

Les lignes et les câbles électriques

Par

Patrick LAGONOTTE

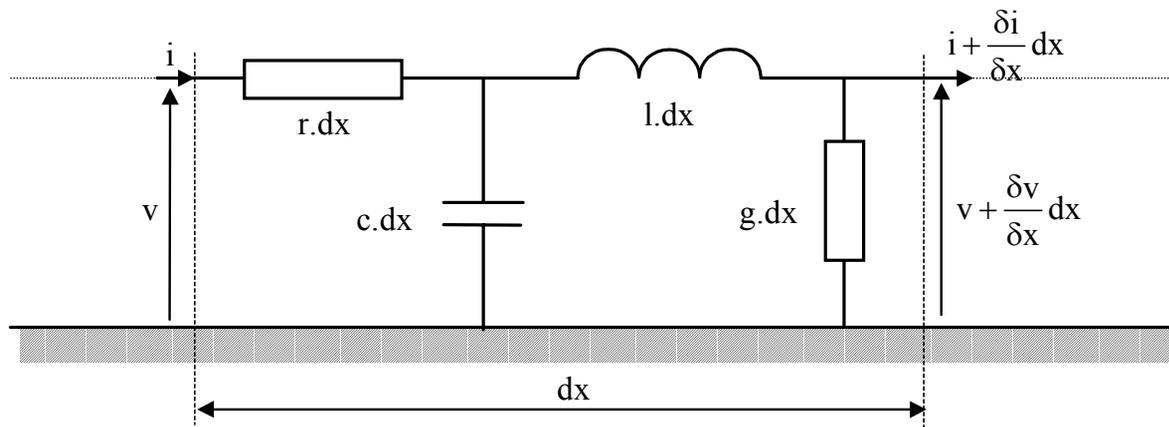
Maître de Conférences

Université de Poitiers

10.2 La modélisation des lignes et des câbles électriques

L'équation analytique exacte des lignes et des câbles électriques

Les lignes électriques et les câbles sont des systèmes à constantes réparties, c'est à dire que les grandeurs physiques (résistances, inductances, capacités) sont réparties sur toute la longueur de la ligne et ne sont donc pas localisées.



Équations aux dérivées partielles de la ligne à constantes réparties

$$-\frac{\delta v}{\delta x} = r i + l \frac{\delta i}{\delta t} \quad (1)$$

$$-\frac{\delta i}{\delta x} = g v + c \frac{\delta v}{\delta t}$$

Avec :

r : Résistance longitudinale par unité de longueur.

l : L'inductance longitudinale par unité de longueur.

c : La capacité transversale par unité de longueur.

g : La conductance transversale par unité de longueur.

10.2 La modélisation des lignes et des câbles électriques

Dans le cas où la tension et le courant sont sinusoïdaux les équations (1) deviennent :

$$-\frac{dV(x)}{dx} = (r + jl\omega)I(x) \quad -\frac{dI(x)}{dx} = (g + jc\omega)V(x)$$

Si nous notons Z_l l'impédance longitudinale par unité de longueur, et Y_t l'admittance transversale par unité de longueur, les équations (2) deviennent :

$$-\frac{dV(x)}{dx} = Z_l I(x) \quad -\frac{dI(x)}{dx} = Y_t V(x)$$

Par séparation des variables, nous obtenons deux équations différentielles du second ordre indépendantes :

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = Z_l Y_t V(x) \quad \frac{d^2I(x)}{dx^2} = Z_l Y_t I(x)$$

Notons maintenant Z_w l'impédance caractéristique et γ la constante de propagation définies par les expressions suivantes :

$$Z_w = \sqrt{\frac{r + jl\omega}{g + jc\omega}} = \sqrt{\frac{Z_l}{Y_t}} \quad \text{unité} = \Omega$$

$$\gamma_w = \sqrt{(r + jl\omega)(g + jc\omega)} = \sqrt{Z_l Y_t} \quad \text{unité} = \text{m}^{-1}$$

Les deux équations différentielles indépendantes (2) deviennent alors :

