

Chapitre 3

Analyse des causes et présentation des solutions

Dans la suite de ce chapitre nous allons essayer de déterminer et éliminer les causes racines de la défaillance des pompes centrifuges de l'AP à fin de minimiser le nombre d'instance reçues dans les ACX d'une part et d'améliorer et la disponibilité des lignes de production d'autre part

1. Présentation des pompes centrifuges de l'atelier phosphorique

Pour analyser les défaillances d'un système, il est nécessaire auparavant de bien identifier à quoi doit servir ce système : c'est à dire de bien identifier toutes les fonctions que ce système doit remplir durant sa vie de fonctionnement.

L'analyse fonctionnelle constitue une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions du système pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Elle permet également au groupe de travail d'utiliser un vocabulaire commun. Elle peut être menée de manière plus ou moins détaillée selon les objectifs.

1.1. Analyse fonctionnelle externe :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide, c'est une machine destinée à accroître l'énergie des fluides pompés en vue de provoquer leur déplacement dans des circuits comportant généralement une élévation de niveau (hauteur géométrique), une augmentation de pression (hauteur de charge), et des pertes de charge.

Le diagramme bête à corne qui suit va nous aider à définir le besoin défini par l'utilisateur concernant les pompes centrifuge de l'AP.

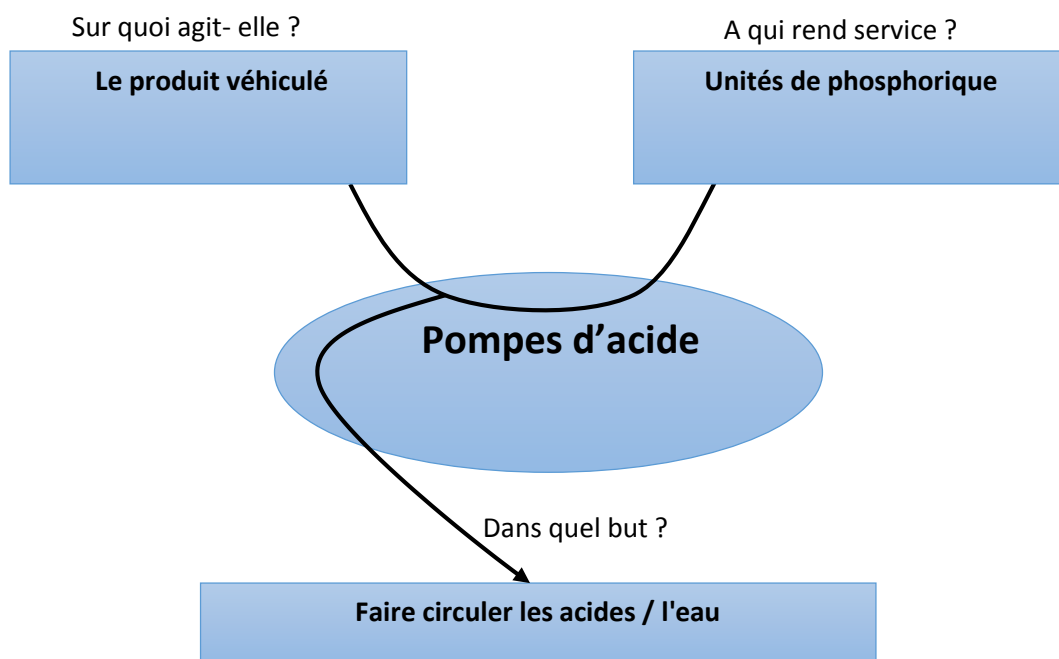


Figure 12 : Diagramme Bête à cornes des Pompes

1.2. Analyse fonctionnelle interne :

Caractéristiques techniques :

Constructeur : **flowserve**

- ✓ Aspiration : Axial de diamètre **360 mm**
- ✓ Diamètre turbine : **405 mm**
- ✓ Refoulement : Latérale orientable de diamètre **125 mm**
- ✓ Pression de refoulement : dépend la taille (Ex : LC 125/405 = **10 bars**)
- ✓ Vitesse de rotation : **1400 tr/min**
- ✓ Hauteur manométrique : Jusqu'à **250 m**
- ✓ Densité du liquide pompé : Jusqu'à **1,9**
- ✓ Masse : dépend de la taille de la pompe (Ex : LC 125/405 = **390 Kg**)
- ✓ Refroidissement : Eau



Figure 13 : Photo et caractéristiques de la pompe folwserve LC

- ✓ Organigrammes techniques des pompes

L'organigramme technique est un outil qui permet de passer à des niveaux plus inférieurs en précisant la décomposition des différents organes de la pompe. Il met en évidence les composants d'interaction en se basant sur un raisonnement en termes de flux d'énergie, ce qui va nous permettre par la suite de déduire les effets induits.

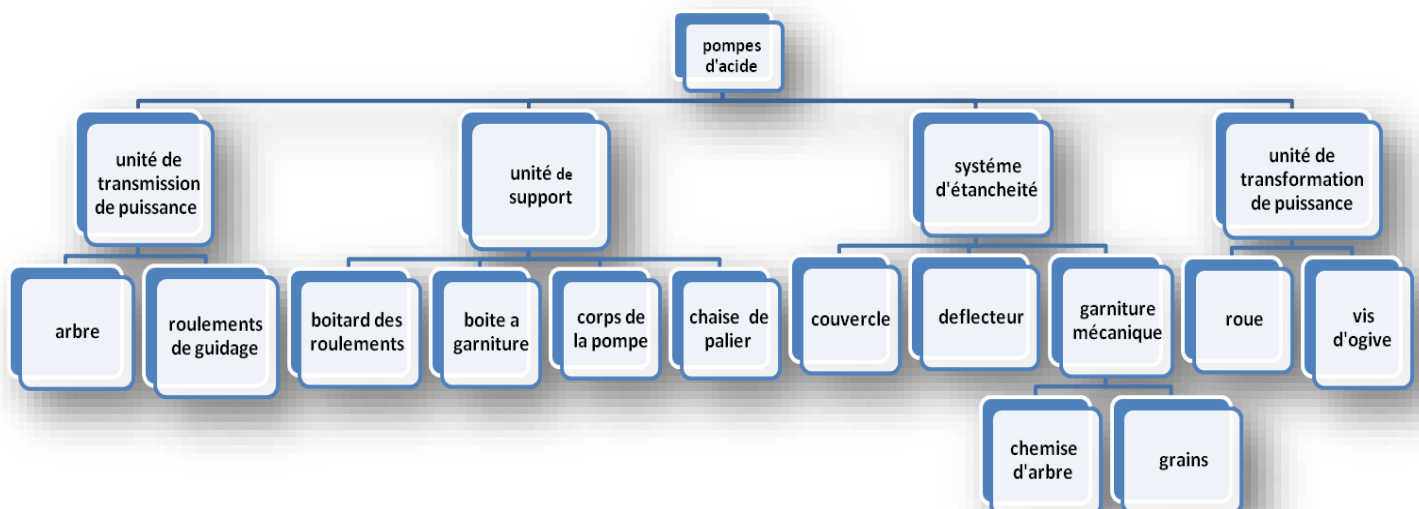


Figure 14 : Organigrammes techniques des pompes

1.3. Conclusion

Dans cette première partie du chapitre III nous avons analysé et décortiqué les fonctions de service et les organes principales d'une pompe d'acide afin de bien analyser et identifier les risques de dysfonctionnement de notre système.

