

Soutien à l'amélioration continue de la sécurité opérationnelle, de l'efficacité de la maintenance et de la gestion du système d'air comprimé du site d'extraction d'or de Chirano Gold Mines

Ing. F. ROULETTE
Dr K. DAPAAH
Ir C. CHARLIER
GRAMME - Liège

L'analyse des sources de problèmes sur le site d'extraction d'or de Chirano Gold Mines Limited (CGML) se base sur l'analyse de la police de maintenance qui y est instaurée, afin de proposer des pistes d'amélioration pour optimiser l'efficacité du site. Celle-ci est comparée et adaptée à la solution théorique optimale recommandée pour la situation actuelle de l'entreprise avec comme préoccupations, la santé, la sécurité et l'environnement, ainsi que celles relatives à la maintenance et aux aspects techniques. La conclusion de cette analyse montre que l'optique d'amélioration continue reste une priorité à CGML, et de nombreuses opportunités sont accessibles et n'attendent que d'être concrétisées et implantées sur le site.

Mots-clés : maintenance, efficacité, coûts, progrès continu, air comprimé, santé, sécurité, environnement, voies d'amélioration.

The trouble sources analyse in the Chirano Gold Mines plant is based on the maintenance policy implemented there, in order to propose ways of improvement intending to optimise the plant efficiency. The maintenance policy implemented at CGML has been analysed, compared and adapted to the best theoretical solution recommended for the company current situation, regarding health, safety, environment and technical aspects. Moreover continuous improvements are still CGML prerogative, and a lot of opportunities are open and just have to be developed and implemented.

Keywords : maintenance, efficiency, costs, continuous progress, compressed air, health, security, environment, improvement ways.

1. Introduction

1.1. Chirano Gold Mines : une entreprise Kinross

L'entreprise Kinross est fondée en 1993 et devient rapidement l'un des leaders mondiaux du secteur des mines d'or. Cette entreprise est basée à Toronto et possède des mines et projets dans divers pays (Canada, États-Unis, Chili, Équateur, Russie, Ghana et Mauritanie), employant plus de 8000 personnes à travers le monde.

Le 17 septembre 2010, Kinross prend possession des mines d'or de Chirano, située au sud-ouest du Ghana (figure 1), approximativement à 100 km au sud-ouest de Kumasi, la deuxième ville ghanéenne.



Figure 1 : Localisation géographique

Les mines d'or de Chirano sont situées dans la "ceinture d'or de Bibiani"¹ (figure 2) et 11 dépôts d'or y ont été ou y sont encore exploités à l'heure actuelle (9 mines à ciel ouvert et 2 mines souterraines).



Figure 2 : Principaux dépôts d'or au Ghana

La première coulée d'or (figure 3) réalisée au sein des mines d'or de Chirano a eu lieu en Octobre 2005 (avant d'appartenir à Kinross).

¹ Bibiani Gold Belt



Figure 3 : Coulée : formation des lingots après extraction de l'or

1.2. Extraction de l'or

Le processus d'extraction de l'or débute par le broyage du minerai venant des mines d'or. Ce minerai est transporté par de gros camions sous forme de rochers, depuis les mines jusqu'à l'entrée du broyeur. Ce dernier est destiné à réduire les rochers en graviers d'environ 18 mm de diamètre, en les cassant et les tamisant de plus en plus finement, de manière continue et sur une base de 24h par jour et 7 jours par semaine.

Après cette étape, les graviers sont envoyés vers des moulins à balles d'acier (Figure 4), qui réduiront encore leur taille jusqu'à obtenir une fine poussière de minerai, nécessaire pour les processus de minéralurgie en général. La rotation des balles d'acier autour de l'axe horizontal du moulin, alors qu'il est partiellement rempli des graviers provenant du broyeur, permet l'obtention de la poudre de minerai désirée.

