



TPM, Total Productive Maintenance

Préambule

Performances de la machines ou performances de l'homme ?

Lorsque sous la pression de la concurrence, du marché où tout simplement de la hiérarchie, on se penche sur le rendement des machines, on peut en choisissant *mal* ses indicateurs se faire des illusions ou en les choisissant *bien*, être surpris par les résultats.

L'analyse du rendement machine se base souvent sur la production achevée par rapport à la capacité nominale. Devant la faiblesse de ce rendement, il n'est pas rare de porter un regard soupçonneux sur l'opérateur, car la machine n'est-ce pas, ne peut faire preuve de manque de motivation...

Or, on a trop tendance à considérer les caractéristiques d'une machine comme immuables, sauf la dégradation de ses performances dans le temps. Les caractéristiques des machines sont annoncées (par des constructeurs toujours optimistes) dans l'hypothèse de l'absence de facteurs perturbateurs, en négligeant la part d'intervention humaine, etc. Qui se pose des questions au moment de l'achat et plus tard en exploitation, quant à la fiabilité des machines, de leur rendement, de la compressibilité des temps technologiques, de savoir si les spécifications du constructeur sont bien réelles ?

Un suivi attentif révèle vite que les caractéristiques théoriques ne correspondent pas à la réalité. Il est fréquent que dans les projets d'amélioration de rendement machine, l'attention se focalise sur le travail de *l'homme* (que le "regard" soit soupçonneux ou non) qui lui est associé. Il est certes important de lui donner une certaine priorité, mais lorsque sa part de travail est optimisée ou que l'on a affaire à des machines entièrement automatiques, il devient nécessaire de se pencher sur le travail des machines elles-mêmes...

L'Entreprise dispose de ses machines !

Par ailleurs, il ne faudrait pas se contenter d'exploiter la machine ! Puisqu'elle a été acquise, pourquoi ne pas chercher à l'améliorer ? Accessibilité pour nettoyage et maintenance, ergonomie des commandes, performances...sont autant de pistes d'améliorations potentielles. En poussant la logique jusqu'au bout, pourquoi pas la tailler sur mesure ?

Il existe en outre des cas où l'activité d'un équipement, d'une machine, conditionne la performance de l'entreprise toute entière. Ces ressources très particulières doivent être l'objet de toutes les attentions.

Songez aussi qu'il n'existe peut-être que peu de fabricants du type de machines ciblé, le risque est grand de devenir en quelque sorte l'otage d'un constructeur unique, être amenés à attendre son bon vouloir pour une assistance, l'envoi de pièces de rechange et soumis à un tarif indiscutable. Il est fort probable que si le nombre de constructeurs de machines est restreint, quelques uns de nos propres concurrents disposent du même matériel. Comment dès lors nous démarquer ?

Un but...l'idéal

Dans la mentalité japonaise, surtout celle de l'après guerre qui a façonné l'industrie nippone, toute forme de gaspillage est à combattre. La chasse au gaspillage est un gisement de gains qui peut se révéler riche et être exploité facilement. Etre une entreprise idéale c'est anéantir les pertes et atteindre :

Zéro accident, zéro défauts, zéro arrêts !

Pas d'incidents, d'accidents = pas d'arrêts, ni "pertes humaines", ni frais financiers...

Pas de défauts = temps de fabrication utilisé à 100%, pas de déchets...

Zéro défauts = zéro contrôle !



Dans le but de minimiser les arrêts machines, améliorer les machines du parc existant et maximiser l'utilisation de ces machines, pour réduire les frais financiers; retarder ou rendre inutiles les investissements capacitaires, mais aussi introduire de nouveaux équipements en tenant compte de l'expérience du passé (ne pas refaire les mêmes erreurs !)

Il faut essayer :

- **d'augmenter la productivité** des machines
- de **différer les investissements** capacitaires (nouveaux équipements pour assurer la capacité de production)
- **fiabiliser les machines** = trouver et éliminer les micro-pannes
- **rentabiliser rapidement** les investissements (générer la VA plus vite)
- d'**améliorer** les méthodes de travail :
- **Rationaliser** la maintenance, trouver la nécessité de l'homme (capteur à 5 sens !)
- **valoriser** la fonction "conduite de machine "
- **améliorer les conditions de travail**
- diminuer les actions du type "*pompiers*" (interventions soudaines et acrobatiques...)

