



MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

**Diplôme de Licence Sciences et Techniques
Spécialité : Conception et Analyse Mécanique**

**Mise à niveau des méthodes de lubrification des équipements
mécaniques**

Présenté par :

Semlali Zakaria et Ghassane Ait Youssef

Encadré par :

- Abdelhamid Touache.**
- Mohammed Benchekroun (HOLCIM).**

Effectué à : Holcim-Maroc-Fès-Ras El Ma

Soutenu le: 15/06/2013

Le jury :

- Mr. Touache Abdelhamid, Faculté des sciences et techniques.**
- Mr. El Khalfi Ahmed, Faculté des sciences et techniques.**

Année Universitaire : 2012-2013

REMERCIEMENTS

Avant d'aborder le vif du sujet, nous tenons à remercier tous ceux qui ont eu l'amabilité de nous aider pour la réussite de notre Projet de Fin d'Etudes, particulièrement :

Monsieur **Mohammed Benchekroun**, responsable du service maintenance mécanique HOLCIM Fès-Ras El Ma, Monsieur **Hicham Haddane** et Monsieur **Ahmed Salama**, Monsieur **Errabi Omar**, Professeur **Touache Abdelhamid**, notre encadrant de ce Projet de fin d'étude, pour le soutien, les orientations, les conseils et les efforts qu'il n'a cessés de déployer durant la durée du stage.

Monsieur **Azri Abdelali**, Monsieur **Hamid Hmidouche**, et tout le personnel du service conception mécanique pour leurs aides et soutiens inconditionnels.

Tous le corps professionnel et l'ensemble du personnel de la cimenterie HOLCIM de Fès- Ras El Ma pour leurs soutiens et ses précieux conseils.

Par la même occasion nous tenons à remercier tout le corps professoral du Département Génie Mécanique et tous les responsables de la faculté des sciences et techniques de Fès.



Ait Youssef Ghassane



Semlali Zakaria

Sommaire :

INTRODUCTION.....	4
Chapitre 1: Présentation de HOLCIM et de l'industrie de fabrication du ciment.....	5
1. Présentation de Holcim (Maroc).....	5
1.1. Généralités	5
1.2. Activités de Holcim (Maroc)	6
1.3. Présentation de la cimenterie de Fès.....	7
2. Généralités sur le ciment.....	7
2.1. Qu'est-ce que le ciment ?.....	7
2.2. Matières premières du ciment.....	8
2.3. Caractéristiques et classifications du ciment	8
3. Processus de fabrication du ciment.....	9
3.1. L'extraction et la préparation des matières premières.....	9
3.2. Broyage cru, filtration et homogénéisation :	10
3.3. Ligne cuisson.....	10
3.4. Broyage cuit.....	11
3.5. Ensachage et expédition.....	12
Chapitre 2: Notions de base sur la lubrification.....	13
1. Définition	13
2. Le Frottement	13
3. Les modes de lubrification.....	15
4. Les Lubrifiants	16
4.1. La viscosité des lubrifiants.....	17
4.2. La viscosité cinématique (ν)	19
4.3. La viscosité dynamique (μ)	19
5. Les huiles lubrifiantes	20
5.1. Propriétés caractéristiques des huiles lubrifiantes	20
5.2. Principales classifications des huiles	21
5.3. Principaux dispositifs de lubrification à l'huile.....	22
6. Les graisses :.....	23
6.1. Propriétés des graisses	24
6.2. Classification des graisses.....	24
6.3. Principaux dispositifs de graissage	25
Chapitre 3 : Définition du problème.....	26

1.	Le nouveau projet HOLCIM Fès : doublement de capacité	26
2.	Problèmes liés à la lubrification	28
2.1	La mauvaise connaissance des données techniques.....	28
2.2	Le besoin d’informer et de former en continu les opérateurs.....	29
2.3	Une adaptation et une correction des techniques de lubrification et des types de lubrifiants	30
2.4	La décentralisation des informations	31
2.5	L’insécurité des interventions	31
2.6	Le besoin d’investir en matière d’équipements de lubrification	32
Chapitre 4 : Présentation du travail réalisé.....		34
1.	Introduction	34
2.	Présentation de quelques défauts types sur engrenages.....	34
2.1.	Le pitting	34
2.2.	L’écaillage	35
2.3.	Le grippage	35
2.4.	L’abrasion.....	35
3.	Définition des objectifs et de la démarche de réalisation du projet	36
4.	Création d’une base d’informations et de données techniques	36
5.	Définition de la criticité des équipements.....	41
6.	L’identification des équipements au niveau du chantier	42
7.	L’aménagement d’un atelier de graissage.....	47
8.	La préparation de la liste du matériel.....	47
9.	Conception et aménagement de l’atelier de graissage	50
CONCLUSION.....		52
Bibliographie		54
ANNEXE 1 : Comparaison des Classifications ISO et SAE		55
ANNEXE 2 : Propriétés des graisses usuelles		56
ANNEXE 3 : Base de données de lubrification des équipements de l’usine		57

INTRODUCTION

Dans le cadre de son amélioration continue, la cimenterie HOLCIM a lancé un projet qui s'inscrit dans le cadre de la mise à niveau de la maintenance préventive au niveau de l'usine, alors que notre travail dans ce Projet de Fin d'Etude au sein de cette usine, s'inscrit dans l'optique de contribuer à atteindre les objectifs de ce projet.

Notre sujet s'articule sur la mise à niveau de la lubrification et le graissage des équipements mécaniques, critiques, de l'usine.

Notre étude est composée de deux volets, la première partie vise à corriger et centraliser les informations et le savoir-faire sur la lubrification des équipements. La seconde partie est réservée à la facilité du travail et l'organisation de l'atelier de graissage.

Ce projet était une bonne occasion pour raffiner nos capacités d'observation et de recherche des solutions. En plus, ce stage nous a permis d'améliorer notre méthodologie de travail et de développer notre esprit d'équipe. Ce travail de nature multidisciplinaire nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'industrie cimentière et confronter la vie active.

Chapitre 1: Présentation de HOLCIM et de l'industrie de fabrication du ciment

1. Présentation de Holcim (Maroc)

1.1. Généralités

Fondée en 1912, Holcim est un groupe suisse qui occupe la position de leader dans les produits des matériaux de construction pour un usage plus varié. Présent dans **70** pays à travers le monde, le groupe est actif dans les secteurs du ciment, des granulats, tels que le sable et graviers, ainsi que du béton, il compte **90000** employés.

Participant à la construction de la cimenterie d'Oujda en 1978, Le groupe Holcim détient depuis 1993 **51%** du capital de Holcim Maroc, la banque islamique pour le développement est le second actionnaire avec prêt de **13.8%**, le reste, soit **35,2%**, constitue le flottant en bourse (figure 1).

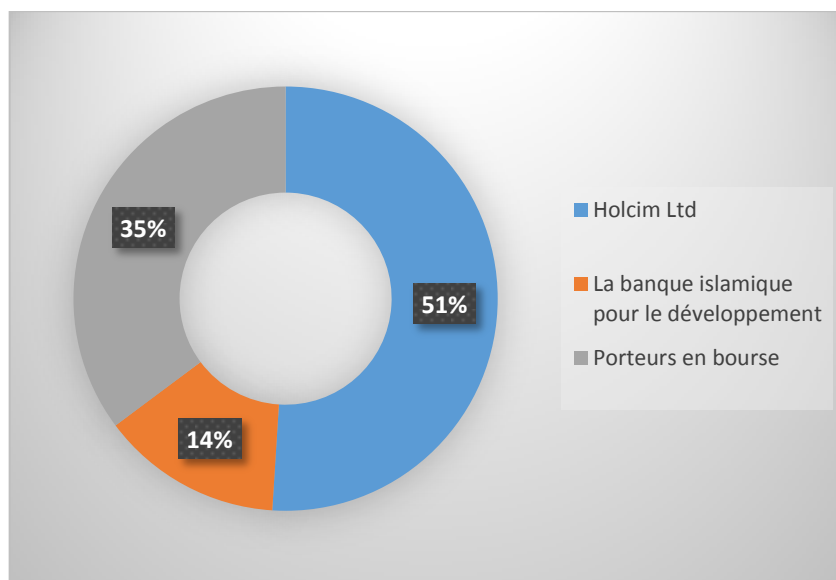


Figure 1: Répartition du capital de Holcim Maroc

Aujourd'hui Holcim est présente dans différentes régions du Maroc et dispose d'une capacité annuelle de production de **4.5 millions** de tonnes, elle exploite trois cimenteries : Oujda Fès et Settat, un centre de broyage, d'ensachage et de distribution : Nador, ainsi qu'un centre de distribution : Casablanca.

1.2. Activités de Holcim (Maroc)

Outre que le ciment, Holcim (Maroc) est présent dans d'autres métiers :

✓ **Béton** : production et vente de béton prêt à l'emploi, Holcim béton dispose de sept centrales à béton fixes et une mobile répartis dans les régions de Casablanca, Rabat, Fès, Nador et Tanger ; un laboratoire pour réaliser les essais normalisés sur béton ainsi que les essais de formulation spécifique.

✓ **Granulats** : à proximité des marchés de Rabat et de Casablanca, Holcim Granulat exploite une carrière dans la région de Ben Slimane.

Holcim Maroc s'est engagée dans d'autres activités qui ont un rapport avec l'environnement, elles sont :

✓ **Activité AFR¹** : avec un souci d'économiser les ressources naturelles grâce à la valorisation des déchets industriels utilisés comme combustibles ou matières premières de substitution, cette activité consiste en l'approvisionnement en déchets valorisables, par la vente de prestation de service de valorisation ou d'élimination aux générateurs de déchets, selon le principe du pollueur payeur.

✓ **Ecoval Maroc** : créée en 2005 afin de gérer les AFR, elle a pour mission d'analyser, caractériser les déchets, collecter, transporter, recycler et éliminer les déchets dangereux.

¹ *Alternative Fuels and Raw Materials* : Valorisation de Matériaux et Combustibles Alternatifs.

1.3. Présentation de la cimenterie de Fès



Figure 2: Holcim Fès - Ras El Ma

Située à 25 Km au sud de Fès, l'usine de Fès utilise le procédé de fabrication à voie sèche intégrale avec une capacité annuelle de 1 million de tonnes, il comporte des ateliers de : concassage, broyage, stockage de la farine, cuisson, stockage du clinker, broyage des combustibles, broyage du ciment, ensachage et expédition du ciment.

Les cimenteries de Fès et d'Oujda sont certifiées ISO 14 001 et 9 001 version 2000.

2. Généralités sur le ciment

2.1. Qu'est-ce que le ciment ?

C'est une gangue hydraulique utilisée dans différents domaines, principalement comme matériau de construction. Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage de différentes matières premières.

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire (CaCO_3) environ de 80% et d'argile ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) environ de 20%. Selon l'origine des

matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

2.2. Matières premières du ciment

Les matières premières qui rentrent dans la fabrication du Ciment sont essentiellement de calcaire et d'argile ou de toutes matières renfermant essentiellement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃), et de l'oxyde ferrique (Fe₂O₃).

Les matières d'ajout sont principalement:

Le Gypse : son rôle est de régulariser le temps de prise du ciment.

Le Calcaire : Ajout qui diminue la résistance du ciment et qui peut être remplacé par la Pouzzolane qui a les mêmes caractéristiques. C'est le composant principal du Clinker.

Le Schiste : le gisement de schiste se situe à 20 Km de Sud-ouest de la ville Fès (Bhalil).

Les matières de correction: Les matières de correction sont en général : le sable et les minerais de fer, elles sont ajoutées à la matière crue, leur coût est élevé car elles sont fournies par des fournisseurs étrangers.

La Pouzzolane : une matière volcanique, et spécialement utilisée pour la fabrication de tous les types du ciment commercialisé par HOLCIM sauf pour le CPJ35.

2.3. Caractéristiques et classifications du ciment

La propriété essentielle des ciments en vue de leur emploi, est de donner un mélange avec l'eau sous forme d'une pâte qui va durcir. Ceci est obtenu grâce au phénomène très complexe de l'hydratation du ciment.

L'hydratation du ciment est une somme de réactions chimiques de vitesses variables entre les différents constituants du ciment et l'eau, si bien que l'on observe au bout d'un certain temps une augmentation de la consistance de la prise de ciment, puis progressivement la pâte durcit. Le durcissement est un phénomène de longue durée.

Pour essayer les ciments, on a défini conventionnellement un début de prise et une fin de prise. Mais en réalité il s'agit d'un phénomène continu. On distinguera à ce sujet des ciments à prise rapide, demi-lente, ou lente (ciments courants).

