



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdelhamid Ibn Badis University – Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

The Date

التاريخ :

Ref :...../U.M/F.S.T/2025

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés des matériaux

Thème

L'influence des graisses dans les câbles

Présenté par

1-FREHA Siham

2-CHIKH Amina Ibtissame

Soutenu le 29 / 06 /2025 devant le jury composé de :

Présidente : FEDDAL Imène MCA Université de Mostaganem

Examinatrice : FARES Zineb MAA Université de Mostaganem

Rapporteur : BENATMANE Saadiya MCA Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

Dédicace 1 :

Je souhaite dédier ce travail à des personnes chères à mon cœur.

A ma mère, lumière bienveillance sur mon chemin, source inépuisable de douceur et d'amour.

A mon père, en témoignage de mon affection, de ma reconnaissance profonde et de ma gratitude pour son soutien indéfectible et les sacrifices qu'il a consentis pour moi.

A mes frères et mes sœurs, dont l'amour et la présence sont des piliers essentiels de ma vie.

A mes amis fidèles, pour l'amitié sincère et les moments partagés ; ce travail vous est également dédié, avec l'espoir d'un avenir prometteur pour chacun de vous.

Enfin, à toutes celles et ceux qui ont cru en moi et m'ont donné la force d'avancer, merci pour votre confiance, vos encouragements et votre présence motivante.

C'est grâce à vous que j'ai trouvé la force de continuer.

Sihem...

Dédicace 2

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

A mon cher pays, cette terre où je suis née, où j'ai grandi appris et rêvé, c'est dans ses écoles que j'ai été formée, c'est là que tout à commencé.

A mon père pour ses sacrifices, pour sa force dans les moments difficile, pour son courage constant.

Merci d'avoir été mon pilier, ma force et mon soutien.

A ma mère pour ses prières, sa patience, ses sacrifices et son amour inconditionnel.

Merci d'avoir été ma lumière et ma force et mon refuge.

A ma sœur, ma complice merci pour ta présence ton écoute et ton encouragement.

Ce mémoire représente bien plus qu'un travail écrit, il est reflet d'un chemin rempli de bas et des hauts, de sacrifices et d'espoir.

Abtissame...

Remerciement

Nous tenons d'abord à exprimer notre profonde gratitude à Dieu tout-puissant pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires tout au long de ce parcours académique.

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadrant universitaire **M^{me} BENATMANE**, pour conseils avisés, sa disponibilité constante et son accompagnement tout au long de ce travail. Son expertise et son engagement ont été d'un soutien précieux dans l'aboutissement de ce mémoire.*

*On exprime également nos remerciements à **Madame FEDDAL Imene**, enseignante à l'université de Mostaganem, qui nous a fait l'honneur de s'intéresser à notre travail et de présider le jury d'examen.*

*Que **Madame FARES Zineb** enseignante à l'université de Mostaganem, trouve ici toute notre reconnaissance pour avoir accepté de porter un regard critique sur cet humble travail de recherche.*

*Nous remercions également l'ensemble du personnel du groupe industriel de Sidi Bendhiba (GIBS), et en particulier **Monsieur ZOBIR Zouheyr** et **Monsieur Tajeddine MAALLEM** pour nous avoir accueillis chaleureusement au sein de leur structure et pour avoir facilité notre intégration ainsi que la réalisation de notre stage.*

Nos pensées reconnaissantes vont également à nos enseignants de Master 2 pour la qualité de leur soutien moral et financier, sans lequel cette formation n'aurait pas été possible.

Enfin, un remerciement tout particulier à nos amies, avec qui nous avons partagé les moments de travail, de réflexion, parfois de doute, mais surtout une belle expérience humaine et professionnelle.

Ce mémoire est fruit de nos efforts communs et de notre collaboration sincère.

Résumé :

Nous avons effectué notre stage au sein de GISB (Groupe Industriel de Sidi Bendihiba), une entreprise spécialisée dans la fabrication de câbles électriques. Durant cette période, nous avons découvert les différentes étapes de la production, en mettant l'accent sur l'importance des graisses industrielles dans la protection et la performance des câbles. Ce stage nous a permis de relier les connaissances théoriques à la pratique, tout en développant nos compétences techniques et professionnelles dans le domaine de l'ingénierie électrique.

ملخص:

قمنا بإجراء تـربصنا الميداني بمؤسسة GISB (المجمع الصناعي لسيدى بن دهبية)، المتخصصة في صناعة الكابلات الكهربائية. خلال فترة التـربص، تعرفنا على مختلف مراحل الإنتاج، من سحب الأسلاك إلى التغليف النهائي، مع التركيز على أهمية الشحوم الصناعية ودورها في حماية الكابلات وتحسين أدائها. مكنتنا هذه التجربة من ربط الجانب النظري بالتطبيق العملي، كما ساعدتنا على تطوير مهاراتنا التقنية والمهنية في مجال الهندسة الكهربائية.

Summary:

We completed our internship at GISB (Groupe Industriel de Sidi Bendihiba), a company specializing in the manufacturing of electrical cables. Throughout the internship, we explored the various stages of production, with a particular focus on the importance of industrial grease in cable protection and performance. This experience allowed us to connect theoretical knowledge with practical application, while also strengthening our technical and professional skills in the field of electrical engineering.

Liste des figures

Figure I.1	Localisation géométrique	04
Figure I.2	Organisation fonctionnel du GISB	06
Figure II.1	Matière première en cuivre	17
Figure II.2	Matière première en aluminium	17
Figure II.3	Machine de tréfilage	18
Figure II.4	Processus câblage	19
Figure II.5	Schéma d'isolation	25
Figure II.6	Processus assemblage	26
Figure II.7	Bourrage/gainage	26
Figure III.1	Application de la graisse sur un fil d'aluminium	36
Figure III.2	Point de goutte	38
Figure III.3	Essai de pénétration des graisses à l'aide d'un pénétromètre DSHD-2801	40

Liste des tableaux

Tableau I.1	Fiche technique du groupe du GISB	04
Tableau I.2	Les instruments de laboratoire et leur utilisation (site 1 et 2)	13
Tableau II.1	composition chimique de l'alliage (en % massique)	21
Tableau II.2	caractéristique mécanique des conducteurs en cuivre	22
Tableau II.3	caractéristiques électriques et mécaniques du conducteur	23
Tableau II.4	paramètres de qualité de l'eau (brute, traitée et rejet)	23
Tableau II.5	caractéristique des machines taux de brix et ph	24
Tableau II.6	correspondance entre machines de tréfilage et machines de câblage	24
Tableau II.7	machines utilisées au site 1	28
Tableau II.8	critères et données techniques des conducteurs	29
Tableau III.1	câbles nécessitants la graisse	35
Tableau III.2	évaluation de la consistance des graisses selon la valeur de pénétration	41
Tableau III.3	analyse de consistance de graisses selon la valeur de pénétration	42

Table des matières

Introduction générale	01-02
I.1. Introduction	03
I.2 Présentation du groupe GISB	03
I.3 Les activités principales du GISB	05
I.4 Organisation du GISB	07
I.4.1 Direction exploitation	07
I.4.2 Direction commerciale	07-08
I.4.3 Direction des achats	08
I.4.4 Direction administration générale	08-09
I.4.5 Direction finances et comptabilité	09
I.4.6 Direction générale	09
I.5 Processus technologique	10
I.5.1 La production	10
I.5.1.a Tréfilage	10
I.5.1.b Isolation	10
I.5.1.c Garnissage et gainage	11
I.6 Activité et objectif de GISB	11
I.7 Nature des produits fabriqués	11
I.7.1 Fils et câbles de basse tension (isolés) en aluminium, cuivre et almélec	11
I.7.2 Câbles de hautes tensions	11
I.7.3 Câbles moyenne tension (MT) et haute tension (HT)	12
I.8 Description de la structure sociale	13
I.9 Normes	13-14
I.10 Conclusion	14
II.1 Introduction	15
II.2 Site 02	15
II.2.1 Matières premières	15
II.2.1.a Le cuivre	15
II.2.1.b L'aluminium	16
II.2.1.c Almélec	16
II.2.2 Processus de fabrication	16
II.2.2.1.a Traitement des déchets métalliques et élaboration de matières premières	17
II.2.2.1.b Tréfilage	17-18
II.2.2.1.c Câblage	18
II.2.3 Unité traitement des eaux	19
II.2.4 Contrôle qualité	20
II.2.5 Contrôle après fusion	20
II.2.5.a Analyse chimique par spectromètre	20
II.2.5.b Analyse de taux d'oxygène	21
II.2.6 Contrôle après tréfilage	21-22
II.2.7 Contrôle après câblage	22-23
II.2.8 Contrôle qualité de lubrifiant et eau	22-24
II.2.9 Machines utilisés (site 02)	24
II.3 Site 01	24
II.3.1 Matières premières site 01	24-25
II.3.2 Processus industriel	25

II.3.2.a Isolation	25
II.3.2.b Assemblage	26
II.3.2.c Bourrage	26
II.3.2.d Gainage	27
II.3.2.e Marquage	27
II.3.2.f Test électrique	27
II.3.2.g Commercialisation	27
II.3.3 Contrôle qualité site 01	27-28
II.3.4 Organigramme de processus de fabrication	28
II.4 Conclusion	30
III.1 Introduction	31
III.2 Composition de graisse	31
III.3 Types de graisse	32
III.3.1 Graisse minérale	32-33
III.3.2 Graisse synthétique	33-34
III.4 Procédés d'application de la graisse	34
III.5 Types de câbles nécessitant l'utilisation de graisse	35
III.6 Rôle de graisse	35-36
III.7 Analyse de graisses	37
III.7.1 Point de goutte	37-39
III.7.2 Essai de pénétration	39-42
III.8 Effets de graisse sur un câble après utilisation	43
III.9 Inconvénients de graisses	44
III.10 Perspectives	44-45
III.11 Conclusion	45
Conclusion générale	46
Références	47

Glossaire technique du câblage

1- Circuit de fabrication :

- **Tréfilage** : Opération qui consiste à réduire le diamètre du conducteur nu (cuivre, aluminium, alu-mélec) par passe successive jusqu'à l'obtention d'un diamètre final standard.
- **Câblage** : Opération qui consiste à réunir plusieurs fils nu selon un pas déterminé et un standard de fabrication.
- **Isolation** : Opération qui consiste à isoler un fil ou un câble avec une matière isolante (polymère).
- **Assemblage** : Opération qui consiste à assembler 2 à 4 (ou plus) conducteurs isolés selon un pas standard.
- **Gainage** : Opération qui consiste à déposer une gaine de protection finale (polymère) pour le câble terminé.

