



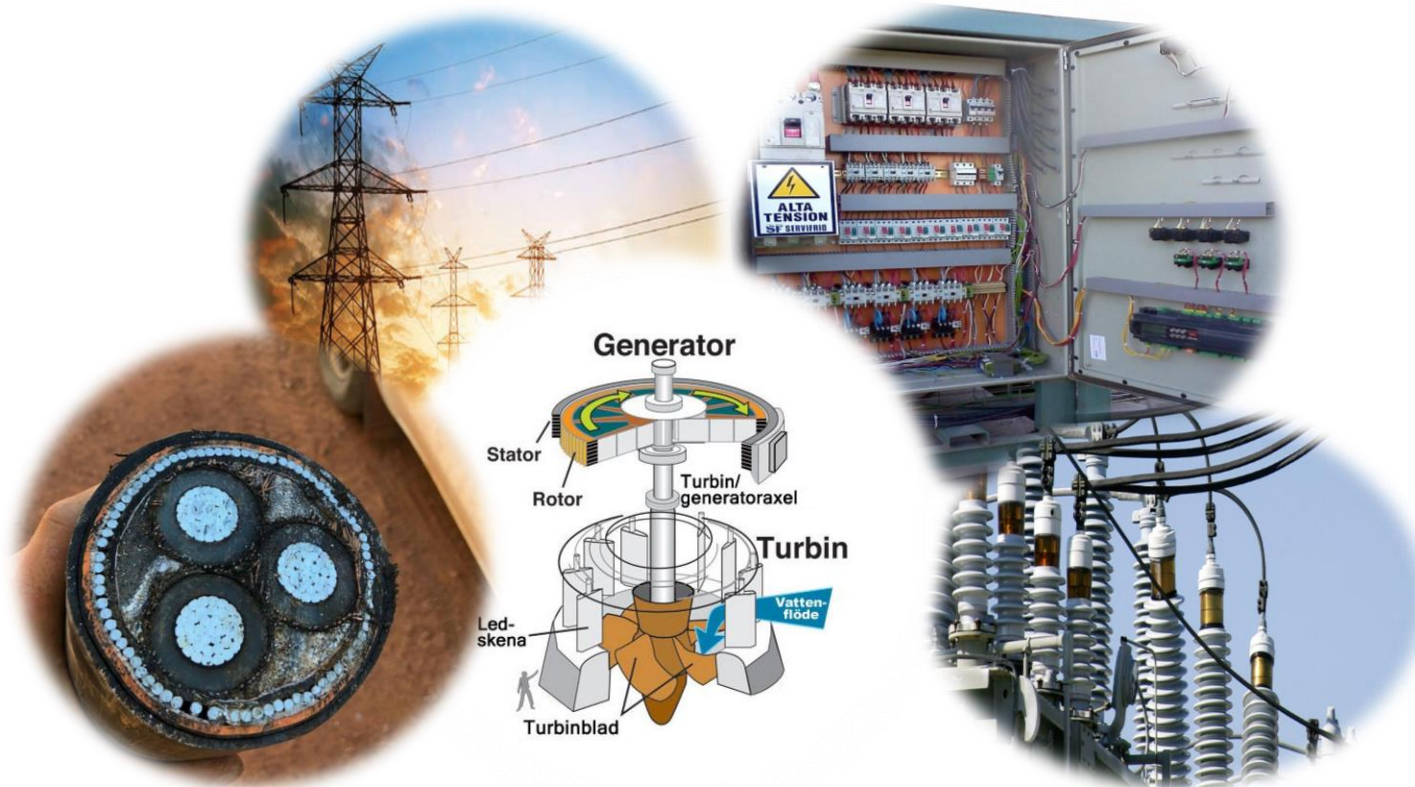
Cours : Matériaux et Construction Electrique (MCE)

