

LE SYSTÈME SMED

LES CHANGEMENTS RAPIDES D'OUTILS

par Philippe DUCOM et Isabelle MONEYRON
École des Mines de Paris

L'article proposé ci-après est un travail de deux élèves-ingénieurs de l'École des Mines de Paris, mené dans le cadre de l'enseignement "Systèmes de production" de deuxième année professé par Hugues MOLET, Vice-Président de l'A.F.G.I. Cet article s'appuie essentiellement sur l'ouvrage de S. SHINGO "Système SMED, une révolution en gestion de production", il le résume et donne des applications significatives de la méthode.

1 - POURQUOI LE SMED ?

Dans tous les domaines, le marché évolue vers une demande de plus en plus diversifiée. Quel que soit le produit, le consommateur souhaite se voir proposer un choix entre plusieurs modèles, la quantité de chaque modèle diminuant ainsi inévitablement. Cette nouvelle donnée doit venir s'inscrire dans un système industriel, créé à l'origine pour de très grandes séries, qu'il faut donc modifier pour le rendre capable de répondre sans gaspillage aux variations du marché.

C'est dans cet esprit que fut préconisée la méthode de gestion en flux tendus (juste à temps, Kanban...), qui préconise d'ajuster en permanence la production à la demande, quitte à ne faire que de petits lots. Ces principes, parfaitement appliqués, conduiraient évidemment à une situation de "zéro-stock".

Malheureusement, les changements d'outils et réglages nécessaires au début de chaque nouveau lot sont généralement longs (plusieurs heures) et compliqués (nécessitant des ouvriers hautement qualifiés). En effet, ces changements ayant, jusqu'à présent, eu lieu avec une faible fréquence du fait de la grande taille des lots, ne se posaient pas en problème et n'ont donc jamais été étudiés en vue d'améliorations éventuelles. Progressivement, leur lourdeur a fini par paraître normale, puis inévitable.

C'est pourquoi les industriels ont préféré traditionnellement une production par lots importants, puisqu'avec ceux-ci, on observe une diminution de l'effet relatif des temps de réglage par rapport aux temps de production effective, comme le montre le tableau suivant :

Temps de de réglage	Taille du lot	Temps de 1'opération principale par pièce	Temps d'opération
8 h	100p	1 mn	5,8 mn
8 h	1 000p	1 mn	1,48 mn
8 h	10 000p	1 mn	1,048 mn

Une telle production augmente les stocks, et on calcule donc la taille du "lot économique", permettant de minimiser la somme des coûts de changement de production et de stockage (voir figure 1).

L'"idée révolutionnaire de SHINGO" * a été de s'attaquer aux temps de changement d'outils, habituellement considérés comme une fatalité, afin de les réduire à des temps à un chiffre (en minutes) :

S.M.E.D. = Single-Minute Exchange of Die

Dès lors, on comprend que le concept de lot économique n'a plus de raison d'être : avec de faibles coûts de réglage, les coûts de stockage deviennent prépondérants, et le "lot économique" est celui qui répond à une demande du moment, et n'a donc pas à être stocké, (voir figure 2).

Le système SMED ne s'applique pas aux commandes uniques, mais aux commandes répétitives, en séparant des lots qui, jusque-là rassemblés en un seul, entraînaient un gaspillage en faisant produire trop ou trop tSt.

2 - THEORIE DE DEVELOPPEMENT DU SMED

Le SMED, basé avant tout sur le bon sens, consiste à chercher POURQUOI les choses sont faites afin de changer le COMMENT elles sont faites. Il comporte quatre grandes étapes :

- étape 0 : observer ce qui se passe
- étape 1 : séparer les réglages internes et externes
- étape 2 : transformer des réglages internes en réglages externes
- étape 3 : rationaliser les réglages et fixations.

2.1 - ETAPE 0 : OBSERVER CE QUI SE PASSE

Un changement d'outil comporte plusieurs types d'opérations, que l'on peut séparer en quatre phases :

* Note de la rédaction : Taylor préconisait déjà de travailler sur la réduction des temps de changement d'outils en 1900 !

