

EDITH LAFONTAINE

**Méthodes et mesures pour l'évaluation de la performance et de l'efficacité des  
équipements miniers de production**

Mémoire présenté  
à la faculté des études supérieures de l'Université Laval  
dans le cadre du programme de maîtrise en génie des mines et de la minéralurgie  
pour l'obtention du grade de maître ès science (M. Sc.)

Département de Génie des mines et de la minéralurgie  
Faculté de sciences et génies  
Université Laval  
Québec  
2006

## REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier du fond du cœur mon professeur Jacek Paraszczak pour tout le temps qu'il m'a accordé et surtout de sa patience. De m'avoir appuyé durant ces deux années par vos connaissances et votre expérience. Merci pour l'aide apportée afin de trouver de nouveaux contacts, sans vous ce travail ne serait pas le même. Merci de m'avoir choisi en tant qu'auxiliaire à l'enseignement, cet argent a été bien apprécié.

J'aimerais dire un gros merci à tous les gens qui ont si gentiment répondu à mon questionnaire. Vos réponses ont été le cœur de mon travail. Sans vous, ce travail n'aurait pas pu être fait.

J'embrasse très fort ma famille. Mon frère, Sébastien pour son soutien moral et tous ces bons conseils au niveau de l'informatique. Mon père André et ma mère Denise pour leur soutien morale et financier. Je fais un clin d'œil à ma tante Henriette et mon oncle André pour leur soutien moral et surtout pour tous les bons petits plats qu'ils m'ont fait tout au long de mes études universitaires. Que c'était bon...

## RÉSUMÉ

La production et le coût d'exploitation des mines modernes dépendent beaucoup de la performance des équipements employés. Avec le progrès technologique, ces derniers deviennent de plus en plus sophistiqués et de taille de plus en plus imposante. Ces deux facteurs entraînent une hausse de l'investissement initial (coût d'acquisition) et le coût d'opération, ce qui affecte directement la rentabilité de la mine et la compétitivité de sa compagnie propriétaire.

Il est donc évident qu'un des meilleurs moyens pour accroître la rentabilité et des profits des opérations est de maximiser l'efficacité globale des équipements employés. Cette dernière est une résultante de plusieurs facteurs techniques, opérationnels et économiques qui comprennent entre autres la fiabilité, la maintenance, sa gestion et son support, l'utilisation et la gestion de la flotte d'équipements.

Pour parvenir à l'amélioration de l'efficacité globale, il est crucial de pouvoir mesurer ou quantifier divers aspects contributeurs à l'aide d'indicateurs de performance (KPI, *Key Performance Indicators*) adéquats et significatifs. Malgré l'importance de ce fait, il paraît que l'industrie minière accuse un retard considérable aux autres industries, plus particulièrement celle manufacturière.

Dans ce contexte, il a été décidé de faire une étude ayant pour but de répertorier et d'analyser les pratiques et les procédures de suivi de la performance et de l'efficacité des équipements de production dans un certain groupe de mines canadiennes. L'accent a été porté particulièrement sur les mines souterraines. Cette étude a permis de distinguer les indices de performance techniques et opérationnels ainsi que leurs facteurs contributeurs, d'évaluer la précision et la signification des mesures couramment utilisées, et finalement discuter et émettre les recommandations sur les points à améliorer à court et long terme.

Suite à la discussion des résultats, les mines recensées mesurent peu d'indices de performance et plusieurs problèmes ont été détectés pour leur interprétation et leur précision. Dans la lumière de la situation actuelle, certaines recommandations générales sur les points à améliorer à court et à moyen terme ont été formulées.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	I
REMERCIEMENTS .....	II
TABLE DES MATIÈRES .....	III
Liste des tableaux .....	VI
Liste des figures .....	VII
Liste des équations .....	VIII
GLOSSAIRE .....	X
Liste des abréviations .....	XV
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. EFFICACITÉ DES FACTEURS CONTRIBUTEURS ET LEUR ESTIMATION DANS L'INDUSTRIE 4</b>	<b>4</b>
2.1. CE QU'EST L'EFFICACITÉ .....	4
2.2. INDICATEURS DE PERFORMANCE .....	9
2.3. L'INDUSTRIE MINIÈRE .....	14
2.4. BUTS ET OBJECTIFS .....	22
<b>3. INDICATEURS DE PERFORMANCE .....</b>	<b>23</b>
3.1. DISPONIBILITÉ .....	25
3.2. FIABILITÉ ET SES MESURES .....	29
3.3. MAINTENANCE ET SA GESTION .....	31
3.3.1. <i>Proportion des temps morts de l'équipement provoqués par les défaillances</i> .....	33
3.3.2. <i>Durée moyenne des travaux d'entretien</i> .....	34
3.3.3. <i>Temps moyen entre les maintenances, MTBM</i> .....	35
3.3.4. <i>Main d'œuvre allouée aux travaux urgents</i> .....	36
3.3.5. <i>Pourcentage de l'entretien planifié</i> .....	36
3.3.6. <i>Conformité de l'horaire</i> .....	37
3.3.7. <i>Taux de maintenance</i> .....	38
3.4. UTILISATION .....	38
3.5. EFFICACITÉ GLOBALE DE L'ÉQUIPEMENT .....	40
3.6. FACTEURS ÉCONOMIQUES .....	40
<b>4. MÉTHODES ET PROCÉDURES DE CUEILLETTE DE DONNÉES DANS LES MINES SOUS ÉTUDE</b>	<b>44</b>
4.1. CUEILLETTE D'INFORMATIONS ET DE DONNÉES POUR LE PROJET .....	44

4.2.	ANALYSE DES QUESTIONNAIRES REÇUS .....	45
4.3.	ANALYSE DE DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES MINES SOUTERRAINES .....	46
4.3.1.	<i>Substances minérales exploitées</i> .....	46
4.3.2.	<i>Production journalière</i> .....	46
4.3.3.	<i>L'organisation du travail</i> .....	47
4.3.4.	<i>Taille de la flotte d'équipements mobiles</i> .....	48
4.4.	MOYENS POUR SAISIR LES INFORMATIONS SUR L'EFFICACITÉ ET LA PRODUCTIVITÉ DES ÉQUIPEMENTS .....	49
4.4.1.	<i>Personnel impliqué</i> .....	49
4.4.2.	<i>Façon de cueillir les données</i> .....	50
4.4.3.	<i>Fréquence des rapports</i> .....	51
4.5.	PARTIES PRENANTES DES RAPPORTS CONCERNANT LA PERFORMANCE DES ÉQUIPEMENTS ET DE MAINTENANCE .....	52
4.6.	CUEILLETES D'INFORMATIONS CONCERNANT LA DISPONIBILITÉ .....	52
4.7.	MAINTENANCE CORRECTIVE (NON PLANIFIÉE) ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE (PLANIFIÉE) .....	57
4.8.	CUEILLETTE D'INFORMATIONS AU SUJET DE L'UTILISATION DES ÉQUIPEMENTS EN TERME DE TEMPS TRAVAILLÉ .....	58
4.8.1.	<i>Taux d'utilisation</i> .....	58
4.8.2.	<i>Saisie des données sur le temps travaillé</i> .....	59
4.9.	PROCÉDURE DE CUEILLETTE DES DONNÉES DANS UNE MINE À CIEL OUVERT .....	60
4.9.1.	<i>Données générales de la mine</i> .....	60
4.9.2.	<i>Moyens pour saisir les informations sur l'efficacité et la productivité des équipements et fréquence des rapports</i> .....	61
4.9.3.	<i>Cueillettes d'informations concernant la disponibilité</i> .....	62
4.9.4.	<i>Informations concernant les travaux d'entretien</i> .....	63
4.9.5.	<i>Taux d'utilisation</i> .....	63
<b>5.</b>	<b>INDICATEURS DE PERFORMANCE ET D'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION UTILISÉS PAR LES MINES INTERROGÉES .....</b>	<b>65</b>
5.1.	INDICATEURS DE PERFORMANCE ASSOCIÉS À LA DISPONIBILITÉ.....	65
5.1.1.	<i>Disponibilité mécanique et opérationnelle</i> .....	65
5.1.2.	<i>Temps moyen entre les défaillances (MTBF) et temps moyen entre les maintenances (MTBM)</i> .....	67
5.2.	INDICATEURS ASSOCIÉS AVEC LA MAINTENANCE ET SA GESTION .....	68
5.2.1.	<i>Temps moyen des réparations (MTTR)</i> .....	68
5.2.2.	<i>Travaux urgents</i> .....	69
5.2.3.	<i>Autres indicateurs mesurant la maintenance et sa gestion</i> .....	70
5.3.	INDICATEURS ASSOCIÉS AVEC L'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS .....	70
5.3.1.	<i>Utilisation</i> .....	70
5.3.2.	<i>Travail utile</i> .....	72

5.4.	INDICATEURS DE PERFORMANCE ET D'EFFICACITÉ EMPLOYÉS PAR LA MINE À CIEL OUVERT .....	76
5.4.1.	<i>Indicateurs de performance associés à la disponibilité</i> .....	76
5.4.2.	<i>Indicateurs associés avec la maintenance et sa gestion</i> .....	77
5.4.3.	<i>Indicateurs associés avec l'efficacité des équipements</i> .....	77
<b>6.</b>	<b>DISCUSSION</b> .....	<b>80</b>
6.1.	REMARQUES GÉNÉRALES .....	80
6.2.	PROBLÈMES PERÇUS ET FAIBLESSES IDENTIFIÉES .....	82
6.2.1.	<i>Disponibilité et maintenance et sa gestion</i> .....	82
6.2.2.	<i>Utilisation et travail utile</i> .....	84
6.3.	RECOMMANDATIONS.....	86
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>91</b>
<b>9.</b>	<b>ANNEXE A : QUESTIONNAIRE POUR LES MINES SOUTERRAINES MÉTALLIFÈRES</b> .....	<b>97</b>

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 INDICE DES PRIX DES MATIÈRES BRUTES .....	1
TABLEAU 2 - RÉPARTITION DES MINES SONDÉES SELON LEURS COMMODITÉS EXPLOITÉES.....	46
TABLEAU 3 - RÉPARTITION DES MINES SONDÉES PAR RAPPORT À LEUR TONNAGE JOURNALIER AINSI QUE LEURS MÉTHODES D'EXPLOITATION.....	47
TABLEAU 4 - ORGANISATION DU TRAVAIL.....	47
TABLEAU 5 - TAILLE DE LA FLOTTE D'ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION .....	48
TABLEAU 6 - PERSONNES IMPLIQUÉES LORS DE LA SAISI ET DE L'ENTRÉE DES DONNÉES.....	49
TABLEAU 7 - FRÉQUENCE DES RAPPORTS SUR DIFFÉRENTS ASPECTS DE LA PERFORMANCE DES ÉQUIPEMENTS ET DE MAINTENANCE PRODUITS DANS LES MINES .....	51
TABLEAU 8- PRÉCISION DES DONNÉES LORSQUE L'ÉQUIPEMENT DEVIENT INDISPONIBLE SELON LES CATÉGORIES.....	53
TABLEAU 9- PRÉCISION DES DONNÉES LORS DU DÉBUT DE L'ACTION D'ENTRETIEN SELON LES CATÉGORIES .....	53
TABLEAU 10- PRÉCISION DES DONNÉES LORSQUE L'ÉQUIPEMENT REDEVIENT DISPONIBLE SELON LES CATÉGORIES ....	54
TABLEAU 11- CATÉGORIES DE DÉLAIS PRISES EN CONSIDÉRATION LORS DE LA CUEILLETTE DE DONNÉES .....	55
TABLEAU 12- PRÉCISION DES DONNÉES SUR LES DÉLAIS .....	56
TABLEAU 13- INFORMATIONS SUR LES ACTIONS DE MAINTENANCE PRISES EN NOTE PAR LES MINES .....	57
TABLEAU 14- SUIVI DE LA DURÉE DE LA NON UTILISATION DES ÉQUIPEMENTS DISPONIBLES.....	59
TABLEAU 15- FAÇONS DE CUEILLIR LES DONNÉES SUR LE TRAVAIL UTILE .....	60
TABLEAU 16- RÉPARTITION DE LA FLOTTE D'ÉQUIPEMENTS POUR LA MINE À CIEL OUVERT.....	61
TABLEAU 17- FRÉQUENCE DES RAPPORTS LE LA MINE À CIEL OUVERT .....	62
TABLEAU 18 UNITÉS DE TRAVAIL UTILE POUR LES ÉQUIPEMENTS DE CHARGEMENT ET DE HALAGE.....	72
TABLEAU 19 UNITÉ DE TRAVAIL UTILE POUR LES ÉQUIPEMENTS DE FORAGE .....	73
TABLEAU 20 UNITÉ DE TRAVAIL UTILE POUR LES ÉQUIPEMENTS DE BOULONNAGE .....	74
TABLEAU 21 REPRÉSENTANT LA DISTRIBUTION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE SELON LES CATÉGORIES. ....	75

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 FACTEURS POUVANT INFLUENCER L'EFFICACITÉ GLOBALE D'UN ÉQUIPEMENT (ADAPTÉ D'APRÈS LEWIS ET AL. 2004) .....	4
FIGURE 2 CRITÈRES ÉCONOMIQUES ET TECHNIQUES D'APRÈS BLANCHARD, (2004) .....	8
FIGURE 3 DIFFÉRENTES CATÉGORIES AFIN DE MESURER LA PERFORMANCE GLOBALE DE LA MAINTENANCE (CAMPBELL, JARDINE, 2001).....	11
FIGURE 4 FACTEURS INFLUENÇANT LES TEMPS MORTS ADAPTÉS D'APRÈS LEWIS ET AL, 2004 .....	26
FIGURE 5 EXEMPLE DE LA RÉPARTITION DU TEMPS DE DISPONIBILITÉ D'UN ÉQUIPEMENT .....	39
FIGURE 6 REPRÉSENTATION DU TEMPS DE LA RÉPARATION ACTIVE ET DE LA MAIN D'ŒUVRE.....	83
FIGURE 7 BONNES ET MAUVAISES INTERPRÉTATIONS DES STATUTS « INDISPONIBLE » ET « DISPONIBLE ».....	84



## LISTE DES ÉQUATIONS

ÉQUATION 1 DISPONIBILITÉ SELON KOCH (2003).....	5
ÉQUATION 2 PERFORMANCE SELON KOCH (2003).....	6
ÉQUATION 3 QUALITÉ SELON KOCH (2003).....	6
ÉQUATION 4 DISPONIBILITÉ SELON DUNN (1997).....	6
ÉQUATION 5 UTILISATION SELON DUNN (1997).....	6
ÉQUATION 6 EFFICACITÉ DE PRODUCTION SELON DUNN (1997).....	6
ÉQUATION 7 DISPONIBILITÉ SELON BLANCHARD (2004).....	26
ÉQUATION 8 DÉFINITION DE LA DISPONIBILITÉ INTRINSÈQUE.....	27
ÉQUATION 9 DÉFINITION DE LA DISPONIBILITÉ MÉCANIQUE.....	28
ÉQUATION 10 DÉFINITION DU MTTR.....	28
ÉQUATION 11 DÉFINITION DE LA DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE.....	28
ÉQUATION 12 DÉFINITION DE MTBF.....	30
ÉQUATION 13 FRÉQUENCES.....	31
ÉQUATION 14 PROPORTION DES TEMPS MORTS.....	33
ÉQUATION 15 DÉFINITION DE MTTR SELON CAMPBELL ET JARDINE (2001).....	34
ÉQUATION 16 TEMPS MOYEN DES MAINTENANCES CORRECTIVES.....	34
ÉQUATION 17 MTTM SELON HALE ET AL. (2004).....	35
ÉQUATION 18 DÉFINITION DE MTBM SELON BLANCHARD (2004).....	35
ÉQUATION 19 MAIN D'OEUVRE ALLOUÉ AUX TRAVAUX URGENTS.....	36
ÉQUATION 20 POURCENTAGE DE L'ENTRETIEN PLANIFIÉ EN TERME D'HEURES ÉCOULÉES SUR L'HORLOGE.....	36
ÉQUATION 21 POURCENTAGE DE L'ENTRETIEN PLANIFIÉ EN TERME D'HEURES FAITES PAR LA MAIN D'OEUVRE.....	36
ÉQUATION 22 CONFORMITÉ DE L'HORAIRE.....	37
ÉQUATION 23 EFFICACITÉ DE LA MAIN D'OEUVRE.....	37
ÉQUATION 24 TAUX DE MAINTENANCE SELON (CATERPILLAR, WORLD CLASS STANDARDS, 2002).....	38
ÉQUATION 25 DÉFINITION DE L'UTILISATION.....	38
ÉQUATION 26 COÛT DES RÉPARATION PAR RAPPORT AU COÛT TOTAL DES MAINTENANCE.....	41
ÉQUATION 27 COÛT DE MATÉRIEL POUR EFFECTUER LES MAINTENANCES PLANIFIÉES PAR RAPPORT AU COÛT DE MATÉRIEL POUR EFFECTUER LE TOTAL DES MAINTENANCES.....	42
ÉQUATION 28 DISPONIBILITÉ SELON 8 MINES SONDÉES.....	65
ÉQUATION 29 DISPONIBILITÉ SELON UNE EXPLOITATION.....	66
ÉQUATION 30 DISPONIBILITÉ SELON UN RÉPONDANT.....	67
ÉQUATION 31 DÉFINITION DE MTBF POUR UNE DE MINES CONSIDÉRÉES.....	67
ÉQUATION 32 DÉFINITION DE LA RÉCIPROQUE DU MTBF POUR UNE AUTRE EXPLOITATION.....	68
ÉQUATION 33 DÉFINITION DE MTTR POUR UNE EXPLOITATION.....	68
ÉQUATION 34 DÉFINITION DE MTTR POUR UNE AUTRE EXPLOITATION.....	69

ÉQUATION 35 POURCENTAGE DES TRAVAUX URGENTS .....	69
ÉQUATION 36 UTILISATION POUR 8 EXPLOITATIONS .....	70
ÉQUATION 37 UTILISATION POUR UNE EXPLOITATION.....	71
ÉQUATION 38 DÉFINITION DE L'UTILISATION POUR UNE AUTRE EXPLOITATION .....	71
ÉQUATION 39 UTILISATION POUR UN RÉPONDANT.....	72
ÉQUATION 40 DÉFINITION DE L'UTILISATION DES FOREUSES FOURNIT PAR UNE EXPLOITATION .....	74
ÉQUATION 41 DISPONIBILITÉ MÉCANIQUE MESURÉE PAR LA MINE À CIEL OUVERT .....	76
ÉQUATION 42 DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE MESURÉE PAR LA MINE À CIEL OUVERT.....	76
ÉQUATION 43 UTILISATION MESURÉE PAR LA MINE À CIEL OUVERT .....	77

## GLOSSAIRE

Capacité	Aptitude d'une entité dans un état interne donné à répondre à une demande de service de caractéristiques quantitatives données (BS 4778, 1991).
Défaillance	Cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise (BS 4778, 1991).
Délai administratif (pour la maintenance corrective)	Ensemble des intervalles pendant lesquels les opérations de maintenance corrective ne peuvent pas être effectuées pour des raisons administratives sur une entité en état de panne (BS 4778, 1991).
Délai logistique	ensemble des intervalles de temps pendant lesquels les opérations de maintenance ne peuvent être effectuées par suite de la nécessité de se procurer des ressources nécessaires à ces opérations, non compris le délai administratif. Le délai logistique peut être dû, par exemple, à des déplacements jusqu'aux installations, à l'attente de pièces de rechange, de spécialistes, d'équipements d'essai, d'informations et de conditions d'environnement appropriées (BS 4778, 1991).
Disponibilité	Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens nécessaires est assurée (BS 4778, 1991).
Durée	Différence entre les instants extrêmes d'un intervalle de temps (BS 4778, 1991).

Durée de maintenance en hommes-heures (MMH, Maintenance Man-Hours)

Somme des durées de temps de maintenance individuels, exprimée en hommes-heures, que la totalité de personnel de maintenance consacre à la maintenance, pour un type donné d'opérations de maintenance ou pendant un intervalle de temps donné (BS 4778, 1991).

Efficacité

Aptitude d'une entité à répondre à une demande de service de caractéristiques quantitatives données (BS 4778, 1991).

Efficacité globale des équipements (OEE, Overall Equipment Effectiveness)

Outil de repère afin de mesurer la performance ainsi que de définir les niveaux de l'efficacité (London et Segev, 2003)

Erreur

Écart ou discordance entre une valeur ou une condition calculée, observée ou mesurée et la valeur ou la conditions vraie, prescrite ou théoriquement correcte (BS 4778, 1991).

Étalonnage (benchmarking) Processus systématique pour mesurer la « bonne pratique » et comparer les résultats afin d'incorporer la performance pour identifier les opportunités d'amélioration de celle-ci (Mitchel et al., 2002)

État de fonctionnement

État d'une entité accomplissant une fonction requise (BS 4778, 1991).

Fiabilité

Aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné (BS 4778, 1991).

Indicateurs de performance (KPI, Key Performance Indicators)

c'est un élément ou un ensemble d'éléments d'informations significatives, un indice représentatif, une statistique ciblée et mise en contexte selon une préoccupation de mesure, résultant de la

collecte de données sur un état, sur la manifestation observable d'un phénomène ou sur un élément lié au fonctionnement d'une organisation (Voyer, 1999).

Indisponibilité	Probabilité pour qu'une entité ne soit pas en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assuré (BS 4778, 1991).
Intervalle de temps	Partie d'une échelle de temps, délimitée par deux <i>instants</i> donnés de cette échelle (BS 4778, 1991).
Logistique de maintenance	Aptitude d'une organisation de maintenance à fournir sur demande, dans des conditions données, les moyens nécessaires à la maintenance d'une entité conformément à une politique de maintenance donnée (BS 4778, 1991).
Maintenanbilité	Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits (BS 4778, 1991).
Maintenance	combinaison de toutes les actions techniques et administratives, y compris les opérations de surveillance, destinées à maintenir ou à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise (BS 4778, 1991).
Maintenance préventive	Maintenance effectuée à intervalle prédéterminé ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'une entité (BS 4778, 1991).

Maintenance corrective	Maintenance effectuée après une détection de panne et destinée à mettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise (BS 4778, 1991).
Panne	État d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, non compris l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou due à un manque de moyens extérieurs (BS 4778, 1991).
Réparation	Combinaison de toutes les opérations manuelles de maintenance corrective effectuées sur une entité (BS 4778, 1991).
Temps de maintenance	Intervalle de temps pendant lequel une opération de maintenance est effectuée sur une entité, manuellement ou automatiquement, y compris les délais techniques et les délais logistiques (BS 4778, 1991).
Temps de maintenance active	Partie du temps de maintenance pendant laquelle une opération de maintenance est effectuée sur une entité, de façon automatique ou manuelle, non compris les délais logistiques (BS 4778, 1991).
Temps mort	Intervalle de temps pendant lequel une entité est en état vacant (BS 4778, 1991).
Temps moyen à entretenir (MTTM, Mean Time Between Maintenance)	Tien compte de toutes les actions de maintenance confondues, aussi bien celles réactive que celles planifiées à l'avance (Hale et al., 2004)
Temps moyen des réparations (MTTR, Mean Time To Repair)	La moyenne de temps pris afin de réparer la défaillance et rendre l'équipement opérationnel de nouveau (Campbell et Jardine, 2001).

Temps moyen entre les défaillances (MTBF, Mean Time Between Failures)

Espérance mathématique du temps entre les défaillances (BS 4778, 1991).

Temps moyen entre les maintenances (MTBM Mean Time Between Maintenance)

Tient compte des maintenances préventives (planifiées) ainsi que des maintenances correctives (non planifiées) (Blanchard, 2004).

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

$A_i$	Disponibilité Intrinsèque
$A_m$ ou Ma	Disponibilité mécanique
$A_o$	Disponibilité opérationnelle
BT	Bon de Travail
BTU	Bon de Travail Urgent
CHPP	Coal Handling and Preparation Plant
ERP	Planification de ressources d'entreprise (Enterprise Resources Planning)
ERP	Processus de fiabilité des équipements (Equipment Reliability Process)
HND	Heures Non Disponibles
HT	Heures Travaillées
HTO	Heures Totales Travaillées
KPI	Indicateurs de performance (Key Performance Indicators)
$M_{Ct}$	Temps moyen de maintenance corrective (Mean Corrective Maintenance Time)
$M_{DT}$	Temps moyen d'indisponibilité (Mean Down Time)
MFOP	Période d'opération sans maintenance (Maintenance Free Operating Period)
MMH	Heures de main d'œuvre attribuées aux maintenances (Maintenance Man Hours)
MR	Taux de maintenance (Maintenance Ratio)
MRP	Période de recouvrement de maintenance (Maintenance Recovery period)
MTBF	Temps moyen entre les défaillances (Mean Time Between Failures)
MTBM	Temps moyen entre les maintenances (Mean Time Between Maintenance)
$MTBM_s$	Temps moyen entre les maintenances planifiées (Mean Time Between Maintenance scheduled)
$MTBM_u$	Temps moyen entre les maintenances non planifiées (Mean Time Between Maintenance unscheduled)
MTBS	Temps moyen entre les arrêts (Mean Time Between Shutdown ou Stoppages)
MTTM	Temps moyen à entretenir (Mean Time To Maintenance)
MTTR	Temps moyen de réparation (Mean Time To Repair ou Restore)
OEE	Efficacité globale des équipements (Overall Equipment Effectiveness)
OEM	Fournisseur d'équipements original (Original Equipment Manufacturers)
PDT	Temps morts prévus (Preventive Down Time)
PMO	Optimisation des maintenances préventives (Preventive Maintenance Optimization)



RCM	Maintenance basée sur la fiabilité (Reliability-Centered Maintenance)
RIAM	Informations du risque des capitaux de gestion (Risk-Informed Asset Management)
TM	Temps Morts
TPM	Augmenter le rendement global des installations avec la maintenance (Total Productive Maintenance)
TRG	Taux de rendement global
TTR	Temps de réparation (Time To Repair)

## 1. INTRODUCTION

Le souci de la performance, de la fiabilité et de la sécurité existe depuis très longtemps, probablement depuis que l'homme a conçu ou forgé ses premiers instruments. La manipulation de ces derniers a conduit l'homme à des améliorations. Celles-ci ont permis de constater que le progrès technologique attribué à l'ingéniosité de l'être humain permettait d'effectuer les tâches beaucoup plus facilement, en moins de temps et à moindre coût. Avec le temps, la compétition entre les entreprises sur le marché mondial est de plus en plus soutenue. Dans ce contexte, l'efficacité des équipements, des systèmes et des procédés est un des facteurs clés qui déterminent la compétitivité et la rentabilité des diverses compagnies dans tous les secteurs industriels. Il est donc courant que ces dernières soient en quête constante d'accroître cette efficacité.

Le secteur minier ne fait pas d'exception d'autant même plus sensible et vulnérable face aux turbulences du marché mondial. Le ralentissement économique mondial à l'aube du 21<sup>e</sup> siècle combiné et certains effets de la mondialisation ont poussé les prix de nombreuses matières brutes vers le bas. Comme le témoigne le Tableau 1, le prix de plusieurs parmi elles a atteint le niveau le plus bas vers 2001-2002 et seulement en 2004 qu'ils ont regagné la valeur marchande de 1997.

**Tableau 1 Indice des prix des matières brutes**

Années	2000	2001	2002	2003	2004
Ensemble des matières brutes	114.7	113.2	112.6	114.8	128.3
Matières ferreuses	88.8	87.0	92.8	95.9	125.0
Métaux non ferreux	90.4	82.0	81.3	82.0	104.8
Concentré de cuivre et de nickel	97.5	82.9	86.0	91.5	129.6
Concentré de plomb	73.5	75.1	73.2	72.9	112.7
Concentré de zinc	88.6	71.8	63.9	62.2	73.7
Concentré radioactif	68.7	72.0	81.5	93.5	150.6
Métaux précieux	97.4	95.5	108.6	110.9	121.3
Autres métaux non ferreux	104.2	99.7	95.6	91.5	106.2

Source Statistique Canada, CANSIM 1997 = 100%

De plus, au cours des années la grande majorité des gisements facilement accessible et moins complexe à exploiter en Amérique du Nord, (surtout sur le plan géologique, géotechnique, etc.) a été épuisée. C'est en parti pour ces raisons que les gisements restant sont maintenant plus difficiles à exploiter et se situent sur des sites éloignés de la civilisation. Plus les tâches de développements ou de productions sont laborieuses, plus les coûts d'opérations, les coûts de main d'œuvre et d'exploitation sont élevés. Par conséquent, certaines compagnies juniors se tournent vers l'exploitation des gisements dans les pays sous-développés où les coûts d'opération, d'exploitation et surtout les coûts de main d'œuvre sont beaucoup moins dispendieux. On estime que 420 000 entreprises étrangères ont investi en 20 ans 450 milliards de dollars en Chine, là où la main d'œuvre est abondante et bon marché (St-Onge et al., 2004). Or, pour rester profitable, et répondre aux attentes des investisseurs, les opérateurs miniers Nord-américains doivent chercher intensément les moyens pour maximiser la production et réduire le coût de cette dernière.