2. Détermination et analyse des causes d'indisponibilité des pompes centrifuges

2.1. Détermination de la cause d'indisponibilité des pompes de l'AP

Pour déterminer la cause d'indisponibilité d'une pompe nous nous sommes basés sur l'analyse de la consommation des pièces de rechange, cette analyse a montré que plus que 89% du montant des pièces de rechanges est représenté par la consommation des garnitures mécaniques avec un montant de 5 MDH et plus (**figure 15**). Chose qui montre clairement que la cause racine de défaillances des pompes centrifuges au sein de l'AP est due à une défaillance des garnitures mécaniques, cette défaillance est traduite par une fuite externe qui engendre non seulement la défaillance de la garniture mais aussi la détérioration des autres organes de l'équipement et une perte économique importante.

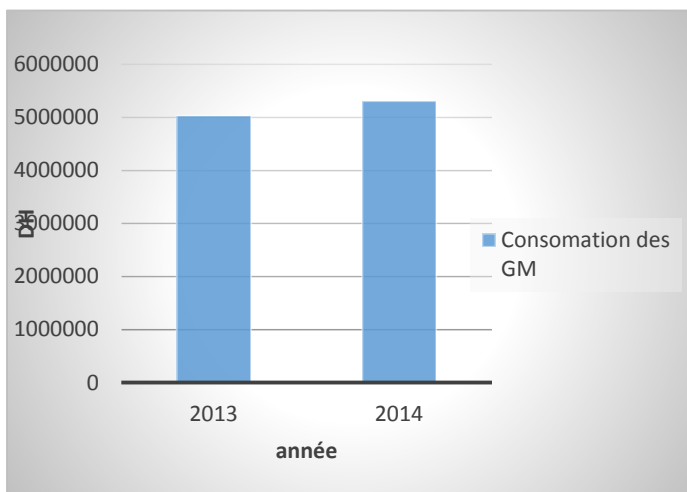


Figure 15 : Consommation des GM et impact des fuites d'acide

➤ Rôle d'une garniture d'étanchéité

Dans le cas général, le liquide pompé se trouve dans le corps de la pompe à une pression supérieure à la pression atmosphérique et risque donc de fuir le long de l'arbre vers l'atmosphère ou les corps de palier. Donc il est nécessaire de réduire cette fuite à une valeur nulle ou quasi nulle pour les raisons évidentes de sécurité et d'environnement.

L'organe qui assure l'étanchéité autour de l'arbre est appelé **garniture d'étanchéité**. La figure ci-dessous montre la position d'une garniture d'étanchéité dans une pompe centrifuge.

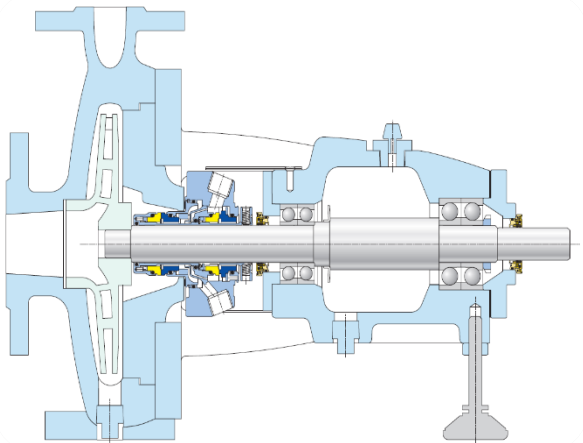


Figure 16 : Garniture mécanique

➤ **Principaux types de garnitures d'étanchéité**

Il existe deux familles de garnitures d'étanchéité, le tableau suivant illustre d'une manière plus profonde les spécifications des deux types de ces garnitures :

Garniture d'étanchéité	
garniture presse-étoupe	garnitures mécaniques
Principe de fonctionnement	
<p>Le fouloir exerce sur les anneaux, ou tresses, une force de compression parallèle à l'axe de la pompe.</p> <p>Les anneaux, bloqués en translation par la forme du corps de garniture, subissent par conséquent une expansion radiale perpendiculaire à l'action du fouloir. Ils sont donc appliqués à la fois sur l'arbre (ou sa chemise) et sur le corps de garniture, comme figuré ci-après.</p>	<p>Le liquide sous-pression de la pompe est arrêté par la surface de contact entre les deux pièces essentielles constituant une garniture, le grain (fixe) et la coupelle (mobile), le montage des deux pièces principales sur des joints toriques leur confère la souplesse suffisante pour s'auto-aligner en fonctionnement.</p> <p>Le contact entre grain et coupelle doit être lubrifié par un film de liquide. Ce film est renouvelé très lentement, ce qui correspond à un débit de fuite très faible de l'ordre de quelques cm³/jour par exemple.</p>

Domaine d'utilisation	
utilisés pour des produits peu coûteux et non polluants comme l'eau froide, ou temporairement pour des usages où la mise au point d'une garniture mécanique est difficile ou encore pour des services bien spéciaux comme les pompes d'eau incendie (pas de risque de panne brutale).	Utilisés pour des produits coûteux, polluants, dangereux pour l'environnement et le personnel, et dans des températures plus élevées, elles ont une longue durée de vie par rapport à la presse étoupe surtout lors d'un refroidissement convenable.

2.2. Analyse des causes

➤ Définition de la méthode :

Le diagramme d'Ishikawa est un outil qui permet d'identifier les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier. Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des 5 M (matière, main d'œuvre, matériel, méthode, milieu). Il faut dans un premier temps définir clairement l'effet sur lequel on souhaite directement agir. Il est très important de bien identifier les caractéristiques de la question traitée. Pour cela il faut :

- ✓ Lister à l'aide de la méthode de « brainstorming » par exemple, toutes les causes susceptibles de concerner le problème considéré.
- ✓ Il faut bien approfondir et explorer toutes les dimensions d'une situation donnée.
- ✓ Classer par famille toutes les causes d'un problème déterminé.

✚ Remarque :

- La hiérarchisation des causes a été réalisée avec une équipe constituée des agents et des techniciens de l'atelier phosphorique et de l'atelier de la maintenance mécanique centralisée.
- Dans toute la suite de ce chapitre nous allons traiter les causes jugées, par l'équipe, comme causes racines de la défaillance d'une garniture mécanique.
- Les causes marquées par un NON ne sont pas des causes racines
- Les autres causes seront traitées soit sous forme de proposition des recommandations générales pour les pompes centrifuges de type LC ou sous forme de solutions techniques, selon la criticité et la fréquence de répétition de chaque anomalie.



Matière

Matériel

Méthode

Fluide abrasif

Vieillessement de l'équipement

NON

Procédure de Démarrage de la pompe

NON

Mauvaise qualité de l'eau de refroidissement et bouchage des conduites de refroidissement

Mauvais refroidissement de la garniture

Mauvaise préparation de la pompe

Non rinçage de la pompe lors de la mise hors service.

Non fiabilité du matériau des grains

Garniture mécanique n'est pas adaptée à un type de fonctionnement

Fonctionnement avec débit inférieur /supérieur du débit nominal

Défaillance de la garniture mécanique

Absence de communication entre le personnel

Encombrement de la pompe

Température élevée des paliers

NON

Personnel non qualifié

NON

Dégradation des fondations

Etat de la tuyauterie

Absence de contrôle de la pression du liquide de refroidissement

NON

Main d'œuvre

Milieu

Mesure

2.2.1. Milieu

a- Dégradation des fondations – Encombrement de la pompe

Généralement, la pompe et le moteur sont montés sur un socle commun. Sinon, des socles séparés sont montés sous chaque machine. Les socles doivent être scellés. Nous avons remarqué qu'il existe des cas où les critères d'emplacement des pompes centrifuges et les caractéristiques de fondation de ces dernières ne sont pas vérifiées.