TAILLE DE LA SERIE ECONOMIQUE

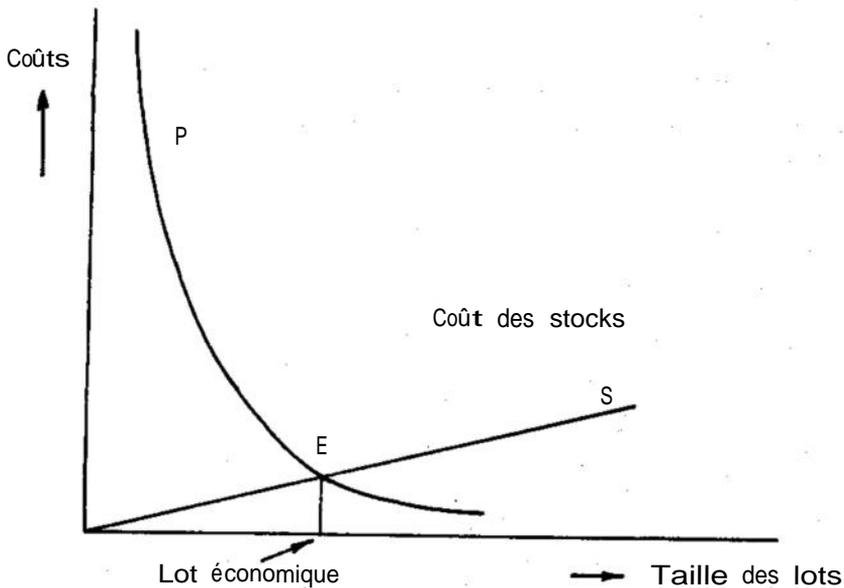


Figure 1

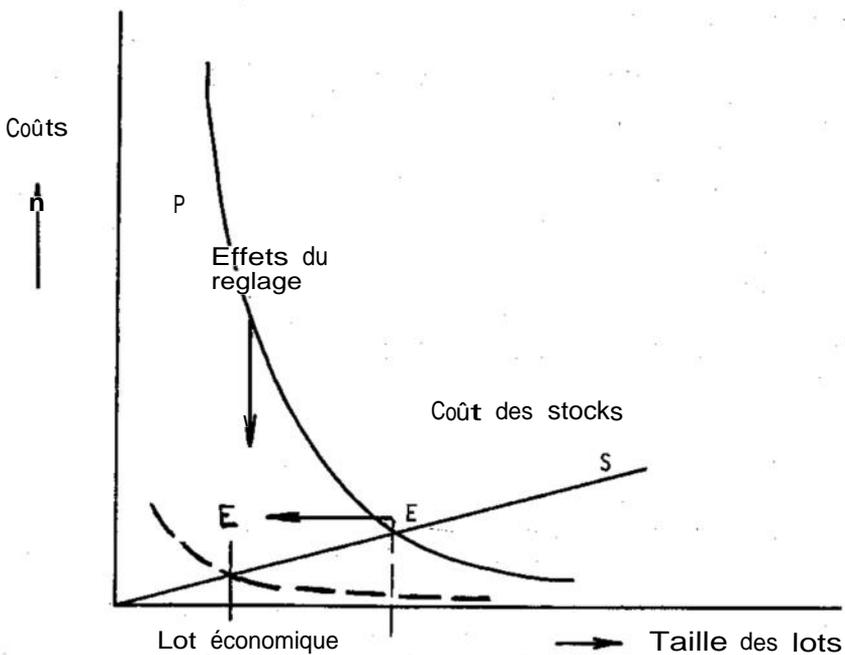


Figure 2

2.1.1 - Phase de préparation

Elle comprend le rassemblement de toutes les pièces et outillages utiles sur les lieux du réglage ainsi que leur vérification.

2.1.2 - Phase effective de changement

Elle comprend le démontage après la fin du dernier lot et le montage pour le lot suivant des pièces et outillages.

2.1.3 Phase de réglage

Elle comprend toutes les mesures et calibrages auxquels on doit procéder :

- centrage, réglage des cotes, mesure de température, de pression etc...

2.1.4 - Phase d'ajustements

Dans cette phase, des ajustements sont faits par approximations successives après l'usinage de pièces d'essai. Plus la précision des mesures et réglages faits pendant la phase précédente est grande, plus faciles sont les ajustements.

