



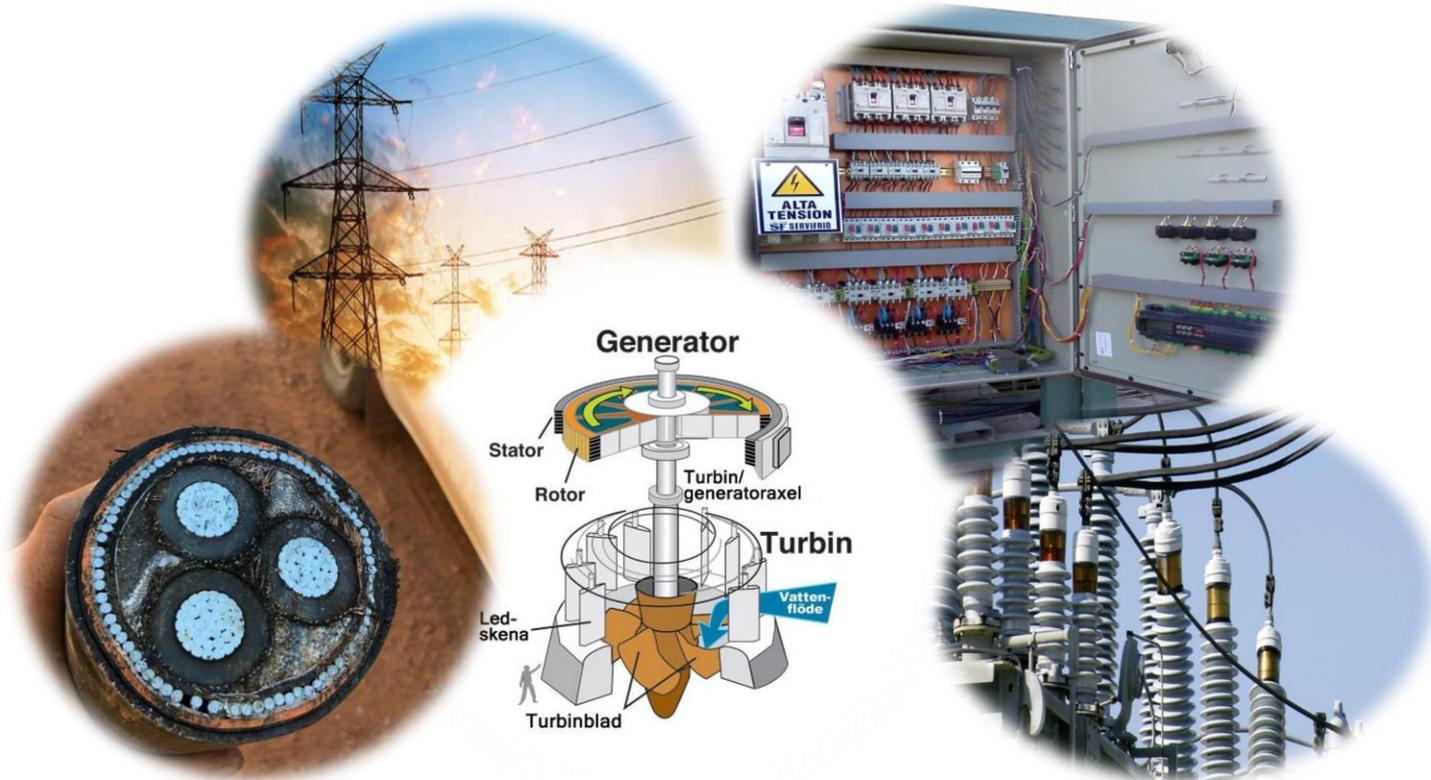
**Cours :**  
**Matériaux et Construction Electrique (MCE)**

**Professeur : AOUADI CHAOUQI**

# Introduction générale

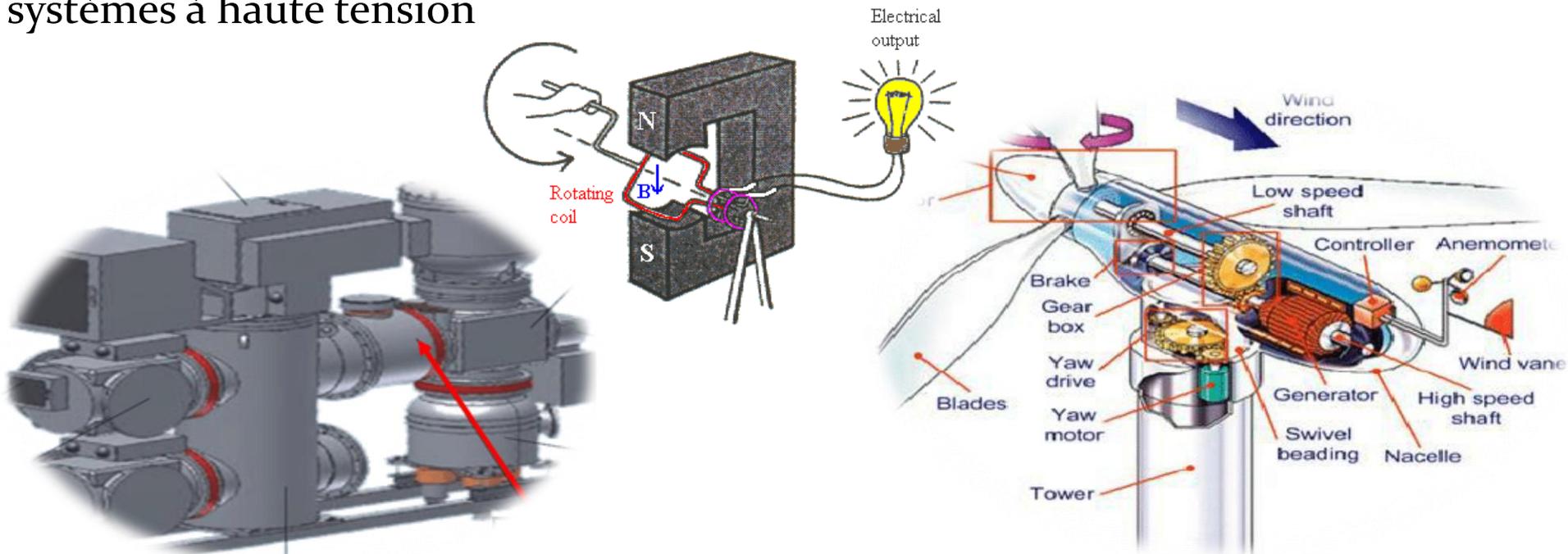
## La technologie électrique

Il s'agit de **la conception** et du **développement** de systèmes et composants haute tension tels que **moteurs, générateurs, chauffages, systèmes de transmission** et de **distribution de l'énergie électrique, convertisseurs et systèmes de commande** permettant de faire fonctionner des machines lourdes et légères.



# Introduction générale

la **technologie électrique** se concentre sur la conception et la production de systèmes à haute tension



la **technologie électronique** est principalement utilisée dans les applications à **basse tension** dans lesquelles le flux d'électrons se fait à travers des semi-conducteurs plutôt que des conducteurs ou des métaux.

# Matériaux et Construction Electrique (MCE)

Il a pour but :

- ❖ De représenter les métaux utilisés dans la fabrication électrique...
- ❖ d'initier aux notions de base des installations industrielles (Fonction d'appareillage, circuit de commande, circuit de puissance,...),
- ❖ de familiariser à la lecture d'un schéma d'une installation industrielle, domestique...
- ❖ De savoir les règles et les normes des installations électrique
- ❖ de faire l'analyse et la synthèse d'une application industrielle sur le sujet (commande d'un moteur, variateurs de vitesse,...).

## Partie 1 :

# Matériaux utilisés en électricité

1. Les types des métaux (Conducteurs, isolants, Magnétique)
2. Les applications des métaux
3. Les câbles électriques (types, calibres, .....
4. La fabrication des machines électriques tournantes
5. La fabrication des transformateurs de grande puissance

## Partie 2 :

# Construction électrique

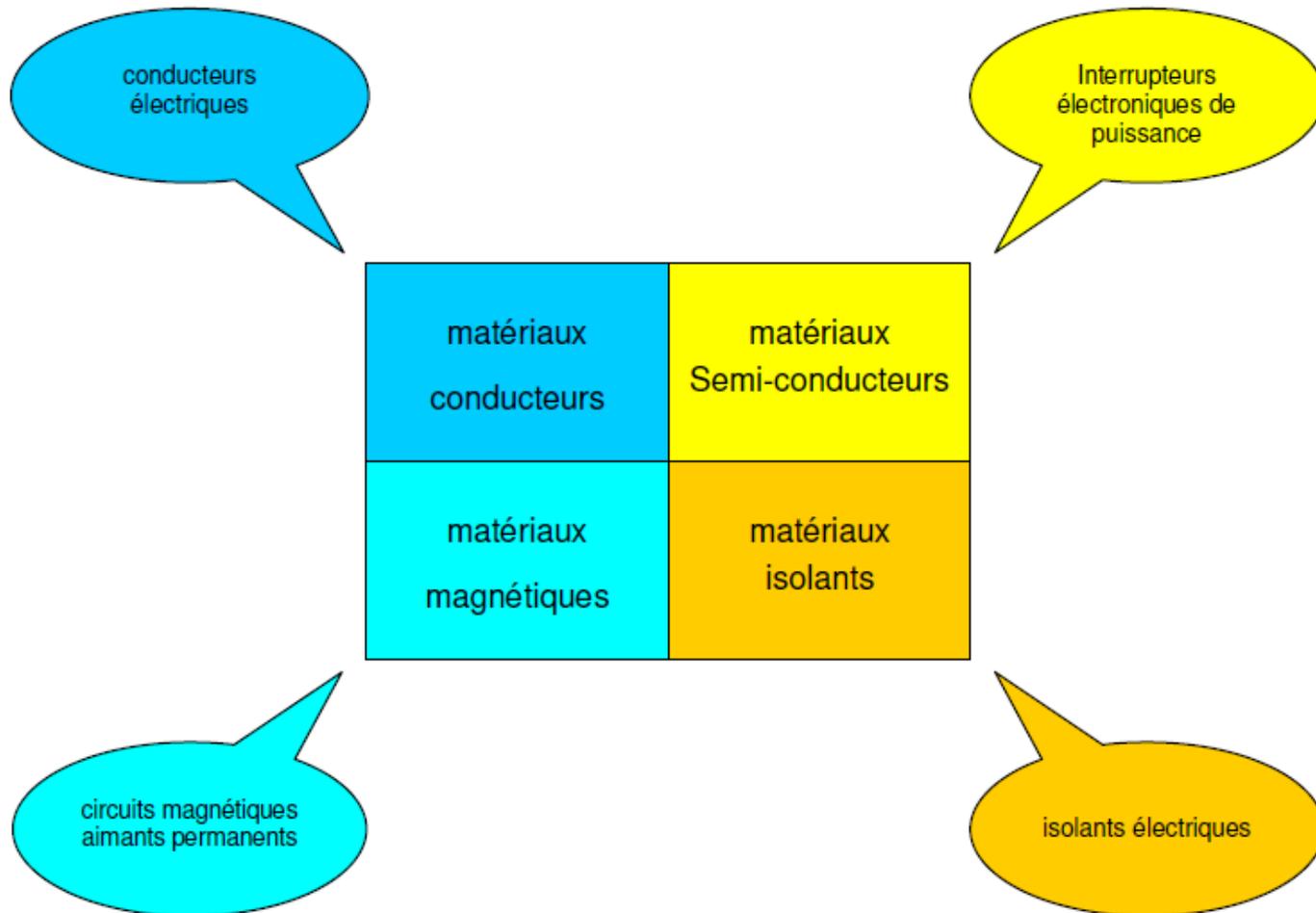
1. Dimensionnement des câbles électriques
2. Étude des schémas électriques
3. Étude des fonctions de l'appareillage électrique
4. La qualité, les normes et la sécurité d'une installations électrique

# **Chapitre 1 :**

## **Matériaux utilisés en électricité**

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Les métaux utilisés dans électrotechnique



# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Propriétés électriques:

- ✓ Perméabilité,
- ✓ Résistivité,
- ✓ Conductivité
- ✓ Constante diélectrique...

## Propriétés physiques et mécaniques:

- ✓ Densité,
- ✓ Dilatation,
- ✓ Point de fusion,
- ✓ Dureté,
- ✓ Elasticité...

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Perméabilité

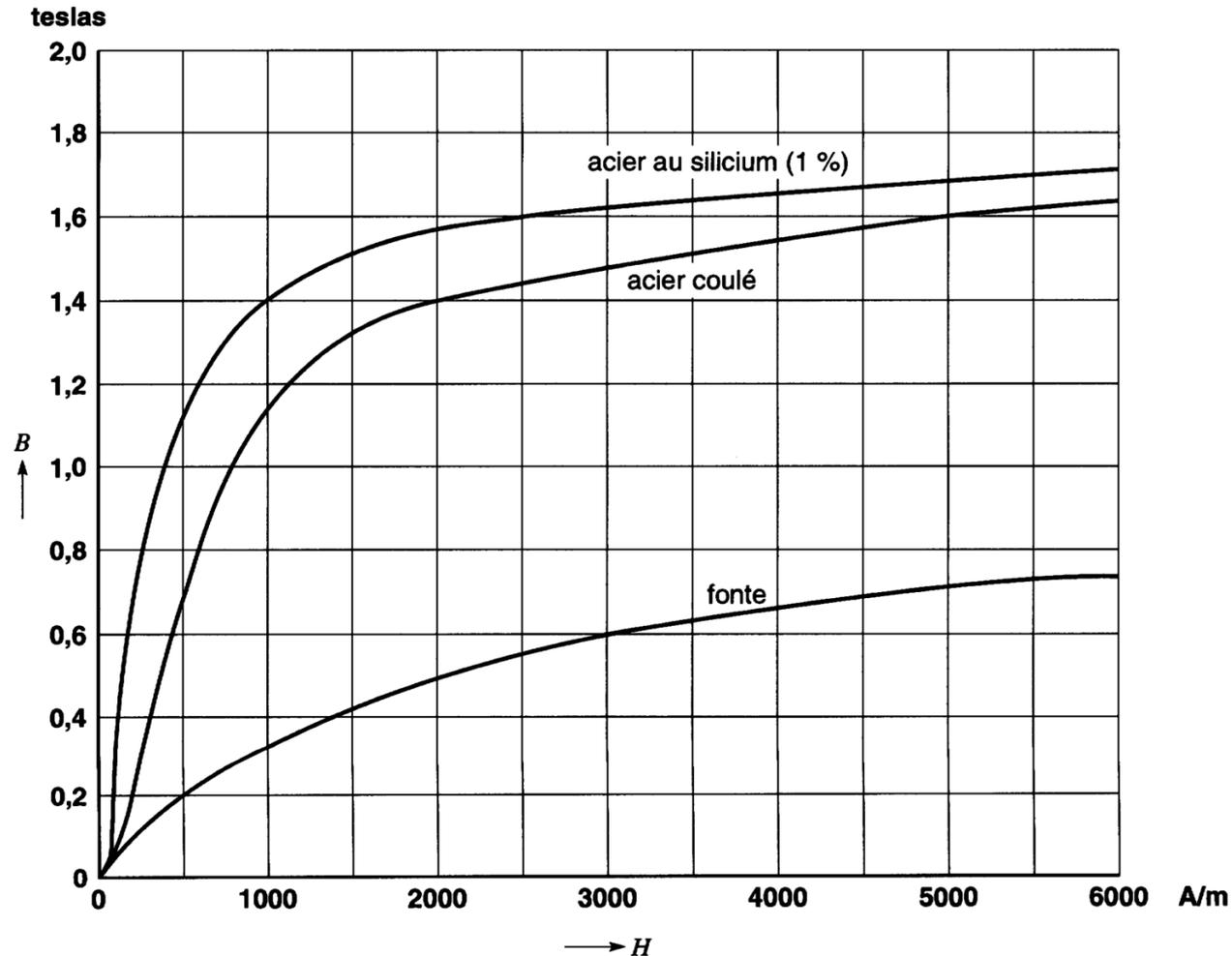
La perméabilité magnétique caractérise la faculté d'un matériau à modifier un champ magnétique  $\vec{B}$ , c'est-à-dire à modifier les lignes de flux magnétique. Cette valeur dépend ainsi du milieu dans lequel il est produit où le champ magnétique varie linéairement avec l'excitation magnétique  $\vec{H}$ .

