



Efficienc e d'un système bâti sur le TRS global par poursuite du diagramme de fiabilité

Timothée KOMBE^{1,*}, Eugène Désiré EFAGA¹, Benoît NDZANA² et Eric NIEL³

¹*Institut Universitaire de Technologie, Département de génie industriel et maintenance, Université de Douala, B.P. 8698 Douala, Cameroun*

²*ENSP, Laboratoire d'Automatique et Productique (LAP), B.P. 8390 Yaoundé, Cameroun*

³*Laboratoire d'Automatique Industrielle (LAI), INSA de Lyon, Bât. St Exupéry, 25 av. Jean Capelle, 69621 Villeurbanne Cedex, France.*

(Reçu le 05 Décembre 2005, accepté le 30 Avril 2006)

* Correspondance, courriel : tkombe@yahoo.fr

Résumé

Le TRS (Taux de Rendement Synthétique) est devenu au travers de la norme NFE 60-182 l'un des indicateurs majeurs de l'efficacité du pilotage des systèmes de production. Il intègre essentiellement 3 notions (qualité, ouverture, disponibilité) dépendantes en interne de la fiabilité et de la logistique de la maintenance. Si l'évaluation du TRS peut être relativement simple à obtenir pour un élément, son expression pour un système complexe l'est beaucoup moins (prise en compte des redondances, des facteurs d'échelle temporelle, des désynchronisations, ...). L'utilisation d'une approche fonctionnelle synchronisée peut apporter des solutions pouvant se comparer aux diagrammes de fiabilité. Nous présentons dans ce papier une méthode d'évaluation de l'efficacité et les procédures de calcul du TRS, basée sur la structure globale des systèmes (série et parallèle) et les objectifs de production (nominal, dégradé et de reprise).

Mots-clés : *TRS, système de production, maintenance, CIMENCAM, norme NFE 60-182.*

Abstract

The efficiency of the system built in the global OEE per pursuit of the Reliability Block Diagram

The OEE (Overall Equipment Effectiveness) has become across the NFE 60-182 norm, one of the major performance indicator of the efficiency of the production systems. It integrates essentially three notions (Quality, Availability, and Performance) depended in internal of the reliability and the maintenance logistic. If the evaluation of one element's OEE can be easy,

his expression for a complex system is too difficult (the taking into account of redundancies, of temporal scale's factors, of desynchronization, ...). The use of the functional synchronized approach can bring solutions comparable to the block diagram reliability. We present in this paper a method of evaluation of the efficiency and the procedures of calculation of the OEE based in the global structure of systems (series and parallels) and the objectives of production (nominal and degraded).

Keywords : *OEE, production system, maintenance, CIMENCAM, NFE 60-182 norm.*

1. Introduction

L'efficience d'une entité de production est un indicateur de performance global-local, pouvant être calculé pour n'importe quel niveau de décomposition (système ou sous système). Le lien entre toutes les efficacités d'un outil de production est créée directement à partir des liaisons intrinsèques entre les tâches et/ou composants physiques de l'outil de production. L'efficience est une fonction de la disponibilité, de la qualité et de la productivité. Elle peut être étendue à la sécurité ou tout autre élément périphérique affectant les performances de l'outil.

Le principal objectif du calcul de l'efficience est de permettre une liaison étroite entre le service de maintenance et le service de production dans une entreprise. Bien que ces deux services soient très souvent associés, ils ont rarement les mêmes objectifs. La « production » s'attache à l'amélioration de la productivité, en se fiant seulement à un indicateur de performance global de type TRS, alors que la « maintenance » s'attèle au bon fonctionnement du système en contrôlant la fréquence d'apparition des pannes, leur gravité, ainsi que leur remédiation. Le service maintenance a pour rôle principal de mettre sur pied des méthodes et moyens permettant de diminuer les temps d'arrêt. L'efficience essaye dans le meilleur des cas, de lier la « production » et la « maintenance » en s'imposant comme indicateur à la fois local et global. L'efficience est un indicateur qui sous-entend plusieurs notions : une notion de cadence et une notion de disponibilité. Dès lors, l'efficience peut donc être considérée comme une combinaison d'indicateurs tel le TRS qui lui même comporte les notions de cadence et de disponibilité.

L'efficience étant définie par un calcul de rapport de temps dans une chaîne de production, son expression sera différente selon la norme utilisée. La norme NFE 60-182 (**Figure 1**) utilisée dans nos calculs permet de présenter l'efficience comme un produit des indicateurs de qualité.

