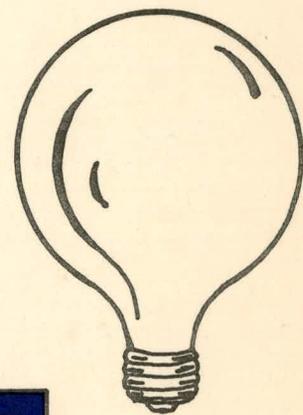
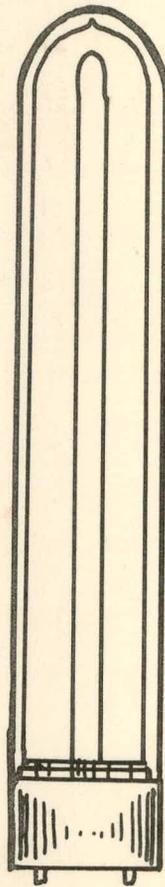
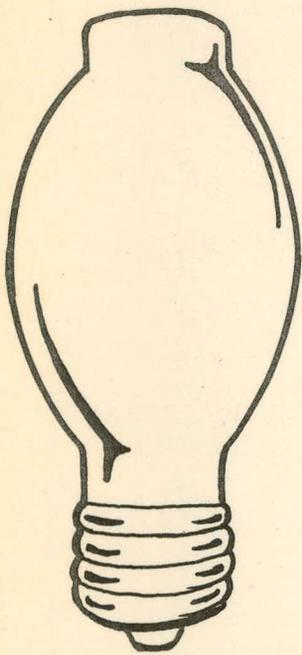


23c

# Cours de perfectionnement sur l'éclairage industriel



Préparé par :

Stéphane Beaudoin  
Stagiaire  
10 juillet 1984

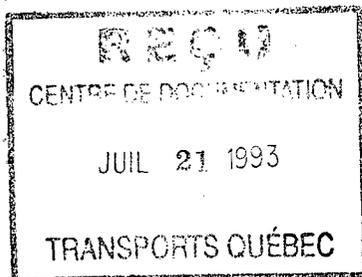
CANQ  
TR  
GE  
142



Ministère des transports  
Service signalisation  
Section électrotechnique

TABLE DES MATIERES

	PAGE
1. REFERENCES	I
2. LEXIQUE	II
3. PARTIE I	
1.1 L'ECLAIRAGE A L'ARC	1
1.2 L'ECLAIRAGE A INCANDESCENCE	4
1.3 LES TUBES A DECHARGE	
A) TUBES FLUORESCENTS	10
B) TUBES AU MERCURE	18
C) TUBES AU METALARC	22
D) TUBES AU SODIUM	25
1.4 COULEUR DES DIFFERENTES TYPES D'ECLAIRAGE	29
1.5 DUREE DE VIE DES LAMPES	32
1.6 EFFICACITE DES SYSTEMES D'ECLAIRAGE	35



QTRD  
CANQ  
TR  
GE  
142

## PARTIE II APPAREILLAGE AUXILIAIRE

2.1	CIRCUITS TYPES	38
2.2	FACTEUR DE PUISSANCE	40
2.3	FACTEUR DE CRETE	42
2.4	CONDENSATEURS	43
2.5	TRANSFORMATEUR	47
2.6	AUTOTRANSFORMATEUR	50
2.7	UTILITE DU BALLAST	51
1.	LAMPE FLUORESCENTE	52
2.	LAMPE AU MERCURE	53
3.	LAMPE AU METALARC	59
4.	LAMPE AU SODIUM	59

## PARTIE III LES TENSIONS D'ALIMENTATION

3.1	TRANSPORT DE L'ENERGIE	61
3.2	PARAFODRES	64

3.3	DISTRIBUTION DE L'ENERGIE	66
3.4	SYSTEME TRIPHASE	70
3.5	MISE A LA TERRE DES INSTALLA- TIONS ELECTRIQUES	72
3.6	APPAREILS DE MESURE	75
3.7	CABLES DE DISTRIBUTION	82

PARTIE IV PROTECTION DE CIRCUITS ELECTRIQUES

---

4.1	PUISSANCE EN MONOPHASE ET EN TRIPHASE	83
4.2	COURANT DE COURT-CIRCUIT	84
4.3	PROTECTION PAR FUSIBLES	85
4.4	DIFFERENCE ENTRE SIMPLE ET DOUBLE ELEMENTS	87
4.5	PROTECTION PAR DISJONCTEURS	89
4.6	COORDINATION DES NIVEAUX DE PROTECTION	91
4.7	ELIMINATEUR DE TENSION TRANSITOIRE	92

PLAN DU COURS

D'ECLAIRAGE POUR LES ELECTRICIENS

DU SERVICE ELECTROTECHNIQUE DU

MINISTERE DES TRANSPORTS

PARTIE I    LES SYSTEMES D'ECLAIRAGE

1.1 L'éclairage à l'arc

1.2 L'éclairage à incandescence

1.3 Les tubes à décharge

- a) tubes fluorescents
- b) tubes au mercure
- c) tubes au métalarc
- d) tubes au sodium (haute/basse pression)

1.4 Couleur des différents types d'éclairage

1.5 Durée de vie des différents systèmes d'éclairage

1.6 Efficacité des systèmes d'éclairage

## PARTIE II    APPAREILLAGE AUXILIAIRE

2.1 Circuits types

2.2 Facteur de puissance

2.3 Facteur de crête

2.4 Condensateurs

2.5 Transformateurs

2.6 Autotransformateurs

2.7 Utilité du ballast

a) lampe fluorescente

b) lampe au mercure

c) lampe au métalarc

d) lampe au sodium (haute/basse pression)

## PARTIE III    LES TENSIONS D'ALIMENTATION

3.1 Transport de l'énergie

3.2 Parafoudres

3.3 Distribution de l'énergie

3.4 Système triphasé

3.5 Mise à la terre des installations électriques

3.6 Appareils de mesure

- a) l'ampère
- b) la tension
- c) le cadre mobile (mouvement d'arsonval)
- d) l'ampèremètre
- e) le voltmètre
- f) T.D.R. (localiseur de défauts de câbles)
- g) le mégohmmètre
- h) localiseur de tuyaux et câbles souterrains

3.7 Câble de distribution

PARTIE IV    PROTECTION DES CIRCUITS ELECTRIQUES

- 4.1 Puissance en monophasé et en triphasé
- 4.2 Courant de court-circuit
- 4.3 Protection par fusibles
- 4.4 Différence entre simple et double élément
- 4.5 Protection par disjoncteurs
- 4.6 Coordination des niveaux de protection
- 4.7 Eliminateur de tension transitoire

## REFERENCES

1. Analyse des circuits, introduction à, ROBERT L. BOYLESTAT  
Editions du renouveau pédagogique Inc.
2. Breaker Basics-A Working Manual on Molded Case Circuit  
Breakers-Second Edition - Westinghouse.
3. Buss small dimension Fuses, Fuseholders and Accessories -  
Bussmann Manufacturing Division.
4. Buss Fuse Catalog -  
Bussmann Manufacturing Division.
5. Cartridge Fuses - A Compendium - Economy Fuse Division -  
Federal Pacific Electric Company.
6. Commercial Enclosed Fuse Co. -  
Gould Electric Fuse Division.
7. Documentation Technique - (Lampes - accessoires) -  
Allanson Manufacturing Company Limited.
8. Documentation Technique - (Lampes - accessoires) -  
Canadian General Electric Company Limited.
9. Documentation Technique - (Lampes - accessoires) -  
GTE Sylvania Canada Limitée.
10. Documentation Technique - (Lampes - accessoires) -  
Holophane.

/2...

11. Documentation Technique - (Lampes - accessoires) -  
Westinghouse Canada Limitée.
12. Electro - Technique - Théodore Wildi -  
Les Presses de l'Université Laval.
13. Illuminating Engineering Society of North America (IES) -  
Lighting Handbook - 1981 - Application Volume.
14. Illuminating Engineering Society of North America (IES) -  
Lighting Handbook - 1981 - Reference Volume.
15. Molded Case Circuit Breaker-Square D Company Canada Limited -  
November 1966.
16. Norme "Eclairage-Vocabulaire" - Bureau de normalisation du  
Québec - BNQ 4930-945.
17. Revue Internationale de l'éclairage - 1983 - numéro 2.
18. Sylvania Incandescent Lamp Rule.
19. Transformateurs - électricité Tome V - Ernest Boisvert -  
Service des cours par correspondance - Gouvernement du Québec.
20. Montages électriques - électricité Tome VI - A.Robert et  
L.G. Comeau - cours par correspondance - Gouvernement du Québec.
21. Courants alternatifs - Gaétan Martel - cours par correspondance -  
Gouvernement du Québec.

/3...

22. Electrical Engineers' Handbook - Pender et McIlwain -  
4<sup>e</sup> édition - Wiley Handbook Series.
23. Transient Voltage Suppression manual - General Electric.

## LEXIQUE

ARC INITIAL: Premier arc qui permet le départ de la réaction chimique dans le tube ou l'ampoule.

BILAME: Bande métallique double, formée de deux lames minces et étroites de métaux inégalement dilatables, sous l'effet de la chaleur. Cette disposition permet l'incurvation de la lame.

COEFFICIENT D'UTILISATION: Nombre de périodes durant lequel le système est en fonctionnement.

EMISSIF: Qui a la faculté d'émettre des particules, des électrons.

HYBRIDE: Construction qui compte deux systèmes distincts.

IMPEDANCE: C'est l'effet combiné de la résistance et de la réactance. C'est l'opposition totale au passage du courant alternatif.

IODURE: Qui est sous forme de cristaux (sels).

IONISATION: Production d'ions dans un gaz.

/2...

**NOMINALE:** Qui se définit comme étant la valeur théorique, la valeur nominale, de fonctionnement.

**QUARTZ:** Verre de construction très solide. Il peut résister à divers chocs thermiques et à différents dissolvants. Il est très dispendieux.

**TENSION D'AMORCAGE:** Tension nécessaire pour faire débiter la réaction chimique.

**THERMOIONIQUE:** Réaction qui se définit comme étant une émission d'électrons par un métal porté à une haute température.

**ULTRA VIOLETS (Rayons):** Radiations invisibles, émises par une source lumineuse, qui sont nocives pour l'oeil.

**VERRE DE BOROSILICATE:** Verre qui accepte les diverses variations de température.

**STROBOSCOPIQUE (Effets):** Clignotement rapide dans un système d'éclairage, qui devient rapidement irritable pour l'oeil.

COURS D'ECLAIRAGE POUR LES ELECTRICIENS

DU SERVICE ELECTROTECHNIQUE

DU MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC,  
le 10 juillet 1984

PREPARE PAR:  
Stéphane Beaudoin,  
stagiaire

PARTIE I

LES SYSTEMES D'ECLAIRAGE

## 1.1 L'éclairage à l'arc

Ce système fut le premier système commercial à être utilisé. Il est maintenant utilisé lorsque les besoins d'éclairage sont:

- nécessité d'une lumière claire et forte
- nécessité d'une forte intensité lumineuse
- lorsque les teintes lumineuses sont avantageuses.

Il existe trois (3) types de base dans l'éclairage à l'arc, soit:

- l'arc à basse intensité,
- l'arc à haute intensité,
- l'arc à flamme.

### L'ARC A BASSE INTENSITE:

Parmi les trois, c'est celui qui est le plus simple. Dans ce type, la source de lumière provient du bout de l'électrode. La température du bout peut atteindre jusqu'à (3700°C) due à la concentration des charges électriques près de celle-ci. Le gaz aux alentours est extrêmement chaud (6000°C) d'où il possède une très bonne conduction. (Notons que le point de fusion du fer est de 1550°C).

L'ARC A FLAMME:

Il est obtenu en agrandissant le noyau des électrodes dans l'arc à basse intensité et en remplaçant une partie du carbone par un composé chimique qui s'enflamme facilement. Ce composé détermine la couleur de la flamme. Les couleurs que nous pouvons obtenir sont: l'ultraviolet, le blanc, le jaune et le rouge (les composés sont le fer, le cérium, le calcium et le strontium).

L'ARC A HAUTE INTENSITE:

Il est obtenu par l'arc à flamme en augmentant la grosseur et le composé chimique contenu dans les électrodes. Ceci a pour effet d'augmenter la densité du courant, ce qui entraîne une évaporation rapide du composé chimique et du carbone des électrodes, d'où la formation d'un cratère. La principale source de lumière est la surface du cratère et la région gazeuse près des électrodes.

Lorsqu'on utilise du cérium comme composé, la radiation émise se situe dans le champ de vision normale et donne une luminance environ dix (10) fois plus grande que l'arc à basse intensité.

CONSTRUCTION:

L'éclairage à l'arc fonctionne dans des lanternes afin d'isoler l'extérieur, de radiations parasites. Les lanternes comportent divers éléments optiques tels des lentilles, réflecteurs et filtres afin d'éliminer les radiations parasites.

ALIMENTATION:

Les lampes utilisées pour la projection de films sont généralement opérées à l'aide de courant continu afin de prévenir l'effet stroboscopique (1) sur l'écran. On utilise un convertisseur ainsi qu'un redresseur de courant pour effectuer cette opération.

L'arc à flamme peut fonctionner à l'aide des deux tensions, soit le courant continu et le courant alternatif. Dans quelques cas, l'arc en courant alternatif fonctionne directement à l'aide de ligne de tension et dans d'autre cas, à l'aide de transformateur spécial.

L'arc à basse intensité peut être opéré avec des circuits contenant des ballasts (compris dans l'un ou l'autre des circuits redresseur ou convertisseur).

L'arc à haute intensité peut être opéré sans ballast. Une alimentation adéquate est disponible pour tous les systèmes d'éclairage à l'arc.

(1) voir lexique

## 1.2 L'éclairage à incandescence:

### HISTORIQUE:

La lampe à incandescence doit ses débuts à Thomas Alva Edison en 1879. La première ampoule était constituée d'un ruban de coton carbonisé dans lequel circulait un courant. Le ruban de coton carbonisé a duré environ 48 heures. Aujourd'hui, le ruban de coton carbonisé a été remplacé par un filament en tungstène.

### COMPOSANTES ET FABRICATION:

La lampe à incandescence est composée de:

- filament
  - fils conducteurs
  - support de filament
  - ampoule
  - culot
  - gaz inerte
- Voir schéma 1

SCHEMA 1**AMPOULE**

Ordinairement faite de verre tendre. Le verre dur sert toutefois pour certains types de lampes car il supporte des températures plus élevées et offre une meilleure résistance aux chocs thermiques causés par l'humidité. Les ampoules sont fabriquées en diverses formes et finis.

**GAZ**

Un mélange d'azote et d'argon constitue l'atmosphère de la plupart des lampes de 40 watts et plus afin de ralentir l'évaporation du filament.

**FILAMENT**

Le tungstène sert à la composition de la majorité des filaments. Il peut consister en un fil droit, en un fil spiralé ou bispiralé.

**SUPPORTS**

Fils de molybdène qui soutiennent le filament.

**FILS D'ENTRÉE DE COURANT**

Fabriqués en cuivre du culot au pincement puis nickelés jusqu'au filament, ils acheminent le courant au filament et inversement.

**BOUTON**

Formé par le chauffage et l'aplatissement du verre en cours de fabrication, il sert à maintenir les supports du filament.

**TIGE**

Tige de verre qui supporte le bouton.

**FILS-ATTACHES**

Fil de molybdène retenant les entrées de courant.

**DÉFLECTEUR DE CHALEUR**

Employé pour les lampes d'usage général de forte puissance et au besoin pour d'autres types de lampes il sert à diminuer la circulation des gaz chauds dans le col de l'ampoule.

**PINCEMENT**

Les entrées de courant qui à cet endroit se composent d'un alliage de nickel et de fer y sont hermétiquement scellées. Un manchon de cuivre (Dumet) les recouvre et leur assure à peu près le même coefficient de dilatation que le verre.

**FUSIBLE**

Protège la lampe et le circuit en interrompant le courant en cas de surintensité.

**QUEUSOT**

Tube de verre servant à vider l'ampoule de son air et à y introduire les gaz inertes. Par la suite, ce tube est scellé et coupé de manière à ce qu'il puisse être recouvert par le culot.

**CULOT**

Illustration d'un culot fileté. L'une des entrées de courant est soudée au contact central et l'autre au bord supérieur de la chemise du culot. Il peut être soit en cuivre ou soit en aluminium.

Figure 1. Lampe à incandescence typique

- Filament:

Il est constitué de tungstène. Le tungstène possède l'avantage de pouvoir fonctionner à des températures près de celle de son point de fusion, soit 3382°C, sans se dissoudre rapidement. En principe, le tungstène devrait donner un rendement lumineux de 52 lumens par watt, mais à cause des pertes, il n'est que de 36 lumens par watt. A cette étape, la durée de vie de la lampe est d'environ huit à dix heures.

- Fils conducteurs:

Un fil conducteur est constitué des trois parties soudées ensemble. Un fil conducteur typique se compose de nickel, cuivre et d'acier enduit de cuivre appelé "DUMET". (dérivé de duo-métal).

Le dumet se situe dans le pincement de la vitre. Le nickel se situe à l'intérieur de l'ampoule et est exposé au gaz inerte. Le cuivre est situé dans le culot.

- Support de filament:

Puisque les fils qui doivent supporter le filament atteignent une température très élevée, ils doivent être constitués d'un matériau ayant un très haut point de fusion. Les matériaux les plus utilisés sont le molybdène et le nickel. (Point de fusion 2610°C)

- Ampoule:

Le filament est enfermé dans une ampoule scellée, car il doit opérer dans le vide ou dans une atmosphère de gaz inerte pour éviter sa destruction rapide par oxydation. Il existe sur le marché, au-delà de 40 sortes différentes de verre. Le verre doit répondre à certaines caractéristiques comme:

- . un point de fusion élevé
- . l'uniformité de dilatation (due à la chaleur)
- . la résistance électrique
- . la couleur
- . la transparence ou l'opacité aux différentes teintes lumineuses

On peut obtenir de la manufacture quelques 300 formes et grosseurs différentes d'ampoules.