Relation entre champ magnétique et champ d'excitation magnétique

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$
$$\mu = \mu_0 \mu_r$$


# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

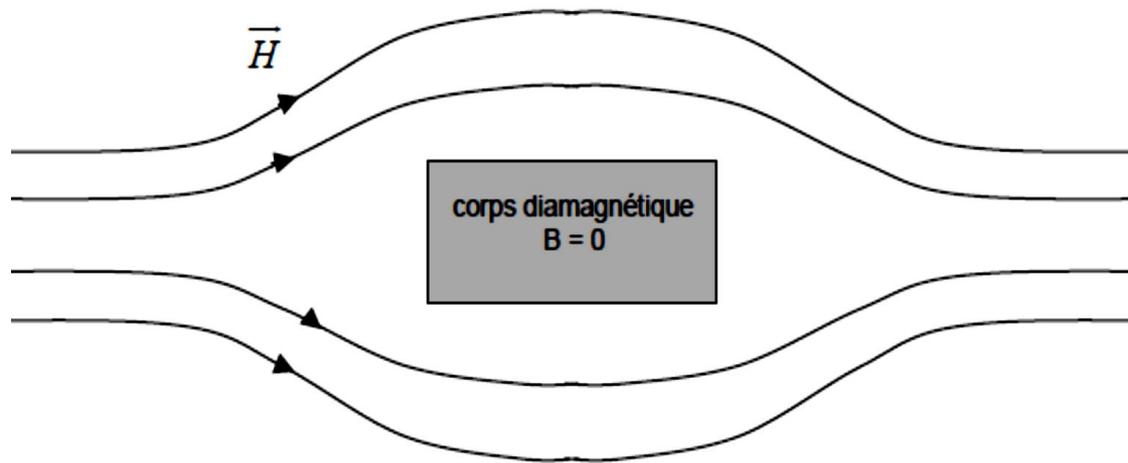
Courbe d'aimantation de trois métaux employés dans les machines électrique



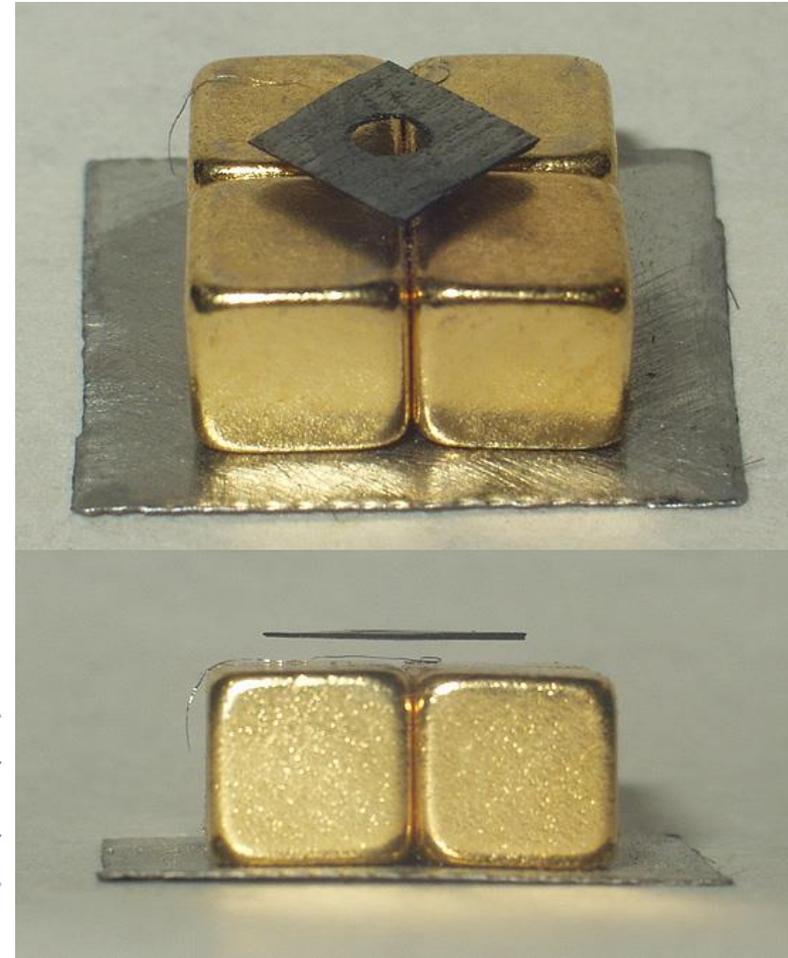
Exemple : Quelle est la perméabilité de l'acier au silicium (1%) lorsqu'il est utilisé à une densité de 1,4 T.

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

**Le diamagnétisme** : est un comportement des matériaux, lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique, créer une très faible aimantation opposée au champ extérieur, et donc à générer un champ magnétique opposé au champ extérieur.



Comportement d'un matériau diamagnétique placé dans une excitation magnétique



Argent, Cuivre, Eau, Plomb, Or, Zinc

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

**Paramagnétique** : est un matériel qui ne possède pas d'aimantation spontanée mais qui, sous l'effet d'un champ magnétique extérieur, acquiert une aimantation dirigée dans le même sens que ce champ d'excitation.

**Air, Aluminium, Magnésium, Platine**

**Les matériaux ferromagnétique** : sont des corps qui ont la capacité de s'aimanter sous l'effet d'un champ magnétique extérieur et de garder cette aimantation.

**Cobalt, Fer, Nickel...**

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Matériau	Composition	Perméabilité relative $\mu_r$	Utilisation
Fer Armco	Fer pur	10'000	relais, électroaimant
Acier Hypersyl	Si à 3 %	40'000 à 50'000	inductances transformateurs
Mumétal Permalloy C	Ni à 80 %	70'000 à 130'000	blindages magnétiques relais rapides
Acier au cobalt Permendur V	Co à 35 - 50 %	3'500	tôles pour petites machines tournantes

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Conductivité électrique

la conductivité est la mesure de la facilité de passage du courant électrique dans la matière

### le transport de l'énergie électrique

Réduire au maximum les pertes d'énergie en utilisant, dans la fabrication du conducteur électrique, des matériaux ayant une conductivité élevée comme le cuivre ou l'aluminium.

### le chauffage électrique par résistance

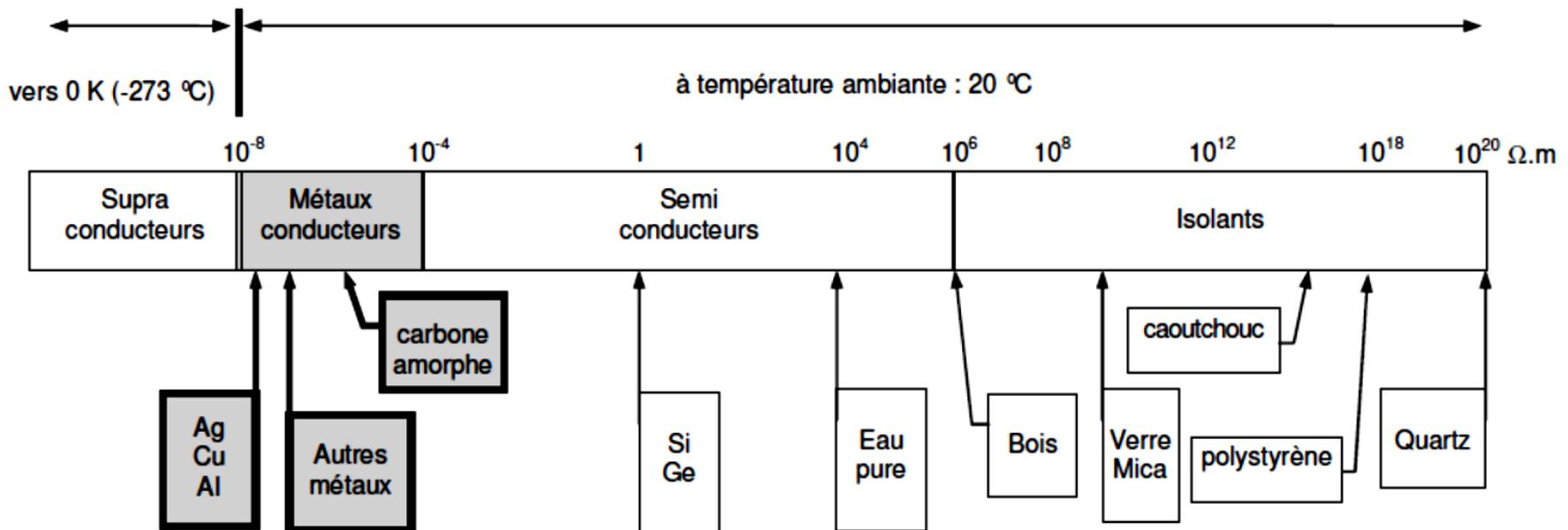
# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Echelle des résistivités électrique

Représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique

La résistivité est la grandeur inverse de la conductivité (symbole :  $\sigma$ ) :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$



# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

☞ facteurs constructifs déterminant la résistance d'un conducteur :

- la résistance du matériaux
- la longueur du conducteur
- la section du conducteur



Pour un conducteur cylindrique :  $S = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$

$$\rho = \frac{RS}{L}$$

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

$\rho$  : La résistivité du matériau en  $[\Omega m]$

R : La résistance du matériau en  $[\Omega]$

L : La longueur du matériau en  $[m]$

S : La section du matériau en  $[m^2]$

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Resistance

- La résistance d'un conducteur est l'obstruction offerte par le conducteur dans la circulation du courant à travers lui. il est mesurais par la différence de potentiel nécessaire sur le conducteur pour y faire circuler un courant.
- la résistance d'un conducteur dépend de son matériau, de sa température, de sa longueur et de sa section.
- S.I unité de résistance est ohm

## Résistivité

- la résistivité est la propriété du conducteur en raison de laquelle il offre une résistance à la circulation du courant à travers lui. il est mesuré par la résistance offerte par 1 m de longueur de fil de ce matériau de surface de section  $1 \text{ m}^2$ .
- la résistivité du matériau dépend uniquement de son matériau et de sa température.
- S.I unité de résistivité est ohm.m

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Mesure de la résistance

- La résistance se mesure avec un ohmmètre.
- La mesure s'effectue hors tension (sans aucune alimentation).
- L'ohmmètre se branche en dérivation aux bornes de l'élément à mesurer, il faut parfois déconnecter l'élément du circuit pour éviter l'influence des autres éléments du circuit.

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

L'évolution de la résistivité avec la température dépend du matériau :

- Pour les métaux, à la température ambiante, elle croît linéairement avec la température. Cet effet est utilisé pour la mesure de température (**sonde Pt 100**);
- Pour les semi-conducteurs, elle décroît avec la température absorbée par le composant.

**La résistivité  $\rho$  d'un matériau à la température  $\theta$ , s'exprime en fonction de la résistivité  $\rho_0$  à la température de 0°C de la façon suivante :**

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$$

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$$

**Où  $\alpha$  est appelé coefficient thermique de la résistivité,  $\alpha$  dépend du matériau. Pour les métaux,  $\alpha = 4.10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$**

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Quelques valeurs :

MATÉRIAUX	RÉSISTIVITÉ ( $\rho$ )	COEFF. DE TEMPÉRATURE ( $\alpha$ )	
	$\Omega \text{ m}$	$(^\circ\text{C})^{-1}$ (20°C)	$(^\circ\text{C})^{-1}$ (0°C)
<i>ARGENT</i>	$1,5 \times 10^{-8}$	0,0038	0,0041
<i>CUIVRE</i>	$1,6 \times 10^{-8}$	0,00393	0,00426
<i>OR</i>	$2,04 \times 10^{-8}$	0,0034	0,004
<i>ALUMINIUM</i>	$2,6 \times 10^{-8}$	0,0039	0,0042
<i>TUNGSTENE</i>	$5 \times 10^{-8}$	0,0045	0,005
<i>NICKEL</i>	$10 \times 10^{-8}$	0,006	0,0047
<i>MAGANINE</i>	$42 \times 10^{-8}$	0,000006	0,000002
<i>CONSTANTAN</i>	$49 \times 10^{-8}$	0,000008	0,000001

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

☞ étant donné que l'unité de section peut être exprimée en fonction de différents systèmes de mesure, on utilise en pratique deux modalités différentes pour exprimer la résistivité:

- en système SI (« métrique »)
- en système « britannique »

# Systeme britannique

 Calcul de la section d'un conducteur circulaire (systeme britannique)

 *mil* : unite de longueur = un millieme de pouce

$$1 \text{ mil} = 0,001 \text{ pouce} = 0,0254 \text{ mm} = 25,4 \mu\text{m}$$

 *mil-circulaire* (*circular mil*) : unite de surface; c'est la surface d'un cercle ayant un diametre de 1 mil

$$1 \text{ cmil} = 1 \text{ mil}^2 = 0,000506707 \text{ mm}^2$$

$$S = D^2$$

 [D] = 1 mil

 [S] = 1 cmil

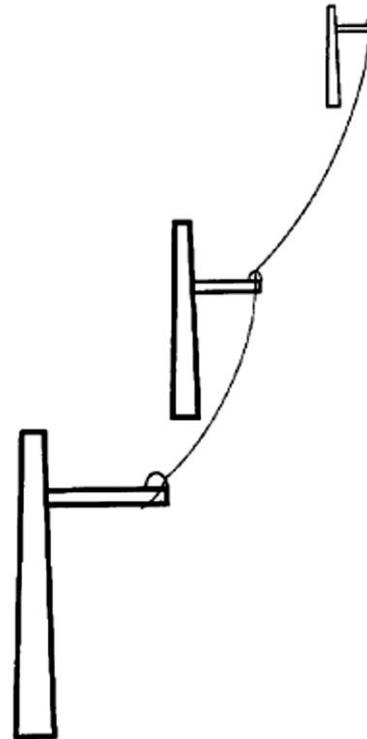
# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Exercices

- a) Calculer la résistance d'une bobine de conducteur en cuivre d'une longueur de 100 m et de section  $2,5 \text{ mm}^2$  ?
  - b) Calculer la résistance d'une barre d'aluminium de 10 m et de section rectangulaire de 10 mm sur 15 mm ?
  - c) Quel doit être la section et le diamètre d'un fil en tungstène ayant pour longueur 1 Km pour que sa résistance soit de  $56 \Omega$  ?
-  Calculer la résistance d'un fil de cuivre de 100 mètres de longueur et de 0,81 millimètre de diamètre.

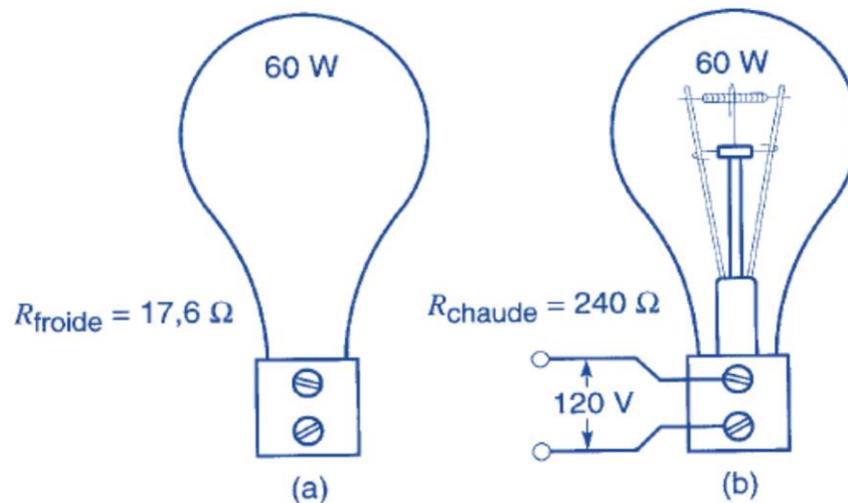
# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

- ☞ Trouver la variation de la résistance d'une ligne de transport d'énergie entre des températures de  $(-30^{\circ}\text{C})$  et  $(+35^{\circ}\text{C})$ , si la résistance des conducteurs de cuivre est de 100 milliohms à  $0^{\circ}\text{C}$ .



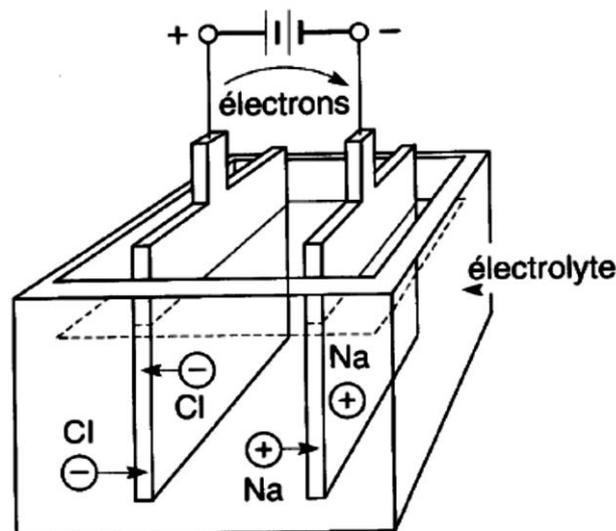
# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

☞ Une lampe à incandescence de 60 Watts possède une résistance de 17,6 ohm à 20 °C. si elle tire un courant de 0,5 A sous une tension de 120 V. quelle est la température du filament? Pour le tungstène :  $\alpha = 0,0055$  par °C.



# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

☞ Deux électrodes ayant une surface de  $1,2 \text{ m}^2$  sont plongées dans l'eau de mer dont la résistivité est de  $0,3 \text{ Ohm.m}$ . si la distance entre les plaques est de  $10 \text{ cm}$ , calculer la valeur approximative du courant lorsqu'on applique une tension de  $10 \text{ V}$  entre les électrodes.

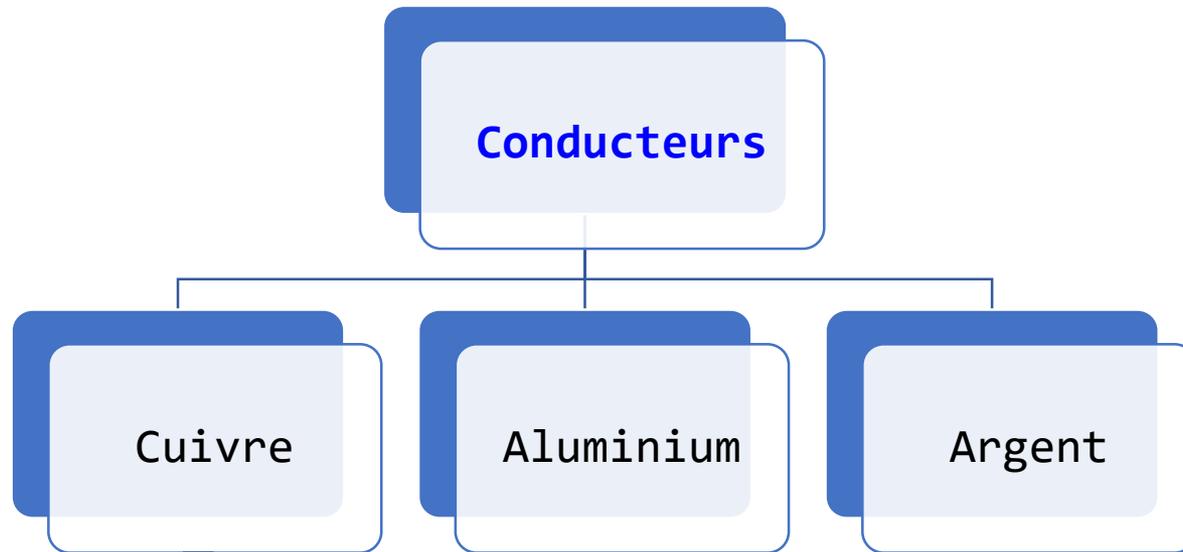


# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

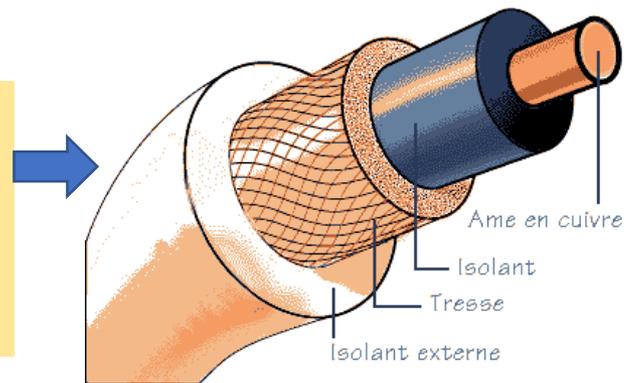
## Matériaux conducteurs

- Un conducteur d'électricité est un corps capable de laisser passer un courant électrique.
- Ils sont caractérisés par sa faible résistivité, de l'ordre de  $10^{-6} [\Omega cm]$ .
- Bonne conductivité thermique :  $\approx 100 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$  ( $\approx 500$  fois moins pour les isolants).
- Le cuivre et l'aluminium sont les plus employés pour la fabrication des câbles et des appareils électriques.