2. Méthodologie

2-1. Procédure de calcul du TRS global d'un système : la norme NFE 60-182

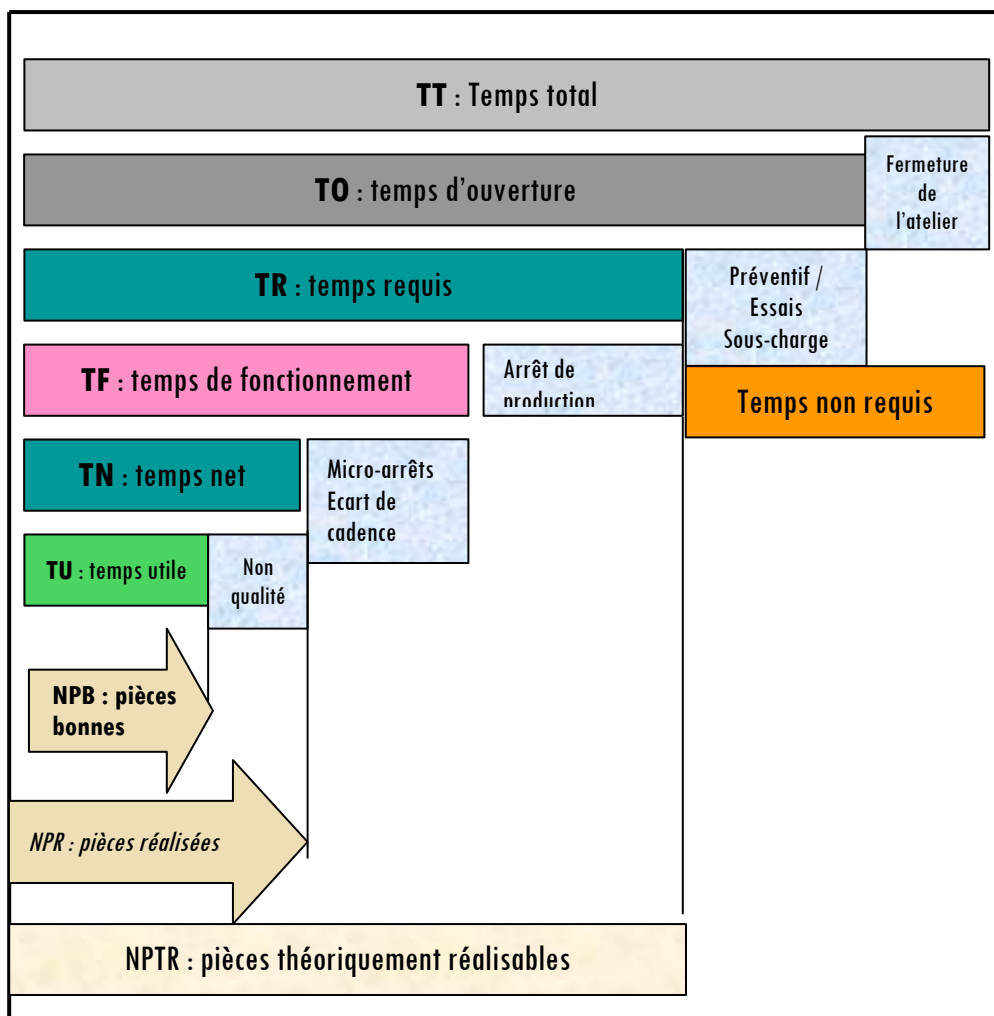


Figure 1 : Les temps d'état d'un moyen de production : la norme NFE 60-182 (mai 2002)

Le TRS est un indicateur de productivité qui rend compte de l'utilisation effective d'un moyen de production. Il mesure la performance d'un système de production par analyse d'un poste goulet limitant la productivité, mesure des actions de progrès et permet d'identifier les pertes. Il représente un excellent outil d'investigation, un moyen de mesure de l'efficacité

des processus. Il permet d'assurer le suivi des démarches du progrès, ainsi que la mise en œuvre d'un outil de pilotage de la production [1]. Mathématiquement, il se définit par le produit du taux de qualité (Tq) par le taux de performance (Tp) et par la disponibilité opérationnelle (Do) comme suit :

$$TR S = Tq \times Tp \times Do \quad (1)$$

Pratiquement, il représente le rapport du nombre de pièces bonnes (NPB) sur le nombre de pièces théoriquement réalisables (NPTTR) sachant que :

$NPTTR = t_r / t_{CR}$ avec t_r , temps requis
 t_{CR} , temps de cycle de référence

$$\text{alors } TR S = \frac{NPB}{NPTTR} = NPB \times \frac{t_{CR}}{t_r} \quad (2)$$

En fonction des temps d'état d'un moyen de production définis selon la norme NFE 60-182, les composantes du TRS se définissent de la manière suivante :

- **Taux de Qualité (Tq)** : Tel que exprimé dans la formule (3), le taux de qualité est le rapport du nombre de bonnes pièces sur le nombre de pièces réalisées.

