fabriquées, la distance restante entre l'extrémité de l'outil de coupe et la face de la pièce est de l'ordre de 2mm alors que la table est en fin de course.

Cette constatation laisse le choix de trois actions possibles :

- déplacer la pièce sur un autre centre d'usinage,
- changer d'outillage,
- conserver l'encombrement actuel sans modifications.

C'est la troisième solution qui a été choisie, les deux autres nécessitant une réindustrialisation de la pièce avec les surcoûts que cela implique.

Dans ce cas particulier, les tirettes seront placées directement dans les étaux dynamométriques représentés, sans utiliser de palette d'outillage spécifique. L'entre-axe entre les mandrins de serrage sera donc déterminé par cette situation particulière

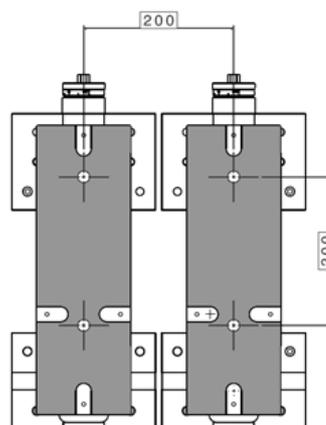


Figure 5 : Entre-axe de référence

L'analyse des pièces fabriquées a donc mis en évidence le besoin de choisir un système n'offrant **aucune surépaisseur**, c'est-à-dire un système qui serait **entièrement intégrable** dans l'épaisseur de la table de la machine. Cela représente une seconde contrainte, cette fois-ci liée à la table.

### *Contrainte d'épaisseur*

Il faut tout d'abord que les éléments à intégrer ne soient pas plus hauts que la table n'est épaisse, sans quoi la consigne de ne pas causer de surépaisseur ne serait pas respectée. Ensuite, puisque ces mandrins de serrage devront être intégrés dans la table de la machine, des alésages devront y être pratiqués.

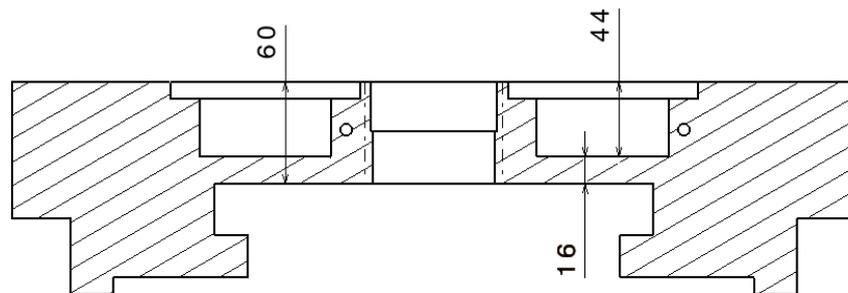


Figure 6 : Profondeur des mandrins dans la table

Creuser des alésages dans une table d'usinage affaiblit celle-ci, ce qui pourrait causer des déformations voire une rupture lorsque des efforts d'usinage importants sont appliqués.

Afin de confirmer la faisabilité de cette intégration, une vérification de la résistance de cette table percée des 4 alésages a été réalisée grâce à la modélisation des déformations causées par les efforts d'usinage appliqués sur la table ainsi modifiée.

Les efforts d'usinage ont donc dû être préalablement déterminés pour pouvoir calculer la résistance des différents mandrins.

Les calculs des efforts d'usinage et de la déformation de la table par la méthode des éléments finis ne sont pas repris dans cet article.

### 3.5. Etude de marché

L'étude technique ne suffit pas pour décréter qu'un système est « intéressant » pour une entreprise. En effet, chaque amélioration représente un investissement qu'il faut rentabiliser, sans quoi l'amélioration n'en serait pas une. Un appel d'offres a donc été lancé auprès des fournisseurs de ce type de système.

#### *Solution choisie*

Après avoir sélectionné les candidats sur base des critères techniques établis, il restait deux solutions intéressantes :

- Amf, Zero-Point-Systems, modèle K20 hydraulique,
- Stark, Speedy, modèle Classic 2 hydraulique.

La solution finalement choisie est celle des modèles « K20 » de l'entreprise Amf pour trois raisons :

- la force de maintien supérieure de 44,7%,
- le prix inférieur,
- l'étendue de la gamme de produits proposés par Amf.

