

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat  
Département : Électromécanique

## MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Mise en place d'une carte de contrôle, en vue du  
choix du SIS de l'installation**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Electromécanique**

**Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle**

**Par : Zarrour Intissar**

**Hattabi Ayoub**

**DEVANT LE JURY**

<b>Président :</b>	<b>HADJADJ.A.E.</b>	<b>U.B.M. Annaba</b>
<b>Directeur de mémoire :</b>	<b>HADJADJ.A.E.</b>	<b>U.B.M. Annaba</b>
<b>Examineur :</b>	<b>LAKHAL A.</b>	<b>U.B.M. Annaba</b>
<b>Examineur :</b>	<b>DJEMAI M.</b>	<b>U.B.M. Annaba</b>
<b>Examineur :</b>	<b>ADBI Z.</b>	<b>U.B.M. Annaba</b>

**Année 2019**

## Remerciements

Tout d'abord, nous rendons nos profondes gratitudee au bon Dieu le tout Puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail, également nous remercions infiniment nos parents, qui nous ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de notre formation.

Nos remerciements vont au professeur Hadjadj.E notre encadreur pour nous avoir guidées pour la réalisation de ce projet.

Nous tenons à remercier tous les membres administratifs pour l'effort qu'ils ont fourni au cours du parcours.

Nous exprimons, également, notre profonde gratitude à tous les personnels de l'entreprise SIDER El Hadjar, division du LAF, pour leur aide et fourniture des données.

Enfin, nos derniers remerciements vont à l'ensemble de la famille enseignante du département électromécanique de l'Université Badji Mokhtar Annaba. A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

## **Dédicaces**

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie aussi ce travail à :

- Ma sœur, mes frères et toute la famille.
- Tous mes amies, mes collègues et tous ceux qui m'estiment.

**Intissar**

## Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Sincèrement, **Ayoub**

## Sommaire

<b>Remerciements et Dédicaces</b> .....	01
<b>Liste des abréviations</b> .....	08
<b>Liste des figures</b> .....	10
<b>Liste des tableaux</b> .....	11
<b>Résumés</b> .....	12
Introduction générale.....	15
<b>Chapitre 1 : Maitrise Statistique des Procédés</b>	
<b>1.1 Introduction</b> .....	18
<b>1.2 Historique de la MSP</b> .....	19
1.2.1 Concepts de la M.S.P.....	19
1.2.2 Bénéfices de la MSP.....	20
<b>1.3 Les cartes de contrôle</b> .....	21
1.3.1 Définition d'une carte de control .....	21
1.3.2 Buts et bénéfices.....	21
<b>1.4 Contrôle en cours de fabrication</b> .....	22
1.4.1 Définition.....	22
1.4.2 Pourquoi contrôler la production ? .....	22
1.4.3 L'objectif du contrôle en cours de fabrication .....	22
1.4.4. Mission du contrôle en cours de fabrication .....	23
1.4.5. Différents types de contrôle en cours de fabrication .....	23
<b>1.5. Contrôle par Mesures</b> .....	24
1.5.1. Limite supérieure de contrôle (LSC) et limite inférieure de contrôle (LIC).....	24
<b>1.6. Conclusion</b> .....	26

## **Chapitre 2 : Partie Calcul (Carte de Contrôle)**

<b>2.1. Introduction</b> .....	28
<b>2.2. Compléter une carte de contrôle</b> .....	29
<b>2.3. Tableau</b> .....	30
<b>2.4. Vérification de la loi normale</b> .....	31
<b>2.5. PARETO</b> .....	32
<b>2.6. Les Cartes de control</b> .....	34
2.6.1. Carte de control des moyennes.....	34
2.6.2. Carte de control des étendues.....	34
<b>2.7. Interprétation</b> .....	35
2.7.1. Interprétation de carte de contrôle des moyennes.....	35
2.7.2. Interprétation de carte de contrôle des étendues.....	36
<b>2.8. Les Déclassements</b> .....	37
2.8.1. Déclassement à cause de l'épaisseur.....	37
2.8.2. Déclassements à cause des anormalités.....	37
<b>2.9. Mesure suggérer</b> .....	39
<b>2.10. Conclusion</b> .....	40

## **Chapitre 3 : Système Instrumenté de Sécurité (SIS)**

<b>3.1 Introduction</b> .....	42
<b>3.2 La sécurité fonctionnelle</b> .....	42
<b>3.3 Normes relatives aux Systèmes Instrumentés de Sécurité</b> .....	43
3.3.1 Norme CEI 61508.....	43
3.3.2 Norme CEI 61511.....	44
<b>3.4 Définitions et concepts relatifs aux SIS</b> .....	45
3.4.1 Définition des SIS.....	45
3.4.2. Fonction instrumentée de sécurité.....	47

3.4.3 Prescriptions relatives à l'intégrité de sécurité (aléatoire) du matériel : PFD ou PFH.....	48
3.4.4 Niveau d'intégrité de sécurité (SIL) .....	50
3.4.5 Les défaillances des SIS.....	50
3.4.5.1 Défaillance dangereuse.....	51
3.4.5.2 Défaillance en sécurité.....	51
3.4.6 L'architecture fonctionnelle d'un SIS.....	52
<b>3.5 Comment choisir le SIS convenable à partir du SIL ? .....</b>	<b>53</b>
3.5.1 Les contraintes architecturales (AC) .....	53
<b>3.6 Conclusion.....</b>	<b>54</b>

## **Chapitre 4 Application des SIS sur le TANDEM**

<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 La présentation de la machine Tandem.....</b>	<b>56</b>
4.2.1 La ligne tandem.....	57
4.2.2 Equipement de l'atelier des cylindres TANDEM.....	57
4.2.3 Description du laminoir tandem.....	57
<b>4.3 Etude de cas.....</b>	<b>57</b>
4.3.1 Les ruptures les plus fréquentes durant le laminage : .....	58
4.3.2 Graphe de risque.....	58
<b>4.4 Application.....</b>	<b>61</b>
2.4.1 Recherche de l'architecture .....	61
2.4.2 Application numérique.....	62
<b>4.5 Proposition de l'architecture du SIS .....</b>	<b>63</b>

<b>4.6 Conclusion.....</b>	<b>65</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>67</b>
<b>Annexe 1.....</b>	<b>66</b>
<b>Annexe 2.....</b>	<b>67</b>
<b>Annexe 3.....</b>	<b>68</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>70</b>



## Liste des abréviations

**ISO** Organisation internationale de normalisation

**MSP** Maitrise statistique des procédés

**AFNOR** Association française de normalisation

**X** Moyen

**R** Etendue

**LSC** Limite supérieur de contrôle

**LIC** Limite Inferieur de contrôle

**LC** Ligne centrale (égale au moyen)

**A2, D3, D4** Facteurs de calcul de carte de contrôle

**LAF** Laminoir à froid

**TDM** TANDEM

**SIS** Safety instrumented system (Système Instrumenté de sécurité)

**CEI** Commission d'Electrotechnique Internationale

**SRS** Systèmes relatifs à la sécurité

**BPCS** Basic Process Control System (système de commande de processus de base)

**E/E/EP** Electrique / Electronique / Electronique Programmable

**EUC** Equipment Under Control (équipement à protéger)

**SIF** Safety Instrumented Function (fonction instrumentée de sécurité)

**SIL** Safety Integrated Level

**PDF** Probability of failure on demand

**PFH** Probability of dangerous failure per hour

$\lambda$  Taux de défaillance aléatoire du matériel,

$\lambda_D$  Taux de défaillance aléatoire dangereuse du matériel,

$\lambda_{DD}$  Taux de défaillance aléatoire dangereuse du matériel détectée,

$\lambda_{DU}$  Taux de défaillance aléatoire dangereuse du matériel non détectée

$\lambda_s$  Taux de défaillance aléatoire en sécurité du matériel,

$\lambda_{SD}$  Taux de défaillance aléatoire en sécurité du matériel détectée,

$\lambda_{SU}$  Taux de défaillance aléatoire en sécurité du matériel non détectée

**DC** Couverture de Diagnostic

**EN** European Norm (Norme Européenne)

## Liste des figures

Figure	Titre de figure	Page
Figure 1.1	Exemple de carte de contrôle des moyens	25
Figure 2.1	Graphe représentant les épaisseurs des bobines acceptables, à réaffecter et ceux déclassé	30
Figure 2.2	Diagramme de PARETO	33
Figure 2.3	Carte de contrôle des moyennes	34
Figure 2.4	Carte de contrôle des Étendus	34
Figure 2.5	Evolution de la déclassée après réaffectation	38
Figure 3.1	CEI 61508 et ses déclinaisons par secteur d'application [22]	44
Figure 3.2	Relation générale entre la CEI 61508 et la CEI 61511 [7]	45
Figure 3.3	Un exemple de SIS [11]	46
Figure 3.4	fonction instrumentée de sécurité [20]	47
Figure 3.5	Exemple de fonction instrumenté de sécurité [14]	48
Figure 3.6	Répartition du temps [15]	49
Figure 4.1	Tandem à cinq cages [23]	56
Figure 4.2	la structure de la machine Tandem [23]	58
Figure 4.3	Schéma général de graphe de risque [19]	60
Figure 4.4	Détermination du SIL d'après le graphe de risque	62
Figure 4.5	L'architecture 2oo2	63
Figure 4.6	Schématisation de l'implantation du SIS	64
Figure 4.7	Architecture finale	64

## Liste des tableaux

Tableau	Titre de tableau	Page
Tableau 1.1	Tableau des coefficients de A2, D3 et D4	25
Tableau 2.1	Tableau de suivi continu de production du LAF (De 11/03/2019 a 25/04/2019)	30
Tableau 2.2	Distribution des épaisseurs en classes (en mm)	31
Tableau 2.3	Tableau de calcul de PARETO	33
Tableau 2.4	Taille des épaisseurs produites en régulations de LAF	37
Tableau 2.5	Tableau des causes plus commun pour une bobine d'être déclassée dans T1 2019	38
Tableau 2.6	Tableau du type de déclassements durant la période (11-03-2019 jusqu'à 27-04-2019)	39
Tableau 3.1	Les différents niveaux de SIL définis par la norme CEI 61508 [16]	50
Tableau 3.2	Sous système de type A [11]	53
Tableau 3.3	Sous système de type B [11]	54
Tableau 4.1	Légende de la classification des paramètres de risques [19]	60

## **Résumés**

### **Français :**

La sécurité des installations devenir progressivement le problème principale des entreprises et industries, car les erreurs sont imprévus et non contrôlables.

Dans le but d'éviter ces erreurs et pour assurer la sécurité des personnes, des installations et la continuité de la production, la sécurité matérielle apparait afin de couvrir le plus de conformité liées aux normes pour réduire les erreurs et de manipuler les opérations d'une façon adéquate.

Il faut avoir une mentalité avec des méthodes qui complémentent l'application des SIS, en utilisant une méthode de contrôle qualité comme une carte de contrôle, en employant les données de ce dernier pour améliorer la sécurité des installations.

Les équipements qui dépendent du fonctionnement correct des SIS (Safety Instrumented System), ces systèmes relatifs à la sécurité basés sur d'autres technologies et considéré comme un moyen important de réduction des risques.

Ce mémoire va démontrer un exemple de mise en place d'une carte de contrôle, en vue de choisir d'un SIS de l'installation (dans le cas sidérurgique).

**Les mots clés :** maitrise statistique des procédés, les cartes de contrôle, sécurité des installations, système instrumenté de sécurité, tandem,

## العربية:

أصبح أمن المنشآت على مدى الوقت المشكلة الرئيسية للشركات والصناعات، لأن الحوادث غير متوقعة ولا يمكن السيطرة عليها.

لتجنب هذه الأخطاء ولضمان سلامة الأشخاص والمرافق واستمرارية الإنتاج، يبدو أن تأمين الآلات يغطي أكثر المتطلبات منها الالتزام بالمعايير للحد من الأخطاء لمعالجة العمليات وسيلة كافية للحماية.

وذلك باستخدام طريقة مراقبة الجودة مثل مخطط التحكم SIS يجب أن يكون هناك عقلية مع الأساليب التي تكمل تطبيق وذلك باستخدام بيانات هذا الأخير لتحسين أمن المنشآت.

المعدات التي تعتمد على حسن سير العمل في نظام السلامة الآلية، هذه الأنظمة المتعلقة بالسلامة تعتمد على تقنيات أخرى وتعتبر وسيلة هامة للحد من المخاطر.

ستوضح هذه المذكرة مثلاً على إعداد بطاقة التحكم، و وضع هذا النظام فالمعدات المستعملة (في حالة الحديد و الصلب)

**English:**

The security of the facilities gradually becomes the main problem of the companies and industries, because the errors are unforeseen and uncontrollable.

In order to avoid these errors and to ensure the safety of workers, facilities and continuity of production, material security appears to cover the most standards-related compliance to reduce errors and manipulate operations in an adequate way.

There must be a mentality with methods that complement the application of SIS, using a quality control method such as a control chart, using the data of the latter to improve the security of the facilities.

Equipment that depends on the proper functioning of the Safety Instrumented System (SIS), these safety-related systems based on other technologies and considered as an important means of risk reduction.

This memo will demonstrate an example of setting up a control card, in order to choose a SIS for the installation (in the case of Steel works).

## **Introduction générale**

Tout au long de son histoire, l'humanité a été confrontée aux risques, qu'ils soient naturels ou résultant de ses activités pour sa survie et/ou son développement. Toute action, toute initiative comporte une part de risque et d'incertitude et pour tout être, celui-ci est associé à l'existence même. Cette notion de risque est particulièrement difficile à préciser car elle est liée à la définition de plusieurs facteurs.

Par ailleurs aujourd'hui, les risques sont associés à la sûreté de fonctionnement des installations selon le secteur d'activité, ne sont plus réduites à un simple plan d'action échelonné sur la durée d'exploitation. Les risques et les activités industrielles, les risques et la santé seront donc autant de sujets que nous proposons.

Généralement, la stratégie du travail des entreprises doit concentrer sur la qualité des produits livrés. Néanmoins, vu la libéralisation des échanges, le marché Algérien connaît une mutation considérable et une restructuration remarquable dans son tissu industriel dans le but de faire face à la concurrence mondiale qui devient de plus en plus intense. L'entreprise Algérienne se voit donc dans l'obligation d'assurer sa mise à niveau par l'optimisation de ses moyens humains, techniques et matériels, en vue d'asseoir sa compétitivité dans un contexte où seuls les plus performants seront viables. Cette compétitivité ne se pose pas en terme de production seulement, mais aussi en terme d'innovation et surtout d'assurance qualité.

En utilisant des méthodes pour contrôler la qualité de ces produits, comme par exemple le suivi continu de production avec une carte de contrôle, l'entreprise peut suivre la progression de sa production et assurer le maintien de la qualité de ces produits.

Les établissements industriels deviennent techniquement de plus en plus complexes et le potentiel de danger s'accroît en conséquence si les flux de danger ne sont pas convenablement contrôlés. Lorsque les systèmes industriels présentent des risques potentiels pour les personnes, l'environnement ou les biens, la gestion de ces risques nécessite de mettre en place des mesures de maîtrise des risques aussi communément appelées barrières de sécurité. Celles-ci participent soit à la prévention en minimisant la probabilité d'apparition du risque, soit à la protection pour limiter les conséquences d'un dysfonctionnement. Les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) sont utilisés pour assurer la sécurité fonctionnelle des installations.



Les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS), décrits par les normes IEC 61508 et IEC 61511, jouent un rôle primordial dans la prévention des accidents pouvant survenir dans les systèmes industriels. Ils entrent en action lorsque le procès se trouve dans des conditions anormales et qu'une situation dangereuse risque de se développer. Les SIS sont des associations de capteurs, d'unité de traitement et d'actionneurs, ayant pour objectif de remplir des fonctions de sécurité.