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité



**circuits intégrés, les câbles électriques, barres, bobinages et collecteurs**



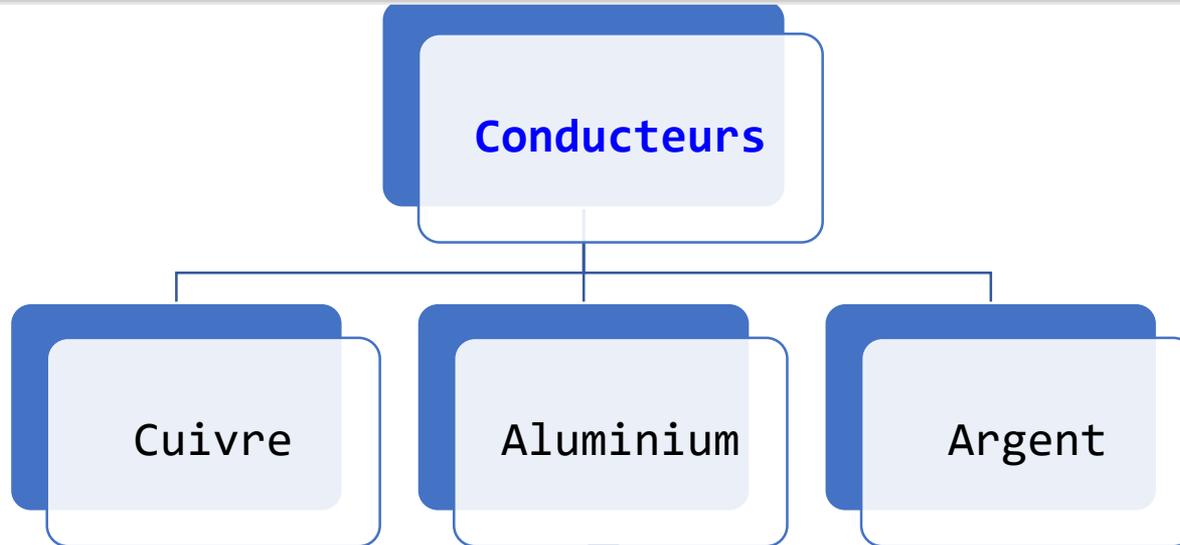
## Le cuivre et ses alliages

Le cuivre est caractérisé par sa faible résistivité  $\rho = 1.72 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$ , il est classé parmi les bons conducteurs électriques utilisés pour la fabrication des câbles et les conducteurs.

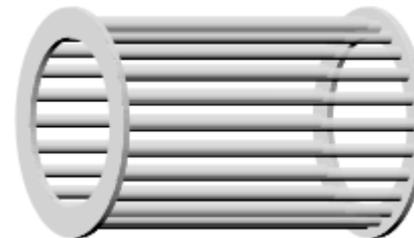
On distingue les alliages suivants :

- Le laiton (essentiellement composé de cuivre et de zinc) est un alliage de cuivre (Cu) et de zinc (Zn), sa résistivité  $\rho = 6.4 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$ .
- Le bronze est un alliage de cuivre (Cu), d'aluminium (Al) et de plomb (Pb), sa résistivité  $\rho = 15 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$ .

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité



**le transport d'électricité en grande puissance, cages de moteurs asynchrones, et appareillages**



## Aluminium et ses alliages

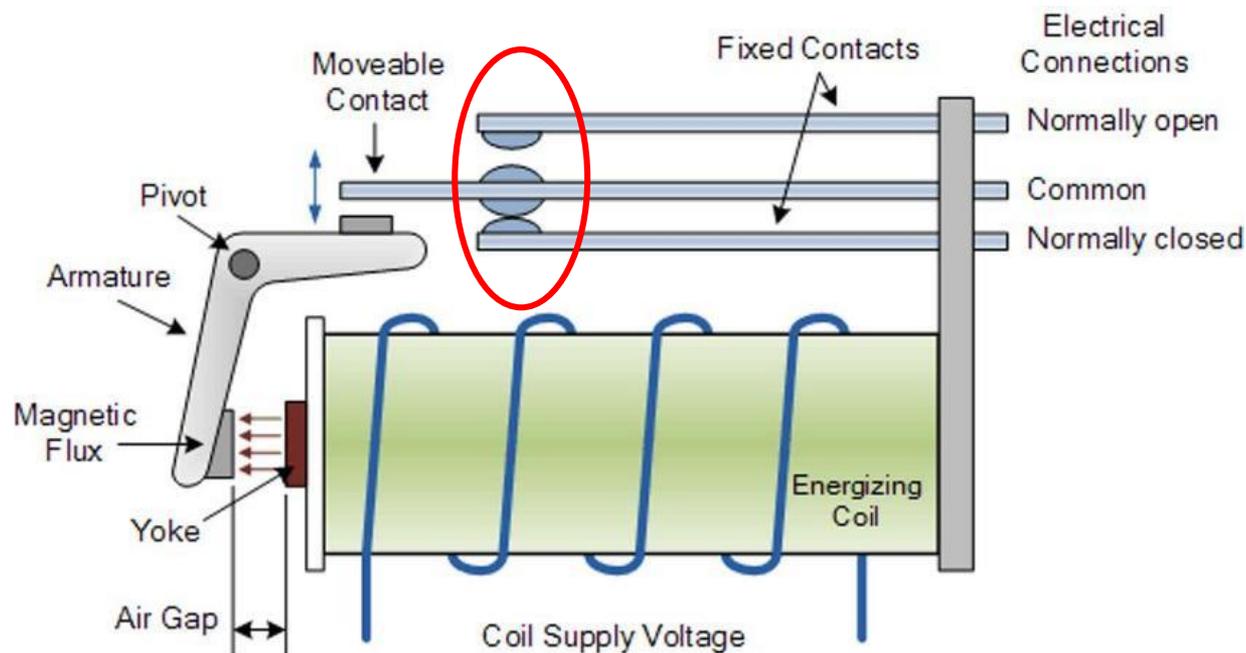
L'aluminium est compté parmi les bons conducteurs  $\rho = 2.8 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$ , mais il est caractérisé par sa souplesse et sa flexibilité. C'est pour cette raison qu'on cherche à le **durcir** par un traitement thermique. On distingue les alliages suivants :

- Aluminium (Al) plus cuivre (Cu) : ils servent à la fabrication des enroulements des machines tournantes, ainsi pour les câbles nus... ;
- Aluminium (Al) plus Magnésium (Mg) et Silicium (Si) : On les utilise pour la fabrication des disjoncteurs et des carcasses des moteurs.

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Argent et ses alliages

- Argent pur  $\rho = 1.59 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$  : utilisé pour les contacts inoxydables, contacts des relais ;
- Argent (Ag) plus Cadmium (Cd) : présente une faible résistance de contact.



## Matériaux isolants

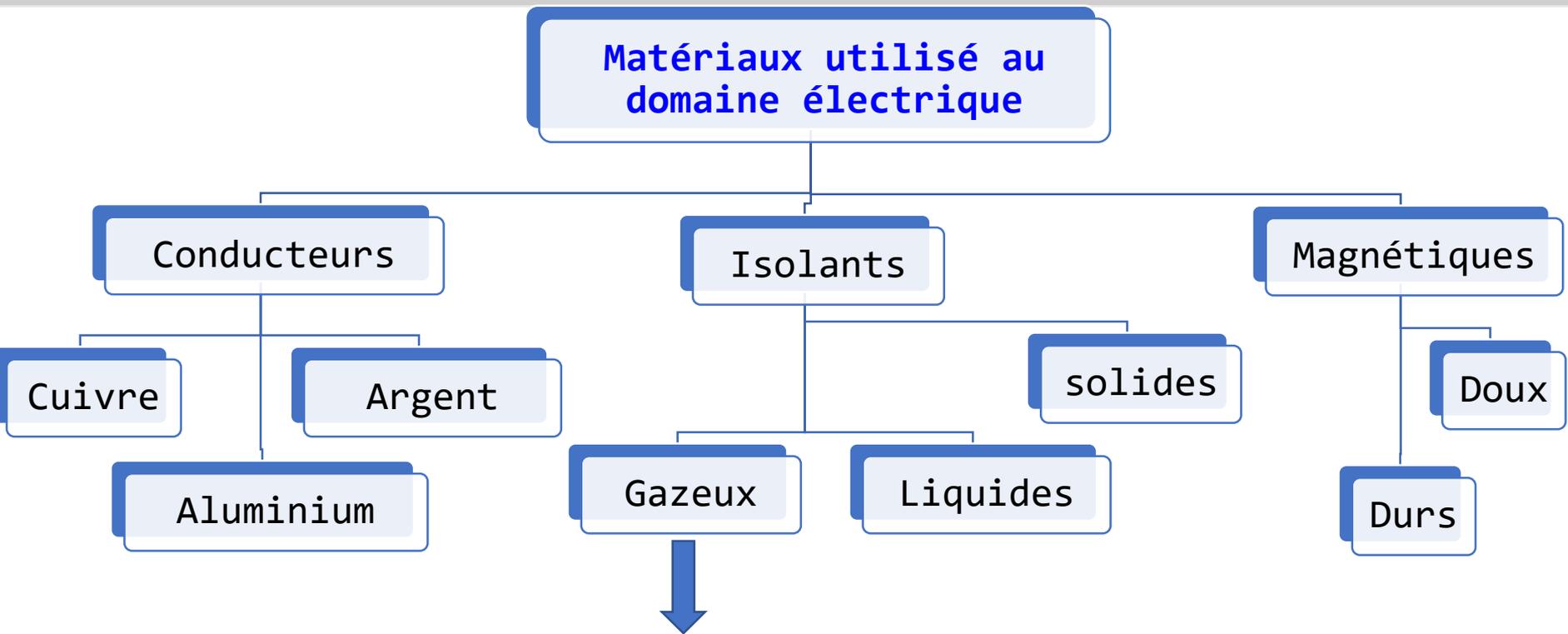
un **isolant électrique** est une partie d'un composant ou un organe ayant pour fonction d'empêcher le passage de tout courant électrique entre deux parties conductrices soumises à une différence de potentiel électrique.

Un isolant est constitué d'un matériau diélectrique qui possède peu de charges libres. La résistivité des matériaux isolants est exprimée par la même relation que pour les matériaux conducteurs. Ils se caractérisent par une résistance très élevée, elle est de l'ordre de  $10^6 \text{ cm}$ .

On distingue trois états d'isolation :

- ❖ Isolation gazeuse ;
- ❖ Isolation liquide ;
- ❖ Isolation solide.

# Matériaux et Construction Electrique (MCE)



➤ Poste électrique (sous enveloppe métallique ou à l'air)

➤ Les Câbles à Isolation Gazeuse (CIG)

➤ Disjoncteurs haute tension et interrupteurs (à Isolation Gazeuse, air ou vide)

## Les isolants gazeux

Généralement les isolants gazeux sont utilisés dans les chambres de coupure de haute puissance.

Les plus utilisés sont :

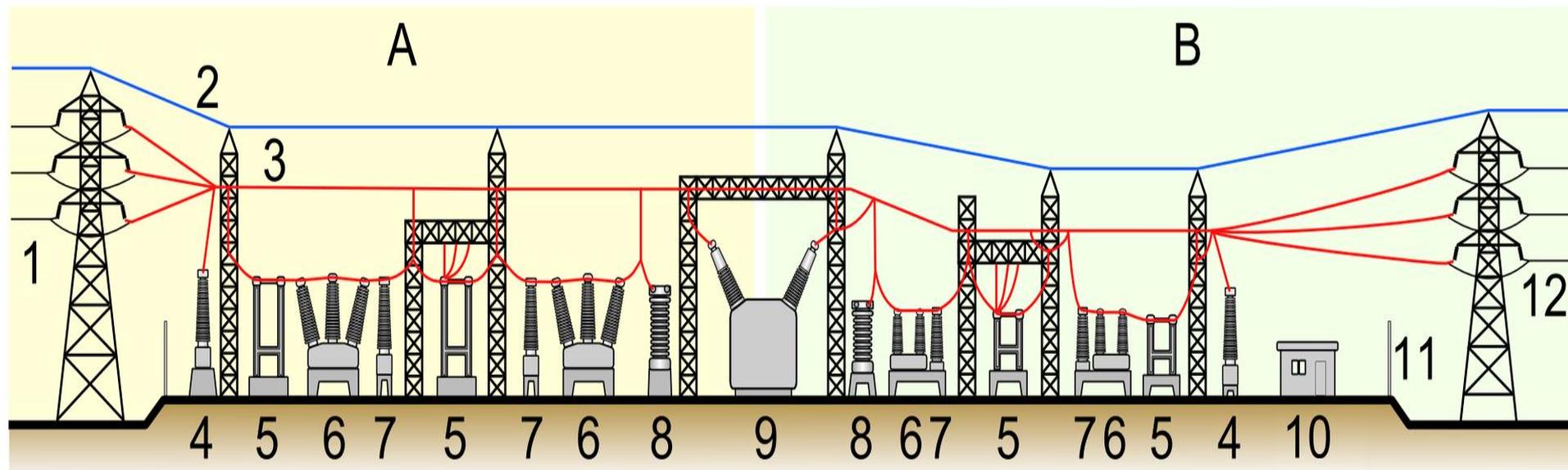
- **L'air** est le plus simple isolant gazeux ;
- **L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)** : c'est un gaz lourd et non toxique. Il est utilisé dans les disjoncteurs de haute tension.
- **Hydrogène** : utilisé pour le refroidissement des gros machines rotatives.

# Matériaux et Construction Electrique (MCE)

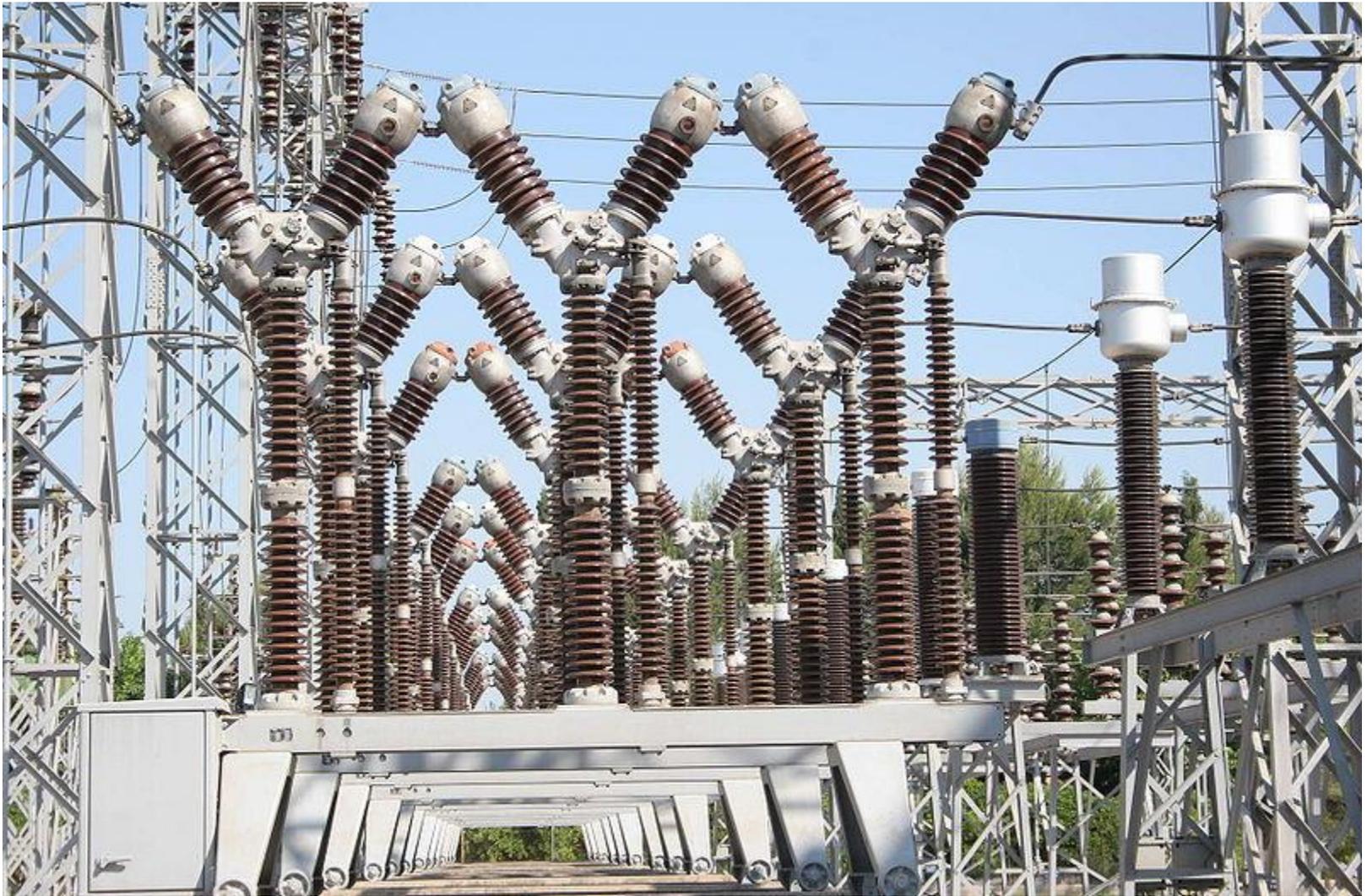
Technologies des postes électriques haute tension :

➤ **La technologie isolée dans l'air**, dite aussi conventionnelle.

Dans ce cas, les conducteurs électriques haute tension sont séparés par une distance d'air qui en assure l'isolation.