Figure 17 : Dégradation des fondations

Il existe différentes méthodes pour installer un groupe motopompe sur son massif. Le choix dépendra de la taille du groupe, du type d'installation et du niveau de bruit/vibration admissible. Le non-respect des règles de l'art relatives à une fondation correcte et à une bonne assise conduit à la création des niveaux vibratoires importants et la défaillance immédiate de tous les organes de la pompe.

Recommandation constructeur :

Le socle devra être installé sur une assise rigide, en béton de qualité et d'épaisseur convenable ou sur une assise en acier rigide. Le socle ne sera pas déformé sur sa fondation, mais posé sur celle-ci, afin de maintenir l'alignement d'origine du groupe moteur et pompe. Les boulons de scellement doivent être de dimensions adaptées aux trous de fixation, conformes aux standards, et de longueur suffisante pour assurer une fixation en toute sécurité dans les fondations.

La pompe sera installée en prévoyant un accès aisé et de l'espace pour la ventilation (A), l'exploitation, la maintenance et le contrôle, et assez de hauteur (H) pour tous travaux de manutention. L'emplacement sera aussi proche que possible de la prise d'aspiration.

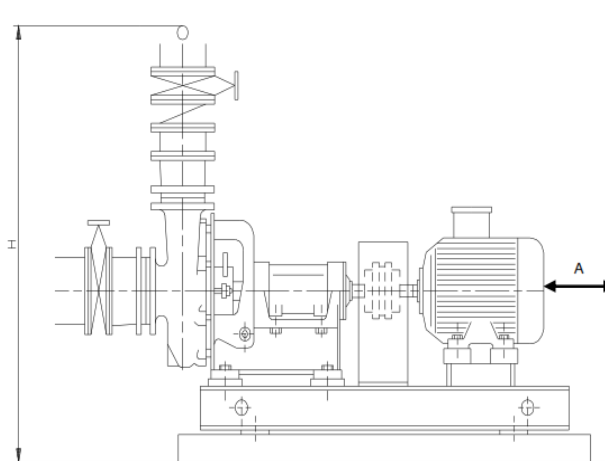


Figure 18 : Encombrement de la pompe

b- Désalignement de l'arbre moteur-récepteur.

L'alignement de l'arbre moteur récepteur est vérifié à l'usine du constructeur. Mais l'état de la fondation de la pompe sur site nécessite de refaire un autre contrôle et réglage de l'alignement, si non, un fonctionnement de la pompe avec une anomalie de délignage entraîne l'usure des grains de la garniture et la défaillance d'autres organes.



Figure 19 : Désalignement de l'arbre moteur-récepteur

La figure ci-dessus montre qu'il ne faut pas se contenter de l'alignement du constructeur car il se peut que la fondation de la pompe à l'usine n'est pas la même que dans le site.

Recommandation :

Pour vérifier l'alignement de l'arbre moteur-récepteur, il faut vérifier en premier lieu le sens de rotation du moteur avant de connecter les accouplements. Normalement l'alignement doit être fait à la température ambiante, donc pour les groupes pompant des liquides à haute température, on devra les faire fonctionner à la température réelle ; les arrêter, et immédiatement vérifier leur alignement, il faut aussi s'assurer que la pompe et le moteur sont bien isolés électriquement.

➤ Contrôle de parallélisme et concentricité

Mesurer en 3 ou 4 positions avant branchement de tuyauteries

Tolérances admissibles pour moteur monté sur roulements :

= 0.15 mm en parallélisme

= 0.1 mm angulaire

➤ Contrôle angulaire

Le contrôle angulaire consiste à vérifier les défauts d'angle.

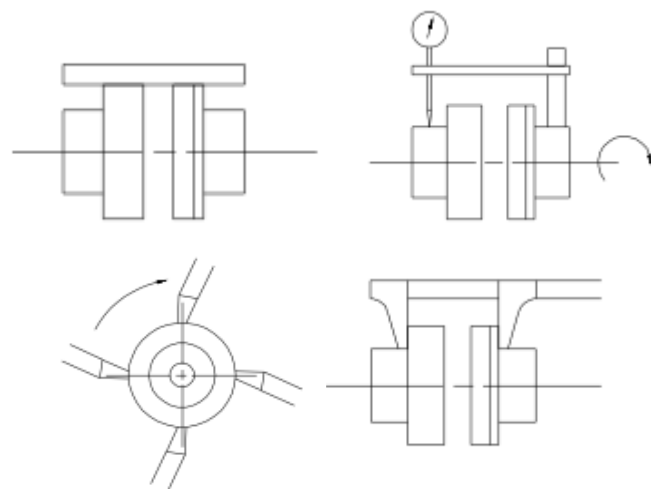


Figure 20 : Contrôle de parallélisme et concentricité

Remarque

Un alignement définitif aura lieu après branchement de la tuyauterie.

c- Etat de la Tuyauterie

La mauvaise implantation de la tuyauterie engendre des phénomènes de cavitation de la pompe, nous avons remarqué aussi que parfois elle est utilisée comme support de tuyauterie ceci peut causer un dysfonctionnement grave, en effet les forces et les moments admissibles sur les brides de la pompe dépendent du type et de la taille de celle-ci. Les efforts extérieurs peuvent conduire au désalignement de l'ensemble pompe et moteur, à l'échauffement des roulements, à l'usure et à la destruction de l'accouplement, à des vibrations ou à la rupture du corps de pompe.

Recommandations

- Il ne faut jamais utiliser la pompe comme support de tuyauterie.
- Recommandation pour la conception de la tuyauterie d'aspiration

pompe en charge	pompe en aspiration
<p>La conduite d'aspiration doit être la plus courte et la plus directe possible, ne jamais monter un coude directement sur la bride d'aspiration de la pompe.</p>	<p>La conduite d'aspiration doit être la plus courte et la plus directe possible, ne jamais monter un coude directement sur la bride d'aspiration de la pompe.</p>
Recommandation	
<ul style="list-style-type: none"> - Eviter des coudes brusques ou des rétrécissements abrupts. Utiliser des convergents 20° (angle total). - Effectuer un traçage des tuyauteries évitant la formation de poches d'air (pas de dos d'âne). - Si des points hauts sont inévitables dans la conduite d'aspiration, les munir de purgeurs d'air. - Si une crépine est nécessaire, prévoir sa section libre de passage à 3 ou 4 fois la section de la tuyauterie d'aspiration. - Si une vanne d'aspiration est nécessaire, choisir un modèle à passage direct. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter des coudes brusques ou des rétrécissements abrupts. Utiliser des convergents 20° (angle total) à génératrice supérieure horizontale. - Effectuer un traçage des tuyauteries en pente montante vers la pompe évitant impérativement des points hauts. - Si un clapet de pied est nécessaire, ne pas le surdimensionner car il engendrerait des pulsations de pression (battement du clapet).