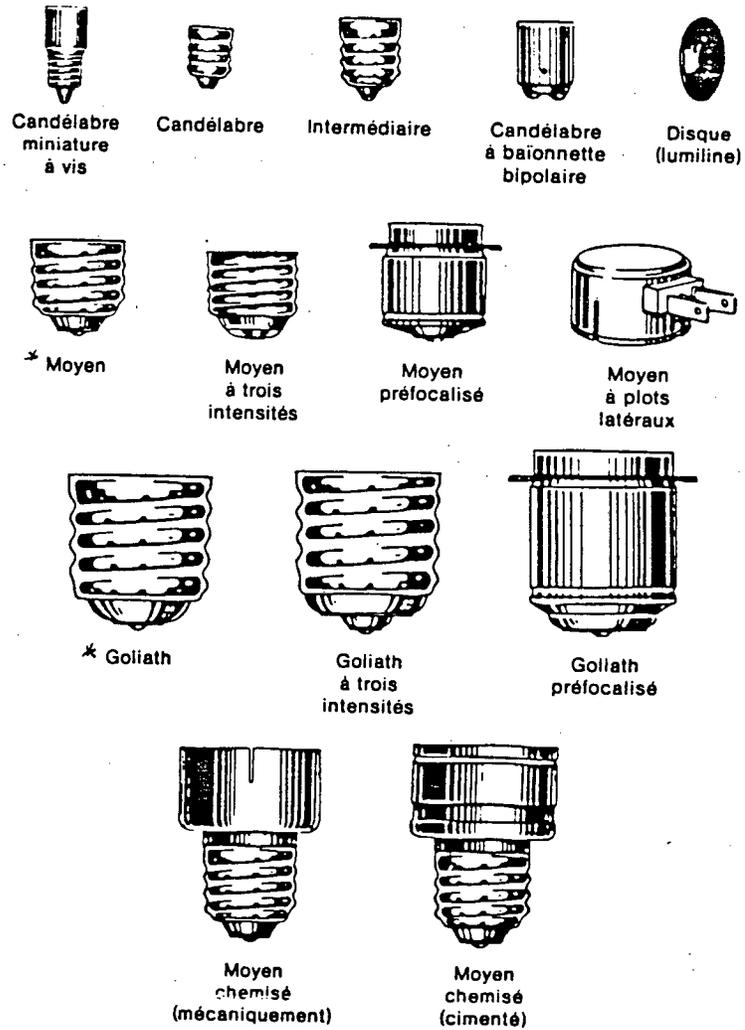
- Culot:

Le culot est la partie qui relie l'ampoule au circuit électrique. Le culot est fabriqué en aluminium en feuille et de cuivre jaune en feuille. On trouve sur le marché 30 sortes et formats différents. Des normes ont été adoptées pour faciliter leur adaptation avec les douilles correspondantes. Les normes ont été adoptées pour les types suivants: (voir schéma 1.1)

- . miniature
- . candélabre
- . intermédiaire
- . moyen\*
- . goliath\*

Les plus utilisés sont identifiés à l'aide d'un \*.

SCHEMA 1.1



- Gaz inerte:

Les gaz inertes utilisés dans la fabrication des ampoules sont les suivants:

- . hydrogène
- . azote
- . argon
- . néon
- . hélium
- . krypton

Les gaz inertes peuvent être définis comme: un gaz qui ne réagit pas lorsqu'il est en présence d'une réaction chimique.

Les lampes les plus populaires contiennent habituellement un mélange d'argon et d'azote. Le krypton est utilisé en petites quantités dans certaines lampes miniatures où la capacité limitée de la pile d'alimentation demande une efficacité maximale des lampes car il est dispendieux et relativement rare. L'hydrogène est utilisé surtout dans les lampes clignotantes où un refroidissement rapide du filament est requis.

### 1.3 Les tubes à décharge:

#### A) tubes fluorescents

##### HISTORIQUE:

Le principe de la lampe fluorescente était connu bien avant son utilisation. La première lampe fluorescente utilisable date de 1938.

##### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT:

Le fonctionnement d'une lampe fluorescente se résume comme suit; lorsqu'un courant circule à l'intérieur de la lampe, il se produit une décharge électrique dans la vapeur de mercure, il y a alors une production de rayons ultraviolets qui, en heurtant le phosphore (à la surface interne de la lampe), se convertit en lumière.

##### CONSTRUCTION D'UNE LAMPE FLUORESCENTE:

La construction d'une lampe fluorescente requiert les composants suivantes:

- ampoule
- phosphore
- électrodes
- culots
- gaz inerte

— Voir schéma 2

SCHEMA 2

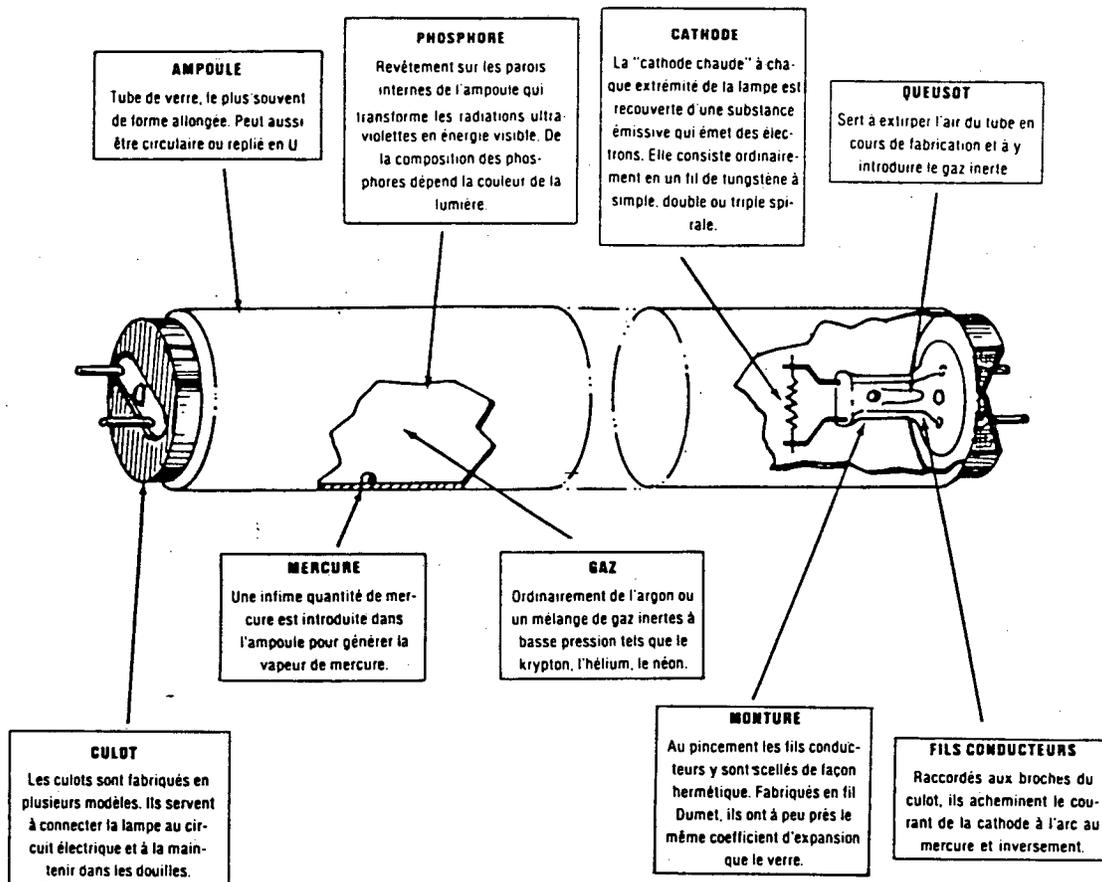


Figure 2. Composantes de base d'une lampe fluorescente typique à cathode chaude.

PHOSPHORE:

La lumière que produit une lampe fluorescente dépend de la composition chimique de la poudre de phosphore sur la paroi interne de la lampe. Il est possible d'obtenir plusieurs nuances de blanc aussi bien que les teintes de bleu, vert, doré, rose et rouge.

ELECTRODES:

Les électrodes d'une lampe fluorescente consistent en un fil de tungstène à simple, double ou à triple spirales enrobées d'un corps émissif. Ce corps émissif (1) est généralement constitué d'oxyde de barium, de strontium et de calcium. A sa température de fonctionnement, soit 950°C, le corps émissif libère des électrons. Cette émission d'électrons est appelée émission thermoionique (1) car la chaleur, beaucoup plus que la tension est en cause, d'où son nom "cathode chaude". A cause de ce système, la tension d'amorçage (1) est moins élevée pour amorcer l'arc.

CULOTS:

Les culots des lampes fluorescentes sont disponibles dans différents modèles. Les lampes à préchauffage et à amorçage rapide nécessitent quatre (4) contacts électriques. Pour les lampes de modèle courant, ils nécessitent des contacts bipolaires. Les lampes à amorçage instantané nécessitent qu'un seul contact.

(1) voir lexique

GAZ INERTE:

Dans la lampe fluorescente, il y a une petite quantité de mercure, puis il y a une addition d'un gaz inerte pour faciliter l'amorçage. Ces gaz sont:

- argon
- mélange de krypton et argon
- mélange de néon et argon
- néon
- mélange de xénon et argon

LAMPE A PRECHAUFFAGE:

Les premières lampes fluorescentes datent de 1938 et elles nécessitaient alors un démarreur indépendant. Le rôle du démarreur était de laisser circuler le courant dans les électrodes pendant plusieurs secondes, afin qu'elles soient suffisamment chauffées entre la mise en circuit et l'allumage des lampes. Les modèles les plus répandus sont ceux qui, le chauffage des électrodes accompli, coupent automatiquement le courant de préchauffage et produisent une impulsion de tension élevée qui fait amorcer l'arc.

Le démarreur manuel se retrouve, de nos jours, dans les lampes de bureau où l'amorçage est commandé par un bouton que l'on doit tenir enfoncé pendant quelques secondes.

Les lampes à préchauffage utilisent des culots bipolaires et viennent en puissances de 4 à 90 watts et sa longueur varie de 6 à 60 pouces.

LAMPES A AMORCAGE INSTANTANE:

Elles furent mises sur le marché en 1944 dans le but de remédier à l'allumage lent des lampes à préchauffage.

Ce genre de lampes fonctionnent sans démarreur, car le ballast fournit une tension suffisante pour amorcer l'arc instantanément. Sans démarreur, son entretien et le circuit d'éclairage est simplifié.

Elles utilisent un culot monopolaire car le chauffage des cathodes est éliminé.

Sa puissance est de 25 à 75 watts et sa longueur varie de 42 à 96 pouces.

LAMPE A AMORCAGE RAPIDE:

Datant de 1952, les lampes à amorçage rapide s'amorcent en douceur et avec rapidité sans l'aide d'un démarreur. Elles utilisent un ballast qui est plus efficace et plus petit que les modèles à amorçage instantané.

Le chauffage continu des cathodes, qui est assuré par une bobine de chauffage dans le ballast, permet d'obtenir une tension d'amorçage inférieure à celle demandée par les lampes à amorçage instantané de même format.

Elles viennent en puissance de 30 à 40 watts et en longueur de 36 et 48 pouces.

DEMARREURS:

La fonction du démarreur est de fermer le circuit d'allumage durant la période de chauffage des électrodes puis de l'ouvrir pour permettre l'allumage de la lampe. Il peut débrancher du circuit d'allumage une lampe qui ne veut pas s'allumer.

Les démarreurs sont, soit du type thermique ou soit du type à lueur. Le type à lueur est le plus utilisé.

LE DEMARREUR A LUEUR: (voir schéma 2.1)

Une petite lampe à lueur constitue le coeur de ce genre de démarreur. Ce démarreur est constitué de deux électrodes. L'une d'entre elle consiste en une broche rigide et l'autre en une lame bimétallique. Les électrodes sont dans un gaz inerte (néon, argon) et sont contenues dans une petite ampoule de verre. La tension appliquée à la lampe est du même coup appliquée au démarreur, d'où il y a une décharge à lueur ainsi que le passage d'un courant de faible intensité entre les électrodes.

Le passage du courant produit de la chaleur. Sous cet effet, la lame bimétallique entre en contact avec l'autre électrode, ce qui permet au courant de réchauffer les cathodes pendant une courte période. Lors du refroidissement, la lame bimétallique revient à sa position initiale, et par le fait même, ouvre le commutateur et provoque une impulsion de haute tension qui amorce la lampe.

LE DEMARREUR A LUEUR: (suite)

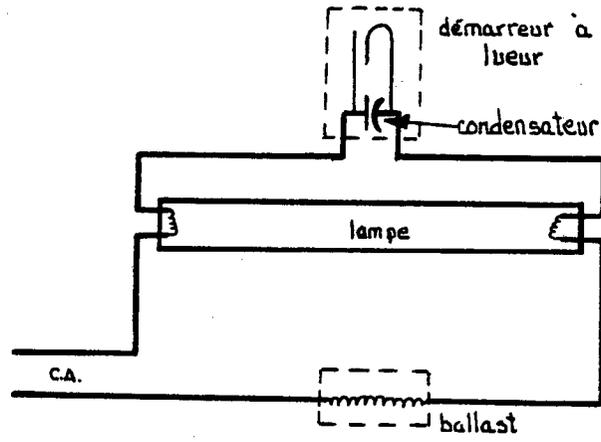
L'allumage réussi, la tension dans le circuit chute au point d'être insuffisante pour produire une nouvelle décharge. Il ne consomme alors aucune énergie et il est disponible pour réamorcer la lampe.

LE DEMARREUR A DISJONCTEUR THERMIQUE: (voir schéma 2.2)

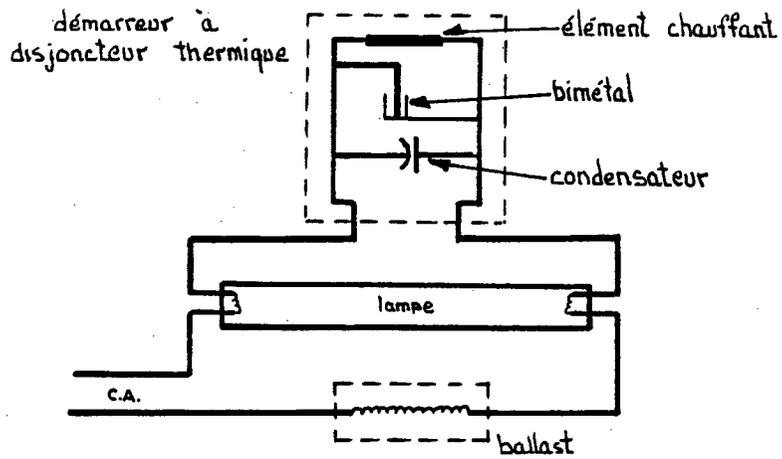
Un démarreur à disjoncteur thermique est composé de deux organes de base: soit un petit élément de chauffage et un bimétal. Quand un courant traverse le bimétal, sa température change et il se déplace. Le même effet est obtenu lorsque le bimétal subit l'action de l'élément de chauffage. La chaleur fait ouvrir le disjoncteur et la lampe s'allume.

Ce démarreur est recommandé pour le fonctionnement en courant continu et pour l'amorçage des lampes à de basses températures.

SCHEMA 2.1



SCHEMA 2.2



### 1.3 Les tubes à décharge:

#### B) tubes au mercure:

##### HISTORIQUE:

La première lampe à vapeur au mercure est née en 1901. Elle consistait à une source de forme tubulaire d'environ quatre pieds de long qui générait une lumière abondante bleu-verdâtre. Il fallut attendre jusqu'en 1934 pour connaître les lampes au mercure comme nous les connaissons aujourd'hui.

##### CONSTRUCTION:

Le tube à l'arc est le coeur d'une lampe à décharge. Ce type contient deux électrodes séparées par différents gaz inertes. Le tube est soutenu à l'intérieur de l'ampoule par une structure en fil métallique rigide.

La construction d'une lampe à décharge de haute intensité est composée de:

- culot
- supports robustes
- résistance de démarrage
- tube à arc
- électrodes à double enroulement
- enduit de matières phosphorescentes
- Ampoule en verre dur

— Voir schéma 3

SCHEMA 3

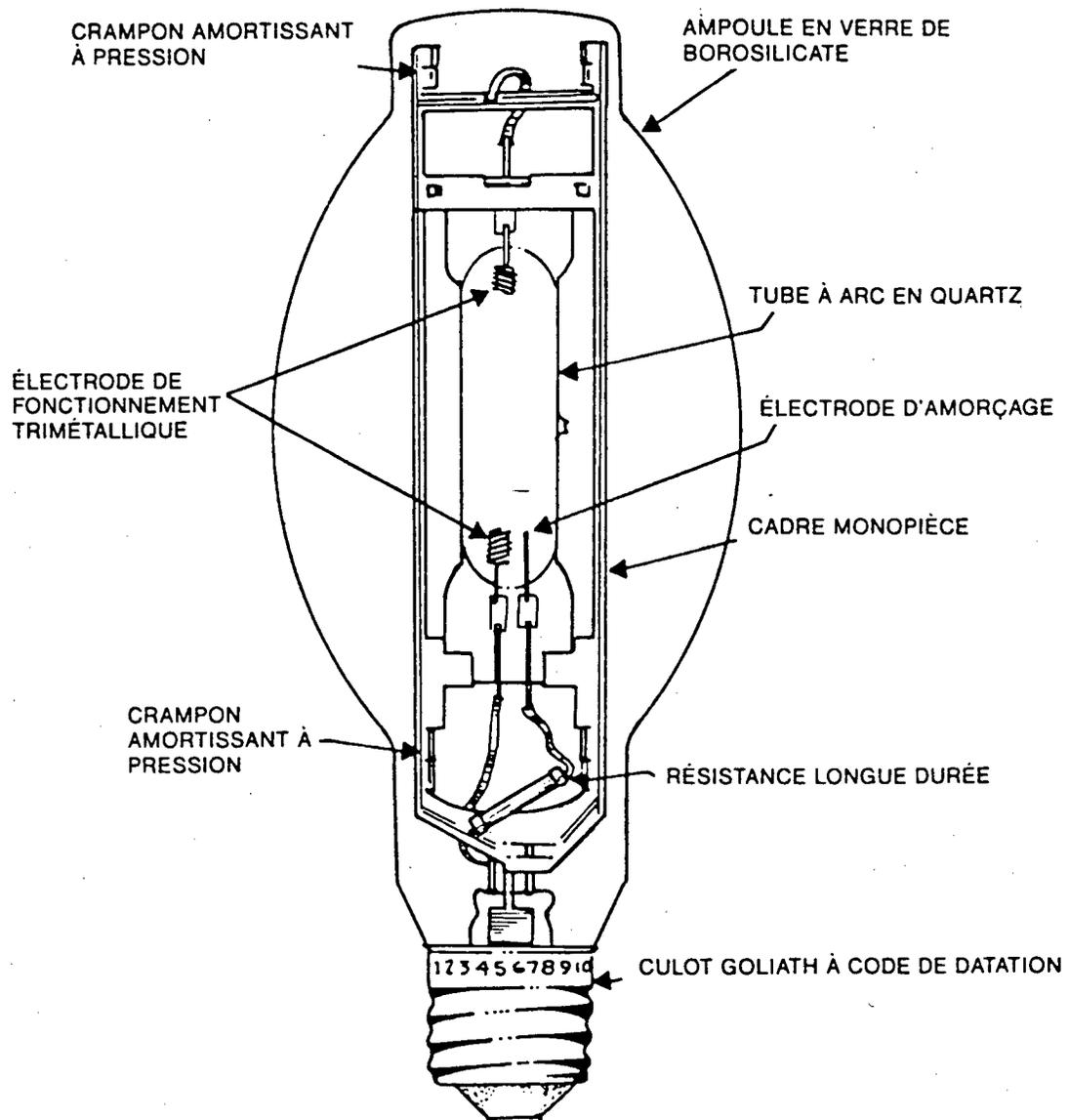


Figure 2. Composants de base d'une lampe à vapeur de mercure type.

