

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

Licence professionnalisant en :

Génie de la Formulation

Thème :

**Contrôle de qualité du revêtement intérieur de la
pipe réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE
(Ghardaïa)**

Réalisé par :

BOUCHELGA Rania

Encadré par :

- M^{me} MERAKCHI Akila

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Au nom de Dieu, le Très Gracieux, le Très Miséricordieux, nous remercions Dieu Tout-Puissant de m'avoir donnée la santé, la volonté, la patience et les moyens pour me permettre d'accomplir cette humble œuvre.

Tout d'abord, j'exprime mon sincère gratitude envers ma promotrice, Mme MERAKCHI Akila, pour sa patience et sa disponibilité tout au long de ce projet. Ses conseils avisés et son soutien ont été essentiels à ma réussite.

Nous tenons également à remercier chaleureusement l'entreprise ALFAPIPE d'avoir accepté ma demande de formation et de m'avoir accordée les conditions propices pour mener à bien ma formation. Leur soutien m'a permis d'acquérir des connaissances précieuses dans mon domaine d'étude.

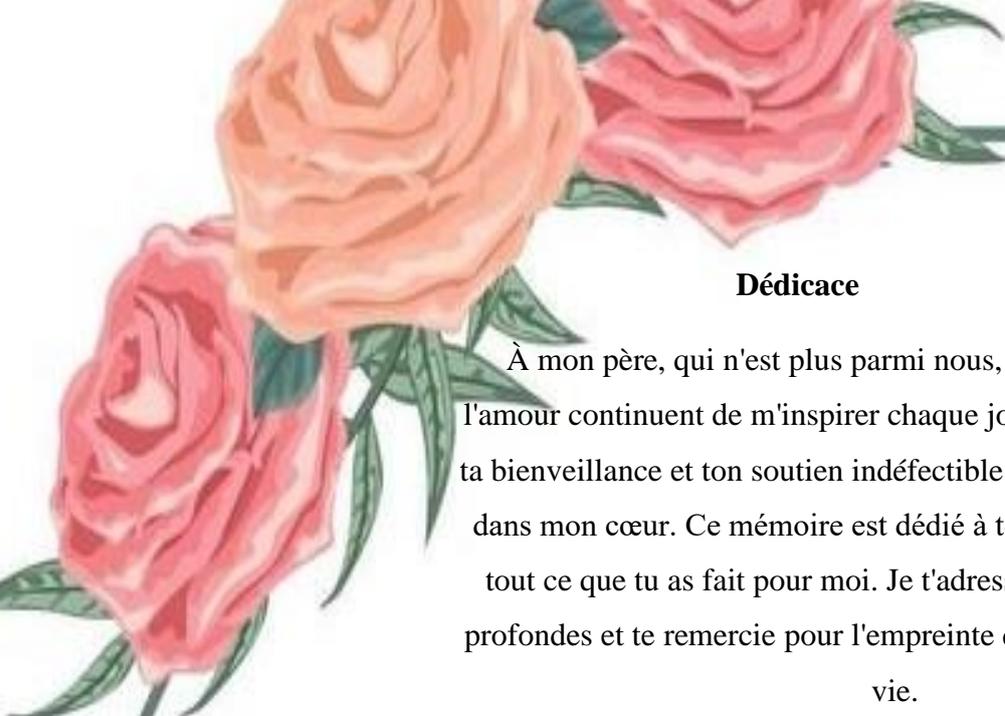
Mes remerciements vont également à toute l'équipe d'ALFAPIPE, ainsi qu'aux intervenants professionnels responsables de mon stage, pour leur contribution à l'élaboration de ce rapport. Leurs connaissances et leur expertise ont enrichi ce travail de manière significative.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à l'institut de technologie de l'Université de Bouira pour nous avoir offert l'opportunité de poursuivre une formation qui nous a préparés à la vie professionnelle. Leur soutien et leur engagement envers notre réussite sont inestimables.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide et leurs conseils précieux tout au long de cette formation. Leurs encouragements et leur soutien ont été essentiels pour surmonter les défis rencontrés.

Que Dieu récompense toutes les personnes mentionnées et celles qui ont contribué de quelque manière que ce soit, à la réalisation de ce projet.





Dédicace

À mon père, qui n'est plus parmi nous, mais dont la mémoire et l'amour continuent de m'inspirer chaque jour. Tes encouragements, ta bienveillance et ton soutien indéfectible resteront à jamais gravés dans mon cœur. Ce mémoire est dédié à toi, en reconnaissance de tout ce que tu as fait pour moi. Je t'adresse mes pensées les plus profondes et te remercie pour l'empreinte que tu as laissée dans ma vie.

À ma mère, un pilier de force et de tendresse. Ta présence inébranlable et tes sacrifices ont été une source d'inspiration incommensurable. Merci pour ton amour inconditionnel, ta patience et ta confiance en moi. Ce mémoire est dédié à toi, pour toutes les fois où tu as été mon roc et ma motivation. Je suis honorée de t'avoir comme mère et je te suis éternellement reconnaissante.

À mon meilleur ami MALIKA et KAWTHER, qui a été à mes côtés tout au long de ce parcours. Ta présence, ton soutien indéfectible et ta camaraderie ont été d'une valeur inestimable. Merci d'avoir cru en moi, de m'avoir encouragée et d'avoir partagé tant de moments de joie et de soutien. Ce mémoire est dédié à notre amitié, qui a été un moteur essentiel dans ma vie. Je te suis reconnaissante pour tout ce que tu as apporté à ma réussite.

À mon amie précieuse YOUSRA, qui a joué un rôle crucial dans la préparation de ce mémoire. Tes conseils éclairés, ton expertise et ton soutien sans faille ont grandement contribué à la qualité de ce travail. Je suis extrêmement reconnaissante de t'avoir à mes côtés pendant cette période et je dédie ce mémoire à notre amitié solide. Ta présence et tes précieuses contributions ont fait une différence significative.

À tous les êtres chers qui ont été là pour moi, je vous exprime ma profonde gratitude. Vos encouragements, vos conseils et votre amour ont été des piliers dans mon parcours. Je dédie ce mémoire à vous tous, en reconnaissance de votre présence et de votre soutien constant.

Que nos proches disparus veillent sur nous et que nos relations chéries continuent d'être une source d'inspiration dans nos vies.



Rania

Résumé :

Les étapes de fabrication des pipes réalisées dans le cadre de ce projet sont présentées de manière succincte ci-dessous :

1/ Obtention du tube soudé en spirale:

Le tube soudé en spirale est obtenu à partir d'un formage à froid d'une bobine d'acier, conformément aux normes API 5L. La soudure des bords est faite en automatique à l'arc immergé sous flux, l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur.

2/ Revêtement:

Le tube est protégé contre la corrosion par deux (02) revêtements (intérieur et extérieur)

3/ Contrôle de qualité:

Durant toute la phase de production, des contrôles rigoureux et des essais sont effectués à tous les stades de fabrication assurant au final, un produit aux performances élevées, conforme aux normes internationales.

4/ Stockage:

Lestubes fabriqués et prêts à l'emploi, sont d'abords stockés dans le parc de l'unité puis transportés ensuite pour être stockés sur sites.

-Mot clés : tubes soudés en spirale, revêtements intérieur et extérieur, contrôle qualité, stockage,

تلخيص:

تم تلخيص مراحل تصنيع الأنابيب التي تمت في إطار هذا المشروع كما يلي:

1 / الحصول على الأنابيب الملحوم باللولب:

يتم الحصول على الأنابيب الملحوم باللولب من خلال عملية تشكيل باردة للفولاذ الملف، وفقاً لمعايير API 5L. تتم عملية لحام حوافه بشكل تلقائي باستخدام لحام القوس المغمور تحت الزائدة، واحدة من الداخل والأخرى من الخارج.

2 / التغليف:

يتم حماية الأنابيب من التآكل باستخدام طبقتين (داخلية وخارجية)

3 / مراقبة الجودة:

خلال مرحلة الإنتاج بأكملها، يتم إجراء فحوصات صارمة واختبارات في جميع مراحل التصنيع لضمان منتج عالي الأداء في النهاية يتوافق مع المعايير الدولية.

4 / التخزين:

يتم تخزين الأنابيب المصنعة وجاهزة للاستخدام أولاً في ساحة الوحدة ومن ثم نقلها للتخزين على المواقع. -كلمات مفتاحية : أنابيب ملحومة باللولب، تغليف داخلي وخارجي، مراقبة الجودة، التخزين".