Les parts de temps respectives de ces différentes phases sont, dans un réglage classique :

- phase 1 : 30 %
- phase 2 : 5 %
- phase 3 : 15 %
- phase 4 : 50 %

L'étape préliminaire du SMED a pour but de déterminer avec précision le temps pris par chacune des opérations du réglage que Ton veut améliorer. Pour cela, il faut être présent dans l'atelier lors d'un changement d'outil afin de l'observer et de le chronométrer.

Une méthode très efficace consiste à filmer en vidéo l'opération complète, puis de projeter le film aux opérateurs dès que le réglage est terminé. Cela leur permet de constater qu'une amélioration est utile, d'exprimer leur point de vue, et les amène souvent à trouver des idées astucieuses.

2.2 - ETAPE 1 : SEPARER LES REGLAGES INTERNES ET EXTERNES

Les *Aigtagu intzAnu* sont ceux qui ne peuvent être faits que lorsque la machine est arrêtée.

Les *ti&gZagei zxteAnu* sont ceux qui peuvent être faits lorsque la machine est en marche, tels que : apporter le nouvel outil de son lieu de stockage, y rapporter l'ancien outil, chercher le matériel nécessaire pour fixer l'outil, etc...

Ces concepts, à la base du SMED, sont nés en 1950 à l'usine Mazda à Hiroshima. De grosses presses de moulage y créaient un goulot d'étranglement. Lors d'un changement de moule, et pendant l'arrêt de la machine, SHINGO observa que les ouvriers couraient de tous côtés à la recherche d'un boulon manquant pour fixer le nouveau moule. Il a donc établi comme procédure externe, à effectuer avant l'arrêt de la machine, la vérification que tous les boulons sont prêts pour le réglage à venir. Le simple fait de trier et ranger les boulons utiles a augmenté la productivité de 50 % et fait disparaître le goulot d'étranglement.

La première étape du SMED consiste donc tout d'abord à identifier si un réglage est interne ou externe, puis à effectuer les réglages externes avant l'arrêt de la machine. Autrement dit, il s'agit simplement de préparer son changement d'outil.

Une bonne méthode pour s'assurer que les réglages externes sont réellement faits pendant que la machine est en marche consiste à utiliser une check-list de toutes les pièces et phases nécessaires au changement d'outil. A cet effet, l'utilisation d'une table de vérification peut s'avérer très utile. C'est une table sur laquelle sont dessinés toutes les pièces et outillages nécessaires au réglage. Les pièces correspondantes sont posées avant le début du réglage sur le dessin qui les représente. C'est un contrôle visuel extrêmement efficace. Il convient aussi de s'assurer du bon état de marche de tout ce matériel, avant l'arrêt de la machine.

Cette première étape ne modifie donc en rien le mécanisme de changement de l'outil, et ne fait qu'en ordonnancer les tâches différemment. Ce n'est qu'à partir de l'étape suivante que l'on voit de réelles transformations apparaître.

2.3 - ETAPE 2 : TRANSFORMER DES REGLAGES INTERNES EN REGLAGES EXTERNES

C'est en 1957, sur le chantier naval Mitsubishi à Hiroshima, que SHINGO a pour la première fois appliqué cette idée, sans toutefois en réaliser l'importance. Etudiant la productivité d'une rectifieuse, il avait remarqué que le centrage des pièces à usiner était fait sur la table de la rectifieuse elle-même. Il eut donc l'idée d'installer une seconde table de rectifieuse afin d'y faire séparément les opérations de réglage, pendant le fonctionnement de la machine.

Il ne formalisa le concept de transformation des réglages internes en réglages externes qu'en 1969, lors d'une visite à l'usine Toyota, où il proposa le même type d'installation sur une grosse presse.

Par définition, un réglage interne ne peut être effectué que lorsque la machine est arrêtée. Néanmoins, si Ton ne considère que la partie véritablement fonctionnelle de la machine (par exemple les vérins dans une presse), alors nombre de réglages qui étaient internes par rapport à la machine toute entière deviennent externes par rapport à son "coeur".