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = \gamma^2 V(x)$$

$$\frac{d^2I(x)}{dx^2} = \gamma^2 I(x)$$

10.2 La modélisation des lignes et des câbles électriques

Ces équations différentielles s'intègrent en donnant un système d'équations couplées :

$$\begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma x) & -Z_0 \sinh(\gamma x) \\ \frac{-1}{Z_0} \sinh(\gamma x) & \cosh(\gamma x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(0) \\ I(0) \end{bmatrix}$$

En inversant cette dernière équation, nous obtenons une matrice où tous les termes sont positifs, appelée également matrice de transfert du quadripôle.

$$\begin{bmatrix} V(0) \\ I(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma x) & Z_0 \sinh(\gamma x) \\ \frac{1}{Z_0} \sinh(\gamma x) & \cosh(\gamma x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix}$$

Considérons le modèle en Π de la figure ci-dessous.
Les équations qui correspondent à ce montage sont :

$$\begin{cases} V(x) = V(0) - Z_s(I(0) - Y_1 V(0)) \\ I(x) = I(0) - Y_1 V(0) - Y_2 V(x) \end{cases}$$

Soit :

$$\begin{cases} V(x) = V(0) \cdot (1 - Z_s Y_1) - Z_s I(0) \\ I(x) = I(0) \cdot (1 - Z_s Y_2) - (Y_1 + Y_2 + Z_s Y_1 Y_2) V(0) \end{cases}$$

En identifiant les termes à la solution analytique de l'équation :

$$\begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma x) & -Z_0 \sinh(\gamma x) \\ \frac{-1}{Z_0} \sinh(\gamma x) & \cosh(\gamma x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(0) \\ I(0) \end{bmatrix}$$

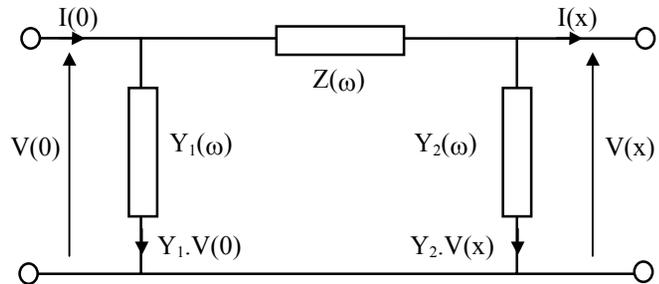
nous obtenons que :

$$\begin{cases} Z = Z_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot x) \\ Y_1 = Y_2 = \frac{1}{Z_0} \tanh\left(\frac{\gamma \cdot x}{2}\right) \end{cases}$$

10.2 La modélisation des lignes et des câbles électriques

Ce qui correspond au schéma en Π de la figure ci-dessous.

Mais les valeurs complexes de ces éléments varient en fonction de la fréquence.

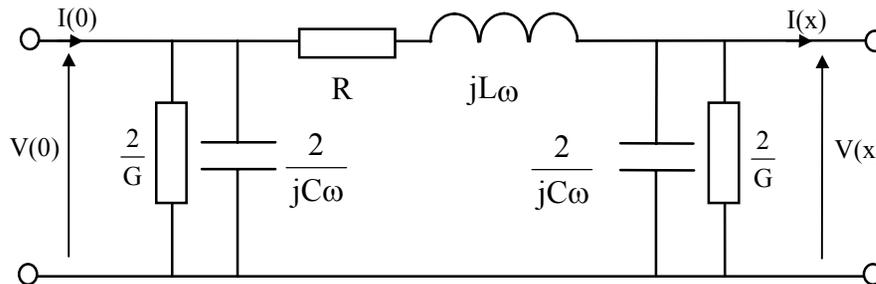


Avec :

$$Z(\omega) = Z_{\omega} \cdot \sinh(\gamma \cdot x)$$

$$Y_1(\omega) = Y_2(\omega) = \frac{1}{Z_{\omega}} \cdot \tanh\left(\frac{\gamma \cdot x}{2}\right)$$

