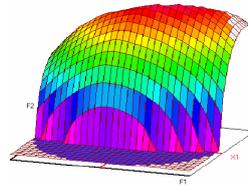




Année Universitaire : 2009-2010



**Master Sciences et Techniques CAC Agiq**  
**Chimométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion industrielle  
de la qualité**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Etude de variation des résistances au cours du processus  
de fabrication des câbles électriques**

**Présenté par:**

**El Fellah El Houssain**

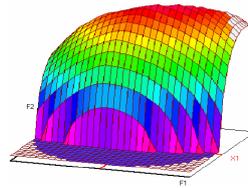
**Encadré par:**

- M<sup>r</sup>. El Hadir Youssef Coficab Maroc
- M<sup>r</sup>. Abdelhadi Lhasanni FST Fès

**Soutenu Le 22 Juin 2010 devant le jury composé de:**

- M<sup>r</sup> A. LHASANNI Professeur, FSTF
- M<sup>r</sup>. F. Khalil Professeur, FSTF
- M<sup>r</sup>. Y. KANDRI Professeur, FSTF
- M<sup>r</sup>. M. ELHADRAMI Professeur, FSTF

**Stage effectué à : COFICAB Maroc**



## Master ST CAC Agiq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: EL Fella EL Houssain

Année Universitaire : 2009/2010

**Titre: Etude de variation des résistances au cours du processus de fabrication des câbles électriques.**

### Résumé

Ce travail concerne l'étude des perturbations de la résistance au niveau de la production, le calcul de la capacité a été réalisé pour vérifier si notre processus est capable ou non de maîtriser la résistance des câbles. Pour mieux identifier et suivre les paramètres influençant la résistance des câbles électriques étudiés, nous avons appliqué les méthodes statistiques comme le plan d'expériences, ANOVA, test d'hypothèse les résultats de cette étude montrent que les paramètres qualitatifs n'ont pas d'effet important par contre il y a des plusieurs facteurs quantitatifs (tension de recuit, pression pantin, force d'enroulement) présentent une influence sur la résistance de câble avec un effet variable en fonction de la section des câbles.

**Mots clés: Capabilité du procédé (Cp), Plan d'expériences, ANOVA, Comparaison de deux moyennes**



## *Remerciements*

Au terme de ce travail, j'exprime ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à sa réussite, qui m'ont aidé à surmonter toutes les difficultés rencontrées pendant la période de mon stage.

Ainsi je tiens à remercier particulièrement :

Monsieur le directeur **Ali EL NEIFER** de m'avoir offert l'opportunité de stage au sein de COFICAB Maroc.

**M<sup>f</sup>. Abdellahadi LHASANNI**, mon encadrant pédagogique, à la FST de Fès, pour son dévouement à mon projet et son aide précieuse lors de la rédaction de ce mémoire.

**M<sup>f</sup>. Y. ELHADIR**, mon encadrant professionnel au sein de la Coficab Maroc, pour l'honneur qu'il m'a fait en m'accueillant et m'encadrant malgré les nombreuses préoccupations et responsabilités qu'il assume.

**M<sup>f</sup> F. KHALIL** et **M<sup>R</sup> Y. KANDRI** pour avoir accepté de faire partie de mon jury.

**Monsieur M. ELHADRAMI** responsable du Master chimie et analyses chimiques.

Tout le personnel de Coficab Maroc qui n'a ménagé aucun effort pour le bon déroulement de mon travail.

Enfin, que le corps professoral du Département de Chimie de la FST-Fès trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance pour sa contribution à ma formation.



# SOMMAIRE

Introduction.....	4
Partie I : Presentation de la société Coficab.....	5
I Coficab dans le monde.....	6
1 Clients indirectes.....	7
2 Clients directs.....	8
II Processus de production.....	9
1- Metal.....	10
1-1 Trefilage.....	10
1-2 tordonnage.....	13
2-Extrusion.....	15
2-1 les organes de la ligne de l'extrusion.....	16
2-2 Les paramètres à l'entrée de la ligne d'extrusion.....	18
2-3 Les paramètres à l'entrée de la ligne d'extrusion .....	18
Partie II: Etudes statistiques des paramètres Influençant sur la résistances des câbles .....	19
I- Introduction .....	20
II- Etudes et analyses.....	23
1- Trefilage.....	23
1-1 Facteurs qualitatifs.....	23
a) Operateur.....	23
b) Machine.....	26
1-2 Facteurs quantitatifs.....	27
a) Plan d'expériences.....	27
b) Application.....	27
c) Conclusion.....	34



---

2- Tordonnage.....	35
2-1 Facteurs qualitatifs.....	35
a) Operateur.....	37
2-2 Facteurs quantitatifs.....	37
a) Plan d'expériences.....	37
b) Conclusion.....	42
3-Extrusion.....	42
a) Comparaison des deux moyennes.....	42
b) Conclusion.....	47
CONCLUSION GENERALE.....	48
ANNEXE..... ;	49
ABREVIATIONS.....	50
 BIBLIOGRAPHIE.....	 51



# Introduction

Coficab est une entreprise de câblage qui est certifiée de ISO 9001 de qualité et ISO 14001 d'environnement. Ses produits sont connus par leur qualité, mais elle reçoit encore quelques critiques de la part de ces clients si le cahier de charge de la résistance n'est pas respecté. Alors dans mon stage je me suis intéressé au problème de la résistance pour savoir pourquoi il dépasse ces limites et quels sont les paramètres qui influencent sur ses performances et comment les maîtriser.

Dans ce travail nous allons utiliser les méthodes statistiques (ANOVA, test d'hypothèse, plan d'expériences) pour essayer de comprendre les causes de la perturbation de résistance.

Le processus de fabrication se divise en trois parties (tréfilage, tordonnage et extrusion), notre stratégie va se baser sur la détermination pour chaque étape des paramètres qui ont un effet important sur la résistance.



# PARTIE I

## PRESENTATION DE LA SOCIETE COFICAB



## *I Coficab dans le monde*

Le Groupe Elloumi disposait déjà d'une longue expérience dans l'industrie des câbles d'énergie, de télécommunication et spéciaux depuis 1963 avec sa filiale CHAKIRA Câble.

Pour accompagner l'important développement du secteur des faisceaux de câble automobile en Tunisie, le Groupe Elloumi crée en 1992 sa 1ère usine de fabrication de câbles automobiles Coficab Tunisie (dénommée alors Electric Câble).



### 4 sites de coficab:

◆ **Coficab tunisie:** créée en 1990, spécialisée dans la fabrication des files automobiles destinée à la vente pour Cofat, Cofat Mateur et d'autres entreprises étrangères comme Cofadel et Coficab Portugal.

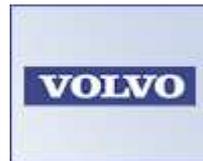


- ◆ **Coficab Portugal:** elle a été créée en 1992 à Guarda, elle est entrée en production en septembre 1993.
- ◆ **Coficab Maroc:** elle a été créée en 2001 à Tanger, elle est entrée en production 2002
- ◆ **Coficab Roumanie:** Entrée en production en 2006 à Arad

### *1 Clients indirects:*

Grâce à sa capacité d'innovation et de développement, Coficab a su gagner la confiance des principaux constructeurs automobiles mondiaux.

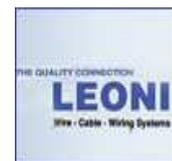
Cette confiance est matérialisée par une gamme d'homologations couvrant une large gamme de produits.





## 2 Clients directs

COFICAB adopte une approche totalement orientée vers la satisfaction de ses clients. Cette approche est basée sur l'innovation, la réduction des coûts, l'amélioration de la qualité du produit et du service ainsi qu'une réactivité totale. Grâce à cet esprit, COFICAB a gagné la confiance des équipementiers les plus importants tels que Delphi , Valeo, Leoni, Lear , YAZAKI ,AWSM ...



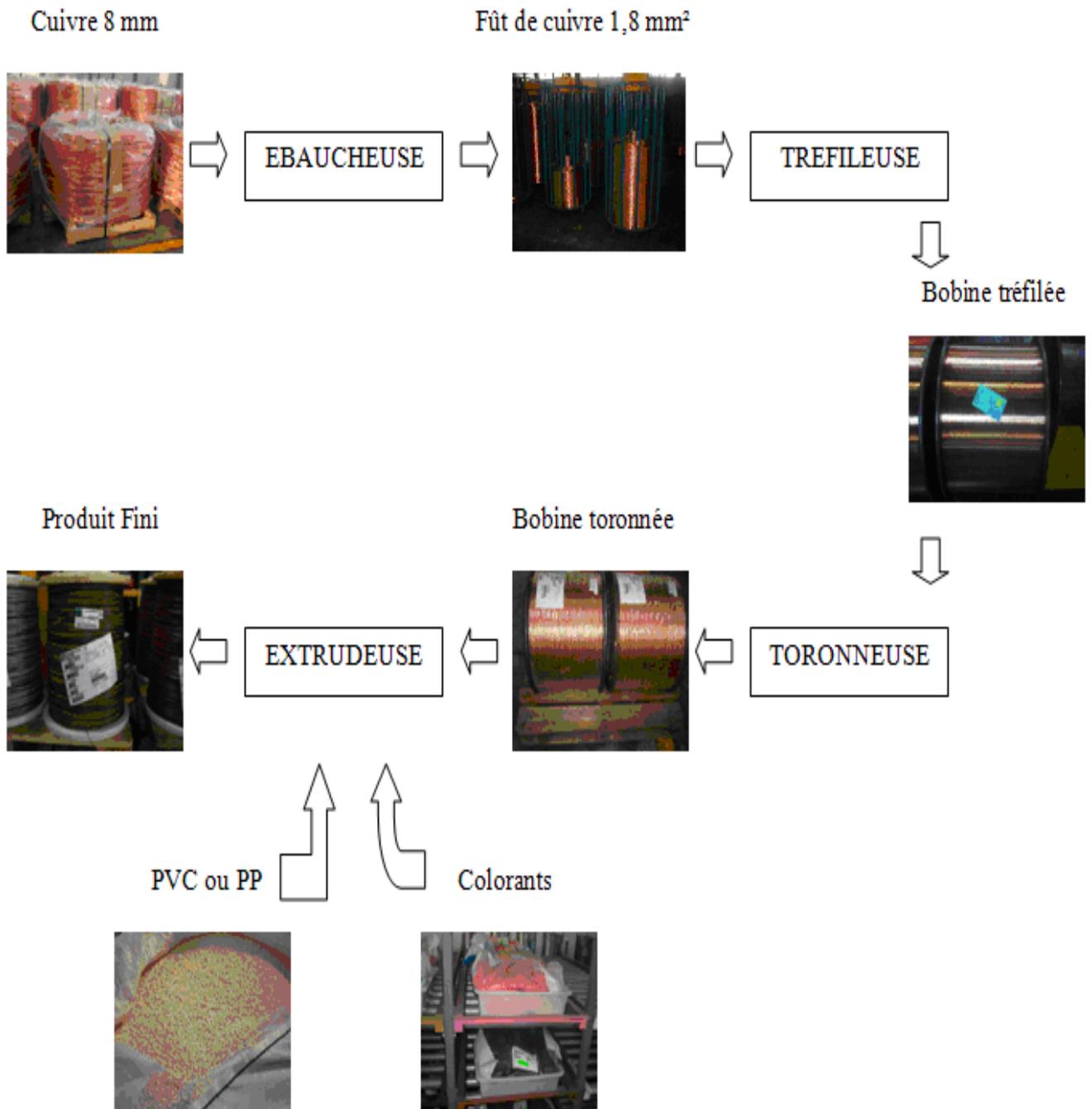


## *II Processus de production*

La chaîne de fabrication est constituée de deux phases bien déterminées:

\***1ere phase**: elle est gérée par le service métal a comme objectif, de transformer le cuivre 8mm en torons de sections différentes.