Summary:

The (4) different stages of pipe manufacturing carried out in this work are summarized below:

1/ Obtaining the spiral welded tube:

The spiral-welded tube is obtained by cold forming a steel coil in accordance with API 5L standards. The edge welding is done automatically using submerged arc welding, one on the inside and the other on the outside.

2/ Coating:

The tube is protected against corrosion by two (02) coatings (you did not provide the type of coating) (interior and exterior).

3/ Quality control:

Throughout the production phase, rigorous checks and tests are carried out at all manufacturing stages, ensuring a high-performance product that complies with international standards.

4/ Storage:

The manufactured and ready-to-use tubes are first stored in the unit's yard and then transported to be stored on-site.

Table des matières

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Fiche technique de l'Entreprise ALFAPIPE

I.1 Historique.....	3
I.2 Présentation de l'unité ALFAPIPE	4
I.3 Domaine d'activité de l'entreprise	5

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

II .1 Fabrication des tubes soudés en spirale	6
II .1.1 Bobinage de la bande d'acier.....	6
II .1.2 Préformage.....	6
II .1.3 Soudage en spirale	6
II .1.3.1 Soudage extérieur	6
II .1.3.2 Soudage intérieur	7
II .1.4 Contrôle de qualité et finition	7
II.1.4.1 Contrôles non destructifs (CND)	7
II .1.4.2 Contrôles destructifs (CD)	8
II.2. Phénomènes de dégradation des tubes en acier	10
II.2.1. Protection cathodique	10
II.2.2. Protection par couche organique (peinture par poudre époxy)	11

Chapitre III : Suivi du revêtement des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.1. Types du revêtement	13
III.1.1. Revêtement interne.....	13
III.1.2. Revêtement externe	13
III.2. Processus de revêtement extérieur.....	13
III.2.1. Préparation de la surface	14
III.2. 2.Revêtement de tubes.....	14

III.2. 3. Brossage de tubes	16
III.3. Revêtement intérieur	16
III.3.1. Préparation de la surface	17
III.3. 2. Machine d'époxy	17
III.3.3. Marquage.....	18
III.3.4. Contrôle de la qualité du revêtement intérieure.....	21
III.3.4.1 Equipement d'essais de production	21
III.3.4.2. Caractéristiques mesurables	23
III.3.4.3. Prise en charge des éprouvettes	23
III.3.4.4. Mode de séchage des panneaux.....	24
III.3.4.5. Réalisation des essais	24
III.3.4. 5.1. Test de trous d'épingle	24
III.3.4.5.2. Test d'épaisseur	25
III.3.4.5.3 Test d'adhérence.....	25
III.3.4.5.4 Test de pelage	26
III.3.4. 5.5 Test de Pliage	27
III.3.4.5.6 Test d'immersion dans le diluant.....	27
III.3.4.5.7 Test d'immersion dans l'eau salée.....	28
Conclusion.....	29
Référence bibliographiques	

Liste des figures

Figure I. 1 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA	4
Figure II. 1 : Bobinage de la bande d'acier	7
Figure II. 2 : Machine à soudée tête de soudage extérieur	7
Figure II. 3 : Machine à soudée tête de soudage intérieur	7
Figure II. 4 : Schéma synoptique du procédé de fabrication des tubes	9
Figure III. 1 : Séchage du tube	14
Figure III. 2 : Revêtement extérieure des tubes (époxy, adhésif, PE)	15
Figure III. 3 : Refroidissement laminaire des tubes	16
Figure III. 4 : Schémas synoptiques du procédé de revêtement intérieur.....	16
Figure III. 5 : Séchage intérieur du tube.....	17
Figure III. 6 : Grenailleuse intérieur.....	18
Figure III. 7 : Marquage des tubes.....	18
Figure III.8 : Schéma synoptique du processus de revêtement extérieur du tube	19
Figure III.9 : Schéma synoptique du procédé de revêtement intérieur du tube.....	20
Figure III. 10 : Etuveuse de séchage N°1	21
Figure III. 11 : Etuveuse de séchage N° 2.....	21
Figure III. 12 : Boite de trous d'épingle	22
Figure III. 13 : Micro test	22
Figure III. 14 : Plieuse conique	22
Figure III. 15 : Thermomètre.....	22
Figure III. 16 : Couteau	22
Figure III. 17 : Ruban adhésif	22
Figure III. 18 : Diluant	22
Figure III. 19 : Eau salée	22
Figure III. 20 : panneau de verre	23
Figure III. 21 : Panneau métallique	23
Figure III. 22 : Panneaux revêtu (métallique et de verre	23
Figure III. 23 : Séchage dans l'étuve N°01	24
Figure III. 24 : Séchage dans l'étuve N°02	24
Figure III. 25 : Test de trous d'épingle.....	25

Figure III. 26 : Résultat de test de trous d'épingle	25
Figure III. 27 : Mesure de l'épaisseur	25
Figure III. 28 : Résultat de la mesure de l'épaisseur	25
Figure III. 29 : Teste d'adhérence	26
Figure III. 30 : Résultat du test d'adhérence	26
Figure III. 31 : Teste du pelage	26
Figure III. 32 : Résultat du test de pelage.....	26
Figure III. 33 : Test de pliage	27
Figure III. 34 : Résultat de test de pliage.....	27
Figure III. 35 : Test d'immersion dans le diluant	27
Figure III. 36 : Résultat du test.....	27
Figure III. 37 : Test d'immersion dans l'eau salée.....	28
Figure III. 38 : Résultat du test.....	28

Introduction

Introduction

La société ALFAPIPE produit des canalisations en acier pour transporter du gaz naturel sous pression. Sa capacité de production annuelle est d'environ 250 km de longueur de pipe par an. Les pipelines enterrés sont exposés à un environnement humide et donc à un risque de corrosion dans les sols. De ce fait, une couche protectrice anticorrosive est appliquée afin de diminuer ce problème. [1]

Une double protection est actuellement mise en œuvre, comprenant la pose d'un revêtement organique anticorrosion avant l'installation des canalisations et l'application d'une protection cathodique pendant toute la durée de leur exploitation. [2]

Le succès de la protection contre la corrosion externe dépend en grande partie de l'aptitude du revêtement à offrir tout au long de la durée de vie de la canalisation une barrière efficace à la pénétration de l'oxygène, des ions de l'eau et de la vapeur d'eau vers la surface de l'acier.

Le revêtement polyoléfine tri-couche est constitué d'une sous couche mince d'époxy, d'une couche mince d'adhésif à base de copolymères de polyoléfine et d'une couche supérieure de plusieurs millimètres d'épaisseur, le plus souvent en polyéthylène. L'époxy sert comme adhérent tandis que le polyéthylène forme le revêtement épais de protection. L'adhésif assure un lien optimal entre le polyéthylène de nature très apolaire et l'époxy de nature très polaire. Ce système de revêtement bénéficie ainsi de très bonnes qualités d'adhérence, d'excellentes propriétés barrières, d'une faible sensibilité au décollement cathodique et de très bonnes propriétés mécaniques. [3]

L'objectif de ce travail consiste à contrôler la qualité du revêtement intérieur anticorrosion de la pipe avant son utilisation, pour cette raison, on a effectué plusieurs essais au niveau de la société ALFAPIPE sur les différents matériaux, constituant le revêtement, à savoir : l'époxy, l'adhésif et le polyéthylène extrudé selon les normes et les exigences des clients de Sonatrachet des autres sociétés pétrolières, ainsi que les conditions de la mise en œuvre du pipeline. Le présent mémoire est structuré en trois chapitres et clôturé par une conclusion.

- Le premier chapitre donne la fiche technique de l'entreprise ALFAPIPE.

- Le deuxième chapitre est consacré à une synthèse théorique, englobant des généralités sur la fabrication des tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers.
- Le dernier chapitre présente la partie expérimentale de ce travail et décrit le procédé du revêtement extérieur et intérieur des tubes en acier ainsi que les différents essais de contrôle de qualité effectués au niveau du laboratoire de la société sur le revêtement intérieur pour chaque arrivage de la matière première afin d'assurer leur qualité et la comparer avec les normes.