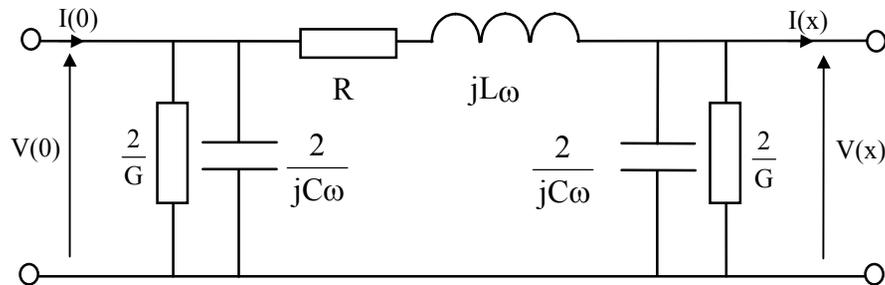
Si on ne tient pas compte de la propagation (lignes courtes et avec des déphasages faibles), nous pouvons simplifier les formules hyperboliques et faire l'approximation suivante :



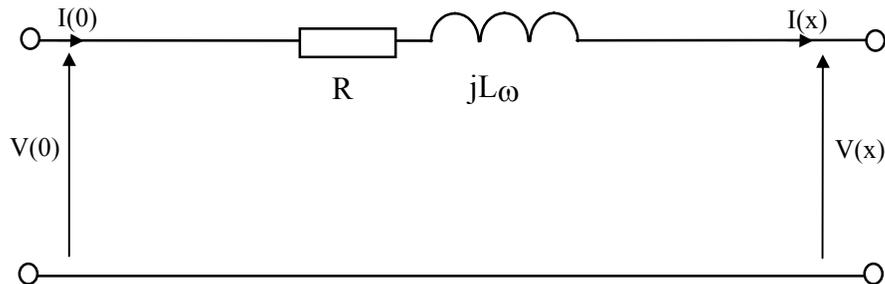
Avec **R**, **L**, **C** et **G**, les caractéristiques physiques des lignes et des câbles électriques H.T.

10.2 La modélisation des lignes et des câbles électriques

Repartons du schéma simplifié H.T d'une ligne électrique présenté ci-dessous :



En Basse-Tension, il n'est pas nécessaire dans les modèles de câbles de tenir compte de la capacité linéique et des pertes diélectriques (Faible niveau de tension, faible champ électrique et faible contrainte diélectrique), nous pouvons simplifier le schéma précédent et aboutir au modèle classique des câbles Basse-Tension :



Avec R , L les caractéristiques physiques des câbles électriques B.T.

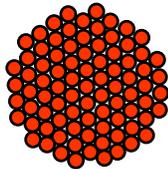
10.3 La résistance des lignes et des câbles électriques

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{s}$$

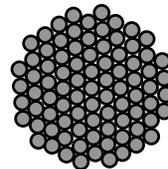
R : la résistance électrique en ohm ;
ℓ : la longueur du câble en km ;

ρ : la résistivité électrique en Ω.mm²/km ;
s : la section du câble en mm² .

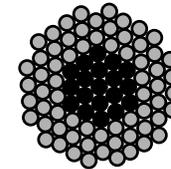
âme cuivre



âme aluminium



âme aluminium armée



Cuivre :

Masse volumique :	ρ	= 8,8 kg/dm ³
Résistivité électrique :	r_{cu}	= 21,983 Ω.mm ² /km à 90°C
Conductivité thermique :	λ	= 384 W/(m.K)
Capacité thermique massique :	Cth	= 0,394 kJ/(kg.K)
Coefficient de dilatation :	α	= 16,5.10 ⁻⁶ 1/K
Température de fusion :	Tf	= 1083°C

Aluminium :

Masse volumique :	ρ	= 2,6 kg/dm ³
Résistivité électrique :	r_{al}	= 36,232 Ω.mm ² /km à 90°C
Conductivité thermique :	λ	= 204 W/(m.K)
Capacité thermique massique :	Cth	= 0,879 kJ/(kg.K)
Coefficient de dilatation :	α	= 23,8.10 ⁻⁶ 1/K
Température de fusion :	Tf	= 658°C