CULOT:

Ce dernier doit être fixé solidement à la lampe à l'aide d'une pâte à culotter spéciale à base de silicone résistant à la chaleur.

SUPPORTS:

Les supports maintiennent le tube à arc au centre de l'ampoule.

RESISTANCE DE DEMARRAGE:

Elle sert au contrôle du courant de démarrage, et elle est conçue pour supporter des tensions élevées. Avec sa forme restreinte, elle peut être fixée de façon à résister aux chocs et aux vibrations.

TUBES A ARC:

Les tubes à arc sont généralement construits en quartz (1). Ils peuvent être construits également en alumine polycristalline.

Les vapeurs contenues à l'intérieur des tubes à arc sont constituées de mercure et d'argon. L'argon est nécessaire car l'arc initial (1) s'effectue dans celui-ci.

(1) voir lexique

ELECTRODES A DOUBLE ENROULEMENT:

Les électrodes sont fabriquées de deux boudins enroulés un sur l'autre. La matière émissive est emprisonnée entre les boudins, elle est ainsi protégée contre les secousses de l'arc.

A l'aide de cette mesure, on maintient le flux lumineux à son maximum jusqu'à la fin de sa durée de vie, car on réduit le noircissement du tube.

ENDUITS DE MATIERES PHOSPHORESCENTES:

Le phosphore que l'on enduit sur la paroi interne de l'ampoule permet d'accroître son flux lumineux, d'améliorer sa couleur et de diminuer sa brillance.

AMPOULES:

Elles sont construites en verre à base de borosilicate (1) qui résiste aux chocs thermiques, aux agents corrosifs, bloquent les rayons ultraviolets (1) émis par le tube à arc et assurent une protection pour la partie interne. Elles servent à conserver la chaleur de l'arc pour le maintenir en régime stable.

(1) voir lexique

### 1.3 Les tubes à décharge:

#### C) tubes au métalarc:

##### CONSTRUCTION: (voir schéma 4)

Le tube à arc d'une lampe métalarc est un peu plus petit que celui: d'une lampe au mercure. Il contient de l'argon, du mercure et les gaz suivants, soit:

- thorium
- sodium
- scandium

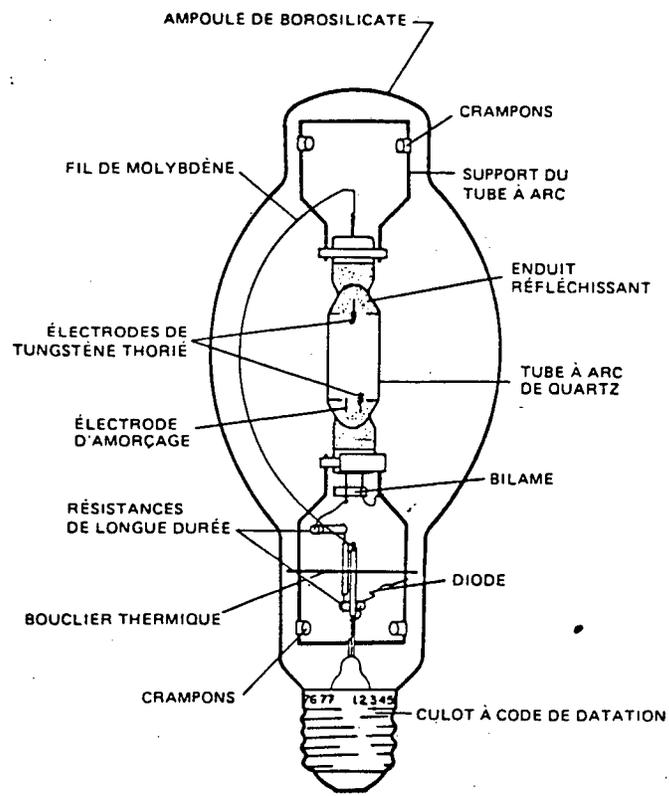
Qui sont sous forme d'iodures (1).

Le bon fonctionnement d'une lampe métalarc est dû au contrôle de la température aux extrémités du tube à arc. Pour obtenir ce résultat, les extrémités sont recouvertes d'un enduit réfléchissant la chaleur.

Pour protéger le tube à arc des chocs et des vibrations, on utilise des crampons qui sont fixés à même le support, ce qui lui assure une protection efficace. Afin de prévenir l'électrolyse du tube à arc au pincement, on utilise un bilame (1) pour établir un court-circuit entre l'électrode d'amorçage et l'électrode de fonctionnement, ce qui empêche le passage du courant. Une ampoule en verre à base de borosilicate protège les pièces internes et absorbe le rayonnement ultraviolet de l'arc.

(1) voir lexique

SCHEMA 4



FONCTIONNEMENT:

Dans une lampe métalarc, le point d'ébullition des iodures étant beaucoup plus élevé que la température aux parois du tube à arc, certains éléments resteront à l'état solide. Une lampe métalarc démarre suivant le même principe qu'une lampe au mercure, mais avec des caractéristiques de démarrage très différentes. Dès que la tension est appliquée, les iodures commencent à s'ioniser dans l'espace entre l'électrode d'amorçage et de fonctionnement. La tension doit être très élevée pour déclencher le processus d'ionisation (1).

Les avantages d'une lampe métalarc sur une lampe au mercure sont:

- continuité du spectre dans toute la région visible.
- son efficacité supérieure soit de 65% à 70% de plus.  
Elle atteint 100% pour les lampes super-métalarc.
- rend les couleurs avec fidélité.

(1) voir lexique

1.3 Les tubes à décharge:

D) tubes au sodium:

LAMPES AU SODIUM HAUTE PRESSION

HISTORIQUE:

Il a fallu une importante percée dans la technologie des matériaux avant de faire de la lampe au sodium haute pression, une source d'éclairage général pratique et de longue durée.

FONCTIONNEMENT: (voir schéma 5)

La réalisation d'une céramique à oxyde d'aluminium polycristalline a permis la conception de la première lampe au sodium d'usage pratique. La particularité de cette céramique est sa capacité de supporter les réactions chimiques du sodium ainsi que les hautes températures. Elle permet d'obtenir d'excellentes émissions de lumière.

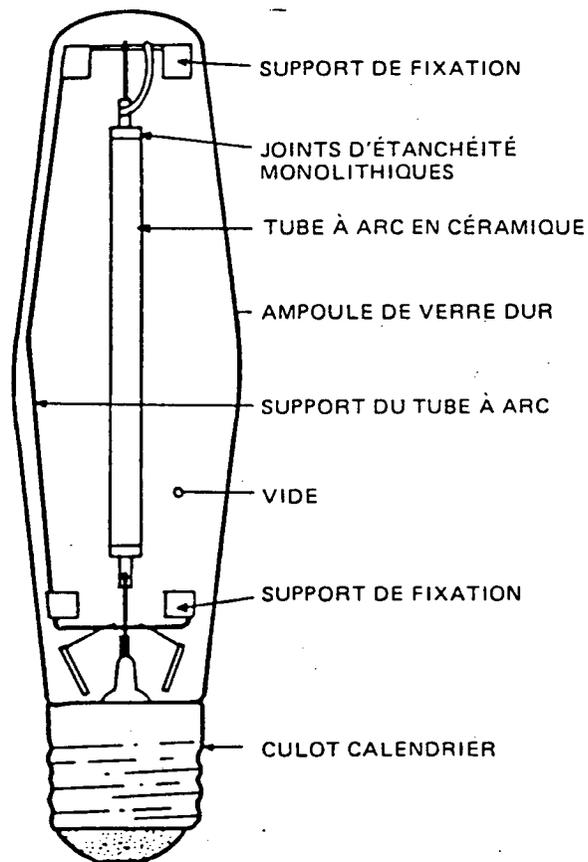
Une petite quantité de mercure est ajoutée au sodium afin de régulariser la tension et améliorer les propriétés affectant sa couleur.

Du xénon est aussi ajouté pour faciliter le démarrage de la lampe.

FONCTIONNEMENT: (suite)

La lampe exige de très fortes tensions pour s'amorcer, car aucune électrode d'amorçage n'est employée. Un amorceur électronique est employé de concert avec les composantes magnétiques du ballast pour répondre aux exigences nécessaires à l'allumage. L'amorceur distribue de brèves impulsions de haute tension pour ioniser le gaz et amorcer le cycle d'allumage.

SCHEMA 5



## LAMPES AU SODIUM BASSE PRESSION

### HISTORIQUE:

Le lancement de la lampe au sodium basse pression date de 1932. Son utilisation était surtout axée sur les besoins des automobilistes. Elle servait surtout pour l'éclairage des routes.

### FONCTIONNEMENT: (voir schéma 6)

Le gaz d'amorçage est constitué de néon avec de petites quantités d'argon, xénon et d'hélium. Pour maintenir la bonne température d'opération, le tube à arc est normalement enfermé dans une ampoule externe.

Quand nous allumons la lampe, elle passe du rouge pour devenir jaune à mesure que le sodium se vaporise.

Le tube à arc est, de nos jours, de forme U avec des électrodes scellées à ses extrémités.

Ce modèle assure une distribution uniforme du sodium dans le tube ainsi qu'un contrôle de la pression de vapeur du sodium.

SCHEMA 6

1932



60 lm/w



1958



85 lm/w



1965

1972



140 lm/w

180 lm/w

#### 1.4 Couleur des différents types d'éclairage:

Pour les systemes d'éclairage à l'arc, nous obtenons des données différentes pour chaque système.

##### ARC A BASSE INTENSITE:

Sa principale application est dans l'illumination des microscopes.  
Sa couleur d'utilisation est blanc-or. (3600°K comme température de couleur).

##### ARC A HAUTE INTENSITE:

Sa principale application se situe dans les projecteurs.  
Sa couleur d'utilisation est blanc (5500°K).

##### ARC A FLAMME:

Leurs principales applications se situent dans le domaine:

- photocopieuses
- croissance des plantes

Sa couleur varie de blanc-bleu à blanc (7420°K à 24000°K).

( °K= degré Kelvin)

(1°K= - 273°C)

Dans l'éclairage à incandescence, nous pouvons obtenir la majorité des teintes car les couleurs peuvent être modifiées à l'intérieur de l'ampoule.

Dans les tubes à décharge, nous trouvons:

les tubes fluorescents

Ils sont disponibles dans plusieurs teintes:

- (cool white) blanc froid (4100°K)
- (deluxe cool white) blanc froid de luxe (4200°K)
- (warm white) blanc chaud (3000°K)
- (deluxe warm white) blanc chaud de luxe (3000°K)
- (white) blanc (3500°K)
- (daylight) lumière du jour (6500°K)

Dans les lampes au mercure, nous pouvons obtenir les couleurs suivantes:

- clear mercury (5900°K) blanc
- phosphor coated (4000°K) blanc-or
- phosphor-coated (3600°K) blanc-or

Dans les lampes au métalarc, il faut attendre un vieillissement de 100 heures, car avant ce palier, la lampe ne s'est pas complètement stabilisée.

La couleur se situera entre 3600°K et 4400°K. (blanc-or)

Dans les lampes au sodium basse pression, la couleur obtenue sera jaunâtre.

Dans les lampes au sodium haute pression, la couleur sera jaunâtre.

### 1.5 Durée de vie des lampes:

La température de fonctionnement du filament contrôle la durée et le flux lumineux de la lampe. Plus la température s'élève, plus le flux augmente et la durée est alors diminuée. En pratique la durée nominale d'une lampe est établie suivant un compromis économique entre les facteurs, dépendant de l'usage pour lequel la lampe est destinée.

A l'aide des courbes typiques de durée de vie, nous savons qu'une lampe peut tomber morte dès sa mise en service ou elle peut dépasser le nombre d'heures fixées par la courbe de durée de vie.

La définition des manufacturiers est celle-ci: cette courbe est calculée sur un très grand nombre de lampes. La durée de vie moyenne nominale d'une lampe est le point où environ 50% des lampes sont encore en service.

#### LAMPES A INCANDESCENCE:

Dans le cas de lampes à projection, la durée de vie est d'environ 10 à 50 heures et tombe à 3 heures pour les lampes de studios photographiques.

Dans le cas d'éclairage de rues, une durée nominale de 3 000 à 6 000 heures est requise, car la main d'oeuvre pour remplacer une lampe grillée est très élevée.

LAMPES A INCANDESCENCE: (suite)

Dans le cas de l'éclairage domestique, une durée de 750 à 1 000 heures a été établie comme norme.

Dans certains cas, la durée de vie peut atteindre 2 500 heures.

Lorsqu'une lampe fonctionne sous une tension inférieure à celle recommandée par le manufacturier, sa durée de vie sera allongée.

EX.: Si une lampe spécifiée pour 120 V. fonctionne sur 110 V., sa durée de vie sera alors trois fois plus longue.

TUBES FLUORESCENTS:

La lampe fluorescente atteint la fin de sa durée de vie nominale au moment où la matière émissive sur l'une ou l'autre des électrodes devient insuffisante pour amorcer l'arc. En comparaison avec les lampes à incandescence, les lampes fluorescentes ont une durée de vie plus élevées, soit environ 25 000 heures.

LAMPES AU MERCURE:

Une des principales caractéristiques des lampes au mercure est leur longue durée de vie. La très grande majorité des lampes durent en moyenne au moins 24 000 heures.

La durée effective des lampes dépend, en partie, des conditions de fonctionnement, soit:

- température ambiante
- tension de secteur
- type du ballast.

Mais elle devient plus longue lorsque la lampe est utilisée en service ininterrompu.

LAMPES AU METALARC:

La courbe de durée de vie des lampes au métalarc diffère de celles des lampes à incandescence et des lampes fluorescentes, car elle ne chute pas soudainement. Pour des puissances équivalentes, les lampes au métalarc n'ont pas une durée de vie aussi longue que celle des lampes au mercure, soit de 7 500 à 15 000 heures.

LAMPES AU SODIUM:

Leur durée de vie comme celles des lampes au mercure et au métalarc dépend de la longueur du cycle de fonctionnement par allumage. Pour les lampes au sodium haute pression, on obtient une durée de vie moyenne jusqu'à 24 000 heures. Pour les lampes au sodium basse pression, la durée de vie se situe aux environs de 15 000 heures.

## 1.6 Efficacité des systèmes d'éclairage:

Le but principal d'une source lumineuse est de produire de la lumière, et l'efficacité avec laquelle une lampe s'acquitte de cette tâche s'exprime en lumens par watt (unité de puissance consommée).

Nous allons voir le progrès réalisé de ce côté, à l'aide des informations suivantes:

- une chandelle nous offre comme efficacité une valeur de 0.1 lumen par watt.
- une lampe à l'huile, l'efficacité est de 0.3 lumen par watt.
- la première lampe à incandescence (1879), on obtient 1.4 lumen par watt.
- lampe de 60 watts à filament de carbone (1905), 4.0 lumens par watt.
- lampe de 60 watts à filament de tungstène à double enroulement (1934), 14.0 lumens par watt.
- lampe ordinaire de 100 watts (1968), 23.0 lumens par watt.
- lampe no. 1 d'éclairage de studio de photographie, 34.6 lumens par watt.

LAMPES A INCANDESCENCE:

L'efficacité d'une lampe à incandescence peut varier entre 10 et 20 lumens par watt. On retrouve 85% lumens à 70% de vie.

LAMPES FLUORESCENTES:

Pour une lampe fluorescente, son efficacité varie entre 36 et 80 lumens par watt. On retrouve 90% lumens à 70% de vie pour le modèle régulier, 80% lumens à 70% de vie pour le modèle H.O., et 68% lumens à 70% de vie pour le modèle V.H.O. On peut constater que l'efficacité est affectée par la température (froid).

LAMPES AU MERCURE:

L'efficacité des lampes au mercure se situe aux alentours de 40 à 60 lumens par watt. On retrouve 80% lumens à 70% de vie.

LAMPES AU METALARC:

Son efficacité est de 75 à 125 lumens par watt. On retrouve environ 70 à 75% lumens à 70% de vie.

LAMPES AU SODIUM:

Pour les lampes au sodium haute pression, l'efficacité obtenue varie de 80 à 140 lumens par watt. On obtient 86% lumens à 70% de vie.

Pour les lampes au sodium basse pression, l'efficacité obtenue est la plus élevée soit de 125 à 160 lumens par watt, et on obtient 95% lumens à 70% de vie.

PARTIE II

APPAREILLAGE AUXILIAIRE

## 2.1 Circuits types

Dans les divers circuits de lampes à incandescence, il faut respecter la tension mentionnée sur l'ampoule par le manufacturier. Il existe 4 tensions différentes qui sont utilisées par divers modèles de lampes.