Les ciments sont classés en tenant compte de :

Leur composition : Nous avons vu que le ciment Portland artificiel (CPA) résulte de la mouture du clinker avec un peu de gypse, mais on peut également ajouter en quantité variable d'autres matières soit inertes, soit plus au moins actives pour obtenir le ciment Portland à ajouts (CPJ), les ajouts pouvant être : la pouzzolane, la cendre volante, le calcaire, Filler siliceux, le laitier...

3. Processus de fabrication du ciment

La fabrication du ciment par le procédé à voie sèche consiste à mélanger du calcaire, de l'argile et des additifs tels que le minerai de fer et le sable, ce mélange le cru- est porté à haute température (1450°C) dans un four rotatif.

Les transformations physico-chimiques provoquent la formation artificielle d'une roche appelée clinker. On y incorpore alors des ajouts (le gypse, la pouzzolane, les fillers, les cendres volantes...) choisis en fonction des domaines d'utilisation du ciment.

3.1. L'extraction et la préparation des matières premières

- **Exploitation Carrière** : la matière première, le calcaire, est extraite d'une carrière proche de l'usine par explosion, avec une superficie de 112 hectares cette carrière compte plus d'un siècle de réserves exploitables en calcaire de bonne qualité.

Le calcaire est transporté par des dumpers vers un atelier de concassage.

- **Concassage** : l'opération de concassage a pour objectif la réduction de la granulométrie des blocs de pierres en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm) cette opération est assurée par un concasseur à marteaux.

Ce concasseur est constitué de deux rotors, chaque rotors contient 18 marteaux et il peut traiter jusqu'à 400 tonnes par heure.

La matière sortant du concasseur est acheminée vers un hall de stockage par un convoyeur à bande.

3.2. Broyage cru, filtration et homogénéisation :

- **Broyage cru** : un broyeur à galets réduit la matière première (77,5% calcaire + 18% d'argile + 3% de schiste + 1,5% de minerai de fer) à l'état de farine.

Ce résultat est obtenu par de pairs de galets qui écrasent les morceaux sur une assiette rotative jusqu'à ce que cette matière atteigne la finesse souhaitée.

- **Filtration des gaz du four** : les gaz sortant du four servent à sécher la matière dans le broyeur à farine, ils assurent aussi le transport de la farine crue à destination du silo à farine (silo HOMO).

L'installation de filtration comporte 12 cellules, soit une surface filtrante de 10 992 m². Avec un débit de 245000m³ /h chaque cellule contient plusieurs filtres à manches, ces dernières retiennent des poussières particulièrement fines avant que les gaz soient jetés dans l'atmosphère.

- **Homogénéisation** : à la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en farine, l'opération d'homogénéisation permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes afin de fabriquer le clinker de qualité constante ; des sur-presseurs assurent une fluidisation de la farine stockée dans un silo de capacité de 5000 tonnes, ainsi la matière (farine) est homogénéisée et la préparation de la matière est achevée.

3.3. Ligne cuisson

Il s'agit de la phase la plus importante du procédé de fabrication en termes de potentiels, d'émission, de qualité et de coût du produit. Le cru est introduit dans un four où il est séché, décarbonaté et clinkerisé pour donner du clinker, lequel est refroidi par l'air avant d'être stocké :

- **Préchauffage** : l'échangeur à cyclones assure de manière optimale le préchauffage de la farine crue avant que celle-ci passe dans le four, elle y rencontre les gaz chauds sortant du four. Cette opération consiste à évaporer l'eau à 100°C et éliminer l'eau chimiquement liée -déshydratée- à 500°C. Le préchauffage est poursuivi jusqu'à la décarbonatation partielle de la matière.

- **Décarbonatation** : la décarbonatation s'effectue dans un précalcinateur placé entre le four et la tour des cyclones, où la farine est à 60% décarbonatée, le but principal du précalcinateur est d'augmenter le degré de décarbonatation de la matière à l'entrée du tube rotatif, de réduire la quantité relative de combustible et d'augmenter la capacité du four.

- **Clinkerisation** : le four assure le transfert de chaleur le plus efficace possible du combustible en flamme à la farine préchauffée. Avant d'entrer au four celle-ci a déjà atteint la température de 1000°C, à l'intérieur, elle passe à 1450°C, à cette température élevée, les minéraux constituant la farine réagissent pour former du clinker, composé principalement de cristaux de silicate de calcium. Le four conçu par POLYSIUS, peut tourner jusqu'à 2,5 tours par minute, il est incliné de 3,5%. L'inclinaison et la rotation du four font progresser la matière.

- **Refroidissement** : le clinker doit ensuite être rapidement refroidi, pour cela on pulse de l'air tiré de l'atmosphère à travers la grille du refroidisseur, sur laquelle passe le clinker. Ce même air, ainsi préchauffé alimentera le four en oxygène, une telle récupération de chaleur assure l'utilisation optimale de l'énergie consommée. Le clinker quitte à 120°C le refroidisseur sur un transporteur à plaques.

3.4. Broyage cuit

le clinker stocké dans un silo de capacité de 5000 tonnes est broyé avec addition de gypse (7%) pour régulariser le temps de prise du ciment et éventuellement d'un ou deux constituants secondaires ou ajouts qui donnent au ciment les propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualité du ciment.

Les ajouts utilisés sont :

- Cendre volantes : récupération des poussières des centrales thermiques au charbon.
- Les pouzzolanes : roches d'origines volcaniques.

Les broyeurs utilisés sont :

➤ **Un broyeur vertical à galets** : ce type de broyeur est constitué d'une piste rotative, deux galets masters et deux galets esclaves, conçu par LOESCHE. ce broyeur a un débit de 120 tonnes par heure.

➤ **Un broyeur horizontal à boulets** : ce broyeur a la forme d'un gros cylindre d'un diamètre de 2.8m. Ce type de broyeur peut broyer jusqu'à 25 tonnes par heure.

Les catégories du ciment fabriqué à HOLCIM de Fès sont :

- **CPJ 55** :
 - Le clinker est utilisé avec 90%,
 - Le gypse est utilisé à 7%,
 - La pouzzolane + le calcaire sont utilisés à : 3%.
- **CPJ 45** :
 - Le clinker est utilisé avec 67%,
 - La pouzzolane + le calcaire sont utilisés à : 18%.
 - Les cendres volantes sont utilisées à : 8%,
 - Le gypse est utilisé à 7%.
- **CPJ 35** :
 - Le clinker est utilisé avec 63%,
 - La pouzzolane + le calcaire sont utilisés à : 30%.
 - Le gypse est utilisé à 7%.

A la sortie des broyeurs, le ciment est transféré par voie pneumatique vers trois silos de stockage de capacité de 5000 tonnes pour chaque catégorie du ciment

3.5. Ensachage et expédition

Le processus de fabrication du ciment est terminé, l'ensachage est assuré par 4 installations identiques produisant chacune 90 tonnes par heure.



Figure 3: chargement d'un camion-secteur expédition

Chapitre 2: Notions de base sur la lubrification

1. Définition²

La lubrification ou le graissage est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et, en mouvement l'une par rapport à l'autre. Elle permet souvent d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion. La lubrification



permet de changer le coefficient de frottement entre deux éléments afin de faciliter le glissement ou le roulement entre elles ainsi que d'éviter ou de minimiser l'usure et les échauffements.

2. Le Frottement

Le frottement est un phénomène dû à la structure même de la matière, il se traduit par divers effets :

- **Effet dynamique** : l'énergie dissipée au frottement mécanique est proportionnelle au facteur de frottement moyen.
- **Effet thermique** : l'énergie perdue en frottement se traduit par une perte de chaleur.
- **Effet mécanique** : qui peut se traduire par l'usure des surfaces en contact.

Au contact, si les surfaces sont propres, les atomes de l'une attirent les atomes de l'autre et produisent ainsi une très forte adhésion. et quand les surfaces glissent l'une sur l'autre : les jonctions ainsi formées doivent être cisailées.

² Définition de Wikipédia.

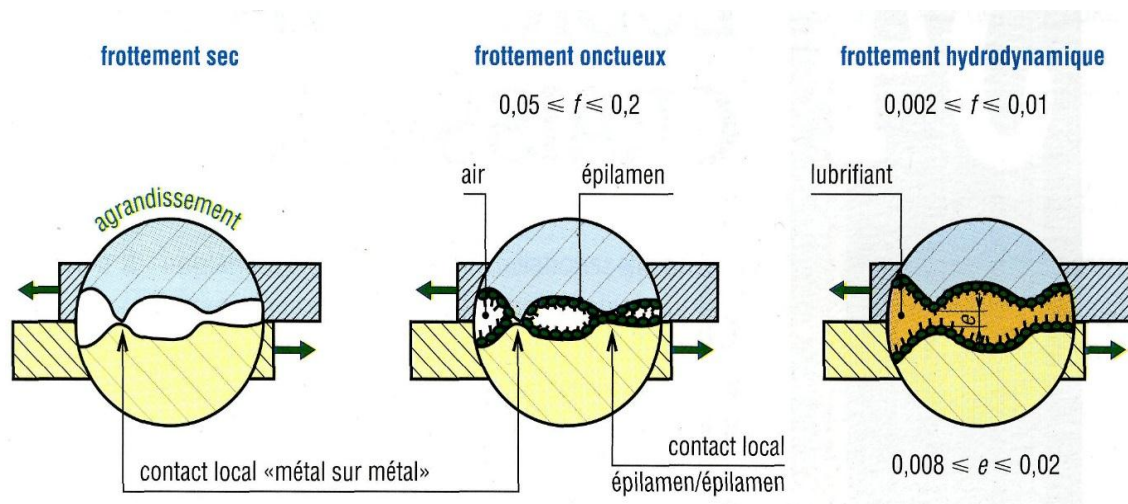
Si une surface est plus dure que l'autre, les aspérités pourront creuser de petits sillons dans la surface la plus tendre.

Il existe 3 types de frottements différents :

- Le glissement
- Le roulement
- Le pivotement

Quel que soit le type de frottement, il peut y avoir :

- Un **frottement sec** : lorsque aucun lubrifiant n'est interposé entre les surfaces en mouvement. Le glissement y est le plus difficile et l'usure la plus rapide ; il est caractérisé par des contacts locaux fréquents sur les aspérités des surfaces, des échauffements, des arrachements et des microsoudures.
- Un **frottement onctueux** : un film de lubrifiant recouvre les surfaces en contact sous la forme d'un épilamen (une couche très fine). Le frottement est diminué et le glissement favorisé. Les contacts locaux directs, sans épilamen, sont plus rares ; il y a moins d'arrachements, de microsoudures et d'usure.
- Un **frottement fluide** ou **hydrodynamique** : il n'y a aucun contact entre les surfaces. Celles-ci sont toujours séparées par une couche de lubrifiant d'épaisseur minimale allant de 0,02 à 0,008 mm. Le mouvement, à condition que la vitesse soit suffisante, crée une portance hydrodynamique comparable au ski nautique. Le frottement est très réduit et l'usure pratiquement nulle.



3. Les modes de lubrification

- La Lubrification ponctuelle : Cette première méthode consiste à mettre le lubrifiant avant le mouvement ou durant le mouvement. Cela peut se faire de manière manuelle , par exemple en déposant des gouttes d'huile avec une burette , en plaçant de la graisse avec les doigts (si celle-ci n'est pas toxique), ou bien en appliquant le lubrifiant avec un pinceau. C'est par exemple le cas de la lubrification d'une chaîne de vélo, des gonds d'une porte.



Figure 4: Lubrification ponctuelle à la burette

- La lubrification continue : ce mode de lubrification touche tous les mécanismes en mouvement et est constituée par un système de conduites qui amène, par l'intermédiaire d'une pompe, le lubrifiant vers les divers organes (paliers, coussinets, roulement à billes) à lubrifier. Le lubrifiant retourne au bac pour y être réfrigéré puis remonte en traversant un filtre qui retient les impuretés.