10.3 L'inductance des lignes et des câbles électriques

Calcul du champ d'induction magnétique

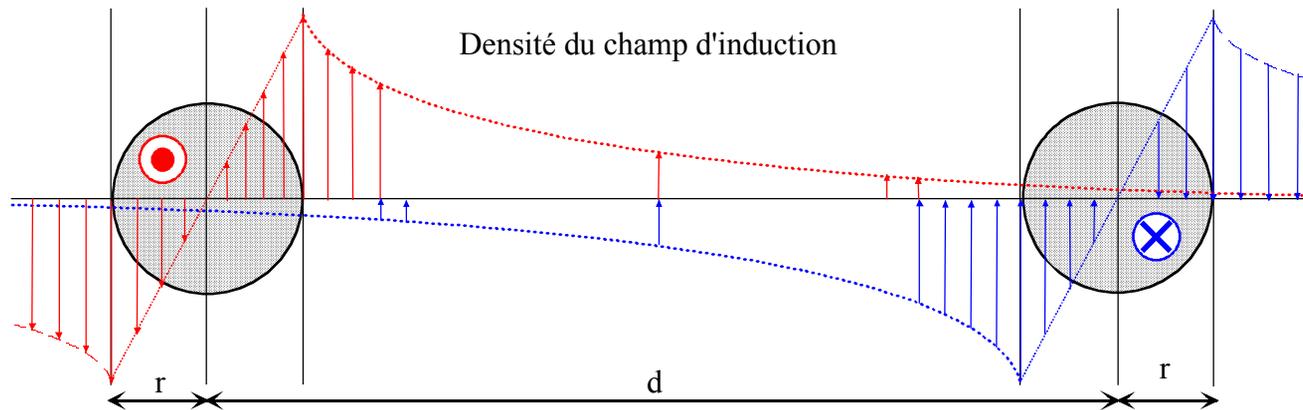
Théorème d'Ampère : $\oint \mathbf{H} \cdot \partial \ell = \sum i$

Le champ d'induction à l'intérieur du conducteur :

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} = \mu_0 \cdot \frac{x}{2\pi \cdot r^2} \mathbf{I}$$

Le champ d'induction à l'extérieur du conducteur :

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot x}$$



Le flux entre les deux conducteurs :

$$\Phi = \int_r^d B(x) \cdot dx = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi} \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

Les énergies électromagnétiques : $W = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \Phi$

$$W_{\text{ext}} = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{4\pi} \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

$$W_{\text{int}} = \frac{\mu_0}{16\pi} I^2$$

L'énergie électromagnétique totale : $W_{\text{totale}} = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{d}{r}\right) \right) = \frac{1}{2} L \cdot I^2$

10.3 L'inductance des lignes et des câbles électriques

L'inductance totale du circuit :
$$L_{\text{totale}} = \frac{\mu_0}{\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{d}{r}\right) \right)$$

$$L_{\text{totale}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{1}{r}\right) \right) + \left(\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{1}{r}\right) \right) - 2 \cdot \ln\left(\frac{1}{d}\right) \right]$$

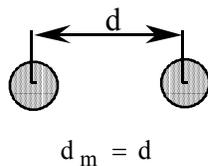
$$L_1 = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \left(\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{1}{r}\right) \right)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \left(\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{1}{r}\right) \right)$$

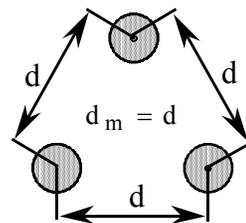
$$M_{12} = \frac{-\mu_0}{2 \cdot \pi} \left(2 \cdot \ln\left(\frac{1}{d}\right) \right)$$

Cas pratiques :