\***2eme phase**: l'isolation du toron par la matière isolante et les colorants.



## 1. Métal :

Les activités du service métal sont centrés autour de trois étapes :

- Le tréfilage mono fil
- Le tréfilage multi fil
- Le Tordonnage

### 1.1. Tréfilage



Les tréfileuses sont les machines de la première phase de production d'un câble. Elles permettent la réduction de la section du fil jusqu'à un diamètre voulu. Cette transformation est assurée par le passage du fil de cuivre à travers une suite de filières de diamètre décroissant, jusqu'à l'obtention du diamètre souhaité. La succession des filières est définie de façon à assurer un allongement optimum ( $\geq 20\%$ )

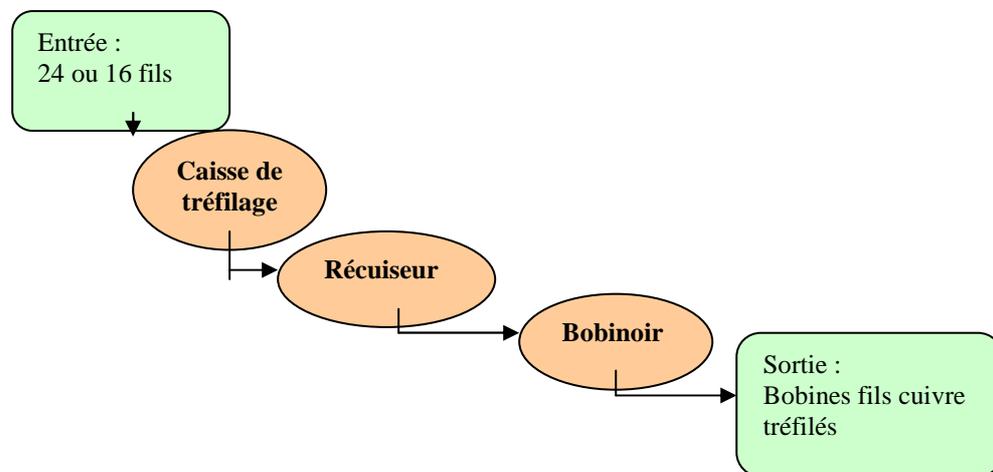
a) tréfileuse mono fil ou Ebaucheuse :

Utilisée pour le tréfilage des gros fils (8 mm jusqu'à 1,8 mm).

b) Tréfileuse multi fils : Utilisée pour le tréfilage de fils fins (1,8 mm jusqu'à 0,18 mm).

c) Principe : Le tréfilage consiste à étirer ou allonger le fil de cuivre à une température fixe, sachant que le volume du fil de cuivre restera inchangé :  $V = \text{cst}$ , mais par contre sa section subira une réduction.

d) Composition de la tréfileuse :



i/ La caisse de tréfilage :

La caisse de tréfilage est la phase où le fil subit une réduction de diamètre, elle se compose de plusieurs cylindres (cônes) autour desquels le fil.

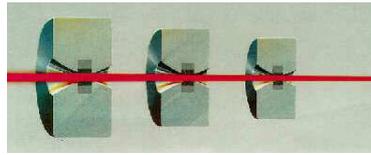
Rôle du cône : Avant le passage du fil dans la filière, il traverse un cône, cette traversée consiste à étirer le fil en lui exerçant une force mécanique afin d'augmenter sa longueur et faciliter par la suite son passage dans les filières.



ii/ Les filières :

La filière est considérée comme l'élément fondamental de l'opération de tréfilage, Elle est constituée d'un noyau dur en diamant polycristallin ou en diamant naturel, logé dans une monture en acier.

La surface intérieure de la filière est constituée d'une succession de formes généralement rectilignes :



### iii/ Récuiseur :

La déformation à froid qu'a subi le cuivre lors de son passage dans la caisse de tréfilage provoque une modification de la disposition des cristallites ce qui engendre une modification de ses caractéristiques mécaniques (Allongement plus faible et résistance à la rupture plus forte). Le Récuiseur lui permet de retrouver ces caractéristiques perdues.



### iv/ Bobinoir :

Après la traversée du recuiseur, le fil de cuivre passe par le pantin et arrive à une poulie et il est ensuite enroulé sur une bobine. La poulie se déplace parallèlement à l'axe de rotation de la bobine. Ce déplacement est limité par les deux butées de fin de course réglées en fonction de la position des jous de la bobine. Ceci permet d'avoir un bon trancannage.



Les diamètres finisseuses de tréfilage sont:  
0,180 ; 0,195 ; 0,196 ; 0,222 ; 0,243 ; 0,245 ; 0,252 ; 0,282 ; 0,291 ; 0,296 ; 0,306

### v/ Lubrifiant :

Le lubrifiant joue un rôle très important dans le processus de tréfilage car il permet d'assurer :

- le refroidissement du fils de cuivre qui s'échauffe vu la force qui lui est exercé ;
- Le glissement sur les connes et dans les filières par l'effet de l'huile qu'il contient.
- Le nettoyage du cuivre en évitant le dépôt des impuretés.

### e) Les paramètres des tréfileuses :

La programmation de la machine se fait à l'aide d'un automate programmable



Les paramètres de tréfileuse à régler avant chaque lancement d'une série sont :

- ✓ Le diamètre final
- ✓ Vitesse.
- ✓ Position du recuit (puissance électrique).
- ✓ Pression du pantin.

f) Les éléments à contrôler à la sortie de la tréfileuse:

- L'allongement  $\geq 20$  %.
- La Résistance .
- Aspect/ couleur.

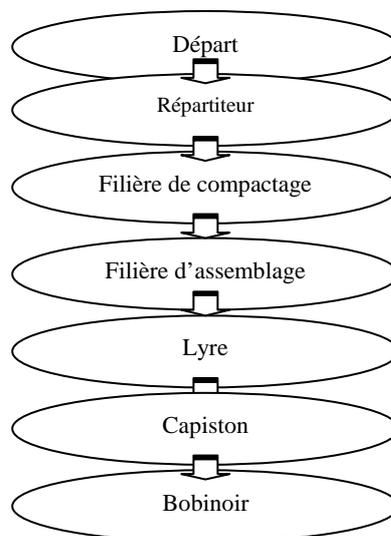
## 1.2. Tordonnage :

Les toronneuses COFICAB permettent de tordonner les brins suivant une répartition bien définie. Sachant que pour chaque section, le nombre de brins et leur répartition est défini par les clients.

Les sections préparées par le Tordonnage sont:

0,35mm<sup>2</sup>; 0,5mm<sup>2</sup>; 0,6mm<sup>2</sup>; 0,75mm<sup>2</sup>; 1mm<sup>2</sup>; 1,4mm<sup>2</sup>; 1,5mm<sup>2</sup>; 2mm<sup>2</sup>; 2,5mm<sup>2</sup>; 3mm<sup>2</sup>; 3,5mm<sup>2</sup>; 4mm<sup>2</sup>; 5mm<sup>2</sup>; 6mm<sup>2</sup>; 7mm<sup>2</sup>; 8mm<sup>2</sup>.

a) Fonctionnement :





Bobine toronnée

**i/ Départ:**

Chaque tordonneuse possède un certain nombre de départs, leur nombre varie en fonction du nombre et de type de bobines tréfilées que nécessite la fabrication de la bobine de toron (section programmée).

**ii/ Répartiteur :**

C'est l'élément qui permet l'assemblage des fils de cuivre de façon uniforme, parallèle et avec le même débit.



**iii/ Filière de compactage:**

La filière de compactage a pour rôle d'assembler des brins de façon parallèle.

**iv/ Filière de toronnage :**

Son diamètre définit la section du toron voulu. Ainsi il faut changer la filière à chaque changement de section.



**v/ Lyre :**

Elle a la forme d'un demi circulaire, on l'utilise pour fixer le fil, Le fil est toronné quand la lyre tourne,

**vi/ Capiston :**

Il permet de maintenir le fil tendu suivant la tension et la force d'enroulement désiré.



vii/ Bobinoir :

C'est un support de bobine, qui descend, remonte et maintient la bobine dans une position donnée. Cela se fait grâce à un système vice écrou, et une tige de guidage pour supporter le poids de la bobine.

**2. Extrusion:**

Transformer les fils de cuivre toronné en câble électrique pour automobile, en le couvrant du PVC ou PP en plus des colorants, tout en respectant les exigences qualité des clients exprimées dans le cahier de charge.

Afin de réaliser cette mission COFICAB Maroc dispose de huit lignes d'extrusion (la huitième ligne en cours d'installation).

a) Paramètres du tordonnage :

Comme chaque processus, l'extrusion possède à son tour des éléments d'entrée, qui sont: le toron, le PVC, PP, Colorants (MP).

i/ Toron :

Le toron se définit par le nombre des brins et leurs diamètres, et il est caractérisé par sa section.

Exemple :

Section : 0.35

Nombre brin \* diamètre : 7\*0.252

ii/ PVC :

Le PVC est acheminé vers les lignes de production dans des grands sacs blancs



iii/ PP :

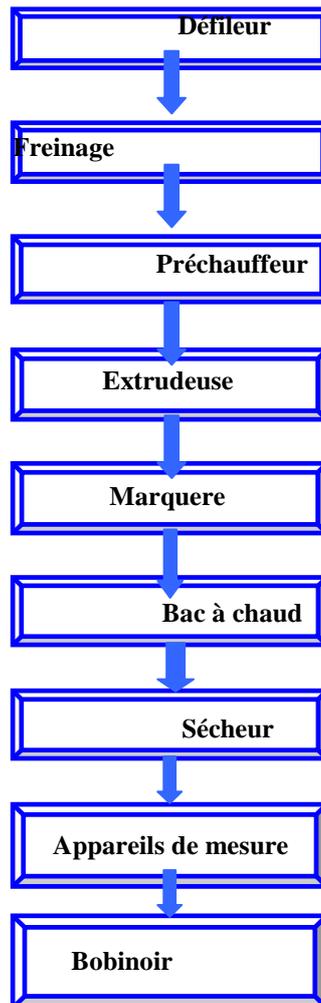
Avant d'être utilisé le polypropylène contenu dans les octobanes passe dans le déshumidificateur (chauffage à 75°C pendant 4h).



