



**HLE**: Haute Limite d'Elasticité

**HA**: Haute Adhérence

**PTS**: Poutrelles Nues Treillis Soudées

**EVG** : Entwicklungs und Verwertungs Gesellschaft : Société de développement et de recyclage

**RMV** : Vertical Rolling Machine : Machine verticale de laminage

**DCA** : Drawing Compound Applicator : dessin applicateur composé

**MDU** : Mechanical Descaling Unit : unité de décalaminage mécanique

**OHP** : wire rod overhead payoff : Dévidoir de fil machine

**TSD** : automatique welding line : ligne de soudure automatique

**G55** : wire mesh welding machine : Machine de soudage de treillis métallique

**VSS** : Vertical Spooler : spouleur verticale

**ACF** : Armatures Coupées-faconnées

**MP**: Matière Premières

**SI** : Système Informatique

**PF** : Produit Fini

**PNF** : Produit Non Conforme

**PFC** : Produit Fini Conforme

**MP** : Matière Premier.

**ReH** : La limite supérieure d'écoulement

**Rm** : La résistance à la traction

**Agt** : Allongement totale à la force maximale

**A(%)** : Allongement rémanent de la longueur entre repères après Rupture

**Pr** : Produit

**RDM** : Résistance Des Matériaux

## Liste des Tableaux

Tableau N°1 : Fiche technique de la société .....	4
Tableau N°2 : le plan de contrôle.....	17
Tableau N° 3 : récapitulatif pour les Cartes de contrôle aux mesures.....	28
Tableau N°4 : Facteurs fixés et leurs domaines de variation.....	31
Tableau N°5 : caractéristiques du problème.....	32
Tableau N°6: Matrice d'expériences.....	32



---

Tableau N°7 : Plan d'expérimentation.....	33
Tableau N°8 : Facteurs fixés et leurs domaines de variation.....	34
Tableau N°9: caractéristiques du problème.....	35
Tableau N°10: Matrice d'expériences.....	35
Tableau N°11: Plan d'expérimentations.....	36
Tableau N°12: analyse de la variance de la réponse.....	36
Tableau N°13: coefficients de corrélation et écart type de la réponse.....	37
Tableau N°14 : Tableau des effets du modèle de la réponse.....	37
Tableau N°15: analyse de la variance de la réponse .....	38
Tableau N°16: coefficients de corrélation et écart type de la réponse.....	39
Tableau N°17: Tableau des effets du modèle de la réponse.....	39
Tableau N°18 : présente la valeur expérimentale et celle prédite pour le point test.....	40
Tableau N°19 : les valeurs obtenu .....	42
Tableau N°20: des résultats présentant les valeurs de LSC et LCI.....	43
Tableau N°21 : des résultats présentant les valeurs de LSC et LCI.....	44



## Liste des Figures

Figure N°1 : Organigramme de la Société.....	4
Figure N°2: Armatures Coupées Façonnées .....	5
Figure N°3 : Schéma d'un acier à verrous.....	6
Figure N°4 : schéma d'un acier à empreintes.....	6
Figure N°5 : Acier pour béton .....	6
Figure N°6 : Treillis soudés.....	7
Figure N°7 : Poutrelles nues.....	7
Figure N°8 : ligne de soudage de poutrelles.....	8
Figure N°9: ligne de soudage des nappes d'armature.....	8
Figure N°10 : ligne de laminage à froid RMV.....	9
Figure N°11 : schéma descriptif du processus de fabrication.....	11
Figure N°12 : Description des équipements de la RMV .....	11
Figure N°13 : Dévidoir de fil machine overhead OHP.....	12
Figure N°14 : Dispositif de décalaminage mécanique MDU.....	13
Figure N°15 : Applicateur d'agent de tréfilage DCA.....	14
Figure N°16 : Bloc de tréfilage vertical triple.....	15
Figure N°17: enrouleur à axe verticale type VSS.....	16
Figure N°18 : Fils métallique tréfilé.....	20
Figure N°19: Domaine du facteur.....	22
Figure N°20: Domaine d'étude ou domaine expérimental .....	23
Figure N°21: la surface de réponse.....	24
Figure N°22 : A gauche graphique des poids des effets, à droite graphique de PARETO....	33
Figure N°23 : A droite le graphe des résidus et à gauche la droite d'HENRY pour les Résidus.....	38
Figure N°24: a gauche graphe des résidus et à droite d'Henry pour la réponse.....	39
Figure N°25 : la figure montre la surface de réponse trouvée.....	40
Figure N°26: Carte de contrôle de la moyenne de la Résistance.....	43
Figure N°27: Carte de contrôle de l'étendue de la Résistance.....	43



## Sommaire

Remerciements	
Liste d'abréviations	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Introduction.....	1
<b>Partie1 : Présentation de la Société RIVERA METAL</b>	
I . Présentation de la Société RIVERA METAL .....	3
1 . Historique.....	3
2 . Fiche technique de la société .....	4
3 . L'organigramme de la société.....	4
4 . Les activités de la société.....	5
5 . Produits commercialisés .....	5
a. Production des armatures coupées façonnées .....	5
b. Production des aciers pour béton .....	6
c . Production des treillis soudés .....	7
d. Production des poutrelles nues .....	7
II. Présentation d'atelier de production et le service Qualité .....	8
1. Généralité sur l'atelier EVG (tréfilage, poutrelle nues, treillis soudés) .....	8
1-1. les lignes de productions.....	8
1-1-1. Ligne de Soudage des Poutrelles nues (TSD).....	8
11-2. Ligne de Soudage des Nappes D'armature (G55) .....	8
1-1-3. Ligne de laminage à froid .....	8
1-2. Description Du processus de fabrication .....	9
1-2-1. Les dimensions de la machine de laminage à froid.....	11
1-2-2. Les différents Equipments constituant la RMV.....	12
1-2-3. Fonctionnement des Equipments de RMV .....	12
a . Dévidoir de fil machine overhead OHP.....	12
b. Dispositif de décalaminage mécanique MDU.....	13
c. Applicateur d'agent de tréfilage DCA .....	14
d. Bloc de tréfilage vertical triple.....	15
e. Enrouleur à axe vertical type VSS.....	16
2. Description et activités du laboratoire qualité .....	16
<b>Partie2 : La Bibliographie</b>	
I. Quelques Notions .....	19
1. La Résistance .....	19
2. Propriétés de L'acier .....	19



3. Le tréfilage .....	20
II. Les Rappels	
Statistiques .....	20
1. Le test de l'ANOVA 1 et ANOVA2 .....	20
2. Les plans d'expériences .....	21
a. Notion d'espace expérimental .....	22
b. La modélisation mathématique .....	23
c. Plans de criblage .....	23
d. Notion de surface de réponse .....	24
e. Démarche méthodologique.....	24
III. La maîtrise statistique des procédés .....	25
1. Les cartes de contrôles .....	25
<b>Partie3 : Etude expérimentale</b>	
Introduction .....	30
I. Optimisation de la Résistance des Fils d'Aciers Tréfilés par la Méthode des Plans d'Expériences.....	30
1. Objectif de l'étude .....	30
2. Mise en place des paramètres d'étude.....	30
a. Mode opératoire.....	30
b. Choix des facteurs .....	31
c. Choix des réponses .....	31
d. Mode de mesures des réponses .....	31
3. Étude de criblage.....	32
a. Stratégie.....	32
b. Caractéristiques du problème .....	32
c. Modèle postulé.....	32
d. Matrice d'expériences .....	32
e. Plan d'expérimentation.....	33
f. Analyse des résultats du plan de criblage.....	33
i. Analyse des effets des paramètres.....	33
ii. Conclusions et perspectives .....	34
4. Plan d'optimisation .....	34
a. Objectif de l'étude .....	34
b. Paramètres .....	34
c. Réponse .....	34
d. Stratégie .....	35
e. Modèle mathématique .....	35
f. Matrice d'expériences.....	35



g. Plan d'expérimentation.....	36
5. Interprétation des résultats.....	36
a. Analyse de la variance .....	36
b. Estimations et statistiques des coefficients .....	37
c. Interprétation des résultats après élimination des points aberrants .....	38
i. Analyse de la variance de la réponse (Rm) .....	38
i.i. Estimations et statistiques des coefficients .....	39
d. Vérification du modèle par des points tests.....	40
Conclusion de l'étude d'optimisation.....	41
<b>Conclusion générale de l'étude</b> .....	41
II. Mise en place de la carte de contrôle .....	41
Introduction .....	41
1. Calcul de carte de contrôle .....	41
a. Carte moyenne-étendue (X, R) .....	43
i. La carte X .....	43
ii. La carte R .....	43
b. Interprétation .....	44
Conclusion d'étude .....	44
<b>Conclusion Générale</b> .....	45
Bibliographie	
Les Annexe	



## Introduction

Aujourd'hui, les opérations de construction, de réhabilitation ou de rénovation d'un bâtiment deviennent de plus en plus complexes du fait de l'évolution permanente des techniques et des réglementations.

De ce fait, la mission de l'économiste de la construction s'effectue en étroite collaboration avec les architectes et les ingénieurs du projet. Pour cela, il doit comprendre et analyser le projet dans sa globalité afin d'établir l'étude technique la plus pertinente. Ce travail exige un véritable dialogue au sein de la maîtrise d'œuvre et avec la maîtrise d'ouvrage pour que le projet soit traité de manière exhaustive.

Les scientifiques nous expliquent comment un bâtiment se déforme, se dégrade, puis se casse sous l'effet des secousses. Les architectes et ingénieurs se forment pour en tenir compte dans leurs projets en zone sismique. Sur le chantier, nous avons l'ultime responsabilité, celle de réaliser correctement les travaux.

Dans l'état actuel des choses, il est question de prévoir les modes de déformation des constructions sous l'effet des secousses, et de maîtriser l'importance de ces déformations et contraintes sur l'ensemble de la structure porteuse et sur chacun des éléments qui la composent. Puis, la résistance des matériaux utilisés, leur mise en œuvre et leurs caractéristiques diverses définies par l'ingénieur doivent permettre à la construction de répondre aux sollicitations d'origine sismique.

Dans ce cadre j'étais amené de contribuer à l'optimisation des paramètres qui ont un effet sur la résistance des fils d'acier tréfilés au sein de la société Rivera métal.

Le présent travail sera détaillé suivant ce plan :

- ⇒ Une présentation générale de la société Rivera Métal.
- ⇒ Une étude bibliographique qui traite des généralités sur la résistance et les fils d'acier, le tréfilage, et des notions statistiques sur les plans d'expériences et les principes de bases sur les cartes de contrôles.
- ⇒ Dans le troisième chapitre, on présente la partie expérimentale ainsi que les résultats obtenus, et en fin une conclusion générale de l'étude.



# Partie1 :

## *Présentation de la Société RIVERA METAL*

### **I. Présentation de la Société RIVERA METAL :**

#### 1. Historique :

Le groupe BELMEKKI est un groupe d'entreprise familiales opérant essentiellement dans le secteur des bâtiments et des travaux publics BTP. Ces entreprises sont spécialisées dans la commercialisation des matériaux de construction.





Toutes ces entités constituant le groupe opérant en synergie et en coordination afin d'offrir le meilleur service à leur clientèle.

Les dizaines de filiales du groupe sont concentrées sur l'industrialisation du bâtiment au niveau régional et national, et cela en offrant des articles répondant aux standards internationaux en matière sidérurgique.

RIVERA METAL est une filiale du groupe BELMEKKI leader marocain dans la fourniture des matériaux de construction et notamment du rond à béton.

C'est une entité qui a pour vocation la réalisation d'armatures d'acier coupées façonnées, d'aciers tréfilés, treillis soudés et des poutrelles nues. Ses perspectives sont très enviables, dans la mesure où ses produits sont principalement destinés aux gros œuvres et aux constructions des bétons armés.

Rivera Métal s'est équipée des machines les plus sophistiquées auprès de partenaires étrangers de renommée internationale, spécifiquement le groupe d'entreprises EVG – SCHNELL qui couvre l'ensemble du domaine des treillis soudés et des poutrelles nues et ronds à béton grâce aux nouveaux processus qui sont mis au point en étroite collaboration avec les techniciens de la production et les métallurgistes des sociétés affiliées.

Ces usines s'étendent sur une superficie de plus de 10 hectares assurant donc une capacité de production parmi les plus grandes sur le marché marocain de l'armature.

La société dispose d'un parc camion s'élevant à plus de 50 véhicules qui permettent de couvrir les besoins des partenaires sur l'ensemble du territoire marocain.