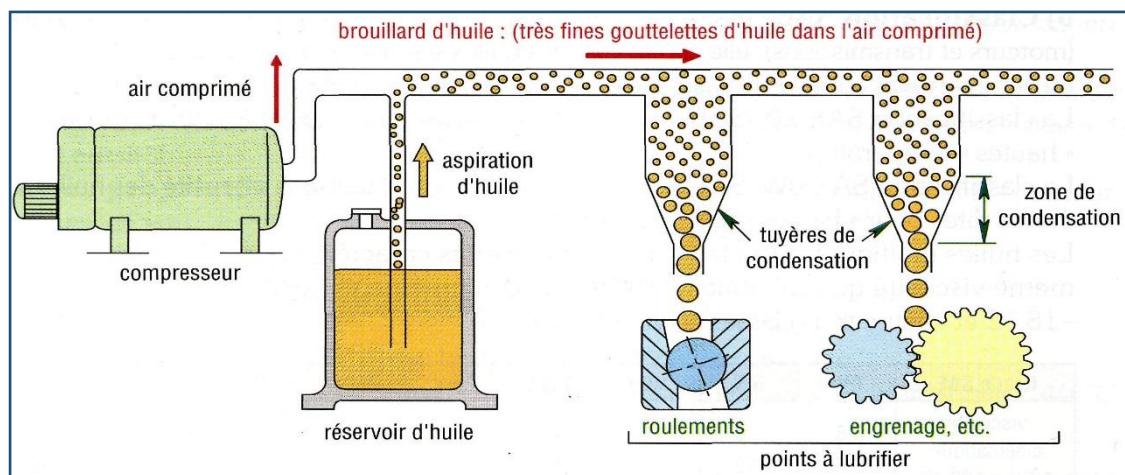


Figure 5 : exemple d'un mode de lubrification continu -brouillard d'huile

Il existe bien sûr autres modes de lubrification, mais on se limite à ces deux modes car ils présentent environ 75 % des modes de graissage utilisés par HOLCIM.

Le choix d'un mode ou d'un autre n'est pas arbitraire, l'adoption d'une manière de lubrification est en fonction de plusieurs paramètres, parmi ces paramètres on trouve le type de lubrifiant préconisé, ainsi que l'importance de l'organe à lubrifier, par exemple, on ne peut pas investir à installer une pompe pneumatique pour graisser les paliers d'un ventilateur.

4. Les Lubrifiants



Figure 6 : une large gamme de lubrifiants KLUBER

Les lubrifiants ont pour rôle de réduire les frottements entre pièces en mouvement, ou de diminuer la résistance passive de pièces fixes. Ils sont obtenus par raffinage des fractions lourdes du pétrole brut. Les lubrifiants peuvent être liquides ou fluides (huiles), consistants (graisses ou gel de silicone), ou solides (graphite, téflon).

Les performances et caractéristiques diffèrent d'un lubrifiant à l'autre, leur seul point commun est qu'ils sont tous composés d'un constituant principal appelé **base lubrifiante**, qui représente 75 à 85% de l'huile ou d'une graisse et qui peut être d'origine pétrolière ou synthétique.

Les bases lubrifiantes sont fabriquées à partir du pétrole brut. Elles sont de très loin les plus utilisées, aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles.

Ce sont des mélanges d'hydrocarbures ayant subi de nombreuses opérations de raffinage.

Les bases de synthèse sont des produits obtenus par réaction chimique de plusieurs composants. Deux grandes familles de produits sont utilisées pour la formulation des lubrifiants : les esters et les hydrocarbures de synthèse. Ces produits présentent une **viscosité** remarquablement stable quelle que soit la température. Cette propriété est une supériorité majeure sur les bases minérales qui nécessitent l'adjonction d'additifs améliorants de viscosité en plus grande quantité. Leur résistance à l'oxydation est aussi accrue, d'où une plus grande longévité de l'huile qui permet un espacement entre vidange plus important.

Principaux lubrifiants			
	solides	liquides	pâteux
lubrifiants naturels	<ul style="list-style-type: none"> - graphite - bisulfure de molybdène MoS₂ - biséléniures - cires, résines... 	<ul style="list-style-type: none"> - huiles minérales de pétrole : aromatiques paraffiniques et naphténiques - huiles siccatives 	<ul style="list-style-type: none"> - graisses (à base d'huile de pétrole) - pâtes lubrifiantes - lanoline, suif, brais...
lubrifiants de synthèse ou artificiels	<ul style="list-style-type: none"> - plastiques fluorés (PTFE...) - polyamides - vernis de glissement 	<ul style="list-style-type: none"> - huiles synthétiques, polyglycols, esters, silicones, phosphates - huiles composées ou compound... 	<ul style="list-style-type: none"> - graisses de synthèse (silicone...)

Figure 7 : Les principaux lubrifiants

4.1. La viscosité des lubrifiants

De toutes les propriétés physiques et chimiques à considérer en lubrification, la viscosité est l'une des plus importantes. Dans les paliers, les engrenages et les systèmes hydrauliques où le régime fonctionnel est hydrodynamique, c'est la viscosité qui détermine les pertes par frottement, la capacité de charge et l'épaisseur du film d'huile.

La viscosité est véritablement une mesure de l'aptitude physique d'un fluide à assurer la lubrification par film complet sous des conditions définies de vitesse, de charge et de température.

Définition³ de la viscosité : *La viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide, résultant de la résistance qu'opposent ses Molécules à une force tendant à les déplacer par glissement.*



Figure 8 : Viscosité de différents lubrifiants

La viscosité est la propriété la plus connue des lubrifiants. Elle est la référence pour le frottement interne d'une huile lors de l'écoulement. La viscosité est une grandeur dépendante de la température. Lorsque la température est faible et que l'huile est donc froide, le frottement intérieur est important et la viscosité élevée. Plus l'huile est chaude, plus le frottement interne est réduit et la viscosité faible. Alors, la température est un critère primordial à prendre en compte lors de la préconisation des lubrifiants.

La courbe suivante montre la variation de la viscosité en fonction de la température.

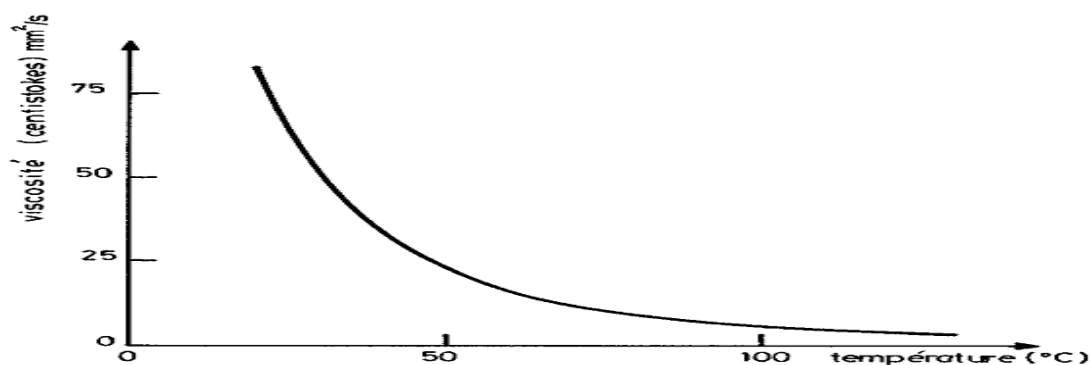


Figure 9 : La variation de la viscosité en fonction de la température

³ Définition de la norme N.F T 60-100 : Produits pétroliers - Mesure de la viscosité cinématique.

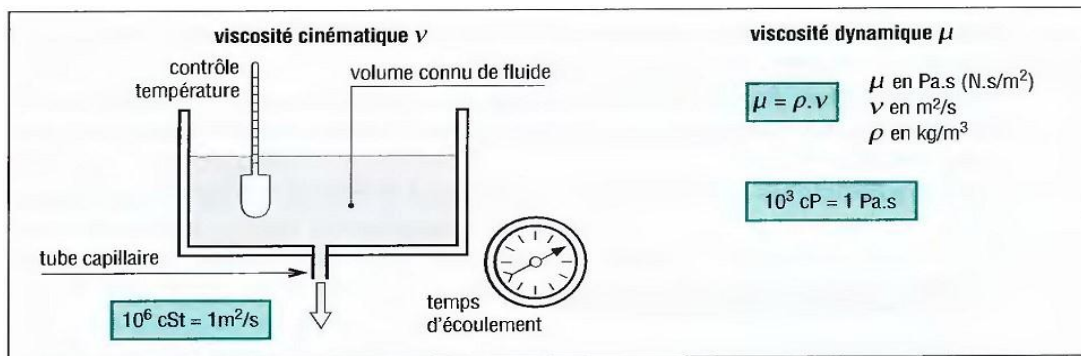


Figure 10 : a) viscosité cinématique
b) viscosité dynamique

4.2. La viscosité cinématique (ν)

On la détermine en mesurant, à une température donnée, la durée de l'écoulement d'un volume connu de liquide à travers un appareil comportant un orifice ou un tube calibré (tube capillaire) de dimensions normalisées.

Unités: m²/s; Stoke (St) ou centistoke (cSt)
10000 St = 1 m²/s et 1 cSt = 1 mm²/s

4.3. La viscosité dynamique (μ)

Elle est égale au produit de la viscosité cinématique (ν) par la masse volumique du fluide (ρ).

Unités : Pa.s (pascal. Seconde) ou N.s/m²; poise (P) et centipoise (cP)
1 poise = 1 P = 0,1 Pa.s

Exemples de viscosités			
	viscosité cinématique ν (cSt)	masse volumique (kg/m ³)	viscosité dynamique μ (Pa.s)
alcool éthylique à 20 °C	1,53	787	$1,204 \times 10^{-3}$
essence à 20 °C	≈ 0,74	743	$0,550 \times 10^{-3}$
gas oil à 20 °C	≈ 14	893	0,013
huiles SAE 10	≈ 95	909	0,088
à SAE 30	≈ 320	909	0,290
20 °C SAE 50	≈ 770	909	0,700

Figure 11 : Quelques exemples de viscosités

5. Les huiles lubrifiantes

5.1. Propriétés caractéristiques des huiles lubrifiantes

Les huiles permettent d'obtenir un frottement onctueux, mixte ou hydrodynamique. Elles se présentent sous la forme d'une base (huile minérale ou de synthèse) avec des additifs (anti-usure, extrême pression, anticorrosion...) pour améliorer les caractéristiques ou adapter l'huile à l'application choisie.

La viscosité et le point d'écoulement sont les propriétés principales, la viscosité est la propriété inverse de la fluidité, cette dernière, pour la majorité des huiles, elle augmente lorsque la température aussi augmente.



Le point d'écoulement : c'est la température à partir de laquelle une huile, chauffée, puis refroidie dans des conditions bien précises cesse de couler (début de cristallisation ou de solidification).

Index de viscosité (VI ou IV) : caractérise la variation de la viscosité en fonction de la température. Un IV de 100 indique une très faible variation de la viscosité, tant qu'un IV de 0 indique une grande variation

Onctuosité : elle caractérise l'aptitude d'une huile à adhérer aux surfaces (pouvoir adhérent) sous forme d'une fine couche.

Volatilité, point éclair : température à partir de laquelle les vapeurs émises par une huile, chauffée dans des conditions bien précises, s'enflamment au contact d'une flamme puis s'éteignent aussitôt.

Autres propriétés : résistance à l'oxydation, à la corrosion, indice d'acide, teneur en cendres, en eau... .

La variété des conditions de fonctionnement des machines nécessitant une lubrification par une huile, a créé une grande diversité, d'où on avait obligatoirement recours à une classification normalisée.

5.2. Principales classifications des huiles

➤ Classification ISO:

Elle classe les huiles à partir de leur viscosité.

Désignation : lettres ISO VG suivi du nombre précisant la viscosité cinématique à 40 °C en centistoke.

Exemple : une huile classée ISO-VG 15 a pour limites de viscosité 13,5 et 16,5 cSt, 15 représentant la viscosité moyenne la plus probable.

Classes ISO de viscosité	Limites de viscosité cSt à 40 °C	Classes ISO de viscosité	Limites de viscosité cSt à 40 °C
ISO VG 2	1,98 à 2,42	ISO VG 68	61,2 à 74,8
ISO VG 3	2,88 à 3,52	ISO VG 100	90,0 à 110
ISO VG 5	4,14 à 5,06	ISO VG 150	135 à 165
ISO VG 7	6,12 à 7,48	ISO VG 220	198 à 242
ISO VG 10	9,00 à 11,0	ISO VG 320	288 à 352
ISO VG 15	13,5 à 16,5	ISO VG 460	414 à 506
ISO VG 22	19,8 à 24,2	ISO VG 680	612 à 748
ISO VG 32	28,8 à 35,2	ISO VG 1 000	900 à 1 100
ISO VG 46	41,4 à 50,6	ISO VG 1 500	1 350 à 1 650

Figure 12 : Classification ISO

➤ Classification SAE :

Essentiellement utilisée pour l'automobile et les véhicules industriels (moteurs et transmissions), elle classe aussi les huiles selon leur viscosité, mais définit des tranches ou des intervalles continus de viscosité avec minimum et maximum.

La classification SAE 20, SAE 30... utilise la viscosité des huiles à 100°C (huiles dites pour « hautes » températures).

La classification SAE 0W, SAE 5W... (Avec W=Winter) utilise la viscosité des huiles à -18°C (huiles dites pour « basses » températures ou « hiver »).