(A : côté primaire; B : côté secondaire; 1. Ligne électrique primaire; 2. Câble de garde  
3. Ligne électrique; 4. Transformateur de tension; 5. Sectionneur; 6. Disjoncteur; 7.  
Transformateur de courant; 8. Parafoudre; 9. Transformateur (de puissance); 10.  
Bâtiment secondaire; 11. Clôture; 12. Ligne électrique secondaire)



**Poste électrique haute tension isolé à l'air**

# Matériaux et Construction Electrique (MCE)

- **La technologie à isolation gazeuse**, dite aussi blindée. Dans ce cas, les conducteurs électriques sont encapsulés dans une enveloppe métallique remplie d'un gaz.



Poste électrique haute tension isolé au SF6

# Matériaux et Construction Electrique (MCE)

- **Poste électrique sous enveloppe métallique (poste blindé)**

est un poste électrique dont l'isolation est réalisée par un gaz isolant, typiquement de **l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)**, et dont l'enveloppe métallique externe est mise à la terre.

Leurs principaux intérêts sont d'être très compacts et de pouvoir être installés à l'intérieur de bâtiments

Un poste blindé formé par :

- Sectionneur
- Jeu de barres
- Disjoncteur
- Sectionneur de mise à la terre
- Transformateur de courant
- Transformateur de tension
- Parafoudre
- Connecteur pour câble
- Traversée isolée

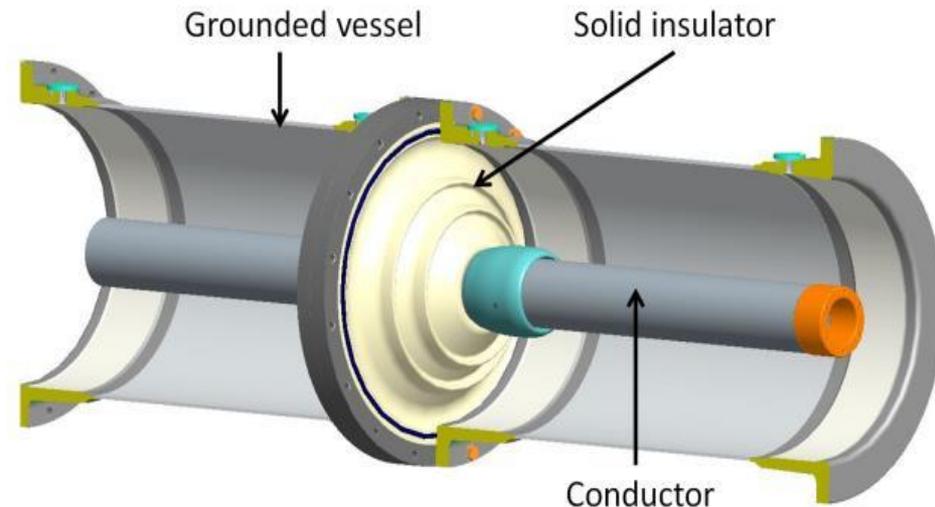


# Matériaux et Construction Electrique (MCE)

## Les Câbles à Isolation Gazeuse

cette technologie se caractérise par :

- la valeur élevée de puissance unitaire transportable (1500-6000MW) qui permet de réduire le nombre de lignes parallèles nécessaires pour le transport d'une certaine quantité d'énergie;
- la possibilité de les enfouir dans le terrain, qui permet de réduire l'impact visuel des lignes électriques utilisant cette technologie;



Structure typique de l'isolation électrique d'un poste très haute tension à isolation gazeuse

## Les isolants gazeux

- la faible valeur de capacité linéaire (environ 50 nF/km) qui permet la réalisation de lignes de longueur importante (jusqu'à 100km) sans besoin de compensation réactive (nécessaire pour les connexions en câble souterrain tous les 20-30 km) ;
- une valeur de pertes par effet de Joule inférieure de 1/3 à 1/2 par rapport aux lignes aériennes;
- un niveau pratiquement nul de champ électrique et fortement réduit pour le champ magnétique par rapport à celui des autres technologies.

## Les isolants gazeux

- ✓ Le conducteur est protégé de l'extérieur,
- ✓ Pas de vieillissement diélectrique,
- ✓ Pas de contrainte thermique,
- ✓ Faible capacitance,
- ✓ Pas de danger pour l'environnement en cas de court-circuit.
- ✓ Pas de risque d'incendie, ce qui est important dans les tunnels.
- ✓ Champs magnétique et électrique très faibles vus de l'extérieur.
- ✓ Peu de perte diélectrique.

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Les isolants liquides

On distingue deux sortes d'huiles :

- **L'huile minérale** qui présente le risque d'oxydation incendie ;
- **L'huile lourde** (synthétique) employé dans les transformateurs et les disjoncteurs de puissance.



# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Les isolants solides

Trois différents isolants solides qui se présentent :

- **Isolants minéraux** : comme le fibre de verre, le porcelaine et le mica...;
- **Isolants organiques** : comme le papier, le bois et le coton...;
- **Isolants synthétiques (polymère)** : comme la bakélite, le caoutchouc, les rerésines, les vernis ...



Isolateur céramique utilisé pour supporter les câbles haute tension

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Pour les basses tensions, des isolations au **caoutchouc naturel**, **vulcanisé**, **gutta-percha**, **PVC**.

Pour les câbles d'une tension supérieure à 10 kV les isolations suivantes sont utilisées en pratique:

1. **Papier imprégné d'huile** ;
2. **Polyéthylène à faible densité** (abrégé LDPE en anglais);
3. **Polyéthylène à haute densité**;
4. **Polyéthylène réticulé** (abrégé XLPE en anglais);
5. **L'éthylène-propylène** (EPR).

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## Matériaux magnétiques

**Matériaux ferromagnétiques** : Ils peuvent être fortement magnétisés. Leur aimantation persiste plus ou moins lorsque le champ magnétisant est supprimé.  
**Exemples** : Fer, Nickel, Acier, Cobalt

**Matériaux paramagnétiques** : Ils s'aimantent faiblement dans le sens du champ magnétisant. Leur aimantation cesse dès que le champ magnétisant est supprimé.  
**Exemples** : Aluminium, Platine , Manganèse

**Matériaux diamagnétiques** : Ils s'aimantent faiblement dans le sens opposé au champ magnétisant. Leur aimantation cesse dès que le champ magnétisant est supprimé.

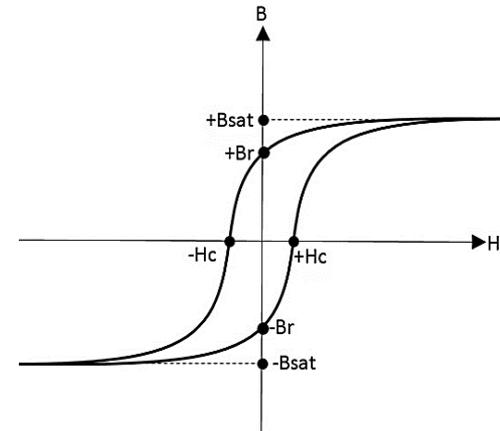
# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## 1. Matériaux ferromagnétiques doux

sont capables de s'aimanter lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique extérieur. Sa particularité est que l'action de créer ou d'annuler l'aimantation dans le matériau nécessite moins d'énergie.

### Cycles d'hystérésis

Les matériaux ferromagnétiques doux ont un champ coercitif plus faible (inférieur à  $1000 \text{ A m}^{-1}$ ). L'application d'une faible induction magnétique pourra donc retourner ou annuler l'aimantation du matériau.



Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique doux

$H_c$  : Champ coercitif,  $B_r$  : Champ rémanent et  $B_{sat}$  : Champ saturant

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Les matériaux ferromagnétiques doux sont composés des éléments principaux

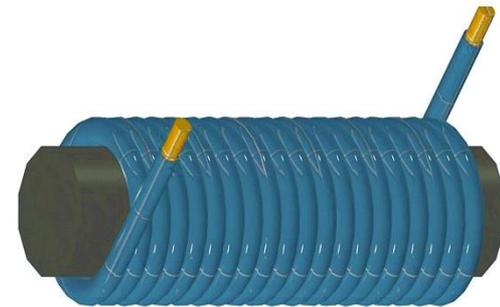
- Fer,
- Cobalt,
- Nickel, Magnésium, Silicium.

## Applications :

- **Les transformateurs**



- **Les électroaimants**

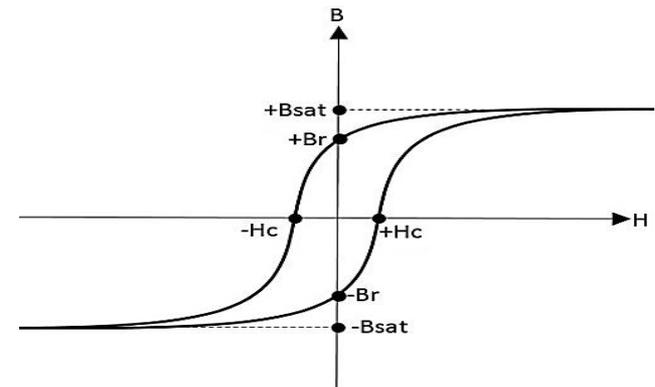


# Généralités: Matériaux utilisés en électricité

## 2. Matériaux ferromagnétiques durs

Ils possèdent une aimantation naturelle présente en absence de champ magnétique extérieur. Comme pour les autres matériaux ferromagnétiques, les ferromagnétiques durs ont la particularité de s'aimanter fortement en présence d'un champ magnétique extérieur.

Les matériaux ferromagnétiques durs sont à la base des aimants permanents, et notamment des aimants à forte puissance.

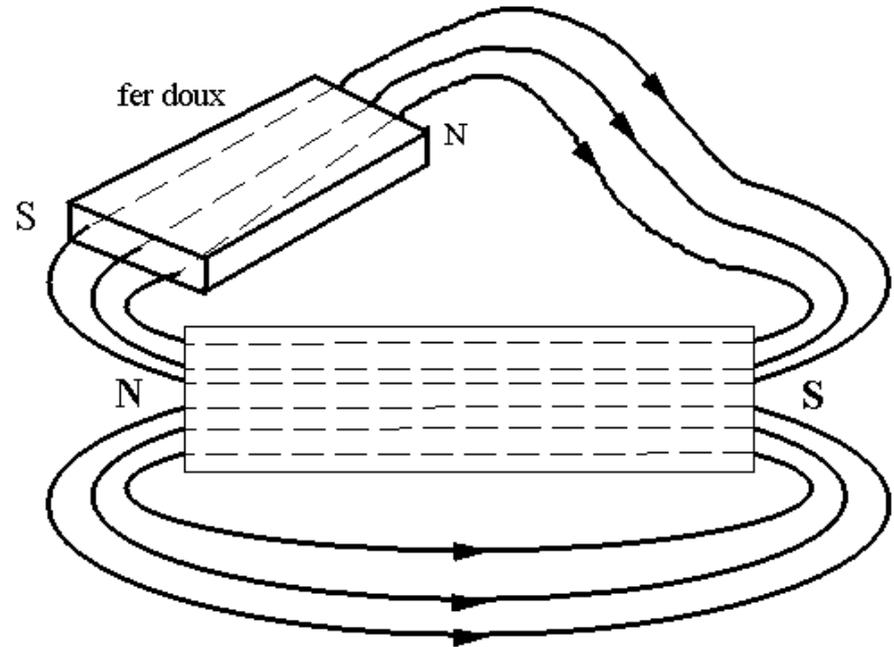
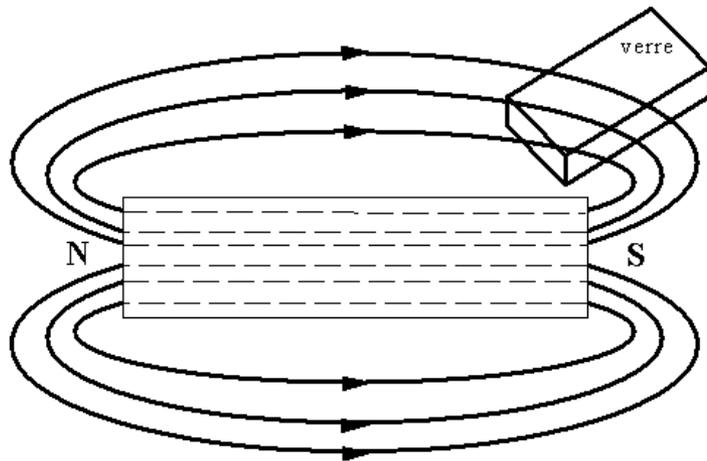


Cycle d'hystérésis d'un ferromagnétique dur

## Durée de vie d'un équipement électrique

- a. La durée de vie d'un appareil électrique est limitée par la température à laquelle est soumis son isolants.
- b. Plus la température est élevée plus sa durée de vie est raccourcie.
- c. La durée de vie d'un appareil diminue de moitié chaque fois que la température augmente de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

# Généralités: Matériaux utilisés en électricité



Cette particularité est utilisée pour protéger certains appareils sensibles au champ magnétique.

Dans notre exemple, le récepteur radio se trouve protégé des perturbations magnétiques extérieures par un blindage en fer doux,

**Partie 2 :**

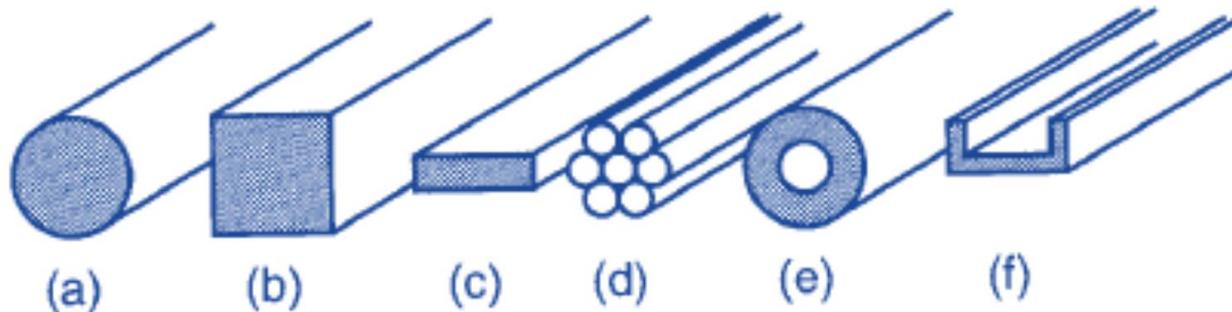
**Construction électrique**

# **LES CABLES ET LES CONDUCTEURS ELECTRIQUES**

# La forme des conducteurs

les conducteurs prennent une grande variété de formes: il y a des fils de section **ronde**, **carrée** ou **plate**, sous forme de **câbles toronnés** et sous forme de **barres** (barres omni-bus).

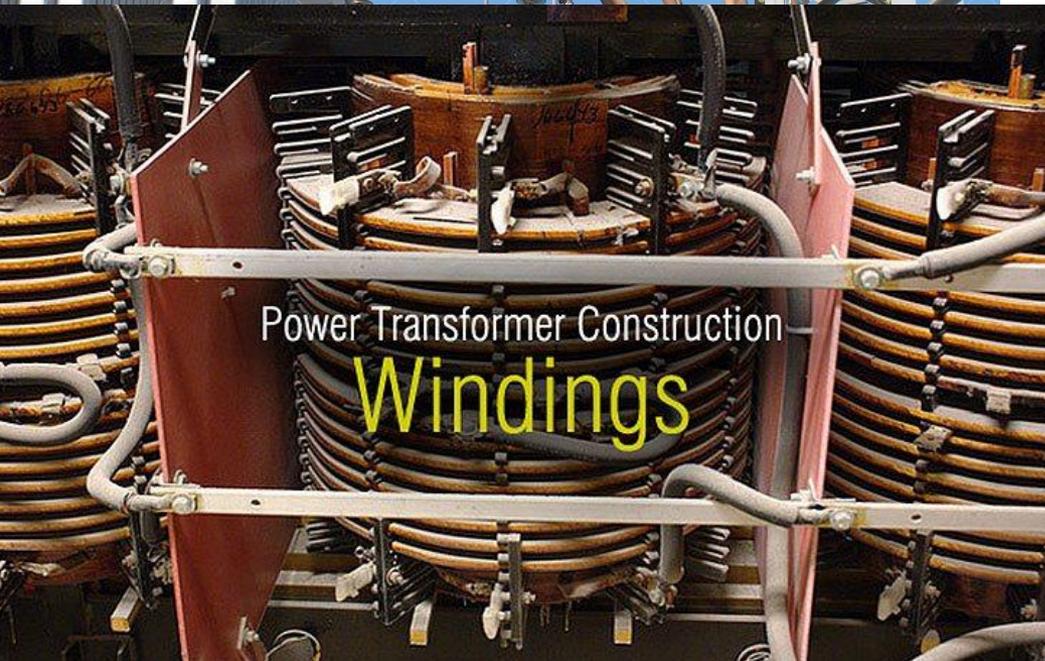
- Les fils de section ronde : se sont les plus employés pour les enroulements des transformateurs et des machines rotative. L'emploi de tels conducteurs dans les moteurs et génératrices permet une meilleur utilisation du volume des encoches.
- Les transformateurs de puissance plus grands peuvent être **enroulés avec des conducteurs à bandes rectangulaires** en cuivre isolés avec du papier imprégné d'huile et des blocs de carton pressé.



Diverse formes de conducteurs



Grande barre omnibus de cuivre avec les câbles à haute tension à une centrale électrique



**Note:** Les conducteurs utilisés dans les transformateurs de puissance sont généralement toronnés avec une section transversale rectangulaire.

Transformateur puissant

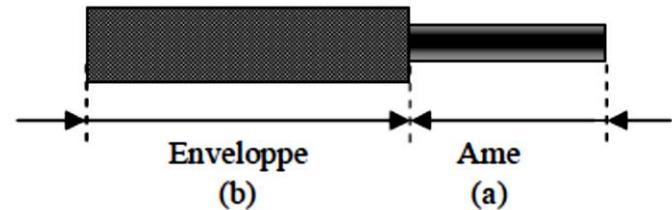
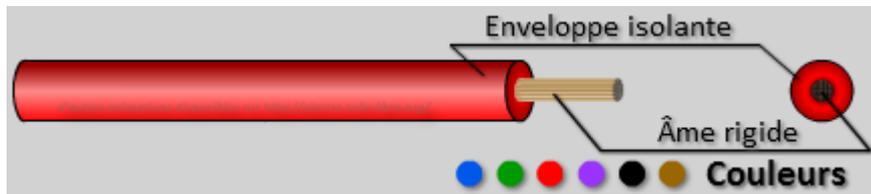
# Constitution des conducteurs et câbles

## Constitution des conducteurs et câbles

### Les conducteurs

Ils comprennent :

- une partie centrale, conductrice du courant : nommée âme (a) ;
- une partie périphérique isolante, qui assure la protection électrique (b).