#### iv/ Colorants :

Les colorants sont mis dans des silos à côté des lignes d'extrusion, chaque silo est identifié par une étiquette définissant la couleur et la nature du colorant. L'approvisionnement des lignes d'extrusion se fait par des seaux d'alimentation.

#### 2.1. Les organes de la ligne de d'extrusion :



##### a) Défileur :

Chaque ligne possède deux défileurs, la continuité de la production est assurée en effectuant des soudures à froid ou à chaud.

Entre les deux bobines montées dans les deux défileurs, l'aval de la bobine en production est soudé à l'amont de la 2eme bobine.





**b) Freinage :**

Le système de freinage contient des poulies est une courroie, leur rôle consiste à maintenir le fil tendu et réaliser le freinage quand un défaut est détecté lors de la production et éviter ainsi le gaspillage du cuivre et de la MP.



**c) Préchauffeur du fil :**

L'âme subit un chauffage afin d'améliorer son adhérence à l'isolation. La température de préchauffage varie selon les sections et la nature du polymère utilisé.

Les zones de température que nous avons déjà citée dans les étapes d'extrusion, concernent les zones réparties sur cette vis. Chaque zone possède sa propre forme géométrique et sa température cette vis permet ainsi le malaxage, de la MP et du colorant.

**f) Tête d'extrusion :**

• Il permet de:

Assurer la direction du fil et le compactage du toron.

Assurer la compression de l'isolant et donne une forme cylindrique au câble.

**g) Marqueuse :**

Afin de différencier les câbles entre eux, on donne à chaque type un marquage spécifique, certains marquages peuvent être exigés par le client.

**h) Bac de refroidissement avec sécheur :**

Pour que le fil maintient sa forme on le refroidit et pour que le cycle de refroidissement soit plus long on utilise des poulies de renvoi. Ensuite il sera séché à l'aide de l'air comprimé des gouttes d'eau qui restent collés.

**i) Equipements de contrôle :**

Lors de son passage dans la ligne d'extrusion, le câble traverse plusieurs appareils de mesure, ces appareils permettent de mesurer :

Le diamètre à chaud,

Epaisseur mini de l'isolant

**k) Bobinoir :**

Le câble après son passage par les appareils de contrôle passe au bobinoir qui permet de l'enrouler autour d'une bobine bien répartie.

Il est commandé à l'aide d'un automate programmable, le bobinoir est équipé d'un échangeur qui lorsque la bobine atteint le kilométrage désiré, coupe le fil et échange de bobine.



## **2.2. Les paramètres à l'entrée de la ligne de d'extrusion :**

Chaque ligne d'extrusion est équipée d'un automate programmable. Cet automate sert à entrer les différentes valeurs qui seront attribuées à chaque outillage de la ligne, en fonction du produit final désiré et en respectant la fiche pilote.

Les données saisies sur l'automate pour chaque produit sont :

- la température du préchauffeur
- la tension de freinage
- le diamètre à chaud et à froid
- la température de refroidissement

## **2.3. La sortie de la ligne d'extrusion :**

A la sortie de la ligne d'extrusion, le produit est identifié à l'aide d'une étiquette de production, cette étiquette contient toutes les informations concernant le câble en question et qui sont :

- Le type, la section et la couleur du câble.
- La longueur du fil.



# PARTIE II

## ETUDES STATISTIQUES DES PARAMETRES INFLUENÇANT SUR LA RESISTANCE DES CABLES

### I INTRODUCTION

On va commencer notre étude par un contrôle s'il y a des perturbations de la résistance au niveau du processus, pour cette raison on va calculer la capabilité pour voir si notre processus est capable ou non de maîtriser la résistance, le calcul s'effectue seulement pour les câbles des sections 0,5 et 1,5mm<sup>2</sup> :

L'étude capabilité Processus permet de mesurer la capacité et la performance d'un processus à réaliser des produits selon les spécifications demandées.

Les indices de la capabilité processus sont :

L'indice Cp : la dispersion des caractéristiques mesurées du produit, son expression est la suivante:

$$Cp = IT / 6 * \sigma$$

IT: intervalle de tolérance spécifique du produit



$\sigma$ : Ecart-type estimé

L'indice Cpk: indique le centrage de la dispersion par rapport au IT, son expression est la suivante :

$$Cpk = \min\left(\frac{L_{ST} - \bar{x}}{3\sigma}; \frac{(\bar{x} - L_{IT})}{3\sigma}\right)$$

$L_{ST}$ : limite supérieur de la spécification produit

$L_{IT}$ : limite inférieur de la spécification du produit.

$\sigma$ : Ecart-type estimé

- Cp doit être  $> 1.67$
- Cpk doit être  $> 1.33$

• **Pour la section  $0,5\text{mm}^2$**

On choisit 18 bobines aléatoires pour faire la mesure de la résistance.

Bobines	La résistance ( $\Omega$ )
1	36,61
2	36,49
3	36,53
4	36,55
5	36,58
6	36,57
7	36,56
8	36,51
9	36,55
10	36,58
11	36,71
12	36,52
13	36,63
14	36,52
15	36,52
16	36,48
17	36,55
18	36,54

Statistiques résumées pour RESISTANCE

Effectif = 18  
Moyenne = 36,5556  
Variance = 0,00297908  
Ecart-type = 0,054581  
Minimum = 36,48  
Maximum = 36,71

Tableau 1



Avant de calculer la capabilité on doit savoir si connaître si le point 36,71Ω est aberrant ou non pour déterminer si notre variable suivit la loi normale ou non.

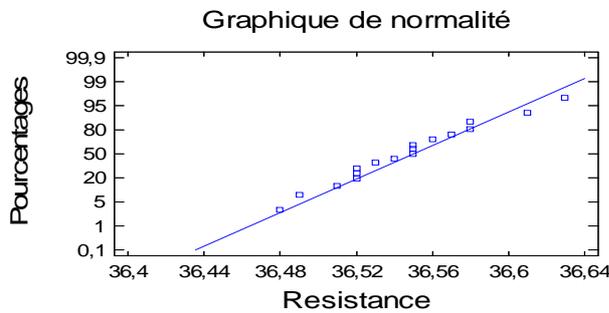
Pour cette raison on va appliquer le test de DIXON (voir annexe).

$$r_{22} = \frac{y_n - y_{n-2}}{y_n - y_3} \quad \text{Alors } \hat{r}_{22} = (36,71 - 36,61) / (36,71 - 36,51)$$

$$\hat{r}_{22} = 0,5$$

Pour n = 18 observations, la valeur critique lue dans la table est, au risque de 5 %, 0,475.  
 Puisque  $0,5 > 0,475$ , au risque de 5 %, il faut éliminer la valeur 36,71 qui on la considère comme un point aberrant.

L'utilisation de logiciel STATGRAPHICS permet de construire la droite d'henry (voir annexe) à partir du tableau 1 sans la valeur 36.71 :



D'après la co  
 Calcul de la c

$$T_s = 36,70 \quad \text{et} \quad T_i = 36,24 \quad \text{donc} \quad IT = 0.46 \quad \text{et} \quad \sigma = 0,054581$$

$$\text{Donc} \quad C_p = IT/6*\sigma = 1,39 < 1,67 \quad \text{et} \quad C_{pk} = 0,89 < 1.33$$

Le processus n'est pas capable pour la section 0,5 mm<sup>2</sup>.

- **Pour la section 1,50 mm<sup>2</sup>**

Les mesures de la résistance :



Bobines	la résistance (Ω)
1	12,61
2	12,55
3	12,52
4	12,49
5	12,56
6	12,48
7	12,55
8	12,52
9	12,51
10	12,49
11	12,52
12	12,55
13	12,53
14	12,53
15	12,49
16	12,54
17	12,53
18	12,56

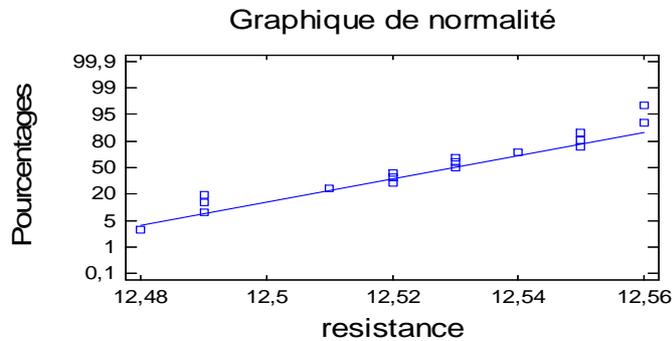
Statistiques résumées  
 Effectif = 18  
 Moyenne = 12,5294  
 Variance = 0,00102908  
 Ecart-type = 0,0320794  
 Minimum = 12,48  
 Maximum = 12,61

$$\frac{y_n - y_{n-2}}{y_n - y_3} = \frac{61 - 12,55}{12,61 - 12,51}$$

Pour n = 18, la valeur critique avec un risque de 5 % est 0,475.

Puisque 0,6 > 0,475, on la considère la valeur 12.61Ω comme un point aberrant

Après l'importation des données sauf le point aberrant dans le STATGRAPHICS on obtient la droite d'Henry suivant :



Pour la section 1.50mm<sup>2</sup> la ré

Capabilité de processus :

Ts = 24,60 et Ti = 24,40 donc IT = 0.2 et σ = 0,032079

Donc Cp=IT/6\*σ = 1.03 < 1,67 , Cpk = 0,73 < 1.33

On conclut que le processus n'est pas capable pour la section 1.50mm<sup>2</sup>.

Après ces études de la capabilité on déduit que il y a une perturbation importante de la résistance, pour cette raison on va essayer de déterminer à chaque étape de la production les paramètres qu'ont un effet important sur la valeur de la résistance et qui pourraient être responsables de cette perturbation.

## II. ETUDES ET ANALYSES



## 1)Tréfilage

Au cours de cette partie de processus nous allons essayer de déterminer les paramètres qui ont un effet important sur la résistance des câbles électriques.

Généralement au sien de tréfilage on fabrique plusieurs types de câbles des différents diamètres, pour réaliser ces études nous avons retenus les câbles des diamètres 0.180, 0.220 et 0.306mm<sup>2</sup> et à partir des ces études on va déduire la forme d'influences de nos paramètres sur les autres types de câbles.