**Présenté par :
AOUADI CHAOUQI**

Introduction générale

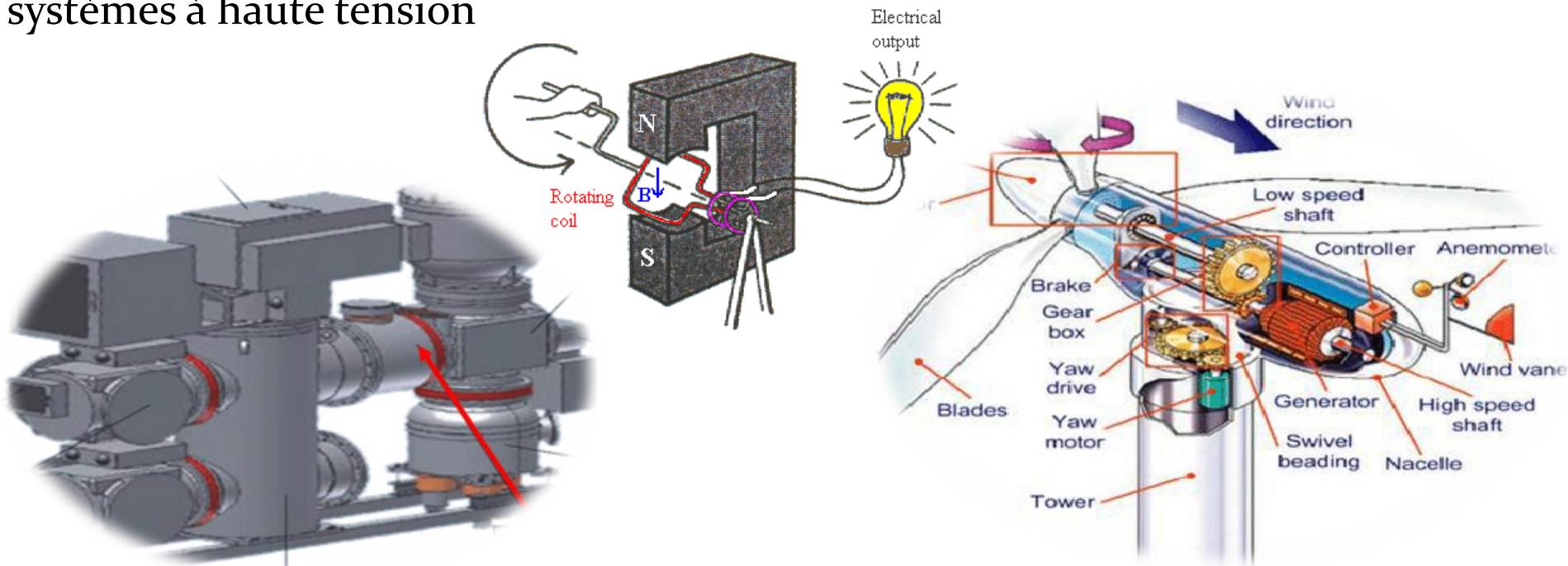
La technologie électrique

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

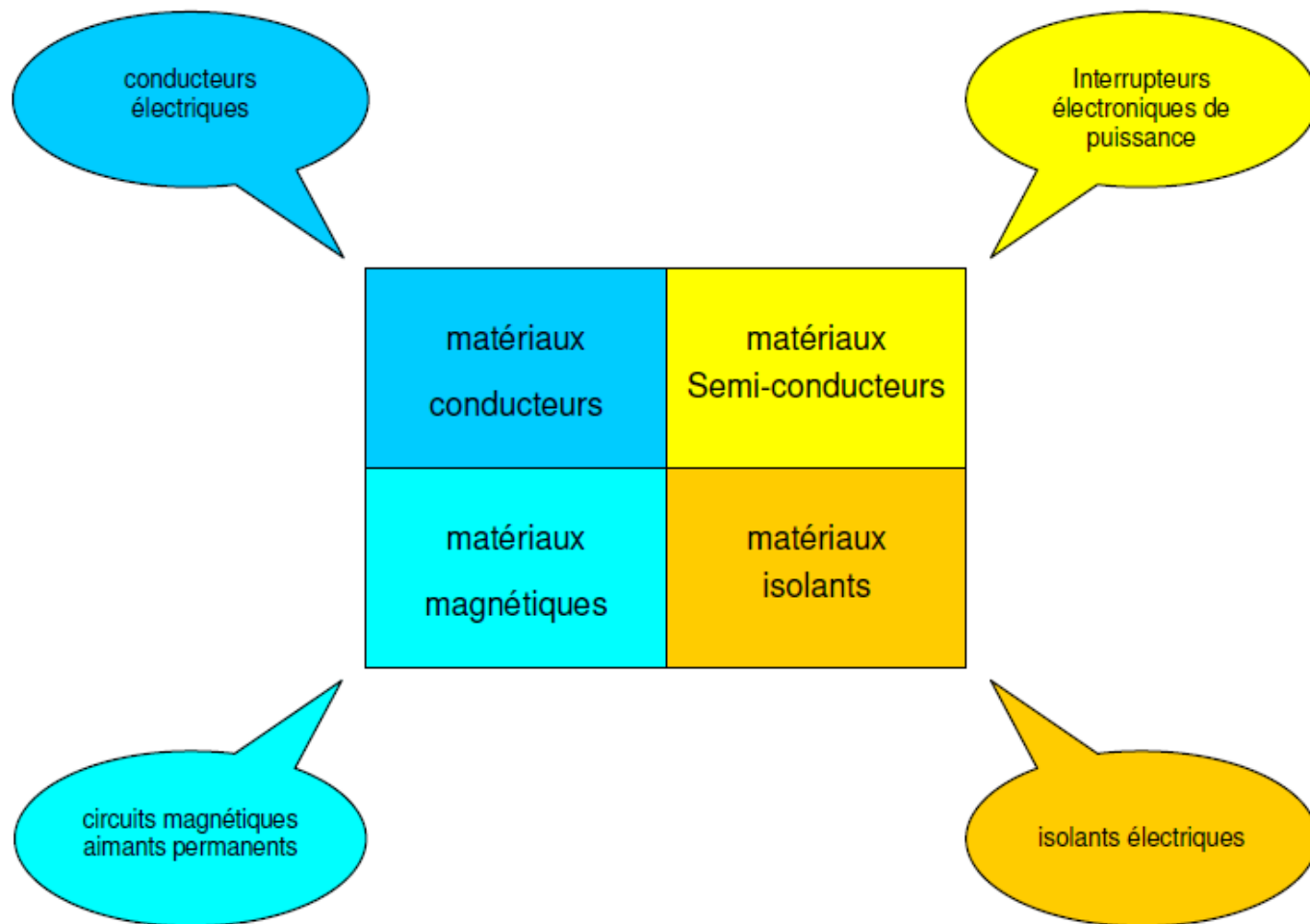
1. Dimensionnement des câbles électriques
2. Étude des schémas électriques
3. Étude des fonctions de l'appareillage électrique
4. La qualité, les normes et la sécurité d'une installations électrique

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...

Perméabilité

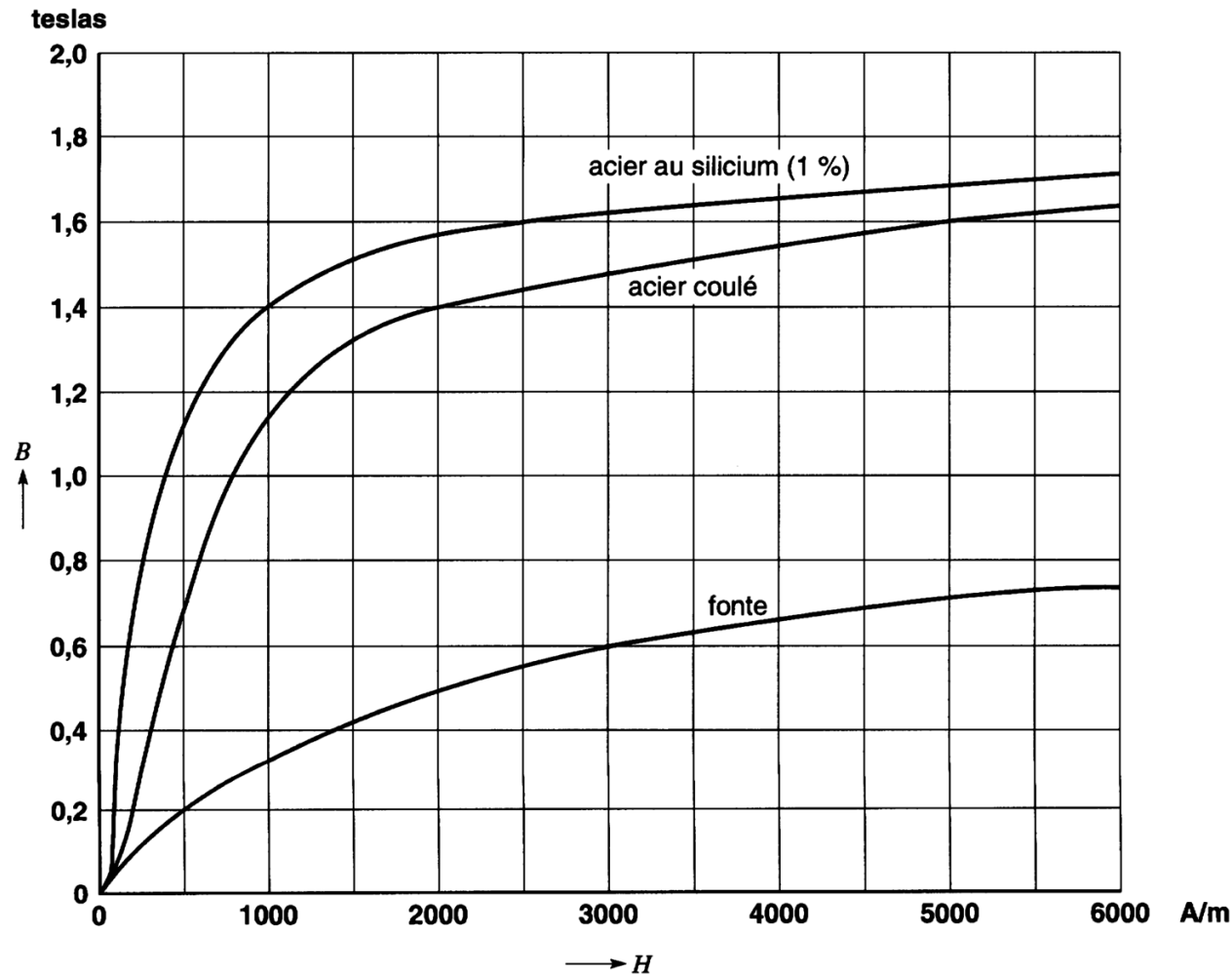
La perméabilité magnétique caractérise la faculté d'un matériau à modifier un champ magnétique \vec{B} , c'est-à-dire à modifier les lignes de flux magnétique. Cette valeur dépend ainsi du milieu dans lequel il est produit où le champ magnétique varie linéairement avec l'excitation magnétique \vec{H}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

Relation entre champ magnétique et
champ d'excitation magnétique

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

Généralités: Matériaux utilisés en électricité

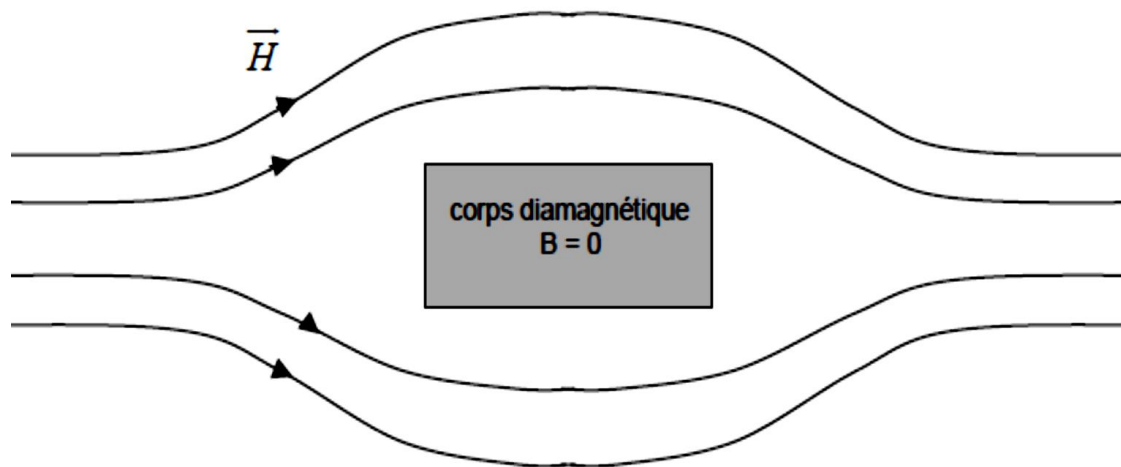
Courbe d'aimantation de trois métaux employés dans les machines électrique



