

**Projet de mise en place au complexe chimique de Safi, d'un Laboratoire de contrôle qualité, à la réception, des matériaux et équipements mécaniques, pour s'assurer de leur conformité Avec les spécifications des cahiers de charges**

**Direction des Exploitations Industrielles de Safi  
Groupe Office Chérifien des Phosphates  
1988**

***Dr Ismail SAISSI***

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

### A- ETUDE PREALABLE

#### I- CONTROLES APPLICABLES AUX INDUSTRIES CHIMIQUES

- I-1 Contrôle matériau
- I-2 Contrôle fabrication et montage

#### II- PROCEDURE DE CONTROLE EN VIGUEUR A LA DES

- II-1 Matériel mécanique réceptionné
- II-2 Procédure de contrôle
- II-3 Moyens de contrôle disponibles

#### III- ANALYSE DES BESOINS EN CONTROLE QUALITE

#### VI- SYNTHESE

### B- ETUDE DE FAISABILITE

#### I- MOYENS HUMAINS

#### II- MOYENS EN EQUIPEMENTS DE CONTROLE

#### III- ETUDE ECONOMIQUE

## CONCLUSION

## INTRODUCTION

Les exploitations industrielles de SAFI mettent en œuvre un potentiel important de matériels mécaniques dont l'acquisition et maintenance engagent des coûts élevés. L'agressivité des milieux chimiques et les conditions des marches des installations induisent une forte consommation en équipements mécaniques qui pousse à envisager l'opportunité d'organisation du contrôle qualité aussi bien à leur réception qu'en cours de service.

Dans ce rapport, nous allons entamer une étude de faisabilité d'un laboratoire de contrôle qualité du matériel mécanique à la direction des exploitations industrielles de SAFI. Son objectif est celui d'assurer les essais de contrôle qualité nécessaires à l'établissement de la conformité du matériel réceptionné, avec les spécifications techniques des commandes.

## A - ETUDE PREALABLE

Dans un premier temps, nous rappelons les différents types de contrôles applicables à la réception du matériel mécanique aux industries chimiques. Nous présentons ensuite les moyens techniques et la procédure actuellement en vigueur à la DES. Enfin, nous dégagerons les besoins actuels de la DES en moyens de contrôles.

### I- CONTROLES APPLICABLES AUX INDUSTRIES CHIMIQUES

Ils ont pour objet de s'assurer que le matériel livré est bien conforme aux spécifications définies dans les cahiers des charges établis à la commande par les services demandeurs.

Nous distinguons deux types de contrôles :

➤ **Le contrôle non destructif : CND**

Il constitue un outil technique d'analyse et de décision avantageux en raison de son application directe sur les pièces mécaniques finies.

➤ **Le contrôle destructif : CD**

Il ne peut être appliqué directement sur les produits finis, mais nécessite un prélèvement des échantillons ou de coupons témoins. En accord avec les fournisseurs, ces échantillons peuvent être soit prélevés à la fabrication soit disposés convenablement sur l'équipement mécanique livré pour être découpés et analysés.

Dans ce qui suit, seront posés les types de contrôles pouvant être requis pour l'établissement de la conformité du matériel mécanique

## **I-1 Contrôle matériau**

Les industries chimiques consomment une multitude de matériaux et exigent de plus en plus de nuances spéciales en vue d'assurer une meilleure disponibilité des équipements mécaniques.

Incontestablement, d'après l'expérience et les études réalisés à la DES, le contrôle matériau apparaît indispensable lors de la réception des équipements mécaniques. Ce contrôle englobe :

- Le contrôle de la composition chimique (nuance)
- Le contrôle de la structure
- Le contrôle des caractéristiques mécaniques

### **I-1-1 Contrôle de la composition chimique**

Il a pour objet de contrôler la nuance du matériau spécifié et d'indiquer les proportions des éléments chimiques le constituant.

Le contrôle de la composition chimique par analyse chimique est destructif. Il peut être réalisé à l'aide :

- d'un spectromètre à fluorescence X
- d'un spectromètre d'émission optique
- d'un spectrophotomètre d'absorption atomique
- d'un spectrophotomètre d'absorption moléculaire (UV-visible)

Dans le marché, il existe des moyens de contrôle non destructifs et portables permettant d'identifier qualitativement et quantitativement les matériaux sur les produits semi-finis et finis.