## 2. Fiche technique de la société :

--	--

Rapport-gratuit.com



LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE



Forme juridique	S.A.R.L
Capital social	40 millions DH
Registre du commerce	29131 Meknès
Identification fiscale	18012242
Investissement	250 millions DH
Superficie	10 HA
Gérant de la société	Mr. Abdelmajid BELMEKKI
Activité	Façonnage et tréfilage de l'acier
Emplois	180 personnes
Parc	50 camions
E-mail	contact@riverametal.com
Adresse	Lot n°39 Zone industrielle MEJJAT, Meknès.
Tél	05.35.43.97.93
Fax	05.35.43.97.94

Tableau N°1 : Fiche technique de la société

3. L'organigramme de la société :

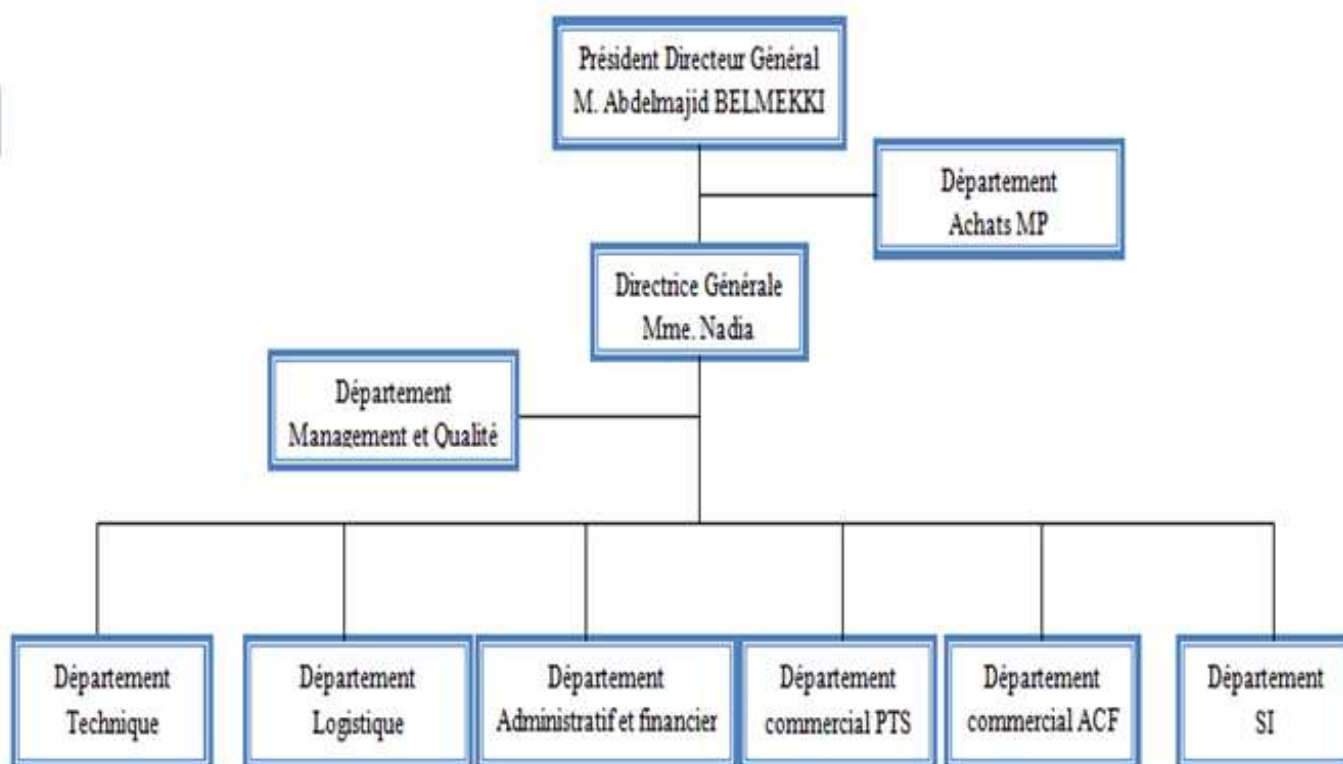


Figure N°1 : Organigramme de la Société



#### 4. Les activités de la société :

Rivera métal se spécialise dans deux activités, et assure une offre globale pour ses clients, depuis le recueil de leurs exigences jusqu'à la livraison du produit fini, dans les meilleures conditions de la qualité et du délai.

##### ➤ **L'activité de tréfilage :**

C'est le laminage à froid des aciers, qui se réalise dans un processus doté d'une haute technologie et répond à l'exigence réglementaire et normative liée aux produits sidérurgiques.

Ce processus interagit avec deux autres processus à savoir celui de la production des treillis soudés et celui des poutrelles nues, en leur offrant des fils à haute adhérence.

##### ➤ **L'activité du façonnage :**

C'est l'obtention des armatures coupées façonnées par coupe et façonnage des aciers en fonction des demandes des clients qui sont décortiquées au sein de bureau des méthodes.

#### 5. Produits commercialisés :

Autant que société spécialisée en armature de béton, Rivera Métal est amenée à la production des matières suivantes :

##### **a. Production des armatures coupées façonnées :**

Rivera Métal dispose d'un bureau d'études doté des logiciels de calcul et d'optimisation des armatures.

Ce bureau de méthodes contrôle le plan béton armé, les décortiques et fournit à l'équipe de production un plan de coupe, de pliage et de cintrage des armatures sur des lignes automatiques à la pointe de la technologie pour obtenir les cadres, les étriers, les épingles, les ancrages et les coudes.

Figure  
Coupées



N°2 : Armatures  
Façonnées

##### **b. Production des aciers pour béton :**

Au cours des premières décennies de l'histoire du béton armé, les armatures étaient constituées de barres d'acier doux, de section circulaire dont la limite d'élasticité était habituellement comprise entre 215 et 235 MPa. Ce type d'acier n'est pratiquement plus utilisé. On a évolué vers des aciers qui sont à la fois à Haute Limite d'Elasticité (HLE) et à Haute Adhérence (HA).

La haute adhérence résulte de la création d'aspérités en saillie ou en creux. Les aspérités en saillie inclinées par rapport à l'axe de la barre sont appelées « verrous ». Les aspérités en creux sont appelées « empreintes ».

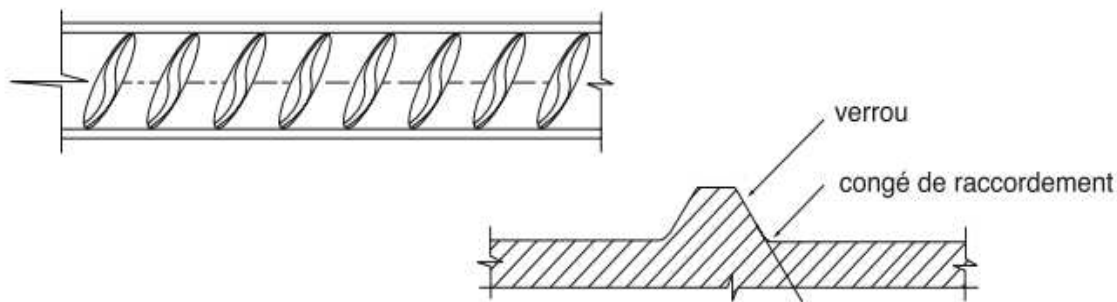
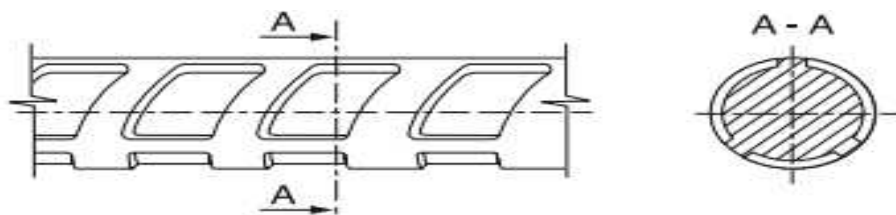


Figure N°3 : Schéma d'un acier à verrous

N°4 :  
d'un



empreintes

Figure  
schéma  
acier à



Figure N° 5 : Acier pour béton

### c. Production des treillis soudés :

Treillis soudé : armatures préfabriquées se présentant sous forme de réseaux plans constitués des fils ou des barres lisses, où à haute adhérence, de diamètres compris entre 3.5 et 8mm.

L'assemblage des éléments constitutifs est obtenu par soudage de chaque point de croisement, effectué par résistance, en usine, sur machines automatiques.

Les treillis soudés peuvent se présenter sous forme de panneaux ou de rouleaux.

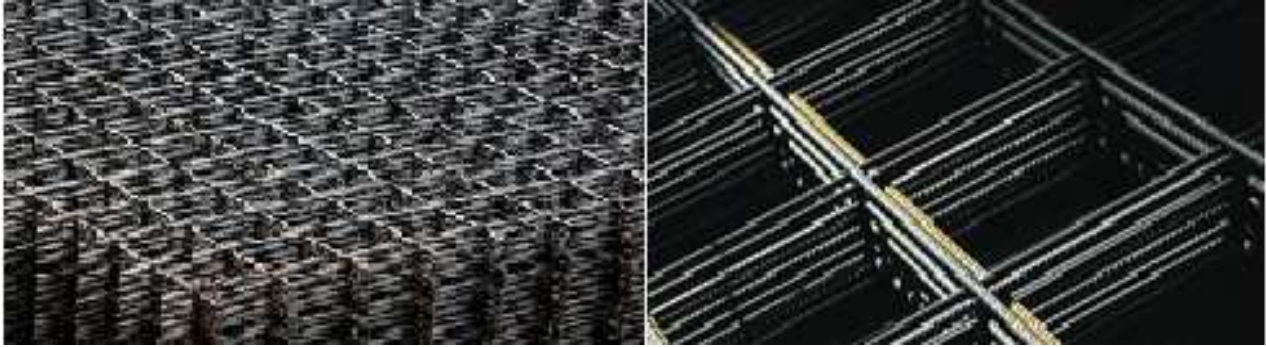


Figure N°6 : Treillis soudés.

#### **d. Production des poutrelles nues :**

Ces poutrelles sont disponibles en différentes hauteurs et diamètres de fils, elles sont emballées par cerclage des feuillards de 50 unités par botte.

- Un fil supérieur de (/) 7/8/10/12 mm
- Deux fils inférieurs de (/) 6/7/8/10/14 mm
- Deux étriers continus en forme sinusoïdale soudés au fils inférieurs et supérieurs (/) 4Lisse/4.5 mm.
- La hauteur des poutrelles varie entre 100 mm et 300 mm

➤ La



longueur standard des poutrelles est de 12/13/14 m.



Figure N°7 : poutrelles nues

## II. Présentation de l'atelier de production et le service Qualité :

### 1. Généralité sur l'atelier EVG ( tréfilage, poutrelle nues , treillis soudés) :

#### 1-1. les lignes de productions

##### 1-1-1. Ligne de Soudage des Poutrelles nues (TSD):

La machine à souder est ultraperformante, son rôle est la fabrication de poutrelle standard en grandes quantités qui ont divers applications.

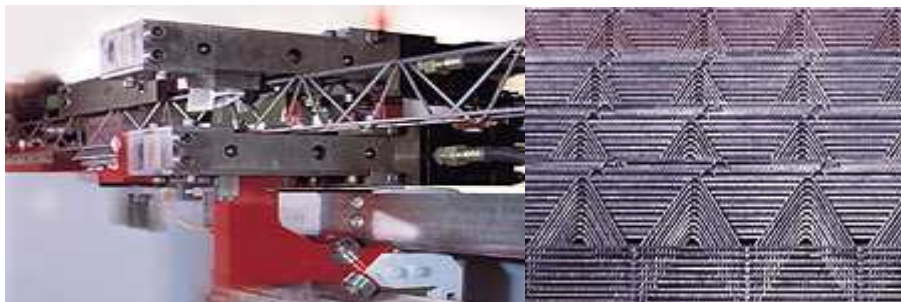


Figure N°8 : ligne de soudage de poutrelles nues.

##### 1-1-2. Ligne de Soudage des Nappes D'armature (G55) :

La G55 spécialisé en production économique de nappe standard à partir des couronnes. Toutes les installations pour la transformation de matériaux laminés à chaud et/ou à froid.



Figure N° 9 : ligne de soudage des nappes d'armature

##### 1-1-3. Ligne de laminage à froid :



**Le laminage** est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux comme du métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse comme le papier ou les pâtes alimentaires. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres contrarotatifs appelés laminoir.

**Un laminoir** est une installation industrielle ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau (généralement du métal). Il permet également la production de barres profilées (produits longs).

La RMV ou la lamineuses de fil à froid est ultraperformante pour plusieurs gammes de diamètres de fils courants dans le domaine des nappes d'armature. Tous les accessoires, y compris bobineuse automatique.



Figure N°10 : ligne de laminage à froid RMV

## 1-2. Description Du processus de fabrication du laminé à froid :

Le processus de fabrication du laminé à froid se présente comme suit :

De la réception de la matière première jusqu'à la libération du produit fini.



### matière première :

### Réception

- Matière première réceptionnée sous forme de rouleaux sous réserve de contrôle.
- Gestion du produit non conforme
- Isolement dans la zone des produit non –conforme avec identification visuelle peinture rouge.



### Stockage

- Identification du produit conforme par peinture vert
- Stockage selon diamètre



### Planification

### de la production

- Selon les commandes en cours on établit un planning prévisionnel de production par semaine.



### Alimentation

### zone de stockage machine



-Selon le planning de production on alimente la zone de stockage machine en établissant un bon de sortie magasin vérifié par l'agent de contrôle qualité.



### **machine**

### **Dévidage du fil**

-Au moyen d'un chariot élévateur on alimente les dévidoirs par des rouleaux en appliquant le plan de contrôle au cours de la production la fiche de réglage et la procédure de traçabilité.



### **Décalaminage**

-Enlever l'oxyde qui recouvre le fil pour obtenir une propreté de surface.



### **Lubrification**

-Assure le maintien d'un bon état de surface du fil métallique et de limiter l'échauffement provoqué par l'écrouissage du métal.



### **laminage à froid**

### **Bloc de**

-Mise en forme du diamètre avec étirage du fil à l'aide du disque de tréfilage afin de réduire progressivement son diamètre grâce à son passage dans une succession de cassette de tréfilage en respectant les réglage pour chaque diamètre (fiche de réglage).

-Contrôle du fil avant le lancement de fabrication



### **dressage**

### **Bloc de**

-Bloc de dressage pour éliminer les contraintes du fil avant bobinage



### **Bobinage**

-Lancement de production



### **Ligaturage**

-Ligaturée avec feuillard



### **Evaluation à la**

### **zone de stockage PF intermédiaire**

-Evaluation des bobines dans une zone de mise en attente pour vérification par le contrôleur qualité

-Gestion du produit non conforme

-Isolement dans la zone des produits non-conforme avec identification visuel peinture rouge



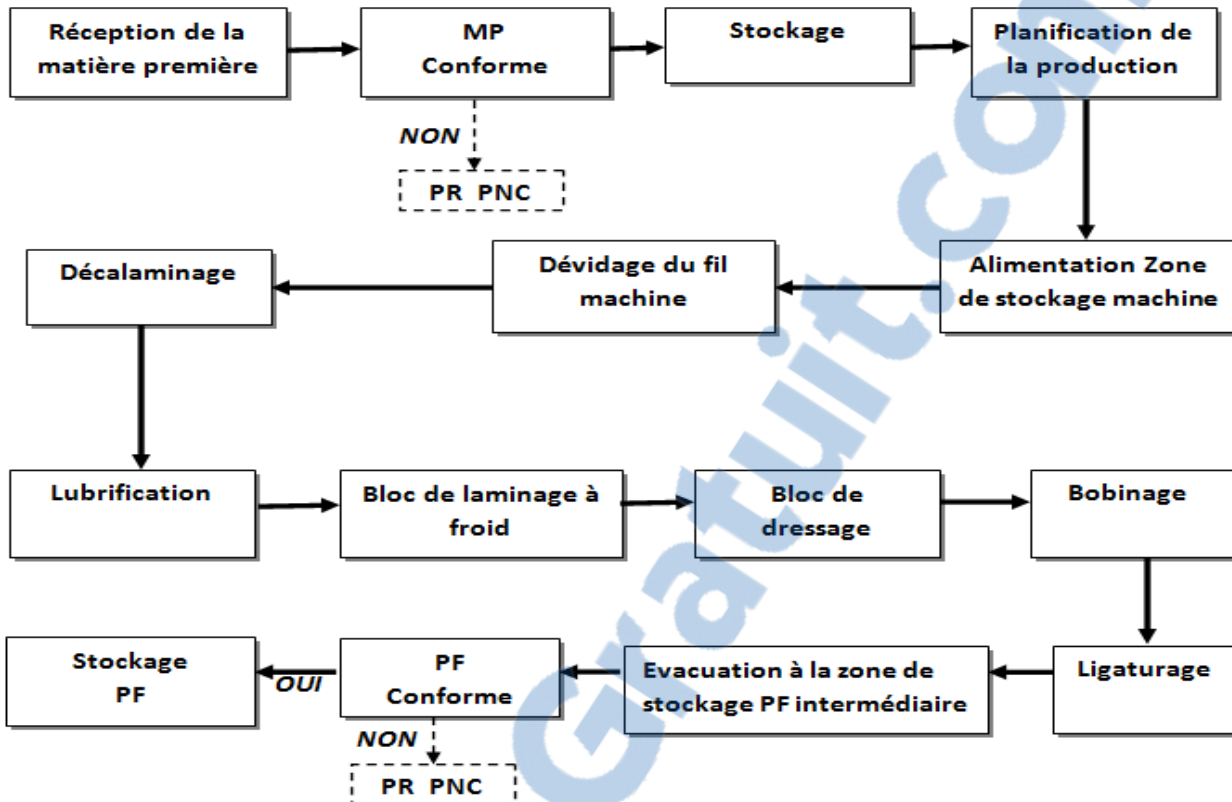
### **Stockage PF**

-Libération des bobines par le contrôleur qualité à la zone de stockage PF.