1- Machine de production :

- **Tréfileuse** : Machine qui assure l'opération de tréfilage.
- **Câbleuse** : Machine qui assure l'opération de câblage.
- **Extrudeuse** : Machine qui assure l'opération d'isolation.
- **Assembleuse** : Machine qui assure l'opération d'assemblage des conducteurs isolés.
- **Extrudeuse gaineuse** : Machine qui assure l'opération de gainage.

2- Outillage et accessoire divers :

- **Filière de tréfilage** : Outillage spécial donnant le diamètre du fil à tréfiler au centième du millimètre.
- **Filière d'isolation et gainages** : Outillage spécial donnant le diamètre d'isolation du gainage au dixième du millimètre.
- **Filière de câblage** : Outillage de géométrie étudiée donnant le diamètre du câblage désiré au dixième du millimètre.
- **Filière d'assemblage** : Outillage assurant un diamètre d'assemblage des conducteurs isolés.
- **Spark-tester** : Appareil assurant le contrôle de l'isolation selon une tension électrique de contrôle, il détecte les défauts sur le câble.

3- Matières premières :

- **Cuivre** : Il est importé en bote de diamètre de 8mm.
- **Aluminium et almélec** : Ils sont importé en bote de diamètre de 9,5mm.
- **PVC (polychlorure de vinyle)** : de différent grade en forme de granuler fabriqué à GIBS.
- **PE** : Polyéthylène.
- **XLPE** : Polyéthylène réticulé (**en anglais** : cross-linked polyéthylène).
- **HFFR** : halogène free flamme retardant.

4- Les mots en abréviation :

- **GISB** : groupe Industriel Sidi Bendehiba.
- **SARL** : société ayant responsabilité limitée.
- **EPDM** : éthylène-propylène-diène monomère.
- **CEI** : commission électrotechnique internationale.
- **VDE** : verband der elektrotechnik (en Allemand). (en français : association de l'électrotechnique).
- **NF** : norme française.
- **ISO** : organisation international de normalisation.
- **UTE** : Union technique de l'électricité.
- **CENELEC** : Comité Européen de Normalisation pour l'Electrotechnique.
- **BSI** : British Standards Institution.
- **NE** : Comité européen de normalisation.
- **NLGI** : national lubricating grease institute.
- **MT** : moyenne tension.
- **HT** : haute tension.
- **BT** : base tension.
- **KV** : kilovolt.
- **KN** : kilo newton.
- **C°** : degré Celsius.
- **Cu** : cuivre.
- **AL** : aluminium.
- **MPA** : méga pascal.

Introduction générale

Introduction générale

Les graisses jouent un rôle essentiel dans les câbles électriques et mécaniques, en particulier dans ceux utilisés pour le transport d'énergie ou dans des environnements soumis à des contraintes mécaniques importantes. Elles assurent la lubrification des fils ou torons à l'intérieur du câble, réduisant ainsi les frottements internes lors des flexions ou des tractions répétées. Cette lubrification prolonge la durée de vie du câble en limitant l'usure et la corrosion, surtout dans des conditions humides ou agressives. De plus, certaines graisses spéciales peuvent également jouer un rôle d'isolant ou de barrière contre l'humidité, renforçant la fiabilité des performances électriques du câble.

Dans les câbles électriques, les graisses ont une influence déterminante sur la performance et la durabilité, notamment dans les applications à haute tension ou en environnement extérieur. Elles sont utilisées principalement comme agents de remplissage ou de lubrification pour éviter la pénétration d'humidité, réduire les risques de décharges partielles, et minimiser les pertes diélectriques. En empêchant la formation de vides entre les conducteurs et l'isolation, les graisses contribuent à améliorer l'intégrité électrique du câble. Certaines formulations spécifiques permettent également de limiter la propagation du feu ou d'augmenter la résistance aux agressions chimiques, ce qui est crucial pour les installations soumises à des conditions sévères.

La lubrification des câbles métalliques est essentielle à la fois pour prévenir la corrosion et pour limiter les frottements mécaniques. Elle nécessite l'utilisation de graisses spécifiquement formulées pour offrir une forte adhérence au métal tout en étant capables de pénétrer jusqu'au cœur du câble. Ces lubrifiants doivent résister aux charges élevées afin d'éviter les phénomènes de fretting et de faux effets Brinell. Les câbles métalliques sont couramment utilisés dans des applications telles que le convoyage, le remorquage et le levage.

En raison des contraintes auxquelles ils sont exposés environnement extérieur, glissements irréguliers, charges importantes, déformations et frottements leur lubrification est indispensable pour prolonger leur durée de vie. Cette opération s'effectue au moyen de lubrifiants adhésifs et pénétrants adaptés à la structure du câble. En effet, un câble métallique de levage, semblable à une corde, est une structure longue, souple et résistante, composée de fils torsadés ou tressés appelés « torons ».

Un stage technique a été réalisé au sein de la Câblerie Algérienne Sidi Bendehiba, et notre travail s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation détaillée de la câblerie Sidi Bendehiba (CSB).

Le deuxième chapitre explore le cycle de fabrication des câbles, nous examinerons les matériaux utilisés, les étapes de fabrication ainsi que le contrôle de qualité. Le troisième chapitre est dédié à l'analyse de la composition, les caractéristiques de graisses employés au GISB ainsi que leur rôle et inconvénients.

Enfin, une conclusion générale viendra synthétiser les principaux résultats de cette étude.

Chapitre I : Présentation du groupe GISB

I.1 Introduction

Le matériau le plus utilisé pour fabriquer les câbles électriques est le cuivre dont la caractéristique principale est sa très bonne conductivité électrique associée à une ductilité élevée. Avec ses alliages, le cuivre est employé dans plusieurs autres applications, notamment grâce à ses autres bonnes propriétés comme la bonne tenue à la corrosion. On le trouve également dans les échangeurs thermiques, les tuyauteries et dans les produits électriques et électroniques d'une façon générale.

I.2 Présentation du groupe GISB

Le groupe Industriel Sidi Bendehiba (GISB) qui a été lancé en 2010 dont l'activité principale est la production et la commercialisation des câbles électriques de haute qualité afin de répondre aux besoins du marché national et international, il possède deux sites : l'un étant un atelier de métallurgie, de tréfilage et de câblage des câbles électrique et l'autre un atelier d'extrusion des câbles électriques. Le GISB (Groupe Industriel de Sidi Bendehiba) situé à Mesra dans la wilaya de Mostaganem est une entreprise spécialisée dans la fabrication de câbles électriques. Elle joue un rôle important dans le secteur industriel en Algérie, en fournissant des solutions fiables pour les réseaux électriques et les infrastructures. Le GISB a sut profiter d'avantages géographique: une implantation dans une ville portuaire à proximité du port de Mostaganem a 12,5 Km [1].



Figure I.1 : Localisation géométrique.

Tableau I.1 : Fiche technique du groupe du GISB

Nombre d'employés	Plus de 800 employés
Nature juridique	Sarl
Date de création	2010
Directeur	Mr. Djilani-Koubibi Hadj Ali
Lieu d'implantation	siège et usine à la zone industrielle de Mesra – Mostaganem
N ° de téléphone	+213 45489028
Superficie site 1	Extrusion et administration : 20.000 m ²
Superficie site 2	Métallurgie, tréfilage et câblage : 72.000 m ²

I.3 Les activités principales du GISB

- **Fils de fer et d'acier** : selon leur usage industriel.
- **Fils en métaux non-ferreux** : comme le Cu ou Al, selon les besoins d'utilisation.
- **Fils électriques isolés** : adaptés aux installations électriques.
- **Câbles électrique isolés** : utilisés dans la distribution d'énergie.
- **Câbles électrique isolés par usage** : c'est-à-dire personnalisés en fonction des applications (domestiques, industrielles, réseaux...).
- **Sous-traitance pour l'industrie électrique** : ce qui inclut la fabrication de composants ou câblages spécifiques pour d'autres entreprises.