D'autres procédés plus simples, par attaque chimique ou à l'étincelle, permettent d'indiquer la présence de quelques éléments mais ne sont pas aptes à l'indication de leurs proportions.

### **I-1-2 Contrôle de la structure**

C'est un contrôle destructif consistant à une observation directe après traitement de surface et attaque chimique par un produit approprié révélant :

- les irrégularités des grains
- les mauvaises répartitions des inclusions à la suite des traitements thermiques
- les irrégularités des fibres à la suite du forgeage ou laminage...

#### **a- Préparation de l'échantillon**

- Polissage mécanique : à l'aide de papiers abrasifs manuellement ou par une polisseuse mécanique
- Polissage électrolytique : pour un traitement assez poussé

## **b- Attaque chimique**

La face polie est attaquée à l'aide de réactifs spéciaux. Généralement le Nital pour les alliages ferreux.

## **c- Observation**

- Macrographique : œil nu, loupe
- Micrographique : microscope métallographique. Un grossissement à partir de 400 peut être suffisant les alliages ferreux.

## **I-1-3 Contrôle des caractéristiques mécaniques**

### **a- Résistance mécanique**

Contrôle destructif à l'aide de l'essai de traction qui détermine :

- La résistance à la rupture
- La limite élastique
- L'allongement à la rupture

### **b- Résistance à l'usure**

Par des essais de dureté qui peuvent être destructifs (en profondeur) ou non destructifs (superficiels). La dureté renseigne également sur la résistance mécanique. Des duromètres spéciaux sont destinés au contrôle des matériaux plastiques : Duromètre shore A et D.

## **I-2 Contrôle fabrication et montage**

Contrôles sur produits finis et semi-finis, pouvant être établis suivant les clauses contractuelles prédéfinies :

- Soit en mandatant un contrôleur de la DES pour assister et contrôler la fabrication à l'usine chez le fournisseur ;
- Soit sur site après confection et montage assurés par la société sous-traitante ou autres... ;
- Soit à la réception.

Le contrôle fabrication est essentiellement non destructif.

### **I-2-1 Contrôle visuel**

Examen visuel pour la détection des défauts grossiers et apparents.

### **I-2-2 Contrôle dimensionnel**

A l'aide d'appareils de mesurage, palpeurs électriques et magnétiques. Il s'effectue suivant plans et dessins pour confirmer l'exactitude des dimensions et cotes : épaisseurs des tôles, des revêtements plastiques et métallisation...

Les contrôles visuel et dimensionnel concernent également le contrôle de bonne fin du montage, de l'alignement, du parallélisme (brides : tuyauteries avec pompe...)...

### **I-2-3 Contrôle défauts de fabrication**

Nous ne pouvons lister tous les défauts imposant un contrôle. Compte tenu de l'importance que prend la corrosion dans les dégradations du matériel mécanique, ces défauts peuvent s'étaler de la microfissure aux défauts apparents. Ci-après, est présentée une liste restreinte des défauts faisant l'objet d'un contrôle, en les rattachant au type de produit qui les manifeste généralement.

#### **Liste des principaux défauts**

##### **D1- Fontes et aciers :**

- 1- Porosité
- 2- Discontinuité à la surface
- 3- Vides
- 4- Impuretés non métalliques

##### **D2- Forges :**

- 1- Inclusions
- 2- Eclatements
- 3- Fissures

##### **D3- Produits laminés :**

- 1- Fissures
- 2- Marques de laminage
- 3- Inclusions
- 4- Défauts internes

##### **D4- Soudures :**

- 1- Fusions incomplètes
- 2- Pénétrations incomplètes
- 3- Fissures
- 4- Impuretés non métalliques
- 5- Porosités

##### **D5- Produits finis :**

- 1- Usures dues aux déformations d'usinage
- 2- Fissures dues aux traitements thermiques
- 3- Fissures superficielles dues aux rectifications et traitements chimiques
- 4- Fissures du revêtement métallique

## **D6- Structures composées :**

- 1- Fissures et inclusions
- 2- Décollage des surfaces métalliques ou plastiques
- 3- Epaisseurs des couches

Les défauts précités peuvent être contrôlés par plusieurs méthodes qui sont complémentaires dans la plupart des cas.