La deuxième étape du SMED consiste à transformer ces réglages-~~là~~ en réglages externes par rapport à la machine entière. Pour appliquer cette étape, il faut donc repérer tout d'abord la partie fonctionnelle de la machine, puis ses organes concernés par le changement. En effet, on peut parfois les dédoubler, permettant ainsi au réglage de se faire à côté de la machine, alors que celle-ci est en marche.

2.4 - ETAPE 3 : RATIONALISER REGLAGES ET FIXATIONS

Cette étape concerne principalement les réglages internes qui n'ont pas pu être transformés en réglages externes, puisque ce sont eux qui déterminent le temps d'arrêt de la machine. De nombreuses techniques concourent à leur rationalisation :

2.4.1 - Synchronisation des tâches

Les opérations sur les grosses machines nécessitent de travailler à la fois à l'avant et à l'arrière de celle-ci. Dans ce cas, faire exécuter le changement en parallèle par deux ouvriers supprime les déplacements inutiles, et accélère le

travail. Là où un ouvrier seul met 30 mn, deux ouvriers mettront moins de la moitié du temps, soit environ 10 mn.

Avec le système SMED, le changement doit être rapide et simple, l'assistance peut donc être faite par n'importe quel ouvrier non qualifié, qui ne devra pour cela quitter son poste que quelques minutes. Il est donc aisé de se faire aider par quelqu'un profitant d'un moment de calme ou par l'opérateur d'une machine automatique. On peut aussi envisager d'affecter à temps complet une personne à l'aide aux changements d'outils.

Dans tous les cas, il est essentiel de veiller à la sécurité des opérateurs, et il faut donc mettre au point des mécanismes de synchronisation empêchant la mise en marche de la machine si l'ouvrier à l'arrière n'a pas (par exemple) baissé une manette.

2.4.2 - Elimination des ajustements

Dans une opération classique de changement d'outils, la phase d'ajustements prend de 50 à 70 % du temps de réglage interne. C'est énorme ! En effet, il s'agit d'amener l'outil dans sa position de travail, par approximations successives (essai, correction, essai, ...).

D'une façon générale, sur les moyens mécaniques, les positionnements sont en nombres illimités et les déplacements se font en continu. Or, dans la pratique, quelques positions seulement sont utilisées. Il suffit donc de les repérer et de mettre au point des systèmes permettant de les retrouver directement. Pour cela, on peut utiliser cales, gabarits, micro-rupteurs, etc...

En particulier, il peut être intéressant de conserver la dernière pièce d'un lot pour s'en servir comme gabarit au début du prochain lot identique. Ainsi, on ne fait l'ajustement qu'une fois pour toutes : à la première pièce du premier lot.

2.4.3 - Utilisation des serrages fonctionnels

Un serrage fonctionnel est un système de fixation maintenant des objets en place avec un minimum d'effort. Par minimum d'effort, il faut comprendre :

- ne maintenir l'objet que dans les directions suivant lesquelles il sera sollicité lors de l'opération de production,
- dans chaque direction, ne pas fixer l'objet plus qu'il n'est nécessaire.

Les méthodes classiques de fixation, vis, écrou, boulons, ne sont pas du tout des serrages fonctionnels.

Si le boulon a 15 filets, il ne peut être serré que si l'écrou a fait 15 tours. En réalité, ce n'est que le dernier tour qui serre le boulon, et le premier qui le desserre. Les 14 autres tours ne servent à rien. De plus, les frottements d'Os aux 15 filets viennent s'opposer à l'effort de serrage.

Les écrous posent un autre problème : celui de leur mise en place à l'extrémité de la tige filetée, qui ne se fait correctement que si les deux pièces sont parfaitement dans l'axe. Cette phase fait généralement perdre beaucoup de temps, et de plus elle contribue notablement à la détérioration des filetages. Il faudrait donc pouvoir retirer la pièce sans retirer l'écrou, ce qui semble paradoxal, le rôle de l'écrou étant bel et bien de maintenir la pièce en place !

Or, les opérations d'un serrage classique sont :

- débloquer et enlever l'écrou,
- enlever la rondelle,
- enlever la pièce,
- placer la rondelle
- remettre l'écrou et le rebloquer.

On constate que la fixation est assurée, non par l'écrou, mais par la rondelle. La solution consisterait donc à pouvoir la retirer, sans retirer l'écrou, ce qui est possible avec une rondelle en U.