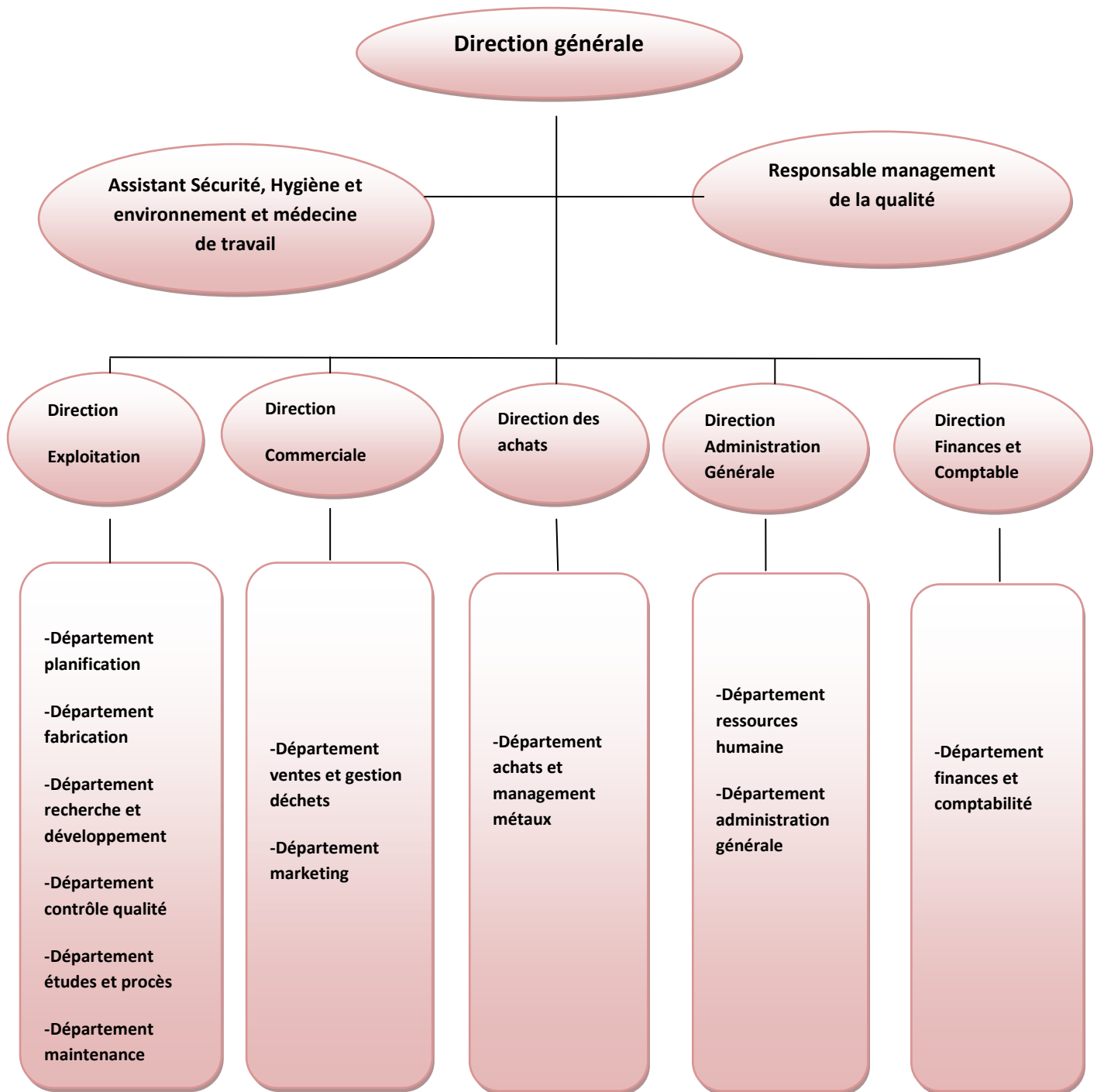


Figure I.2 : Organisation fonctionnel du GISB

I.4 Organisation du groupe GISB

Le GISB s'articule autour de l'organisation suivante :

La direction générale a rattaché sous sa coupe, les structures hygiène et sécurité et le management de la qualité.

L'entreprise est composée de 05 directions :

- Direction exploitation.
- Direction commerciale.
- Direction des achats.
- Direction administration générale.
- Direction finances et comptabilité.

I.4.1 Direction exploitation

Sa mission est de planifier, fabriquer, contrôler les câbles, maintenir les équipements et annexes :

- Assurer les études de procès.
- Charger de promouvoir la filière câble sous tous ces aspects (circuit de fabrication, équipements et annexes).

I.4.2 Direction commerciale

Elle est structurée en 02 départements (département vente et département marketing). Elle est chargée de :

- La vente, l'emmagasiner, transport et recouvrement.

- La gestion et la vente des déchets.

- La deuxième structure assure le marketing des produits sous ses aspects de :
 - Evolution du marché.

 - Besoins de la clientèle.

 - Prospections sous tous ses aspects.

 - Fidélisation des clients.

 - Communication (site, informatique, contact, et liens etc....)

 - Foires et salons spécialisés.

I.4.3 Direction des achats

Cette structure est chargée de l’approvisionnement en matières premières (INPUT des câbles) selon un programme prédéterminé, ainsi qu’en pièces de rechange et consommables.

Elle assure la gestion et l’emmagasiner de tous les produits achetés [1].

I.4.4 Direction administration générale

Cette direction est subdivisée en 02 parties :

I.4.4.a Ressources humaines : Elle assure la gestion du personnel sur les plans :

- Administratif.

- Paie.

- Social et formation.

I.4.4.b Administration générale : Elle assure :

- La sécurité intérieure.
- Le transport du personnel.
- La gestion des bâtiments (Entretien, Petites constructions).
- Courrier de l'entreprise.
- Prise en charge du personnel étranger.

I.4.5 Direction finances et comptabilité : Cette structure est chargée de :

- Réaliser des montages financiers et plans de financement.
- Superviser la gestion de la trésorerie et les échéances de remboursement.
- Assurer les opérations comptables et financières.
- Préparer le bilan comptable annuel.

I.4.6 Direction générale : Elle a deux (02) cellules qui sont sous sa coupe :

- **Assistance sécurité :** est chargée d'assurer la politique d'hygiène et sécurité sous les aspects communication et sensibilisation. Affichage, rondes de contrôle dotation du personnel en équipements de protection individuelle.
- **Médecine du travail :** une cellule permanente assure les soins, les visites médicales et la programmation des visites systématiques. Elle assure également l'évacuation des blessés et accidents en ambulance.

I.5 Processus technologique

I.5.1 La production : La fabrication d'un câble ou d'un fil isolé passe par 03 étapes.

Etape1 : Tréfilage

Etape2 : isolation

Etape3 : Garnissage et gainage

I.5.1.a Tréfilage

Le tréfilage est la première étape de fabrication des fils conducteurs. Il consiste à réduire progressivement le diamètre d'un fil métallique (souvent en cuivre ou en aluminium) en le faisant passer à travers une série de filières de plus en plus petites.

Objectifs :

- Obtenir un diamètre précis et uniforme.
- Améliorer la flexibilité du fil.
- Adapter le conducteur aux normes techniques requises pour le câble.

Étapes principales :

- Déroulage : le fil brut est déroulé depuis une bobine.
- Lubrification : pour réduire la friction et éviter l'échauffement.
- Passage dans les filières : le fil traverse successivement plusieurs filières pour diminuer son diamètre.
- Bobinage : le fil tréfilé est enroulé sur une nouvelle bobine, prêt pour l'étape suivante (recuit ou isolation).

I.5.1.b isolation

Après le tréfilage, le conducteur est recouvert d'un **matériau isolant** afin d'empêcher tout contact électrique accidentel et de garantir la sécurité et la performance du câble.

Matériaux utilisés :

PVC (Polychlorure de vinyle) : économique, bonne résistance à la chaleur et au feu, largement utilisé.

Élastomères (comme le caoutchouc synthétique, silicone) : souples, résistants aux températures élevées et aux agressions chimiques.

I.5.1.c Garnissage et gainage

Selon le type de câble, plusieurs fils isolés peuvent être assemblés ensemble (garnissage), puis enveloppés d'une gaine de protection extérieure (gainage). Cette gaine assure une protection mécanique, thermique et chimique. Les ateliers de GISB ont les moyens de réaliser la majorité des fils et câbles isolés, selon les normes nationales et internationales à savoir (CEI, VDE, NF et ISO 9000/Version 2000) [1].

I.6 Activité et objectif de GISB

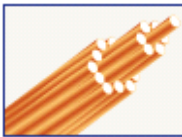
Le GISB annonce son projet de fabrication des câbles moyenne et haute tension jusqu'à 120 KV.

I.7 Nature des produits fabriqués

Le domaine d'activité de GISB se résume principalement en la fabrication et la commercialisation des produits suivants :

I.7.1 Fils et câbles de Basse Tension (isolés) en aluminium, cuivre et almélec.

1. Câbles industriels (rigide, semi rigide et souples 0.6/1kv) non armés et armés.



2. Câbles domestiques (rigides, semi rigide et souples 450/750 volts).



3. Torsadés de réseaux et de branchements.



4. Câbles élastomères.

5. Câbles spécifiques (ainsi que la réalisation de câbles à la demande des clients).

I.7.2 Câbles de Hautes Tensions

1. En cuivre.

2. En aluminium
3. En almélec.
4. En alu acier.

I.7.3 Câbles Moyenne tension (MT) et haute tension (HT)

Avec isolation PR (polyéthylène réticulé-XLPE) est fabriquée par le GISB, selon les normes internationales, avec l'utilisation de compound PVC dans la fabrication des isolants.

Tableau I.2 Les instruments de laboratoire et leur utilisation (site 1 et 2)

Instruments	Essais
Machine de traction 100KN	Allongement du métal
Mili ohmmètre	mesurer la résistance électrique.
Balance	mesurer le poids
Four de fusion	Pour faire fondre le cuivre
Spectromètre	définit la composition chimique du cuivre
Viscosimètre	tester la viscosité de lubrifiant
Analyseur d'oxygène	analyser le taux d'oxygène dans le cuivre
Pénétrromètre	mesure utilisé pour établir la résistance de pointe
Testeur point de goutte	Pour la graisse
Densimètre	mesure de densité
Etuve électrique de 300°C	l'essai de vieillissement
Machine de traction 10 KN	Allongement de l'isolant
Etuve électrique de 250°C	allongement à chaud
Bain marie électrique T max=80°C	avant l'essai d'allongement à chaud
Refractomètre	% du lubrifiant dans l'eau
PH mètre	Mesurer le PH des lubrifiants
Thermomètre Laser	Mesurer la T°C

I.8 Description de la structure sociale

Avec un capital social de 102.400.000 DA, GISB emploie plus de 1000 employés. Fort d'une capacité de production importante (90 000 tonnes/an de cuivre, 40 000 tonnes/an d'alliage d'aluminium).