Chapitre I:

*Fiche technique de l'entreprise
ALFAPIPE*

Chapitre I :Fiche technique de l'Enterprise ALFAPIPE

I.1 Historique

Historique D'ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa :

- Implantée dans la zone industrielle de Bounoura, à 10 km du chef-lieu de lawilaya de Ghardaïa, en production depuis 1977.
- Superficie de 230 000 m².
- L'effectif s'élève en moyenne à 850 employés.
- Sa spécialité est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale revêtus extérieurement en Polyéthylène tri-couches et intérieurement en peinture époxydique (gaz ou alimentaire) selon les normes internationales de différents diamètres et épaisseurs, adéquats à différents buts d'utilisation :
 - La construction des pipelines (gazoducs et oléoducs).
 - Les grands transferts d'eau entre les barrages et les agglomérations.
 - Les activités des travaux publics. [4]

Autres indications

Usine certifiée ISO 9001 Version 2015, API Q1 et API Spec. 5L depuis 2001, gage d'un produit de qualité répondant aux normes internationales. Laboratoire accrédité ISO CEI 17025 version 2005 depuis juillet 2018 par ALGERAC (Traction, résilience, pliage et analyse chimique).

Soit une Fourniture de 6.000 Km de tubes hydrocarbures (Oléoduc et Gazoduc) et plus de 1.000 Km de tubes fournis aux différents grands projets de transfert d'eau. Ces projets ont été réalisés depuis le démarrage de la production en 1977 par une chaîne de production de 04 lignes de production avec une capacité annuelle d'environ 100.000 tonnes/an selon leurs caractéristiques suivantes :

Diamètres : de 20'' (508mm) à 64'' (1.625mm).

Epaisseurs : 7.92 mm à 14.30 mm.

Nuance d'acier : X 42 – X 52 – X 60 – X 70 – X 80 (psl1, psl2).

Longueur du tube : de 7 à 14 mètres [4].

Chapitre I :Fiche technique de l'Entreprise ALFAPIPE

I. 2 Présentation de l'unité ALFAPIPE

ALFAPIPE GHARDAIA, Implantée à la zone industrielle de Bounoura à Ghardaïa, à 10 km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 230 000 m² et son effectif s'élève en moyenne à 700 employés. En production depuis 1977.

Sa spécialité est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale (de diamètre 16 à 64 pouces, d'épaisseur 7,92 à 15 mm et d'une longueur de 7 à 13 m), adéquats à différents buts d'utilisation :

- La construction de pipelines (gazoducs et oléoducs).
- Les grands transferts d'eau entre les barrages et les agglomérations.
- Les activités des travaux publics. [4]



Figure I. 1: Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA.

BP.78, Zone Industrielle Bounoura, 47000 Ghardaïa

Tél : +213(0) 29873062/ 029873442

Fax : +213 (0) 29873300

E-mail : Ghardaïa@alfapipe-dz.com

Sa taille salariée : plus de 500 salariés (Grande)

Son secteur d'activité : Secondaire

Superficie : de 230 000 m

En production depuis 1977.



Chapitre I :Fiche technique de l'Entreprise ALFAPIPE

I. 3 Domaine d'activité de l'entreprise

L'entreprise ALFA PIPE transforme les bobines en tubes spirales pour transporter le pétrole, le gaz, l'eau et tous autres liquides sous haute pression.

➤ **Pipeline**

Oléoducs (transport du pétrole).

Gazoducs (transport du gaz).

➤ **Hydraulique**

Transport d'eau.

Alimentation en eau potable.

Infrastructure hydraulique.

Assainissement (égout).

Drainage.

Chapitre II :

*Tubes soudés en spirale et
phénomènes de dégradation des
aciers*

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

Les tubes soudés en spirale sont des tubes métalliques fabriqués en formant une bande d'acier en une spirale continue, puis en soudant les bords ensemble le long de spirale. Cette méthode de fabrication crée des tubes résistants et durables, adaptés à une variété d'applications industrielles.

Ces tubes sont généralement utilisés pour le transport de fluides tels que le pétrole, le gaz naturel, l'eau et d'autres liquides ou gaz à haute pression. Leur permettant d'avoir une résistance structurelle élevée, afin de résistance aux contraintes et aux pressions élevées auxquelles ils peuvent être soumis lors du transport de fluides. [5]

II .1 Fabrication des tubes soudés en spirale :

Le processus de fabrication des tubes soudés en spirale, également connus sous le nom de tubes en acier à couture hélicoïdale, implique plusieurs étapes. [6]

II .1.1 Bobinage de la bande d'acier : La première étape consiste à dérouler une bobine d'acier et à le passer à travers une série de redresseurs et de cisailles pour obtenir une bande d'acier continue et rectiligne. La largeur et l'épaisseur de la bande d'acier dépendent des spécifications du tube final.

II .1.2 Préformage : La bande d'acier passe ensuite à travers une machine de préformage qui la façonne en une forme hélicoïdale. Cela peut être réalisé en utilisant des rouleaux profilés spécialement conçus qui courbent la bande d'acier selon le diamètre et l'angle souhaités.

II .1.3 Soudage en spirale : Une fois que la bande d'acier est en forme hélicoïdale, les bords de la bande sont alignés et soudés en continu pour former un tube. Le soudage est effectué à la fois à l'intérieur et à l'extérieur.

II .1.3.1 Soudage extérieur : Dans le soudage extérieur, la soudure est réalisée sur la partie externe du tube. Lorsque la bande d'acier est formée en une spirale et les bords sont alignés, le processus de soudage est effectué sur la surface extérieure du tube. Cela signifie que le cordon de soudure est visible à l'extérieur du tube après le soudage.

II .1.3.2 Soudage intérieur : Dans le soudage intérieur, la soudure est réalisée à l'intérieur du tube. Après la formation de la spirale et l'alignement des bords, le processus de la soudure est effectué sur la surface intérieure du tube. Cela signifie que le cordon de soudure est caché à l'intérieur du tube et n'est pas visible à l'extérieur.

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers



Figure II. 1: Bobinage de la bande d'acier.



Figure II. 2: Machine à soudée tête de soudage intérieur.



Figure II. 3 : Machine à soudée tête de soudage extérieur.

II .1.4Contrôle de qualité et finition : Une fois que le tube a été soudé en spirale, il passe par un processus de contrôle de qualité pour vérifier l'intégrité de la soudure et les dimensions du tube. Les contrôles non destructifs (CND) et les contrôles destructifs (CD) sont deux types d'examens utilisés dans l'inspection et l'évaluation de la qualité des matériaux et des structures. [7]

II .1.4.1 Contrôles non destructifs (CND)

Les contrôles non destructifs sont des méthodes d'inspection qui permettent d'évaluer les défauts ou les anomalies d'un matériau ou d'une structure sans altérer sa fonctionnalité ou sa durabilité. Les CND sont souvent utilisés pour la détection précoce des défauts, l'évaluation de l'intégrité structurale et la garantie de la qualité des produits. Voici quelques techniques couramment utilisées pour les CND :

- Le contrôle dimensionnel des tubes (diamètre, longueur, épaisseur et la géométrie de la soudure ;
- Le contrôle aux ultrasons du cordon de soudure ;

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

- -Le contrôle de la soudure par magnétoscopie, radiographie et radioscopie ;
- -Le contrôle d'étanchéité et l'épreuve hydro statique.

Ces techniques de CND permettent d'identifier les défauts sans endommager le matériau ou la structure, ce qui les rend particulièrement utiles pour l'inspection régulière, la maintenance préventive et l'évaluation de la qualité.

II .1.4.2 Contrôles destructifs (CD)

Les contrôles destructifs, comme leur nom l'indique, impliquent la destruction partielle ou totale de l'échantillon pour effectuer les tests. Ces tests fournissent des informations précises sur les propriétés mécaniques, chimiques ou physiques d'un matériau, mais ils rendent l'échantillon inutilisable après l'essai. Les CD sont généralement effectués dans un environnement de laboratoire et sont souvent utilisés pour des échantillons représentatifs plutôt que pour des produits finis. Quelques exemples de contrôles destructifs sont donnés ci-après :

- Les essais de traction, de pliage, de dureté, de résilience et de DWTT (Drop-Weight Tear Test) sont effectués sur des éprouvettes prélevées sur la bobine et sur le tube. Ces essais sont effectués selon la norme API 5L.
- Les essais chimiques pour déterminer les taux d'alliage en carbone, soufre, phosphore, Silicium, manganèse, niobium, vanadium, titane.