### 1-1).FACTEURS QUALITATIFS

#### a) Opérateur

On va se baser sur la méthode d'ANOVA (analyse de la variance avec un seul facteur : voir annexe1) pour mettre en évidence l'existence d'effet d'opérateur sur la résistance des câbles, généralement on met deux hypothèses :

Ho : pas d'effet d'opérateur

Ha : effet d'opérateur mis en évidence

On a demandé à 4 opérateurs de répéter 3 fois les mesures de la résistance de 2 types de câbles (0.180, 0.220mm) dans des conditions de protocoles aussi proches que possibles : même machine de tréfileuse, même jour et même appareillage de mesure.

- **Pour le diamètre 0,180 mm**

<b>Operateur</b>	<b>Mesure 1 (en Ω)</b>	<b>Mesure 1( en Ω)</b>	<b>Mesure 3 (en Ω)</b>
<b>1</b>	<b>98.43</b>	<b>97.54</b>	<b>97.67</b>
<b>2</b>	<b>97.64</b>	<b>98.33</b>	<b>98.23</b>
<b>3</b>	<b>97.95</b>	<b>97.54</b>	<b>97.84</b>
<b>4</b>	<b>97.62</b>	<b>98.14</b>	<b>97.76</b>

Tableau 3

Pour réaliser cette partie du travail on a utilisé le logiciel STATGRAPHICS qui nous donne les résultats suivants :

Tableau de l'ANOVA pour RESISTANCE par OPERATEUR  
 Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F
Inter-groupes	0,139958	3	0,0466528	0,38
Intra-groupes	0,975133	8	0,121892	
Total (Corr.)	1,11509	11		

Le StatAdvisor

Le tableau d'ANOVA décompose la variance de RESISTANCE en deux Composants: un composant inter-groupes et un composant intra-groupes. Le ratio F, qui dans ce cas est égal à 0,38274, est un ratio de L'estimation inter-groupes par rapport à l'estimation intra-groupes. Comme la valeur de la probabilité pour le test F est supérieure ou égale à 0,05



A partir de ces résultats on trouve que :

$$V_{int} = 0,0466528 \quad \text{et} \quad V_{ext} = 0,121892 \quad (\text{voir annexe})$$

$$F_{exp} = V_{ext} / V_{int} = 0.38 \quad \text{et} \quad F_{th}(3,8) = 4.07 \quad (\text{test de fisher monolateral voir annexe})$$

Et puisque  $F_{exp} > F_{th}/0.95$  on garde l'hypothèse  $H_0$  et on peut dire que il n'y a pas de différence, statistiquement, significative entre les moyennes de RESISTANCE au niveau d'un OPERATEUR à l'autre a un niveau de confiance de 95,0%.

• **Pour le diamètre 0,220 mm**

<b>Operateur</b>	<b>Resistance (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Resistance (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Resistance (<math>\Omega</math>)</b>
<b>1</b>	<b>64,45</b>	<b>65,32</b>	<b>66,03</b>
<b>2</b>	<b>65,56</b>	<b>65,11</b>	<b>65,72</b>
<b>3</b>	<b>66,10</b>	<b>64,52</b>	<b>64,84</b>
<b>4</b>	<b>65,61</b>	<b>64,67</b>	<b>65,91</b>

Après l'importation des données dans le STATGRAPHICS on obtient les résultats suivants :

Tableau de l'ANOVA pour RESISTANCE par OPERATEUR				
Analyse de variance				
Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F
Inter-groupes	0,171133	3	0,0570444	0,12
Intra-groupes	3,68507	8	0,460633	
Total (Corr.)	3,8562	11		

Le StatAdvisor

-----

Le tableau d'ANOVA décompose la variance de RESISTANCE en deux composants: un composant inter-groupes et un composant intra-groupes. Le ratio F, qui dans ce cas est égal à 0,123839, est un ratio de l'estimation inter-groupes par rapport à l'estimation intra-groupes. Comme la valeur de la probabilité pour le test F est supérieure ou égale à 0,05,



Selon le tableau d'ANOVA

$$V_{int} = 0,0570444 \quad \text{et} \quad V_{ext} = 0,460633$$

$$F_{exp} = V_{ext} / V_{int} = 0.12 \quad \text{et} \quad F_{th(3,8)} = 4.07$$

$$F_{exp} > F_{th/0.95}$$

On garde l'hypothèse  $H_0$ , l'opérateur n'a aucune influence sur la valeur de la résistance.

### **b) Machine (tréfileuse)**

Nous voulons vérifier si la valeur de la résistance est la même d'une machine à l'autre avec un risque de 5%, l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) du test revient à stipuler que « la variance de la résistance des câbles est la même sur toutes les machines ».

Nous allons comparer 5 machines des tréfileuses. Du fait que ces machines sont manipulées par la même personne. On prélève sur chaque machine un échantillon aléatoire de la production obtenue au cours de 3 périodes différentes et on fait la mesure de la résistance sur le même instrument de mesure.

- **Pour le diamètre 0,306 mm**

<b>Machine</b>	<b>Resistance (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Resistance (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Resistance (<math>\Omega</math>)</b>
<b>1</b>	<b>33,45</b>	<b>33,65</b>	<b>33,71</b>
<b>2</b>	<b>33,32</b>	<b>34,23</b>	<b>34,35</b>
<b>3</b>	<b>34,76</b>	<b>33,03</b>	<b>34,12</b>
<b>4</b>	<b>33,85</b>	<b>34,34</b>	<b>33,62</b>
<b>5</b>	<b>33,66</b>	<b>33,73</b>	<b>33,38</b>

Tableau 5

Après d'utilisation le STATGRAPHICS on a :

Tableau de l'ANOVA pour Resistance par Machine					
Analyse de variance					
Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Proba.
Inter-groupes	0,471733	4	0,117933	0,46	0,7609
Intra-groupes	2,5408	10	0,25408		
Total (Corr.)	3,01253	14			

Le tableau d'ANOVA décompose la variance de Resistance en deux composants: un composant inter-groupes et un composant intra-groupes. Le ratio F, qui dans ce cas est égal à 0,464158, est un ratio de l'estimation inter-groupes par rapport à l'estimation intra-groupes.  
 Comme la valeur de la probabilité pour le test F est supérieure ou égale à 0,05,

Selon le tableau d'ANOVA



---

$$V_{int} = 0,117933 \quad \text{et} \quad V_{ext} = 0,25408$$
$$F_{exp} = V_{ext} / V_{int} = 0,46 \quad \text{et} \quad F_{th}(4,10) = 3,48 \quad \text{donc} \quad F_{exp} > F_{th}/0,95$$

Alors pour le risque que nous avons choisi (5%), la valeur de la résistance reste la même quelle que soit la machine étudiée.

### c) Conclusion

Les études qui sont faites sur les facteurs qualitatifs (opérateur et tréfileuse) indiquent que l'effet de ceux-ci sur la résistance de câble avec un risque de 5% est presque nul.

On peut déduire que les facteurs quantitatifs ont contribué d'avoir la valeur de la résistance hors limites désirées.

## 1-2 FACTEURS QUANTITATIFS

Dans cette partie on va chercher le lien qui existe entre les paramètres quantitatifs et la grandeur de résistance des câbles, pour cela on va utiliser la méthode du plan d'expériences.

### a) Plan d'expériences

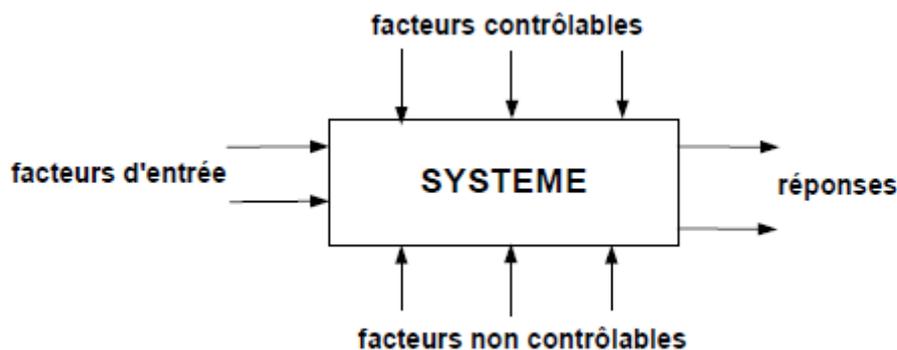
#### Définition

Les plans d'expériences permettent d'organiser le mieux possible les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles. Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries.

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.

#### Vocabulaire

Le scientifique est souvent amené à comprendre comment réagit un système en fonction des facteurs susceptibles de le modifier. Pour visualiser cette évolution, il mesure une réponse et va ensuite essayer d'établir des relations de cause à effet entre les réponses et les facteurs.



#### Facteur :

Parmi les facteurs on distinguera :

- les facteurs contrôlables qui dépendent directement du choix du technicien (pression, température, matériau ...)
- les facteurs non contrôlables qui varient indépendamment du choix du technicien (conditions climatiques, environnement d'utilisation...)
- les facteurs d'entrée dont on cherche à analyser une influence (matière première, vitesse d'agitation, température, rendement ...)



### • Réponse

La réponse est la grandeur mesurée à chaque essai; le plan vise à déterminer quels facteurs l'influencent ou quelle est son évolution en fonction de ceux-ci.

### Niveaux

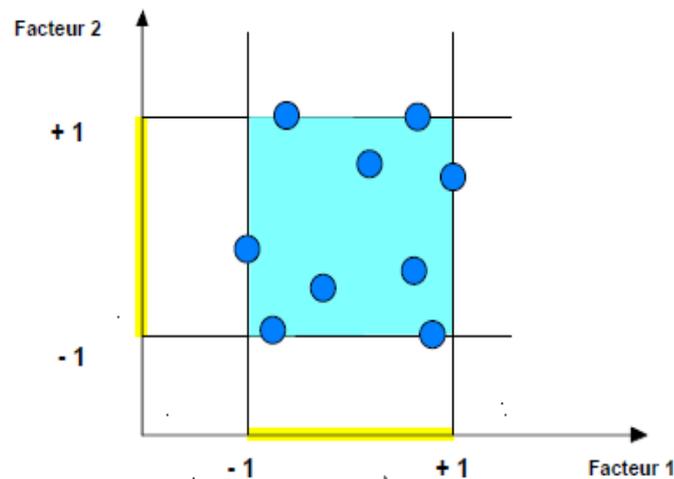
Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut.

### Interaction

Une notion importante est celle d'interaction entre deux facteurs d'entrée. On parle d'interaction entre deux facteurs A et B quand l'effet du facteur A sur la réponse va dépendre de la valeur du facteur B.