Les huiles multigrades présentent deux viscosités caractéristiques. L'huile SAE 10W40 par exemple a même viscosité qu'une huile SAE 40 à 100°C, même viscosité qu'une huile SAE 10W à -18°C et couvre trois classes de viscosités.

Grade SAE	0W	5W	10W	15W	20W	25W	20	30	40	50
viscosité cinématique (cSt) à 100 °C	3,8 mini	3,8 mini	4,1 mini	5,6 mini	5,6 mini	9,3 mini	5,6 à 9,3	9,3 à 12,5	12,5 à 16,3	16,3 à 21,9
viscosité dynamique maxi Pa.s	3,25 à -30 °C	3,5 à -25 °C	3,5 à -20 °C	3,5 à -15 °C	4,5 à -10 °C	6 à -5 °C	X			

Figure 13 : Classification SAE

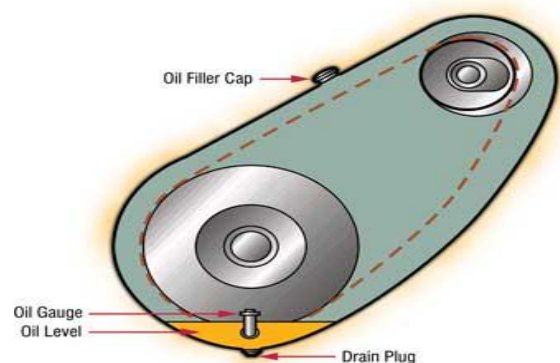
Une comparaison des classifications ISO et SAE est présente en Annexe 1.

5.3. Principaux dispositifs de lubrification à l'huile

Nous nous limitons à ces deux dispositifs de lubrification :

- **Lubrification par barbotage ou par bain d'huile** : c'est la plus simple et la plus usuelle. Une partie du mécanisme en mouvement (roue dentée...) trempe dans le bain et emporte par adhérence de l'huile vers les points à lubrifier.

La quantité d'huile du bain doit être suffisante et tenir compte des conditions de service.



Le niveau du bain doit être contrôlé périodiquement : vis de contrôle, jauge, indicateur.

Un excès d'huile est souvent plus néfaste qu'un manque ; il crée un brassage source d'échauffements et de pertes d'énergie.

- **Lubrification par circulation d'huile** : ce mode est le plus élaboré et le plus coûteux. Une même pompe lubrifie en même temps plusieurs

zones ou points. Le débit d'huile, constant, arrivant en chaque point à lubrifier, peut être réglé (soupapes) et calculé au plus juste pour assurer lubrification et refroidissement. Des échangeurs de chaleur (réfrigérants), des systèmes de filtration peuvent être ajoutés à l'installation.

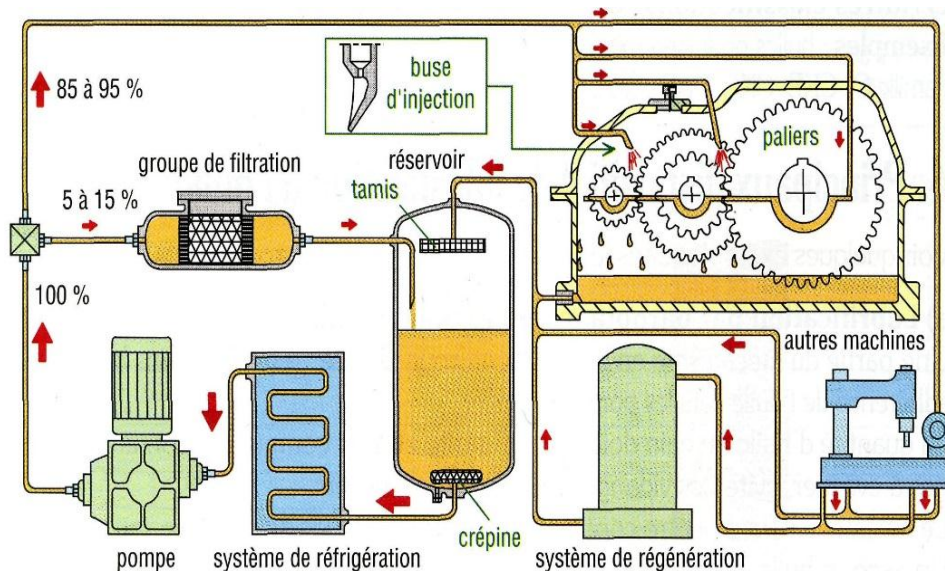


Figure 14 : principe de lubrification par circulation d'huile

6. Les graisses :

Les graisses permettent un frottement onctueux ou un frottement mixte. Du fait de leur consistance, elles sont stables au repos et se comportent comme un solide. En service, sous l'action des charges, elles réagissent comme un liquide : la fluidité augmente et se rapproche de celle de l'huile de base.

Fabrication : elles sont obtenues par dispersion d'agents épaississants (savons⁴ métalliques déterminant les propriétés physiques : consistance, etc.) dans une «huile» avec ou sans additifs représentant 85 à 97 % de la masse totale. Le graphite, le bisulfure de molybdène, les colorants et les charges (talc...) sont les additifs les plus courants.

⁴ Annexe 2 : propriétés des graisses usuelles

6.1. Propriétés des graisses

Consistance : c'est la propriété principale. Elle exprime la résistance à la déformation de la graisse. Etroitement liée à l'adhérence et à l'onctuosité, elle diminue lorsque la température augmente (comportement du beurre).

Point de goutte : il caractérise la tenue de la graisse à la chaleur en précisant la température de début de liquéfaction.

Point de solidification : il indique la température de début de solidification de la graisse.

Autres propriétés : résistance au cisaillement, qualité extrême pression, filmo-résistance, acidité...

6.2. Classification des graisses

Le grade NLGI⁵ est la classification la plus usuelle. Il est lié à la valeur d'enfoncement d'un cône pesant posé (pendant 5 secondes) sur la surface aplanie de la graisse à tester, préalablement malaxée à 25°C.

Grade NLGI	000	00	0	1	2	3	4	5	6
consistance	très fluide	fluide	semi-fluide	très molle	molle	moyenne	dure	très dure	extra dure
enfoncement cône pesant (en 0,1 mm)	445 à 475	400 à 440	355 à 385	310 à 340	265 à 295	220 à 250	175 à 205	130 à 160	85 à 115
utilisation	—	A	A-B	B-C	B-C-D-E	E	—	—	—

A = engrenages sous carter ; B = engrenages apparents, chaînes, câbles...
C = articulations, cardans, chaînes ; D = graisses tous usages ; E = roulements, galets.

Figure 15 : classification des graisses selon NLGI

⁵National lubricating grease Institute : Institut national des graisses de lubrification

6.3. Principaux dispositifs de graissage

- **Graissage par garnissage au montage** : Solution simple et usuelle, le graissage peut être à vie ou périodique, avec regarnissage après démontage et nettoyage lors des opérations de maintenance.



La quantité de graisse prévue doit être suffisante, compte tenu de la durée de vie attendue et des conditions de fonctionnement (température, charge, vitesse, environnement...).

- **Graissage centralisé** : complètement automatisé, il est intéressant lorsque les points à lubrifier sont nombreux, jusqu'à plusieurs milliers, ou lorsque l'accès est difficile ou impossible. Il diminue les risques d'accident, les oublis, et évite l'arrêt des installations.

Le lubrifiant est envoyé sous pression, par intermittence, vers des distributeurs doseurs ou nourrices par une pompe avec réseau de Canalisations. Les distributeurs doseurs, installés près des points à graisser, fournissent ensuite la dose prévue en chaque point.

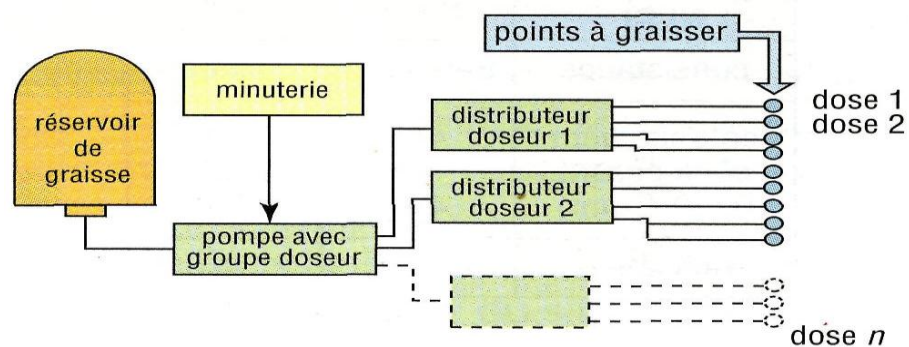


Figure 16 : Installation simplifiée d'un graissage centralisé

Cette deuxième partie, concernant les définitions et les notions de base de la lubrification, est un besoin indispensable pour s'engager dans la partie suivante qui est consacrée surtout, à la définition du problème.

Chapitre 3 : Définition du problème

1. Le nouveau projet HOLCIM Fès : doublement de capacité

Le cimentier lance l'extension de son usine de Ras El Ma et déploie, dans la foulée, une offre nouvelle : le traitement des déchets ménagers.

Objectif : faire face à la demande croissante du ciment et anticiper, dans des conditions optimales, la progression à long terme du marché et la dynamique du secteur du BTP (bâtiment et travaux publics), en particulier dans la région de Fès

Ce projet, qui vise à porter la capacité de production du clinker à près de 900.000 tonnes par an, correspondant à une production annuelle de ciment de 1.200.000 tonnes, devrait être opérationnel début 2012. L'investissement est évalué à 1,4 milliard de dirhams. Autre volet de cet investissement, la protection de l'environnement. En effet, non seulement les installations existantes présentent déjà les conditions requises en matière de protection de l'environnement et de sécurité des personnes et des équipements, mais la conception des nouveaux équipements intégrera les dernières innovations dans le domaine et particulièrement du traitement des déchets.

Par ailleurs, la gestion de l'environnement et de la sécurité de l'usine de Ras El Ma est assurée par une équipe professionnelle qui s'appuie sur les outils suivants :

- Équipements de dépoussiérage et de protection de l'environnement.
- Appareillage de contrôle des émissions CO₂.
- Equipements de sécurité de l'installation électrique.
- Certification ISO 9001 et 14001 de l'usine.
- Formation continue et sensibilisation des collaborateurs, des sous-traitants, etc.

En matière de création d'emplois, le projet entraînera une importante augmentation des activités sous-traitées, ce qui se traduira par la création de nouveaux emplois directs et indirects dans les domaines suivants :

- Construction des nouvelles installations.
- Exploitation des carrières.
- Transport des matières et des combustibles.
- Maintenance de l'usine.

Ce doublement de capacité a donné lieu à une modification importante au niveau des installations :

- Un nouveau concasseur Thyssen Krupp de 1500 tonnes par an. Le concasseur sera alimenté par trois matières en même temps (le calcaire, l'argile et le schiste). La sortie sera équipée d'un analyseur en ligne type PGNA. Le concasseur existant ne sera pas réutilisé.
- Un nouveau parc pré-homogénéisation couvert de 30000 tonnes doté d'un Stackeur et d'un Reclaimer.
- Le hall de stockage polaire existant (8000 tonnes) sera utilisé pour le stockage des matières de correction.
- Un nouveau broyeur cru LOESHE environ 240 tonnes par an. L'entrée du broyeur est équipée d'un analyseur de type PGNA. Le broyeur cru existant ne sera pas réutilisé.
- Un nouveau filtre amont du four correspondant à la nouvelle capacité.
- Une deuxième tour de préchauffage identique à l'existante.
- Un nouveau précalcinateur.
- Un nouveau refroidisseur clinker en béton de 30000 tonnes.
- Un nouveau broyeur charbon à boulets de 15 tonnes par heure. Le broyeur charbon existant ne sera pas réutilisé.
- Le filtre aval du four sera ré exploité.

D'autres équipements d'accompagnement (nouveau système de contrôle commande, analyseurs de gaz, nouvelle station d'air comprimé...)

Bien que le doublement de capacité ait des conséquences enrichissantes sur le chiffre d'affaires de l'entreprise, il expose cette dernière et surtout le service maintenance à des problèmes non souhaités. Pour être plus clair, la nouvelle installation comporte plus de 85 % de machines, dont le bon fonctionnement exige des vidanges adéquats au moment convenable, et des appoints séquentiels, soit par graisse ou par huile.

Donc, on peut dire que les difficultés les plus pénalisantes résident dans la lubrification de ces équipements, cette opération fait appel à la maîtrise et à la connaissance d'un ensemble d'informations pour chaque équipement : nombre de points à lubrifier, type du lubrifiants, quantité de lubrifiant, fréquence de lubrificationetc.