Ce dernier élément est en effet un atout puisqu'une meilleure compatibilité avec d'autres produits achetés ultérieurement peut être assurée.

### 3.6. Calcul du retour sur investissement

Le retour sur investissement est un élément important qui intéresse particulièrement les responsables qui devront financer le projet. Il s'agit de leur prouver que l'achat sera à terme bénéfique pour l'entreprise. La durée de retour sur investissement correspond au nombre d'années nécessaires avant que le gain offert par l'investissement rattrape le coût total du système.

#### *Estimation du gain de temps lors du montage*

Le tableau obtenu grâce à l'étude S.M.E.D. permet d'estimer de manière précise le gain de temps que le nouveau système devrait permettre. En effet, en ne conservant que les opérations qui subsisteraient suite à l'instauration du système point zéro, une nouvelle durée de montage peut être calculée et le gain en temps ainsi déterminé.

Les opérations suivantes ont donc été supprimées :

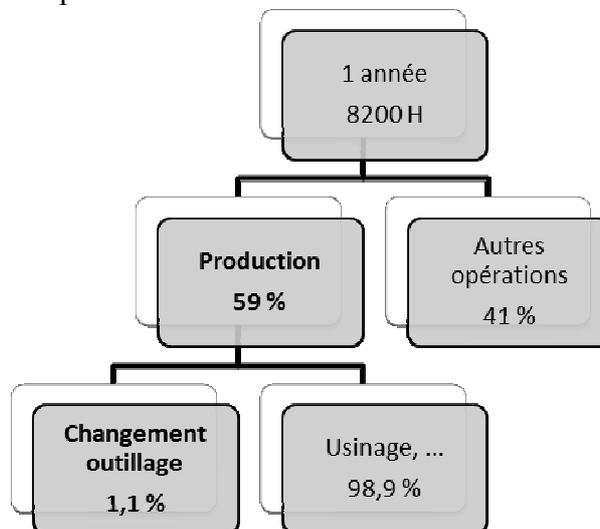
- la recherche/collecte du matériel manquant,
- les opérations de montage/démontage de l'outillage,
- les erreurs de montage.

Une durée de fonctionnement réduite à 11 minutes 20 secondes est ainsi obtenue, ce qui représente une réduction du temps de 75%.

### ***Impact sur la durée totale de production***

L'impact de ce gain de temps sur la durée totale de la production en une année a été quantifié grâce à l'analyse des heures pointées sur chaque opération liée à la fabrication de 3 pièces sélectionnées au hasard dans la production.

La durée des opérations liées au changement de série par rapport à la durée totale nécessaire pour la production complète d'une pièce a été identifiée. Le gain de temps a ensuite été appliqué sur cette durée pour estimer le nombre d'heures ainsi récupérées.



*Figure 7 : Répartition des heures de production*

Le gain de 75% du temps par rapport au changement d'outillage donne, par rapport à la durée totale, un gain de :

$$75\% * 1,1\% * 59\% = 0,48\%$$

Ce demi-pourcent gagné représente à lui seul 40 heures de travail. Sur cette base, le point de retour sur investissement a pu être calculé. Il est estimé à quatre ans.

### **3.7. Autres avantages**

Le gain économique du système n'est pas le seul avantage que la S.A.B.C.A. obtiendrait en investissant dans cette technologie. En effet, d'autres éléments ne peuvent pas être quantifiés mais représentent néanmoins une amélioration importante sur certains aspects primordiaux.

#### ***Gain en qualité***

Parvenir à estimer quel impact ce système aura sur la qualité est quasiment impossible. Il faudrait pour cela identifier exactement le coût de la « non-qualité » sur le processus complet. Il faudrait également identifier quelles opérations ont un impact sur la qualité, à quelles fréquences elles interviennent, etc.

S'il n'est pas possible de chiffrer exactement l'impact de ce système sur la qualité, nous pouvons cependant rappeler que :

- la répétabilité du système (5 $\mu$ m) est plus précise que celle des vis de centrage (6 $\mu$ m),
- on s'affranchit de la durée du réglage et des éventuelles erreurs de réglage des outillages.

Il est donc légitime d'estimer que le système aura un impact favorable sur la qualité.