En assurant la **cohérence** du développement, en libérant du temps " spécialistes " pour ce développement et les modifications internes des équipements.

Plan d'action

Avant de se jeter à corps perdu dans la maximisation du temps machine, il convient néanmoins de bien définir les objectifs. Tout comme pour le SMED ou les actions KAIZEN, les améliorations potentielles dans un environnement industriel sont quasi infinies. Aussi, une bonne analyse préalable est nécessaire. Il faut par exemple connaître précisément la part de génératrice de **Valeur Ajoutée** dans le temps de fonctionnement de la machine, car maximiser ne veut pas nécessairement dire faire tourner plus ou sans arrêt... Une initiation à la théorie des contraintes est également un bon moyen de fixer les idées.

Lorsque la part de génération de V.A est connue, il faut exploiter la machine au mieux, afin de maximiser cette génération de V.A. Il faut fixer très précisément un **état de référence** et des **objectifs** à atteindre (très ambitieux, de sorte que la recherche du maximum devienne une action continue (esprit kaizen).

TPM : Total Productive Maintenance

La **TPM** est née des besoins d'améliorer le rendement machine. Selon le choix de l'indicateur de productivité, on peut se complaire dans une situation apparemment satisfaisante, mais totalement irréaliste.

Prenons l'exemple de l'indicateur le plus simple qui soit; le taux de marche calendaire. Le taux de marche est le rapport du temps de fonctionnement de la machine au temps d'ouverture de l'atelier. Si l'ouverture de l'atelier est de 8 heures quotidiennes et que la machine tourne 7 heures (une heure étant nécessaire aux diverses opérations non-productives), le taux de marche est de $7 / 8 \times 100 = 87.5\%$ Pas mal ! Sauf cela ne veut pas dire grand chose, la machine ayant très bien pu tourner à vide...

Il est évident qu'un indicateur aussi élémentaire est insuffisant à une bonne gestion de la ressource et ne peut guider une action d'amélioration.

De quoi est fait la journée d'une machine ?

En se penchant sur le travail de la machine, on se rend compte qu'elle ne peut travailler durant toute la durée d'ouverture de l'atelier. Il y a nécessairement des opérations qui nécessitent son arrêt ou du moins une phase non productive; changements de séries, rechargements, maintenance, préchauffage... Cela introduit la notion de **temps de fonctionnement brut**.

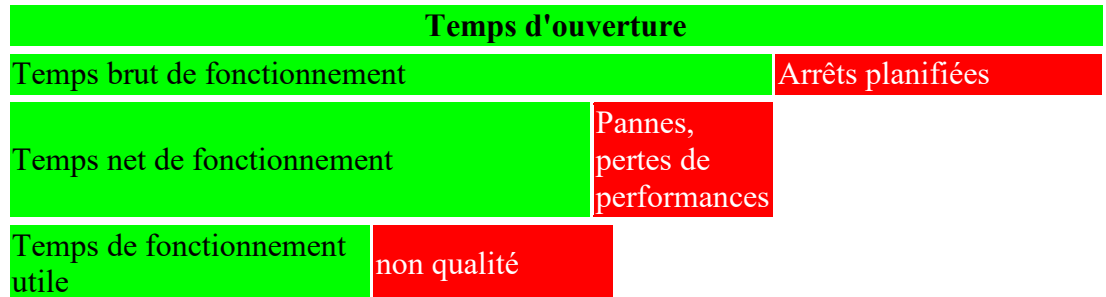
Durant le temps de fonctionnement brut, on pourrait s'attendre à une production égale à ce temps divisé par la **cadence nominale**. Or, les relevés de production montreront bien vite qu'il n'en est rien ! C'était sans compter avec tous les aléas affectant les performances; pannes, dérives, micro-arrêts...

La cadence réelle est toujours inférieure à la cadence nominale.



Le temps de fonctionnement brut amputé du temps perdu donne le temps de fonctionnement réel, ou temps de **fonctionnement net**. Hélas les pertes ne s'en tiennent pas là, car pour finir, on se rend compte que le *peu* de temps passé à produire a produit aussi bien des pièces bonnes que des mauvaises...