Dans le paragraphe qui suit, nous allons présenter une large liste de problèmes liés à la mise à niveau du système de lubrification.

2. Problèmes liés à la lubrification

2.1 La mauvaise connaissance des données techniques

Une insuffisance des documents, qui s'ajoute à une mauvaise connaissance des données techniques des nouveaux équipements.

D'une part, chaque mécanisme possède une fiche de lubrification comportant les informations citées dessus, d'autre part, la majorité de ces fiches de graissage sont en allemand ou bien en anglais, par conséquent, il n'est plus commode pour un graisseur de se référer aux documentations fournies par les constructeurs.

Lubricating point		Number	Lubricant acc. to section 5.2 index number	Lubricating intervals in operating hours		Lubricant quantity	
				Renewal	Re-lubrication	Renewal	Re-lubrication
1	Rotor bearings	4	K5	every 6000 h or every 2 years	monthly or weekly	approx. 7.9 kg each bearing	100 g each or 30 g each
2	Rotor bearing labyrinths	6	K5		weekly		grease is to be fed until it leaks on sides
3	Transmission bearings	4	L1		weekly or daily	approx. 1.4 kg each bearing	20 g each or 5 g each
4	Oil tank Hammer axle extracting device	1	B2	every 2 years		approx. 100 l	

Figure 17 : exemple d'un tableau de lubrification du nouveau concasseur

Dans un premier temps, il faut traduire les données techniques en un langage simple et plus compréhensif par les opérateurs de graissage. Dans un deuxième temps, gérer la lubrification d'un grand nombre de machines, en ayant à chaque fois recours à la documentation de chaque machine n'est pas un travail réalisable, alors il est très urgent de chercher une solution permettant de pallier à cette complexité.

2.2 Le besoin d'informer et de former en continu les opérateurs

La formation des opérateurs de lubrification est une nécessité indispensable pour l'entreprise, elle a pour but de garantir la bonne marche des travaux de graissage. Elle diminue aussi les risques de causer la défaillance d'un équipement.



L'information et la formation des opérateurs est un travail propre à l'entreprise, mais, ça reste un point à signaler.

2.3 Une adaptation et une correction des techniques de lubrification et des types de lubrifiants

Il est bien connu que les performances, l'endurance et le coût d'exploitation de la plupart des machines dépendent des conditions d'utilisation, la lubrification en est une. Cette dernière dépend elle-même de plusieurs critères :

- **L'environnement de fonctionnement (poussièreux, sec...).**
- **La charge.**
- **La température.**
- **La vitesse de rotation, surtout pour les réducteurs.**

Donc, si on se réfère aux préconisations des constructeurs sans prendre ces critères en compte, il y a alors un grand risque d'endommagement des installations mécaniques. D'où il est indispensable de choisir le lubrifiant le mieux adapté, et la technique de lubrification adéquate.

Par exemple si l'on considère les roulements mécaniques, leur détérioration est en général causée soit par un mauvais choix du lubrifiant, soit par une lubrification incomplète (faible épaisseur du film lubrifiant).



<u>Détériorations ne résultant pas de la fatigue</u>	
1. Usure	a) lubrification (choix du lubrifiant) b) contamination
2. Grippage et échauffement du roulement	a) lubrification (faible épaisseur de film) b) charge et vitesse
3. Corrosion de contact	a) vibrations

Figure 18 : les causes de détérioration des roulements

Alors, dans le cadre de notre stage, on est sensé rectifier les lubrifiants à utiliser au niveau de chaque organe, ainsi, la technique de lubrification.

2.4 La décentralisation des informations

Le savoir-faire est cumulé chez les anciens agents HOLCIM, le graisseur

Doit Toujours avoir recours à ces personnes pour trouver l'information précise sur la Quantité, le type, la fréquence de lubrification.

Alors, le problème se pose vraiment dans les cas suivants :

- Si cet agent est absent, peu n'importe la raison pour laquelle il n'est pas présent.
- Si cet agent n'est plus présent, c'est-à-dire il a changé complètement d'emploi.

Il existe aussi une autre complication, comme explique un agent HOLCIM :

« Pendant que je passe la nuit dans ma maison, je reçois fréquemment des appels de la part d'un graisseur qui demande des informations sur la lubrification d'un réducteur. »

Le travail à faire c'est : essayer de centraliser l'information en élaborant une base de données accessible par l'opérateur de graissage.

2.5 L'insécurité des interventions

L'accès aux points à lubrifier n'est pas souvent si simple. Parfois, arriver à une installation peut valoir la vie de l'opérateur, surtout lorsqu'il s'agit des travaux en hauteur.

D'un autre côté, tant que l'opérateur se déplace sur le chantier, il est confronté à un grand danger.

La figure suivante illustre la délicatesse du graissage des paliers de l'arbre de tension d'une bande qui transporte le calcaire :



Figure 19 : bande transporteuse

2.6 Le besoin d'investir en matière d'équipements de lubrification

L'absence du matériel de lubrification peut avoir des influences non souhaitées sur la production de l'entreprise.

La perte de temps et de main d'œuvre suite à l'application de la lubrification manuellement à chaque jour, de plus, la maladresse à appliquer de la graisse certains jours, une grande réduction de la vie fonctionnelle et enfin les grandes dépenses de réparation et de pertes de main d'œuvre. Tous ces points peuvent être évités, si on met en disposition du graisseur tout le matériel nécessaire.



Figure 20 : pistolet à graisse

On peut rajouter aussi que ce manque en matière de matériel de lubrification donne lieu à une gestion inopportune des lubrifiants et surtout, lorsqu'il s'agit de la distribution de ceux-ci.

Les deux images suivantes montrent l'inopportunité de la gestion des fûts de graisse et d'huile.



Tout ce qu'on vient de citer constitue les problèmes majeurs que nous avons découvert durant les premiers jours de notre stage, notre travail contribuera à rechercher les solutions les mieux adaptées.

Chapitre 4 : Présentation du travail réalisé

1. Introduction

Pour offrir des performances optimales, même les machines les plus fiables nécessitent d'être correctement lubrifiées. Il est donc primordial de choisir la méthode la mieux adaptée pour bien lubrifier les équipements. Dans le cadre de la mise à niveau de la maintenance préventive au niveau de l'usine, HOLCIM nous a chargés du projet de la mise à niveau de la lubrification et du graissage de tous les équipements mécaniques.



Cette mise à niveau participera à remédier, le maximum possible aux complications citées dans la partie précédente.

Pour choisir le mode de lubrification le mieux adapté. Il est important de bien maîtriser les défauts majeurs suscités par une mauvaise lubrification sur les équipements critiques de l'entreprise.

2. Présentation de quelques défauts types sur engrenages

2.1 Le pitting

Le contact métal du métal provoque des amorces d'écaillages en micro piquûre. Un lubrifiant plus visqueux ou extrême pression pourra les éliminer avant qu'elles ne se transforment en écaillage.



2.2 L'écaillage

L'évolution d'un pitting se traduit par un écaillage. L'écaillage est une avarie dangereuse dont la représentation est l'enlèvement de métal par plaques.



Figure 21: écaillage des dents d'engrenage

2.3 Le grippage

Le contact métal sur métal sous de fortes charges provoque des soudures locales et des arrachements de métal avec formation de cavités à l'origine des rayures.



2.4 L'abrasion

La présence de matières abrasives est la cause d'une usure rapide avec formation de rayures. Un graissage insuffisant peut accélérer le processus.



3. Définition des objectifs et de la démarche de réalisation du projet

Les objectifs de notre projet sont :

- Centraliser les informations et mettre en disposition toutes les données techniques, afin d'amortir l'effet de l'extension de l'usine.
- Corriger et adapter chaque système à sa méthode de lubrification.
- Identifier les lubrifiants directement sur les points et sur les systèmes de distribution.
- Gagner du temps avec une meilleure identification des lubrifiants.
- Optimiser la consommation des lubrifiants.
- Diminuer le risque de mélange des huiles et des graisses dans les machines.
- Améliorer la gestion de la lubrification.

Notre travail est décomposé en 4 étapes :

- La création d'une base de données technique de la lubrification des équipements.
- La définition de la criticité des équipements.
- L'identification des équipements au niveau du chantier.
- la mise en place d'un atelier de graissage conforme aux normes HTS⁶

4. Création d'une base d'informations et de données techniques

Cette première étape peut se traduire par une élaboration d'une base de données qui comporte toutes les informations nécessaires.

Nous avons proposé un tableau sous Excel, dans lequel nous allons remplir les données techniques de chaque équipement.



⁶ Holcim technical services

La démarche que nous avons suivie est la suivante :

- Le dénombrement de l'ensemble des points à lubrifier sur chantier
- L'identification de chaque équipement par son code HAC. c'est un moyen de codification de l'ensemble des installations.

Par exemple, le département de concassage de la matière première est systématisé par le nombre 212, ainsi chaque équipement appartenant à ce département aura un code HAC ayant 212 comme préfixe en ajoutant une abréviation qui concerne en particulier le type d'équipement.

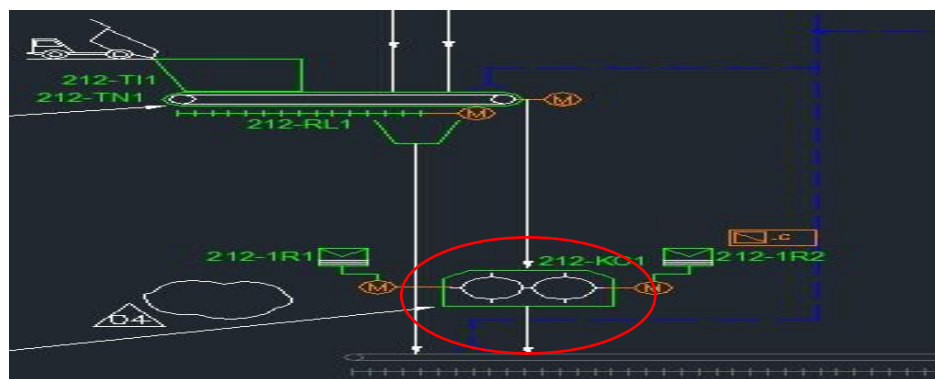


Figure 22 : process flow sheet - concasseur

La figure ci-dessus représente le concasseur et son code HAC.

- L'établissement d'une relation entre chaque point de lubrification et ses données techniques. Ces dernières sont présentes soit dans la documentation, soit sur les plaques signalétiques.

Le nombre élevé des équipements de l'installation entière de l'usine, nous oblige à se limiter à un seul exemple dans ce rapport, le reste est présenté sous forme d'annexe sur CD-ROM joint à ce rapport. On prendra comme exemple le réducteur de l'extracteur métallique 212-TN1.

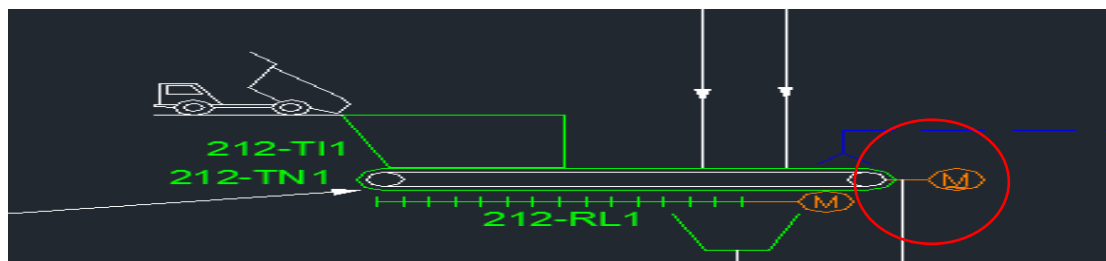


Figure 23 : 212-TI1 trémie calcaire ; 212-TN1 extracteur métallique ; 212-RL1 racleur pour déchets



Figure 24 : réducteur - extracteur métallique

L'extracteur métallique est situé sous la trémie calcaire, il a pour fonction le transport du calcaire vers le concasseur.

Nous avons commencé par la recherche des données techniques sur ce réducteur. Puisque ce réducteur ne possède pas de plaque signalétique, nous avons cherché la documentation de l'extracteur afin de remplir le tableau de la base de données citée précédemment :

N°	Emplacement	Nombre	Nature	Lubrifiant	Quantité du premier remplissage	Période du premier renouvellement	Période à partir du deuxième renouvellement	Nota
1	Réducteur planétaire	2	Engrenage	Voir le manuel d'instruction du réducteur.	61l	Après 400h de travail	Tous les 18 mois ou toutes les 5000h de travail	
2	Arbre de transmission	2	Palier	SHELL ALVANIA EP2	Remplir entièrement le palier de nouvelle graisse, et 60% de la boîte de palier. 5kg environ pour chaque palier.	Nettoyage et renouvellement complet de graisse une fois par an.		

