

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Option : Construction Mécanique

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Construction Mécanique

Titre

Étude et conception d'une tubing Head

Proposé et encadré par :

M.Temmar

Réalisé par :

Messaoud Islem

Essaid Mohamed Aniss

Année universitaire 2018/2019

Résumé :

La tête de puits est l'un des équipements pétroliers les plus importants dans la production.

La tubing head c'est une composante très importante dans la tête de puits.

Elle été correctement dimensionnée, mais présenter des défauts après l'utilisation exactement dans leur olive de suspension, ces défauts très délicats , en site quelques exemples : des fissures à cause de phénomène de Fragilisation par hydrogène , corrosion avec pique à cause de la présence de soufre , déchirure des joints d'étanchéité lié à le phénomène de La décompression rapide du gaz .

D'après notre conception et analyse des problèmes et une longue recherche On a essayé de Proposé quelques solutions de ces problèmes , en site :

Traitement de défragilisation avant le traitement par sablage , changé le matériau 42CrMo4 par des autres qui résistes à la corrosion comme le monel ou ajouté le molybdène.

Changé les joints toriques de l'élastomère classique (caoutchouc NBR) par des joints des normes international résistes à la décompression rapide du gaz .

Sommaire

Table des matières

Résumé

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Remerciement

Dédicace

Introduction.....1

Chapitre I: L'Entreprise Nationale des Services de Puits ENSP -La Direction De Fabrication ALDIM-

| | |
|---|---|
| I - Présentation de l'entreprise..... | 2 |
| I.1- Introduction..... | 2 |
| I.2- Historique de l'unité Aldim | 2 |
| I.3- Fabrication et Commercialisation..... | 2 |
| I.4- Assemblage et Vente d'elements d'habillage de colone De Tubage..... | 3 |
| I.5- Organisation De La Société Aldim..... | 3 |
| I.6- Organisation Du Département De Production..... | 4 |

Chapitre II : Conception de la tubing head

| | |
|---|-----------|
| II.1- Définition... | 5 |
| II.2- Le Rôle de la tubing head..... | 5 |
| II.3- Fonctionnement de la tubing head dans la tête de puits..... | 6 |
| II.3.1- Montage..... | 6 |
| II.3.2- Démontage..... | 7 |
| II.4- Composants de la tubing head..... | 7 |
| II.4.1- Structure typique d'une tubing head..... | 7 |
| II.4.2- Dimensionnement de la tubing head..... | 8 |
| II.4.2.1- Bride d'ancrage..... | 8 |
| II.4.2.1.A- Type de bride..... | 8 |
| II.4.2.1.B- Généralité.... | 9 |
| II.4.2.1.C- Dimensions standard | 9 |
| II.4.2.1.D- Normalisation de bride 6B..... | 10 |
| II.4.2.1.E- Géométrie 3D de La Bride 6B '9'pouce Fileté normalisé avec logiciel SOLIDWORKS..... | 12 |
| II.4.2.2- Les joints annulaires (ring gasket)..... | 13 |
| II.4.2.2.A- Généralité..... | 13 |
| II.4.2.2.B- Dimensions..... | 13 |
| II.4.2.2.C- Géométrie 3D de joint annulaire de type R normalisé avec logiciel SOLIDWORKS..... | 14 |
| II.4.2.2.D- Rainures de joint résistant à la corrosion..... | 15 |
| II.4.2.3- Les goujons..... | 15 |
| II.4.2.3.A- Méthode de calcul de la longueur des goujons filetés pour les brides de type 6B..... | 15 |
| II.4.2.3.C- Les goujons de la brides 9 pouces..... | 16 |
| II.4.2.3.B- Procédure d'arrondi..... | 17 |
| II.4.2.3.D- Les équations..... | 18 |
| II.4.2.3.E- Géométrie 3D du goujon 1.1/8..... | 18 |
| II.4.2.4- L'olive de suspension (tubing hanger)..... | 19 |
| II.4.2.4.A- dimension | 19 |
| II.4.2.4.B- Géométrie 3D de l'olive de suspension et leur joint avec logiciel SOLIDWORKS..... | 19 |
| II.4.2.5- Les pointeaux (les vis d'ancrage)..... | 19 |

| | |
|---|-----------|
| II.4.2.5.A- Type des pointeaux | 19 |
| II.4.2.5.B- Dimension..... | 19 |
| II.4.2.5.C- Géométrie 3D de vis pointeau avec logiciel SOLIDWORKS..... | 20 |
| II.5- Fiche technique des matériaux de construction..... | 21 |
| II.5.1- Coupe d'une tubing head..... | 21 |
| II.5.2- Les matériaux de construction d'une tubing head..... | 22 |
| II.5.2.A - L'acier C35 (XC 38)..... | 22 |
| II.5.2.A 1- Propriétés et Domaines d'applications..... | 22 |
| II.5.2.A 2- Désignation de l'acier utilisé..... | 22 |
| II.5.2.A.3- Compositions chimiques en %..... | 23 |
| II.5.2.A.4- Caractéristiques mécanique moyennes(état normaliser)..... | 23 |
| II.5.2.A 5- Utilisation des aciers C35 (XC38)..... | 23 |
| II.5.2.B - L'acier 42CrMo4 (42CD4)..... | 23 |
| II.5.2.B.1- Propriétés..... | 23 |
| II.5.2.B.2- Domaines d'applications..... | 23 |
| II.5.2.B.3- Désignation de l'acier 42CrMo4 (42CD4)..... | 24 |
| II.5.2.B.4- Composition chimique en %..... | 24 |
| II.5.2.B.5- Caractéristiques mécaniques moyennes (état trempé)..... | 24 |
| II.5.2.C - CAOUTCHOUC (NBR)..... | 24 |
| II.5.2.C.1- Propriétés et Domaines d'applications..... | 24 |
| II.5.2.C.2- Caractéristiques mécaniques..... | 25 |
| II.5.2.D - Acier Inoxydable (304)..... | 25 |
| II.5.2.D.1- Propriétés et Domaines d'applications..... | 25 |
| II.5.2.D.2- Composition chimique..... | 25 |
| II.5.2.D.3- Caractéristiques mécaniques..... | 26 |
| II.5.2.E - Plastique : POM (Polyacétal)..... | 26 |
| II.5.2.E.1- Propriétés et Domaines d'applications..... | 26 |
| II.5.2.E.2- Caractéristiques mécaniques..... | 26 |

Chapitre III : La Problématique

| | |
|---|-----------|
| III.1 Introduction..... | 38 |
| III.2-Analyse Général des Problèmes..... | 38 |
| III.2.1- Corrosion avec piqûres et fissures | 38 |
| III.2.1.A- Généralité..... | 38 |
| III.2.1.B- Hypothèse | 40 |
| III.2.1.C- Nature De la Contrainte d'origine..... | 40 |
| III.2.1.C.1- Définition..... | 41 |
| III.2.1.C.2- Définition thermodynamique..... | 41 |
| III.2.1.C.3- Coefficients de dilatation thermique (linéaire) α | 43 |
| III.2.1.C.4- Calcul..... | 44 |
| III.2.1.C.5- Simulation numérique avec Logiciel SOLIDWORKS | 45 |
| III.2.1.D- Les phénomènes liés à La présence du gaz H ₂ S..... | 45 |
| III.2.1.D.1- Définition de gaz H ₂ S..... | 45 |
| III.2.1.D.2- Fragilisation par l'hydrogène (FPH) en milieu aqueux contenant De l'H ₂ S..... | 45 |
| III.2.1.D.3- Mécanisme de la réduction de l'énergie de surface..... | 46 |
| III.2.1.D.4- Théorie de l'énergie de décohésion du métal..... | 47 |
| III.2.1.D.5- Phénomène de la corrosion par piqûre Lié à la présence du soufre | 47 |
| III.2.1.D.5'- Amorçage des fissures..... | 47 |
| III.2.1.D.5''- Propagation des fissures..... | 48 |
| III.2.1.E- Les modèles de calcul de la durée de vie en fatigue-corrosion..... | 49 |
| III.2.1.E.1- Modèle de Kondo [59]..... | 49 |
| III.2.1.E.2- Modèle de Chen [19]..... | 51 |
| III.2.1.F- Discussion..... | 52 |
| III.2.1.G- Conclusion..... | 52 |
| III.2.2- Déchirure du joint d'étanchéité..... | 53 |
| III.2.2.A- Défaut de matériau..... | 53 |
| III.2.2.B- Décompression explosive..... | 53 |
| III.2.2.B.1- Indications visuelles..... | 53 |
| III.2.2.B.2- Cause de problème..... | 53 |

Chapitre III : Les propositions

| | |
|--|-----------|
| III.1- La prévention du risque de fragilisation par l'Hydrogène..... | 54 |
| III.1.1- Rappel..... | 54 |
| III.1.2- Le traitement de défragilisation..... | 54 |
| III.1.3- Autres moyens de prévention..... | 55 |
| III.2- Prévention pour la corrosion par pique | 55 |
| III.2.1- Généralité..... | 55 |
| III.2.2- Choix du matériau..... | 56 |
| III.2.2.A- 1 ^{er} Proposition..... | 56 |
| III.2.2.B- 2 ^{ème} Proposition..... | 56 |
| III.2.2.C- Fiche technique d'alliage de Monel K-500..... | 57 |
| III.2.2.C.1- Composition chimique..... | 57 |
| III.2.2.C.2- Caractéristiques Mécanique..... | 57 |
| III.3- Prévention du risque de déchirure du joint d'étanchéité..... | 58 |
| III.3.1- Joints d'étanchéité résistants à la décompression explosive..... | 58 |
| III.3.2- Les normes internationales pour le test des élastomères dans des conditions DE..... | 58 |
| III.3.3- Essais de décompression explosive | 58 |
| Conclusion Général..... | 59 |
| Bibliographie..... | 60 |

Liste des abréviations

HP : High pressure

BPV : Back pressure valve

API: American petroleum international

FPH: Fragilisation par hydrogène

RBP : Retrievable Bridge Plug

ADE : anti décompression explosive

DE : décompression explosive

POM : Polyoxyméthylène

RGD : décompression rapide du gaz

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : Tubing head..... | 5 |
| Fig II.4.1: Structure Typique d'une tubing head..... | 7 |
| Fig II.4.2.1.C: Brides de type 6B pour une pression de service nominale de 2000 Psi..... | 9 |
| Fig II.4.2.1.D : Bride fileté et Bride de canalisation..... | 11 |
| Fig II.4.2.1.E : Géométrie 3D de La Bride 6B '9' pouce fileté normalisé et leur joint Du bouchon de test (R26) avec logiciel SOLIDWORKS..... | 12 |
| Fig II.4.2.2.B : différent type de joint R..... | 13 |
| Fig II.4.2.2.C : Géométrie 3D de joint d'étanchéité de la bride de type R normalisé Avec logiciel SOLIDWORKS..... | 14 |
| Fig II.4.2.2.D : Rainure de joint..... | 15 |
| Fig II.4.2.3.A: Goujon Fileté..... | 16 |
| Fig II.4.2.3.B: Goujon d'une Bride de type 6B..... | 16 |
| Fig II.4.2.3.E- Géométrie 3D du goujon 1.1/8..... | 18 |
| Fig II.4.2.4.B- Géométrie 3D de l'olive de suspension et leur joint avec logiciel SOLIDWORKS..... | 19 |
| Fig II.4.2.5.C : Vis pointeau..... | 20 |
| Fig II.5.1: Coupe D'une tubing head..... | 22 |
| Fig III.1: Olive de suspension après l'utilisation..... | 38 |
| Fig III.2.1.A.1 : Corrosion uniforme..... | 39 |
| Fig III.2.1.A.2 : Exemple d'une corrosion par couplage galvanique..... | 39 |
| Fig III.2.1.A.3 : Corrosion par pique..... | 39 |
| Fig III.2.1.A.4 : Corrosion sous contraintes..... | 40 |
| Fig III.2.1.B : vitesse de corrosion d'acier 42CrMO4 en fonction de température..... | 40 |

| | |
|---|----|
| FigIII.2.1.C.5 :Simulation numérique avec Logiciel SOLIDWORKS..... | 45 |
| Fig III.2.1.D.3 : principe de la fragilisation par adsorption d'hydrogène..... | 46 |
| Fig III.2.1.D.5' : Amorçage des fissures..... | 48 |
| Fig III.2.1.E.1 : Illustration de La compétition entre la croissance des piqûpropagation des fissures d'après Kondo [59]..... | 50 |
| Fig III.2.1.E.2 : Schéma d'une piquête équivalente de géométrie semi- Elliptique [19]..... | 51 |
| Fig III.2.2.A: Les joint en caoutchouc (NBR)..... | 53 |
| Fig III.2.2.B : joint fissuré..... | 53 |
| Fig III.1.2 : Relation entre le temps et la résistance à la traction pour un traitement de dégazage à une température comprise entre 190 °C et 220 °C..... | 54 |
| Fig III.1.3 : Prévention par sablage..... | 55 |

Liste Des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tab II.4.2.1.A : Pressions de travail nominales et plages de tailles des brides..... | 8 |
| Tab II.4.2.1.C : Conversation..... | 10 |
| Tab (II.4.2.1.B) : Les dimensions des brides du type 6B intégrées, filetées et à Souder (Les Dimensions en millimètres normalisé par API 6A)..... | 10 |
| Tab (II.4.2.2) Les dimensions de joint annulaire de type R..... | 14 |
| Tab II.4.2.3 les couples de serrage des brides..... | 17 |
| Tab II.5.2.A : Fiche technique de L'acier C35 (XC 38)..... | 23 |
| Tab II.5.2.B : Fiche technique de L'acier 42CrMo4 (42CD4)..... | 24 |
| Tab II.5.2.C : Fiche technique de CAOUTCHOUC (NBR)..... | 25 |
| Tab II.5.2.D : Fiche technique de L'acier Inoxydable (304)..... | 26 |
| Tab II.5.2.E : Fiche technique de Plastique : POM (Polyacétal)..... | 27 |
| Tab III.2.1.C.4: Coefficient de dilataion des principaux matériaux..... | 45 |
| Tableau III.2.1.D.2 Environnements corrosifs de l'industrie pétrolière..... | 47 |
| Tableau III.2.2.C.1 : Composition chimique de Monel k-500..... | 58 |
| Tableau III.2.2.C.1 : Caractéristiques Mécanique de Monel k-500..... | 58 |

INTRODUCTION

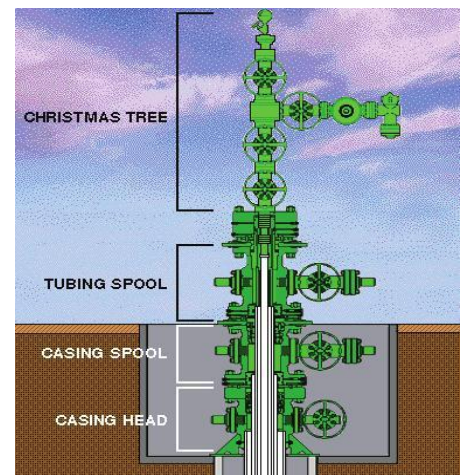
Dans l'industrie pétrolière les travaux de forage des puits de pétrole et de gaz sont les plus difficiles et exigeant beaucoup de main d'œuvre et nécessitent de grands investissements des capitaux.