### **Objectif de ce mémoire**

Le but essentiel de ce mémoire est de mettre en place une carte de contrôle pour le suivi continu de production en vue de validation expérimentale de protéger l'installation et par conséquent les travailleurs.

# **Chapitre 1**

## **Maitrise Statistique des Procédés**

## 1.1 Introduction

Le principal but de la sécurité est d'éliminer les risques inacceptables qui pourraient être l'origine de diverses blessures physiques, atteintes à la santé des personnes, des dégradations l'environnement et qui peuvent également causer des pertes de production à coût élevé. Afin d'assurer cette sécurité, il faut d'abord avoir une bonne 'organisation' des travaux, des installations et particulièrement des systèmes.

On désigne par 'organisation' toutes les procédures mises en œuvre et prises en considérations pour venir à une maîtrise sûre de travail basant sur des méthodologies spécifiques en matière sécurité imposées généralement par des normes.

Les deux normes que nous avons utilisées ici sont La Norme ISO 17025 relative aux cartes de contrôle et ISO 61508 relatives au Systèmes instrumenté de sécurité

Les cartes de contrôle sont dessus la norme 17025 intitulé « Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais » qui dit :

La construction et la mise en place de cartes de contrôle pour suivre la dérive éventuelle de résultats d'essais par comparaison a des valeurs de référence issue d'étalons certifiés de résultats liés à la production ou de matériaux de référence raccordés et devenue une pratique usuelle dans le laboratoire.

Ce qui est nettement moins courant, c'est la procédure qui accompagne ces cartes et qui définit la manière dont nous avons traité les résultats ainsi que les actions que l'on mettra en place si la dérive est trop importante. [1]

Alors, qu'est que c'est une carte de contrôle ? Que veut dire un SIS ? Comment l'on peut implémenter ? Et comment on peut utiliser les données des cartes de contrôle pour nous aider à déterminer les niveaux et types de SIS nécessaires à implémenté ?

## 1.2 Historique de la MSP

C'est en 1929 que Shewhart a présenté sa célèbre « Control Chart », ouvrant ainsi la voie à une nouvelle discipline qu'est la M.S.P. Tout d'abord oubliée, ce n'est que dans les années 60 que Deming a su insuffler un regain d'intérêt à cette technique. En effet, les japonais avaient déjà compris l'enjeu que représentait la qualité au lendemain de la deuxième guerre mondiale.

La M.S.P. sous ses différentes formes constitue aujourd'hui le fer de lance d'une stratégie de prévention. La M.S.P. n'est pas à elle seule synonyme de qualité, on la conjugue avec d'autres outils tels que l'AMDEC, les plans d'expérience, les techniques de régression. [2]

### 1.2.1 Concepts de la M.S.P

La norme française AFNOR X06030 définit la Maîtrise Statistique des procédés comme suit :

- La MSP est un ensemble d'actions pour évaluer, régler et maintenir un procédé de production en état de fabriquer tous ses produits conformes aux spécifications retenues et surtout avec des caractéristiques stables dans le temps.
- La MSP est un des éléments dynamiques du système qualité, et à ce titre, concourt à l'amélioration permanente de la production.
- La MSP ne se limite pas à l'établissement de carte de contrôle et à leur exploitation pour régler des machines et maîtriser un procédé, comme on le pense souvent, mais c'est une suite d'analyses qui comprennent : une réflexion sur le procédé, l'identification des caractéristiques significatives de ce procédé, du produit et des tolérances nécessaires, la validation de l'outil de production et de son aptitude à fournir ce qu'on attend de lui, et enfin la mise en place de carte de contrôle.
- La MSP est une méthode préventive qui vise à amener le procédé au niveau de qualité requis et à l'y maintenir grâce à un système de surveillance qui permet de réagir rapidement et efficacement à toute dérive, en évitant ainsi la production massive de non conformes.

### 1.2.2 Bénéfices de la MSP

Les bénéfices de l'implantation de la MSP sont multiples. La norme AFNOR-X0630 les résume comme suit :

1. L'effet principal recherché : l'amélioration de la production et de la productivité, c'est-à-dire : constance des caractéristiques des produits fournis et diminution des coûts (rebuts, retouches, rationalisation des plans de contrôle, conformité aux spécifications)
2. Mais aussi les effets induits comme :
  - L'amélioration des échanges verticaux et horizontaux dans la structure hiérarchique de l'entreprise (la MSP fournit les éléments d'un langage commun)
  - L'amélioration de la démarche de résolution de problèmes de qualité en production (la MSP facilite la recherche des causes et la mesure du résultat des actions)
  - L'amélioration puis la maîtrise des procédures, des produits et procédés (sentiment de sécurité avant livraison)

La MSP est fondée sur le concept d'état stable. Il est indispensable de bien connaître ce concept pour utiliser correctement la méthode.

- **Un système stable** : est un système qui a les performances prévisibles, puisque les données sont distribuées de façon aléatoire avec une dispersion constante autour d'une moyenne invariable dans le temps.
- **Un système instable** : est une stratégie d'action intensive pour identifier le plus tôt possible les causes d'instabilité, puis les éliminer autant que possible, ou au moins y remédier.

Ces outils, aussi différents soient-ils, s'appuient sur deux concepts essentiels de la M.S.P :

- L'analyse de capabilité
- Le pilotage par carte de contrôle

## 1.3 Les cartes de contrôle

### 1.3.1 Définition d'une carte de contrôle

Une carte de contrôle, ou plus exactement un graphique de contrôle, est un document que l'on remplit au fur et à mesure que les données sont générées. Elle comporte un axe horizontal, sur lequel on indique le numéro chronologique, on l'utilise dans le domaine du contrôle de la qualité afin de maîtriser un processus.

Chaque nouvelle valeur du paramètre suivi (moyenne, écart type, étendue) donne lieu à un report sur la carte. Il existe une grande variété de cartes. Nous nous limiterons à la carte de contrôle par mesure des moyennes et étendues.

Les cartes de contrôle permettent de déterminer le moment où apparaît une cause particulière de variation d'une caractéristique, entraînant une altération du processus. Par exemple un processus de fabrication pourra être mis à l'arrêt avant de produire des pièces qui seront non-conformes.

Les types de graphiques de contrôle les plus utilisés dans l'industrie sont les graphiques de contrôle de la moyenne et de l'étendue. Dans cette méthode, deux graphiques sont tracés et interprétés simultanément.

### 1.3.2 Buts et bénéfices

Les principaux buts et bénéfices des cartes de contrôles sont les suivants :

- **La carte de contrôle augmente la productivité et diminue les coûts** car elle prévient la production de produit défectueux en aidant à garder le procédé sous contrôle statistique. La productivité augmente car la proportion de "bon produit" fabrique augmente et les coûts diminuent car il y a moins de déchets.
- **La carte de contrôle empêche les sous ou le sur contrôle.** Il est normal que les sorties d'un procédé varient et il n'est pas indispensable de réajuster celui-ci chaque fois qu'une unité produite ne correspond pas exactement à la valeur cible.
- **La carte de contrôle donne des indications sur les causes des problèmes.** Un opérateur ou ingénieur familier avec le procédé et la technique des cartes de contrôle pourra, en général,

diagnostiquer la cause d'un problème en examinant le profil des points sur la carte de contrôle.

• **La carte de contrôle permet de mesurer la capacité** (ou aptitude) du procédé car elle donne une estimation de la tendance centrale de la caractéristique étudiée, de sa variabilité et des limites dans lesquelles elle varie. [3]

## **1.4 Contrôle en cours de fabrication**

### **1.4.1 Définition**

Le contrôle en cours de fabrication est la vérification du respect des consignes de qualité et fabrication des éléments et articles, à différents stades de la fabrication.

Le contrôle en cours est donc une vérification de la conformité de la qualité en étapes de fabrication et/ou du produit sorti de la chaîne, avec le dossier technique. [4]

### **1.4.2 Pourquoi contrôler la production ?**

L'industrie utilise des équipements de plus en plus sophistiqués et automatisés. De ce fait, l'homme intervient de moins en moins sur le produit. Il n'a donc plus autant de regard sur la production pendant que celle-ci est en cours. De plus, les cadences des équipements deviennent de plus en plus rapides. Ainsi, il devient difficile pour l'homme d'effectuer un mirage de 100% du produit conditionné en cours de production.

Le contrôle en cours est donc une étape hors production, qui permet aux opérateurs de vérifier, avec attention, que le produit final est conforme aux attentes du client.

### **1.4.3 L'objectif du contrôle en cours de fabrication :**

L'entreprise donne une méthode de contrôle en cours de fabrication permettant de :

- Détecter les anomalies dès leurs apparitions,
- Saisir les informations exploitables pour le suivi et l'amélioration de la qualité,
- Éviter les catastrophes.

L'organisation d'un contrôle en cours de fabrication systématique, suivie par des documents de saisie des résultats, permettra, non seulement une évaluation du niveau de la qualité de la fabrication, mais aussi la possibilité de réduction des pertes le plus rapidement.

#### 1.4.4 Mission du contrôle en cours de fabrication

- Détecter les anomalies dès leur apparition, afin d'engager des actions correctives le plus rapidement possible.
- Vérifier la conformité du travail et du produit aux spécifications.
- Éviter les dérives de qualité en fabrication.
- Contribuer à la diminution de la non qualité.
- Arrêter les produits défectueux.
- Fournir les informations permettant le suivi et l'amélioration de la qualité.

#### 1.4.5 Différents types de contrôle en cours de fabrication :

Le contrôle en cours de fabrication de la qualité des éléments produits se fait généralement à partir de prélèvements dont chacun est soumis à un essai.

L'ensemble des résultats obtenus sur un même prélèvement donne lieu au calcul d'une statistique (moyenne ...).

Les valeurs en sont reportées, dans l'ordre chronologique, sur une carte dite « **carte de contrôle** », et interprétées d'après leur position par rapport à des **limites** tracées à l'avance sur la carte.

Nous nous intéresserons aux types de contrôle suivants :

- Contrôle par mesures (Shewhart)
- Contrôle par attributs

La méthode que nous avons utilisée est contrôle par mesure.



## 1.5 Contrôle par Mesures

La spécification contrôlée est une grandeur chiffrable par un appareil de mesure.

Les cartes de contrôles permettent de surveiller deux paramètres :

- La tendance de la fabrication (moyenne).  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
- La variabilité du processus (étendue)  $R = \text{Valeur Max} - \text{Valeur Min}$

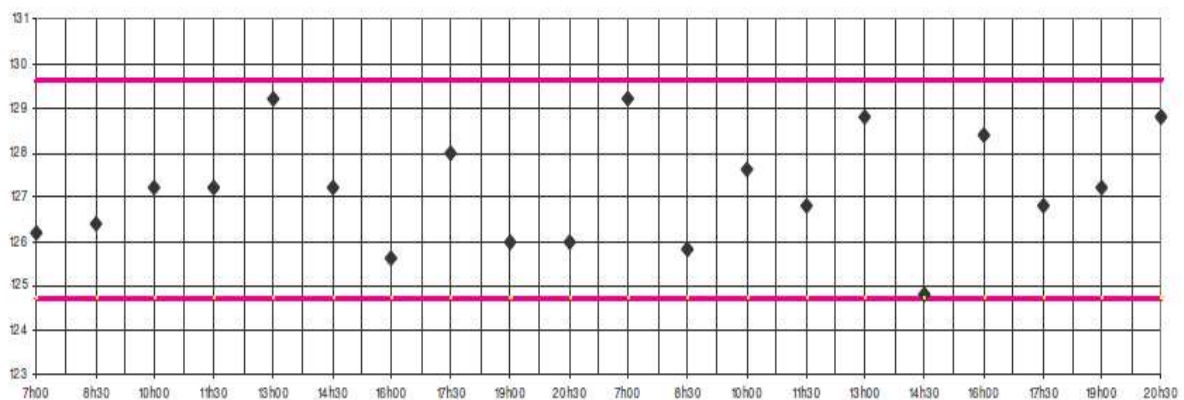
### 1.5.1 Limite supérieure de contrôle (LSC) et limite inférieure de contrôle (LIC)

Les cartes de contrôle sont des quadrillages gradués, pour l'axe horizontal de façon chronologique et pour l'axe vertical selon les valeurs prises par le paramètre du caractère X (moyenne, écart-type...). Elles traduisent graphiquement un test d'hypothèse bilatéral.

On indique deux lignes horizontales correspondant aux valeurs limites de la moyenne d'un échantillon au-delà desquelles la conclusion du test est le rejet de l'hypothèse nulle.

Ces limites sont appelées limite supérieure de contrôle (LSC) et limite inférieure de contrôle (LIC).

On prélève des échantillons à intervalles de temps réguliers et on reporte sur le graphique la valeur de la moyenne de l'échantillon.



Carte de contrôle de la moyenne

Figure 1.1 : Exemple de carte de contrôle des moyens

La ligne centrale et les limites de contrôles sont en général définies comme suit :

- **Limite de contrôle supérieure** :  $LSC = X + A2 R$
- **Ligne centrale** :  $LC = X$
- **Limite de contrôle inférieure** :  $LIC = X - A2 R$

Pour la carte des étendues, on a :

**Limite Supérieur de Control des Etendues** :  $D4 * R$

**Ligne Centrale** :  $R$

**Limite Inferieur de Control des Etendues** :  $D3 * R$

Les coefficients **A2**, **D3**, **D4** sont déterminées à l'aide de tableau suivant :

Coefficients	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>A2</b>	<b>1.880</b>	<b>1.023</b>	<b>0.729</b>	<b>0.577</b>	<b>0.483</b>	<b>0.419</b>	<b>0.373</b>	<b>0.337</b>	<b>0.308</b>
<b>D3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.076</b>	<b>0.136</b>	<b>0.184</b>	<b>0.223</b>
<b>D4</b>	<b>3.267</b>	<b>2.575</b>	<b>2.059</b>	<b>2.326</b>	<b>2.534</b>	<b>2.707</b>	<b>1.864</b>	<b>1.816</b>	<b>1.777</b>

**Tableau 1.1 : Tableau des coefficients de A2, D3 et D4**

## **1.6 Conclusion**

### **But de la méthode**

Ces graphiques permettent de visualiser l'évolution des caractéristiques mesurées. Chaque graphique comporte une suite de points qui représente les valeurs de la moyenne et de l'étendue sur des échantillons prélevés à intervalles réguliers.

Le but est de suivre les performances de la production au moyen de deux graphiques qui montrent l'évolution du processus. On fait des observations individuelles sur des sous-groupes numérotés avec une fréquence de temps donnée (toutes les heures, trois fois par jour ...). Sur chaque sous-groupe on effectue une observation. On reporte respectivement sur chaque graphique la moyenne et l'étendue du sous-groupe en fonction de son numéro chronologique qui sera reporté sur l'axe horizontal.

Une production est dite "stable" ou "sous contrôle" lorsque la moyenne et l'étendue ne présentent pas de variations qui pourraient être attribuées à des causes particulières. En d'autres termes, des variations seulement dues au hasard.

## **Chapitre 2**

### **Partie Calcul (Carte de Contrôle)**

## 2.1 Introduction

Après avoir pris l'historique des épaisseurs des bobines du mois de Mars au Avril 2019 et effectué le suivi de ce dernier dans la Direction LAF, dont 10 échantillons ont été mesuré quotidiennement [voir annexe 1].

Nous avons effectué des calculs statistiques tels que la moyenne, l'étendue, pour vérifier la normalité du processus et s'assurer que les caractéristiques contrôlées sont stables dans le temps.

Ce chapitre comporte les tableaux contenant les résultats du suivi effectué ainsi que les histogrammes pour la vérification de la normalité.