Les 4 tensions sont:

- Tension normale (115, 120, 125 volts)

Cette tension convient aux lampes d'éclairage général.

- Haute tension (220 à 300 volts)

Cette tension convient aux lampes de 220, 230, 240, 250, 277 et 285 et 300 volts.

- Basse tension (6 à 75 volts)

Cette tension convient pour l'éclairage d'appoint et pour l'éclairage des véhicules urbains, les lampes ont des valeurs de tension de 30, 32, 34, 60 et 75 volts, mais c'est surtout celles de 30 et 60 volts qui sont utilisées.

- Tensions spéciales

Quelques lampes entrent dans cette catégorie; (47, 48, 135 et 155 volts ainsi que celles destinées au fonctionnement en série) L'éclairage public en série est réalisé à l'aide de lampes (6.6, 7.5, 15 ou 20 ampères de concert avec un transformateur pour courant constant).

Toutes les lampes à décharge doivent fonctionner avec un appareillage auxiliaire d'alimentation appelé "Ballast", qui limite le courant à sa valeur nominale (1) et fournit la tension d'amorçage (1) requise.

Chaque lampe à décharge a besoin, pour fonctionner, d'un ballast qui soit conforme, à ses propriétés électriques, au circuit de fonctionnement, à la tension et à la fréquence du courant d'alimentation.

(1) voir lexique

## 2.2 Facteur de puissance

Le facteur de puissance peut se définir comme suit: c'est le rapport entre les watts et le produit volts X ampères dans un circuit en courant alternatif. Pour un circuit inductif, le facteur de puissance est déphasé en retard. Pour un circuit capacitif, le facteur de puissance est déphasé en avance.

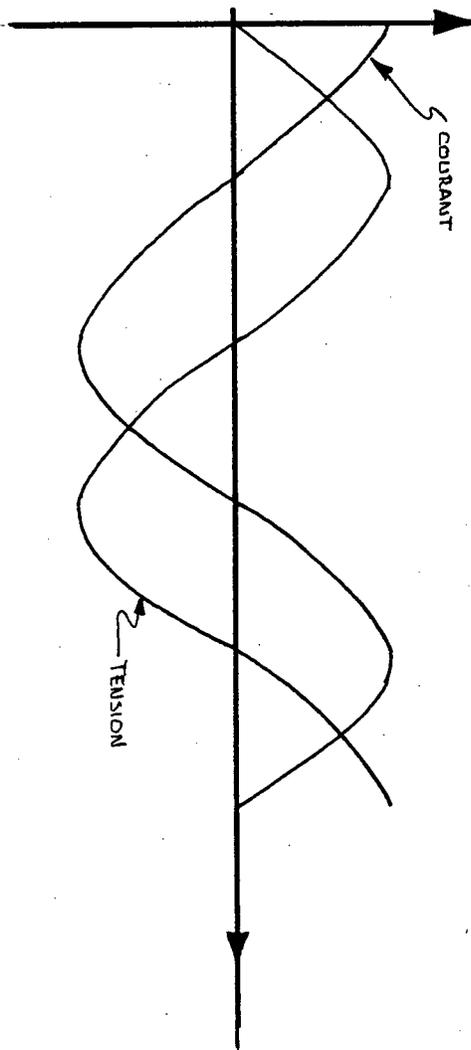
(voir figure A)

Lorsque des lampes fonctionnent avec des ballasts inductifs simples. Le facteur global de puissance est entre 50% et 60%. L'efficacité d'un tel circuit peut être augmentée en ajoutant au ballast, un condensateur correcteur du facteur de puissance. Le condensateur déphase le courant en avant, ce qui compense pour l'autre circuit qui lui, est déphasé en retard. Le condensateur n'absorbe aucunement la puissance nette produite par le réseau.

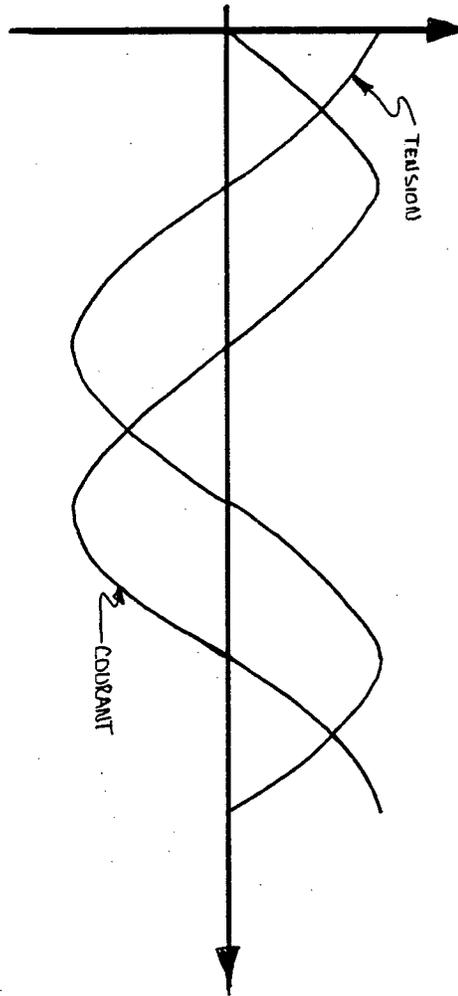
En conclusion, le facteur de puissance d'un circuit est simplement une expression indiquant le pourcentage de la puissance apparente qui est active.

FIGURE A

CIRCUIT CAPACITIF



CIRCUIT INDUCTIF



### 2.3 Facteur de crête (voir figure B):

Le facteur de crête se définit tout simplement comme étant le rapport entre la valeur de crête (peak) d'une onde et sa valeur R.M.S.

La valeur R.M.S. possède la même signification que la valeur efficace. Par définition, la valeur R.M.S. (ROOT-MEAN-SQUARE) est:

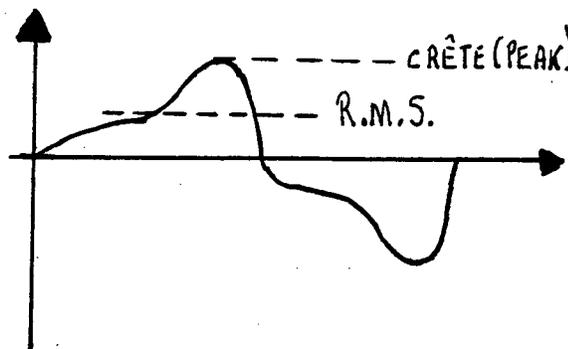
un courant alternatif possédant une valeur efficace de 1 ampère lorsqu'il produit le même travail qu'un courant continu de 1 ampère pendant la même période de temps.

Par ailleurs, la tension domestique de 110 volts est une tension efficace. Les valeurs inscrites sur les instruments de mesures sont des valeurs efficaces.

Il s'agit toujours de valeur efficace lorsqu'on parle de tension ou de courant alternatif.

Le facteur de crête nous permet de définir une onde de façon mathématique. Les compagnies estiment acceptables les facteurs de crête allant jusqu'à 1.8 inclusivement. Pour des valeurs plus élevées, leur effet sur le maintien du flux lumineux n'a pas encore été déterminé.

FIGURE B



## 2.4 Condensateurs

Aujourd'hui, nous trouvons plusieurs types de condensateurs. Parmi les plus utilisés, il y a les condensateurs au mica, céramiques, électrolytiques et les tubulaires au papier.

Les condensateurs au mica sont composés d'un assemblage de feuilles de mica séparées par des feuilles de papier métallique. Le tout est encapsulé sous un boîtier plastique isolant. Il résiste très bien aux hautes tensions (rigidité diélectrique  $\hat{=}$  200 KV/mm) et présente une excellente tenue aux variations de la température. (voir figure C)

Ordinairement, la capacité se situe entre quelques picofarads et 0.1 microfarad pour des tensions de 500 volts et plus.

Les condensateurs céramiques sont disponibles sous plusieurs tailles et sous plusieurs formes.

Les deux armatures sont déposées sur les deux surfaces d'une base en céramique par cuivrage ou par argenture. On applique sur les armatures et le diélectrique, une couche de protection isolante qui peut être soit de la céramique, soit du plastique. Ils sont utilisés aussi bien en continu qu'en alternatif. La capacité se situe entre quelques picofarads et 0.2 microfarad pour des tensions de 1000 volts et plus. (voir figure D).

Le condensateur électrolytique est le modèle le plus utilisé lorsque la capacité varie de 1 microfarad à plusieurs milliers de microfarads. Il est principalement utilisé en continu, mais parfois il est utilisé en alternatif. (pour le démarrage des moteurs).

Le condensateur électrolytique se compose d'une bande d'aluminium recouverte sur un côté, d'une couche d'alumine, une feuille de papier buvard imprégnée d'électrolytique est placée par dessus l'alumine. Une autre bande d'aluminium non-recouverte d'alumine est placée par dessus le papier buvard. (voir figure E)

La borne positive est habituellement repérée par divers symboles. Les électrolytiques sont caractérisés par de faibles tensions de claquage et par des courants de fuite élevés. La capacité se situe entre quelques microfarads et plusieurs milliers pour une tension de 500 volts ou moins.

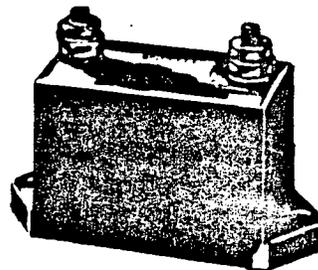
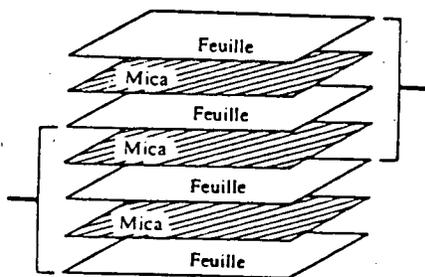
Le condensateur au papier est constitué d'un bobinage de deux feuilles métalliques séparées par des bandes de papier imprégnées d'un matériau diélectrique (cire, plastique, huile). L'emballage extérieur est en papier paraffiné ou en plastique pour les hautes températures. Il peut être utilisé en continu ou en alternatif. La capacité se situe entre quelques picofarads et plusieurs milliers de microfarads pour une tension pouvant atteindre quelques milliers de volts. (voir figure F).

Le farad peut être défini comme étant équivalent à la capacité entre les armatures d'un condensateur, dans lequel apparaît une différence de potentiel de 1 volt lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb.

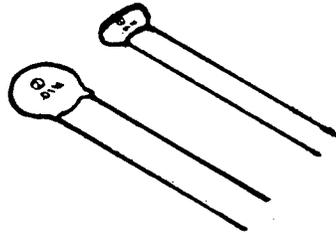
Un coulomb peut être défini comme étant l'unité électrique équivalente à la quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.

Ces unités font partie du système international des unités électriques. (unité SI).

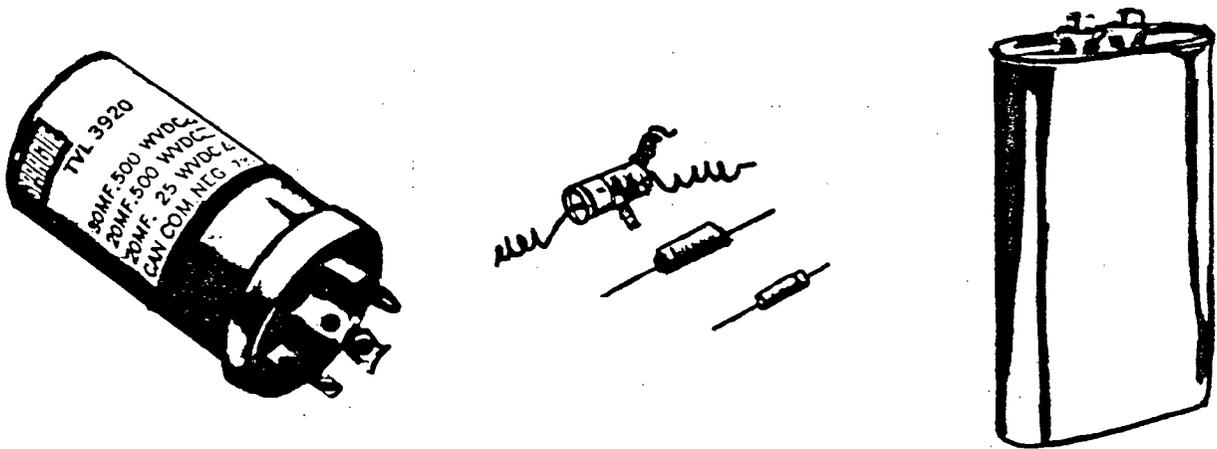
FIGURE C: Condensateur au mica



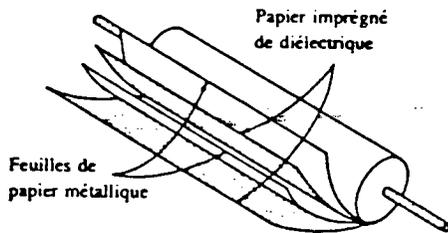
**FIGURE D:** Condensateur en céramique



**FIGURE E:** Condensateur électrolytique



**FIGURE F:** Condensateur tubulaire en papier



## 2.5 Transformateur

Les premiers transformateurs datent de 1885. Au début, les noyaux étaient en fer doux, aussi pur que possible, pour réduire les pertes d'énergie. En 1905, l'emploi des tôles au silicium permet de réduire au maximum les pertes magnétiques.

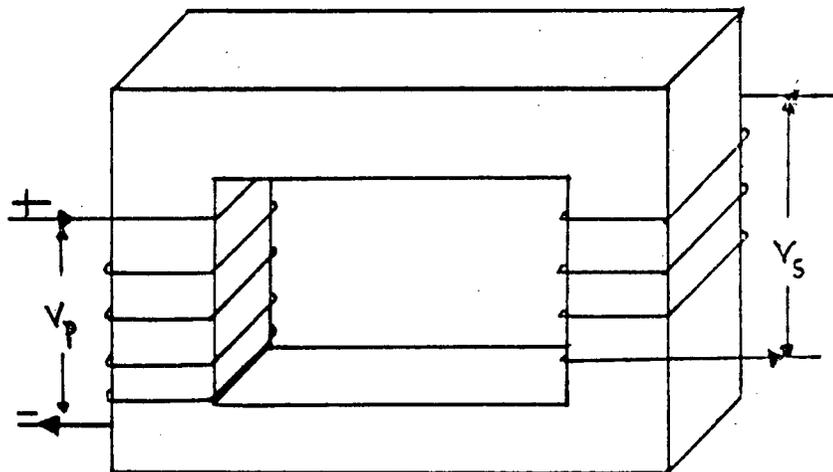
Depuis, le rendement des transformateurs a augmenté de façon constante grâce à une meilleure qualité des tôles et des isolants. Le rendement actuel est de 97%.

Le rôle d'un transformateur est de modifier la tension et le courant dans un circuit. L'énergie électrique peut être transportée à de grandes distances de façon économique et distribuée dans les maisons et les usines à l'aide de postes de transformation.

Le transformateur possède plusieurs avantages:

1. Il est de construction simple et son prix de revient ainsi que son coût d'entretien sont peu élevés.
2. Il possède un rendement très élevé qui dépasse 99% dans les moyens et gros transformateurs.

3. Tous ses éléments sont fixes; il est donc facilement isolable même sous de très hautes tensions.
4. Il offre une grande sécurité d'exploitation.



Le transformateur est constitué essentiellement d'un circuit magnétique et de deux enroulements.

Il y a :

**Noyau du transformateur:** Il est constitué de tôles minces d'acier à 3.5% de silicium empilées les unes sur les autres.

**Enroulement primaire:** L'enroulement primaire est branché au réseau d'alimentation, reçoit la puissance électrique et tient lieu de récepteur.

Enroulement secondaire: L'enroulement secondaire, branché au réseau d'utilisation, joue le rôle d'un générateur.

Le transformateur industriel est composé d'un noyau de tôles d'acier sur lequel on monte deux bobines; celles-ci sont isolées du noyau et isolées l'une de l'autre.

Avec cette construction, la presque totalité du flux créé par le primaire est accrochée par le secondaire. Le flux de fuite ne représente alors qu'une infime fraction du flux total, ce qui augmente la tension au secondaire, sans charge, et la maintient quasi-constante, en charge. Afin de minimiser le courant d'excitation, il faut utiliser un noyau d'acier fermé sur lui-même.

Il est bon à savoir qu'un transformateur est réversible, les deux bobines peuvent être interverties, mais le rapport de transformation sera affecté.

## 2.6 Autotransformateur:

La construction d'un autotransformateur est économique, car il est composé d'un enroulement unique monté sur un noyau d'acier. Les bornes de basse tension sont constituées par une extrémité de l'enroulement et une prise intermédiaire, tandis que la haute tension comprend tout l'enroulement.

Les avantages que possède l'autotransformateur sont: pour une puissance donnée et lorsque le rapport de transformation n'est pas trop élevé, il est moins lourd et moins coûteux qu'un transformateur à deux enroulements.

Les principaux inconvénients que possède l'autotransformateur sont:

Assitôt que le rapport de transformation dépasse 2, il n'est plus économique, sa chute de tension interne est plus grande que celle d'un transformateur à deux enroulements. A cause de l'absence d'isolement entre la haute tension et la basse tension, la haute tension peut communiquer accidentellement au côté basse tension, d'où survient le danger d'électrocution et d'endommagement des appareils.

Ils sont surtout utilisés pour:

- le démarrage à tension réduite des moteurs.
- la régulation de la tension des lignes de distribution
- la transformation de tensions de valeur assez rapprochées

## 2.7 Utilité du ballast

La principale et la plus importante fonction d'un ballast est de limiter le courant à sa valeur normale de fonctionnement. De plus, il fournit la tension nécessaire à l'amorçage de la lampe, ainsi que la basse tension qui assure le chauffage continu des cathodes dans une lampe à amorçage rapide.

Le ballast peut être, soit du type à induction, à condensateur ou à résistance, mais le plus utilisé est celui à induction.

### CONSTRUCTION

Un ballast est composé d'un transformateur, et dépendamment du circuit, d'un condensateur. Ces composantes sont le coeur du ballast. Il produit la tension suffisante pour l'amorçage de la lampe et régularise le courant de fonctionnement.