La technologie de forage des puits de pétrole et de gaz demande l'emploi d'un matériel complexe et des outils modernes.

Parmi les équipements pétroliers importants dans la production est la tête de puits, est la partie principale du puits le plus utilisé et sa fonctionnalité devra être constante durant toute la vie du puits. C'est pour cela l'étude de cet équipements et la connaissance des équipements qui le compose est primordiale .

La tête de puits se compose de trois parties principales :

- a)- La tête de tubage (casing head, casing spool)
- b)- La tête de tubing (tubing head)
- c)- La tête de production (X mas tree) ou l'arbre de Noel



Notre travail consiste à étudier et concevoir la deuxième composante,

C'est la tubing head.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

- Le chapitre un concerne la présentation de la direction de fabrication ALDIM.
- Le chapitre deux en s'y intéresse à la conception de la tubing head.
- Le chapitre trois se rapporte à la problématique.
- Le chapitre quatre consacré aux propositions créées pour la résolution de problème.

Et à la fin en terminant notre travail avec une Conclusion.

I-Présentation de L'entreprise

I.1- Introduction :

La Direction Fabrication (Ex : ALDIM) est une filiale de l'ENSP située à Reghaia Industrielle, spécialisée dans la fabrication des outils de forage en priorité, et de produits divers destinés à l'industrie pétrolière.

La société comprend dans ses rangs plus de 150 employés formés pour des métiers de précision tels que le soudage, l'usinage par équipements (tours et fraiseuses conventionnels et numériques) ainsi que d'autres équipements industriels indispensables pour les opérations de fabrication des outils (fours et mouleuses). On trouve aussi des artisans de sérieuses compétences qui travaillent à la main dans des opérations spéciales telles que le Plotting et l'insertion des diamants.

La gestion de l'entreprise est assurée via des départements d'administration

- DAF
- Département Production
- Département Approvisionnement
- Service Commercial
- Service QHSE.

I.2- Historique de L'unité Aldim :

La société Direction Fabrication (EX .ALDIM) est créée par un protocole d'accord signé le 13 juillet 1973, entre la SONATRACH et le groupe CHRISTENSEN (USA).

ALDIM société Algérienne de fabrication et de vente des outils de forage diamantés pour l'industrie pétrolière et minière, avant 1974 ALDIM n'était qu'un magasin de stockage des outils de pétrole et ceux des mines, qu'on importait de la société Américaine CHRISTENSEN.

Comme notre pays est un partenaire potentiel avec CHRISTENSEN, ce dernier se met en collaboration avec SONATRACH pour créer ALDIM en 1976.

Par le décret 81/174 et 81/180 du 11 août 1981, portant respectivement sur la création de l'entreprise nationale des services aux puits (E.N.S.P) et sur le transfert des activités et du patrimoine de SONATRACH à l'ENSP.

Conformément au décret N° 80/242 du 04/10/1980 et relatif à la mise en oeuvre de la restructuration des entreprises et conformément à l'arrêté de 15/12/1982 fixant

la date d'effet de la substitution de l'ENSP à l'entreprise SONATRACH, la Société

ALDIM a été intégrée à l'Entreprise Nationale de Services aux Puits (E.N.S.P) qui décida en 1985 le rachat des parts détenues par CHRISTENSEN (USA).

I.3- Fabrication et Commercialisation :

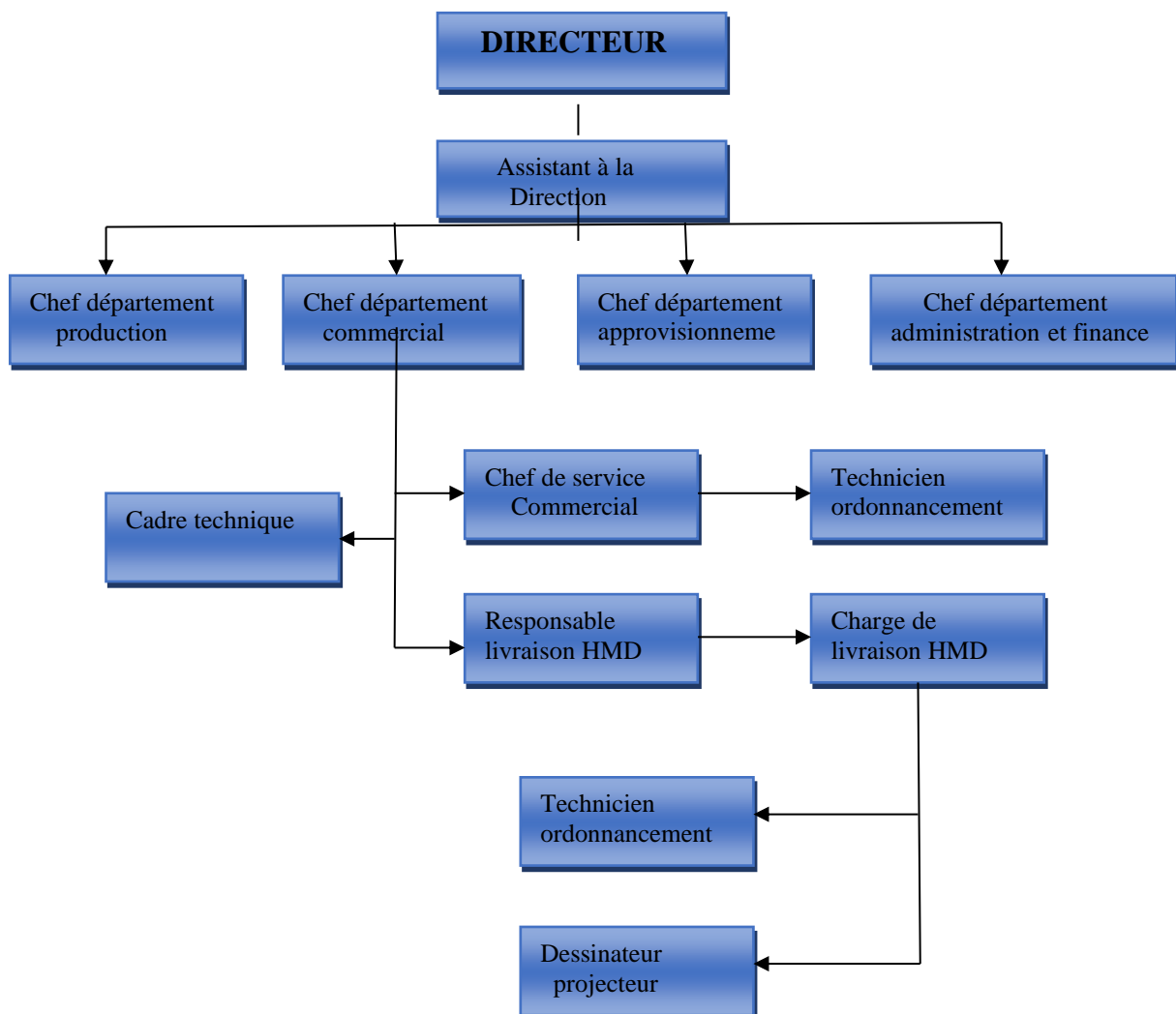
- D'outils de forme diamantés pour l'industrie pétrolière, minière, hydraulique et travaux publics ;
- D'outils couronnes à éléments de coupe en carbure de tungstène ;
- De divers produits et accessoires de forme (pênes de cale, pênes de clé, brides, adapteurs, calibres, réductions, etc.).

I.4- Assemblage et Vente d'éléments d'habillage de colonne De Tubage :

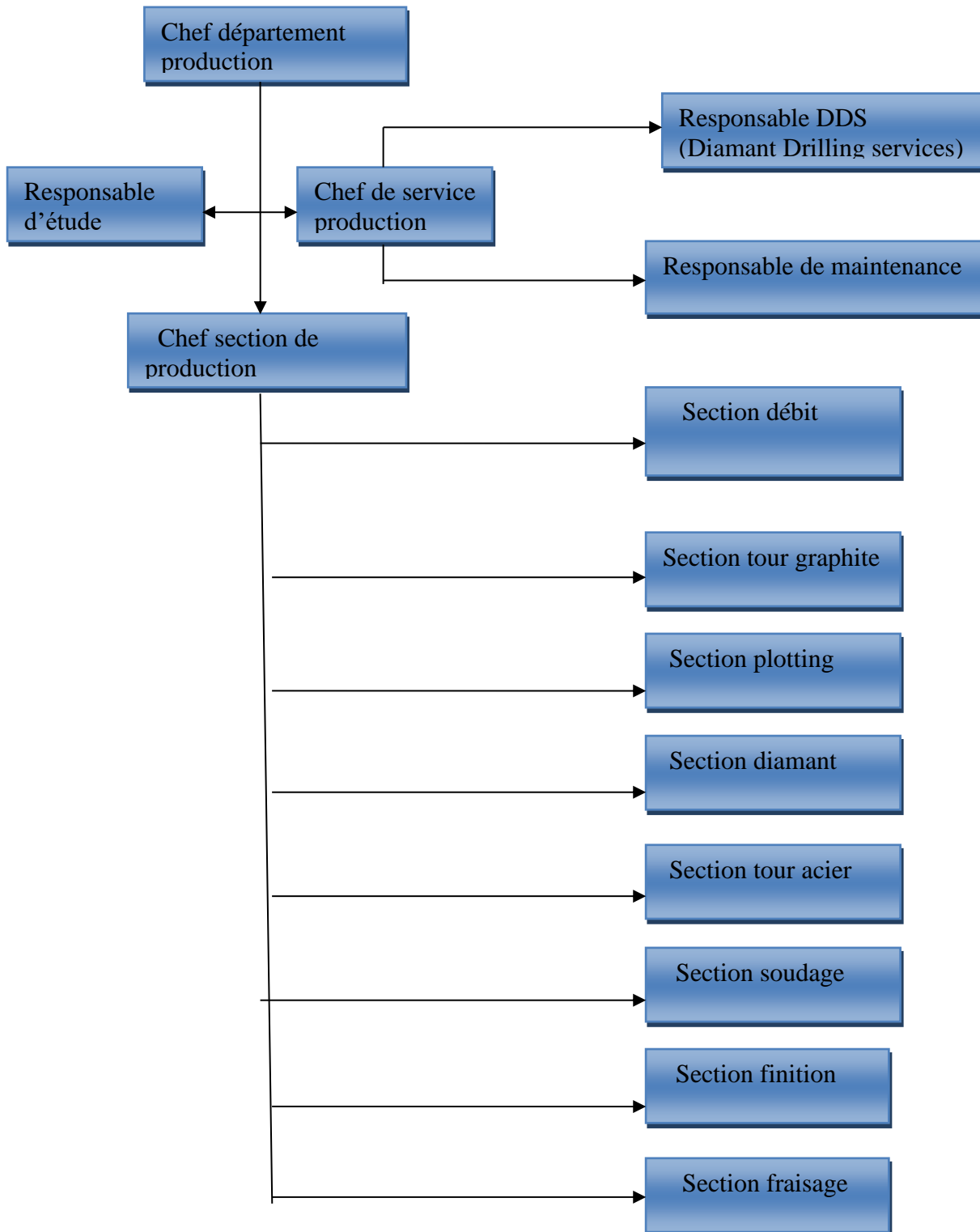
Parmi les principaux clients de la société ALDIM on a :

- SONATRACH (DP: HMD, Ohanet In-Amenas, STA, H-R'Mel, TFT, Berkaoui), (DRF HMD), (ENTP HMD, D. Snubbing, D. Wire Line);

I.5- Organisation de la société ALDIM :



I.6- Organisation Du Département Production :



II- Conception de la Tubing Head

II.1- Définition :

-La tubing head Appelée aussi bride d'ancrage du tubing de production (Tubing Spool), est l'une des composantes qui constituent à la partie inférieure sur l'assemblage de la tête de puit, elle est destinée pour suspendre la colonne de production par le biais d'une pièce appelée olive de suspension. L'alésage du profil intérieur de la Tubing Head permet, lors de la mise en place de l'olive de suspension dans son siège, d'assurer l'étanchéité entre l'annulaire Casing - Tubing et le dessus de l'olive. (Fig-I.1)



Figure I.1 : Tubing head

II.2- Le Rôle de la tubing head :

La suspension de tubage (olive de suspension) est située à l'intérieur du tubing Head, elle est fixé par des pointeaux avec les joints et les bagues pour assurer l'étanchéité. La fonction de ces deux composants est de soutenir et sceller le conduit de tube, ou une chaîne. C'est la longueur de tube qui s'étend vers le bas dans le puits à l'intérieur de l'enveloppe extérieure.

II.3- Fonctionnement de la tubing head dans la tête de puits :

II.3.1- Montage :

Il faut respecter les barrières de sécurité avant toute opération. Pour monter la tubing Head on doit bien circuler le puits et dégager tout bouchon de gaz (s'il existe).

Descendre un bouchon et l'ancrer dans le casing.

Monter la tubing Head au-dessus de la casing Head supportant le dernier tubage, en faisant très attention aux garnitures d'étanchéité à placer entre le tubage et la tubing Head. Une fois la complétion de fond descendue, l'olive de suspension est ancrée dans son siège, dans la tubing Head. On place un bouchon dans l'olive et on teste l'étanchéité Tubing - olive. Ce test est très important pour la vie du puits. Si le test est négatif (fuite) on doit obligatoirement réparer.

Une fois la tubing Head est testée, on monte l'arbre de Noël en bloc.

Après le montage et serrage de l'arbre de Noël, on teste l'ensemble à une pression égale à la pression de "série", pendant au minimum 15minutes. Par exemple pour une tête de puits série 5000 Psi on teste à 5000Psi

Cette opération est réalisée après avoir mis un bouchon au niveau de la tubing Head dans l'olive de suspension, tel que la RBP (Retrievable Bridge Plug). Ou bien une BPV (Back Pressure Valve) dans le casing, à quelque mètre de la surface dans le cas où l'olive ne comporte pas de siège (**regarder la vidéo**) .

Remarque :

La conception, la production, la fabrication, le test et le contrôle de la qualité sont tous conformés à l'api 6A, dernière édition.

II.3.2- Démontage :

Pour le démontage, on doit s'assurer que le puits est bien neutralisé (pression de Tête =0 Psi). Descendre une BPV dans la tubing Head (Ou bien une BPV dans le casing), démonter l'arbre de Noël et remonter le nouveau. Il est aussi important de bien choisir les éléments d'étanchéité (O Ring) à mettre entre la tubing Head et la l'adapteur.