Afin de maximiser la production, il est possible de mécaniser les opérations et automatiser les équipements, les systèmes et les procédés. En même temps, les équipements deviennent de plus en plus imposants et complexes. Tout ceci se répercute sur leurs coûts d'acquisition et d'opération. Par conséquent, tous les coûts associés aux équipements constituent un pourcentage important du coût total. Seuls les coûts de maintenance sont estimés entre 5% et 50% des coûts de production (Campbell, 1995). Dans ce contexte, pour une entreprise minière, il n'est vraiment pas rentable de garder un équipement en réserve ou non utilisé. De nos jours, les capitaux et les coûts d'opération se référant à l'utilisation des équipements sont des facteurs majeurs pouvant affecter de manière considérable le coût de production. Pour un opérateur minier, il est primordial de minimiser le coût par tonne de commodité exploitée. Ceci peut être atteint par la minimisation du coût d'exploitation (dont la partie importante est associée avec le coût de capital et d'opération des équipements) et par la maximisation de la production (avec une hausse d'efficacité des équipements, comme un des moyens). Il est donc évident qu'afin d'atteindre les objectifs de production et à la fois réduire les coûts, il est essentiel que les équipements de production soient :

- Très fiables,
- Hautement disponibles et productifs,
- Pleinement utilisés lorsqu'ils sont disponibles,
- Fournissant un rendement correspondant à leur capacité technique.

Il existe plusieurs voies afin d'y parvenir, mais il est primordial d'identifier celles qui permettent de maximiser le ratio : *bénéfices par rapport à l'argent et les efforts investis*. Selon l'expert en maintenance Tom Peters (cité par Campbell, 1995) « Ce qui est mesuré est fait. » Il est donc crucial de mesurer et quantifier divers aspects de l'efficacité afin de reconnaître les avenues d'amélioration les plus prometteuses. Cependant, l'industrie minière n'est pas reconnue comme « chef de fil » dans ce champ.

Le système de suivi de performance basé sur les procédures adéquates et utilisant les indicateurs de performance significatifs peut contribuer à un outil puissant dans toutes tentatives de réduction des coûts de production. Le système mesurant les performances doit aussi identifier par priorité les points majeurs qui nécessitent de l'attention, d'effectuer des rapports, des données comparatives quant aux performances des différents points du système (Ruel, 2004).

En substance, les mesures, le suivi et l'évaluation de l'efficacité deviennent donc des facteurs clés de la maximisation de cette dernière. Les indicateurs permettent de mieux repérer les problèmes, d'identifier les actions correctives à prendre et d'évaluer leur impact sur le fonctionnement du système. Le secteur minier accuse un retard dans ces procédures. Il est alors important d'effectuer une étude visant à établir la situation actuelle de la cueillette et du suivi des performances des équipements de production. Alors, un questionnaire a été créé afin d'acquérir toutes les informations nécessaires. Il a été adressé à plusieurs mines souterraines et à ciel ouvert Canadiennes hautement mécanisées. Cette étude a identifié un certain nombre de lacunes dans la collecte de données, comment les indicateurs sont définis et utilisés. Il y a donc lieu à des améliorations futures qui pourraient retaper l'image de la performance et de l'efficacité des équipements.

Dans les chapitres suivants, il sera présenté un survol de la quantification et du suivi de l'efficacité des équipements avec une emphase particulière sur l'industrie minière. Par la suite, plusieurs définitions d'indicateurs seront données. Ensuite, une analyse approfondie sur la cueillette et le suivi des données de certaines mines sera faite. Enfin, une discussion et quelques recommandations seront arborés afin d'améliorer les futures pratiques.

## 2. EFFICACITÉ DES FACTEURS CONTRIBUTEURS ET LEUR ESTIMATION DANS L'INDUSTRIE

### 2.1. Ce qu'est l'efficacité

Depuis toujours, les efforts déployés par les employés aux fins de l'organisation du travail gravitent autour des pôles de l'efficacité « Comment faire les bonnes choses » et de l'efficience « Comment bien faire les choses » (St Onge et al., 2004). Selon le petit Robert (1993), l'efficacité se définit comme « la capacité de produire le maximum des résultats avec le minimum d'effort, de dépense ». Lewis et al. (2004), associent l'efficacité avec la production qui est interprétée comme la capacité que possède un équipement à effectuer le travail utile pour lequel il a été conçu, c'est-à-dire, la productivité. La figure ci-dessous montre les relations entre les aspects influençant la productivité.

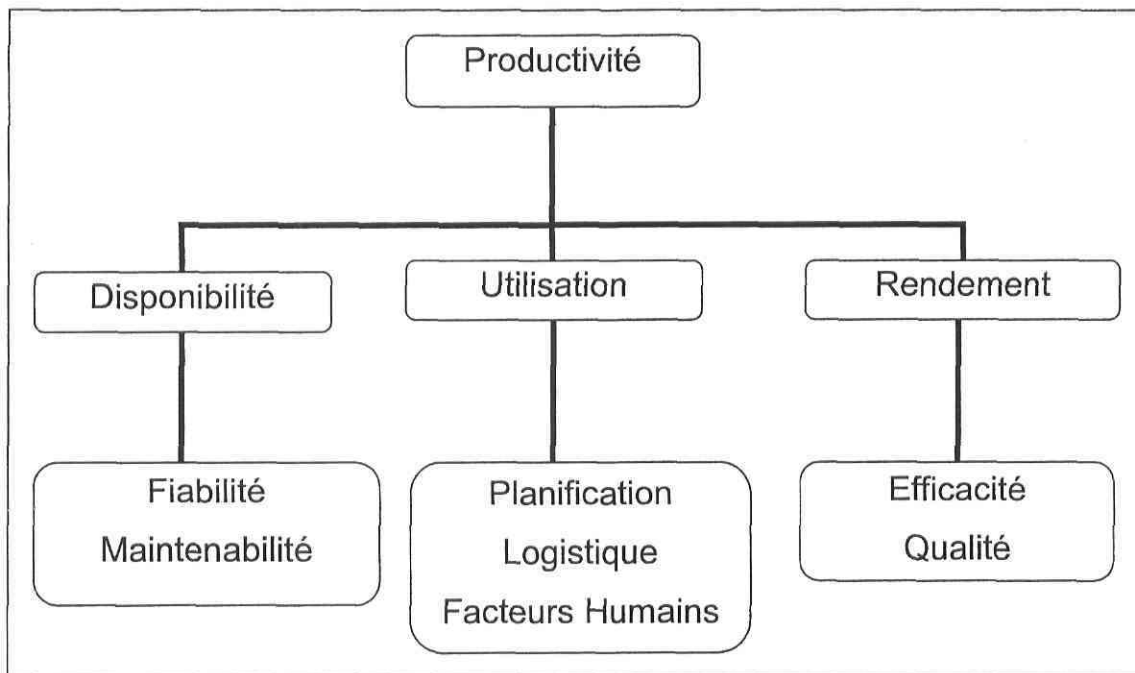


Figure 1 Facteurs pouvant influencer l'efficacité globale d'un équipement (adapté d'après Lewis et al. 2004)

Les facteurs techniques associés à la productivité sont principalement la disponibilité, l'utilisation et le rendement. Le premier fait entrer les concepts de la fiabilité et de la maintenabilité. L'utilisation comprend tous les concepts de planification, de logistique et les facteurs humains.

Le rendement comprend l'efficacité et la qualité. La première est entendue ici comme le ratio entre le travail utile fourni par un équipement par rapport à celui qui devrait être fourni par ce même équipement selon ses caractéristiques techniques (appelé souvent en anglais nameplate capacity) dans la même période de temps et les mêmes conditions. La qualité, est le ratio des produits qui ont été fabriqués dans des conditions conformes aux spécifications du fabricant par rapport aux taux réels de production (Campbell et Jardine, 2001). Contrairement à ce qui est défini dans l'industrie de fabrication, la qualité est une notion qui ne s'applique pas à tous les types d'équipements miniers. Par exemple, il est un peu hors contexte de parler de qualité de travail des équipements de chargement et de halage. Par contre, le travail d'une foreuse peut être considéré en terme de qualité : les trous qui ne répondent pas aux exigences (déviations excessive hors cible ou longueur inadéquate) peuvent être traités de même manière que les rejets dans l'industrie de fabrication. En effet, ces facteurs atteignent directement la performance et le rendement de l'équipement.

L'approche de Lewis et al. (2004) ressemble beaucoup au concept de Overall Equipment Effectiveness (OEE), l'efficacité globale des équipements. Cet index a été conçu par « Japan Institute of Plant Maintenance ». Campbell et Jardine (2001), la définissent comme la mesure globale de l'efficacité de l'usine ou du système en déduisant les pertes dues aux temps morts planifiés ou non, la performance de l'équipement et à la qualité. Selon London et Segev (2003), c'est un outil de repère afin de mesurer la performance ainsi que de définir les niveaux de l'efficacité. Blanchard (2004) définit OEE en tant que produit de trois principaux facteurs :

- La disponibilité
- La performance
- La qualité du produit fini

La disponibilité est le temps où l'équipement fonctionne vraiment par rapport au temps qu'il aurait pu fonctionner (Koch, 2003).

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{Temps d'opération} - \text{temps morts}}{\text{Temps total d'opération}}$$

**Équation 1 Disponibilité selon Koch (2003)**

La performance est la quantité produite durant le temps de fonctionnement par rapport à la capacité théorique de l'équipement (Koch, 2003).

$$\text{Performance} = \frac{\text{Rendement total}}{\text{Rendement théorique de l'équipement}}$$

**Équation 2 Performance selon Koch (2003)**

La qualité du produit fini est la quantité de bons produits comparés au total des marchandises produites (Koch, 2003).

$$\text{Qualité} = \frac{\text{Bonnes marchandises produites}}{\text{Total de la marchandise produite}}$$

**Équation 3 Qualité selon Koch (2003)**

Les définitions montrées ci-dessus ont surtout été développées dans le contexte de l'industrie manufacturière. Lorsque les équipements miniers de production mobiles sont considérés, les définitions formulées par Dunn (1997) paraissent être plus adéquates.

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Temps total}} * 100$$

**Équation 4 Disponibilité selon Dunn (1997)**

$$\text{Utilisation} = \frac{\text{Heures totales} - \text{temps morts} - \text{temps de marche à vide (idle)}}{\text{Temps total} - \text{temps mort}} * 100$$

**Équation 5 Utilisation selon Dunn (1997)**

$$\text{Efficacité de la production} = \frac{\text{Production actuelle}}{(\text{Temps de bon fonctionnement} - \text{temps de marche à vide}) * \text{Taux de capacité}} * 100$$

**Équation 6 Efficacité de production selon Dunn (1997)**

Il est juste d'affirmer qu'une piètre fiabilité révèle une baisse de l'efficacité de production. Selon Dunn (1997), cette dernière n'est pas prise en considération avec le même intérêt que les mesures de disponibilité et d'utilisation, car elle est considérée sous la responsabilité du département de production. De plus, l'impact de la maintenance est généralement ignoré. Ceux qui n'ont vu aucune valeur dans les actions d'entretien n'ont jamais appris à les mesurer. Ce

type d'entreprise ne comprendra jamais ce que sont la maintenance et les bénéfices retirés. Les entreprises prenant au sérieux les entretiens les voient comme une façon de réduire les coûts de production des produits (Wireman, 1998). La plus efficace entreprise du 21<sup>e</sup> siècle inclut celles qui ont maîtrisé une bonne gestion de leurs équipements (Tomlison, 1998). Ces compagnies ont appliqué une technique de gestion moderne, de la technologie et des informations afin de concentrer les efforts des gens au bon fonctionnement des équipements. Il est évident que tous les aspects de la maintenance jouent un rôle prépondérant dans les efforts visant l'amélioration de la performance et de l'efficacité. Le but d'une bonne gestion de la maintenance est de réduire les effets nuisibles des défaillances et de maximiser la disponibilité du système de production au coût minimum (Löfsten, 1998). En effet, selon Faitakis et Al., (2004) 5% de la production minière de l'Amérique du Nord est perdue chaque année et autour du tiers des temps morts sont causés par les défaillances des équipements. De ce fait, un entretien approprié des équipements peut ajouter une valeur énorme aux bons résultats. Alors, l'efficacité des actions de maintenance est devenue un point majeur d'une bonne gestion des équipements.

Blanchard (2004) définit l'efficacité d'un système appliqué dans un contexte élargi, comme étant la capacité qu'a un système d'exécuter ses fonctions prévues. L'objectif ultime est de développer un système qui est rentable selon les contraintes rencontrées, par les besoins de production et de maintenance. Ce même auteur aborde la question de OEE en exprimant qu'il est impératif d'obtenir l'équilibre entre les facteurs économiques et techniques présentés à la Figure 2.



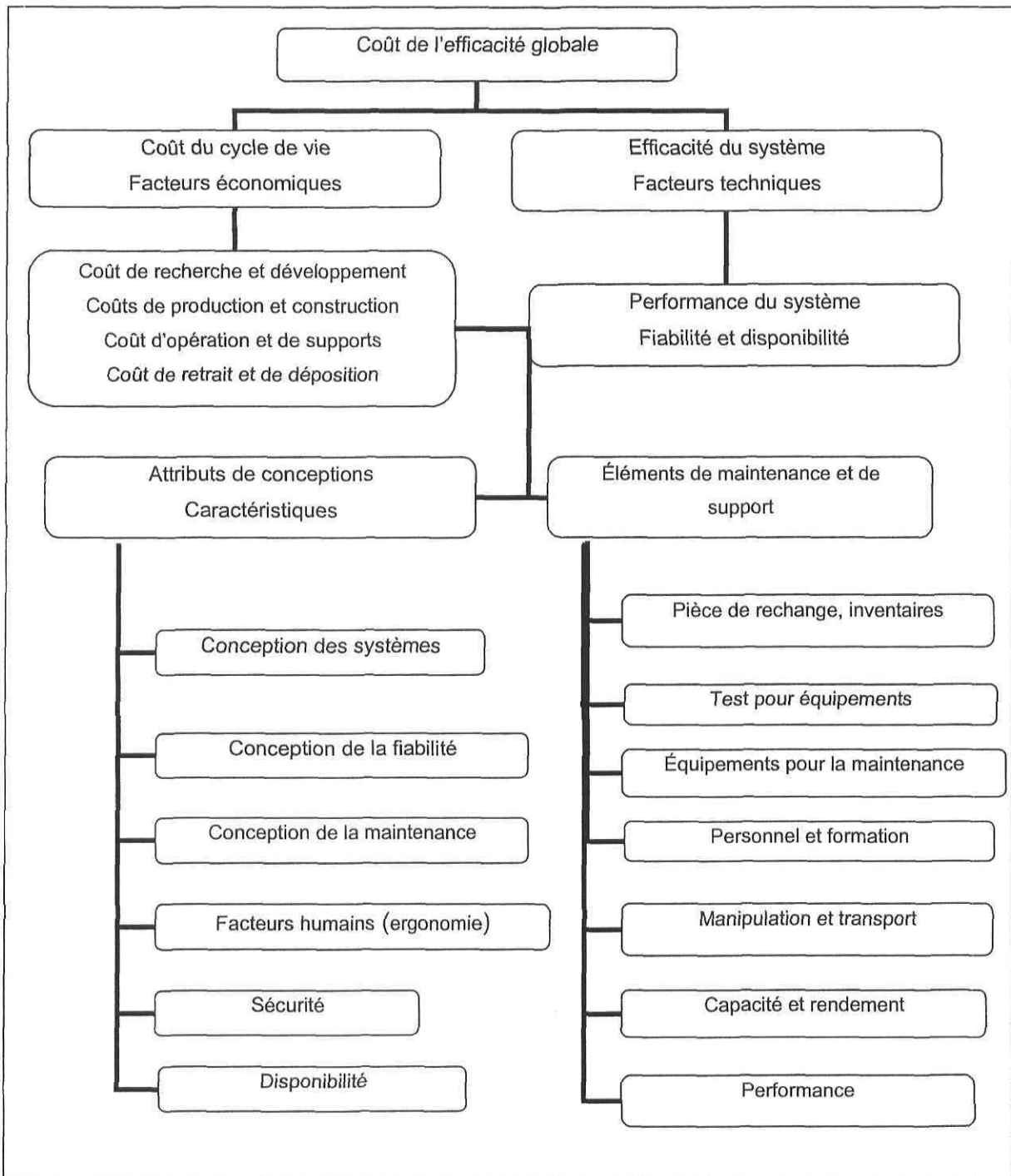


Figure 2 Critères économiques et techniques d'après Blanchard, (2004)

Les facteurs techniques sont primordiaux lors de la sélection de l'équipement à savoir s'il rencontre les exigences au niveau de performance et d'efficacité du système en terme de travail utile qu'il peut effectuer. Pour ce qui est des facteurs économiques, ils illustrent le coût du cycle de vie. Ceux-ci peuvent être décomposés en diverses catégories incluant les coûts de design,

de développement, de construction, du retrait et du recyclage ou de la disposition du matériel. En bref, les facteurs économiques et techniques déterminent si l'équipement peut satisfaire le niveau de service demandé ou répondre aux exigences de l'industrie, à savoir s'ils rencontrent les normes et les règlements en vigueur. Ils peuvent aussi soutenir une étude comparative de l'équipement en place contre des plus moderne et plus performant liés à l'avancement technologique. Ce n'est pas rare d'observer une forte concentration de mesure des caractéristiques techniques d'un système et d'ignorer les implications des facteurs économiques. Dû à la forte interaction, les deux côtés de la balance doivent être considérés dans le processus de décision quotidien (Blanchard, 2004). Il est à noter que, dans cet écrit, la référence se fera sur les aspects techniques ainsi qu'opérationnels de la performance et de l'efficacité.

## **2.2. Indicateurs de performance**

Tel que mentionné auparavant, pour améliorer la performance et l'efficacité des équipements ou des procédés, il est primordial de quantifier leurs facteurs contributeurs. Ceci est fait communément à l'aide des indicateurs de performance clés (Key Performance Indicators ou KPI). L'expérience acquise attribuable tout particulièrement aux défaillances et aux états de panne a été l'un des principaux moyens afin de maîtriser la fiabilité, la performance ainsi que la sécurité. Ces observations remontent au tout début de l'ère industrielle, mais les scientifiques commencent à s'intéresser plus particulièrement aux indicateurs de performances seulement autour des années 1950 (Villemeur, 1988). Selon Wireman (1998) les indicateurs de performance doivent être intégrés et interdépendants afin de fournir une perspective globale sur les buts de la compagnie, ses stratégies d'affaire et ses objectifs spécifiques. Ce même auteur définit et présente un grand nombre d'indicateurs de performance se référant à la maintenance préventive jusqu'au nombre d'heures de formation de la main d'œuvre en passant par l'inventaire des entrepôts. Dunn (2005) définit ceux-ci comme étant un nombre bien déterminé de moyens et de mesures qui permettent d'établir la performance à atteindre à ce qui est mesuré.

La tendance fortement observée de réduire les coûts de production, fait des indicateurs de performance les outils pour déceler les problèmes, envisager les remèdes, les actions correctives et vérifier l'impact de ces derniers. Il est important de mentionner que les indicateurs de performance ne doivent en aucun cas être utilisés pour « gratifier l'ego », mais ils peuvent

aussi être utilisés pour faire la comparaison avec les autres entreprises. Les différentes compagnies doivent intégrer les indicateurs de performance qui se fondent dans la culture de celle-ci. De plus, l'opportunité est pour tous les départements de connecter leurs opérations avec la stratégie de la compagnie. Le plus grand défi est de trouver les indicateurs qui permettent à ces buts d'être évalués facilement (Plant Engineering, 2005).

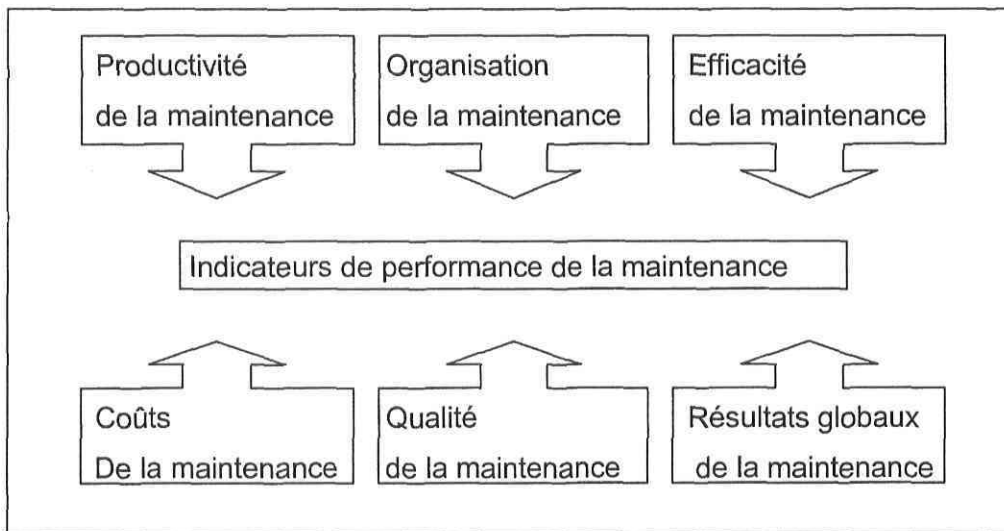
Afin d'évaluer si les bonnes pratiques portent fruits, plusieurs indicateurs de performance peuvent les évaluer. Dans l'industrie relevant de la mécanique et du domaine manufacturier, les indicateurs sont très nombreux. Il est important de garder à l'esprit que ces derniers devraient être intégrés pour fournir une perspective globale sur les buts de la compagnie (Wireman, 1998). En somme, ceci permet de posséder les informations du statut d'aujourd'hui et ce qu'il doit être fait afin d'améliorer demain. Afin d'établir les indicateurs de performance, certaines conditions doivent être considérées (Wireman, 1998) :

- 1- Avoir des objectifs stratégiques clairs, afin de focaliser sur tout le système voulu,
- 2- Joindre les objectifs principaux de l'entreprise aux indicateurs de performance,
- 3- Se concentrer sur les facteurs critiques de succès pour chacun des processus du système en reconnaissant qu'ils peuvent être variables,
- 4- Prendre en considération les tendances des performances et mettre en premier plan les processus où il peut y avoir des problèmes potentiels,
- 5- Identifier les solutions possibles aux problèmes.

L'industrie manufacturière a rapidement compris que dû à l'amélioration de la technologie et de la performance de la machinerie, de plus en plus d'entreprises tâchent d'exécuter le processus de production à moindre coût. Afin d'y parvenir, les dirigeants d'entreprises ont vite développé des moyens d'effectuer des améliorations continues et rapides. Ces améliorations ont permis d'augmenter les bonnes pratiques qui permettent la réduction des coûts et l'augmentation de la capacité de production des équipements et par le fait même, réduire les moins bonnes. Les compagnies ont admis qu'une des dites bonnes pratiques étaient d'établir un bon programme de maintenances dans le but d'effectuer la prévention et les actions d'entretien nécessaires afin de déceler les défauts et les bris pouvant survenir. En général, les maintenances correctives sont beaucoup plus longues et plus coûteuses à effectuer selon les raisons suivantes : le site pour exécuter la maintenance n'est pas préparé, il faut localiser la défaillance, désassembler l'équipement, réparer la défaillance, etc. (Blanchard, 2004). Les maintenances représentent des

capitaux importants dans le coût du cycle de vie, représentant entre 3 et 50% du coût de production (Campbell, 1995).

Pour Blanchard (2004), l'efficacité fait partie d'un tout où l'objectif est de réaliser les buts globaux du département de maintenance. La figure suivante présente les catégories de mesures de la performance globale de la maintenance.



**Figure 3 Différentes catégories afin de mesurer la performance globale de la maintenance (Campbell, Jardine, 2001)**

Il est possible de remarquer que plusieurs catégories sont prises en considération afin de mesurer et de quantifier la performance et l'efficacité. La productivité de la maintenance représente les ressources utilisées afin d'effectuer cette dernière. Ceci inclut entre autre le matériel, les outils, les entrepreneurs, la main d'œuvre. L'organisation de la maintenance est considérée ici comme l'efficacité des actions d'entretien planifiées. Ces dernières peuvent s'évaluer par un pourcentage de temps estimé à partir des actions d'entretien planifiées par rapport au temps total. Pour ce qui est de l'efficacité de la maintenance, celle-ci souligne la capacité de rester informé de la charge de travail. Ceci tient compte de l'accomplissement des bons de travail versus les nouvelles demandes, du retard pris, les opportunités de travail et le temps de réponse. Le coût est une catégorie où les gestionnaires portent beaucoup d'attention. Ceci est encourageant dans le sens où il est important d'établir un lien entre les actions de maintenance et les bénéfices (profits) afin d'être solide et bien établi aux yeux de l'industrie (Campbell et Jardine 2001). Une façon d'y parvenir est par exemple d'exprimer les coûts de

maintenance par rapport aux coûts totaux de production ou par tonne de commodités. Enfin, la qualité de la maintenance est souvent utilisée dans le domaine de l'automobile afin de juger combien de fois les problèmes répétitifs apparaissent et combien de fois le concessionnaire réussi à diagnostiquer le problème dès la première visite (Campbell et Jardine, 2001). Ceci peut s'observer particulièrement par la comparaison des travaux et les bris répétitifs. Beaucoup d'industries utilisent les indicateurs de performance, mais les démarches et les mesures ne sont pas nécessairement prises de la même façon et sans la même rigueur.

Dans l'industrie de pâte et papier, selon Yolton (2004), la stratégie à adopter, afin d'avoir des actions de maintenance adéquates, se retrouve sous plusieurs thèmes. Tout d'abord, avoir un bon étalonnage qui permettra non seulement de se comparer avec les autres compagnies, mais aussi avec les usines de la même bannière. De plus, il est fondamental de déterminer les indicateurs de performance appropriés et significatifs. Les indicateurs doivent montrer le progrès réalisé comparativement aux buts visés de la compagnie. Les meilleures usines utilisent le processus de RCM (Reliability Centred Maintenance) soit la maintenance basée sur la fiabilité et suivent les procédures avec détermination. Ils utilisent aussi beaucoup de moyens afin de diagnostiquer les défaillances, comme l'analyse de l'huile, les inspections visuelles, etc. Ils privilégient les travailleurs à participer aux formations afin de s'adapter aux nouvelles techniques de maintien des nouveaux équipements. Voici que quelques exemples à respecter afin d'obtenir une bonne pratique en ce qui a trait aux actions de maintenance faites aujourd'hui dans l'industrie de pâte et papier. Les autres compagnies voulant appliquer ces simples règles, vont s'apercevoir que ceci prend beaucoup de temps à identifier quelles opérations seront tenues compte afin d'améliorer leurs actions de maintenance.

Pour les compagnies fabriquant de l'huile et du gaz, leur système de gestion informatique leur permet d'avoir une grande quantité de mesures possibles. Les indicateurs ont été développés par les informations disponibles dans le système de gestion informatique à l'exclusion des résultats des recherches et des analyses spécifiques. Le cadre du travail se divise en quatre parties soit les coûts, les opérations, la sécurité et l'organisation. Dans chacune de ces catégories sont présentées plusieurs indicateurs qui mesurent différents sous points. Il est important de mentionner que ce n'est pas « tout » qui peut être mesuré par des indicateurs, il faut donc faire un choix judicieux. Ce n'est pas tous les producteurs de gaz et d'huile qui sont aptes à introduire ce cadre de travail. Il peut avoir certains obstacles sur le chemin comme la piètre qualité des données dans le système de gestion, un manque de données, manque de

compétences pour entrée les données dans le système, problème de transition des données entre deux différents systèmes de gestions (Ellingsen et al, 2003).

L'industrie aéronautique était et est toujours avant-gardiste en ce qui concerne les questions de fiabilité et de sécurité. C'est cette industrie qui a été à l'origine de bases scientifiques de la fiabilité et de maintenance. Depuis les 50 dernières années, le temps moyen entre les défaillances (Mean Time Between Failures – MTBF) a été largement utilisé par plusieurs lignes commerciales et de la défense pour mesurer la fiabilité. Le concept de maintenance basée sur la fiabilité (RCM) a été développé et implanté par l'industrie de l'aviation dans les années 1960 (Dunn, 1997) L'introduction de la RCM a révolutionné les pratiques de maintenance dans l'aérospatial aussi bien dans le domaine militaire que civile. Malgré le progrès remarquable, les coûts de maintenance constituent encore environ 11% du coût total d'exploitation d'un avion (Kumar, 1999). Vu son contexte unique, l'industrie aéronautique a développé plusieurs indices de performance qui évoluent constamment. Le MTBF en est un bon exemple. Selon plusieurs études (Knowles, 1995 et Mitchell, 1998) MTBF démontrent 2 inconvénients :

- Il est possible d'estimer le MTBF à partir des données sur les défaillances, mais il est impossible de prédire MTBF à partir de test lorsque la fonction de densité n'est pas exponentielle, taux de panne constant.
- L'emploi du MTBF limite les analyses aux fonctions de distribution exponentielle.