## 2.2 Compléter une carte de contrôle

**Etape 1 :** Calculer les paramètres de contrôle :

Il existe 2 paramètres de contrôle dans une carte de contrôle :

- Un paramètre de position : La moyenne arithmétique, elle donne une indication de la position de réglage de la machine.

$$\bar{x} = \text{Somme des valeurs} / \text{Nombre de valeurs}$$

- Un paramètre de dispersion : L'étendue, c'est l'écart entre la plus forte et la plus faible des valeurs.

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

**Etape 2 :** Calculer la moyenne des moyennes  $\bar{\bar{x}}$  et la moyenne des étendues  $\bar{R}$ .

**Etape 3 :** Reporter les valeurs calculées à la 1ère étape sur les parties :

- Suivi de la variation de la moyenne
- Suivi de la variation de l'étendue

Tracer également l'axe de la moyenne des moyennes, l'axe représentant la cible et l'axe de la moyennées des étendues.

**Etape 4 :** Calculer et reporter les limites de contrôle inférieures et supérieures

Pour la carte des moyennes :

$$\text{Limite de contrôle supérieur : LCS} = \text{Cible} + A_2 \times R$$

$$\text{Limite de contrôle inférieur : LCI} = \text{Cible} - A_2 \times R$$

Pour la carte des étendues :

$$\text{Limite de contrôle supérieur : LCSR} = D_4 \times R$$

$$\text{Limite de contrôle inférieur : LCIR} = D_3 \times R$$

## 2.3 Tableau

Jour	10 échantillons										Moyenne	Etendue
11/03	1,5	1,2	1,5	1,2	1	0,8	1	0,8	1,95	1,95	1,29	1,15
12/03	0,97	0,9	0,77	1,2	1,5	1,8	1,97	0,92	1,35	1,35	1,273	1,2
13/03	1,97	0,97	0,95	0,92	1,38	1,18	1	0,97	2	2	1,334	1,08
14/03	2,17	1,97	1,47	1,97	1,47	1,97	1,8	1,5	1,2	1,2	1,672	0,77
17/03	2	1,47	0,85	1,97	1,17	0,95	0,97	1,2	1	1	1,258	1,12
18/03	1	0,98	0,95	0,9	0,67	0,68	1	1,38	2	2	1,156	1,33
19/03	1,95	1,77	1,15	0,85	0,92	1,15	0,97	0,95	0,97	0,97	1,165	0,92
20/03	0,5	0,4	1,2	1,5	1,8	2	1,2	1,5	1,8	1,8	1,37	1,6
21/03	1,35	1,34	1,35	1,5	1,8	2	0,92	1,15	0,97	0,97	1,335	1,08
24/03	1,35	1,34	1,32	1,45	1,47	1,45	1,97	1,15	1,17	1,17	1,384	0,82
25/03	1,17	1,27	1,97	1,77	1,97	1,47	0,67	0,68	1	1	1,297	1,3
25/03	1,47	1,35	1,14	1,15	1,17	1,27	0,67	1,35	0,97	0,97	1,151	0,68
26/03	0,95	0,97	1,34	0,97	1,34	1,37	1,47	1,97	2,17	2,17	1,472	1,2
27/03	2,17	0,75	0,97	1,97	1,17	0,77	0,75	0,85	0,94	0,94	1,128	1,22
28/03	0,67	1,97	1,47	1,34	1,37	1,15	1,17	0,97	0,95	0,95	1,201	1,02
31/03	1,97	1,47	1,17	1,77	1,12	0,95	1,17	2,17	1,97	1,97	1,573	1,22
01/04	1,17	1,34	1,44	1,14	0,97	1,94	0,77	1,27	0,97	0,97	1,198	1,17
02/04	1,5	2	1,5	2	1,8	1,5	1,47	1,35	1,45	1,45	1,602	0,65
03/04	0,67	0,64	0,67	0,85	1,17	1,29	0,67	1,47	0,97	0,97	0,937	0,83
04/04	2	1,95	1,8	1,75	1,5	1,38	1,2	1,45	1,35	1,35	1,573	0,75
07/04	1,2	2	1,2	1,97	1,35	1,45	1,34	1,4	1,15	1,15	1,421	0,85
08/04	1,34	1,44	1,45	1,34	1,32	1,35	1,97	1,75	1,15	1,15	1,426	0,82
09/04	1,2	1	1,2	2	1,35	1,47	2,17	1,47	0,85	0,85	1,356	1,32
10/04	1,35	1,15	1,34	1,14	1,17	1,27	1,14	2,17	1,17	1,17	1,307	1,03
11/04	1,97	0,97	0,67	1,97	0,95	1,75	1,34	0,92	1,17	1,17	1,288	1,3
14/04	0,95	0,97	0,94	0,95	0,94	0,98	0,95	0,94	0,97	0,97	0,956	0,04
15/04	1,35	0,97	0,67	0,96	0,97	0,94	0,67	0,66	0,75	0,75	0,869	0,31
16/04	1,96	2	1,18	1,21	2	1,98	2	1,2	1,21	1,21	1,595	0,82
17/04	0,68	0,7	0,71	0,7	1,94	1,99	0,9	0,75	0,95	0,95	1,027	1,29
18/04	0,45	0,46	0,45	0,47	0,46	0,45	0,44	0,47	0,45	0,45	0,455	0,03
21/04	0,67	0,77	0,75	0,76	0,77	1,34	0,84	0,92	1,15	1,15	0,912	0,59
22/04	2	0,71	0,78	0,88	0,6	1,95	0,7	0,71	0,7	0,7	0,973	1,35
23/04	0,6	0,57	0,58	0,59	0,58	0,57	0,6	0,48	0,5	0,5	0,557	0,12
24/04	0,55	0,57	0,47	0,55	0,45	0,5	0,47	0,45	0,46	0,46	0,493	0,12
25/04	0,5	0,42	0,45	0,55	0,45	0,47	0,45	0,44	0,35	0,35	0,443	0,2
											Moyenne des moyennes	1,1842
											Moyenne des étendus	0,88676471

Tableau 2.1 : Tableau de suivi continu de production du LAF (De 11/03/2019 à 25/04/2019)

## 2.4 Vérification de la loi normale

Pour mettre en œuvre le contrôle par mesure il faut connaître tout d'abord la loi que suit le caractère contrôlé (épaisseur) qui est Généralement la loi normale.

Pour une taille d'échantillon égal à 10, nous avons procédé à dessiner un histogramme dans le but de voir la distribution, l'histogramme est un graphe à bars représentant un intervalle de mesures sur l'axe des x et les fréquences des mesures apparaissent dans cet intervalle sur l'axe des y.

**Nombre de classes** =  $1 + (3.33 \log n)$

**N**=350

Donc :  $1 + (3.33 \log 350) = 9.39 = 10$

**Taille de l'échantillon** =  $(X_{\max} - X_{\min}) / \text{Nombre de classes}$

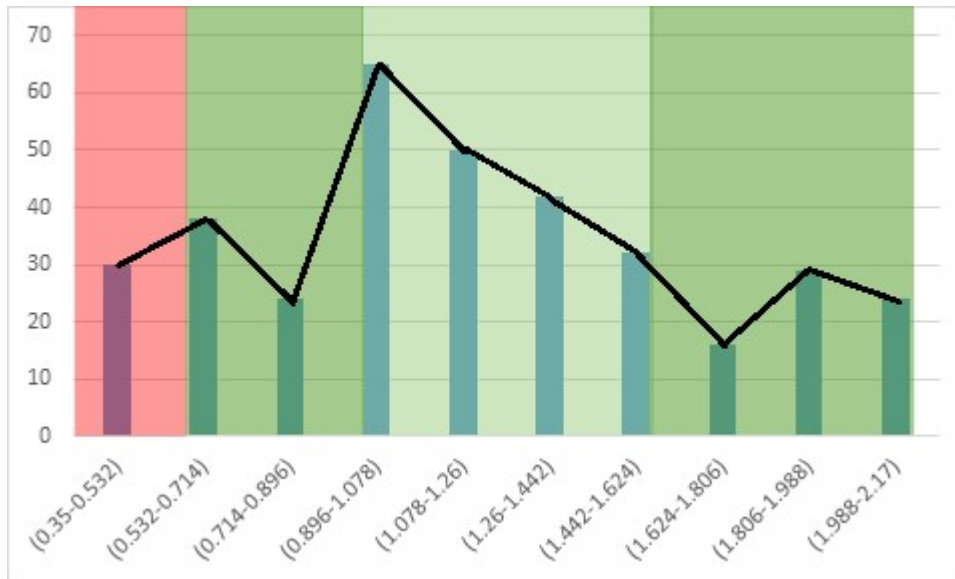
Donc :  $(2.17 - 0.35) / 10 = 1.82 / 10 = 0.182$

Donc Les Classes sont :

Les Classes (en mm)	Nombre des bobines dans cette classe
(0.35-0.532)	30
(0.532-0.714)	38
(0.714-0.896)	24
(0.896-1.078)	65
(1.078-1.26)	50
(1.26-1.442)	42
(1.442-1.624)	32
(1.624-1.806)	16
(1.806-1.988)	29
(1.988-2.17)	24

Tableau 2.2 : Distribution des épaisseurs en classes (en mm)





**Figure 2.1 : Graphe représentant les épaisseurs des bobines acceptables, à réaffecter et ceux déclassé**

## 2.5 PARETO

Le **diagramme de Pareto** est un graphique représentant l'importance de différentes causes d'un phénomène. Ce diagramme permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation.

Ce diagramme se présente sous la forme d'une série de colonnes triées par ordre décroissant. Elles sont généralement accompagnées d'une courbe des valeurs cumulées de toutes les colonnes. [5]

Ce diagramme est construit en plusieurs étapes :

- Collecte des données
- Classement des données au sein de catégories
- Calcul du pourcentage de chaque catégorie par rapport au total
- Tri des catégories par ordre d'importance

	Fréquence	F cumulé	% cumule
(0.896-1.078)	65	65	19%
(1.078-1.26)	50	115	33%
(1.26-1.442)	42	157	45%
(0.532-0.714)	38	195	56%
(1.442-1.624)	32	227	65%
(0.35-0.532)	30	257	73%
(1.806-1.988)	29	286	82%
(0.714-0.896)	24	310	89%
(1.988-2.17)	24	334	95%
(1.624-1.806)	16	350	100%
<b>Somme</b>	<b>350</b>		

Tableau 2.3 : Tableau de calcul de PARETO

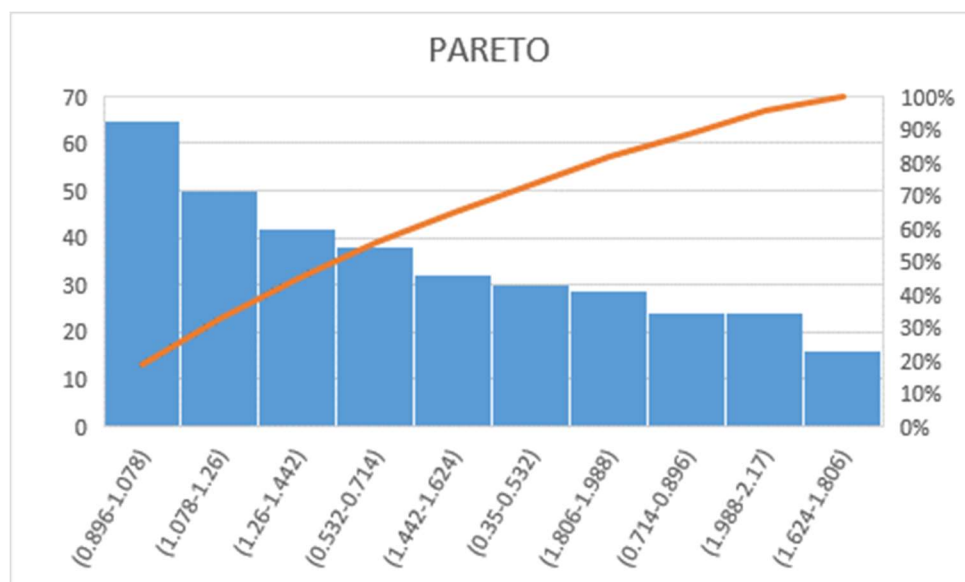


Figure 2.2 : Diagramme de PARETO

## 2.6 Les Cartes de contrôle

### 2.6.1 Carte de contrôle des moyennes

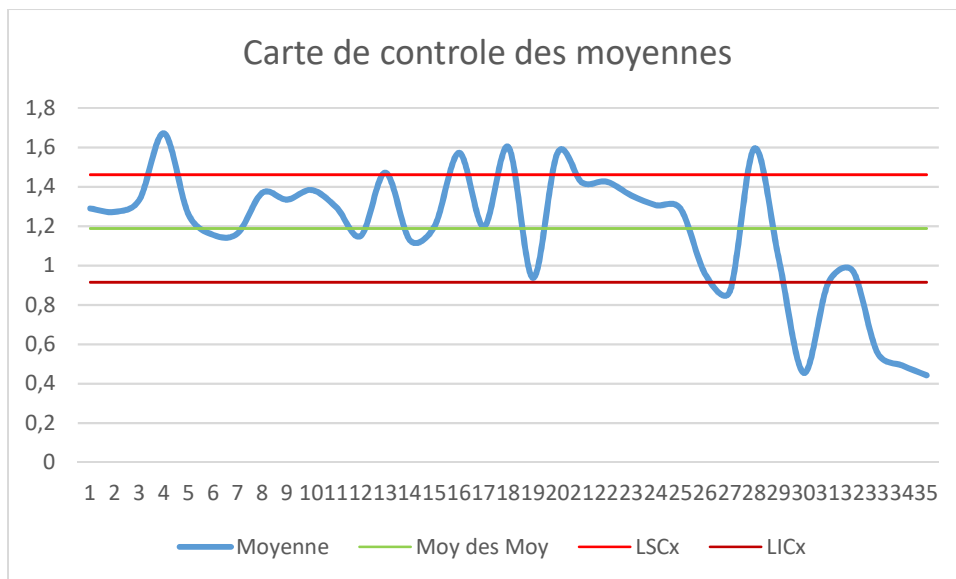


Figure 2.3 : Carte de contrôle des moyennes

### 2-6-2 Carte de contrôle des étendues :

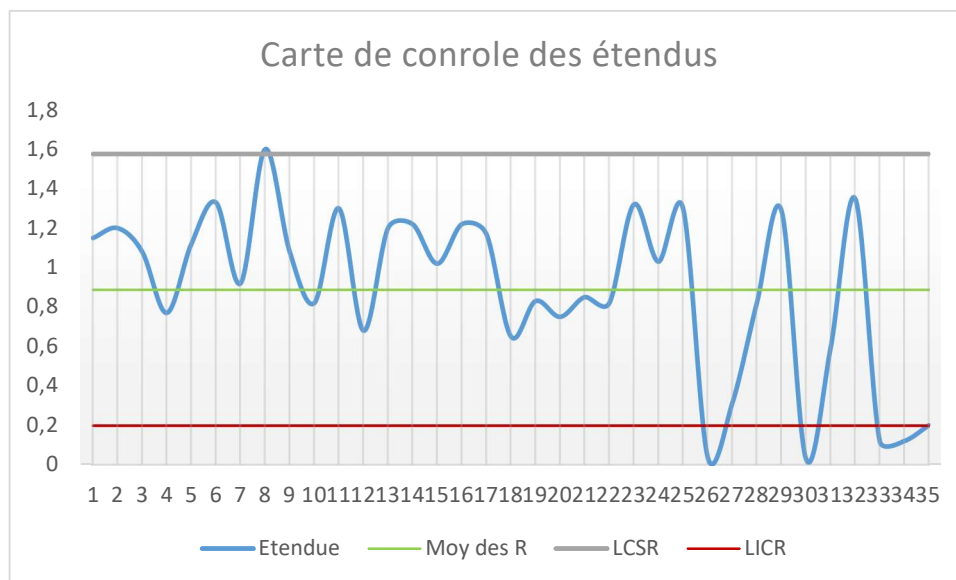
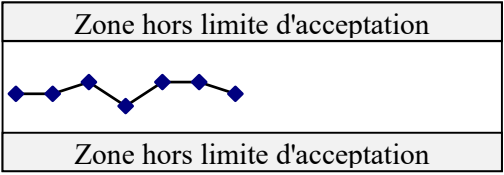
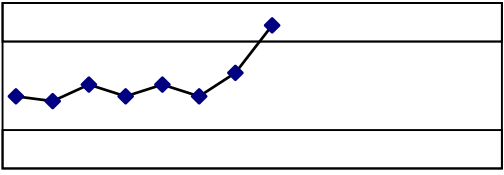
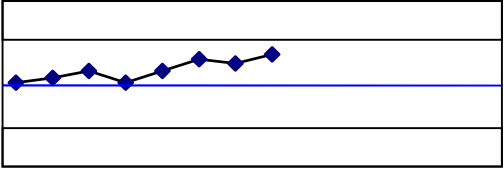
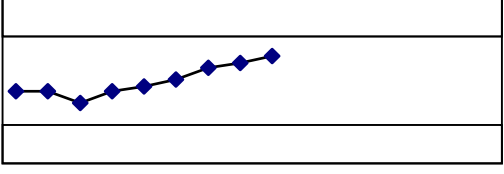
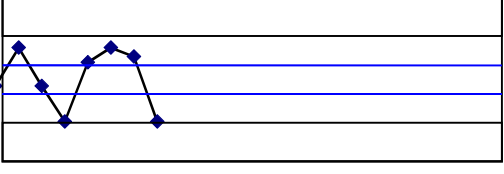