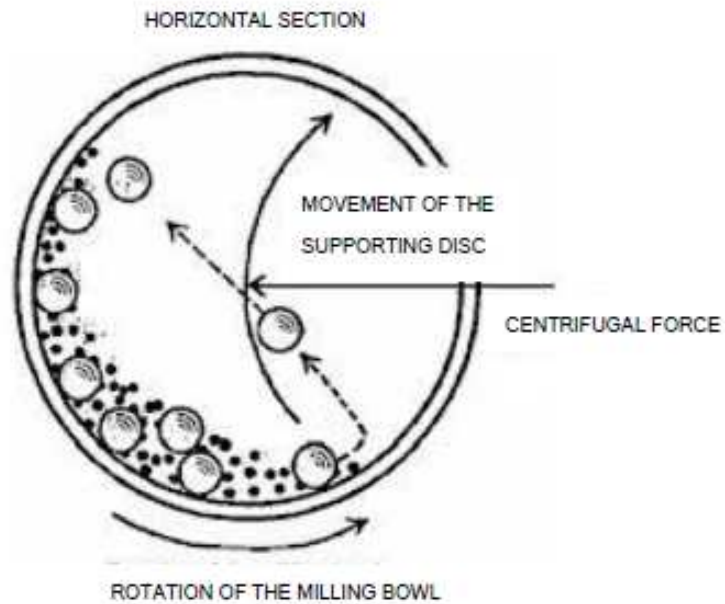


Figure 4 : Principe du moulin à minerai

La mixture composée d'eau et de poussière de minerai sortant des moulins est ensuite envoyée sous pression vers un hydrocyclone (figure 5). Le principe de l'hydrocyclone est simple : les particules les plus lourdes sont projetées contre le bord (par la force centrifuge) et renvoyées dans les moulins pour être moulues à nouveau, tandis que les particules les plus fines et l'eau, sont envoyées vers un épaisseur.

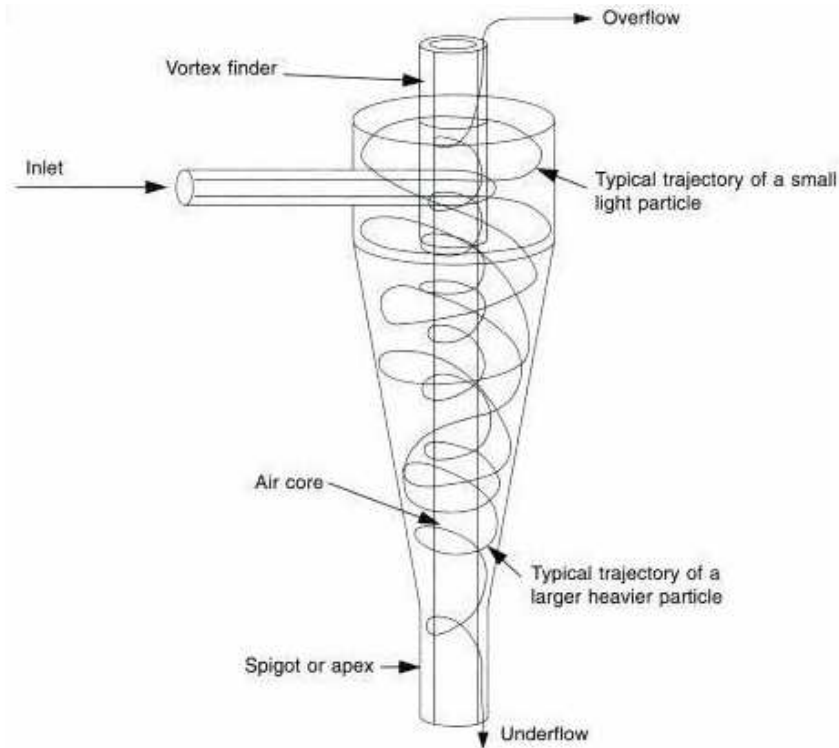


Figure 5 : Hydrocyclone

L'épaississeur est en réalité un grand bassin non agité qui permettra la sédimentation de la solution provenant de l'hydrocyclone, afin d'obtenir une mixture contenant 50% de masse solide. Celle-ci est alors pompée vers le procédé d'extraction chimique, appelé "carbone-en-lixiviation" (CEL²).

Le CEL est un procédé de récupération durant lequel une boue de minerai d'or provenant de l'épaississeur, des granulés de carbone et une solution de cyanure sont mis en contact. Le cyanure dissout l'or contenu dans la poudre de minerai, et celui-ci est absorbé sur le carbone. Ce carbone contenant l'or est ensuite extrait du mélange, pour subir d'autres procédés chimiques d'extraction, jusqu'à obtenir de l'or pur³.

² Carbon In Leach (CIL) en anglais.

³ L'or récupéré à la fin du process n'est qu'à 86% pur sur le site de CGML. Les lingots bruts ainsi formés sont envoyés en Suisse par avion, pour être refondus et purifiés, afin d'atteindre une pureté pouvant atteindre 98%. Pour une explication plus détaillée quant au procédé d'extraction chimique suivi à Chirano, se référer au travail de Wendy Lemaire (ref 6.2.3).

La capacité de production de l'usine de Chirano est de 3,5 millions de tonnes de minerai broyées par an.

2. Contexte de la maintenance à CGML

Pour introduire ce contexte, nous utilisons la courbe théorique de fiabilité générale des équipements en industrie (figure 6⁴).

