

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE

جامعة عبد رحمان ميرة بجاية

Université Abderrahmane Mira de Bejaia



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Génie Mécanique

Spécialité: Maintenance industrielle

THEME

**Amélioration de la disponibilité par
l'optimisation de la maintenance préventive
cas des pompes Glycol de In-Salah Gaz**

Présenté par : OUADI Sid-Ali

Promoteur : LAGGOUNE Radouane

President: SADEDDINE Abdelhamid

Examinatrice: HIMED Lynda

Examineur: BOUDERBALA Marzak

Année Universitaire : 2013/2014

Remerciements

Tout d'abord, je remercie dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces longues années d'études.

Toutes mes infinies gratitude à mon promoteur, Monsieur LAGGOUNE.R, professeur en Maintenance et fiabilité du système, pour son encadrement, sa qualité humaine, sa patience et son dynamisme et de m'avoir guidé et conseillé pour mener à bien ce travail.

Je remercie aussi les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter le jugement de mon travail.

Mes sincères reconnaissances à mes enseignants du Département de Génie Mécanique et surtout notre chef du département Mr Djerrada.

Je remercie également Monsieur SADDAOUI Houari mon encadreur à In Salah Gaz pour sa disponibilité et ses suggestions, et pour m'avoir permis l'accès aux informations nécessaires pour la réalisation de ce travail. Ainsi que Mr KOURTA Kamel pour l'aide qu'il m'a fourni, ainsi que toute l'équipe de méthode de In Salah Gaz.

Je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnels du service formation de Krechba de In Salah et Gaz Mr Ishak Cherif Salam et Mme HAMMADACHE Nardjesse et aux personnels du service formation de Hassi Messaoud base 24 Fevrier Mme CHIRIFI Nawel et Fethi qui m'ont aidé et ont ainsi contribué à l'élaboration de ce travail.

J'adresse également mes sincères remerciements à Mmes KHELOUFI Nora et SADOUDI Nacera qui ont contribué à ma réussite.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de mes profondes gratitude et respects.

DEDICACES

Au nom du dieu tout puissant, je dédie ce travail

A ma chère mère, à mon père, les deux personnes qui se sont beaucoup sacrifié pour moi, aider et soutenu, sans eux je n'aurais eu la volonté d'atteindre ce niveau ;

A mes sœurs Rahima et Nessrine qui ont toujours été là pour moi

A ma fiancée Aida qui m'a toujours soutenu et aidé vraiment

A toute ma famille

A tous mes amis, camarades et plus particulièrement
Salah BEN AISSA ;

A tous les enseignants et les éducateurs qui ont contribué à ma formation durant tout le parcours de mes études jusqu'à ce jour

A toute la promotion de 2013/2014

Maintenance Industrielle

...je dédie ce modeste travail.

OUADI Sid-Ali

Liste des figures

Figure I. 1 : Situation géographique des deux projets ISG et IA	4
Figure I. 2 : Développement des champs gaziers du projet ISG	5
Figure I.3 : implantation de krechba	6
Figure I.4 : CPF de krechba	6
Figure II.1 : la maintenance systématique	11
Figure II.2 : système en série	17
Figure II.3 : système en parallèle	17
Figure II.4 : Disponibilité intrinsèque et opérationnelle	20
Figure III : Pompe à piston triplèx de glycol	24
Figure IV.1 : Cycle de maintenance préventive appliqué par ISG	33
Figure IV.2 : Cycle de maintenance préventive proposé	33

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : Les TBF de la pompe de glycol J-PB-024001A	26
Tableau IV.2 : Les TBF de la pompe de glycol J-PB-024001B	28
Tableau IV.3 : tableau des couts	32
Tableau IV.4 : tableau des temps optimum	32

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description de la société mixte SH/BP/StatoilHydro	
I.1. Présentation de la société mixte.....	3
I.2. Présentation du projet In Salah Gaz (ISG).....	4
I.2.1. Processus d'un train de production de gaz.....	6
• Production de l'énergie électrique.....	7
• Déshydratation du gaz.....	7
• Décarbonatation du gaz.....	8
• Système de récupération de chaleur.....	8
• Production de l'eau déminéralisée.....	8
• Air comprimé.....	9
• Génération d'azote.....	9
• Condensat.....	9
Chapitre II : La maintenance industrielle	
Introduction.....	10
Partie I : Généralité sur la maintenance	
I.1. Définition de la maintenance.....	10
I.2. Les différents types de maintenance.....	10
I.2.1.La maintenance corrective.....	10
I.2.2.La maintenance préventive.....	11
I.3. Les opérations de maintenance.....	11
I.4. Les niveaux de maintenance.....	12
I.5. Les coûts de la maintenance.....	13
I.5.1. Coûts directs de maintenance.....	13
I.5.2. Coûts indirects de maintenance.....	13
I.6. Système de gestion de la maintenance.....	14
I.6.1. Planification de la maintenance.....	14
I.6.2. Gestion du stock.....	14

Partie II: Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité

II.1. La fiabilité : Introduction et Expressions mathématiques.....	16
II.1.2. Définition de la fiabilité.....	16
II.1.3. Expressions mathématiques de la fiabilité.....	16
II.1.3.1. Taux de défaillance.....	16
II.1.3.2. Expression générale de la fiabilité.....	16
• Expression de la MTBF.....	16
II.1.4. Lois de composition de la fiabilité	16
II.1.4.1. Configurations « série, parallèle ».....	16
• Configuration en série.....	16
• Configuration parallèle.....	17
• Différentes formes de redondances.....	18
II.2. La fiabilité : analyses par les lois de probabilité.....	18
II.2.1. Analyse de la fiabilité à partir du modèle exponentiel.....	18
II.2.2. Analyse de la fiabilité à partir du modèle de Weibull.....	18
II.3. La maintenabilité intrinsèque et opérationnelle	19
II.3.1. Définition de la maintenabilité.....	19
II.3.2. Différentes formes de maintenabilité.....	19
II.3.3. Approche mathématique de la maintenabilité.....	19
• Taux de réparation	19
• Quantification d'un arbre de défaillance dépendant du temps	19
II.4. La disponibilité des systèmes réparables.....	20
II.4.1. Définition de la disponibilité	20
II.4.2. Les différentes formes de disponibilité.....	20
• Disponibilité « propre » ou opérationnelle de l'unité de production	20
• Disponibilité opérationnelle globale, ou résultante	20
• Disponibilité asymptotique ou intrinsèque	20
• Disponibilité instantanée	20
• Disponibilité contractuelle et disponibilité prévisionnelle.....	20
II.4.3. Approche mathématique de la disponibilité.....	20
Conclusion.....	21

Chapitre III : Généralité sur les pompes

Introduction.....	22
III.1. Les pompes centrifuges	22
III.2. Les pompes volumétriques	23
III.2.1. Principe de fonctionnement	23
III.2.2. Les types de pompes volumétriques.....	23
• Pompes volumétriques rotatives.....	23
• Pompes volumétriques alternatives.....	23
III.3. caractéristiques de la pompe à piston triplex de glycol.....	25
Conclusion.....	25

Chapitre IV : Optimisation de la maintenance pour l'amélioration de la disponibilité

IV.1. Collecte de données.....	26
IV.1. Identification des paramètres (β , η)	30
IV.2. Evaluation de la disponibilité actuelle	30
IV.3. Optimisation de la politique de maintenance	30
IV.3.1. choix de la politique	30
IV.3.2. calcul des temps optimum de maintenance	30
IV.3.3. Interprétation des résultats	32
IV.3.4. Proposition de cycle de maintenance	33
• Le cycle actuel	33
• Le cycle de maintenance proposé	33
I.V.4. Evaluation de la disponibilité en aval	34
Conclusion générale.....	35
Références bibliographiques.....	36

Introduction générale

Bien que le mot maintenance ne soit apparu dans le vocabulaire industriel que dans les années 1950, les concepts de maintenance, tels que nous les connaissons aujourd'hui, remontent en fait à la plus haute antiquité. En effet, la maintenance, date de l'époque où on a commencé à fabriquer les premiers objets.

Aujourd'hui, dans un contexte de concurrence internationale, l'efficacité de l'entreprise qui dépend de sa capacité à optimiser l'emploi des moyens de production est devenue de plus en plus difficile. De ce fait l'entreprise doit réduire les interruptions de l'outil de production, pour cela elle doit donc assurer une meilleure fiabilité, disponibilité et sécurité de ses installations qui sont les objectifs principaux de la fonction maintenance.

La maintenance est définie comme étant « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » [1]

Les opérations de dépannage, réparation, d'amélioration ainsi que les visites constituent des tâches de maintenance qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Cette fonction maintenance est une fonction transversale de l'entreprise, au même titre que les fonctions qualité, sécurité, ressources humaines, etc. [2].