Remarque :

Le bon choix : évitera de refaire le travail deux fois et de gaspiller les garnitures.

II.4- Composants de la tubing head :

II.4.1- Structure Typique d'une tubing head :

Dans notre travail on a étudié Un exemple d'une structure typique d'une tubing Head '9'pouce (228 mm) Dans une pression de travail 2000psi (13.8 MPa) est présenté dans la figure ci-déçu. Il permet l'identification des différents éléments basés Et leur désignation avec les termes anglais utilisés dans la réglementation API 6A ISO 10423 ,

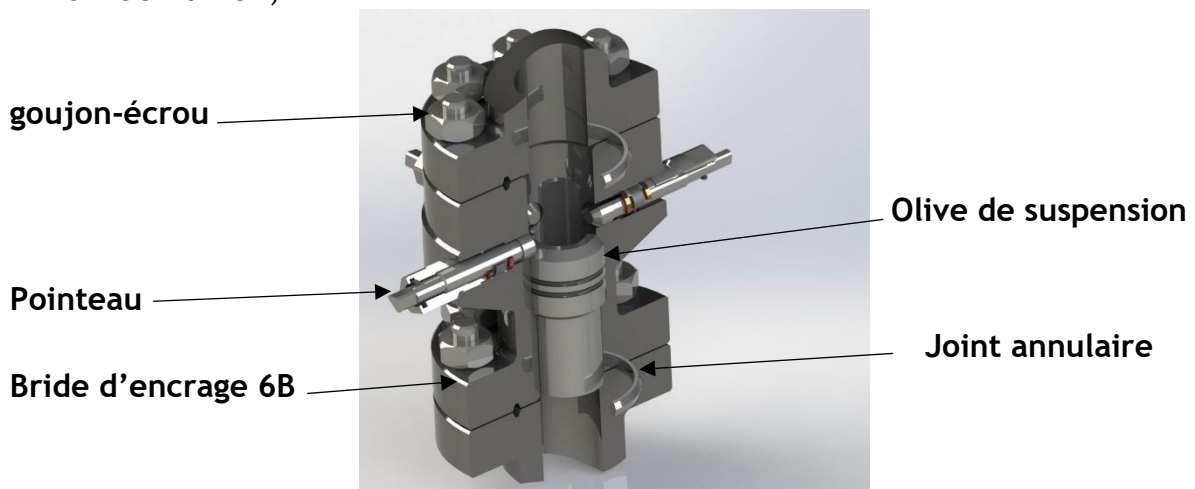


Fig-II.4.1: Structure Typique d'une tubing head

II.4.2- Dimensionnement de la tubing Head :

II.4.2.1. Bride d'ancrage : _

II.4.2.1.A- Type de bride :

Dans la norme API 6A iso 10423 on a distingué 2 types de bride :

Bride 6B

Bride 6BX

Toute les brides sont dessinées suivants leur diamètre et la pression de

Travail Mpa (psi), Notre bride C'est de type 6B (tableau II.4.2.1.a)

| Pression de travail Mpa (psi) | Type de bride | |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | Type 6B mm (inch) | Type 6BX mm (inch) |
| 13,8 (2000) | 52 to 540 (2 1/16 to 21 1/4) | 680 to 762 (26 3/4 to 30) |
| 20,7 (3000) | 52 to 527 (2 1/16 to 20 3/4) | 680 to 762 (26 3/4 to 30) |
| 34,5 (5000) | 52 to 279 (2 1/16 to 11) | 346 to 540 (13 5/8 to 21 1/4) |
| 69,0 (10000) | — | 46 to 540 (1 13/16 to 21 1/4) |
| 103,5 (15000) | — | 46 to 476 (1 13/16 to 18 3/4) |
| 138,0 (20000) | — | 46 to 346 (1 13/16 to 13 5/8) |

Tab II.4.2.1.A : Pressions de travail nominales et plages de tailles des brides

II.4.2.1.B- Généralité :

Les brides de type 6B sont du type à joint annulaire et ne sont pas dessinées Pour un maquillage face à face. La force de vissage du raccord lors de la connexion réagit sur le joint annulaire métallique. La bride de type 6B doit être du type à boulon traversant ou à goujon

II.4.2.1.C- Dimensions standard :

Les dimensions des brides du type 6B intégrées, filetées et à souder doivent être conformes aux Tableau (II.4.2.1.B)

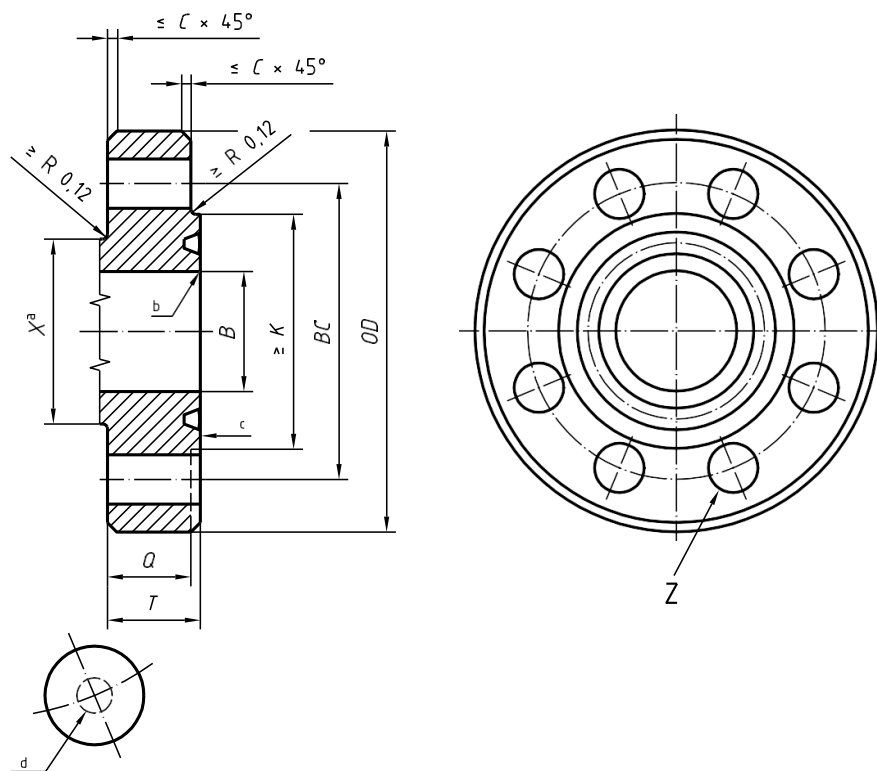


Fig II.4.2.1.C :Brides de type 6B pour une pression de service nominale de 2000 psi

Remarque :

La gorge de la bague doit être concentrique à l'alésage dans la limite de 0,01 battement total de l'indicateur.

a/ Tableau de conversation mm en inch :

| mm | in |
|----|------|
| 10 | 0,38 |
| 16 | 0,62 |
| 19 | 0,75 |
| 21 | 0,81 |
| 25 | 1,00 |

b/ Tableau de conversation de pression

MPa en psi :

| MPa | psi |
|-------|--------|
| 13,8 | 2 000 |
| 20,7 | 3 000 |
| 34,5 | 5 000 |
| 69,0 | 10 000 |
| 103,5 | 15 000 |
| 138,0 | 20 000 |

Tab II.4.2.1.C : conversation

II.4.2.1.D- Normalisation de bride 6B :

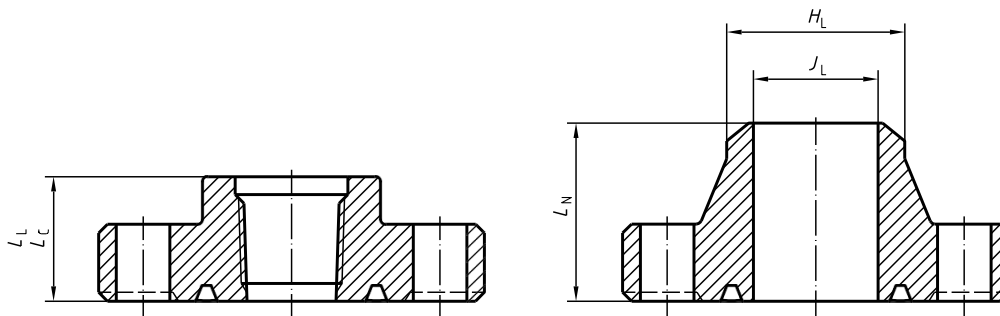
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
|--|-----|--------------------------------|-----------------------------------|----------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|
| Taille nominale et alésage de la bride | | Dimensions de la bride de base | | | | | | | |
| | | Alésage maximal | Diamètre extérieur de la bride | | Chanfrein maximum | Diamètre du visage levé | Épaisseur Totale de La bride | base épaisseur de bride | Diamètre Du moyeu |
| | | (in) | mm | <i>B</i> | <i>OD</i> | tol. | <i>C</i> | <i>K</i> | <i>T</i> $\begin{matrix} +3 \\ 0 \end{matrix}$ |
| 2 1/16 | 52 | 53,2 | 165 | 2 | 3 | 108 | 33,4 | 25,4 | 84 |
| 2 9/16 | 65 | 65,9 | 190 | 2 | 3 | 127 | 36,6 | 28,6 | 100 |
| 3 1/8 | 79 | 81,8 | 210 | 2 | 3 | 146 | 39,7 | 31,8 | 117 |
| 4 1/16 | 103 | 108,7 | 275 | 2 | 3 | 175 | 46,1 | 38,1 | 152 |
| 5 1/8 | 130 | 131,0 | 330 | 2 | 3 | 210 | 52,4 | 44,5 | 189 |
| 7 1/16 | 178 | 181,8 | 355 | 3 | 6 | 241 | 55,6 | 47,6 | 222 |
| 9 | 228 | 229,4 | 420 | 3 | 6 | 302 | 63,5 | 55,6 | 273 |
| 11 | 279 | 280,2 | 510 | 3 | 6 | 356 | 71,5 | 63,5 | 343 |
| 13 5/8 | 346 | 346,9 | 560 | 3 | 6 | 413 | 74,7 | 66,7 | 400 |
| 16 3/4 | 425 | 426,2 | 685 | 3 | 6 | 508 | 84,2 | 76,2 | 495 |
| 21 1/4 | 540 | 540,5 | 815 | 3 | 6 | 635 | 98,5 | 88,9 | 610 |

Suite de tableau :

| (1) | (2) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) | (17) |
|---|-----|---|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--|-------------------------------|
| Taille nominale et alésage de la bride | | Dimensions de boulonnage | | | | | | |
| | | Diamètre du cercle de boulon <i>BC</i> | Nombre de boulons | Diamètre Des boulons (in) | Diamètre des trous de boulons | | Longueur des goujons <i>L_{ssb}</i> | Numéro de bague R or RX |
| (in) | mm | | | | | tol. ^e | | |
| 2 1/16 | 52 | 127,0 | 8 | 5/8 | 20 | + 2 | 115 | 23 |
| 2 9/16 | 65 | 149,2 | 8 | 3/4 | 23 | + 2 | 125 | 26 |
| 3 1/8 | 79 | 168,3 | 8 | 3/4 | 23 | + 2 | 135 | 31 |
| 4 1/16 | 103 | 215,9 | 8 | 7/8 | 26 | + 2 | 150 | 37 |
| 5 1/8 | 130 | 266,7 | 8 | 1 | 29 | + 2 | 170 | 41 |
| 7 1/16 | 178 | 292,1 | 12 | 1 | 29 | + 2 | 180 | 45 |
| 9 | 228 | 349,3 | 12 | 1 1/8 | 32 | + 2 | 205 | 49 |
| 11 | 279 | 431,8 | 16 | 1 1/4 | 35 | + 2 | 220 | 53 |
| 13 5/8 | 346 | 489,0 | 20 | 1 1/4 | 35 | + 2 | 230 | 57 |
| 16 3/4 | 425 | 603,2 | 20 | 1 1/2 | 42 | + 2,5 | 260 | 65 |
| 21 1/4 | 540 | 723,9 | 24 | 1 5/8 | 45 | + 2,5 | 300 | 73 |

^e La tolérance minimale du trou de boulon est de - 0.02mm.

-Coupe d'une bride filetée et autre de canalisation :



Bride filetée

Bride de canalisation

Fig II.4.2.1.D Bride filetée et Bride de canalisation

Remarque :

Notre bride 6B fileté et leur face doit être plate ou surélevée du côté du joint annulaire et doit être entièrement usinée. La face arrière de la bride peut être entièrement usinée ou alignée sur les trous de boulons. La face arrière de la bride ou les faces latérales doivent être parallèles à la face avant dans un angle de 1° et l'épaisseur après le dressage doit être conforme aux dimensions des tableaux (II.4.2.1.B)

Suite de tableau :

| (1) | (2) | (18) | (19) | (20) | (21) | (22) | (23) |
|--|-----|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Taille nominale et alésage de la bride | | Dimensions du moyeu et de l'alésage | | | | | |
| | | Longueur du moyeu | Longueur du moyeu à bride fileté | Longueur du moyeu à bride souder | Diamètre de goulot à souder | | Alésage maximum de la bride à souder |
| (in) | mm | L_L | L_C | $L_N \pm 1,5$ | H_L | tol. ^f | J_L |
| 2 1/16 | 52 | 45 | — | 81 | 60,3 | +2,4 | 53,3 |
| 2 9/16 | 65 | 50 | — | 88 | 73,0 | +2,4 | 63,5 |
| 3 1/8 | 78 | 54 | — | 91 | 88,9 | +2,4 | 78,7 |
| 4 1/16 | 103 | 62 | 89 | 110 | 114,3 | +2,4 | 103,1 |
| 5 1/8 | 130 | 69 | 102 | 122 | 141,3 | +2,4 | 122,9 |
| 7 1/16 | 178 | 75 | 115 | 126 | 168,3 | +4 | 147,1 |
| 9 | 228 | 85 | 127 | 141 | 219,1 | +4 | 199,1 |
| 11 | 279 | 94 | 134 | 160 | 273,0 | +4 | 248,4 |
| 13 5/8 | 346 | 100 | 100 | — | — | — | — |
| 16 3/4 | 425 | 115 | 115 | — | — | — | — |
| 21 1/4 | 540 | 137 | 137 | — | — | — | — |

^f La tolérance minimale pour cette dimension est de - 0,8

Dimensions en millimètres

Tab II.4.2.1.B : Les dimensions des brides du type 6B intégrées, filetées et à Souder (Les Dimensions en millimètres normalisé par API 6A)

II.4.2.1.E- Géométrie 3D de La Bride 6B '9' pouce fileté normalisé et leur joint

Du bouchon de test (R26) avec logiciel SOLIDWORKS :