Figure 2.4 : Carte de contrôle des Étendues

## 2.7 Interprétations

### 2.7.1 Interprétation de carte de contrôle des moyennes

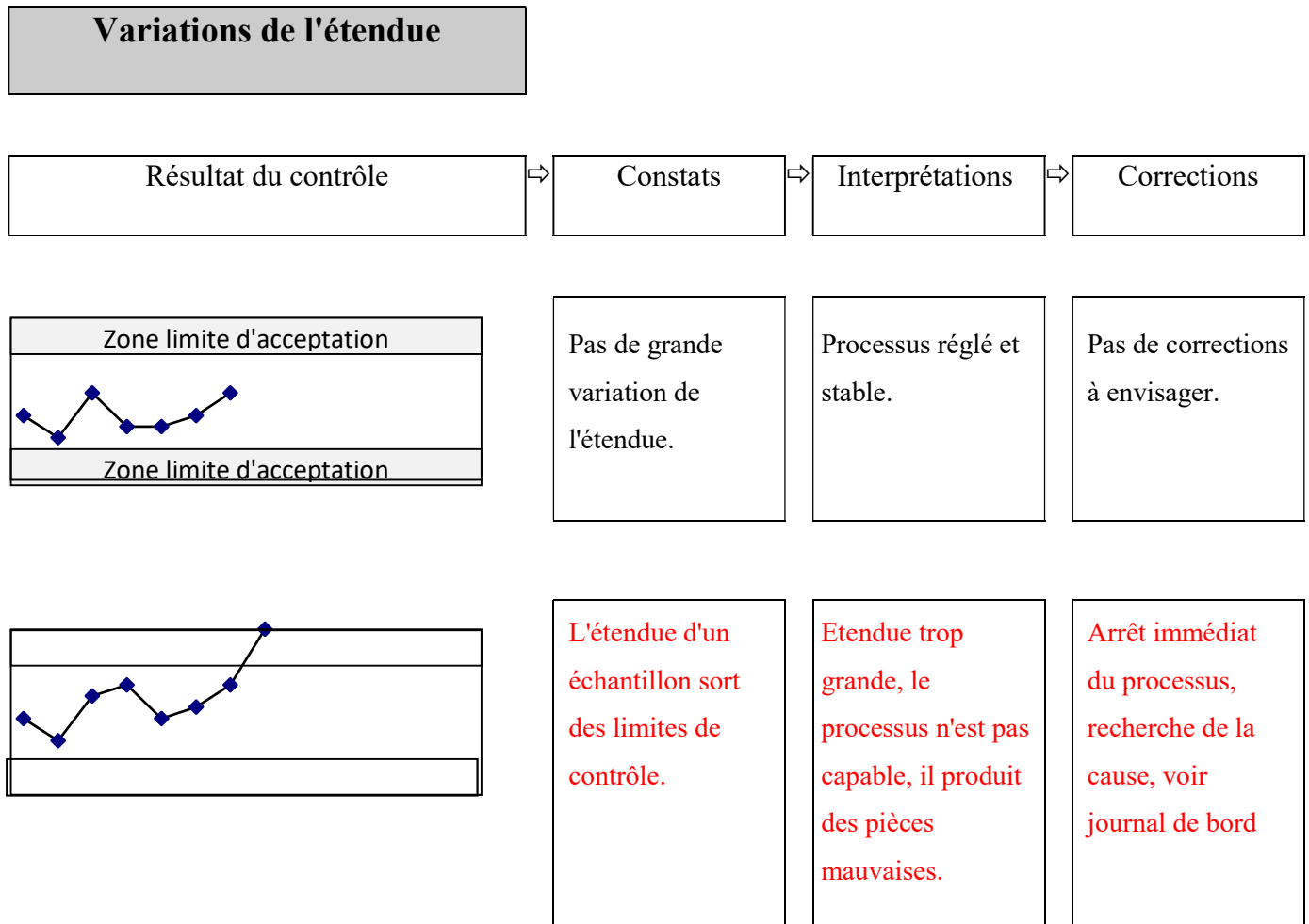
Variations de la moyenne			
Résultats du contrôle	Constats	Interprétations	Corrections
 <p>Zone hors limite d'acceptation</p> <p>Zone hors limite d'acceptation</p>	Pas de grande variation de l'a moyenne.	Processus réglé et stable.	Pas de corrections à envisager.
	La dernière moyenne est trop grande et sort des limites de surveillance.	Le processus dérive, il faut en trouver la cause commune pour corriger durablement.	Intervenir et régler le processus. Voir journal de bord pour trouver la cause et la corriger
	On constate une série de sept points consécutifs du même côté de la moyenne.	Le processus dérive, ce qui peut être dû à un mauvais réglage initial.	Intervenir et régler le processus. Voir journal de bord pour trouver la cause et la corriger
	On constate une série de sept points consécutifs en dérive constante.	Processus en dérive constante, risque de production mauvaise.	Régler le processus. Rechercher la cause sans doute spéciale (usure d'outil, par exemple).
	Les 2/3 des points sont en dehors d'une zone centrée autour de la moyenne de la moyenne.	Forte probabilité due à une cause aléatoire.	Renforcer la surveillance. Modifier les conditions de production pour trouver la cause aléatoire.

Pour la carte de contrôle des moyennes nous avons déduit qu'il y'a une dégradation des cylindres d'appui au cours de production dans un mois ou les épaisseurs ne sont pas contrôlé dans les limites désire.

D'après les résultats de contrôle nous avons déduit qu'on doit « Renforcer la surveillance. Modifier les conditions de production pour trouver la cause aléatoire. »

### 2.7.2 Interprétation de carte de contrôle des étendues

#### Variations de l'étendue



D'après les analyses de l'étendue nous avons déduit que l'étendue a des échantillons qui sort des limites de contrôle, l'étendue subit des variations très grands au bout des jours ce qui veut dire que le processus n'est pas très stable dans sa production des bobines.

## 2.8 Les Déclassés

### 2.8.1 Déclassés à cause de l'épaisseur

La production du mois d'avril à demander une production des bobines entre 1 et 1.5 mm, mais on notera que le Tandem à produire 54% (189) des bobines dans ces paramètres.

Les 48% de production ne sont pas des rebuts, Il y'a une opération de réaffectation première ou les bobines qui ne sont pas conforme aux demandes de client sont réappropriés à l'autre clients qui demande les épaisseurs produites.

Les épaisseurs produites par le laminoir à froid aux clients sont des épaisseurs suivantes :

Type d'Epaisseur	Taille d'Epaisseur
Faible Epaisseur	(0.55 à 0.65mm) ou (0.66 à 1.16mm)
Grande Epaisseur	(1.17 à 1.5mm) ou (1.51 à 2 mm)

**Tableau 2.4 : Taille des épaisseurs produites en régulations de LAF**

Nous déduisons qu'après une opération de réaffectation première de ces bobines, en prenant le mois d'avril comme exemple, juste les bobines supérieures à 2mm sont déclassées à cause du problème de l'épaisseur.

Donc, le nombre des bobines ou l'épaisseur est supérieur à 2mm est : 6, donc 1.71% déclassée à cause de l'épaisseur dans le mois d'avril, ceci et en dessous de 2% placé par le service de qualité du LAF.

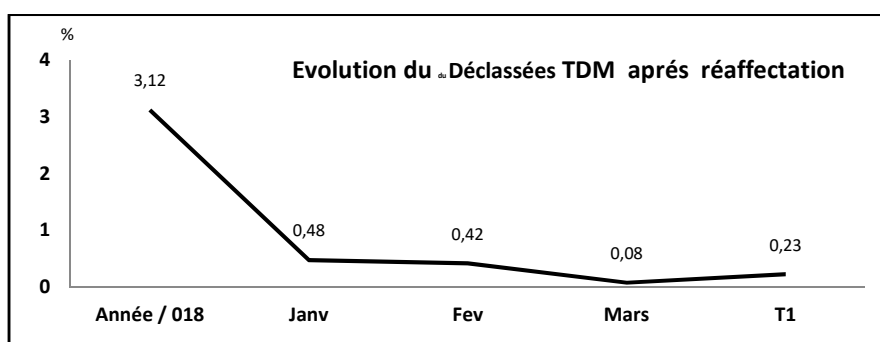
### 2.8.2 Déclassés à cause des anomalies

D'après des analyses quotidiennes le bureau de contrôle de qualité de LAF (ou le critère choisi pour contrôler la qualité et le poids) a déterminé les causes principales type de déclassés des bobines avant réaffectation comme le suivant :

Déclassé avant réaffectation par équipe						
	Poids (T)	%	Poids (T)	%	Poids (T)	%
	Equipe A		Equipe B		Cumul mois Mars	
Déchirures	118,33	1,94%	250,46	3,60%	368,79	2,83%
Rives craquelée	109,3	1,79%	194,73	2,80%	304,03	2,33%
Griffure	38,32	0,63%	53,61	0,77%	91,93	0,70%
Bande sale	12,95	0,21%	33,78	0,49%	46,73	0,36%
Empreinte cylindre	17,26	0,28%	23,19	0,33%	40,45	0,31%
Téléscopicité	14,55	0,24%	22,14	0,32%	36,69	0,28%
Ondulation	14,76	0,24%	0	0,00%	14,76	0,11%
Rives endommagées	12,34	0,20%	0	0,00%	12,34	0,09%
Canal de laminage	9,4	0,15%	0	0,00%	9,40	0,07%
<b>Taux déclassé</b>	<b>347,210</b>	<b>5,70%</b>	<b>577,91</b>	<b>8,31%</b>	<b>925,12</b>	<b>7,09%</b>

**Tableau 2.5 : Des causes plus commun pour une bobine d’être déclassée dans T1 2019**

Et en tenant compte les autres causes pour une bobine d’être déclassée dans sa période (d’après le suivi du service process) on peut faire une deuxième réaffectation ou il est possible de renvoyer les bobines déclassées au début de chaine de production.



**Figure 2.5 : Evolution de la déclassée après réaffectation**

Type de déclassements	Effectif	% de bobines totales
Rives craquelées	23	(6.5% de bobines totales)
Télescopicité	5	(1.4% de bobines totales)
Déchirures	4	(1.1% de bobines totales)
Autres	4	(1.1% de bobines totales)

**Tableau 2.6 : Tableau du type de déclassements durant la période (11-03-2019 jusqu'à 27-04-2019)**

En total 36 bobines de 350 en été déclassée à cause de anomalies ça veut dire 10% de bobines ont été déclassée mais s'est pas fini parce que, on a un opération de réaffectation, et d'après le même rapport de ces 36 bobines déclassée 26 on a été récupérée par le re-entre un nouvelle fois dans la chaine de production ça veut dire 10 à rester déclassée 2.8%, et on consultant le rapport 4 de ces 10 bobines ont été les bobines qui ont l'épaisseur supérieur à 2mm donc 1.7% des bobines on a été déclassée à cause de déchirures ou rives craquelées, dessus le 2% pour cette cause.

En total, 2 bobines déclassée à cause d'épaisseur, 6 à cause des (riv crq, dech, etc....) et 4 avec ces causes combines, en total 12 bobines déclassent de 350 totaux, 3.4% des bobines total, en comparant avec le mois de Janvier 2019 elle a été 4.5%, en Février 5.4% et en Mars 2.33%

## **2.9 Mesure suggérer**

Le problème le plus évident et la dispersion des tailles des épaisseurs durant la production, et les déclassements à cause de l'anormalité au cours de production, pour contrôler ces épaisseurs nous avons suggéré une mesure pour contrôler l'épaisseur dans les cages de TANDEM et qui peut contrôler le mouvement et vibrations des cylindres d'appui pour avoir un résultat constant, et une épaisseur contrôler au cours de production.



## 2.10 Conclusion

Après l'analyse de l'épaisseur des bobines produits entre Mars 2019 et Avril 2019, et discutant avec les bureaux de contrôle de qualité/processus, nous avons conclu que la production est conforme aux conditions mise par l'entreprise, mais ces conditions ne sont pas efficace, car le TANDEM marche 5 jours dans la semaine, de 5h à 21h sans arrêt, les épaisseurs ne sont pas contrôler au cours de la production et au demande du client, mais la production marche pour produire des bobines, les stocker puis distribuer aux clients dépendant de leur demande, mais, comme l'exemple étudié ou le client a demandé des bobines d'épaisseurs de 1mm et donne la marge d'erreur entre 0.5mm et 1.5mm, Il va recevoir des bobines de plusieurs variances d'épaisseurs (exemple un bobine qui est 0.77mm et dans des fois un bobine qui est 1.34mm) , pour produire un produit constant et de qualité nous devons suggérer un système instrumenté qui sert à contrôler l'épaisseur dans la machine pour améliorer la qualité de production, minimiser le temps de l'utilisation de machine, et minimiser la grande variance de l'épaisseurs pour un produit finale de grande qualité.

## **Chapitre 3**

### **Systemes Instrumentés de Sécurité (SIS)**

### **3.1 Introduction**

Les industries ne se préoccupent plus uniquement des performances des systèmes en termes de qualité et de rentabilité mais aussi en termes de sécurité puisque ces systèmes peuvent présenter des risques dommageables.

Les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) sont souvent utilisés comme moyens de protection pour réaliser des fonctions instrumentées de sécurité (SIF). Nous présentons le cadre normatif des SIS (précisément la norme CEI 61508 et ses normes filles « sectorielles ») ensuite, nous donnons une synthèse sur les concepts relatifs au système instrumenté de sécurité.

Notre objectif, dans ce premier chapitre, est de faire un tour d'horizon des différentes caractéristiques des systèmes instrumentés de sécurité.

Alors, Que veut dire la sécurité fonctionnelle ? Et qu'est-ce qu'un SIS ?

### **3.2 La Sécurité fonctionnelle**

La sécurité fonctionnelle a pour objet de contrôler les risques inacceptables qui pourraient provoquer des accidents dangereux. Elle couvre les systèmes mettant en œuvre des solutions de protection appliquées dans plusieurs domaines mécanique, électrique, électronique, électronique programmable, hydraulique, optique, . . . [12].

La sécurité fonctionnelle, selon la norme IEC 61508 [IEC61508, 1998], est un sous ensemble de la sécurité globale qui se rapporte au système commandé et qui dépend du bon fonctionnement des systèmes relatifs à la sécurité basée sur une autre technologie et des dispositifs externes de réduction de risque.