Selon Francastel [2], les interventions de maintenance peuvent être classées en trois grandes catégories qui sont la maintenance corrective, la maintenance préventive et la maintenance améliorative. Les opérations de maintenance les plus fréquentes sont les opérations de maintenance corrective, donc effectuées après défaillance, ou des opérations de maintenance préventive, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

L'un des problèmes qui se pose est celui de savoir comment mettre en œuvre une maintenance efficace et plus particulièrement comment la gérer ?

Pour résoudre ce problème, il est intéressant de faire une étude complète des données de défaillance et du comportement des équipements en exploitation, et cela en faisant un plan de maintenance préventive, ainsi que d'optimiser les temps optimum de cette dernière et l'amélioration de la disponibilité des pompes de glycol du champ krechba d'In Salah Gaz. Ce qui est l'objet de notre travail.

Pour cela, notre mémoire s'articulera autour des axes suivants :

- Après une introduction générale, le chapitre I renfermera une brève présentation de la société mixte (**SH/BP/StatoilHydro**) suivi de la présentation du projet In Salah Gaz (**ISG**).
- Le deuxième chapitre sera consacré aux rappels des éléments théoriques essentiels de la maintenance industrielle.

- Dans le chapitre III nous donnerons une définition sur les pompes et leurs différents types.
- le quatrième chapitre, renfermera notre contribution qui consiste en une collecte de données suivie de l'application des résultats obtenus pour améliorer la disponibilité par l'optimisation de la maintenance des pompes, qui sera suivie par les cycles de maintenance proposés.

Nous terminerons par une conclusion générale et une liste de références bibliographiques.

Chapitre I : Description de la société mixte SH/BP/StatoilHydro

I.1. Présentation de la société mixte

La société mixte SH/BP/StatoilHydro ou Joint-Venture (JV) est un accord d'association entre Sonatrach, BP et StatoilHydro, dans le but de l'exploitation et du développement des gisements de gaz du centre saharien algérien, ainsi que le marketing du gaz extrait [3].



- Sonatrach :

Sonatrach (Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures) est une entreprise publique algérienne et un acteur majeur de l'industrie pétrolière .

- BP :

La société BP, anciennement nommée British Petroleum puis BPAmoco, est une compagnie globale de recherche, d'extraction, de raffinage et de vente de pétrole fondée en 1909.

- StatoilHydro :

Statoil est une compagnie pétrolière norvégienne fondée en 1972. En se fusionnant avec la compagnie pétrolière Norsk Hydro Statoil est rebaptisée StatoilHydro

La direction centrale de la JV est basée à Hassi Messaoud, et les deux projets entrepris sont **In Salah Gas (ISG)** et **In Amenas (IA)** (Figure I.1).





Figure I. 1 : Situation géographique des deux projets ISG et IA [4]

I.2. présentation du projet In Salah Gaz (ISG) :

L'appellation du projet In Salah Gas est dérivée du nom de la ville d'In Salah qui est située à 1230 km au sud d'Alger. Elle comporte des ressources minérales parmi les plus riches du pays. Le projet In Salah Gaz procède actuellement au développement des sept champs gaziers prouvés: Krechba, Tegentour, Reg, Hassi-Moumène, Garet-El-Benfinat, In Salah et Gour Mahmoud. [5]

Le développement sera réalisé en deux phases : les champs de Krechba, Tegentour et Reg seront développés en premier avec les premières livraisons de gaz prévues pour fin 2003. Le gaz produit sera acheminé à Hassi-R'Mel par pipeline pour ensuite être transporté vers les marchés en expansion du sud de l'Europe.

Les quatre champs restants (Hassi-Moumène, Garet-El-Benfinat, In Salah et Gour Mahmoud) seront développés plus tard afin d'assurer un niveau d'approvisionnement et de vente régulier pendant toute la durée du développement.

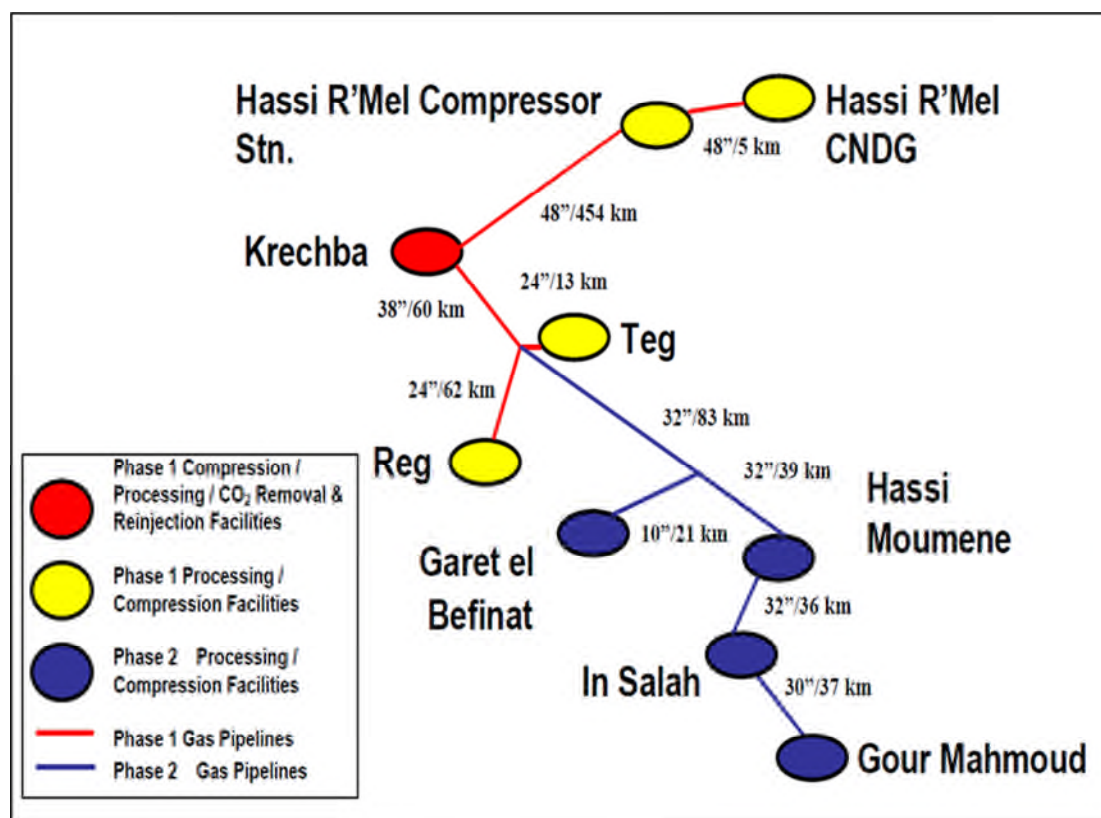


Figure I. 2 : Développement des champs gaziers du projet ISG [6]

La production sera de neuf milliard SMC/an au cours de la première phase de production, qui sera exporté par le biais des moyens de Sonatrach.

Une exploitation performante sera fonction d'un personnel pouvant remplir les critères établis en matière de HSE (Hygiène, Sécurité et Environnement), d'efficacité de production et de coûts annuels.

Notre performance en matière de sécurité industrielle et de gestion rigoureuse de l'environnement est reconnue. Celle-ci a été sanctionnée par une certification internationale. Des émissions industrielles minimales et de faibles volumes de déchets/décharges sont des pratiques courantes au projet In Salah.

Les valeurs distinctives fondamentales d'In Salah Gas par rapport aux autres projets sont l'intégrité, l'innovation, la confiance et le respect mutuel. C'est sur cette base solide que nous bâtissons actuellement une organisation dont chacun de nous peut être fier.

Le potentiel humain se situe au cœur du projet car c'est lui qui en assurera le succès. Nous nous sommes engagés à créer un environnement où chacun aura la possibilité de se développer et de s'affirmer dans les domaines qui l'inspirent et l'intéressent.

La première phase de projet comporte l'exploitation des champs suivants:[7]

- 1) Krechba assurera 25% de gaz. C'est le champ le plus important sur le plan installation et personnel. Tous les gestionnaires seront basés sur site. Les différentes opérations d'exploitation sont: Séparation, Déshydratation, Décarbonatation, compression, réinjection et utilités. Le champ peut traiter la totalité de production de gaz de tous les champs.