Cet aspect de la méthode est celui qui s'apparente le plus à un catalogue de "petits trucs pratiques", permettant de gagner quelques secondes sur chaque manœuvre, et ainsi de passer sous la barre des 10 mn. Mais il est essentiel de bien comprendre que le gain apporté par la mise en place de ces techniques n'est appréciable que si les étapes précédentes du SMED ont déjà été réalisées : à quoi bon gagner 3 minutes si le changement dure 8 heures ?

3 - APPLICATIONS

C'est essentiellement dans l'industrie automobile, sur des machines de type "presse" ou "usinage", que le SMED a été mis au point. C'est pourquoi la méthode est encore peu développée dans les autres secteurs technologiques (chimie, textile, etc...), les industriels objectant qu'elle n'est pas adaptée à leur production.

Les quelques exemples qui suivent ont pour but de montrer que le SMED est, non pas une liste de solutions universelles toutes faites, mais une véritable méthode d'analyse et de résolution des problèmes de changement d'outils, applicable à tout type de production. On verra que chacune des étapes de SMED peut se traduire par des modifications paraissant très différentes selon les machines, avec pourtant toujours le même concept à la base.

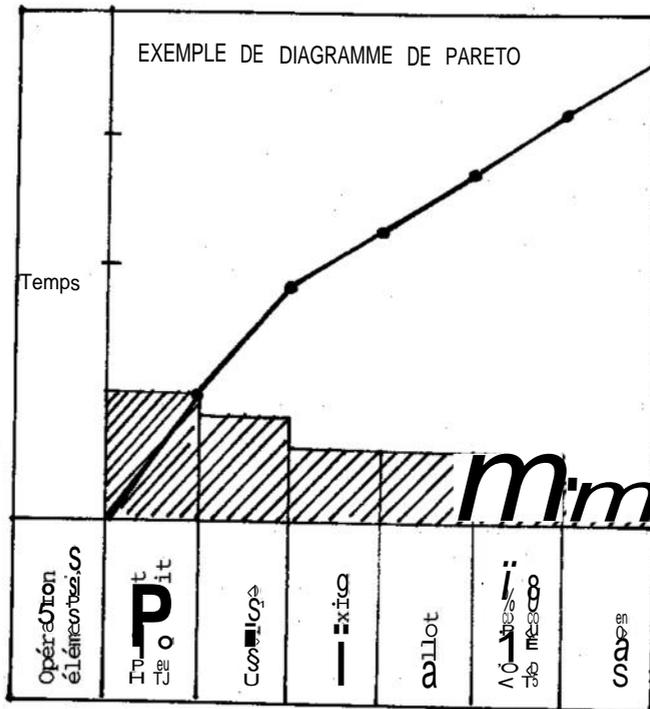
3.1 - ILLUSTRATION DE LA PREMIERE PHASE

Cet exemple se rapporte à l'étape 0 : l'observation du réglage avant amélioration. L'ensemble des opérations observées pendant cette étape, ainsi que leurs temps respectifs, peuvent être répertoriés dans un tableau où l'on peut aussi faire apparaître les premières idées de modification.

EXEMPLE DE TABLEAU RECAPITULATIF

N°	Etapes de la procédure (par ordre)	Temps nécessaire (sec)	Observations
1	desserrer 2 vis	36	éliminer les vis, utiliser des méthodes instantanées,
2	extraire le porte-outil	15	simplifier
3	placer le nouveau porte-outil	15	(idem 2)
4	serrer 2 vis	32	(idem 1)
5	mise en marche	20	
6	enlever une pièce, mesurer	18	passer en réglage externe
7	desserrer C	28	
8	ajuster avec la poignée B	32	méthode par contact
9	serrer C	18	
10	mise en marche	20	
11	enlever la pièce, mesurer	17	passer en réglage externe
12	répéter 5 - 11	665	utiliser des gabarits intermédiaires
13	mesurer la profondeur avec D	24	
14	mise en marche	20	
15	enlever la pièce, mesurer	12	
16	marche en continu	1	
	TOTAL	973	= 16 min. 13 sec.