Selon la norme IEC 61511 [IEC 61511, 2001], la sécurité fonctionnelle est un sous ensemble de la sécurité globale qui se rapporte à un système de commande de processus de base (BPCS, Base Process Control System) et qui dépend du fonctionnement correct du système instrumenté de sécurité et d'autres couches de protection [20].

### **3.3 Normes relatives aux Systèmes Instrumentés de Sécurité**

L'instrumentation doit réellement être utilisée pour réaliser des fonctions instrumentées de sécurité, donc il est essentiel qu'elle présente des niveaux minimums de qualité et de performance [12]. En conséquence, un grand travail a été effectué mettant en question les performances des systèmes relatifs à la sécurité de type instrumenté, considérés comme complexes, par le développement des normes qui favorisent l'évaluation, la validation et la certification systématique de ces systèmes. Parmi ces différents documents normatifs, la norme CEI 61508 [9] développée et publiée par la Commission d'Electrotechnique Internationale (CEI), cette dernière développe aussi des normes relatives à des secteurs bien précis, ce qui sera présenté dans la suite de cette section.

La CEI 61508 [9] est un ensemble des règles et des recommandations permettant l'amélioration de la sécurité par l'utilisation des systèmes E/E/EP. Cette norme orientée performances, propose une démarche opérationnelle permettant de mettre en place un système E/E/EP à partir de l'étude des exigences de sécurité issues notamment d'une analyse des risques. L'avantage de cette norme est qu'elle propose des moyens de justification sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit en fonction du niveau de sécurité que l'on souhaite atteindre.

#### **3.3.1 Norme CEI 61508**

La norme CEI 61508 [9] se compose de sept volets comme suit :

- 61508-1 présente les définitions des prescriptions générales.
- 61508-2 traite les prescriptions spécifiques aspect matériel des systèmes E/E/EP.
- 61508-3 dédiée à la présentation des prescriptions spécifiques, aspect logiciel, des systèmes E/E/EP. Elle est développée dans la troisième partie de norme.
- 61508-4 présente les définitions et les abréviations utilisées.
- 61508-5 donne des exemples de méthode pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité.
- 61508-6 fournit les guides d'application des parties 2 et 3 de la norme.
- 61508-7 présente les techniques et les mesures recommandées lors de la validation des systèmes E/E/EP.

La complexité de la norme IEC 61508 [IEC 61508, 1998] a conduit ses concepteurs à développer des normes relatives à des secteurs bien précis (ex : machines, processus industriels, ferroviaire, centrales nucléaires...). La figure 1.1 montre la norme IEC 61508 générique ainsi que ses normes filles selon le secteur d'activité concerné.

Elle influence le développement des systèmes E/E/EP et les produits concernés par la sécurité dans tous les secteurs [22]

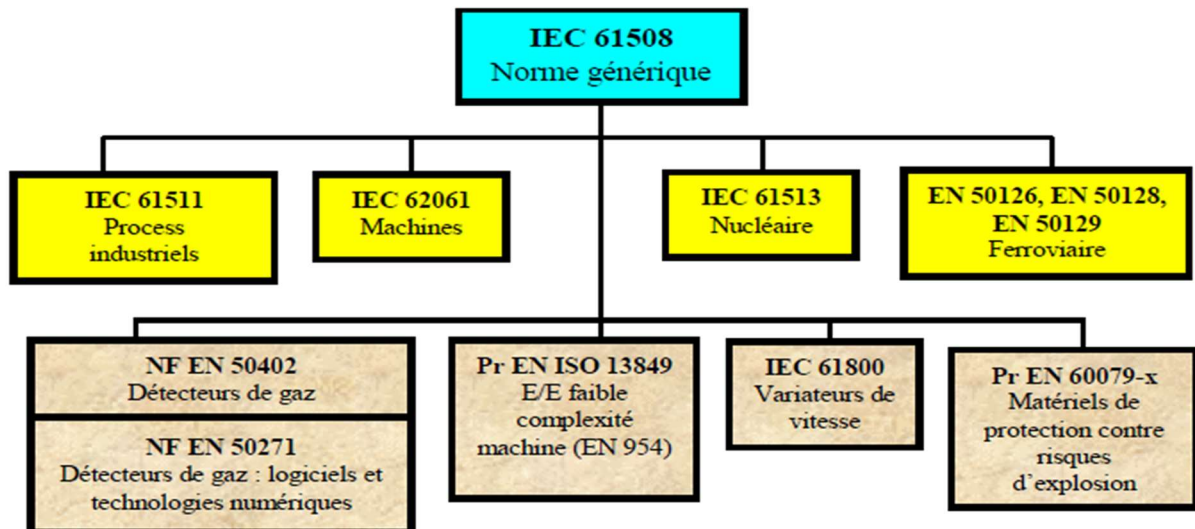


Figure 3.1: CEI 61508 et ses déclinaisons par secteur d'application [22]

### 3.3.2 Norme CEI 61511

La CEI 61511[10], s'intéresse à la sécurité fonctionnelle des SIS pour le secteur de l'industrie des procédés continus. Cette norme est composée de trois grandes parties :

- 61511-1 présente les définitions et les exigences des systèmes (matériel et logiciel).
- 61511-2 traite les lignes directrices pour l'application de la première partie de la norme.
- 61511-3 fournit des conseils pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité.

La CEI 61511 [10] détaille les définitions et les prescriptions relatives au cycle de vie en sécurité contenant la spécification, la conception, l'exploitation et la maintenance d'un système instrumenté de sécurité, afin de maintenir le procédé dans une position de sécurité convenable.

La norme CEI 61511 est l'une des déclinaisons de la norme CEI 61508. Les SIS constituent l'objet principal de ces deux normes, mais ils y sont considérés différemment selon les métiers auxquels elles s'adressent (figure 3.2).

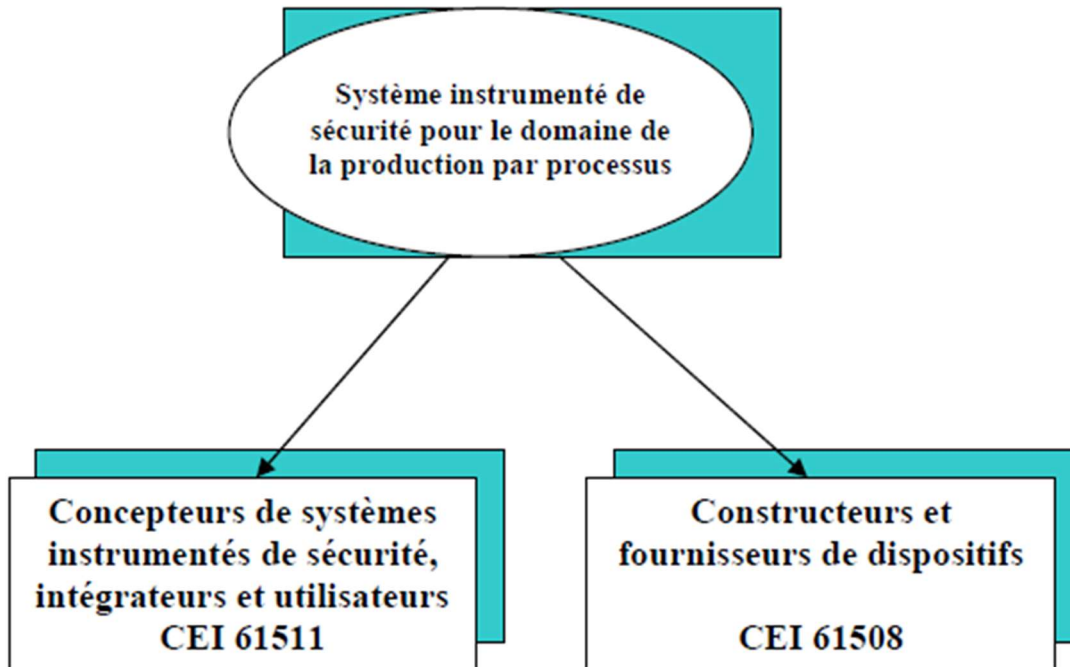


Figure 3.2 : Relation générale entre la CEI 61508 et la CEI 61511 [7]

### 3.4 Définitions et concepts relatifs aux SIS

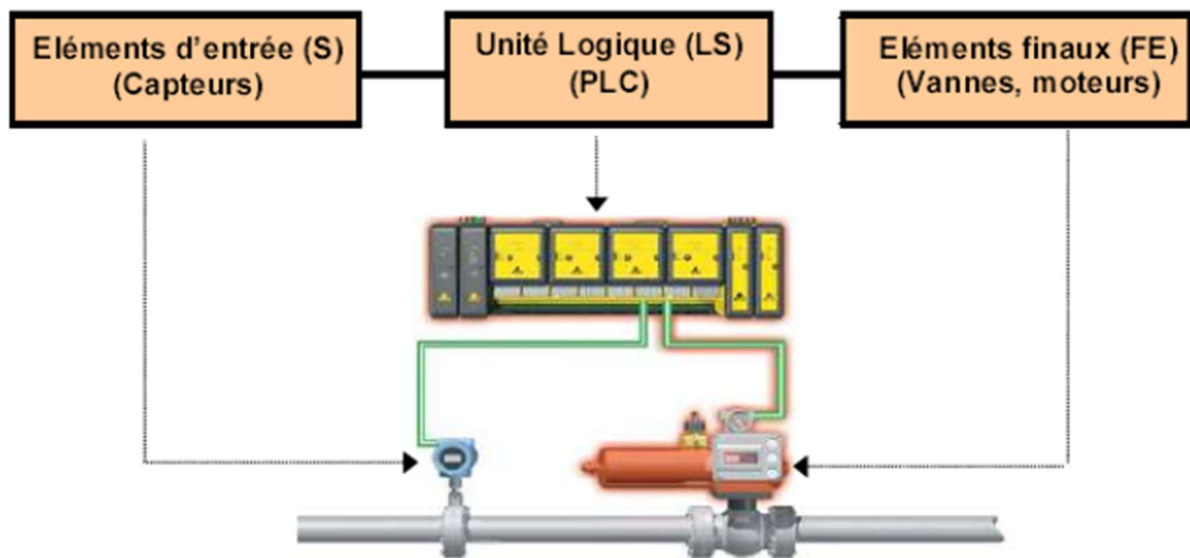
#### 3.4.1 Définition des SIS

La norme CEI 61508 [9] définit les systèmes relatifs aux applications de sécurité par : un système E/E/EP (électrique/électronique/électronique programmable) relatif aux applications de sécurité comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité.

La norme CEI 61511 [10] définit les systèmes instrumentés de sécurité de la façon suivante : système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité(SIF). Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unités logique(s) et d'élément(s) terminal (aux).

L'objectif premier assigné à un SIS est la détection des situations dangereuses (augmentation de température ou de pression, fuite de gaz...) pouvant mener à un accident (incendie,

explosion, rejet d'un produit dangereux...) et de mettre ensuite en œuvre un ensemble de réactions nécessaires à la mise en sécurité (EUC : Equipment Under Control).



**Figure 3.3 : Un exemple de SIS [11]**

**Sous-système S (Sensor) :** il est constitué d'un ensemble d'éléments d'entrée (capteurs, détecteurs) qui surveillent l'évolution des paramètres physico-chimiques représentatifs du comportement du procédé (température, pression, débit, niveau...).

Si au moins un de ces paramètres dévie au-delà d'une valeur de consigne et s'y maintient, cette déviation constitue ce qui a été appelé demande ou sollicitation émanant du procédé, de l'EUC. Elle est détectée par les capteurs concernés qui envoient un signal au sous-système LS [9].

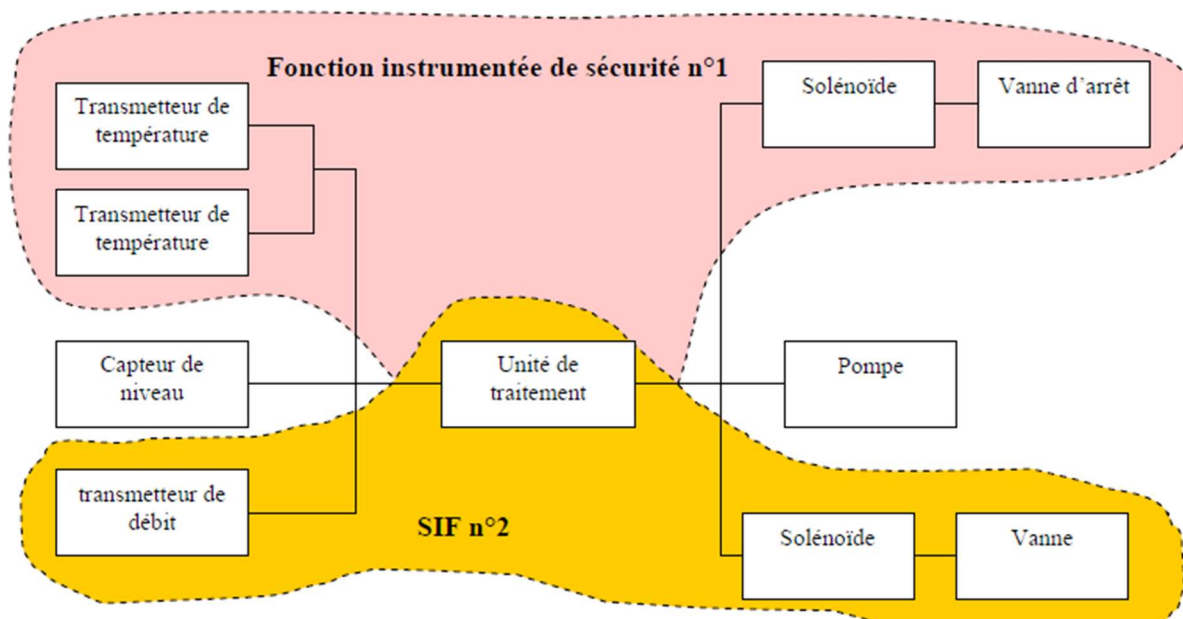
**Sous-système LS (Logic Solver) :** ce sous-ensemble d'éléments logiques réalise le processus de prise de décision qui s'achève par l'activation du troisième sous-système FE. Le sous-système LS peut être un automate programmable ou un microordinateur doté de logiciels spécifiques [9].

**Sous-système FE (Final Element) :** ces éléments agissent directement (vannes d'arrêt d'urgence) ou indirectement (vannes solénoïdes) sur le procédé pour neutraliser sa dérive en mettant, en général, le système à l'arrêt (état sûr) au terme d'un délai qui doit être spécifié pour chaque fonction de sécurité [9].

### 3.4.2. Fonction instrumentée de sécurité

La figure 3.4 illustre la définition d'un système instrumenté de sécurité et des fonctions instrumentées de sécurité qui sont exécutées. Cette figure illustre, entre autres, une fonction instrumentée de sécurité (SIF n°1) qui protège la température de processus et fait fermer une vanne d'isolement en cas de dérive de température de procédé vers un état dangereux.

Les autres fonctions instrumentées de sécurité exécutées dans cet exemple de SIS sont la protection du niveau et la protection du débit.



**Figure 3.4: fonction instrumentée de sécurité [20]**

Une fonction instrumentés de sécurité (SIF, Safety Instrumented Function) est une fonction à réaliser par un SIS prévue pour assurer ou maintenir un état de sécurité de l'équipement à protéger (EUC) par rapport à un événement dangereux spécifique.

Une fonction instrumentée de sécurité (SIF) est utilisée pour décrire les fonctions de sécurité implémentées par un système instrumenté de sécurité. Une fonction instrumentée de sécurité peut être considérée comme une barrière de protection fonctionnelle lorsque le système instrumenté de sécurité est considéré comme un système réalisant cette barrière de sécurité [13].