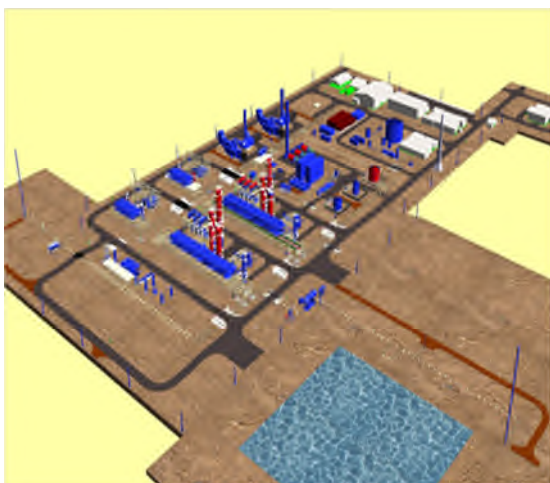


Figure I.3 : implantation de krechba



Figure I.4 : CPF de krechba

- 2) Teg produira 50% de la totalité du gaz vu l'importance du gisement de ce site. Des opérations de Séparation, de Déshydratation de gaz à effectuer sur ce site. Le reste des opérations de traitement se termineront à Krechba.
- 3) Reg est similaire à Teg du point de vu installation mais produira 25 % de la production totale de gaz.
- 4) Hassi R'Mel: la totalité du gaz produite par les champs précédents sera véhiculée à travers une conduite de 48" vers Hassi R'Mel où le gaz sera comprimé par deux stations de compression (Turbo compresseur). Enfin ce gaz sera acheminé vers CNDG (centre de dispatching de gaz) pour l'exportation vers les marchés en expansion du sud de l'Europe.

La 2ème phase de production commencera cinq ans après le démarrage de la première. Celle-ci sera conçue afin de maintenir la pression et la production du gaz.

I.2.1 Procès d'un train de production de gaz : [8]

- **Production de l'énergie électrique :**

La turbine à gaz de grande puissance (> 1 MW) est surtout utilisée pour entraîner un alternateur et produire de l'électricité. Les infrastructures et le génie civil nécessaires pour une centrale électrique équipée de turbines à gaz sont réduits, ce qui permet d'installer en quelques mois une centrale tout près du lieu d'utilisation de l'électricité (ville, usine) ou de la source de combustible (port, forage, raffinerie...). Turbine et alternateur sont acheminés sous formes de modules compacts et complets qu'il suffit d'assembler et de raccorder aux réseaux dans des climats où la température extérieure peut aller de -40 à $+50$ °C. Un des avantages des centrales à turbine à gaz est le temps réduit pour la mise en œuvre, le gestionnaire d'un réseau de distribution électrique peut ainsi moduler facilement la capacité de production pour s'adapter aux variations de la consommation.

L'installation d'un groupe électrogène à turbine à gaz peut s'accompagner d'une installation en cogénération, afin de récupérer les quantités importantes d'énergie (environ 65 % de l'énergie consommée) contenues dans les gaz d'échappement. La principale application de ce type consiste à injecter ces gaz, éventuellement après passage dans un tunnel de post-combustion, dans une chaudière de récupération, avec production d'eau chaude ou de vapeur.

- **Déshydratation du gaz :**

Le principe de la déshydratation de gaz est le contact d'un flux de gaz avec un liquide hygroscopique qui possède une grande affinité à la vapeur d'eau par rapport au gaz.

Après le contact du gaz avec le Glycol, il absorbe l'eau du flux de gaz, L'eau –Glycol riche est régénéré par chauffage à une pression atmosphérique et une température assez élevée pour chasser virtuellement toute l'eau absorbée.

Le Glycol régénéré est alors refroidi et retourné vers le contacteur Glycol. Sa régénération s'améliore avec la basse pression du système et la haute température. Les liquides déshydratants généralement utilisés dans un processus d'absorption pour la déshydratation de gaz sont Mono éthylène Glycol (MEG), Di éthylène Glycol (DEG) & Tri-éthylène Glycol (TEG).

Le but de l'opération de séchage est de s'assurer qu'aucune condensation n'aura lieu dans les conditions minimales de pression et température.

- **Décarbonatation du gaz :**

Deux 50% trains d'extraction de CO₂ sont fournis pour traiter le flux de gaz export combiné. Un MDEA activé de BASF est utilisé pour traiter le gaz afin de satisfaire la spécification du produit de gaz carbonique de 0,3 mole% (maximum) de CO₂ et de 2mg/m³ de H₂S. . Les gaz acide humide éliminé du flux du gaz export alimente ensuite les installations de compression de CO₂ pour être réinjecter ou torcher, si le système de réinjection n'est pas disponible.

- **Système de récupération de chaleur :**

La chaleur nécessaire aux Rebouilleurs des Stripeurs d'élimination de CO₂ et au rebouilleur de stabilisation de condensat au sein des installations centrales de traitement de Krechba, est fournie par le biais de la circulation d'eau chaude. La source de chaleur primaire pour le système d'eau chaude représente la chaleur perdue disponible dans les échappements des deux turbogénérateurs à gaz (GTGs).

Cependant, la chaleur récupérée est insuffisante pour fournir la charge de chaleur design au procès et les deux chaudières sont fournies pour servir d'appoint à la chaleur récupérée et équilibrer le système. La chaleur perdue, disponible dans la conduite d'échappement de chaque GTG, est récupérée par son propre WHRU. Chaque WHRU est conçue pour récupérer la quantité maximum de chaleur d'échappement de la turbine. Elle est équipée d'un by-pass de fuel gaz et damper pour permettre la mise en marche de la turbine avec ou sans récupération de chaleur.

- **Production de l'eau déminéralisée :**

L'eau potable est fournie en bouteilles. L'eau douce n'est pas destinée à la consommation humaine, et par conséquent elle n'est pas traitée pour être potable.

L'eau est aspirée du puits à l'aide d'une pompe immergée, la pompe d'eau au niveau du CPF, qui a une capacité design de 25 m³/h et qui fonctionne par contrôle de niveau dans les bacs d'eau de service et eau incendie ;

Les systèmes d'eau suivants sont fournis au CPF Krechba

- ✓ Eau d'usine / eau de service ;
- ✓ Eau Fraiche ;
- ✓ Eau déminéralisée.

- **Air comprimé :**

L'air comprimé sec est produit pour alimenter le collecteur à air instrument, le collecteur à air de l'unité, et le groupe de générateur à gaz inerte.

Il y a deux 100% groupes de compression d'air, chacun débite 1,320 Sm³/h a une pression de refoulement nominale de 8.0 bar g. Normalement ils fonctionnent comme un en service/ l'autre en attente; Cependant le compresseur en attente fonctionne durant des périodes de demande de pointe de gaz inerte et/ou d'air comprimé.

- **Génération d'azote :**

Dans les industries le gaz inerte(Azote) est requis pour la purge et pour prévenir les explosions dans les systèmes et aussi à des fins d'étanchéité.

L'azote peut être généré par différentes méthodes, le type à membrane est une des méthodes.

Le système utilisé dans les installations de Krechba est PRISM un procédé à membrane.

L'air atmosphérique comprimé passe à travers une série de filtres pour supprimer l'humidité, vapeurs d'huile et eau, L'air comprimé est surchauffé par un réchauffeur électrique, L'air chauffé entre ensuite dans les modules de membrane où l'azote est séparé de l'oxygène et d'autre gaz.

- **Condensat :**

Les fluides des puits de Krechba contiennent suffisamment de composants d'hydrocarbures lourds qui exigent un conditionnement de point de rosée afin de satisfaire la spécification de la qualité de gaz de vente d'In Salah Gaz.

Des sources de gaz de gisements autres que ceux de Krechba sont généralement pauvres et nécessitent uniquement un séchage et élimination de CO₂ pour répondre aux normes de la qualité demandée.

Une production maximale de condensât est réalisée durant le mode d'exploitation quand seul le gaz de Krechba est expédié vers Hassi R'Mel, c'est-à-dire durant la première année d'exploitation. Donc ce mode d'exploitation détermine la conception des installations de stabilisation de condensât.

Chapitre II : La maintenance industrielle

Introduction :

Pour une meilleure prise en charge de l'équipement de production du point de vue maintenance, il est nécessaire de mettre en œuvre une politique de maintenance adéquate permettant de minimiser les coûts d'exploitation tout en garantissant les meilleures caractéristiques de fiabilité et de disponibilité.

Rappelons d'abord les concepts fondamentaux de la maintenance et la théorie de la fiabilité.