Figure 25:extrait de la documentation de l'extracteur

Ce tableau permet de renseigner le graisseur sur :

- L'Emplacement : Réducteur planétaire
- Le nombre de points à graisser : 2
- Le lubrifiant : il faut voir le manuel du réducteur
- La quantité de vidange : 61 L
- La fréquence de lubrification : toutes les 5000 h de travail

Nous répétons ces étapes de la même manière pour les paliers de l'arbre de transmission de l'extracteur :

- Emplacement : arbre de transmission.
- Nombre de points à graisser : 2 paliers.
- Lubrifiant : Graisse EP2, TOTAL MULTIS EP2 c'est la graisse équivalente qui est disponible dans le magasin HOLCIM.
- Quantité de graisse : 5 kg pour chaque palier.
- Fréquence de graissage : une fois par an.

Pour l'établissement de ce tableau, nous avons suivi le flux de la matière première, c'est-à-dire, le recensement de tous les équipements empruntera le trajet par lequel passe la matière depuis le concassage jusqu'à l'ensachage et l'expédition. Le tableau que nous avons réalisé comporte les colonnes, c'est-à-dire les informations suivantes :

- **Le code HAC de l'équipement** : (212-TN1).
- **La désignation de l'équipement et le type** : (Extracteur métallique calcaire).
- **La désignation du point à lubrifier** : cette colonne contient tous les points appartenant à l'équipement, et qui nécessitent une lubrification (Réducteur planétaire, paliers de l'arbre de transmission, paliers de tension...)
- **Nombre de points à lubrifier** : le nombre de points correspondant à chaque organe
- **La marque et le type du lubrifiant recommandé par le constructeur**
- **Le lubrifiant utilisé par HOLCIM** : cette colonne comportera les lubrifiants utilisés par HOLCIM, car ils n'utilisent pas toujours ce qui est préconisé par les fournisseurs.

La stratégie suivie par HOLCIM est la suivante : tout dépend des contraintes économiques, mais s'il s'agit d'un équipement très critique⁷, on doit suivre les recommandations du constructeur.

⁷ Dans le paragraphe 5, nous allons nous intéresser à la détermination de la criticité des équipements.

- **La méthode de lubrification** : bain huile, burette, pinceau
- **La quantité de lubrifiant à appliquer** : dans cette colonne on a préféré de la diviser en 3 sections : huile de lubrification, graisse, huile hydraulique.

Cette séparation nous aidera dans ce qui va venir.

- **La période du premier remplissage** : cette donnée ne nous intéresse pas assez car tous les équipements ont déjà eu leur premier remplissage.

La fréquence de lubrification : elle correspond à la période de re-lubrification. Elle peut être en heures, en mois, ou bien en années.

- **Remarques** : cette colonne est réservée pour les remarques, si elles existent.

Nous avons été obligé à présenter seulement une partie de la base de données dans l'objectif de rapprocher le lecteur de manière plus concrète du travail réalisé dans cette étape. Les données que nous avons recueillies sur l'ensemble des équipements ne peuvent être présentées dans le rapport vu leur volume (plus de 100 pages).

HAC No.	Equipement et type	Organe a lubrifier Designation	Nombre de points de graissage	marque et type recommandés	Lubrifiant utilisé par HOUJIM	Quantités et Fréquences de lubrification							
						huiles			grasses		huiles hydraulique		
						quantité du premier remplissage + quantité de re-lubrification (Litres)	Période du premier remplissage (h)	fréquence de remplissage (h/M/A)	quantité du premier remplissage + quantité de re-lubrification (Gramme)	Période du premier remplissage (h)	fréquence de remplissage (h/M/A)	Quantité du premier remplissage (L)	Période du premier remplissage (h)
212-TN1	Extracteur métallique	réducteur planétaire	2	Shell Omala HD 220	CARTER EP 220	61,00	150	3000					
		arbre de transmission (palier)	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				10000,00	3000	3000		
		Dispositif de tension (I palier)	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				4000,00	3000	3000		
		Roue de soutien (Palier)	62	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				31000,00	30000	3000		
		Roue de chaîne (palier)	22	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				4400,00	3000	3000		
212-RL1	B2400x13632 Ramasse miette	rouleau de chaîne (palier)	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				400,00	3000	3000		
		réducteur	1	Shell Omala HD 220	CARTER EP 220	23,40	150	3000	0,00				
		Palier de l'arbre de transmission	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				2000,00	3000	3000		
		palier du dispositif de tension	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				1000,00	3000	3000		
		Roue de chaîne (palier)	14	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				1400,00	3000	3000		
212-TN2	B22300x16000 Extracteur métallique	réducteur planétaire	2	Shell Omala HD 220	CARTER SH 220	46,00	150	3000					
		arbre de transmission (palier)	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				10000,00	3000	3000		
		Dispositif de tension (I palier)	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				4000,00	3000	3000		
		Roue de soutien (Palier)	60	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				30000,00	30000	3000		
		Roue de chaîne (palier)	24	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				4800,00	3000	3000		
212-RL2	B1800X16192 Ramasse miette	Rouleau de chaîne (palier)	2	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				400,00	3000	3000		
		réducteur	1	Shell Omala HD 220	CARTER SH 220	23,40	150	3000	0,00				
		arbre de transmission (palier)	2		MULTIS COMPLEXE EP2				2000,00	3000	3000		
		palier du dispositif de tension	2		MULTIS COMPLEXE EP2				1000,00	3000	3000		
		Roue de chaîne (palier)	14	Shell Alvania EP 2	MULTIS COMPLEXE EP2				1400,00	3000	3000		
		réducteur planétaire	2	Shell Omala HD 220	CARTER SH 220	46,00	150	3000	0,00				

Figure 26: Extrait de la base de données

5. Définition de la criticité des équipements

Face à ce grand nombre d'équipements, il est primordial de déterminer ceux qui sont prioritaires. Nous avons proposé l'échelle de criticité suivante :

- Haute criticité = 1
- Moyenne criticité = 2
- Faible criticité = 3

L'équipement qui a une haute criticité c'est celui dont un arrêt peut immobiliser la production

Exemples : les roulements du rotor du concasseur, le réducteur du broyeur cru, ainsi celui du broyeur ciment, la couronne du fouretc.

Finalement nous avons ajouté une colonne correspondante à la criticité de chaque organe.

Extrait du tableau après l'addition de la criticité :

HAC No.	Equipement et type	Organe a lubrifier Designation	Nombre de points de graissage	marque et type recommandés	Lubrifiant utilisé par HOLCIM	CRITICITE
		Roulements du rotor	4	Multis MS 2	Multis MS 2	1
		Labyrinthes de roulement du rotor	6	Multis MS 2	Multis MS 2	1
212-KC1	Concasseur T80/160	Roulements de transmission	4	MobiltempSHC 100	MobiltempSHC 100	1
		réservoir d'huile (marteau) dispositif d'extraction	1	DTE 15 M / tellus T 46	EQUIVIS ZS 46	3
		ervoir d'huile chariot - Transmissi	1	DTE 15 M / tellus T 46	EQUIVIS ZS 46	3
		Cylindres hydrauliques	12	MULTIS MS 3	MULTIS MS 3	3
212-GU1	Pont roulant	a	1	CARTER EP 220	CARTER EP 220	2
		b	1	MILTIS EP 00	MILTIS EP 00	2
		d	1	CERAN HV	MULTIS EP2	2
		g	1	CARTER EP 220	CARTER EP 220	2

Figure 27 : extrait du tableau de graissage (avec criticité)

6. L'identification des équipements au niveau du chantier

Cette identification portera en particulier sur les équipements que nous venons de prioriser, et précisément ceux qui ont une haute criticité.

Notre encadrant chez HOLCIM nous a aidé dans cette tâche en fournissant des informations directes sur les installations à identifier sur chantier.

Dans la page suivante, nous donnons quelques exemples de la liste des installations qui ont bénéficié de cette identification :

- Les réducteurs des 3 extracteurs métalliques :



Figure 28 : réducteur de l'extracteur 212-TN3



Figure 30 : réducteur de l'extracteur 212-TN2



Figure 29 : réducteur de l'extracteur 212-TN1

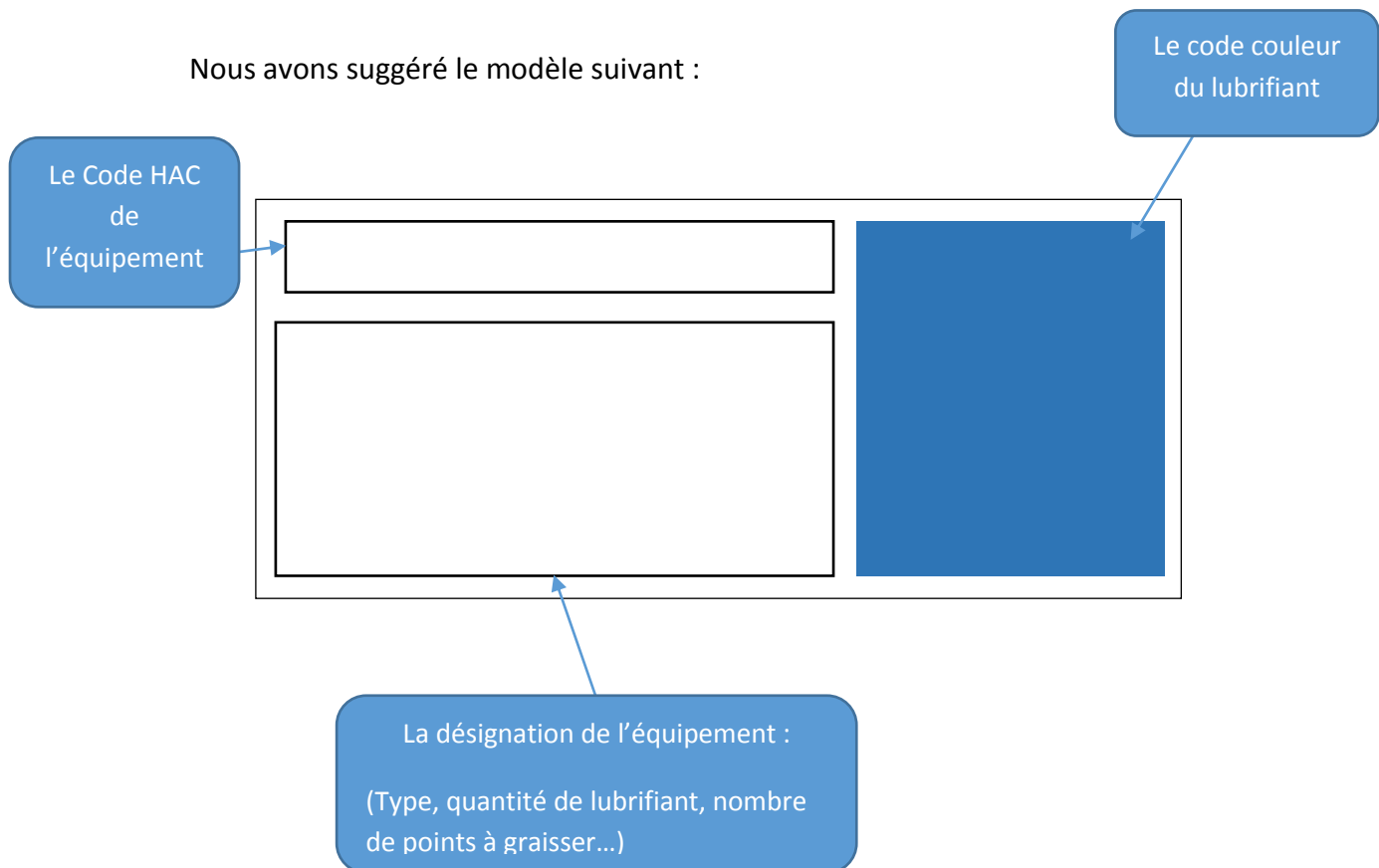
- La centrale hydraulique du GRATTEUR :



Figure 31 : centrale hydraulique - GRATTEUR

Maintenant, après avoir identifié les équipements sur chantier, nous avons commencé à préparer un système d'étiquetage en prenant en compte toutes les contraintes économiques afin de le réaliser avec le coût minimal possible.