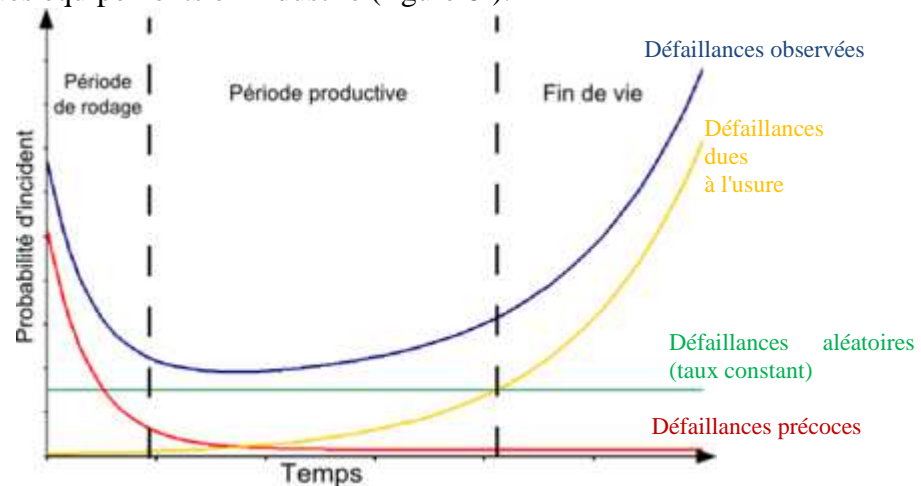


Figure 6 : Courbe de fiabilité d'un équipement en fonction du temps
Il peut être observé que la vie d'un équipement est séparé en 3 grandes périodes :

- le rodage (taux de défaillances précoces élevé),
- la période de productivité (défaillances précoces en baisse, défaillances d'usure en hausse, soit un taux de défaillances observé constant et assez bas),
- la fin de vie (taux de défaillances d'usure élevé).

Le but recherché ici est de déterminer où se situe le site de CGML sur cette courbe de fiabilité. Pour cela une analyse des données de maintenance est à réaliser.

⁴Traduit depuis : <http://www.acceleratedreliabilitysolutions.com>

2.1. Données de maintenance

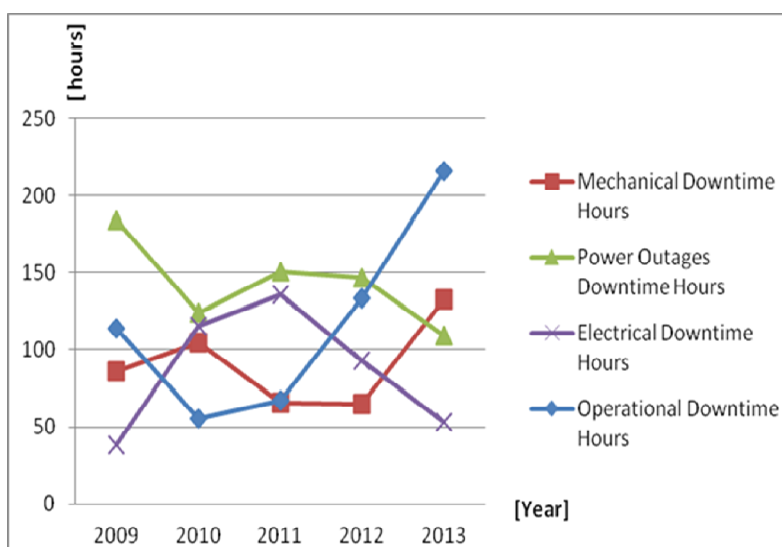


Figure 7 : Heures d'arrêt de l'équipement pour maintenance non planifiée

Le graphique ci-dessus (figure 7) nous donne un aperçu des heures de maintenance dédiées aux équipements à cause d'incidents inattendus aléatoires. Nous pouvons retenir 4 grandes causes d'incidents de ce type :

- défaillances mécaniques,
- défaillances électriques (plutôt influencées par la qualité de la maintenance que par l'âge de l'installation),
- défaillances opérationnelles (liées à l'application des règles, les compétences et l'attention des opérateurs),
- défaillances dues aux pannes de courant (non liées à l'âge de l'installation).

Par conséquent, nous ne prendrons en compte que l'évolution des défaillances mécaniques pour cette étude.

Selon la courbe théorique précédemment abordée à la figure 6, un équipement en période de productivité est caractérisé par un taux de défaillance plus ou moins constant. De part l'évolution croissante de ces

défaillances, sans explication logique selon les archives, tout pousse à croire qu'elles seraient expliquées par l'usure des équipements.

La maintenance du site d'extraction de CGML est gérée et planifiée par une équipe qui prend en compte tous les facteurs (humains et techniques) afin d'organiser les arrêts d'équipement uniquement pour des tâches qui le nécessitent (nettoyage, remplacements, réparations), et de structurer ces arrêts afin d'utiliser le temps imparti de manière optimale et efficace.