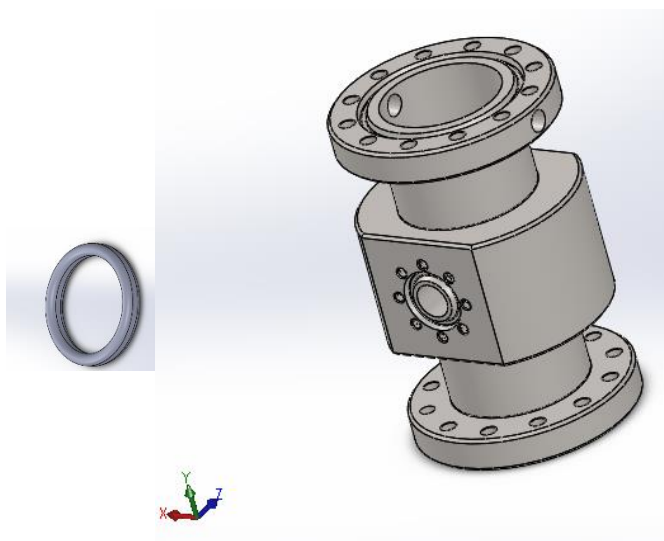


Fig II.4.2.1.E

II.4.2.2- Les joints annulaires (ring gasket) :

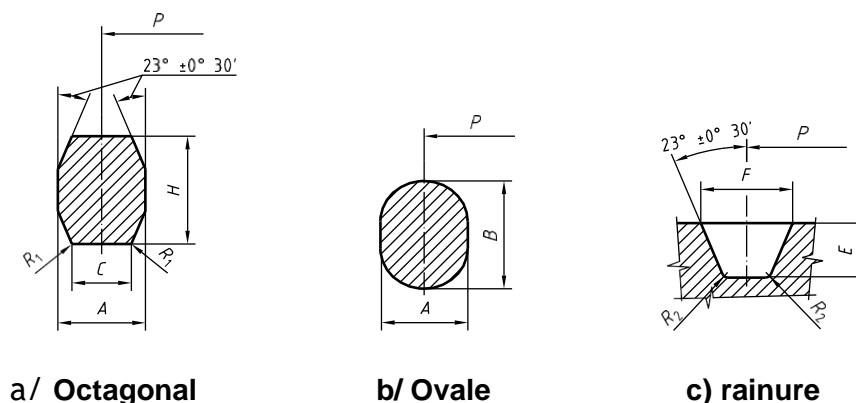
II.4.2.2.A- Général :

Les joints de types R et RX doivent être utilisés sur les brides 6B .

Le joint RX fournit un joint alimenté par la pression mais n'est pas interchangeable.

II.4.2.2.B- Dimensions :

Les joints d'étanchéité doivent être conformes aux dimensions et aux tolérances spécifiées dans le Tableau (II.4.2.2) et doivent être plats dans une tolérance de 0,2% du diamètre extérieur de la bague jusqu'à un maximum de 0,38 mm (0,015 po).



a/ Octagonal

b/ Ovale

c) rainure

Fig II.4.2.2.B : différent type de joint R

Remarque :

a) Etat de surface :

Toutes les surfaces à 23° sur les joints R doivent avoir une finition de surface non plus rugueuse que $1,6 \mu\text{m Ra}$ ($63 \mu\text{in RMS}$).

B) Côté Matériaux :

Des revêtements et des placages peuvent être utilisés pour faciliter la fermeture des joints tout en minimisant le grippage et pour prolonger la durée de conservation. Les épaisseurs de revêtement et de placage doivent être au maximum de 0,013 mm (0,0005 in).

| Numéro De joint | Diamètre primitif de la bague (rainure) P $\pm 0,18$ ($\pm 0,13$) | Largeur De joint A $\pm 0,20$ | Hauteur de Joint ovale B $\pm 0,5$ | Hauteur De joint octogonal H $\pm 0,5$ | Largeur de plat de joint octogonal C $\pm 0,2$ | Rayon Dans joint octogonal R_1 $\pm 0,5$ | Profondeur de rainure E $+0,5$ 0 | Largeur de rainure F $\pm 0,20$ | Rayon dans la rainure R_2 max. | distance entre les brides confection- nées S |
|--------------------|---|--|---|--|--|--|--|--|--|---|
| R 20 | 68,28 | 7,95 | 14,3 | 12,7 | 5,23 | 1,5 | 6,4 | 8,74 | 0,8 | 4,1 |
| R 23 | 82,55 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 24 | 95,25 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 26 | 101,60 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 27 | 107,95 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 31 | 123,83 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 35 | 136,53 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 37 | 149,23 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 39 | 161,93 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 41 | 180,98 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 44 | 193,68 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 45 | 211,15 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 46 | 211,15 | 12,70 | 19,1 | 17,5 | 8,66 | 1,5 | 9,7 | 13,49 | 1,5 | 4,8 |
| R 47 | 228,60 | 19,05 | 25,4 | 23,9 | 12,32 | 1,5 | 12,7 | 19,84 | 1,5 | 4,1 |
| R 49 | 269,88 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 50 | 269,88 | 15,88 | 22,4 | 20,6 | 10,49 | 1,5 | 11,2 | 16,66 | 1,5 | 4,1 |
| R 53 | 323,85 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| R 54 | 323,85 | 15,88 | 22,4 | 20,6 | 10,49 | 1,5 | 11,2 | 16,66 | 1,5 | 4,1 |
| R 57 | 381,00 | 11,13 | 17,5 | 15,9 | 7,79 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| R 90 | 155,58 | 22,23 | — | 26,9 | 14,81 | 1,5 | 14,2 | 23,01 | 1,5 | 4,8 |
| R 91 | 260,35 | 31,75 | — | 38,1 | 22,33 | 2,3 | 17,5 | 33,34 | 2,3 | 4,1 |
| R 99 | 234,95 | 11,13 | — | 15,9 | 7,75 | 1,5 | 7,9 | 11,91 | 0,8 | 4,8 |

Dimensions en millimètres

Tab II.4.2.2 : Les dimensions de joint annulaire de type R

II.4.2.2.C- Géométrie 3D de joint d'étanchéité de la bride de type R normalisé

Avec logiciel SOLIDWORKS :

D'après la conception de la bride on a utilisé un joint annulaire de type R49.

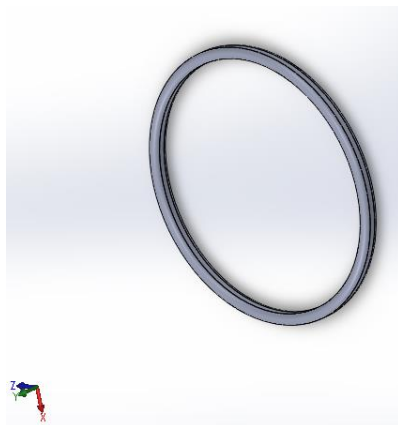


Fig II.4.2.2.C

II.4.2.2.D- Rainures de joint résistant à la corrosion :

Les brides de type 6B peuvent être fabriquées avec des revêtements résistant à la corrosion dans les gorges de bague (Fig II.4.2.2.D'). Avant l'application du revêtement, la préparation des rainures de joint doit être conforme aux dimensions du Fig II.4.2.2.D, D'autres préparations de soudure peuvent être utilisées si la résistance de l'alliage de recouvrement est égale ou supérieure à la résistance du matériau de base.

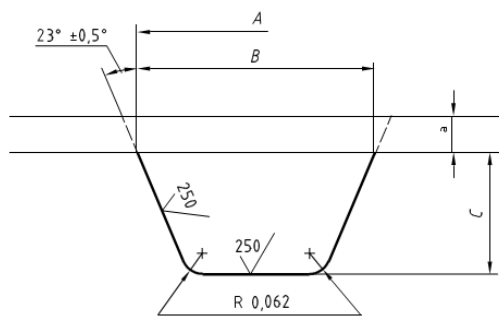


Fig II.4.2.2.D

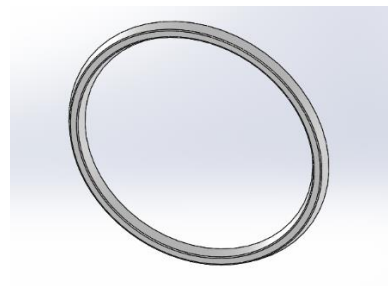


Fig II.4.2.2.D'

II.4.2.3- Les goujons :

II.4.2.3.A- Méthode de calcul de la longueur des goujons

filetés pour les brides de type 6B :

Les formules suivantes ont été utilisées pour établir les longueurs de boulons de goujon énumérées dans le tableau :

$$L_{CSB} = A + n$$

L_{CSB} : est la longueur de goujon calculée (longueur de filetage effective à l'exclusion des extrémités)

A : est $2(T + 0,50t + d) + S$ (c'est-à-dire la longueur du boulon de goujon non comprise dans la tolérance de longueur négative, n)

T : est l'épaisseur totale de la bride

t : est la tolérance positive de l'épaisseur de la bride

d : est l'épaisseur de l'écrou (égale au diamètre nominal du boulon)

S : est le support de face de bride

n : est la tolérance négative sur la longueur du boulon: 1/16 po pour des longueurs allant jusqu'à 12 po inclus . 1/8 po pour les longueurs de 12 à 18 po inclusivement . 1/4 po pour des longueurs supérieures à 18 po

II.4.2.3.B- Procédure d'arrondi :

L_{SSB} = Longueur de goujon spécifiée (longueur de filetage effective à l'exclusion des extrémités), qui est arrondie à la longueur LCSB , arrondie à la longueur disponible la plus proche

Si LCSB est supérieur de 0,010 pouce (ou plus), arrondir au 1/4 par incrément vers le haut; si moins de 0,010 po, arrondir au 1/4 par incréments vers le bas

- Un point final est la partie d'un goujon au-delà du filetage et doit être chanfreinée ou arrondie. La hauteur de chaque point final ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau

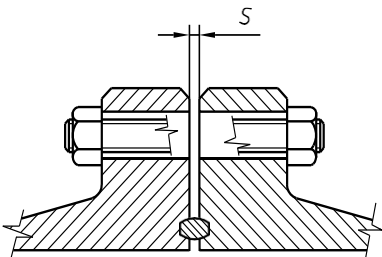


Fig II.4.2.3.B: Goujon d'une Bride de type 6B

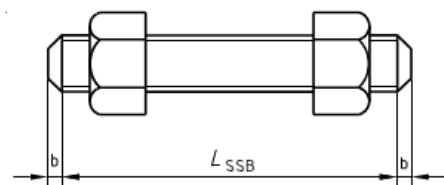


Fig II.4.2.3.A: Goujon Fileté

Remarque :

Le tableau sont basé sur des calculs prenant en compte certains coefficients de frottement ; pour le frottement entre les goujons et les écrous, ainsi qu'entre les écrous et la surface de la bride.

| Diamètre du goujon D | | Pas de filetage P mm | Goujon avec contrainte admissible $\sigma_y = 550$ MPa Contrainte moyenne du boulon = 275 MPa | | | Goujon avec contrainte admissible $\sigma_y = 720$ MPa Contrainte moyenne du boulon = 360 MPa | | | Goujon avec contrainte admissible $\sigma_y = 655$ MPa Contrainte moyenne du boulon = 327,5 MPa | | |
|---------------------------|-------|------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | Force F KN | Moment t N.m $f = 0,07$ | Moment N.m $f = 0,13$ | Force F KN | Moment N.m $f = 0,07$ | Moment N.m $f = 0,13$ | Force F kN | Moment N.m $f = 0,07$ | Moment N.m $f = 0,13$ |
| (in) | mm | | | | | | | | | | |
| 0,500 | 12,70 | 1,954 | 25 | 36 | 61 | 33 | 48 | 80 | — | — | — |
| 0,625 | 15,88 | 2,309 | 40 | 70 | 118 | 52 | 92 | 155 | — | — | — |
| 0,750 | 19,05 | 2,540 | 59 | 122 | 206 | 78 | 160 | 270 | — | — | — |
| 0,875 | 22,23 | 2,822 | 82 | 193 | 328 | 107 | 253 | 429 | — | — | — |
| 1,000 | 25,40 | 3,175 | 107 | 288 | 488 | 141 | 376 | 639 | — | — | — |
| 1,125 | 28,58 | 3,175 | 140 | 413 | 706 | 184 | 540 | 925 | — | — | — |
| 1,250 | 31,75 | 3,175 | 177 | 569 | 981 | 232 | 745 | 1 285 | — | — | — |
| 1,375 | 34,93 | 3,175 | 219 | 761 | 1 320 | 286 | 996 | 1 727 | — | — | — |
| 1,500 | 38,10 | 3,175 | 265 | 991 | 1 727 | 346 | 1 297 | 2 261 | — | — | — |
| 1,625 | 41,28 | 3,175 | 315 | 1 263 | 2 211 | 412 | 1 653 | 2 894 | — | — | — |
| 1,750 | 44,45 | 3,175 | 369 | 1 581 | 2 777 | 484 | 2 069 | 3 636 | — | — | — |
| 1,875 | 47,63 | 3,175 | 428 | 1 947 | 3 433 | 561 | 2 549 | 4 493 | — | — | — |
| 2,000 | 50,80 | 3,175 | 492 | 2 366 | 4 183 | 644 | 3 097 | 5 476 | — | — | — |
| 2,250 | 57,15 | 3,175 | 631 | 3 375 | 5 997 | 826 | 4 418 | 7 851 | — | — | — |
| 2,500 | 63,50 | 3,175 | 788 | 4 635 | 8 271 | 1 032 | 6 068 | 10 828 | — | — | — |
| 2,625 | 66,68 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 1 040 | 6 394 | 11 429 |
| 2,750 | 69,85 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 1 146 | 7 354 | 13 168 |
| 3,000 | 76,20 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 1 375 | 9 555 | 17 156 |
| 3,250 | 82,55 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 1 624 | 12 154 | 21 878 |
| 3,750 | 95,25 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 2 185 | 18 685 | 33 766 |
| 3,875 | 98,43 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 2 338 | 20 620 | 37 293 |
| 4,000 | 101,6 | 3,175 | — | — | — | — | — | — | 2 496 | 22 683 | 41 057 |

Tab II.4.2.3 les couples de serrage des brides

II.4.2.3.C- Les goujons de la brides 9 pouces :

Longueur de goujon : on a $L_{CSB} = A + n$; $A = 2(T + 0,50t + d) + S$

$$T = 63,5 \text{ mm} ; t = + 3 , d = 28.575 \text{ mm} ; S = 4.8 \text{ mm} ; n = 1.587$$

$$A = 2 (63.5 + 0.5 \cdot 3 + 28.575) = 187.15 \text{ mm}$$

$$\text{Alors } L_{CSB} = 187.15 + 1.587 = 188.737 \text{ mm}$$

La longueur du goujon spécifiée $L_{SSB} = 205 \text{ mm}$

Et une longueur de filetage $L_{CSB} = 188.737 \text{ mm}$ Avec Un pas de 1.375 mm

Et un diamètre $D = 28,575 \text{ mm}$ Avec 28.58 mm normalisé .