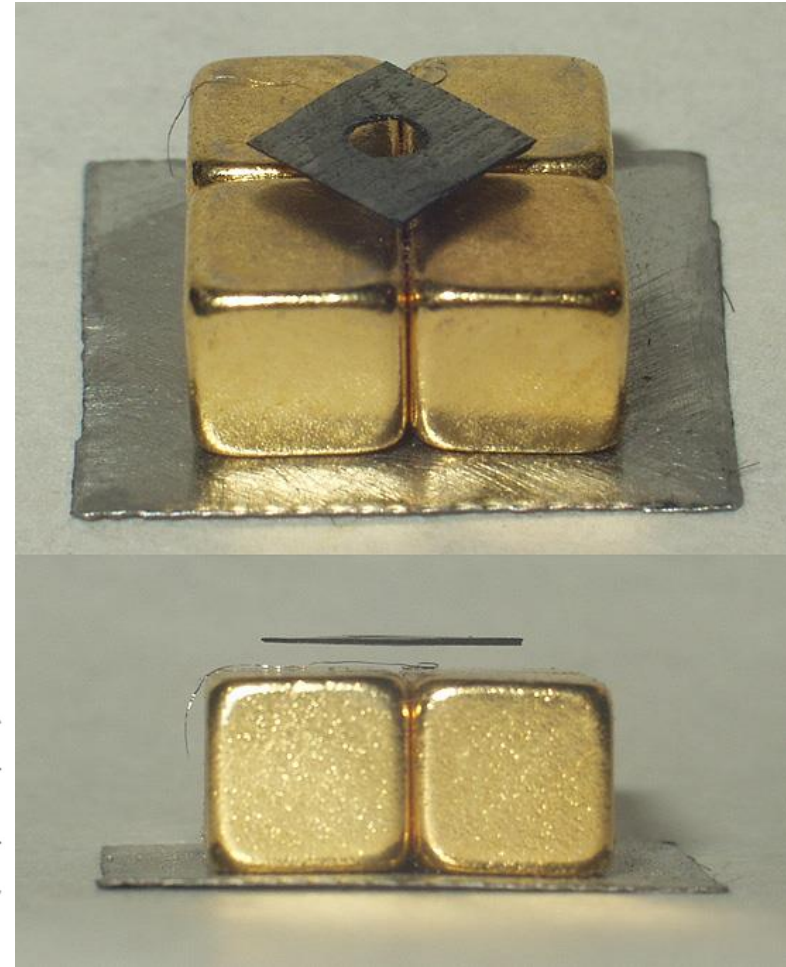
Exemple : Quelle est la perméabilité de l'acier au silicium (1%) lorsqu'il est utilisé à une densité de 1,4 T.

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 μ_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.

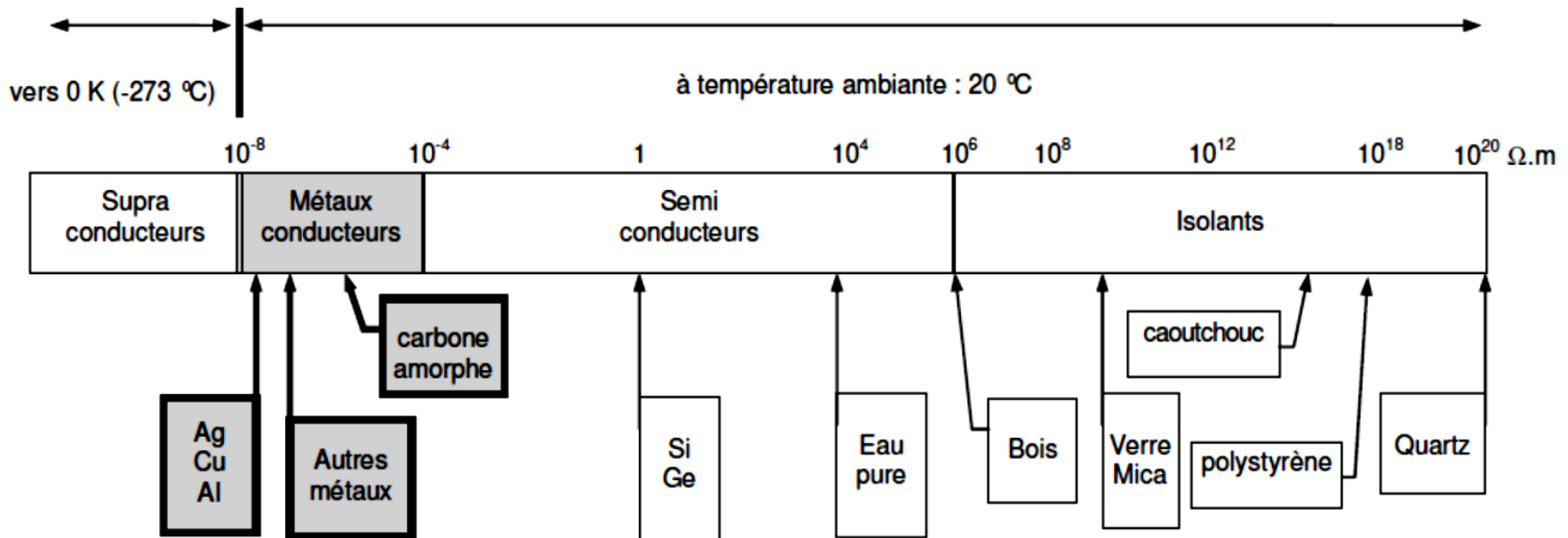
le chauffage électrique par résistance

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 : σ) :

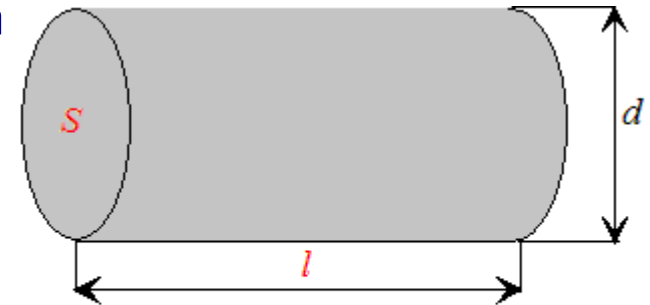
$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$



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 : $S = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$

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

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

ρ : 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	Résistivité
<ul style="list-style-type: none">○ 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	<ul style="list-style-type: none">○ 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 m^2.○ la résistivité du matériau dépend uniquement de son matériau et de sa température.○ S.I unité de résistivité est ohm.m

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 ρ d'un matériau à la température θ , s'exprime en fonction de la résistivité ρ_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 α est appelé coefficient thermique de la résistivité, α dépend du matériau. Pour les métaux, $\alpha = 4.10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Quelques valeurs :

MATÉRIAUX	RÉSISTIVITÉ (ρ)	COEFF. DE TEMPÉRATURE (α)	
	$\Omega \text{ m}$	$(^{\circ}\text{C})^{-1}$ (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>	5×10^{-8}	0,0045	0,005
<i>NICKEL</i>	10×10^{-8}	0,006	0,0047
<i>MAGANINE</i>	42×10^{-8}	0,000006	0,00002
<i>CONSTANTAN</i>	49×10^{-8}	0,000008	0,00001

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 »

Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Systeme britannique

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

📖 *mil* : unité de longueur = un millième de pouce

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

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


$$1 \text{ cmil} = 1 \text{ mil}^2 = 0,000\,506\,707 \text{ mm}^2$$

$$S = D^2$$

$$\begin{aligned} \bullet [D] &= 1 \text{ mil} \\ \bullet [S] &= 1 \text{ cmil} \end{aligned}$$

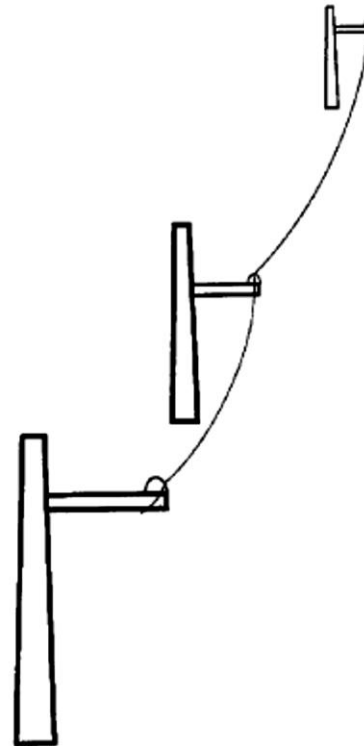
Généralités: Matériaux utilisés en électricité

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 56Ω ?
-  Calculer la résistance d'un fil de cuivre de 100 mètres de longueur et de 0,81 millimètre de diamètre.