$$T_q = \frac{\text{Nombre de pièces bonnes}}{\text{Nombre de pièces réalisées}} = \frac{NPB}{NPR} \quad (3)$$

Le taux de qualité peut encore être exprimé comme le rapport du temps utile sur le temps net.

$$T_q = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps net}} = \frac{TU}{TN} \quad (4)$$

- **Taux de performance (Tp)** : C'est le rapport du temps net sur le temps de fonctionnement, comme le montre la formule (5).

$$T_p = \frac{\text{Temps Net}}{\text{Temps de Fonctionnement}} = \frac{TN}{TF} \quad (5)$$

- **Disponibilité opérationnelle (Do)** : La disponibilité opérationnelle Do (formule (6)) se définit comme étant le rapport du temps de fonctionnement sur le temps requis.

$$D_o = \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Temps requis}} = \frac{TF}{TR} \quad (6)$$

Les principaux arrêts de production (**Tableau 1**) peuvent être imputés aux causes suivantes :

- arrêts induits (causes externes au moyen de production)
- arrêts propres (imputable au moyen, à l'outillage, au produit, à l'exploitation du moyen)

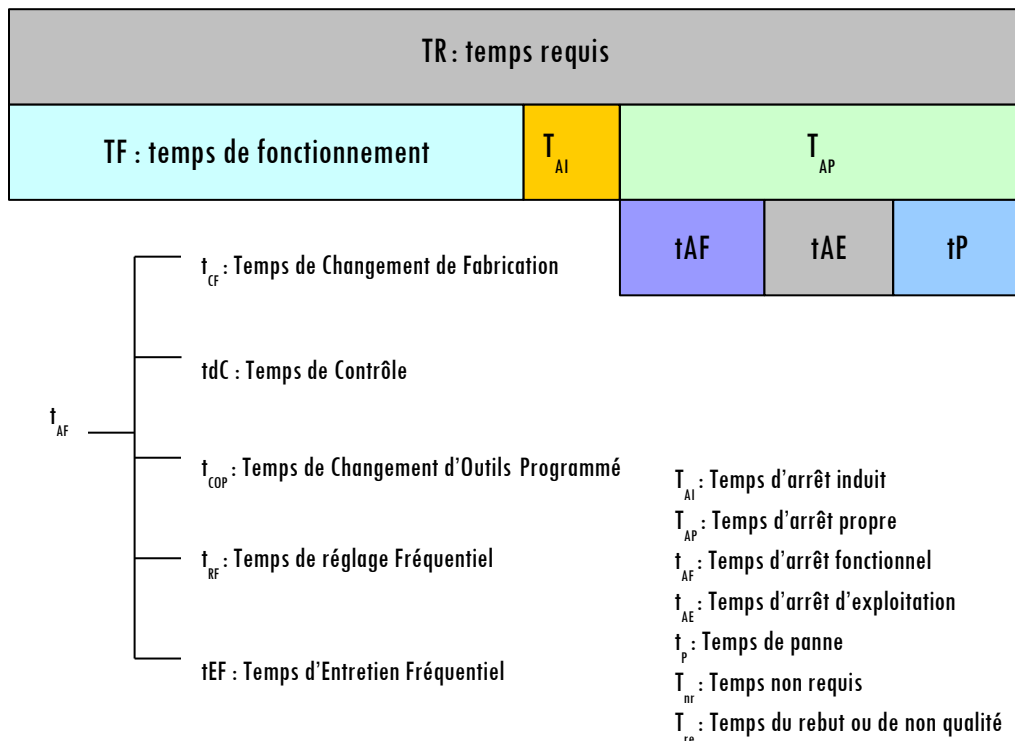


Figure 2 : représentation du temps requis

La **Figure 2** présente le Temps Requis dont les principales composantes sont: le Temps de Fonctionnement (TF), le Temps d'Arrêts Induits (T_{AI}) et le Temps d'Arrêts Propre (T_{AP}).

Tableau 1 : Caractérisation des temps d'arrêts

Type d'arrêt	Causes		
Arrêts Induits	Manque de pièces		
	Saturation de pièces		
	Manque de personnel		
	Défaut d'énergie		
	Manque de ressources extérieures		
Arrêts Propres	Pannes		
	Arrêts d'exploitation		
	Arrêts Fonctionnels	Changement de fabrication	
		Contrôle	
		Changement d'outils programmé	
		Réglage fréquentiel	
		Entretien fréquentiel	

Il ressort de ces indicateurs que l'amélioration de la capacité productive d'un système passe par la maîtrise des différents temps d'état de chaque système. Pour atteindre un TRS de l'ordre de 85 % (valeur optimale internationale) [2], il faut :