Remarque :

1- Deux coefficients de frottement sont utilisés dans le tableau. Un coefficient de frottement de 0,13 se rapproche du frottement. Les filetages et les surfaces d'appui

des écrous sont en métal nu bien lubrifié avec un composé de filetage testé conformément à l'ISO 13678.

Un coefficient de frottement de 0,07 se rapproche des filetages et du côté des écrous revêtus de fluorpolymère.

2- Certains facteurs qui affectent la relation entre le couple de serrage et la contrainte du goujon sont les suivants :

Dimensions et forme de filetage, l'état de surface des goujons, des écrous et de la surface de la bride; degré de parallélisme entre la face de l'écrou et la face de la bride, type de lubrification et de revêtements des filets et surfaces d'appui des écrous.

II.4.2.3.D- Les équations :

$$A_s = \frac{\pi}{4} [D - (0,974 \cdot 3 \times P)]^2$$

$$F = \sigma A_s$$

$$T = \frac{F \cdot E (P + \pi f \cdot E \cdot S)}{2(\pi E - P \cdot f \cdot S)} + F \cdot f \left[\frac{H + D + K}{4} \right]$$

T : est le Moment (N.m)
(mm)

As : est la surface de contrainte (mm²)

D : est le diamètre principal du filetage (mm)

E : est le diamètre primitif du filetage (mm)

F : est la force par goujon (N)

f : est le coefficient de frottement

H : est le diamètre de l'écrou = 1,5 D + 3,175

K : est le chanfrein interne de l'écrou = 3,175 mm
1

P : est le pas du filetage = $\frac{\text{mm}}{\text{Nombre de filets par unité de longueur}}$

S : est la sécante de 30 ° = 1,154

σ : est la contrainte dans le goujon (MPa)

AN : F = 140 KN ; f = 0,13 ; T = 706 N.m ; P = 3,175 mm ; H = 46,04 mm ; E = 26,518 mm

$$A_s = \frac{3,14}{4} (28,58 - (0,974 \cdot 3,175))^2 = 633,69 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A_s} \quad \longrightarrow \quad \sigma = 220,928 \text{ MPa} < 550 \text{ MPa}$$

$$E = D - 0,6495 \cdot P = 26,518 \text{ mm}$$

II.4.2.3.E- Géométrie 3D du goujon 1.1/8 :

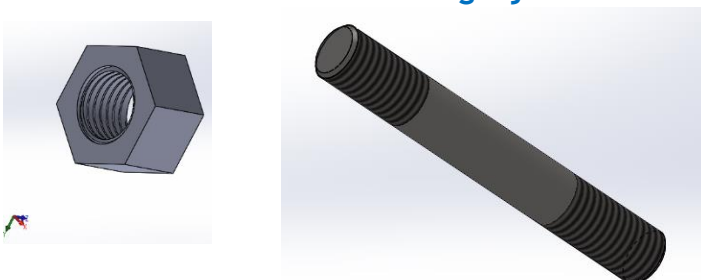


Fig II.4.2.3.E

II.4.2.4- L'olive de suspension (tubing hanger) :

II.4.2.4.A- dimension :

L'olive et leurs joints d'étanchéité doivent être réalisés d'après la conception de la Bride, donc le concepteur respecte leurs normes.

La représentation de toutes les dimensions de l'olive et leur joint doivent être confirmées dans le dessin de définition.

II.4.2.4.B- Géométrie 3D de l'olive de suspension et leur joint avec logiciel

SOLIDWORKS :

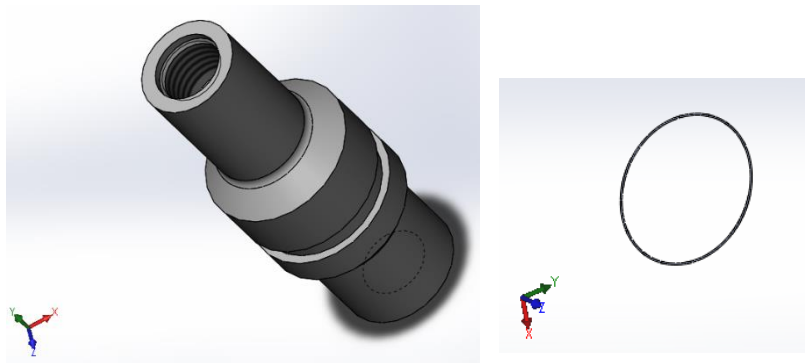


Fig II.4.2.4.B

Remarque :

D'après le tableau II.4.2.2 On a choisi le joint d'étanchéité

II.4.2.5- Les pointeaux (les vis d'encrage) :

II.4.2.5.A- Type des pointeaux :

Pour notre bride on a défini deux types de vis d'encrage : BSA et BS .

Notre vis pointeau de type BS .

II.4.2.5.B- Dimension :

Toutes les dimensions de ce vis pointeau doivent être confirmées dans le dessin de définition correspondant .

Remarque :

On prend en considération le diamètre des trous dans la bride.

II.4.2.5.C- Géométrie 3D de vis pointeau avec logiciel SOLIDWORKS :

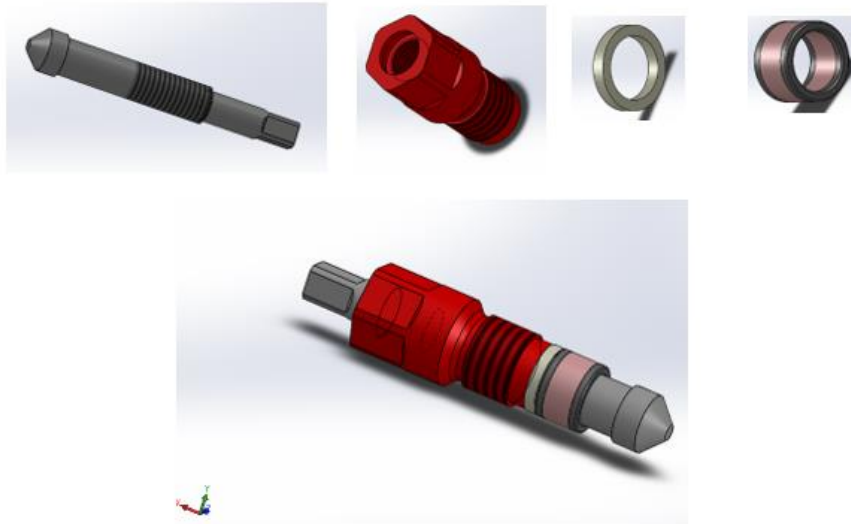


Fig II.4.2.5.C : Vis pointeau

II.5- Fiche technique Des matériaux De construction :

II.5.1- Coupe D'une tubing head:

Le concepteur doit choisir telles matériaux pour construire cette tubing Head ;

Et à partie d'une coupe on a découvert ces matériaux (Fig.II.10.1)

II.5.2- Les matériaux de construction d'une tubing head :

- A/ C35 (XC38) : Pour la tubing head (la bride d'encrage 6B) et l'écrou.
- B/ 42CrMo4 (42CD4): Pour : L'olive de suspension, les goujons, Bague , L'écrou de fourrure, Paking , les pointaux, bouchon de test .
- C/ CAOUTCHOUC : Pour : petit joint ID25x5mm
 , joint ID90x5mm
- D/ Acier Inoxydable : Pour le joint annulaire (ring gasket)
- E/ Plastique : Pour le joint de bague

II.5.2.A - L'acier C35 (XC 38):

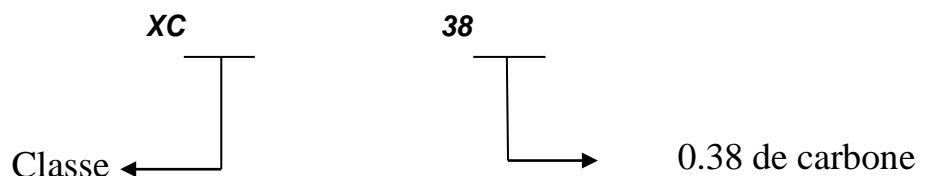
II.5.2.A.1- Propriétés et Domaines d'applications :

L'acier spécial XC38 est un acier non allié au carbone

Semi doux ($C = 0.38 + / - 0.03 \%$) utiliser pour la fabrication des pièces divers nécessitant une bonne résistance mécanique sa tenue en garantie permettant ainsi d'obtenir des caractéristiques mécaniques précises , il peut subir des traitements thermiques de trempe et revenu améliorant encore les propriétés mécaniques.

Acier de trempabilité limitée pour pièces de faible à moyenne section sollicitées moyennement - arbres - bielles - leviers..

II.5.2.A.2- Désignation de l'acier utilisé:



| | DIN | AISI | NF EN 10027-1 |
|-------|------|------|---------------|
| AFNOR | Ck35 | 1040 | C35(1.1181) |

II.5.2.A.3- Compositions chimiques en %:

| C | S | Mn | P | Si |
|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| 0.32 – 0.39 | ≤0.035 | 0.50 – 0.80 | ≤0.035 | 0.10 – 0.40 |

II.5.2.A.4- Caractéristiques mécaniques moyennes (état normaliser) :

| Rm(σ) N/mm ² (MPa) | Re(σ_e) N/mm ² (MPa) | A% | Dureté HB | Densité | Tolérance | Module De young (GPa) |
|---|---|--------|--------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|
| 500 / 550 | 245 / 300 | 17/ 21 | 190 | 7,8 g/cm ³ | f 7 | 207 |

5 . Utilisation des aciers C35 (XC38) :

L'acier est universellement employé dans tout type d'industrie, de mécanisme, d'objet, en raison de ses formidables qualités : (*axes, boulonnerie, forge...*).

La Pièce non soumises aux chocs, mais nécessitant une bonne résistance.

II.5.2.B - L'acier 42CrMo4 (42CD4):

II.5.2.B.1- Propriétés :

Acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempe et revenu. Bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

II.5.2.B.2- Domaines d'applications :

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : Pièces de transmission, arbres, colonnes de presse, vérins, pignons, couronnes dentées, boulonnerie, et tiges filetées pour l'industrie du pétrole.

II.5.2.B.3- Désignation de l'acier 42CrMo4 (42CD4) :

| | | | |
|---------|------------|------|------------------|
| AFNOR | DIN | AISI | NF EN 10027-1 |
| 42 CD 4 | 42 Cr Mo 4 | 4140 | 42CrMo4 (1.7225) |

II.5.2.B 4- Composition chimique en % :

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|-----------|
| C | Cr | Mo | S | Mn | P | Si |
| 0,38 - 0,45 | 0,90 - 1,20 | 0,15 - 0,30 | ≤ 0,035 | 0,60 - 0,90 | ≤ 0,035 | 0.40 Maxi |

II.5.2.B.5- Caractéristiques mécaniques moyennes (état trempé revenu) :

| | | | | |
|--|--|---------|------------|-------------------------|
| $R_m(\sigma)$ N/mm ² (MPa) | $R_e(\sigma_e)$ N/mm ² (MPa) | A % | Dureté HRB | Densité |
| 750 / 1300 | 500 / 900 | 10 / 14 | max. 217 | 7,85 kg/dm ³ |

II.5.2.C - CAOUTCHOUC (NBR):

II.5.2.C.1- Propriétés et Domaines d'applications :

C'est le Caoutchouc spécial pour joints pour alimentation en gaz, accessoires de conduites gaz. Etanchéité pour gaz et hydrocarbures liquides, Caoutchouc nitrile (NBR) Elastomère compatible avec les huiles pétrolières, l'air, l'eau...

Il est très utilisé dans le domaine industriel .

II.5.2.C.2- Caractéristiques mécaniques :

| Reference | Dureté (shor A) | Densité g/cm ³ | Resistance à la rupture N/mm ² (MPa) | Résistance à la traction N/mm ² (MPa) |
|-----------|--------------------|------------------------------|---|--|
| NIT P518 | 80 | 1.35 | 13 | 19 |

II.5.2.D - Acier Inoxydable (304) :

II.5.2.D.1- Propriétés et Domaines d'applications :

ACIER INOX 304 L'acier inox AINSI 304 (1.4301) est un acier austénitique, il est amagnétique, et aussi ses caractéristiques mécaniques sont élevées. Les teneurs en éléments d'addition tournent autour de 18 % de chrome et 10 % de nickel. La teneur en carbone est très basse et la stabilité améliorée par des éléments, l'acier inoxydable Il résiste à la corrosion dans divers environnements allant d'un milieu modérément réducteur à un milieu modérément oxydant, il est très utilisé dans le domaine industriel .

II.5.2.D.2- Composition chimique :

| C | Si | Mn | P | Cr | S | Mo | Ni |
|--------|--------|--------|---------|-----------|---------|----|------------|
| < 0.07 | < 1.00 | < 2.00 | < 0.045 | 17.0-19.5 | < 0.015 | - | 8.0 - 10.5 |

II.5.2.D.3- Caractéristiques mécaniques :

| Limite à la rupture Rm N/mm ² (MPa) | Limite élastique Re0.2% N/mm ² (MPa) | Module de Young (GPa) | Allongement à la rupture A% | Densité g/cm ³ | Dureté (brinell) |
|---|--|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 630 | 300 | 200 | 52 | 7.9 | 160-190 |

II.5.2.E - Plastique : POM (Polyacétal) :

II.5.2.E.1- Propriétés et Domaines d'applications :

Le Polyoxyméthylène est un plastique technique aux utilisations polyvalentes avec une résistance et une stabilité de façonnage élevées il est une Haute résistance mécanique, rigidité, dureté, Bonne résistance aux chocs, Bonnes propriétés de glissement, Exemple d' applications : Pièces mécaniques devant résister à de fortes contraintes

II.5.2.E.2- Caractéristiques mécaniques :

| Reference | Résistance à la traction N/mm ² (MPa) | Module De young à la traction N/mm ² (MPa) | Dureté | Densité g/cm ³ | Allongement à la rupture A% |
|-----------|---|--|--------|------------------------------|--------------------------------|
| Norme DIN | 65 | 2900 | R120 | 1,41 | 25 |

III - La Problématique

III.1- Introduction :

Dans le cadre de l'amélioration et le développement du forage en Algérie plusieurs techniques et méthodes ont été élaborées à travers le temps afin de résoudre des nombreux problèmes liés aux forages.