I.9 Normes

GISB a inscrit l'innovation au cœur de sa développement en améliorant la qualité et les performances des produits pour assurer la fiabilité à long terme, Tout en respectant un ensemble des normes internationales et nationales, telle que :

- **I.9.1 La Norme de la Commission Electrotechnique International(CEI)**

La norme IEC regroupe un ensemble de standards publiés par la commission électrotechnique international (international electrotechnical commision), une organisation internationale spécialisée dans l'élaboration de normes pour les équipements électriques, électroniques et les technologies connexes.

- **I.9.2 La norme Electrique Nf**

La norme NF est une norme française utilisée pour garantir la qualité des produits et des services. Elle est encadrée par l'AFNOR (association Française de normalisation), l'organisme national chargé de l'élaboration des normes en France [2].

- **I.9.3 La Norme UTE (Union technique de l'électricité)**

L'UTE est un organisme français spécialisé dans l'élaboration des normes électriques et techniques liées à l'industrie électrique et électronique. L'Union travaille à la mise en place de normes techniques visant à garantir la qualité et la sécurité des produits électriques ainsi que des systèmes associés.

- **I.9.4 Le Norme CENELEC (Comité Européen de Normalisation pour l'Electrotechnique)**

Le CENELEC est une organisation responsable de l'élaboration des normes européennes dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. Elle vise à assurer la compatibilité, la sécurité et la qualité des produits et systèmes sur le marché européen.

- **I.9.5 Norme BSI (British Standards Institution)**

Le BSI est l'organisme national de normalisation du Royaume-Uni. Il «élabore des normes visant à garantir la qualité et la sécurité dans divers domaines, y compris la norme ISO 9001, relative au système de management de la qualité.

- **I.9.6 Norme NE (Comité européen de normalisation)**

La norme NEest une norme européenne approuvée par la Comité Européen de Normalisation. Elle vise à garantir la qualité et la sécurité des produits et des services, à faciliter le commerce au sein de l'Union européenne, et à améliorer l'efficacité ainsi que la compatibilité entre les produits fabriqués dans différents pays européens.

I.10 Conclusion

A travers la présentation générale de l'entreprise GISB, on peut en conclure qu'il s'agit d'une société industrielle spécialisée dans la production de fils et câbles électriques.

Elle allie savoir-faire technique et diversité de produits pour répondre aux besoins de plusieurs secteurs. Son activité reflète une dynamique industrielle locale fondée sur la qualité et le développement continu dans le domaine de l'électricité et de l'énergie.

Chapitre II : La fabrication des câbles

II.1 Introduction

Dans un monde de plus en plus interconnecté et dépend de l'énergie, les câbles jouent un rôle fondamental dans la transmission d'électricité et des données, ils sont omniprésents dans notre quotidien ce dépend peu de personnes se rende compte de la complexité du processus de fabrication qui transforme des matières premières en produit fini.

Ce chapitre explore le cycle de fabrication des câbles, nous examinerons les matériaux utilisés, les étapes de fabrication ainsi que le contrôle de qualité.

L'entreprise GISB se divise en deux sites :

II.2 site 02

Le 2ème site de l'usine est consacré à la production des conducteurs qui sont le cœur des câbles, responsables à la conduction de l'électricité, les matériaux utilisés sont l'aluminium, le cuivre et l'almelec.

II.2.1 Matières premières

II.2.1.a. Le cuivre

Le cuivre (Cu) est le métal le plus utilisé pour la fabrication des conducteurs électriques en raison de sa très grande conductivité environ 58Ms /m et sa résistivité très faible $1,68 \cdot 10^{-8} \omega m$, ill. possède aussi une excellente résistance thermique, une bonne résistance mécanique et une forte résistance à la corrosion, ce pendant le cuivre est un métal lourd (densité 8,9g /cm³) et couteux il est utilisé pour les installations intérieures et électroniques.

II.2.1.b. L'aluminium

L'aluminium, bien que deux fois moins conducteur que le cuivre, est largement utilisé en raison de sa légèreté (densité de $2,7 \text{ g/cm}^3$) et de son faible coût. Sa résistivité est d'environ $2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Grâce à ces caractéristiques, il est particulièrement adapté aux câbles destinés aux réseaux électriques et aux longues distances, où le poids et l'économie de matériau jouent un rôle déterminant [3].

II.2.1.c. Almélec

L'Almélec est un alliage d'aluminium, de silicium et de magnésium, utilisé comme conducteur en raison de sa légèreté ($2,7 \text{ g/cm}^3$) et de sa résistance mécanique améliorée. Le silicium confère à l'alliage une meilleure résistance à la corrosion et une stabilité thermique accrue, tandis que le magnésium renforce sa tenue mécanique. Sa conductivité électrique est d'environ 35 MS/m , avec une résistivité de l'ordre de $3 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

Grâce à son excellente résistance aux agressions extérieures telles que l'humidité, les rayons UV et les variations de température, l'Almélec offre une longue durée de vie, même sans traitement de surface. Moins coûteux que le cuivre, mais plus performant que l'aluminium pur, il constitue un matériau idéal pour les lignes aériennes et les réseaux électriques en zones rurales.

II.2.2 Processus de fabrication

Dans l'entreprise les métaux conducteurs peuvent être obtenus par différents voies, ils sont soit importés sous formes de lingots ou bobines à partir des fournisseurs étrangers soit achetés lors d'enchères industrielles, soit encore récupérés en internes sous formes de déchets de production.

II.2.2.1.a Traitement des déchets métalliques et élaboration de matières premières

Dans le cas où la matière première provient de déchets métalliques (chutes d'Al, Cu) ces derniers sont d'abord collectés et triés puis compactés sous forme de blocs ou de carrés métalliques ces blocs sont envoyés au four de fusion ou ils sont chauffés jusqu'à leur point de fusion $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, de l'oxygène est insufflé dans le bain métallique afin d'éliminer les impuretés, une fois le métal fondu purifié il est dirigé vers la partie de moulage pour former des barres continues ou des tubes de formes cylindriques de diamètre 8mm, le lubrifiant est souvent appliqué à la surface pendant le moulage pour faciliter la manipulation, le refroidissement.

Lorsque la matière première est importée depuis les pays de golf, elle arrive directement en entreprise sous formes de lingots ou bobines prêtes à être utilisés pour les étapes qui suivent.



Figure II.1 : Matière première en cuivre



Figure II.2: Matière première en aluminium

II.2.2.1.b Tréfilage

Le tréfilage est une opération mécanique destinée pour réduire le diamètre d'un fil métallique par traction à travers une ou plusieurs filières en exploitant la plasticité du métal le

fil de départ appelé fil machine de diamètre 8mm est livrés en bottes et ensuite tréfilé sur des tréfileuses multi passes à chaque passage le fil est tiré par des cabestans et traverse des filières de diamètre décroissants l'ensemble des fils filières et cabestans est immergé dans un bain de lubrifiant et eau qui jouent un rôle de lubrifiant et d'échangeur thermique ce qui réduit le frottement ; garantit un bon état de surface et refroidit les machines et fils [3].

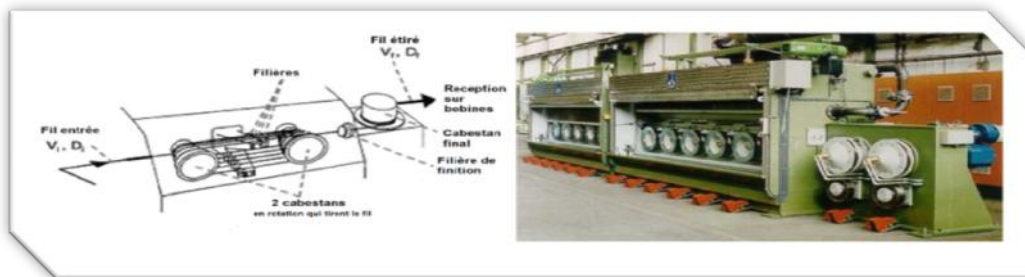


Figure II.3 : Machine de tréfilage

II.2.2.1.c Câblage

Le câblage est l'étape qui suit le tréfilage et qui consiste à regrouper plusieurs fils conducteurs pour former un seul toron cette opération permet d'obtenir un câble plus souple et plus résistant mécaniquement le câblage se fait à l'aide de machine appelées câbleuses qui enroulent les fils selon des directions opposées (pas Set pas Z) pour garantir un bon équilibre mécanique pour les conducteurs en Almélec une particularité importante est l'ajout de graisse entre chaque couche de fils.

Après cette étape les produits obtenus sont dans des états différents selon le matériau utilisé pour le cuivre et l'aluminium on obtient un produit Semi-fini, prêt pour les étapes suivantes de traitement et de finition en revanche pour l'Almélec le produit est déjà considéré comme fini et peut être directement destiné à la vente.



Figure II.4 : Processus câblage

II.2.3 Unité Traitement des eaux

Outre la production de conducteurs, l'usine accorde une attention particulière à la gestion des ressources naturelles, en particulier l'eau. L'unité principale, d'une capacité de 400 m³, alimente deux stations de traitement fonctionnant respectivement à des débits de 3 m³/h et 1 m³/h. L'eau traitée est ensuite stockée dans deux réservoirs (bâches) d'une capacité de 40 m³ chacun, assurant ainsi une gestion optimisée et durable de la ressource en eau.

Le traitement suit plusieurs étapes successives l'eau en provenance de bassin de récupération est tout d'abord envoyé vers une pompe qui assure son transfert vers les dispositifs de purification elle passe d'abord à travers un filtre à sable qui élimine les particules solides et les impuretés grossières puis à travers un filtre à charbon active destiné à retenir les matières organiques et éliminer les odeurs ensuite destiné au filtre à cartouches qui élimine les suspensions fines et au final elle subit un traitement à l'aide d'un osmose inverse pour se débarrasser des sels minéraux.

But

- Refroidissement des machines et câbles
- Nettoyage des équipements
- Préparation de lubrifiants
- L'alimentation des chaudières.