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

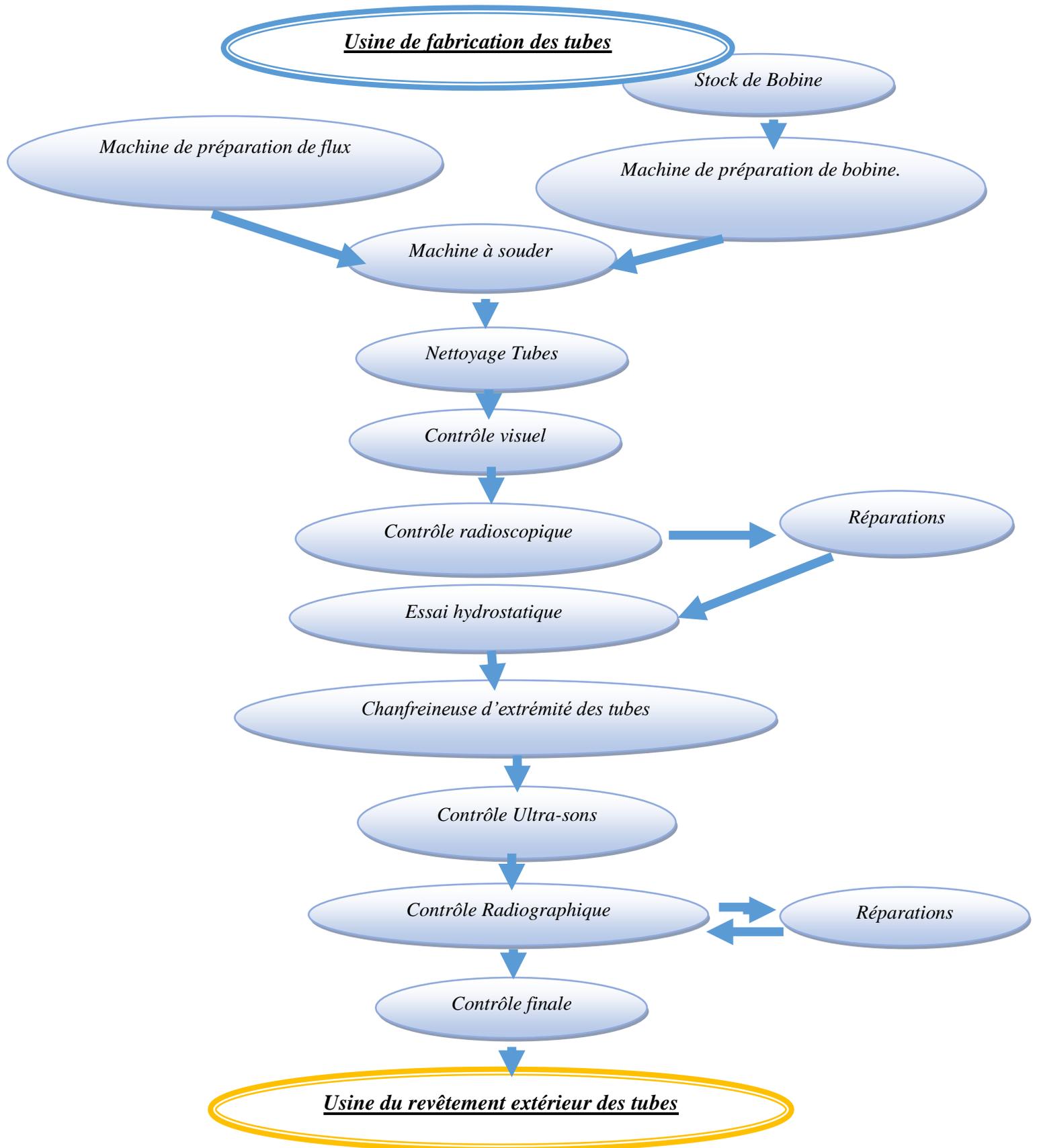


Figure II. 4: Schéma synoptique du procédé de fabrication des tubes.

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

II.2. Phénomènes de dégradation des tubes en acier

Les partenaires industriels utilisent deux types de protections complémentaires pour protéger les canalisations en acier potentiellement soumises à l'action corrosive du milieu sol. Une protection passive (revêtement protecteur épais) et une protection active électrochimiquement (protection cathodique).

Les manifestations de la corrosion sont nombreuses et une description complète de ces phénomènes nécessite de prendre en compte les caractéristiques structurales du matériau et la nature précise du couple matériau/milieu, sachant que les réactions vont se produire à l'interface entre le milieu ambiant et le métal. Il existe deux cas principaux qui peuvent conduire à des effets de décollement du revêtement protecteur, précurseurs de la corrosion :

- L'existence d'un défaut physique macroscopique du revêtement qui met localement à nu le métal en contact direct avec le milieu extérieur (défauts apparus lors de la fabrication, de la pose ou de l'exploitation de la canalisation).
- La pénétration lente de la vapeur d'eau, de gaz corrosifs (oxygène, gaz carbonique) ou d'ions au travers du matériau (vieillesse physico-chimique du matériau) depuis la surface externe jusqu'à l'interface avec le métal.

Ces deux types de configurations sont susceptibles d'engendrer localement un endommagement du métal par corrosion.

Pour accroître la durée de vie de ses ouvrages, l'entreprise industrielle utilise deux types de protections complémentaires couplées l'une à l'autre pour garantir une bonne protection des canalisations.

- ✓ La protection cathodique dite protection active.
- ✓ La protection par couche organique dite protection passive. [8]

II.2.1. Protection cathodique

La protection cathodique est une technique utilisée pour prévenir la corrosion des structures métalliques en les rendant cathodiques par rapport à leur environnement corrosif. Elle fonctionne en fournissant une source de courant électrique externe ou en utilisant des anodes sacrificielles pour maintenir les structures métalliques à un potentiel électrique suffisamment bas pour empêcher la corrosion. [9]

Il existe deux principaux types de protection cathodique

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

1. Protection cathodique par courant imposé : Dans ce type de protection cathodique, une source de courant électrique externe, telle qu'un redresseur, est utilisée pour fournir un courant continu aux structures métalliques. Ce courant agit comme un flux d'électrons qui s'oppose à la réaction de corrosion, réduisant ainsi le potentiel de corrosion et empêchant la corrosion de se produire. Cette méthode est généralement utilisée pour les structures métalliques enterrées, telles que les pipelines.

2. Protection cathodique par anodes sacrificielles : Dans ce type de protection cathodique, des métaux plus actifs électro chimiquement que la structure métallique à protéger sont utilisés comme anodes sacrificielles. Les anodes sacrificielles, souvent en magnésium ou en zinc, sont connectées électriquement à la structure métallique et se corroderont préférentiellement à la place de la structure. En se corrodant, les anodes fournissent des électrons à la structure métallique, la maintenant à un potentiel de corrosion bas et prévenant ainsi la corrosion.

La protection cathodique est largement utilisée dans des applications telles que les pipelines, les réservoirs de stockage, les structures marines, les conduites d'eau et d'autres infrastructures métalliques exposées à des environnements corrosifs. [10]

II.2.2. Protection par couche organique (peinture par poudre époxy)

La protection par couche organique, également appelée revêtement organique, est une méthode utilisée pour prévenir la corrosion des surfaces métalliques en appliquant une couche de revêtement à base de composés organiques. Ce revêtement crée une barrière physique entre le métal et l'environnement corrosif, empêchant ainsi la corrosion. [11]

Caractéristiques et avantages de la protection par couche organique

Barrière protectrice : La couche organique forme une barrière physique qui empêche l'oxygène, l'humidité, les produits chimiques corrosifs et d'autres agents corrosifs d'entrer en contact direct avec la surface métallique.

Variété de revêtements : Il existe une large gamme de revêtements organiques disponibles, tels que les revêtements époxy, les revêtements polyuréthane, les revêtements en caoutchouc, les revêtements en polymères fluorés, etc. Ces revêtements peuvent être choisis en fonction des conditions d'exposition et des exigences spécifiques de l'application.

Chapitre II : Tubes soudés en spirale et phénomènes de dégradation des aciers

Résistance à la corrosion : Les revêtements organiques sont conçus pour être résistants à la corrosion et aux agents chimiques agressifs, offrant ainsi une protection durable aux surfaces métalliques.

Flexibilité : Les revêtements organiques sont souvent flexibles, ce qui leur permet de s'adapter aux mouvements, aux dilatations thermiques et aux vibrations des structures métalliques, réduisant ainsi le risque d'endommagement du revêtement.