- Recommandation pour la conception de la tuyauterie de refoulement

Conception de la conduite de refoulement	
<ul style="list-style-type: none"> - Si la conduite de refoulement possède un divergent, l'angle total de celui-ci sera compris entre 7° et 12°. - Monter la vanne de refoulement après le clapet de non-retour dans le sens de l'écoulement. - Le clapet de non-retour sera installé dans la tuyauterie de refoulement pour protéger la pompe des surpressions éventuelles et éviter le dévirage de celle-ci lors de l'arrêt. <p>Si nécessaire, un manomètre de contrôle peut être raccordé sur la tuyauterie.</p>	

2.2.2. Matière

a- Fluide abrasif

Les produits pompés sont des produits peu chargés, l'infiltration des particules du produit dans la chambre à garniture, plus précisément dans les faces entre les grains, engendre la destruction de ces derniers, Aussi la présence des corps étrangers dans les conduites (aspiration refoulement) en SVR augmente la probabilité que ces derniers se trouvent dans l'interface grain coupelle, et donc, dégradation de la garniture.

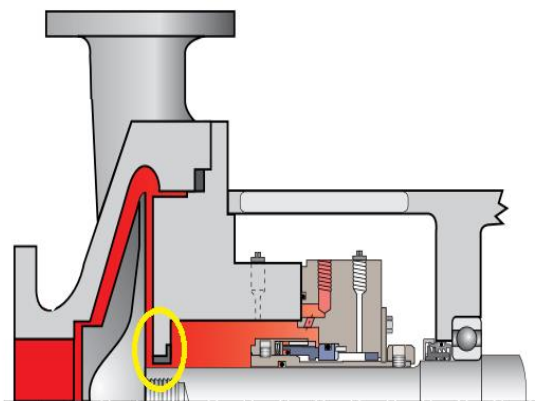


Figure 22: Bague de fond dans chambre à garniture



Figure 21 : Conduites en SVR

Solution

Utilisation d'une bague de fond (**figure 21**) pour diminuer le taux d'introduction des particules dans la chambre de garniture et planification d'un contrôle périodique pour contrôler l'état des conduites en SVR.

b- Non fiabilité du matériau des grains

Dans la plupart des cas, les éléments les plus sollicités à la défaillance dans une garniture mécanique sont les grains (fixe et mobile).



Figure 23 : Les grains

Les matériaux constitutifs des faces de frottement sont choisis en fonction de leurs propriétés intrinsèques (résistance chimique, caractéristique mécanique et thermiques) et de leur aptitude à être appariés (lubrification et propriétés tribologiques)

Le tableau ci-dessous montre une méthode pour le choix des matériaux des grains les plus utilisés pour différent type de produit.

Couples de frictions les plus Utilisées	
Produits clairs ou peu chargés	Produit chargé, cristallisants ou visqueux
<ol style="list-style-type: none"> 1. Carbure de silicium /carbone liant résine ou métallique 2. Carbure de tungstène /carbone liant résine ou métallique 3. Oxyde d'alumine / carbone liant résine ou métallique 4. Fonte/ carbone liant résine 5. Bronze / carbone liant résine 6. Bronze / acier traité 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Carbure de silicium / Carbure de silicium 2. Carbure de silicium / Carbure de tungstène 3. Carbure de tungstène / Carbure de tungstène

c- Mauvaise qualité de l'eau de refroidissement

la mauvaise qualité de l'eau de refroidissement (présence de solides suspendus, mauvaise conductivité , neutralité et agressivité) à un impact très négative sur les équipement de contrôle comme les débistat et les filtres aussi bien que les canalisation et les organes de la garniture mécanique notons qu'une canalisation bouchée ne permet pas de faire passer l'eau comme il faut ,chose qui donne naissance à un mauvais refroidissement de la garniture mécanique.



Figure 24 : Ressorts corrodés



Figure 25 : Débistat bouché

Solution

Pour remédier au problème du bouchage de la canalisation de refroidissement, il faut monter un filtre bypass en amont du circuit de refroidissement de la pompe.

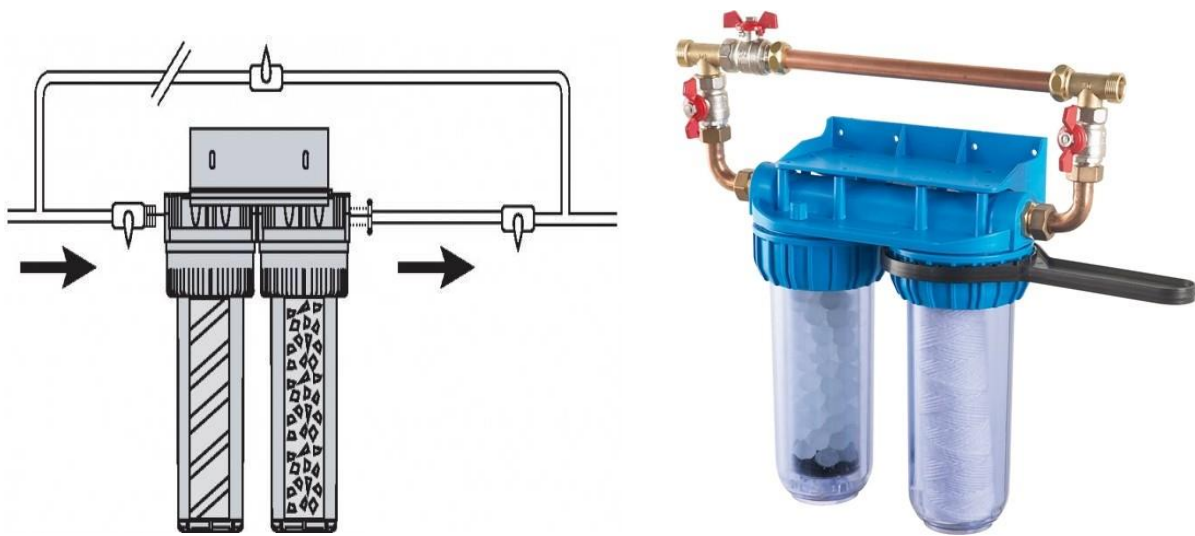


Figure 26 : Filtre bypass

2.2.3. Méthode

a- Vérifications et préparation

Avant chaque premier démarrage d'une pompe et après chaque intervention il faut nécessairement vérifier les points suivants :

- Vérifier le serrage des différents bouchons.
- Ouvrir le circuit de refroidissement de la garniture mécanique. Pour une pompe équipée d'une presse étoupe, vérifier que le fouloir ne serre que très légèrement les tresses. (Risque d'échauffement des tresses).
- Vérifier le sens de rotation du moteur. Se référer à la flèche de rotation de la pompe.
- Installer tous les dispositifs de protection et notamment le protège-accouplement et la grille de protection (repère [9331] annexe) du palier.
- Ouvrir toutes les vannes à l'aspiration (si existantes).
- Fermer la vanne au refoulement et le by-pass du clapet.
- Vérifier que toute la tuyauterie d'aspiration ainsi que la pompe elle-même soient bien remplies.
- Aérez la pompe pour laisser s'échapper tout l'air emprisonné, en prenant des précautions dans le cas de liquides chauds ou dangereux.

b- Fonctionnement avec débit inférieur/supérieur du débit normal

La pompe ne doit pas fonctionner à un débit inférieur à 40 % ou supérieur à 120% du débit nominal sans limitation de durée. En effet un fonctionnement avec un débit loin du point de fonctionnement nominal engendre une poussée radiale qui entraîne un fléchissement de l'arbre et le sommet à une flexion rotative souvent à l'origine de rupture catastrophique par phénomène de fatigue.