- diminuer les arrêts induits (T_{AI}) notamment par une bonne organisation de la gestion des stocks (éviter le manque de pièces ou la saturation de pièces), une bonne organisation du service du personnel par un recrutement suffisant de personnels afin de planifier les tâches.
- diminuer les causes extérieures telles que l'absence d'énergie, par l'achat des groupes électrogènes, afin de suppléer l'alimentation secteur en cas de coupure. Il est avantageux d'automatiser le fonctionnement des systèmes afin d'optimiser le temps de réaction.
- diminuer les arrêts propres (T_{AP}), par une bonne organisation du service maintenance afin de minimiser les pannes, le choix d'une bonne politique de maintenance devient alors déterminant pour atteindre ce but. Il serait intéressant d'orienter cette politique vers la maintenance préventive, l'objectif étant d'assurer une bonne disponibilité et une bonne fiabilité des équipements [3]. Les arrêts fonctionnels (T_{AF}) doivent être programmés et rigoureusement respectés. Les arrêts d'exploitation (T_{AE}) doivent également être diminués.

La diminution de tous ces temps d'arrêts augmente le temps de fonctionnement (**Figure 2**), améliorant ainsi la Disponibilité Opérationnelle D_o qui tend alors vers une valeur maximale de 90 % (valeur internationale). La Disponibilité Opérationnelle rend compte de l'utilisation effective des moyens de production.

- augmenter le taux de performance T_p par une diminution des micro arrêts (écart de cadence), en améliorant l'organisation, la fiabilité des équipements et le temps de rémission (temps de mise en marche de l'équipement). Ceci permet d'augmenter le temps net TN (**Figure 1**). Le taux de performance pourra donc tendre vers 95 % (valeur internationale).

- augmenter le taux de qualité T_q par diminution de la non qualité, en améliorant la qualité totale, l'assurance qualité, en agissant sur les paramètres environnementaux et sur la qualité de formation des opérateurs. Ceci augmenterait le temps utile, faisant ainsi tendre le taux de qualité vers une valeur optimale de 99 %. Le taux de qualité rend compte de la réelle valeur ajoutée d'un moyen de production.

2-2. Validation des concepts théoriques dans une PME camerounaise : cas des Cimenteries du Cameroun (CIMENCAM)

Nous voulons déterminer le TRS global de la société des Cimenteries du Cameroun (CIMENCAM), afin de le comparer à d'autres indicateurs de performance habituellement utilisés à savoir : le Coefficient de Fiabilité (CF) et le coefficient d'Utilisation (CU). L'objectif est de ressortir les principaux postes goulets, afin d'améliorer la productivité en temps réel. Nous nous sommes intéressés au calcul du TRS du broyeur n° 2 d'une société qui en compte

trois, pour la période allant du 1^{er} au 23 mai 2005. Notre choix est justifié par la simple raison que ce broyeur est celui qui cause le plus de problèmes de fonctionnement dus aux arrêts. Nous avons travaillé sur un échantillon aussi réduit à cause des difficultés de collecte des données, dues au manque de ressources humaines, et surtout à la nécessité d'avoir des informations temps réel.

Les procédures de calcul du TRS présentées dans cet article serviront de base à la modélisation du TRS dans chacune des configurations : série, parallèle, à voteur. Il est question de bénéficier de la connaissance systémique dès les premières phases du cycle de vie, pour relever les incohérences induites par des défaillances de séquençement (modes de défaillance temporels). L'intégration d'un modèle TRS dans cette phase permet d'améliorer la traçabilité, de minimiser les temps d'arrêts, de garantir un niveau de productivité toujours élevé grâce à une politique de maintenance performante et efficace.

Nos travaux visent à déterminer systématiquement les éventuelles situations à risques et les principaux postes goulets, à partir de la connaissance structurelle et fonctionnelle du système. La méthodologie consiste à modéliser le TRS des systèmes par une technique d'analyse fonctionnelle (SADT) étendue au temporel (SADT⁺) [7] et par Réseaux de Petri (RdP). Les moyens mis en œuvre reposent sur l'utilisation des RdP Stochastiques Généralisés (RdPSG) et des processus de Markov, qui constituent le moteur de calcul des performances et des paramètres de Sûreté de Fonctionnement [4]. La simulation constitue alors un moyen complémentaire d'évaluation de ces indicateurs, et permet d'effectuer une confrontation entre modèles et mesures.

Les travaux présentés dans cet article se limitent à la mesure. La méthodologie de calcul utilisée est la suivante : Après la collecte des données de fonctionnement et leur enregistrement automatique en temps réel, nous avons acquis le rapport mensuel de marche de l'atelier. Notre étude s'est ensuite orientée vers un découpage de ce rapport mensuel en périodes hebdomadaires. Une analyse et une étude de chaque sous rapport nous ont permis de déduire les temps d'état de chaque sous période, en mettant un accent sur les temps d'arrêts. Une évaluation des principales composantes du TRS (Taux de qualité, Taux de performance, Disponibilité Opérationnelle) a ensuite été effectuée, avant le calcul du TRS hebdomadaire, puis celui du TRS global du système. L'algorithme de cette démarche est présenté à la **Figure 3**.