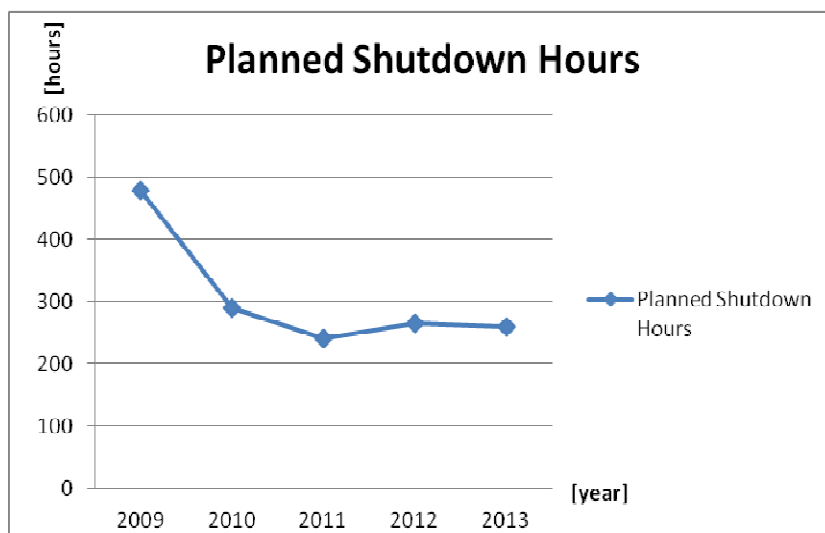


Figure 8 : Heures d'arrêt de l'équipement pour maintenance planifiée

La figure 8 ci-dessus nous donne un aperçu des heures d'arrêt d'équipements pour une maintenance planifiée, et ce sur les 5 dernières années. Il est aisé de voir que depuis 2011 ce nombre d'heures s'est stabilisé, ce qui veut dire que l'équipe de maintenance pense avoir trouvé un compromis satisfaisant entre maintenance préventive et curative. Trop d'heures d'arrêt dédiées à l'une ou l'autre politique de maintenance peuvent être très coûteuses, mais un bon équilibre entre les deux réduit ce coût.

En conclusion, les deux graphiques précédents nous ont indiqué deux choses importantes :

- l'accroissement des défaillances mécaniques ne suit pas la courbe de fiabilité d'un équipement classique si celui-ci était dans sa période de vie productive, et de part l'âge de l'équipement (dont certains

composants dépassent 50 ans de service), il est assez logique de déduire que cet accroissement est dû à l'augmentation des défaillances d'usure.

- Une politique de maintenance qui stabilise les heures d'arrêt pour maintenance signifie qu'il s'agit du meilleur compromis entre maintenance préventive et curative, et que par conséquent une modification du nombre de ces heures entraînerait une augmentation des coûts pour l'entreprise. De plus, s'il n'y a pas de changement dans la politique de maintenance, il n'y a pas de raison de voir un changement dans l'allure des courbes de défaillances qui en résulteraient.

Il est donc permis de conclure que l'équipement utilisé à CGML se situe au début de sa période de fin de vie.

2.2. Voies d'amélioration

Concernant le management de la maintenance sur le site, l'équipe de maintenance qui met en place les plannings des arrêts d'équipements devrait apprendre à mieux évaluer le temps de travail alloué aux différentes tâches de maintenance. En effet, une mauvaise évaluation du temps de maintenance de certains composants peut entraîner du retard dans le planning et donc une perte de temps de fonctionnement des machines. Ce temps perdu est pourtant précieux puisque chaque minute d'arrêt imprévue équivaut à un manque à gagner de 500\$ pour l'entreprise.

Une formation visant à sensibiliser les membres de l'équipe de maintenance à la difficulté et au temps d'exécution de chaque tâche pourrait donc être envisageable. Cela pourrait permettre d'améliorer l'efficacité des plannings de maintenance préventive et de mieux contrôler le temps alloué à chaque tâche.

Concernant la politique de maintenance en vigueur à CGML, un juste équilibre entre maintenance préventive et maintenance curative a été atteint. Une piste d'amélioration serait d'instaurer une politique de maintenance proactive sur le site, ce qui permettrait de prédire les pannes peu de temps avant qu'elles ne surviennent et par conséquent éviter l'effet de surprise en mettant l'équipement à l'arrêt avant que ne se présentent les éventuels dégâts résultant de la panne. La maintenance proactive repose en effet sur une

permanence en temps réel des équipements en fonctionnement, permettant de rapides interventions corrigeant directement la source d'un éventuel problème détecté. Elle requiert donc, pour un fonctionnement efficace, de nombreux capteurs donnant les diverses informations nécessaires (lubrification, vibration, température et fuites) et représente donc un investissement non négligeable et même souvent conséquent.