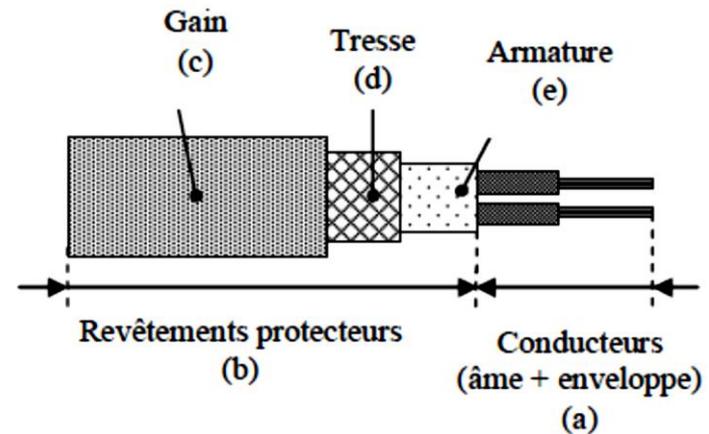
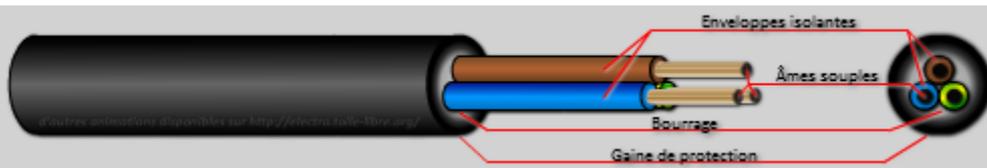


Constitution d'un conducteur

# Constitution des conducteurs et câbles

## Les câbles

Ils comportent plusieurs conducteurs (a) électriquement distincts et mécaniquement solidaires. Généralement sous un ou plusieurs revêtements protecteurs (b), qui peuvent être composés par un gain (c), un tresse (d) et une armature (e).

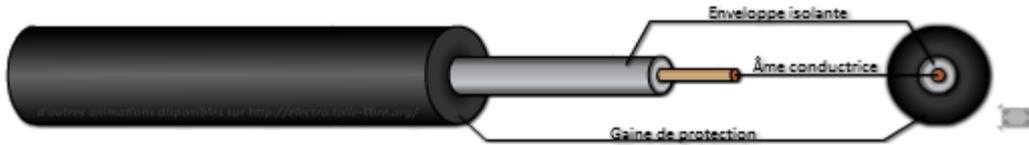


Constitution d'un câble à deux conducteurs

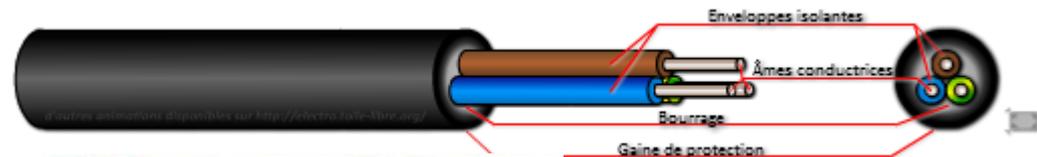
# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

Câble unipolaire et multipolaire :

a) Câble unipolaire : câble comprenant un seul conducteur isolé



b) Câble multipolaire : câble comprenant plus d'une âme, dont éventuellement certaines non isolée.



Câble  
multiconducteur  
(36 kV)



Câble  
multiconducteur  
pour pompes



# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

## Âme

Elle doit satisfaire aux conditions suivantes

- Bonne conductivité pour réduire les pertes lors du transport de l'énergie.
- Résistance mécanique suffisante pour éviter la rupture du conducteur sous les efforts au moment de la pose, des fixations, du serrage des connexions;
- Bonne souplesse pour faciliter le passage des conducteurs dans les conduits, respecter le tracé des canalisations, alimenter les appareils mobiles;
- Bonne fiabilité des raccordements par une bonne résistance aux effets physico chimiques des contacts

# Choix du câble électrique

Le choix du câble s'effectue en fonction de plusieurs critères :

- La **section normalisée** de l'âme conductrice en  $\text{mm}^2$  : Sections utilisées dans l'habitat  $S=0,75, 1,5, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, \dots, 150, 185, 240$ . (en  $\text{mm}^2$ )
- Le **nombre de conducteurs** nécessaires.
- La **matière** de l'âme conductrice.
- Le type d'**utilisation** : **Fixe** ou **Mobile**.
- L'**influence externe**.
- Le type de **mode de pose** : sous conduit encastré ou en apparent.
- Le **coût**

# **DÉSIGNATION NORMALISÉE DES CONDUCTEURS ET CÂBLES**

# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

## Il existe 2 types de désignations :

- ❖ **CENELEC** (**C**omité **E**uropéen de **N**ormalisation pour l'**ELEC**tricité): C'est un organisme sans but lucratif composé des comités électrotechniques nationaux de 30 pays européens. qui vise à **regrouper** et à **harmoniser** les normes des différents pays de l'**Union Européenne**.
- ❖ **UTE** (**U**nion **T**echnique de l'**E**lectrotechnique) : est l'organisme français de normalisation électrotechnique, pour les types de câbles **non harmonisé**.

L'UTE est le bureau de normalisation de l'électricité, comprenant les domaines suivants : l'électronique, l'électrotechnique, l'automatique, la communication (téléphonie, réseaux informatiques, domotique...)

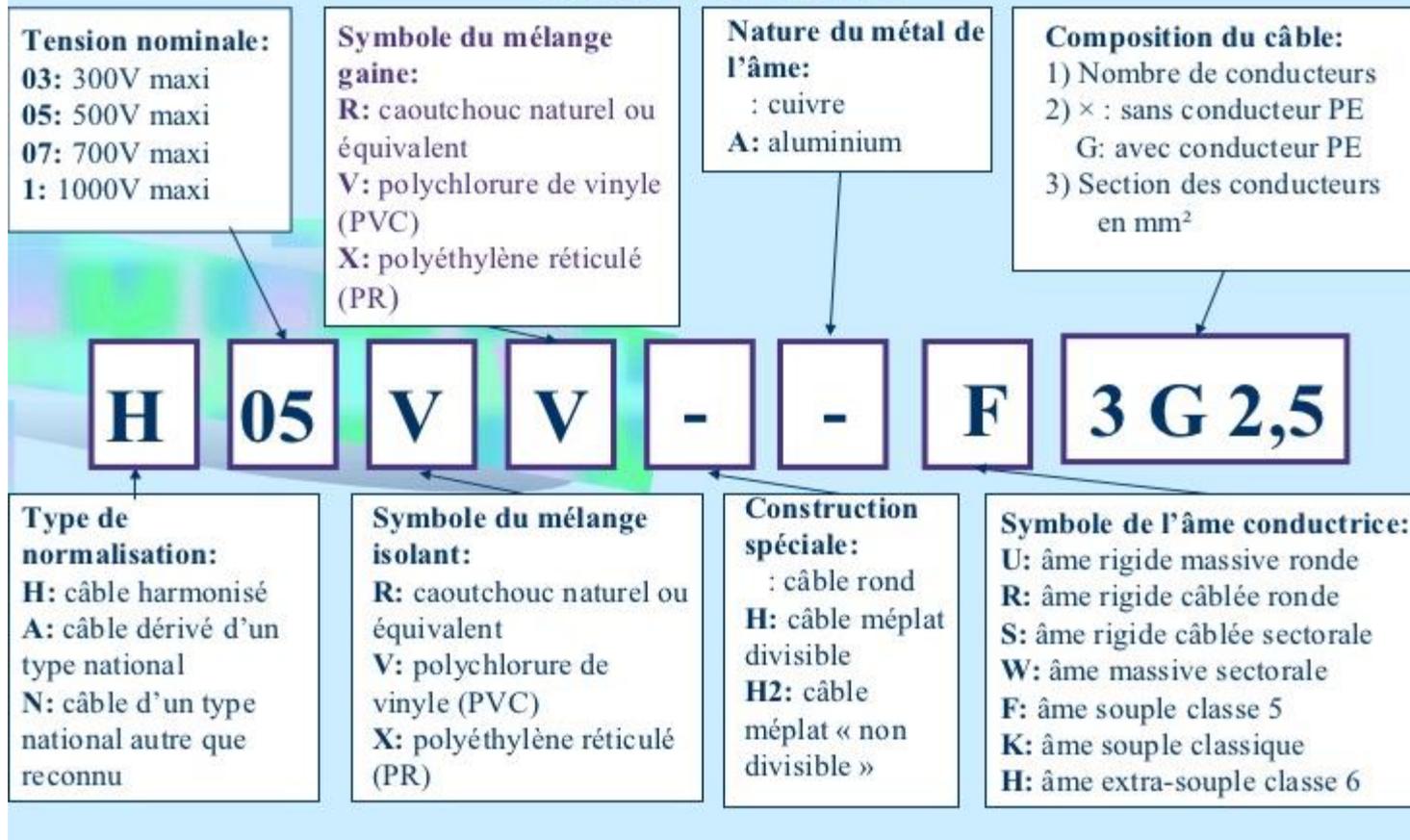
# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

## Désignation normalisée des conducteurs et câbles

1 ère Partie du symbole	Types	<b>H</b> : Harmonisé FRN : National reconnu par le Comité Européen de Normalisation Electrique (CENELEC)  <b>U</b> : normalisation française avec l'ancienne désignation UTE	
	Tensions nominales	<b>00</b> : <100/100 V <b>01</b> : >= 100/100 V <b>03</b> : 300/300 V	<b>05</b> : 300/500 V <b>07</b> : 450/750 V <b>1</b> : 0,6/1 KV
2 -ème Partie du symbole	Matériaux d'isolation et gaine	<b>E</b> : Polyéthylène <b>J</b> : Tresse de fibre de verre <b>N</b> : Polychloroprène <b>R</b> : Caoutchouc	<b>S</b> : caoutchouc de silicone <b>T</b> : tresse textile <b>V</b> : polychlorure de vinyle (PVC) <b>X</b> : polyéthylène réticulé
	Ame conductrice	<b>F</b> : souple classe 5 <b>H</b> : Souple classe 6 <b>K</b> : Souple pour installations fixes <b>R</b> : rigide, ronde, câblée <b>U</b> : ronde, massive	
3 -ème Partie du symbole	Nombre de conducteurs et section	Nombre des conducteurs Chiffre (2, 3, 4...), Section des conducteurs	

# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

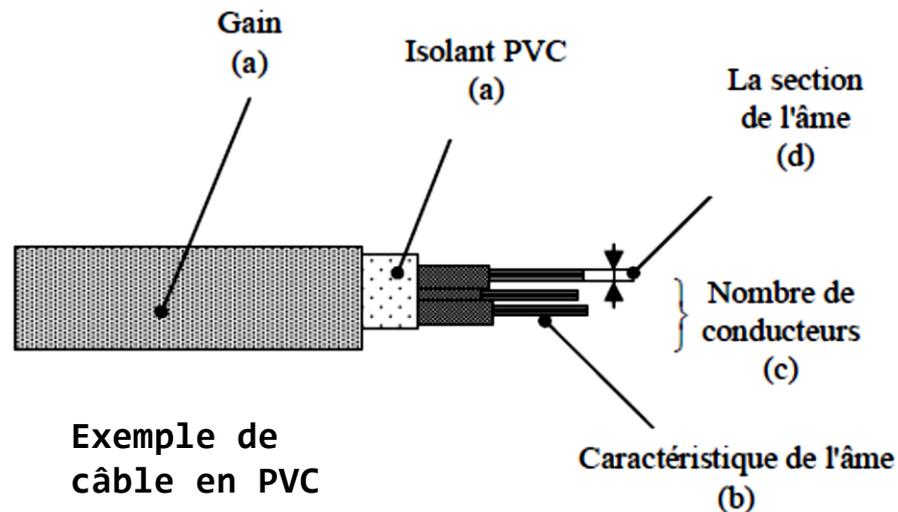
## Désignation harmonisée CENELEC



# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

## Exemple : H07VU 3 2,5

- **H** : Conducteur harmonisé (National reconnu par le Comité Européenne de Normalisation Electrique (CENELEC)) ;
- **07** : Il supporte une tension nominale 750 V ;
- **V** : L'isolation et le gain sont fabriqués par le polychlorure de vinyle (PVC) (a) ;
- **U** : Les âmes rigides sont en cuivre (b) ;
- **3** : Nombre de conducteurs (c) ;
- **2,5** : La section d'une âme est de 2,5 mm<sup>2</sup> (d).



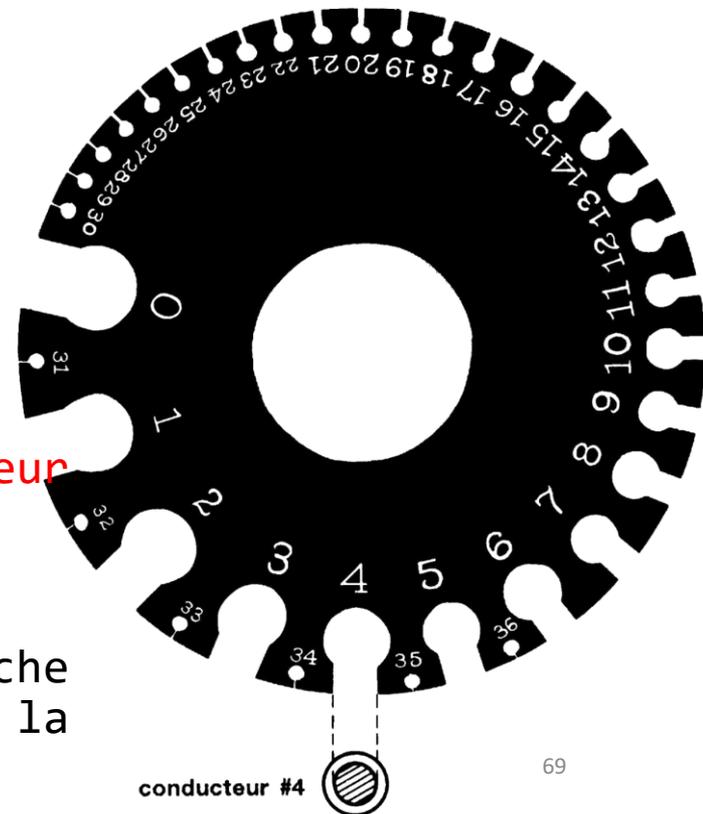
# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

## Calibre d'un conducteur circulaire

- Le calibre ou AWG (Standard American Wire Gauge) est une unité de mesure qui permet de mesurer le diamètre d'un fil conducteur électrique.
- Le système AWG attribue à un fil conducteur un calibre allant de #0000 à #36 qui dépend de son diamètre.
- selon ce système, le **diamètre du fil diminue** à mesure que le **numéro de jauge augmente**

### Identification du calibre d'un conducteur circulaire

- le fil doit être dénudé
- le fil nu doit être inséré dans l'encoche et non dans l'ouverture circulaire de la jauge



# Désignation normalisée des conducteurs et câbles



**12  
AWG  
stranded**

**12  
AWG  
solid**

**10  
AWG**

**8  
AWG**

**6  
AWG**

**2  
AWG**

**0  
AWG**

# Désignation normalisée des conducteurs et câbles

AWG	Diamètre [mm]	Area [mm <sup>2</sup> ]	Résistance [Ohms/km]	Courant Max [A]
0000	11.684	107	0.16072	302
000	10.40384	85	0.202704	239
00	9.26592	67.4	0.255512	190
0	8.25246	53.5	0.322424	150
1	7.34822	42.4	0.406392	119
2	6.54304	33.6	0.512664	94
3	5.82676	26.7	0.64616	75
4	5.18922	21.2	0.81508	60
5	4.62026	16.8	1.027624	47
6	4.1148	13.3	1.295928	37
7	3.66522	10.5	1.634096	30
8	3.2639	8.37	2.060496	24
9	2.90576	6.63	2.598088	19
10	2.58826	5.26	3.276392	15
11	2.30378	4.17	4.1328	12
12	2.05232	3.31	5.20864	9.3
13	1.8288	2.62	6.56984	7.4
14	1.62814	2.08	8.282	5.9
15	1.45034	1.65	10.44352	4.7
16	1.29032	1.31	13.17248	3.7

AWG	Diamètre [mm]	Surface [mm <sup>2</sup> ]	Résistance [Ohms / km]	Courant Max [A]
17	1.15062	1.04	16.60992	2.9
18	1.02362	0.823	20.9428	2.3
19	0.91186	0.653	26.40728	1.8
20	0.8128	0.518	33.292	1.5
21	0.7239	0.41	41.984	1.2
22	0.64516	0.326	52.9392	0.92
23	0.57404	0.258	66.7808	0.729
24	0.51054	0.205	84.1976	0.577
25	0.45466	0.162	106.1736	0.457
26	0.40386	0.129	133.8568	0.361
27	0.36068	0.102	168.8216	0.288
28	0.32004	0.081	212.872	0.226
29	0.28702	0.0642	268.4024	0.182
30	0.254	0.0509	338.496	0.142
31	0.22606	0.0404	426.728	0.113
32	0.2032	0.032	538.248	0.091
33	0.18034	0.0254	678.632	0.072
34	0.16002	0.0201	855.752	0.056
35	0.14224	0.016	1079.12	0.044
36	0.127	0.0127	1360	0.035
37	0.1143	0.01	1715	0.0289
38	0.1016	0.00797	2163	0.0228
39	0.0889	0.00632	2728	0.0175
40	0.07874	0.00501	3440	0.0137

# **DIMENSIONNEMENT DU CÂBLE ELECTRIQUE**

# Choix de la section des câbles

Il est important de calculer correctement la section du câble utilisé lors de vos installations électriques. En effet un câble trop faible va entraîner un échauffement du à la résistance du câble (ce qui peut créer un incendie) et une perte de tension, une section trop importante peut entraîner un problème de poids et de coût.