-Identification par une étiquette comportant un cachet conforme.



Figure N°11 : schéma descriptif du processus de fabrication.



### 1-2-1. Description des différents équipements de la RMV:

Cette partie nous donne la possibilité de connaître le contexte technique de la machine de laminage à froid RMV.

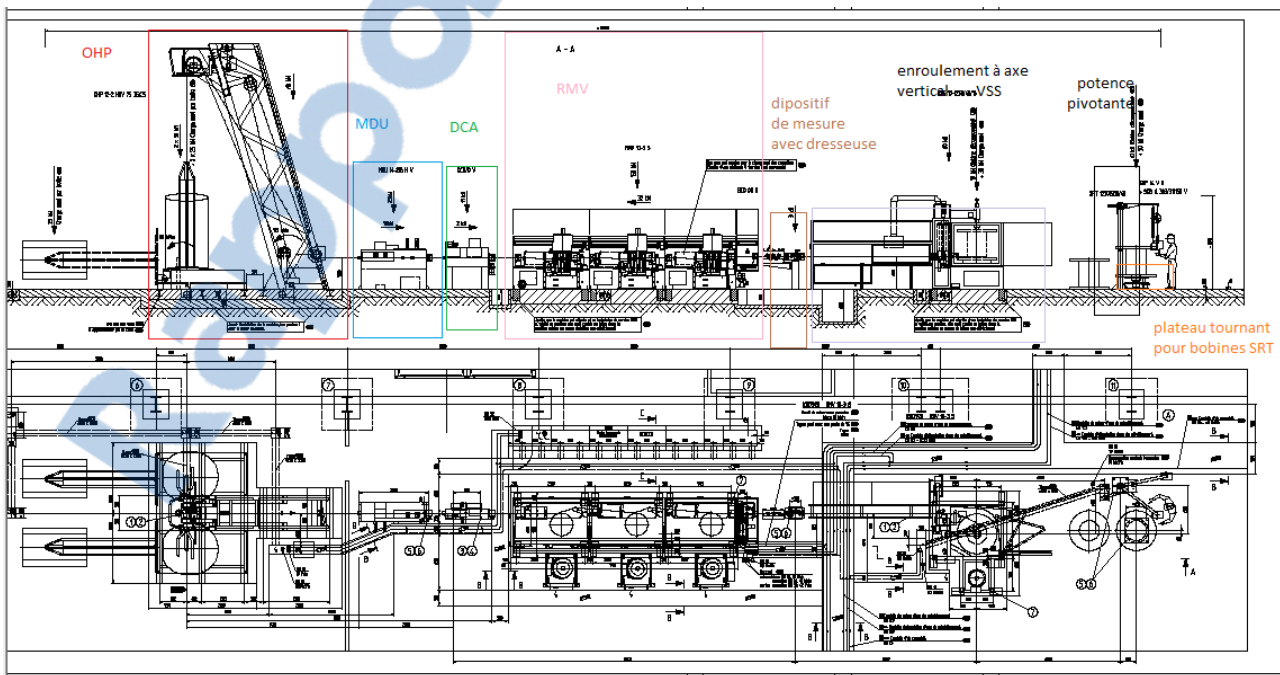


Figure N°12 : Description des équipements de la RMV

### 1-2-2. Les différents Equipments constituant la RMV:

- Dévidoir de fil machine Overhead (OHP)
- Dispositif de décalaminage mécanique (MDU)
- Applicateur d'agent de tréfilage (DCA)
- Bloc de tréfilage vertical triple

### 1-2-3. Fonctionnement des Equipments de RMV :

#### a. Dévidoir de fil machine overhead OHP:

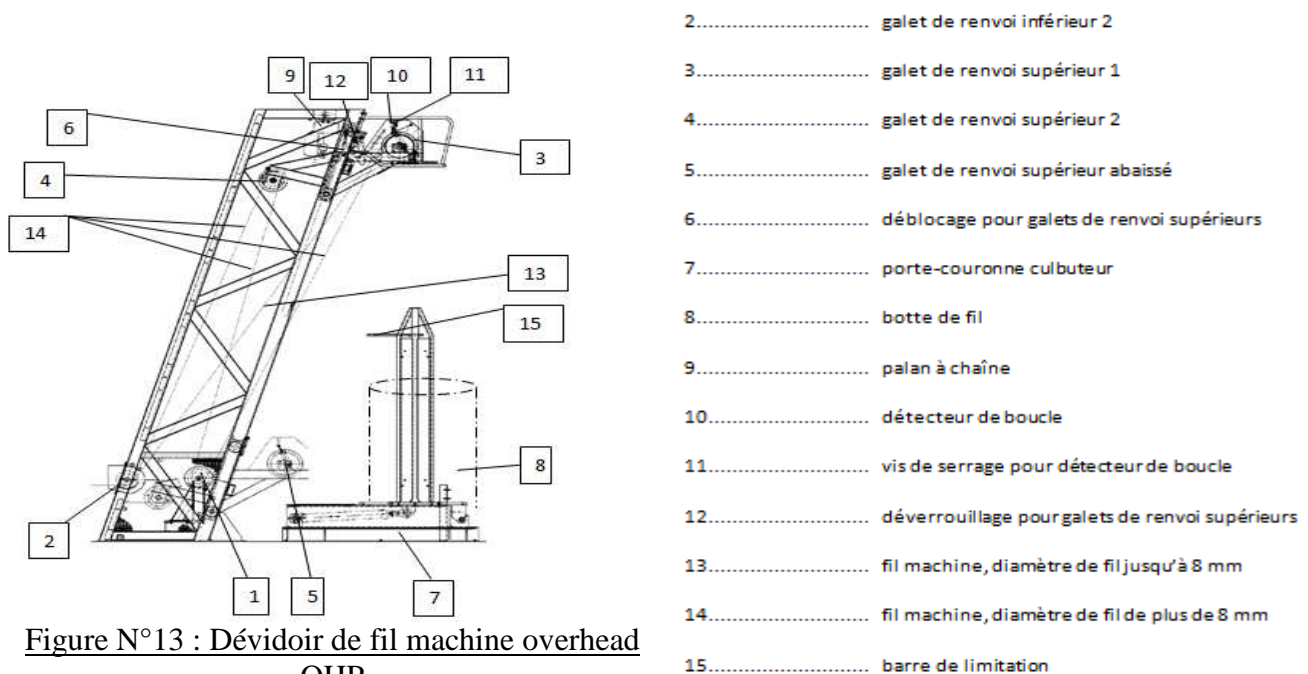


Figure N°13 : Dévidoir de fil machine overhead  
OHP

#### • Description de l'OHP

Le dévidoir de fil machine overhead (OHP), constitué de deux portes couronnes culbuteurs, des galets de renvoi inférieurs, des galets de renvoi supérieurs déplaçables moyennant le palan à chaînes et du détecteur de boucle sur le galet de renvoi supérieur.

Le détecteur de boucle sert à déconnecter la ligne de production. En cas de formation de boucle de fil, un initiateur d'approche est actionné par la réglette du détecteur de boucle et la ligne est arrêtée.

Le détecteur de boucle est réglable par une vis de réglage, la fente entre la réglette du détecteur de boucle et le galet de renvoi doit être  $1,5 \times$  diamètre de fil.

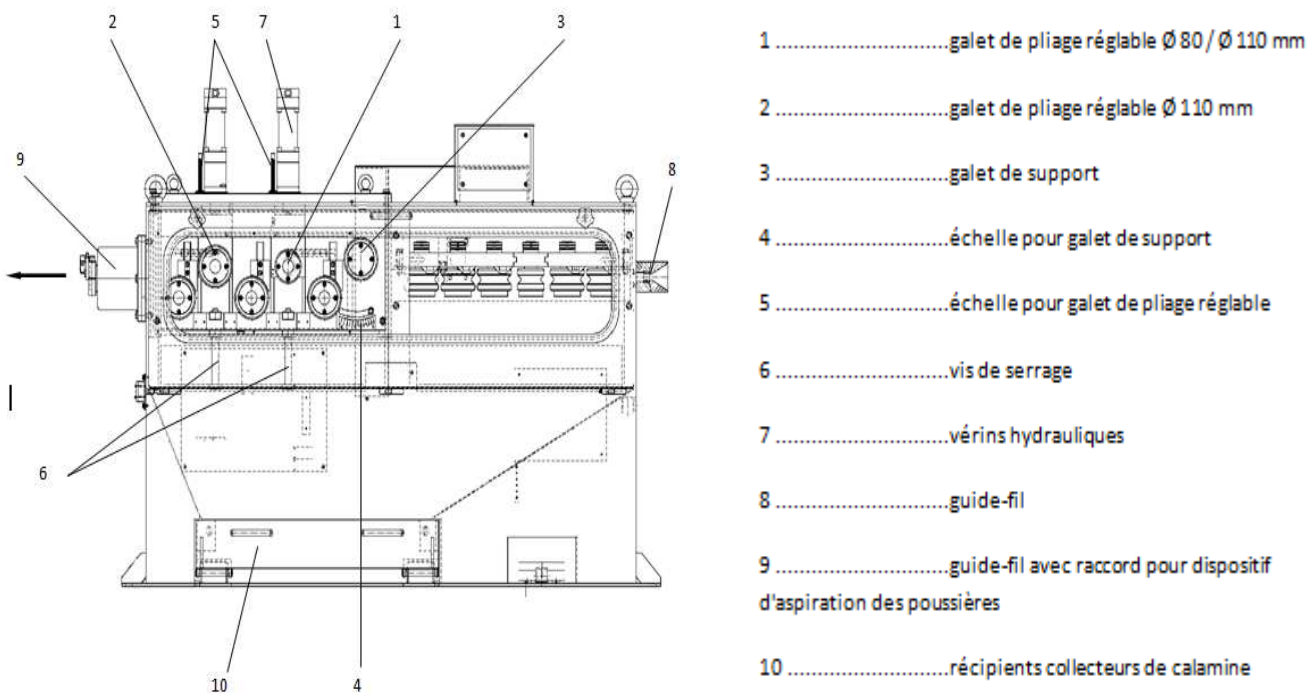
**N.B :** Le réglage de la pression du détecteur de boucle dépend du diamètre de fil.

Voire tableau N°22 Annexe 2 (Réglage de pression du détecteur de boucle et la fente entre réglette du détecteur de boucle et le galet de renvoi).

### b. Dispositif de décalaminage mécanique MDU

Le dispositif de décalaminage mécanique MDU... fait partie intégrante de la ligne de laminage à froid et il sert exclusivement à décalaminer des fils machine lisse.

Figure N°14 : Dispositif de décalaminage mécanique MDU



#### • Description du MDU

Le dispositif de décalaminage mécanique consiste deux mécanismes de pliage dans le plan vertical et horizontal, des guide-fils en métal dur et d'un récipient collecteur de calamine.

Les galets sont équipés d'anneaux en métal dur, chaque mécanisme de pliage est muni d'un galet de support réglable au côté d'entrée et de cinq galets de pliage, chaque fois deux galets de pliage sont réglables par un vérin hydraulique.



c. **Applicateur d'agent de tréfilage DCA**

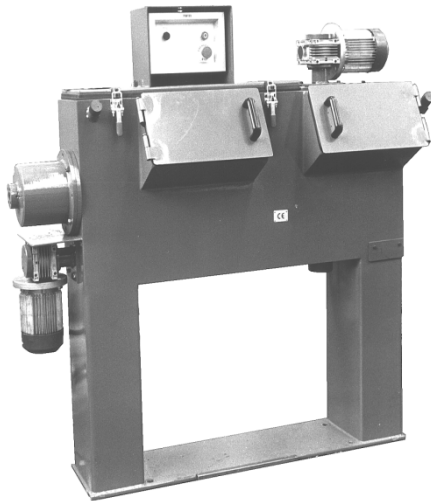


Figure  
N°15  
Applicateur  
d'agent de tréfilage DCA

- 1 ..... système de récupération à vis sans fin
- 2 ..... hélice transporteuse avec tuyau de montée
- 3 ..... guide-fil
- 4 ..... ouverture de remplissage pour agent de tréfilage
- 5 ..... bouchon de décharge pour agent de tréfilage
- 6 ..... guide-fil avec raccord pour dispositif d'aspiration des poussières

● ..... **Description de l'Applicateur d'Agent de Tréfilage DCA**

L'applicateur d'agent de tréfilage sert à appliquer l'agent de tréfilage au fil pendant le laminage. L'agent de tréfilage est transporté du récipient à la zone d'application par un motoréducteur et une hélice transporteuse à travers d'un tuyau de montée.

Dans la zone d'application, le fil passe, et prend ainsi le revêtement. C'est ainsi qu'un revêtement régulier se forme qui sert de film lubrifiant pour le laminage.