#### ***Amélioration de l'ergonomie***

Le gain au niveau du confort des opérateurs sera important. L'installation de ce système aura pour conséquence une amélioration de la sécurité des personnes :

- Moins de déplacements,
- Pas de manipulation d'éléments lourds (tout se fera via un moyen de levage),
- Positions de montage plus confortables,
- Opérations de nettoyage simples.

#### ***Réduction de l'usure du matériel***

Le principe de laisser des outillages montés à demeure présente également l'avantage de réduire l'usure de l'outillage.

En effet, lorsque des boulonnages sont serrés et desserrés, une certaine usure apparaît au niveau des filets. Les alésages permettant de centrer une partie d'outillage subissent également une usure qui à terme peut être néfaste. L'emploi de ce système permet de s'affranchir de ce problème.

### ***Interchangeabilité entre plusieurs centre d'usinage***

L'un des principaux avantages du système est la possibilité de transférer rapidement la production d'une pièce sur un autre centre d'usinage si ce dernier est également équipé du système point zéro.

### **3.8. Conception d'une table de centre d'usinage**

La solution technique « Zero-Point-Systems » peut être installée directement et facilement sur une table de machine grâce à des stations de serrage intégrant ce système proposées par le fournisseur. Il suffit de solidariser la station à l'aide de vis.

Cependant, ces palettes qui s'installent sur la table de machine imposent une surépaisseur minimale conséquente : 46mm alors qu'il a été montré précédemment qu'aucune surépaisseur ne pouvait être admise.

Dans le cadre de ce travail de fin d'étude, une nouvelle table de centre d'usinage a donc été conçue, intégrant les systèmes de serrage ainsi que toutes les conduites hydrauliques, les raccords, les bouchons, etc. et ce avec de nouvelles tolérances géométriques offrant le même niveau de précision que la table de machine existante.

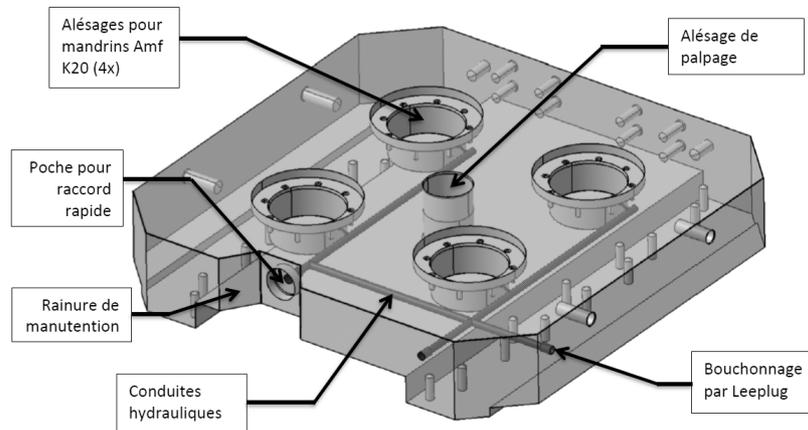


Figure 8 : Illustration de la nouvelle table de machine

### 3.9. Conclusion de l'étude du changement d'outillage

Après avoir analysé les points faibles qui interviennent lors du changement d'outillage, une recherche a permis de sélectionner une solution technique permettant de réduire la durée du changement d'outillage, d'améliorer l'interchangeabilité entre plusieurs machines et la qualité de l'outillage.

Sur base d'une comparaison technique et économique, un fournisseur a été sélectionné et sa solution a été étudiée en détail. Cela a permis de concevoir une nouvelle table de machine spéciale permettant d'intégrer ce système.

Suite aux avantages mis en avant ainsi qu'à la rentabilité du système, il a été décidé d'envoyer les plans de la table chez un fabricant pour un devis exact suivi d'une fabrication. Le cahier des charges d'un nouveau centre d'usinage en commande a également été modifié pour inclure l'installation de ce système afin d'accroître la flexibilité du parc machines de fine mécanique de la S.A.B.C.A.

## 4. Changement des outils de coupe

Le changement des outils de coupe fait bien évidemment partie du processus de changement de série sur les centres d'usinage. Suite à l'analyse S.M.E.D., un tableau détaillé des opérations de changement d'outils de coupe a également été réalisé.