Certaines pièces mauvaises peuvent éventuellement être récupérées, mais toujours au prix d'un **surcoût**, certaines fois c'est une perte intégrale.



Il est évident que seules les pièces *utiles* génèrent du profit, mais avec un tel gaspillage, il n'est pas assuré !

Notons que chaque "perte" trouve sa cause dans un *thème* qui va intéresser la maintenance, comme nous le détaillerons plus loin.

Mesure des pertes, les indicateurs.

Le schéma ci-dessus montre bien les différentes composantes de pertes qui érodent la productivité de la machine. Si l'on en reste à un niveau de précision insuffisant, comme le suivi du taux de marche calendaire, cet indicateur ne sera pas un reflet fidèle de la situation, loin de là. Pour connaître avec précision la situation et mener des actions d'amélioration, un niveau de détail supérieur est requis. La **TPM** propose un indicateur qui **intègre toutes les composantes** du rendement machine, le **TRS** ou Taux de Rendement Synthétique.

Posons :

A = temps d'ouverture : temps théorique de fonctionnement.

B = temps brut de fonctionnement

B = **A** - total des arrêts machine (pannes, changements d'outils, approvisionnements..)

C = temps net de fonctionnement

C = **B** - pertes de performances = différence entre cadence théorique et cadence réelle due aux arrêts mineurs
oduit des ensembles bons comme des mauvais, nous posons

D = temps utile => qui produit que des ensembles bons

D = **C** - pertes de qualité : non qualité pendant le fonctionnement, réglages, essais, démarrage...

Nous pouvons définir trois ratios :

$$Tb = \frac{B}{A} = \text{taux de fonctionnement brut}$$

$$Tb = \frac{\text{temps d'ouverture} - \text{temps d'arrêts}}{\text{temps d'ouverture}}$$



$$T_p = \frac{C}{B} = \text{taux de performance}$$

Taux de performance = Taux de fonctionnement net x rendement vitesse

avec

$$T_{fn} = \frac{\text{Quantité réalisée x temps de cycle}}{\text{temps d'ouverture - temps d'arrêts}}$$

et rendement vitesse

$$R_v = \frac{\text{Temps de cycle théorique}}{\text{Temps de cycle réel}}$$

$$T_q = \frac{D}{C} = \text{taux de qualité}$$

$$T_q = \frac{\text{Quantité traitée - Quantité rebutée}}{\text{Quantité totale traitée}}$$

Et un " super ratio " : le **taux de rendement synthétique T.R.S**

$$TRS = \frac{D}{A} \times \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{D}{C}$$

Le Taux de Rendement Synthétique

Le TRS est le seul indicateur qui tienne compte de **tous** les paramètres qui affectent la productivité d'une machine.

Dans l'établissement du **TRS**, si l'un des taux le composant se dégrade, le **TRS** chute également. Fixer des objectifs (très) ambitieux, c'est chercher à atteindre un **TRS** le plus élevé (idéal = 100%) et le tenir, ce qui est loin d'être facile !

Démonstration

Avec un t_b entre 90 et 98%, t_p généralement 95%, **TRS** à obtenir > 85% (ce qui semble modeste).

Puisque $TRS = t_b \times t_p \times t_q \Rightarrow$ il faut un T_q de 99%, autrement dit, il faut atteindre un niveau d'excellence !

Il est fréquent qu'avant une démarche **TPM**, le **TRS** initial soit de l'ordre de 50% seulement. Le remonter à 70% représente déjà un gain très significatif. Le suivi du **TRS** permet d'avoir une vue synthétique, et l'examen de ses composantes permet de déterminer quel levier activer pour l'améliorer.



Définition & quantification des pertes

Si les indicateurs de la TPM semblent simples, leurs éléments constitutifs peuvent être délicats à recueillir. Une formalisation est nécessaire, passant par des définitions claires des différentes catégories de pertes. Avant définition et quantification des pertes, c'est le plus souvent l'impression subjective et vague des opérateurs et chefs d'atelier - qui tentent de justifier les performances médiocres de leurs machines - qui constituent les seuls éléments disponibles.

La part des **micro-arrêts** reste généralement totalement ignorée, jusqu'à ce qu'elle soit suivie, quantifiée et analysée.