Parmi les problèmes rencontrés par l'utilisateur dans la tubing Head c'est des Problèmes au niveau de l'olive de suspension, en site :

1. Corrosion avec piqûres et fissures
2. Déchirure du joint d'étanchéité

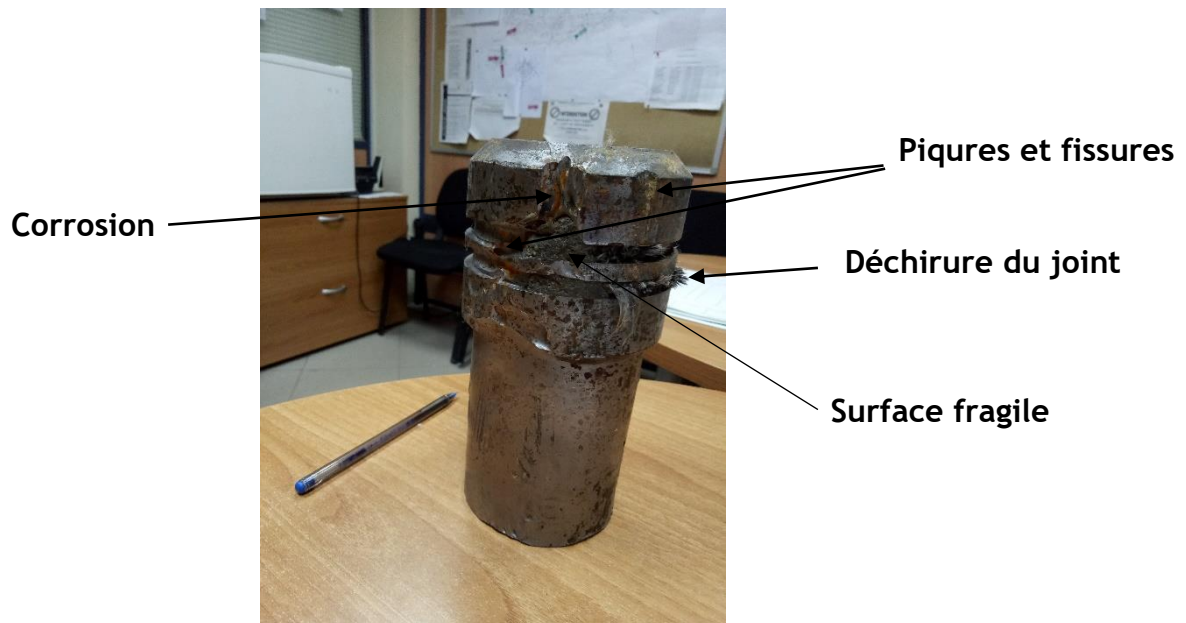


Fig III. 1: Olive de suspension après l'utilisation

III.2- Analyse Général des problèmes :

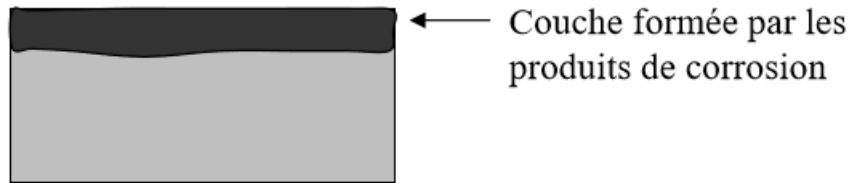
III.2.1- Corrosion avec piqûres et fissures :

III.2.1.A : Généralité :

La corrosion en général c'est la dégradation d'un matériau sous l'action d'agents atmosphériques ou chimiques, est de types : Corrosion chimique, Corrosion électrochimique, Corrosion biochimique

On distingue la morphologie des dégradations par corrosion suivants :

1. Corrosion généralisée ou uniforme : Se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent corrosif .



Corrosion généralisée

Fig III.2.1.A.1 : Corrosion uniforme

2. Corrosion par couplage galvanique : Contact entre 2 métaux différents dans un milieu corrosif .

Milieu très conducteur



Fig III.2.1.A.2 : Exemple d'une corrosion par couplage galvanique

3. Corrosion par piqure : Affecte de préférence les métaux comme notre cas 42CrMo4, ou les alliages Passivés.

-Processus en deux étapes : initiation de la piqûre et sa progression au sein du métal

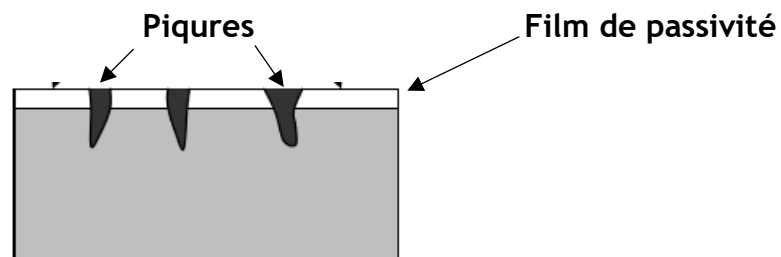


Fig III.2.1.A.3 : Corrosion par piqure

4. Corrosion sous contraintes (sous tension) : C'est l'action conjuguées de contraintes mécaniques de traction et d'un milieu corrosif

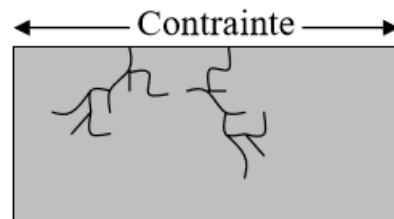


Fig III.2.1.A.4 : Corrosion sous contraintes

III.2.1.B- Hypothèse :

À partir de la morphologie des dégradations et selon nos connaissances

Que dans les profondeurs de sol il y a une grande pression et une haute température et différents gaz .

-La température c'est une paramètre importante mais D'après le Graphe déçu On a découvert que cette dernière n'est pas la cause directe de notre problématique .

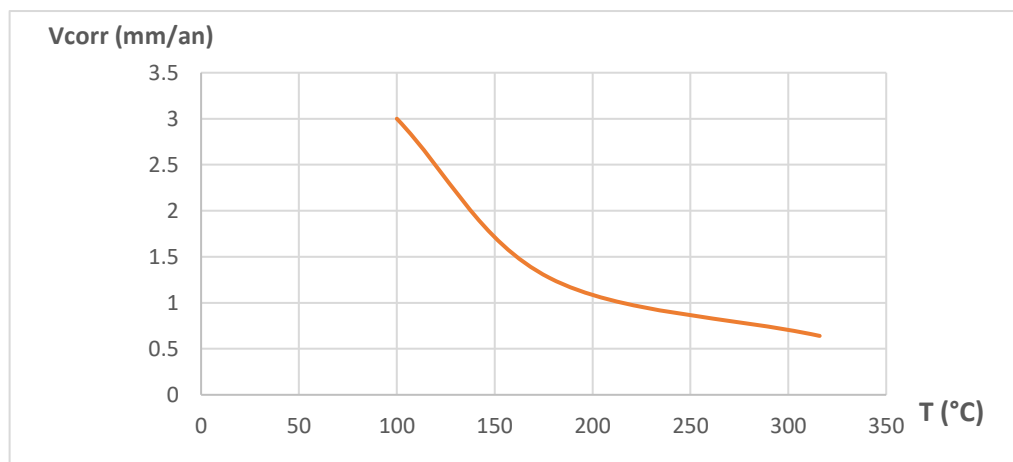


Fig III.2.1.B : vitesse de corrosion d'acier 42CrMO4 en fonction de température

-Notre cas c'est une corrosion par piqure

(à cause de Milieu agressif crée par les gaz du sol)

Remarque :

La vitesse de corrosion est en général exprimée en termes de perte de masse par unité de surface et par unité de temps ou par l'épaisseur de métal corrodé en fonction du temps, Pour un acier $1 \text{ g.dm}^{-2}\text{.an}^{-1} = 12 \text{ G.m/an}$.

III.2.1.C- Nature De la Contrainte d'origine :

La Contrainte d'origine thermique (dilatation)

III.2.1.C.1- Définition :

La dilatation thermique est l'expansion à pression constante du volume d'un corps occasionné par son réchauffement, généralement imperceptible. Dans le cas d'un gaz, il y a dilatation à pression constante ou maintien du volume et augmentation de la pression lorsque la température augmente

III.2.1.C.2- Définition thermodynamique :

L'énergie interne U d'un système est une fonction d'état qui dépend de la pression p , du volume V et de la température T :

$$U = f(p, V, T)$$

Comme ces trois variables sont reliées par l'équation d'état du système, il est possible par exemple d'exprimer une variation infinitésimale de l'énergie

interne U d'un système en fonction des variations infinitésimales du volume et de la température : $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$.

Le premier terme de la somme contient le changement de l'énergie interne en fonction de la température à volume constant, la capacité thermique isochore C_V . Si le changement de température a lieu à pression constante, on obtient :

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p = C_V(T) + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = C_V(T) + \beta V \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T .$$

Le terme β est le coefficient de dilatation thermique isobare du système (coefficient de dilatation volumique), il décrit le changement de volume à pression constante en fonction de la température :

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

Notons que pour un gaz parfait, on a :

$$\beta = \frac{1}{T}$$

Le coefficient de dilatation volumique β est relié dans les matériaux isotropes de façon simple au coefficient de dilatation linéaire α :

$$\beta = 3\alpha.$$

En effet, une variation de longueur infinitésimale $dL = \alpha L dT$ d'un cube dans les trois directions de l'espace conduit à une variation de volume

$$dV = \beta V dT = 3L^2 dL + 3L(dL)^2 + (dL)^3,$$

où les deux derniers termes sont négligeables. On obtient ainsi $\beta = 3\alpha$.

Dans la pratique, les coefficients de dilatation thermique α et β sont souvent exprimés en fonction d'une valeur de référence pour une température déterminée T_0 :

$$\beta = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T} \text{ et } \alpha = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T}.$$

Cette formule est valable dans les cas où la variation de la longueur dépend linéairement de la variation de la température, mais pas pour de grands intervalles de température ou si le matériau subit une transition de phase dans l'intervalle considéré. De manière générale, la dépendance en température du coefficient de dilatation thermique volumique β est

exprimée par la relation de Grüneisen : $\frac{\beta}{\chi_T C_V \rho} = \gamma \simeq \text{constante}$

où χ_T est la compressibilité isotherme du matériau, C_V sa capacité thermique

isochore, ρ sa densité et γ le paramètre de Grüneisen. Comme x_T et ρ sont en première approximation indépendants de la température, les variations thermiques de C_v compensent celles de β .

III.2.1.C.3- Coefficients de dilatation thermique (linéaire) α :

On peut calculer pour tous les matériaux isotropes et spécialement notre acier 42CrMo4 la variation de longueur et donc de volume en fonction de la variation de température :

avec :

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

- ΔL la variation de longueur en mètre (m) ;
- α le coefficient de dilatation linéaire en kelvin puissance moins un (K^{-1}) ;
- L_0 la longueur initiale en mètre (m) ;
- $\Delta T = T - T_0$ la variation de température en kelvin(K) ou en degré Celsius($^{\circ}C$)

Remarque : puisqu'on utilise une variation (une différence de température) la différence d'origine entre kelvin et degré Celsius s'annule, la distinction n'est donc pas nécessaire.

On peut aussi directement calculer la longueur en fonction de la température :

$$L(T) = L_0 + \Delta L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$$

avec :

- $L(T)$ la longueur en mètre (m) en fonction de la température ;
- T la température considérée en kelvin (K) ou en degré Celsius ($^{\circ}C$) ;
- T_0 la température initiale en kelvin (K) ou en degré Celsius ($^{\circ}C$).

III.2.1.C.4- Calcul :

- L'allongement :

$$\alpha = 12,0 \times 10^{-6}$$

$$T_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C} = 296 \text{ K} ; T = 600 \text{ }^\circ\text{C} = 873 \text{ K}$$

| substances | coefficient de dilatation linéaire 1/K |
|------------------|--|
| acier | $12,0 \times 10^{-6}$ |
| acier inoxydable | 14×10^{-6} +/- 4 selon famille ⁴ |
| aluminium | 23×10^{-6} |
| béton | 12×10^{-6} |
| bronze | $17,5 \times 10^{-6}$ |

Tab III.2.1.C.4: Coefficient de dilatation des principaux matériaux

Longueur de l'Olive : $L_0 = 0,4674 \text{ m}$

Alors on applique la relation $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 12,0 \times 10^{-6} \cdot 0,4674 \cdot 577 = 0,003236 \text{ m}$$

Donc l'allongement est de 3,236 mm .

-Coefficient de dilatation volumique β :

On applique la relation $\beta = 3\alpha$

$$\beta = 3 \cdot 12 \times 10^{-6} = 36 \times 10^{-6} .$$

Remarque :

La température initial c'est $23 \text{ }^\circ\text{C}$ et dans les profondeurs de sol c'est $70 \text{ }^\circ\text{C}$

-Contrainte et déformation :

-La contrainte d'origine thermique liées à la présence d'un gradient de température au sein de la pièce considérée et d'un coefficient de dilatation linéaire .

on applique la relation suivante :

$$\sigma_{\text{thermique}} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

E : Module De young = 500 MPa

$$\sigma = 500 \cdot 12 \times 10^{-6} \cdot (343 - 296) = 0,282 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 0,282 \text{ MPa}$$

-La déformation purement élastique qui en résulte s'exprime en fonction du gradient de température et du coefficient de dilatation thermique du matériau.

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T = 12 \times 10^{-6} \cdot (343 - 296) = 5,64 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon = 5,64 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

III.2.1.C.5- Simulation numérique avec Logiciel SOLIDWORKS :

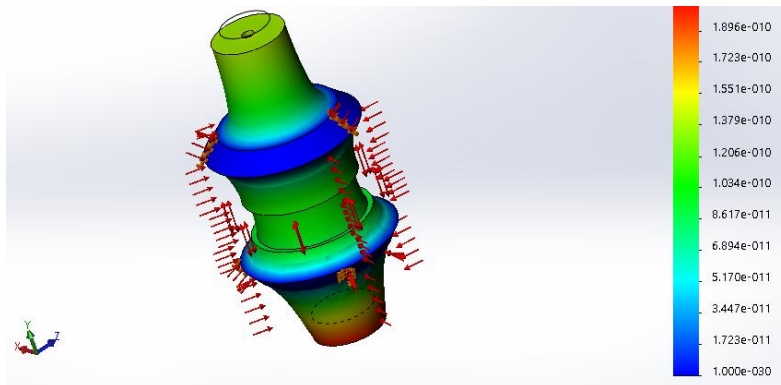


Fig III.2.1.C.5 : Simulation numérique avec Logiciel SOLIDWORKS

III.2.1.D- Les phénomènes liés à La présence du gaz H2S :

III.2.1.D.1- Définition de gaz H2S :

Le sulfure d'hydrogène est naturellement présent dans le pétrole ;

Ce gaz (H2S) c'est un gaz acide peut s'accumuler dans les réseaux d'assainissement (gaz d'égout) et corroder les tuyaux qu'ils soient en métal. Lorsqu'il est présent dans le gaz naturel, il corrode les matériels traditionnels tels que les tuyaux, les vannes, etc...