L'ensemble est isolé à l'aide d'un isolant électrique, lequel aidera à la dissipation de chaleur. Le coffret renfermant les pièces est enrobé d'un produit contenant du mastic (asphalte chaude). Par la suite, la base est fixée.

La moyenne de vie d'un ballast est normalement de 12 ans si le ballast est opéré selon les spécifications du manufacturier. Elle peut être diminuée si le ballast est opéré à des températures élevées, ou si son coefficient d'utilisation (1) est trop élevé.

(1) voir lexique

### 2.7.1 Lampe fluorescente

Il est maintenant obligatoire, au Canada et aux Etats-Unis, que les ballasts utilisés à l'intérieur soient protégés à l'aide de disjoncteurs afin de prévenir de mauvaises applications des ballasts et de protéger de façon adéquate le circuit contre les pannes et conditions indésirables qui peuvent survenir lors de la fin de vie d'un ballast.

A cause des éléments magnétiques contenus dans un ballast, les vibrations se règlent dans le luminaire selon la fréquence de la puissance d'entrée, ce qui peut produire un bourdonnement indésirable. Le niveau de son produit dépendra de la construction ainsi que de l'installation du ballast et du luminaire.

Les caractéristiques acoustiques du luminaire auront un effet considérable sur le degré d'audibilité. Les manufacturiers publient une évaluation sonore, laquelle indique le son relatif produit par les différents modèles. Toutefois, aucune norme standard a été approuvée afin de permettre des comparaisons entre chaque sorte.

### Facteur de puissance des ballasts

Les caractéristiques du ballast peuvent résulter en un bas facteur de puissance. La sortie d'un ballast à bas facteur de puissance est sensiblement la même que la sortie d'un ballast à haut facteur de puissance. Celui à bas facteur de puissance tire plus de courant du bloc d'alimentation et par le fait même, de plus gros conducteurs sont nécessaires. De plus grosses charges peuvent être acceptées par le système avec le ballast à haut facteur de puissance.

#### 2.7.2 Lampe au mercure:

Toutes les lampes au mercure doivent fonctionner avec un ballast conforme aux normes de l'ANSI pour donner un rendement fiable.

Plusieurs types de ballasts sont utilisés tels:

##### - Ballast à réactance à faible facteur de puissance

(voir figure 1)

C'est le modèle le plus simple, il consiste en une bobine de fil métallique, autour d'un noyau de fer, montée en série avec la lampe. Il ne sert qu'à limiter le courant et est utilisé si la tension de secteur est plus élevée que la tension d'amorçage. Le facteur de puissance est alors déphasé de 50% en retard.

C'est le plus économique et le plus petit, car seule la bobine agit comme limiteur de courant. Les variations de tensions ne devraient pas excéder 5% car il ne peut les corriger.

- Ballast à réactance à haut facteur de puissance  
(voir figure 2)

Avec l'addition d'un condensateur, raccordé sur le secteur, on augmente le facteur de puissance du ballast. Le condensateur n'agit pas sur le circuit mais il nous permet d'augmenter le facteur de puissance à plus de 90%. Il réduit de 50% la valeur des courants d'entrée et de fonctionnement, ce qui permet l'utilisation d'un plus grand nombre de ballasts et de lampes sur un circuit avec un calibre de fil donné.

- Ballast autotransformateur à faible facteur de puissance  
(Voir figure 3)

Si la tension de secteur est inférieure à la tension d'amorçage, un transformateur employé avec une bobine réactive sera requis pour accroître la tension de secteur. Ceci est accompli à l'aide d'un enroulement secondaire en série avec un enroulement primaire ce qui forme un autotransformateur monopièce appelé: ballast à haute réactance. Ce circuit possède les mêmes avantages et désavantages que la bobine réactive à faible facteur de puissance et il possède un facteur de puissance de 50%.

- Ballast autotransformateur à haut facteur de puissance  
(voir figure 4)

Nous pouvons augmenter le facteur de puissance avec l'addition d'un condensateur au circuit primaire. Pour accroître le facteur de puissance à 90%, l'autotransformateur comportera des enroulements additionnels reliés au condensateur. Avec l'addition du condensateur, le rendement de la lampe ainsi que le facteur de régularisation demeurent inchangés.

- Ballast autotransformateur à puissance constante  
(voir figure 5)

Malgré les variations de la tension de secteur, il offre un rendement lumineux stable. Petit et économique, il procure une régularisation satisfaisante, un haut facteur de puissance, des courants d'amorçage inférieurs à ceux de fonctionnement, il empêche la lampe d'éteindre s'il arrive une baisse de tension. Le condensateur est branché en série avec le circuit.

Cette méthode permet d'obtenir une puissance constante même lorsque la tension de secteur varie.

Dans un circuit à déphasage en avance, le condensateur agit comme régulateur, tandis que dans un circuit à déphasage en retard, le condensateur agit comme correcteur de puissance.

- Ballast à puissance constante  
(voir figure 6)

Convient aux applications qui demandent une plus grande stabilité du flux lorsque la tension varie. Constitué d'un circuit déphasé en avance, il est conçu sur le principe d'un transformateur où le primaire et le secondaire sont isolés l'un de l'autre.

Le ballast à puissance constante offre une meilleure régulation du flux et un circuit de charge isolé.

C'est le modèle qui est le plus utilisé par le Ministère.

FIGURE 1

Ballast à réactance à faible facteur de puissance

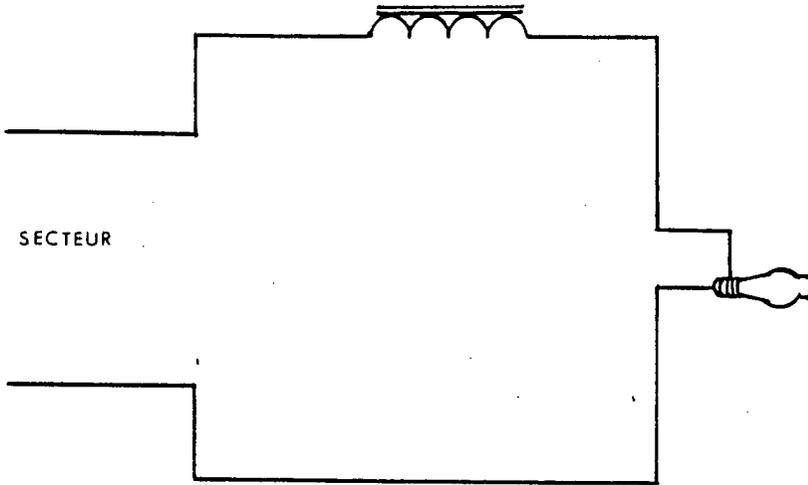


FIGURE 2

Ballast à réactance à haut facteur de puissance

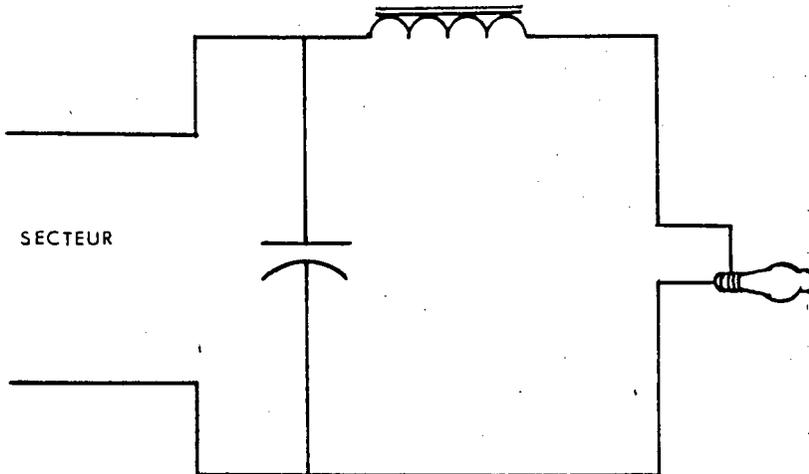


FIGURE 3

Ballast autotransformateur à faible facteur de puissance

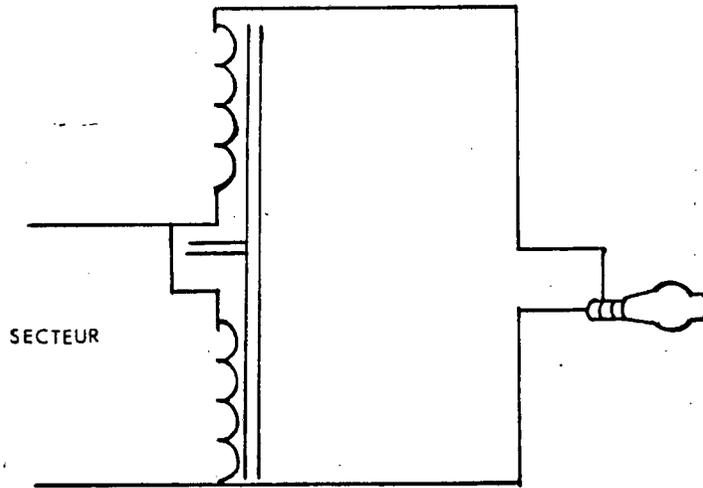


FIGURE 4

Ballast autotransformateur à haut facteur de puissance

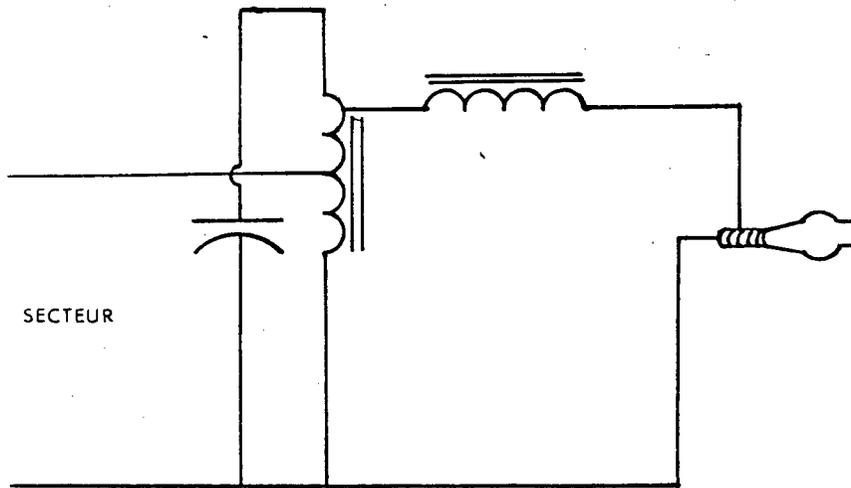


FIGURE 5

Ballast autotransformateur à puissance constante

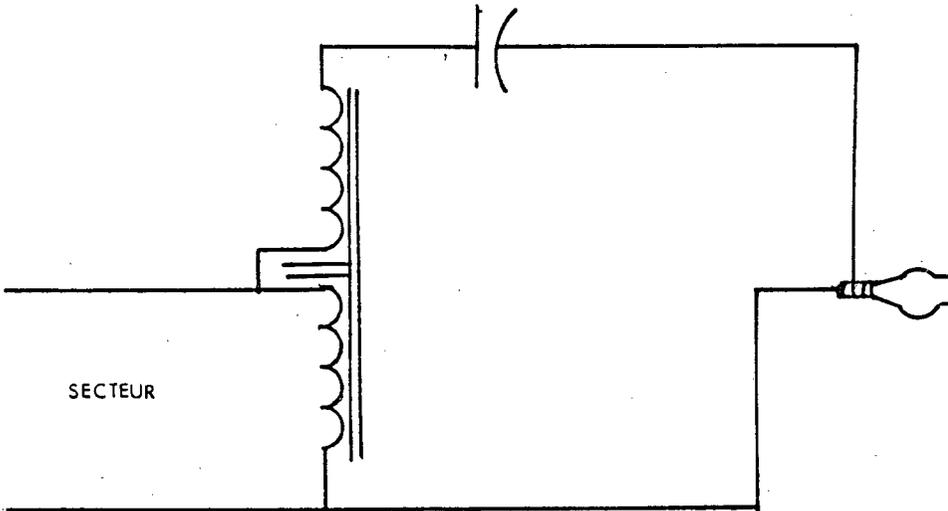
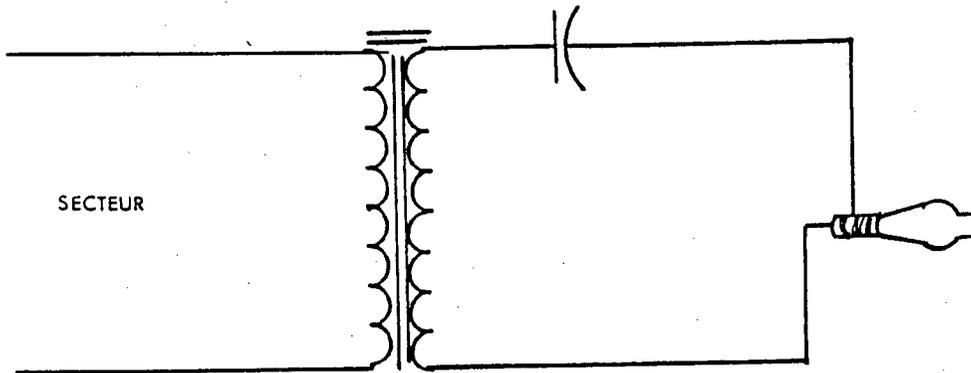


FIGURE 6

Ballast à puissance constante

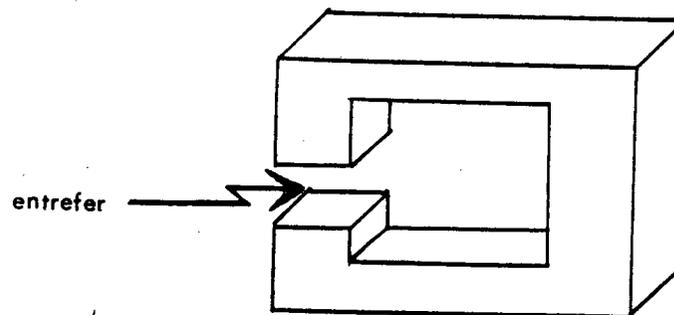


### 2.7.3 Lampe au métalarc:

La lampe au métalarc nécessite à l'amorçage une tension à vide plus élevée, et en cours de fonctionnement un facteur de crête de 1.8 ou moins pour maintenir une bonne stabilité de flux.

Afin d'obtenir une crête de tension suffisante pour l'amorçage de la lampe, un entrefer est réalisé à l'intérieur du noyau du transformateur. (voir figure 7)

Figure 7



Pour satisfaire les conditions, un ballast autotransformateur capacitif à facteur de crête élevé est requis. Il fournit le facteur de crête voulu et forme une pointe sur l'onde sinusoïdale.

Il serait bon de retenir que nous pouvons utiliser également les ballasts à haut facteur de puissance ainsi que les ballasts à puissance constante pour alimenter une lampe métalarc.

### 2.7.4 Lampe au sodium:

#### Haute pression

Les ballasts doivent fournir l'impulsion de haute tension nécessaire à l'allumage, limiter le courant et stabiliser la puissance de la lampe en fonction des tensions de secteur et de fonctionnement, car les lampes ne contiennent pas d'électrode de démarrage.

Les ballasts pour les lampes au sodium comportent deux composantes de base, soit:

- circuit d'allumage électronique
- élément magnétique

Il existe plusieurs modèles de ballasts et le choix d'un ballast en particulier devra correspondre aux spécifications du fabricant.

#### Basse pression

La lampe au sodium basse pression fonctionnait avec un autotransformateur à fuites, jusque dans les années 1970. Ce ballast permettait d'obtenir un courant de lampe de forme sinusoïdale.

Mais un fonctionnement à forme d'onde carrée est plus efficace et accroît le rendement lumineux. Nous utilisons un ballast hybride (1) qui produit un courant proche de l'onde carrée, en séparant la stabilisation du courant de la fonction d'allumage/rallumage.

Dans le ballast hybride, les pertes de puissance sont réduites de 35% par rapport à l'ancien système. Son poids est du fait même réduit et les impulsions de tension à haute fréquence pour l'allumage et le rallumage sont produites par un démarreur électronique.

(1) voir lexique

PARTIE III

LES TENSIONS D'ALIMENTATION

### 3.1 Transport de l'énergie

Afin que l'énergie électrique soit utilisable, il faut que les réseaux de transport et de distribution répondent aux exigences suivantes:

- Fournir la puissance nécessaire aux clients.
- Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas plus ou moins 10% de la tension nominale.
- Fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas plus ou moins 0,5 HZ (à cause des horloges électriques).
- Fournir l'énergie à un prix acceptable.
- Respecter les normes de sécurité.
- Veiller à la protection de l'environnement.

Les compagnies d'électricité divisent leurs réseaux en deux catégories distinctes:

- le réseau de transport (entre 115 KV et 765 KV)
- le réseau de distribution (entre 120 V et 69 KV)

Le genre de ligne utilisée doit répondre aux exigences suivantes:

- Puissance à transporter.
- Distance de transport.
- Coût.
- Esthétique, facilité d'installation.

Nous pouvons noter qu'il existe 4 sortes de lignes:

- 1) ligne de distribution à basse tension  
(120/240 v (mono) à 600 v (tri))
- 2) ligne de distribution à moyenne tension (2,4 KV à 69 KV)
- 3) ligne de transport à haute tension (115 KV à 230 KV)
- 4) ligne de transport à très haute tension (345 KV à 765 KV)

Pour la ligne de distribution à basse tension, elle est installée surtout à l'intérieur des édifices. Elle fonctionne à des tensions inférieures à 600 v.

Pour la ligne de distribution à moyenne tension, elle est utilisée pour relier les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie d'électricité et ses tensions sont comprises entre 2,4 KV et 69 KV.

Pour les lignes de transport à haute tension, elles sont utilisées pour relier les postes de transformation principaux aux centrales de génération, leurs tensions sont inférieures à 230 KV.

Pour les lignes de transport à très haute tension, elles sont utilisées pour relier les centrales hydrauliques éloignées aux centres d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1 000 Km et fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 800 KV.