Cet exemple est pris d'un atelier d'Insertion Automatique de composants électroniques, mais il est aisément transposable à toute autre activité.

Des définitions sont proposées :

Arrêts machine :

- panne machine > à 5 mn
- panne énergie (air ou électricité)
- changement de série : normal suivant planning ou imprévu
- manque d'approvisionnements
- manque de pièces de rechange
- manque d'effectif

Pertes de performances :

- rechargement de composants < 5 mn
- arrêts mineurs (incidents) < 5 mn
- décalage de cadence
- optimisation des programmes d'insertion

Pertes de non-qualité :

- casse de composants
- erreur de valeur ou polarité

Ces catégories définies et acceptées seront alors traduites dans un système de recueil de données, manuel ou automatique. Pour chaque événement affectant la machine, sa durée sera notée dans la catégorie adéquate. Ce travail de récolte peut très rapidement devenir fastidieux, aussi est-il nécessaire de bien le penser **avant** de construire le système.

Exemple de calcul

Un atelier travail en équipe de journée pendant 8 heures soit 480 minutes. L'ouverture machine constatée est de 440 minutes. Les arrêts machine d'un total de 50 minutes sont ventilés comme suit :

- Changement de série = 20 minutes
- Panne = 20 minutes
- Réglages = 10 minutes

Le temps de cycle théorique est de 120 pièces / heure mais la mesure d'un temps de cycle réel donne une cadence de 100 pièces / heure seulement. Quantité réalisée : 600 pièces / jour

Quantité rejetée : 18 pièces, 12 étant récupérables, 6 irrécupérables.

Taux de fonctionnement brut $T_b = (440-50) / 440 \times 100 = 88.6\%$

Taux net de fonctionnement $T_{nf} = (0.6 \text{ minute/pièce} \times 600 \text{ pièces}) / (440-50) \times 100 = 92.3\%$

Rendement vitesse = $0.5/0.6 \times 100 = 83.3\%$

Soit un taux de performance de **76.9%** ($0.833 \times 0.923 \times 100$)

Taux de qualité = $(600-18) / 600 \times 100 = 97\%$

TRS = $0.886 \times 0.769 \times 0.97 \times 100 = 66.1\%$



La TPM concrètement

Jusqu'à présent il a été question de **maintenance** sans en aborder l'aspect pratique. La signification de la **TPM, Maintenance Productive Totale** s'explique ainsi :

- **Maintenance** : maintenir en bon état = réparer, nettoyer, graisser et accepter d'y consacrer le temps nécessaire.
- **Productive** : essayer de l'assurer tout en produisant ou en pénalisant le moins possible la production.
- **Totale** : considérer tous les aspects (même repeindre la machine) et y associer **tout** le monde.

Les idées de base :

- **La propreté et l'ordre** : c'est la première phase nécessaire à la **TPM**; pas de gain de temps possible en fouillant dans le désordre, pas de détection facile des signes précurseurs de pannes, les fuites par exemple, dans un environnement sale... Ces prérequis sont les **5S**, qu'il faut appliquer avant tout.
- **Connaître les machines** : leur fonctionnement (de façon précise), leurs performances et leurs faiblesses.
- **Suivre quotidiennement** les performances des machines, des ateliers, fixer un objectif (très) ambitieux et essayer de l'atteindre, puis de conserver ces performances.
- **Associer tout le monde** : pour relever les données, suivre les évolutions, générer des idées, accroître les connaissances, garder la motivation.

N'oublions pas que les opérateurs connaissent leurs machines de manière intime. Ils développent une relation presque affectueuse pour leur outil de travail et sont de merveilleux capteurs à cinq sens pouvant détecter une anomalie à l'odeur, aux bruits, couleur ou encore vibrations inhabituelles...

Maintenance, MTBF et MTTR

Pour nous attaquer aux arrêts et pannes qui réduisent le temps d'ouverture et dégradent le taux de fonctionnement brut **tb**, nous allons analyser le contenu d'un arrêt machine et chercher à connaître la **fiabilité** et la **maintenabilité** de chaque machine.