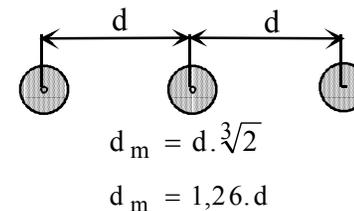
Liaison Monophasée



Liaison Triphasée en triangle



Liaison Triphasée en nappe



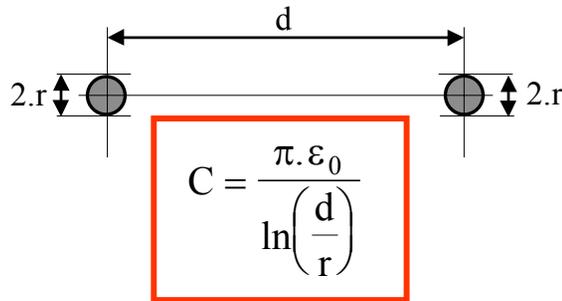
$$L = \left[0,05 + \ln\left(\frac{d_m}{r}\right) \right] \text{ en } \mu\text{H/m}$$

10.3 L'inductance des lignes et des câbles électriques

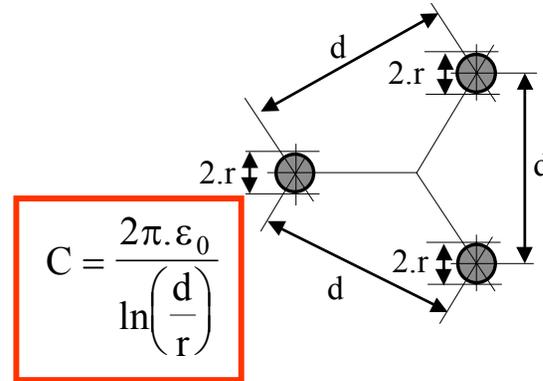
Section (mm ²)	Câbles Unipolaires		Câbles Bipolaires		Câbles Tripolaires	
	R à 80°C Ω.km	X Ω.km	R à 80°C Ω.km	X Ω.km	R à 80°C Ω.km	X Ω.km
1	22,1	0,176	22,5	0,125	22,5	0,125
1,5	14,8	0,168	15,1	0,118	15,1	0,118
2,5	8,91	0,155	9,08	0,109	9,08	0,109
4	5,57	0,143	5,68	0,101	5,68	0,101
6	3,71	0,135	3,78	0,0955	3,78	0,0955
10	2,24	0,119	2,27	0,0861	2,27	0,0861
16	1,41	0,112	1,43	0,0817	1,43	0,0817
25	0,889	0,106	0,907	0,0813	0,907	0,0813
35	0,641	0,101	0,654	0,0783	0,654	0,0783
50	0,473	0,101	0,483	0,0779	0,483	0,0779
70	0,328	0,0965	0,334	0,0751	0,334	0,0751
95	0,236	0,0975	0,241	0,0762	0,241	0,0762
120	0,188	0,0939	0,191	0,0740	0,191	0,0740
150	0,153	0,0928	0,157	0,0745	0,157	0,0745
185	0,123	0,0908	0,125	0,0742	0,125	0,0742
240	0,0943	0,0902	0,0966	0,0752	0,0966	0,0752
300	0,0761	0,0895	0,0780	0,0750	0,0780	0,0750