Un SIS peut implémenter une ou plusieurs SIF. Pour une situation donnée, plusieurs fonctions de sécurité peuvent conduire à la réduction de la fréquence d'occurrence du danger.



L'architecture fonctionnelle d'un SIS est un ensemble de SIF qui comprend trois fonctionnalités de base, la détection (ou la mesure), le traitement (ou la décision) et l'actionnement.

Pour illustrer et rendre plus claire cette définition, nous proposons l'exemple d'un équipement utilisé dans la fonction instrumentée de sécurité (Figure 3.5).

Cette dernière est conçue pour protéger un réservoir sous pression contenant un liquide inflammable lorsqu'une haute pression a lieu à l'intérieur du réservoir, cette fonction de sécurité agira selon deux procédures :

- Fermeture de la vanne pour arrêter l'alimentation du liquide.
- Arrêt de la pompe qui injecte le liquide dans le réservoir.

Il est indispensable de lister tous les composants intervenant à la réalisation de cette fonction instrumentée de sécurité, ces composants sont : Transmetteur de pression, Solver, vanne, pompe.

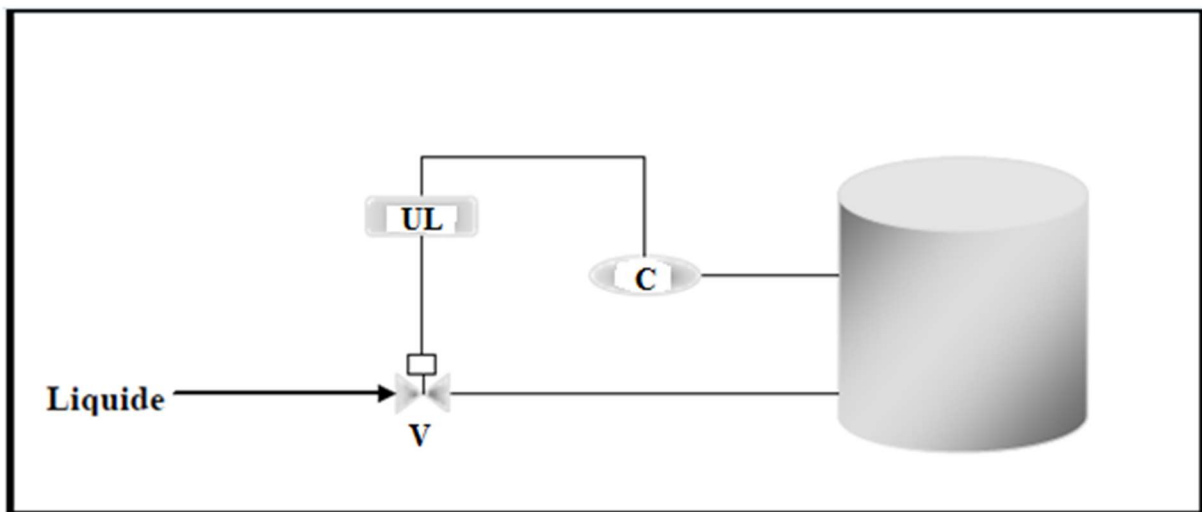
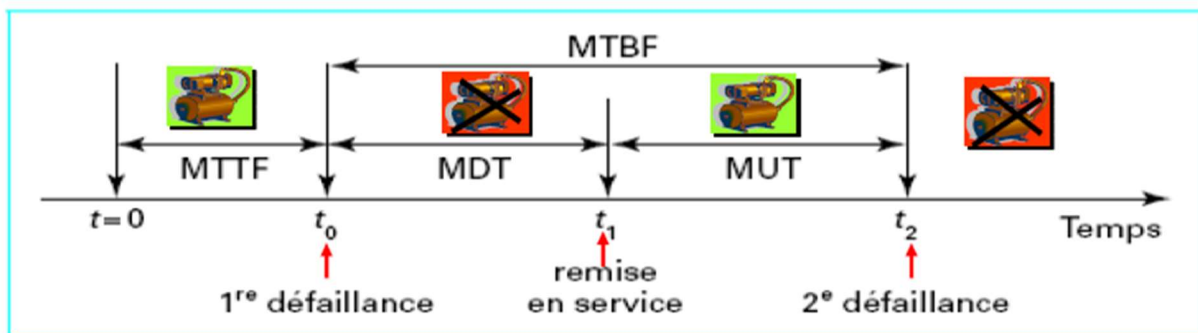


Figure 3.5: Exemple de fonction instrumenté de sécurité [14]

### 3.4.3 Prescriptions relatives à l'intégrité de sécurité (aléatoire) du matériel : PFD ou PFH

**La probabilité de défaillance dangereuse du SIS.** La norme CEI 61508 considère cette probabilité de deux manières différentes, selon le mode de sollicitation (fonctionnement) du SIS:

- **La probabilité moyenne de défaillance à la demande** du SIS ( $PFD_{moy}$  : Probability of Failure on Demand) pour le mode de fonctionnement «faible demande». Ce mode de fonctionnement est typique des systèmes de sécurité qui sont activés uniquement sur dépassement d'une valeur de consigne (dérive d'un paramètre). Il est unanimement admis que la  $PFD_{moy}$  du SIS s'agit en fait de son indisponibilité moyenne.
- **La probabilité de défaillance dangereuse par heure** (PFH : Probability of Failure per Hour) pour le mode de fonctionnement «forte demande ou demande continue». Ce mode de fonctionnement est typique des systèmes de sécurité qui ont un fonctionnement permanent ou régulier. Il est démontré qu'il s'agit de la valeur moyenne de la fréquence de défaillance du SIS [15].



**Figure 3.6: Répartition du temps [15]**

**MTTF** : durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance (Mean Time To first Failure).

**MUT** : durée moyenne de bon fonctionnement après réparation (Mean Up Time).

**MDT** : durée moyenne d'indisponibilité (Mean Down Time).

**MTBF** : durée moyenne entre défaillances (Mean Time Between Failure)

$$MTBF = MDT + MUT \quad (3.1)$$

$$\text{Disponibilité asymptotique : } A(\infty) = MUT / MTBF \quad (3.2)$$

$$\text{Indisponibilité asymptotique : } 1 - A(\infty) = Q(\infty) = MDT / MTBF \longrightarrow (\text{PFD}) \quad (3.3)$$

$$1 / MTBF = \lambda \quad (3.4)$$

$$\text{PFD} = MDT \cdot \lambda \quad (3.5)$$

### 3.4.4 Niveau d'intégrité de sécurité (SIL)

Les normes de sécurité fonctionnelle CEI 61508 et CEI 61511 définissent une démarche d'analyse du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'un système. Elles permettent de définir le niveau SIL qui doit être atteint par un SIS qui réalise la fonction de sécurité suite à une analyse de risque. Plus le SIL à une valeur élevée plus la réduction du risque est importante [8].

Les SIS sont classés en quatre niveaux SIL qui se caractérisent par des indicateurs discrets positionnés sur une échelle de un à quatre niveaux (Tableau 3.1).

Les SILs sont employés pour spécifier les exigences de sécurité des fonctions de sécurité réalisées par des systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité selon la norme CEI 61508.

Le SIL "4" désigne le degré de sécurité le plus élevé du fait de l'exigence forte de sécurité imposée et le niveau SIL "1" désigne l'exigence la plus faible [7][8].

Niveau objectif SIL	Facteur de réduction de risque	Système faiblement sollicité	Système fortement sollicité
	FRR	$PFD_{mov}$	PFH
4	De 10001 à 100000	$10^{-5} \leq PFD_{mov} \leq 10^{-4}$	$10^{-9} \leq PFH \leq 10^{-8}$
3	De 1001 à 10000	$10^{-4} \leq PFD_{mov} \leq 10^{-3}$	$10^{-8} \leq PFH \leq 10^{-7}$
2	De 101 à 1000	$10^{-3} \leq PFD_{mov} \leq 10^{-2}$	$10^{-7} \leq PFH \leq 10^{-6}$
1	De 10 à 100	$10^{-2} \leq PFD_{mov} \leq 10^{-1}$	$10^{-6} \leq PFH \leq 10^{-5}$

**Tableau 3.1 Les différents niveaux de SIL définis par la norme CEI 61508 [16]**

### 3.4.5 Les défaillances des SIS

Toutes les défaillances des systèmes instrumentés de sécurité aléatoires et systématiques, selon leurs effets peuvent être classées dans l'une des deux catégories suivantes : défaillances en sécurité (safe failures) ou défaillance dangereuses (dangerous failures) [15].

Le taux de défaillance aléatoire de chaque élément ( $\lambda$ ) peut s'écrire alors :

$$\lambda = \lambda_D + \lambda_S \quad (3.7)$$

Alors :

$\lambda_D$  : Taux de défaillance aléatoire dangereuse du matériel

$\lambda_S$  : Taux de défaillance aléatoire sûr du matériel

**3.4.5.1 Défaillance dangereuse** : c'est une défaillance qui tend à empêcher le système de réaliser sa fonction de sécurité en cas de demande émanant de l'EUC (Equipment Under Control) qui sera alors dans un état dangereux. Une autre partition résulte du fait que ces défaillances peuvent être ou non détectées par des tests en ligne :

- **Défaillances dangereuses détectées** (dangerous detected failures: DD) : défaillances détectées immédiatement après leur occurrence par des tests en ligne.
- **Défaillances dangereuses non détectées** (dangerous undetected failures: DU) : défaillances qui ne peuvent être révélées que lors de tests périodiques hors ligne (de période égale à T1).

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (3.8)$$

**3.4.5.2 Défaillance en sécurité** : désignée usuellement défaillance sûre, tend à anticiper le déclenchement de la fonction de sécurité, en l'absence de toute demande, en conduisant effectivement l'EUC dans un état sûr [15].

- **Défaillances en sécurité détectées** (safe detected failures: SD).
- **Défaillances en sécurité non détectées** (safe undetected failures: SU).

$$\lambda_S = \lambda_{SD} + \lambda_{SU} \quad (3.9)$$

La capacité d'un SIS à détecter ses défaillances en ligne se résume dans son taux de couverture ou sa couverture de diagnostic DC (Diagnostic Coverage). Cette couverture est exprimée par un nombre allant de 0 à 1, ou comme un pourcentage [15].

En introduisant la couverture de diagnostic, on peut récrire les différents taux de défaillances, évoqués précédemment, comme suit :

$$\lambda_{DD} = DC \cdot \lambda_D \quad (3.10)$$

$$\lambda_{DU} = (1 - DC) \cdot \lambda_D \quad (3.11)$$

DC Représente la couverture de diagnostic des défaillances aléatoires dangereuses.

$$\lambda_{SD} = DC_S \cdot \lambda_S \quad (3.12)$$

$$\lambda_{SU} = (1 - DC_S) \cdot \lambda_S \quad (3.13)$$

$DC_S$  Représente la couverture de diagnostic des défaillances aléatoires sûres. Il existe aussi des défaillances qui peuvent affecter simultanément tous les éléments composants une architecture redondante.

### 3.4.6 L'architecture fonctionnelle d'un SIS

L'architecture fonctionnelle d'un système instrumenté de sécurité qui est composée d'un ensemble de fonctions instrumentées de sécurité est constituée de trois fonctionnalités de base, la détection (ou la mesure), la décision et l'actionnement. Voir figure 1.3. Les exigences de niveaux d'intégrité de sécurité sont allouées aux fonctions instrumentées de sécurité spécifiques. Pour évaluer l'intégrité de sécurité d'un point de vue matériel, il est nécessaire de faire une analyse des configurations de l'architecture matérielle supportée par la fonction instrumentée de sécurité spécifiée [11].

Les architectures les plus souvent rencontrées relatives à ce dernier type de redondance sont les suivantes :

**1001** ( $m = n = 1$ ) : Cette architecture comprend un seul élément, et toute défaillance dangereuse de cet élément empêche le traitement correct de tout signal d'alarme valide.

**1002** ( $m = 1$  et  $n = 2$ ) : Cette architecture comprend deux éléments connectés en parallèle de façon que chacun puisse traiter la fonction de sécurité. Ainsi, il faudrait la défaillance dangereuse des deux éléments pour qu'un signal d'alarme valide ne soit pas traité correctement.

**2002** ( $m = 2$  et  $n = 2$ ) : Cette architecture comprend deux éléments connectés en parallèle de sorte qu'il est nécessaire que les deux éléments demandent la fonction de sécurité avant que celle-ci ne survienne. La défaillance dangereuse d'un seul élément empêche le traitement correct de tout signal d'alarme valide.

**2003** ( $m = 2$  et  $n = 3$ ) : Cette architecture comprend trois éléments connectés en parallèle avec un dispositif à logique majoritaire pour les signaux de sortie de telle sorte que l'état de sortie n'est pas modifié lorsqu'un seul élément donne un résultat différent des deux autres éléments. Il faudrait la défaillance dangereuse des deux éléments pour qu'un signal d'alarme valide ne soit pas traité correctement.

### 3.5 Comment choisir le SIS convenable à partir du SIL ?

#### 3.5.1 Les contraintes architecturales (AC)

Dans la norme 61508-2 (paragraphe 7.4.3.1) que « dans le contexte de l'intégrité de sécurité du matériel le niveau d'intégrité (SIL) le plus élevé qui peut être annoncé pour la fonction de sécurité donnée est limité par la tolérance aux anomalies du matériel et la proportion de défaillances en sécurité (SFF) des sous-systèmes qui réalisent la fonction de sécurité ».

La norme définit ces deux termes comme suit :

- **Une tolérance aux anomalies du matériel** d'indice M signifie que (M+1) anomalies sont susceptibles de provoquer la perte de la fonction de sécurité : pour une architecture KooN.

$$M+1 = N - K + 1 \quad (3.14)$$

- **La proportion de défaillances en sécurité** d'un sous-système (Safe Failure Fraction ou SFF)

$$SFF = \frac{\lambda_S + \lambda_{DD}}{\lambda} \quad (3.15)$$

Les tableaux 2 et 3 de la CEI 61508-2 spécifient le SIL le plus élevé qui peut être annoncé pour la fonction de sécurité étudiée et pour des canaux identiques :

SFF	Tolérance aux anomalies matérielles (M)		
	0	1	2
< 60 %	SIL 1	SIL 2	SIL 3
60 % - < 90 %	SIL 2	SIL 3	SIL 4
90 % - < 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4
>= 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4

Un SIS peut être considéré du type A si son comportement en présence d'anomalies est bien déterminé, si les modes de défaillance de ses constituants sont bien définis et si les données concernant leurs défaillances, issues du retour d'expérience, sont connues avec une bonne fiabilité.

Tableau 3.2: Sous système de type A [11]

SFF	Tolérance aux anomalies matérielles (M)		
	0	1	2
< 60 %	Non autorisé	SIL 1	SIL 2
60 % - < 90 %	SIL 1	SIL 2	SIL 3
90 % - < 99 %	SIL 2	SIL 3	SIL 4
>= 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4
Un SIS peut être considéré du type B si une des trois conditions régissant le type A n'est pas satisfaite.			

Tableau 3.3: Sous système de type B [11]

### 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons introduit une série consacrée aux concepts et définitions relatifs aux SIS.

Les systèmes instrumentés de sécurité sont utilisés pour détecter des situations dangereuses et diminuer leurs conséquences pour atteindre des niveaux de risques tolérables et considérés comme couche de protection pour la préservation des installations et tout type de système.

L'implantation d'un SIS se base en premier lieu sur la détermination du niveau intégré de sécurité SIL à l'aide des calculs des taux de défaillances, des probabilités de défaillances dangereuses PFD et PFH.

## **Chapitre 4**

### **Application des SIS sur le TANDEM**



## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons prendre l'exemple d'une machine Tandem pour appliquer le principe des SIS afin de traiter tous les problèmes.