Nous avons suggéré le modèle suivant :

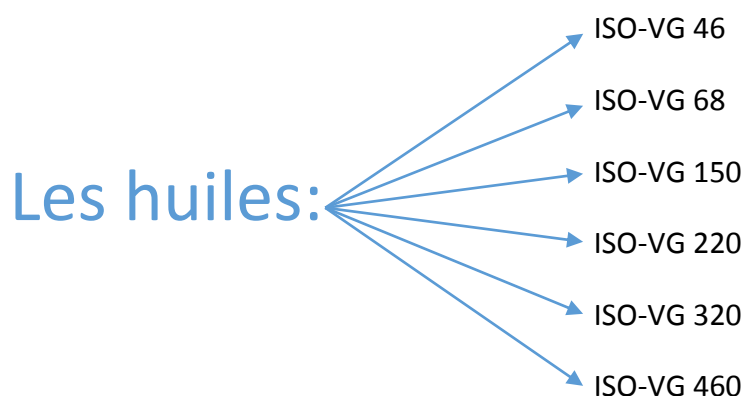


Cette étiquette renseigne sur le lubrifiant de chaque organe, ainsi le graisseur ne se trompera jamais lors de l'application du lubrifiant.

Nous tenons à rajouter que pour chaque grade de viscosité des lubrifiants, nous avons attribué une couleur qui aidera mieux l'opérateur à effectuer son travail. Ce code couleur sera aussi appliqué sur les fûts des lubrifiants.

Pour la codification des lubrifiants, nous avons préféré de représenter chacun avec sa classification : ISO et SAE pour les huiles, et NLGI pour les graisses, en effet, quel que soit le fournisseur de lubrifiants nos étiquettes seront valables.

Les codes couleur des principales huiles utilisées par HOLCIM selon leur classification :



Huile de lubrification ISO-VG 150	Grey
Huile de lubrification ISO-VG 220	Blue
Huile de lubrification ISO-VG 460	Orange
Huile de lubrification ISO-VG 320	Green
Huile Hydraulique ISO-VG 68	Light Blue
Huile Hydraulique ISO-VG 46	Red

Figure 32 : nomenclature des codes couleur

L'étiquette a la forme suivante :

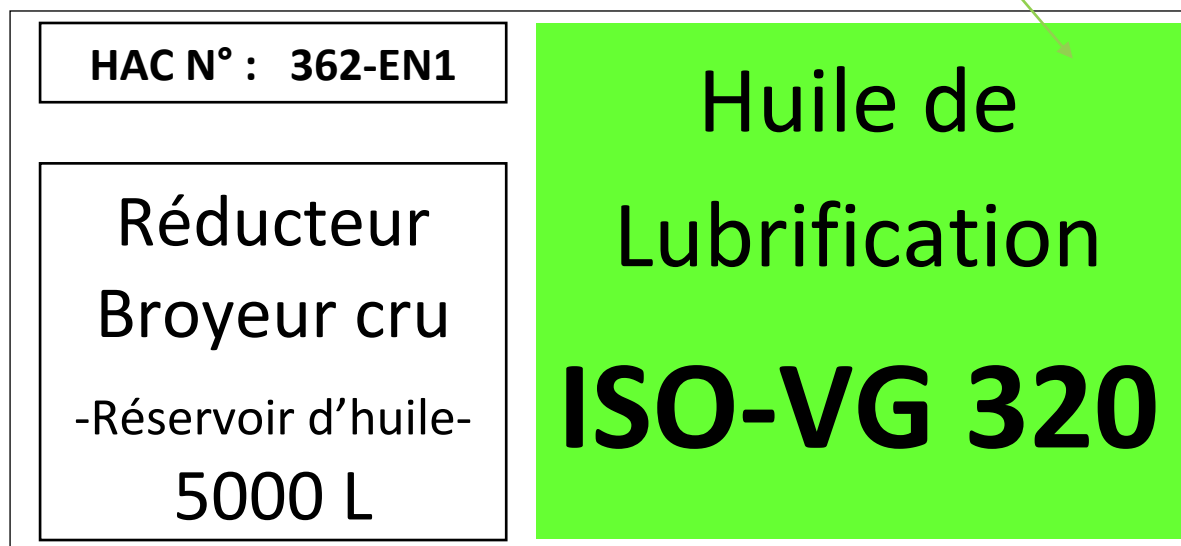


Figure 33 : étiquette de lubrification -réducteur (broyeur cru)

La tâche suivante consiste à sortir sur chantier et coller chaque étiquette sur l'organe correspondant.

➤ Réducteur de la bande transporteuse 292-BT2 :

Avant étiquetage



Après étiquetage



➤ Les paliers du ventilateur DOPOL :



➤ Les paliers des bandages libres du four (STATION 3) :



➤ Le réducteur du broyeur ciment :



7. L'aménagement d'un atelier de graissage

Dans le cadre de la mise à niveau de la lubrification, dans cette partie notre encadrant chez HOLCIM nous a demandé de chercher une proposition pour l'organisation d'un atelier de graissage, aussi, il nous a chargé également de préparer une liste d'équipements de lubrification nécessaires pour l'aménagement du nouveau atelier.

Le nouvel atelier prendra la place de l'ancien local, ce dernier était utilisé pour le stockage des fûts d'huile et de graisse.



7.1. La préparation de la liste du matériel

Dans ce paragraphe, nous présentons la liste de matériels de lubrification proposée pour équiper le nouvel atelier de graissage.

- Solution de stockage des lubrifiants

Pour ce choix, nous avons pris en compte le mode de réception des lubrifiants, les outils de manutention pour définir la solution la plus adaptée à l'organisation, l'environnement et la politique de l'entreprise.

Nous avons proposé une structure pour le stockage vertical des fûts, avec pompes pneumatiques, pistolet de distribution, enrouleur et compteurs digitaux.

Cette solution intègre les bonnes pratiques en lubrification et permet :

- Un stockage sur rétention afin de récupérer toute fuite inattendue

- La gestion et l'identification des lubrifiants avec des codes couleurs.
- La distribution automatique et le suivi des consommations des lubrifiants.



- Les bidons OilSafe + les entonnoirs

Ce sont des bidons transparents et gradués résistants aux conditions industrielles.

Les bidons OilSafe sont spécialement conçus pour optimiser la gestion des huiles et de la lubrification des équipements au sein des entreprises.

Les couvercles antipollution permettent de garder le lubrifiant propre lors du stockage et des appoints et de protéger le lubrifiant de toutes particules étrangères extérieures.



De plus, les codes couleurs, vrai système détrompeur, permettent de repérer les lubrifiants et d'éviter les erreurs de mélange lors des appoints. Et ils sont considérés comme des solutions idéales dans les démarches d'amélioration continue, 5S, TPM.



Figure 34 : gamme d'entonnoirs de différents diamètres et profils

Chariots de manutention des futs



Pompes pneumatiques pour la distribution de la graisse

Ces pompes permettent une meilleure distribution de la graisse et une consommation totale des futs.



Figure 35 : pompe pneumatique

Systèmes d'analyse d'huile

Nous proposons une gamme d'équipements de mesures et d'analyses des lubrifiants.

Un **Viscosimètre** rotatif et portable, qui permet de réaliser des mesures de viscosité rapides et fiables sur les huiles de lubrification.



Figure 36 : Viscosimètre digital

Un **kit de tests de graisses** permettant de réaliser plusieurs tests différents :

- évaluation de la consistance
- évaluation du niveau de contamination



Figure 37: Kit de tests de graisse

Et pour des raisons de sécurité, nous proposons aussi l'installation de deux extincteurs de 50 kg, et le revêtement du sol de l'atelier avec du sable.

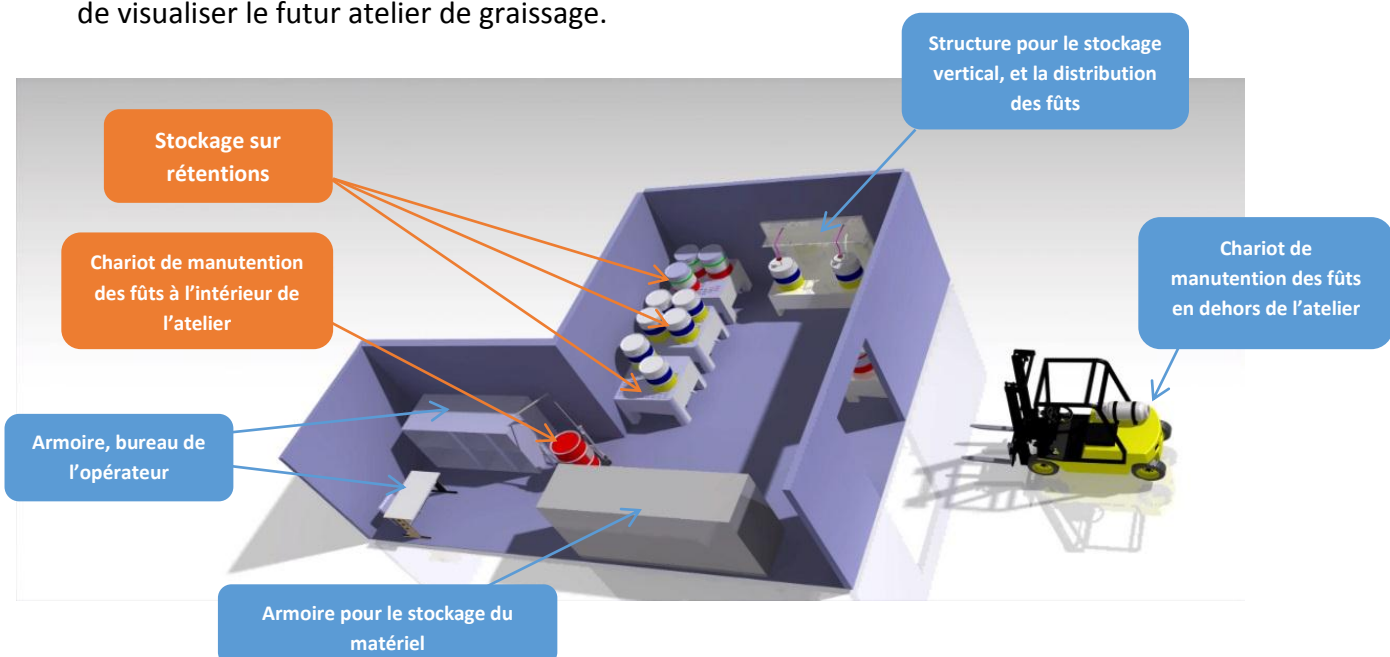
L'atelier sera aussi équipé d'une armoire qui contiendra une variété de matériels,