Kumar, 1999 a donc proposé le concept de période d'opération sans maintenance MFOP (Maintenance Free Operating Period). C'est la période d'opération durant laquelle la mission qu'un item est mené à bien sans restriction de l'opérateur que ce soit causé par les défaillances ou par les limitations du système. En bref, MFOP garantit une certaine période d'opération sans interruption pour la maintenance non planifiée. Un autre indicateur est intimement lié à ce dernier, est la période de recouvrement de maintenance MRP (Maintenance Recovery Period), qui se définit comme étant la période de temps où les maintenances appropriées sont effectuées.

Il est possible de remarquer que dans les industries mentionnées ci-dessus, plusieurs efforts sont réalisés afin d'établir et d'intégrer les indicateurs appropriés afin de mesurer et d'observer les tendances de la performance et de l'efficacité de leurs équipements. Les gestionnaires de l'industrie minière parlent de plus en plus à utiliser les équipements à leur pleine capacité et le plus efficacement possible. Pour ce faire, il est important que le suivi des performances soit fait

d'une manière adéquate, sur une base régulière et ce pour toutes les opérations touchant l'exploitation jusqu'au traitement du minerai. Ce qui suit, est la présentation de quelques exemples de suivi des performances et de l'efficacité dans l'industrie minière.

L'industrie nucléaire a atteint un niveau de productivité significatif en développant leurs propres indicateurs de fiabilité et de maintenance qui leur permettent de répondre à leurs exigences. Deux indicateurs ont été développés plus particulièrement, le ERP (Equipment Reliability Process) qui est le processus de fiabilité des équipements et PMO (Preventive Maintenance Optimization) qui est l'optimisation des maintenance préventive. Ceux-ci font parti intégral d'un processus développé par les industries nucléaires sur les informations du risque des capitaux de gestion (RIAM, Risk-Informed Asset Management) (Komljenovic et al., 2005).

### **2.3. L'industrie Minière**

Traditionnellement, l'industrie minière se concentrait sur la disponibilité et l'utilisation pour mesurer la performance. Seules, ces mesures ne sont pas satisfaisantes afin de prendre des décisions claires sur la stratégie à considérer au niveau des équipements. Le point de vue conservateur de la disponibilité et de l'utilisation était que la première est sous la responsabilité du département de maintenance tandis que la seconde est celle du département de production (Dunn, 1997). Malgré l'importance croissante des mesures de performance dans le processus d'amélioration de l'efficacité globale des équipements et de réduction des coûts, cette problématique ne semble pas recevoir toute l'attention nécessaire des opérateurs miniers. Une étude faite par Tomlison (2005) sur une période de 21 ans relate que 78% des opérations qui ont été évaluées n'ont pas de programme de maintenance écrit. Seulement 12% des organisations de maintenance mesurent la productivité des travailleurs. Dans 71% des cas, les travailleurs ne rapportent pas le temps de travail effectué. 20% des organisations ont des critères afin de déterminer les travaux qui doivent être planifiés. 76% des organisations ne peuvent prévoir le remplacement d'une composante majeure et moins de 9% des gestionnaires miniers ont des politiques au niveau des actions de maintenance. Alors, les programmes de maintenance dans le secteur minier montrent plusieurs lacunes comparativement aux autres secteurs industriels (Lewis et Steinberg, 2001). Même si la maintenance représente autour de 30 à 50% des coûts directs de minage (Campbell, 1995, Lewis et Steinberg, 2001 et Werner et Lewis, 2005). Alors, le secteur minier commence à introduire lentement la philosophie de la maintenance proactive ainsi que de RCM. Ces deux stratégies permettront une réduction des

coûts significatifs et l'augmentation de la production. En effet, Dunn, (1997) mentionne que plusieurs sites miniers australiens utilisent le concept de RCM.

Les mines à ciel ouvert peuvent être considérées comme une entreprise à part entière comprenant des capitaux, des coûts d'opération et de maintenance qui excèdent de beaucoup ceux de grandes entreprises des autres secteurs. Ce type de mine possède habituellement beaucoup d'équipements. Un regroupement de données générales, par exemple le nombre et le type d'équipements, des mines à ciel ouvert et souterraines présentent ce phénomène dans le Canadian Mining Journal's 2004 Mining Sourcebook. La compagnie Syncrude située en Alberta possède 110 équipements de grande taille et très chers en capital incluant des pelles, des chargeuses et des camions. Alors, effectuer les bonnes décisions opérationnelles a été facilité par l'implantation de systèmes de surveillance de production (Richard, 2004).

Dans l'industrie minière, la disponibilité des équipements, l'utilisation, les taux de production et la qualité du produit sont des variables clés afin de maximiser le retour sur l'investissement (Knights et al., 2004). Knights et Oyanader (2005), ont effectué une étude visant l'importance de la maintenance et de l'étalonnage « benchmarking » dans 6 mines sur 17 du Chili couvrant 58% de la production de cuivre. La collecte et la révision des données ont duré autour de 6 mois. La collecte s'est faite par le biais d'un questionnaire dans la plupart des cas. Cette étude démontre que les coûts de maintenance comptent pour 44% des coûts de production. De plus, la même étude stipule que le pourcentage de maintenance planifiée pour les équipements est sous les standards mondiaux de 35%, 56% et 44% pour les foreuses de production, les pelles et la flotte de camion respectivement. Ce qui est bien en dessous du barème de 80% indiqué dans plusieurs sources (Caterpillar, World Class Standards, 2002 et Wiebmer et Widdifield, 1997). Knights et Oyanader (2005) dérivent une technique de régression multivariable afin de montrer une corrélation entre les coûts de maintenance planifiée et non planifiée des équipements et ce, selon une base mensuelle. Les principales données utilisées ont été les bons de travail, les temps d'arrêts dus aux maintenances et les coûts de maintenance. Les bénéfices observés étaient principalement sur la réduction des temps de maintenance non planifiée qui entraîne une réduction des coûts directs de la maintenance, une augmentation de la disponibilité et de la fiabilité des équipements et que la disponibilité de la flotte d'équipements est influencée significativement par le pourcentage de maintenance planifiée. Par exemple, l'augmentation de cette dernière de 4% (au détriment de la maintenance non planifiée) permet d'augmenter la disponibilité des camions d'un pourcent (1%).



Lhorente et al., (2004) discutent de la question de déterminer une stratégie optimale de maintenance basée sur l'âge pour les armatures de roues pour une flotte de camion de type Komatsu dans une opération minière au Chili. Le modèle mathématique développé est basé sur les statistiques afin de déterminer la tendance optimale entre la maintenance corrective et la maintenance préventive qui minimisera les coûts d'opération par unité de temps. Pour ce faire plusieurs données doivent être prises en note pour effectuer cette étude. Par exemple, les coûts des actions de maintenance correctives et préventives, les fréquences des défaillances, les heures d'opérations, l'utilisation, etc. Cette étude révèle que la mine fait des économies de 163 000\$US des maintenances préventives et correctives et augmenter leur disponibilité de 2.33% (Lhorente et al., 2004).

Alors, avec le progrès de la technologie des prises de mesure, de plus en plus de paramètres et de données sur l'opération, la disponibilité, la fiabilité, le travail utile, l'utilisation et la maintenance sont disponibles. Il est aussi possible de remarquer qu'une attention particulière est maintenant portée sur l'entretien préventif et le « Condition Based Monitoring ». Dans les mines à ciel ouvert, des systèmes informatiques ouvrent des possibilités afin de calculer plusieurs indices de performance avec une précision accrue. En effet, les systèmes du type VIMS (Vital Information Management System, de Caterpillar) et VHMS (Vital Health Monitoring System, de Komatsu), permettent aux usagers de connaître pratiquement toutes les informations utiles afin de calculer et d'effectuer le suivi des indicateurs pouvant mesurer la performance des équipements. De plus, afin d'accroître le suivi, plusieurs auteurs proposent différents logiciels. Lewis et Steinberg proposent un produit MMS (Modular Mining System) qui introduit la prise de données en temps réel. Comme le statut de l'équipement, l'historique de la maintenance, les données de production et les tendances observées.

La compagnie minière Québec Cartier, a optimisé la disponibilité en se basant sur la maintenance et ce en implantant des logiciels de disponibilité afin de supporter les bonnes pratiques, affecter le bon travail avec le bon équipement. Ceci doit s'accomplir avec la même main d'œuvre et les mêmes équipements, ou moins. Cette pratique a permis de faire l'optimisation de la flotte d'équipement ainsi que d'économiser 7 millions de dollars à l'atelier de maintenance (Compagnie IVARA, 2005). Aussi, afin de maximiser la disponibilité sur les sites miniers de Syncrude, plus particulièrement Aurora et Base Mines, un système de maintenance est bien en cours. Ils ont donc implanté un système de prise de données en temps réel utilisant

une technologie sans fil et à haute vitesse. Ce système est installé sur les équipements mobiles de production, mais sera installé sur quelques équipements fixes bientôt (anonyme, 2003). Ce système permet de prendre les données à partir de capteurs sur les équipements lorsqu'il est en opération. Il permet d'obtenir entre autre la disponibilité, la capacité et la productivité actuelle de l'équipement. Il est important de mentionner qu'un seul indice d'enregistrement des données n'est pas suffisant, il doit être incorporé dans un ensemble formant le processus de collecte de données. Les données recueillies peuvent être jointes à d'autres informations disponibles sur le site minier et obtenir une vue globale du comment le système agit les unes par rapport aux autres (Lewis et Werner, 2005).

Les usines de traitement du minerai sont des environnements où les collectes de données peuvent se faire plus facilement. En effet, elles requièrent l'évaluation d'éléments de plusieurs sources afin d'obtenir un portrait complet de ces performances. Par contre, les valeurs brutes disponibles des différentes sources sont parfois non conformes dû à la précision des instruments de mesure. Certaines de ces mesures ne peuvent être prises car les coûts des instruments de mesure ne sont pas justifiés ou ne fournissent pas les données nécessaires. Avec un système de gestion des données, les contradictions des différentes mesures peuvent être mises en évidence et être automatiquement résolues à partir de méthodes mathématiques afin d'effectuer les actions correctives (Flament et al., 2004). Selon Heyerichs et O'Neil (2005), analyser les temps d'arrêt des équipements des usines de traitement et introduire les mesures d'entretien proactif peuvent améliorer la fiabilité et réduire les coûts de maintenance. Afin d'utiliser l'approche proactive, une méthode d'enregistrement des données doit être développée dans le but de noter les temps d'arrêt et les temps de bon fonctionnement des équipements. Dans cet écrit, les auteurs décrivent leur méthodologie ainsi que les facteurs utilisés. Par exemple, la disponibilité mécanique et le pourcentage de maintenance planifiée sont les indicateurs de performance utilisés. De plus, la fréquence des défaillances ainsi que leurs coûts sont utilisés afin de centrer les efforts d'amélioration des maintenances. Une analyse de Pareto est aussi faite, mettant en évidence la cause de l'arrêt de l'équipement et les coûts des arrêts de ceux-ci afin de donner les priorités aux différents types de défaillances d'équipements. L'analyse des états de panne combinés avec la philosophie de « qu'est-ce qui peut être fait pour prédire et prévenir les défaillances » est utilisée afin de sélectionner des méthodes pour prévenir les futures défaillances.

En Australie, l'usine de la Bulga Coal Handling and Preparation Plant (CHPP) a implanté un système de rapport sur les temps morts qui ont amélioré l'utilisation des équipements. En bref, le système développé par la compagnie Matrikon, permet de catégoriser et de quantifier tous les types de délai lors des pertes de production. En le faisant, il est possible de mettre l'accent sur les actions de maintenance qui seront les plus bénéfiques pour l'usine. Avec cet instrument, Bulga a augmenté sa disponibilité mécanique de 89% au-dessus de 95% (anonyme, 2003).

Aussi, le concept de OEE va être implanté comme mesure de performance à Thompson Nickel Refinery de la compagnie INCO qui agira comme déclencheur afin d'emmener la maintenance, les opérations et l'ingénierie à des niveaux supérieurs (Adriana, 2005). OEE fait partie d'une famille de mesure comportant beaucoup d'éléments qui ont comme but l'amélioration continue des processus et de la gestion. Ce système va être implanté pour la lixiviation de la matte pour ensuite être implanté pour toute l'usine (Adriana, 2005).

Les équipements souterrains sont techniquement aussi complexes que ceux dans les mines à ciel ouvert. Ils doivent en plus fonctionner dans un milieu de travail restreint et dans un environnement de travail très hostile et très exigeant. En effet, les mines souterraines sont des endroits très obscurs et très humides. La présence d'eau peut donc venir de plusieurs sources. En plus de ces désavantages, les équipements des mines souterraines sont beaucoup moins bien instrumentés que ceux des mines à ciel ouvert (pas de système de type VIMS ou VHMS). Alors, le suivi des performances et de l'efficacité pour le cas d'équipements de production est de loin moins avancé que ceux des mines à ciel ouvert et qu'aux usines de transformation. Un obstacle majeur de l'industrie minière souterraine est la limitation de l'espace de travail, l'espace de rangement et le processus complexe de descendre les composantes et les pièces et ceci doit être supervisé par le département de maintenance. Bannister consultant pour Engtech Industries Inc., cité dans l'article, a fait une étude pour la mine McArthur River's, exploitant l'uranium au nord de Saskatoon (anonyme, 2003), au sujet d'un programme de maintenance efficace. Il dit : « vous devez bâtir un système de mesure clés de la performance, générer des rapports du système de maintenance qui mettent en évidence ces mesures prises et utiliser pleinement les tables de données afin d'augmenter la connaissance des opérations et les pratiques de maintenance ». Un facteur de réussite d'un programme de maintenance est le facteur humain. La clé du succès d'un programme de maintenance est d'impliquer les personnes ressources disponibles à travers le processus de l'amélioration continue (anonyme, 2003).

Les études sur la maintenance et la fiabilité doivent être parties intégrales d'une bonne gestion d'une entreprise minière. En effet, Kumar (1989) présente une série d'études intéressantes sur la fiabilité et la maintenance sur des chargeuses navette Toro dans la mine de fer Kiruna (Nord de la Suède). L'objectif principal de l'étude était d'identifier les sous-systèmes des chargeuses navettes qui requièrent l'amélioration et d'étudier la distribution des défaillances dans le temps. La connaissance de cette dernière est essentielle afin d'optimiser les politiques de maintenance. Dans le même ordre d'idée, plusieurs études ont été faites à partir de méthodes statistiques et ce par des auteurs travaillant particulièrement dans le secteur minier. Paraszczak et Perreault, (1994) ont fait une étude à la mine Doyon située à Rouyn-Noranda sur une flotte de 13 chargeuses afin d'identifier les sous-systèmes qui requiert de l'amélioration et étudier la distribution des défaillances. Aussi, Runciman et al. (1995) étudient des méthodes d'analyse des données afin d'évaluer les défaillances au niveau des maintenances pour les équipements miniers à Stratchona Mine de Falconbridge. Les données prises par le département de mécanique étaient principalement la date où les réparations ont été faites, le type de réparation par sous-système. Les auteurs stipulent que l'application des techniques graphiques et analytiques de la fréquence de réparation des machines et du temps de réparation sont des méthodes efficaces afin de résoudre les problèmes d'analyse et d'évaluation des entretiens liés aux équipements miniers. Paraszczak et al. (1997) présentent une étude faite sur la fiabilité et la maintenabilité de 2 types de chargeuse navette provenant 2 mines souterraines anonymes et ceci a pu se réaliser par l'analyse du principal indicateur de performance MTBF. Ce dernier donne qu'une image partielle de la disponibilité des équipements, donc d'autres facteurs ont été évalués. Par exemple, le temps de réparation (TTR, Time to Repair), les temps morts prévus (PDT, Preventive Down Time) et la main d'œuvre allouée à la maintenance (MMH Maintenance Man Hours). La principale conclusion : il est plus avantageux de consacrer du temps aux actions d'entretien préventif et augmenter la fiabilité des chargeuses. Vagenas et al. (2003) proposent un modèle mathématique sur la fiabilité très simple se basant sur les principes de base de la maintenance des équipements, mais adapté aux excavations souterraines. Les deux principaux paramètres utilisés sont le temps moyen entre les défaillances (MTBF, Mean Time Between Failures) et le temps moyen de réparation (MTTR, Mean Time To Repair). Ce qui est intéressant, c'est que les auteurs donnent les définitions de certains facteurs influençant la maintenance et la fiabilité en plus de déterminer quelles données doivent être prises en considération, comme : la fréquence des réparations, les heures totales de réparation, etc. Aussi, ils expliquent avec beaucoup de détails la démarche à suivre afin d'évaluer les fonctions

de densité qui représente les types de défaillances observées afin de déterminer le modèle mathématique qui permettra de prédire l'allure des défaillances et de calculer la fiabilité

À la mine Coleman de la compagnie INCO, une étude faite par les consultants de la compagnie Caterpillar Elphinstone stipule que trop peu de mesures ou d'indices de performance sont utilisés par la mine. Pour contrer la situation, quatre nouveaux indicateurs sont proposés. Pour la fiabilité, le temps moyen entre les arrêts (MTBS, Mean Time Between Stoppages), pour l'efficacité, il y a le temps moyen des réparations (MTTR, Mean Time To Repair), la disponibilité mécanique et le ratio de maintenance (Caterpillar, 1999). Si plus de paramètres sont notés, plus il est facile de gérer les maintenances et identifier les actions correctives. Par les améliorations de la maintenance et de sa gestion, il deviendra possible d'augmenter la fiabilité, la disponibilité et l'utilisation des équipements et en même temps réduire les coûts d'entretien. Ce qui est pertinent de retenir de cette étude, c'est qu'il n'est pas nécessaire d'avoir trop d'indicateurs afin d'évaluer la performance des actions de maintenance. L'important est de prendre le temps d'identifier ceux qui représentent les meilleures affinités avec le type de gestion observé dans l'industrie.

Mine Raglan a implanté un système de gestion informatisée de l'entretien dans le but de centraliser et de faciliter la collecte de données. Ils ont aussi l'intention d'atteindre un niveau d'excellence de maintenance en adoptant les pratiques de « Total Productive Maintenance » TPM et de « Reliability Centred Maintenance » RCM (Mercer et al., 2004).

Une autre initiative intéressante visant l'amélioration de l'efficacité globale des équipements de production a été entreprise pour la compagnie minière cuprifère polonaise KGHM. Cette dernière opère trois mines souterraines (Lubin, Rudna et Polkowice-Sieroszowice) qui disposent d'un parc totalisant des centaines d'équipements. Pour demeurer compétitive sur le marché mondial, KGHM multiplie les efforts pour réduire les coûts de production. Afin d'être plus efficace, le processus de prise de décision doit être basé sur les rapports précis et sur l'analyse des indicateurs de performance pertinents. KGHM a déjà implémenté plusieurs modules du système SAP R/3. Ce dernier appartient à la famille de systèmes ERP (Enterprise Resource Planning) qui servent pour la planification et gestion des ressources des entreprises.

SAP R/3 cueille et entrepose une grande quantité de données qui pourraient être très utiles du point de vue de l'évaluation de la performance et de l'efficacité des équipements. En utilisant

l'entrepôt des données de SAP R/3, ils ont développé un système de support décisionnel « EKSPERT » qui est capable de fournir aux gestionnaires à plusieurs niveaux hiérarchiques, l'information sur les indices de performance et leurs tendances, par exemple :

- la disponibilité,
- le taux d'utilisation,
- la production de l'unité en terme spécifique pour chacune (tonnes pour les chargeuses navettes, tonnes \* km pour les camions, mètres forés pour les équipements de forage, etc),
- le pourcentage du temps des maintenances attribuées aux services externes,
- La moyenne du temps de maintenance en terme de main d'œuvre par heure d'opération (MMH/OH),
- La moyenne du coût des maintenances par heure d'opération,
- Le total des coûts attribué au département des équipements souterrains par tonne de minerai ou de métal,
- La moyenne des coûts d'une unité,
- Rapport sur le statut de l'équipement,
- Rapport sur la disponibilité,
- Rapport sur la consommation et la gestion du carburant et les huiles.

L'implémentation et l'intégration du système EKSPERT dans l'environnement électronique de la compagnie peut être considéré comme un élément stratégique important dans une bonne gestion des équipements miniers souterrains. Ceci étant fait, le système permettra à son utilisateur d'évaluer adéquatement et avec précision l'efficacité et le coût des équipements miniers sous sa responsabilité (Dyczko et al., 2005).

L'industrie nucléaire a développé plusieurs outils de gestion que ce soit sur le plan physique ou financier. Afin d'effectuer une certaine analogie avec l'industrie minière, certains auteurs stipulent qu'il serait possible de transférer le savoir-faire de l'industrie nucléaire à l'industrie minière. Par exemple, le processus de fiabilité des équipements (ERP, Equipment Reliability Process) et l'optimisation des maintenances préventives (PMO, Preventive Maintenance Optimization). Le succès d'un tel effort exige une adaptation soignée et proportionnée de ces derniers en se basant tout particulièrement sur le contexte opérationnel de l'industrie minière (Komljenovic et al., 2005).

En résumé, la revue de la littérature n'a pas apporté beaucoup d'informations sur l'état actuel au niveau du suivi de la performance et de l'efficacité des équipements. L'image est loin d'être complète et d'après ce qui a été mentionné jusqu'à maintenant, il serait incontestablement intéressant de mieux connaître la situation des industries minières sur le suivi de la performance et de l'efficacité.

#### **2.4. Buts et objectifs**

Dans le contexte actuel discuté ci-dessus, il a été décidé d'effectuer une étude qui permettra d'identifier une méthodologie permettant de compiler les méthodes et les mesures pour l'évaluation de la performance et de l'efficacité des équipements miniers de production. Étant donné une grande diversité des équipements miniers et de leur rôle, l'étude s'est limitée à ceux qui sont directement impliqués dans la production. Les objectifs visés par cette recherche sont les suivants :

- Évaluer le degré de suivi de la performance des équipements de productions et de développements,
- Répertorier les indices de performance,
- Évaluer la précision et la signification des mesures couramment utilisées,
- Analyser les points forts et faibles des pratiques,
- Formuler les recommandations nécessaires.

Pour ce faire, il sera présenté un aperçu de ce qu'est les « indicateurs de performance » techniques et opérationnels, quel est leur rôle et lesquels sont utilisés dans diverses industries.

### 3. INDICATEURS DE PERFORMANCE

Pour toutes les industries, la mesure d'indicateurs constitue un élément indispensable pour une bonne gestion des ressources. Que ce soit pour la réflexion stratégique, la réalisation des objectifs de l'entreprise, la gestion par le résultat, l'amélioration continue et l'étalonnage (« benchmarking »). En effet, tous ces aspects nécessitent des approches et des mesures précises autant pour le suivi de l'implantation de la méthodologie en elle-même que pour l'évaluation de ses retombées sur le fonctionnement courant et la performance de l'entreprise (Voyer, 1999).

La définition de base d'un indicateur proposée par Voyer est la suivante : « c'est un élément ou un ensemble d'éléments d'informations significatives, un indice représentatif, une statistique ciblée et mise en contexte selon une préoccupation de mesure, résultant de la collecte de données sur un état, sur la manifestation observable d'un phénomène ou sur un élément lié au fonctionnement d'une organisation. » Il peut donc être considéré comme un moyen de mesurer la performance et l'efficacité. Il est important de déterminer qui et quels termes sont responsables de leur définition et de leur utilisation à quel système ils sont appliqués et en fonction de quelle norme.

L'identification d'un indicateur permet de déterminer le concept à mesurer et de préciser la collecte d'indices représentatifs à effectuer et de décider de la façon de représenter les valeurs significatives une fois les mesures effectuées. Il est important d'adopter les indicateurs qui sont faciles à développer et qui donnent un bon aperçu d'où l'entreprise doit se situer et où elle devrait être. Les indicateurs sont constitués à partir de certaines données tirées du grand ensemble de l'information existante. Il s'agit de savoir quels types d'indicateurs sont pertinents pour l'étude, la qualité et la précision des mesures, les coûts qui peuvent en découler, la faisabilité et sa facilité d'interprétation et d'utilisation. En somme, la faisabilité d'adopter la mesure spécifique des indicateurs devrait être déterminée en posant à ceux-ci les questions suivantes (Tsang, 1998) :

1. Quel genre de données est exigé?

Ceci se traduit par la pertinence : l'indicateur doit correspondre à un objectif, encore plus important, il doit avoir une signification.



2. Comment enregistrer les données (les instruments utilisés et la fréquence de prise de mesure)?

La méthode de mesure ou d'observation doit être sûre et valide. L'indicateur doit être le plus objectif possible, difficile à biaiser et fiable.

3. Quelle sera la qualité ou la précision des données enregistrées?

La clarté et la précision de leurs formulations et leurs qualités théoriques. L'indicateur doit être bien formulé, défini précisément, ses paramètres bien établis et bien documentés.

4. Quel est le coût impliqué?

Le matériel et la main d'œuvre qui doivent être utilisés afin d'effectuer la mesure.

5. Comment analyser les données enregistrées?

Elles doivent être assez sensibles pour mettre en évidence toutes les variations significatives de l'outil de mesure. Elles doivent être aussi homogènes dans le temps afin de permettre la comparaison. Il est possible de diminuer les temps d'arrêt en prenant soin de bien prendre les mesures ainsi que de prendre bien de temps de les analyser (Huber, 2005).

Il est bien important de mentionner qu'un indicateur ne représente pas la performance en lui-même, mais plutôt une image codée d'une réalité ou d'un phénomène dans un contexte d'interprétation de la performance. Dans certains cas, les gens ne mesurent pas les indicateurs que pour améliorer leur performance, ils tendent à manipuler les données pour paraître meilleurs. Il ne faut pas oublier que de fausses données mènent à de mauvaises décisions (Mitchell et al., 2002). Un indicateur est plus qu'un simple chiffre, c'est une statistique, ou un indice. Il a comme objectif de chiffrer, de représenter mais aussi à indiquer, à donner un sens à une fonction dans un certain contexte (Voyer, 1999). Il est absolument nécessaire de le mettre en perspective d'une balise ou dans un contexte quelconque pour en tirer toute l'information désirée et le présenter correctement. Pour ce faire, l'étalonnage (benchmarking) est un processus très utilisé. L'étalonnage est un processus systématique pour mesurer la « bonne pratique » et comparer les résultats afin d'incorporer d'emblée la performance pour identifier les opportunités d'amélioration de celle-ci. De plus, il est un moyen, dans la réalité compétitive, de

définir les objectifs et les mesures de performance nécessaires afin d'initialiser les changements positifs et d'augmenter l'efficacité (Mitchell et al., 2002).

Mitchell et al. (2002), proposent une méthodologie de l'étalonnage :

- Connaître les spécificités des équipements,
- Considérer la fiabilité des sources de données existantes,
- Être facilement compris,
- Être répétable,
- Démontrer la cause et effet pour la stratégie des résultats,
- Être facilement conçu pour le suivi des enregistrements.

Sur le point de vue de la performance des équipements, l'industrie minière s'est abondamment inspirée de l'industrie manufacturière. En effet, il est possible de considérer la performance comme une valeur ajoutée à un état initial, c'est-à-dire l'amélioration d'un produit ou de la qualité d'un service. Aussi, comme l'atteinte d'un résultat minimum requis ou acceptable ou comme la réduction d'un non désirable. La performance ciblée est essentiellement établie à partir de l'extrapolation des données du passé (Tsang, 1998). Ces dernières sont obtenues à partir de facteurs déterminants. La section suivante exprime et définit les indicateurs de performance les plus utilisés dans l'industrie en général. Cependant, il ne faut pas oublier les autres aspects pouvant influencer la performance et le rendement de l'équipement tels que les facteurs organisationnels ou les facteurs associés à la gestion. En effet, ceux-ci englobent tout ce qui a trait à l'utilisation d'un équipement, à la main d'œuvre allouée aux travaux de maintenance, à la fréquence des bris et l'efficacité globale de l'équipement.