Les constructeurs de pompes fixent, en conséquence, une valeur limite du débit en-dessous duquel la durée de vie de la pompe est réduite. Des vibrations et des difficultés d'entretien des systèmes d'étanchéité peuvent également apparaître pour un fonctionnement à débit réduit.

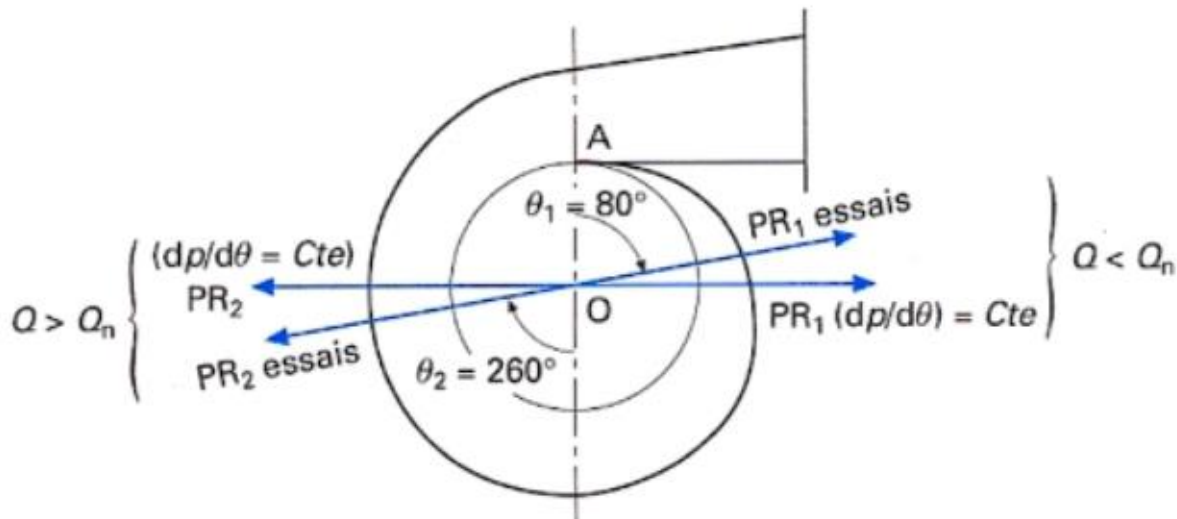


Figure 27 : Flexion rotation de l'arbre

La poussée radiale PR est proportionnelle à la surface sur laquelle s'applique le champ de pression, à Δp ($=\rho gH$) fourni par la pompe au point nominal et à coefficient expérimental k' :

$$PR = k' \Delta p [2r(b + 2s)]$$

Avec

r : \varnothing roue

b : longueur roue

s : épaisseur des flasques

On détermine le facteur k' à l'aide des courbes expérimentales, à la base de la vitesse spécifique et du débit de fonctionnement.

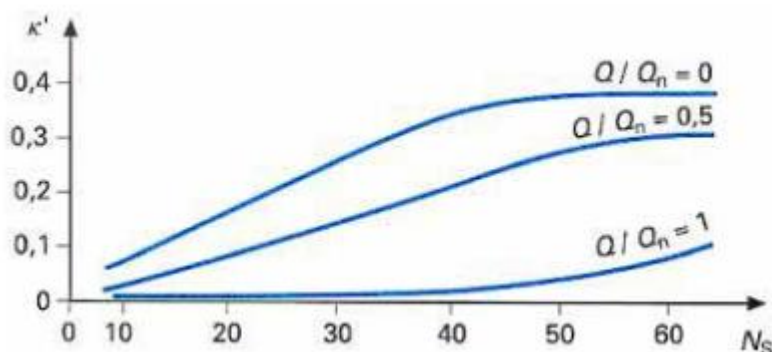


Figure 28 : Détermination du coefficient k' en fonction de la vitesse spécifique et du débit

c- Non rinçage de la pompe lors de la mise hors service

La méthode d'arrêt des pompes centrifuge dans l'unité 03 de la pompe est critique. En effet l'arrêt d'une pompe d'acide est conditionné par le niveau de remplissage des bacs de stockage dans l'unité de concentration. Chose qui donne naissance à plusieurs actions de mise hors service des pompes centrifuges. Dans ce cas (arrêt immédiate de la pompe) on aura une apparition du phénomène de la solidification du produit pompé.

Cette solidification a un impact très négatif sur la pompe lors du redémarrage car il peut laisser des portions de produit solidifié à masse et volume importants, ces portions entre dans la chambre a garniture et engendre la destruction immédiate des grains de la garniture.



Figure 29 : Produit solidifié

Recommandations :

Suivant les conditions hydrauliques de l'installation et son degré d'automatisation, les procédures d'arrêt et de démarrage peuvent avoir différentes formes. Toutes doivent néanmoins respecter impérativement les règles suivantes :

➤ Redémarrage :

- a. Garantir un remplissage complet de la pompe.
- b. Garantir une alimentation continue avec un NPSH disponible suffisant.
- c. Garantir une contre-pression de sorte que la puissance du moteur ne soit pas dépassée.
- d. Respecter la fréquence de démarrage imposée par le constructeur du moteur.
- e. Protéger la pompe contre les coups de bélier lors des séquences d'arrêt/démarrage.

➤ Mise hors service :

- a. Fermer la vanne de refoulement et arrêter le moteur. Fermer éventuellement la vanne à l'aspiration.
- b. En cas d'arrêt prolongé, il faut ouvrir le circuit de rinçage de la pompe pour protéger celle-ci contre le gel (solidification du produit).

2.2.4. Main d'œuvre

a- Absence de communication entre le personnel

La communication est le processus de transmission d'information dont le dialogue est la forme la plus courante et la plus utilisée entre les individus soit directement soit à travers les moyens technologiques. Elle est l'art de développer et de réaliser une bonne compréhension entre personnes. Elle est le processus d'échange d'informations et de sentiments entre deux personnes ou plus, et elle est essentielle pour que la gestion soit efficace au sein de l'entreprise.

Nous avons remarqué un manque de communication entre les différents services de production, maintenance etc..., ceci a un impact négatif sur la rentabilité et la productivité de l'entité, ci-dessous le diagramme Pareto nous montre que les lignes A, B et D consomment 80% des pompes dans l'unité 03.

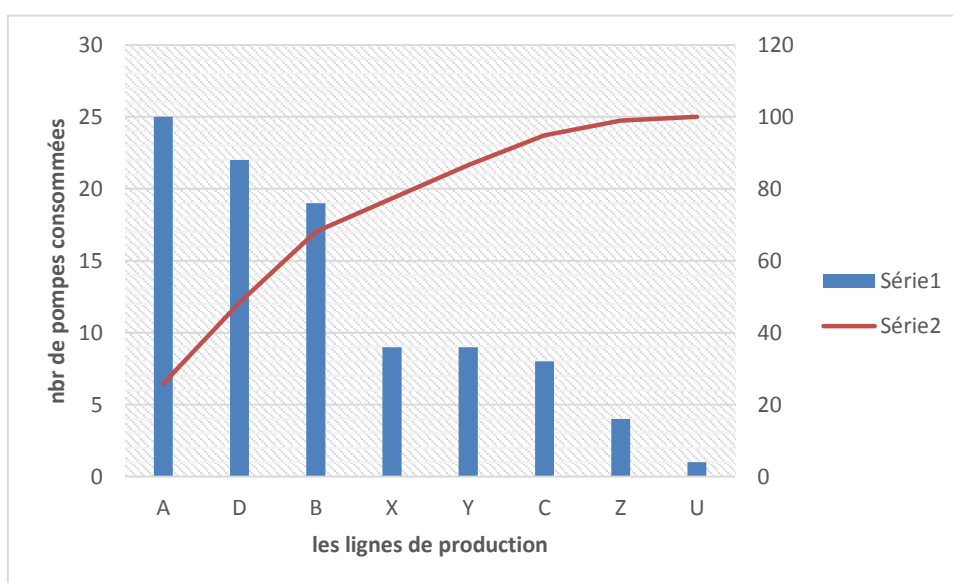


Figure 30 : Pareto des lignes de production

Nous avons remarqués que la consommation des pompes aux lignes du nord est plus élevée qu'au sud, cette différence de consommation d'équipements n'est pas à la cause de l'état des lignes, mais c'est à cause d'un manque de communication entre les zones nord et sud.