Application facile : Les revêtements organiques peuvent être appliqués sur les surfaces métalliques de différentes manières, telles que la pulvérisation, le trempage, le brossage ou le laminage. Cette flexibilité d'application facilite leur utilisation dans différentes configurations et formes de structures métalliques. [12]

Chapitre III :

*Suivi du revêtement organique
des tubes soudés en spirale
réalisé au niveau de l'entreprise
ALFAPIPE*

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

Le revêtement des tubes soudés en spirale est une étape cruciale dans la construction des pipelines. Il s'agit d'appliquer une couche protectrice sur la surface des tubes afin de prévenir la corrosion et d'assurer la durabilité du pipeline. Le revêtement des tubes en spirale peut être réalisé en utilisant différentes méthodes, avec l'une des approches les plus courantes étant l'utilisation de revêtements à base d'époxy. Ces revêtements offrent une excellente résistance à la corrosion et sont largement utilisés dans l'industrie des pipelines.

III.1. Types du revêtement

Une fois les tubes soudés en spirale sont préparés, il est courant d'appliquer deux types de revêtements : le revêtement interne et le revêtement externe. [13]

III.1.1. Revêtement interne : Le revêtement interne est appliqué à l'intérieur des tubes soudés en spirale par la poudre époxy. Son objectif principal est de protéger la surface interne contre la corrosion causée par les fluides transportés dans le pipeline, tels que l'eau, le gaz ou le pétrole. En plus de prévenir la corrosion, le revêtement interne peut également réduire la friction et la résistance au flux, améliorant ainsi l'efficacité du transport des fluides. [14]

III.1.2. Revêtement externe : Le revêtement de la surface externe du tube est constitué principalement d'une couche primaire à base de résines époxydes, une couche intermédiaire d'un copolymère et une couche finale à base de polyéthylène à haut densité (PEHD), quant à lui, est appliqué sur la surface externe des tubes soudés en spirale. Son rôle principal est de protéger le métal contre la corrosion due aux conditions environnementales, telles que l'humidité, l'exposition aux produits chimiques et les rayons UV. En plus de préserver l'intégrité structurelle du pipeline, le revêtement externe peut également améliorer l'esthétique et faciliter la détection précoce des dommages éventuels. [15]

En combinant ces deux types de revêtements, à la fois interne et externe, on obtient une protection complète et robuste contre la corrosion, assurant ainsi la longévité et la performance optimale des pipelines.

III.2. Processus de revêtement extérieur

- Préparation de la surface ;
- Revêtement de tubes ;
- Brossage des tubes.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.2.1. Préparation de la surface

La phase de préparation de la surface a lieu dans la zone fonctionnelle 01, également connue sous le nom de « Partie entrée ». Les tubes à enrober proviennent directement de la tuberie spirale et sont généralement livrés par camion. Une fois arrivés, ils sont déposés sur la grille d'entrée, les tubes sont déplacés de manière hélicoïdale sur le convoyeur à rouleaux pour traverser l'installation de séchage.

Une fois que le tube a été séché dans l'installation, il est ensuite raccordé à nouveau manuellement à l'aide d'outils spéciaux jusqu'à atteindre les injecteurs du convoyeur à rouleaux de la grenailleuse.

Dans la grenailleuse, le tube est grenailé par le dessous grâce à deux turbines de grenailage. Si le mélange de grenaille ronde et angulaire est correctement dosé et les turbines chargées comme il faut, cela permet d'obtenir une rugosité suffisante ainsi que le degré de pureté requis par la norme DIN 55928.

Avant d'être déposé sur le convoyeur à rouleaux de revêtement, le tube doit être nettoyé à l'intérieur et à l'extérieur. Pour effectuer cette opération de nettoyage, le tube est positionné dans un dispositif de centrage. Une lance est ensuite utilisée pour souffler de l'air comprimé dans le tube, tout en aspirant simultanément et filtrant la poussière à l'extrémité du tube.

Une fois nettoyés, les tubes sont ensuite renvoyés au convoyeur en amont du poste de séchage de tubes afin d'être enrobés. [16]



Figure III. 1: Séchage du tube.

III.2. 2.Revêtement de tubes

Le revêtement extérieur est effectué selon le procédé à trois (03) couches :

- Couche de résine époxy ayant une épaisseur d'environ « 60-80µm ».

L'application se fait par pulvérisation électrostatique ;

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

- Une couche d'agent adhésif ayant une épaisseur d'environ « 250-300 μm » est application sur le tube sous forme de feuille selon le procédé d'enrobage.
- Couche de polyéthylène ayant une épaisseur d'environ « 2.2-3.5 μm ».

Cette couche est enrobée sur le tube sous forme de feuille avec l'agent adhésif.

La phase de revêtement a lieu dans la zone fonctionnelle 02, également appelée « Partie revêtement ». Les tubes sont positionnés sur la grille de stockage en amont de l'entrée de la ligne de revêtement de manière à ce que tous les débuts de tubes forment une ligne fixe. Ils sont chauffés à la température nécessaire pour le type de revêtement à appliquer grâce à une bobine d'induction.

Lorsque le tube passe à travers la cabine de pulvérisation d'époxy, l'agent adhésif appliqué sur la couche de basse en époxy sert de colle entre la couche de résine d'époxy et la couche de PE. Pour le revêtement en Polyéthylène, deux extrudeuses à une vis sont utilisées, reliées à la filière d'extrusion par des tuyauteries chauffées électriquement.

Une fois que les tubes sont séparés, ils entrent dans le tronçon de refroidissement par eau, qui se fait sans pression. Ce refroidissement améliore la formation d'une couche de PE à surface lisse et empêche l'adhérence de la couche de PE encore fraîche.

Enfin, les tubes refroidissent passe à la zone suivante pour être brossés. [16]



Figure III. 2: Revêtement extérieure des tubes (époxy, adhésif, PE).

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE



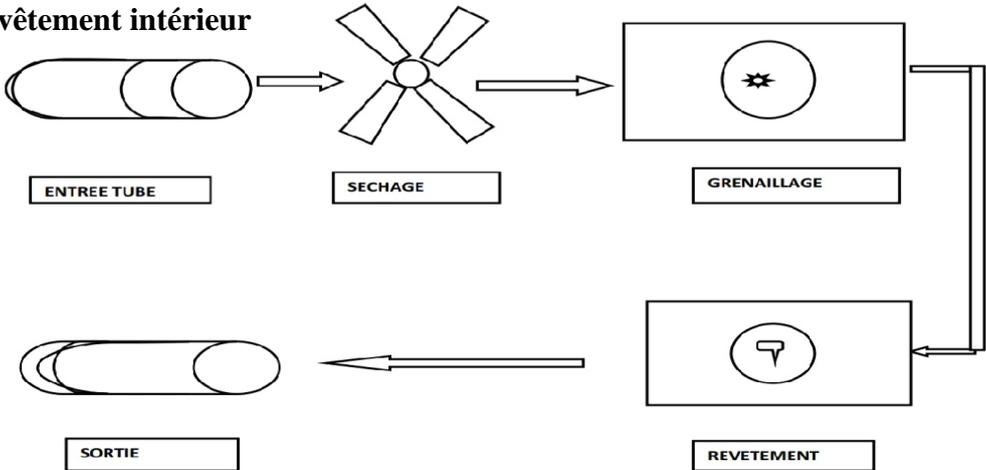
Figure III. 3: Refroidissement laminaire des tubes.

III.2. 3.Brossage de tubes

Cette phase se déroule dans la zone fonctionnelle 03 « Partie sortie ». Tout d’abord, après avoir été rabaissé par le poste d’élimination d’eau, le tube est transporté par les rouleaux longitudinaux jusqu’à la brosseuse d’extrémités.

Lorsque la brosse d’extrémités est préparée pour prendre en charge un tube, l’injecteur le saisit du convoyeur et le place sur les rouleaux vireurs de la brosseuse. Les tubes sont ensuite mis en rotation par les rouleaux vireurs pour le brossage. Les brosses d’extrémités des tubes sont constituées de deux chariots montés en face de chaque côté du tube, l’un étant fixe et l’autre mobile. Une fois le brossage terminé, la rotation du tube s’arrête, le système de brossage est abaissé, et le tube est sorti de la zone de la brosseuse par des éjecteurs. Enfin, les tubes qui ont réussi le contrôle de porosité sont prêts à être revêtus à l’intérieur. [16]

III.3.Revêtement intérieur



Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

Figure III. 4: Schémas synoptiques du procédé de revêtement intérieur.