### **3.1. Disponibilité**

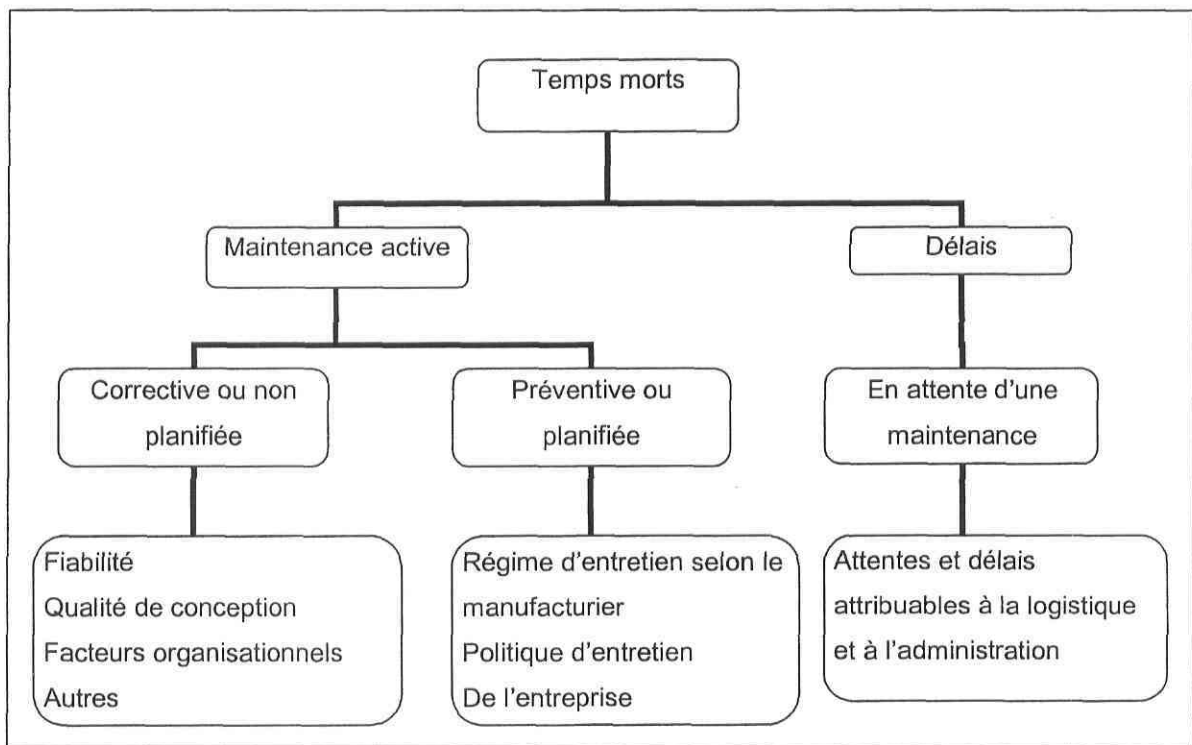
La disponibilité est associée à la fiabilité, à la maintenabilité et au support à la maintenance (BS 4778, 1991). Elle se définit comme étant la probabilité que le système effectue la mission sur tous les points pour laquelle il a été conçu et ce d'une manière satisfaisante (Blanchard, 2004). Aussi, c'est l'aptitude d'une entité en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens nécessaires est assurée (BS 4778, 1991). Il est important de mentionner que les moyens extérieurs nécessaires, autres que la logistique de maintenance, n'influencent

pas la disponibilité de l'entité. La définition mathématique générale tirée de Blanchard (2004) est la suivante :

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{Temps total} - \text{Temps morts (downtime)}}{\text{Temps total}}$$

**Équation 7 Disponibilité selon Blanchard (2004)**

Une disponibilité élevée, aussi proche de 100%, est une des conditions indispensables pour atteindre les objectifs de production au moindre coût. Deux facteurs y sont rattachés : le temps total qui est défini comme étant le temps total où l'équipement peut être théoriquement opéré. Il peut être exprimé en nombre de minutes, de jours, de mois ou d'années. Par contre, la notion de temps morts est beaucoup plus complexe et est élaborée à la Figure 4.



**Figure 4 Facteurs influençant les temps morts adaptés d'après Lewis et al, 2004**

Il est possible de remarquer que les temps morts font référence à la durée de la maintenance active et des délais. La notion de la durée de maintenance active fait appel au temps total écoulé sur l'horloge pendant lequel les mécaniciens ont réellement travaillé sur l'équipement en question. Ce temps-ci comprend toutes les actions de maintenance corrective et préventive. Les

facteurs qui affectent la maintenance et sa gestion seront discutés à la section 3.3. Dans de nombreux cas, les délais font croître le temps d'indisponibilité de façon significative. Il est fort souhaitable, sinon indispensable, de savoir à quel degré les délais affectent la disponibilité des équipements et quelles sont leurs principales causes. Les délais et les attentes peuvent se définir comme le temps écoulé lorsqu'un équipement n'est pas disponible, mais aucun travail d'entretien n'est effectué sur lui. Parmi leurs causes typiques on peut énumérer entre autres, les catégories suivantes :

- L'attente d'une pièce,
- L'attente d'une place au garage,
- L'attente d'une intervention des services externes,
- Un manque de mécaniciens,
- Un manque d'opérateurs et autres.

L'interprétation des temps morts peut mener à des définitions différentes de la disponibilité, dépendant de quelles composantes ont été prises en considération. Généralement, les termes sont déterminés de la façon suivante :

- Disponibilité intrinsèque ( $A_i$ ),
- Disponibilité mécanique ( $A_m$  ou MA),
- Disponibilité opérationnelle ( $A_o$ ).

Tout d'abord, la « disponibilité intrinsèque » considère, comme le temps mort (downtime), seulement le temps de la maintenance corrective. Du point de vue de l'utilisateur, ce n'est pas trop significatif comme indice. La définition suivante est présentée par Blanchard (2004) :

$$A_i = \frac{MTBF}{(MTBF + Mct)} * 100$$

#### Équation 8 Définition de la disponibilité intrinsèque

Où :

- Mct = (Mean Corrective Maintenance Time) temps moyen de maintenance corrective.
- MTBF = (Mean Time Between Failure) Intervalle de temps entre les défaillances pour chaque entretien non planifié. Cette notion sera traitée plus loin.

La « disponibilité mécanique » inclut toutes les maintenances actives (correctives et préventives) et assume une gestion et un support administratif idéaux (aucun délai). Elle est

particulièrement utile afin d'évaluer le rendement de l'équipement et des mécaniciens au garage et se définit à partir de la formule suivante (Caterpillar, World Class Standards, 2002) :

$$MA = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} * 100$$

**Équation 9 Définition de la disponibilité mécanique**

Où :

- MTBF = (Mean Time Between Failure) Intervalle de temps entre les défaillances pour chaque entretien non planifié. Cette notion sera traitée plus loin.
- MTTR = (Mean Time To Repair) Durée moyenne des travaux de réparation. Ceci inclut les temps de diagnostic, de réparation, d'attente pour les pièces et les tests effectués après les réparations. En plus il reflète comment les mécaniciens et les opérateurs répondent à un problème. La formule suivante présente MTTR selon Caterpillar, World Class Standards (2002) et Campbell et Jardine (2001).

$$MTTR = \frac{\text{Heures de réparations}}{\text{Nbr d'arrêts}}$$

**Équation 10 Définition du MTTR**

Pour la disponibilité mécanique, selon Caterpillar, World Class Standards (2002) les valeurs repères sont de 92% pour un équipement neuf et de 88% pour un vieil équipement. Elle fait souvent aussi objet de contrats et d'ententes formelles entre les utilisateurs et les manufacturiers (OEM, Original Equipment Manufacturers) et/ou fournisseurs.

Finalement, la « disponibilité opérationnelle » prend en considération toutes les composantes du temps d'indisponibilité des équipements, (voir Figure 4) c'est-à-dire, tous les temps de maintenance active et tout ce qui a trait les délais (logistiques et administratifs) et temps d'attente. La définition se traduit à partir de la formule suivante (Blanchard, 2004) :

$$A_o = \frac{MTBF}{(MTBF + MDT)} * 100$$

**Équation 11 Définition de la disponibilité opérationnelle**

Où :

- MDT = (Mean Downtime) Temps moyen d'indisponibilité.

Du point de vue de l'opérateur minier, la disponibilité opérationnelle est de loin la plus significative, car elle représente le vrai temps disponible pour effectuer le travail utile. En pratique, l'écart entre les valeurs de la disponibilité mécanique et opérationnelle peut être plutôt importante. Une mauvaise organisation du département des services, une rupture d'inventaires, une longue attente pour l'intervention de services externes peuvent entraîner une baisse importante de la disponibilité opérationnelle même si celle mécanique respecte les valeurs repères respectables.

Afin d'obtenir des valeurs vraisemblables et précises de la disponibilité, il faut enregistrer le plus exactement et régulièrement possible les données suivantes (Tsang, 1998) :

- Le temps exact lorsque la défaillance survient ou est notée (pour les maintenances correctives).
- Le temps exact lorsque l'unité est retirée du service pour subir une maintenance préventive ou planifiée.
- Le temps exact lorsque l'action de maintenance débute (début de la maintenance active).
- Les sous-systèmes et les composants affectés.
- Le temps total de main d'œuvre, en terme d'heures-hommes pour effectuer la maintenance (MMH Maintenance Man Hours).
- Être capable de faire la différence entre le temps de maintenance active (temps écoulé sur l'horloge) et le temps pris par la main d'œuvre.
- Le temps où la machine redevient disponible du point de vue mécanique (peu importe qu'elle soit immédiatement utilisée pour fin de production ou non).

### 3.2. Fiabilité et ses mesures

Tel que mentionné auparavant, la fiabilité est un des facteurs clés affectant la disponibilité. Elle se définit comme la probabilité qu'un équipement accomplit d'une manière satisfaisante le travail utile sur une période de temps donnée selon les conditions d'opération du manufacturier (Kales, 1998). La fiabilité dépend de plusieurs facteurs :

- Conception de l'équipement,
- Qualité de la fabrication et l'assemblage,

- Qualité des pièces, des éléments, des sous-systèmes, des consommables (combustible, huile à moteur ou hydraulique, lubrifiants, filtres, etc.), etc.,
- Qualité de la maintenance,
- Facteurs propres à l'environnement de travail,
- Facteurs humains,
- Niveau d'entraînement et de formation des opérateurs,
- Attitude des opérateurs,
- Conditions de travail des opérateurs, etc.

Une des mesures de fiabilité la plus fréquemment utilisée est le temps moyen entre les défaillances (MTBF, Mean Time Between Failures) :

$$MTBF = \frac{\text{Heures d'opération}}{\text{Nombres de défaillances}}$$

**Équation 12 Définition de MTBF**

Il s'agit d'une définition simplifiée. Elle est utilisable pour les situations où le taux de défaillances dans le temps est constant. Ceci est souvent vrai pour les entités mécaniques complexes. Or, dans les cas contraires, où le taux de défaillance est croissant ou décroissant, cette définition simplifiée n'est plus applicable (Kumar, 1989). Selon Caterpillar, World Class Standards (2002), les valeurs de MTBF pour les équipements miniers et de terrassement les résultats doivent atteindre 80 heures pour un équipement neuf et 60 heures pour un équipement plus vieux.

Un autre indice est le MTBS = (Mean Time Between Shutdowns) qui est le temps moyen entre les arrêts d'opération consécutifs. Il prend en compte les réparations planifiées et non planifiées ainsi que des entretiens préventifs et proactifs. MTBS est habituellement inférieur à MTBF. Selon Wiebmer et Widdifield (1997) pour les équipements de halage souterrains, il est souhaitable d'avoir un MTBS entre 70 et 80 heures écoulées entre les arrêts.

Une autre mesure pour quantifier la fiabilité est la fréquence de bris. Elle indique combien de fois l'unité est en état de panne par rapport au temps effectif du travail. Cet indicateur est utilisé comme mesure comparative et représente en pratique une réciproque de MTBF-Fréquence de défaillances (Blanchard, 2004, Villemeur, 1988) :

$$\text{Fréquences} = \frac{\text{Nbr de défaillances}}{\text{Temps total} - \text{Temps morts} - \text{temps inutilisé}} \left( \frac{1}{\text{unité de temps}} \right)$$

### Équation 13 Fréquences

L'industrie aéronautique et nucléaire sont allées plus loin avec des mesures de fiabilité. Tel que mentionné au chapitre 2, la notion de « Maintenance Free Operating Time, MFOT » a été introduite (Kumar, 1999). Pour l'industrie nucléaire, le ERP (Equipment Reliability Process) qui est le processus de fiabilité des équipements et PMO (Preventive Maintenance Optimization) qui est l'optimisation des maintenance préventive. Ceux-ci font parti intégral d'un processus développé par les industries nucléaires sur les informations du risque des capitaux de gestion (RIAM, Risk-Informed Asset Management) (Komljenovic et al., 2005).

### 3.3. Maintenance et sa gestion

Blanchard (2004) définit la maintenance comme l'ensemble des opérations nécessaires afin de maintenir un système, un produit ou le reconstituer à un état utile. Les objectifs principaux de la maintenance sont :

- Augmenter le temps de production (capacité de production),
- Augmenter l'exactitude de son travail (habileté à produire au niveau de tolérance spécifiée ou le niveau de qualité),
- Minimiser le coût par unité de production (plus petit coup pratiqué),
- Minimiser le risque où la capacité, la qualité et la production économique peuvent être perdues pendant une mauvaise période de temps,
- Prévenir les risques en matière de sécurité pour les employés et le public,
- Éviter le moindre risque de nuisance à l'environnement.

Il est possible d'identifier deux types de maintenance : corrective (réactive) et préventive (proactive). Celle corrective est une conséquence d'une défaillance. Celle préventive (proactive) est planifiée à l'avance. Sa fréquence et son étendu dépendent des recommandations du fournisseur. La durée de la maintenance active dépend de :

- La fiabilité et de tous ses facteurs contributeurs (conception de l'équipement, qualité de montage), section 3.2,



- La maintenabilité de l'équipement (facilité avec laquelle on peut exécuter les entretiens, est-ce que les accès aux pièces à remplacer sont faciles, le travail peut se faire de manière ergonomique, etc.),
- Les conditions de travail des mécaniciens,
- Du niveau d'habileté et de connaissance des mécaniciens,
- Des infrastructures disponibles (accès à l'équipement, outillage, espace de travail, éclairage),
- Etc.

Il faut souligner que pour le même type de travail à effectuer, la durée et le coût d'entretien réactif et non planifié sont beaucoup élevés. Selon Knights al. (2004) suite à l'étude sur la maintenance des équipements de production dans 6 mines cuprifères ont constaté que le ratio entre les coûts d'une maintenance non planifiée et d'une planifiée peut varier d'un facteur entre 1.31 et 4 fois plus selon les équipements pour la maintenance non planifiée.

Il est important de mentionner que les facteurs qui influencent la durée des actions de maintenance corrective et préventive sont sensiblement les mêmes. Par contre, à long terme, la durée totale de toutes les actions d'entretien préventif dépend aussi de la fréquence et de l'étendue des travaux exigés ou recommandés par le fournisseur. Selon Bricteux (2005), des augmentations de productivité d'entretiens dans la gamme de 5 à 10% ont été enregistrées après un an dû à l'attention donnée aux QUI, QUOI, QUAND, OÙ, POURQUOI, COMMENT des travaux qui devaient répondre aux espérances du demandeur de la façon la plus efficace et efficiente.

Un facteur important est le support à la maintenance. Il fait référence à tout ce qui a trait au maintien adéquat de l'inventaire des pièces de rechange et aux ressources disponibles nécessaires aux entretiens des équipements. Il influence, plus ou moins directement la durée des actions de maintenance ainsi que les délais. Le support à la maintenance inclut :

- L'efficacité et la vitesse de réaction des services internes ainsi que la communication entre ces derniers et les opérateurs,
- La disponibilité des pièces de rechange,
- Les infrastructures disponibles pour effectuer les entretiens,
- L'espace, les outils, les instruments de mesure, etc.,
- La disponibilité et l'efficacité des services externes.

Il est important de souligner que la liste de délais qui suit n'est pas exhaustive, il faut plutôt voir cette partie comme un exemple de composantes du temps total des délais.

- Le temps écoulé entre le moment de défaillance et celui où la maintenance débute est trop longue (raisons possibles : lenteur de réaction des services internes, manque d'espace au garage, etc.)
- Délais de réparations causés par un manque de pièces de rechange, un manque de personnel, etc.,
- Ralentissement des travaux de maintenance (suite à l'outillage insuffisant et aux formations et aux habilités inadéquates des mécaniciens).

En somme, un bon programme d'entretien préventif permet de réduire considérablement les temps morts et les coûts reliés à l'indisponibilité. Il est important de mentionner que ces derniers ne se limitent pas qu'à des coûts directs (main d'œuvre, pièces, outillage, énergie, coûts administratifs), mais ils incluent aussi les coûts indirects tel que la valeur de la production perdue et ce tout aussi bien ceux représentant les maintenances correctives que ceux des divers délais. Tomlison (2001) mentionne que les pertes de temps dues à de piètres maintenances peuvent augmenter de 300% en coût de perte de production.

### 3.3.1. *Proportion des temps morts de l'équipement provoqués par les défaillances*

Cet indicateur de performance exprime la contribution des temps morts totaux causés par les défaillances d'un équipement dans l'ensemble de tous les temps morts, c'est-à-dire seulement le temps devant lequel les mécaniciens travaillent sur l'unité (les délais sont exclus) par rapport à tous les temps morts globaux (Wireman, 1998). Tel que mentionné auparavant, le terme temps mort désigne tous les temps perdus dus aux maintenances, aux opérations, aux transports et aux achats dus au manque de l'inventaire. Cet indicateur se traduit comme suit :

$$\frac{\text{Temps morts causés par les défaillances}}{\text{Total des temps morts}}$$

#### **Équation 14 Proportion des temps morts**

Dans le cas idéal, cet indicateur devrait s'approcher de zéro.

### 3.3.2. Durée moyenne des travaux d'entretien

Ce concept, associé avec la notion de maintenabilité, est la probabilité de réaliser une opération de maintenance dans un temps imparti et dans des conditions données. Elle peut se traduire par une mesure de la facilité à effectuer les actions de maintenance. Aussi, elle peut se définir comme étant une caractéristique de la conception qui peut être exprimée par la fréquence des maintenances, le temps et le coût de celles-ci (Blanchard, 2004). Il est important de mentionner qu'il existe quelques interprétations possibles de MTTR. Campbell et Jardine (2001) le définissent comme:

$$MTTR = \frac{\text{Temp morts non planifiés}}{\text{nombre d'arrêts}}$$

#### Équation 15 Définition de MTTR selon Campbell et Jardine (2001)

Le résultat désiré se situe entre 3 et 6 heures (Caterpillar, World Class Standards, 2002). Cet indicateur peut être utilisé par le planificateur mécanique afin d'établir l'horaire de la main d'œuvre et du budget lorsqu'il connaît les maintenances à venir.

Certaines sources (Blanchard, 2004) le considèrent comme le temps moyen de maintenance corrective ( $M_{CT}$ ) :

$$M_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ct}}{n}$$

#### Équation 16 Temps moyen des maintenances correctives

Où,

- $n$  = nombre d'actions de maintenances correctives dans une période donnée.

Il faut souligner que certaines sources considèrent MTTR comme le « Mean Time to Restore » (BS 4778, 1991) et l'interprètent comme un indice s'appuyant exclusivement sur les entretiens réactifs (tâches de réparation). Dans la littérature technique il est possible de retrouver également la notion de temps moyen pour effectuer la maintenance (MTTM, Mean Time To Maintenance) qui tient compte de toutes les actions de maintenance confondues, alors aussi bien celles réactives que celles planifiées à l'avance (y inclut les entretiens préventifs et/ou proactifs). Une définition est fournie par Hale et al., (2004) :

$$MTTM = \frac{Mdt}{Total\_Maint}$$

**Équation 17 MTTM selon Hale et Al. (2004)**

Où :

- Mdt = (Mean Down Time) Moyenne des temps morts causés par les maintenances planifiées et non planifiées incluant tous les temps de logistique.
- Total\_Maint = le nombre total d'action de maintenance planifié et ce évalué sur la période totale.

Les 2 facteurs ci-dessus ont été recommandés dans plusieurs publications sur la fiabilité. Les formules peuvent être vérifiées dans le RCA Toolkit pour les pratiques commerciales ou MIL-HDBK-338 ou dans IEEE la publication standard de définitions (Hale et al., 2004).

**3.3.3. Temps moyen entre les maintenances, MTBM**

Du point de vue de l'exploitant, aussi bien les défaillances que les actions de maintenance préventive (proactive) provoquent toutes les deux un retrait temporaire de l'équipement du service ce qui se répercute négativement sur la disponibilité. En effet, un équipement qui brise rarement mais qui subit des entretiens préventifs trop souvent peut avoir une disponibilité insatisfaisante, même si sur le plan de la fiabilité il excelle très bien. Pour cette raison le temps moyen entre les maintenances, MTBM est une mesure utile de la performance. Ce dernier tient compte des maintenances préventives (planifiées) ainsi que des maintenances correctives (non planifiées). Il est important de mentionner que MTBM peut être considéré comme un des paramètres associés avec la fiabilité. L'équation suivante montre comment évaluer le temps moyen entre les maintenances (Blanchard, 2004) :

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_u} + \frac{1}{MTBM_s}}$$

**Équation 18 Définition de MTBM selon Blanchard (2004)**

Où :

- MTBM<sub>u</sub> = Intervalle moyen des maintenances correctives (non planifiées).
- MTBM<sub>s</sub> = Intervalle moyen des maintenances préventives (planifiées).

La réciproque de  $MTBM_u$  et  $MTBM_s$  constitue le taux de maintenance en terme d'actions de maintenance par heure d'opération (Blanchard, 2004).

### 3.3.4. *Main d'œuvre allouée aux travaux urgents*

Un autre indicateur de performance associé avec la maintenance, est la main d'œuvre allouée aux travaux urgents (Wireman, 1998). Il peut être attribué entièrement à l'entreprise ou tout simplement à un équipement en particulier. De plus, il peut être utilisé afin de déterminer la distribution du travail mécanique. Cet indicateur se définit comme suit :

$$\frac{\text{Main d'oeuvre pour les réparations urgentes}}{\text{Main d'oeuvre totale}}$$

#### **Équation 19 Main d'oeuvre alloué aux travaux urgents**

Idéalement, cet indice devrait s'approcher de zéro.

### 3.3.5. *Pourcentage de l'entretien planifié*

Le pourcentage de l'entretien planifié est considéré comme une des mesures pour évaluer la politique de maintenance adoptée par l'entreprise. Les conséquences dues aux défaillances subites sont majeures, il est souhaitable que la grande majorité des travaux soit planifiée et mise au calendrier à l'avance (voir au début du chapitre 3.3). Selon Wireman (1998), il se définit comme:

$$\frac{\text{Temps de maintenance active planifiée}}{\text{Temps total de maintenance active}}$$

#### **Équation 20 Pourcentage de l'entretien planifié en terme d'heures écoulées sur l'horloge**

Ou :

$$\frac{\text{Main d'oeuvre en entretien planifié}}{\text{Temps total de main d'oeuvre}}$$

#### **Équation 21 Pourcentage de l'entretien planifié en terme d'heures faites par la main d'oeuvre**

Selon Wiebmer et Widdifield (1997), le taux de l'entretien planifié désiré doit être autour de 80% pour une mine à ciel ouvert et comme la pratique l'indique, dans les mines souterraines, il est nettement inférieur soit entre 40% et 50% et il n'est pas rare que l'entretien réactif constitue au-delà des trois quarts de toutes les interventions.

### 3.3.6. Conformité de l'horaire

Cet indicateur arbore la transition entre la planification et le travail qui a été exécuté. L'importance n'est pas apportée sur ce qui a été planifié, mais sur ce qui est à l'horaire de ce qui a été réellement fait. La formule suivant est adaptée d'après Wireman (1998)

$$\frac{\text{Heures de maintenance mises à l'horaire}}{\text{Temps total de la maintenance exécuté}}$$

#### Équation 22 Conformité de l'horaire

Celle-ci indique si les horaires sont établis de manière efficace et permettre aux gestionnaires de vérifier sa conformité, son impacte sur l'organisation et d'effectuer des améliorations continues. L'objectif de cet indicateur est de 100%, si le travail est à l'horaire, il devrait être fait (Wireman, 1998).

Un autre indicateur est présenté, mais pour l'efficacité de la main d'œuvre. Il montre que l'ampleur de la maintenance complétée s'apparente au temps alloué par la planification. Cette formule est tirée de Campbell et Jardine (2001).

$$\text{Efficacité Main d'oeuvre} = \frac{\text{Temps écoulé sur l'horloge (pour effectuer la maintenance)}}{\text{Temps planifié}}$$

#### Équation 23 Efficacité de la main d'oeuvre

Cet indicateur présente cependant un certain défaut, car si le temps planifié est surestimé, les cas où il y a lenteur du travail effectué par le personnel sont inaperçus.

### 3.3.7. Taux de maintenance

Ce point se traduit comme étant un taux d'entretien : l'ensemble de la main d'œuvre utilisée pour entretenir une pièce d'équipement par rapport à une heure de travail de cette dernière pendant une période donnée :

$$MR = \frac{MMH}{\text{Heures d'opération}}$$

#### Équation 24 Taux de maintenance selon (Caterpillar, World Class Standards, 2002)

Où :

- MMH = (Maintenance Man Hours) total des heures de la main-d'œuvre sur cette pièce d'équipement.

Ce résultat doit être autour de 0.2 pour une machine neuve et de 0.3 pour une machine plus vieille (Caterpillar, World Class Standards, 2002). Selon Wiebmer et Widdifield (1997), pour un camion de surface, le résultat souhaitable est entre 0.25 et 0.35. Les valeurs élevées de cet indicateur peuvent être un des indicateurs de la détérioration considérable d'un équipement dû par exemple à son vieillissement. Ainsi, le taux de maintenance peut être utilisé comme un des critères de retrait d'une pièce d'équipement du service et de son emplacement.

### 3.4. Utilisation

L'utilisation se définit comme étant la période de temps où l'unité est employée selon la fonction pour laquelle il a été conçu. Il est possible de la calculer en tant que pourcentage du temps de disponibilité selon l'équation suivante (Caterpillar, World Class Standards, 2002) :

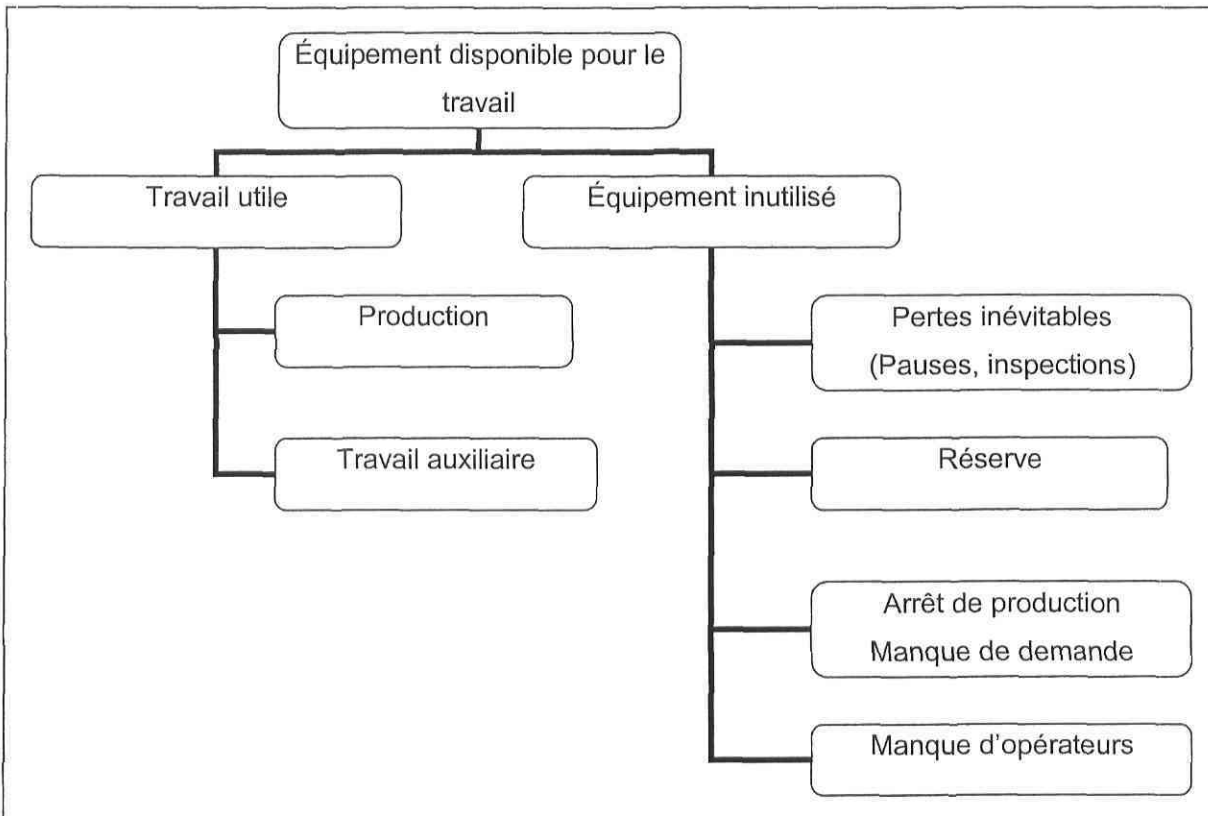
$$U = \frac{\text{Heures d'opération}^* (\text{heures - moteurs})}{\text{Heures totales de disponibilité} \quad (\text{uptime})}$$

#### Équation 25 Définition de l'utilisation

\* Pour les équipements munis d'un moteur diesel il est possible de prendre les heures moteurs ainsi que pour les équipements de forage les heures de percussion, etc.