# Choix de la section des câbles

Pour déterminer la section des conducteurs, il faut tenir compte :

- de **l'intensité nominale absorbée par les récepteurs**. Celle-ci dépend de **la puissance des appareils d'utilisation** qui tient compte du **coefficient de simultanéité**, du **facteur de puissance** en courant alternatif et du **mode de pose** ;
- de **la chute de tension admissible** par les normes ;
- des **intensités de surcharges** et du **courant de court circuit**.

# Le mode de pose des câbles

Le mode de pose des câbles est un élément important dans la note de calcul des sections de ces câbles .

Une canalisation électrique est composée de :

- i. Conducteurs ou câbles électrique,
- ii. Une protection contre les influences externes (conduits, goulottes...),
- iii. Une fixation mécanique (en apparent, en encastré...).

Un mode de pose représente la façon dont est fixée la canalisation électrique sur son support.

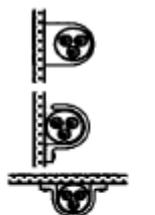
# Le mode de pose des câbles

L'objectif des modes de pose est donc de limiter l'échauffement des conducteurs et ne doit pas être négligé dans la réalisation d'une installation.

Les modes de pose :

- 0 : pose sous conduits,
- 1 : pose à l'air libre,
- 2 : pose dans les vides de construction,
- 3 : pose dans des goulottes,
- 4 : pose dans les caniveaux,
- 5 : encastrement direct,
- 6 : pose enterrée,
- 7 : pose sous moulures,
- 8 : pose immergée.

## pose à l'air libre

	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs, avec ou sans armure :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fixés sur un mur,</li> <li>- fixés à un plafond,</li> </ul>	<p>11 11A</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés,</li> </ul>	<p>12</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sur des chemins de câbles ou tablettes perforés en parcours horizontal ou vertical.</li> </ul>	<p>12</p>

## pose enterrée

	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits ou dans des conduits profilés enterrés.</p>	<p>61</p>
	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire.</p>	<p>62</p>
	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire.</p>	<p>63</p>

## pose dans le vide de construction

	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des vides de construction.</p>	<p>21</p>
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits dans des vides de construction.</p>	<p>22</p>
	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits dans des vides de construction.</p>	<p>22A</p>
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits isolés dans des vides des constructions.</p>	<p>23</p>
	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés dans des vides de construction.</p>	<p>23A</p>

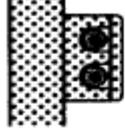
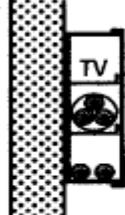
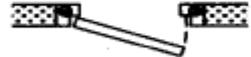
## pose dans les caniveaux

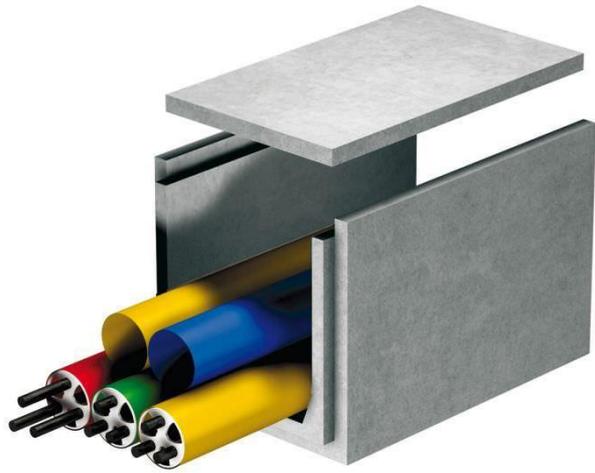
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical.</p>	41
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés.</p>	42
	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.</p>	43

## pose immergée

	<p>Câbles immergés dans l'eau.</p>	81
--	------------------------------------	----

## pose dans les Moulure ou huisserie

	<p>Conducteurs isolés dans des moulures.</p>	71
	<p>Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des plinthes rainurées.</p>	72
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des chambranles.</p>	73
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des huisseries de fenêtres.</p>	74



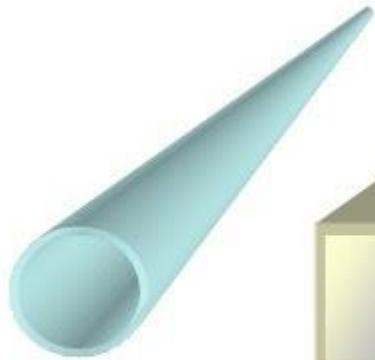
**Caniveaux**



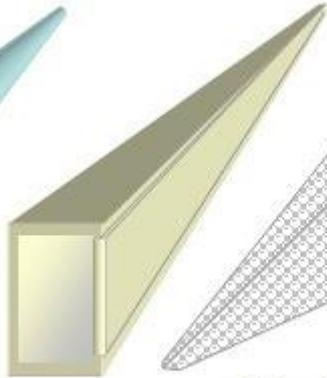
**Moulure**



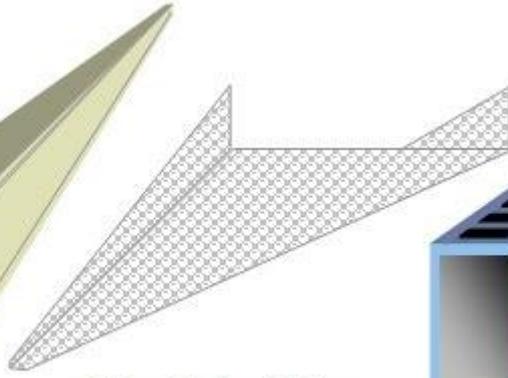
**Chemin de câble  
non perforée**



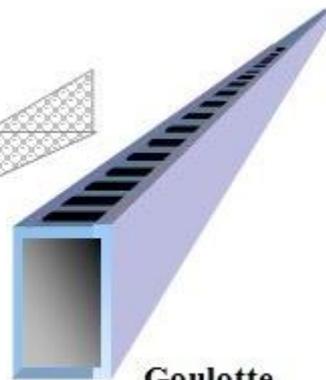
**Conduit**



**Moulure**



**Chemin de câble**



**Goulotte**

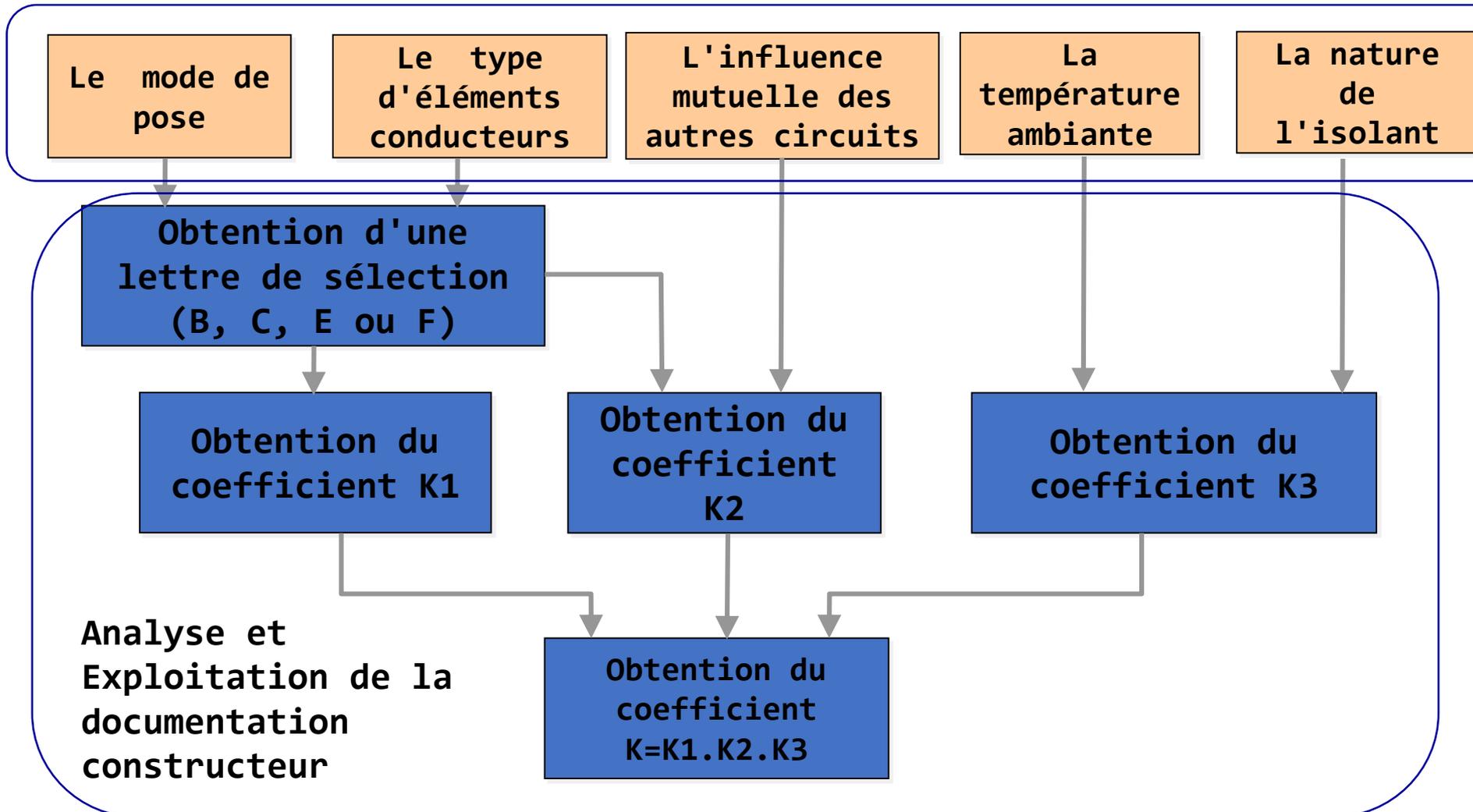


**Chemin de câble  
perforée**

# Détermination de la section de câbles

Ces paramètres permettent de déterminer un coefficient K

Analyse de l'installation



# Détermination de la section de câbles

le coefficient  $K$  s'obtient en multipliant les facteurs de correction,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_n$  et  $K_s$  :

- a. le facteur de correction  $K_1$  prend en compte le mode de pose;
- b. le facteur de correction  $K_2$  prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte;
- c. le facteur de correction  $K_3$  prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant;
- d. le facteur de correction du neutre chargé  $K_n$ ;
- e. le facteur de correction dit de symétrie  $K_s$ .

# Détermination de la section de câbles

Pour déterminer une section de conducteur à partir d'une intensité d'emploi on doit tenir compte **du mode de pose**.

Cela se déroule en 3 grandes phases

1

Déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose

2

Déterminer un coefficient  $K$  qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

3

Détermination de la section minimale du câble à utiliser

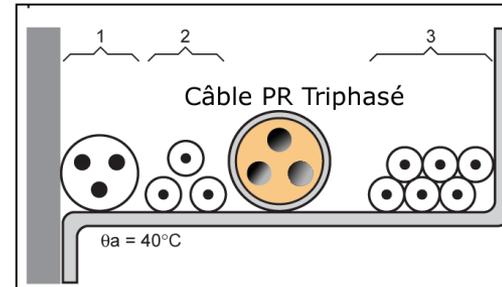
## Détermination de la lettre de sélection

Pour obtenir la section des conducteurs de phases, il faut déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et du mode de pose.

Type d'éléments conducteurs	Mode de pose	Lettre de sélection
Conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré</li><li>• Sous vide de construction, faux plafond.</li><li>• Sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles.</li></ul>	B
	<ul style="list-style-type: none"><li>• En apparent contre mur ou plafond.</li><li>• Sur chemin de câbles ou tablettes non perforées.</li></ul>	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sur échelle, corbeaux, chemin de câbles perforés.</li><li>• Fixés en apparent, espacés de la paroi.</li><li>• Câbles suspendus.</li></ul>	E
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforés.</li><li>• Fixés en apparent, espacés de la paroi.</li><li>• Câbles suspendus.</li></ul>	F

# Détermination de la lettre de sélection

**Exemple :** nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant  $I_n$  de 23A par phase à 40°C



## Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"><li>■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré</li><li>■ sous vide de construction, faux plafond</li><li>■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles</li></ul>	<b>B</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>■ en apparent contre mur ou plafond</li><li>■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées</li></ul>	<b>C</b>
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"><li>■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li><li>■ fixés en apparent, espacés de la paroi</li><li>■ câbles suspendus</li></ul>	<b>E</b>
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"><li>■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li><li>■ fixés en apparent, espacés de la paroi</li><li>■ câbles suspendus</li></ul>	<b>F</b>

La lettre de sélection est E

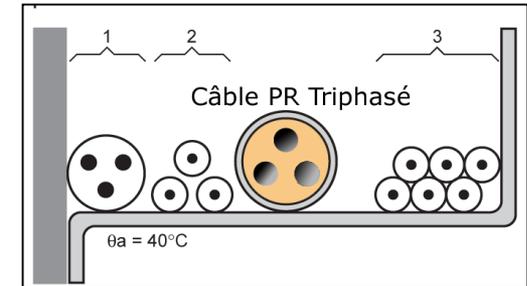
# Coefficient K1

Le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose.

Lettre de sélection	Cas d'installation	K1
<b>B</b>	<b>Câbles dans les conduits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants.</b>	<b>0,7</b>
	<b>Conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants.</b>	<b>0,77</b>
	<b>Câbles multiconducteurs</b>	<b>0,9</b>
	<b>Vides de construction et caniveaux</b>	<b>0,95</b>
<b>C</b>	<b>Pose sous plafond</b>	<b>0,95</b>
<b>B, C, E, F</b>	<b>Autres cas</b>	<b>1</b>

# Coefficient K1

**Exemple :** nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant  $I_n$  de 23A par phase à 40°C



## Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
	■ vides de construction et caniveaux	0,95
C	■ pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

$K1 = 1$

Lettre de sélection : E	K1 = 1
----------------------------	--------

# Coefficient K2

## Influence mutuelle des circuits

Le facteur de correction K2 qui prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

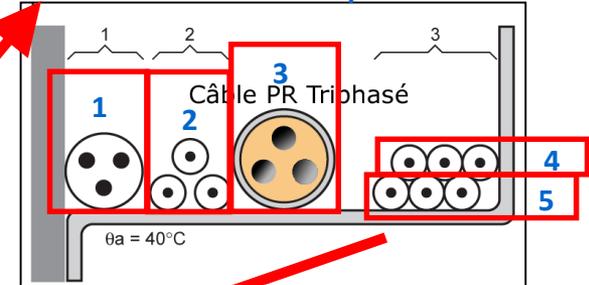
CATEGORIE	DISPOSITION DES CABLES JOINTIFS	FACTEURS DE CORRECTION $K_n$											
		NOMBRE DE CIRCUITS OU DE CABLES MULTICONDUCTEURS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70			
	Simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
E, F	Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles

# Coefficient K2

**Exemple :** nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant  $I_n$  de 23A par phase à 40°C

Nombre de circuits triphasés



## Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2												
		nombre de circuits ou de phases multiconducteurs												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
B, C	encastés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70			
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61			
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72			
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78			

**K2 = 0,75**

Lettre de sélection :	K1 = 1	K2 = 0,75
E		

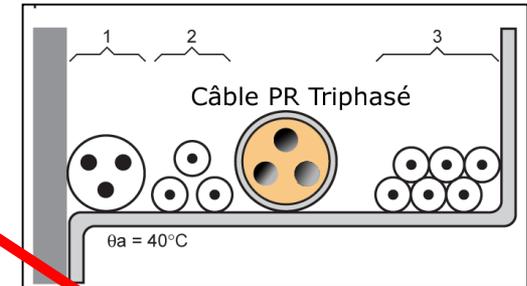
# Coefficient K3

influence de la température ambiante

température ambiante (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55		0,61	0,76
60		0,50	0,71

# Coefficient K3

**Exemple :** nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant  $I_n$  de 23A par phase à 40°C



PR

## Facteur de correction K3

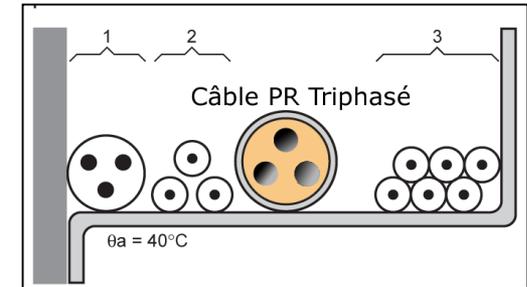
températures ambiantes (°C)	isolation élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,87	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	—	0,61	0,76
60	—	0,50	0,71

Lettre de sélection :	K1 =1	K2 =0.75	K3 =0.91
E			

**K3 = 0,91**

# Coefficient de correct K

**Exemple :** nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant  $I_n$  de 23A par phase à 40°C



Valeur normalisée de  $I_n$  juste supérieure :  $I_z = 25\text{A}$

Calcul de K :

x

x

= K = 0,68

Courant corrigé :  $I'_z = I_z / K$

Application numérique :  $I'_z = 25 / 0.68 = 36.8\text{ A}$

Lettre de sélection : E	K1 =1	K2 =0.75	K3 =0.91	K =0.68	$I'_z =$ 36,8 A
----------------------------	-------	----------	----------	---------	--------------------

## Exemple d'application

Il faut déterminer la lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose.

- Câble en **aluminium** ayant **une isolation en polyéthylène réticulé**
- Il sera installé seul dans un **chemin de câble blindé non perforé** d'une distance de 50m et que **la température pourra atteindre 60°C**.
- Ce chemin de câble n'est pas **posé en plafond**.

# Coefficient K1

## Exemple d'application

Il faut déterminer la valeur de coefficient K1.

Câble en **aluminium** ayant **une isolation en polyéthylène réticulé**

• Il sera installé seul dans un **chemin de câble blindé non perforé** d'une distance de 50m et que **la température pourra atteindre 60°C**.

• Ce chemin de câble n'est pas **posé en plafond**.

# Coefficient K3

## Exemple d'application

Il faut déterminer les valeur des coefficients K2, k3.