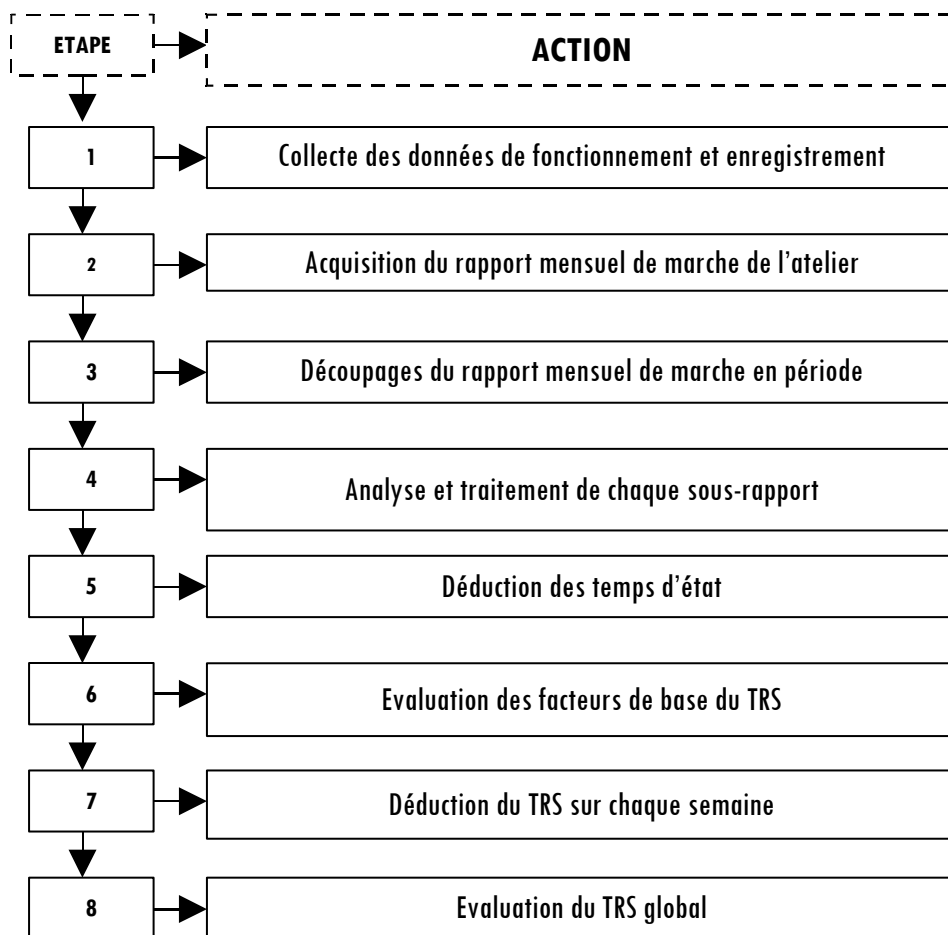


Figure 3 : *Algorithme de la procédure de calcul du TRS global de la Société des Cimenteries du Cameroun (CIMENCAM)*

3. Résultats

Toutes les mesures faites pendant les trois semaines d'étude (période allant du 1^{er} au 23 mai 2005) ont été regroupées dans le **Tableau 2** et dans le **Tableau 3**. La variation hebdomadaire des différents temps d'état est représentée sur la **Figure 4**, tandis que la proportion des temps d'arrêt durant toute la période d'étude est donnée à la **Figure 5**. La **Figure 6** représente l'évolution du TRS et de ses composantes sur les trois semaines.

Tableau 2 : Bilan des temps d'état pour la période allant du 1^{er} au 23 mai 2005

Temps d'état	TO	TR	Tnr	Tap	TF	Te	TN	TU	Tre
Bilan du 01-05-2005 au 07-05-2005									
Durée en heure	168.00	168.00	0	7.94	160.06	0	160.06	160.06	0
Bilan du 08-05-2005 au 14 -05-2005									
Durée en heure	72.00	72.00	0	3.74	68.26	0	68.26	0	68.26
Bilan du 15-05-2005 au 23 -05-2005									
Durée en heure	144.00	136.00	8.00	3.43	132.57	9.01	123.56	0	123.56