Le nombre d'outils différents utilisés pour la fabrication de pièces de fine mécanique est généralement important. Pour réaliser des alésages par exemple, plusieurs opérations consécutives sont nécessaires avec autant d'outils différents :

- 1) percer le trou : Foret / tête de forage
- 2) fraiser le trou en ébauche : Fraise d'ébauche
- 3) fraiser le trou en finition : Fraise de finition
- 4) pratiquer l'alésage : Tête à aléser
- 5) chanfreiner : Fraise à chanfreiner

D'autres particularités d'usinage sont également pratiquées dans de nombreuses pièces, tel que l'usinage spécifique d'un alésage à gorges ou l'usinage pour l'installation d'un bouchon «Leeplug».

La durée du changement des outils est donc un élément important à prendre en considération pour l'étude et l'optimisation du changement de série.

#### **4.1. Analyse de l'étude S.M.E.D.**

En analysant les résultats obtenus grâce à la méthode SMED, on distingue :

- Op. 1 à 3 : le déchargement d'un outil pour libérer de la place dans le magasin,
- Op. 4 à 5 : la libération de place dans la mémoire interne,
- Op. 6 : le chargement des paramètres du nouvel outil,
- Op. 7 à 10 : le rangement d'outils dans le magasin de la machine.

Dans le cas où le chargement d'un outil nécessite la totalité des opérations précédentes, la durée d'installation d'un outil est de 04 min 12 sec.

#### **4.2. Limitations constatées & recherche de solutions**

Plusieurs difficultés pénalisantes sont rencontrées lors des opérations de changement des outils de coupe et sont spécifiques au centre d'usinage utilisé :

- Chargement d'outils en masqué impossible
- Chargement/déchargement d'outil trop fréquent

Ces limitations tendent fortement à augmenter la durée de l'opération du chargement d'outils, et donc du changement de série dans sa globalité.

### ***Chargement en temps masqué***

Lors de l'analyse des opérations, il est apparu que le chargement des outils ne s'effectuait que lorsque la machine est à l'arrêt. Il est en effet impossible de charger les outils en temps masqué sur le centre d'usinage analysé suite à une faille logicielle comme l'a démontré un test réalisé avec l'aide du service maintenance de la S.A.B.C.A.

Toutes les opérations de chargement des outils prennent un certain temps. Cette restriction est extrêmement pénalisante compte tenu du nombre important d'outils à charger. Le problème est à l'étude chez le fabricant du centre d'usinage, contacté suite à ce constat.

Une analyse des programmes d'usinage a cependant montré que si charger les outils en temps masqué devenait possible, la machine se trouverait dans plusieurs cas à l'arrêt pendant que l'opérateur charge ses outils.

Exemple d'une pièce hydraulique pour Ariane 5 :

- le premier programme d'usinage prend 16min. et 50sec.
- pendant ce temps, les outils du deuxième programme devraient être chargés. Il y a 8 outils à charger, soit une durée de chargement estimée à 32min.
- le premier programme sera terminé depuis longtemps quand les outils du programme suivant seront chargés.

### ***Définition d'une liste d'outils « MasterList »***

Une recherche a alors été effectuée sur la possibilité de laisser certains outils en permanence dans la machine, ce qui permettrait de limiter au maximum le nombre d'outils à charger lors du changement de série.

Afin de déterminer quels outils seraient choisis pour rester à demeure, un classement des outils a été effectué en fonction du nombre de pièces faisant appel à chaque outil. En classant ceux-ci par nombre de récurrence, les outils les plus souvent utilisés ont été trouvés.

La dernière inconnue concerne le nombre d'outils à laisser dans la machine. Le choix n'est pas arbitraire. En prenant comme référence la pièce requérant le plus grand nombre d'outils différents, il a pu être vérifié qu'en laissant les 80 outils les plus souvent utilisés dans le magasin de la machine, cette pièce nécessitait encore 78 outils supplémentaires. La machine disposant d'un

total de 160 emplacements, le nombre de 80 outils à laisser à demeure est une solution réaliste.

Afin de rendre cette liste d'outils dynamique en fonction de la programmation de la production, un petit programme en MS-Access© a été réalisé.