Une fois ce tableau dressé, il peut être intéressant de faire un diagramme de Pareto des temps en fonction des opérations. Sur un tel diagramme, on place les opérations par durées décroissantes, ce qui permet de bien voir à laquelle (ou auxquelles) il sera le plus profitable de s'attaquer en premier lieu.



3.2 - ILLUSTRATION DE LA SECONDE PHASE

Cet exemple se rapporte à la séparation des réglages internes et externes.

Sur le diagramme de Pareto précédent, qui concernait une chaîne d'usinage de carters, on remarque que le transport de gabarit (ici, gabarit est le nom de l'outil à changer) était l'opération qui prenait le plus de temps. En effet, son déroulement était le suivant :

- sortir le gabarit de la machine,
- l'attacher à un palan,
- le transporter jusqu'à son lieu de stockage,
- apporter le nouveau gabarit,
- le détacher du palan,
- le placer dans la machine.

Le transport se faisait en réglage interne, ce qui obligeait la machine à être arrêtée très longtemps, d'autant plus qu'il n'y avait qu'un seul palan pour tout l'atelier, et qu'il fallait donc l'attendre. De plus, ce système était dangereux, car les gabarits passaient au-dessus d'autres machines pendant le transport.

La solution choisie pour résoudre ce problème de sécurité fut l'installation de convoyeurs à rouleaux :

De plus, les opérations de transport des deux gabarits (l'ancien et le nouveau) furent transformées en réglages externes : le nouveau gabarit est maintenant apporté avant l'arrêt de la machine, l'ancien ramené après que la machine ait redémarré.

Enfin, les mouvements d'arrivée et de mise en place des gabarits ont été enchaînés, de manière à simplifier la procédure d'échange.

3.3 - ILLUSTRATION DE LA TROISIEME PHASE

Ces exemples se rapportent à la transformation de réglages internes en réglages externes.

3.3.1 - Applications aux presses à mouler

Les presses à mouler ne fonctionnent correctement que lorsque les moules sont à une certaine température. Le changement de moules se fait habituellement comme suit :

- les moules froids sont fixés sur la machine,
- ils sont portés graduellement à la bonne température par des injections successives, les pièces produites ainsi (appelées pièces "d'essai") étant défectueuses.

En procédant de cette manière, le chauffage du moule est un réglage interne, qui de plus consomme de la matière en pure perte. Il est assez facile d'en faire un réglage externe, simplement en préchauffant les moules avant de les mettre en place. Plusieurs techniques ont été mises au point dans différents ateliers :

- poser les moules sur une étuve,
- les préchauffer électriquement,
- faire circuler de l'eau chaude dans leur circuit de refroidissement.

Outré le gain de temps qu'il occasionne, le préchauffage permet d'obtenir des pièces bonnes dès le début. La modification est donc doublement intéressante.

3.3.2 - Application au moulage sous vide

Le moulage de plastique sous vide nécessite, normalement, 4 étapes :

- faire joindre la partie mobile d'un moule à sa partie fixe,
- pomper l'air pour faire le vide dans le moule,
- injecter la résine,
- ouvrir le moule et retirer le produit fini.

Le moulage n'est de bonne qualité que si un vide presque parfait est établi dans le moule. Beaucoup de temps est donc consacré à la deuxième phase de l'opération, non pas seulement lors du changement de moule, mais pour chacune des pièces à mouler.

Sur ce genre d'exemple, on a beaucoup de mal à voir, à priori, comment pourrait s'appliquer la méthode de SHINGO.

Cependant, en analysant le problème, on constate que seule la pompe à vide travaille pendant la phase qui nous intéresse. Pendant ce temps, le moule, qui peut être considéré comme le "corps" de la machine, ne fait que subir le pompage.

On souhaite donc transformer celui-ci en une opération externe, c'est-à-dire faire le vide pendant l'injection de la résine ! Cela paraît absurde, et pourtant, une solution a été trouvée : elle consiste à installer une cuve à vide d'environ 1000 fois le volume du moule. Lorsque le moule et la cuve seront connectés, la pression dans le moule sera diminuée d'environ 1000 fois en 1 seconde. L'opération interne de la pompe à vide sera donc réduite à l'extraction de l'air restant, après quoi elle refera le vide dans la cuve, en réglage externe cette fois.