Pour l'évaluation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) par référence à la norme CEI61508, il est nécessaire de calculer la probabilité de défaillance à la demande de la fonction de sécurité (SIF : Safety Instrumented Function) liée au système instrumenté de sécurité (SIS).

Le présent chapitre est consacré à la détermination des PFD des différentes architectures en utilisant la méthode de graphe de risque.

## 4.2 La présentation de la machine Tandem

### 4.2.1 La ligne tandem

Le tandem est destiné au laminage des tôles d'acier découpées par une réduction d'épaisseur en une seule passe, ce laminoir comprend cinq (05) cages du type quatre (04) cylindres, qui appliquent sur la tôle des pressions de laminage considérables [23] [voir annexe 3].



Figure 4.1 : Tandem à cinq cages [23]

#### **4.2.2 Equipement de l'atelier des cylindres TANDEM**

- Trois rectifieuses dont deux pour la rectification des cylindres de travail et un pour les cylindres d'appui.
- Un basculeur d'empoises.
- Une machine à laver les roulements.
- Une machine de démontage des empoises des cylindres d'appui.
- Deux machines de démontage des empoises des cylindres de travail.
- Un système de réchauffage des cylindres de travail.
- Divers supports et râteliers de stockage des différents cylindres nus et équipés.

#### **4.2.3 Description du laminoir tandem**

Le laminoir tandem est composé de trois zones :

1-Zone d'entrée : elle comprend un convoyeur d'entrée, la préparation des bobines et la débobineuse.

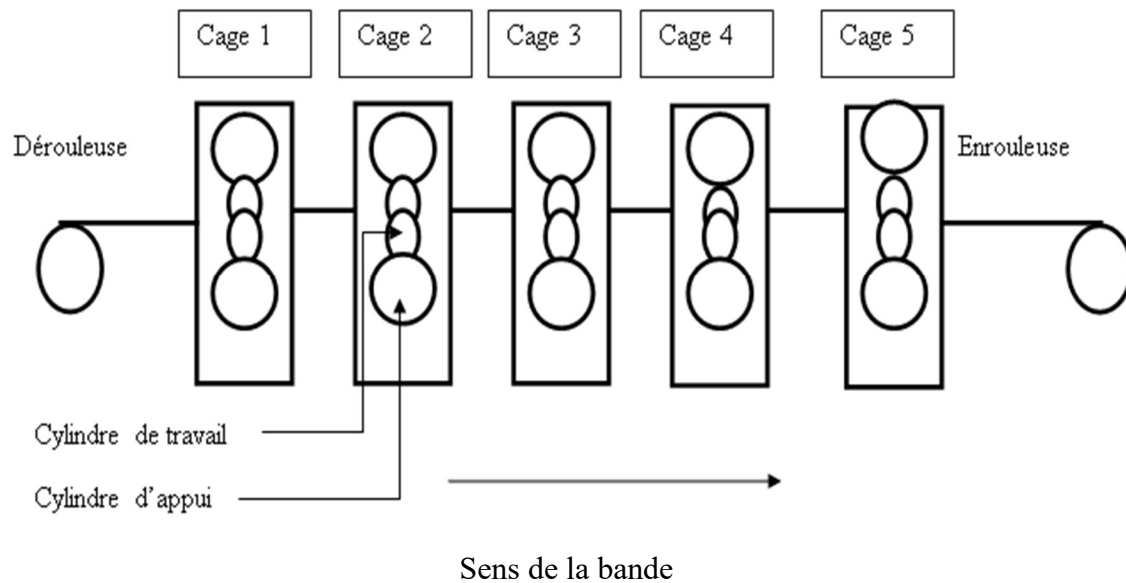
2-Zone de laminage : elle est constituée essentiellement du laminoir tandem comprenant cinq cages identiques. Chacune de ces cages de travail se compose à son tour de la cage proprement dite : de la commande et des équipements auxiliaires.

3-Zone de sortie : elle est composée de : chariot de bobine, zone d'inspection, convoyeur de bobines, enrouleuse et peseuse de bobines.

#### **4.3 Etude de cas**

Nous avons choisi cette machine pour faire notre étude grâce à son simple schéma mécanique où nous avons pu faire l'évaluation des dangers (ou bien la détermination du niveau de SIL requis pour couvrir ces dangers).

Due à cette machine tandem en utilisant le graphe de risque.



**Figure 4.2 : la structure de la machine Tandem [23]**

#### **4.3.1 Les ruptures les plus fréquentes durant le laminage :**

Rupture de bande en cours de laminage, suite à une mauvaise déviation sur les bobines découpées, suite à une mauvaise lubrification de la bande et un mauvais refroidissement des cylindres de travail (mauvais qualité d'émulsion).

Variation d'épaisseur sur la même bobine causant une rupture de bande à haute vitesse.  
Rupture de bande en cours de laminage causée par une mauvaise synchronisation de vitesse des cinq cages (tandem)

Rupture de bande causée par une chute de traction en cours de laminage suite à une défaillance des cellules de traction.

#### **4.3.2 Graphe de risque**

Il s'agit d'une méthode qualitative qui permet de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité d'une fonction instrumentée de sécurité à partir de la connaissance des risques associés au procédé et au système de conduite de procédé de base [18].

Des systèmes différents entraînent des risques différents. Par conséquent, les exigences relatives aux défauts de sécurité des systèmes instrumentés de sécurité (SIS) deviennent plus strictes à mesure que le risque s'accroît.

Les normes CEI/EN 61508 et CEI/EN 61511 définissent quatre niveaux de sécurité différents qui décrivent les mesures de contrôle du risque dans ces composants. Il s'agit des quatre niveaux d'intégrité de sécurité, ou SIL.

Plus la valeur numérique du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) est élevée, plus la réduction du risque est importante.

Cela signifie que le SIL représente la dimension correspondant à la probabilité que le système de sécurité puisse remplir correctement les fonctions de sécurité requises pendant un laps de temps précis. La probabilité de défaillance moyenne (PFD ou PFH) baisse selon un facteur de 10 par niveau de sécurité. [17]

Le graphe de risque consiste à hiérarchiser les niveaux de sécurité à partir de quatre paramètres liés à la conséquence du risque sur le personnel ou l'environnement (C), à la fréquence d'exposition au risque (F), à la possibilité d'éviter le danger (P) et à la probabilité d'occurrence du danger (W).

Les niveaux affectés aux paramètres du graphe constituent la base de l'évaluation du risque.

Une phase de calibrage ou d'étalonnage du diagramme de risque est nécessaire. Elle permet d'adapter les paramètres en prenant en compte les spécificités de l'entreprise et la réglementation. La difficulté est alors de calibrer le graphe. L'étalonnage des paramètres doit prendre en compte toutes les situations.

Un compromis doit être trouvé entre une échelle trop large et une précision suffisante.

En effet, selon les choix de l'analyste, les résultats peuvent rapidement passer d'un niveau d'intégrité à un autre. La classification repose sur une hiérarchisation en six classes d'exigences graduées de « a » à « b » en passant par SIL 1 à SIL 4. La catégorie « a » correspond alors à aucune exigence particulière de sécurité tandis que la catégorie « b » correspond à une situation inacceptable (le système instrumenté est insuffisant).

Le graphe ou diagramme de risque (figure 4.3) associe des combinaisons particulières des paramètres de risque aux niveaux d'intégrité de sécurité. La relation entre les combinaisons des paramètres de risque et les niveaux d'intégrité de sécurité est établie en prenant en compte le risque tolérable associé à des phénomènes dangereux spécifiques.

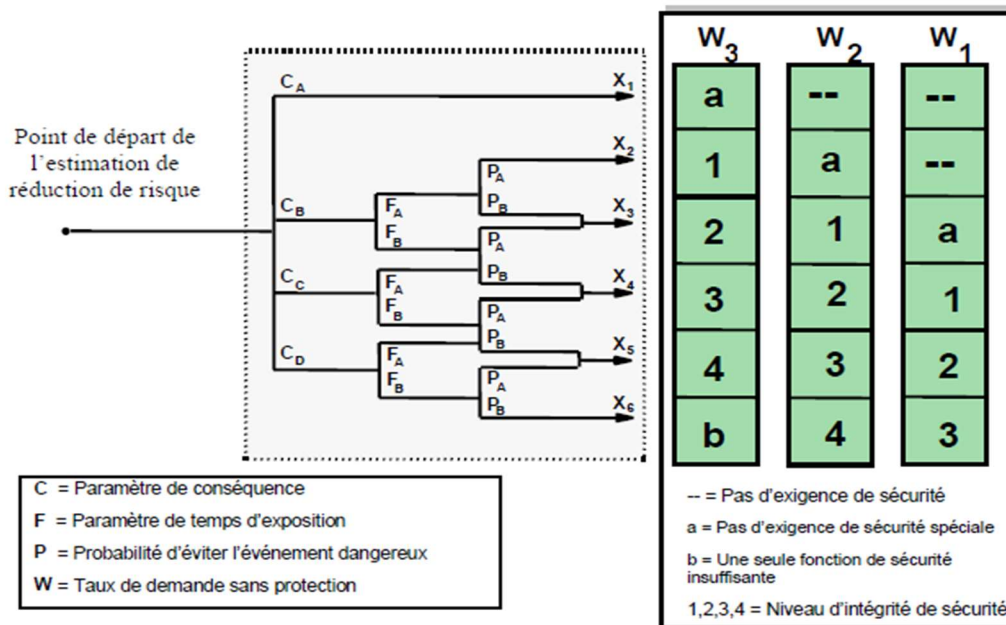


Figure 4.3 : Schéma général de graphe de risque [19]

A l'aide de ce graphe de risque, la fonction de sécurité à implanter pour prévenir un danger de faible probabilité sera réalisée en tenant compte des exigences relatives au SIL1.

Un exemple de classification des paramètres du graphe de risques est montré au tableau 4.2.

Paramètre		Classification
Gravité des Conséquences	C <sub>A</sub>	Blessure mineure
	C <sub>B</sub>	Blessure sérieuse ou victime
	C <sub>C</sub>	Plusieurs victimes
	C <sub>D</sub>	Grand nombre de victimes
Fréquence et temps d'exposition au phénomène dangereux	F <sub>A</sub>	Rare
	F <sub>B</sub>	Fréquent
Possibilité d'éviter le phénomène dangereux (moyens d'alerte et d'évacuation, cinétique de l'accident)	P <sub>A</sub>	Possible
	P <sub>B</sub>	invraisemblable
Probabilité d'apparition d'un accident (Taux de demande) (en nombre de fois par an ou par heure)	W <sub>1</sub>	Très faible probabilité
	W <sub>2</sub>	Faible probabilité
	W <sub>3</sub>	Forte probabilité

Tableau 4.1 : Légende de la classification des paramètres de risques [19]

## 4.4 Application

Nous avons vu notre installation les niveaux de calibrage sont :

### Conséquences (C)

Blessure sérieuse (à cause de rupture de bande).  $\longrightarrow$  C<sub>B</sub>

### Fréquences (F)

Exposition rare à plus fréquente dans la zone dangereuse.  $\longrightarrow$  F<sub>A</sub>

### Probabilité (P)

Les gens ne sont pas bien préparés pour se mettre dans un endroit sûr.  $\longrightarrow$  P<sub>B</sub>

### Taux de sollicitation (W)

Forte probabilité.  $\longrightarrow$  W<sub>3</sub>

### Commentaires

D'après le graphe de risque le niveau de SIL requis pour diminuer la défaillance de la machine Tandem (à 5 cages) est SIL2.

#### 2.4.1 Recherche de l'architecture

Comme il est présenté dans le 3ème chapitre (3.5 comment choisir le SIS convenable à partir du SIL ?) nous allons utiliser le même principe pour déterminer l'architecture de notre SIS en commençant par le calcul des  $\lambda_D$  et  $\lambda_S$  arrivant à calculer  $\lambda_{DD}$  et SFF. Nous allons utiliser le tableau du système A (voir tableau 3.2). Selon la banque des données spécifiques à notre installation TANDEM nous avons :

D'après les équations (3.1) et (3.4), nous allons calculer le taux de défaillance  $\lambda$ .

Donc MDT = 42.6 h et MUT = 437.4 h

Alors MTBF = 480 h

$\lambda = 0.208 \cdot 10^{-2} \cdot h^{-1}$

DC = 0.6 (Voir la référence [21])

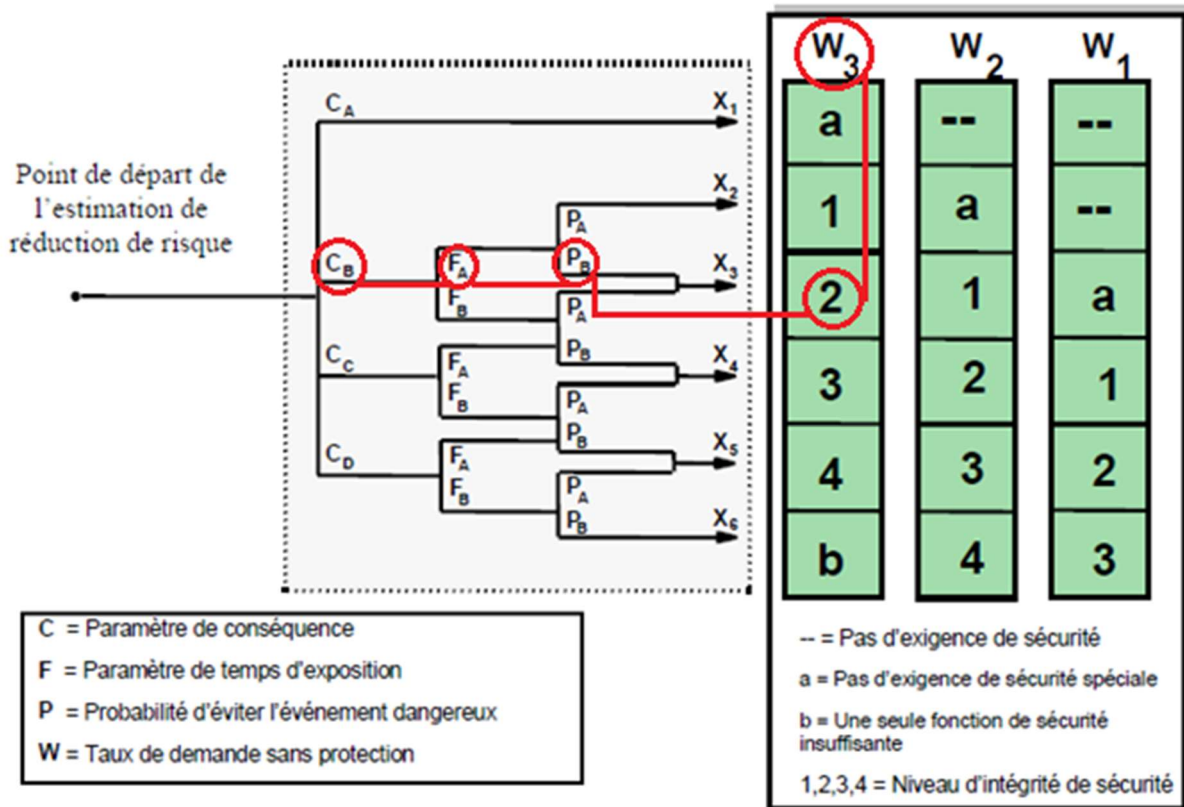


Figure 4.4: Détermination du SIL d'après le graphe de risque

### 2.4.2 Application numérique

Rappelons l'équation (3.1) et supposons que  $\lambda_S = \lambda_D$  on obtient :

$$\lambda_D = \lambda_S = \frac{\lambda}{2} = 0.104 \cdot 10^{-2} \cdot h^{-1} \quad (4.1)$$

Utilisons les équations (3.4) et (4.1); Alors on obtient :

$$\lambda_{DD} = 0.624 \cdot 10^{-3} \cdot h^{-1} \quad (4.2)$$

Donc à l'aide de l'équation (1.10) la SFF sera alors :

$$SFF = \frac{0.104 \cdot 10^{-2} + 0.624 \cdot 10^{-3}}{0.208 \cdot 10^{-2}} = 0.77 \quad (4.3)$$

Donc : SFF = 77% sans oublier que nous avons trouvé SIL = 2

Selon le tableau du système de type A et en utilisant les équations (3.14) et (4.3) on résulte que:

D'après le deuxième chapitre, les calculs nous ont montré que le système nécessite un SIL pour contrôler la qualité ainsi que les calculs faits dans le chapitre quatre ont conclu que nous avons besoin d'un SIL pour la sécurité, c.-à-d. deux fonctions de sécurité. donc :

$M = 0$  et  $K=2$  avec  $N = K = 2$

L'architecture sera donc : 2oo2.