III.3.1. Préparation de la surface

○ Sécheur

Les tubes qui sont humides en raison du stockage, du transport, ect doivent être séchés avant le grenaillage. [17]



Figure III. 5 : séchage intérieur du tube.

○ Grenaillage

Le grenaillage est une technique de préparation de surface qui utilise des billes d'acier pour projeter de manière agressive la surface intérieure du tube en acier.

Les billes d'acier sont propulsées à haute vitesse contre la surface, éliminant toute trace de rouille, de peinture ou de contaminants et créant une surface rugueuse qui permet une meilleure adhérence du revêtement intérieur. [17]

III.3. 2. Machine d'époxy

- La machine époxy sert au revêtement intérieur de tubes en aciers.
- La machine époxy est constituée de :
 - ✓ Pompe pour : la résine + durcisseur
 - ✓ Deux bacs d'alimentation : bleu = époxy, rouge = durcisseur
 - ✓ Pompe de rinçage
 - ✓ Pistolet airless
 - ✓ A la fin de l'opération de revêtement les tubes sont sécher par soufflante. [17]

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE



Figure III. 6: Grenailleuse intérieur.

III.3.3. Marquage

Les marquages suivants doivent être apposés sur le revêtement :

- Nom ou code de l'applicateur ;
- Marquage requis par la spécification ou la norme applicable relative au tube ;
- Référence de la norme ISO et année de publication (ISO 21809-1/2011) ;
- Classe d'épaisseur du revêtement ;
- Epaisseur spécifiée du revêtement ;
- Température maximale de conception.

Le marquage doit être réalisé au moyen d'une méthode telle que marquage à la peinture ou par impression, de façon à assurer une identification lisible et indélébile. [17]



Figure III. 7 : Marquage des tubes.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

La figure suivante résume les Schémas synoptiques du processus de revêtement (extérieur et intérieur) des tubes.

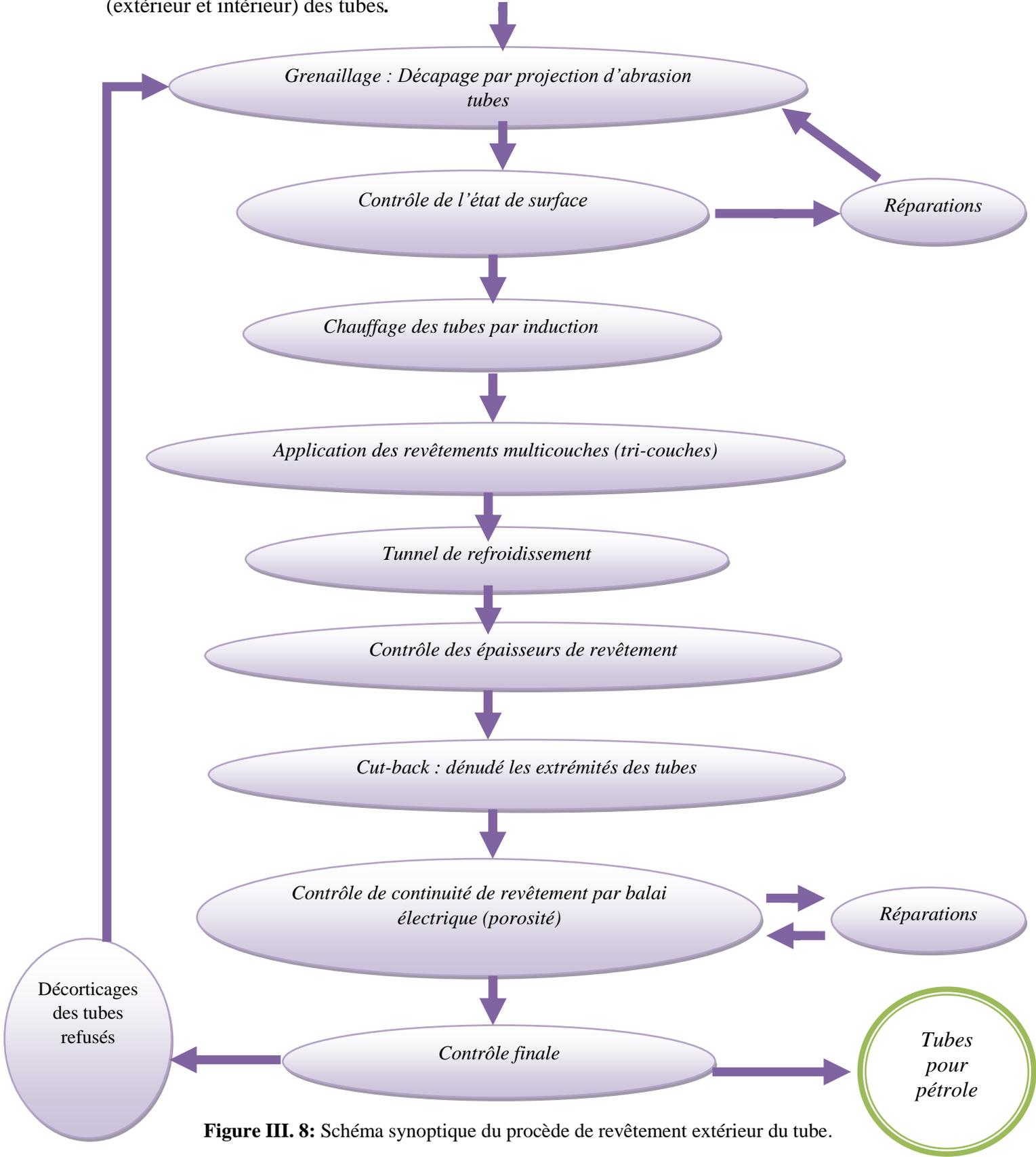


Figure III. 8: Schéma synoptique du procédé de revêtement extérieur du tube.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