3.4 - ILLUSTRATION DE LA DERNIERE PHASE

Ces exemples se rapportent à la rationalisation des réglages et fixations.

3.4.1 - Elimination des ajustements

On a déjà vu comment repérer des positions à l'aide de micro-rupteurs. Dans d'autres situations, ce sont d'autres systèmes permettant d'obtenir directement le réglage désiré que Ton utilisera, mais la philosophie reste toujours la même : créer une discontinuité dans l'ensemble de tous les positionnements possibles, en ne sélectionnant que ceux dont on a besoin.

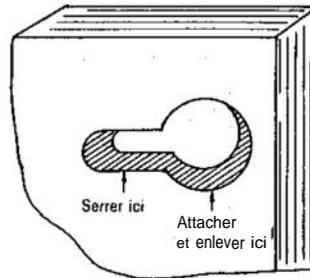
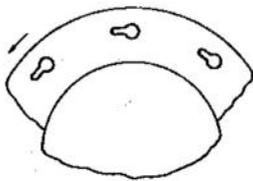
Dans ce but, de nombreuses possibilités sont offertes :

- systèmes de cales de toutes sortes,
- matérialisation et visualisation d'axes de réglages jusqu'alors virtuels,
- standardisation d'une partie du système afin de ne pas changer l'outil, mais ne changer que la fonction, (SHINGO appelle cette méthode le système du PPCM, plus petit commun multiple).

3.4.2 - Serrages fonctionnels

Le grand classique du SMED est le "serrage en un seul tour". Il existe déjà beaucoup de solutions à ce problème, de nombreux opérateurs y ayant exercé leur imagination de par le monde. Nous ne citerons ici que deux exemples.

Une variante de la rondelle en U, tout à fait dans le même esprit, est la technique des trous "en boutonnière", particulièrement adaptée aux pièces circulaires nécessitant plusieurs points d'ancrage le long de leur circonférence.



Plus originale est la méthode des filets entaillés, grâce à laquelle on peut retirer complètement l'écrou d'un long filetage, sans pour autant devoir lui faire effectuer plus d'1/3 de tour.

4 - CONCLUSIONS

4.1 - DES GAINS DE TEMPS SPECTACULAIRES

Sur des exemples chiffrés datant de 1975, on constate une réduction moyenne à 1/20ème des temps d'origine. Le système s'étant amélioré au cours de ces dernières années, on obtient aujourd'hui des temps de Tordre de 1/40ème des temps d'origine.

4.2 - MEILLEURE GESTION DE LA PRODUCTION

On constate par ailleurs que l'application de la méthode entraîne de nombreux effets dans son sillage :

- l'augmentation de la flexibilité de la production :

La réduction des temps de réglage facilite les changements de produits, permettant ainsi de répondre rapidement aux changements de la demande. On augmente ainsi considérablement la flexibilité de la production.

- le zéro-stock :

On peut donc avoir une production réellement diversifiée par petits lots, permettant d'alimenter les commandes "au jour le jour", donc d'atteindre le "zéro-stock".

- l'amélioration de la qualité

Les conditions opératoires étant réglées d'avance, on élimine de nombreuses erreurs d'files au réglage, et la qualité s'en trouve améliorée.

- l'augmentation de la sécurité

Les réglages se trouvant simplifiés, ils permettent un accroissement des conditions de sécurité.

Le SMED s'inscrit donc parfaitement dans la lignée des méthodes de production modernes. Il participe à l'élaboration d'un contexte permettant à ces méthodes de s'appliquer dans de bonnes conditions.

4.3 - EFFET DYNAMISANT

L'effet le plus inattendu du SMED est son impact psychologique. En effet, en balayant les vieilles croyances concernant l'aspect inévitable et irréductible des temps de réglage, il démontre que "rien n'est impossible".

Dans les entreprises ayant appliqué la méthode, on a constaté un changement dans les attitudes. Les réunions sont devenues plus constructives et plus rapides, chacun ayant une détermination à trouver des moyens de faire avancer les choses. A ce titre, l'exemple de la société Kyoey Kogyo est frappant, puisque le nombre de propositions d'améliorations par Tes groupes d'atelier y a été multiplié par quatre depuis l'inauguration de la méthode.