En effet nous avons trouvés que lors d'une fuite au niveau de la garniture d'une pompe dans la zone sud, les techniciens continuent à travailler avec la garniture en bouchant la sortie du liquide pour que la fuite devienne interne, et ceci n'affecte pas la qualité du produit pompé.

Par contre dans la zone nord, lors d'une fuite sur garniture la seule action faite c'est l'arrêt de la pompe et le demande d'intervention.

On peut voir clairement que s'il y avait une communication entres ces zones combien la consommation des garnitures dans la zone nord sera réduite.

Solution

Organisation des réunions hebdomadaires pour discuter les différents problèmes dans les différents services.

2.2.5. Matériel

a- Garniture mécanique n'est pas adaptée à un type de fonctionnement-Mauvais refroidissement

L'un des moyens les plus efficaces pour obtenir une longue durée de vie d'une garniture mécanique est de créer un environnement sain autour des faces (grains) de celle-ci. Dans ce paragraphe nous allons choisir un concept complet qui permet d'assurer un fonctionnement idéal d'une GM.

❖ *Situation actuelle*

Après avoir collecter les informations concernant l'unité attaque filtration ,nous avons remarqué que pour le cas des pompes (P04,P05) (figure 23), qui ont pour rôle le pompage du produit avec faible et moyen concentration vers le filtre, la fuite interne de l'eau de refroidissement (dilution du produit avec l'eau) est très tolérable .en effet le produit pompé n'est pas un produit fini et il sera traité une autre fois pour qu'il aura une concentration convenable.

Les pompes (P05) sont destinées au pompage de l'acide phosphorique (29%) vers le stockage, dans cette opération, aucune dilution de produit (fuite interne) n'est tolérée car la dilution du produit affecte sa concentration et sa qualité.

Les pompes sont équipées des garnitures mécaniques doubles avec utilisation d'un liquide séparé (l'eau brute) pour le refroidissement, chose qui n'est pas utile, car l'utilisation d'un seul type de garniture pour plusieurs mode de fonctionnement n'est pas pratique voir illogique.



Figure 31 : Pompes (P05, P06)

❖ *Choix de garniture adapté au type de fonctionnement*

Le choix de la GM est important voir nécessaire, donc nous allons se référer aux plans API pour un choix judicieux de la GM, Les plans API aident aussi les garnitures mécaniques à fonctionner dans des conditions idéales, permettent des manipulations sécurisées pour les fluides dangereux et augmentent la disponibilité des équipements tournants.

❖ *Présentation de l'API*

L'American Petroleum Institute (API) est une organisation nationale américaine couvrant tous les aspects liés à l'industrie du pétrole et du gaz naturel. Fondé en 1919, l'API compte plus de 400 membres, allant des grands groupes industriels aux compagnies plus petites, rassemblant autant les producteurs, raffineurs, fournisseurs, opérateurs de canalisation et transporteurs maritimes que les compagnies de service. L'API qui a publié ses premiers standards en 1924, maintient aujourd'hui ses 500 standards et fiches pratiques couvrant tous les champs de l'industrie du pétrole et du gaz naturel : construction, inspection, sécurité, protection contre l'incendie ou encore environnement.

L'API publie également des spécifications, codes et publications techniques établis sur la base de bonnes pratiques industrielles. Pour cela, il existe plus de 700 groupes de travail et comités couvrant ces divers domaines et sujets techniques. Ils ont pour objectif de rédiger, d'améliorer et de mettre à jour ces standards et codes.

❖ *Choix de la GM*

Après avoir étudié les plans API les plus essentiels et qui sont actuellement utilisés avec succès dans les sites industriels. Nous avons abouti à cette logique pour le choix d'une GM pour les trois natures de fluide à étancher existants

- **Fluide claire :**
 - Pompes de rinçage
 - Pompe d'acide concentré à 54%
 - Pompe d'acide concentré à 29%
- **Peu chargé :** Pompe d'acide concentré à 29%
- **Très chargé :** pompe de la bouillie