### Commentaires

L'architecture 2oo2 veut dire que notre installation mécanique de la machine Tandem nécessite deux canaux de détection (un capteur de contrôle l'épaisseur et un capteur de pression) afin d'assurer la couverture du danger qui peut créer des blessures sérieuses au niveau de cette machine.

Il faut deux capteurs qui fonctionnent pour que la probabilité de la survenance d'un accident sur l'homme et/ou la machine soit diminuée.

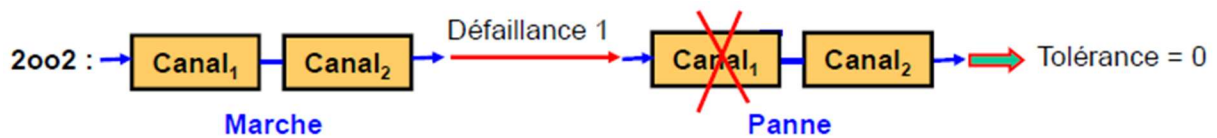


Figure 4.5: L'architecture 2oo2

## 4.5 Proposition de l'architecture du SIS

D'après l'étude de notre ligne de production nous allons proposer une schématisation possible de l'installation qui se compose de deux capteurs de (épaisseur, pression), une unité logique et un disjoncteur de moteur étudié.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

Le capteur d'épaisseur qui mesure l'épaisseur, et l'autre mesure la pression des cylindres d'une façon permanente. L'unité logique reçoit ces signaux et les analyse en les comparant par un seuil maximum de pression qui envoie un signal électrique au disjoncteur pour couper la tension.

Les deux canaux fonctionnant en série. Il est donc nécessaire que chacun des canaux subisse une défaillance dangereuse pour que le système n'assure pas sa fonction de sécurité en cas de demande émanant de l'EUC. Selon l'hypothèse de mise en état de sécurité, le SIS conduit l'EUC vers un état sûr dans le cas de détection de défaillances dangereuses dans les deux canaux.



Le schéma ci-dessous présente une proposition de L'implantation du SIS (voir figure 4.6)

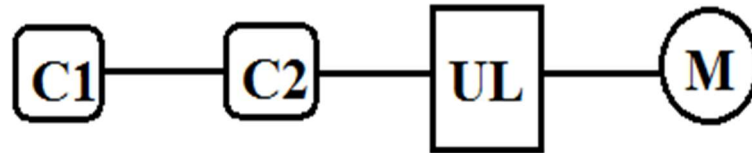


Figure 4.6: Schématisation de l'implantation du SIS



Figure 4.7: Architecture finale

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons utilisé la méthode de graphe de risque pour montrer le risque tolérable associé à des phénomènes dangereux spécifiques.

La méthode des graphes de risque et celle des équations simplifiées (normes IEC 61508) ont été utilisées pour évaluer la  $PFD_{moy}$  du SIS.

Après une étude approfondie et des formules exacts, nous avons pu identifier comment choisir le SIS convenable à partir du SIL, AC et SFF.

## **Conclusion générale**

En conclusion de notre travail, nous avons passé par les processus de contrôle de produits en utilisant l'historique de production de cette secteur pour mettre en place une carte de contrôle, et aussi observer les machines existant dans l'atelier et plus précis le TANDEM pour connaître les moyens de sécurité existant, et comment peut-on les améliorer.

L'intérêt majeur des entreprises c'est d'augmenter leurs productions tout en minimisant les pertes dues au dysfonctionnement de ses machines, ce qui nécessite l'installation d'une politique de sécurité des installations adéquate.

Le premier chapitre s'était une présentation générale de la maîtrise statistique de procédé, les cartes de contrôles et ces caractéristiques.

Dans le deuxième chapitre nous avons effectué des calculs statistiques en utilisant le suivi de production et les interprétations de leurs résultats.

Le troisième chapitre est dédié à une vue générale de la sécurité fonctionnelle et la norme CEI 61508 qui contient définitions et concepts relatifs aux SIS et comment choisir le SIS convenable à partir du SIL.

Finalement, le dernier chapitre est une application numérique, où nous avons comparé la probabilité de la survenance d'un incident probable avant et après l'ajout du SIS. Comme résultat final, nous avons trouvé que le SIS peut diminuer le danger mais ne pas l'éliminer.

En dernier, Les problèmes rencontrés par cette entreprise lors de ces opérations sont des arrêts relater aux causes électriques et mécaniques sur les machines existantes dans leurs ateliers, nous avons conclu que l'installation d'un SIS est nécessaire pour préserver l'homme et la machine et améliorer la production en générale, et aussi d'avoir le minimum des bobines produites être déclassée ou non-conforme en utilisant le moyen d'une carte de contrôle pour contrôler les processus.

# Annexe 1

Exemple de tableau de contrôle dans la direction LAF utilisée par le bureau qualité.

1	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
	date pro	Pos	an	Lay	p	St	sa	oids E	oids F	oids G	Client init	Moiti	Obs	Q.Amont	veau de pro	TIF AF	EPARA	Date Re	ref de p	ontrol	EI	LAR	FF L	FF P					
796	02/03/2019	MATIN	B	1000	2	A9	13850	13850	13850	C	C	DIVINDUS MCM													2	1000	0	0	
797	02/03/2019	MATIN	B	1000	2	A9	14140	14140	14140	C	C	DIVINDUS MCM													2	1000	0	0	
798	02/03/2019	MATIN	B	1000	2	A9	11170	11170	11170	C	C	DIVINDUS MCM													2	1000	0	0	
799	02/03/2019	MATIN	B	1000	2	A9	14730	14730	14730	C	C	DIVINDUS MCM													2	1000	0	0	
800	02/03/2019	MATIN	B	1000	2	A9	14630	14630	14630	C	C	DIVINDUS MCM													2	1000	0	0	
801	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,95	A9	11000	11000	11000	C	C	MASSINISSA													1,95	1000	0	0	
802	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,8	A9	14090	14090	14090	C	C	STEEL METAL				3									1,8	1000	0	0	
803	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,75	A9	11000	11000	11000	C	C	NATRA				4									1,75	1000	0	0	
804	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,75	A9	11630	11630	11630	C	C	NATRA													1,75	1000	0	0	
805	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,5	A5	12360	12360	12360	C	C	TECHNOSAT													1,5	1000	0	0	
806	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,38	A9	14310	14310	14310	C	C	STEEL METAL													1,38	1000	0	0	
807	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11030	11030	11030	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
808	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	9790	9790	9790	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
809	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	12450	12450	12450	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
810	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11060	11060	11060	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
811	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10640	10640	10640	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
812	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11170	11170	11170	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
813	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11460	11460	11460	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
814	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11120	11120	11120	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
815	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11130	11130	11130	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
816	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10680	10680	10680	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
817	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11210	11210	11210	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
818	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10820	10820	10820	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
819	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11340	11340	11340	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
820	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11180	11180	11180	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
821	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11010	11010	11010	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
822	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11010	11010	11010	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
823	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	11020	11020	11020	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
824	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10900	10900	10900	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
825	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10850	10850	10850	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
826	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10650	10650	10650	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
827	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10830	10830	10830	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
828	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10960	10960	10960	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
829	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10880	10880	10880	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
830	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10600	10600	10600	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
831	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10550	10550	10550	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
832	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	8550	8550	8550	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	
833	02/03/2019	MATIN	B	1000	1,2	A9	10760	10760	10760	C	C	NATRA													1,2	1000	0	0	

## Annexe 2

### Résultat de production TANDEM (T1 de 2019).

Résultats de production	U.N	Réalisé 2018	BP 2019	Janvier 2019	Février 2019	Mars 2019	T1 2019
Régime de travail	/	2x8	2x8	2x8	2x8	2x8	2x8
Production réalisée	[T]	84544	13746	3307	5654.54	13010	21972
Yield global	%	99.27	99.50	99.82	99.44	99.70	99.65
Taux de Rebut	%	0.73	0.50	0.18	0.56	0.30	0.35
Rendement après réaffectation	%	96.14	99,5	99.34	99.02	99.61	99.42
Taux de déclassé après réaffectation	%	3.12	0	0.48	0.42	0.08	0.23
Conso. Cylindres	[mm/kT]	12.15	9,00	15.56	12.87	14.27	14.10
Taux de marche	%	42.02	50	34.01	41.54	44.33	41.92
Cadence	[T/H]	93.83	100	106.69	94.15	91.07	93.93
Poids bobine	T	12.65	14	12.93	13.29	12.16	12.58
Epaisseur moyen	mm	1.11	1	1.28	1.26	1.10	1.22

## Annexe 3

### Caractéristiques de TANDEM

#### LAMINOIR TANDEM 5 CAGES

Le laminoir TANDEM a été mis en service en 1980

- Constructeur mécanicien : HITACHI LTD
- Constructeur électricien : HITACHI LTD
- Spécifications techniques:
  - mécanique : SF 10 818
  - électrique : SF 10 815

Le laminoir TANDEM est implanté dans la halle commune à tous les laminoirs.

#### 1- GENERALITES

Le TANDEM reçoit les bobines venant du DECAPAGE et a pour rôle de laminer la tôle jusqu'à l'épaisseur finale désirée, il traite principalement les bandes pour l'obtention de tôles fines et de tôles galvanisées.

#### 2 - CARACTERISTIQUES GENERALES

##### 2.1 - Caractéristiques des bobines

Acier doux laminé, à chaud et décapé  
Résistance à la rupture 45 Kg/mm<sup>2</sup>

BOBINES	ENTREE	SORTIE
Ø intérieur	762 mm	508 et 420 mm
Ø extérieur mini	900 mm	720 mm
Ø extérieur maxi	1880 mm	1880 mm
Largeur mini	600 mm	600 mm
Largeur maxi	1350 mm	1350 mm
épaisseur maxi	4,5 mm	
épaisseur mini	1,5 mm	0,18 et 0,16 mm suivant système d'arrosage
Poids maxi	24 t. et 18 Kg/mm	24 t. et 18 Kg/mm

## 2.2. - Caractéristiques de l'équipement

- laminoir : TANDEM 5 cages
- Cages : Quarto
- Cylindres de travail :  $\varnothing$  585 x 1500 mm
- Cylindres d'appui :  $\varnothing$  1420 x 1500 mm
- Vitesse de laminage : 1800 m/an avec cyl. de travail  $\varnothing$  585
- Serrage hydraulique : type HYROP F pour cage n° 1  
type HYROP M pour cages 2,3,4 et 5
- Entraînement des cylindres par 2 lignes d'arbres engrenées dans une boîte à pignons (réducteur)
- Cambrage positif et négatif ajustable sur les 5 cages
- Changement rapide des cylindres de travail par "Side Shifter"
- Empoises cylindres de travail équipées de roulements à rouleaux (Lubrification par brouillard d'huile)
- Empoises cylindres d'appui équipées de paliers MORGOIL
- Arrosage : Refroidissement des cylindres et lubrification variable suivant le choix des systèmes
  - eau
  - émulsion stable
  - émulsion instable
  - détergent
  - application directe simplifiée
- Accélération et décélération : 12 secondes
- Arrêt rapide contrôlé : 8 secondes à mi-charge
- Arrêt par freinage dynamique : 3 secondes
- Module d'élasticité du laminoir complet 400 t/mm
- Effort maxi de serrage 2000 t
- Effort maxi de cambrage 60 t pour un tourillon

## 2.3. - Production du laminoir :

Capacité nominale 900.000 T/an se répartissant de la manière suivante :

- Produit à galvaniser	250 000 t/an
- Produit à étamer	120 000 t/an
- Tôles à froid	530 000 t/an

## Références bibliographiques

- [1] La Norme ISO/IEC 17025:2005 - <https://www.iso.org/fr/standard/39883.html>
- [2] Thèse présentée à l'école supérieure d'ingénieurs d'Annecy (esia) université de Savoie 2006 - <https://fr.scribd.com/document/48088142/theseduclos>
- [3] – Les cartes de contrôle Qualité Online - <http://www.qualiteonline.com/dossier-38-les-cartes-de-controles.html>
- [4] - Les processus de contrôle: Contrôle en cours de production - <https://cprp.sti-beziers.fr/wp-content/uploads/2017/10/cours-Controle-en-production.pdf>
- [5] – Cours sur le diagramme de PARETO - <http://gestiondeprojet.pm/priorisation/>
- [6] - la démarche qualité : compléter et interpréter une carte de contrôle. - <https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/msword/2012-03/cours-spc2.doc>
- [7] [CEI 03] CEI 61511, Sécurité fonctionnelle des systèmes instrumentés pour les industries de Process. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse 2003.
- [8] [CEI 00] CEI 61508. Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse, 2000.
- [9] Norme CEI 61508, Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques / électroniques / électroniques programmables relatifs à la sécurité – Parties 1 à 7, octobre 1998-2000. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse.
- [10] Norme CEI 61511, Sécurité fonctionnelle - Systèmes instrumentés de sécurité pour le domaine de la production pour processus – Parties 1 à 3, janvier 2003-juillet 2003. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse.
- [11] F. Innal, contribution à la modélisation des systèmes instrumentés de sécurité et à l'évaluation de leurs performances analyse critique de la norme CEI 61508, Thèse de doctorat, Université de bordeaux 1, Soutenu le 03 Juillet 2008.

- [12] Mohamed SALLAK, « Evaluation de paramètres de sûreté de fonctionnement en présence d'incertitudes et aide à la conception : Application aux Systèmes Instrumentés de Sécurité ». Thèse de doctorat.2015.
- [13] S. Sklet. Safety barriers: Definitions, classification and performance. Journal of Loss Prevention in the process industries, vol 19, pp 494-506; 2005.
- [14] E.Fal, J.Ldurka. Conception et évaluation de la sécurité fonctionnelle des systèmes instrumentés de process industriels. INERIS, 2000
- [15] INNAL Fares (Docteur en Sûreté de Fonctionnement) Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) (2011 – 2012).
- [16] la sécurité fonctionnelle dans l'industrie. forum des technologies. (2012).
- [17] Endress and Hauser people for process automation. Sécurité fonctionnelle. sil les systemes instrumentés de sécurité dans l'industrie des process. 2014.
- [18] E. Fae, J. L. Durka, Conception et évaluation de la sécurité fonctionnelle des systèmes instrumentés de sécurité. Rapport Final, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, INERIS, 2000, [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)
- [19] MESURES 813. Dossier sécurité fonctionnelle. Trois méthodes pour déterminer le niveau de sécurité sil. 2014.
- [20] A. Mkhida. Contribution à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes instrumentés de sécurité intégrant de l'intelligence. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, 2008.
- [21] La partie 6 de la norme CEI 61508, Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety related systems, 2010.
- [22] W. MECHRI. Evaluation de la performance des Systèmes Instrumentés de Sécurité à paramètres imprécis, Thèse de Docteur de L'Université de Tunis El Manar ; 2011.
- [23] Documents ils nous remis par la direction de la Laminoir à froid. Sider El hadjer ANNABA(2019).