10.3 La capacité des lignes et des câbles électriques

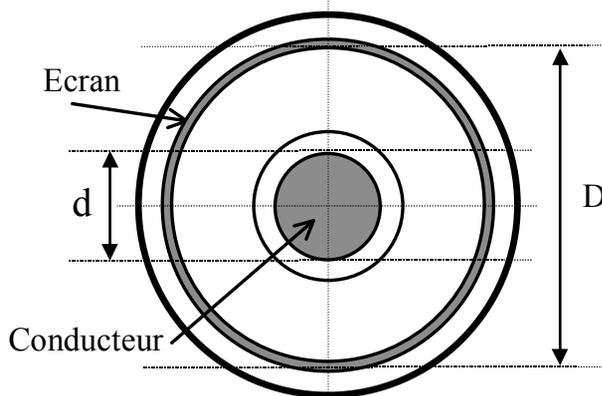
Ligne monophasée



Ligne triphasée

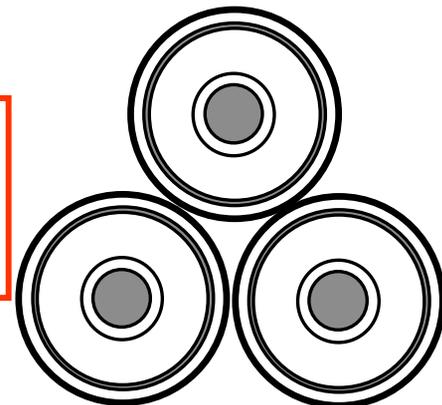


Câble monopolaire



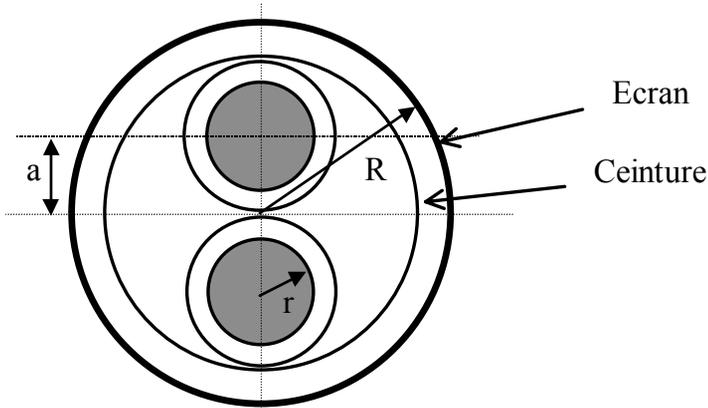
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{18 \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)} \text{ En } \mu\text{F/km}$$

Câble tripolaire à champ radial



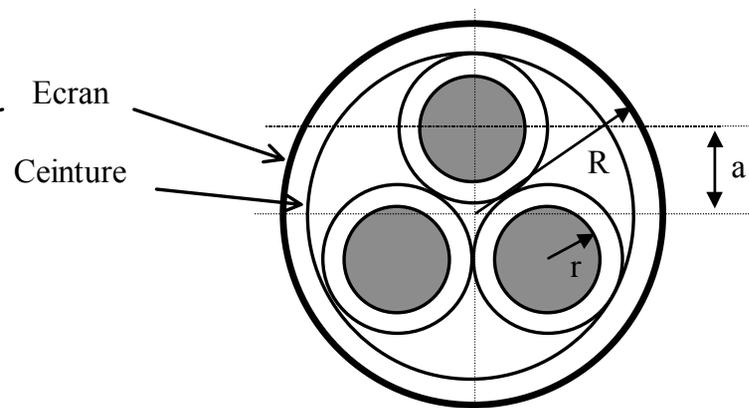
10.3 La capacité des lignes et des câbles électriques

Câble à deux conducteurs



$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{36 \cdot \ln \left(\frac{2a}{r} \cdot \frac{(R^2 - a^2)}{(R^2 + a^2)} \right)} \text{ En } \mu\text{F/km}$$

Câble à trois conducteurs



$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{9 \cdot \ln \left(\frac{3a^2}{r^2} \cdot \frac{(R^2 - a^2)^3}{(R^6 + a^6)} \right)} \text{ En } \mu\text{F/km}$$

10.3 La résistance d'isolement des lignes et des câbles électriques

La résistance d'isolement des câbles

La norme NF C 15-100 admet pour l'isolation B.T. une résistance d'isolement supérieure à **0,5 MΩ**. Cette résistance d'isolation est contrôlable avec un contrôleur numérique standard (**20 MΩ**). Cependant des résistances d'isolation de **200 MΩ à 5000 MΩ** sont facilement réalisées.