Câble en **aluminium** ayant **une isolation en polyéthylène réticulé**

• Il sera installé seul dans un **chemin de câble blindé non perforé** d'une distance de 50m et que **la température pourra atteindre 60°C.**

• Ce chemin de câble n'est pas **posé en plafond.**

# Choix de la section des câbles

## Exemple:

Dans un câble où le courant d'emploi vaut 50A et où le facteur de correction  $K = 0,78$ , le courant (fictif) sera :

$$I_{z'} = \frac{50}{0.78} = 64A$$

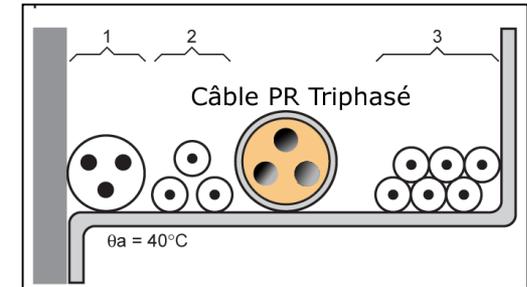
C'est ce courant que nous utiliserons pour déterminer la section du conducteurs à l'aide des tableaux qui vient.

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
500					749	868	946		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740	
500					610	694	770		856	
630					711	808	899		996	

Le tableau ci-contre permet de déterminer la section minimale d'une canalisation non enterrée en cuivre ou en aluminium.

# Coefficient K

**Exemple :** nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant  $I_n$  de 23A par phase à 40°C



Valeur normalisée de  $I_n$  juste supérieure :  $I_z = 25\text{A}$

Calcul de K :

x

x

= K = 0,68

Courant corrigé :  $I'_z = I_z / K$

Application numérique :  $I'_z = 25 / 0.68 = 36.8\text{ A}$

Lettre de sélection : E	K1 =1	K2 =0.75	K3 =0.91	K =0.68	$I'_z =$ 36,8 A
----------------------------	-------	----------	----------	---------	--------------------

# courant I'z

Exemple : nous allons déterminer la section d'un câble PR triphasé posé sur un chemin de câble perforé, dans lequel circule un courant In de 23A par phase à 40°C

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
	caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
	B	PVC3	PVC2	PVC3	PVC2	PR3	PVC2	PR3	PR2
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36
	4	28	32	34	36	40	42	45	48
	6	36	41	43	48	54	54	58	63
	10	50	57	60	65	70	75	80	86
	16	68	76	80	85	94	100	107	115
	25	89	101	101	112	119	127	138	149
	35	110	119	126	138	147	158	169	185
	50	134	144	153	168	179	192	207	225
	70	171	184	196	213	229	246	268	289
	95	207	223	238	258	278	298	328	352
	120	239	259	276	299	322	346	382	410
	150		299	319	344	371	395	441	473
	185		341	364	392	424	450	506	542
	240		403	430	461	500	538	599	641
	300		464	497	530	576	621	693	741
	400					656	754	825	940
	500					749	868	946	1 088
	630					855	1 005	1 088	1 254
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28
	4	22	25	26	28	31	33	35	38
	6	29	32	33	36	40	43	45	49
	10	39	44	46	49	54	58	62	67
	16	53	59	61	66	71	79	84	91
	25	70	73	78	83	90	98	101	108
	35	86	90	96	103	112	122	126	135
	50	104	110	117	125	136	149	154	164
	70	133	140	150	160	174	192	198	211
	95	161	170	183	195	211	235	241	257
	120	190	197	212	226	245	273	280	300
	150		227	245	261	283	316	324	346
	185		259	280	298	323	363	371	397
	240		305	330	352	382	430	439	470
	300		351	381	406	440	497	508	543
	400					526	600	663	740
	500					610	694	770	856
	630					711	808	899	996

Section du câble:  
4 mm<sup>2</sup> pour du cuivre

Section du câble:  
6 mm<sup>2</sup> pour de l'aluminium

Lettre de sélection :  
E

K = 0.68

I'z =  
36,8 A

On choisi la valeur  
immédiatement  
supérieure à 36,8 A

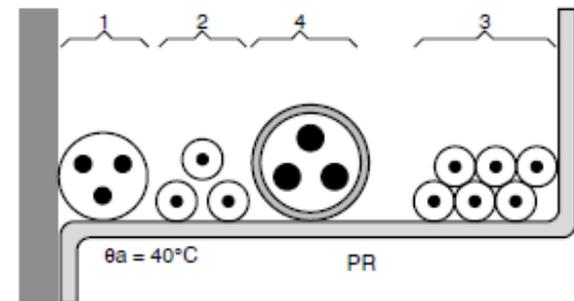
On choisi la valeur  
immédiatement  
supérieure à 36,8 A

## Exemple 1 : Application d'un circuit à calculer:

Un câble polyéthylène réticulé (PR) triphasé (4e circuit à calculer) est tiré sur un chemin de câbles perforé, conjointivement avec 3 autres circuits constitués :

- d'un câble triphasé (1er circuit)
- de 3 câbles unipolaires (2e circuit)
- de 6 câbles unipolaires (3e circuit) : ce circuit est constitué de 2 conducteurs par phase.

La température ambiante est de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  et le câble véhicule  $I_n=58$  ( $I_z=63\text{A}$ ) ampères par phase. On considère que le neutre du circuit 4 est chargé.



# Section du câble

## **Exemple 2:**

câble multipolaire, PRC, trois phases, pose sur corbeau, âme en cuivre, température ambiante de  $40^{\circ}\text{C}$ , trois autres câbles multipolaires sur le même corbeau, calibre disjoncteur de 100A.

## **Exemple 3:**

On désire choisir le câble d'alimentation terminal du treuil télescopique horizontal :

moteur de 15 KW (  $\eta = 0,89$  ,  $\cos \varphi = 0,86$ ,  $K_u = 0,75$  )

Les contraintes d'exploitation sont les suivantes :

- Température maximum de  $30^{\circ}\text{C}$
- Ames en cuivre
- Isolant PRC
- Pose sur chemin de câbles
- Deux autres circuits posés de façon jointive
- Le neutre n'est pas distribué
- On respecte la symétrie de pose des conducteurs
- Longueur du câble : 50 m

# Section du câble

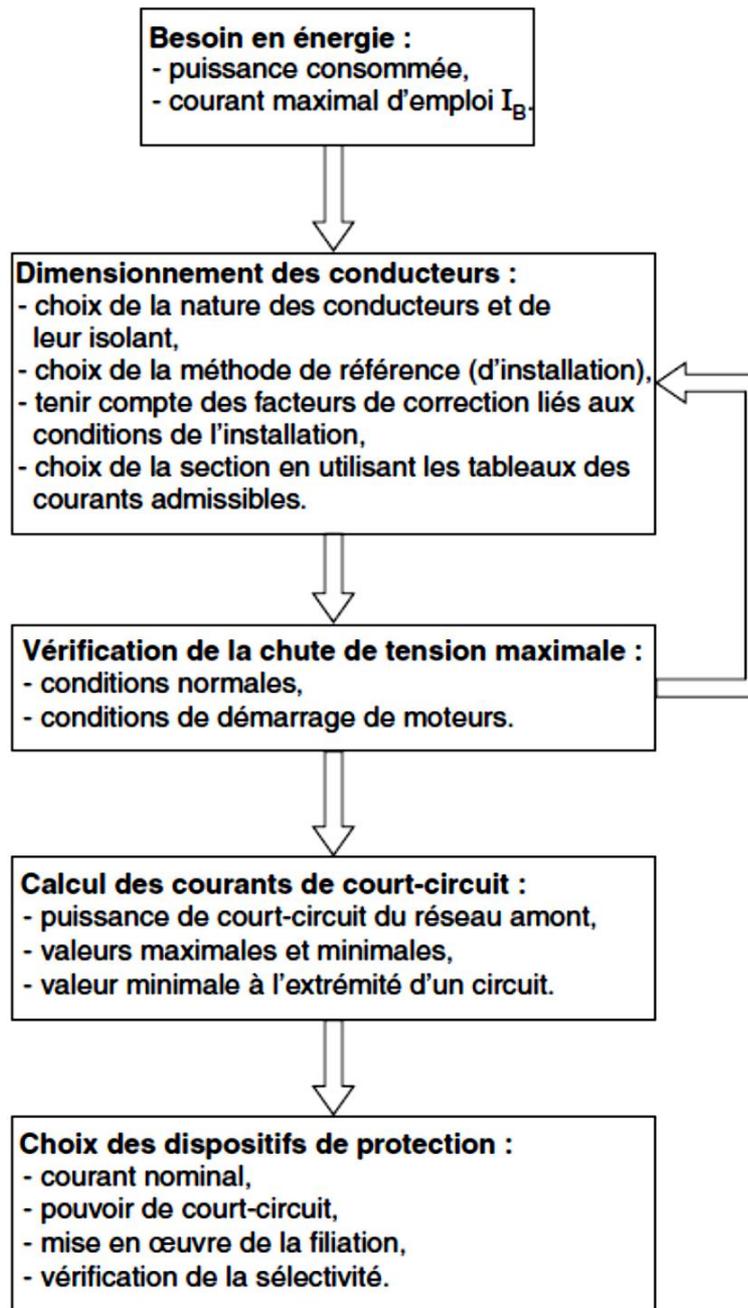
## Exemple d'application

Il faut déterminer la section du câble nécessaire pour véhiculer le courant nominale  $I_n$ .

Câble en **aluminium** ayant **une isolation en polyéthylène réticulé**

• Il sera installé seul dans un chemin de câble blindé non perforé d'une distance de 50m et que **la température pourra atteindre 60°C**.

• Ce chemin de câble n'est pas **posé en plafond**.



# Identification des récepteurs

Cette opération se déroule  
en deux étapes:

Identification des Récepteurs



**Calcul du  
courant absorbé  
par les récepteurs**



**Détermination du  
courant d'emploi**

# Identification des récepteurs

## Courant absorbée

La puissance apparente consommée de la charge :

$$P_a = \frac{P_n}{\eta}$$

pour une charge triphasée :

$$I_a = \frac{P_n}{\sqrt{3} \eta U \cos(\varphi)}$$

pour une charge monophasée connectée

$$I_a = \frac{P_n}{\eta U \cos(\varphi)}$$

U = la tension au borne  
du récepteur (volts)

La puissance absorbée est souvent supposée être la somme arithmétique des puissances apparentes de chaque récepteur (cette sommation est exacte si toutes les charges ont le même facteur de puissance).

# Identification des récepteurs

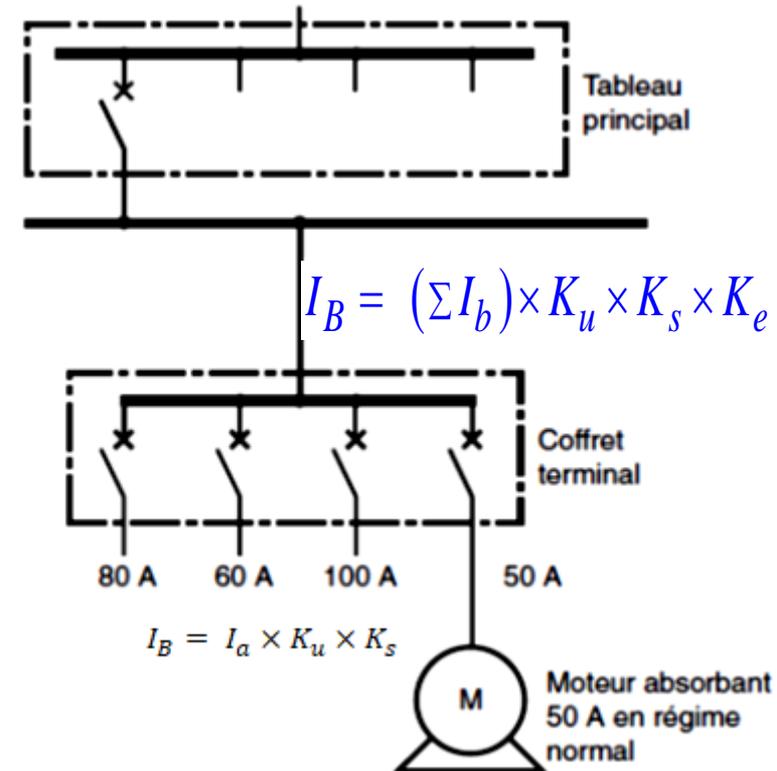
## Courant d'emploi $I_B$

### Définition:

□ Au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs.

laquelle tient compte des coefficients de simultanéité et d'utilisation.

□ Au niveau des circuits de distribution (principaux, secondaires), c'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation, laquelle tient compte des coefficients d'extension et d'utilisation, respectivement  $k_s$  et  $k_u$ .



# Identification des récepteurs

## Le courant d'emploi

Le courant d'emploi « IB » est le courant qui est réellement transporté par les conducteurs actifs.

afin de bien dimensionner l'installation, il faut connaître les facteurs suivants:

- ◆ Les appareils ne fonctionnent pas en permanence ( $K_u$ ).
- ◆ Ils ne fonctionnent pas tous simultanément ( $K_s$ ).
- ◆ En fonction des prévisions d'extension ( $K_e$ ).

$$I_B = I_a \times K_u \times K_s \times K_e$$

# Identification des récepteurs

Détermination du facteur d' **UTILISATION** des appareils **Ku** :

représente le rapport entre la puissance réellement utilisée par un récepteur et sa puissance nominale.

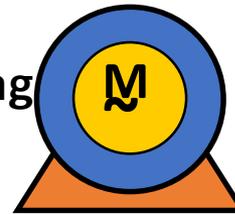
- Pour un type de récepteur, à régime variable, ce facteur exprime :

**le rapport moyen** entre **la puissance réellement consommée** et **la puissance nominale** du récepteur.

Le facteur d'utilisation s'applique individuellement à chaque récepteur.

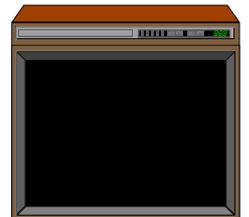
A défaut de précision, on peut prendre :

- $Ku = 0.75$  , pour les moteurs
- $Ku = 1$  pour l'éclairage et le chauffage



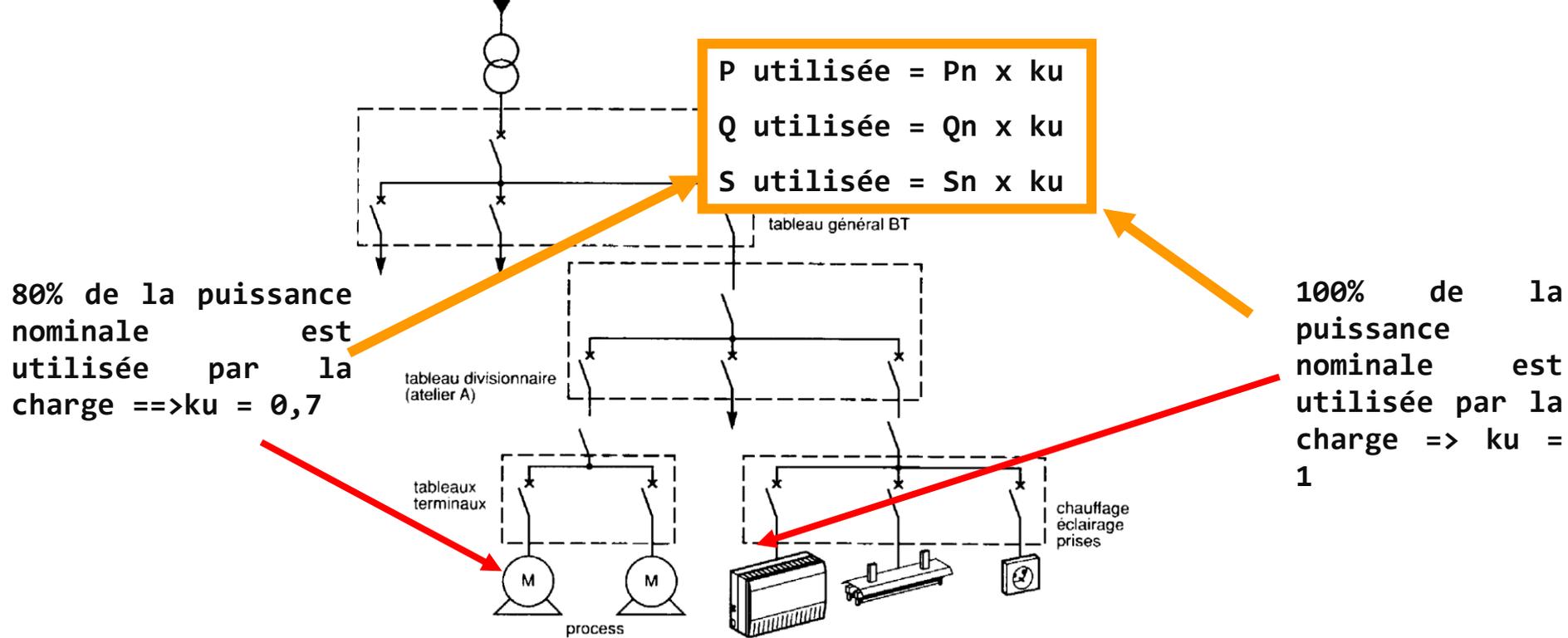
MOTEUR

**$Ku = 0.75$**



FOUR

**$Ku = 0.9$**



Type d'Exploitation	Equipements	Facteurs d'Utilisation	
Industrielles & Semi- Industrielles	Eclairage	1	
	Ventilation	1	
	Conditionnement	1	
	Fours	1	
	Machines outils	0,8	
	Compresseurs	0,8	
Ménages	Eclairage	1	
	Chauffage électrique	1	
	Conditionnement d'air	1	
	Chauffe eau	1	
	Appareils de cuisson	0,7	
	Ascenseur ou monte charge	1 moteur	1
		2 moteurs	0,7
Moteurs suivants		0,8	

# Identification des récepteurs

## Exemple d'application

Un atelier comporte :

- 4 tours d'une puissance de 5kVA chacun
- 2 perceuses de 2kVA chacune
- La surface de l'atelier est de 74m<sup>2</sup>

Chaque machine est alimentée par un circuit spécialisé.

*Déterminez le facteur d'utilisation des tours.*

*Déterminez le facteur d'utilisation des perceuses.*

*Déterminez la puissance d'utilisation de chaque circuit.*



# Identification des récepteurs

facteur de **SIMULTANEITE** (Facteur de diversité) **Ks** des appareils:

Dans une installation électriques, les appareils ne **fonctionnent** généralement **pas tous en même temps**.

**Ks** va permettre de prendre en compte cette condition d'exploitation de l'installation.

## Note:

Le facteur de simultanéité s'applique à chaque regroupement des équipements (au niveau d'un tableau terminal, tableau divisionnaire, une armoire, ...)