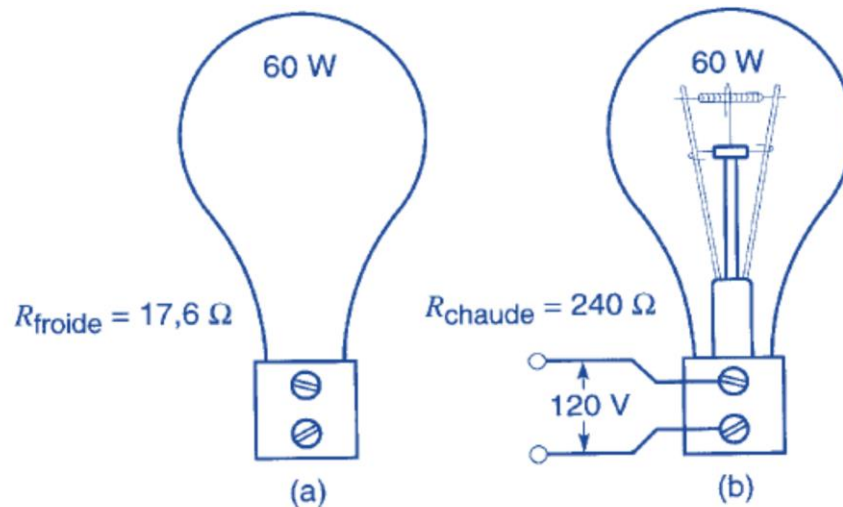
Généralités: Matériaux utilisés en électricité

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



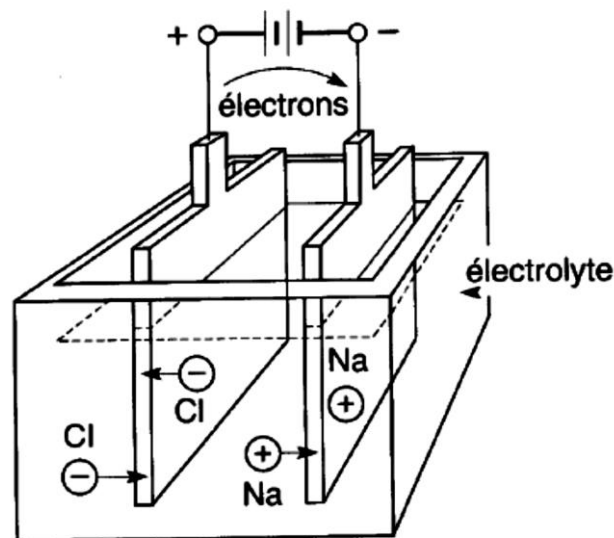
Généralités: Matériaux utilisés en électricité

☞ 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 cm , calculer la valeur approximative du courant lorsqu'on applique une tension de 10 V entre les électrodes.

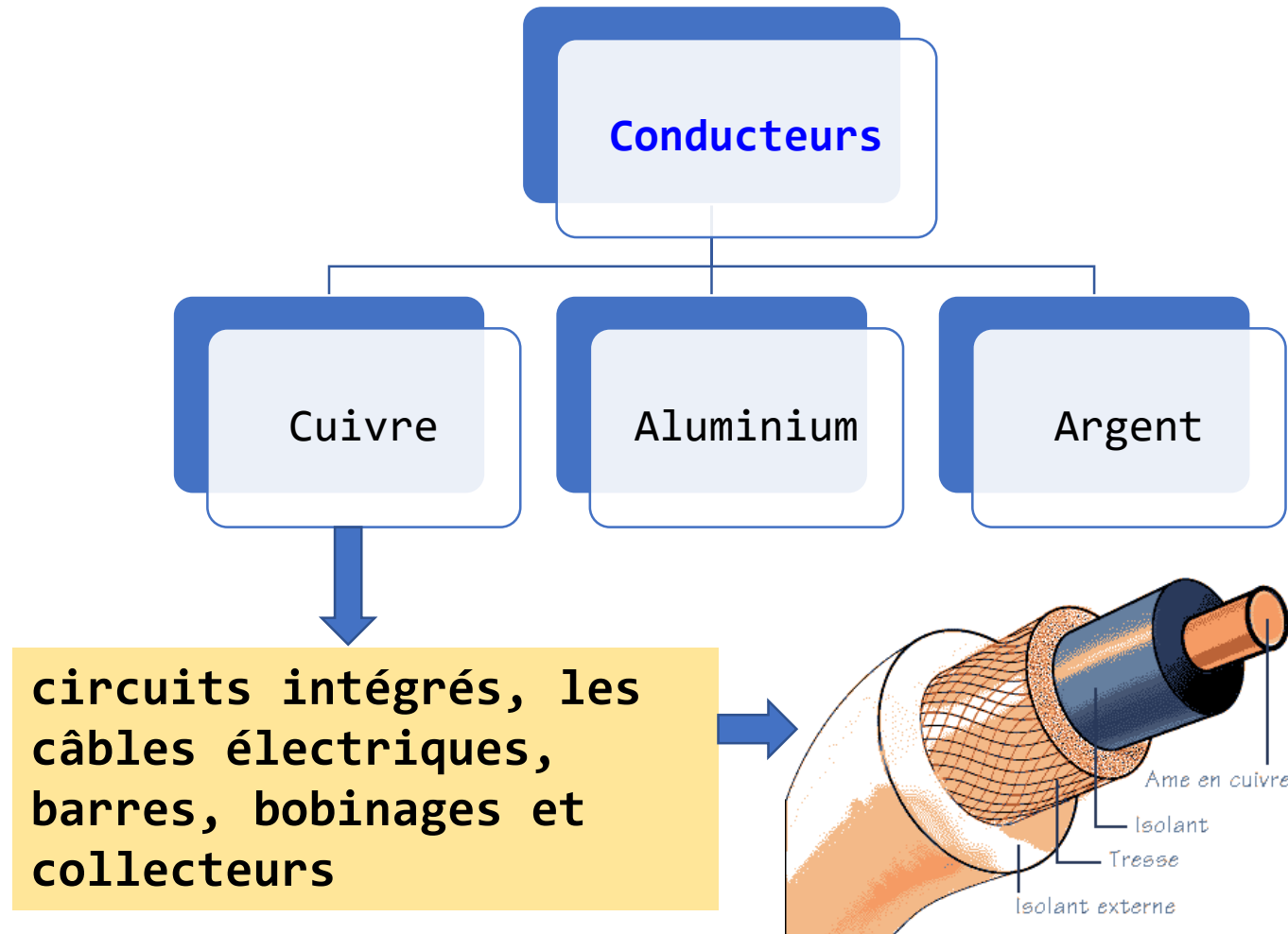


Généralités: Matériaux utilisés en électricité

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 $10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$.
- Bonne conductivité thermique : $\approx 100 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ (≈ 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



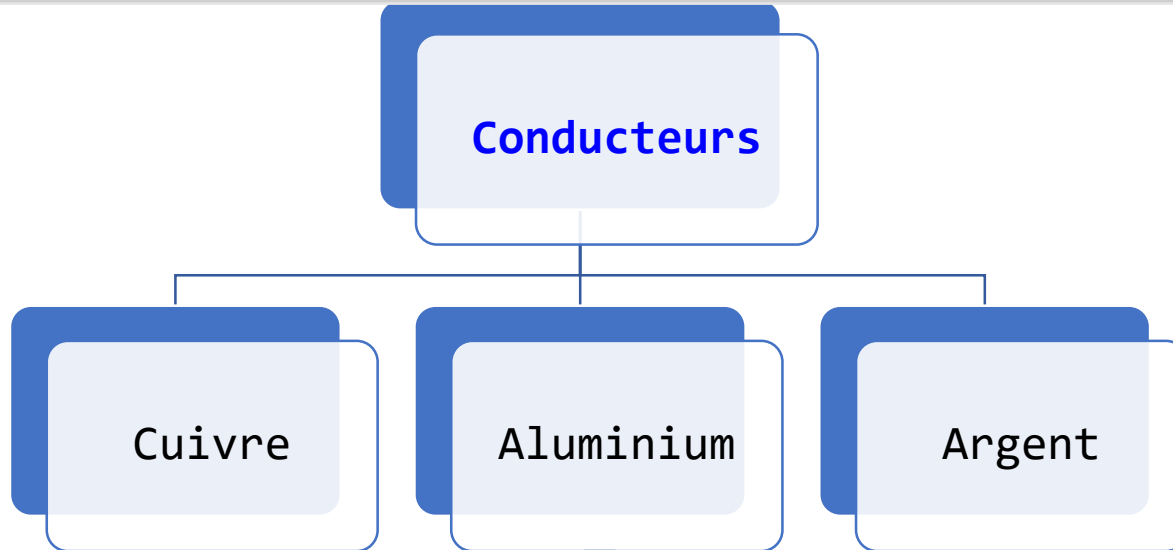
Le cuivre et ses alliages

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 fabrications des câbles et les conducteurs.