MATERIAUX	Résistivité en $\Omega \cdot \text{cm}^2 / \text{cm}$ à 20° C	Résistivité en Ki (MΩ.km) à 20° C	Résistivité en Ki (MΩ.km) à 80° C
Teflon	10^{18}	> 100 000	15 000
Kapton / Polyimide	$10^{15} - 10^{16}$	10 000	-
Terphane	10^{18}	> 100 000	-
Polyéthylène	10^7	> 50 000	1000
Polypropylène	10^{17}	> 50 000	-
PRC non chargé	10^{16}	> 20 000	1 500
PRC chargé (H.T.A)	10^{16}	> 20 000	1 500
PRC chargé (B.T)	10^{15}	> 10 000	1 500
PCV a (isolant H.T.A)	$3 \cdot 10^{15}$	10 000	8
PCV b (isolant B.T)	10^{15}	2 000	5
PCV c (gaine)	$2 \cdot 10^{14}$	800	0,5
EPR - EPDM (H.T.A)	10^{16}	> 15 000	1 000
EPR -EPDM (B.T)	10^{15}	> 5 000	1 000
Polyamides	$10^{11} - 10^{12}$	1 à 10	-
Hypalon	10^{12}	5 à 10	0,2
Néoprène	$5 \cdot 10^{11}$	1 à 2	0,05
Polyuréthane	10^{11}	0,3	-
PVC Nitrile	10^{11}	0,3	-
Caoutchouc de Silicone	10^{15}	5 000	1 000

La résistance d'isolement :

$$R_i = \frac{\rho \cdot l}{2\pi} \cdot \text{Ln}\left(\frac{D}{d}\right) = \frac{\rho \cdot l}{2\pi} \cdot \text{Ln}(10) \cdot \text{Log}_{10}\left(\frac{D}{d}\right)$$

l : la longueur du câble ;

D : le diamètre extérieur de l'enveloppe isolante ;

d : le diamètre du conducteur ;

ρ : la résistivité du matériau isolant ($\Omega \cdot \text{cm}^2 / \text{cm}$).

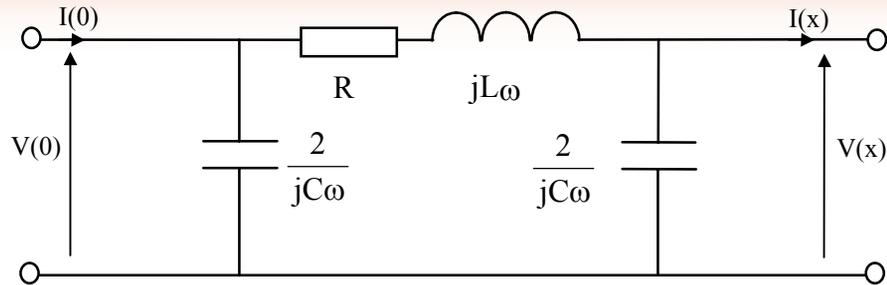
Le coefficient d'isolation Ki (MΩ.km)

$$K_i = \frac{\rho \cdot l \cdot \text{Ln}(10)}{2\pi} = \frac{\rho}{2,7 \cdot 10^{11}}$$

La résistance d'isolement :

$$R_i = K_i \cdot \text{Log}_{10}\left(\frac{D}{d}\right)$$

10.3 Les caractéristiques des lignes électriques



TENSION	TYPE	Rd (mΩ/km)	Ld (mH/km)	Cd (nF/km)	Rh (mΩ/km)	Lh (mH/km)	Ch (nF/km)
20 kV	1 x 54,6 mm ²	603	1,254	-	-	-	-
20 kV	1 x 148,1 mm ²	224	1,153	-	-	-	-
63 kV	1 x 228 mm ²	146	1,241	9	430	3,88	5,2
90 kV	1 x 228 mm ²	146	1,241	9	430	3,88	5,2
230 kV	1 x 570 mm ²	60	1,33	8,65	334	3,66	5,5
315 kV	1 x 689,5 mm ²	45	1,31	8,8	78	3,73	-
315 kV	2 x 689,5 mm ²	23	0,97	11,7	72	3,39	-
400 kV	2 x 570 mm ²	30	1,05	11,2	170	3,71	7,4
400 kV	3 x 570 mm ²	20	0,86	13,9	160	2,41	8
735 kV	4 x 689,5 mm ²	11	0,85	13,2	70	3,03	-

10.3 Les caractéristiques des câbles électriques

L'âme conductrice

C'est la partie métallique parcourue par le courant.

Elle est en cuivre, en aluminium ou en alliage d'aluminium.

Elle peut être massive, rigide, souple ou même extra-souple (câble de soudure).

L'enveloppe isolante

Le matériau d'isolation doit avoir des caractéristiques électriques appropriées avec l'utilisation du câble.