Tableau 3 : Bilan des temps d'arrêt durant la période d'étude

N°	Désignation	Durée (Heure)
1	Arrêt sans signalisation	0.48
2	Défaut coffret pompe Fuller	0.97
3	Arrêt NH Silo 5 et passage au Silo 6	0.47
4	Manque KK : travaux sur Redler 1 et 3	0.82
5	Arrêt du BK3 par bourrage du palier G28	0.45
6	Arrêt du BK2 par NH Silo 4	0.21
7	Défaut température G2 côté G28	3.42
8	Défaut alimentation : présence mottes	0.75
9	Défaut asservissement circuit fermé BK2	0.17
10	Arrêt par discordance volet 42292 suite au changement de Silo	0.77
11	Boulon tombé sur BK3 et défaut température sortie BK2	1.16
12	Bourrage 42239 et élévateur 42237	1.21
13	Bourrage vis 42249	0.51
14	Travaux SAMU sur pompe 42213	0.12
15	Arrêt suite NH Silo5 sans signalisation	0.15

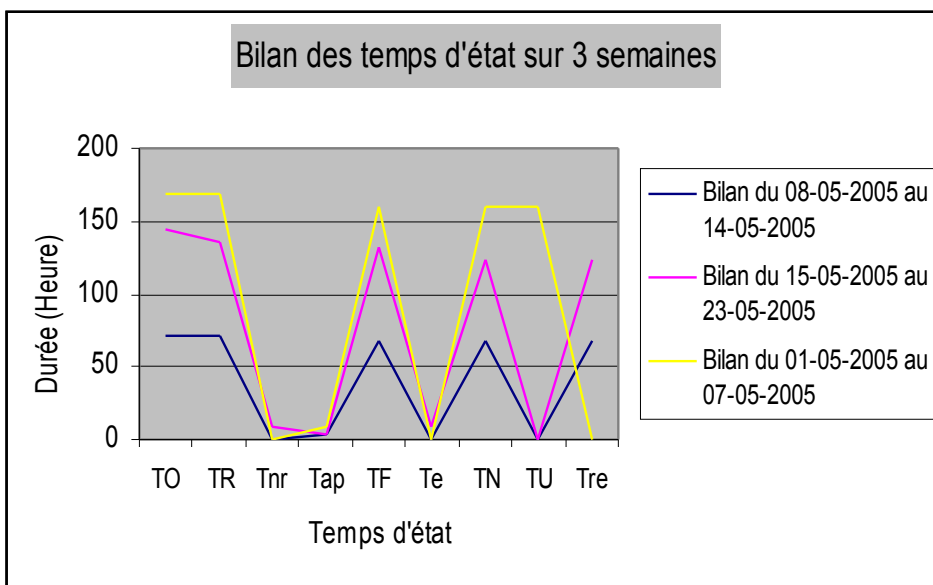


Figure 4 : Bilan des temps d'état sur 3 semaines

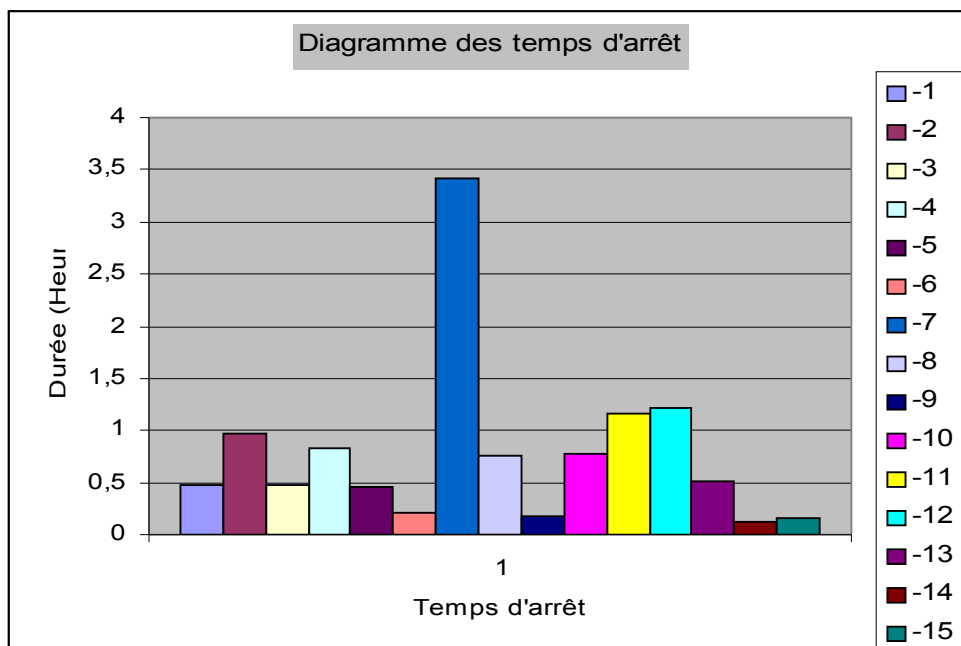


Figure 5 : Diagramme des temps d'arrêt

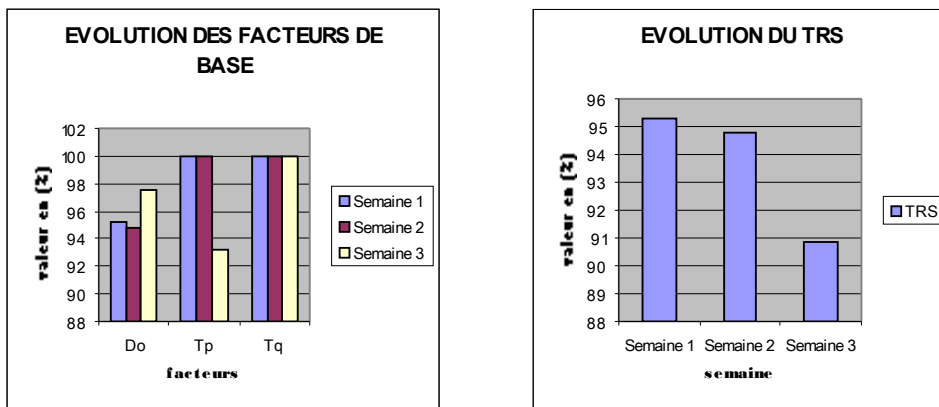


Figure 6 : Evolution du TRS et ses composantes par semaine

Tableau 4 : Facteurs de base du TRS par période

PERIODE	Do (%)	Tp (%)	Tq (%)	TRS (%)
01-05-2005 au 07-07-2005	95.27	100,00	100,00	95.27
08-05-2005 au 14 -05-2005	94.80	100,00	100,00	94.80
15-05-2005 au 23-05-2005	97.47	93.20	100,00	90.85

**TRS du mois = 94 %
(Des trois semaines)**

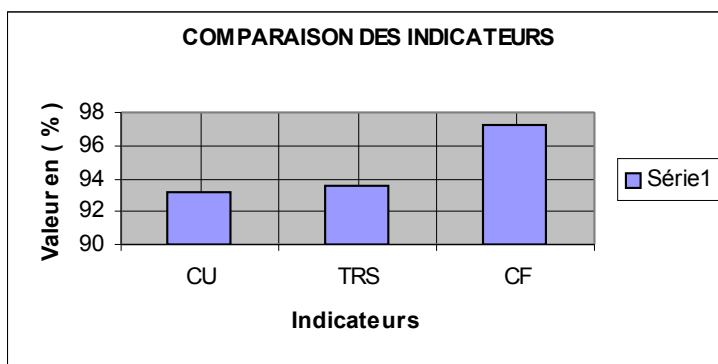


Figure 7 : Comparaison des résultats avec d'autres indicateurs

4. Discussion

Notre objectif dans cet article est de calculer le TRS global de la société des Cimenteries du Cameroun (CIMENCAM), afin de déterminer les principaux postes goulets, les principales causes de la baisse de productivité, pour enfin proposer des mesures servant à améliorer les facteurs diminuant graduellement la performance du système, traquer les causes de dysfonctionnement et faire la chasse au gaspillage, afin d'améliorer la productivité.