Partie I : Généralités sur la maintenance :

I.1. Définition de la maintenance : [9]

La maintenance se définit comme étant un ensemble d'actions techniques et administratives correspondantes, y compris les opérations de surveillance et de contrôle, destinées à maintenir (maintenance préventive) ou à rétablir (maintenance corrective) une entité dans un état spécifié ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement (disponibilité, fiabilité et sécurité), lui permettant d'accomplir une fonction requise par AFNOR ,77 , 2001

I.2. Les différents types de maintenance : [10], [11]

On distingue deux types de maintenance : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

I.2.1. la maintenance corrective :

Selon la norme (CEN 319-003) paru en 2001 la maintenance corrective est une maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans lequel il peut accomplir une fonction requise, c'est une maintenance de réparation ou de dépannage par AFNOR , 1998

- **DEPANNAGE** : c'est une maintenance qui est exécutée sur un équipement en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement qui est généralement suivie de la réparation.
- **REPARATION** : c'est la remise en état définitive après une défaillance ou une panne. Elle est appliquée si le taux de défaillance est constant ou bien si le renouvellement préventif revient plus cher que celui effectué après défaillance.

I.2.2. la maintenance préventive :

Elle a pour objectif de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien matériel, elle-même découpée en deux catégories : la maintenance préventive conditionnelle et la maintenance préventive systématique par BTE, 1992a ; AFNOR, 2001.

- **La maintenance préventive systématique :**

Elle comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer, en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défaillants, lorsque ces tâches sont décidées en fonction du temps ou de la production, sans considération de l'état des matériels à cet instant. par AFNOR 01, 2001.

Cette définition se recoupe dans la figure II.1 Nous noterons T la période d'intervention prédéterminée, I_{ps} chaque intervention préventive systématique.

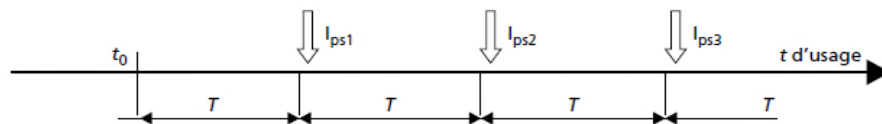


Figure II.1 : la maintenance systématique

I_{ps} = intervention préventive systématique

- **La maintenance préventive conditionnelle :**

Il s'agit d'une maintenance subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure...), elle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé. Par AFNOR [X60-010]

I.3. les opérations de maintenance : [12]

I.3.1. le dépannage :

C'est une action provisoire à fin de remettre l'équipement en service en attendant une opération définitive.

I.3.2. la réparation :

C'est une action définitive pour remettre l'équipement en état.

I.3.3. les inspections :

Ce sont des surveillances consistant à relever périodiquement des anomalies et des exécutions de réglages simples ne nécessitant pas l'arrêt de l'équipement.

I.3.4. les visites :

Elles s'opèrent suivant une périodicité prédéterminée. Elles correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui entraîne des démontages d'organes et un arrêt de l'équipement.

I.3.5. les contrôles :

Ce sont des vérifications de conformité par rapport aux données prédéterminées. Ils peuvent compter des informations, une décision, acceptation, rejet.....etc.

I.3.6. les révisions :

Ce sont des actions d'examens de contrôle et de maintenance curative, effectués à des temps prédéterminés en vue d'assurer l'équipement contre toutes défaillances majeures, entraînant l'arrêt de l'équipement.

I.4. Les niveaux de maintenance : [12]

La norme NF X60-010 fait mention, des niveaux de maintenance

- **1^{er} niveau** : réglage simples, généralement prévus par le constructeur, au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ou aucune ouverture de l'équipement, ou échange consommables accessible en toute sécurité, tels que des voyants ou certains fusibles.
- **2^{ème} niveau** : dépannage par échange standard des éléments prévus en conséquence et opérations de maintenance préventive, par exemple des graissages ou des contrôles de bon fonctionnement.
- **3^{ème} niveau** : identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive ou réaligement des appareils de mesure.
- **4^{ème} niveau** : tous les travaux importants de maintenance préventive ou corrective à l'exception de la reconstruction et de la rénovation. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisée pour la maintenance et, éventuellement, la vérification par des organismes spécialisés.
- **5^{ème} niveau** : rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes par un atelier centrale ou une unité extérieure. Pour chaque cas, on

est amené à échafauder un scénario où les rôles sont à distribuer d'autant plus par avance que la défaillance risque d'être coûteuse.

1.5. Les coûts de la maintenance : [13]

Le coût d'une panne ou d'une intervention en entretien se décompose des éléments essentiels suivants :

1.5.1. Coûts directs de maintenance ou coûts de consommation des ressources :

- **Coûts main-d'œuvre :** signifie la prestation humaine.
- **Coûts de consommable de pièce de rechange :**

Les différents travaux de maintenance engendrent dans la majorité des cas l'utilisation de consommable et / ou pièces de rechange.

Les coûts de stockage et de gestion sont à prendre en considération dans les coûts directs.

- **Coûts d'équipement :**

En plus des équipements et outillage propre à la maintenance, il arrive fréquemment qu'en cours de l'exploitation se présente la nécessité d'acquérir des machines, des outils ou des instruments supplémentaires facilitant les interventions de maintenance.

- **Coûts de sous-traitance :**

Lorsque pour des raisons techniques ou économiques l'entreprise a décidé de sous-traiter des prestations de maintenance, la totalité de cette sous-traitance est à inclure dans les coûts directs.

1.5.2. Coûts indirects de maintenance :

L'analyse complète de ces coûts est pratiquement impossible à faire avec précision car la plus part d'entre eux ne sont pas directement quantifiables.

- **Coûts de la réduction de la production (le manque à gagner) :**

Quand un équipement est à l'arrêt pour cause de panne, il ne produit rien, par conséquent le bénéfice n'est pas en question, en comptabilisant les heures de panne il y'a des moyens d'évaluer la perte correspondante.

- **Diminution de la qualité de production :**

Les insuffisances de maintenance ne se marque pas nécessairement toutes par des pannes provoquant l'arrêt de production, certains ont des conséquences autres comme par exemple une dégradation du bien produit ce qui nous amènera à réduire le prix de vente, donc le bénéfice soit à perdre une part du marché résultant de diminution de la clientèle.

- **Charge financière d'amortissement :**

L'amortissement d'un équipement de production se calcul en fonction de la durée d'exploitation ; en cas d'immobilisation la charge financière d'amortissement par rapport à l'unité du temps augmente.

- **Pénalité de retard :**

Suite à la désorganisation momentanée de la réalisation due aux pannes, il s'ensuit un retard dans le respect des délais ; cela engendre de pénalisation dite de <<retard>>.

I.6. Système de gestion de la maintenance :

I.6.1. Planification de la maintenance :

D'un point de vue de production, les activités de maintenance préventive et curative peuvent être considérées comme des tâches qui doivent alors être planifiées et ordonnancées au même titre que les tâches régulières de production. De ce point de vue, la planification intégrée de la maintenance et de la production semble tout à fait naturelle.

I. 6.2. Gestion du stock : [14]

On peut supposer que, en dehors de la période de transition entre deux générations de composants, le stock est réapprovisionné en utilisant la méthode du point de commande. On commande une quantité Q dès que le nombre de composants stockés passe en-dessous d'un seuil donné S .

Cette commande a un coût composé des frais occasionnés par le passage de la commande et du coût d'achat des Q composants (livraison comprise).

Bien sûr, la livraison n'est pas immédiate et il existe un délai entre la commande et la livraison (ce délai peut être aléatoire, mais il existe un temps de livraison minimum).

Dans les situations les plus simples la valeur optimale de la quantité commandée Q peut être déterminée par la formule de Wilson :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 C_t D}{C_i}}$$

Où C_t est le coût de commande d'un composant, D est la demande (fixe) de composant par unité de temps et C_i le coût de stockage d'un composant.

Le seuil de commande S est alors déterminé par la demande et le temps de livraison L . On aura :

$$S = Q^* L$$

Comme dans notre modèle, la demande de composants et le temps de livraison sont aléatoires, nous avons utilisé leurs valeurs moyennes dans la formule ci-dessus. On est confronté au risque d'avoir un stock vide alors qu'on a besoin d'un composant pour effectuer un remplacement. Ce cas de figure est particulièrement pénalisant dans le cas d'un remplacement correctif. Afin de diminuer la probabilité d'avoir un stock vide, on ajoute un seuil de sécurité à la valeur du seuil de commande.

Le stock se compose d'un nombre donné d'anciens composants SAC, et une commande d'anciens composants est éventuellement en cours. Le but étant de passer à terme des anciens aux nouveaux composants, l'entreprise doit alors décider de ce qu'elle va faire de ces anciens composants disponibles en stock et quelle politique d'approvisionnement du stock en nouveaux composants elle va adopter.