### Domaine d'étude

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.



### Notion de modélisation mathématique

On choisit a priori une fonction mathématique qui relie la réponse aux facteurs. On prend un développement limité de la série de Taylor-Mac Laurin. Les dérivées sont supposées constantes et le développement prend la forme d'un polynôme de degré plus ou moins élevé :

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \dots + \sum a_{ii} x_i^2 + a_{ij\dots z} x_i x_j \dots x_z \quad \{1\}$$

$y$ : est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation.

$x_i$  représente le niveau attribué au facteur  $i$  par l'expérimentateur pour réaliser un essai.



$a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii}$  sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

### b) Application « la résistance de câbles »

Coficab désire étudier l'effet d'un nombre de facteur quantitatifs sur la résistance de câbles, la société entreprend de réaliser le plan d'expériences pour évaluer l'influence des ces facteurs.

Après la discussion avec les opérateurs et le chef d'équipe on retient les facteurs suivants :

Facteur 1 : Pression pantin : c'est la pression de maintien des fil se une tenion de force d'enroulement

Facteur 2 : Vitesse d'enroulement : vitesse d'enroulement les bobines.

Facteur 3 : Tension de recuit : tension appliquée sur les fils au niveau de recuiseur.

La réponse est la résistance de câble.

On réalise un plan Box behnken ( voir l'annexe) avec 2 points au centre du domaine d'étude pour établir des modèles mathématiques du second degré.

Pour ce travail on va utiliser le logiciel Nemrodw.

- Pour diamètre 0.180 mm

Tableau : Facteurs et domaine d'étude

Facteur	Niveau -1	Niveau +1
Pression pantin (X1)	0,20 bar	0,40 bar
Tension de recuit (X2)	80 V	85 V
Vitesse d'enroulement (X3)	24 tr/min	26tr/min

La matrice d'expériences est :

N°Exp	X1	X2	X3
1	-1.0000	-1.0000	0.0000
2	1.0000	-1.0000	0.0000
3	-1.0000	1.0000	0.0000
4	1.0000	1.0000	0.0000
5	-1.0000	0.0000	-1.0000
6	1.0000	0.0000	-1.0000
7	-1.0000	0.0000	1.0000
8	1.0000	0.0000	1.0000
9	0.0000	-1.0000	-1.0000
10	0.0000	1.0000	-1.0000
11	0.0000	-1.0000	1.0000
12	0.0000	1.0000	1.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000



**Le plan d'expérimentation avec les résultats expérimentaux :**

N°Exp	Rand	X1 Pression pantin bar	X2 tension de recuit volt	X3 Vitesse tr/min	La resistance ohm
1	11	0.20	80.00	25.0	95.810
2	8	0.40	80.00	25.0	98.100
3	9	0.20	85.00	25.0	96.420
4	14	0.40	85.00	25.0	98.340
5	7	0.20	82.50	24.0	96.160
6	13	0.40	82.50	24.0	98.200
7	10	0.20	82.50	26.0	96.270
8	3	0.40	82.50	26.0	98.310
9	6	0.30	80.00	24.0	97.110
10	2	0.30	85.00	24.0	97.450
11	1	0.30	80.00	26.0	97.010
12	5	0.30	85.00	26.0	98.440
13	4	0.30	82.50	25.0	97.230
14	12	0.30	82.50	25.0	97.310

**Le Nemrodw fournit les coefficients des effets des facteurs et leurs interactions.**

Nom	Coefficient
b0	97.2700
b1	1.0363
b2	0.3275
b3	0.1387
b11	-0.1850
b22	0.0825
b33	0.1500
b12	-0.0925
b13	0.0000
b23	0.2725

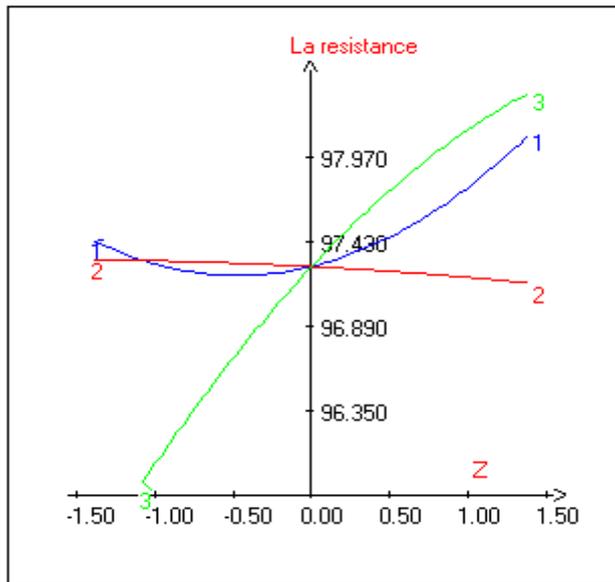
Le tableau montre que l'effet de pression pantin est important, moins important pour la tension de recuit et presque nul pour la vitesse d'enroulement, les interactions n'existent presque pas entre les facteurs, Le résumé de ce plan dans le modèle mathématique :

$$Y = 97.2700 + 1.0363X1 + 0.3275X2 - 0.1850X1^2$$

**Analyse canonique:**

L'analyse canonique est basée sur la rotation des axes  $x_i \rightarrow z_i$  afin d'éliminer les termes rectangles (rotation R autour de l'origine O) et le transfert du centre O des axes de références au sommet S de la conique (translation T). L'ordre des transformations (translation, rotation) est sans importance.

**Courbure de l'équation canonique : réponse Y1 : La résistance**



*Equations de passage des X aux Z*

$$X1 = -0.065 Z 1 - 0.208 Z 2 + 0.976 Z 3$$

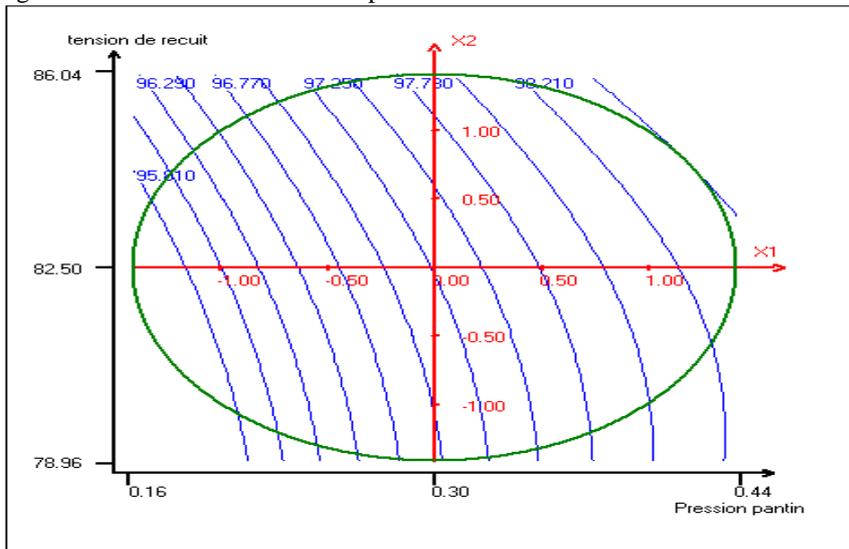
$$X2 = 0.622 Z 1 + 0.757 Z 2 + 0.202 Z 3$$

$$X3 = 0.781 Z 1 - 0.620 Z 2 - 0.080 Z 3$$

L'équation de passage des X aux Z indique que X1 dépend de Z3, X2 avec Z2 et X3 avec Z1. Le graphe établit montre que l'augmentation de la pression pantin (Z3) entraîne une augmentation de la résistance la même chose pour la tension de recuit (Z1) mais avec un effet plus moins par contre la vitesse d'enroulement n'influent pas sur la résistance des câbles.

**Courbes isoréponses**

A partir du modèle il est intéressant de tracer les courbes isoréponses pour prévoir graphiquement la résistance. Le logiciel NEMRODW fournit cette possibilité de tracé.



Variation de la réponse - La résistance dans le plan : Pression pantin, tension de recuit  
 FACTEURS FIXES : - Vitesse = 25.0 tr/min

COFICAB veut toujours avoir la résistance de câble 0, 180mm entre 97,23 et 97,64 Ω pour satisfaire les besoins des clients, le courbe iso-réponses permet d'indiquer les valeurs de la pression et de la tension recuit qu'il faut appliquer pour avoir la résistance des câbles dans le domaine désiré, par exemple pour la valeur de la résistance 97.25Ω on donne la pression de pantin 0,28 bar et 83,93 V pour la tension de recuit.

- Pour le diamètre 0,306mm



**Tableau : Facteurs et domaine d'étude**

Facteur	Niveau -1	Niveau +1
Pression pantin (X1)	1 bar	1,20 bar
Tension de recuit (X2)	95 V	100 V
Vitesse d'enroulement (X3)	20 tr/min	22tr/min

**La matrice d'expériences est :**

N°Exp	X1	X2	X3
1	-1.0000	-1.0000	0.0000
2	1.0000	-1.0000	0.0000
3	-1.0000	1.0000	0.0000
4	1.0000	1.0000	0.0000
5	-1.0000	0.0000	-1.0000
6	1.0000	0.0000	-1.0000
7	-1.0000	0.0000	1.0000
8	1.0000	0.0000	1.0000
9	0.0000	-1.0000	-1.0000
10	0.0000	1.0000	-1.0000
11	0.0000	-1.0000	1.0000
12	0.0000	1.0000	1.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000

**Le plan d'expérimentation avec les résultats expérimentaux :**

N°Exp	Rand	X1 Pression pantin bar	X2 tension de recuit volt	X3 Vitesse tr/min	La resistance ohm
1	11	1.00	95.00	20.00	33,34
2	8	1.20	95.00	20.00	36.30
3	9	1.00	100.00	20.00	34.21
4	14	1.20	100.00	20.00	36.62
5	7	1.00	97.50	19.00	33.98
6	13	1.20	97.50	19.00	36.12
7	10	1.00	97.50	21.00	34.03
8	3	1.20	97.50	21.00	36.76
9	6	1.10	95.00	19.00	35.22
10	2	1.10	100.00	19.00	36.31
11	1	1.10	95.00	21.00	35.11
12	5	1.10	100.00	21.00	36.42
13	4	1.10	97.50	20.00	35.08
14	12	1.10	97.50	20.00	35.17

**Les coefficients des effets calculent par logiciel NEMRODW :**

Nom	Coefficient
b0	35.125
b1	1.680
b2	0.449
b3	0.086
b11	-0.275



b22	0.268
b33	0.372
b12	-0.137
b13	0.147
b23	0.055

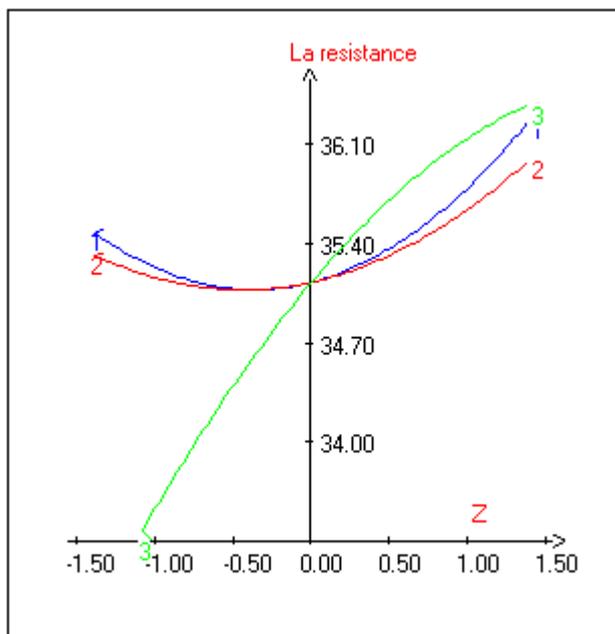
A partir de tableau on observe que l'effet de pression pantin est élevé, moins élevé pour la tension de recuit et négligeable pour la vitesse d'enroulement, les interactions entre les facteurs est presque nulles.