Les mesures faites sur trois semaines ont montré une variation hebdomadaire des principales composantes du TRS. La **Figure 4** montre une bonne tenue des temps d'état, surtout lors de la première semaine d'étude. On constate une égalité entre le temps d'ouverture et le temps requis, ce qui se justifie par un temps non requis nul. De la même façon, il y a égalité entre le temps utile et le temps net, ce qui se traduit par un temps de non qualité nul et un temps d'arrêts propres nul. La même tendance s'observe à la deuxième semaine bien que les valeurs soient en baisse par rapport à la première semaine. La troisième semaine par contre présente une diminution du temps requis, conséquence directe d'une augmentation du temps non requis, et des micro arrêts.

Le calcul du TRS hebdomadaire pour chaque période d'étude montre un taux de qualité constant sur les trois semaines, un taux de performance constant les deux premières semaines, mais qui diminue la troisième semaine, et une variation de la disponibilité opérationnelle, avec une nette amélioration la troisième semaine (**Tableau 4**). Les résultats de la **Figure 6** montrent un TRS diminuant graduellement de la première à la troisième semaine d'étude. On obtient finalement un TRS global de l'ordre de 94 % sur les trois semaines. A première vue, ce résultat nous semble assez satisfaisant, car largement supérieur à la norme internationale qui est de 85 % [5,6]. Ce résultat ne garantit tout de même pas la capacité productive de la société qui peut être sujette à des fluctuations. Cette inquiétude est d'ailleurs ressentie avec l'augmentation des temps d'arrêts la troisième semaine et un TRS de l'ordre de 90,85 % dans la même période.