Partie II: FIABILITE, DISPONIBILITE, MAINTENABILITE

II.1. La fiabilité : introduction et expressions mathématiques [11], [15]

II.1.2. Définition de la fiabilité :

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. Par AFNOR

II.1.3. Expressions mathématiques de la fiabilité :

II.1.3.1. Taux de défaillance :

$\lambda(t)dt$ est une probabilité conditionnelle de défaillance sur l'intervalle $(t, t + dt)$, car elle ne s'applique qu'aux survivants à l'instant t .

$$f(t)dt = R(t). \lambda(t)dt$$

$$\lambda(t) = f(t).R(t)$$

II.1.3.2. Expression générale de la fiabilité :

- Expression de la MTBF :

La durée moyenne entre deux défaillances est l'espérance mathématique de la variable aléatoire T , qui a pour expression :

$$MTBF = E(t) = \int_0^t t. f(t)dt$$

II.1.4. Lois de composition de la fiabilité : association de matériels :

II.1.4.1. Configurations « série, parallèle » :

- Configuration en série :

S fonctionne si A et B... et N fonctionnent, mais S est défaillant si A *ou* B... *ou* N sont défaillants La configuration en série est caractéristique de l'association d'équipements en lignes de production. Dans ce cas, ce sont les disponibilités de chacun que nous composerons pour évaluer la disponibilité de la ligne .Au niveau des sous-ensembles ou des composants d'un système, le modèle « série » est le plus fréquent. Il se caractérise par le fait « qu'il suffit qu'un composant soit défaillant pour que le système soit défaillant ».

Hypothèse commune : les défaillances doivent être indépendantes, au sens probabiliste du terme

Les probabilités composées donnent la formule suivante :

$$R_S(t) = R_A(t) \cdot R_B(t) \dots \dots \dots R_n(t)$$

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

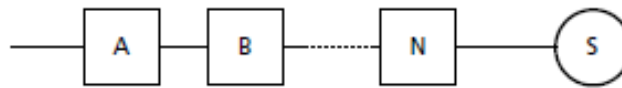


Figure II.2 : système en série

- **Configuration parallèle :**

S est défaillant si A et B (et N) sont simultanément défaillants. La configuration parallèle est plus rare, puisqu'elle implique une redondance volontaire de deux ou de n éléments de telle façon que « la défaillance du système n'est obtenue que si tous les éléments sont simultanément défaillants ». Ce qui va dans le sens de la sûreté de fonctionnement du système. Les redondances sont rares au niveau des équipements, car coûteuses en investissement (groupe électrogène de secours en parallèle avec l'alimentation électrique du réseau, par exemple), mais plus fréquentes au niveau des modules : redondance de deux automates avec un détecteur de discordance, ou de trois automates avec un « voteur » majoritaire 2/3. Attention cependant aux pseudo-redondances sous l'effet de « modes communs » de défaillances ! Les calculs suivants ne sont valables que dans le cas de « l'indépendance (des causes) des défaillances ».

Il n'existe pas d'expression simple en dehors de la redondance active de deux éléments pour laquelle le théorème des probabilités totales donne :

$$R_S(t) = R_A(t) + R_B(t) - R_A(t) \cdot R_B(t)$$

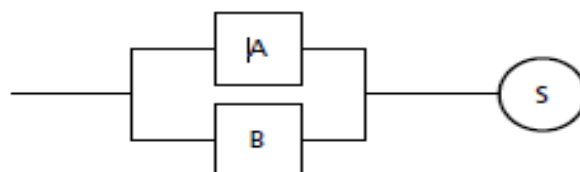


Figure II.3 : système en parallèle

Le principe de toute redondance est de doubler ou de multiplier certains éléments pour assurer le maintien de la fonction (ou mission) du système face à une défaillance élémentaire. Un tel système est nommé *fault tolerant system*. Cette redondance peut prendre de nombreuses formes : – matérielle ou logicielle ; – homogène (éléments identiques) ou hétérogène (natures différentes des éléments) ; – massive (système doublé) ou sélective (quelques composants multipliés) ; – active (tous les éléments sont activés) ou passive (l'élément inactivé doit prendre le relais en cas de défaillance).

- **Différentes formes de redondances :**

Il y a redondance dès qu'une fonction peut être assurée par deux ou plusieurs moyens. On distingue plusieurs formes de redondances :

- la redondance active est telle que tous les moyens fonctionnent simultanément ;
- la redondance majoritaire est telle que certains moyens sont au repos, et qu'ils sont sollicités en cas de défaillance ;
- la redondance majoritaire m/n est telle que la fonction est assurée si au moins m des n moyens sont en état de fonctionner. Prenons l'exemple de trois canaux redondants : un « voteur 2/3 » permet d'assurer la continuité de la fonction en alarmant la défaillance du canal (détection + localisation).

II.2. La fiabilité : analyses par les lois de probabilité

II.2.1. Analyse de la fiabilité à partir du modèle exponentiel :

Elle se retrouve à partir de la loi fondamentale de la fiabilité avec λ constant. La probabilité de survie entre 0 et t devient :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

II.2.2. Analyse de la fiabilité à partir du modèle de Weibull :

La fiabilité correspondante est donc : $R(t) = 1 - F(t)$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Pour $\gamma = 0$ et $\beta = 1$, on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la loi de Weibull. Dans ce cas : $\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$

II.3. La maintenabilité intrinsèque et opérationnelle :

II.3.1. Définition de la maintenabilité :

Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

II.3.2. Différentes formes de maintenabilité :

- la maintenabilité intrinsèque,

C'est-à-dire « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges comprenant des critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.) ;

- la maintenabilité prévisionnelle

Est également « construite », mais à partir d'objectifs de disponibilité ;

- la maintenabilité opérationnelle

Sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

II.3.3. Approche mathématique de la maintenabilité :

- Taux de réparation $\mu(t)$:

De façon analogue au taux de défaillance, nous définissons un taux de réparation $\mu(t)$

tel que : $MTTR = \tau = \frac{1}{\mu}$

- Quantification d'un arbre de défaillance dépendant du temps :

Un arbre de défaillance permet d'identifier les défaillances élémentaires influentes sur la disponibilité du système. Si l'on prend en compte pour chaque défaillance élémentaire son taux de défaillance λ et son taux de réparation μ supposés constants, il devient possible de quantifier chaque branche de l'arbre jusqu'à l'estimation de la disponibilité prévisionnelle : $D_S = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$

II.4. La disponibilité des systèmes réparables :

II.4.1. Définition de la disponibilité :

La disponibilité c'est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée.

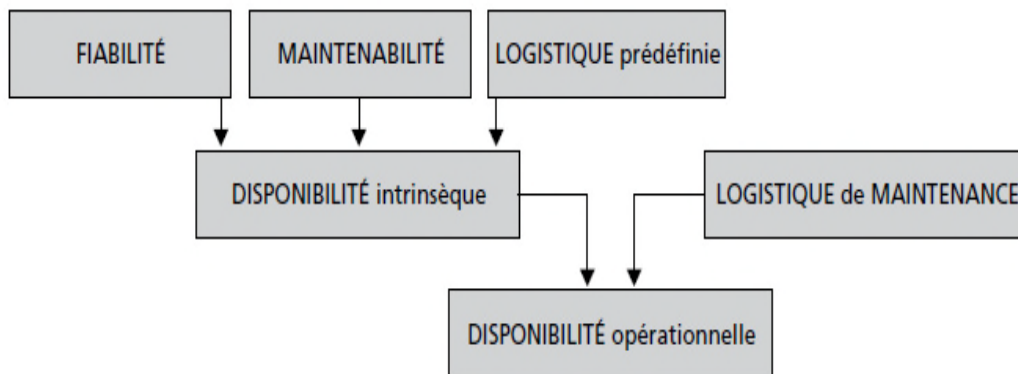


Figure II.4 : Disponibilité intrinsèque et opérationnelle

II.4.2. Les différentes formes de disponibilité :

On distingue cinq formes de disponibilité :

- Disponibilité « propre » ou opérationnelle de l'unité de p
- Disponibilité opérationnelle globale, ou résultante (D_g)
- Disponibilité asymptotique ou intrinsèque (D_∞)
- Disponibilité instantanée ($D(t_i)$)
- Disponibilité contractuelle (D_c) et disponibilité prévisionnelle ($D_{prév}$)

II.4.3. Approche mathématique de la disponibilité :

Nous nous plaçons dans l'hypothèse exponentielle, avec les deux taux λ et μ supposés constants et indépendants du temps :

Taux de défaillance : $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

Taux de réparation : $\mu = \frac{1}{MTTR}$

Conclusion

La maintenance est une fonction essentielle dans une entreprise. Pour que cette dernière puisse assurer la disponibilité de ses équipements de production à moindre cout, la politique de maintenance préventive périodique avec réparation minimale à la défaillance est meilleure, vu qu'elle se prête mieux à la planification.