III.2.1.D.2- Fragilisation par l'hydrogène (FPH) en milieu aqueux contenant de l'H2S :

Les phases aqueuses contenant du sulfure d'hydrogène sont à l'origine de deux phénomènes de dégradation des aciers au carbone et faiblement alliés et dans une plus faible mesure des aciers inoxydables: une corrosion généralisée de la surface et une fragilisation par l'hydrogène (FPH). Alors que pour le premier type de dégradation les vitesses de corrosion sont bien connues et faible du fait de la très

bonne protectivité des sulfures de fer formés en phase aqueuse, le second type de dégradation est plus pernicieux. En effet le sulfure d'hydrogène est un promoteur puissant d'hydrogénation des aciers.

| Environnement corrosif | Mode de corrosion et matériaux concernés | Domaine Pétrolier |
|--------------------------------------|--|-------------------|
| eau liquide + CO ₂ | corrosion généralisée des aciers | Pro., Tr., Raf. |
| eau liquide + H ₂ S | fragilisation par l'hydrogène des aciers | Pro., Tr., Raf. |
| milieux alcalins | CSC des aciers au carbone | Pro., Tr., Raf. |
| alcools (méthanol, éthanol) | CSC des aciers au carbone | Pro., Tr., Raf. |
| solvants (amine) de gaz acides | CSC et généralisée des aciers | Tr., Raf. |
| acides polythioniques | CSC aciers inoxydables sensibilisés | Raf. |
| hydrogène en température | décarburation des aciers | Raf. |
| oxygène, vapeur d'eau en température | oxydation des aciers et alliages | Raf. |
| composés soufrés en température | sulfuration des aciers | Raf. |
| composés carbonés en température | carburation, cokage, metal dusting | Raf. |

Tableau III.2.1.D.2 Environnements corrosifs de l'industrie pétrolière

III.2.1.D.3- Mécanisme de la réduction de l'énergie de surface :

Ce mécanisme a été proposé par PETCH en 1956 [38]. Il suggère que l'adsorption superficielle d'hydrogène diminue l'énergie de surface du matériau.

Or, le critère de GRIFFITH relie la contrainte nécessaire σ_c pour propager une fissure superficielle préexistante de profondeur $2a$ dans un solide fragile au

module d'Young E , et à ' γ ' l'énergie de surface de ce solide :
$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot E}{\pi \cdot a}}$$

L'hydrogène adsorbé va donc abaisser la contrainte à rupture et favoriser la fissuration du matériau. Cependant, la présence des couches d'oxydes qui pourraient sensiblement diminué l'adsorption d'hydrogène n'est pas prise en compte, ce qui constitue une lacune importante de cette modélisation

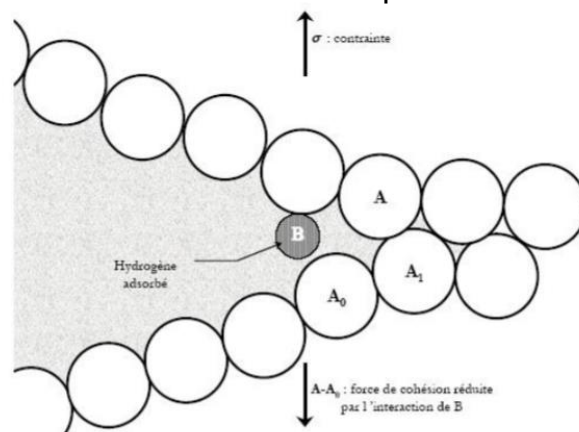


Fig III.2.1.D.3 : principe de la fragilisation par adsorption d'hydrogène

III.2.1.D.4- Théorie de l'énergie de décohésion du métal :

la présence d'hydrogène au front des fissures est à l'origine de la diminution de l'énergie cohésive du réseau cristallin. La présence d'un champ de contraintes triaxiales au front de la fissure provoque la diffusion de l'hydrogène dans le réseau cristallin et la diminution de l'énergie cohésive provoque l'avancement de la fissure. La présence d'hydrogène diminue la ténacité, aboutissant à la rupture prématurée.

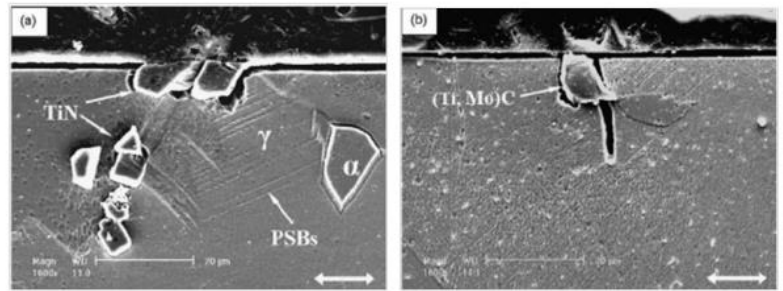
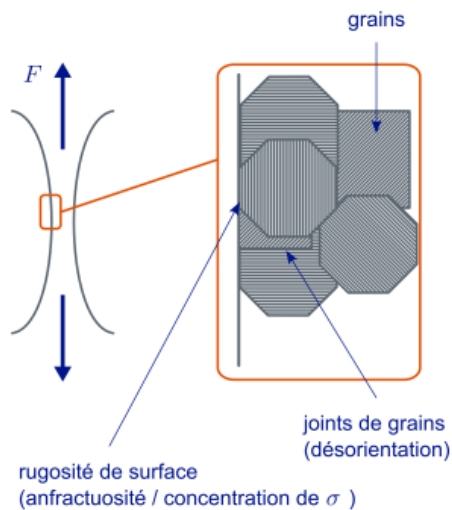
III.2.1.D.5- Phénomène de la corrosion par piqûre Lié à la présence du soufre :

la solubilité des inclusions de sulfure dans le métal, joue un rôle important dans l'amorçage des piqûres sur les aciers , c'est la corrosion par piqure

Peut être divisé en deux étapes :

III.2.1.D.5'- Amorçage des fissures :

Les piqûres constituent parfois des amorces de fissures. La durée avant amorçage correspond alors au temps d'incubation des piqûres. L'amorçage se fait généralement en surface du matériau ou à des interfaces , Des phénomènes lents de précipitation aux joints de grains peuvent progressivement sensibiliser un alliage à la corrosion intergranulaire et ainsi provoquer l'amorçage d'une fissure .parfois, l'hydrogène issu d'une corrosion en milieu acide s'accumule dans un métal susceptible de se fragiliser. Quand sa concentration atteint une valeur critique, une amorce de fissure apparaît par rupture fragile. Des ruptures successives du film passif, dues à sa fragilité ou à l'émergence de dislocations, peuvent en principe provoquer l'amorce de fissures tout en permettant aussi leur propagation. Les inclusions, microfissures ou autres défauts constituent dans certains cas des amorces de fissures préexistantes les éléments les plus efficaces semblent être le chrome, le molybdène et l'azote.



- piqûres et micro-fissures amorcées au cours d'un essai de fatigue-corrosion d'un acier inoxydable de type 316Ti autour d'une inclusion de : (a) TiN (b) (Ti, Mo)C [120]

Fig III.2.1.D.5' : Amorçage des fissures

III.2.1.D.5''- Propagation des fissures :

Deux mécanismes distincts peuvent contrer à la croissance des fissures :

Propagation par dissolution anodique et par dissolution cathodique .

Lors de la propagation des fissures par dissolution anodique ; une pile s'établit entre la pointe de la fissure active, et le reste de la surface métallique, passive.

La fissure croît par un enlèvement de matière à sa pointe, alors que ses parois sont protégées par un film passif. La vitesse de croissance est proportionnelle au courant partiel anodique à la pointe de la fissure . Comme la surface anodique est beaucoup plus petite que la surface cathodique, la densité de courant partiel anodique à la pointe de la fissure peut atteindre des valeurs très élevées.

Différentes théories tentent d'expliquer le rôle de la contrainte, notamment le modèle de propagation par dissolution due au glissement . Ce modèle suppose une déformation plastique à la pointe de la fissure. Le mouvement des dislocations dans les plans de glissement provoque la rupture du film passif et dénude le métal

Ce dernier peut alors subir une dissolution anodique avant de retourner à l'état passif. Ces cycles d'activation-passivation se répètent tant que la déformation plastique a lieu.

III.2.1.E- Les modèles de calcul de la durée de vie en fatigue-corrosion :

- Les modèles de calcul de la durée de vie en fatigue-corrosion considèrent la piqûre comme une fissure débouchant associée à un facteur d'intensité de contrainte. À partir d'une valeur seuil de ce facteur, la transition entre la croissance de la piqûre et la propagation d'une fissure de fatigue aura lieu.

L'endommagement dans ce cas suit un chemin spécifique contenant 7 étapes :

- initiation d'une piqûre ;
- développement de la piqûre ;
- transition piqûre / propagation fissure courte ;
- propagation d'une fissure courte ;
- transition fissure courte / fissure longue ;
- propagation d'une fissure longue ;
- rupture brutale.

Dans la suite de ce document nous citons les principaux modèles de prévision de la durée de vie en fatigue-corrosion basé sur la transition croissance d'une piqûre / propagation d'une fissure.

III.2.1.E.1- Modèle de Kondo [59] :

Kondo fut le premier à mettre en place un modèle de compétition entre la croissance des piqûres de corrosion et la propagation des fissures de fatigue. Cette hypothèse semble aujourd'hui être admise par la communauté scientifique. Le modèle de Kondo considère une taille moyenne de piqûre de forme hémisphérique de rayon « c », ce qui correspond à des piqûres obtenues sur ses éprouvettes en acier. La première hypothèse, vérifiée expérimentalement, est que le volume de la piqûre croît proportionnellement au temps "t" :

$$V = \frac{2}{3}\pi c^3 = \alpha t$$

(E.1)

Cette loi de croissance des piqûres n'est vraie que si la densité de courant reste constante au cours du temps, donc si le nombre de piqûres par unité de surface reste constant à potentiel constant. En introduisant le nombre de cycle « N » et la fréquence « f » dans la loi de croissance on obtient l'équation suivante :

$$c = C_p t^{1/3} = C_p \left(\frac{N}{f} \right)^{1/3} \quad (E.2)$$

$$C_p = \left(\frac{3\alpha}{2\pi} \right)^{1/3} \quad (E.3)$$

En différenciant l'équation (E.3) , on obtient le taux de croissance par cycle de la profondeur de la piqûre moyenne à courant constant :

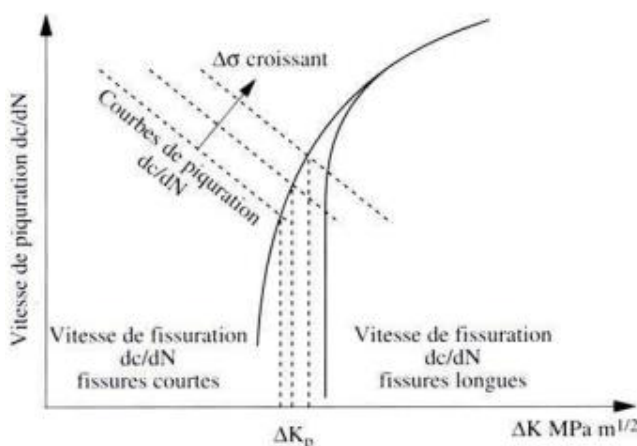
$$\frac{dc}{dN} = \frac{1}{3} C_p^{1/3} f^{-1} c^{-2} \quad (E.4)$$

Pour comparer les deux vitesses de croissance des piqûres et de propagation des fissures, il faut modifier l'équation (E.4) en fonction de « ΔK_{eq} » .

Kondo [59] a considéré que la piqûre se comporte comme une fissure associée à un facteur d'intensité de contrainte. Il a obtenu ainsi la loi d'évolution de la piqûration en fonction de « ΔK_{eq} »

$$\frac{dc}{dN} = \frac{1}{3} C_p^3 f^{-1} \left(\frac{\pi}{Q} \right)^2 \left(\frac{1,12\Delta\sigma}{\Delta K_{eq}} \right)^4 \quad (E.5)$$

Cette approche est basée sur la coexistence de deux processus en compétition, le processus le plus rapide gouvernant le mode d'endommagement en fatigue-corrosion (**Fig III.2.1.E.1**). L'avantage de la méthode de Kondo est qu'elle part d'une hypothèse qui a un véritable sens physique. Pour cela elle est reprise dans la plupart des travaux récents Chen [19], Shi [105], Magnin [68] et Van Der Walde[26].



(Fig III.2.1.E.1). Illustration de La compétition entre la croissance des piqûres et la propagation des fissures d'après Kondo [59]

III.2.1.E.2- Modèle de Chen [19] :

Chen a repris le modèle de Kondo, en considérant des piqûres de forme semi-elliptique pour s'approcher du cas réel (Fig III.2.1.E.2).

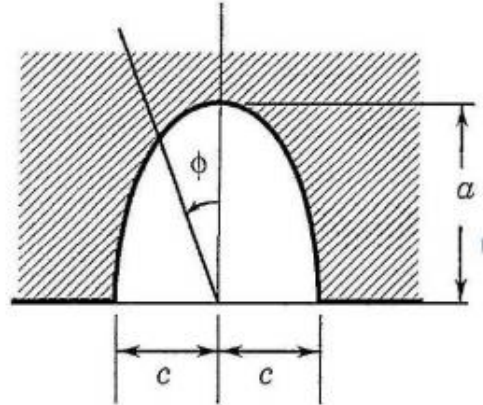


Fig III.2.1.E.2 - Schéma d'une piqûre équivalente de géométrie semi-Elliptique [19]

Chen considère, ensuite, que les piqûres croissent en gardant un rapport β constant entre le rayon « c » à la surface et la profondeur « a » :

$$\beta = \frac{c}{a} \quad (E.6)$$

En modélisant la piqûre comme une fissure semi-elliptique, il relie la loi de piqûration de Kondo à un facteur d'intensité de contrainte équivalent « ΔK_{eq} » :

$$\Delta K_{eq} = \frac{1,12k_t \Delta \sigma \sqrt{\pi c}}{\phi} \left(\sin^2 \theta + \beta^2 \cos^2 \theta \right)^{1/4} \quad (E.7)$$

$$\text{avec } \phi = \int_0^{\pi/2} \left(\sin^2 \theta + \beta^2 \cos^2 \theta \right)^{1/2} d\theta \quad (E.8)$$

Dans la même logique que le modèle de Kondo la transition aura lieu si le facteur d'intensité de contrainte équivalent pour une piqûre dépasse une valeur seuil

« ΔK_{th} » appelée aussi de transition « ΔK_{tr} » :

$$\Delta K_{tr} = \left[\frac{\pi (1,12k_t \Delta \sigma)^4}{2} \cdot \frac{C_p}{C_F^*} \cdot \frac{(\beta_{tr})^2}{(\Phi_{tr})^4} \right]^{\frac{1}{n+4}} \cdot \left(\frac{1}{f} \right)^{\frac{1}{n+4}} \quad (E.9)$$

III.2.1.F- Discussion :

Les modèles présentés sont des modèles de calcul relativement simple "mono-piqûres", en considérant soit une piqûre "moyenne" soit la piqûre la plus grande, comme critique pour l'amorçage d'une fissure. En effet, les sites d'amorçage de la corrosion ne sont pas répartis de façon homogène dans le métal. Dans la majorité des cas les hétérogénéités de type métallurgiques, inclusions par exemples, sont des sites privilégiés d'amorçage de la corrosion dans les alliages industriels. Elles apparaissent dans l'alliage d'une façon aléatoire, Au cours de processus de corrosion des piqûres très proches peuvent former une seule piqûre (phénomène de coalescence) et si on rajoute le chargement mécanique appliqué des zones d'interférences de contraintes entre deux ou plusieurs piqûres proches peuvent avoir lieu. Il apparaît donc tout à fait nécessaire de prendre en compte ces phénomènes dans les modèles de calcul de durée de vie.