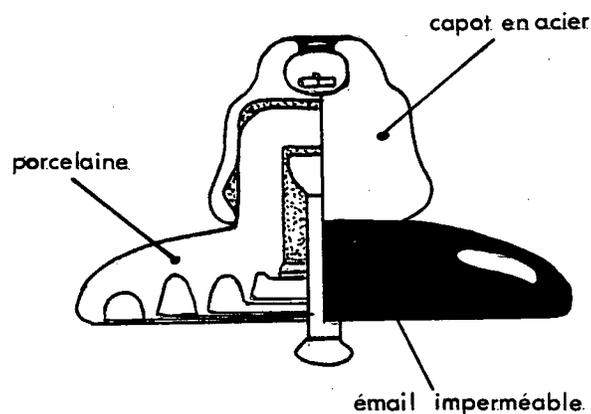
Sur une ligne de transport, on retrouve les conducteurs, les isolateurs et les supports.

Les conducteurs sont toujours nus, on emploie des câbles de cuivre et des câbles en aluminium avec âme en acier (ACSR), car ils sont les plus économiques et possèdent une bonne solidité mécanique.

Les isolateurs sont utilisés pour supporter, amarrer les conducteurs et à les isoler entre eux et la mise à la terre. Autrefois, ils étaient en verre, mais aujourd'hui ils sont presque tous en porcelaine. (voir figure 1)

Les supports maintiennent les conducteurs à une hauteur convenable au-dessus du sol. Pour les lignes de moins de 70 KV, on peut employer comme supports de simples poteaux en bois. Pour les lignes à très haute tension, on utilise des pylônes métalliques.

FIGURE 1



### 3.2 Parafoudres (voir figure 2)

Les parafoudres sont destinés à limiter les surtensions imposées aux transformateurs ou autres machines électriques par la foudre et par la commutation des lignes. La partie supérieure du parafoudre est reliée à un des fils de la ligne à protéger et la partie inférieure est fixée solidement à la terre.

#### Le parafoudre à résistance variable

C'est un des modèles qui est le plus répandu. Il est constitué d'un tube en porcelaine isolante dans lequel on trouve un éclateur et un empilage de disques. L'éclateur possède deux électrodes séparées par une mince couche d'air.

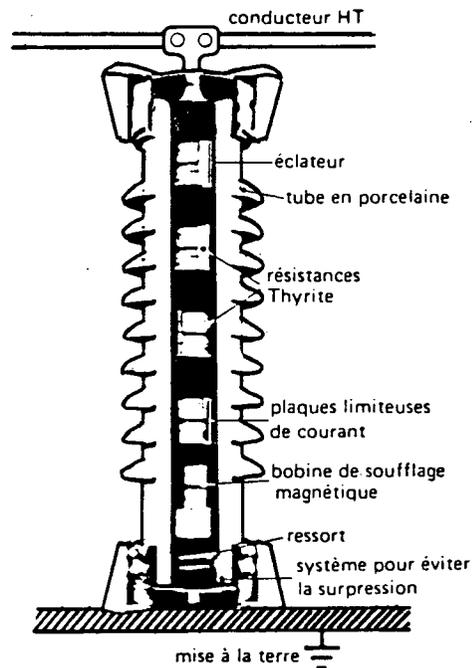
Les disques sont constitués d'un mélange de matières céramiques et de carbure de silicium. Cette substance possède la propriété suivante:

Elle offre une résistance qui varie inversement avec la tension qui lui est appliquée; sa résistance est plus faible lorsque la tension est plus élevée.

Si la tension est normale, la couche d'air entre l'éclateur et les disques s'opposent au passage du courant. Si la tension sur la ligne dépasse une certaine valeur, un arc s'amorce dans l'éclateur et relie la ligne à la terre à travers les disques qui n'offrent qu'une faible résistance. La surcharge s'écoule alors dans le sol. Dès que la surcharge est éliminée, les disques offrent une résistance élevée, ce qui éteint l'arc et la tension redevient normale.

Les parafoudres ne servent pas seulement comme protection contre la surtension, ils permettent de réduire la tension de tenue aux ondes de choc de tous les appareils installés dans les postes de transformation.

FIGURE 2



### 3.3 Distribution de l'énergie

L'énergie électrique est livrée au client à partir des postes de transformation en passant par les circuits à moyenne tension, les transformateurs de distribution et les circuits à basse tension.

Les transformateurs de distribution sont installés près des abonnés afin d'abaisser la tension à la valeur requise pour faire fonctionner les divers appareils électriques.

Les systèmes de distribution à basse tension les plus utilisés au Canada sont:

- systèmes monophasés à 120 v deux fils ou 120/240 v trois fils.
- systèmes triphasés à 600 v trois fils, à 600/347 v quatre fils ou à 208/120 v quatre fils.

#### Système monophasé 120 v deux fils

C'est le système le plus simple. Il est employé pour de faibles charges d'éclairage.

Système monophasé 120/240 v trois fils (voir figure 3)

Lorsque des puissances importantes sont requises, le système 120 v deux fils nécessite l'emploi de conducteurs de grande section. Afin de diminuer l'intensité du courant ainsi que la section des conducteurs, on a augmenté la tension à 240 v. Depuis, on a créé le système 120/240 v trois fils.

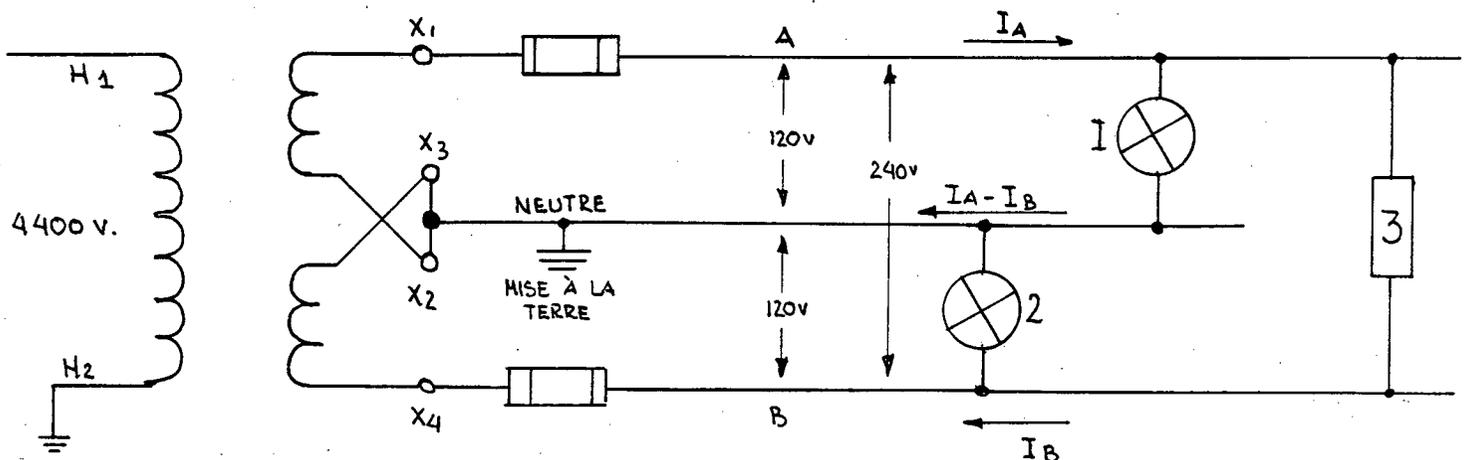
Ce système est très répandu. Le réseau à basse tension est alimenté par un transformateur à secondaire double.

L'avantage d'un tel système est:

- de limiter la tension à la terre à une valeur qui n'est pas trop dangereuse.
- de permettre simultanément l'alimentation de charges d'éclairage sous 120 v et de charges de force motrice ou de chauffage sous 240 v.

On ne doit jamais placer de fusible dans le fil neutre, car la rupture du fil neutre entraîne le déséquilibre des tensions.

FIGURE 3 (système monophasé 120/240 v trois fils)



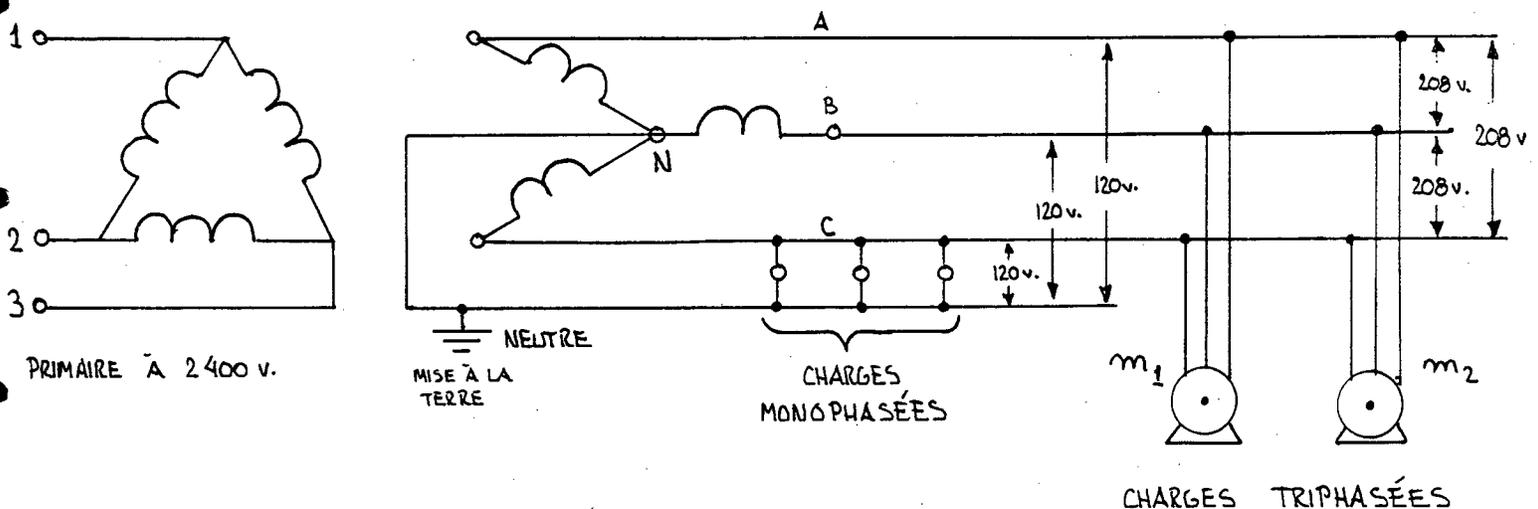
Système triphasé 208/120 v quatre fils (voir figure 4)

Lorsque trois transformateurs de distribution monophasés sont raccordés en configuration triangle-étoile, on obtient au secondaire un système triphasé à quatre fils.

Surtout employé dans les immeubles commerciaux, ce système nous donne une source triphasée de 208 v ligne à ligne assez élevée pour alimenter des moteurs triphasés. Il offre également trois tensions monophasées de 120 v ligne à neutre utilisées pour l'éclairage.

Il faut que les circuits d'éclairage et les prises de courant à 120 v soient répartis le plus également possible entre les trois phases. Si les charges sont bien équilibrées, le courant dans le fil neutre est très faible.

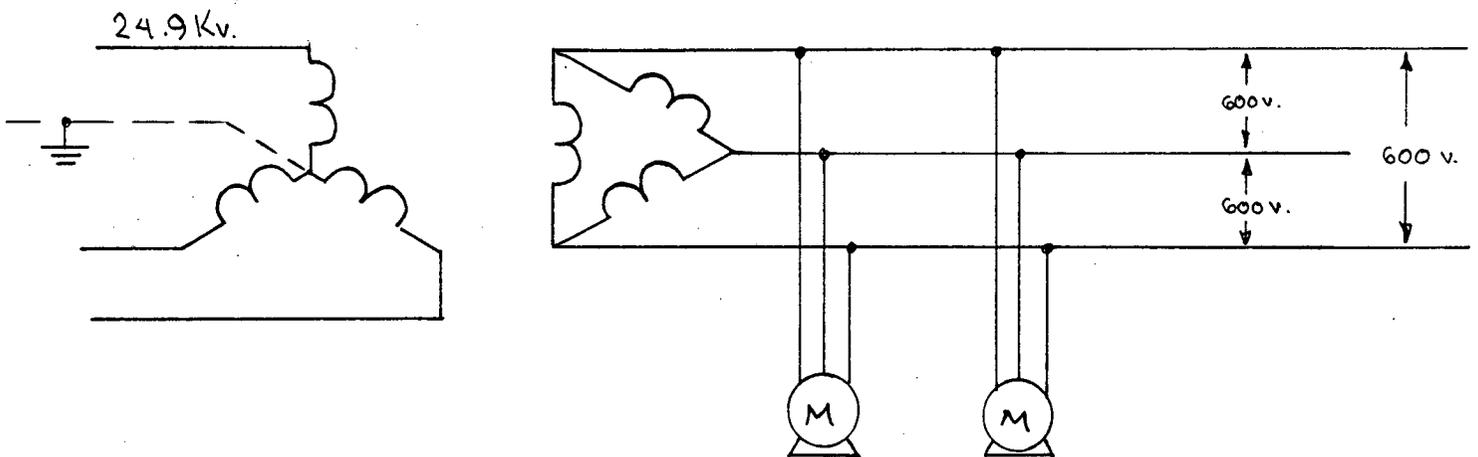
FIGURE 4 (système triphasé 208/120 v quatre fils - secondaire à 120 v)



Système triphasé 600 v trois fils (voir figure 5)

Certaines installations de force motrice requièrent un réseau indépendant de celui alimentant les installations d'éclairage, car les démarrages fréquents des moteurs occasionnent des variations de tension qui seraient gênantes pour les circuits d'éclairage.

FIGURE 5 (système triphasé 600 v trois fils)



Système triphasé 600/347 v quatre fils

Pour les centres industriels et commerciaux, on utilise une distribution 600/347 v quatre fils, car elle permet l'alimentation de la force motrice à 600 v et des lampes fluorescentes à 347 v. Pour les prises de courant à 120 v, on installe les transformateurs monophasés requis.

### 3.4 Système triphasé

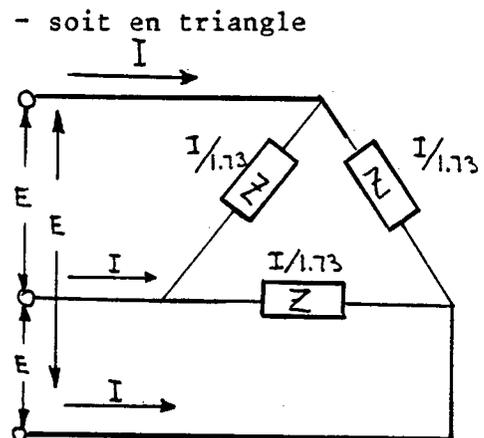
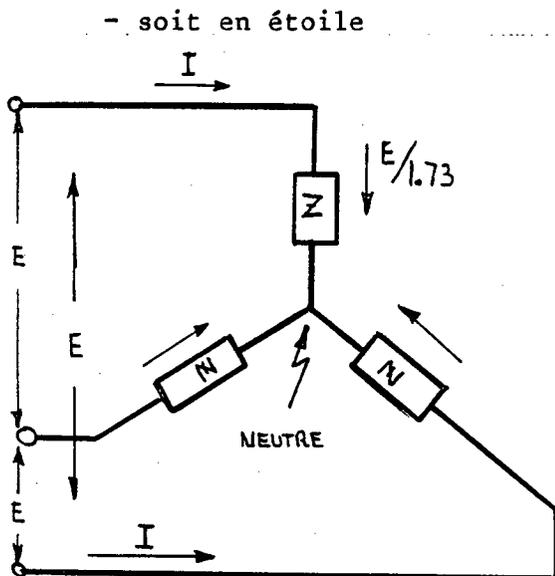
L'énergie électrique est distribuée aux industries par un système triphasé, composé de trois lignes. Les tensions alternatives entre les lignes ont la même valeur et la même fréquence, mais elles sont déphasées l'une par rapport à l'autre. (voir figure 6)

Pour une certaine puissance, une ligne de transport triphasée demande des conducteurs de sections plus petites qu'une ligne monophasée de même tension.

Les tensions ligne à ligne sont plus grandes de 1.73 fois que les tensions ligne à neutre dans le cas d'un montage étoile.

Pour que les courants dans les trois lignes d'un système triphasé soient égaux, il faut que la charge soit équilibrée. Une charge triphasée est dite équilibrée lorsqu'elle est constituée de trois impédances (1) identiques.