Suite à cette définition, cet indice est parfois appelé « utilisation de la disponibilité ». La différence entre le temps total de disponibilité et le temps d'opération correspond à l'état où une

pièce d'équipement est disponible à effectuer le travail, mais inutilisée « idle ». La Figure 5, ci-dessous, montre les états possibles d'un équipement techniquement disponible et indique quelques raisons du manque d'utilisation.



**Figure 5 Exemple de la répartition du temps de disponibilité d'un équipement**

Le pourcentage d'utilisation devrait toujours être autour de 90% (Caterpillar, World Class Standards, 2002). En bas de ce résultat ceci peut indiquer, par exemple, un parc d'équipements trop grand, une mauvaise gestion de la répartition de la flotte, une gestion déficiente de la production, un manque d'opérateurs, etc. Au-dessus de 90%, ceci peut démontrer une flotte restreinte et peut entraîner des bris prématurés. Lorsque le temps de disponibilité est connu, le temps de travail utile peut être évalué en utilisant les heures-moteurs de l'équipement. Il est fort souhaitable de pousser l'analyse plus loin et d'étudier les composantes de temps où l'équipement est disponible mais non utilisé. Une telle analyse peut permettre d'identifier les actions visant la croissance de la performance. L'utilisation des heures-moteurs n'est pas toujours la meilleure façon afin de quantifier le temps d'opération, mais c'est le moyen utilisé dans la grande majorité des mines. Ceci vient du fait qu'un moteur fonctionnant ne signifie pas nécessairement que la machine exécute le travail pour lequel il a été conçu. Sur



les équipements de forage, si les heures de percussion sont prises en note, le temps passé sur le déplacement de l'équipement n'y paraît pas.

### **3.5. Efficacité globale de l'équipement**

La notion d'efficacité globale d'un équipement (voir chapitre 2), OEE, peut être employé afin de prendre les bonnes décisions économiques et techniques lors d'un achat d'un équipement et peut aussi aider à l'amélioration du fonctionnement d'un équipement déjà en place. Selon Campbell et Jardine (2001), OEE mesure une efficacité globale des opérations après la perte de temps causée par les temps d'arrêts planifiés et non planifiés. Elle inclut les équipements, le procédé, le matériel et les personnes concernées qui aident à identifier là où la plupart des pertes se produisent. Elle met l'importance sur la maintenance, l'ingénierie et la production au niveau du rendement de l'installation.

En somme, OEE est la mesure de toutes les activités effectuées par l'équipement sur une période de temps donnée (Campbell, Jardine, 2001). Malheureusement, elle ne permet pas de vérifier la vraie cause du coût principal, à moins que la cause soit très évidente. Selon Moubray (1997), ce qui est primordial est de bien distinguer tous les facteurs contributeurs qui devront être mesurés sur des bases rapprochées. En effet, OEE est défini comme produit de trois facteurs : la disponibilité, l'utilisation et l'efficacité de production. Ces derniers ont un poids égal dans l'équation. Si un de ceux-ci est biaisé ou mal évalué, c'est toute la formule qui est alors mal évaluée.

### **3.6. Facteurs économiques**

Les facteurs économiques permettent d'identifier les coûts de l'investissement incluant ceux du retrait de l'équipement. Les unités utilisées à cet effet sont dans la majorité des cas en un coût par tonne du minerai ou par tonne de tout-venant.

L'analyse du coût de cycle de vie inclut tous les coûts d'un équipement ou d'un système étudié. En effet, il inclut (Blanchard, 2004):

- Les coûts de design et de développement,
- Les coûts de production, les coûts de maintenance,
- Le coût de retrait de l'équipement.

L'analyse du coût de cycle de vie inclut plusieurs étapes appliquées selon certains degrés en fonction de la profondeur de l'analyse requise. Les étapes proposées afin d'effectuer une analyse de coût du cycle de vie sont les suivantes (Blanchard, 2004):

1. Définir le système à l'étude.
2. Décrire le cycle de vie de l'équipement.
3. Effectuer un organigramme afin d'identifier tous les points qui peuvent provoquer un arrêt de l'équipement.
4. Identifier toutes les données pouvant servir à l'étude du cycle de vie.
5. Identifier tous les coûts associés à un possible arrêt de l'équipement.
6. Choisir un modèle mathématique afin de faciliter l'analyse du cycle de vie et l'évaluation. Le modèle doit être compatible au système qui est à l'étude.
7. Identifier le système où le coût est le plus élevé et établir une relation cause à effet.
8. Effectuer une analyse de sensibilité.
9. Construire un diagramme de Pareto afin d'identifier les priorités.
10. Identifier les alternatives faisables.
11. Identifier une approche préférentielle.

Le coût de cycle de vie évalué, il est possible de déterminer l'efficacité des coûts. Afin de considérer les coûts de maintenance, plusieurs approches peuvent être abordées :

- Coût par action de maintenance (\$/AM)
- Coût de la maintenance par heure opérée (\$/HO)
- Coût de la maintenance par mois (\$/mois)

Wireman (1998) mentionne plusieurs indicateurs de performance reliés aux coûts. Comme les coûts des réparations des défaillances. Ceci mesure le coût direct des réparations ainsi que des réparations urgentes dont la formule est la suivante :

$$\frac{\text{Coûts directe des réparation de panne}}{\text{Coûts directs totaux de maintenance}}$$

**Équation 26 Coût des réparation par rapport au coût total des maintenance**

Cet indicateur inclut tous les coûts de main d'œuvre, de location d'équipement si nécessaire, d'entrepreneurs, et tous les autres coûts directs de maintenance. Par contre, le coût de perte de

production ne doit pas être indiqué dans cette définition. Selon Wireman 1998, cet indicateur souligne l'impact des réparations de défaillance et celles urgentes sur le budget de maintenance.

Un autre indicateur proposé par Wireman (1998), est le coût de matériel qui est planifié pour effectuer les maintenances. Ceci met l'accent sur la planification et le contrôle du matériel afin de réaliser les maintenances, selon la formule suivante :

$$\frac{\text{Coût du matériel "planifié" pour effectuer les maintenances}}{\text{Coûts totaux du matériel utilisé pour effectuer les maintenances}}$$

**Équation 27 Coût de matériel pour effectuer les maintenances planifiées par rapport au coût de matériel pour effectuer le total des maintenances**

Cette formule est obtenue en divisant le coût de matériel de maintenance chargé pour les travaux planifiés par le total des coûts de matériel de maintenance. Selon Wireman (1998), il est pratiquement impossible que cet indicateur atteigne 100%, par contre, il doit être très près afin de bien planifier le matériel utilisé lors de la maintenance ainsi que ces coûts. De plus, cet indicateur apporte aux gestionnaires l'opportunité d'améliorer la planification du matériel pour accomplir les maintenances et l'impact subséquent de la performance des entrepôts. La même vérification peut-être faite par rapport aux coûts de la main d'oeuvre planifiée comparativement aux coûts totaux de la main d'oeuvre pour toutes les maintenances. Encore une fois cet exercice permet aux administrateurs d'identifier les voies d'amélioration pour la gestion du personnel.

En somme, plusieurs catégories d'indicateurs sont présentées comme :

- Disponibilité,
- Fiabilité,
- Maintenance et sa gestion,
- Utilisation,
- Efficacité globale de l'équipement,
- Facteurs économiques.

Chacun d'entre eux englobe plusieurs indicateurs. Malheureusement, ces derniers ne seront pas considérés davantage dans cet écrit. Par contre, les facteurs économiques sont associés avec ceux techniques de façon directe et indirecte (voir Figure 2, p.8). Dans ce contexte,

l'amélioration des indices techniques peut apporter des résultats dans le même sens sur le plan économique. Les indicateurs économiques fournis par Wireman (1998) ne sont qu'un petit échantillon de ce qui peut être mesuré dans la réalité. Par contre, il faut garder en mémoire que ces indicateurs pèsent dans la balance et sont tous aussi importants que les indicateurs techniques et méritent aussi d'être étudiés dans l'avenir. Il est à souligner que vu l'ampleur des problèmes et des facteurs associés à la performance et à l'efficacité, cette étude portera exclusivement sur les indicateurs de l'ordre technique et opérationnel.

#### 4. MÉTHODES ET PROCÉDURES DE CUEILLETTE DE DONNÉES DANS LES MINES SOUS ÉTUDE

D'après ce qui a été mentionné au chapitre précédent, des indices de performance (KPI) adéquats concernant les procédures et méthodes de cueillette d'informations crédibles et précises permettent de :

- Déceler les problèmes nuisant à l'efficacité des équipements et des systèmes;
- Faciliter l'identification des voies d'amélioration;
- Valider les effets des actions correctives.

Comme la recherche bibliographique l'a démontré, il n'y a que peu d'information disponible au sujet des indicateurs de performance employés par les compagnies minières afin d'évaluer la performance de leurs équipements de production. Surtout, les références concernant les mines souterraines sont peu nombreuses. Il est donc important d'évaluer la situation actuelle en prenant les connaissances pertinentes et en développant la compréhension de la signification et de l'utilité des indices de performance employés actuellement par les entreprises minières. Dans ce contexte, cette étude vise en premier d'obtenir les informations précises à ce sujet. Il a été décidé à se concentrer sur les mines souterraines considérées comme bien mécanisées. Dans cette optique, les mines dont la production repose sur les méthodes de basses productivités (comme celle par « chambre-magasin »), caractérisées par un rapport « production/main d'œuvre » très bas, ne sont pas prises en considération. De plus, la demande d'informations s'est aussi faite auprès de quelques mines à ciel ouvert. Il a été décidé de chercher de l'information majoritairement auprès des mines au Canada central et de l'est.

##### 4.1. Cueillette d'informations et de données pour le projet

Pour des raisons pratiques (notamment l'éloignement de certains sites et des coûts de voyage très importants), la cueillette de données pertinentes s'est faite par le biais d'un questionnaire envoyé par courrier, courriel ou télécopieur. Ce questionnaire a été préparé en quatre versions selon la langue et la commodité exploitée (l'exemple en français pour une mine souterraine métallifère est présenté à l'Annexe A). Il comporte 5 parties distinctes suivantes :

1. Données générales sur la mine incluant les substances minérales produites, production journalière, l'organisation du travail, la taille de la flotte d'équipement, etc.

2. Moyens, méthodes et procédures pour saisir et traiter les données d'informations associées à la performance et à l'efficacité des équipements (y inclut le personnel impliqué à la saisie des données, caractère et fréquence des rapports, circulation et destinataires des rapports, etc.)
3. Détails sur l'évaluation de la disponibilité, de l'indisponibilité et de leurs composantes. Cette partie fournit surtout les informations sur le niveau de pertinence et de précision des données cueillies en vue du suivi de la performance.
4. Mesures et indices utilisés pour quantifier divers aspects de l'efficacité (indicateurs de performance utilisés à la mine donnée ainsi que les définitions et les formules mathématiques).
5. Suivi et évaluation des facteurs économiques (quels éléments sont tenus compte afin d'évaluer les coûts d'entretien, les analyses économiques faites avant de changer d'équipements et les comparaisons de leur performance avec le reste de l'industrie).

#### **4.2. Analyse des questionnaires reçus**

25 questionnaires ont été expédiés, dont 22 à des mines souterraines et 3 à des mines à ciel ouvert. Les mines visées étaient celles dont la production dépend de façon significative de la performance des équipements mobiles mécanisés. 12 mines souterraines sur 22 et 1 mine à ciel ouvert sur 3 ont répondu à l'enquête. Dans ce contexte, cette dernière a été prise en considération à titre comparatif. Dans la plupart des cas, les personnes qui ont répondu sont les surintendants ou les contremaîtres des départements d'entretien ou de mécanique. Les formulaires remplis et retournés faisaient objet d'une analyse profonde et dans certains cas, des questions supplémentaires ont été formulées lorsque des éclaircissements s'avéraient nécessaires. Pour ce faire, les personnes-ressources ont été contactées par téléphone, courriel ou télécopieur. Nos demandes d'éclaircissement ont été bien accueillies et les explications obtenues ont bien servi afin de compléter les informations. Pour le reste de l'étude, les résultats fournis par les 12 mines souterraines seront analysés ainsi que les données obtenues de la mine à ciel ouvert seront analysées ultérieurement.

NOTE : Concernant les analyses et les discussions qui suivent, il est important de mentionner qu'il se pourrait que la somme des données ne soit pas le même nombre que le total des mines sondées. Si le résultat est supérieur, ceci vient du fait qu'il peut y avoir plusieurs notions pour la même réponse. Si par contre le résultat est inférieur, c'est qu'aucun résultat n'a été fourni pour cette question.

### 4.3. Analyse de données générales sur les mines souterraines

#### 4.3.1. Substances minérales exploitées

La majorité des mines recensées produisent plus d'une substance minérale. Pour cette raison, la somme de mines dans le tableau qui suit est supérieure au nombre de répondants. Le Tableau 2 présente la répartition des répondants selon la commodité exploitée.

**Tableau 2 - Répartition des mines sondées selon leurs commodités exploitées**

Commodités exploitées	Nombre de répondants
Métaux de base (cuivre, zinc, nickel, etc.)	9
Métaux précieux (or, argent)	4
Autres métaux ou minéraux industriels	2

Comme le montre le tableau ci-dessus, la majorité des mines recensées exploite les métaux de base. Malgré de gros efforts, le taux de réponse de la part de mines exploitant d'autres substances minérales a été infime.

#### 4.3.2. Production journalière

La production journalière analysée à ce point est la quantité moyenne de minerai extraite (ou de substance minérale) à la surface au cours d'une journée de travail normale, déclarée par les mines. Le Tableau 3 présente la répartition des répondants par rapport au tonnage journalier ainsi que la méthode d'exploitation utilisée.

**Tableau 3 - Répartition des mines sondées par rapport à leur tonnage journalier ainsi que leurs méthodes d'exploitation**

Tonnage journalier (t/j)	Nombre de répondants	Méthode d'exploitation		
		Sous-niveaux longs trous	Chambres et piliers	Coupe et remblais
2 001 – 4 000	2	2*	-	1*
4 001 – 6 000	3	2	1	-
6 001 – 8 000	6	5	-	1
8 001 – 10 000	1	1	-	-
Total	12	10*	1	2*

\*Une des mines utilise ces deux méthodes d'exploitation

Le tonnage journalier minimum observé est de 2700 et le maximum est de 10 000. Il est possible de remarquer que la méthode d'exploitation par longs trous est celle la plus souvent utilisée. Toutes les mines sondées fonctionnent avec un système de chargement et de halage sans rails (trackless).

#### 4.3.3. L'organisation du travail

Le tableau suivant représente l'organisation du travail, c'est à dire, l'horaire des travailleurs observés dans les différents cas.

**Tableau 4 - Organisation du travail**

Nombre de jours ouvrables par semaine	Nombre de quarts et d'heures de travail	Nombre de répondants
7	2 x 11h	2
	2 x 10.5h	4
	2 x 10h	2
	2 x 8.5h ou 10.5h	1
	3 x 8h (sur semaine) et 1 x 12h (fin de semaine)	1
6	2 x 10h	1
5	2 x 8h ou 10h	1



La majorité des exploitations travaille 7 jours par semaine (10 mines sur 12). Dans cette catégorie, les heures par quart de travail varient beaucoup.

#### 4.3.4. Taille de la flotte d'équipements mobiles

En vertu des objectifs de ce document, la taille de la flotte d'équipements mobiles utilisée pour la production et le développement est une des caractéristiques importantes. Ici, les équipements faisant partie de ce groupe et pris en considération sont :

- Équipements de forage de production (foreuses longs trous et/ou jumbos de forage);
- Équipements de forage de développement (jumbos de forage);
- Équipements de chargement/marinage (chargeuses navettes);
- Équipements de halage (camions);
- Équipements de boulonnage (boulonneuses).

Les mines recensées disposent de flottes entre 16 et 64 pièces d'équipements de production. La taille des flottes a été utilisée comme critère pour établir trois catégories qui seront conservés tout au long de cette étude. Ceci a pour but l'analyse de possibles liens et tendances entre la taille de la flotte et le suivi des indices de performance (KPI). Les catégories établies ainsi que le nombre de mines dans chacune d'elles sont présentées dans le Tableau 5 ci-dessous.

**Tableau 5 - Taille de la flotte d'équipements de production**

Taille d'équipements de production	Nombre de répondants	Production journalière (t/j)			
		2001-4000	4001-6000	6001-8000	8001-10000
A) 15 à 30	6	-	3	3	-
B) 31 à 45	5	2	-	3	-
C) 46 et plus	1	-	-	-	1

La catégorie dont la taille est la plus grande à effectivement la plus grande production journalière. Par contre, pour les deux autres catégories, aucune tendance ne s'y dégage. Ceci peut se justifier par la grande diversité des caractéristiques des gisements exploités, la méthode de minage utilisée, etc.

#### 4.4. Moyens pour saisir les informations sur l'efficacité et la productivité des équipements

##### 4.4.1. Personnel impliqué

Toutes les mines indiquent qu'elles disposent d'un système de suivi de la performance. Le Tableau 6 présente les personnes impliquées dans les trois catégories des mines définies au point 4.2.3.

**Tableau 6 - Personnes impliquées lors de la saisi et de l'entrée des données**

Catégorie de la mine	Poste de la personne impliquée	Fréquence
A 6 mines	Contremaîtres mécaniques	6
	Contremaîtres de la production	5
	Mécaniciens	4
	Opérateurs	3
	Planificateurs	3
	Commis à l'ingénierie	3
	Superviseurs	1
B 5 mines	Contremaîtres mécaniques	5
	Mécaniciens	4
	Opérateurs	4
	Planificateurs	4
	Contremaîtres de la production	3
	Commis à l'ingénierie	2
C 1 mine	Contremaîtres mécaniques	1
	Mécaniciens	1
	Opérateurs	1
	Planificateurs	1
	Contremaîtres de la production	1
	Commis à l'ingénierie	1
	Préposés au marteau ou brise roches	1

Comme l'indique le Tableau 6, dans tous les cas, le contremaître mécanique est impliqué dans le processus et dans 9 cas sur 12 des cas, le contremaître de la production l'est aussi. De plus, au moins 66% des mines impliquent les opérateurs (8 cas sur 12) et ou mécaniciens (9 cas sur

12) dans leur processus de prise de données. Ensuite, 8 mines sur 12 incluent tous les gens touchant la planification. Finalement, une mine implique aussi le préposé au brise roche.

Selon les informations obtenues, les mécaniciens semblent ne pas être impliqués dans le processus dans 3 mines, tandis que les opérateurs n'y participent pas dans 4 mines. Cependant, ces employés sont une des sources la plus cruciale d'information. Sur une note plus générale, il est possible de remarquer que, pour ce point, toutes catégories confondues, la quantité de personnes impliquées est sensiblement la même.

#### *4.4.2. Façon de cueillir les données*

11 des répondants sur 12 affirment se servir des formulaires en papier ou des fichiers Excel comme premier pas afin de prendre en note les données et les informations. Il s'agit donc d'une première étape de plus dans le processus, car tout le contenu de ces formulaires doit être par après saisi et introduit aux fichiers électroniques. Pour les fins de suivi des performances des équipements et de maintenance, 4 mines emploient aussi les bases de données de type Oracle, 4 mines qui utilisent Microsoft Access et une seule se sert de Lotus. Toutes les mines utilisent les logiciels de gestion de la maintenance (CMMS) tels que: JD Edouards, Datastream 7i, Guide de Cogep, MAINT, Equipment Instrumentation, AVANTIS, SIMS, mais aucun d'eux ne paraissent dominants.

#### 4.4.3. Fréquence des rapports

Le tableau suivant montre l'analyse de la fréquence des différentes facettes des rapports selon la catégorie de la flotte d'équipement.

**Tableau 7 - Fréquence des rapports sur différents aspects de la performance des équipements et de maintenance produits dans les mines**

Types de rapport	Quotidien			Hebdomadaire			Mensuel		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Disponibilité	1/6	-	-	-	1/5	-	5/6	5/5	-
Utilisation	1/6	-	-	2/6	3/5	-	5/6	4/5	1/1
Travail effectué	1/6	-	-	2/6	2/5	-	4/6	3/5	1/1
Maintenance*	1/6	-	-	2/6	2/5	-	4/6	2/5	-
Coûts de maintenance	-	-	-	-	-	-	4/6	5/5	1/1
Coûts d'opération	-	-	-	-	-	-	5/6	5/5	1/1
MTBF (Temps moyen entre les défaillances)	-	-	-	-	-	-	3/6	2/5	-
MTTR (Temps moyen entre les réparations)	-	-	-	-	-	-	3/6	2/5	-
Ratio travail planifié/non planifié	-	-	-	1/6	-	-	-	-	-

\* ce point inclut toutes les mesures pouvant être prises concernant les temps des actions de maintenance

Comme l'indique le tableau précédent, les rapports sont habituellement préparés chaque mois, mais il y a 6 mines où les rapports hebdomadaires sont préparés et dans un cas même des rapports quotidiens. Il s'agit de la mine dont le nombre d'équipements est le moins élevé (16 équipements de production). Selon l'enquête, les mines quantifient entre 4 et 8 aspects de la performance, mais il n'y a aucune tendance associée avec la taille de la flotte se dégageant. Il faut souligner que les mesures importantes de fiabilité et de maintenance, tel que MTBF et MTTR ne sont guère surveillées par plus de la moitié des répondants y inclut celui qui dispose d'une flotte la plus nombreuse.

#### **4.5. Parties prenantes des rapports concernant la performance des équipements et de maintenance**

Dans tous les cas, les rapports sont au moins lus par une personne. Ils sont destinés habituellement aux gestionnaires ou la direction de la mine à divers niveaux de responsabilité. Il devient de plus en plus courant que les rapports soient disponibles sur un service d'Intranet de la mine (6 cas sur 12). Ce système permet à tous les employés de la mine de consulter les données sur les performances et l'efficacité de leurs équipements.

#### **4.6. Cueillettes d'informations concernant la disponibilité**

La disponibilité est une des mesures de performance la plus surveillée dans les mines. L'exactitude de ses valeurs dépend de la précision avec laquelle on prend en note le temps et/ou la durée des événements ou des actions associées avec elle. Parmi eux, il faut nommer les suivants :

1. Début de la période d'indisponibilité (moment d'occurrence d'une défaillance ou de retrait du service pour fins d'entretien planifié).
2. Début de l'action d'entretien (début de la maintenance active).
3. Fin de l'action d'entretien.
4. Durée des délais ou du temps d'attente à l'intérieur du temps d'indisponibilité.

Ad.1

Le changement du statut d'une pièce d'équipement de « disponible » (up) en « indisponible » (down) peut être associé avec l'apparition d'une défaillance qui rend cet équipement incapable d'exécuter le travail utile ou avec un retrait délibéré du service à cause d'un entretien planifié. Toutes les mines enregistrent ce moment, mais avec une précision différente. Le Tableau 8 montre la statistique selon les trois catégories.

**Tableau 8- Précision des données lorsque l'équipement devient indisponible selon les catégories**

Précision des données	Catégories			Total
	A	B	C	
Heures exactes	4/6	3/5	1/1	8/12
Quart de travail près	2/6	2/5	-	4/12

Comme l'indique le tableau ci-dessus, les 2/3 des mines interrogées le font à l'heure exacte, tandis que dans les autres, au quart de travail près. Il paraît qu'il ne s'y dégage aucune tendance particulière par rapport à la taille de la flotte des équipements de production.

#### Ad.2

Il s'agit d'un moment où la maintenance active (travail réel) sur la machine retirée du service commence. Dans la grande majorité des cas, il n'est pas égal au début de la période d'indisponibilité. Ceci est dû aux diverses raisons associées avec la logistique et même l'administration (temps de réaction des services mécaniques suite à une défaillance, remorquage de la machine hors service, attente après la place au garage, manque de mécaniciens et/ou de pièces, etc.). Le saisi du moment au début de la maintenance active est donc un des moyens pour mieux évaluer les délais qui allongent la période d'indisponibilité. Le tableau ci-dessous illustre la précision avec laquelle le moment où l'action d'entretien débute est saisi.

**Tableau 9- Précision des données lors du début de l'action d'entretien selon les catégories**

Précision des données	Catégories			Total
	A	B	C	
Aucune note prise	1/6	1/5	-	2/12
Heures exactes	3/6	1/5	1/1	5/12
Quart de travail près	2/6	3/5	-	5/12

Ce tableau montre clairement que les gestionnaires attribuent moins d'attention à ce moment par rapport au début de l'indisponibilité. En premier temps, deux répondants ne saisissent pas du tout le moment où l'action d'entretien débute. Ils perdent ainsi un des moyens intéressants pour mieux analyser les causes d'indisponibilité et pour identifier les actions correctives. En deuxième temps, même ceux qui prennent le début d'entretien, le font avec moins de précision que dans le cas précédent (ad.1). Seulement 5 mines notent l'heure exacte de cet événement (8 mines font ainsi pour le début de l'indisponibilité). Il paraît que l'importance de ces données

n'est pas pleinement reconnue par les répondants, ce qui affecte la qualité des analyses visant l'amélioration de la disponibilité des équipements.

### Ad.3

Théoriquement, la fin des travaux d'entretien (aussi bien correctif que préventif) marque aussi le passage de l'état de l'indisponibilité « down » à celui de disponible « up ». Il est donc normal que toutes les mines recensées portent beaucoup d'attention à ce moment et l'enregistrent. Cependant, la façon d'interpréter le retour à l'état de disponibilité ne fait pas l'unanimité. Par exemple, 4 mines distinguent et notent non seulement la terminaison des travaux de maintenance (temps précis de cet événement), mais aussi le moment où une pièce d'équipement est mise de retour en service par le département de production. Ce mode fournit des informations et données très utiles pour les analyses éventuelles. Une mine applique la même procédure, mais avec moins de précision (au quart de travail près). Les autres se contentent par l'enregistrement de la fin de l'entretien.

**Tableau 10- Précision des données lorsque l'équipement redevient disponible selon les catégories**

Précision des données		Catégories			Total
		A	B	C	
Fin d'entretien et mises en service	Heures exactes	3/6	1/5	1/1	5/12
	Quart de travail près	-	2/5	-	2/12
Mise en service de l'équipement par le département de production	Heures exactes	3/6	2/5	-	4/12
	Quart de travail près	1/6	-	-	1/12

Concernant la remise en service d'un équipement qui redevient disponible, la procédure la plus répandue (dans 9 cas sur 12) est que les employés de l'atelier ou du garage contactent le contremaître des opérateurs. En deuxième lieu, contacter les opérateurs et le noter dans le logiciel de gestion ont obtenu le quart des réponses. Aussi, 2 mines sur 12 l'indiquent dans les livres de gestion et finalement 1 mine avertit les opérateurs du prochain quart de travail. Le Tableau 8, Tableau 9 et Tableau 10 permettent de constater que les gestionnaires portent moins d'attention au début de la maintenance qu'au moment où une pièce d'équipement devient indisponible ou redevient disponible. Le nombre de mines qui saisissent le premier comme l'heure exacte a diminué de 8 à 5 (Tableau 8 et Tableau 9), tandis que 2 répondants semblent

l'ignorer complètement. Par contre, il y a une hausse passant de 5 à 10 (Tableau 9 et Tableau 10), en tenant compte du moment où l'équipement redevient disponible.

Ad.4

Les délais sont entendus ici comme les périodes à l'intérieur du temps d'indisponibilité pendant lesquelles il n'y a pas d'action de maintenance active sur la machine hors service. Le suivi de cette composante du temps d'indisponibilité varie beaucoup d'une mine à l'autre. Une opération ne la considère pas du tout et une autre le fait d'une manière très irrégulière, sans donner de causes de délais. Les autres distinguent entre 1 et 4 de ces dernières. Tel qu'on peut le supposer, la mine qui dispose d'une flotte la plus nombreuse emploie le plus de catégories des délais. Le Tableau 11 illustre les catégories de délais prises en considération dans la cueillette des données par les mines interrogées.

**Tableau 11- Catégories de délais prises en considération lors de la cueillette de données**

Causes distinguées dans les mines	Catégories			Total
	A	B	C	
Attente d'une pièce	6/6	3/5	1/1	10/12
Le matériel pour effectuer la maintenance n'est pas disponible	2/6	2/5	1/1	5/12
Manque de mécaniciens	2/6	2/6	1/1	5/12
Lavage de l'équipement	2/6	2/5	-	4/12
Attente des services externes	-	-	1/1	1/12

Comme il est possible de le constater, parmi les mines qui font le suivi des délais (11 mines sur 12), la catégorie « Attente d'une pièce » est distinguée dans 10 mines sur 12. Les autres raisons sont moins souvent émises. Sans connaissance et compréhension des délais, il est plus difficile d'identifier les actions correctives visant la réduction du temps d'indisponibilité. Parmi ceux qui tiennent compte des délais, la fréquence des prises de données est à chaque quart de travail. Le Tableau 12 montre la précision des délais selon les catégories des flottes.