Une comparaison faite avec d'autres indicateurs de performance utilisés à CIMENCAM montre la pertinence du TRS qui présente un découpage temporel fin avec une prise en compte de tous temps d'arrêt. Avec un Coefficient de Fiabilité (CF) supérieur à 97 %, le service maintenance semble assez performant, tandis que le Coefficient d'Utilisation (CU) se situe dans l'ordre de 93 %. Le Coefficient d'Utilisation est l'objectif du service de fabrication. Ces deux indicateurs se définissent de la manière suivante :

$$CF = \frac{HM}{HM + DCAI} \quad \text{Et} \quad CU = \frac{HM}{HO} \quad (7)$$

avec, HM : Heure de Marche
 $DCAI$: Durée Cumulée d'Arrêt sur Incident
 HO : Heure d'ouverture

La pertinence du TRS par rapport à ces deux indicateurs est signifiée par le fait que les composantes de ces deux indicateurs semblent globales, et ne prennent pas en compte les détails des différents temps d'état. Par exemple, nous constatons que le CF qui se définit par le rapport des heures de marche sur la somme des heures de marche plus la durée cumulée d'arrêt sur incident, ne présente pas de finesse et de précision sur le découpage des temps de marche et d'arrêt. Certains temps d'arrêts semblent ne pas être pris en compte dans ces calculs, par exemple les arrêts propres T_{AP} , les arrêts fonctionnels T_{AF} , les arrêts induits T_{AI} . Ceci a pour corollaire l'augmentation du temps requis, et la diminution du temps net. C'est ce qui justifie un CF assez élevé. De la même façon, le paramètre « Heure d'Ouverture HO » utilisé pour le calcul du Coefficient d'Utilisation CU, ne précise pas s'il s'agit du temps de fonctionnement TF, du temps net TN, ou du temps utile TU. Ceci diminue automatiquement le dénominateur du quotient de CU, et son augmentation vers une tendance à 100 %.

Nous constatons à partir du découpage des temps d'état que pour augmenter le TRS global d'un système, il faut diminuer les temps d'arrêt. En ce moment, nous pouvons établir une relation étroite entre le service de production influencé par les arrêts induits et le service maintenance gestionnaire des arrêts propres. On peut remarquer qu'une bonne tenue du service de production permet d'annuler les arrêts d'exploitation, et que la bonne tenue du service maintenance diminue les pannes. Les arrêts fonctionnels doivent également être gérés de façon rationnelle et programmée. Il en découle qu'une amélioration du TRS d'un système de production passe par un rapprochement entre le service de la maintenance et celui de la production.

5. Conclusion

Le TRS, indicateur intégrateur, donne une visibilité directe et optimale sur le comportement des performances des services associés à la production. Si l'évaluation du TRS peut être relativement simple à obtenir pour un élément, son expression pour un système complexe l'est beaucoup moins (prise en compte des redondances, des facteurs d'échelle temporelle, des désynchronisations, ...). Nos travaux se poursuivent dans le sens de l'utilisation combinée d'une approche fonctionnelle synchronisée (SADT⁺) avec des modèles dynamiques stochastiques (RdP SG, Markov), afin de trouver des solutions pouvant se comparer aux diagrammes de fiabilité.

Références

- [1] - A. AVEL, B. DAVIER, "*Le TRS indicateur de la performance : Un guide pratique à l'usage des responsables de production*", Editions CETIM, 92 pages (2003)
- [2] - J. W. CLEMONS, "*Overall Equipment Effectiveness*", Proficiency for manufacturing, Editions Mountain Systems Inc. & EnteGreat Inc., Birmingham, 50 pages, (2000)
- [3] - [3]- A. VILLEMEUR, "*Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*", Editions Eyrolles, Paris 5è, 795 pages (1988)
- [4] - G. NOWACK, "*De l'apport des opérateurs temporels dans la modélisation dysfonctionnelle des systèmes*", Thèse N° 97 ISAL 0072, en vue de l'obtention du grade de Docteur, Laboratoire d'Automatique Industrielle de l'INSA de Lyon, France (1997)
- [5] - CIMNET, "*Improve your Bottom Line through Manufacturing*", Site web www.cimnet.com (2004)
- [6] - vRTM, "*OEE - World Class Performance Reporting*", Site web www.vRTM.com (2003)
- [7] - J. Zaytoon, "*Extension de l'analyse fonctionnelle à l'étude de la sécurité opérationnelle des systèmes automatisés de production*", Thèse N° 93 ISAL 0016, en vue de l'obtention du grade de Docteur. Laboratoire d'Automatique Industrielle de l'INSA de Lyon, France (1993).