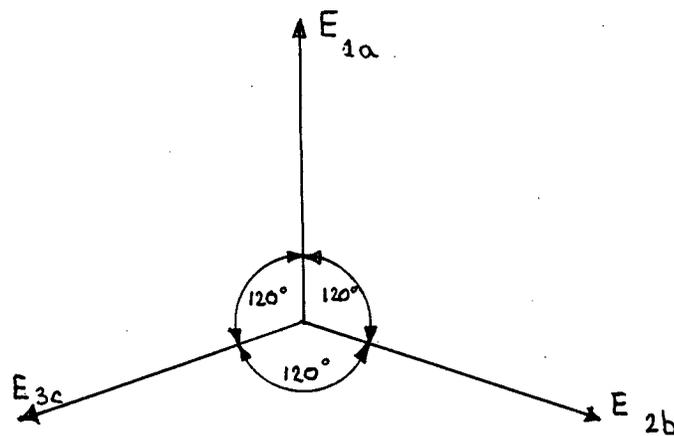
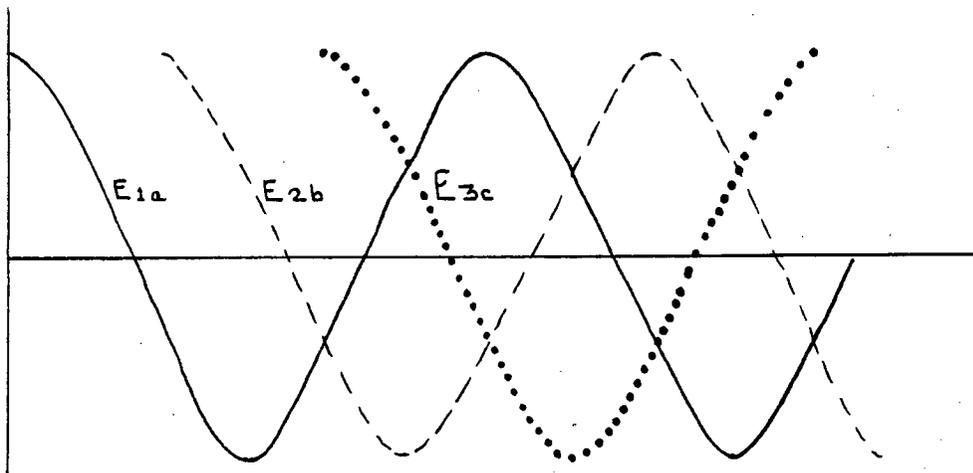
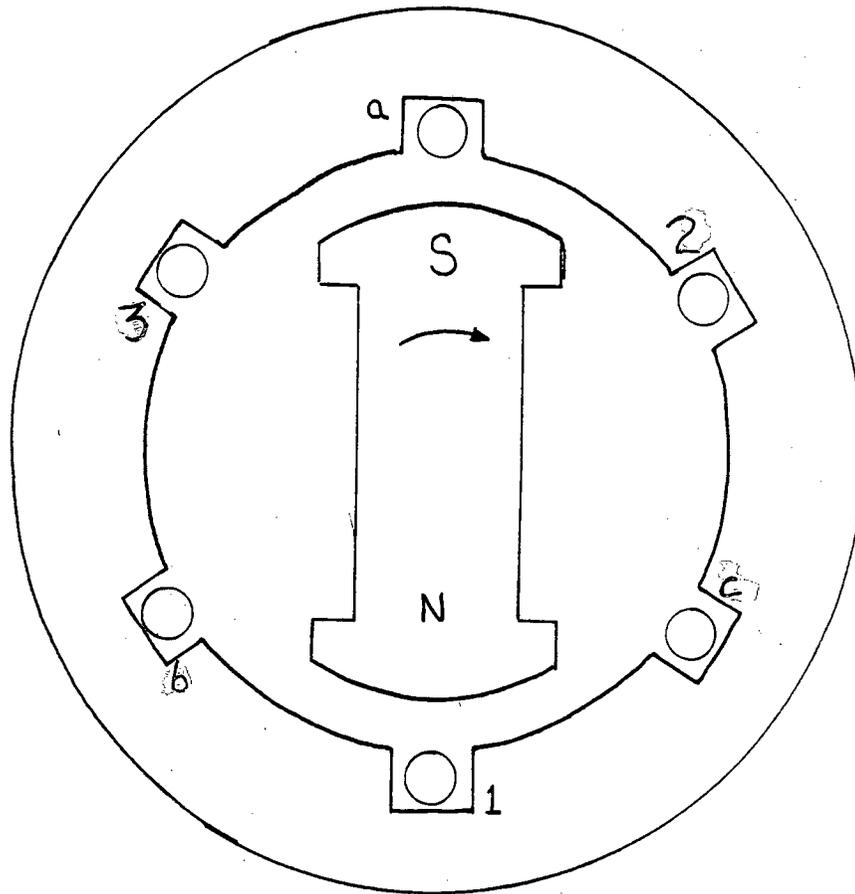
Il existe deux configurations dans les systèmes triphasés:



(1) voir lexique

/71...

FIGURE 6



### 3.5. Mise à la terre des installations électriques

La mise à la terre constitue un moyen très efficace pour prévenir les accidents causés par l'électricité. La plupart des installations peuvent être mises à la terre en raccordant un fil à un tuyau de distribution d'eau. Son but principal est de réduire le danger du choc électrique.

Il est difficile de préciser la limite des tensions dangereuses car le danger dépend du courant traversant le corps humain. Mais son intensité est déterminée par la résistance de contact et la résistance du corps.

Un courant ayant une intensité inférieure à 10 mA n'est pas dangereux. Lorsque l'intensité du courant se situe entre 10 mA et 20 mA, elle est dangereuse, car la personne ne peut lâcher prise, et elle devient mortelle au-dessus de 50 mA.

Le courant alternatif provoque des contractions musculaires qui empêchent le sujet de lâcher prise. Le courant devient plus dangereux lorsque son trajet à travers le corps, passe dans la région du coeur. Son passage provoque la paralysie et s'il est prolongé, la fibrillation et l'arrêt du coeur.

Nous pouvons voir, à l'aide du tableau suivant, l'effet d'une brève exposition au courant alternatif circulant d'un bras à un pied:

COURANT (mA, 60 HZ)	EFFETS CUMULATIFS
1	Seuil de perception
11	Peine à endurer
16	On ne peut lâcher prise
25	Paralysie musculaire
60	Respiration difficile
90	Fibrillation du coeur
140	Aide nécessaire immédiatement
160	Inconscience
200	Brûlure mortelle

En courant continu, le danger est de 2 à 4 fois moindre. La paralysie musculaire n'apparaît qu'à 50 mA. Le courant continu favorise l'électrolyse du sang (séparation des composantes du sang) aux points de contact avec les pôles.

Il est bon à noter, que plus la fréquence du courant augmente, moins le danger est grand. Pour une fréquence de 5 K HZ, un courant trois fois plus élevé pourra être supporté.

Aux hautes tensions, il y a danger de décharge dû à la proximité. Le tableau suivant nous indique la distance minimale qu'il faut respecter entre les lignes haute tension et tout objet conducteur.

TENSION	DISTANCE
4 000 V	1 pied
12 000 V	2 pieds
70 000 V	4 pieds
300 000 V	9 pieds
735 000 V	20 pieds

Il faut cependant respecter des distances plus grandes afin d'être plus en sécurité.

En plus du danger de décharge, certains malaises tels: maux de tête, palpitations et divers désordres nerveux dus au champ magnétique induit, peuvent apparaître lorsque nous sommes près d'une ligne haute tension.

### 3.6 Appareils de mesure

#### a) L'ampère

Un ampère peut se définir de la façon suivante: c'est le nombre d'électrons ( $6.242 \times 10^{18}$ ) qui passent en une seconde dans un conducteur, ce qui s'appelle le débit électronique ou l'intensité du courant.

#### b) La tension

Un volt peut se définir comme étant la différence de potentiel qui existe entre deux points d'un fil conducteur parcouru par un courant de 1 ampère lorsque la puissance entre ces points est égale à 1 watt.

#### c) Le cadre mobile (mouvement d'arsonval) (voir figure 7)

Le cadre mobile est essentiellement constitué d'une bobine à noyau de fer montée sur des pivots entre les pôles d'un aimant permanent.

L'interaction entre les champs, celui de l'aimant et celui de la bobine, exerce un couple de force sur la bobine. Plus le courant dans la bobine est intense, plus la déviation de l'aiguille sera considérable. L'aiguille indique alors l'intensité du courant passant dans la bobine.

d) L'ampèremètre (figure 8)

Un ampèremètre peut être réalisé à l'aide d'un cadre mobile en parallèle avec une résistance. Pour réaliser un ampèremètre possédant plusieurs plages de mesure, il suffit d'ajouter un commutateur rotatif qui met en circuit la résistance correspondante à l'intensité maximale permise indiquée sur l'appareil.

Il est important de se rappeler qu'un ampèremètre doit toujours être branché en série avec la branche dans laquelle circule le courant à mesurer.

e) Le voltmètre (figure 9)

Le voltmètre est réalisé en ajoutant au cadre mobile, une résistance en série. La résistance est normalement élevée pour limiter le courant à la valeur nominale pouvant circuler dans le cadre mobile. Pour obtenir un voltmètre possédant plusieurs plages de mesure, il suffit d'ajouter un commutateur rotatif qui mettra en service les résistances associées aux diverses plages.

Il est important de se rappeler qu'un voltmètre est toujours branché en parallèle avec la branche à mesurer.

f) T.D.R. (Localisateur de défauts de câbles)  
(figure 10)

Le T.D.R. (Time Domain Reflectometry) est utilisé pour localiser et définir les défauts pouvant survenir dans les câbles.

Le fonctionnement du T.D.R. peut être défini comme suit: une impulsion électrique est transmise dans le câble, celle-ci heurte le défaut (bris) dans le câble et est réfléchi vers le T.D.R.. Le type de défaut est identifié à l'aide de l'affichage et la distance à laquelle se trouve le défaut est déterminée par l'intervalle de temps entre l'envoi et le retour de l'impulsion.

g) Le mégohmmètre (figure 11)

Cet appareil est utilisé pour vérifier l'isolation des divers montages électriques. L'appareil ne peut fonctionner que sous de très hautes tensions qui sont obtenues à l'aide d'une magnéto incorporée. En tournant la manivelle, on génère la tension qui alimentera le circuit. Il existe aujourd'hui des mégohmmètres électroniques.

h) Localisateur de tuyaux et câbles souterrains (figure 12)

Cet appareil est utilisé pour détecter et localiser avec précision des tuyaux enterrés, des câbles et divers objets en métal.

L'instrument se compose de deux parties: un transmetteur de type radio directionnel et un récepteur de type radio directionnel. Le transmetteur consiste à engendrer un champ électromagnétique qui entoure l'objet en métal enterré. Le récepteur sert pour détecter et tracer le champ électromagnétique induit du transmetteur, il établit l'orientation et la localisation du tuyau.

Il est important à savoir que les morceaux de métal perdus et que des changements inhabituels dans la conductibilité du sol peuvent modifier la lecture.

FIGURE 7 cadre mobile (mouvement d'arsonval)

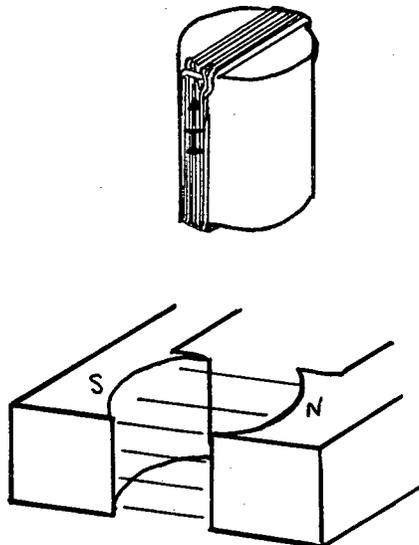


FIGURE 8 ampèremètre multigamme

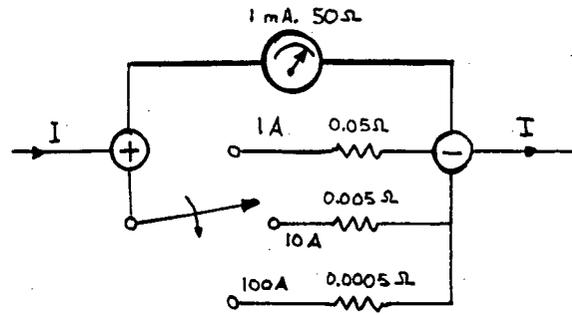


FIGURE 9 voltmètre multigamme

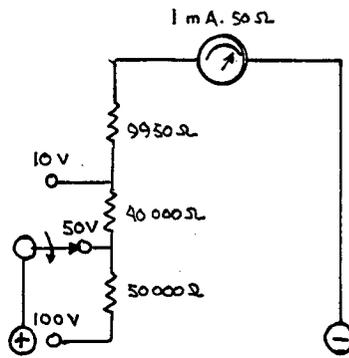


FIGURE 10 - T.D.R. (Localisateur de défauts de câbles)

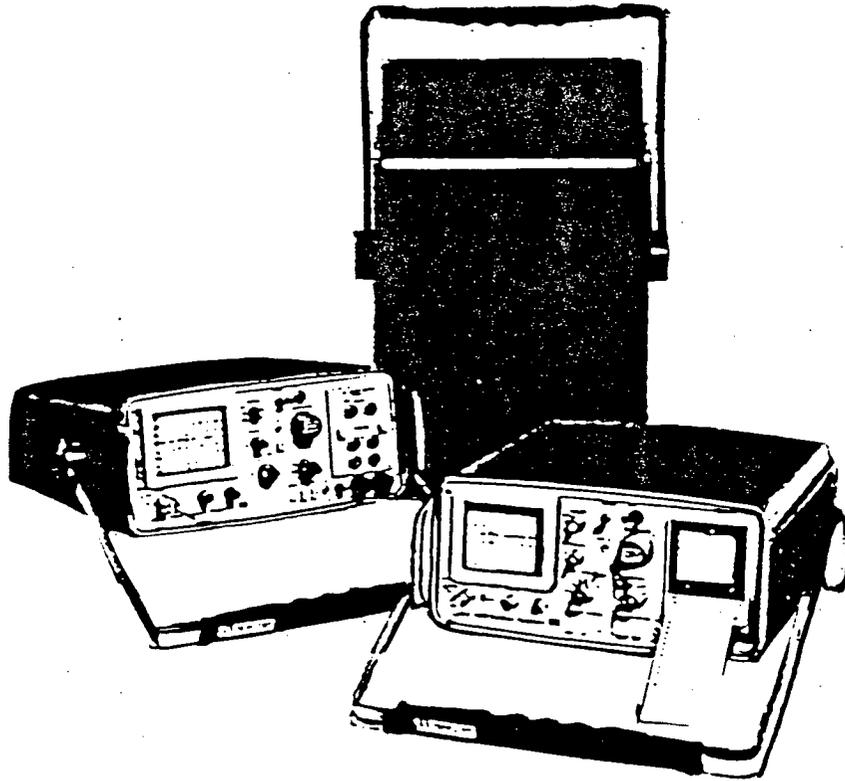
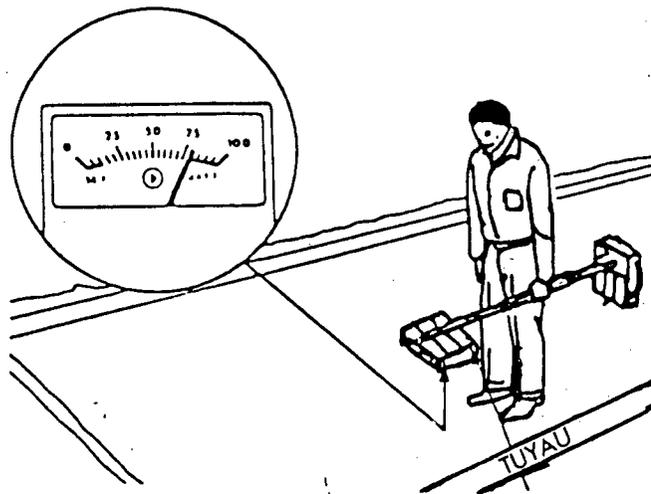
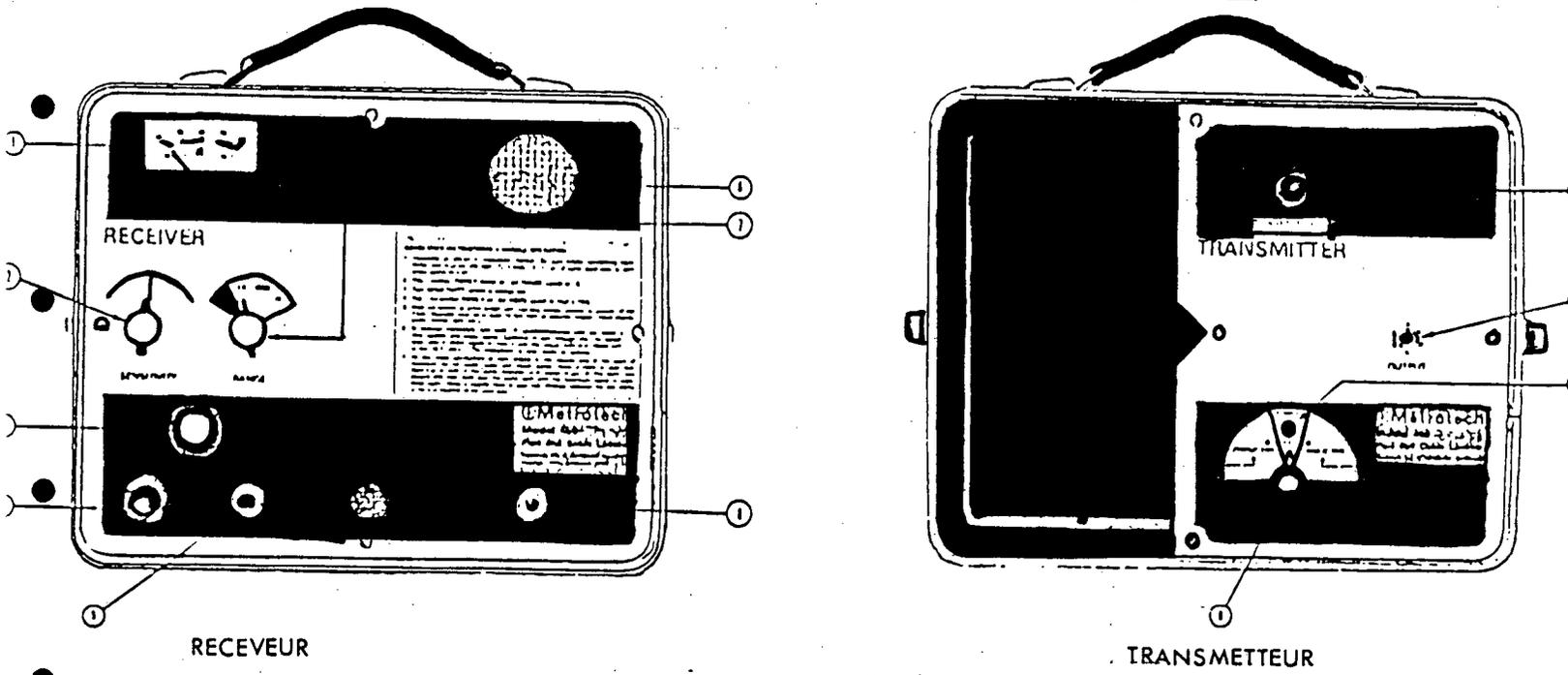


FIGURE 11 - Mégohmmètre



FIGURE 12 - Localisateur de tuyaux et câbles souterrains



### 3.7 Câbles de distribution

Le câble le plus utilisé par le département est du RW 90, dans la version 1,3,4 brins dans la grosseur 2,4,6,8 AWG. RW signifie que le câble est isolé à l'aide de caoutchouc, à l'épreuve de l'humidité, avec un recouvrement fibreux ou une enveloppe de polychloroprène. 90 signifie la température maximale admissible du conducteur.

A l'aide du tableau suivant, nous pouvons voir la capacité des différentes grosseurs de câbles.

Le câble à un conducteur est placé à l'air libre, à une température de 30° C.