Le modèle en variables codées s'écrit sous la forme :

$$Y = 35,125 + 1.680X1 + 0.449X3 - 0.275X1^2 + 0.268X2^2$$

**Analyse canonique :**

Courbure de l'équation canonique : réponse Y1 : La résistance



**Equations de passage des X aux Z**

X1 = 0.091 Z 1 - 0.144 Z 2 + 0.985 Z 3  
 X2 = 0.177 Z 1 + 0.976 Z 2 + 0.127 Z 3  
 X3 = 0.980 Z 1 - 0.163 Z 2 - 0.115 Z 3

Equations de passage des X aux Z montre que la variation de X1 exprime par Z3, X2 par Z2 et X3 par Z1.

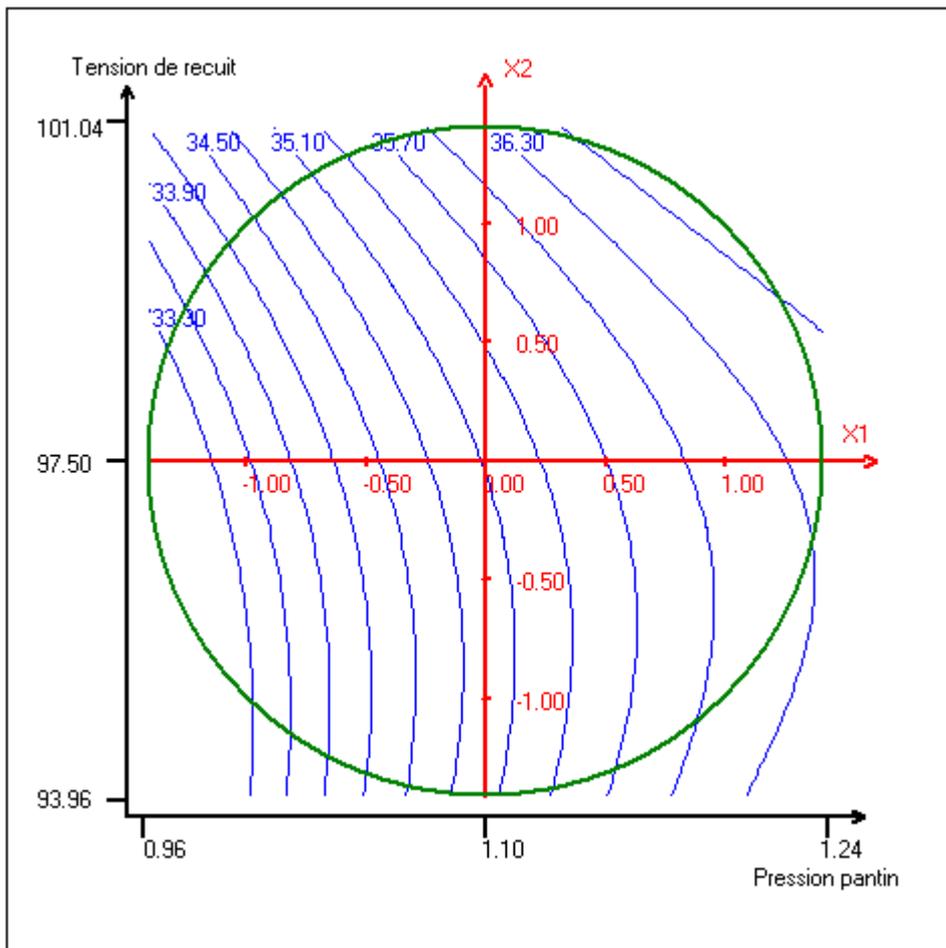
Les courbes d'analyse canonique indiquent que le passage de pression pantin de niveau -1 au niveau +1 provoque une augmentation brutale de la résistance, l'effet de la tension de recuit et de la vitesse sur la résistance est restent faible.

**Courbes iso-réponses**

Pour avoir une vue d'ensemble des résultats, on trace les courbes iso-réponses par logiciel NEMRODW dans le domaine d'étude.

Courbes iso-réponses montrant l'influence de la tension recuit et de la pression pantin sur la résistance de câble.

**Etude graphique en 2D**



Variation de la réponse - La résistance dans le plan : Pression pantin, Tension de recuit  
FACTEURS FIXES : - Vitesse = 20.00 tr/min

Pour le câble 0,306mm, COFICAB désire d'avoir la valeur de la résistance entre 33,56 et 34,21 $\Omega$ , à partir de courbe iso-réponses on peut déterminer facilement les valeurs de la pression pantin et de la tension recuit pour cibler le but de la société.

Par exemple pour la valeur de la résistance 33.90 on applique la pression pantin à 1.01 bar et à 98,02 V pour la tension de recuit

#### e) Conclusion :

Généralement l'application de plan d'expériences permet d'établir que le facteur (Pression pantin) a un effet important sur la valeur de la résistance et que ce facteur dépend du diamètre de câble (plus on passe vers le diamètre grand plus que l'effet de pression augmente).

Le facteur tension de recuit a une influence moins importante que pression pantin mais n'est pas négligeable, le lien entre le diamètre de câble et l'influence de tension de recuit est presque nul.

## II-2) tordonnage

Dans cette 2<sup>ème</sup> étape de la production on va suivre la même stratégie qui on l'a fait au tréfilage, on va chercher et vérifier s'il ya des facteurs qui peuvent influencer sur la résistance des câbles, on fait nos études seulement sur les câbles des sections (0,5mm<sup>2</sup>, 0,75mm<sup>2</sup>)

## 2-IFACTEURS QUALITATIFS

### a) Operateur



Pour vérifier s'il y a un effet d'opérateur sur la résistance des câbles au tordonnage, nous allons utiliser la méthode d'analyse de la variance avec un seul facteur.

Généralement on propose deux hypothèses :

$H_0$  : pas d'effet d'opérateur

$H_a$  : effet d'opérateur mis en évidence

On a demandé à 4 opérateurs de répéter, chacun 4 fois, les mesures sur la même instrument de mesure.

- Section  $0,5 \text{ mm}^2$

Opérateur	Resistance 1( $\Omega$ )	Resistance 2( $\Omega$ )	Resistance 3( $\Omega$ )	Resistance 4( $\Omega$ )
1	36,33	35,89	36,12	36,31
2	35,93	35,97	36,43	36,13
3	35,87	35,83	36,12	36,25
4	36,08	36,21	36,01	36,11

L'utilisation de logiciel STATGRAPHICS permet de donner les résultats suivants :

Tableau de l'ANOVA pour RESISTANCE par OPERATEUR

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Proba.
Inter-groupes	0,0437688	3	0,0145896	0,41	0,7459
Intra-groupes	0,422725	12	0,0352271		
Total (Corr.)	0,466494	15			

Le StatAdvisor

Le tableau d'ANOVA décompose la variance de RESISTANCE en deux composants: un composant inter-groupes et un composant intra-groupes.

Le ratio F, qui dans ce cas est égal à 0,414158, est un ratio de l'estimation inter-groupes par rapport à l'estimation intra-groupes.

Comme la valeur de la probabilité pour le test F est supérieure ou égale à 0,05,

A partir de ce tableau on trouve que :

$$V_{int} = 0,0145896 \quad \text{et} \quad V_{ext} = 0,0352271$$

$$F_{exp} = V_{ext} / V_{int} = 0.41 \quad \text{et} \quad F_{th}(3,12) = 3,41$$

Et puisque  $F_{exp} < F_{th}$  on garde l'hypothèse  $H_0$  et on peut dire qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les moyennes de résistance d'un niveau d'opérateur à un autre au niveau de confiance de 95,0%.

### **b) Machine (tordonneuse)**

On va savoir s'il y a une influence de la machine sur la résistance.

- Section  $0,75 \text{ mm}^2$



Machine	Resistance 1( $\Omega$ )	Resistance 2( $\Omega$ )	Resistance 3( $\Omega$ )	Resistance 4( $\Omega$ )
1	25,03	24,39	24,36	24,73
2	24,82	24,71	24,55	24,34
3	24,45	25,16	24,31	25,03
4	24,15	24,54	25,17	24,45

STATGRAPHICS fournit les résultats suivants :  
 Tableau de l'ANOVA pour RESISTANCE par MACHINE

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Proba.
Inter-groupes	0,0590187	3	0,0196729	0,16	0,9237
Intra-groupes	1,51193	12	0,125994		
Total (Corr.)	1,57094	15			

Le StatAdvisor

Le tableau d'ANOVA décompose la variance de RESISTANCE en deux composants: un composant inter-groupes et un composant intra-groupes. Le ratio F, qui dans ce cas est égal à 0,156142, est un ratio de l'estimation inter-groupes par rapport à l'estimation intra-groupes. Comme la valeur de la probabilité pour le test F est supérieure ou égale à 0,05,

Selon le tableau d'ANOVA

$$V_{int} = 0,0196729 \quad \text{et} \quad V_{ext} = 0,125994$$

$$F_{exp} = V_{ext} / V_{int} = 0,16 \quad \text{et} \quad F_{th}(3,12) = 3,41 \quad (\text{voir annexe})$$

$$F_{exp} < F_{th}/0.95$$

Puisque  $F_{exp} < F_{th}/0.95$  on peut conclure que l'effet de l'opérateur sur la résistance est nul avec la section 0,75 mm<sup>2</sup>.