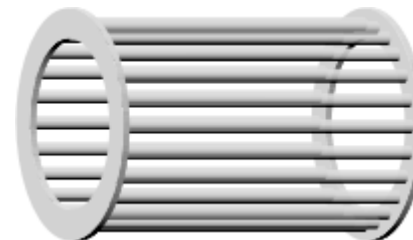
On distingue les alliages suivants :

- 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



Généralités: Matériaux utilisés en électricité

Aluminium et ses alliages

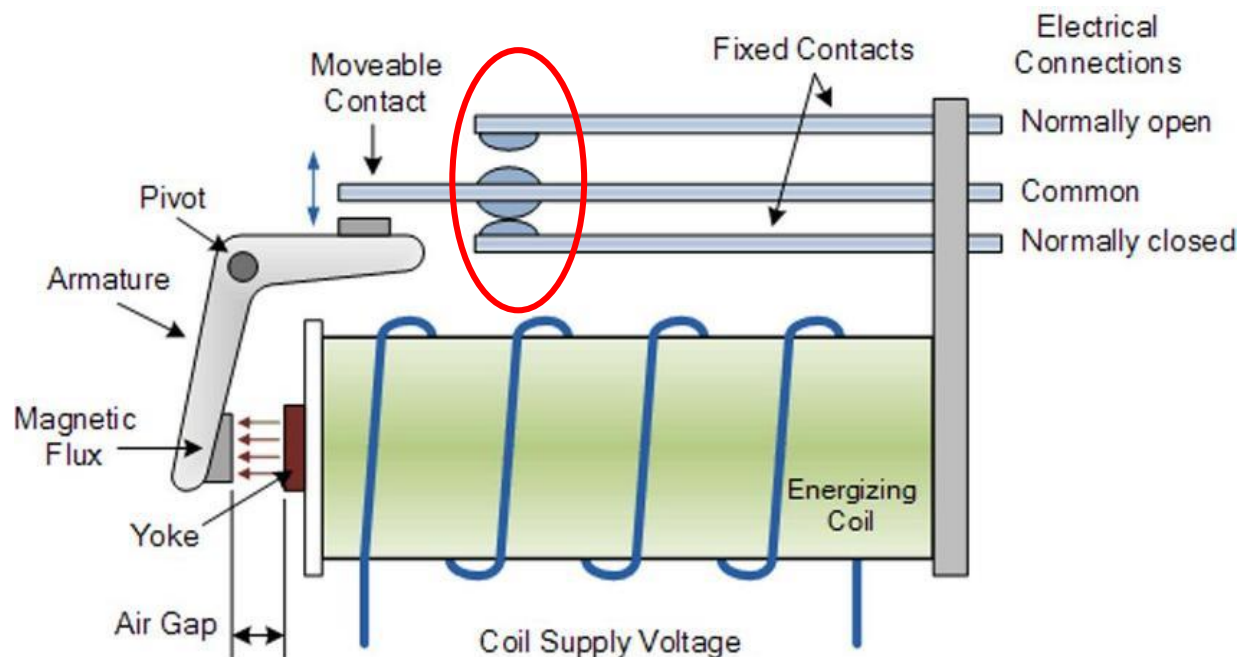
L'aluminium est compté parmi les bons conducteurs $\rho = 2.8 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$, mais il est caractérisé par sa souplesse et sa flexibilité. C'est pour cette raison qu'on cherche à le **durcir** par un traitement thermique. On distingue les alliages suivants :

- 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

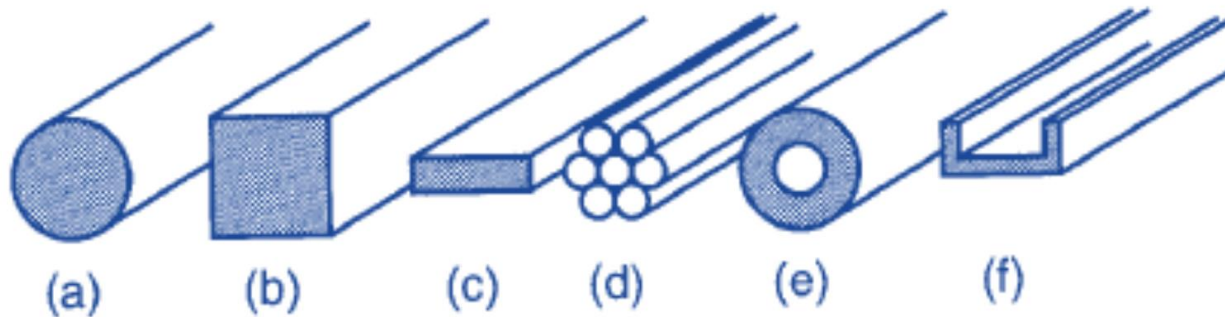
- Argent pur $\rho = 1.59 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$: utilisé pour les contacts inoxydables, contacts des relais ;
- Argent (Ag) plus Cadmium (Cd) : présente une faible résistance de contact.



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).

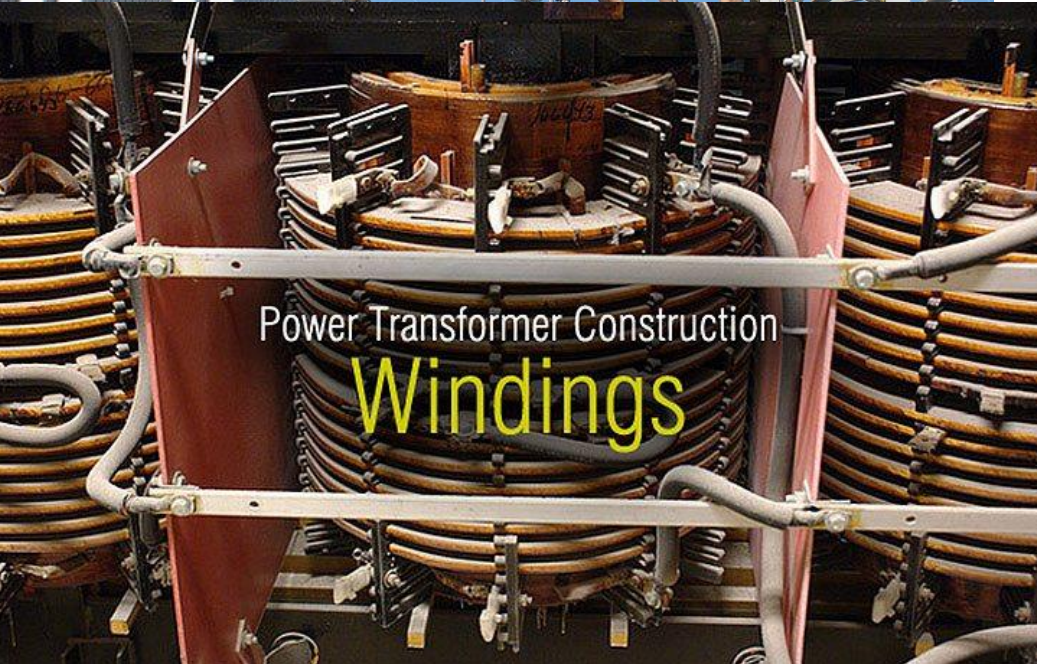
- Les fils de section ronde : se sont les plus employés pour les enroulements des transformateurs et des machines rotative. L'emploie de tels conducteurs dans les moteurs et génératrices permet une meilleur utilisation du volume des encoches.
- Les transformateurs de puissance plus grands peuvent être **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.

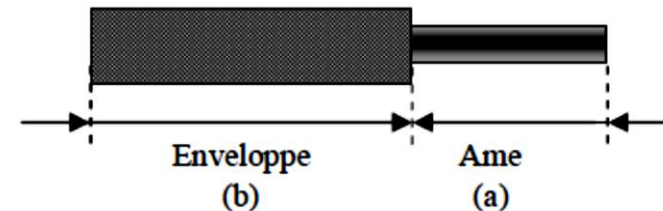
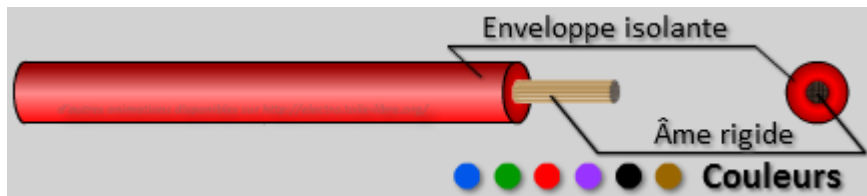
Constitution des conducteurs et câbles

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).