Pour chaque technique, nous mentionnerons ses domaines d'application par les indications associées aux types de défauts apparaissant dans la liste que nous venons d'établir ci-dessus.

### **a- Contrôle par ressuage**

Technique simple et économique, couramment utilisée à la DES. Elle s'applique aux produits finis réalisés en matériaux ferreux ou non : céramiques et plastiques non poreux...

D1 : 1-2 / D2:3 / D3:1-2-3-4 / D4:3-4-5 / D5:1-2-3-4

Elle peut déceler des fissures de 1/20 mm.

### **b- Contrôle radiographique**

- **Rayons X** : D1 : 1-2 / D2 : 3 / D3 : 1-2-3-4 / D4 : 3-4-5 / D5 : 1-2-3-4
- **Rayons Gamma** : permettent le contrôle des pièces massives mais présentent un danger pour l'utilisateur.

### **c- Contrôle par ultra-sons**

D1 : 2-3-4 / D2 : 1-2-3 / D3 : 1-2-3-4 / D4 : 1-2-3-4-5 / D5 : 1-2 / D6 : 2

Manifestement c'est le type de contrôle le plus utilisé industriellement et le plus avantageux.

### **d- Contrôle magnétoscopique**

Surtout pour les pièces aimantées.

D1 : 2 / D2 : 3 / D4 : 1-2-3-4 / D5 : 1-2-3 / D6 : 1-2-3

### **e- Contrôle par courant de Foucault**

Onéreux, exigeant une visualisation cathodique.

D1 : 3 / D2 : 1 / D5 : 1-2-3-4 / D6 : 3-4

### **f- Contrôle étanchéité**

La détection des fuites s'effectue généralement à l'aide de l'épreuve hydraulique qui présente l'avantage d'être également une épreuve de résistance mécanique de l'appareil à la pression.

#### **g- Contrôle fonctionnement et montage**

- Relevé des jeux
- Equilibrage
- Niveau de bruit
- Niveau de vibration

## **II- PROCEDURE DE CONROLE EN VIGUEUR A LA DES**

### **II-1 Matériel mécanique réceptionné**

Il est classé en trois catégories :

#### **1- Produits consommables**

Pour la consommation courante, réceptionné en grande quantité :

- Tôlerie ordinaire et spéciale
- Profilés, barres, ronds
- Boulonnerie, visserie
- Robinetterie ordinaire et spéciale
- Outillage, roulements, produits de soudure. . . . .

#### **2- Produits finis**

- Tubes, conduites, tuyauteries, brides
- Pâles, arbres
- Vis d'agitation, de transport
- Godets, Galets
- Vannes
- Pièces de rechange. . .

#### **3- Equipements**

- Pompes
- Turbines
- Réducteurs, coupleurs
- Agitateurs
- Vis d'Archimède
- Echangeurs. . . .