Dans la zone de sortie, l'agent de tréfilage en trop est ramené au récipient d'agent de tréfilage par un système de récupération à vis sans fin.

**N.B :** l'agent de tréfilage(ou Les savons) sont des lubrifiants secs essentiellement utilisés dans le tréfilage des fils métalliques.

Ce sont des mélanges complexes de savons de calcium ou de sodium (principalement) avec des charges minérales.

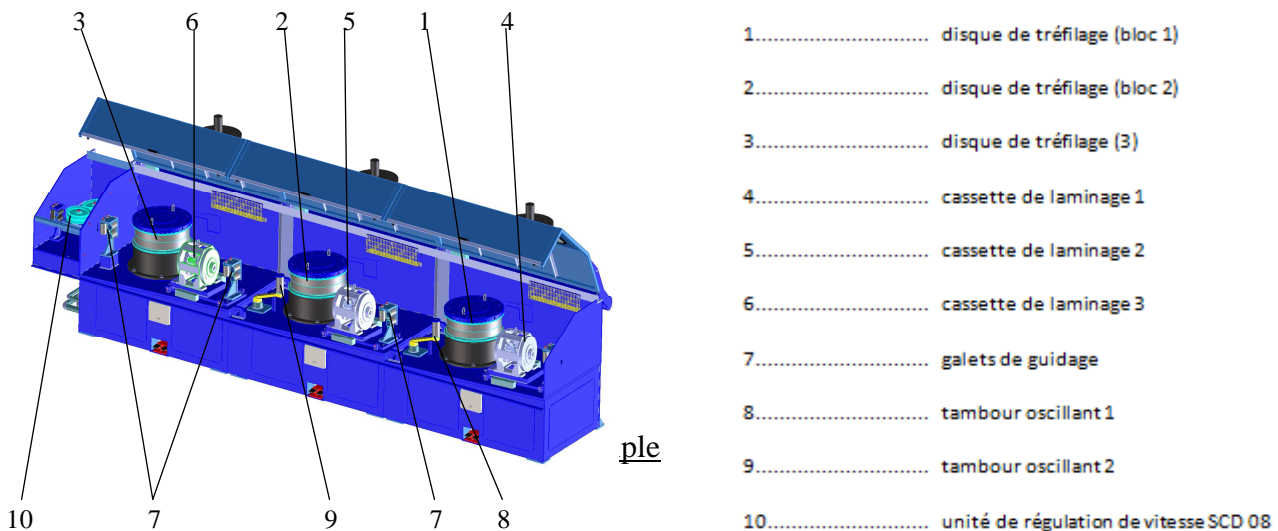
Les savons sont obtenus par réaction chimique d'un composé calcique ou sodique sur un corps gras.

Dans la pratique, le choix du lubrifiant, pour une opération donnée est presque exclusivement fondé sur une approche empirique. Pour le tréfilage à froid, les fonctions essentielles du lubrifiant liquide sont :

- de réduire les frottements entre le fil et les surfaces frottantes telles que les filières, les cabestans.
- de dissiper la chaleur créée par la déformation plastique du matériau
- d'empêcher la formation de dépôts à l'entrée des filières pouvant provoquer des casses.

#### d. Bloc de tréfilage vertical triple

Le tréfilage est la réduction de la section d'un fil en métal par traction mécanique sur une machine à tréfiler, Les usines spécialisées dans le tréfilage sont appelées des tréfileries.



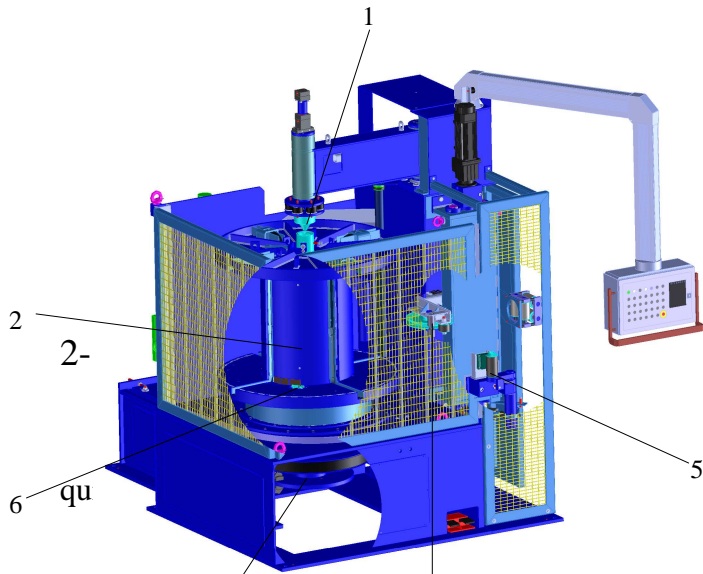
#### • Description bloc de tréfilage vertical triple RMV :

Le bloc de tréfilage vertical triple consiste de 3 disques de tréfilage refroidis à l'eau (bloc 1, 2, 3) avec chacune cassette de laminage, des galets de guidage et des tambours oscillants. Chaque moteur triphasé à réglage de fréquence entraîne un disque de tréfilage par le biais d'une courroie dentée et d'un engrenage.

Les tambours oscillants sont pressés contre le fil par force pneumatique et ils règlent la vitesse des disques de tréfilage. Le tambour oscillant 1 règle la vitesse du disque de tréfilage 1, le tambour oscillant 2 règle la vitesse du disque de tréfilage 2. Chaque disque de tréfilage est équipé d'un frein à disque actionné hydrauliquement (frein d'arrêt).

#### e. Enrouleur à axe vertical type VSS





- 1 ..... Canon
- 2 ..... Bobine
- 3 ..... Entraînement
- 4 ..... Dispositif de trancanage
- 5 ..... Dispositif de serrage de fil du dispositif de trancanage
- 6 ..... Dispositif de serrage de fil de la bobine

de VSS  
de qualité :

est un rôle très important dans la démarche qualité

Avec un personnel qualifié et expérimenté, un climat professionnel encourageant, et la vigilance d'un chef de laboratoire dont le plus grand souci est la qualité des analyses et la sensibilisation permanente des techniciens aux principes et règlements.

Le tableau suivant nous donne des informations en ce qui concerne les différentes étapes où on fait les analyses de contrôles (à la réception MP et laminage à froid), ainsi que les moyens de contrôle et les paramètres à contrôler et aussi la fréquence de chaque analyse.

Les analyses effectuées aux seins de laboratoire sont :

- ✚ Hauteurs des verrous
- ✚ Masse linéique
- ✚ Aspect et le marquage
- ✚ Espacement de verrous
- ✚ Rm : Résistance à la traction
- ✚ Essai de non fragilité

On peut avoir ces analyses dans le tableau suivant :



Phases	Désignation	Paramètre à contrôler	Moyen De contrôle	Contrôleur
Réception	Rouleaux Fil machine	Ecart de poids	Pont bascule	Agent de pesage
		Etiquettes	Visuel	Contrôleurs Qualité
		Certificat matière		
		Etat de surface		
		Marquage usine productrice		
		Ligature		
		Diamètre	Pied à coulisse	
		Ovalisation		
		Rm (N/mm²)	Machine de traction	
		Composition chimique	Certificat matière	
Laminage à froid	Rouleaux fil machine	Diamètre	Pied à coulisse	Agent de production
		Identifiant rouleaux fil machine (Etiquêtes) + Etat de surface	Visuel	
	Fil en cours de production	Etat de surface du fil après l’unité de décalaminage	Visuel	
		Niveau du lubrifiant de tréfilage (savon)	Visuel /mesurage	
		Taux de réduction de section du diamètre	Pied à coulisse	
		Hauteurs des verrous	Comparateur	
		Contrôle du diamètre du fil après la sortie du bloc tréfilage (Masses linéiques réelle)	Balance	
		Ligaturage bobine	Visuel	
	Bobine laminé à froid	ReH	Machine de Traction	Contrôleurs Qualité
		Rm		
		Rm/ReH		
		Ag(t)		
		Aspect + marquage	Visuel	
		Masse linéique	Balance	
Paramètres de formes		Règle +Comparateur		
	Non fragilité	Dispositif de pliage +Mandrin		

Tableau N°2 : le plan de contrôle



# *Partie2 :*

## *La Bibliographie*

### **I. Quelques Notions :**

#### **1. La Résistance :**

La Résistance Des Matériaux RDM, est une discipline particulière de la mécanique des milieux continus permettant le calcul des contraintes et déformations dans les structures des différents matériaux (machines, génie mécanique, bâtiment et génie civil).





La RDM permet de ramener l'étude du comportement global d'une structure (relation entre sollicitations — forces ou moments — et déplacements) à celle du comportement local des matériaux la composant (relation entre contraintes et déformations).

Lorsque l'intensité de la contrainte augmente, il y a d'abord déformation élastique (le matériau se déforme proportionnellement à l'effort appliqué et reprend sa forme initiale lorsque la sollicitation disparaît), suivie parfois (en fonction de la ductilité du matériau) d'une déformation plastique (le matériau ne reprend pas sa forme initiale lorsque la sollicitation disparaît, il subsiste une déformation résiduelle), et enfin rupture (la sollicitation dépasse la résistance intrinsèque du matériau).

## 2. Propriétés de L'acier :

### - **Généralité**

L'acier est un élément constitué essentiellement de fer et une petite quantité de carbone, qui sont extraits de matières premières naturelles tirées du sous-sol (mines de fer et de carbone).

### - **Composition chimique :**

L'acier est un alliage de fer (plus 90%) et de carbone renfermant au maximum 2% de ce dernier élément. Il peut contenir de petites quantités d'autres éléments incorporés, volontairement ou non, au cours de son élaboration.

-Impuretés involontaires : (le phosphore, le soufre et l'azote) qui altèrent les propriétés des aciers

-Ajout de métaux volontairement : le but de cet ajout est d'améliorer les caractéristiques mécaniques (limite d'élasticité, résistance à la rupture, dureté teneur à la corrosion,.....)

-Le carbone (constituant essentiel) : une bonne part des caractéristiques mécaniques des aciers de construction dépend de cet élément.

### - **Caractéristiques Mécaniques de L'acier :**

Certaines caractéristiques mécaniques d'un acier telles que la résistance à la traction, limite d'élasticité, allongement de rupture, sont définies par l'essai de traction sur éprouvette qui permet d'établir le diagramme contrainte-déformation spécifique.

### 3. Le tréfilage

Le tréfilage est la réduction de la section d'un fil en métal par traction mécanique sur une machine à tréfiler. Les usines spécialisées dans le tréfilage sont appelées des tréfileries.

#### - Principe du tréfilage

Le fil machine, sous forme de bobine, est posé sur un dévidoir. Il est enroulé sur un ou des cabestans, qui, par frottement, exercent une traction sur le fil. Le fil passe dans une filière, en amont du cabestan, qui impose au fil une déformation par réduction de section. La filière est abondamment lubrifiée, pour assurer le maintien d'un bon état de surface du fil métallique et pour assurer le refroidissement et contrer l'échauffement provoqué par l'écrouissage du métal.

Le tréfilage s'applique à des métaux ayant :

- une résistance à la traction suffisante
- une bonne homogénéité de comportement et de structure

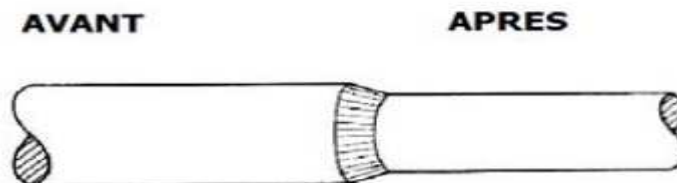


Figure N°18 : Fils métallique tréfilé

## **II. Les Rappels Statistiques :**

### 1. Le test de l'ANOVA 1 et ANOVA2

L'analyse de la variance 1, consiste à comparer à l'aide d'un test de Fischer la somme des carrés des écarts due uniquement à la régression (donc au modèle), avec la somme des carrés des



résidus. C'est à dire comparer la variance résiduelle ( $V_{res}$ ) ou non expliquée à la variance due à la régression ( $V_{reg}$ ).

Le test statistique se présente comme suit :

**$H_0 : V_{reg} \approx V_{res}$  (ce qui prouve que la régression n'est pas significative)**

**$H_A : V_{reg} > V_{res}$  (la régression est globalement significative)**

Le test de Fisher F permet alors de comparer pour un risque fixé à l'avance le  $F_{obs}$  ( $V_{reg} / V_{res}$ ) que l'on calcule avec un F (critique) lu dans la table de Fisher avec  $(p-1)$  et  $(n - p)$  degrés de liberté. La règle du test est alors pour un risque  $\alpha$  choisi:

- Si  $F_{obs}$  est inférieur au F (critique), on accepte l'hypothèse  $H_0$ .
- Si  $F_{obs}$  est supérieur au F (critique), on accepte l'hypothèse  $H_1$ .

L'analyse de la variance 2, consiste à comparer l'existence éventuelle d'un défaut d'ajustement. C'est à dire comparer la variance ou bien l'erreur du modèle ( $V_{LOF}$ ) à la variance due à l'erreur pure ( $V_{PE}$ ). Afin de pouvoir effectuer ce test, il faut qu'au moins une des expériences ait été dupliquée.

Le test statistique se présente comme suit :

- $H_0 : V_{LOF} \approx V_{PE}$  (Le modèle ne présente pas un défaut d'ajustement, il est prédictif)
- $H_A : V_{LOF} > V_{PE}$  (Le modèle présente pas un défaut d'ajustement, il n'est pas prédictif)

La règle du test est alors pour un risque  $\alpha$  choisi:

- Si  $F_{obs}$  est inférieur à F (critique), on accepte l'hypothèse  $H_0$ .
- Si  $F_{obs}$  est supérieur à F (critique), on accepte l'hypothèse  $H_1$ .

## 2. Les plans d'expériences

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles. Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries, à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt  $y$ , et des variables,  $x_i$ . Il faut penser aux plans d'expériences si l'on s'intéresse à une fonction du type :

$$y = f(x_i)$$

Avec les plans d'expériences on obtient le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences. Pour cela, il faut suivre des règles mathématiques et adopter une démarche rigoureuse. Il existe de nombreux plans d'expériences adaptés à tous les cas rencontrés par un

expérimentateur. Les principes fondamentaux de cette science seront indiqués et les principaux plans seront passés en revue.