Chapitre III : Généralité sur les pompes

Introduction :

Les pompes sont des machines réceptrices, qui transforment l'énergie mécanique fournie par le moteur d'entraînement en énergie de pression. Elles sont considérées les plus répondues dans l'industrie pétrolière et pétrochimique, et sont largement utilisées dans les systèmes : automatique; hydraulique; pneumatique et surtout dans les stations de pompages (expédition et injection des produits pétroliers), etc.....

Le rôle des pompes est primordial dans le domaine d'activité industrielle, elles accélèrent les cycles de production.

Dans toutes les branches de l'industrie pétrolière, on utilise les pompes grâce à la simplicité de leur construction et à la facilité de leur exploitation.

Les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales: **[16]**.

- **les pompes centrifuges** : le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.
- **les pompes volumétriques** : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.

III.1. Les pompes centrifuges :

Une pompe centrifuge est constituée par :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe.
- Un distributeur dans l'axe de la roue.
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie.

III.2. Les pompes volumétriques :

III.2.1. Principe de fonctionnement :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant:

- exécution d'un mouvement cyclique
- pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé à la fin.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement.

On distingue généralement deux types de pompes :

III.2.2. Les types de pompes volumétriques :

• Pompes volumétriques rotatives :

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement. Les types de pompes volumétriques rotatives sont :

- Pompes à palettes libres
- Pompes à engrenages extérieurs
- Pompes à rotor hélicoïdal excentré
- Pompes péristaltiques

• Pompes volumétriques alternatives :

La pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les pompes volumétriques sont généralement auto-amorçantes. Dès leur mise en route elles provoquent une diminution de pression en amont qui permet l'aspiration du liquide. Il est nécessaire néanmoins d'examiner la notice du fabricant. Les pompes volumétriques permettent d'obtenir des hauteurs manométriques totales beaucoup plus élevées que les pompes centrifuges. La pression au refoulement est ainsi plus importante. Le débit est par contre généralement plus faible mais il ne dépend pratiquement pas des caractéristiques du réseau. Le rendement est souvent voisin de 90 %. Si la canalisation de refoulement est bouchée, Il faut arrêter immédiatement une pompe volumétrique dans cette situation pour éviter les risques d'une augmentation de pression très importante dans la pompe qui pourrait entraîner de graves détériorations. S'il y a possibilité de fermetures de vannes placées sur le circuit de refoulement, il faut prévoir un dispositif de sécurité à la sortie de la pompe: une dérivation équipée d'une soupape de sûreté et reliée au réservoir d'aspiration constitue une bonne solution. Le réglage du débit s'effectue en agissant sur la vitesse de rotation du rotor

pour les pompes rotatives et sur la fréquence ou la course du piston pour les pompes alternatives. L'utilisation d'une vanne de réglage sur le circuit de refoulement est bien entendu à proscrire.

Les types de pompes alternatives sont :

- **Pompes à piston :**

Fonctionnement : son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement.

Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé: il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe. Une membrane est parfois liée au piston.

Caractéristiques et utilisation : elles ne conviennent que pour des débits moyens de l'ordre de 80 m³.h-1. L'intérêt des membranes est l'utilisation avec des produits chimiques corrosifs, abrasifs ou acides. La pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.

Avantages : fonctionnement à sec sans dommage bon rendement (90%) Inconvénients : débit limité viscosités assez faibles pompage de particules solides impossible: la pompe ne fonctionne bien que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston. Il existe des pulsations importantes au refoulement : on peut remédier à ceci en utilisant des dispositifs de pots anti-béliers.

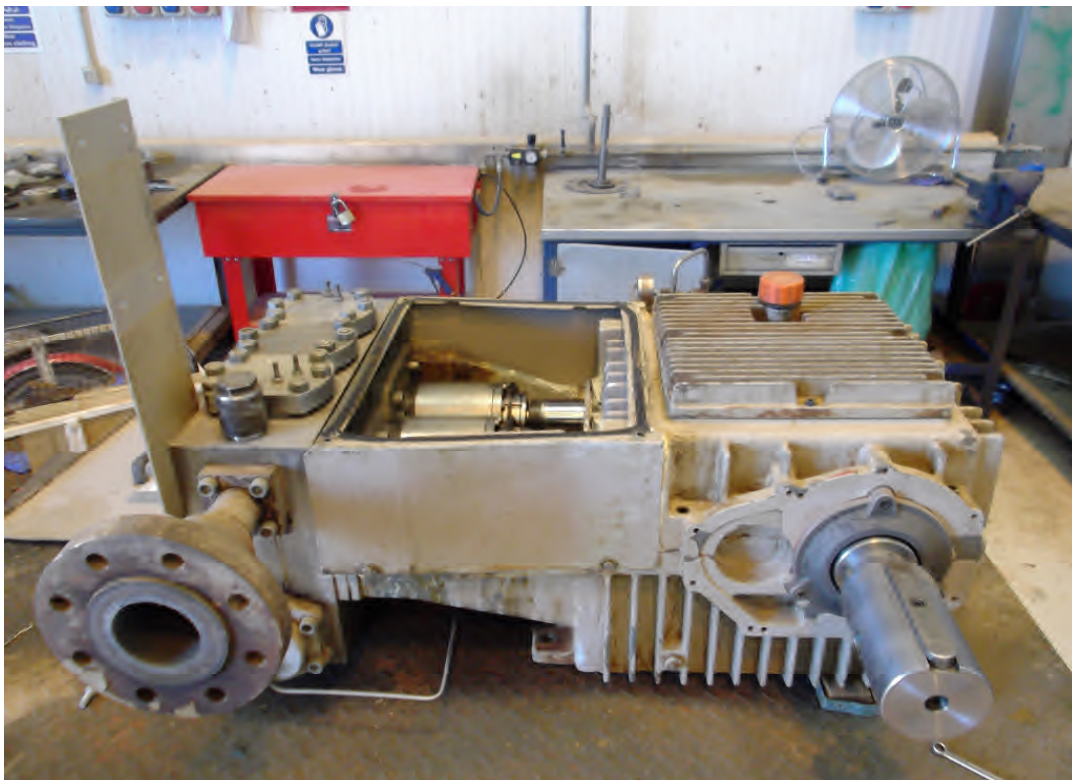


Figure III : Pompe à piston triplèx de glycol

- Pompes doseuses :

Elles sont essentiellement à piston et (ou) à membrane. L'introduction d'un débit bien déterminé de liquides est rendu possible grâce à un dispositif précis déréglage de la course du piston et de sa fréquence.

III.3. caractéristiques de la pompe à piston triplex de glycol :

TAG	J-PB-024001 A/B
Type de pompe	NJ 116 BP
N° de série	TX 2690/2691
Débit	238 L/min
pression	96 bar
puissance	44.9 kW
Vitesse de rotation	288 T/min
Piston diamètre	71mm
Orifice Asp	Bride 4`` 900Lbs RF
Orifice Ref	Bride 3`` 900Lbs RF
Dimension	1500mm x 700mm x 500mm
Utilisation	Déshydratation de gaz
Pas de soupape ni manomètre avec récupération des fuites de P.E sur Asp	
1 jeu de P.R par pompe	
Moteur anti étincelle et capot laiton	
Transmission par courroie crantée	
Protection renforcée anti sable	
Visserie jusqu'à diamètre 12 en inox	

Conclusion :

Les pompes sont des organes de base dans les circuits hydrauliques, leur présence est primordiale dans les installations industrielles; en effet, elles délivrent de la pression pour entrainer des récepteurs ou actionneurs tels que les vérins et les moteurs hydrauliques. Les pompes se présentent en différents types pour accomplir une mission bien déterminée.

Chapitre IV : Optimisation de la maintenance pour l'amélioration de la disponibilité

IV.1. Collecte des données :

Comme il a été mentionné précédemment, notre étude se focalisera sur les pompes de glycol du champ krechba de In Salah.

Le retour d'expériences relatives à ces équipements a été obtenu par confrontation de plusieurs sources (fiches historiques de données des actions préventives et correctives et leurs couts) sachant que la précision d'une étude de disponibilité se mesure par le nombre de données collectées, nous avons dépouillé les différents fichiers cités ci-dessus, pour la période allant de 2004 à 2014.

Nous aurions aimé pour plus d'exactitude rallonger la période d'observation, mais vue que la recherche ne peut être faite que manuellement, donc la recherche est longue, fastidieuse et présente un grand risque d'erreurs.

L'exploitation de ces différentes fiches, nous a permis de prélever les TBF et les disponibilités des deux pompes de glycol en redondance.