II.2.4 contrôle qualité

Dans le laboratoire plusieurs analyses sont réalisés afin de vérifier la conformité des conducteurs aux normes de qualité ces contrôles sont répartis en trois étapes en amont, pendant et en aval les essais sont effectués conformément aux exigences de la norme ISO 9001 version 2008, mais également selon des normes technique telles que EN 13602 ou EN 50395 [4].

II.2.5 Contrôle après fusion

- **II.2.5.a Analyse chimique par spectromètre**

- **Matériel utilisé :** spectromètre fondry master.
- **Mode opératoire :** un échantillon solide est désinfecté puis inséré dans le spectromètre Fondry master l'appareil utilise un faisceau lumière pour exciter les atomes du métal ce qui provoque l'émission de spectres caractéristiques pour chaque élément il capte les émissions lumineuses et les analyse pour déterminer les concentrations des éléments présentes dans l'échantillon. L'analyse a été faite pour un échantillon d'aluminium.

Tableau II.1. Composition chimique de l'alliage (en % massique)

Élément	%	Élément	%	Élément	%
Al	83,46	Ni	0,160	Sr	0,0011
Si	9,82	Ti	0,0668	V	0,0094
Fe	1,62	Be	0,0001	Na	0,00622
Cu	1,67	Ca	< 0,0005	Bi	0,0068
Mn	0,504	Li	0,0011	Zr	0,0122
Mg	0,905	Pb	0,0594	B	0,0042
Zn	1,60	Sn	0,03554	Ga	0,0084
Cr	0,0315	Cd	< 0,0020	Co	0,0051
		Ag	0,0041	Hg	< 0,0025
		In	< 0,003	Ce	0,0059
		La	0,0041		

- **II.2.5.b Analyse de taux d'oxygène**

- **Matériel utilisé :** analyseurs d'oxygène spécifique.
- **Mode opératoire :** un échantillon est placé dans l'appareil qui mesure la teneur en oxygène dissous dans le métal si le taux d'oxygène est trop élevé on effectue un dégazage par ajouts de matériaux riches en Carbone comme les troncs d'arbre.

II.2.6 contrôle après tréfilage

- **Examen visuel :** Inspection manuelle pour détecter la présence de fissures, rayures, ou traces d'oxydation sur la surface de fil.
- **Contrôle dimensionnel :** réalisé à l'aide d'un micromètre il permet de mesuré avec précision le diamètre du fil pour s'assurer qu'il reste conforme aux tolérances spécifiques.
- Résistance à la traction/allongement a la rupture.
- **Appareil utilisé :** appareil de traction JBA 10 KN.

- **Mode opératoire** : dans ce essai un contrôle est fait afin de déterminer 02 propriétés : la résistance a la traction en MPA et allongement a la rupture en pourcentage l'essai est réalisé à l'aide de la machine JBA10KN connecté à un ordinateur via logiciel connu l'échantillon est fixé entre deux mâchoires puis une force de traction est applique progressivement jusqu'à la rupture la résistance à la traction correspond à la contrainte maximale supporté avant la casse tandis que l'allongement représente la capacité du fil à se déformer avant sa rupture cette déformation intègre une phase élastique durant laquelle le matériau retrouve sa forme initial puis une phase plastique ou la déformation devient irréversible ces deux valeurs permettent d'évaluer à la fois la solidité et la ductilité du fil.

Tableau II.2. Caractéristiques mécaniques des conducteurs en cuivre

Section (mm ²)	diamètre de brin (mm)	Traction spécifique (MPa)	Traction mesuré (MPa)	Allongement Spécifique %	Allongement mesuré %
185 CUIVRE COMPACT	2,55	≥200	262	≥30%	34%
35 CUIVRE ROND	2,35	≥200	256	≥30%	32%
1,5 CUIVRE SOUPLE	0,25	≥200	311	≥20%	24,5%

II.2.7 Contrôle après câblage

- **Examen visuel** : l'ingénieur examine la surface du câble pour assurer que la surface est bien lisse, sans fissure, ruptures, ni défauts d'alignement des brins.
- **Résistance électrique**
 - **Appareil utilisé** : milli ohmmètre MGR10.
 - **Mode opératoire** : un échantillon de câble de 1mètre est prélevé est connecté au milli ohmmètre a ses deux extrémités l'appareil fait circuler un courant électrique et mesure la

résistance électrique en milliohms et le poids qui va nous permettre de calculer la résistivité et la conductivité

Tableau II.3 Caractéristiques électriques et mécaniques des conducteurs

Conducteur	Section (mm ²)	Résistance spécifique (Ω/km)	Résistance mesurée (Ω/km)	Poids spécifique (kg/km)	Poids mesuré (kg/km)
Cuivre rond	48	0,4335	0,368	438,2	433,9
Aluminium rond	16	1,91	1,89	40,85	40,50
Almélec rond (3 échantillons)	570	0,0585	0,0572	1576 / 78,08	1568 / 69,4
		0,0585	0,0564	1576 / 78,08	1571 : 68,3
		0,0585	0,0580	1576 / 78,08	1561 / 71,8

II.2.8 Contrôle qualité de lubrifiant et eau

- **Contrôle qualité eau** : des analyses de PH et conductivité sont faites pour les trois types d'eau : eau brute (avant le traitement), l'eau traitée (après filtration) et l'eau des rejets (évacuées).

- **Appareils utilisés** : PH mètre et conductimètre.

But

- Assurer la quantité de l'eau traitée.
- Eviter l'entartage ou la corrosion des équipements.
- Respecter les normes environnementales concernant les eaux de rejets.

Tableau II.4. Paramètres de qualité de l'eau (brute, traitée et rejet).

Type d'eau	PH	Conductivité (μS/cm)	Conductivité spécifique (μS/cm)
Eau brute	7,93	547	—
Eau traitée	7,12	112	50–300
Eau de rejet	7,48	1182	—

- **Contrôle qualité de lubrifiant** : deux analyses sont faites pour le lubrifiant le PH à l'aide d'un PH mètre et le taux de brix à l'aide d'un réfractomètre

Tableau II.5. Caractéristiques des machines – Taux de Brix et PH

Machine	Taux de Brix mesuré	Plage spécifique de Brix	pH mesuré
D13	7	6 – 10	8,92
Z17	5,7	4 – 6	9,04
SAMP	7	4 – 6	8,74
XT24	4	4 – 6	9,02

II.2.9 Machines utilisés (site 02)

Ce tableau regroupe les machines identifiées pour le site 02 selon leur fonction dans le processus de fabrication.

Tableau II.6. Correspondance entre machines de tréfilage et machines de câblage

Machine de tréfilage	Machine de câblage
D13	GT630 Rigide
D13 Double fils (Al)	Tubulaire 1
D13 Multi-moteur (Almélec)	Tubulaire 2
Z17	GT500
XT24	JLK19 / 37 / 61 (à confirmer)
SAMP	GT630 Souple

II.3 Site 01

Passant maintenant au site 01 ou notre semi-produit va poursuivre les étapes de revêtement.

II.3.1 Matières premières site 01

Le site 01 de l'entreprise est principalement dédié aux opérations de revêtement des conducteurs les matières premières utilisés se sont des polymères techniques tels que

PVC, XLPE, HFFR.

➤ **PVC** : poly chlorure de vinyle est un polymère thermoplastique obtenu par polymérisation de chlorure de vinyle ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) il se distingue par sa bonne résistance chimique et sa rigidité.

➤ **XLPE** : polyéthylène réticulé un polymère thermodurcissable issu de polyéthylène par réticulation généralement par irradiation cette réticulation crée un réseau tridimensionnel stable on améliorant la résistance mécanique et thermique.

➤ **HFFR** : halogène free flamme retardant désigne une famille de composant thermoplastique ces formulations limitent l'émission de fumée toxiques en cas d'incendie.

II.3.2 processus industriel

II.3.2.a Isolation

L'isolation est une étape essentielle qui consiste a recouvrir le conducteur avec une couche de matière isolante pour éviter tout contact électrique indésirable les polymères utilisés pour cette étape sont le PVC et XLPE cette application ce fait a l'aide d'une extrudeuse qui chauffe le polymère et le projeté uniformément sur le conducteur on distingue deux type d'isolation rigide et souple.

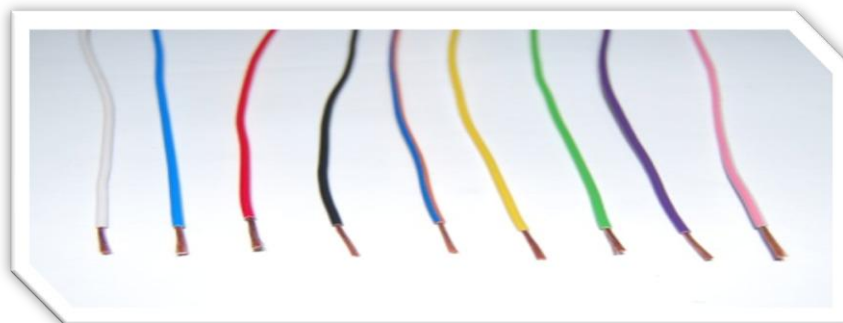


Figure II.5 : Schéma d'isolation

II.3.2.b Assemblage

Après l'isolation les fils conducteurs passent à l'étape de l'assemblage qui consiste à regrouper plusieurs fils isolés pour former un câble complet cette opération se fait dans des machines appelées toronneuses.