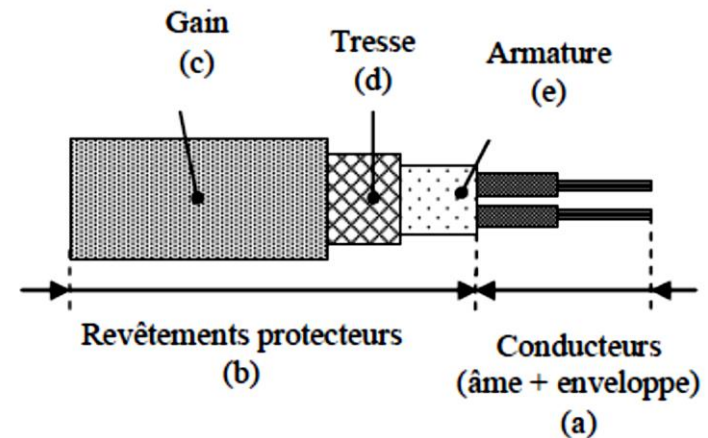
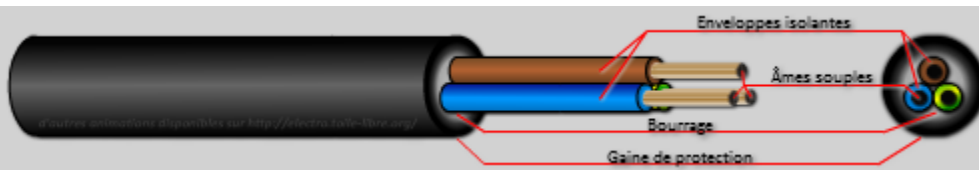


Constitution d'un conducteur

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).

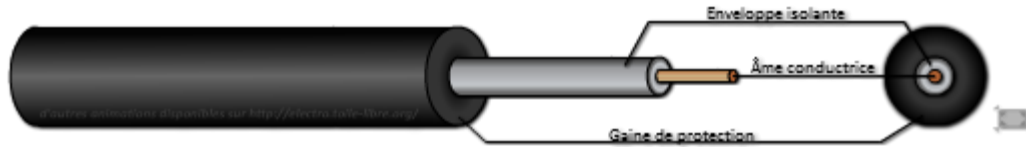


Constitution d'un câble à deux conducteurs

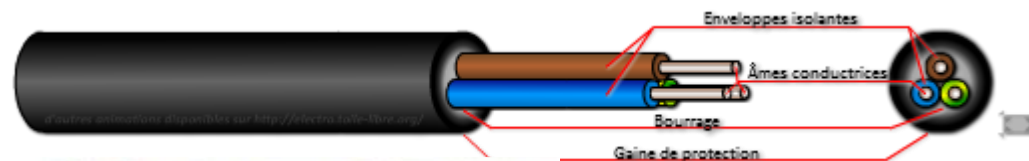
Désignation normalisée des conducteurs et câbles

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

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

- La **section normalisée** de l'âme conductrice en mm^2 : Sections utilisées dans l'habitat $S=0,75, 1,5, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, \dots 150, 185, 240$. (en 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

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...)

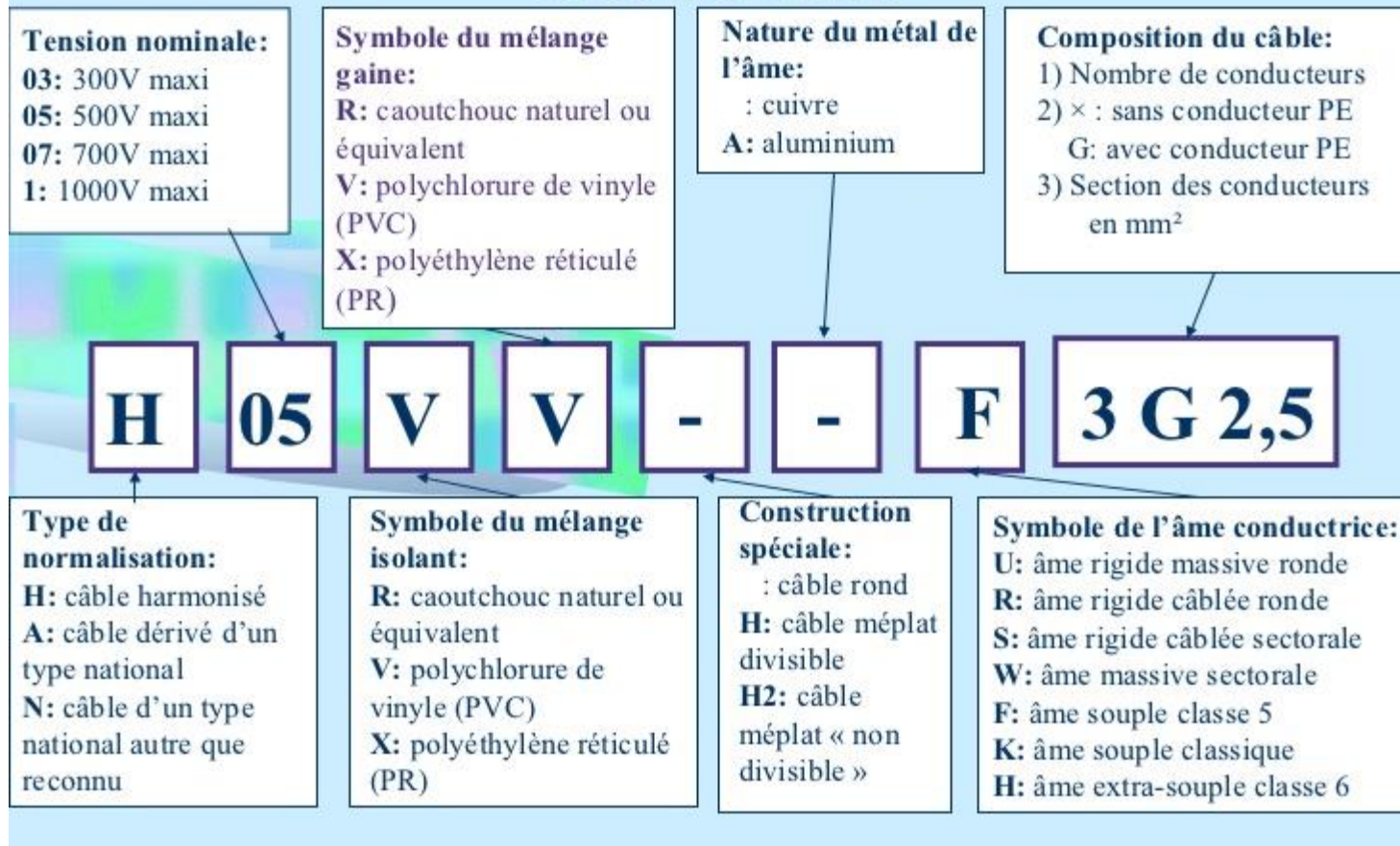
Désignation normalisée des conducteurs et câbles

Désignation normalisée des conducteurs et câbles

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

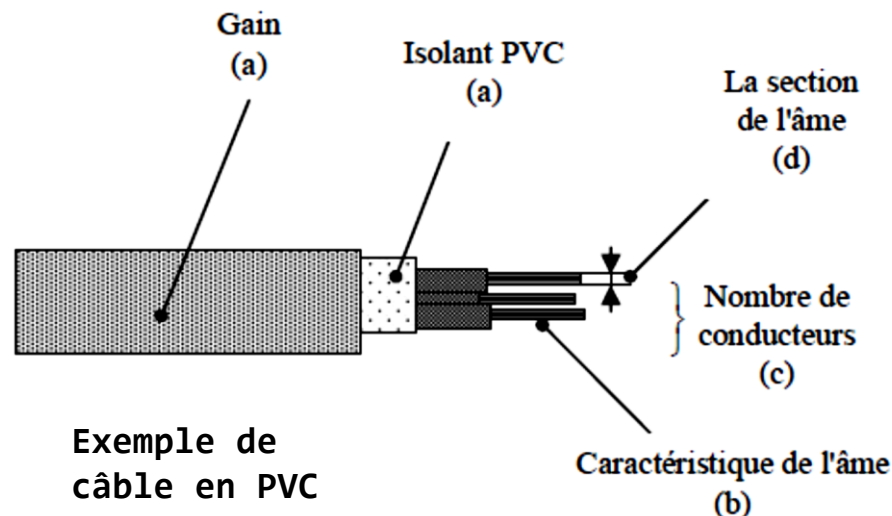
Désignation harmonisée CENELEC



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 mm² (d).