Exemple :

Composition d'un temps d'ouverture :

	Evénement	durée (heures)
1	Fonctionnement normal	4
2	Arrêt (cause Fab.)	2
3	Fonctionnement normal	2
4	Changement série	0.5
5	Fonctionnement normal	3
6	Panne	1
7	Fonctionnement normal	1
8	Panne	0.5
9	Fonctionnement normal	1
10	Arrêt (cause Fab.)	1

$$MTBF = (4+2+3+1+1) / 4 = 2,75h$$

$$MTTR = (1+0,5) / 4 = 0.375h$$



Analyse : sur cette machine, la durée moyenne d'une panne est de 23mn, et le temps moyen entre deux pannes est de 2h 3/4. Elle ne peut guère rester sans surveillance, les interventions sont longues : complexité, inaccessibilité, manque d'organisation, manque de compétences ?

NOTE : Le changement de série étant planifié, assimilé à un temps de fonctionnement normal, il n'intervient pas dans les calculs.

Décomposons un arrêt :

- Ta = moment de l'arrêt,
- Attente (l'opérateur réagit, vient)
- Diagnostic
- Préparation (chercher pièces, outils...)
- Réparation
- Réglages, essais
- Remontée en cadence
- Tf = fin d'arrêt

Ce schéma se répète à chaque arrêt, quel qu'en soit la cause, avec des durées variables. La réactivité à chaque étape peut être améliorée par :

- La réaction rapide de l'opérateur (esprit " écurie formule 1 ")
- Les pièces et matériels disponibles à proximité (stock, lot maintenance sur place...)
- Des réparations rapides et certaines (formation, autonomie...)
- Suppression ou réduction des essais

C'est l'esprit SMED

Dans cet exemple, l'opérateur dispose d'une compétence de maintenance premier niveau.

Dans le cas où il faudrait activer des spécialistes, le temps d'arrêt pourrait s'allonger.

Cinq mesures pour zéro panne

Cinq mesures simples pour approcher puis atteindre le zéro panne :

- Respecter les conditions de base : nettoyage, graissage, resserrages...
- Respecter les conditions d'utilisation
- Remettre en état toute dégradation : réparer ou faire réparer
- Améliorer les mauvaises conceptions
- Prévenir les défaillances humaines : erreurs lors des opérations, lors des réparations

Respecter les conditions de base, c'est se conformer aux préconisations du constructeurs. Négliger le nettoyage, les graissages ou autres opérations d'entretien courant c'est courir le risque de dégradations rapides de l'équipement. Sacrifier ces opérations au profit d'un temps productif est un (mauvais) calcul à court terme, qui probablement se soldera par une intervention pénalisante et onéreuse plus tard. L'entretien courant doit être planifié avec soin, mais ne peut être négligé.

Il est parfois tentant de modifier les temps de cycle des machines en changeant les rapports de leur boîte de vitesse, des réducteurs, les temporisations...Là encore le risque est grand de voir l'équipement se dégrader prématurément, car il est utilisé en-dehors des plages prévues. Ces modifications ne prennent pas en compte tous les éléments qui ont conduit aux solutions techniques d'origine; le calcul des organes de freinage, résistance des matériaux, la lubrification, le refroidissement, etc.

La remise en état toute dégradation est une garantie du maintien opérationnel de l'équipement. Repeindre et non seulement appréciable pour le *confort* de travail, mais contribue aux 5S et peut même aider à déceler des fuites...



Améliorer les mauvaises conceptions peut prendre des formes variées et plus ou moins techniques. Le fabricant du matériel est confronté à des arbitrages lors des choix de certaines solutions techniques, aussi peut-on trouver des solutions "économiques", des solutions ne convenant pas aux utilisateurs, etc. Souvent c'est l'ergonomie qui n'est pas adaptée. Un exemple simple; les machines de brasages pour les cartes électroniques ont traditionnellement leur sens de passage de la gauche vers la droite. Pour l'implantation des lignes de production, il était nécessaire de disposer d'une machine inversée par rapport au sens conventionnel. La modification, qui ne remet rien de fondamental en cause dans la conception, est pleinement justifiée.

Nettoyage = maintenance préventive !