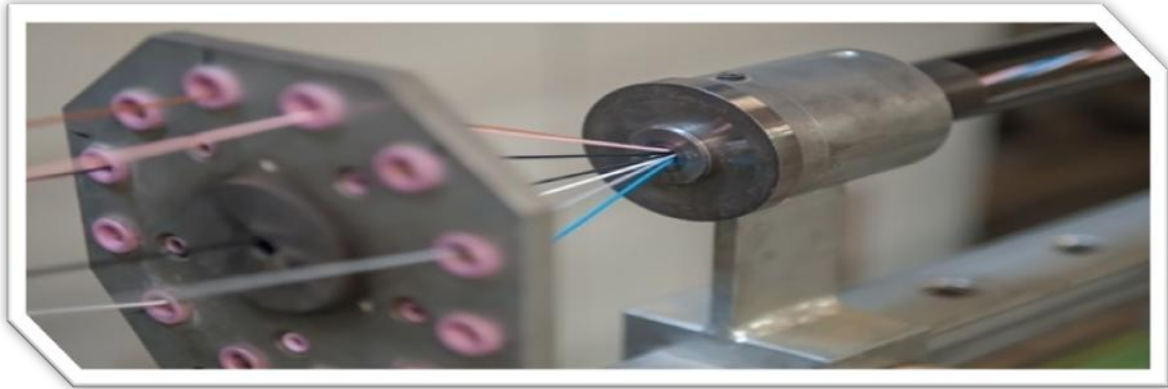


Figure II.6 : processus assemblage

II.3.2.c Bourrage

consiste à remplir les espaces vides entre les conducteurs d'un câble avec des polymères comme PE et PVC de couleur blanche afin de donner la forme ronde et uniforme à notre câble et de réduire les coûts et minimiser le poids en maintenant une bonne résistance mécanique et surtout d'éviter l'adhésion entre les couches cette opération se fait dans une machine à bourrer.



Figure II.7 : Bourrage/gainage

II.3.2.d Gainage

C'est l'étape finale de fabrication d'un câble qui consiste à appliquer une gaine protectrice de type PVC et HFFR dans une extrudeuse cette gaine sert à protéger le câble contre les agressions extérieures telles que l'humidité, UV, les produits chimiques, les incendies il existe une gaine souple en noir et blanc et une gaine rigide en noir.

II.3.2.e Marquage

Le marquage consiste à imprimer sur la couche extérieure du câble diverses informations techniques telles que le nom de l'entreprise, la section de câble, le type et la date de production cette opération est réalisée à l'aide d'une machine de marquage à jet d'encre.

II.3.2.f TEST électrique

Ce test consiste à appliquer une haute tension électrique sur le câble fini à l'aide d'un appareil appelé Sparks tester cet appareil envoie une tension (4000V) sur la surface du câble afin de détecter toute perforation, porosité ou discontinuité dans la couche isolante.

II.3.2.g Commercialisation

On obtient au final un produit fini dirigés vers la zone de conditionnement ils peuvent être enroulés en bobines ou tourets à l'aide des machines d'enroulages chaque unité est ensuite étiquetée, identifiée et inspectée une dernière fois pour assurer l'absence de défauts visibles enfin le produit est dirigés directement vers la distribution.

II.3.3 Contrôle qualité site 01

- **L'aspect du câble :** à l'œil nu.
- **La section :** on utilise un pied à coulisse on prend 06 valeurs différents puis on calcule la moyenne.
- **Densité :** à l'aide d'un densimètre on prend un échantillon sous forme de bille de PVC ou XLPE sur le densimètre on sélectionne le liquide de référence qui est l'éthanol on

pesé a sec l'échantillon dans l'air libre puis on immerge complètement l'échantillon dans l'éthanol le densimètre nous donne la densité de l'échantillon la mesure est répéter entre 02 à 03 fois.

- Allongement à la rupture.
- Résistance à la traction.

Tableau II.7. Machines utilisés au site 01

Poste	Machines
Isolation	GT0,35 – GT90,45 – GTI20,45
Assemblage	GT1250 – CGB1600 – CPD2600
Gainage	GT80,90 – GT50,150 – GT120,100

II.3.4 Organigramme de processus de fabrication

Le schéma ci-dessous synthétise les principales étapes du processus industriel au sein de câblerie depuis la réception de matière première jusqu'à l'expédition du produits finis.

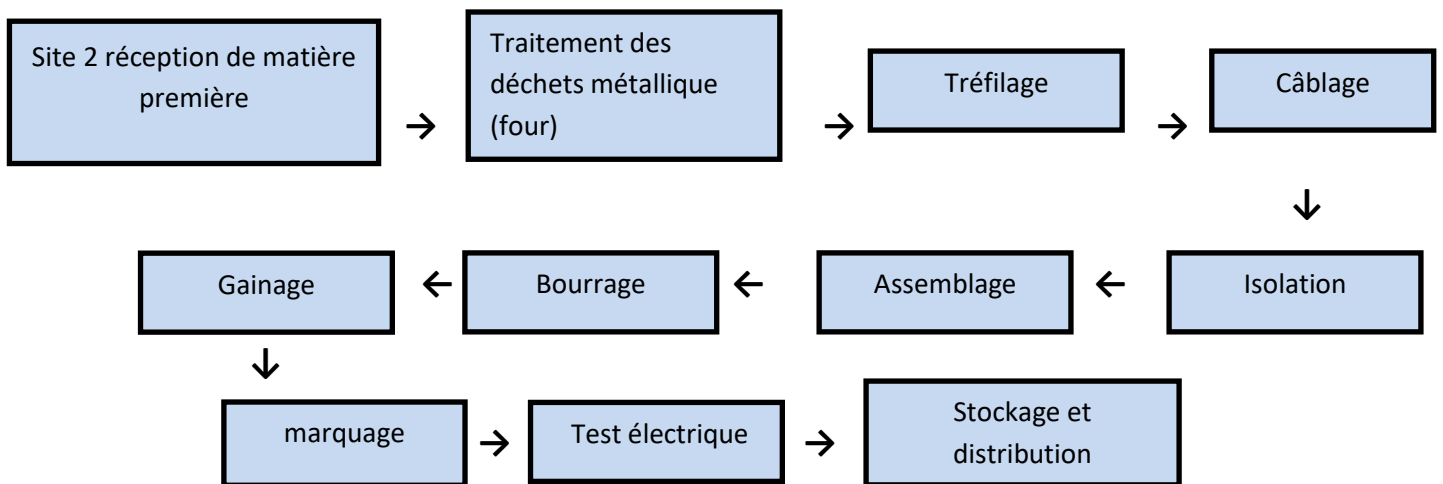


Tableau II.8. Critères et données techniques des conducteurs

Critère	Catégorie	Données techniques
Types de conducteurs	Cuivre	Très bon conducteur, lourd, température de fusion 1083 °C, utilisé pour des sections petites. Utilisation : câbles électriques haute performance, câble industriel, bâtiment.
	Aluminium	Moins conducteur que le cuivre, léger, température de fusion 660 °C, utilisé pour des sections grandes. Utilisation : lignes électriques aériennes, câbles de distribution.
	Almélec	Alliage aluminium-silicium-magnésium, forte résistance mécanique. Utilisation : conducteurs pour lignes haute tension et câbles aériens.
Nombre de conducteurs	Mono conducteur	Un seul conducteur (fil plein ou toronné).
	Multibrins	Plusieurs conducteurs regroupés dans un seul câble.
Souplesse	Rigide	Classe 1 ou 2 : fil plein, usage fixe et gros.
	Souple	Classe 5 ou 6 : plusieurs brins fins, usage mobile ou flexible.
Tension nominale	Basse tension (BT)	Jusqu'à 1000 V, câbles en cuivre et aluminium pour les habitations.
	Moyenne tension (MT)	De 1 kV à 50 kV, câbles en aluminium pour usines et quartiers.
	Haute tension (HT)	> 50 kV, câbles en aluminium et Almélec pour transport d'énergie régionale et nationale.
Forme	Rond	Section circulaire classique.
	Torsadé	Conducteurs enroulés.
	Assemblé	Conducteurs regroupés en plusieurs âmes sous une même gaine.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'ensemble du processus de fabrication des câbles électriques, depuis la réception et la préparation de matières premières au site 02 jusqu'à l'isolation bourrage et gainage au site 01, nous avons également vu l'importance de contrôle qualité pour avoir un produit final conforme et répond aux exigences du marché.

**Chapitre III : La
composition et les
caractéristiques de
graisses employées au
GISB**

III.1 Introduction

Dans l'industrie des câbles électriques chaque composants aussi discret soit-il joue un rôle essentiel dans la qualité et durabilité du produit fini parmi ces composants la graisse à un rôle fondamental dans la performance et la longévité des câbles.

Au cours de ce chapitre nous analyserons la composition, les caractéristiques de graisses employés au GISB ainsi que leur rôle et inconvénients [4-5].

III.2 Composition de graisse

Les graisses utilisées sont généralement composée de trois éléments principaux :

- **Huile de basse (lubrifiant) :** constitue élément principal d'une graisse représentant généralement 70-90% de la composition totale c'est elle qui détermine en grande partie les propriétés lubrifiants du produit fini elle peut être minérale (issu de raffinage du pétrole) ou synthétique (comme les polyalphaoléfines, esters etc.).
- **L'épaississant (savon métallique) :** aussi appelé agent gélifiant confère à la graisse sa consistance geleuse (semi-solide) il représente 05 à 15 % de la composition générale, parmi les savons métalliques utilisés lithium calcium le rôle de l'épaississant est de :
 - Maintenir l'huile de basse en suspension en fixant sur ces pores l'huile qui va éviter l'écoulement.
 - Assurer la cohésion de la graisse et améliorer la tenue mécanique.
- **Les additifs :** ils représentent généralement environ 01 à 10% de la formulation ils sont intégrés en faibles quantités mais avec un effet majeur sur les propriétés globales de la graisse (antioxydants, agents anti usure, inhibiteurs de corrosion).

III.3 Types de graisse

La lubrification des conducteurs repose principalement sur l'utilisation de la graisse lubrifiantes dont la composition chimique et les propriétés physico-chimiques conditionnent leur efficacité, deux grandes catégories de graisses sont distinguées selon la nature de leur huile de base : les graisses minérales et les graisses synthétiques.