3. Sécurité et environnement

3.1. La sécurité opérationnelle

Pour commencer cette analyse, une étude a été réalisée quant à l'évolution des sources d'incidents ayant eu lieu sur les 5 dernières années, et le graphique illustré par la figure ci-dessous présente les résultats :

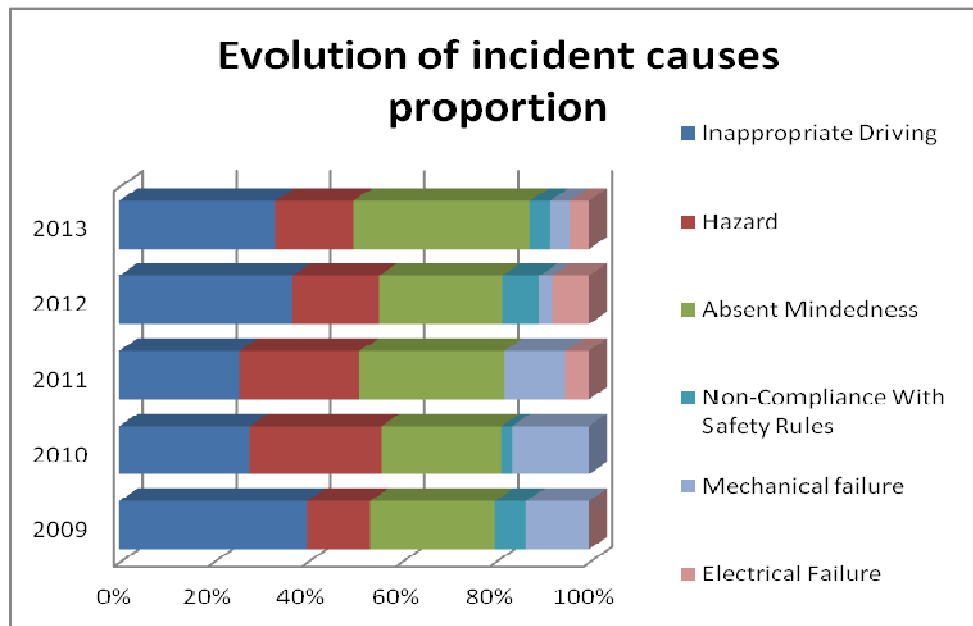


Figure 9 : Évolution des causes d'incidents

On peut remarquer au premier coup d'œil que les zones de 0 à 20% environ et de 60 à 80% sont en moyenne les plus importantes en proportion, représentant respectivement une conduite inappropriée des équipement/véhicules et le manque d'attention ou de concentration des

opérateurs. Il est donc permis d'affirmer qu'il s'agit des deux points faibles de l'organisation de la sécurité opérationnelle en vigueur sur le site.

Il est important de savoir que tout incident impliquant des opérateurs stoppe instantanément la production pour une durée minimum de vingt minutes⁵. Il serait donc utile de se focaliser sur les incidents récurrents afin d'éviter des arrêts dus à des failles dans la sécurité opérationnelle.

Un autre point à aborder concernant également la sécurité des opérateurs, à savoir leur capacité à être capable de mesurer l'importance et la nécessité des équipements de protection personnels (EPP), est à travailler sur le site de CGML. En effet, il est possible de remarquer de temps à autre des opérateurs travaillant à plusieurs mètres de haut, portant leur harnais de sécurité mais ne l'ayant pas attaché à la plateforme ou la barrière devant les retenir en cas de chute. Il s'agit ici de leur faire comprendre qu'il s'agit de leur propre sécurité et leur propre santé, et non pas des règles à suivre afin de contenter le manager du département Santé-Sécurité-Environnement.

Pour ce qui est des incidents mettant en jeu des véhicules, l'entreprise a mis en vigueur une politique très stricte quant au port de la ceinture de sécurité pour tous les passagers, mais n'a pu être pas assez insisté sur le coût et la durabilité des équipements. Les chauffeurs de véhicules et conducteurs d'équipements (plus ou moins) lourds devraient mettre avant tout en vigueur un comportement visant à prolonger le bon état et la durée de vie de ceux-ci.

3.2. Incidents environnementaux

Plusieurs débordements de cuves sont enregistrés chaque mois, dus à des défaillances de pompes, des tuyaux bouchés entre deux cuves ou autres. Des digues ont ainsi été construites tout autour du lieu de production, délimitant la dalle de béton réalisée sous les installations. Ces mesures visent à éviter toute contamination de l'environnement, et garder toute substance chimique utilisée à l'intérieur de ces délimitations. Concernant les déchets chimiques sortant du processus chimique d'extraction de l'or, ils sont pompés dans des bassins de résidus via de gros tuyaux. Dans l'histoire de CGML, un seul incident a été enregistré concernant la défaillance d'un tuyau contenant des résidus de production. Il s'en est suivi une contamination de l'environnement

⁵ Temps requis pour remettre en route les équipements.

par le cyanure, mais selon les archives, tout a été rapidement sous contrôle et les dommages ont pu être limités.

Il serait intéressant de noter que le sujet de la pollution de l'environnement est un sujet tabou sur le site. Il est en effet très difficile d'en discuter avec les managers et autres personnes en charge, et les données et informations récoltées sur place ne sont donc par conséquent pas tout à fait objectives.