## 2-2.FACTEURS QUANTITATIFS

### a) Plan d'expériences

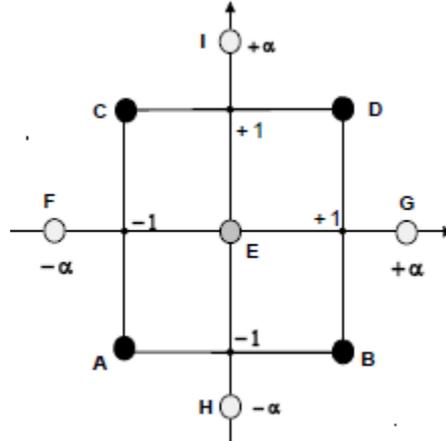
A cette étape on décide encore d'appliquer le plan d'expériences, on détermine deux facteurs qui peuvent nous aider pour maîtriser la variation de la résistance.

Facteur 1 : force d'enroulement : la tension du fil sur la bonine toron.

Facteur 2 : pression de départ :

On se base sur le plan composite qui permette d'établir de modèle mathématique du second degré, il est constitué de trois parties :

1. Un plan factoriel dont les facteurs prennent deux niveaux.
2. Au moins un point expérimental situé au centre du domaine d'étude.
3. Des *points axiaux*. Ces points expérimentaux sont situés sur les axes de chacun des facteurs



**Figure 15 : Plan composite pour deux facteurs.**

On réalise un plan composite avec 2 points au centre du domaine d'étude et choisit  $\alpha = 1,41$  pour respecter le critère de presque orthogonalité.

- Pour la section  $0,5\text{mm}^2$

**Tableau : Facteurs et domaine d'étude**

*Domaine Expérimental*

Facteur	Niveau- 1,41	Niveau- 1	Niveau 0	Niveau +1	Niveau +1,41
Force d'enroulement (N)	23.59	24.00	25.00	26.00	26.41
Pression de départ (bar)	1.86	1.90	2.00	2.10	2.14

**Matrice d'expériences**

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

**Plan d'expérimentation**

N°Exp	Rand	Force d'enroulement N	Pression de depart bar	La resistance ohm
1	7	24.00	1.90	35.73
2	10	26.00	1.90	36.44
3	1	24.00	2.10	36.27
4	3	26.00	2.10	36.75
5	4	23.59	2.00	35.86
6	8	26.41	2.00	36.64
7	2	25.00	1.86	36.16
8	9	25.00	2.14	36.72
9	6	25.00	2.00	36.28
10	5	25.00	2.00	36.32

Les coefficients des facteurs :

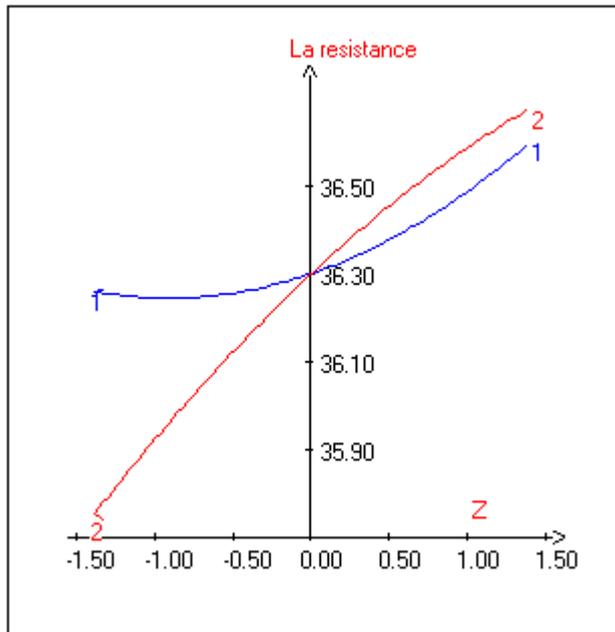
Nom	Coefficient
b0	36.300
b1	0.287
b2	0.205
b11	-0.037
b22	0.058
b12	-0.058

Les résultats de ce plan sont résumés dans le modèle mathématique :

$$Y = 36.300 + 0.287X_1 + 0.205X_2 - 0.037X_1^2 + 0.058X_2^2 - 0.058X_1X_2$$

Analyse canonique

Courbure de l'équation canonique : réponse Y1 : La résistance



*Equations de passage des X aux Z*

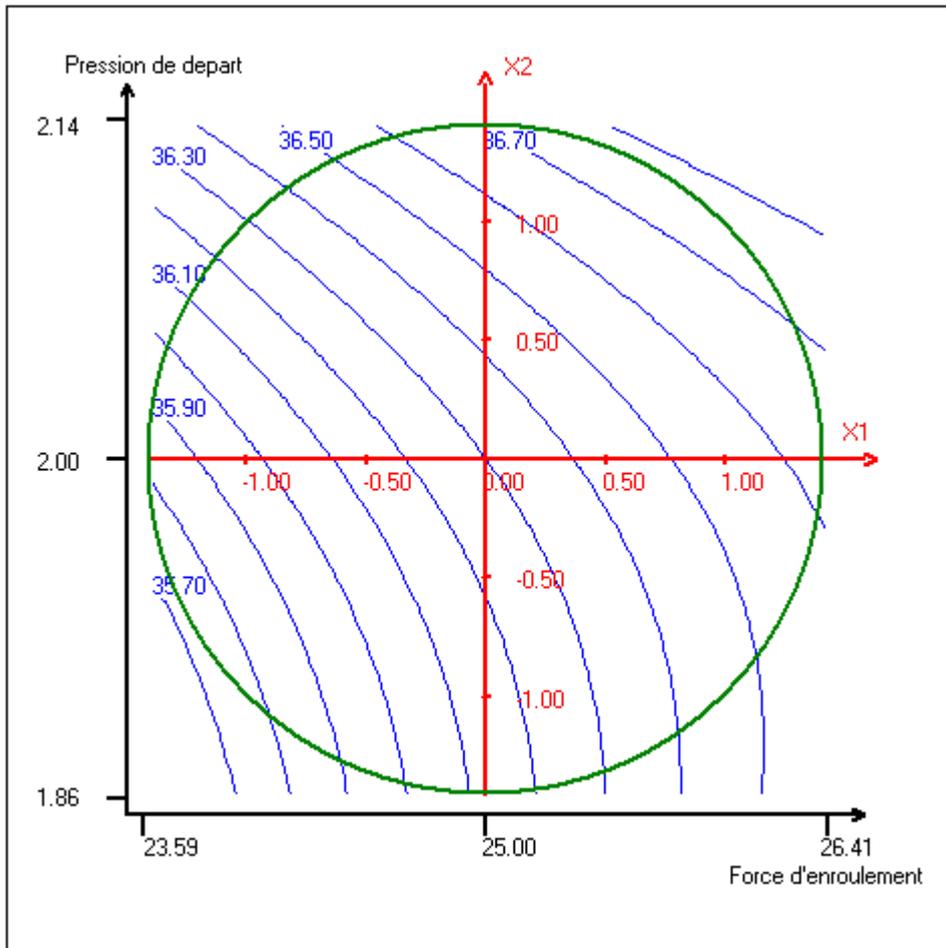
$$X1 = -0.269 Z 1 + 0.963 Z 2$$

$$X2 = 0.963 Z 1 + 0.269 Z 2$$

L'équation de passage des X aux Z indique que X1 dépend de Z2, X2 avec Z1.

La courbe montre que le passage du niveau bas au niveau haut de la pression et de la force d'enroulement contribue une augmentation importante de la résistance mais avec un effet plus grand de la force d'enroulement que de la pression.

**Courbe isoreponses**  
**Etude graphique en 2D**



Variation de la réponse - La résistance dans le plan : Force d'enroulement, Pression de départ

A partir de la courbe on peut déterminer les valeurs des nos paramètres pour avoir la résistance de câble 0,5 mm<sup>2</sup> désiré dans le domaine souhaité (36,24 à 36,70Ω).

Pour la résistance 36.50 Ω il faut poser la force d'enroulement à 25.28N et à 2.06 bar pour la pression de départ

- Pour La section 0.75mm<sup>2</sup>

Tableau : Facteurs et domaine d'étude

**Domaine Expérimental**

Facteur	Niveau- 1,41	Niveau- 1	Niveau 0	Niveau +1	Niveau +1,41
Force d'enroulement (N)	30.59	31.00	32.00	33.00	33.41
Pression de départ (bar)	2.54	2.30	2.40	2.50	2.26

**Plan d'expérimentation**

N°Exp	Rand	Force d'enroulement	Pression de départ	Resistance
		N	bar	ohm



1	10	31.00	2.30	23.76
2	6	33.00	2.30	24.44
3	2	31.00	2.50	24.46
4	9	33.00	2.50	24.91
5	3	30.59	2.40	24.26
6	7	33.41	2.40	24.63
7	1	32.00	2.26	24.26
8	4	32.00	2.54	24.81
9	5	32.00	2.40	24.44
10	8	32.00	2.40	24.42

Les valeurs des coefficients de chaque facteur :

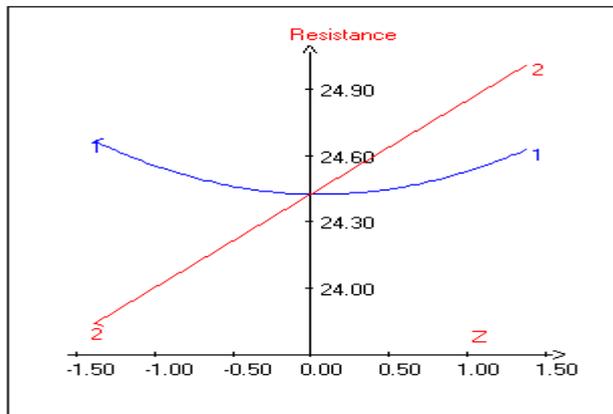
Nom	Coefficient
b0	24.425
b1	0.340
b2	0.251
b11	0.044
b22	0.071
b12	-0.112

On observe que le coefficient de force d'enroulement (b1) et de pression de départ (b2) est important. Le modèle mathématique s'écrit sous la forme :

$$Y = 24.425 + 0.340X_1 + 0.251X_2 - 0.044X_1^2 + 0.071X_2^2 - 0.112X_1X_2$$

**Analyse canonique**

**Courbure de l'équation canonique : réponse Y1 : Resistance**



*Equations de passage des X aux Z*

$$X_1 = -0.617 Z_1 + 0.787 Z_2$$

$$X_2 = 0.787 Z_1 + 0.617 Z_2$$

À cause de l'interférence de X1 et X2 à l'équation de passage des X au Z (X1 et X2 dépend par Z1 et Z2) on ne peut pas faire une bonne analyse de la courbe.

## **b) Conclusion**

L'application de plan composite au toronnage permet de déduire que :

La force d'enroulement et la pression de départ ont un effet sur la résistance de câble.