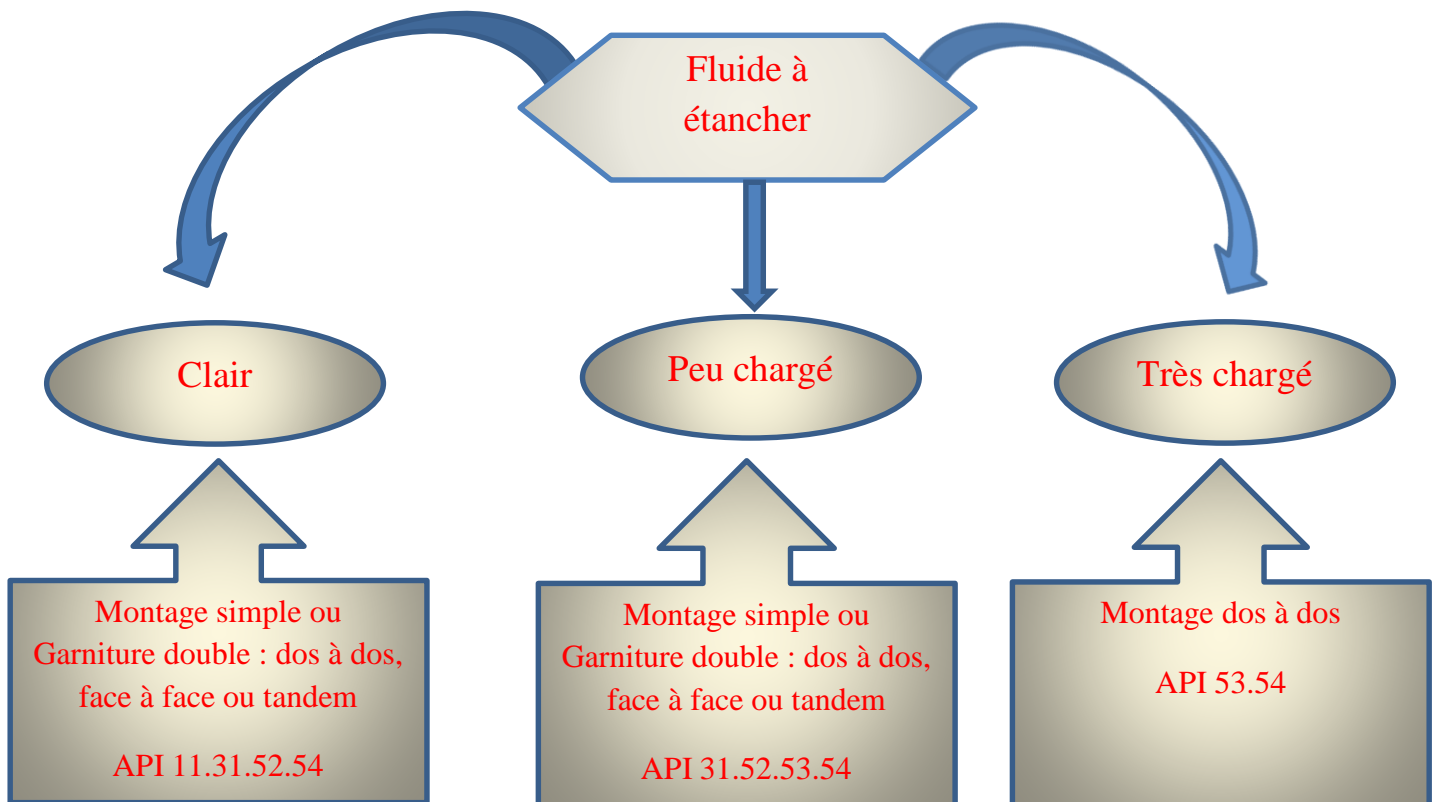


Tableau 8 : Tableau des plans API

Plan de refroidissement	Le Quoi, le pourquoi et Où ?
<p>Plan 11</p>	<p>Quoi Injection venant du refoulement de la pompe via un orifice. Plan API par défaut pour garniture simple.</p> <p>Pourquoi Evacuation de chaleur de la boîte à garniture. Dégazage de la boîte à garniture pour les pompes horizontales. Augmente la pression de boîte à garniture et la marge par rapport à la tension vapeur.</p> <p>Où Applications courantes avec des fluides propres. Produits propres et non polymérisant.</p>
<p>Plan 31</p>	<p>Quoi ? Circulation du refoulement de la pompe via un séparateur cyclone. Les particules solides sont centrifugées et retournées vers l'aspiration de la pompe.</p> <p>Pourquoi ? Evacue la chaleur de la boîte à garniture. Evacuation des solides du circuit d'arrosage et de la chambre à garniture.</p> <p>Où ? Fluides sales ou pollués, eau contenant du sable ou des scories de tuyauterie. Fluides non polymérisant.</p>
<p>Plan 52</p>	<p>Quoi ? Circulation d'un liquide tampon non pressurisé via un réservoir. La circulation est assurée par un anneau de pompage intégré à une garniture duale.</p> <p>Pourquoi ? La garniture externe agit en secours de la garniture primaire. Emission de fluide véhiculé très faible voire nulle. La contamination du liquide véhiculé n'est pas permise.</p> <p>Où ? Utilisé avec les garnitures duales non pressurisées ("Tandem"). Fluides à haute tension de vapeur, hydrocarbures légers. Fluides dangereux, toxiques. Fluides caloporteurs.</p>

<p>Plan 53</p>	<p>Quoi ? Circulation d'un liquide de barrage pressurisé via un réservoir. La circulation est assurée par un anneau de pompage intégré à une garniture duale.</p> <p>Pourquoi ? Isoler le liquide véhiculé. Emission nulle du liquide véhiculé.</p> <p>Où ? Utilisé avec les garnitures duales pressurisées ("Doubles"). Fluides à haute tension de vapeur, hydrocarbures légers. Fluides dangereux, toxiques. Fluides caloporteurs. Fluides souillés/abrasifs ou sujets à polymérisation. Mélangeurs/agitateurs et applications sous vide.</p>
<p>Plan 54</p>	<p>Quoi ? Circulation d'un liquide de barrage pressurisé par un système externe.</p> <p>Pourquoi ? Isoler le liquide véhiculé. Emission nulle du liquide véhiculé. La garniture ne peut pas générer de circulation.</p> <p>Où ? Utilisé avec les garnitures duales ("Doubles") pressurisées. Fluides à haute tension de vapeur, hydrocarbures légers. Fluides dangereux, toxiques. Fluides caloporteurs. Fluides souillés/abrasifs ou sujets à polymérisation. Mélangeurs/agitateurs.</p>

Solution

Dans le cas des pompes où la dilution du produit n'est pas tolérée nous avons pris l'utilisation d'une garniture mécanique double comme choix. Pour les pompes (P04, P05) on opte le choix pour l'utilisation d'une GM simple.

❖ Refroidissement d'une garniture mécanique double

Nous avons remarqué que le circuit de refroidissement est un circuit ouvert, chose qui donne résultat d'une consommation énorme d'eau brute. Aussi le principe de refroidissement utilisé dans l'atelier phosphorique est un principe non fonctionnel voire incomplet.



Figure 32 : Circuit de refroidissement

➤ **1^{er} concept : refroidissement pour GM double**

L'eau, ressource clé pour l'industrie du phosphate, est prise en compte de manière responsable dans la stratégie de développement du Groupe OCP. Afin de ne pas augmenter les prélèvements en eaux et de garantir un bon refroidissement des GM nous avons opté le choix pour le refroidissement par thermosiphon pour plusieurs raisons citées ci-dessous :

Tableau 9 : Tableau de comparaison entre les deux principes de refroidissements

Principe de refroidissement utilisé	Refroidissement par thermosiphon
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pression assuré juste par le réseau ➤ Pas de contrôle ou régulation de débit ➤ Pas de contrôle de pression ➤ Beaucoup d'entretien ➤ Mauvaise lubrification des surfaces d'étanchéité ➤ Fuite à l'atmosphère ➤ Nécessite un contrôle horaire ➤ Alimenté par le réseau ➤ Enorme consommation d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pression réglable ➤ Contrôleur de débit ➤ Manomètre de pression ➤ Peu d'entretien ➤ Lubrification idéale de la surface d'étanchéité ➤ Aucune fuite à l'atmosphère ➤ L'auto surveillance ➤ Alimentation indépendante ➤ Consommation très réduite

• **Principe de thermosiphon :**

Le thermosiphon est le phénomène de circulation naturelle d'un liquide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température. Dans un circuit de refroidissement en thermosiphon, le liquide réchauffé dans le générateur thermique, plus léger, monte vers un échangeur situé en partie haute de l'installation pour céder ses calories à l'air ambiant. Le fluide caloporteur refroidi redescend naturellement vers le bas de l'installation pour être réchauffé par le générateur et recommencer le cycle en continu.

- **Principe de fonctionnement**

Lors du fonctionnement, les faces de la GM génèrent de la température chaude à l'eau, ce dernier devient avec une densité faible et remonte vers le haut pour laisser la place à l'eau froide (densité plus grande) et le cycle se répète continuellement grâce au principe du thermosiphon.