# Identification des récepteurs

Détermination du facteur de **SIMULTANÉITÉ** des appareils **Ks** :

Coefficient de simultanéité  
pour un immeuble

Facteur de simultanéité dans un immeuble d'habitation

Nombre d'abonnés situés en aval	Facteur de simultanéité (ks)
2 à 4	1
5 à 9	0,78
10 à 14	0,63
15 à 19	0,53
20 à 24	0,49
25 à 29	0,46
30 à 34	0,44
35 à 39	0,42
40 à 49	0,41
50 et au-dessus	0,38

Facteur de simultanéité pour armoire de distribution

Nombre de circuits	Facteur de simultanéité (ks)
Ensembles entièrement testés	
2 et 3	0,9
4 et 5	0,8
6 à 9	0,7
10 et plus	0,6
Ensembles partiellement testés	
choisir dans tous les cas	
	1,0

Facteur de simultanéité pour armoire de distribution

Utilisation	Facteur de simultanéité (ks)
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prises de courant	0,1 à 0,2 <sup>(1)</sup>
Ascenseur et monte-charge <sup>(2)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pour le moteur le plus puissant</li> <li>■ Pour le moteur suivant</li> </ul>
Electric actuator	0.2
Motors ≤ 100 kW	0.8
Motors > 100 kW	1.0

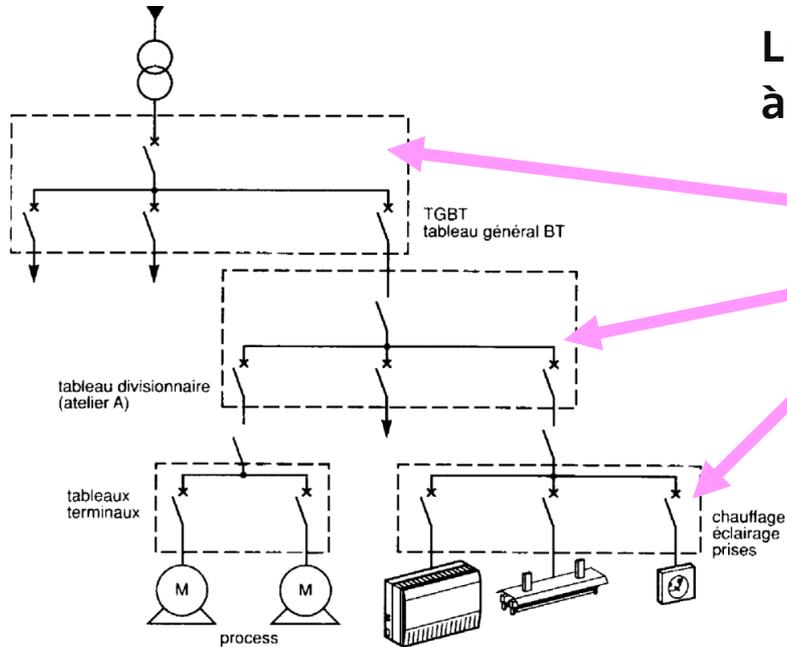
Le tableau ci-contre indique les valeurs du facteur ks pouvant être utilisées sur des circuits alimentant des types de charges les plus courantes.

(Tableaux terminaux)

# Identification des récepteurs

## Coefficient de simultanéité

Le facteur de simultanéité s'applique à chaque regroupement de récepteur :



- Armoire,
- tableau divisionnaire,
- tableau terminal.

Ce facteur implique la connaissance détaillée de l'installation et de ses conditions d'exploitation.

# Identification des récepteurs

## Coefficient de simultanéité

### Tableau général, tableau secondaire

Facteur de simultanéité $k_s$	
Tableau général, tableau secondaire (distribution industrielle BT : Norme NFC 63-410). Si les conditions de charges sont connues.	
Nombre de circuits	Facteur de simultanéité
2 et 3	0.9
4 et 5	0.8
6 et 9	0.7
10 et plus	0.6

### Facteur de simultanéité de tableau général et secondaire

# Identification des récepteurs

## Coefficient de simultanéité

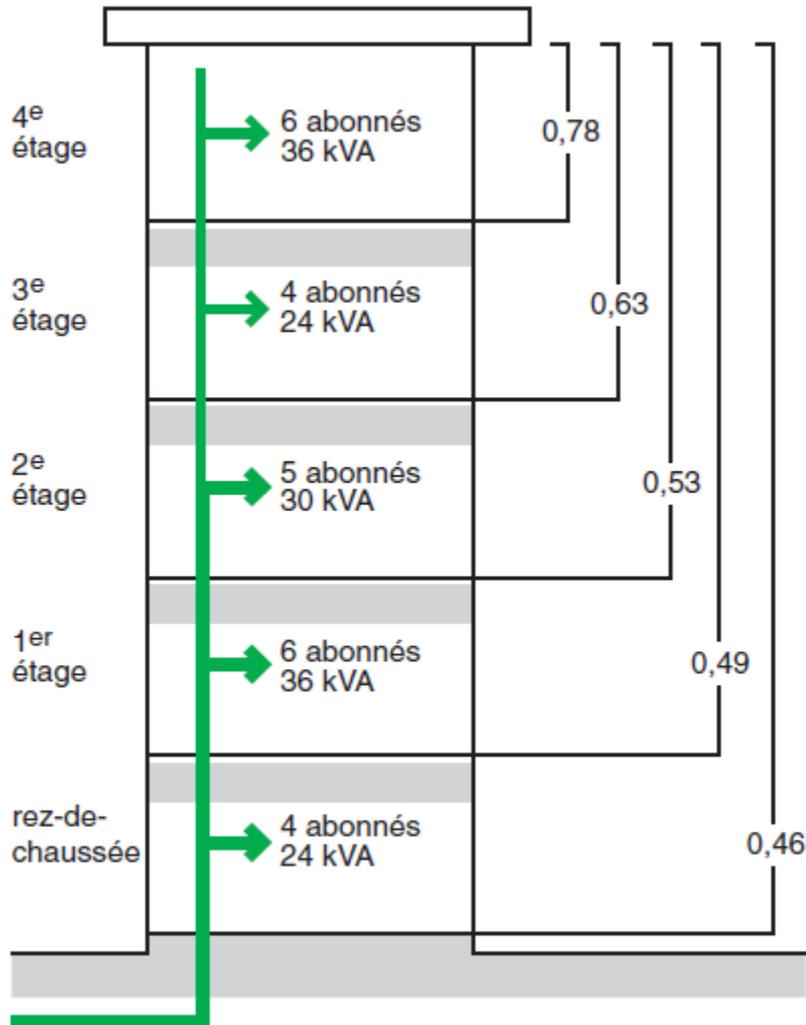
### Coffrets divisionnaires et terminaux

Facteur de simultanéité $k_s$	
Coffrets divisionnaires, terminaux (norme NFC 15-100)	
Type d'utilisation	Facteur de simultanéité
Eclairages, chauffages électriques, conditionnement d'air de pièce, chauffe-eau	1
Prise de courant (N : nombre de prises de courant alimentées par le même circuit)	$0.1+0.9/N$
Appareils de cuisson	0.7
Pour le moteur suivant	0.75
Pour les autres	0.6

Facteur de simultanéité de quelques types d'application

# Identification des récepteurs

Exemple d'application du coefficient  $K_s$  :



Immeuble 4 étages + rez-de-chaussée, 25 abonnés de 6 kVA chacun.

Déterminer les coefficients de simultanéité de cette installation ?

Facteur de simultanéité dans un immeuble d'habitation

Nombre d'abonnés situés en aval	Facteur de simultanéité ( $k_s$ )
2 à 4	1
5 à 9	0,78
10 à 14	0,63
15 à 19	0,53
20 à 24	0,49
25 à 29	0,46
30 à 34	0,44
35 à 39	0,42
40 à 49	0,41
50 et au-dessus	0,38

# Identification des récepteurs

## Exemple d'application

Un atelier comporte :

- 4 tours d'une puissance de 5kVA chacun
- 2 perceuses de 2kVA chacune
- La surface de l'atelier est de 74m<sup>2</sup>

Chaque machine est alimentée par un circuit spécialisé.

*Déterminez le facteur de simultanéité du coffret en tenant compte du nombre de circuits.*



# Identification des récepteurs

Détermination du facteur d'**EXTENSION** **Ke** :

- ◆ Une installation peut être modifiée ou étendue.
- ◆ Lorsque des extensions sont envisagées, on utilise un facteur d'extension afin de ne pas modifier l'ensemble de l'installation.
- ◆ Le facteur de réserve s'applique généralement au niveau des armoires de distribution principales.

Valeur usuelle de réserve: 15 à 26%.

$$\mathbf{Ke = 1,15 \text{ à } 1,26}$$

# Identification des récepteurs

## Courant admissible $I_z$

### Définition:

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie.

Ce courant dépend, pour une section donnée, de plusieurs paramètres :

- constitution du câble ou de la canalisation (en cuivre ou en aluminium, isolation PVC ou PR, nombre de conducteurs actifs),
- température ambiante,
- mode de pose,
- influence des circuits voisins (appelé effet de proximité).

# Identification des récepteurs

## Courant admissible $I_Z$

- Le courant admissible dans la canalisation dépendra, dans un premier temps, du dispositif de protection :

$$I_Z = K \times I_N$$

$I_Z$  : Courant admissible dans la canalisation ;

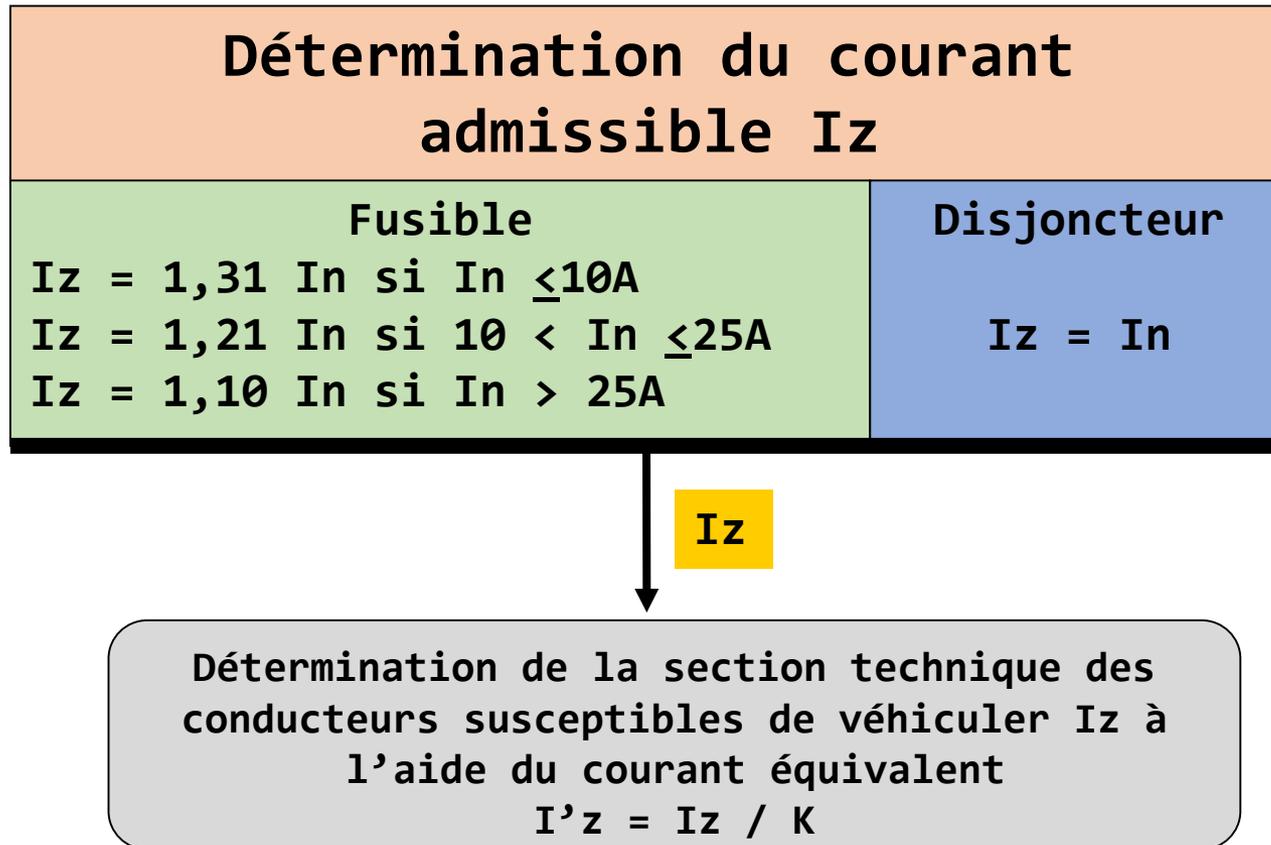
$I_N$  : Courant nominal ou de réglage de la protection ;

$K$  : Coefficient dépendant du dispositif de protection.

# Identification des récepteurs

## Courant admissible $I_z$

Canalisations protégées



$I_n$  est le calibre du dispositif (disjoncteur) de protection.

# Identification des récepteurs

Exemple :

Pour un fusible gG de 16 A  $\rightarrow k = 1,21$

$$I_Z = 1,21 \times 16$$

$$I_Z = 19,36 \text{ A}$$

# Identification des récepteurs

## Courant admissible $I_z$

### Canalisations non protégées

Lorsque la canalisation n'est pas protégée contre les surcharges, on prend le courant admissible égale le courant d'emploi :

$$I_z = I_B$$

**Définition:** Courant admissible fictif  $I_{z'}$

C'est le courant admissible dans la canalisation en fonction des influences extérieures. On l'appelle le courant fictif.

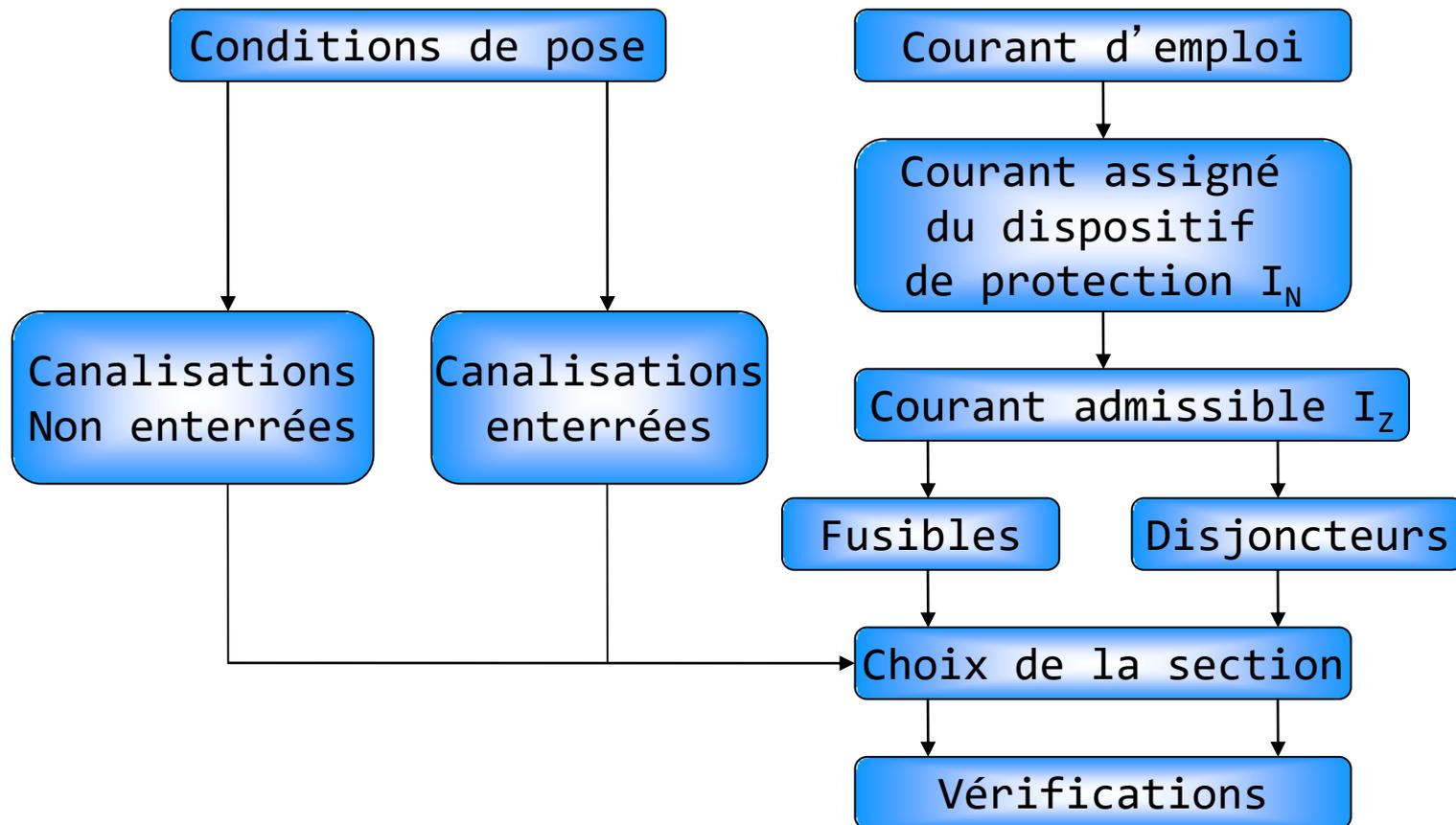
On le détermine en effectuant le calcul  $I_{z'} = \frac{I_z}{K}$  où  $K$  est la multiplication de tous les facteurs de correction vus précédemment.

Le courant admissible fictif est donné par :

$$I_{z'} = \frac{I_z}{K}$$

# Choix de la section des câbles

## Procédure à suivre



## Exemple 2 : choix de câbles

### ▪ TRANSFORMATEUR HT/BT

- Primaire 20 kV
- Secondaire 3x400V
- Puissance 100 kVA
- Puissance de court circuit en amont 500 MVA
- Réseau régime TT

### ▪ LIAISON POSTE / ATELIER

- Câbles unifilaires, âme cuivre, isolant PRC
- Pose en caniveau fermé (1 seul circuit )

### ▪ LIAISON DANS L 'ATELIER

- Câbles multifilaires, âme cuivre, isolant PVC
- Pose sur chemin de câble perforé ( 4 circuits)

# Schéma de l'installation de l'atelier