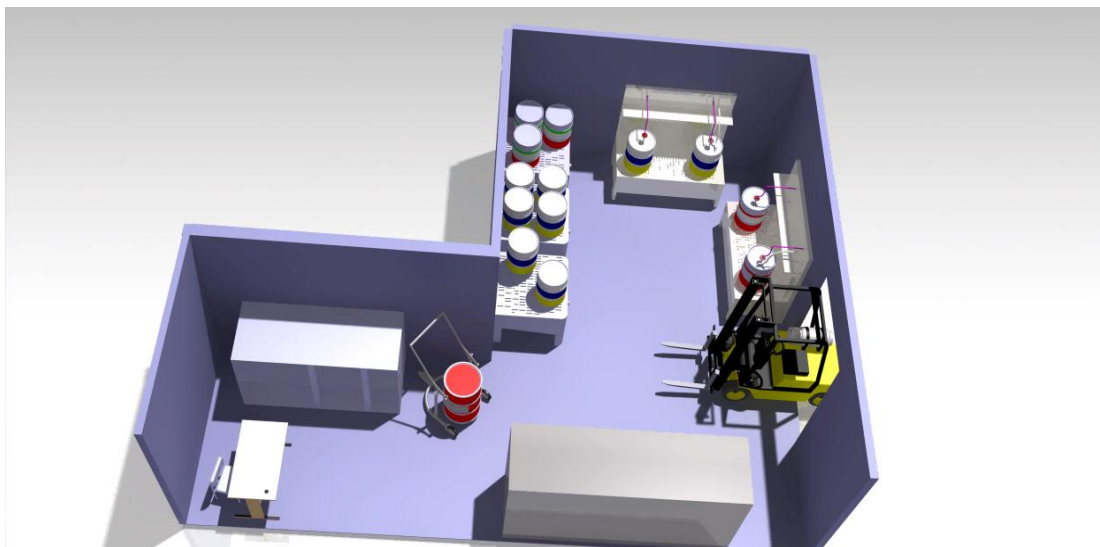
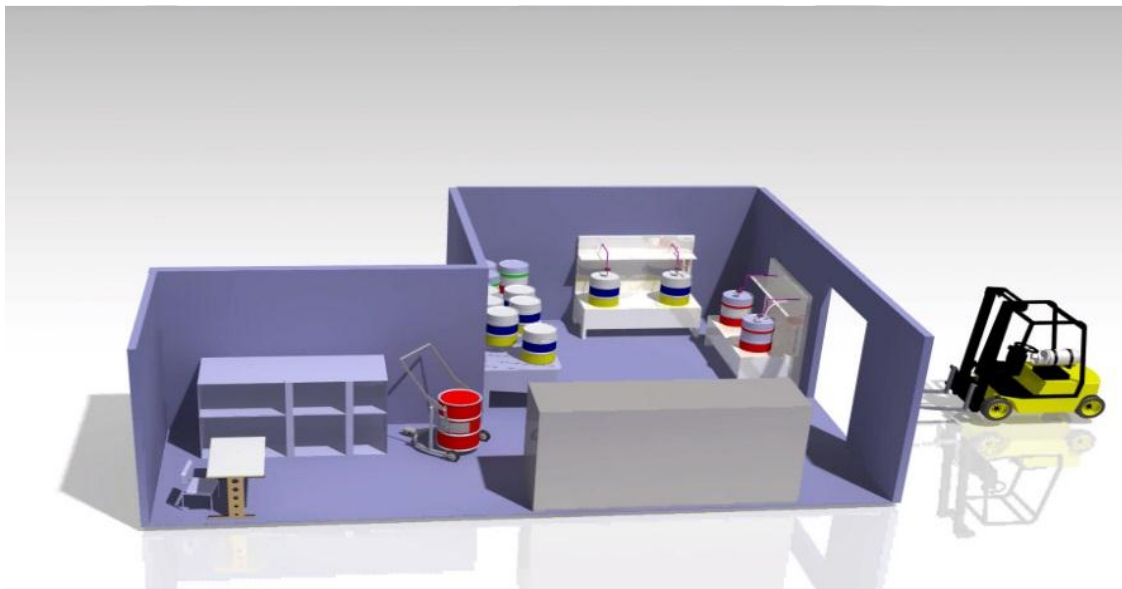
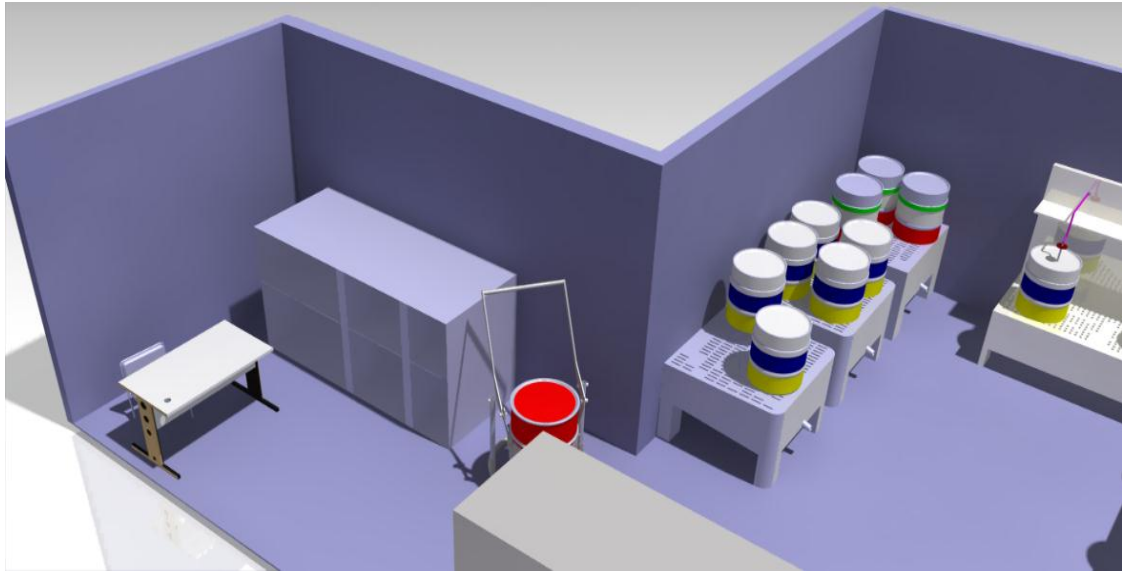
Plus que ça, il comportera une autre armoire conçue pour les documents et les fiches de graissage.

Finalement, notre encadrant nous a chargé d'une dernière tâche, c'est la réalisation d'une conception de l'atelier sous **CATIA**, afin de présenter le projet au directeur de la cimenterie.

7.2. Conception et aménagement de l'atelier de graissage

Nous avons réalisé cette dernière tâche grâce aux ateliers : Part design, Assembly design, Photo studio et Real time Rendering. Le résultat final nous permet de visualiser le futur atelier de graissage.





CONCLUSION

Dans le but d'obtenir notre licence en Sciences et Techniques à la faculté des sciences et techniques de Fès, notre formation est couronnée par un stage obligatoire en entreprise. Ce stage a été effectué au sein de la société HOLCIM de Fès. C'est un groupe suisse occupant la position de leader dans les produits des matériaux de construction, et qui dans le cadre de son amélioration continue, a opté pour le perfectionnement de la maintenance préventive des équipements de son usine.

En tant que stagiaires, nous avons été chargés de mettre à niveau la lubrification et le graissage de l'ensemble des équipements de l'usine, cette amélioration contribuera au perfectionnement du fonctionnement des équipements mécaniques, ainsi, elle réduira les dépenses de l'entreprise en terme de durées de vies des équipements et du temps de maintenance et donc aura également de l'effet sur un manque à gagner en production.

Le travail que nous avons réalisé a commencé par la création d'une base de données riche qui fournit toutes les informations techniques sur la lubrification de l'ensemble des équipements de l'usine. Par la suite, en se basant sur la criticité de chaque équipement, nous avons priorisé ceux qui vont profiter d'un système d'étiquetage que nous avons proposé. Ce système a été validé et réalisé pour plus de 90 équipements critiques. Finalement nous avons proposé une large liste de matériel nécessaire pour l'aménagement d'un nouvel atelier de graissage.

Lors de nos derniers jours au sein de l'entreprise, nous avons remarqué la facilité qu'offre notre travail au déroulement des opérations de lubrification, aussi, nous avons remarqué que les graisseurs ont commencé à apprendre quelques informations grâce à la base de données créée et au système d'étiquetage.

Notre travail ouvre par ailleurs de nombreuses perspectives d'amélioration des méthodes de lubrification. Par exemple, l'automatisation du graissage des zones dangereuses.

Finalement, nous avons eu l'opportunité de travailler sur différents aspects. Le travail réalisé s'est avéré très enrichissant pour notre expérience professionnelle aussi bien en ce qui concerne le domaine technique que l'aspect humain.

Bibliographie

Broch, P. H. (2006). *Cours de Mécanique des fluides*. Université Nice Sophia Antipolis.

CBMI. (s.d.). *Operation Manuals*.

CBMI, C. (s.d.). *Lubrication Recommendation List- Fes Project*.

Fanchon, J.-L. (2007). *Guide des sciences et technologies industrielles*. NATHAN.

HOLCIM, F. (s.d.). *Process Flowsheeting*.

HYDRAULIC, B. M. (s.d.). *Coal Mill- station de lubrification*.

Jianjun, H. (s.d.). *Reclaimer Lubrication table*.

LOESCHE. (s.d.). *Lubrication instructions*.

LUBRICANTS, T. (s.d.). *Catalogue des produits TOTAL*.

LUBRICATION, K. (2013). *Formation industrie lourde*.

pétrole, L. f. (s.d.). *Les lubrifiants industriels*.

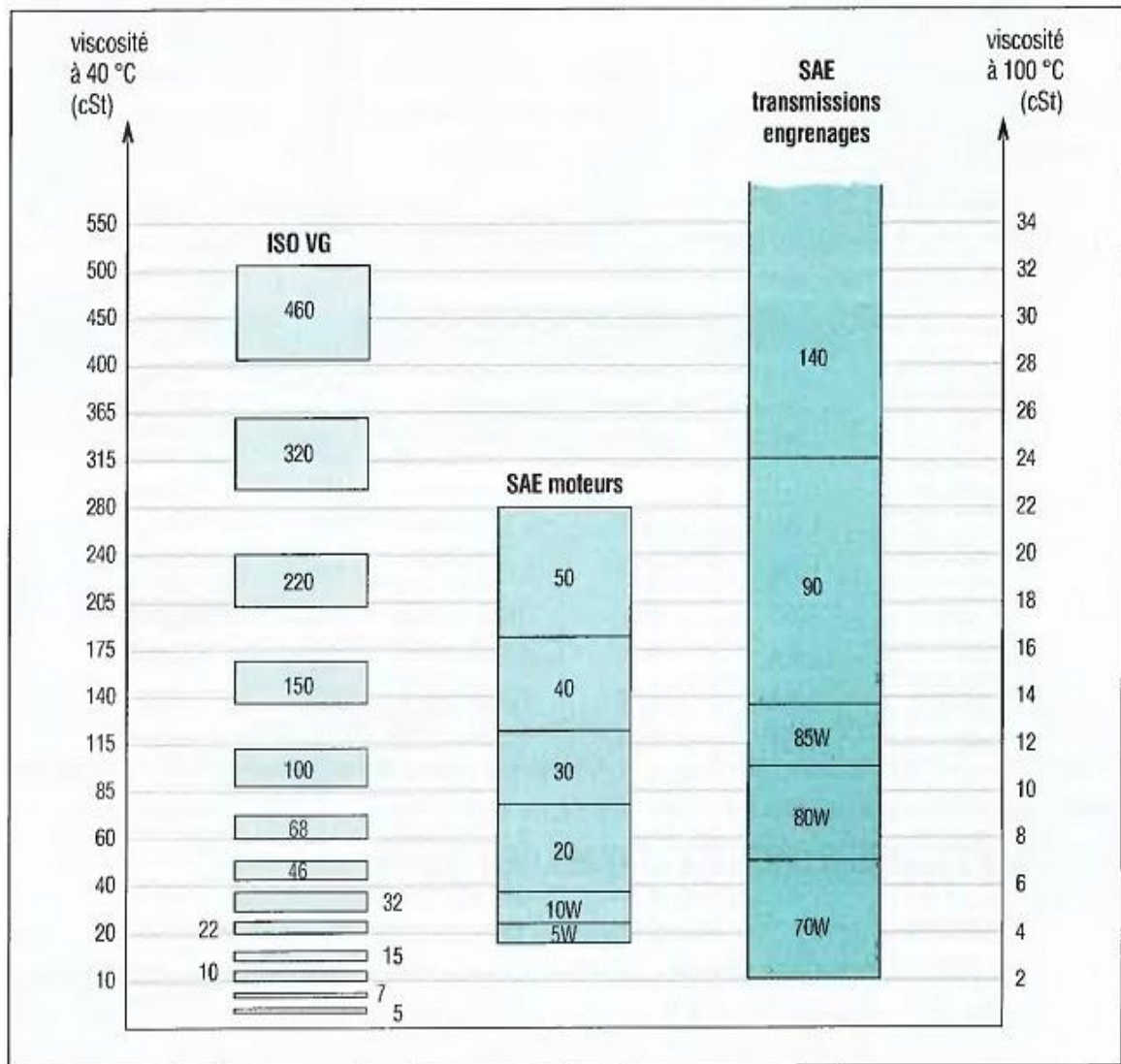
SAP, S. (s.d.). *Arborescence des équipements*.

www.novexa.com. (s.d.). *Defauts sur engrenages*.

www.wikipedia.fr. (s.d.).

www.youtube.com. (2013).

ANNEXE 1 : Comparaison des Classifications ISO et SAE



ANNEXE 2 : Propriétés des graisses usuelles

Propriétés des graisses usuelles (bases : huiles minérales)									
type de la graisse	nature du savon	aspect (point de goutte)	température d'utilisation	résistance					observations
				chaleur	eau	charges	vitesse	adhésivité	
au lithium**	lithium (Li)	butyreux (*) lisse (170/190°)	- 30 à 130 °C	*****	****	*****	****	***	Les plus utilisées, tous usages, multiservices. Allie les propriétés des autres graisses
calcique (à la chaux)	calcium (Ca)	butyreux (*) lisse (« rose ») (80/90°)	- 20 à 70 °C	*	*****	***	***	*	Insolubles dans l'eau prix faible, graissages courants peu sévères. Apte à l'étanchéité
sodique (à la soude)	sodium (Na)	fibreux (150/180°)	- 20 à 130 °C	****	*	****	****	****	pour roulements, sensible à l'eau, supporte vibrations et chaleur
à l'aluminium	à l'aluminium (Al)	butyreux (*) lisse (70/100°)	- 10 à 80 °C	*	*****	*	*	*****	faible résistance mécanique. Assez adhésives (chaînes...)

(*) butyreux : qui à l'apparence ou les caractères du beurre ; ** variantes avec huiles de synthèse (- 50 à 160 °C).

ANNEXE 3 : Base de données de lubrification des équipements de l'usine