La compréhension de la méthode des plans d'expériences s'appuie sur deux notions essentielles, celle d'**espace expérimental** et celle de **modélisation mathématique** des grandeurs étudiées.

#### a. Notion d'espace expérimental

Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la réponse, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables. Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot facteur. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté. La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelé niveau. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut comme le montre la figure 14.

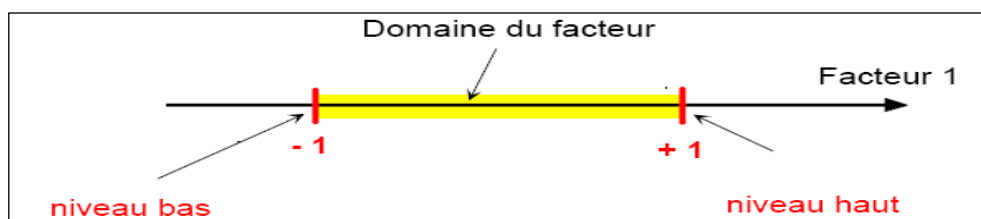


Figure N°19:  
Domaine du facteur

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le domaine du facteur. On a l'habitude de noter le niveau bas par  $-1$  et le niveau haut par  $+1$ .

S'il y a un second facteur, il est représenté, lui aussi, par un axe gradué et orienté. On définit, comme pour le premier facteur, son niveau haut, son niveau bas et son domaine de variation. Ce second axe est disposé orthogonalement au premier. On obtient ainsi un repère cartésien qui définit un espace euclidien à deux dimensions. Cet espace est appelé l'espace expérimental.

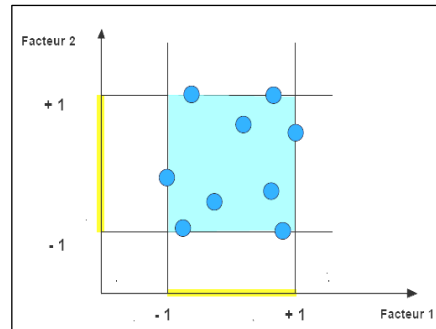
Le niveau  $X_1$  du facteur 1 et le niveau  $X_2$  du facteur 2 peuvent être considérés comme les coordonnées d'un point de l'espace expérimental. Une expérience donnée est alors représentée par un point dans ce système d'axes. Un plan d'expériences est représenté par un ensemble de points expérimentaux.

Le regroupement des domaines des facteurs définit le «domaine d'étude ou le domaine expérimental» (Figure 8). Ce domaine d'étude est la zone de l'espace expérimental choisie par

l'expérimentateur pour faire ses essais. Une étude, C'est-à-dire plusieurs expériences bien définies, est représentée par des points répartis dans le domaine d'étude.

Figure N°20: Domaine

**b. La  
mathématique**



d'étude ou domaine expérimental

**modélisation**

Elle consiste à chercher l'équation mathématique appelée « modèle » qui relie la réponse observée aux facteurs. Ce modèle a la propriété d'expliquer le phénomène observé et peut servir pour prédire même des essais qui ne sont pas réalisés.

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \cdots + \sum a_{ii} x_i^2 + a_{ij \dots z} x_i x_j \dots x_z$$

- ➡ Y est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée.
- ➡  $x_i$  représente le niveau attribué au facteur  $i$  par l'expérimentateur pour réaliser un essai. Cette valeur est parfaitement connue. On suppose même que ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression).
- ➡  $a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii}$  sont les coefficients du modèle mathématique adopté à priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

### c. Plans de criblage

Ces plans sont conçus pour déterminer les facteurs les plus importants affectant une variable de réponse. La plupart de ces plans utilisent des facteurs à deux niveaux uniquement.

### d. Notion de surface de réponse

Les niveaux  $x_i$  représentent les coordonnées d'un point expérimental et  $y$  est la valeur de la réponse en ce point. On définit un axe orthogonal à l'espace expérimental et on l'attribue à la

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE



réponse. La représentation géométrique du plan d'expériences et de la réponse nécessite un espace ayant une dimension de plus que l'espace expérimental. Un plan à deux facteurs utilise un espace à trois dimensions pour être représenté : une dimension pour la réponse, deux dimensions pour les facteurs.

A chaque point du domaine d'étude correspond une réponse. A l'ensemble de tous les points du domaine d'étude correspond un ensemble de réponses qui se localisent sur une surface appelée la surface de réponse (figure 9).

Le nombre et de l'emplacement des points d'expériences est le problème fondamental des plans d'expériences. On cherche à obtenir la meilleure précision possible sur la surface de réponse tout en limitant le nombre d'expériences.

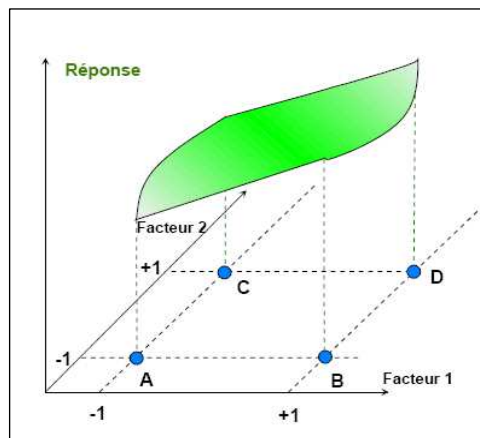


Figure N°21: la surface de

réponse

### méthodologique

### e. Démarche

La mise en œuvre d'un plan d'expérience pour étudier la surface de réponse d'un système expérimental et trouver un optimum peut se résumer selon la procédure suivante:

- 1- Définir le problème à étudier.
- 2- Sélectionner la réponse et les facteurs contrôlables.
- 3- Définir le domaine expérimental, en fixant les niveaux des facteurs sélectionnés..
- 4- Choisir un modèle.
- 5- Choisir un plan d'expérience tenant compte des conditions propres au problème à traiter.
- 6- Réaliser les essais.
- 7- Traiter les données par un logiciel adéquat.
- 8- Interpréter la validité du modèle postulé et la significativité des coefficients
- 9- Sélectionner les coefficients significatifs si le modèle est validé.
- 10- Prédire les niveaux des facteurs à l'optimum.



11- Faire un essai complémentaire en appliquant les valeurs optimales des facteurs pour valider les conclusions.

### **III. La maîtrise statistique des procédés :**

Deux objets ne sont jamais rigoureusement identiques. Quelles que soient les techniques utilisées pour fabriquer ces objets, si précis soient les outils, il existe une variabilité dans tout processus de production. L'objectif de tout industriel est que cette variabilité naturelle demeure dans des bornes acceptables. C'est une préoccupation majeure dans l'amélioration de la qualité industrielle. Un des outils utilisés pour tendre vers cette qualité est la Maîtrise Statistique des Processus (MSP).

Les entreprises évoluent, depuis quelques décennies maintenant, dans une atmosphère de compétitivité accrue. La Maîtrise Statistique des Procédés (MSP) répond à un passage d'une stratégie de contrôle à une stratégie de prévention.

Le contrôle statistique du processus permet de garantir par des outils statistiques que celui-ci est sous contrôle. Il permet ainsi de garantir à tout moment des conditions de travail satisfaisantes. Il est basé sur une connaissance et un suivi du processus.

#### **1. Les cartes de contrôles**

La carte de contrôle est l'un des outils de base pour la maîtrise statistique des procédés. C'est une représentation graphique qui est une suite d'images de la production. Elle est une suite d'images de la production. Elle permet de visualiser la variabilité du procédé en distinguant les causes de variabilité aléatoires (ou normales, au sens statistique du terme) des causes assignables. Son utilisation permet entre autre de dire si le procédé est sous contrôle (variabilité due uniquement à des causes aléatoires), et donc de prévoir sa performance, ou si le procédé est hors contrôle (présence de causes assignables).

La carte de contrôle est un graphique représentant des images successives de la production, prises à intervalles régulières à partir de pièces prélevées sur la production (échantillon) et sur lesquelles on réalise des calculs que le reporte sur le ou les graphiques de la carte.

⇒ **Cartes de contrôle d'étude initiale :**





- **Cartes ( $\bar{x}$ ,  $R$ )**

On adopte le point de vue probabiliste des variables aléatoires. Pour  $m$  échantillons prélevés, on note  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  les  $m$  variables aléatoires qui associent à chaque échantillon, la moyenne dans l'échantillon du caractère étudié. On définit alors la variable aléatoire, moyenne des moyennes des échantillons :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$$

$\bar{\bar{X}}$  : est un estimateur sans biais de la moyenne du caractère dans l'ensemble de la production (population).

Un estimateur plus inattendu, que n'avons pas encore utilisé est l'estimateur  $\hat{\sigma}$  de l'écart type du caractère dans la production. Cet estimateur utilise la variable aléatoire  $R$  définie par :

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$$

Où chaque variable aléatoire  $R_i$  associée à chaque échantillon, son étendue. On a alors :

$$\sigma^{\wedge} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Où  $d_2$  est coefficient dépendant de la taille  $n$  des échantillons.

- **Carte de contrôle de la moyenne : carte  $\bar{\bar{X}}$**

La carte de contrôle de la moyenne, ou carte  $\bar{\bar{X}}$ , est constituée d'une ligne centrale correspondant à la valeur  $LC = \bar{\bar{X}}$  ; et de deux lignes de contrôle correspondant respectivement aux limites supérieures (LSC) et inférieures de contrôle (LIC). Figurent aussi parfois deux lignes supplémentaires : les limites de surveillance.

Dans toute carte de contrôle de phase I, les limites de contrôle ont un écart à la moyenne  $\bar{\bar{x}}$ , pour les échantillons de taille  $n$  qui égal à :

Et on a donc :  $3 \cdot \frac{\bar{R}}{\sqrt{n}}$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad LSC = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad LIC = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

En posant :  $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$  on obtient :





$$LC = \bar{\bar{X}} \quad LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

Pour obtenir les valeurs de  $A_2$ , il suffit de se reporter à la table donnée en annexe.

Construction de la carte :

On prélève (effectivement)  $m$  échantillons de taille  $n$ , on a alors une réalisation des différentes variables aléatoires présentées ci-dessus.

On calcule, avec les règles indiquées. Les différentes valeurs prises par ces variables aléatoires. On trace sur la carte de contrôle la ligne centrale et les lignes de contrôle.

On porte sur la carte, pour  $i=1 \dots m$ . les points  $M_i$  de coordonnées  $(i, \bar{x}_i)$ , où  $\bar{x}_i$  désigne la moyenne du caractère étudié dans l'échantillon numéro  $i$ .

- **Carte de contrôle de l'étendue : Carte R**

On souhaite ici visualiser, mettre en évidence, les variations de l'étendue. La conception de la carte de Shewhart de l'étendu, pour la phrase I, utilise des coefficients :  $d_3$ , dépendant de la taille  $n$  des échantillons.

$$LC = \bar{R} \quad LSC = \bar{R} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} d_3 \quad LIC = \bar{R} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2} d_3$$

On pose :

$$D_3 = \sup\{1 - 3 \frac{d_3}{d_2}, 0\} \text{ et } D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

On obtient alors

$$LC = \bar{R} \quad LSC = D_4 \bar{R} \quad LIC = D_3 \bar{R}$$

- ✚ **Construction de la carte :**

On prélève  $m$  échantillons de la taille  $n$ . On a alors une réalisation des différentes variables aléatoires présentées ci-dessus.

On calcule, avec les règles indiquées, les différentes valeurs prises par ces variables aléatoires.

Il peut arriver que le calcul, à l'aide de  $d_2$  et  $d_3$ , de la limite inférieure de contrôle donne un résultat négatif. Dans ce cas, la limite de contrôle utilisée pour la carte est 0. Il est bien sur souhaitable que l'étendu soit aussi proche de la valeur 0 que possible, ce qui traduit une variabilité faible du caractère numérique étudié.

-On trace sur la carte de contrôle la ligne centrale et les lignes de contrôle.



-On porte sur la carte, pour  $i=1, \dots, m$ , les point  $M_i$  de coordonnées  $(i, r_i)$ , où  $r_i$  désigne l'étendu du caractère étudié dans l'échantillon numéro  $i$ .

**➤ Règle de décision :**

- Si tous les points  $M_i$  sont situés entre les lignes de contrôle, le processus est déclaré comme maîtrisé ;
- Si des points  $M_i$ , sont situés en dehors des limites de contrôle, le processus est déclaré non maîtrisé.

Type de Carte	$\mu$ et $\sigma$ inconnus (phase I)		$\mu_0$ et $\sigma_0$ connus (phase II)	
	Ligne centrale	Limites de contrôle	Ligne centrale	Limites de contrôle
Carte $\bar{X}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$	$\mu_0$	$\mu_0 \pm A \sigma_0$
Carte R	$\bar{R}$	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$	$d_2 \sigma_0$	$D_5 \sigma_0, D_6 \sigma_0$

Tableau N°3 : récapitulatif pour les Cartes de contrôle aux mesures



# *Partie3 : Etude expérimentale*

## **Introduction**

Vu l'importance de la résistance comme un paramètre de la bonne qualité des fils d'aciers tréfilés, et dans le cadre d'une amélioration et d'une optimisation du procédé, nous avons décidé d'exploiter un volet important de notre formation qui est les plans d'expériences, pour atteindre une qualité aussi bonne que possible.

L'étude a été faite à l'aide du logiciel NEMRODW, l'incontournable de la réalisation des plans d'expériences, système boîte noire qui a montré son efficacité en tant qu'outil informatique s'intégrant d'une façon révolutionnaire dans le domaine de la chimie analytique et procédurale,



assurant ainsi une bonne optimisation des méthodes et des procédés de fabrication des produits industrialisés.

## **I. Optimisation de la résistance des fils d'aciers tréfilés par les plans d'expériences.**

### **1. Objectif de l'étude**

Le but de cette étude est d'ajuster les facteurs agissant sur le procédé, de façon à chercher une optimisation de la réponse visée : la résistance des fils d'aciers tréfilés.

Pour répondre à cette problématique, nous avons utilisé la méthodologie des surfaces de réponse, qui sera précédée par une étude de criblage pour éliminer les facteurs qui n'ont pas d'influence sur cette réponse. Il est à signaler que les essais vont se faire à l'échelle industrielle.