4. Management du système d'air comprimé

L'air comprimé est une forme d'énergie stockée en vue d'actionner/manœuvrer des machines, des équipements ou des processus. Cette énergie est largement employée dans l'industrie mais également le secteur des services, lorsque l'emploi direct d'électricité est dangereuse ou tout simplement difficile, voir impossible pour les opérateurs.

4.1. Contexte Général

Il n'est pas rare d'entendre des opinions affirmant que l'air comprimé ne coûte rien puisque l'air de l'atmosphère est gratuit, mais ces croyances sont fausses. Il s'agit même de l'un des systèmes les plus coûteux et les moins efficaces en ce qui concerne la consommation d'énergie. Comme on peut le voir sur la figure 10 ci-après, seulement une petite part de l'énergie consommée par les compresseurs est actuellement transformée en énergie utilisable, soit en air comprimé⁶.

⁶ Seulement 10% de l'énergie consommée par les compresseurs est actuellement transformée en air comprimé.

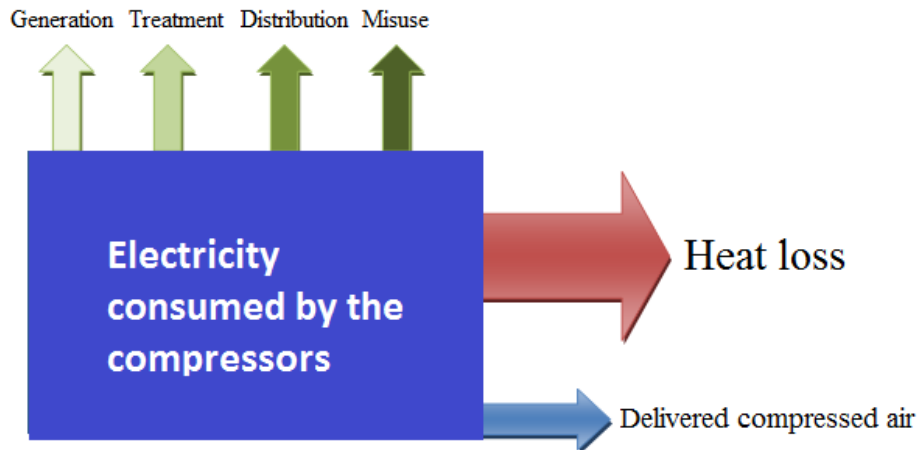


Figure 10 : Pertes dans l'emploi d'air comprimé

La question de savoir pourquoi tant d'entreprises ont recours à l'air comprimé se pose alors. La réponse est simple, les compresseurs permettent d'obtenir un air comprimé propre, stable, toujours disponible et simple d'usage. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle de nombreuses entreprises choisissent l'air comprimé alors que d'autres formes d'énergie (hydraulique, éolien, ...) seraient pourtant adaptées à leurs besoins et nettement plus économiques.

Les systèmes d'air comprimé sont généralement séparés en deux parties :

- la partie production (délivrante un air propre, stable et sec à une pression requise),
- la partie consommation (à partir de la sortie du compresseur, jusqu'au point de consommation).

4.2. Cas de Chirano gold mines limited

L'air comprimé est utilisé presque partout sur le site (vannes utilisées dans le procédé chimique d'extraction, colonne d'élution, colonne de lavage à l'acide, réacteurs de lixiviation, agitation des cuves, pompes alimentant en eau les moulins à minerais, outils pneumatiques, ...). La politique de réduction des coûts actuellement pratiquée à CGML a conduit à une analyse des coûts mais également certaines questions concernant l'efficacité du système d'air comprimé. Il a donc été nécessaire d'identifier et

de proposer des solutions afin d'éliminer les usages inappropriés d'air comprimé sur le site.

4.2.1. Pertes dues aux fuites

La principale des questions posées concernant l'efficacité du système d'air comprimé portait sur les nombreuses fuites identifiées (ou non) sur le site. Après un suivi de tous les tuyaux (dans la mesure du possible) transportant l'air comprimé, depuis les compresseurs, jusqu'aux différents points d'utilisation, 7 fuites ont été recensées. À l'aide d'un calculateur⁷ (imposé par l'ingénieur manager du site d'extraction) et compte tenu du coût de l'électricité au Ghana, du nombre d'heures d'utilisation des compresseurs par semaine et du nombre de semaines par an, du diamètre des tuyaux comportant des fuites et enfin du nombre de fuites, il a été possible d'évaluer la perte monétaire annuelle en résultant (illustrée à la figure 11), à savoir plus de 10000 \$ US par an.

Electricity Cost (\$ per kWh)	0.14	
Hours per week the compressor is operated	168	
Weeks per year the compressor is operated	52	
Leak loss (CFM)	Number of leaks	Annual Cost
1.94	7	\$10131.42
Total cost:	\$10131.42	

Figure 11 : Résultat du calculateur de pertes dues aux fuites dans un système à air comprimé

4.2.2. Pistes d'amélioration

Tout d'abord, un point positif serait de réaliser des plans plus récents concernant l'actuel système d'air comprimé. Cela permettrait de mieux situer

⁷ www.airpoweranalytics.com/leakcalc.php

les parties du système par rapport aux différentes parties du procédé d'extraction d'or, par exemple.