Le tableau IV.1 ci-dessous résume les données collectées correspondantes à la pompe J-PB-024001A et le tableau IV.2 pour la pompe redondante J-PB-024001B.

Ni	TBF (h)
1	10
2	12
3	13
4	14
5	15
6	17
7	18
8	20
9	21
10	22
11	23
12	25
13	26
14	27
15	28
16	29
17	30
18	31
19	32
20	33
21	34

22	35
23	36
24	37
25	38
26	41
27	43
28	46
29	47
30	49
31	50
32	51
33	54
34	56
35	57
36	58
37	61
38	62
39	64
40	72
41	76
42	81
43	84
44	85
45	86
46	89
47	98
48	116
49	169
50	204
51	276
52	325

Tableau IV.1 : Les TBF de la pompe de glycol J-PB-024001A

$$MTBF_{J-PB-024001A} = \sum_i^N \frac{TBF_i}{N} = \frac{3126}{52} = \mathbf{60 \text{ jours}}$$

$$MTTR_{J-PB-024001A} = \mathbf{15 \text{ jours}}$$

$$D_{J-PB-024001A} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{60}{75} = \mathbf{80 \%}$$

✓ **Donc** : la disponibilité de la pompe J-PB-024001A est de 80%.

Ni	TBF (h)
1	8
2	10
3	12
4	17
5	24
6	26
7	27
8	28
9	29
10	32
11	35
12	37
13	38
14	39
15	43
16	46
17	49
18	50
19	56
20	57
21	58
22	60
23	61
24	62
25	63
26	64
27	70
28	76
29	77
30	79
31	84
32	86
33	91
34	92
35	93
36	105
37	108
38	112
39	130
40	131
41	141

42	151
43	256
44	296
45	297
46	300
47	311
48	395

Tableau IV.2 : Les TBF de la pompe de glycol J-PB-024001B

$$MTBF_{J-PB-024001B} = \sum_i^N \frac{TBF_i}{N} = \frac{4512}{48} = \mathbf{94 \text{ jours}}$$

$$MTTR_{J-PB-024001B} = \mathbf{15 \text{ jours}}$$

$$D_{J-PB-024001B} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{94}{98} = \mathbf{86.23 \%}$$

✓ **Donc** : la disponibilité de la pompe J-PB-024001B est de 86.23%.

- Sachant que les deux pompes sont en parallèle (redondance passive) et en remplaçant les valeurs de μ et λ on obtient une disponibilité du système suivante :

$$D_S = \frac{\mu^2 + \mu\lambda}{\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2}$$

$$D_S = \frac{0.0044445 + 0.0009102}{0.004445 + 0.0009102 + 0.0001864}$$

$$D_S = \mathbf{96.63 \%}$$

✓ **Donc** : la disponibilité du système redondant est de 96.63%

IV.2. Identification des paramètres (β , η) :

On introduisant les données illustrées dans les tableaux ci-dessus, la détermination des paramètres β et η de la loi de weibull est faite par le logiciel MATLAB en utilisant les fonctions suivantes :

A=[les valeurs de TBF]

B=MLE (A,'distribution','wbl')

IV.3. Evaluation de la disponibilité actuelle :

D'après les résultats obtenus (illustrés dans les deux tableaux VI.1 et VI.2), on constate que la disponibilité du système redondant est de 96.63%.

Alors on conclut que l'amélioration de la disponibilité est vérifiée avec une augmentation de 10.4%.

IV.4. Optimisation de la politique de maintenance :

IV.4.1. choix de la politique :

Pour trouver le temps pour lequel le coût global (coût du correctif et le coût du préventif) est minimal, il est intéressant de choisir la politique de maintenance préventive optimale, pour cela on a opté pour la politique de remplacement périodique et réparation minimale.

IV.4.2. calcul des temps optimum de maintenance :

Le temps optimum de la maintenance serait celui qui minimiserait le coût $C(T)$. Qui est la solution de l'équation $\frac{dC(T)}{dT} = 0$.

Cette solution est obtenue comme suit :

$$C(T) = \frac{C_c + \int_0^T \lambda(t) dt + C_p}{T} \dots \dots \dots (1)$$

On a l'expression de λ selon la loi de WEIBULL :

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) * \left(\frac{T}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Le développement de l'équation (1) devient :

$$C(T) = \frac{C_c \int_0^T \left(\frac{\beta}{\eta}\right) * \left(\frac{T}{\eta}\right)^{\beta-1} dt + C_p}{T}$$

$$C(T) = \frac{C_c \int_0^T \frac{\beta}{\eta^\beta} * T^{\beta-1} dt + C_p}{T}$$

On a: $\int_0^T \lambda(t) dt = \frac{\beta}{\eta^\beta * \beta} * T^\beta$

L'expression devient :

$$C(T) = \frac{C_c * \left(\frac{\beta}{\eta^\beta * \beta}\right) * T^\beta + C_p}{T}$$

$$\frac{dC(T)}{dt} = 0$$

$$C(T) = \frac{C_c * \beta \left(\frac{\beta}{\eta^\beta * \beta}\right) * T^\beta - C_c * \left(\frac{\beta}{\eta^\beta * \beta}\right) * T^\beta - C_p}{T^2} = 0$$

$$T^2 \neq 0$$

$$C_c * \beta \left(\frac{\beta}{\eta^\beta * \beta}\right) * T^\beta - C_c * \left(\frac{\beta}{\eta^\beta * \beta}\right) * T^\beta - C_p = 0$$

$$C_c * \left(\frac{\beta}{\eta^\beta * \beta}\right) * (\beta - 1) * T^\beta - C_p = 0$$

$$C_c * \frac{(\beta - 1)}{\eta^\beta} * T^\beta = C_p$$

$$T^\beta = \left(\frac{C_p}{C_c}\right) * \left(\frac{\eta^\beta}{\beta - 1}\right)$$

$$T^* = \sqrt[\beta]{\left(\frac{C_p}{C_c}\right) * \left(\frac{\eta^\beta}{\beta - 1}\right)}$$

En exploitant les données illustrées des fichiers historiques les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.3 qui suit :

	couts	
	C_p	C_c
J-PB-024001A	10505.4	71602.8
J-PB-024001B	5056.21	36293

Tableau IV.3 : tableau des couts

Pour les temps optimum correspondant à chaque pompe seront illustrés dans le tableau IV.4 ci-dessous :

Equipements	β	η	MTBF	T^*
J-PB-024001A	1.21	64	60	47
J-PB-024001B	1.17	100	94	84

Tableau IV.4 : tableau des temps optimum

IV.4.3. Interprétation des résultats :

D'après le tableau IV.4 ci-dessus, nous constatons que le temps optimum de maintenance de la pompe A est faible par rapport à celui de la pompe B, cela peut être expliqué par le fait que la valeur de son paramètre η et le MTBF sont faibles ce qui nous donne un temps optimum faible.

Après avoir déterminé les temps optimum de maintenance et les couts correspondants à chaque pompe, il est intéressant de proposer des cycles de maintenance pour chacun, en se basant sur les résultats précédents, le cycle adopté actuellement ainsi que la proposition du nouveau cycle.

IV.4.4. Proposition de cycle de maintenance :

1. Le cycle actuel :

L'expérience des agents de maintenance de ISG et leurs constatations ont élaboré leur propre cycle de maintenance, qui est 4320 h pour la révision partielle et 17280 h pour la révision générale (figure IV.1).

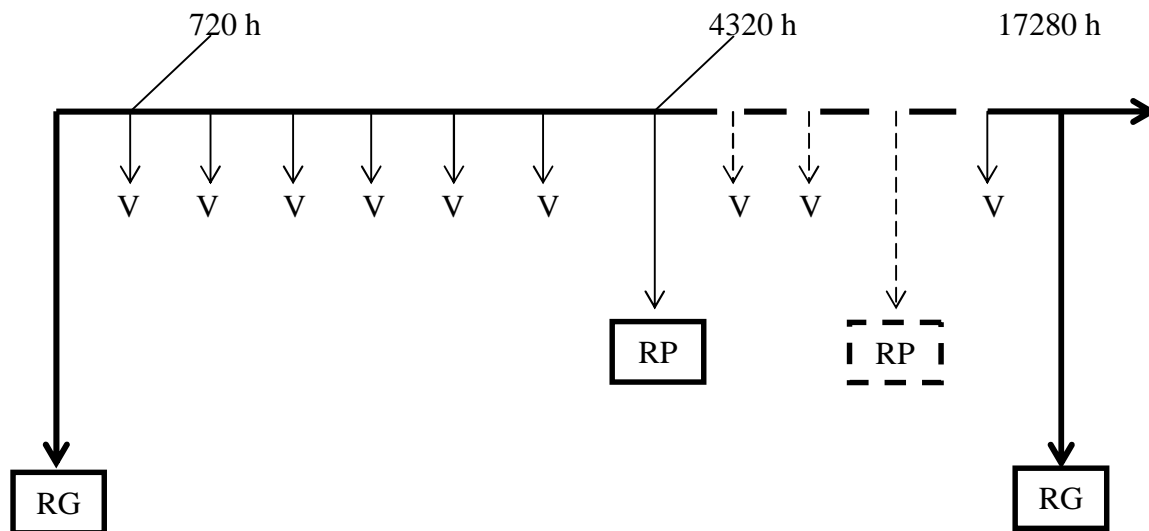


Figure IV.1 : Cycle de maintenance préventive appliqué par ISG

2. Le cycle de maintenance proposé :

Nous gardons la même périodicité entre deux visites (720 h), et nous recommandons d'effectuer des révisions générales dont la périodicité sera de 34560 h ainsi que pour les révisions partielles de 2160 h.