**Tableau 12- Précision des données sur les délais**

Précision des données	Catégories			Total
	A	B	C	
Heures exactes	6/6	2/5	-	8/12
Quart de travail près	-	1/5	1/1	2/12
Jour de travail près	-	1/5	-	1/12
Délais ne sont pas considérés	-	1/5	-	1/12

Concernant la précision des données sur la durée des délais, il est un peu surprenant que toutes les mines qui disposent des flottes les moins nombreuses (la catégorie A) prennent en note le nombre d'heures exactes des délais, ce qui n'est pas le cas des mines qui possèdent plus d'équipements. En général, ils sont enregistrés à l'heure exacte dans 8 cas sur 12 (6 dans la catégorie A et 2 dans la catégorie B), 3 autres mines notent la précision au quart de travail près ou au jour de travail près. Tel que mentionné auparavant, une opération néglige les délais dans leur approche. Les pratiques de ne pas enregistrer d'une manière appropriée le début des actions d'entretien ainsi que les délais ont des conséquences négatives au niveau de l'analyse de l'indisponibilité et sur l'identification des sources de problèmes potentiels.

#### 4.7. Maintenance corrective (non planifiée) et maintenance préventive (planifiée)

Le Tableau 13 montre la répartition des répondants en ce qui concerne les informations cueillies au sujet des actions de maintenance prises en note.

**Tableau 13- Informations sur les actions de maintenance prises en note par les mines**

Informations	Catégories			Total
	A	B	C	
Distinction des entretiens correctifs et préventifs	6/6	5/5	1/1	12/12
Distinctions des entretiens planifiés et Non planifié	5/6	5/5	1/1	11/12
Durée de maintenance en terme d'heures travaillées (Heures de main d'œuvre « MMH »)	6/6	5/5	1/1	12/12
Durée de maintenance en terme de temps écoulé sur l'horloge	5/6	3/5	1/1	9/12
Nombre de mécaniciens	4/6	5/5	1/1	10/12
Classification de maintenance selon l'éléments, modules et/ou ou sous-système affecté	3/6	2/5	-	5/12

Tous les répondants prennent en note des informations concernant les travaux d'entretien, mais l'étendue et la précision varient considérablement. Ils identifient tous les entretiens correctifs ou préventifs, sauf une qui ne distingue pas les entretiens planifiés de non planifiés. Toutes les mines identifient la durée de maintenance en terme d'heures travaillées (hommes-heures) et 9 cas sur 12 l'identifient aussi en terme de temps écoulé sur l'horloge. De ce fait, 3 mines n'ont pas de moyens d'évaluer le temps réel de maintenance active. Dans l'industrie, on traite souvent les heures travaillées (homme-heures) comme synonyme de temps d'entretien écoulé sur l'horloge. Cette pratique peut fausser l'image de la situation, car cette relation (heures de main d'œuvre = temps de maintenance active) est vraie seulement dans la situation où un seul mécanicien travaille sur la machine. S'il y en a deux qui effectuent les travaux ensemble pendant quelques heures, l'écart entre les deux valeurs mentionnées auparavant peut devenir plus que significatif. Or, la distinction entre elles est très importante. Il est aussi à noter que seulement cinq répondants associent les entretiens aux sous-systèmes, modules et/ou éléments de leurs équipements. Par exemple, pour une chargeuse navette, il est possible d'y retrouver les sous-systèmes suivants : le moteur, la transmission, les convertisseurs de couples, les godets, l'armature, le système hydraulique, etc. Il paraît que cette façon de faire complique sérieusement toutes les tentatives des études et analyses sur la fiabilité et la maintenabilité des machines.

#### **4.8. Cueillette d'informations au sujet de l'utilisation des équipements en terme de temps travaillé**

##### *4.8.1. Taux d'utilisation*

Il est évident qu'en pratique presque aucun équipement mobile n'est utilisé pendant tout le temps de disponibilité. La connaissance des raisons pour lesquelles une unité disponible n'est pas utilisée, peut s'avérer un élément important pour identifier les voies d'améliorations, s'il y a lieu. Le tableau suivant montre si les temps où l'équipement est disponible, mais non utilisé est noté.

**Tableau 14- Suivi de la durée de la non utilisation des équipements disponibles.**

Suivi du temps « disponible – non utilisé »	Raisons	A	B	C	Total
Non	-	1/6	3/5	1/1	5/12
Oui	Le calcul par le biais de formule*	2/6	2/5	-	4/12
	Gardé en réserve	1/6	-	-	1/12
	Manque de besoin dû à la séquence de production	1/6	-	-	1/12
	Manque d'opérateurs	1/6	-	-	1/12
	Temps de marche à vide**	1/6	-	-	1/12

\*ce qui est entendu ici c'est que pour 4 mines, ce temps est calculé et non mesuré. Par exemple temps total – temps de réparations – temps opéré – temps « perdu » aux pauses réglementaires, descente des opérateurs sous terre, etc.

\*\* le temps de marche à vide est le « idle time » où la machine ne fait pas de travail utile, mais le moteur tourne.

Il est possible d'observer dans le tableau ci-dessus que l'évaluation de l'utilisation des équipements de production n'est pas reconnue comme prioritaire par les mines recensées. Presque la moitié des répondants (5 cas sur 12) n'identifient pas les raisons pour lesquelles les équipements disponibles du point de vue « mécanique » ne sont pas utilisés. Quatre mines se contentent de calculer ce temps par des formules plus ou moins précises, qui tiennent compte de diverses pertes de temps, habituellement associées avec l'organisation du travail. Seulement 2 mines distinguent chacune 2 catégories de raisons qui sont prises en considération.

#### 4.8.2. Saisie des données sur le temps travaillé

Concernant le travail utile, les données cueillies peuvent être classifiées comme celles au sujet des temps de travail et des unités de travail utile. Dans le premier cas, ce qui est pris en note sont les heures lues à partir des compteurs ou jauges des équipements (par exemple, heures moteurs, heures électriques ou de percussion, etc.) et/ou les heures rapportées par les opérateurs. Une des mines interrogées utilise une formule qui convertit les heures-moteurs en heures d'utilisation. Par le biais d'un facteur multiplicateur dont les valeurs sont comprises entre 1.2 et 5.4 selon le type d'équipement concerné. La deuxième façon de quantifier le travail utile est d'utiliser les unités spécifiques au travail effectué par un équipement concerné. Parmi elles, il y a entre autres, à titre d'exemple : le nombre de godets chargés (chargeuses navettes), nombre de voyages effectués (camions), nombre de mètres forés (engin de forage) ou le nombre de

boulons posés (boulonneuses). Toutes les mines mesurent une quantité variable de ces données. Cet aspect sera discuté plus en profondeur dans le chapitre 4.9.3. Le tableau suivant montre les efforts faits afin de mesurer le travail utile.

**Tableau 15- Façons de cueillir les données sur le travail utile**

Travail utile		Catégories			Total
		A	B	C	
Heures rapportées par les opérateurs		2/6	2/5	1/1	5/12
Compteur moteur	Après chaque quart de travail	5/6	3/5	1/1	9/12
	Une fois par semaine	-	2/5	-	2/12
	Une fois par mois	1/6	-	-	1/12
Unités de travail utile*		6/6	5/5	1/1	12/12

\*Discuté au chapitre 5

Les heures-moteurs sont saisies pour toutes les opérations interrogées, mais la fréquence de leur lecture varie considérablement. Dans certaines mines, à part ces lectures, les opérateurs déclarent le nombre d'heures de travail après chaque quart de travail. Pour ce qui est des unités de travail utiles, elles sont habituellement déclarées dans les rapports ou cartes de travail aussi à chaque quart de travail.

#### 4.9. Procédure de cueillette des données dans une mine à ciel ouvert

Cette section décrit la cueillette d'information et des données pour la mine à ciel ouvert. Plusieurs points ressemblent aux mines souterraines. L'hypothèse faite, c'est que plus d'attention est portée au niveau de la collecte et de l'analyse des indicateurs de performance.

##### 4.9.1. Données générales de la mine

Tout d'abord, cette mine exploite le cuivre et l'or. Sa production journalière est de 48 000 t/j tandis que pour les mines souterraines ceci peut varier entre 2 700 à 10 000 t/j. L'horaire pour ces travailleurs est basé sur une semaine de 7 jours, chacun se divisant en 2 quarts de travail de 12 heures. Selon le principe de 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Pour ce qui est de la taille de la flotte d'équipement mobile, dans une mine à ciel ouvert, on ne retrouve pas d'équipements de forage de développement ni de boulonnage. Par contre, il y a présence de pelles à câbles et de pelles de type « rétro » (anglais : « backhoe »). Le tableau suivant montre la répartition de la flotte d'équipements de la mine à ciel ouvert.

**Tableau 16- Répartition de la flotte d'équipements pour la mine à ciel ouvert**

Équipements	Nombre d'équipements
Équipements de forage rotatif	3
Camions (tombereaux)	9
Chargeuse sur roues	2
Pelles à câbles (électrique)	3
Pelles hydrauliques « rétro » (« backhoe »)	3
Total	20

En se référant au Tableau 16, sur le plan nominal, le parc d'équipements de production de la mine à ciel ouvert ne dépasse en nombre qu'une seule mine souterraine. Par contre, la comparaison directe des parcs d'équipements n'est pas envisageable, car les méthodes d'exploitation sont totalement différentes. Les équipements utilisés dans les mines souterraines ne sont ni de même type ni de même taille que ceux de mines à ciel ouvert. Ce qui est alors très important pour les gestionnaires des mines à ciel ouvert, ce sont le temps de cycle que font les camions, c'est-à-dire, le temps que prend la pelle à remplir le godet du camion, le temps de parcours du camion, l'aller et le retour, le tonnage transporté, etc.

#### *4.9.2. Moyens pour saisir les informations sur l'efficacité et la productivité des équipements et fréquence des rapports*

Pour ce qui est de la façon de cueillir les données, le processus de la mine à ciel ouvert ressemble beaucoup aux 12 mines souterraines. En effet, ils utilisent aussi les fichiers Excel à partir de formulaire en papier, un logiciel de type CMMS, « GUIDE », est aussi employé comme logiciel de gestion des stocks. Le tableau suivant illustre la fréquence et le contenu des rapports retrouvés dans la mine à ciel ouvert.

**Tableau 17- Fréquence des rapports le la mine à ciel ouvert**

Rapport	Fréquences	
	Hebdomadaire	Mensuel
Disponibilité		X
Utilisation		X
Travail utile	X	
Coût de la maintenance		X
Coût d'opération		X

Comme les mines souterraines, les rapports les plus souvent fournis sont à fréquence mensuelle. De ces derniers, des rapports de type trimestriel et annuel y découlent pour les mêmes caractéristiques. Ces rapports s'adressent aux gestionnaires ou la direction de la mine plus particulièrement au surintendant, à l'ingénieur en chef et à la direction de la compagnie. Le facteur qui diffère beaucoup entre les équipements souterrains et ceux à ciel ouvert, c'est leur niveau d'instrumentation. La mine en question utilise des camions de marque Caterpillar munis d'un système VIMS (Vital Information Management System). Il consiste en un ordinateur implanté sur les camions qui cueille toutes les données sur l'état du camion en temps réel. Elles sont téléchargées par les techniciens miniers à tous les jours et sont utilisées afin d'effectuer un suivi sur les données techniques par le manufacturier et le personnel de la mine. Ainsi, beaucoup de données précises concernant les charges transportées et le régime de travail des moteurs deviennent disponibles pour leurs analyses. Ce système est donc un très bon outil pour enquêter sur les origines et les syndromes de plusieurs défaillances.

#### *4.9.3. Cueillettes d'informations concernant la disponibilité*

Pour ce qui est de la cueillette d'informations concernant la disponibilité, la mine à ciel ouvert a des résultats précis. Effectivement, la précision des données lorsque l'équipement tombe en état de panne (section 4.6, Ad.1) est à l'heure exacte. Lorsque la défaillance surgit, un code apparaît sur l'écran (VIMS) expliquant le type de défaillance et l'urgence reliée à celle-ci. Il n'y a aucun lien entre l'opérateur de l'équipement et les répartiteurs, donc l'opérateur doit contacter ses supérieurs. Aussi, le début de l'action d'entretien (section 4.6, Ad. 2) est enregistré à l'heure précise. La fin de l'action d'entretien (Section 4.6, Ad. 3) est prise en note à l'heure exacte lors de la mise en service de l'équipement par le département de production. Certains

délais (Section 4.6, Ad. 4) sont aussi pris en compte, comme l'heure de dîner, les temps de sautages, lorsque les équipements se font remplir de carburant, etc. Comparativement aux mines souterraines, la mine concernée possède une meilleure connaissance et compréhension de pratiquement tous les temps composant l'indisponibilité et peut, plus facilement, cibler les points à améliorer. Afin de se remémorer, 3 cas sur les 12 mines souterraines comptabilisent ces données, délais compris, à l'heure exacte et 5 mines sur 12 les enregistrent aussi à l'heure exacte sauf le début de l'action d'entretien qui est mesuré au quart de travail près.

#### 4.9.4. Informations concernant les travaux d'entretien

Les données disponibles sur les travaux d'entretien pour la mine à ciel ouvert sont les suivants :

- Correctif/préventif,
- Planifié/non planifié,
- Durée de la maintenance active en terme de main d'œuvre,
- Nombre de mécaniciens impliqués.

Ces données sont aussi le plus souvent retrouvées dans les mines souterraines. Pour ces dernières, toutes catégories confondues, une moyenne de 5 données est prise en note et disponible au sujet des travaux d'entretien, on trouve tout juste les mêmes résultats pour les mines à ciel ouvert.

#### 4.9.5. Taux d'utilisation

Dans les temps de disponibilité, la mine à ciel ouvert est en mesure d'identifier le temps où l'équipement est disponible, mais inutilisé. Les raisons de ces temps sont les suivants :

- Gardé en réserve,
- Manque de besoin dû à la séquence de production,
- Manque d'opérateurs.

Encore une fois, ce sont les mêmes raisons qui sont retrouvées pour certaines mines souterraines malgré le fait que 5 cas sur 12 ne les mesurent pas. La question des indices de



performance utilisés dans les mines souterraines ainsi que dans la mine à ciel ouvert et leurs définitions seront discutée dans le chapitre 5.

## 5. INDICATEURS DE PERFORMANCE ET D'EFFICACITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION UTILISÉS PAR LES MINES INTERROGÉES

La liste des indicateurs de performance identifiée par le biais de cette étude et le nombre de mines qui déclarent leur emploi se trouve au Tableau 21. Dans les parties qui suivent, les définitions utilisées par les mines pour les indicateurs respectifs, leur signification, pertinence ainsi que leurs déficiences seront analysés.

### 5.1. Indicateurs de performance associés à la disponibilité

#### 5.1.1. Disponibilité mécanique et opérationnelle

La disponibilité dite « mécanique » et « opérationnelle » ont été discutées dans la section 3.1. La première ne tient compte que des temps d'entretiens préventifs et correctifs tandis que la seconde inclut aussi tous les temps d'attente et/ou délais qui peuvent se rapporter à l'administration et à la logistique.

Selon l'enquête, la disponibilité mécanique est quantifiée et suivi dans 3 mines (voir Tableau 21 récapitulatif). 11 mines sur 12 emploient la disponibilité opérationnelle mais 3 définitions différentes ont été observées. La définition suivante est utilisée dans 8 exploitations :

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{Heures planifiées} - \text{heures de non production}}{\text{heures totales}}$$

#### Équation 28 Disponibilité selon 8 mines sondées

Où :

- Heures planifiées sont de 24 heures par jour ou correspondent au multiple du temps nominal d'un quart de travail.
- Heures de non production désignent les temps d'arrêts, de défaillances ou de délais.
- Heures de non production sont définies comme les heures de réparations et/ou arrêt (attente de travaux). Pour l'opération qui distingue ces heures comme étant des heures de pertes, ces dernières peuvent causer un biais important car le suivi n'est pas effectué régulièrement, plutôt d'une manière aléatoire, et lorsqu'elles le sont la précision est au quart de travail près. Par contre, cette opération donne automatiquement 2 heures de perte de temps pour les périodes de repas.

Cette définition est d'emblée inspirée par la littérature (section 3.1). Les principales erreurs sont commises lors de l'interprétation des facteurs composant cette définition. Tout d'abord, les heures totales représentent, théoriquement, les heures où l'équipement peut être opéré. Dans certains cas les heures nominales de chaque quart de travail sont utilisées. Dans d'autres cas, les heures totales sont entendues selon le principe de 24 heures par jour. Afin de déterminer la disponibilité d'une manière exhaustive, les heures totales devraient être les heures réelles où l'équipement peut être en fonction. C'est-à-dire en subtilisant, par exemple les heures de descente sous terre, l'assignation du travail, la rencontre de production, les pauses réglementaires, etc. Ces heures varient, selon les réponses obtenues, entre 1 h 30 et 4h par quart de travail, mais sont de 3h en moyenne. Les heures de non production sont en fait les temps morts. Ces derniers représentent tous les temps de maintenance active et tous les délais qui sont à l'intérieur du temps d'indisponibilité pendant lequel il n'y a pas d'action de maintenance active sur la machine hors service. Ces temps sont pour la plupart faussés par la précision de ceux-ci.

La seconde définition est un peu différente et est présentée par une opération.

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{Heures opérées} + \text{heures inutilisées}}{\text{temps total}}$$

#### **Équation 29 Disponibilité selon une exploitation**

Où :

- Heures opérées = les heures où la machine a été opérée (rapport de contremaître et opérateurs)
- Heures inutilisées = comprend les heures où l'équipement est disponible, mais non utilisé pour cause de manque de commodité ou d'opérateurs
- Heures totale = heures opérées + heures d'arrêts + heures disponible (pas de chantiers ou pas d'opérateurs disponibles).

Cette définition est celle qui ressemble le plus à celle proposée par la littérature (par exemple : Blanchard, 2004). Les facteurs « Heures opérées » ainsi que « heures inutilisées » forment le temps où l'équipement peut être opéré. La troisième définition fournie par un seul répondant montre plutôt un pourcentage de l'indisponibilité.

$$\% \text{ réparation (indisponibilité)} = 1 - \left( \frac{HT + TM}{HTO} \right)$$

### Équation 30 Disponibilité selon un répondant

Où :

- HT = Heures travaillées. Elles sont prises à partir des heures-moteurs en les multipliant à certains coefficients. Ceux-ci sont estimés afin de gonfler le temps réel des équipements dans le but de conserver une certaine moyenne d'utilisation.
- HTO = Heures totales ouvrable.
- TM = Temps morts qui ont pour facteurs les heures travaillées ainsi que le temps de réparation qui est la somme des heures travaillées par la main d'œuvre ont une mauvaise précision.

Tout d'abord, les heures travaillées sont estimées par un coefficient multiplicateur (> 1) qui gonfle celles-ci. Par la suite, les temps morts sont calculés à partir des heures travaillées, donc il y a un biais aussi à ce niveau. Alors, pour la même formule, il y a 2 sources de biais, ce qui prouve que la formule est peu fiable et de signification douteuse.

#### 5.1.2. Temps moyen entre les défaillances (MTBF) et temps moyen entre les maintenances (MTBM)

Le temps moyen entre les défaillances (MTBF), définit selon la littérature à la section 3.2, est considéré pour une des opérations comme le temps de fonctionnement continu entre les bris non planifiés. Selon la mine, ceci permet de mesurer l'efficacité et à éviter les bris imprévisibles, d'observer la tendance et pouvoir détecter les améliorations possibles. Pour d'autres, le temps moyen entre les défaillances comprend toutes les maintenances (préventives, correctives, bris de pneus, etc.). 5 mines sur 12 le calculent. Pour une opération, les formules suivantes sont développées :

$$MTBF = \frac{\text{Temps opéré}}{\text{événements opérés}}$$

#### Équation 31 Définition de MTBF pour une de mines considérées

Où :

- Le temps opéré est calculé par les heures rapportées par les opérateurs et contremaîtres.
- Les événements opérés ou arrêtés sont la fréquence où l'équipement est opérationnel ou à l'arrêt.

La formule suivante vient d'une des mines recensées qui a fourni la définition de MTBF. Elle est en réalité celle de la fréquence des bris, donc sa réciproque est en effet le MTBF.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Nb de temps d'arrêts non planifiés}}{\text{heures opérationnels}}$$

**Équation 32 Définition de la réciproque du MTBF pour une autre exploitation**

Même si la mine interprète cette définition comme MTBF, il s'agit plutôt d'un taux de défaillances qu'un temps moyen. Deuxièmement, il faudrait retrouver le ratio des heures opérationnelles par rapport à la fréquence des moments où l'équipement était en marche. De ce fait, cette définition n'est pas adéquate.

Pour ce qui est du temps moyen entre les maintenances (MTBM), une seule opération déclare son utilisation (la plus grande flotte d'équipements), malheureusement, aucune définition n'est donnée. Dans ces circonstances, il est très difficile de vérifier l'authenticité de cet indicateur. Par contre, selon la précision de leurs données fournies, cette mine mesure les temps d'indisponibilité aux heures exactes, sauf pour les délais qui sont mesurés aux jours près.

## **5.2. Indicateurs associés avec la maintenance et sa gestion**

### *5.2.1. Temps moyen des réparations (MTTR)*

Le temps moyen des réparations (MTTR) peut se traduire comme une mesure de la facilité d'effectuer les actions de maintenance. En effet, il reflète comment les mécaniciens et opérateurs répondent à un problème. D'après l'enquête, aucun commentaire particulier n'a été fait sur le temps moyen des réparations. 10 mines sur 12 le mesurent. Un des répondants le mesure de la façon suivante :

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps d'arrêts}}{\text{événements arrêts}}$$

**Équation 33 Définition de MTTR pour une exploitation**

Où :

- Les événements arrêtés sont la fréquence où l'équipement est à l'arrêt.

- Heures d'arrêts = comprend les bris et les autres arrêts (délais, droit de refus, contrôle de qualité, etc)

Cette définition n'est pas tout à fait conforme à ce que Campbell et Jardine (2001) proposent (section 3.3.2). En effet, il propose les temps morts non planifiés par rapport au nombre d'arrêts. Alors, il faudrait s'assurer que les temps morts de l'équation 33 sont ceux uniquement non planifiés. Une autre interprétation est un peu plus douteuse dans le sens où elle ne respecte pas tout à fait la définition de la littérature.

$$MTTR = \frac{\text{Nb de temps d'arrêts non planifiés}}{\text{heures non à l'horaire}}$$

**Équation 34 Définition de MTTR pour une autre exploitation**

Tout comme le MTBF du point précédent, l'équation doit être inversée afin d'obtenir une moyenne et non une fréquence. L'interprétation qui peut être faite de ce MTTR, est que les heures qui ne sont pas prévues à l'horaire sont des heures d'entretiens correctifs ou plutôt de maintenance non planifiées. Alors, la définition sera les heures d'entretiens non planifiés par rapport à la fréquence de ces derniers. Théoriquement, cette définition n'est pas exacte quelques modifications doivent être apportées afin qu'elle respecte celle développée dans la section 3.4.2.

### 5.2.2. Travaux urgents

Une des mines sondées distingue un indicateur différent qui est le pourcentage des travaux urgents selon la formule suivante :

$$\% \text{ travail urgent} = \frac{\text{heures effectuées sur BTU} + \text{Heures effectuées BT (Root Cause = Urgent)}}{\text{heures totales de maintenance effectuées}}$$

**Équation 35 Pourcentage des travaux urgents**

Où :

- BTU = Bon de travail urgent
- BT= Bon de travail

### 5.2.3. *Autres indicateurs mesurant la maintenance et sa gestion*

Plusieurs indicateurs associés à la maintenance et à sa gestion ont été identifiés par les répondants, mais aucune formule particulière n'a été fournie. C'est le cas du taux de maintenance (qui sont supposément les heures de main d'œuvre par rapport aux heures d'opération) qui est enregistré dans 8 cas sur 12, le taux des travaux planifiés par rapport à ceux non planifiés (1 cas sur 12).

## 5.3. Indicateurs associés avec l'efficacité des équipements

### 5.3.1. *Utilisation*

L'utilisation, développée à la section 3.5, peut être considérée comme les heures d'opération par rapport aux heures totales de disponibilité. 11 mines sur 12 emploient cet indice comme étant des heures travaillées par rapport au temps de disponibilité. Les heures travaillées peuvent être calculées suivant différentes méthodes selon l'équipement utilisé. 8 opérations donnent une définition conforme à celle proposée par Caterpillar (2002) :

$$\text{Utilisation} = \frac{\text{heures opérées}}{\text{heures totale} - \text{temps d'arrêts}}$$

#### **Équation 36 Utilisation pour 8 exploitations**

Où :

- Les heures opérées sont prises par les heures-moteurs, heures électriques (selon l'équipement) et les heures déclarées par les opérateurs.
- Les heures totales = 24 heures.
- Les temps d'arrêts = toutes les heures où l'équipement est arrêté comprenant les maintenances et les délais. Dans un cas, les temps d'indisponibilité ne sont pas bien identifiés, donc ceci peut causer plusieurs biais importants. Le temps où débute la maintenance n'est pas enregistré et les temps où sont représentés les délais ne sont pas enregistrés.

causer plusieurs biais importants. Le temps où débute la maintenance n'est pas enregistré et les temps où sont représentés les délais ne sont pas enregistrés.

La prochaine formule présentée montre une autre approche intéressante. En effet, l'équation serait adéquate si le facteur « heures de délais » représentait le temps où l'équipement est disponible mais non utilisé. Ce qui n'est pas tout à fait le cas. Selon les résultats tirés du questionnaire, le temps où l'équipement est disponible mais non utilisé n'est pas pris en note. Aussi, les délais ne sont pas pris en note régulièrement.

$$\text{Utilisation} = \frac{\text{heures opérées}}{\text{heures opérées} + \text{heures de délais}}$$

#### **Équation 37 Utilisation pour une exploitation**

Où :

- Heures opérations = heure où la machine fonctionne.
- Heures de délais sont au moins de 2 heures pour les périodes de repas. Par contre, cette entreprise n'enregistre pas les délais sur une base régulière, et lorsque que c'est fait, la précision est au quart de travail près. Donc un biais peut aussi être observé en évaluant la disponibilité.

Ensuite, une autre formule employée par un autre répondant :

$$\% \text{utile} = \frac{\text{HT}}{(\text{HTO} - \text{HND})}$$

#### **Équation 38 Définition de l'utilisation pour une autre exploitation**

Où :

- HT = Heures travaillées. Elles sont prises à partir des heures-moteurs en les multipliant à certains coefficients. Ceux-ci sont estimés afin de gonfler le temps réel des équipements dans le but de conserver une certaine moyenne d'utilisation.
- HTO = Heures totales ouvrable.
- HND = Heures indisponible. Celles-ci sont prises dans le rapport des véhicules sous terre.

Cette formule est très discutable, car les coefficients utilisés afin de gonfler le travail utile apportent un biais important.

Une autre définition est fournie par une mine, mais cette fois un peu moins précise:



$$\text{Utilisation} = \frac{\text{heures opérées}}{\text{heures totale}}$$

### Équation 39 Utilisation pour un répondant

Où :

- Le temps opéré est calculé par les heures rapportées par les opérateurs et contremaîtres.
- Heures totale = heures opérées + heures d'arrêts + heures disponible (pas de chantiers ou pas d'opérateurs disponibles).

Il est possible de remarquer que les heures où l'équipement a opéré sont considérées sur toute la période de temps et non sur la période de temps où l'équipement est disponible. Pour être rigoureux, il faudrait plutôt soustraire du temps total le temps où l'équipement est arrêté (hors service ou indisponible).

#### 5.3.2. Travail utile

Le terme « travail utile » est utilisé afin de déterminer le travail effectué par un équipement pour lequel il a été conçu. Les informations présentées au Tableau 18 montrent les unités de travail utile, mesurées pour les équipements de chargement et de halage, c'est-à-dire, les chargeuses navettes ainsi que les camions.

**Tableau 18 Unités de travail utile pour les équipements de chargement et de halage**

Types d'équipement	Unités de travail utile	Catégories			Total
		A	B	C	
Équipements de chargement et de halage	Heures Diesel	6/6	5/5	1/1	12/12
	Nombre de godets	6/6	3/5	1/1	10/12
	Nombre de camions chargés	5/6	4/4*	1/1	11/11
	Nombre d'aller retour	3/6	3/5	-	6/12
	Tonnes manipulées	1/6	2/5	-	3/12

\* Une des mines n'emploie pas de camion

Une seule mine se limite aux « heures diesel » comme la seule façon de quantifier le travail utile de ses équipements de halage. On peut constater aisément que la plupart des unités n'est qu'approximative et fort dépendante des conditions de travail spécifiques ainsi que du facteur

Une seule mine se limite aux « heures diesel » comme la seule façon de quantifier le travail utile de ses équipements de halage. On peut constater aisément que la plupart des unités n'est qu'approximative et fort dépendante des conditions de travail spécifiques ainsi que du facteur humain pour la mine donnée. Voici quelques exemples : le nombre « d'aller retour » pour des camions ne tient pas compte de la distance parcourue. Si cette dernière change, les chiffres pour diverses périodes ne sont plus comparables. Sans moyen pour peser les charges, le nombre de godets ou le nombre de camions chargés est une mesure approximative, car selon les habiletés des opérateurs de la chargeuse navette, le tonnage chargé peut varier considérablement. Aucune mine n'a rapporté l'emploi de l'unité de travail utile « t\*km », qui serait de loin plus adéquate pour quantifier le travail utile des camions.