III.3.1 Graisse minérale

Les graisses minérales sont élaborées à partir d'huiles issues du raffinage du pétrole brut ces huiles sont constituées principalement d'hydrocarbures saturés (paraffines) et aromatiques pour obtenir la consistance souhaitée ces huiles sont épaissies par des savons métalliques de lithium, de calcium ou un complexe de lithium-calcium [6].

- **Caractéristique technique**
 - **Température de fonctionnement** : de -20°C à 120°C.
 - **Température de goutte** : entre 180°C - 200°C.
 - **Compatibilité chimique** : bonne compatibilité avec les métaux, peuvent présenter des interactions avec certains polymères (PVC, PE) en provoquant une migration de plastifiants ou un ramollissement à long terme.
 - **Stabilité à l'oxydation** : faible à moyenne la graisse peut s'oxyder plus rapidement en présence d'humidité.
- **Avantages**
 - Coût économique ce qui en fait une solution rentable pour des applications standard ou à faible exigence thermique.
 - Disponibilité élevée.

- Bonne adhérence sur les surfaces métalliques assurant une lubrification efficace.

- **Inconvénients**

- Stabilité thermique limitée avec une dégradation possible au-delà de 120 °C.
- Résistance modérée à humidité et aux agents chimiques.

- **Utilisation**

La graisse minérale est surtout utilisée pour des câbles de basses et moyennes tensions, câble industriel standard.

III.3.2 Graisse synthétique

Les graisses synthétiques sont formulées à partir d'huile de bases synthétiques telles que les polyalphaoléfinés (PAO), les esters synthétiques et les silicones plus un épaississant complexe de lithium calcium [7].

- **Caractéristique technique**

- **Température de fonctionnement** : -50°C à 200°C.
- **Température de goutte** : entre 220°C à 260°C.
- **Compatibilité chimique** : excellent, ces graisses ne réagissent pas avec les polymères (XLPE, PVC, Caoutchouc).
- Stabilité à l'oxydation très élevée adaptée aux environnements humides, acides ou salins.

- **Avantages**

- Pouvoir lubrifiant élevé avec une bonne pénétration dans l'âme du câble.
- Excellente résistance thermique et chimique avec une meilleure compatibilité.

- **Inconvénients**

- Coûts élevés.
- Nécessite un contrôle qualité strict à l'application.

- **Utilisation**

Les graisses synthétiques sont utilisées pour des câbles de haute tension, des câbles marins ou enterrés.

III.4 Procédés d'application de la graisse

Dans le processus de fabrication des câbles la graisse est appliqué progressivement entre les différentes couches d'assemblage des conducteurs le procédé de câblage se fait d'une manière séquentielle on commence par un fil centrale, puis les fils sont ajoutés en couches successives (6, 12, 18, 24) la graisse est appliqué après chaque étape de câblage intermédiaire a l'exception de la première et de la dernière (câble final)[8].

A chaque transition les torons passent dans un bac de graisse voici les principales étapes du procédé.

- **Bac à graisse :** le toron en formation traverse un bac rempli de graisse, en entrant dans le bac les fils sont entièrement enrobés.
- **Raclage et dosage :** un système de raclage (buse calibré) est placé à la sortie du bac pour éliminer l'excédent de graisse ce contrôle évite un sur graisse qui pourrait gêner les étapes suivantes.
- **Contrôle visuel et manuel :** à chaque passage les opérateurs vérifient la bonne répartition de graisse sur le câble et effectuent des ajustements si nécessaire.

III.5 Types de câbles nécessitant l'utilisation de graisse

Dans l'entreprise GISB la graisse est strictement réservée aux câbles en Almélec qu'ils soient constitués uniquement d'almélec ou qu'ils comportent une âme en acier l'inverse les câbles en cuivre ou aluminium ne reçoivent pas de traitement à la graisse mais sont protégés par des revêtements spécifiques ce choix industriel s'explique principalement par la nature d'usage des câbles et leurs propriétés physiques.

L'Almélec plus rigide et moins ductile que le cuivre ou l'aluminium nécessite une lubrification interne pour limiter les frottements entre fils.

Les câbles en cuivre ou en Aluminium souvent utilisés pour d'autres applications sont plus sensibles aux contraintes environnementales et nécessitent un revêtement isolant ou protecteur qui offre une barrière externe contre l'humidité et la corrosion [9].

Tableau III.1 Câbles nécessitants la graisse

Câble	Section (mm ²)	Composition	Application de graisse
1	570	100 % Almélec	Entre les fils
2	116	Âme en acier + 2 couches Almélec	Entre l'acier et l'aluminium
OPGW	—	Almélec + acier + fibres optiques (verre)	Entre les conducteurs et les fibres
3	93	Almélec	Entre les fils
4	117	Almélec	Entre les fils

III.6 Rôle de graisse

- **Réduction de la friction** : elle lubrifie les fils et torons à l'intérieur du câble limitant le frottement métal sur métal ce qui réduit l'usure et la fatigue des câbles lors de leurs flexion et manipulation.

• **Protection contre la corrosion** : la graisse agit comme une barrière hydrophobe empêchant l'eau ou l'humidité de s'infiltrer entre les couches du câble qui empêche l'humidité et les contaminants d'attaquer les fils métalliques prolongeant ainsi la durée de vie des câbles.

• **Réduction des vibrations et du bruit**: en remplissant les interstices entre les fils la graisse absorbe une partie des vibrations mécaniques induites par les vents ou les variations de charges limitant ainsi le bruit et la fatigue mécanique.

• **Stabilité thermique et chimiques** : la graisse assure une excellente stabilité thermique et chimique grâce à sa formulation spécifique elle protège les fils contre l'oxydation en empêchant l'oxygène d'atteindre les surfaces métalliques tout en contenant des antioxydants qui ralentissent sa propre dégradation , des stabilisants UV intégrés permettent de résister au rayonnement UV évitant le durcissement ou l'évaporation de la graisse en extérieur enfin elle résiste à l'eau , aux sels aux pluies acides et aux agents chimiques agressifs [10].



Figure III.1 : application de la graisse sur un fil d'aluméc

III.7 Analyses de graisses

Dans le cadre de contrôle qualité des graisses après leurs importation deux analyses fondamentales sont réalisés l'analyse du point de goutte et l'analyse de pénétration ces essais permettent d'évaluer respectivement la résistance thermique et la consistance de graisse deux propriétés essentielle pour garantir son efficacité en service, ces analyses suivent les normes internationaux ISO 2176, ISO2137 et EN50326.

➤ III.7.1 Point de goutte

Le point de goutte d'une graisse est la température à laquelle elle passe de l'état semi-solide à l'état liquide sous l'effet de chaleur, c'est un critère fondamental pour évaluer la stabilité thermique d'une graisse il indique jusqu'à quelle température la graisse peut être utilisé sans se liquéfier et perdre ses propriétés lubrifiantes.

- **Normes**

L'essai est effectué conformément à deux normes principales :

- **ISO 2176** : est une norme internationale publiée par l'organisation internationale de normalisation ISO qui décrit une méthode standardisée pour déterminer le point de goutte des graisses.
- **EN 50326** : norme européenne qui spécifie les méthodes d'essai applicable aux graisses et décrit de manière détaillée les procédures d'essai de point de goutte et pénétration.

- **Matériels utilisés**

- Appareil de point de goutte (avec spirales chauffantes et tubes en verre).
- Godet métallique ou tube capillaire pour échantillon.
- Thermomètres ou sonde thermique intégrée.

- Graisse à analyser.
- Spatule ou seringue (pour déposer l'échantillon).
- Gants, lunettes de sécurité, blouse.
- **Mode opératoire**
 - Préparation de l'échantillon :
 - 1- Nettoyer le godet ou capillaire métallique.
 - 2- Remplir soigneusement le godet avec la graisse à tester (éviter les bulles d'air).
 - 3- Nivelier le dessus pour qu'il soit plat.
 - 4- Placer le godet dans la position prévue dans le tube en verre de l'appareil.
 - Mise en marche de l'appareil :
 - 1- Mettre l'appareil sous tension avec le bouton marche/arrêt.
 - 2- Régler le potentiomètre de température à niveau bas pour commencer.
 - 3- Observer le chauffage progressif via les spirales visibles dans les tubes en verre.



Figure III.2 : point de goutte

- **Observation**

L'ors de l'application de la température une goutte va se former sur la sortie du dispositif la température est lu directement sur le thermomètre lorsque la goutte tombe.

- **Interprétation de résultats**

Pour évaluer si une graisse est conforme on compare ce résultat aux valeurs de référence fournis par le fabricant ou spécifie dans la fiche technique du produit sachant que l'entreprise exige une température ≥ 110 °C si la température est inférieur à ce seuil cela indique une non-conformité.

➤ **III.7.2 Essai de pénétration**

- L'essai est un test normalisé permettant d'évaluer la consistance d'une graisse il mesure la profondeur à laquelle un cône standard pénètre dans un échantillon de graisse sous l'effet de son propre poids pendant une durée déterminer.

- L'essai est essentiel pour déterminer la texture de graisse c'est-à-dire si elle est trop fluide ou trop dure, une graisse trop fluide risque de ne pas s'écouler facilement et ne pas rester en place dans le mécanisme ce qui peut entrainer une perte de lubrification à l'inverse une graisse trop solide peut être difficile à s'étaler c'est pourquoi on cherche une graisse molle classer selon la norme NLGI (national lubricating grease Institute).

- **Normes**

➤ **ISO 2137:** norme internationale de normalisation cette norme spécifie la méthode d'essai de pénétration cette mesure permet de classer la graisse selon l'échelle NLGI.

- **Matériel utilisés**

Pénétrömètre automatique modèle DSHD-2801C composé :

- Un cône normalisé en acier inoxydable
- Un support vertical réglable avec lecture numérique.
- Un chronomètre intégré.
- Un bain d'eau réglé à la température ambiante.