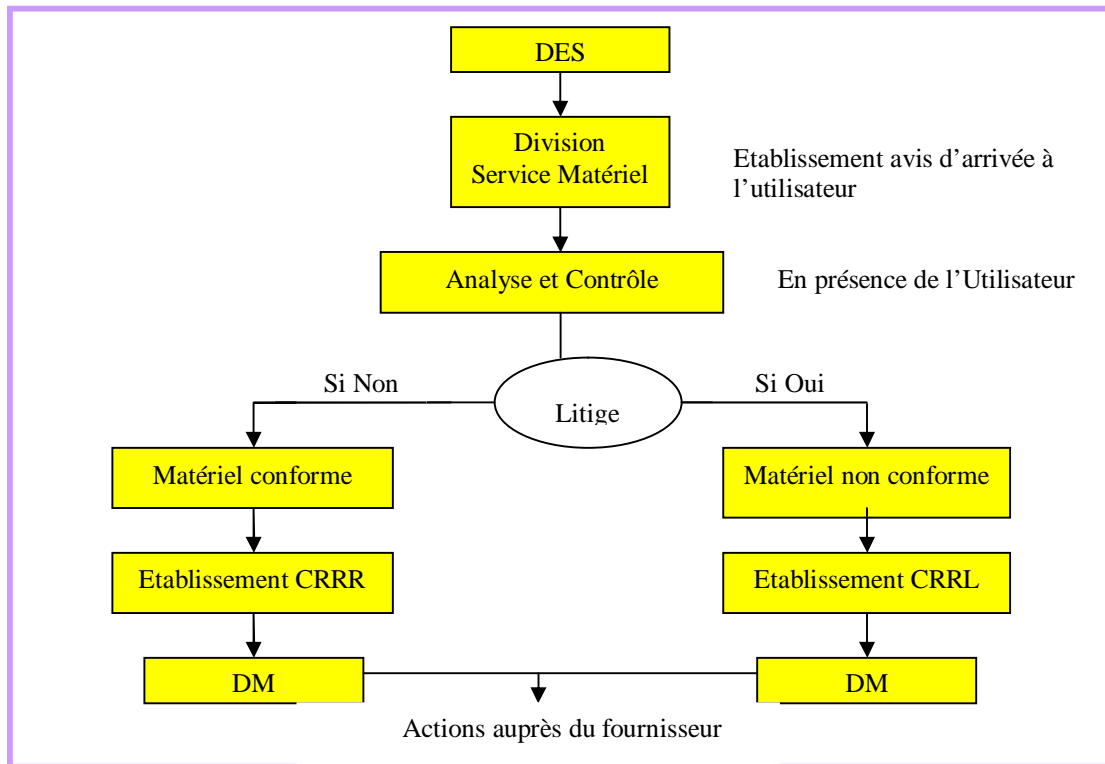
La liste exhaustive du matériel mécanique ne peut être présentée dans sa totalité. Sur l'exercice 1987, les produits mécaniques consommables et pièces de rechange ont représenté un coût supérieur à 100 MDh.

## II-2 Procédure de contrôle

Chaque division réceptionne son matériel par son propre service de maintenance (figure ci-après).

Si le matériel est déclaré conforme à la réception, un compte rendu de réception (CRRR) est alors établi. Sinon, un compte rendu litigieux (CRRL) est alors établi et envoyé à la direction des Marchés du Groupe pour nécessaire auprès des fournisseurs.

### Réception Matériel



## II-3 Moyens de contrôles disponibles

### 1- Contrôle matériau

#### a- Composition chimique

L'établissement de la conformité est uniquement basé sur les certificats matières délivrés par le fournisseur. Il convient de souligner qu'à ce niveau, plusieurs cas litigieux n'ont pu être mis en évidence qu'à posteriori après mise en service du matériel. Les coûts amputés au manque de ce contrôle peuvent être vertigineux dans le cas de pièces importantes : pompes-impulseurs...agitateurs. . .

#### b- Structure

Un microscope optique à la division MP mais les moyens de préparation des échantillons font défaut : polissage et traitement de surface.

### c- caractéristiques mécaniques

#### 2- Contrôle fabrication et montage

Les contrôles en vigueur actuellement :

- contrôle visuel et dimensionnel
- contrôle par ressuage
- contrôle par ultrasons
- contrôle étanchéité
- contrôle montage et fonctionnement

### III- ANALYSE DES BESOINS EN CONTROLE QUALITE

Afin de préparer les éléments pour l'étude économique de mise en place du laboratoire, nous allons essayer de recenser le potentiel des essais de contrôle qualité à la réception du matériel mécanique à la DES. Pour ce faire nous avons évalué la quantité moyenne de matériels mécaniques réceptionnés annuellement.

La difficulté d'entamer une étude statistique sur l'ensemble du matériel mécanique livrés, nous a conduit à prélever un échantillon présentant des caractéristiques spéciales nécessitant un contrôle qualité.

Cet échantillon est pris sur les livraisons reçues à MD. Cette division étant la plus récente, et nous permet donc d'approcher par extrapolation des valeurs moyennes relativement significatives.

La liste ci-dessous regroupe les quantités moyennes livrées à MD au courant de l'année 1987. Elle concerne les équipements mécaniques fortement consommés, et dont la fonction est importante dans les installations.