III.2.1.G- Conclusion :

Afin d'identifier correctement les mécanismes d'amorçage de fissures en Fatigue-corrosion dans un milieu aqueux, de nombreux paramètres, à la fois Mécaniques , liés au matériau et physico-chimiques, sont à prendre en compte et à contrôler.

Certains modèles analytiques ont été développés ces dernières années. Néanmoins, des limitations s'imposent à l'utilisation de ces modèles du fait qu'ils n'intègrent pas les interactions locales corrosion-déformation cyclique. Certes ces approches constituent un moyen qualitatif d'analyse des mécanismes d'amorçage en fatigue-corrosion, mais la nécessité de trouver des moyens expérimentaux.

III.2.2- Déchirure du joint d'étanchéité :

III.2.2.A- Défaut de matériau :

Le matériau des joints de notre olive c'est le caoutchouc (NBR)

Les inconvénients du NBR sont ses limites de résistance à la température (110°C) d'une part, et aux acides puissants, d'autre part.



Fig III.2.2.A: Les joint en caoutchouc (NBR)

III.2.2.B- Décompression explosive :

III.2.2.B.1 - Indications visuelles :

La surface du joint peut être boursouflée, fissurée, craquelée avec des fentes profondes ou être complètement déchirée comme notre cas.



Fig III.2.2.B : joint fissuré

III.2.2.B.2 - Cause de problème :

Lorsque les joints en élastomères sont exposés à les gaz naturels à haute pression à des températures élevées pendant une période prolongée, le composé polymère absorbe du gaz. Lorsque la pression externe est réduite, le gaz dissout dans le matériau sort de la solution pour former des microbulles. Lorsque le gaz se dilate, il se dégage du matériau. Une défaillance se produit si la vitesse de décompression et de dilatation est élevée. Le gaz piégé dans le joint se dilate au-delà de la capacité du matériau à contenir les bulles de gaz.

III. Les Propositions

III.1- La prévention du risque de fragilisation par l'Hydrogène :

III.1.1- Rappel :

Pour mémoire sont concernés par le risque de fragilisation :

Les aciers à $R_m \geq 1000$ MPa traités

-Avec un revêtement de surface électrolytique : Zn, ZnNi, Cd, Cr, Ni, Ag, Sn ...

-Avec un traitement non électrolytique, mais avec une préparation de surface par attaque acide : phosphatation, brunissage ...

-Avec un revêtement de surface électrolytique et une préparation de surface par attaque acide

III.1.2- Le traitement de défragilisation :

On a choisi un traitement thermique après revêtements sur Fer ou acier pour

diminuer le risque de fragilisation par l'Hydrogène

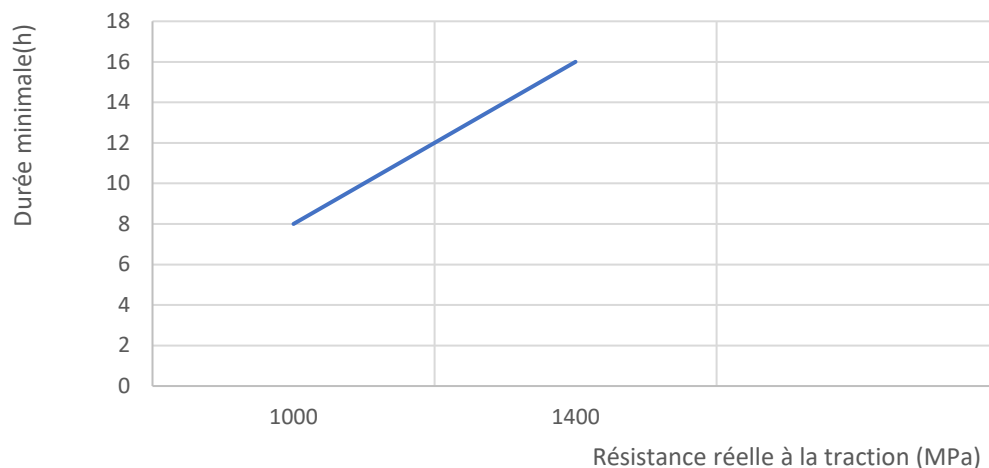


Fig III.1.2 : Relation entre le temps et la résistance à la traction pour un traitement de dégazage à une température comprise entre 190 °C et 220 °C

Remarque :

- Dégazage obligatoire pour Notre aciers ($R_m \geq 1000$ MPa)
- Dégazage effectué de préférence 1 H, et au maximum 3H après traitement
- Spécificité pour pièces avec filetages

III.1.3- Autres moyens de prévention :

Interdiction des préparations de surface par attaque acide avant le traitement de Surface , Remplacement par un sablage (ne pas confondre avec grenailage)



Fig III.1.3 : Prévention par sablage

III.1.4- Autres choix dans les typologies de revêtements :

Ne pas utiliser de dépôts électrolytiques (Zn, ZnNi)

Utiliser dépôts par immersion à froid (Le métal à déposer est maintenu dans un bain à une température légèrement supérieure à la température de fusion, donc très élevée. La pièce à revêtir est ensuite immergée dans le bain)

III.2- Prévention pour la corrosion par piqure :

III.2.1- Généralité :

D'après les experts, cela dépend de l'origine de la corrosion. Parfois, c'est une question de protection, il faut appliquer un revêtement. Cela concerne alors les applications extérieures. Pour une application intérieure, comme notre cas , il faut examiner la qualité du fluide. Le fluide, il peut s'agir d'un liquide ou d'un gaz.

Avec a fluides corrosifs, il faut alors choisir les bons matériaux pour les canalisations et les équipements et tenir compte des conditions d'utilisation. Un

fluide immobile entraîne souvent une corrosion accrue par rapport à un fluide en mouvement. Les températures plus élevées accentuent aussi la corrosion, sauf exception.

III.2.2- Choix du matériau :

III.2.2.A- 1^{er} Proposition :

Il en découle que le choix du matériau est très important. Lors du choix d'une solution, il faut choisir les meilleurs matériaux, en fonction du fluide, des conditions d'utilisation et de la durée de vie attendue. De nombreux matériaux sont disponibles. On peut opter pour des métaux austénitiques, dont le plus connu est l'**acier inoxydable type 304(L) ou 316(L)**. Un « L » est souvent ajouté au nom de ces métaux pour indiquer la faible teneur en carbone, ce qui rend le matériau plus facile à souder. La différence entre l'inox 304 et 316 est que l'inox 316 contient deux à trois parts de molybdène, ce qui est indiqué par Mo. Cet élément rend le matériau plus résistant à la corrosion par piqûres, caverneuse et de tension. Il y a encore d'autres métaux austénitiques, contenant de fortes proportions d'alliage avec du chrome, du nickel ou du molybdène. En présence d'un fluide encore plus corrosif, on ne tournera alors vers les alliages au nickel. L'ajout de molybdène à l'acier comme élément d'alliage améliore la résistance à la corrosion par piqûres.

III.2.2.B- 2^{ème} Proposition :

Des matériaux comme le **laiton** et le **Monel** sont moins sensibles à la corrosion par piqûres.

L'alliage de Monel K-500 : est connu pour être résistant aux émanations de gaz sulfureux et autres gaz acides et corrosifs. La combinaison, à la fois de très faibles vitesses de corrosion sous des flux très rapides d'eau de mer, et son excellente résistance mécanique rend le K-500, particulièrement adapté pour les arbres de

pompes centrifuges, en service dans la marine et inévitablement apparaissent des piqûres, mais l'apparition des piqûres est ralentie après l'attaque initiale et rapide.

III.2.2.C- Fiche technique d'alliage de Monel K-500 :

Le Monel k-500 C'est un Alliage de nickel-cuivre durcissable par précipitation grâce à l'ajout d'aluminium et de titane. Il associe la résistance à la corrosion du Monel 400 à l'avantage supplémentaire d'une solidité et dureté plus élevées (grâce à sa capacité de durcissement par vieillissement).

III.2.2.C.1- Composition chimique :

| Composition chimique | | | Spécifications |
|----------------------|-------|-------|--|
| Élément | Min % | Max % | |
| Ni | 63.00 | 70.00 | ASTM B865 BS 3075 NA 18 BS 3076 NA 18 ISO 15156-3 (NACE MR 0175) QQ-N-286 |
| Co | - | 2.00 | |
| Cu | 27.00 | 33.00 | |
| Fe | - | 2.00 | |
| Al | 2.30 | 3.20 | |
| C | - | 0.25 | |
| Si | - | 1.00 | |
| Mn | - | 1.50 | |
| Ti | 0.35 | 0.85 | |
| S | - | 0.01 | |

Tableau III.2.2.C.1 : Composition chimique de Monel k-500

III.2.2.C.2- Caractéristiques Mécanique :

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Densité | 8.44 g/cm ³ |
| Point de fusion | 1350°C |
| Coefficient d'Expansion | 13.7 µm/m °C (20 – 100°C) |
| Module de Cisaillement | 66 kN/mm ² |
| Module d'élasticité | 179 kN/mm ² |

Tableau III.2.2.C.1 : Caractéristiques Mécanique de Monel k-500

III.3- Prévention du risque de déchirure du joint d'étanchéité :

III.3.1- Joints d'étanchéité résistants à la décompression explosive :

Les joints toriques résistants à la décompression explosive (DE) sont généralement utilisés dans des applications à haute pression rencontrées dans l'industrie pétrolière.

III.3.2- Les normes internationales pour le test des élastomères dans des conditions DE :

- **NORSOK M-710:** « Qualification des matériaux d'étanchéité non métalliques et des fabricants - résistance à la décompression rapide du gaz (RGD) ».
- **TOTAL Spécification générale GS PVV 142 :** Annexe 8 « Procédure de test type de la décompression explosive des joints et joints toriques élastomères ».
- **NACE TM0297 :** « Effets de la décompression à haute température et à haute pression de dioxyde de carbone sur les matériaux élastomères ».
- **ISO 23936-2:** Section 7 et Annexe B « Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel : Matériaux non-métalliques en contact avec les fluides relatifs à la production de pétrole et de gaz - Partie 2 : Élastomères ».

III.3.3- Essais de décompression explosive :

Certain fabricants et développeurs de solutions d'étanchéité anti décompression explosive (ADE) abritent des installations de test DE modernes pour les caoutchoucs de l'industrie , Les bancs d'essai à haute pression sont capables de mettre sous pression un ensemble varié de géométries de joints allant jusqu'à 13,8 MPa ou 20000 psi quels que soient la durée, le nombre de cycles de dépressurisation et la température allant jusqu'à 250 °C. Les bancs peuvent être utilisés pour tester des matériaux conformément à diverses normes de l'industrie ou effectuer des essais sur mesure pour simuler les opérations réelles sur le terrain.

Les bancs d'essai sont capables de tester des matériaux conformément à des normes telles que TOTAL GS PVV 142, NORSOK M710, NACE TM0297 et ISO 23936-2 .

Conclusion Général

-La Tubing Head c'est une composante très importante dans la tête de puits ; Elle est Positionné à la partie inférieure sur l'assemblage de ce dernière . Elle est constituée par des plusieurs élément : Bride d'ancrage , des Pointeaux , Des goujons-écrous , Olive de suspension , des joints annulaires (joints d'étanchéité) avec leurs rainures ,des petites joints ... leur conception et production , fabrication , test , et contrôle de la qualité sont tous conformés à l'api 6A .

Et après nous avons reçu une plainte du client Pour nous informer qu'il y-a Un problème survenu pendant les travaux dans l'olive de suspension exactement . nous sommes immédiatement précipités pour inspecter les dégâts,et Nous avons analysé les problèmes qui était comme suit :

- 1- Fragilisation par hydrogène (FPH)
- 2- Corrosion par piqure
- 3- Déchirure de joint d'étanchéité

D'après nos recherches nous avons conclu les points suivants :

- 1-Présence d'une contrainte thermique (dilatation) .
- 2-Le phénomène FPH lié à la présence d'un gaz Naturel dangereux qui s'appel H₂S, leur hydrogène attaqué notre matériau 42CrMO4 et diminué L'énergie de surface de ce dernier.
- 3-Le phénomène de la corrosion par piqure lié à la présence de sulfure Qui joue un rôle important dans l'amorçage des piqures sur notre acier Ce amorçage provoquer la propagation des fissures .
- 4- La décompression rapide du gaz ou RGD est un mécanisme de défaillance des joints et des joints toriques élastomères provoquée par une réduction rapide de la pression d'un milieu gazeux. Le gaz qui a pénétré dans le joint élastomère se dilate violemment lorsque la pression est relâchée rapidement, provoquant une fissuration et une défaillance du joint.

Finalement nous avons proposé quelques solutions pour ces problèmes :

- 1-Un traitement de surface par sablage après un traitement de défragilisation.
- 2-Nous avons choisir plusieurs Matériaux et alliages résistants à la corrosion par piqure comme l'acier inoxydable type 304(L) ou 316(L), Le molybdène , le Monel K-500.
- 3- Joints d'étanchéité résistants à la décompression rapide du gaz de Normalisations internationales

Bibliographie

- [1] : ENSPM Formation Industrie-Stage ingénieur en sécurité industrielle (2000) LES ESSAIS De PUIITS objectifs, matériel de base,et Déroulement général
- [2] : Mémoire de fin d'étude [montage de tête de puits] (2010)
- [3] : Mémoire de fin d'étude [tête de puits] (2010)
- [4] : Sonatrach division forage Département Formation Module M1
- [5] : La fragilisation par Hydrogène des aciers à hautes caractéristiques
De Gilles CHOLVY -NEXTER Systems
- [6] : Normes de API 6A
- [7] : Guide d'utilisation des joints d'étanchéité -flygt a xylem brand
- [8] :Mémoire de master Optimisation de la production pétrolière par la technique UBD au champ de Hassi Messaoud « Cas du puits MDZ664»
- [9] : la Corrosion par piqûres et la Corrosion Caverneuse PUMPS PROCESS
MAGAZINE ISSUE 65 March 2010
- [10] : Precision Polymer Engineering guide de joint d'étanchéité
- [11] : Doctorat ParisTech Etude de la tenue en fatigue d'un acier inoxydable martensitique pour l'aéronautique en milieu marin
Corrosif de Mohamed EL MAY .
- [12] : Mémoire de master forage Etude et test de la tête de puits
- [13] : Wikipédia