Le Tableau 19 distingue les unités retrouvées pour les équipements de forage. Ils comptent tous les équipement de production et de développement. Toutes les mines calculent entre 1 et 3 unités de travail utile différentes dans cette catégorie.

**Tableau 19 Unité de travail utile pour les équipements de forage**

Types d'équipement	Unités de travail utile	Catégories			Total
		A	B	C	
Équipements de Forage	Mètres forés	4/6	3/5	1/1	8/12
	Diamètres des trous	1/6	-	-	1/12
	Heures de percussion	3/6	5/5	1/1	9/12
	Heures diesel	-	-	1/1	1/12
	Heures électriques	0	1/1	1/1	2/12
	Heures hydrauliques	2/6	2/5	-	4/12

Comme l'indique le Tableau 19, la quantité de mesures de travail de ces équipements varie d'une mine à l'autre. Toutefois, il faut souligner que les engins de forage existent en versions « diesel-hydrauliques » (le moteur diesel assure la propulsion et actionne les pompes hydrauliques qui, à leur tour, alimentent les vérins, les commandes, etc. et surtout les marteaux perforateurs) ou « diesel-électro-hydrauliques » (moteur diesel assure la propulsion et actionne les pompes hydrauliques lors de la translation/déplacement, tandis que les moteurs électriques alimentent tous les systèmes indispensables au forage). Pour ces raisons, le nombre de compteurs sur un engin peut varier. Il est étonnant qu'un tiers des répondants (4 mines sur 12) ne semble pas comptabiliser le métrage foré (« footage ») par leurs engins qui, théoriquement, devrait être l'indicateur principal de leur performance. Encore une fois, il paraît qu'il y a

beaucoup d'emphase sur le temps de travail, même si ce dernier ne se traduit pas toujours en quantité équivalente du travail accompli.

Une opération donne une définition sur l'utilisation de leurs équipements de forage :

$$\frac{\text{mètres forés}}{(\text{heures totales} - \text{heures d'arrêts})} * 12$$

**Équation 40 Définition de l'utilisation des foreuses fournit par une exploitation**

Où :

- Les heures totales = 24 heures

Le prochain tableau arbore les unités comptabilisées pour les équipements de boulonnage.

**Tableau 20 Unité de travail utile pour les équipements de boulonnage**

Types d'équipement	Unités de travail utile	Catégories			Total
		A	B	C	
Équipements de boulonnage	Mètres forés	-	-	1/1	1/12
	Nombre de boulons	3/6	2/5	-	5/12
	Longueur des boulons	1/6	1/5	-	2/12
	Surface boulonnée	1/6	-	-	1/12
	Heures de percussion	-	-	1/1	1/12
	Heures diesel	-	-	1/1	1/12
	Heures électriques	-	-	1/1	1/12
Heures hydrauliques	2/6	2/5	-	4/12	

Toutes les mines quantifient entre 1 et 2 mesures pour ce type d'équipements. Par contre, la catégorie C se démarque par le nombre de 4. En général pour le travail utile, indépendamment de la taille de la flotte d'équipement (catégorie A, B et C), beaucoup de données sont inscrites (Tableau 18, Tableau 19 et Tableau 20). Par contre, plus la flotte est grande, plus les renseignements sont recherchés.

Suite à la présentation des définitions, le Tableau 21 montre le regroupement des indicateurs de performance mesurés selon les catégories. Il présente tous les indicateurs utilisés même si les formules n'ont pas été cédées.

**Tableau 21 Représentant la distribution des indicateurs de performance selon les catégories.**

Indicateurs de performance		Catégories			Total
		A	B	C	
MTBF (Mean Time Between Failures, section 3.2)		3/6	2/5	-	5/12
MTBM (Mean Time Between Maintenance, section 3.3.1)		-	-	1/1	1/12
Disponibilité mécanique (section 3.1)		2/6	1/5	-	3/12
Disponibilité opérationnelle (section 3.1)		6/6	4/5	1/1	11/12
Pourcentage de l'entretien planifié	En terme d'heures de main d'œuvre	5/6	5/5	-	10/12
	En terme d'heures écoulées sur l'horloge	2/6	-	-	2/12
MTTR (En terme d'heures de main d'œuvre, section 3.4.2)		2/6	2/5	1/1	5/12
MTTR (En terme d'heures écoulées sur l'horloge, section 3.4.2)		4/6	2/5	-	6/12
Taux de maintenance (heures de main d'œuvre par rapport aux heures d'opération, section 3.4.7)		4/6	3/5	1/1	8/12
Utilisation (Heures travaillées par rapport au temps de disponibilité, section 3.5)		6/6	5/5	-	11/12
Nombre d'entretiens planifiés réalisés		-	1/5	-	1/12
Nombre de réparations planifiées réalisées		-	1/5	-	1/12
Efficacité d'opération		-	1/5	-	1/12
Pourcentage de travaux urgents		-	1/5	-	1/12

Le Tableau 21 indique que dans son ensemble les mines enquêtées considèrent un total de 14 indicateurs concernant la performance et de l'efficacité des équipements de production, leurs maintenances ainsi que la gestion de cette dernière. Par contre, le nombre diffère d'un établissement à l'autre. L'écart se situe entre 3 et 9 indicateurs évalués et ces bornes se situent dans la catégorie A. En moyenne la catégorie A emploie 6 indicateurs, la catégorie B 5 et la catégorie C 5. Ces résultats vont à l'encontre de la supposition que les mines ayant les grandes

respectivement 42% et 50% des résultats. Ensuite, il y a le pourcentage d'entretien en terme de main d'œuvre et la disponibilité opérationnelle (10 sur 12). La comparaison qui s'impose c'est que seulement 3 mines sur 12 enregistrent la disponibilité mécanique et que seulement 2 mines notent les deux types de disponibilité.

#### 5.4. Indicateurs de performance et d'efficacité employés par la mine à ciel ouvert

##### 5.4.1. Indicateurs de performance associés à la disponibilité

Les deux types de disponibilité sont mesurés :

Disponibilité mécanique :

$$\text{Disponibilité mécanique} = \frac{\text{Total des heures} - \text{heures down}}{\text{heures totales}}$$

#### Équation 41 Disponibilité Mécanique mesurée par la mine à ciel ouvert

Où,

- Heures totales = 24h
- Heures down = heures d'entretien

Disponibilité opérationnelle :

$$\text{Disponibilité opérationnelle} = \frac{\text{Heures opérées} + \text{heures réserve} + \text{heures délais}}{\text{heures totales}}$$

#### Équation 42 Disponibilité opérationnelle mesurée par la mine à ciel ouvert

- Heures opérées = compteur moteur ou rapportées par les opérateurs
- Heures réserve = disponible mais non utilisé
- Heures délais = délais opérationnel, heure de dîner, temps pour le sautage, changement de dents pour les pelles, etc.
- Heures totales = 24h

Dans les deux cas la définition de base s'apparente aux définitions largement reconnues (section 3.1). Par contre, le biais est au niveau des heures totales. La mine a signalé l'intention d'ajouter les indicateurs tels que le MTBF et le TRG (taux de rendement global), mais au moment de la rédaction de ce document, ça n'a pas été fait. Aucune définition mathématique n'a été soumise pour ces indicateurs.

#### 5.4.2. Indicateurs associés avec la maintenance et sa gestion

La mine mesure le taux de maintenance en terme de main d'œuvre par rapport aux heures d'opération. Dans un futur rapproché, ils ont l'intention de mesurer le MTTR. Ceci ne s'est pas fait au courant de l'étude, donc aucune formule n'a été fournie.

#### 5.4.3. Indicateurs associés avec l'efficacité des équipements

- Utilisation

La définition de l'utilisation (heures travaillées par rapport au temps de disponibilité) employée par la mine est la suivante :

$$\text{Utilisation} = \frac{\text{Heures opérées} + \text{heures réserves}}{\text{total des heures}}$$

#### Équation 43 Utilisation mesurée par la mine à ciel ouvert

Où,

- Heures opérées = compteur moteur ou rapportées par les opérateurs
- Heures réserve = disponible mais non utilisé (période de repas, sautage, etc.)
- Heures totale = 24h

Cette définition ne reflète pas beaucoup celle de la littérature présentée à la section 3.5. En effet, les « heures réserve » ne devraient pas se trouver au numérateur. En plus, le total des heures (ici 24 heures) n'est pas représentatif des heures totales de disponibilité qui devraient être au dénominateur.

Cette définition ne reflète pas beaucoup celle de la littérature présentée à la section 3.5. En effet, les « heures réserve » ne devraient pas se trouver au numérateur. En plus, le total des heures (ici 24 heures) n'est pas représentatif des heures totales de disponibilité qui devraient être au dénominateur.

- Travail Utile

Le travail utile, pour la mine en question relève des données rapportées par les opérateurs, mais aussi par le système VIMS. Tout d'abord, la lecture du compteur moteur se fait après chaque quart de travail. Durant la saison d'hiver, une attention particulière doit être apportée à ces valeurs, car les heures écoulées sur ceux-ci ne reflètent pas nécessairement le travail effectué. En effet, durant cette période de l'année, les moteurs des équipements fonctionnent pratiquement tout le temps même pendant la période de lunch et durant les sautages. Donc, les gestionnaires se fient beaucoup plus sur les heures rapportées par les opérateurs. De plus, les données suivantes sont prises en note :

- Équipements de chargement
  - Tonnage de minerai ou de stérile chargé
  - Équipements de halage
  - Tonnes transportées
  - T\*km
  - Nombre d'aller retour
- Équipements de forage
  - Mètres forés
  - Diamètre des trous forés

Suite à cette information, il est évident qu'avec les mesures de « travail utile » la mine à ciel ouvert mesure beaucoup plus d'indicateurs de performance que les mines souterraines. De plus, avec l'indice « t\*Km », le travail utile des camions est mesuré plus adéquatement que dans n'importe quelle mine souterraine. En résumé, la mine à ciel ouvert distingue les 2 types de disponibilité soit mécanique et opérationnelle. Afin de se remémorer, 3 mines souterraines sur 12 mesurent la disponibilité mécanique, 11 mines calculent la disponibilité opérationnelle et seulement 2 mines sur 12 mesurent les 2. Aussi, le système de type VIMS installé sur les camions de Caterpillar offre la possibilité d'enregistrer plusieurs données pouvant être utilisées

afin de calculer les indicateurs de performance et avec une bonne précision. De plus, les moments formant l'indisponibilité sont pris en note d'une manière et avec une précision adéquate. Le chapitre suivant traite des discussions et des recommandations afin de souligner certains problèmes qui peuvent être fixés à court et moyen terme. Plus particulièrement pour les facteurs contributeurs formant les indicateurs où des lacunes au niveau de la compréhension et sur la méthode de les utiliser ont été observées.



## 6. DISCUSSION

### 6.1. Remarques générales

Les équipements mobiles dans une mine que ce soit à ciel ouvert ou souterraine, jouent un rôle important dans la production de celle-ci. La performance ainsi que l'efficacité de ceux-ci concernent en même temps les manufacturiers et les opérateurs miniers. Alors, ces derniers cherchent à obtenir un pourcentage de la disponibilité ainsi que l'utilisation le plus haut possible. Pour ce faire, plusieurs informations doivent être prises en note.

En se référant à la section 5.1, les mines souterraines utilisent un nombre limité d'indices techniques et opérationnels considérant la performance et l'efficacité des équipements. En effet, pour les mines étudiées on remarque un écart entre 3 et 9 indicateurs mesurés. Pour ce qui est de la mine à ciel ouvert, présentement ils en mesurent au moins 4 indicateurs de performance et la possibilité d'en implanter 2 autres sous peu. Selon l'analyse effectuée, il n'a pas été possible d'identifier un lien direct entre la taille de la flotte d'équipements de production et le nombre d'indicateurs de performance utilisés. Il semble que ces derniers sont établis plutôt selon l'opinion personnelle des gestionnaires responsables à l'entretien et la gestion de la flotte.

Même si la majorité des mesures de performance et d'efficacité révèle la ressemblance à celles utilisées communément dans les autres industries, leurs définitions et façons de les interpréter sont loin d'être uniformes. Tel que discuté dans le chapitre précédent, il arrive parfois qu'un indicateur ou un facteur contributeur ayant la même appellation dans quelques mines soit défini avec les formules assez différentes. Dans les cas isolés, certaines définitions ont été formulées de façon assez compliquée et ardue à comprendre pour un « observateur » externe. Vu le manque de consistance et de diversité d'interprétation des indicateurs ainsi que de leurs facteurs contributeurs, les comparaisons directes des valeurs numériques enregistrées dans diverses mines doivent être plutôt faites prudemment.

De plus, dans certaines mines, les indicateurs utilisés sont simplistes, ce qui les rend peu significatifs. Ceci est souvent dû au fait que les données pour les calculer laissent à désirer que ce soit sur le plan de leur quantité que de la qualité, notamment leur précision. Parmi les lacunes identifiées au cours de cette étude, il faut mentionner les problèmes suivants :

1. Déficiences au niveau de la quantification du temps de l'indisponibilité et de ses composantes :
  - Saisi du début de la période de l'indisponibilité
  - Saisi du début de l'action d'entretien
  - Saisi de la fin de l'action d'entretien
  - Saisi de la durée des délais ou du temps d'attente à l'intérieur du temps d'indisponibilité
2. Suivi peu poussé des composantes du temps de disponibilité :
  - Identification du temps « disponible mais inutilisé »
  - Raisons derrière ce dernier temps
3. Suivi inadéquat du travail utile accompli.

Concernant le premier aspect, il suffit de souligner que sur les 12 mines recensées, 1 mine n'est pas en mesure d'identifier le temps d'attente et les délais à l'intérieur du temps d'indisponibilité et une autre le fait de façon superficielle sans tenir compte des causes de ces dits délais.

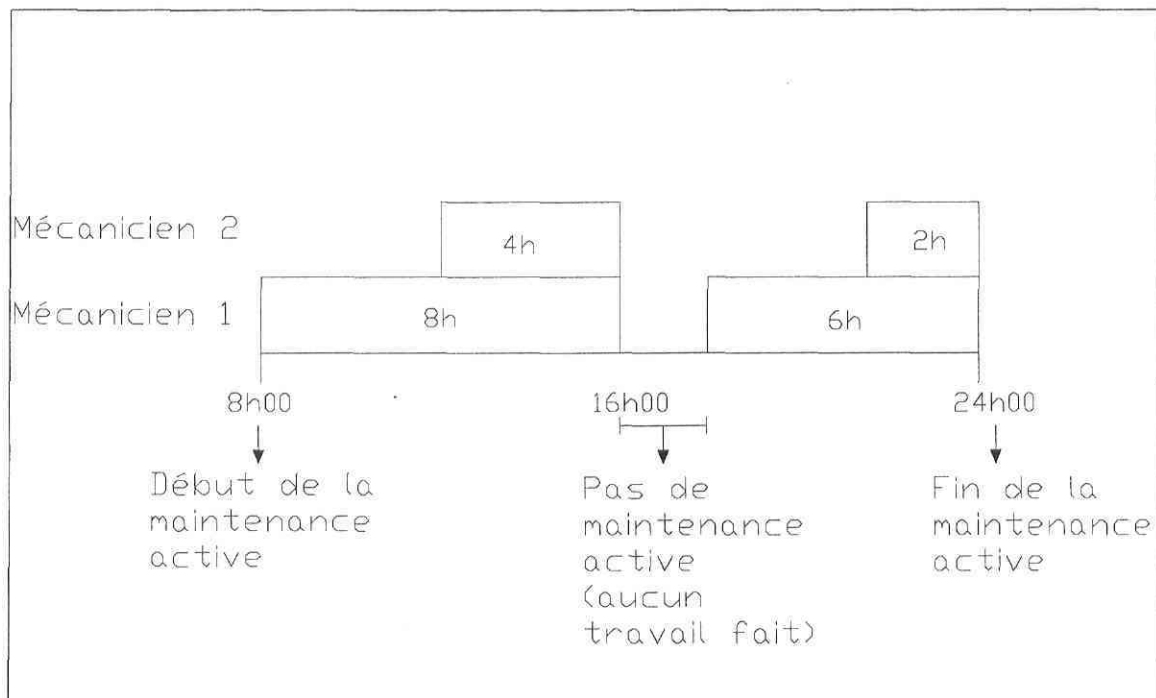
En ce qui a trait aux composantes du temps « disponible inutilisé » (point 2), à peine 6 mines notent cet état et seulement 2 entre elles en donnent les raisons. Ainsi beaucoup de mines perdent l'opportunité de diagnostiquer adéquatement les raisons de la sous utilisation de leurs équipements et ont plus de difficulté pour déterminer la nature de l'action corrective.

La manière dans laquelle certains indicateurs ont été conçus indique parfois que leurs concepteurs visaient plus ou moins délibérément des valeurs numériques qui paraissent plus favorables. Par exemple, une mine en particulier « gonfle » le temps de travail utile de leurs équipements par un certain coefficient (ces valeurs variaient entre 1.2 et 5.4 lors de la prise de l'information) donc un grand écart peut être noté. Il est assez nébuleux de savoir à partir de quelles données ces valeurs ont été établies. Ceci peut mettre en question leur signification. Cette étude, même si son étendue (en ce qui concerne le nombre de mines) est limitée, a aussi permis de constater que les mines souterraines n'ont pas développé les indices de performance propres aux équipements de production qu'elles emploient. Dans la section qui suit, on discutera plus en détail des problèmes et des faiblesses du système de suivi des performances identifiées par l'auteure de ce document.

## 6.2. Problèmes perçus et faiblesses identifiées

### 6.2.1. Disponibilité et maintenance et sa gestion

Le problème majeur des gestionnaires miniers est d'estimer les temps composant la disponibilité et de l'indisponibilité. Les facteurs formant la définition de la disponibilité sont le temps total (up time) et le temps mort (down time), vu à la section 3.1. Le temps total est considéré comme celui où l'équipement peut être opéré. Il ne doit pas être considéré comme le temps total de la journée (24 heures), mais bien le temps nominal des quarts de travail (2 quarts de travail de 10h = 20 heures de travail par jour) à moins qu'une mine travaille 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. De plus, il est primordial de connaître tous les temps comme la période de descente sous terre, les pauses réglementaires, etc. En déduisant ces temps du temps total, le résultat est celui composant la disponibilité. D'autre part, le temps mort inclut non seulement les temps de maintenance active, mais aussi tous les temps comportant les délais de logistique et administratif. Les premiers comprennent tous les temps d'attente de pièces de rechange, d'accès au garage, etc. Les délais administratifs englobent les attentes causées par les priorités et les contraintes administratives comme l'assignation des travaux prioritaires, les grèves, etc. (Paraszczak et Grammond, 1996). Selon Blanchard, (2004), il n'inclut pas le temps de maintenance active, mais il constitue une part significative du temps mort. Le problème majeur rencontré lors du calcul du temps mort, est la prise de note des données sur les entretiens correctifs et préventifs. Dans la plupart des cas, ce sont les heures de maintenance en terme de main d'œuvre qui sont mesurées. En effet, ces heures ne reflètent pas exactement les heures de la maintenance active. La Figure 6 suivante montre les points à ne pas confondre sur le temps de la réparation active et du temps de la main d'œuvre.



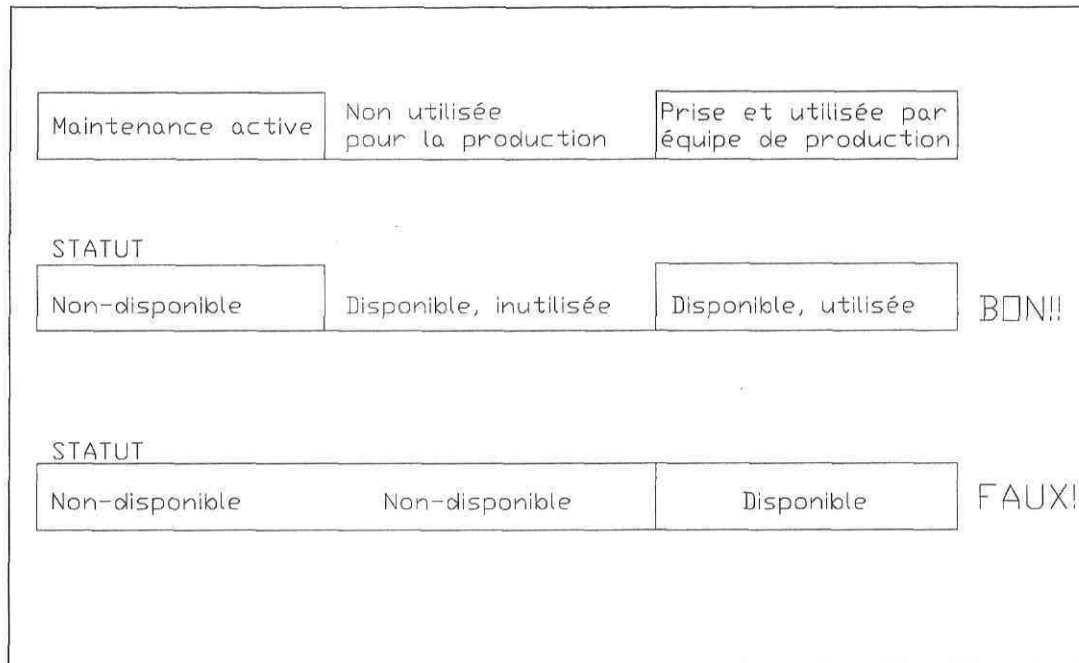
**Figure 6 Représentation du temps de la réparation active et de la main d'œuvre**

À partir de la Figure 6, il est possible de distinguer la durée de la maintenance active qui est de  $8h + 6h = 14h$  et le temps consacré à la main d'œuvre qui est de  $8h + 4h + 6h + 2h = 20h$ . De plus, Paraszczak et Grammond (1996) proposent qu'afin d'avoir une image claire sur la disponibilité et la maintenabilité des équipements, plusieurs facteurs doivent être mesurés :

- Le temps où la défaillance survient,
- Le moment lorsque l'équipement entre au garage,
- Le moment lorsque l'action de maintenance débute,
- Le moment lorsque l'action de maintenance se termine,
- Le moment lorsque l'équipement est remis en état de disponibilité.

Lors de la maintenance, il est important d'identifier les informations sur la nature de celle-ci. En se référant à la section 4.7, il est surprenant de voir que seulement 5 mines sur 12 associent les entretiens aux sous-systèmes, modules et éléments de leurs équipements. Une telle pratique s'avère avantageuse et utile si jamais l'étude de fiabilité des machines est établie. Elle permet d'identifier les pièces brisant le plus souvent et ainsi mieux envisager les voies d'améliorations. Concernant l'évaluation du temps de disponibilité, il faut souligner qu'un biais significatif peut être engendré suite à une mauvaise interprétation de ce qui est reconnu comme le moment de

passage de l'état d'indisponibilité (« down ») vers celui de disponible (« up »). Lorsque le statut de disponibilité est considéré selon la façon inappropriée, elle risque de biaiser sérieusement l'image de la performance tel qu'illustrer à la Figure 7 :



**Figure 7 Bonnes et mauvaises interprétations des statuts « indisponible » et « disponible »**

L'indisponibilité faussement gonflée crée l'impression que les problèmes se situent soit : au niveau de la machine (pas très fiable, la mauvaise façon de l'opérer, le manque de formation du côté des opérateurs), ou au niveau de la maintenance (le manque d'espace au garage, le manque de pièces à l'entrepôt, mauvaise gestion de l'inventaire) tandis que le vrai problème peut se situer sur le plan de l'utilisation des équipements, le surplus de ceux-ci et/ou de leur gestion.

### 6.2.2. Utilisation et travail utile

Il faut porter une attention particulière, à l'association des heures travaillées par l'opérateur et le « travail utile » effectué pour lequel l'équipement est conçu. Aucun équipement n'est utilisé à 100% et à tous les jours de l'année, en réalité ceci est tout simplement impossible. Il faut bien distinguer les différences entre utilisation, performance et efficacité. Alors :

**L'utilisation** est considérée en terme de temps. Elle est habituellement estimée comme le taux d'utilisation soit : combien d'heures l'équipement a opéré par rapport au temps de disponibilité. Afin de mesurer les heures opérées, plusieurs compteurs peuvent donner ces résultats selon le type d'équipement. Dans les règles de l'or, ces mesures sont prises en note lors de chaque quart de travail. Malheureusement, ces données ne sont pas toujours vraies car certains équipements peuvent enregistrer plusieurs heures-moteurs sans que beaucoup de travail utile soit effectué. En plus, une étude effectuée sur les chargeuses navettes par Paraszczyk et Grammond (1996) montre que le vieillissement et la détérioration ne dépendent pas juste des heures où le moteur a fonctionné, mais aussi d'autres facteurs comme :

- Environnement de travail (propriété du minerai et du stérile, corrosivité de l'eau de mine, température ambiante, tec.),
- Tonnage chargé,
- Distance de halage,
- Etat de la voie (surface, pente, courbes),
- Manière où l'équipement est opérée (surcharge du godet, vitesse excessive, etc.),
- Utiliser les chargeuses navettes pour autres usages que le chargement et le halage.

Cette étude évoque particulièrement la dégradation et le vieillissement, mais ces facteurs peuvent aussi ralentir le travail donc avoir des répercussions désavantageuses sur l'évaluation de la performance et de l'efficacité.

**La performance et l'efficacité** sont perçues comme la quantité de travail effectuée en réalité par rapport à des capacités théoriques d'un équipement dans certaines conditions. Aux sections 5.3.2 et 5.4.3 plusieurs indices sont identifiés. Ces facteurs sont dans la plupart approximatifs et sont forts dépendants du travail spécifique et du facteur humain. Cette étude a permis de constater que le travail utile des équipements de production est couramment quantifié à l'aide des unités indirectes, même un peu vagues, qui ne reflètent pas adéquatement le caractère de leur opération. Les équipements de chargement et de halage en sont de bons exemples. Le nombre de godets chargés est une approximation du tonnage manipulé, mais deux opérateurs différents ne remplissent pas toujours les godets de la même façon. La comparaison de la performance de deux chargeuses navettes par le biais de nombre de godets versés dans une cheminée à minerai ou de celle de camions à l'aide du nombre de voyages n'est pas concluant, car si les distances de halage et le pendage des chemins diffèrent de façon importante, le travail utile est tout à fait différent. Alors, un exemple concret est présenté :

- Deux camions de même capacité (26 tonnes).
- Camion no1 : 4 déplacements (aller retour) de 2Km.
- Camion no1 : 7 déplacements (aller-retour) de 1Km.

Travail accompli :

1<sup>er</sup> opérateur fait  $4 * 2\text{km} * 26\text{t} = 208 \text{ t*km}$

2<sup>e</sup> opérateur fait  $7 * 1\text{km} * 26\text{t} = 182 \text{ t*km}$

Alors, il est évident d'observer que le 1<sup>er</sup> opérateur effectue plus de travail que le 2<sup>e</sup> malgré le fait qu'il fait beaucoup moins de déplacements. Par contre, sans effectuer le calcul de tonnes fois le kilométrage, l'effet n'aurait jamais été le même et le boni non plus. À ce point, il faut souligner qu'aucune mine souterraine étudiée n'utilise cette approche. Seule la mine à ciel ouvert se sert de « t\*Km » pour quantifier le travail utile de ces camions.

### 6.3. Recommandations

Selon l'analyse effectuée et la discussion, il est possible de formuler quelques consignes qui d'après l'auteur de ce document pourraient avoir des effets positifs sur la quantité de suivi de performance dans les mines recensées.

1. Identifier les indicateurs de performance adéquats et bien choisis selon les spécifications des gestionnaires (chapitre 3).
2. Les gestionnaires doivent connaître et maîtriser les définitions des indicateurs de performance utilisés ainsi que de leurs facteurs contributeurs.
3. L'indicateur doit être calculé d'une manière précise et conforme à la littérature afin d'éliminer les biais.
4. Il est important que les opérateurs et les mécaniciens soient impliqués dans le processus de prise de données, ce sont eux qui font le travail.