Par la suite, une analyse a été réalisée durant ce stage quant à la localisation des fuites. Cependant aucune réelle conclusion n'a pu être faite, uniquement des suppositions stipulant que les vibrations (nombreuses au niveau des cuves et des moulins à minerais) auraient un rôle à jouer quant aux problèmes d'étanchéité des joints. Suite à cette supposition, il a été recommandé d'effectuer des contrôles réguliers au niveau de ces parties du site, concernant les performances des joints, et ainsi détecter aussi rapidement que possible les nouvelles fuites afin de les éliminer le plus tôt possible.

En ce qui concerne les usages de l'air comprimé inadéquats, on peut retenir :

- l'agitation des cuves, une alternative beaucoup plus économique serait une agitation mécanique ou de l'air soufflé à pression atmosphérique.
- Les équipements abandonnés, il n'est pas rare de trouver des vannes abandonnées ou défailtantes laissant s'échapper en continu de l'air comprimé, en pure perte. Une solution serait de recenser tous les équipements de ce genre et les isoler du circuit d'air comprimé.

Le dernier point abordé ici concerne l'absence de personne à la tête de ce système. En effet, il n'existe pas de poste de référence, et personne à qui poser des questions ou se référer en cas de panne ou autre défaillance du système. Ce serait donc un atout non négligeable pour l'entreprise de former quelqu'un à cette tâche, afin de pouvoir réduire les temps de réparation dus à un manque de connaissances quant au fonctionnement des compresseurs et des autres équipements liés au système d'air comprimé. Cela induirait donc des économies au vu de la diminution résultante des heures de non fonctionnement des équipements.

5. Conclusion

Le but recherché tout au long de ce travail était de trouver des pistes d'amélioration, de progrès applicables sur le site de Chirano Gold Mines Limited.

Concernant la maintenance, il a été possible de positionner l'équipement sur sa courbe de vie, et ainsi réaliser qu'il serait judicieux de progressivement remplacer l'équipement existant par un plus récent. Le management de la maintenance est régulièrement remis en question et modifié en conséquence, mais certains problèmes persistent (description des tâches à effectuer et évaluation du temps donné pour les remplir). La police de maintenance pourrait être plus développée (à savoir une évolution possible vers une maintenance proactive) mais ce développement n'est pas sans être accompagné d'un investissement financier conséquent ainsi qu'une modification des habitudes des opérateurs, toujours délicate à mettre en œuvre.

Concernant la sécurité opérationnelle et l'environnement, il serait intéressant pour l'entreprise d'entreprendre à plus grande échelle une sensibilisation quant à la maintenance et aux coûts des équipements. La question du port des équipements personnels de protection est déjà une priorité pour l'entreprise au vu des risques encourus sur le site, et il est important que les responsables continuent à pénaliser les opérateurs ne respectant pas les directives de sécurité. Enfin, pour ce qui est de la préservation de l'environnement, une sensibilisation continue des employés est primordiale pour garder celui-ci propre, et écarté de toute pollution.

Pour conclure, il est permis de dire que l'entreprise fait tout ce qui est en son pouvoir pour améliorer les aspects de production mais également de sécurité opérationnelle et de préservation de l'environnement. Ce travail était un projet de lancement puisqu'aucun de ce genre n'avait été entrepris à CGML durant les années précédentes. Il a permis de mettre en évidence plusieurs problèmes, cependant, certains points restent négligés comme celui du système d'air comprimé, et cela à tort : en effet l'optimisation de certains équipements serait un véritable atout pour une entreprise qui n'a pas fini de s'améliorer.

6. Sources

6.1. Ouvrages

1. AUSTRALIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF INDUSTRY TOURISM AND RESOURCES, *A guide to leading practise sustainable development in mining*, Canberra, 2010.

2. CHIRANO GOLD MINES LIMITED, *Final Environmental Impact Statement*, Accra, Bio Consult Limited, May 2012.
3. THE AUSTRALIAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY GROUND FLOOR, *Mine Manager's Handbook*, Australia, 2012.

6.2. Thèses

1. ALALI ALHOUI, *Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué*, Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunication et Signal, Thèse Doctorale, Institut Polytechnique de Grenoble, France, 2010, 153p.
2. REMY, *Planning of tailings dams rehabilitation for land use options at Chirano Gold Mines*, Chemical Industry, End Studies Traineeship Report, Liège : Gramme Institute, 2013, 129p.
3. W. LEMAIRE, *Study of the process of flotation in gold extraction*, Chemical Industry, End studies Traineeship Report, Liège : Gramme Institute, 2011.