L'effet de ces facteurs dépend de la section des câbles, plus la section est grande plus l'effet augmente surtout de la force d'enroulement.



Pour optimiser et maintenir la valeur de la résistance il faut régler et maîtriser la force d'enroulement et la pression de départ.

### 3) Extrusion

Il faut signaler que lorsqu'on a appliqué le plan d'expérience pour le tréfilage et le tordonnage il y a des valeurs hors limite de tolérance mais cela n'est pas un problème parce que dans l'entreprise les câbles défectueux sont recyclés. Mais dans la phase d'extrusion on ne peut pas appliquer le plan d'expérience parce que s'il y a une valeur hors limite de tolérance le câble n'est pas recyclable par la machine existante dans l'usine à cause du polymère qui s'est fixé sur le câble. Alors pour éviter de tomber dans ce problème on va essayer de faire une comparaison entre la valeur de résistance avant et après l'extrusion pour voir l'influence de l'extrusion sur la résistance des câbles.

#### a) Méthode de la Comparaison de deux moyennes

On va utiliser la méthode de comparaison de deux moyennes de la résistance pour déterminer s'il y a une différence entre l'entrée et la sortie de l'extrusion.

Comme la section du câble de cuivre à l'entrée et à la sortie de l'extrusion reste la même donc s'il n'y a pas des facteurs qui peuvent influencer sur la résistance de câble la valeur de celle-ci avant et après l'extrusion doit rester la même.

On va faire cette comparaison de deux moyennes sur 4 types de section ( $0.5\text{mm}^2$ ,  $0.6\text{mm}^2$ ,  $1.40\text{mm}^2$  et  $1.50\text{mm}^2$ ).

On met deux hypothèses :

$H_0$  :  $m_1 = m_2$  c'est-à-dire pas de variation entre les deux moyennes de l'entrée et de la sortie.

$H_1$  :  $m_1 \neq m_2$  Les deux moyennes sont différents.

La mesure de la résistance de chaque section s'effectue 10 fois à l'entrée et à la sortie de l'extrusion.

On suppose que la distribution de la résistance suit la loi normale

- Section  $0.5\text{mm}^2$

Les mesures de la résistance :

Répétition	Resistance1 (à l'entrée d'extrusion)	Resistance 2 (à la sortie d'extrusion)
1	36.36	36.43
2	36.41	36.47
3	36.48	36.70
4	36.51	36.56
5	36.53	36.51
6	36.61	36.62
7	36.37	36.45
8	36.51	36.71
9	36.48	36.63
10	36.43	36.55

On trouve alors :



	Resistance1	Resistance2	
Effectif n	10	10	
Moyenne m	36,549	36,468	
Variance S <sup>2</sup>	0,0100767	0,00597333	
Ecart-type S	0,100383	0,0772873	0,040057

Pour comparer les deux moyennes il faut d'abord comparer les variances.  
 Ce test consiste à calculer le rapport de deux variances on utilisant la variance la plus grande au numérateur et la plus petite au dénominateur.

$$F_{exp} = S^2_1 / S^2_2 = 0.0100767 / 0.00597333$$

$$F_{exp} = 1.687$$

Pour  $\alpha = 0,05$  et de degré de liberté  $n_1-1$  ddl=9,  $n_2-1$  ddl=9.  
 On cherche dans le tableau de la loi de Fisher ( voir annexe)  $F_{0,95}(9,9) = 3,18$ .

$$1.687 < 3,18 \text{ alors on dit que } S^2_1 = S^2_2$$

Maintenant on va comparer les moyennes

D'après le test de student on calcule

$$T_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Decision

On rejette  $H_0$  si  $T_{exp}$  n'est pas dans l'intervalle  $[-t_{\alpha/2}, n_1+n_2-2, t_{\alpha/2}, n_1+n_2-2]$

$$\text{Alors } T_{exp} = 1.918$$

$$t_{0.025, 18} = 2.1009 \text{ donc } 1.918 \notin [-2.1009, 2.1009]$$

On accepte l'égalité des deux moyennes avec 5% de se tromper.

On conclut avec un risque de 5% de se tromper que l'étape d'extrusion n'a pas des facteurs qui peuvent influencer sur la résistance de câble de section  $0,5\text{mm}^2$ .



- **Section 0,75mm<sup>2</sup>**

**Tableau des mesures la resistance .**

Repetition	Resistance1 (à l'entrée d'extrusion)	Resistance 2 (à la sortie d'extrusion)
1	24,24	24,34
2	24,32	24,42
3	24,28	24,41
4	24,41	24, 32
5	24,34	24, 31
6	24,31	24,33
7	24,42	24,41
8	24, 32	24,37
9	24,29	24,34
10	24,31	24,36

Statistiques résumées

	Resistance1	Resistance2
Effectif	10	10
Moyenne m	24,324	24,36
Variance S <sup>2</sup>	0,00304889	0,00151111
Ecart-type S	0,0552167	0,038873

D'abord on compare les variances, on fait le rapport de la plus grande sur la plus petite :  
 Ce rapport constitue le F de Fisher :  $F_{exp} = S^2_1 / S^2_2 = 0,00304889 / 0,00151111$

$$F_{exp} = 2.01$$

La valeur critique de rejet de F 0,95(9,9) = 3,18

$$2.01 < 3,18 \text{ alors on dit que } S^2_1 = S^2_2$$

Maintenant on compare les moyennes :

On calcule Texp

$$T_{exp} = 1,599$$

$$t_{0.025, 18} = 2.1009 \text{ donc } 1.599 \in [-2.1009, 2.1009]$$

On garde l'hypothèse Ho.

On peut donc conclure que la moyenne de La résistance à l'entrée de l'extrusion est significativement n'est pas différente de celle de résistance à la sortie de l'extrusion, au seuil de confiance de 0,05 (5 chances sur cent de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle).

- **Section 1,40mm<sup>2</sup>**

**Tableau des mesures la resistance .**

Repetition	Resistance1 (à l'entrée	Resistance 2 (à la sortie
------------	-------------------------	---------------------------



	d'extrusion)	d'extrusion)
1	13,70	13,79
2	13,62	13,73
3	12,59	13,81
4	13,71	13,74
5	13,81	13,74
6	13,68	13,67
7	13,63	13,82
8	13,60	13,81
9	13,67	12,70
10	13,62	12,74

Statistiques résumées

	Resistance1	Resistance2
Effectif	10	10
Moyenne	13,663	13,755
Variance	0,00438111	0,0026017
Ecart-type	0,0657409	0,0510074

On compare les variances :

$$F \text{ de Fisher: } F_{exp} = S^2_1 / S^2_2 = 0,00438111 / 0,0026017$$

$$F_{exp} = 1.6839$$

Puisque  $1.6839 < 3,18$  alors Les variances des deux populations peuvent donc être considérées comme égales.

Comparaison les moyennes

On calcule  $T_{exp}$

$$T_{exp} = - 3,302$$

$$t_{0.025, 18} = 2.1009 \text{ donc } - 3.302 \notin [-2.1009, 2.1009]$$

On rejette  $H_0$  et on garde  $H_1$

La différence entre les moyennes des deux échantillons est significative, au seuil de 5%,

Il y a une influence de l'extrusion sur la résistance des câbles

- **Section 1,50mm<sup>2</sup>**

**Tableau des mesures la resistance .**

Repetition	Resistance1 (à l'entrée d'extrusion)	Resistance 2 (à la sortie d'extrusion)
1	12,51	12,60
2	12,43	12,52
3	12,38	12,57
4	12,51	12,54
5	12,61	12,52
6	12,47	12,48
7	12,44	12,61



8	12,39	12,62
9	12,47	12,49
10	12,42	12,54

Statistiques résumées

	Resistance1	Resistance2
Effectif n	10	10
Moyenne m	12,463	12,549
Variance $S^2$	0,00464556	0,00243222
Ecart-type S	0,0681583	0,0493176

On compare les variances :

Ce rapport constitue le F de Fisher :  $F_{exp} = S^2_1 / S^2_2 = 0,00464556 / 0,00243222$

$$F_{exp} = 1.91$$

$1.91 < 3,18$  alors on dit que  $S^2_1 = S^2_2$

On compare les moyennes :

On calcule  $T_{exp}$   $T_{exp} = - 3.0669$

$$t_{0.025, 18} = 2.1009 \text{ donc } - 3.0669 \notin [-2.1009, 2.1009]$$

on peut donc considérer qu'il y a une différence significative entre les deux séries de mesure, au seuil de confiance de 0,05 et donc pour ce section il y'a des paramètres influencent sur la résistance.

## b) Conclusion

A partir de cette étude de comparaison des deux moyennes on conclut que :

- Les paramètres de l'extrusion n'ont pas d'effet sur la résistance des câbles de petites sections (0.35, 0.50, 0.75mm<sup>2</sup>....).
- Pour les grandes sections (1.40, 1.50mm<sup>2</sup>...) il y a une influence de l'étape d'extrusion sur la résistance des câbles.



# Conclusion générale

La durée de stage a été très limitée par rapport au volume de connaissances et du savoir-faire que nous pouvons acquérir dans un établissement comme COFICAB, Nous pouvons même le décrire comme un autre lieu d'échange et d'apprentissage à tous les niveaux.

Du fait de l'importance du sujet proposé, son développement a été axé sur deux parties qui sont les suivantes :

- Diagnostic des problèmes liés à la résistance.
- Détermination des paramètres et leurs impacts sur la résistance.

Les Etudes statistiques (plan d'expériences, tests d'hypothèse, ANOVA), nous ont permis de faire le diagnostic et de conclure que les problèmes de perturbation de la résistance causés par plusieurs facteurs ont un effet qui varie selon la section de câble. Pour éviter le problème de ces perturbations, nous avons suggéré des améliorations et des actions correctives citées ci- après :

- Sensibiliser les opérateurs sur l'effet de ces paramètres (Pression pantin, tension de recuit, force d'enroulement) sur la résistance.
- Respecter les valeurs des facteurs imposés par le fiche pilote.
- Prendre les précautions à l'étape de l'extrusion dans le cas de fabrications des câbles de grandes sections.



- 
- Faire des études plus détaillées au niveau de l'extrusion pour déterminer précisément les facteurs qu'a un effet sur la résistance des câbles.

# ANNEXE



# ABREVIATIONS

**PVC : Polyvinylchlorure**

**PP : Polypropylène**

**Cp : Capabilité de processus**

**Cpk : Capabilité de décentrage**

**ANOVA : analyse de la variance**



# BIBLIOGRAPHIE

**Max.Feinberg-La validation des methodes d'analys une  
approha chimiométrique de l'assurance qualité au laboratoire.**

**Jacques Goupy – Introduction aux plans d'experiences avec  
application - DUNOD**

**[www.coficab.com](http://www.coficab.com)**