Un câble de 2 AWG accepte un courant de 180 ampères
" " " " 4 AWG " " " " " " 135 ampères
" " " " 6 AWG " " " " " " 100 ampères
" " " " 8 AWG " " " " " " 70 ampères

Lorsque le câble contient entre 2 à 5 conducteurs, il faut multiplier par un facteur de 0,8 le courant maximal admis par le câble à 1 conducteur pour obtenir son courant maximum.

Il est bon à savoir que le polychloroprène possède une bonne résistance à la chaleur. Il est imperméable et résiste aux acides. Il peut être exposé aux intempéries.

PARTIE IV

PROTECTION DE CIRCUITS ELECTRIQUES

#### 4.1 Puissance en monophasé et en triphasé

##### a) Watt

La puissance réelle (watt) correspond à la puissance consommée par la charge totale du circuit. C'est la résistance qui en est directement responsable.

##### b) Volt-ampère (VA)

La puissance apparente (VA) peut être définie comme étant le produit de la tension et du courant. Ce produit est une caractéristique nominale de puissance d'une importance particulière dans les systèmes monophasés et triphasés. Elle sert à indiquer la puissance nominale maximale d'un certain nombre de composantes et de systèmes électriques.

##### c) Puissance en courant continu

La puissance peut se définir comme étant la mesure de la quantité de travail qui peut être fournie en un temps déterminé. L'unité de mesure de la puissance est le watt, en l'honneur de James Watt.

La relation entre le cheval-vapeur (H.P.) et le watt est:

$$\underline{1 \text{ cheval-vapeur (H.P.)} = 746 \text{ watts}}$$

La puissance absorbée ou fournie par un dispositif ou un système électrique, peut se calculer en fonction de l'intensité du courant et de la tension.

$$\underline{P = VI}$$

Par exemple, une automobile possédant une puissance de 170 H.P., aurait, en watts, une puissance de 126 820 watts.

#### 4.2 Courant de court-circuit

Un courant de court-circuit peut se définir comme étant un courant excessif qui produit un dégagement de chaleur considérable et qui peut provoquer la destruction du circuit. La fusion des fils peut devenir une cause probable d'incendie.

Pour prévenir les accidents, on introduit dans beaucoup de circuits, un point faible qui assure la rupture du courant lorsque l'intensité devient trop forte, ce dispositif se nomme fusible. Ce sont habituellement des fils métalliques dont les dimensions et l'alliage sont choisis afin qu'ils fondent sans danger lors d'une surintensité.

### 4.3 Protection par fusibles

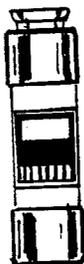
Les fusibles utilisent une lame de zinc enfermée dans un tube de fibre. La fibre est utilisée à cause de sa grande résistance aux arcs et de sa solidité mécanique.

La lame est amincie à plusieurs endroits sur sa longueur afin de créer des points de plus grande résistance. Lorsque le courant dépasse la valeur nominale, ces zones faibles fondent d'abord coupant ainsi le circuit.

Dans un fusible industriel, on spécifie le courant nominal ainsi que le courant maximal qu'il peut interrompre. Les fusibles de grande capacité possèdent un élément en cuivre ou en argent.

Tous les fusibles sont conçus pour supporter leur courant nominal à une température ambiante de 50° C.

Voici quelques modèles de fusibles:

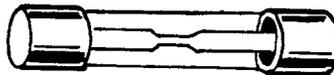


INDUSTRIELS

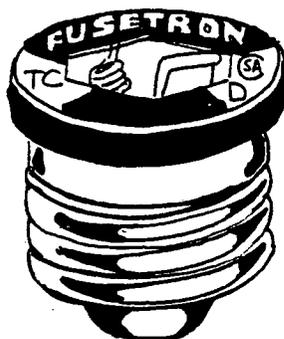
#### USAGE GENERAL



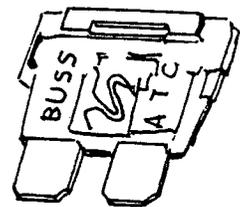
1° - A RETARDEMENT



2° - INSTANTANE



3° - RESIDENTIELS

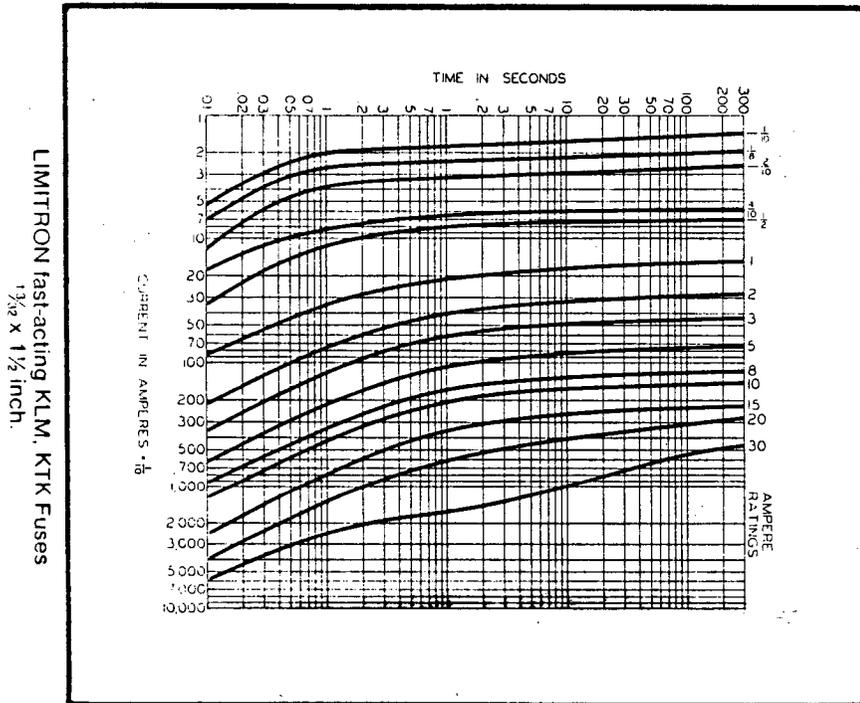


AUTOMOBILES



SUBMINIATURE

COURBES CARACTERISTIQUES COURANT-TEMPS



A l'aide de ces courbes, nous pouvons voir le temps qu'il faudra au fusible, soumis à un courant de surcharge, pour se mettre hors-circuit. Grâce aux courbes, nous pouvons choisir le fusible qui sera nécessaire lors de la réalisation d'un système de coordination de protection.

#### 4.4 Différence entre simple et double éléments

De l'extérieur, les deux fusibles sont semblables, mais à l'intérieur, ils sont vraiment différents.

Un fusible à simple élément ne contient qu'une seule chose, un élément dans lequel circule le courant fautif. Toutefois, un fusible pouvant supporter un courant peu élevé pour protéger un moteur, ouvrira car le courant de démarrage du moteur sera trop élevé. Si on remplace ce dernier par un fusible pouvant supporter un courant élevé, le moteur sera endommagé car le fusible n'ouvrira pas le circuit lors d'une surintensité.

Le fusible à deux éléments se compose d'un élément dans lequel circule les courants élevés et d'un élément thermique, lequel est affecté par les petites variations de courants (voir figure 1).

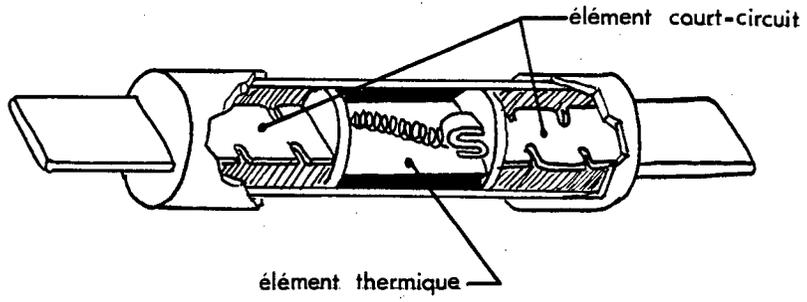
Lorsqu'un courant excessif circule dans le circuit, l'élément thermique coupe le circuit. Toutefois, le métal entourant l'élément thermique absorbe une bonne partie de la chaleur dégagée par la surcharge, ce qui ralentit la vitesse à laquelle l'élément thermique va se consommer.

Lorsqu'une surcharge arrive sur le circuit, l'élément thermique va commencer à fondre jusqu'à ce qu'il soit complètement consommé, ce qui coupera le circuit.

Nous pouvons constater que le fusible à deux éléments pourra absorber la surcharge, lors du démarrage d'un moteur, sans couper le circuit.

/88...

FIGURE 1



#### 4.5 Protection par disjoncteurs

Les disjoncteurs sont des appareils qui peuvent interrompre des courants importants, que ce soit des courants normaux ou des courants de défauts. Ils sont conçus pour ouvrir un circuit automatiquement, dès que le courant qui le traverse, dépasse une valeur prédéterminée. L'avantage d'utiliser des disjoncteurs est, que nous n'avons pas besoin de les remplacer après chaque interruption.

##### a) éléments thermiques

Les disjoncteurs à éléments thermiques fonctionnent à l'aide d'un bimétal chauffé par un courant de charge. Sur une surcharge constante, le bimétal va dévier pour occasionner la mise hors-service du mécanisme.

Le bimétal est constitué de deux bandes de métal liées ensemble. Chaque bande possède une réaction thermique différente. La bande possédant la plus grande expansion sera située à l'extérieur de la courbe lorsqu'elle fléchira.

##### b) éléments magnétiques

Les disjoncteurs à éléments magnétiques fonctionnent à l'aide d'un électro-aimant en série avec le courant de charge. Quant un court-circuit apparaît, le courant fautif traversant le circuit, active l'électro-aimant, qui, lui, ouvre le circuit.

Le temps de réaction est moins de 0,016 seconde et actionne le disjoncteur instantanément. Les éléments magnétiques peuvent être fixes ou ajustables dépendant du modèle et du type de disjoncteur.

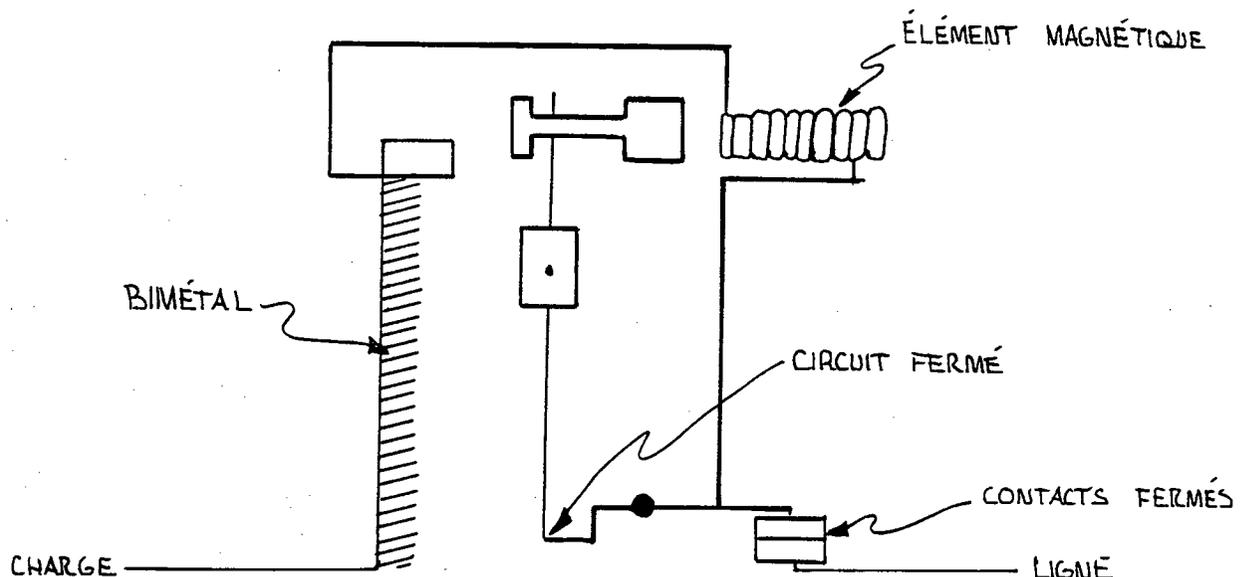
c) Protection par disjoncteur thermo-magnétique

Ce modèle combine les caractéristiques des deux types, soit magnétique et thermique. (voir figure 2).

Il est reconnu comme étant le plus adapté dans la majorité des applications générales des disjoncteurs. Il est toujours utilisé pour protéger un circuit, pour sauvegarder de l'équipement. Il ne sera pas hors-service si le courant de surcharge n'est pas trop élevé, mais il sera hors-service immédiatement si le courant de surcharge est élevé.

EXEMPLE: Si un courant est 2.5 fois plus grand que le courant nominal. Un temps de 60 secondes sera requis avant que le bimétal ne se courbe pour mettre le circuit hors-service. Si un courant est 40 fois plus grand que celui nominal alors un temps de 0,016 seconde sera requis avant que l'électro-aimant ne mette hors-service le disjoncteur.

FIGURE 2



#### 4.6 Coordination des niveaux de protection

Lors d'un court-circuit, le courant augmente en flèche sur toutes les lignes se rendant au court-circuit. Pour éviter que tous les circuits de protection soient activés, il faut coordonner la protection.

Une bonne coordination doit seulement activer les dispositifs de protection situés près du court-circuit et laisser intact le reste du réseau.

Pour réaliser ce but, on ajuste le courant de déclenchement et le temps d'ouverture de chaque dispositif de protection afin de protéger l'appareillage tout en restreignant au minimum la région du court-circuit.

Pour obtenir une bonne coordination, il faut connaître avec précision, l'intensité des courants de défauts possibles ainsi que les caractéristiques des fusibles et des disjoncteurs pour pouvoir coordonner leur action en fonction du temps.

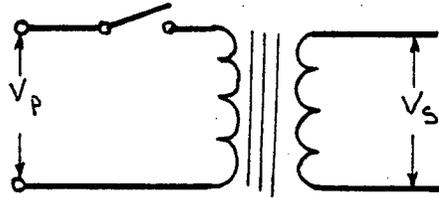
La coordination entre les divers circuits de protection requiert des délais qui se mesurent en millisecondes.

#### 4.7 Eliminateur de tension transitoire

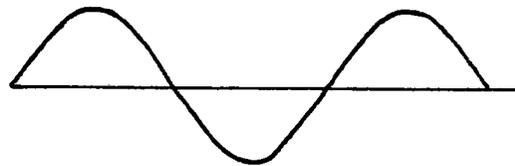
##### Définition de régime transitoire

La tension transitoire d'un circuit est la période instable se produisant avant ou après une modification de la tension d'alimentation. Elle est composée d'impulsions de haute tension d'une durée très courte. (schéma 1)

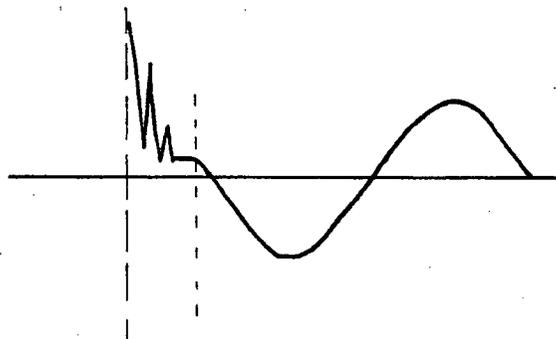
SCHEMA 1:



Tension d'entrée ( $V_p$ )



Tension de sortie ( $V_s$ )



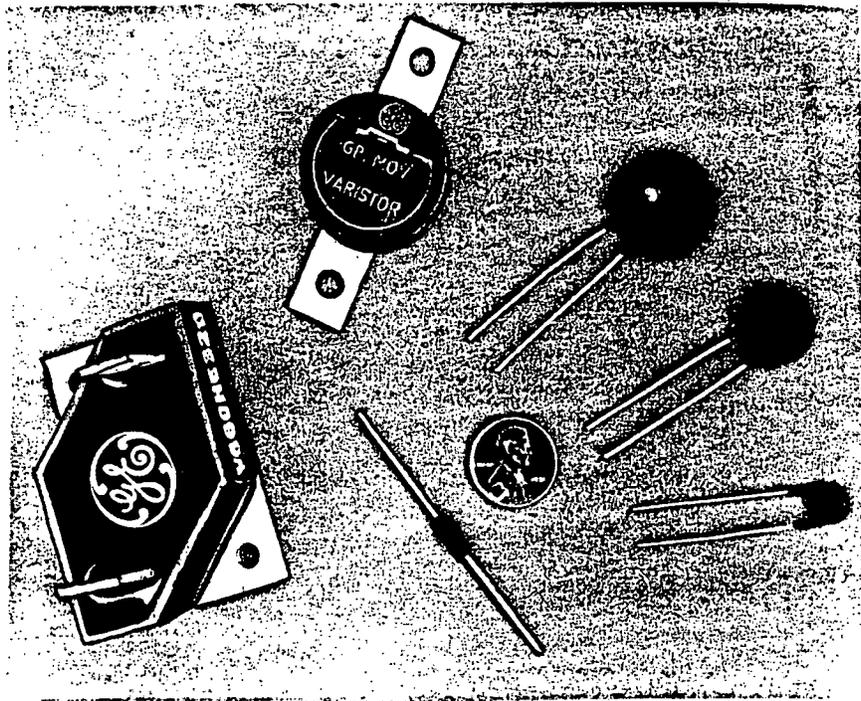
La tension transitoire peut, dans un circuit, endommager diverses composantes. C'est pourquoi, il faut utiliser un éliminateur de tension transitoire (transient voltage suppression). L'éliminateur est constitué essentiellement d'un varistor.

Un varistor est une résistance non-linéaire qui change de valeur en fonction de la tension à ses bornes.

Quand le varistor est soumis à des tensions transitoires, son impédance qui est normalement très élevée devient très faible, ce qui occasionne un blocage des hautes tensions transitoires. Le courant circulant dans le circuit, par la suite, est à un niveau sécuritaire. L'énergie dégagée par la haute tension transitoire est absorbée par le varistor, évitant les dommages que pourraient subir les composantes.

Le circuit suivant nous montre l'endroit où le varistor peut être branché.

Voici les différents formats de varistors existants sur le marché.



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 092 536