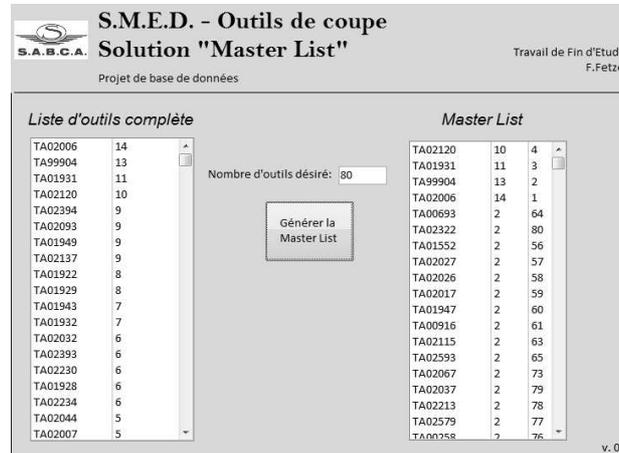


Figure 9 : Extrait du programme "MasterList"

#### 4.3. Analyse financière

##### *Gain de temps*

Le gain de temps moyen qu'il serait théoriquement possible d'obtenir grâce à la mise en place de cette solution a pu être déterminé facilement sur base de la programmation d'une année de production : 12 heures et 15 minutes auraient été récupérées en 2012 !

##### *Coût supplémentaire*

Cependant, si cette solution est appliquée, les centres d'usinage pour lesquels une compatibilité de production est souhaitée doivent être équipés de la même liste d'outils maitres. En conséquence, la liste doit être dédoublée, ce qui implique l'achat de mandrins supplémentaires.

##### *Gestion de la durée de vie des outils*

La mise en place d'une solution visant à laisser des outils en permanence dans la machine pose néanmoins le problème de la gestion de la durée de vie de ces outils. Ce point ne sera cependant pas développé dans cet article. La solution recommandée dans le cadre du travail de fin d'études est l'application du système de puces Balluf©.

#### 4.4. Conclusion de l'étude du changement d'outils de coupe

Cette deuxième partie de l'étude S.M.E.D., centrée sur le changement des outils de coupe, aura impliqué une recherche de solutions moins techniques que la précédente. En effet, les principales difficultés rencontrées sont propres au centre d'usinage en particulier et ne peuvent être modifiées facilement.

Cependant, la solution « MasterList » proposée est une solution peu onéreuse qui peut rapporter un gain de temps considérable. Cette solution, présentée aux responsables du département, est appliquée depuis la défense du T.F.E.

## 5. Solutions d'ergonomie

Un dernier aspect a été étudié afin de clôturer l'étude et l'optimisation du changement de série dans le cadre de ce T.F.E. : celui de l'ergonomie. Ce point n'est que très brièvement abordé dans cet article ; il revient à chacun d'adapter l'étude et de sélectionner les solutions adéquates à l'atelier étudié. Trois aspects principaux ont été considérés :

- L'implantation des zones de stockage d'outils, d'outillages, de matière brute, etc.
- L'accessibilité des différents composants,
- La sécurité et le confort des opérateurs.

### 5.1. Rangement des palettes d'outillage

Les palettes d'outillage proposées au point 3.3 vont nécessiter un rangement adéquat. Les outillages qui seront montés à demeure sur ces palettes auront des tailles et des masses différentes.

La solution de rangement sélectionnée consiste en un système de tiroirs pour charge lourde, permettant de sortir les outillages indépendamment de leur rayonnage et de les treuiller à l'aide d'un pont ou d'une potence.



Figure 10 : Exemple de rayonnage à tiroirs [15]

Un cahier des charges a été établi et un appel d'offre lancé. Les différentes propositions ont été comparées, et la solution la plus adéquate a été proposée.

## 5.2. Rangement des palettes de matière brute

Les palettes de matière ou de pièce semi-finies en attente de leur passage sur centre d'usinage occupent une place au sol importante (fig.11). L'accès à ces pièces devant se faire au chariot élévateur et au transpalette, une recherche de solution alternative de rangement a été réalisée en vue d'améliorer l'accessibilité.

Un type de rangement similaire à celui des palettes d'outillage a également été proposé, en permettant cette fois le chargement des palettes dans les rayonnages depuis un chariot élévateur.