La **maintenance préventive** est faite de :

1. **Maintenance quotidienne** : nettoyage, graissage, resserrages...
2. **Inspection** = diagnostic
3. **Réparation** : remplacement préventif = traitement précoce

L'élimination systématique et quotidienne des poussières et salissures permet de détecter les anomalies telles que fuites de fluides (lubrifiants, air...), usures anormales (copeaux, scories, poussières...).

Resserrer régulièrement les vis, écrous et autres pièces susceptibles de se desserrer, ainsi que les graissages, allongent la durée de vie des équipements et outils, évitent des pannes.

A l'aide des documents et recommandations du constructeur, il faut établir des standards de nettoyage et graissage spécifiques à la section, à l'atelier.

La **TPM** est une bonne opportunité pour élever le niveau de compétence des opérateurs et les amener à faire de la maintenance de premier niveau, en plus de veiller à la production.

Au contact permanent avec l'équipement, leur implication et leur motivation favorisent l'émergence d'idées d'amélioration.



Conclusion

Les performances machines théoriques ne sont pas celles que l'on obtient, compte tenu de tous les facteurs perturbateurs. Le simple suivi d'un indicateur "calendaire" (temps de fonctionnement machine / temps d'ouverture) est souvent trompeur, car trop flatteur.

Le suivi du **TRS**, par contre, donne une image synthétique, englobant tous les aspects affectant l'efficacité et l'analyse des composantes du **TRS** indique où l'effort est à porter.

La **TPM** ne change rien à la maintenance classique sur le fond, mais redéfinit la forme que celle-ci devrait prendre. Bien conduite, la **TPM** améliore le rendement machine, favorise la création d'un esprit positif, responsabilise tous les intervenants et valorise la fonction opérateur.

Il est raisonnable de commencer l'introduction de la **TPM** dans un atelier ou sur un process pilote, puis de l'étendre au reste de l'atelier ou de l'entreprise.

Attention à ne pas transformer les acteurs en "comptables"; les relevés nécessaires au **TRS** peuvent être conséquents ! Leur fonction doit demeurer la production de biens et non de données !

Attention piège

Comme souvent, lorsqu'une nouvelle méthode est adoptée, elle l'est avec entrain. La forte motivation peut se révéler mauvaise conseillère dans la mesure où elle pousse à en faire "trop", parfois au mépris du bon sens.

La TPM introduit la lecture analytique des résultats de production, une certaine logique "comptable". Le problème avec le respect strict des indicateurs TPM est qu'ils nécessitent le recueil de données relativement nombreuses et détaillées. Dès lors le risque de voir l'atelier se concentrer sur la production et le dépouillement de données plutôt que sur la production de biens existe. La TPM ne doit pas être une fin en soi, mais un outil au service de l'**amélioration de la productivité**.

On ne rappellera jamais assez que le **BUT d'une entreprise est de faire du profit**, toute action doit donc servir ce but.

Au risque d'une polémique, je prétends qu'il n'est pas nécessaire de garder la forme *orthodoxe* des indicateurs TPM. C'est souhaitable mais pas indispensable.

L'important est de comprendre la dynamique de progrès que permet l'esprit TPM et quels éléments freinent la productivité. Si pour des raisons pratiques les indicateurs choisis ne correspondent pas totalement à ceux définis par la TPM, l'important reste que l'on puisse en tirer une analyse et orienter les actions d'amélioration. Il en est de même pour tous ceux qui craignent de mal ventiler les données et de faire des erreurs de calcul; à mon sens, même si la méthode appliquées comporte des erreurs, l'important est que la méthode soit conservée assez longtemps pour mesurer des progrès. Je pense qu'il faut mesurer ces progrès de manière relative, d'une semaine sur l'autre par exemple, et pouvoir redéfinir un plan d'action chaque fois que l'objectif n'est pas atteint.

Une remarque pleine de bon sens à propos d'optimisation dit qu'il vaut mieux une mauvaise solution (comprenez une solution non-optimale) plutôt que pas de solution du tout.

Le respect strict de la forme orthodoxe de la TPM me semble un luxe que l'on devrait s'accorder qu'à partir d'un niveau d'excellence, lorsque l'on chasse (avec gros efforts) les derniers pourcentages de productivité. Pour tous ceux qui débutent, les gains seront conséquents même si les indicateurs TPM ne sont calculés que de manière approchée.