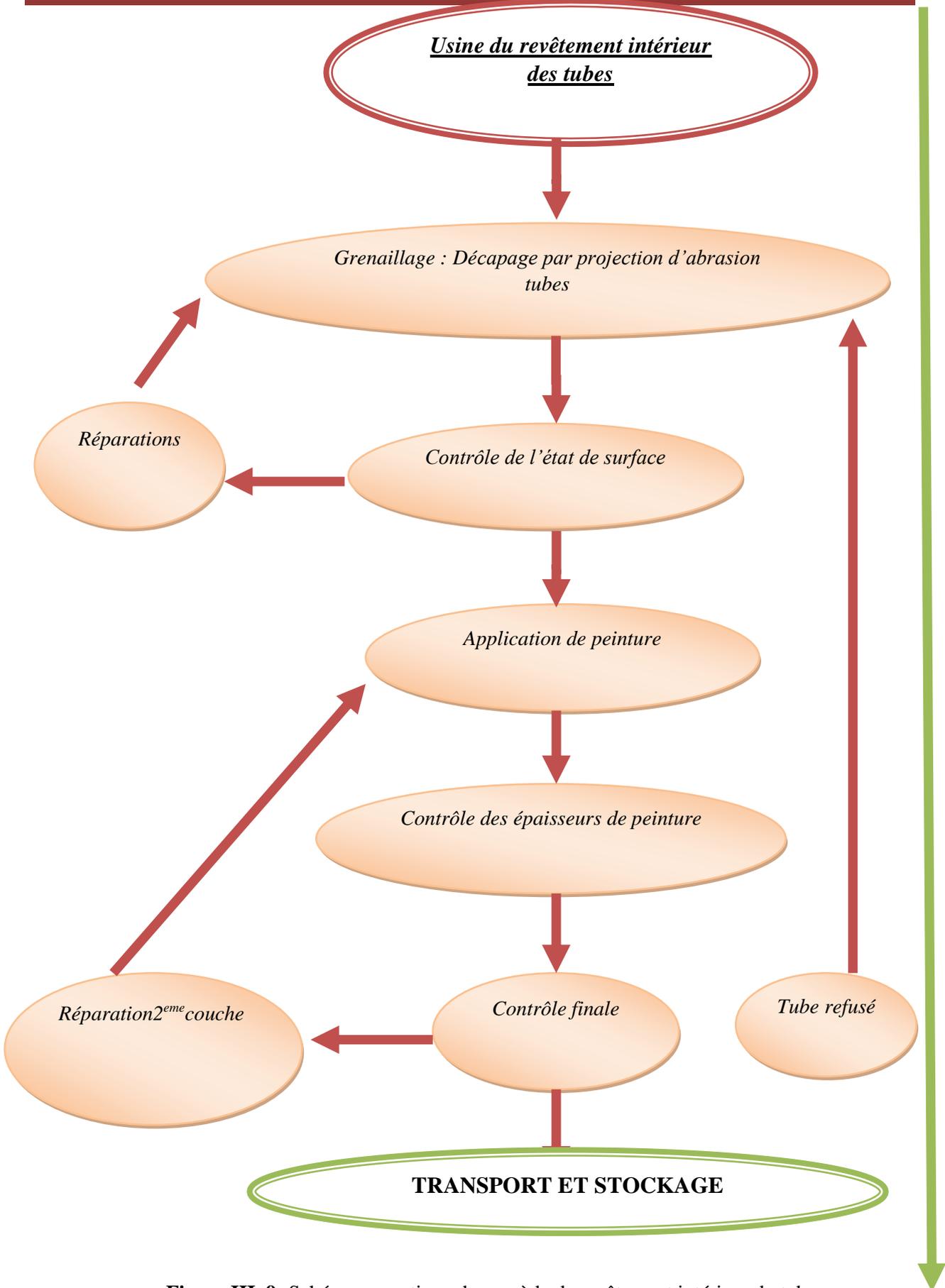


Figure III. 9: Schéma synoptique du procédé de revêtement intérieur du tube.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.3.4. Contrôle de la qualité du revêtement intérieur

Le contrôle de la qualité du revêtement permet de savoir si les produits vendus par l'entreprise sont conformes aux spécifications de vente. Ce contrôle est effectué par un contrôleur qualité. Ce dernier peut contrôler :

- Les composants d'un produit ou la matière première dès la réception ;
- La production en cours de réalisation ;
- Les produits finis.

A la suite du contrôle, le contrôleur qualité va rédiger un rapport sur le déroulement du contrôle et les mesures à prendre pour améliorer la production et réduire les cas de non-conformité. [18]

III.3.4.1 Equipement d'essais de production :

1.1 Etuveuse de séchage N°01 (température entre 66°C et 79°C).

1.2 Etuveuse de séchage N°02 (température 149±6°C).



Figure III. 10 : Etuveuse de séchage N°1.



Figure III. 11 : Etuveuse de séchage N°2.

1.3 Boîte de trous d'épingle.

1.4 Mesureur d'épaisseur (Micro test).

1.5 Plieuse conique.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

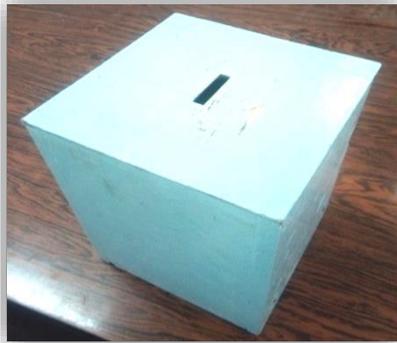


Figure III. 12 : Boîte de trous d'épingle.



Figure III. 13 : Micro test.



Figure III. 14 : Plieuse conique.

1.6 Thermomètre de laboratoire.

1.7 Un couteau.

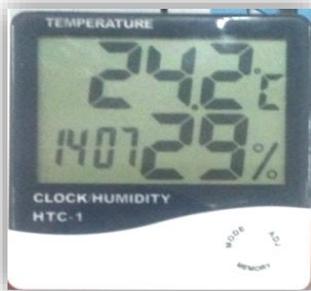


Figure III. 15 : Thermomètre.



Figure III. 16 : Couteau.

1.7 Ruban adhésif.

1.8 Récipient de Diluant.

1.9 Récipient d'eau salée.



Figure III. 17 : Ruban adhésif.

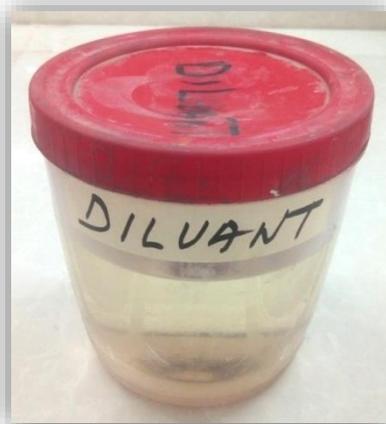


Figure III. 18 : Diluant.



Figure III. 19 : Eau salée.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.3.4.2. Caractéristiques mesurables

La mesure des caractéristiques suivantes est prévue par le présent mode opératoire, elles nécessitent les dispositifs répertoriés, ci-dessous

Caractéristique	Symbole	Dispositifs nécessaires
Température de laboratoire (°C)	T°	TM
Epaisseur de revêtement (µm)	Ep	ME
TM : Thermomètre ME : Mesureur d'épaisseur		

III.3.4.3.Prise en charge des éprouvettes

La personne en charge de l'essai prend en charge les échantillons du projet avant le revêtement intérieur des tubes désignés pour le teste.

Les échantillons métalliques doivent être en acier au carbone doux de 3x6x0.032 po (75x150x0.81 mm).

Les échantillons de verre doivent être des lames de verre standard de 1x3 po (25x75 mm), dépolies d'un côté.

Les échantillons (métallique et verre) sont fixés à l'intérieur d'un tube propre. Les échantillons sont revêtus lorsque le tube est revêtu.

Les échantillons doivent rester dans le tube pendant au moins cinq minutes. Après le retrait des échantillons, la zone d'essai sur le tube est réparée sur place.



Figure III. 20 : Panneau de verre.



Figure III. 21 : Panneau métallique.



Figure III. 22 :Panneaux revêtu (métallique et de verre).

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.3.4.4.Mode de séchage des panneaux

Les panneaux doit être resté dans le tube pendant au moins cinq cinq minutes. Après l'enlèvement des échantillons du tube laisser-les à l'air pendant 15 à 30 minutes.

Les panneaux (métalliques et de verre) d'essai sont séchés dans l'étuveuse N°1 pendant 10 minutes à une température de 66 à 79 °C

Seul le panneau métallique est cuit dans l'étuveuse N°2 à $(149 \pm 6^\circ\text{C})$ pendant 30 minutes ou selon les spécifications du fournisseur.



Figure III. 23 : Séchage dans l'étuve N°01.

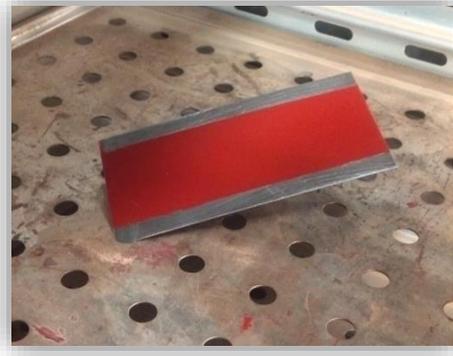


Figure III. 24 : Séchage dans l'étuve N°02.

III.3.4.5.Réalisation des essais

Etant donné que les essais de production sont réalisés par l'agent de laboratoire, une série de paramètres sont déjà prédéfinis. Ces paramètres sont encodés par le responsable en conformité avec la norme et son édition et lors de la révision de la norme de référence.

III.3.4. 5.1.Test de trous d'épingle

Observer l'échantillon de verre avant et après le durcissement, poser le panneau de verre sur une fente dans un récipient contenant une ampoule de 100 watts, l'ampoule étant à une distance comprise entre 4 et 5 pouces (100 et 130 mm) du panneau de verre revêtu.

L'évaluation de trous d'épingle est faite par le représentant de l'acheteur.

La dispersion de trous d'épingle doit être maintenue à un minimum.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE



Figure III. 25 : Test de trous d'épingle.



Figure III. 26 : Résultat de test de trous d'épingle.

III.3.4.5.2. Test d'épaisseur

À l'aide d'un micro test, mesurez l'échantillon non revêtu, puis revêtier et mesurer le panneau durci au même endroit pour l'épaisseur de l'échantillon plus revêtement. La différence des deux est l'épaisseur du revêtement.

L'épaisseur minimal de revêtement doit être spécifiée par l'acheteur, (dans ce projet est $Ep. \geq 51 \mu\text{m}$).

Si aucune épaisseur minimale n'est spécifiée, l'épaisseur de film sec minimum doit être 1,5 mils (38 microns)



Figure III. 27 : Mesure de l'épaisseur.



Figure III. 28 : Résultat de la mesure de l'épaisseur.