### **2. Mise en place des paramètres d'étude**

#### **a. Mode opératoire**

Le fil d'acier comme c'est noté dans le schéma du procédé, il passe d'abord par un dévidoir où il y a 2 facteurs qui règlent ce passage qui sont la fente S et la pression du détecteur de Boucle, puis le fil passe à l'étape de lubrification où on lui ajoute un lubrifiant, après ce fil est traité dans le bloc de laminage à froid selon plusieurs paramètres comme la pression de tambour oscillant, la vitesse de régulation, puis le fil est enroulé sous forme de bobine.

La force de traction de la bobineuse est le facteur qui règle cette dernière étape.

#### **b. Choix des facteurs**

Après une réunion avec les responsables de production et de Qualité, nous avons décidés de travailler sur les fils d'aciers tréfilés de diamètre 5, et on a pu dégager six paramètres. Nous avons aussi fixé les différents domaines de variation de ces paramètres (Tableau 4), le tableau suivant montre les différents facteurs ainsi que leurs niveaux.



Tableau  
Facteurs  
leurs  
de

Facteurs	Nombre de niveaux	Niveaux
<b>X<sub>1</sub> : Pression du détecteur de boucle(PT) en (Bar)</b>	<b>2</b>	<b>0,5</b>
		<b>0,8</b>
<b>X<sub>2</sub> : la fente S en (mm)</b>	<b>2</b>	<b>7,2</b>
		<b>9,4</b>
<b>X<sub>3</sub> : Couche de lubrifiant (DCA) en (cm)</b>	<b>2</b>	<b>8,0</b>
		<b>9,0</b>
<b>X<sub>4</sub> : Pression de tambour oscillant (PT) en (Bar)</b>	<b>2</b>	<b>1,2</b>
		<b>1,4</b>
<b>X<sub>5</sub>: Régulation de La vitesse (m/s)</b>	<b>2</b>	<b>6,0</b>
		<b>8,0</b>
<b>X<sub>6</sub>: Force de traction de la bobineuse en (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>2</b>	<b>1500</b>
		<b>1850</b>

N°4 :  
fixés et  
domaines  
variation

### c. Choix des réponses

La réponse à optimiser c'est la Résistance de fils tréfilés qui doit être supérieur à 550 N/mm<sup>2</sup>.

### d. Mode de mesures des réponses

La réponse « Résistance » est calculé à l'aide d'un logiciel lié à un extensomètre où il faut soumettre une éprouvette à une déformation due à une force de traction, généralement jusqu'à rupture, pour déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques.

N.B : nous désignons par Rm la réponse Résistance dans la suite du rapport

## 3. Étude de criblage



### a. Stratégie

Dans le cas de six paramètres, il est nécessaire d'en faire une étude de criblage. Cette étude permettra de confirmer, sans ambiguïté, l'importance de l'influence de ces paramètres sur le réglage du procédé. Nous allons adopter le plan de Plackett-Burman. Ce plan exige huit essais pour six facteurs.

### b. Caractéristiques du problème

Le tableau 4 représente les caractéristiques du problème :

Tableau N°5 :  
problème

Objectif de l'étude	Étude de Criblage
Nombre de variables	6
Nombre d'expériences	8
Nombre de coefficients	7
Nombre de réponses	1

caractéristiques du

### c. Modèle postulé

$$Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4 + b_5 * X_5 + b_6 * X_6$$

C'est un modèle de premier degré sans interaction.

### d. Matrice d'expériences

Le tableau 6 présente la matrice d'expériences à réaliser

N°exp	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
1	1	1	-1	-1	1	1
2	-1	1	1	1	1	-1
3	-1	-1	1	-1	1	1
4	1	-1	1	1	-1	1
5	-1	1	-1	1	-1	1
6	1	-1	-1	1	1	-1
7	1	1	1	-1	-1	-1
8	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tableau N°6: Matrice d'expériences



### e. Plan d'expérimentation

Le tableau 7 illustre le passage des valeurs codées aux valeurs réelles, ainsi que la réponse mesurée.

N° D'expérience	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y Rm
1	0,8	9,4	8	1,2	8	1850	535
2	0,5	9,4	9	1,4	8	1500	549
3	0,5	7,2	9	1,2	8	1850	560
4	0,8	7,2	9	1,4	6	1850	573
5	0,5	9,4	8	1,4	6	1850	599
6	0,8	7,2	8	1,4	8	1500	573
7	0,8	9,4	9	1,2	6	1500	564
8	0,5	7,2	8	1,2	6	1500	597

Tableau N°7 : Plan d'expérimentation

### f. Analyse des résultats du plan de criblage

L'objectif de cette étude est de voir, parmi les paramètres étudiés, ceux qui ont une influence assignable sur la réponse. Nous procéderons à l'analyse des résultats de ce plan.

✚ **La réponse : « Résistance »**

### i. Analyse des effets des paramètres

Le plan choisi pour cette étude est un plan de Plackett et Burman, le modèle postulé à priori est un modèle linéaire de premier degré sans interaction. Le graphe des effets (figure 10) montre clairement que le facteur de la vitesse, ainsi que pression du tambour oscillant ont une influence significative sur la résistance.

L'étude graphique et le graphe de Pareto confirment cette conclusion.

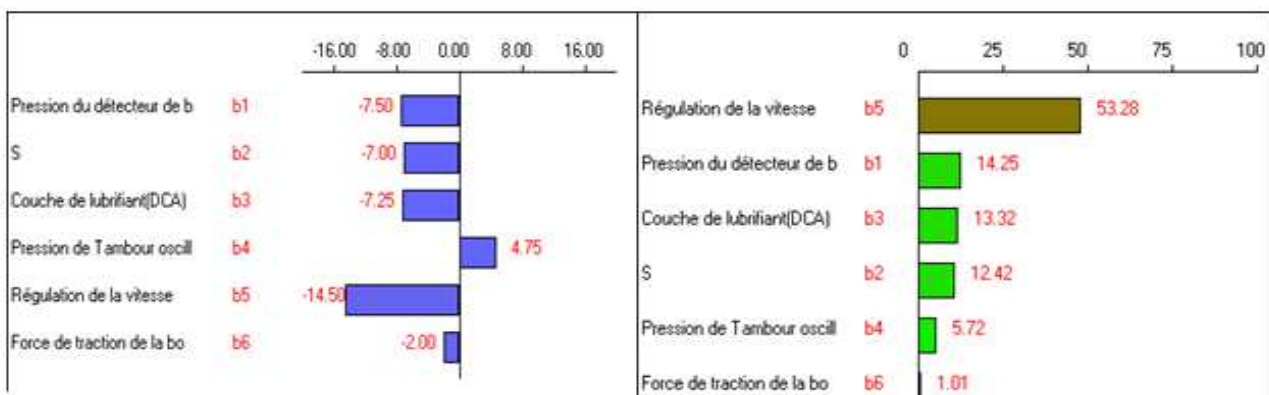




Figure N°22 : A gauche graphique des poids des effets, à droite graphique de PARETO

## ii. Conclusions et perspectives

Suite à l'analyse des résultats de ce plan de criblage nous constatons que :

- Le facteur de la vitesse a une influence significative sur la résistance
- Le facteur de la pression de détecteur de boucle a aussi une influence significative sur la résistance

Les autres paramètres n'ont pas d'influence notable

## 4. Plan d'optimisation

Pour la suite de ce travail, notre choix s'est porté sur un plan de surface de réponse comme plan d'optimisation.

### a. Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude est d'optimiser le procédé de traitement des fils d'aciers tréfilés. L'étude sera menée spécifiquement pour le diamètre 5.

### b. Paramètres

Nous avons retenu, par rapport à l'étude de criblage, certains paramètres fixes (jugés sans influence sur la réponse), d'autres variables avec un léger changement de réglage.

Le domaine d'opérabilité est regroupé dans le tableau ci-dessous :

Facteur •	Centre •	Pas de variation •
Regulation de la vitesse •	7 •	1 •
Pression de détecteur de boucle •	0.65 •	0.15 •
S •	7.2 •	Fixe •
Force de traction de la bobineuse •	1500 •	Fixe •
Pression du tambour oscillant •	1.2 •	fixe •
Couche de lubrifiant •	8,0 •	fixe •

Tableau N°8 : Facteurs fixés et leurs domaines de variation

### c. Réponse

Nous avons retenu la même réponse de l'étude de criblage des paramètres: <<la résistance>>

### d. Stratégie





Nous proposons pour cette étude un modèle de second degré. Notre choix s'est porté sur un plan composite centré. Ce plan nécessite 9 essais.

• **Caractéristiques du problème :**

Les caractéristiques du problème sont regroupées dans le tableau ci-dessous

Objectif de l'étude	Étude dans un domaine expérimental: Surface
Nombre de variables	3
Nombre d'expériences	11
Nombre de coefficients	6
Nombre de réponses	1

Tableau N°9 : caractéristiques du problème

**e. Modèle mathématique**

Le modèle mathématique postulé est un modèle avec interaction

$$Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_{11} * (X_1 * X_1) + b_{22} * (X_2 * X_2) + b_{12} * (X_1 * X_2)$$

**f. Matrice d'expériences**

La matrice d'expériences est représentée par le tableau suivant :

N°exp	X1	X2
1	-1.0000	-1.0000
2	1.0000	-1.0000
3	-1.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000
5	-1.4142	0.0000
6	1.4142	0.0000
7	0.0000	-1.4142
8	0.0000	1.4142
9	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000



11	•	0.0000	•	0.0000	•
----	---	--------	---	--------	---

Tableau N°10: Matrice d'expériences

### **g. Plan d'expérimentation**

Le tableau suivant donne le plan des expériences réalisé :

N°D'expérience	La vitesse (m/s)	Pression de détecteur de boucle (bar)	Résistance (N/mm <sup>2</sup> )
1	6.0000	0.5000	717
2	8.0000	0.5000	562
3	6.0000	0.8000	600
4	8.0000	0.8000	619
5	5.5858	0.6500	686
6	8.4142	0.6500	727
7	7.0000	0.4379	553
8	7.0000	0.8621	648
9	7.0000	0.6500	558
10	7.0000	0.6500	551
11	7.0000	0.6500	713

Tableau N°11: Plan d'expérimentations

## **5. Interprétation des résultats**

### **a. Analyse de la variance :**

Le tableau suivant montre les résultats de l'analyse de la variance de la réponse :

Source de variation	•	Somme des carrés	•	Degrés de liberté	•	Carré moyen	•	Rapp ort	•	Signif	•
<b>Régressi on</b>	•	2.24446 <sup>E+</sup> 0004	•	5	•	4.48893 <sup>E+</sup> 03	•	0.805 0	•	59.2	•
<b>Résidus</b>	•	2.78799 <sup>E+</sup> 0004	•	5	•	5.57598 <sup>E+</sup> 03	•	•	•	•	•
<b>Validité</b>	•	1.11072 <sup>E+</sup> 0004	•	3	•	3.70241 <sup>E+</sup> 03	•	0.441 5	•	74.8	•
<b>Erreur</b>	•	1.67727 <sup>E+</sup>	•	2	•	8.38633 <sup>E+</sup>	•	•	•	•	•



	0004		03				
<b>Total</b>	•	5.03245 <sup>E+</sup>	•	10	•	•	•
	0004						

Tableau N° 12: analyse de la variance de la réponse

⇒ L'ANNOVA 1 montre que la régression n'explique pas bien le phénomène étudié puisque la signification du risque est supérieure à 5%, et puisque :

**H0 :  $V_{reg} \approx V_{res}$  → la régression est globalement n'est pas significative**

L'ANNOVA 2 montre que le modèle fait moins d'erreurs que l'expérimentation, puisque la signification du risque est supérieure à 5%. Il est donc prédictif, et puisque :

**H0 :  $V_{Lof} \approx V_{pe}$  → Le modèle ne présente pas un défaut d'ajustement, il est prédictif**

**b. Estimations et statistiques des coefficients :**

✓ **Statistiques classiques**

Le tableau suivant représente l'écart type sur la réponse et les deux coefficients de corrélation.

Tableau N° 13 :  
corrélation et écart

<b>Écart Type de la</b>	•	<b>74.672</b>	•
<b>réponse</b>			
<b>R2</b>	•	<b>0.446</b>	•
<b>R2A</b>	•	<b>N.D</b>	•

coefficients de  
type de la réponse

✓ **Effets des facteurs**

Les coefficients du modèle pour la réponse sont regroupés dans le tableau suivant :

Nom	Coefficient	Signif. %
<b>b0</b>	<b>607.334</b>	<b>0.0135 ***</b>
<b>b1</b>	<b>-9.752</b>	<b>72.5</b>
<b>b2</b>	<b>9.924</b>	<b>73.6</b>
<b>b11</b>	<b>42.334</b>	<b>23.5</b>
<b>b22</b>	<b>-10.667</b>	<b>74.5</b>
<b>b12</b>	<b>43.500</b>	<b>29.7</b>

Tableau N°14 : Tableau des effets du modèle de la réponse

-Aucun coefficient n'est significatif à part le terme  $b_0$ .

➤ Ceci est expliqué par la présence de valeurs aberrantes. Les deux expériences 4 et 11 semblent être la source du problème.

- Les deux points ont été éliminés en se référant à l'analyse graphique des résidus et la droite D'Henry.
- Pour les résidus représentés sur la figure suivante les deux valeurs aberrantes sont les deux points rouges entourées :

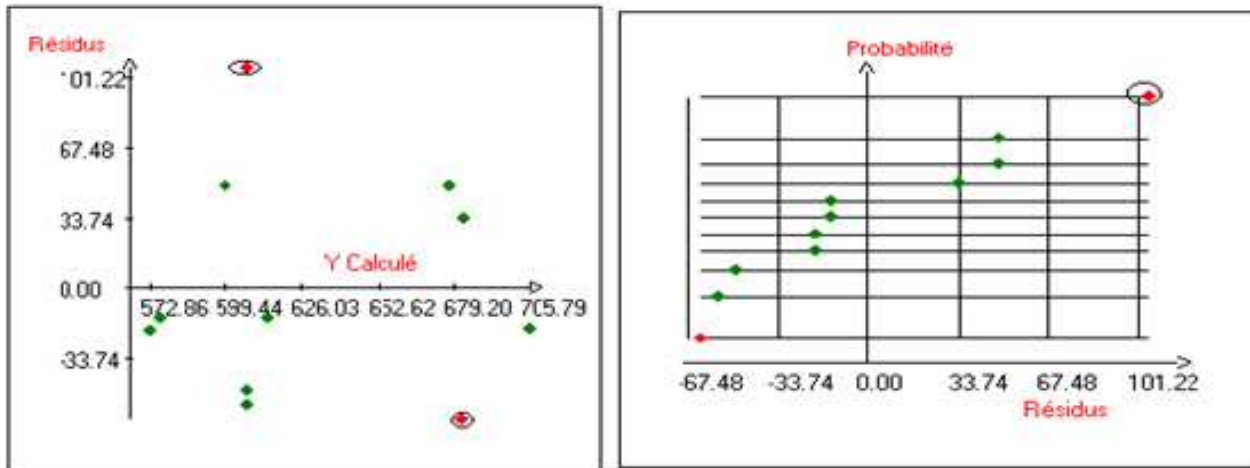


Figure N°23 : A droite le graphe des résidus et à gauche la droite d'HENRY pour les Résidus

**c. Interprétation des résultats après élimination des points aberrants :**

**i. Analyse de la variance de la réponse (Rm) :**

Le tableau suivant montre les résultats de l'analyse de la variance de la réponse après l'élimination des deux points 4 et 11.