5. Faire plus attention à la qualité et la quantité des données concernant la disponibilité, l'utilisation et le travail utile. Plus particulièrement, il est fortement conseillé d'appliquer ce qui suit :
  - a) Distinguer tous les temps et états rencontrés et pouvant être enregistrés par les équipements (heures moteurs, prise de données en temps réel, système VIMS, etc.) ou les opérateurs et ce à l'heure exacte (section 4.6 et 6.2.1).
    - Saisir le temps lorsque l'équipement devient hors service,
    - Saisir le début d'action d'entretien,
    - Saisir la fin de l'action d'entretien,
    - Saisir le moment lorsque l'équipement redevient disponible,
    - Saisir les temps lorsque l'équipement est disponible, mais inutilisé,
    - Saisir tous les temps de délais.
  - b) Bien identifier toutes les informations sur les actions de maintenance (par exemple : le type de travaux, planifiés/non planifiés, correctif/préventif, classification de la maintenance par module et/ou sous-système, etc.)
  - c) Pour les catégories « disponible mais inutilisé » et « types de délais » il est important de bien distinguer les causes ou les raisons.
  - d) Bien identifier le travail utile effectué et ce en utilisant des indices propres à chaque équipement (section 6.2.2).
6. Faire des rapports sur différents aspects de la performance d'une fréquence hebdomadaire afin que les employés prennent conscience de la performance et de l'efficacité de leurs équipements.
7. Pour que toutes ces informations soient mises à la disposition de tous les employés, il est primordial que la communication entre les départements se fasse d'une manière adéquate.

La mise en œuvre de ces recommandations pourrait apporter des bénéfices importants (Mitchell, 2002) :



- Augmentation de la disponibilité et de diminuer les temps morts,
- Réduction des coûts de maintenance,
- Réductions des coûts des défaillances,
- Réductions de l'inventaire des pièces de rechange.

Ceci n'est qu'un simple échantillon des bénéfices qui pourraient être observés que ce soit sur le plan technique qu'économique.

## 7. CONCLUSION

L'efficacité globale d'un équipement particulier ou de la flotte de ceux-ci est une résultante de plusieurs facteurs associés avec leur fiabilité, maintenance et sa gestion, utilisation et leur travail utile effectué. Ce fait a été reconnu par plusieurs industries qui ont adopté entre autre la notion de « Overall Equipment Effectiveness » OEE. À la lumière de ce qui a été discuté, une évaluation de l'efficacité globale des équipements dans les mines considérées s'avère très difficile. Même si, dans certains cas, à la limite il est théoriquement possible de la calculer, la signification de ces résultats serait fort douteux. Si chacun des facteurs la composant n'est pas quantifié précisément ou comporte plusieurs données peu crédibles ou biaisées, alors, ceci donne des résultats dont la valeur est douteuse.

Pour cette étude, le taux de réponse et de collaboration est tout à fait satisfaisant. Ceci a permis de dresser l'image représentative de la situation actuelle dans certaines mines souterraines Canadiennes considérées comme hautement mécanisées. Dans ce contexte, les objectifs ont été atteints. Il serait souhaitable d'élargir ce type d'étude sur les mines autres que métallifère. Il serait intéressant de regarder comment le suivi des performances se fait dans les autres pays tels que les États-Unis, l'Australie, la Pologne, la Suède, etc. Il est à souligner que cette étude se limite aux indicateurs de performance techniques et opérationnels. Il serait donc important d'analyser la question des indicateurs économiques. De plus, puisqu'une seule mine à ciel ouvert a fourni des informations, il n'est alors pas justifié d'introduire des tendances. De ce fait, il serait souhaitable qu'une étude soit basée sur ce type d'opération. Selon les résultats obtenus, ce qui est primordial d'améliorer des mines sondées est d'uniformiser les termes. Ceci améliorera entre autres la communication entre les différents départements composant l'opération ainsi qu'avec le fournisseur. Lorsque les termes sont bien définis, il y a moins de place à l'interprétation erronée et beaucoup moins de chance que les résultats ainsi que les tendances ou les conclusions soient faussées.

Il est important que les gestionnaires fassent des suivis « serrés » sur les temps de disponibilité et d'indisponibilité. Ceci aide à identifier les sources de problèmes, les points faibles et les voies d'amélioration. Pour les cas étudiés dans ce document, le moment où l'équipement devient hors service et le moment où il redevient disponible sont bien identifiés. Par contre, le moment où l'action d'entretien débute et les délais compris dans le temps d'indisponibilité ne le sont pas. Il

est important de bien les identifier ainsi que les raisons car ceci permet aussi de souligner les voies où il est possible d'effectuer les corrections nécessaires.

Pour le futur, de plus en plus d'instruments sophistiqués seront disponibles sur les équipements à voir même des ordinateurs (systèmes de type VIMS ou VHMS, au bord des équipements pour les mines à ciel ouvert en sont de bons exemples), il deviendra possible d'augmenter la précision des données ainsi que le nombre d'indicateurs spécifiques aux équipements de production qui pourraient être évalués. Ces facteurs seraient donc pris en note d'une manière plus rigoureuse alors, les indicateurs de performance seraient moins biaisés et deviendraient enfin comparables. Certaines mines commencent à implanter des systèmes de planification de ressources d'entreprise (ERP, Enterprise Resource Planning) tel que le SAP R\3. Ce dernier contient une quantité importante de données sur plusieurs aspects de la performance technique et économique des équipements, de travail et d'efficacité des opérateurs, bonis, ressources humaines, etc. Les données qui se trouvent dans divers modules du système SAP R/3 peuvent être extraites et utilisées pour les calculs de plusieurs indicateurs de performance, selon les besoins et objectifs de l'entreprise. Un bon exemple d'utilisation des immenses capacités de SAP R/3 est donné à la section 2.3.

Il est légitime d'espérer que la qualité et la quantité des données techniques, opérationnelles et économiques concernant les équipements miniers s'améliorent graduellement. Dans ce contexte et avec une bonne volonté de la part des gestionnaires et des décideurs des entreprises minières, le suivi de la performance et de l'efficacité dans ce secteur pourra être rendu au niveau semblable que dans les industries plus innovatrices. Ceci permettra définitivement d'utiliser les équipements à leur pleine capacité et par ceci réduire considérablement des coûts de production et accroître la compétitivité des compagnies minières Nord-américaines.

## 8. RÉFÉRENCES

Adriana, L., 2005, *Matte Leach Processing OEE Implementation*, CIM Maintenance Engineering/Mine Operators Conference, Laurentian University, Sudbury, Ontario, 20-24 février (a paru sur le CD-ROM de la dite conférence), 5 pages.

Anonyme, 2003, *Innovations in Maintenance*, *CIM Bulletin*, Vol 96, n0 1074, p. 1-8.

Anonyme, 2004, *Underground Data and Open Pit Data*, *Canadian Mining Sourcebook*, 113<sup>th</sup> Edition, p. 67-105.

Blanchard, B. S., 2004, *Logistics Engineering and Management*, 6<sup>th</sup> edition, Prentice Hall Inc, Upper Saddle River, New Jersey.

Bricteux, J-P., 2005, *Tapping Into Hidden Maintenance Manpower*, *CIM Bulletin*, 39<sup>th</sup> Edition, vol 98, no 05, p. 34-35.

British Standard BS 4778, 1991, *Quality Vocabulary, Section 3.2, Guide to Concepts and Related Definitions*.

Campbell, J.D., 1995, *Uptime Strategies for Excellence in Maintenance Management*, Production Press, Portland.

Campbell, J.D., Jardine, A.K.S., 2001, *Maintenance Excellence Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*, Marcel Dekker Inc., New York.

Caterpillar, 2002, *World Class Standards*, fournit par Hewitt Équipements Limitée, Montréal.

Compagnie IVARA, 2005, *Québec Cartier Mining Saves \$7 million annually in the Maintenance shop*, CIM Maintenance Engineering/Mine Operators Conference, Laurentian University, Sudbury, Ontario, 20-24 février (a paru sur le CD-ROM de la dite conférence), 3 pages.

Dunn, S., 1997, *Best Practice Maintenance Strategies for Mobile Equipment*, Page Internet <http://www.plant-maintenance.com/RCMforME.shtml>

Dunn, S., 1997, Optimizing Production Scheduling for Maximum Plant Utilization and Minimum Downtime – The Reliability Revolution, Dollar Driven Mining Conference, Perth, WA, Australia. Page Internet: <http://www.plant-maintenance.com/ops.shtml>

Dunn, S., 2005, Maintenance Terminology – Some Key Terms. Page Internet : <http://www.plant-maintenance.com/terminology.shtml>

Dyczko, A., Kicki, J. et Paraszczak, J., 2005, Decision Support System to Improve Equipment Effectiveness and Reduce Production Cost in KGHM “Polska Miedz” Poland, Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, Dessureault, Ganguli, Kecojevic & Dwyer (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 04 1537 449 9.

Ellingsen, H. P., Kumar, U., Liyanage, J., Nerhus, O., Hamre, R., Waldeland, R., Martinus Nilsen, N.; et Dragesoet, K., 2003, Management of Assets, Resources and Maintenance by Using a Balanced Scorecard Based Performance Framework, *Ingenieria Quimica*, vol 35, no 400, p 116-122

Faitakis, Y., Mackenzie, C., et Powey, G. J. Reducing maintenance costs through predictive fault detection, *CIM Bulletin*, Vol. 97, No 1076, janvier 2004, pp.63-66.

Flament, F., Mound, M.C., Caolbert, L., Fradette, L., 2004, Practical integrated Metallurgical Accounting Solutions for Supporting Production Decisions, *Mineral & Metallurgical Processing*, vol. 21, no 1, p. 1-8.

Hale, Peyton S., Jr, Arno, Robert G. et Dylis, David, 2004, Reliability and Availability Data Collection Program for Power Distribution, Power Generation, and HVAC Components of Commercial, and Utility Installations, IAS, 0-7803-8486-5 © IEEE, p. 2176-2180

Heyerichs, K. et O'Neill, G., 2005, Improving Equipment Reliability by Tracking and Analyzing Equipment Downtime, CIM Maintenance Engineering/Mine Operators Conference, Laurentian University, Sudbury, Ontario, 20-24 février (a paru sur le CD-ROM de ladite conférence), 6 pages.

Huber, B., 2005, New Year's Maintenance Resolutions, Page Internet: [www.rockproducts.com](http://www.rockproducts.com)

Kales, P., 1998. Reliability for Technology Engineering and Management, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Knights, P.F., Louit, D., Lay, A., 2004, Determining Return on Investment of Maintenance Projects Using Statistical Cost Modeling,, *Mining Engineering*, vol. 56, no. 8, p. 33-39.

Knights, P.F., Oyanader, 2005, P., Best-in-Class Maintenance Benchmarks in Chilean Open-pit Mines, *CIM Bulletin*, Vol. 98, No 1088, p. 1-6.

Knowles, D. I., 1995, Should we move away from acceptable failure rate, *Communications in Reliability, Maintainability and Supportability*, Vol. 2, No 1, p. 23-28.

Koch, A., 2003, Overall Equipment Effectiveness OEE Toolkit, Blom Consultancy, Page Internet: [http://www.oetoolkit.nl/community/OEEAlgemeen/what\\_is\\_oe.htm](http://www.oetoolkit.nl/community/OEEAlgemeen/what_is_oe.htm)

Komljenovic, D., Paraszczak, J. and Kecojevic, V., 2005, Possibilities for Optimization of Reliability and Maintenance in Mining Operations based on Experience in Nuclear Industry, Proc. 14th Intl. Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES 2005) and the 5th Intl. Conference on Computer Applications in the Minerals Industries (CAMI 2005); Singhal, Fytas and Chiwetelu (eds.), Banff, Alberta, Canada, 3 October - 3 November, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 632-644.

Kumar, U.D, 1999, New Trends in Aircraft Reliability and Maintenance Measures, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol 4, no4, p. 287-295.

Kumar, U., 1989, Availability Studies of Load-haul-Dump Machines; Proceedings of 21<sup>st</sup> Application of Operations Research and Computers in Mineral Industry, SME AIME, Las Vegas, Nevada, Feb. 27-Mar., p. 323-335

Kumar, U., 1989, Pos. B, Reliability Investigation for a Fleet of Load Haul-Dump Machines in a Swedish Mine, *Reliability Engineering and System Safety*, vol 26, p. 341-361.

Le Petit Robert 1, Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française, 1993. Dictionnaires Le Robert, Paris.

Lewis, M. W. et Steinberg, L., 2001, Maintenance of Mobile mine equipment in the information age, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol 7, No 4, p. 264 – 274.

Lewis, M. W. et Werner, J., 2004, The Integration of Condition Monitoring Into The Maintenance Process, *CIM Bulletin*, Vol.98, No 1085 , p.1-6.

Lhorente, B., Lugtigheid, D., Knights, P. et Santana. A., 2004, A Model for Optimal Armature Maintenance in Electric Haul Truck Wheel Motors: A Case Study, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 84, No 2, p. 209-218 Page Internet:

Löfsten H., 2000, Measuring Maintenance Performance – in Search for a Maintenance Productivity Index, Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, *International Journal of Production Economics*, v 63, n 1, p 47-58.

London, A. et Segev, D, 2003, OEE Management System, *Solid State Technology*, Vol. 46, No 6, pp. 97 à 98.

Mercier E., Vallée, P., Tap, B., Méthot, R. et Clouet, J.-M., 2001, La Maintenance à Falconbridge Limitée Mine Raglan, *CIM Bulletin*, Vol. 97 no 1084, p. 60 -64.

Mitchell, J. S., *Physical Asset Management Handbook*, Third Editions, Clarion Technical Publishers, Chapitre 4, Page Internet:

[http://www.maintenancebenchmarking.com/best\\_practice\\_maintenance.htm](http://www.maintenancebenchmarking.com/best_practice_maintenance.htm)

Paraszczak, J. et Grammond, L., 1996, Evaluation of the Performance of LHD Machines in Underground Mines – Theory and Real Life, *Mine Planning and Equipment Selection*, Hennies, Ayres da Silva & Chaves (eds), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 8274, p. 519-524

Paraszczak, J. et Perreault, J.- F., 1994, Reliability of Diesel Powered Load-Haul-Dump Machines in an Underground Quebec Mine, *CIM Bulletin*, vol. 87, No 978, p. 123-127.

Paraszczak, J., Vachon, J., et Grammand, L., 1997, *Benefits of Studies on LHD Reliability and Availability for Mines, Mine Planing and Equipment Selection*, Strakos et al., Balkema, Rotterdam, p. 469 -475.

Richard, P.P., 2004, *Effective Production Monitoring in Open it Mines : Beyond the Technology*, *CIM Bulletin*, Vol. 97, No 1081, p. 91-94.

Runciman N., Vagenas, N., Howes, R. A., 1995, *Maintenance Characteristics of Mobile Mine Equipment at Falconbridge Strachona Mine*, *Mine Planning and Equipment Selection*, Singhal et al.,Balkema, Rotterdam, p. 505-509.

Ruel, M., 2004, *Key Performance INDEX*, Annual Meeting – Technical Section, Canadian Pulp and Paper Association, 90th Annual Meeting – Pulp and Paper Technical Association of Canada (PAPTAC), p. 141-145.

St-Onge S., Audet M., Haines V. et Petit A., 2004, *Relever les défis de la gestion des ressources humaines*, 2e édition, Gaëtan Morin Éditeur, Montréal.

Statistiques Canada, 2006, Page Internet :

[http://www40.statcan.ca/102/cst01/prim43d\\_f.htm](http://www40.statcan.ca/102/cst01/prim43d_f.htm) 23 septembre 2005

Tomlinsong, P. D., 1998, *Equipment Management, Breakdown Maintenance Management Strategy for the 21st Century*, Kendall Hunt, Dubuque, Iowa. Page Internet:

[http://www.smenet.org/digital\\_library/eNews/PDF\\_links/2004/0904\\_EquipmentReplacement.pdf](http://www.smenet.org/digital_library/eNews/PDF_links/2004/0904_EquipmentReplacement.pdf)

Tomlinsong, P., 2005, *Conduction effective Maintenance Evaluations*. Page Internet: [www.tomlinsong.com](http://www.tomlinsong.com)

Tomlinsong, P. D., 2001, *Maintenance: An Opportunity for Improvement*, *Mining Engineering*, vol. 53, no 2, p. 13-20.

Toromont, Caterpillar Elphinstone Pty, Ltd et Caterpillar Inc., 1999, *Equipment Management System Review for Inco Coleman Mine*.



Tsang, A. H.C., 1998, A Strategic Approach to Managing Maintenance Performance, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 4, No. 2, p. 87-94.

Vagenas, N., Kazakidis, V., Scoble, M., Espley, S., 2003, Applying a Maintenance Methodology for Excavation Reliability, *International Journal of Surface Mining*, vol. 17, no. 1, p. 4-19.

Villemeur, A., 1988. *Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels*, Édition Eyrolles, Paris.

Voyer, P., 1999, *Tableaux de Bord de Gestion et Indicateurs de Performance*, 2<sup>e</sup> Édition, Presses de l'Université du Québec, St-Foy.

Werner, J et Lewis, M., 2005, The Integration of Condition Monitoring Into the Maintenance Process, *CIM Bulletin*, vol. 98, no 1085, p. 1-6.

Wiebmer, J. et Widdifield, L., 1997, Cost-Per Ton Improvement Ideas for Underground Equipment, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., For presentation at the SME Annual Meeting Denver, Colorado, February 24-27, Preprint 97-169.

Wireman T., 1998, *Developing performance Indicators for Managing Maintenance*, Industrial Press Inc., New York, 195 pages.

Wireman T., 2004, Benchmarking or performance measurement: which is right for your plant. Genesis Solutions, Ridgefield, pour Plant Engineering, Page Internet:  
<http://www.manufacturing.net/ple/article/CA415830?sst=000&pubdate=05%2F01%2F04>

Youlton, J., 2004, Best Practice Strategies Key to Successful Maintenance Effort, *Paper Age*, Vol.120, no 4, p. 28-31

## 9. ANNEXE A : QUESTIONNAIRE POUR LES MINES SOUTERRAINES MÉTALLIFÈRES

Questionnaire

**Mesures et moyens utilisés afin d'évaluer  
l'efficacité des équipements miniers.**

Par  
Edith Lafontaine  
98 089 972

Université Laval  
5 Avril 2005

## Quelques informations au sujet de remplissage du questionnaire

1. Le questionnaire comporte en tout 31 questions, séparées en 5 parties distinctes.
2. Il est recommandé d'imprimer le questionnaire et d'y répondre directement et de l'envoyer à l'adresse de retour (à la fin du questionnaire).
3. La plupart de questions se répondent en cochant tout simplement la ou les suggestion(s) qui s'appliquent à votre cas.
4. Il y a aussi quelques questions à court développement, un certain nombre de lignes y est réservé.
5. Il est toutefois possible de développer d'avantage les réponses s'il y a lieu. Si l'espace fourni n'est pas suffisant, vous pouvez joindre au questionnaire une ou des feuille(s). Si vous en joignez, veuillez **bien identifier le numéro de la question**.

## Partie 1

### Données sur la mine

1. Localisation

---

---

2. Opérateur(s)

---

---

3. Date d'entrée en service

---

---

4. Minerai ou commodités principales exploitées

---

---

5. Méthode(s) d'exploitation

---

---

6. Tonnage, Tonnage journalier

---

---

## 7. Organisation du travail

- Combien d'heures par quart de travail?

---

- Combien de quarts par jour?

---

- Combien de jour par semaine?

---

## Données sur la flotte d'équipement de production

8. Renseignements sur le type d'équipements, sur le fournisseur, sur le nombre d'équipements et sur les informations de base :

Équipements	Manufacturier	Type	Nombre en inventaire	Remarques
Équipements de forage de production				
Équipements de forage de développement				
Équipements de chargement				
Équipements de halage				
Boulonnage				
Autres, lesquels				

## Partie 2

Quels sont les moyens pour saisir les informations sur l'efficacité et la productivité des équipements (fiabilité, maintenance, temps de non disponibilité, utilisation, travail utile effectué)

9. Existe-t-il un système de suivi de la performance

- Oui
- Non

**Si oui**, qui est impliqué au niveau de l'entrée et de la saisie des données? Cochez les cases qui s'appliquent.

- Opérateurs,
- Mécaniciens
- Contre-maître mécanique
- Contre-maître de la production,
- Préposé au marteau/brise roche,
- Autres personnes, lesquelles.

---

---

---

---



10. Quels sont les moyens pour noter et traiter les données?

- Formulaires en papier seulement,
- Fichiers Excel à partir des formulaires en papier,
- Fichiers Excel directement,

**Dans la mesure du possible, veuillez nous fournir des échantillons de formulaires utilisés**

Si vous cochez les suggestions suivantes, veuillez inscrire leurs noms.

- Logiciel(s) maison,

---

- Logiciel de gestion des stocks,

---

- Logiciel de gestion des ressources humaines,

---

- Logiciel de gestion de la maintenance (CMMS),

---

- Autres, lesquels

---

---

---

11. Est-ce qu'il y a des rapports synthèses faits à partir des données saisies et traitées?

- Oui
- Non

**Si non passez à la partie 3**

12. Quels types de rapports synthèses préparez-vous et avec quelle fréquence? Cochez les cases qui s'appliquent.

Rapports	Fréquence			
	Hebdomadaire	Mensuel	Trimestriel	Annuel
Sur la disponibilité				
Sur l'utilisation				
Sur le travail utile effectué				
Sur la maintenance				
Coûts de maintenance				
Coûts d'opération				
Autres, lesquels				

13. À qui sont fournis les rapports synthèses?

Personnes ressources	OUI	NON
Capitaine		
Surintendant		
Ingénieur en chef		
Direction de la compagnie		
Autres personnes lesquelles		

### Partie 3

#### Temps de disponibilité et d'indisponibilité

14. Prenez-vous en note le moment où l'équipement tombe en état de panne?

- Oui
- Non

**Si oui**, quelle est la précision de cette information?

- Heure exacte,
- Au quart de travail près,
- Au jour de travail près.

15. Quels sont les moyens d'avertir les services mécaniques lors d'une défaillance?

- Par radio,
- Par téléphone,
- Verbalement,
- Autres, lesquels.

---

---

16. Prenez-vous en note le début d'une action d'entretien sur un équipement défaillant?

- Oui
- Non

**Si oui**, avec quelle précision?

- Heure exacte,
- Au quart de travail près,
- Au jour de travail près.

17. Prenez-vous en note la fin d'une action d'entretien?

- Oui
- Non

**Si non**, passez à la question 18

**Si oui**, à partir de quels événements considérez-vous la fin de celle-ci ?

- La fin des travaux d'entretien (fermeture du bon de commande),
- La mise en service de l'équipement par le département de production,
- Autres façons lesquelles.

---

---

---

**Si oui**, avec quelle précision?

- Heure exacte,
- Au quart de travail près,
- Au jour de travail près.

18. Quelle est la procédure lorsque l'équipement redevient disponible suite aux travaux d'entretien?

- Contacter le contre-maître des opérateurs,
- Les responsables de la production,
- Contacter l'opérateur de l'équipement en question,
- Indiquer dans les livres, les logiciels,
- Avertir les opérateurs du prochain quart de travail,
- Autres, lesquels.

---

---

---

19. Prenez-vous en note la durée des délais ou les temps d'attente (pertes de temps) associés aux actions d'entretien?

- Oui
- Non

**Si non**, passez à la question 21

**Si oui**, Avec quelle précision?

- Date,
- Quart de travail,
- Heure exacte.

20. Dans le temps consacré aux délais, distinguez-vous leurs catégories ou causes ?

Cochez les cases qui s'appliquent :

- Le matériel pour effectuer les maintenances n'est pas prêt,
- L'équipement est en attente d'une maintenance,
  - Manque de place au garage,
  - Manque de mains d'œuvre,
- En attente d'une pièce,
- Rupture de stock à la mine,
- Manque de mécaniciens,
- Attente après services externes,
- Autres, lesquels.

---

---

---

**Maintenance corrective (non-planifiée) et maintenance préventive (planifiée)**

21. Quelles sont les informations et/ou données prises en note et disponibles au sujet des travaux d'entretien? Cochez les cases qui s'appliquent.

- Type d'entretien,
  - Correctif/préventif
  - Planifié/non-planifié
- Durée de maintenance active
  - Heures travaillées (heures de main d'œuvre),
  - Temps écoulé sur l'horloge,
- Nombre de mécaniciens impliqués,
- Par éléments, modules, sous-systèmes faisant objet de l'intervention.

**Si vous utilisez la subdivision d'un équipement en sous-systèmes (*breakdown*), veuillez indiquer lesquels sont identifiés ou joindre au document la classification disponible.**

---

---

- Autres, lesquels.

---

---

---

**Utilisation des équipements de production (travail utile)**

22. Dans le temps de disponibilité, êtes-vous en mesure d'identifier le temps où l'équipement est disponible, mais inutilisé.

- Oui
- Non

**Si oui**, notez-vous les raisons (catégories) et les durées de ce fait?

- Gardé en réserve,
- Manque de besoin dû à la séquence de production,
- Manque d'opérateurs,
- Autres, lesquels.

---

---

---

23. Quelles sont les saisies des données sur le temps travaillé (temps opérationnel) des équipements?

- lecture du compteur → heures-moteurs,
- Heures rapportées par les opérateurs,
- Autres, lesquelles (heures de percussion pour les marteaux, par exemple).

---

---

---

24. Quelle est la fréquence de la lecture des heures-moteurs?

- Après chaque quart de travail,
- Une fois par jour,
- Une fois par semaine,
- Une fois par mois.

25. En terme réaliste, combien d'heures un équipement peut travailler au maximum par quart de travail tenant compte de :

- Descente sous terre,  

---
- Assignation du travail → rencontre avec contre-maître, superviseur,  

---

- Pauses réglementaires,  
\_\_\_\_\_
- Inspections quotidiennes d'équipements, faire le plein, etc.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

26. Outre les heures-moteurs et/ou les heures de travail rapportées, utilisez-vous d'autres façons pour quantifier le travail utile effectué? Par exemple :

Équipements de halage :

- Nombre de godets transportés,
- Nombre de camions chargés,
- Nombre d'aller retour,
- t \* km (camions ou LHD),
- Autres, lesquels  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Équipements de forage :

- Mètres forés,
- Diamètre des trous forés,
- Heures de percussion (équipements de forage)
- Autres, lesquels  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Boulonnage

- Nombre de boulons,
- Longueur de boulons posés,
- Autres, lesquels  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Autres équipements

---

---

---

---

#### Partie 4

#### Mesures et indices utilisés pour quantifier divers aspects de l'efficacité

27. Quels indicateurs de performance utilisez-vous? Veuillez nous les indiquer ainsi que la façon avec laquelle vous calculez leurs valeurs (**définitions, formules mathématiques, etc.**).

**Fiabilité des équipements**, par exemple :

- MTBF (Temps moyen entre les défaillances),
- Autres, lesquels.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Disponibilité des équipements, Définitions, formules mathématiques utilisées :**

- Disponibilité mécanique,
- Disponibilité opérationnelle,
- Autres, lesquels.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Maintenance**, par exemple :

- Pourcentage de l'entretien planifié,
  - En terme d'heures de main d'œuvre,
  - En terme d'heures écoulées sur horloge,
- Durée moyen des travaux,
- MTTR ( temps moyen entre les réparations), **Définitions, formules mathématiques utilisées.**
  - En terme d'heures de main d'œuvre,
  - En terme d'heures écoulées sur l'horloge,
- Taux de maintenance (heures de main d'œuvre par rapport aux heures d'opération),
- Autres, lesquels.

---

---

---

---

---

---

---

---

Utilisation, par exemple :

- Heures travaillées par rapport au temps de disponibilité,
- Heures travaillées par rapport au temps de travail planifié,
- Autres, lesquels.

---

---

---

---

---

---

---

---

28. A-t-on essayé un *benchmarking*, points de repère pour marquer le niveau actuel et pour quantifier une amélioration ou dégradation ?

- Oui
- Non

29. Quels indicateurs de performance utilisez-vous afin de comparer vos données à l'industrie ou aux autres sites miniers ?

- Fiabilité,
- Disponibilité,
- Taux d'utilisation,
- Main d'œuvre par rapport à l'heure d'utilisation,
- Coûts(opérateurs, entretien),
- Autres, lesquels.

---

---

---

---

**Partie 5**

**Quelles définitions et quelles mesures utilisez-vous afin d'évaluer les facteurs économiques?**

30. Quels sont les éléments et/ou les matériaux qui sont utilisés afin d'évaluer le coûts d'entretien ?

- Carburant, lubrifiants,
- Main-d'œuvre,
- opérateurs,
- mécaniciens,
- Pneus,
- Autres, lesquels

---

---

---

---

31. Lorsqu'il doit avoir un remplacement d'une pièce d'équipement, est-ce que des études économiques comparatives sont faites ?

- Abandon vs remplacement,
- Remplacement vs déplacement (un équipement qui passe d'une tâche primaire à une tâche secondaire),
- Réparation du vieil équipement,
- Autres, lesquels

---

---

---

---

# MERCI BEAUCOUP POUR VOTRE COLLABORATION PRÉCIEUSE !

SVP. Veuillez nous retourner le formulaire selon le mode qui vous convient le plus :

par courrier à l'adresse suivante :

***Édith Lafontaine***

***Étudiante graduée en génie des mines***

***Département de génie des mines, de la métallurgie et des matériaux***

***Université Laval***

***Québec, Qué., G1K 7P4***

ou par télécopieur :

***Jacek Paraszczak***

***Professeur***

***Département de génie des mines, de la métallurgie et des matériaux***

***Télécopieur: (418)656-5343***