<b>RECENSEMENT RELATIF A MD</b>	
<b>Matériel</b>	<b>Quantité moyenne annuellement livrée</b>
pompes	11
Volutes	38
Chemises	36
Arbres	14
Plaques d'usure	4
Impulseurs	74
Fonds internes	6
Agitateurs	2
Pâles	29
Arbres d'agitateurs	9
Lanternes	3

Pour évaluer le nombre d'essais moyen par an d'après la liste ci-dessus, il convient auparavant de définir les types d'essais concernés.

En raison des éléments précédemment établis, nous fixons uniquement les essais de contrôle matériau et défauts de fabrication. Ainsi, chaque unité de matériel nécessite un essai :

- Un contrôle matériau
- Et un contrôle défauts de fabrication.

Sur une pompe, nous fixons un nombre de 5 essais portant chacun sur l'une de ses parties les plus importantes : impulseur, arbre, chemise, volute...

A partir de l'ensemble de ces éléments nous pouvons estimer les besoins en essais de contrôle à MD à 270 essais par an moyenne au minimum. Ce chiffre est un minimum car il écarte d'autres équipements importants :

- Tôles spéciales
- Conduites....

Enfin, pour fixer un nombre avec lequel les besoins de la DES seront évalués, nous prenons : **300 essais par an** à MD.

Pour évaluer les besoins de la DES en essais de contrôle qualité à la réception, nous allons émettre quelques hypothèses nous permettant d'extrapoler convenablement sur la base des besoins connus de MD.

### Hypothèses

Nous nous basons sur la consommation de matériels mécaniques d'une ligne phosphorique.

Sur cette base, nous considérons que :

- La consommation en matériels mécaniques d'une ligne sulfurique est équivalente à 2/3 fois celle d'une ligne phosphorique.
- Celle de l'atelier fusion filtration du soufre à MP est équivalente à celle d'une ligne phosphorique.
- Celle de l'atelier laverie à MD est équivalente à 3/2 fois celle d'une ligne phosphorique.
- Celle d'une ligne engrais est équivalente à 1/2 fois celle d'une ligne phosphorique.
- Celle de la centrale et pompage Eau de Mer à 1/2 fois celle d'une ligne phosphorique.

En rapportant chaque division à son nombre fictif de lignes phosphoriques à l'aide des hypothèses précédentes, nous avons par défaut :

- ❖ Pour MD : 7
- ❖ . . . . MP : 9
- ❖ . . . . MC : 5

L'atelier PP1 de MC est considéré comme une seule ligne phosphorique.

Connaissant, le nombre d'essais moyen par an propre à MD, nous en déduisons sa valeur par ligne phosphorique (fictive), et par suite celui de la DES. Nous obtenons ainsi : 900 essais par an

Ce nombre appelle quelques remarques :

- il est évalué sur la base du recensement effectué à MD. Cette division étant la plus récente ; ce qui laisse masquée une bonne partie liée aux écarts d'âge des installations entre les trois divisions ;
- en plus du vieillissement du matériel mécanique, la consommation de ce dernier est liée aux procédés de fabrication et à la qualité des phosphates. C'est le cas principalement à MP et surtout à l'utilisation du phosphate noir calciné fortement agressif.

Finalement, nous introduisons un surplus autour 10% sur le nombre trouvé, et fixons les besoins en essais contrôle qualité de la DES à : **1000 essais par an**

#### IV- SYNTHÈSE

Nous venons dans ce qui précède de présenter l'ensemble les contrôles nécessaires à l'établissement de la conformité du matériel mécanique. Nous avons également présenté la procédure de contrôle en vigueur à la DES et les moyens de contrôles disponibles.

L'état actuel du contrôle réception à la DES nécessite la dotation des trois divisions en équipements de contrôles. Cela peut entraîner une redondance des appareils de contrôle et par suite une élévation des coûts associés au contrôle.

Il convient de souligner les points suivants :

- La diversité des moyens techniques peut être bloquée, et l'appareillage disponible peut demeurer sous-exploité ;
- L'expérience de la DES en matière de contrôle qualité est diluée par multiplication et la dispersion des unités de contrôle ;
- Le nombre d'essais de contrôle estimé annuellement à la DES est relativement important : 1000 essais par an ;
- L'âge des installations (MC-MP) laisse prévoir des rénovations et extensions, qui conduiront à d'importantes livraisons de matériels mécaniques.