Tableau N°15: analyse de la variance de la réponse

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	4.22686 <sup>E+</sup> 0004	5	8.45373 <sup>E+</sup> 0003	47.5302	0.0460**
Résidus	5.33580 <sup>E+</sup> 0002	3	1.77860 <sup>E+</sup> 0002		
Validité	5.09080 <sup>E+</sup> 0002	2	2.54540 <sup>E+</sup> 0002	1.0387	22.2
Erreur	2.45000 <sup>E+</sup> 0002	1	2.45000 <sup>E+</sup> 0002		
Total	4.28022 <sup>E+</sup> 0004	8			

D'après le tableau de l'analyse de la variance ; nous pouvons conclure que :

⇒ L'ANNOVA 1 montre que la régression explique bien le phénomène étudié puisque la signification du risque est inférieure à 5%, et puisque :

**Ha :  $V_{reg} > V_{res}$  → la régression est globalement significative**

⇒ L'ANNOVA 2 montre que le modèle fait moins d'erreurs que l'expérimentation, puisque la signification du risque est supérieure à 5%. Il est donc prédictif.

**H0 :  $V_{LOF} \approx V_{PE}$  → Le modèle ne présente pas un défaut d'ajustement, il est prédictif**

## ii. Estimations et statistiques des coefficients :

### ✓ Statistiques classiques

Le tableau suivant représente l'écart type sur la réponse et les deux coefficients de corrélation :

Écart Type de la réponse	13.336
R2	0.988
R2A	0.967

Tableau N°16 : coefficients de corrélation et écart type de la réponse

### ✓ Effets des facteurs

Les coefficients du modèle pour la réponse sont regroupés dans le tableau suivant :



Tableau N°17: Tableau des  
réponse

Il y a une  
remarquable au  
coefficients.

Nom	Coefficient	Signif. %
<b>b0</b>	554.500	<0.01***
<b>b1</b>	11.262	13.0
<b>b2</b>	30.308	0.993**
<b>b11</b>	79.258	0.0738***
<b>b22</b>	26.257	2.44*
<b>b12</b>	85.529	0.152**

effets du modèle de la

amélioration  
niveau des

Les graphes des résidus et la droite d'Henry confirment la validité du modèle pour la réponse étudiée.

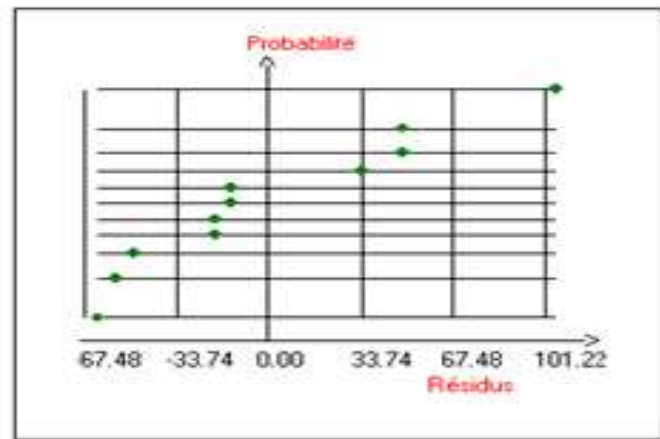
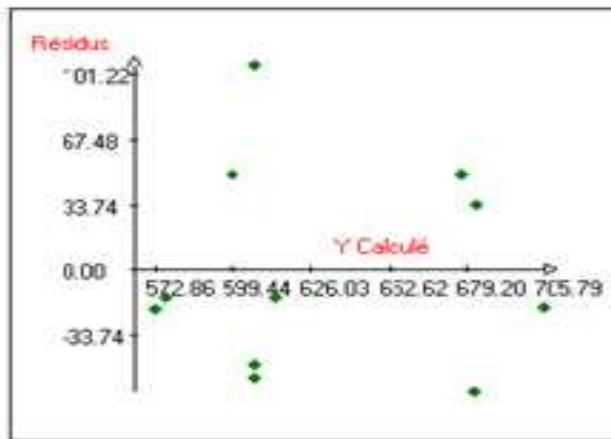


Figure N°24: A gauche : graphe des résidus et à droite : droite d'Henry pour la réponse

#### ✓ Modèle mathématique

Puisque la majorité des facteurs sont significatifs nous allons les retenir tous dans le modèle postulé.

Le modèle est le suivant :

$$Y = 554.5 + 11.262 * X_1 + 30.308 * X_2 + 79.258 * (X_1 * X_1) + 26.257 * (X_2 * X_2) + 85.529 * (X_1 * X_2).$$

#### d. Vérification du modèle par des points tests

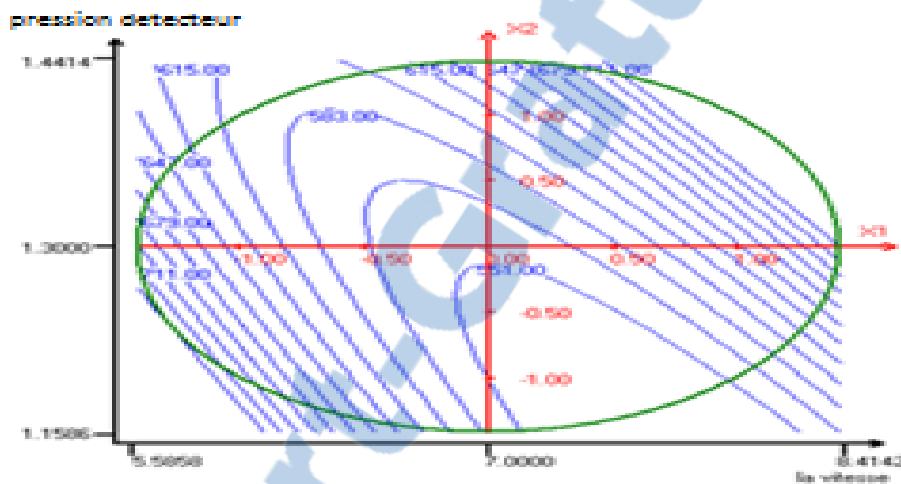
Le modèle postulé a priori est validé statistiquement. Pour le vérifier expérimentalement afin de l'exploiter pour une éventuelle prédiction, nous allons tester ce modèle via des points tests, à ce sujet nous avons effectué plusieurs essais.



Le tableau suivant donne le résultat expérimental et le résultat théorique donné par le modèle.

Coordonnées du point expérimental		Réponse : Résistance	
X1	X2	Y Prédite	Y Exp
8.23	1.36	$795.13 \pm 16.41$	781

Tableau N°18 : présente la valeur expérimentale et celle prédite pour le point test



Figure

N°25 : la figure montre la surface de réponse trouvée

- Les résultats mentionnés sur le tableau montre sans ambiguïté qu'il n'y a pas de différence significative entre la réponse expérimentale et celle prédite.

### Conclusion de l'étude d'optimisation

Le modèle ainsi postulé a été validé statistiquement et expérimentalement ce qui lui confère la qualité descriptive du phénomène étudié. La comparaison du résultat expérimental à celui prédit le rend prédictif. Donc, nous recommandons l'utilisation de ce modèle en toute confiance pour prédire la réponse en tout point du domaine expérimental.





## Conclusion générale de l'étude

L'étude ainsi réalisée a permis dans un premier temps au moyen d'un plan de criblage, de définir les facteurs influents sur le procédé. Et dans un deuxième temps de Modéliser la réponse ciblée en fonction des paramètres déterminés précédemment. Ainsi nous avons mis au point dans le cadre de ce travail un réglage optimum des paramètres du procédé utilisé par la société Rivera Métal.

## II. Mise en place de la carte de contrôle :

### Introduction :

La Maîtrise Statistique des Processus a pour but de mettre en place des outils statistiques de surveillance des processus de fabrication. L'outil de base de la MSP que nous étudierons est la carte de contrôle

Alors La carte de contrôle est un outil permettant de déterminer le moment où apparaît la cause assignable entraînant le dérivé.

Les cartes de contrôle les plus utilisées sont les cartes de contrôle par mesure de la moyenne et de l'étendue. Ces cartes sont établies ensemble et interprétées ensemble.

Et dans notre étude on va s'en servir afin de voir si l'optimisation qu'on a effectuée est bien maîtrisée.

### 1. Calcul de la carte de contrôle :

Après avoir réalisé la phase d'optimisation des paramètres influents sur la résistance des fils d'aciers tréfilés, on doit maintenant vérifier le travail qu'on a fait et s'il est maintenu à long terme c'est pour cela on a élaboré des carters de contrôle et on a fait le suivi pendant 20 jours.

**Pour les cartes des moyennes :**

$$LC = \bar{X} \quad LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

**Pour les cartes des étendues :**

$$LC = \bar{R} \quad LSC = D_4 \bar{R} \quad LIC = D_3 \bar{R}$$

Avec :  $\bar{X}$  = moyenne des K valeurs X

Et :  $\bar{R}$  = moyenne des K valeurs R ( $R = X_{\max} - X_{\min}$ )

Et :  $A_3 = 0.068$  ;  $D_4 = 0.49$  ;  $D_0 = 0.51$

**Résultats :**

**Les Résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :**

Echantillon		Résistance			Moyenne	Etendu (R)
-------------	--	------------	--	--	---------	------------



N°	(N/mm <sup>2</sup> )				$\bar{X}$	
	X1	X2	X3	X4		
1	652	649	649	649	649,75	3
2	649	647	652	653	650,25	6
3	653	647	646	647	648,25	7
4	647	653	653	648	650,25	6
5	649	653	647	652	650,25	6
6	646	653	650	653	650,50	7
7	653	647	654	651	651,25	7
8	655	655	648	652	652,50	7
9	654	648	655	646	650,75	9
10	649	646	653	655	650,75	9
11	654	649	652	651	651,50	5
12	649	650	646	649	648,50	4
13	653	647	647	650	649,25	6
14	652	649	651	647	649,75	5
15	649	652	655	652	652,00	6
16	648	646	648	649	647,75	3
17	650	647	649	652	649,50	5
18	647	647	652	651	649,25	5
19	654	649	652	647	650,50	7
20	650	652	650	650	650,50	2

Tableau N°19 : les valeurs obtenues

a. Carte moyenne-étendue (X, R) :

i. La carte X :

Tous les cartes qu'on va traiter après sont obtenues à l'aide du logiciel STATGRAPHICS

Plus, et on a trouvé les valeurs suivantes :

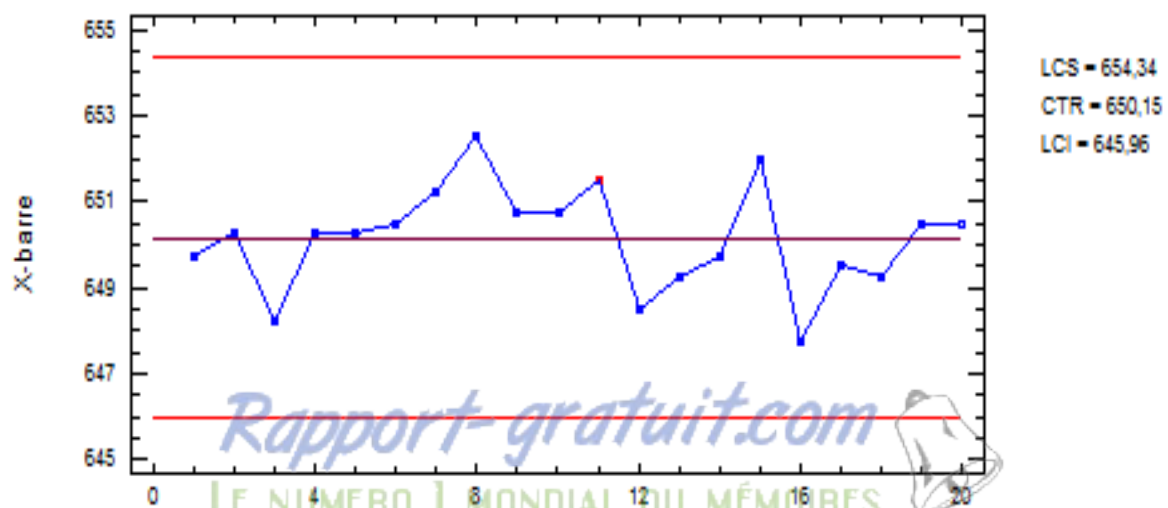




Figure N°26 : Carte de contrôle de la moyenne de la Résistance

Période	≠1-20
LCS+3 écart(s)-type(s)	654,339
Ligne centrale	650,15
LCI-3écart(s)-type(s)	645,961

Tableau N°20 : des résultats présentant les valeurs de LSC et LCI

ii. La carte R :

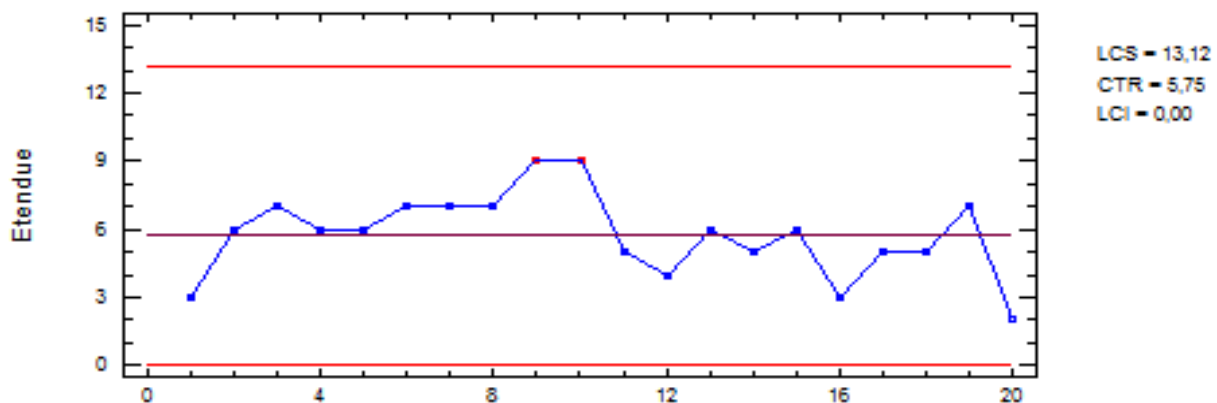


Figure N° 27 : Carte de contrôle de l'étendue de la Résistance

Période	≠1-20
LCS+3 écart(s)-type(s)	13,1175
Ligne centrale	5,75
LCI-3écart(s)-type(s)	0.0

T  
a  
b  
l  
e  
a  
u

N°21 : des résultats présentant les valeurs de LSC et LCI

### b. Interprétation

Pour les deux cartes de contrôle il n'y a aucun point à l'extérieur des limites de contrôle, par conséquent le procédé est considéré sous contrôle.