6.3. Articles

1. G. VASSILIADIS, E.N. PISTIKOPOULOS, *Maintenance scheduling and process optimization under uncertainty*, Computers and Chemical Engineering n°25, Centre for Process Systems Engineering, Imperial College, UK, 2001, pp 217–236.
2. J. Bufferne, *Optimiser la Maintenance préventive*, Revue Maintenance et Entreprise n°599, France, 2007, pp40-43.

6.4. Documents électroniques (pdf)

1. INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ASSOCIATION (ISSA), INTERNATIONAL SECTION FOR THE CHEMICAL INDUSTRY AND INTERNATIONAL SECTION FOR MACHINE AND SYSTEM SAFETY, *Maintenance and Changes*, ISSA Prevention Series No. 2054 (E), 2007.
2. YNGVE MALMÉN, *Risk to Maintenance workers during plant shutdowns*, European Agency for Safety and Health at Work, VTT Technical research Centre of Finland.

3. DUYQUANG NGUYEN AND MIGUEL BAGAJEWICZ, *Optimization of Preventive Maintenance Scheduling in Processing Plant*, The University of Oklahoma, USA, 2008.
4. G. FLEURQUIN, O. BASILE, B. ROLAND, P. DEHOMBREUX F. RIANE, *Aide à la décision pour l'optimisation de politiques de maintenance*, Service de Génie Mécanique et Département de Gestion de Production et des Opérations, Faculté Polytechnique et Facultés Universitaires Catholiques de Mons, Belgique, 2006.
5. RICH OVERMAN, CORE Principles of Reliability-Centered Maintenance, CORE Principles, LLC, 2012.
6. R. WARREN, *Maintenance Optimization : A Critical Aspect of the Equipment Reliability Program*, INPO IAEA, World Association of Nuclear Operations, Vienna, 2011.
7. S. SEIFEDDINE, *Effective Maintenance Program Development/Optimization*, 12th International Process Plant Reliability Conference, Houston Texas, 2003.
8. I.F. DA CUNHA, *Guide de référence sur l'efficacité énergétique de l'air comprimé*, Ressources naturelles, Canada, 2007.
9. C. BEALS, J. GHISLAIN, D. MCCULLOCH, W. PERRY, D. PRATOR, W. SCALES, G. SHAFER, D. SMITH, T. TARANTO, H.P. VAN ORMER, *Improving Compressed Air System Performances*, Compressed Air Challenge and the United States Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, USA.

6.5. Sites Web (dates de consultation)

1. Industrial maintenance
<http://www.technologuepro.com/cours-maintenance-industrielle/La-maintenance-industrielle.htm> (14/01/2014)
2. Preventive maintenance
http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/ind_mt_sup_maintenance.html (17/01/2014)
3. Technical vocabulary
<http://www.businessdictionary.com> (17/01/2014)
4. About Kinross Company
<http://www.kinross.com> (29/01/2014)
5. Milling process
<http://www.mbmmlc.com/Ore-Milling.html> (04/03/14)
6. Gold Mining Process

- <http://www.denvermineral.com/gold-mining-process-development/>
(04/03/14)
7. Ghana
http://www.modernghana.com/GhanaHome/ghana/economy.asp?menu_id=6&menu_id2=0&s=c (24/03/14)
 8. Economic Situation of Ghana
<http://www.tresor.economie.gouv.fr/> (25/03/14)
 9. Réaménagement des anciens sites miniers
<http://www.areva.com/FR/activites-667/reamenagement-de-sites-miniers.html> (02/04/14)
 10. Carbon stripping
<http://www.denvermineral.com/carbon-stripping/> (04/04/14)
 11. Maintenance Guide
<http://guide2maintenance.free.fr/Maintenance.html> (04/04/14)
 12. Manual on Compressors and Compressed Air Systems.
<http://greenbusinesscentre.com/documents/compressor.pdf>
(07/04/2014)
 13. MT University : Compressors
http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/current/new_courses/CM4120/
(08/04/14)
 14. Evaluating Different Blower Technologies on a Wire-to-Air Basis
<http://www.airbestpractices.com/technology/blowers/evaluating-different-blower-technologies-wire-air-basis> (09/04/14)
 15. Leak calculator
<http://airpoweranalytics.com/leakcalc.php> (14/04/14)
 16. Conseils pratiques pour optimiser les systèmes d'air comprimé
<http://www.rncan.gc.ca/energie/produits/reference/15137> (15/04/14)
 17. Contrôle des coûts de maintenance
<http://www.analysepredictive.fr/les-livres-blancs/les-livres-blanc-de-la-qualite-maintenance/des-operations-de-maintenance-plus-efficace-pour-une-meilleure-maitrise-des-couts> (15/04/14)
 18. Gérer les coûts de maintenance
<http://www.cimi.fr/index.php/cdt/dossiers-thematiques/199-couts-de-maintenance-quelques-cles-pour-mieux-les-gerer.html> (04/05/14)