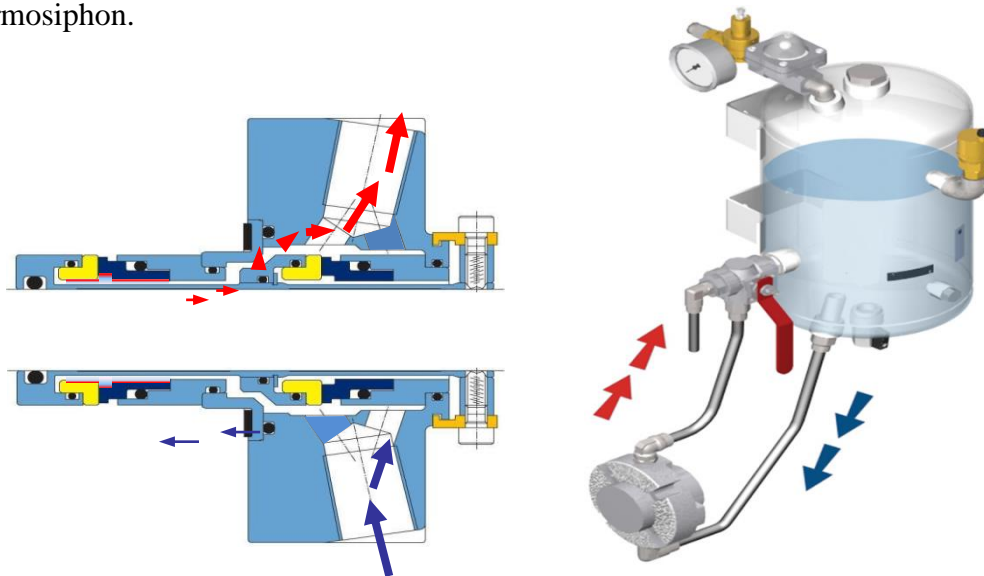


Figure 33 : Coupe d'une garniture et circulation de l'eau

Pour le montage et le démarrage il faut suivre les étapes suivantes :

- Connecter le réservoir 1 avec la garniture 2 à l'aide des flexibles 3 et 4, ne pas connecter le flexible 4 au réservoir
- Connecter la source de l'eau (réseau) avec le clapet anti retour 5
- Remplir le réservoir jusqu'à ce que le flexible 4 sera remplie puis le connecter au réservoir
- Régler la pression à l'aide du régulateur de pression 6 et du manomètre 7
- Contrôler le débit à l'aide du débit mètre 8, chaque augmentation au niveau du débit montre une fuite au niveau de la garniture

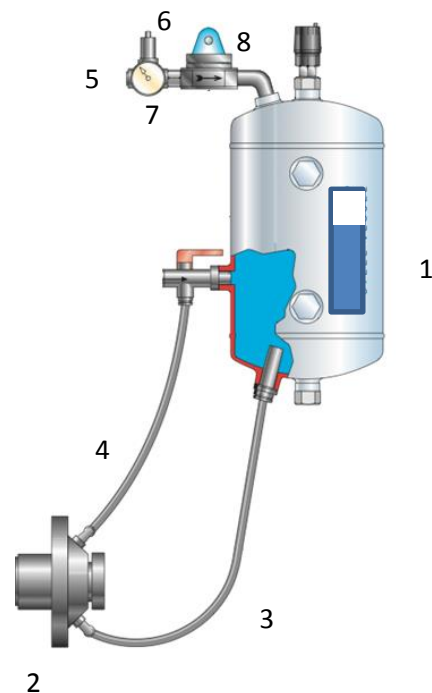




Figure 34: Thermosiphon

Remarque

La valeur de la pression à régler dans le régulateur de pression est calculée en fonction de la pression à l'entrée et la sortie de la pompe et selon le type d'impulseur.

 <p>Figure 35 : Impulseur ouvert</p>	 <p>Figure 36 : Impulseur fermé</p>
<p>$P_g(\text{bar}) = (\Delta P/4) + P_a$</p>	<p>$P_g(\text{bar}) = (\Delta P/10) + P_a$</p>

Avec :

P_g : Pression dans la chambre à garniture.

P_r : Pression de refoulement

P_a : Pression d'aspiration

ΔP : $P_r - P_a$

Pour les produits chargés la pression du liquide de refroidissement P_{BAR} doit être supérieure à la pression dans la chambre de la boîte à garniture de 1 bar et plus.

$$P_{bar} = P_g + 1$$

❖ Refroidissement d'une garniture mécanique simple avec un débitmètre intelligent.

Pour nous et dans le cas d'utilisation d'une GM simple, la fuite interne (dilution du produit) est tolérée, donc il suffit d'assurer la pression et le débit convenable dans la chambre à garniture, Pour cela on propose d'utiliser un débitmètre intelligent équipé d'un contrôleur de débit et de pression avec un indicateur d'alarme qui se déclenche lorsque la pression ou le débit entrant dans la chambre à garniture ne sont pas convenable.

Le fonctionnement du système est basé sur l'ouverture et la fermeture automatique du canal de refroidissement, en effet la température agit sur l'alliage du matériau constituant le ressort et ce dernier se met en action. Le système s'adapte automatiquement aux nouvelles conditions de fonctionnement, à savoir la pression et la température alternée. Ceci permet de contrôler régulièrement le besoin d'eau de la garniture et donc une fiabilisation de la consommation d'eau et de refroidissement.

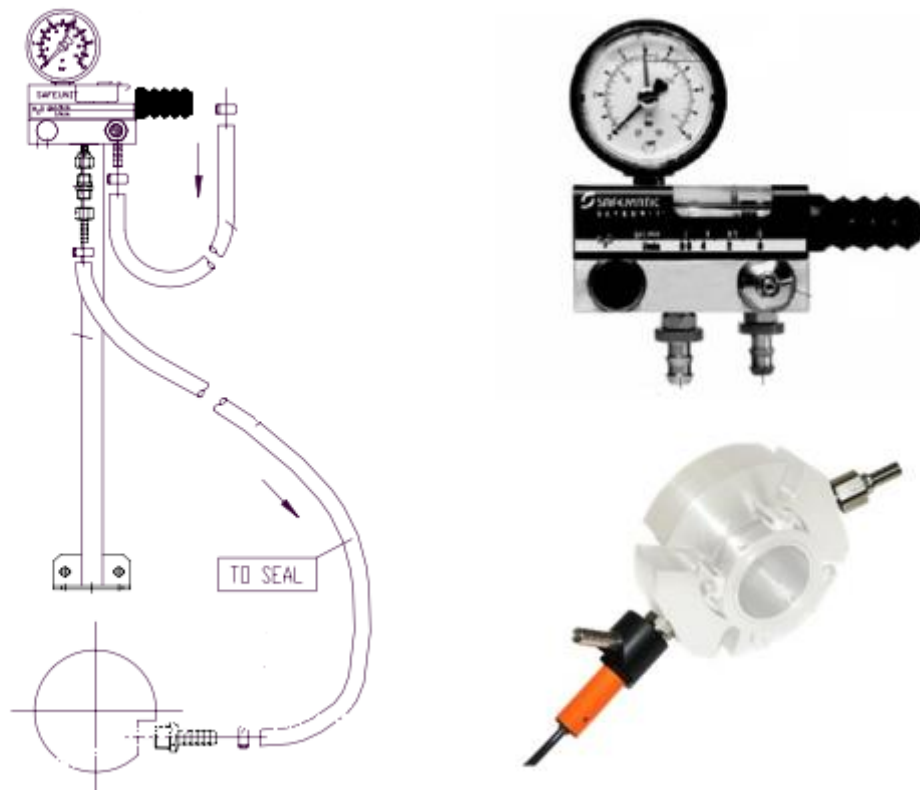


Figure 37 : Débitmètre intelligent

3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé d'analyser la majorité des facteurs qui peuvent être considérées comme cause de défaillance d'une garniture mécanique, et donc d'une pompe centrifuge, en donnant des recommandations à respecter durant tout le cycle de vie d'une pompe d'acide et en proposant des solutions qui visent à fiabiliser le fonctionnement de celles-ci afin de garantir la disponibilité des lignes de production et d'optimiser la production de l'acide phosphorique.