### Conclusion d'étude :

L'étude statistique par les cartes de contrôle que nous avons réalisée dans cette partie est une preuve que la société Rivera Métal s'engage dans l'amélioration de la stabilité de ses processus. Les cartes de contrôle qu'on a traitées montrent que le processus de fabrication est sous contrôle (maîtrisé) ; et que le travail effectué au niveau de l'optimisation a donné des bons résultats au niveau de la qualité du produit fini.

## Conclusion générale

*Ce projet de fin d'étude, effectué à la société Rivera Métal, est caractérisé par l'application d'un ensemble d'outils statistiques & qualité, en particulier les plans d'expériences et les cartes de contrôles qui prouvent, d'ailleurs, leur perfectionnement.*

*Ce travail constitue une contribution à l'optimisation des paramètres qui influent sur la résistance des fils d'acier tréfilés. En effet, après avoir effectué un criblage des facteurs, on a constaté qu'on a deux facteurs majeurs, à savoir, la*



*régulation de la vitesse et la Pression de détecteur de boucle. Ce qui nous a permis de faire une optimisation à l'aide du plan composite centré, et de donner les modèles mathématiques qui expliquent le phénomène étudié.*

*En fin, on a pu vérifier l'optimisation grâce aux cartes de contrôle.*

## Annexe 1



### Préparation de l'échantillon

Veillez que les échantillons (éprouvettes) prélevées des bobines sont bien dressés avant tout essai par une opération de pliage avec une déformation plastique minimale.



### Essai de Traction :



#### Principe :

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à une déformation due à une force de traction, généralement jusqu'à rupture, pour déterminer une ou plusieurs des caractéristiques mécaniques. L'essai est effectué à des températures comprises entre 10°C et 35°C.

#### ➤ Domaine d'application :

Eprouvettes cylindriques du fer à béton laminés à froid.

#### ➤ Le but :

Déterminer les valeurs de:

- la limite supérieure d'écoulement  $R_{eH}$
- la résistance à la traction  $R_m$  (N/mm<sup>2</sup>)
- le Rapport  $R_m/R_{eH}$
- Allongement total sous charge maximale  $A_{gt}\%$

#### ➤ Matériels utilisés :

- Machine d'essai de traction 150 kN.



Figure°28 : Machin d'essai de traction 150 kN

- Un Ordinateur de mesure connecté à la machine d'essai avec logiciel (Test Xpert 1).

- Un logiciel (Test Xpert 1) permettant de piloter les essais et de sauvegarder les mesures



-Une Balance.

-Un Pied à coulisse, un régle pour mesurer les dimensions des éprouvettes.

### Essai la de la masse linéique

Son but est la détermination de l'écart de la masse linéique de l'éprouvette par rapport à la masse linéique nominal.

- Principe: Mesurer en gramme d'une éprouvette qui mesure environ 400 mm de longueur.
- Domaine d'application : éprouvette cylindrique de fer à béton laminées à froid au à chaud
- Equipement : Balance-Régle (500mm)
- Exécution de l'essai :

Et on calcule la masse linéique de l'éprouvette à l'aide de la formule suivante :

$$ML = \frac{\text{Masse de l'éprouvette (g)}}{\text{Longueur de l'éprouvette (mm)}}$$



Figure N°29 : La balance



### Essai de non fragilité :

L'absence de fragilité au façonnage est de la façon suivante:

L'éprouvette est d'abord pliée suivant un angle de 90° puis, après maintien pendant une demi-heure dans l'eau bouillante (100°C) et refroidissement à l'air, elle est dépliée d'un angle de 30° (voir figure30)



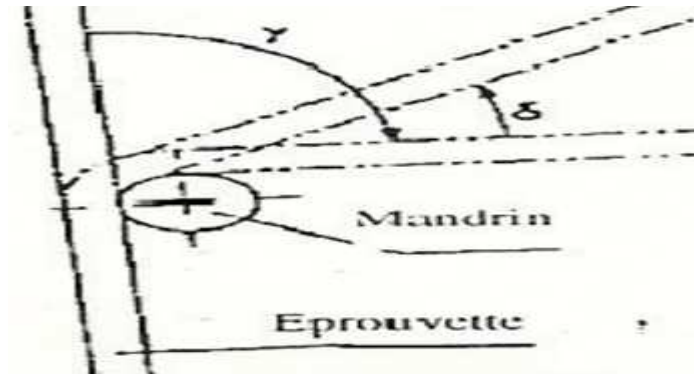


Figure N°30 :  
l'essai de non

Schéma descriptif de  
fragilité



Figure  
de pliage

N°31 : Dispositif  
dépliage



### Mode opératoire Caractéristiques de Forme :

But: Déterminer les caractéristiques de forme

Hauteur  $a$  (mm) et espacement des verrous  $c$  (mm)

L'angle d'inclinaison des verrous  $\beta(^{\circ})$

Domaine d'application : Eprouvettes cylindriques.

Equipements :

Comparateur

Réglet (0-500m)

Mesurage de la hauteur des verrous :

Sauf pour les cas de réglage et de corrections, les mesures sont faites sur les échantillons destinés à l'essai de traction

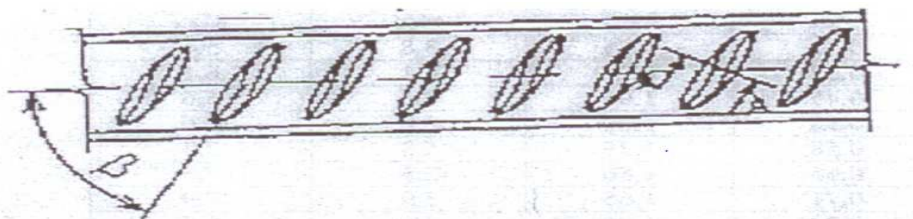
Choisir deux verrous

A l'aide du comparateur mesurer la hauteur des verrous sur l'endroit où la hauteur est maximale pour deux verrous consécutifs

Répéter l'opération en trois endroits du même chant et calculer la moyenne



- Répéter l'opération pour les chants restants
- Enregistrer la valeur moyenne de chaque chant.
- Mesurage des écartements des verrous :
  - Choisir un échantillon d'environ 50cm.
  - La longueur de l'échantillon peut être réduite sans que la longueur finale ne soit pas inférieure à la longueur correspondante à 10 intervalles entre verrous
- Mesurer la distance entre les centres des verrous extrêmes d'un même chant
- L'espacement mesuré sur le chant est égal à la valeur de la distance trouvée divisée par le nombre d'intervalles entre verrous sur ce même chant.
- Répéter l'opération sur les chants restants et calculer la moyenne des valeurs trouvées sur chaque chant
- Enregistrer la valeur moyenne de chaque chant dans la fiche d'essais
- Mesurage de l'inclinaison des verrous
- L'angle d'inclinaison ( $\beta$ )
  - L'angle des verrous ou des empreintes ( $\beta$ ) par rapport à l'axe de la barre est déterminé comme suit :
    - Prendre une empreinte de l'éprouvette sur un papier
    - Tracer une droite ( $\Delta$ ) le long du verrou passant par son milieu
    - Tracer l'axe de la barre
    - Mesurer l'angle ( $\beta$ ) formé entre l'axe de la barre et la droite ( $\Delta$ )
  - L'angle d'inclinaison( $\beta$ ) doit se situer dans un intervalle de  $35^\circ$  à  $75^\circ$
- Enregistrer la valeur dans la fiche d'essai



Figure

N° 32 : Angle ( $\beta$ )

d'inclinaison des verrous

- L'angle d'inclinaison( $\alpha$ )
- L'inclinaison des verrous ( $\alpha$ ) est déterminée comme suit :
  - Découper une éprouvette appropriée et faire une coupe A-A
  - Polir soigneusement la surface découpée
  - Prendre une empreinte de la surface polie sur un papier
  - Tracer une droite( $\Delta$ ) tangente au verrou
  - Tracer une droite (D) passant par le milieu de la coupe et parallèle au sommet du verrou
  - Mesurer l'angle ( $\alpha$ ) formé entre la droite (D) et la droite ( $\Delta$ )
  - L'angle ( $\alpha$ ) d'inclinaison de verrous doit être d'au moins  $45^\circ$

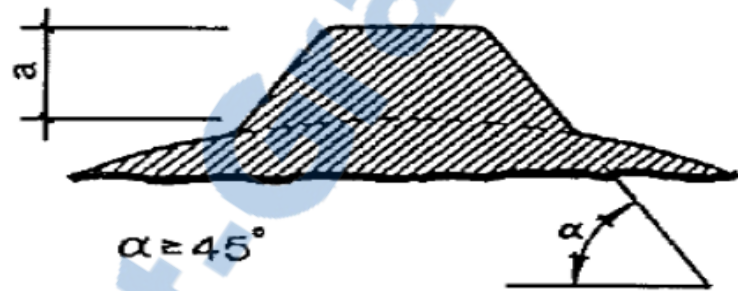


Figure N°33 : Angle ( $\alpha$ ) d'inclinaison des flancs de verrous (coupe A-A)



## Annexe 2

Voir table "Réglage de pression du détecteur de boucle".

$d_0$ [mm]	$p_T$ [bar]	S [mm]
5,00	~ 0,5 - 0,8	~ 7,2 - 9,4
6,00	~ 0,6 - 1,0	~ 7,8 - 10,2
6,50	~ 0,7 - 1,1	~ 8,5 - 11,1
7,00	~ 0,9 - 1,3	~ 9,1 - 11,9
7,50	~ 1,0 - 1,5	~ 9,8 - 12,8
8,00	~ 1,2 - 1,7	~ 10,4 - 13,6
8,50	~ 1,4 - 2,0	~ 11,1 - 14,5

Tableau N° 22 : les différentes valeurs correspondants a chaque diamètres des paramètres S et  $p_T$

**S** : fente entre réglette du détecteur de boucle et le galet de renvoi.

**$p_T$**  : pression à ajuster.

**$d_0$**  : diamètre initial de fil.



## Annexe 3

Tableau N°23 : coefficients des cartes de Shewhart

$n$	$d_2$	$d_3$	$c_4$	$A$	$A_2$	$A_3$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$
2	1,128	0,853	0,7979	2,121	1,880	2,659	0	3,267	0	2,606	0	3,267	0	3,686
3	1,693	0,888	0,8862	1,732	1,023	1,954	0	2,568	0	2,276	0	2,574	0	4,358
4	2,059	0,880	0,9213	1,500	0,729	1,628	0	2,266	0	2,088	0	2,282	0	4,698
5	2,326	0,864	0,9400	1,342	0,577	1,427	0	2,089	0	1,964	0	2,114	0	4,918
6	2,534	0,848	0,9515	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0	2,004	0	5,078
7	2,704	0,833	0,9594	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,804	0,076	1,924	0,205	5,203
8	2,847	0,820	0,9650	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,178	1,752	0,136	1,864	0,387	5,307
9	2,970	0,808	0,9693	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,184	1,816	0,546	5,394
10	3,078	0,797	0,9727	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,277	1,669	0,223	1,777	0,687	5,469
11	3,173	0,787	0,9754	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,314	1,637	0,256	1,744	0,812	5,534
12	3,258	0,778	0,9776	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,609	0,283	1,717	0,924	5,592
13	3,336	0,770	0,9794	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	0,307	1,693	1,026	5,646
14	3,407	0,762	0,9810	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	0,328	1,672	1,121	5,693
15	3,472	0,755	0,9823	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,420	1,544	0,347	1,653	1,207	5,937
20	3,735	0,729	0,9869	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,503	1,471	0,415	1,585	1,548	5,922

Rapport-gratuit.com



LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE

Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☐ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0) 35 60 29 53 Fax : 212 (0) 35 60 82 14



## Bibliographie

### Mémoire de PFE:

Rapport : FADIL Mouhcine « **Optimisation du traitement des graines de caroube par les plans d'expériences Vérification statistique du mode d'échantillonnage à l'entreprise et de l'homogénéité du produit fini Analyse statistique du procédé de Fabrication de la farine de caroube** » ; Master Sciences et Techniques CAC Agiq Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion industrielle de la qualité (2008).

- ✓ Les Plans D'Expériences ; Techniques D'Ingénieurs « Jacques GOUPY »
- ✓ Contribution à la Maîtrise Statistique des Procédés Cas des procédés non normaux: « Emmanuel DUCLOS » pour obtenir le DIPLOME DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE SAVOIE.
- ✓ Cartes de contrôle aux mesures, IUT de Créteil « T. Cuesta », DUT Génie Biologique (2007/2008)
- ✓ La science et les bâtiments, Direction Départementale d l'équipement de la Guadeloupe «Mme Patricia Balandier»
- ✓ Morphologie des Grains d'un fil d'acier doux tréfile a froid a l'entreprise tréfiles D'EL-EULMA ; Z.BOUMERZOUG, N. LEHRAKI, M.ZIDANI ; Université Mohamed Khider-Algérie, 2005.



- 
- ✓ Le tréfilage «TRUONG Pascal» TSI CPI 2010

*Webographie:*

- ✓ <http://riverametal.com/>
- ✓ <http://fr.wikipedia.org/>