*Figure 11: Rangement actuel des palettes de matière*

## 5.3. Rangement des outils de coupe

Le rangement des outils de coupe a enfin été l'objet d'un dernier appel d'offres. Différents systèmes ont été comparés, depuis les armoires automatisées jusqu'aux simples armoires à rangement vertical.

Le choix du type de rangement n'offrant pas de réel retour sur investissement, il convient au responsable de la production de déterminer le choix du produit ainsi que la faisabilité de l'achat.

## **6. Conclusion générale**

Ce travail de fin d'étude aura été l'occasion d'aborder et de développer plusieurs projets variés et intéressants. L'ensemble des travaux réalisés auront été l'occasion d'aborder une méthode d'analyse, le SMED, et de l'appliquer dans une entreprise réellement désireuse de l'intégrer dans son programme d'amélioration continue de la qualité.

La richesse du thème et l'intérêt porté au sein de la S.A.B.C.A. dans les idées proposées (Zero-Point-System, conception d'une nouvelle table, MasterList, rangements) constituant un projet complet ont fortement contribué à la motivation qui aura animé ce projet tout au long de sa réalisation.

## **7. Remerciements**

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes des services d'industrialisation, de la production et de la maintenance qui m'ont consacré du temps, de l'énergie et de la patience tout au long de la réalisation de ce travail.

Je remercie particulièrement :

- M. Girolamo Palmeri, mon maître de stage, pour avoir porté intérêt envers ma candidature et pour m'avoir proposé un thème de travail aussi intéressant.
- Mme. Chantal Demeuldre, mon superviseur de l'ECAM, pour son soutien, ses conseils, son expérience dans le rôle de superviseur ainsi que le temps qu'elle a consacré au suivi de l'évolution de ce travail.
- Mme. Sabine Charlier, responsable du département industrialisation, pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail, ses remarques et ses conseils.

Je remercie tout particulièrement Monsieur David Villiot, ingénieur en génie mécanique, pour le temps qu'il m'aura consacré, pour la qualité de ses conseils techniques et de ses explications, ainsi que pour sa gentillesse et sa bonne humeur qui auront contribué au déroulement efficace de ce travail dans une ambiance agréable.

## 8. Sources

- [1] AMF, *Zero-Point-Systems - Catalogue code 456988*, 2012
- [2] BARLIER C. et GIRARDIN L., *Mémotech productique*, 2ème édition, Paris, André Casteilla, 1986
- [3] CHEVALIER A., *Guide du dessinateur industriel*, Paris, Hachette Technique, 2004
- [4] DAL PONT J.-P., *L'entreprise industrielle*, « Les Techniques de l'Ingénieur », [AG10]
- [5] DASSAULT AVIATION division défense, Bouchonnage par Leepug, Directive technique DT.86, 07/2004
- [6] DELIGNE J.-C., *Utilisation du Balluff*, S.A.B.C.A., 2011
- [7] FETZER F., *Rapport de stage – Immersion en entreprise*, Bruxelles, S.A.B.C.A., 2010
- [8] FETZER F. *Rapport de stage – Insertion professionnelle*, Bruxelles, S.A.B.C.A., 2011
- [9] GIECK K. et R., *Formulaire Technique*, Germering, Gieck Verlag, 2007
- [10] JERGENS INC., *Zero Point System, Features and Benefits*, (en ligne, le 07/04/2012), [http://www.jergensinc.com/site/showcase\\_zps/features-benefits.html](http://www.jergensinc.com/site/showcase_zps/features-benefits.html)
- [11] KENNAMETAL, *Solutions Fraisage - Catalogue 6050 Metrique*, 2011
- [12] LECONTE T., *La pratique du SMED*, Paris, Editions d'Organisation Eyrolles, 2008
- [13] LISTA, *Kompendium 1*, Siegen, 2011
- [14] SABCA, Organigramme, Manuel de gestion MG002F, rév.2012
- [15] L'USINE NOUVELLE, *Rayonnage à tiroirs - plateau bois | Contact STOCK3*, (en ligne, le 07/04/2012), <http://www.usinenouvelle.com/expo/rayonnage-a-tiroirs-pl-p14717.html>
- [16] SACHOT M., *Fraiseuses et centres d'usinage*, « Les Techniques de l'Ingénieur », [B7160]
- [17] THE LEE COMPANY, *Technical Hydraulic Handbook*, release 10.3