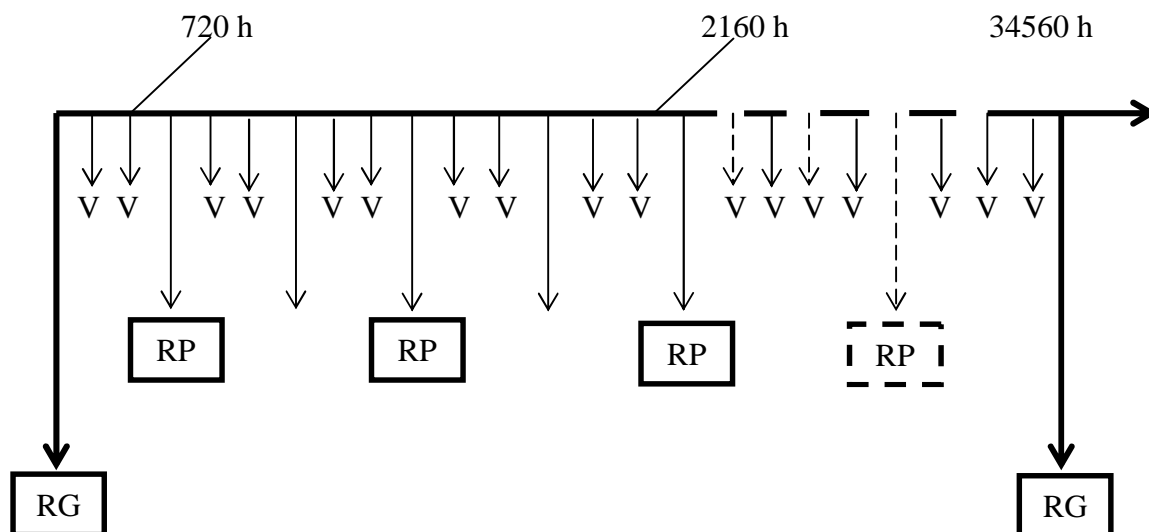


Figure IV.2 : Cycle de maintenance préventive proposé

I.V.4. Evaluation de la disponibilité en aval :

Suivant le plan de maintenance proposé on a augmenté la périodicité de la machine (cycle de réparation), ce qui nous donne un nouveau MTTR avec une diminution de 5fois que l'ancien.

MTTR = **3 jours**

$$D_{J-PB-024001A} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{60}{63} = \mathbf{95.23 \%}$$

$$D_{J-PB-024001B} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{94}{97} = \mathbf{96.90 \%}$$

$$D_s = \frac{\mu^2 + \mu\lambda}{\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2}$$

$$D_s = \frac{0.111111 + 0.0045508}{0.0111111 + 0.0045508 + 0.0001864}$$

$$D_s = \mathbf{99.83 \%}$$

On a obtenu une augmentation de la disponibilité des deux pompes, et du système redondant égal à 99.83%.

On conclut que d'après ces résultats que la disponibilité s'est améliorée de 3.2%.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail était de proposer des politiques de maintenance optimales pour les pompes de glycol du champ **krechba de In Salah Gaz**.

La collecte des données a été faite par l'analyse des archives de département de maintenance de cette entreprise (service méthode), les fiches historiques ainsi que les cycles de réparation.

L'ajustement de la loi de fiabilité (loi de weibull à deux paramètres) sur les deux pompes a relevé que le paramètre $\beta > 1$, ce qui nous permet de conclure que ces équipements sont dans leurs phases de vieillesse, caractérisées par des taux de défaillances croissants.

Nous avons constaté que l'amélioration de la disponibilité est vérifiée avec une augmentation de 10.4%, et les temps optimum obtenus sont tous inférieurs aux MTBF ce qui est conforme à la logique.

Des cycles de maintenance sont proposés sur la base des temps optimum de maintenance et des cycles préconisés par l'entreprise.

Notons que pour élaborer un plan de maintenance des deux pompes (J-PB-024001A / J-PB-024001B), il serait plus intéressant de prévoir les révisions à des dates différentes afin de maintenir toujours la continuité de la fonction.

Suivant le plan de maintenance proposé on a conclu que d'après les résultats, la disponibilité s'est améliorée de 3.2%.

En fin, nous espérons que le présent travail servira comme support pour de futures études dans le domaine de la maintenance industrielle.

Références bibliographiques

- [1] Norme NF EN 13306:2001, « Terminologie de la maintenance », Afnor, 2001, 59 p.
- [2] Francastel, J.-C. et Jourden, P., « Pratique de la maintenance industrielle : Méthodes – Outils - Applications », Ed. Dunod, Paris, mise à jour de juin 2005.
- [3] Documentation interne de la société mixte SH/BP/StatoilHydro.
- [4] In Amenas & In Salah Gas Project Services Guidelines, 2006, 2009.
- [5] In Salah Gaz, Rapport environnementale de 2006.
- [6] In Salah Gaz, Environmental Impact Statement, UU00-E-XXRC-077-0007-B, juin 2000.
- [7] In Salah Gas, Brochure d'induction ISG BS01, Section 3 : Description du projet In Salah Gas, Numéro 1, Révision 0 – Janvier 2004.
- [8] Documentation interne Krechba Design Basis.
- [9] Norme AFNOR, "Statistique et Qualité, introduction à la fiabilité", X NF, 06-501, Novembre 1977.
- [10] AFNOR recueil de normes françaises X06, X60, 1998.
- [11] Norme AFNOR, « Terminologie de la maintenance », NF-EN 13306. X60-319, Juin 2001.
- [12] AFNOR X60-10 Décembre 1994.
- [13] R.LAGGOUE, Cours de Maintenance Industrielle 5^{ème} année Génie Mécanique Université Abderrahmane Mira Bejaia 2010.
- [14] P. Gaspart. Gestion des stocks et de la production. Notes de cours, ULB, Bruxelles, 2004.
- [15] AFNOR, Fiabilité, maintenabilité, disponibilité, AFNOR, Paris, 1988.
- [16] Technologie Génie Chimique (ANGLARET - KAZMIERCZAK) Tome1 Centre régional de documentation pédagogique de l'Académie d'Amiens 1998.

Glossaire

BP : British Petroleum

Cc : couts des actions correctives

CNDG: Centre National de Dispatching de Gaz

Cp : couts des actions préventives

CPF : Central Processing Facility ou Installation centrale de procédé

D_s : La disponibilité du système redondant

GTG : Turbogénérateur à Gaz

HSE : hygiène Sécurité et Environnement

IA : In Amenas

ISG : In Salah Gaz

JV : Joint-Venture : Terminologie désignant l'association entre SH-BP-StatoilHydro

MDEA : Méthyl diéthanolamine

MLE : Maximum Likelihood Estimates ou Maximum Estimation des Probabilité

MTBF : Moyenne Temps Bon Fonctionnement

MTTR : Moyenne Temps Technique de Réparation

Reg : Reggan

RG : Révision générale

RP : Révision partielle

SH : Sonatrach

TBF : Temps Bon Fonctionnement

Teg : Teguentour

V : visites entre deux révisions

Résumé

Dans cette étude, nous avons choisi une politique de maintenance qui a une importance capitale dans le domaine industriel qui est une maintenance préventive des pompes de glycol.

Cette étude a été menée suivant ses étapes :

Une fois la collecte de données relatives à l'exploitation des pompes glycol d'In Salah Gaz a été effectuée ; Nous avons amélioré leurs disponibilités et celle du système redondant.

Et enfin on a utilisé les résultats obtenus précédemment pour la détermination du temps optimum de maintenance de ces équipements et proposé un cycle de réparation.

Mots clés : Maintenance, Disponibilité, Optimisation, Cycle de réparation, Pompes à piston.