Ces quelques éléments suffisent à montrer l'intérêt que peut représenter une organisation et harmonisation du contrôle à la DES. L'opportunité d'un laboratoire est motivée par les avantages qu'il est susceptible d'assurer.

Lesquels peuvent découler d'une vision globale reposant sur la nécessité d'harmonisation et la disposition d'un moyen physique aidant à la maîtrise de la maintenance mécanique et assurant aux exploitations en œuvre des équipements garantissent les meilleures qualités de service. Il pourra, avec l'expérience, s'ouvrir à l'ensemble des exploitations industrielles du groupe.

## B- ETUDE DE FAISABILITE

A l'issue de l'analyse préalable, nous allons entamer dans cette partie l'étude économique de faisabilité du laboratoire envisagé. Auparavant, nous émettons quelques hypothèses préliminaires :

- Nous écartons les charges associées à l'aménagement du laboratoire : génie civil, mobilier, utilités.
- Nous considérons uniquement les moyens strictement nécessaires. Le laboratoire pourra se développer en fonction de l'évolution des besoins, en engageant l'ensemble des services de maintenance de la DES. Seuls les équipements de contrôles non disponibles seront envisagés.

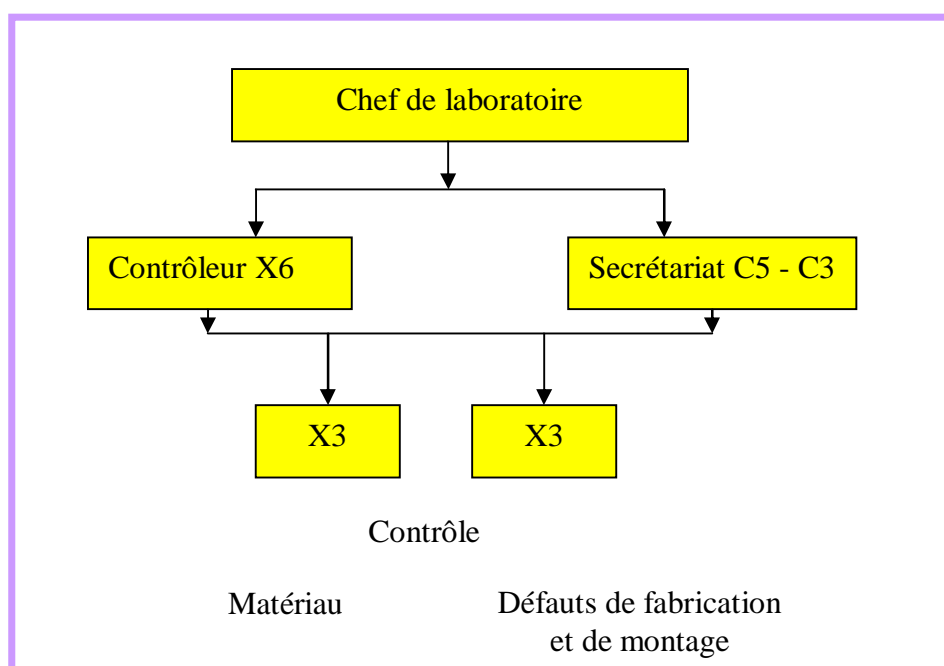
### I- MOYENS HUMAINS

Les attributions du laboratoire de contrôle qualité aux industries chimiques de SAFI, s'articuleront sur les fonctions suivantes :

- Contrôle matériau
- Contrôle défauts de fabrication et montage

Afin de répondre aux besoins de la DES en essais de contrôle avec le minimum de charges associées au personnel, nous proposons la composition suivante pour organiser le laboratoire :

- Un chef de laboratoire : 1 agent hors cadre que nous considérons disponible (n'engageant aucun frais).
- Un agent contrôleur de haute maîtrise : X6
- Deux agents de maîtrise : X3
- Deux agents OE : C5 - C3



## **II- EQUIPEMENTS DE CONTROLE**

Leur choix repose sur les modèles figurant sur les documentations récentes disponibles à la DES.

### **II-1 Contrôle matériau**

#### **1- Composition chimique**

Uniquement du type non destructif.