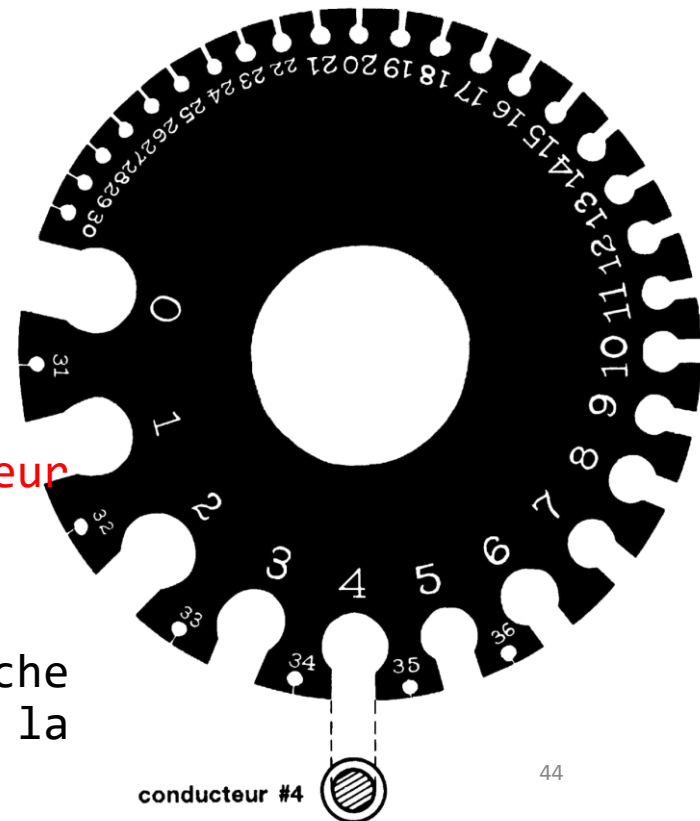
Calibre d'un conducteur circulaire

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



Calibre d'un conducteur circulaire



**12
AWG
stranded**



**12
AWG
solid**



**10
AWG**



**8
AWG**



**6
AWG**



**2
AWG**



**0
AWG**

Calibre d'un conducteur circulaire

AWG	Diamètre [mm]	Area [mm ²]	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 [mm²]	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

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 dû 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.

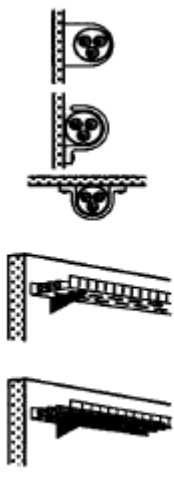
Le mode de pose des câbles

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.

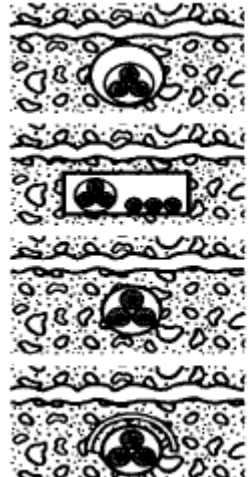
Les modes de pose :

- 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

	Câbles mono- ou multiconducteurs, avec ou sans armure :	
	– fixés sur un mur,	11
	– fixés à un plafond,	11A
	– sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés,	12
	– sur des chemins de câbles ou tablettes perforés en parcours horizontal ou vertical.	12




pose enterrée

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


pose dans le vide de construction

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

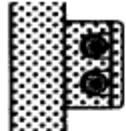
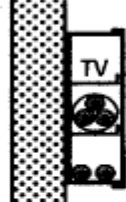


pose dans les caniveaux

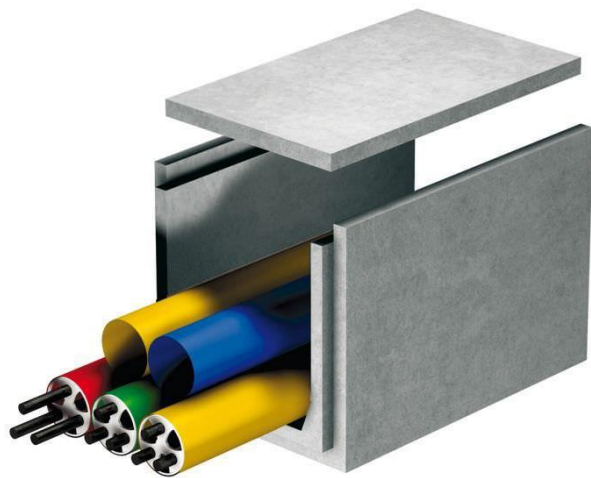
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical.</p>	41
	<p>Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés.</p>	42
	<p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.</p>	43