III.3.4.5.3 Test d'adhérence

Dans une zone du panneau d'au moins 13 mm à l'extrémité, en utilisant un couteur, couper le revêtement au métal avec des lignes transversales (de 16x16 à 90° espacées sur 26mm). Les coupes seront donc produites 225 carrés de revêtement attaché au métal chacun d'environ 1,6 mm de côté.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

Appliquer du ruban plastique transparent de largeur de 25 mm tout en appuyant fermement avec l'ongle du pouce afin de donner un uniforme couleur de la zone de contact. Pour le retirer, effectuer un mouvement de décollage en tirant le ruban.

Inspecter les carrés résultant des coupes pour vérifier leur conformité. Aucun matériau ne doit se détacher autrement que par les découpes.

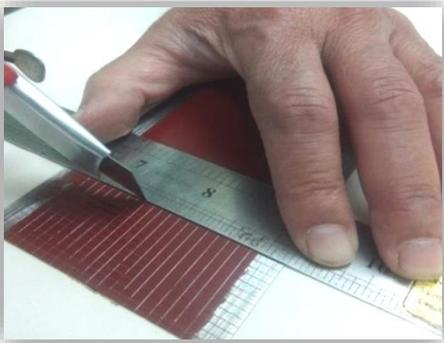


Figure III. 29 : Test d'adhérence.

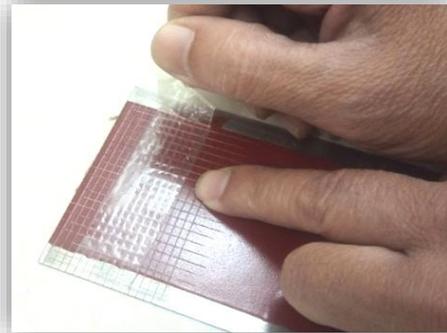


Figure III. 30 : Résultat du test d'adhérence.

III.3.4.5.4 Test de pelage

Le panneau doit être placé sur une surface plane avec la face revêtue vers le haut. Une lame tranchante, inclinée à un angle de 60° par rapport à la surface, doit être utilisée pour effectuer un mouvement de pelage. La lame a tendance à soulever le revêtement.

Le revêtement ne devra pas être enlevé du panneau. Les écailles doivent produire des particules en poudre quand on les roulera entre le pouce et l'index.



Figure III. 31 : Test du pelage.



Figure III. 32 : Résultat du test de pelage.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.3.4. 5.5 Test de Pliage

Plier un panneau revêtu à 180 ° sur un mandrin rond de 13 mm de diamètre et plus.

Le panneau plié ne doit présenter aucun écaillage, perte d'adhérence, ou de fissuration du revêtement tel que déterminé par inspection visuelle non assistée.



Figure III. 33 : Test de pliage.



Figure III. 34 : Résultat de test de pliage.

III.3.4.5.6 Test d'immersion dans le diluant

Après une immersion de 4 heures dans le diluant de la peinture à température ambiante, le panneau ne doit présenter aucune perte d'adhérence. Aucun ramollissement, rides ou cloques ne doivent être observés après 30 minutes à température ambiante.



Figure III. 35 : Test d'immersion dans le diluant.

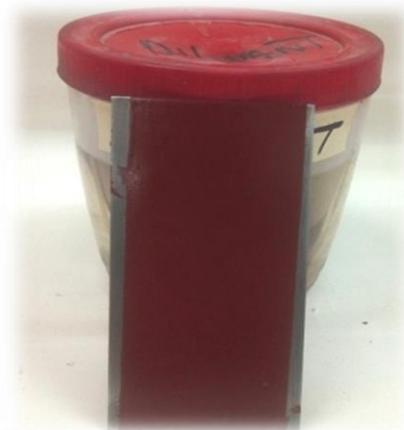


Figure III. 36 : Résultat du test d'immersion dans le diluant.

Chapitre III :Suivi du revêtement organique des tubes soudés en spirale réalisé au niveau de l'entreprise ALFAPIPE

III.3.4.5.7 Test d'immersion dans l'eau salée

Après un minimum de 4 heures d'immersion dans l'eau fraîche ou une solution aqueuse contenant (en poids) 1% de chlorure de sodium, 1% de sulfate de sodium et 1% de carbonate de sodium à température de la chambre.

Le panneau durci ne doit présenter aucune perte d'adhérence, ramollissement, rides ou cloquage du film de revêtement.



Figure III. 37 : Test d'immersion dans l'eau salée.

Figure III. 38 : Résultat du test d'immersion dans l'eau salée.

Conclusion

En conclusion, cette expérience acquise lors de ce stage au sein de l'entreprise ALFAPAIPE et ses différents services administratifs a été extrêmement enrichissante. Bien que le stage ait été de courte durée, il m'a offert l'opportunité de développer mes compétences professionnelles à la fois dans les domaines technique et humanitaire.

Mon implication dans le processus du revêtement des pipes a été une étape significative dans le cycle de production. Cela m'a permis de comprendre l'importance et la complexité de ce processus crucial pour l'industrie.

J'ai également appris l'importance de savoir quand et comment affirmer ou confirmer une information théorique préalablement acquise. La pratique m'a permis de comprendre les défis et les nuances liés à la mise en œuvre des connaissances théoriques dans un environnement industriel.

En tant que futur diplômée, je considérerai qu'il est un devoir de contribuer au perfectionnement d'ALFA PIPE et d'autres entreprises similaires. Je suis reconnaissante pour l'opportunité qui m'a été offerte de travailler avec une équipe talentueuse et de participer à des projets concrets. Je suis convaincue que cette expérience sera bénéfique pour mon avenir professionnel et m'aidera à devenir une professionnelle accomplie dans mon domaine.

En conclusion, ce stage chez ALFAPAIPE a été une expérience inestimable qui a renforcé m'intégration dans le milieu industriel et m'a donné une perspective précieuse sur le fonctionnement de l'industrie pétrolière. Je suis déterminée à utiliser les compétences acquises lors de ce stage pour contribuer activement au développement et à l'amélioration continue d'ALFA PIPE et de l'industrie dans son ensemble.

Références bibliographiques

- [1] Revue de production d'ALFAPIPE
- [2] Gottfried W. Ehvenstein, Fabienne Montagne, Matériaux polymères, Structure, propriétés et application, Hermès, Paris 2000.
- [3] Marc Carrega, les polymères de la molécule à l'objet, EDP, Grenoble 1999.
- [4] Documentation technique ALFAPIPE Ghardaïa
- [5] Mémoire de HADDADI Manel « Université EL HADJ LAKHDAR Batna » promo 2010/2011
- [6] Documentation technique de la zone << fabrication des pipes en acier >> de ALFAPIPE, Ghardaïa.
- [7] Documentation technique de la zone << contrôle qualité >> de ALFAPIPE, Ghardaïa
- [8] FORSBERG K., MANSDORF S.Z. - Quick selection guide to chemical protective clothing. 3th ed., John Wiley and Sons, 1997, 124 p.
- [9] Jacques L., Protection contre la corrosion, Techniques de l'ingénieur, France, 1990.
- [10] Me CLAIN D.C., STORRS FJ - Protective effect of both a barrier cream and a polyethylene laminate glove against epoxy resin, glyceryl monothioliol glycol ate, frullania and tancy. American Journal of Contact Dermatitis, 1992, 3, pp. 201-205.
- [11] Einar B., Corrosion and protection, Norway, 2003
- [12] Coombs J., Fundamentals of corrosion mechanisms, Chevron Corporation, New York 1999.
- [13] Coombs J., Fundamentals of corrosion mechanisms, Chevron corporation, New York 1999.
- [14] HOLNESS D.L. - Outbreak of allergic contact dermatitis caused by epoxy resin in a gluing and swaging operation. American Journal of Contact Dermatitis. 1992, 3, pp. 150-154.
- [15] Résoltech fournisseur de résine époxy. (Sur fiche technique RESINE DI COULEE WWA

[16] JOLANKI R. - Occupational skin diseases from epoxy compounds. Epoxy resin compounds, epoxy acrylates and 2, 3-epoxypropyl trimethyl ammonium chloride. Acta Dermato-venereologica Supplementum , 1991, 159, pp. 1-80.

[17] Radhia Y., Synthèse de nouveaux composés de l'acide phosphonique et mise en évidence de leur acidité affinité de chélation et de leurs propriétés inhibitrices de corrosion, Mémoire de Magister, Université de Setif (Algérie), 2012.

[18] Documentation technique de l'unité ALFAPIPE (INT : TUS, EN Si)