##### **Spectromètre mobile et portable**

Il doit permettre l'examen des pièces sous forme de barres, rouleaux, tôles, tuyaux, moulages, pièces forgées... Il doit également permettre une analyse qualitative et quantitative des produits finis et semi-finis à la réception et sur site. Sa détection minimale doit être :



#### **2- Caractéristiques mécaniques**

Seul l'essai de dureté est requis. Bien qu'à la DES nous disposons de duromètres portables, nous avons opté pour un duromètre portable et un duromètre fixe.

##### **a- Duromètre portables :**

Devant permettre le contrôle non destructif et avoir l'avantage de s'appliquer aux surfaces à accès difficile.

##### **b- Duromètre universel fixe :**

Son utilité est justifiée par le besoin de supporter les duromètres portables, leur étalonnage, pousser le contrôle en profondeur, et permettre le contrôle de la trempabilité.

#### **3- Structure :**

Un microscope optique est disponible à la DES. Il convient de lui associer un équipement de polissage et de traitement de surface.

##### **Polisseuse électrolytique**

Doit présenter l'avantage de s'appliquer aux alliages difficilement polissables. Elle doit également permettre le polissage et l'attaque anodique pour la révélation des structures finies d'un objet de taille quelconque au laboratoire et sur site.

### **II-2 Contrôle fabrication et montage**

Le choix est porté vers le contrôle radiographique :

Inspection des soudures, raccords de tuyaux, réservoirs sous pression...

### III- ETUDE ECONOMIQUE

#### III-1 Charges annuelles associées au laboratoire

##### 1- Frais du personnel

CP = 222 000 Dh

##### 2- Investissements en équipements

- Spectromètre : Avec appareil photo et pièces de rechange.

Prix : 70 000 Dh

- Duromètres : Avec pièces de rechange.

Portable : 94 000 Dh

Fixe : 110 000 Dh

- Polissage électrolytique : Avec pièce de rechange.

Prix : 31 000 Dh

- Appareil aux rayons X : Avec pupitre de commande et pièces de rechange.

Prix : 23 000 Dh

Les charges annuelles associées à ces investissements sont, en considérant l'amortissement sur 5 ans :

CE = 107 000 Dh

##### 3- Charges totales par an

CT = 329 000 Dh

#### III-2 Analyse économique de mise en place du laboratoire

Les besoins en essais de contrôle étant estimés à 1000 essais par an, nous obtenons un prix de revient de l'essai de contrôle à la DES de : **PR = 329 Dh / essai**

L'essai de contrôle comprend :

- **Le contrôle matériau :**

- Composition chimiqu.
- Structure
- Dureté

- **Le contrôle défauts de fabrication et montage.**

Dans le marché, le coût de sous-traitance de contrôle matériau est estimé à : 660 Dh / essai.

Ainsi, le coût de l'essai de contrôle qualité par sous-traitance coûte au minimum 2 fois plus cher que celui permis par la mise en place du laboratoire à la DES.

L'opportunité de mise en place d'un laboratoire de contrôle qualité aux industries chimiques de SAFI est une opération qui s'avère donc rentable tant au niveau économique qu'au niveau des avantages qu'il pourrait apporter pour l'aide à la maintenance.

La mise en place du laboratoire épargnera annuellement à la direction des exploitations industrielles de SAFI, au minimum : 331 000 Dh

## CONCLUSION

Il ressort de l'étude précédente que la mise en place d'un laboratoire de contrôle qualité du matériel mécanique, est une opération rentable.

Le contrôle qualité aux industries chimiques de SAFI permettra de :

- S'assurer de la conformité de l'ensemble des livraisons avec les spécifications techniques des cahiers des charges ;
- Harmoniser le contrôle et permettre l'aide à la maintenance mécanique ;
- Réaliser des économies directes substantielles, de plus de 331 000 Dh annuellement.

Enfin le laboratoire pourra se développer et s'ouvrir à l'ensemble des industries chimiques du groupe OCP, et épaulera ainsi le laboratoire de contrôle qualité des lubrifiants et bandes transporteuses, disponible aux exploitations minières de KHOURIBGA.

L'OFFICE CHERIFIEN DES PHOSPHATES, s'assurera de la qualité de ses installations au niveau de l'ensemble de ses exploitations industrielles : de l'extraction minière des phosphates à sa valorisation.