- **Mode opératoire**

- Maintenir l'échantillon et l'appareillage à une température constante 25°C.
- Placer la graisse dans le récipient du malaxeur.
- Transférer la graisse travaillée dans le récipient de pénétrömètre.
- Lisser soigneusement la surface supérieure de la graisse.
- Positionner le plongeur conique à fin que sa pointe touche la surface de graisse.
- Mettre le cardan indicateur à zéro a cette position.
- Libérer le cône pour qu'il pénètre dans la graisse sous son propre poids.
- Lire la profondeur de pénétration après 5secondes exprimé en dixièmes de mm.

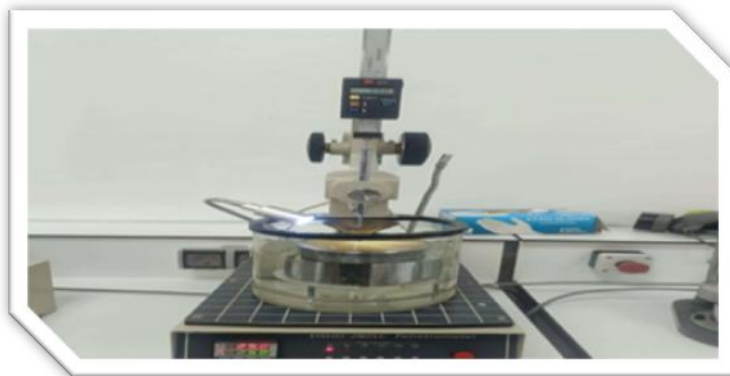


Figure III.3 : essai de pénétration des graisses à l'aide d'un pénétrömètre DSHD-2801

- **Interprétation de résultats**

La graisse utilisé pour les câbles électriques doit être une graisse molle classée NLGI2EP2, la classification NLGI (national lubricating grease Institute) repose sur la mesure de la graisse à 25°C selon un protocole standardisé la classe NLGI2 correspond à une plage de pénétration comprise entre 265-295 dixième de mm , soit 26,5-29,5 mm , le signe EP2 signifie que la graisse en plus de cette consistance moyenne , possède des additifs a hauts pression ce qui la rend adaptée aux applications soumises à des charges mécaniques élevés.

Tableau III.2 Évaluation de la consistance des graisses selon la valeur de pénétration

Valeur de pénétration (0,1 mm)	Conformité à NLGI 2EP2	Texture observée	Interprétation
280	Conforme	Molle et homogène	Bonne consistance, facile à appliquer, assure une lubrification efficace et reste en place.
310	Non conforme (trop fluide)	Très molle, semi-liquide	Risque de fuite hors des points de lubrification, séparation de l'huile et de l'épaississant.
250	Non conforme (trop dure)	Rigide, pâteuse	Difficulté à s'étaler, mauvaise lubrification, risque d'usure accrue, peut indiquer un durcissement.

- **Analyses comparative**

Une étude expérimentale à été réalisé en comparant deux échantillon identiques de câble en Almélec de section 579 mm² l'un graissé et l'autre non graissé afin d'évaluer l'effet de la graisse sur la performance électrique du conducteur.

- **Appareil utilisé**

Milli ohmmètre MGR10.

- **Mode opératoire**

Un échantillon de câble de 01 mètre est prélevé est connecté au milli ohmmètre a ses deux extrémités l'appareil fait circuler un courant électrique et mesure la résistance électrique en milliohms qui va nous permettre de calculer la résistivité et la conductivité.

Tableau III.3 Analyse de la consistance de graisses selon la valeur de pénétration

Echantillon	Diamètre mm	Résistance électrique (Ω/km)	Résistivité (nΩ.m)	Conductivité IACS %
Câble graissé	3.45	3.481	32.52	53
Câble non graissé	3.45	3.492	32.62	52.85

R = résistance (Ω/km);

$$\rho = R * \left(\frac{S}{L}\right)$$

S = section du conducteur (en m²) ;

$$\sigma = (17.241/\rho) * 100$$

σ = conductivité ;

$$S = 2 * \pi * r^2$$

L = longueur du conducteur (en m) ;

ρ = résistivité ;

r = rayon de câble mm.

- **Remarque :** l'analyse à montrer que la graisse n'a pas d'effet négatif sur les propriétés électriques de câbles donc elle diminue pas la performance électrique du câble et protège sans nuire à sa conductivité.

III.8 Effets de graisse sur un câble après utilisation

- **Stabilité dimensionnelle du câble :** après usage les câbles montrent moins de déformation due aux vibrations et des dilatations thermiques car la graisse agit comme un lubrifiant interne elle réduit le frottement entre les brins cela limite l'usure et les micro-déplacements ce qui maintient la forme et la structure du câble dans le temps.

- **Préservation de l'état de surface des brins :** la couche de graisse forme un film protecteur qui réduit les rayures et ralentit le vieillissement de surface métallique.

- **Maintien et flexibilité :** un câble rigide est difficile à manipuler grâce à sa lubrification la graisse réduit les résistances internes lors de mouvements du câbles cela évite que les brins se bloquent entre eux.

- **Température de fonctionnement plus stable :** les frottements internes entre les brins peuvent créer des échauffements localisés la graisse réduit ces frottements donc la production de chaleur par effet mécanique.

- **Conservations de propriétés électriques :** une altération de la surface ou une oxydation peut modifier les propriétés électriques de câbles, la graisse empêche cette dégradation en protégeant les brins elle n'est pas conductrice donc elle n'interfère pas avec le passage du courant.

III.9 Inconvénients de graisses

- **Accumulations de saletés et de poussière :** La graisse est collante par nature, elle attire les particules de poussière, les fibres métalliques et les impuretés présentes dans l'environnement industriel cela peut entraîner une pollution interne du câble.

- **Encrassement des équipements :** trop de graisse peut s'accumuler et bloquer les équipements donc ralentir le fonctionnement de machines ce qui nécessite un contrôle régulière et un nettoyage.

- **Impact environnemental :** la graisse usées si elle est jetés sans traitement peut : affecter les plantes en bloquant l'oxygénation du sol, s'infiltrer dans le sol et nuire à la microfaune, contaminée les nappes phréatiques si elle est jetée près d'un système d'évacuation.

- **Non biodégradabilité :** la plupart des graisses industriels sont à base d'huiles minérales ou synthétiques non biodégradables.

III.10 Perspectives

Suite à l'étude faite sur la graisse certains améliorations pourraient être envisagés afin d'optimiser l'utilisation de la graisse dans un câbles :

- **Développement de graisses écologiques :** rechercher des formulations plus respectueuses de l'environnement notamment biodégradables fin de limiter la pollution liée a l'élimination des graisses usées.

- **Optimisation de dosage automatique /contrôle:** mettre en place des systèmes plus précis de dosage automatique afin d'éviter les excès de graisses et intégrer des systèmes de contrôle permettent de suivre en continu l'état de la graisse dans un câble en détectant les pertes ou les défauts d'application.

- **Réutilisation ou valorisation** : la récupération et le traitement de graisse dans un objectif économique et écologique.
- **Valorisation de production locale** : encourager l'utilisation de graisses produites localement, notamment la graisse algérienne afin de réduire la dépendance aux importations.

III.11 Conclusion

Dans le domaine industriel, la graisse est souvent perçue comme un simple produit dans le processus de fabrication pourtant ce chapitre a montré qu'elle consiste un élément indispensable qui influence directement la qualité, la performance et la durabilité des câbles électriques ignorer son rôle ou le minimiser peut entraîner des conséquences techniques non négligeables.

En résumé la graisse ne doit pas être considérée comme un simple complément mais comme un véritable maillon de performance dans les chaînes de fabrication.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le domaine industriel, certains éléments techniques, bien que souvent perçus comme secondaires, jouent en réalité un rôle central dans la performance globale des produits finis. C'est le cas de la graisse dans la fabrication des câbles. Trop souvent sous-estimée, elle s'avère pourtant indispensable pour assurer la qualité, la fiabilité et la durabilité des conducteurs.

Ce mémoire a permis de mettre en lumière l'importance de considérer la graisse non comme un simple accessoire, mais comme un composant à part entière du système technique. Son impact, à la fois fonctionnel, économique et environnemental, mérite une attention particulière et des efforts constants d'optimisation.

Dans un contexte où l'industrie évolue vers plus de performance et de durabilité, il devient essentiel de valoriser ce type de produit. Des recherches supplémentaires, un encadrement normatif plus strict, et le développement de formulations locales adaptées pourraient renforcer encore davantage sa contribution à l'innovation industrielle.

Les références bibliographiques

- [1] FEHDI, S. Et ELBERRICHI, A. (2024). Etude de la production et de la qualité des câbles électriques commerciaux en cuivre. Mémoire de fin d'études, master2, Université d'ABDELHAMID Ibn Badis Mostaganem.
- [2] BELBEKOUCHE, K. ET BENKASSEMIA, S. (2025). Le recyclage des déchets de cuivre dans la réalisation du développement durable. Mémoire de fin d'étude, Institut national de formation professionnelle de Mostaganem.
- [3] SI BRAHIM, M.O. ET BRAHIMI, A. (2016). Automatisation d'une ligne d'extrusion et d'isolation Maille fer BM120-24D. Mémoire de fin d'étude, master2, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [4] FR.SHENWEI-CABLE.COM : le rôle des graisses sur les câbles métalliques : lubrification, protection anticorrosion, pénétration jusqu'à l'âme du câble.
- [5] SAMARO.FR : pourquoi la lubrification de câbles est si importante.
- [6] POLYWATER.COM : la science de la lubrification des câbles : mouillage, recouvrement et persistance.
- [7] LAPP.COM : propriétés chimiques des câbles et connecteurs résistants à l'huile.
- [8] Warrington, B.C. (2023). Electric Câbles Handbook (3^e éd). Wiley-Blackwell.
- [9] Dhameja, Sushil Kumar (2006). Power Câbles Technology. Khanna Publishers.
- [10] Campbell, A.M. (1956). Insulating Oils : Their Chemistry and Physics. MacLaren et Sons.