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



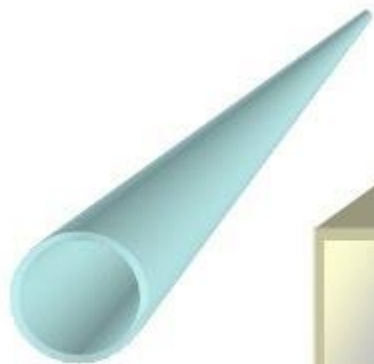
Caniveaux



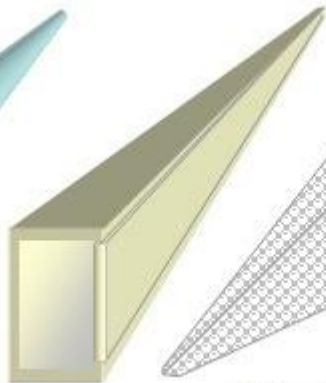
Moulure



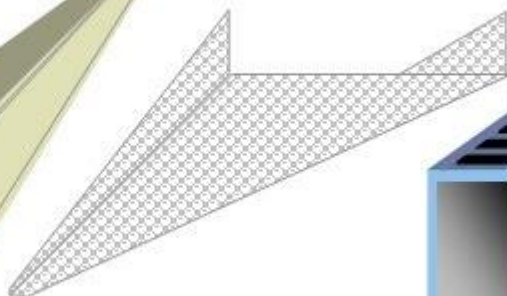
**Chemin de câble
non perforée**



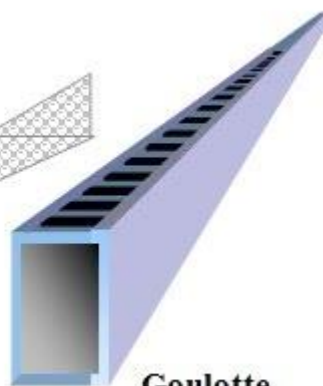
Conduit



Moulure



Chemin de câble



Goulotte

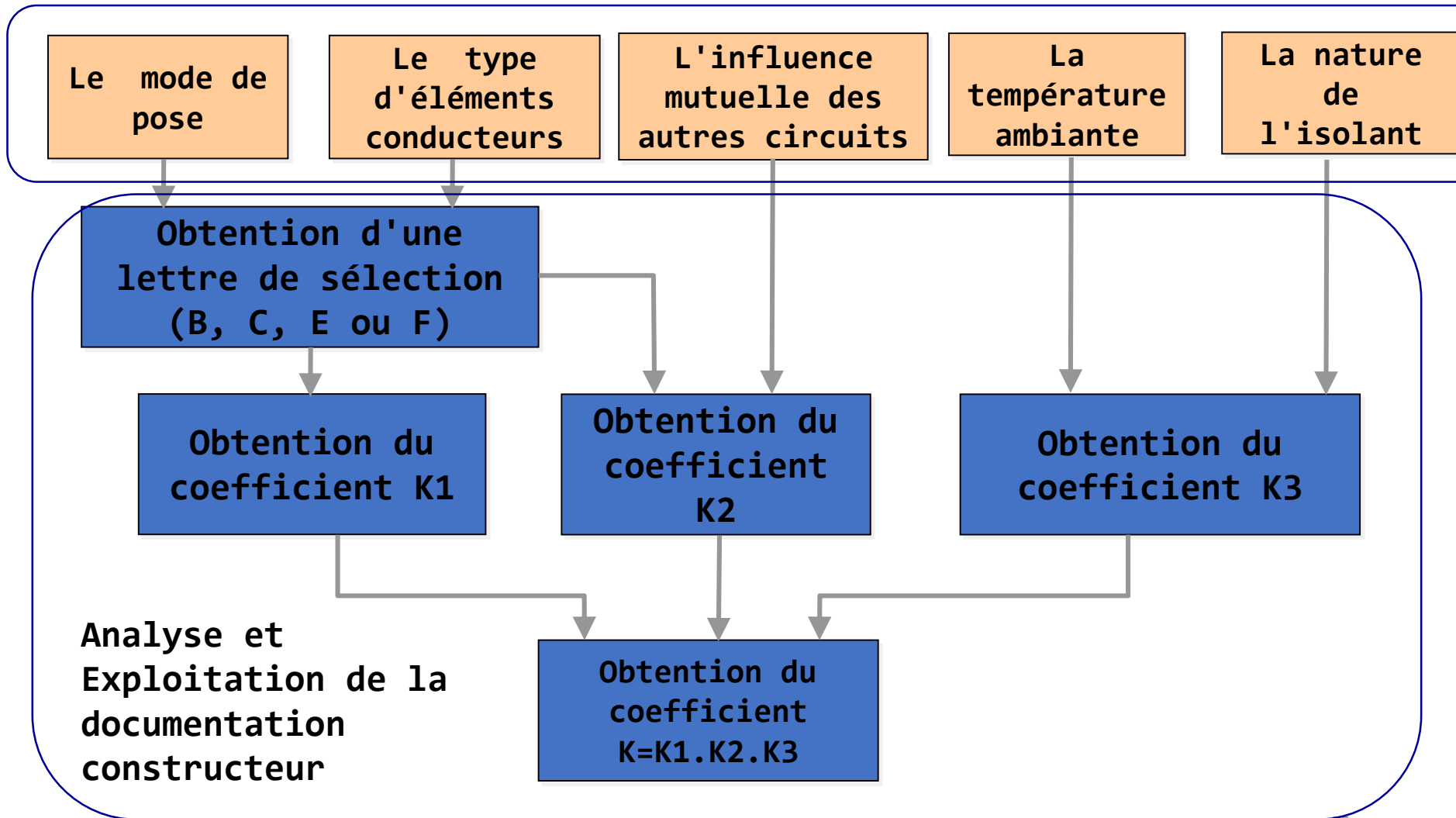


**Chemin de câble
perforée**

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

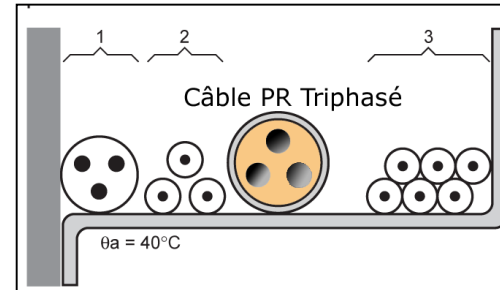
Détermination de la section de câbles

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">• Sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré• Sous vide de construction, faux plafond.• Sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles.	B
	<ul style="list-style-type: none">• En apparent contre mur ou plafond.• Sur chemin de câbles ou tablettes non perforées.	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none">• Sur échelle, corbeaux, chemin de câbles perforés.• Fixés en apparent, espacés de la paroi.• Câbles suspendus.	E
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none">• Sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforés.• Fixés en apparent, espacés de la paroi.• Câbles suspendus.	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">■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré■ sous vide de construction, faux plafond■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles	B
	<ul style="list-style-type: none">■ en apparent contre mur ou plafond■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none">■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé■ fixés en apparent, espacés de la paroi■ câbles suspendus	E
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none">■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé■ fixés en apparent, espacés de la paroi■ câbles suspendus	F

La lettre de sélection est E

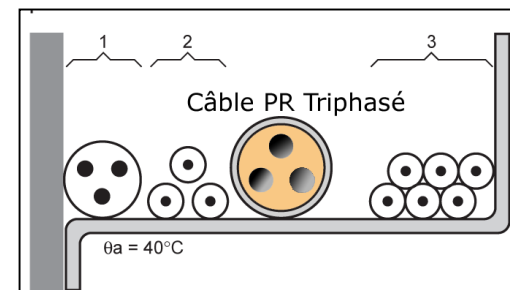
Coefficient K1

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

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

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 :	K1 = 1
E	

Coefficient K2

Influence mutuelle des circuits

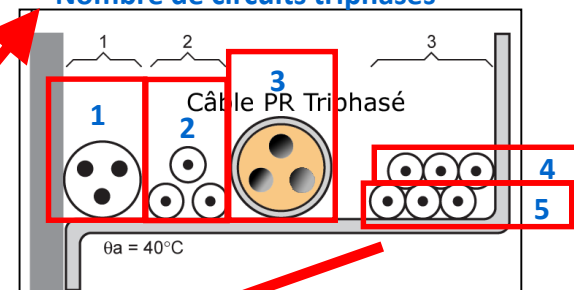
Le facteur de correction K2 qui prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

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	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles		
	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			

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 câbles 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		

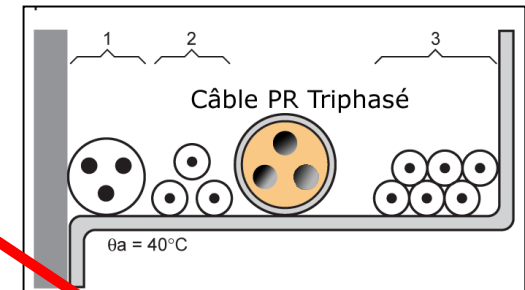
Coefficient K3

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



Facteur de correction K3

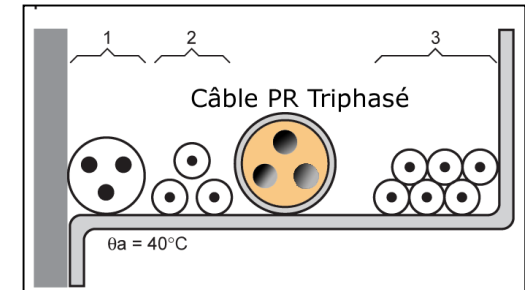
températures ambiantes (°C)	isolation élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,92	0,97	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	—	0,61	0,76
60	—	0,50	0,71

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

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

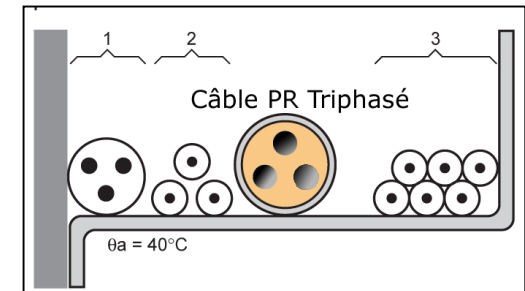
Lettre de sélection : E	K1 =1	K2 =0.75	K3 =0.91	K =0.68	$I'_z =$ 36,8 A
----------------------------	-------	----------	----------	---------	--------------------

		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 (mm²)	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 (mm²)	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 : $I_z = 25A$

Calcul de K :

$$\boxed{K1 = 1} \times \boxed{K2 = 0.75} \times \boxed{K = 0.68} = K = 0,68$$

Courant corrigé : $I'_z = I_z / K$

Application numérique : $I'_z = 25 / 0.68 = 36.8 A$

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

PR triphasé (PR3)

Section du câble:
4 mm² pour du cuivre

Section du câble:
6 mm² pour de l'aluminium

Lettre de
sélection :
E

K = 0.68

I'z =
36,8 A

		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	PR3	PR3	PR2			
	C		PVC3		PVC2	PVC2	PR3	PR2			
	E				PVC3						
section cuivre (mm ²)	F										
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	54	58	63			
10		50	57	60	65	70	75	80	86		
16		68	76	80	85	94	100	107	115		
25		89	101	105	112	119	127	138	149	161	
35		110	126	130	138	147	158	169	185	200	
50		134	153	158	168	179	192	207	225	242	
70		171	196	202	213	229	246	268	289	310	
95		207	238	244	258	278	298	328	352	377	
120		239	276	282	299	322	346	382	410	437	
150			319	325	344	371	395	441	473	504	
185			364	370	392	424	450	506	542	575	
240			403	410	461	500	538	599	641	679	
300			464	471	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 ²)	G										
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	72	79	84	91		
25		70	73	78	83	90	98	101	108	121	
35		86	90	96	103	112	122	126	135	150	
50		104	110	117	125	136	149	154	164	184	
70		133	140	150	160	174	192	198	211	237	
95		161	170	183	195	211	235	241	257	289	
120		188	197	212	226	245	273	280	300	337	
150			227	245	261	283	316	324	346	389	
185			259	280	298	323	363	371	397	447	
240			305	330	352	382	430	439	470	530	
300			351	381	406	440	497	508	543	613	
400						526	600	663		740	
500						610	694	770		856	
630						711	808	899		996	

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 °C et le câble véhicule $I_n=58$ ($I_z=63A$) ampères par phase. On considère que le neutre du circuit 4 est chargé.