Les isolations sont extrudées (PVC polychlorure de vinyle, PRC Polyéthylène réticulé, etc).

Matériaux isolant	Papier imprégné	Polychlorure de vinyle	Caoutchouc Butyle	Polvéthylène	Polyéthylène réticulé	Caoutchouc de silicone
Température maximale en régime permanent	65°C	70°C	85°C	70°C	90°C	180°C
Température maximale en fin de court-circuit	150°C	160°C	220°C	150°C	250°C	350°C

10.3 Les caractéristiques des câbles électriques

Les conducteurs

Ce sont les éléments composés d'une âme et de son enveloppe isolante.

Les sections normalisées des conducteurs

Les sections des conducteurs sont normalisées dans les valeurs suivantes :

0,5 mm² ; 0,75 mm² ; 1 mm² ; 1,5 mm² ; 2,5 mm² ; 4 mm² ; 6 mm² ; 10 mm² ; 16 mm² ; 25 mm² ; 35 mm² ; 50 mm² ; 70 mm² ; 95 mm² ; 120 mm² ; 150 mm² ; 185 mm² ; 240 mm² ; 300 mm² ; 400 mm² ; 500 mm² ; 630 mm² ; 800 mm² ; 1000 mm².

L'âme conductrice peut être ronde massive pour des sections inférieures à 4 mm². Pour toutes les sections l'âme conductrice peut être ronde câblée.

La contrainte thermique des conducteurs

Cette contrainte thermique aussi appelée I².t et s'exprime en A².s. (Puissance = R.I² et l'Énergie = R.I².t).

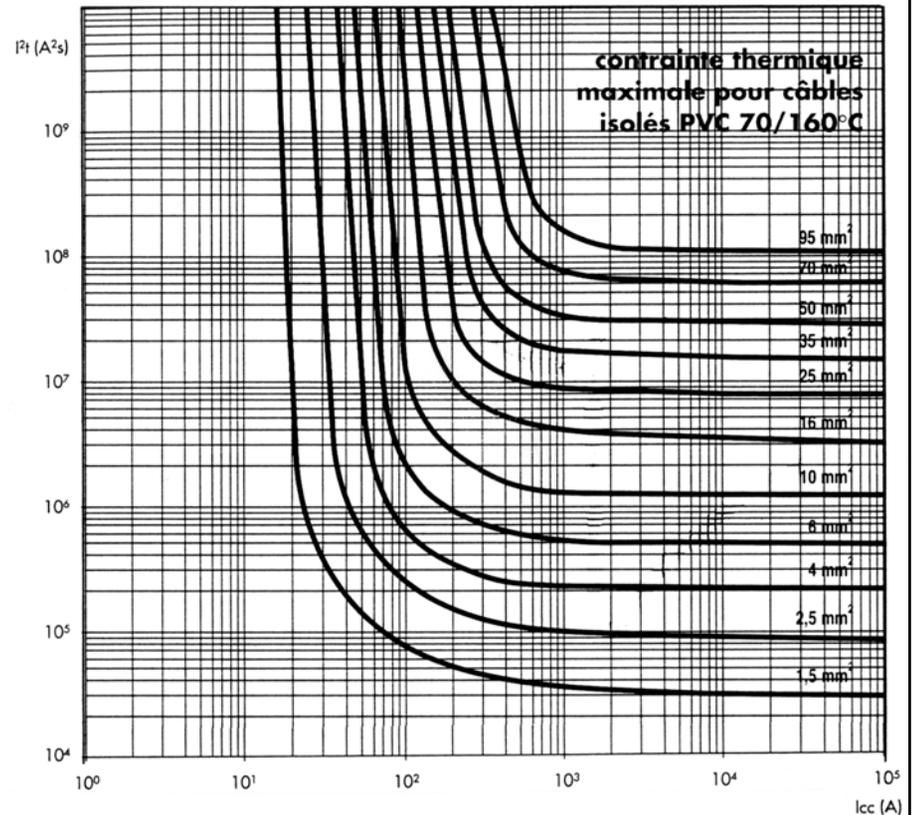
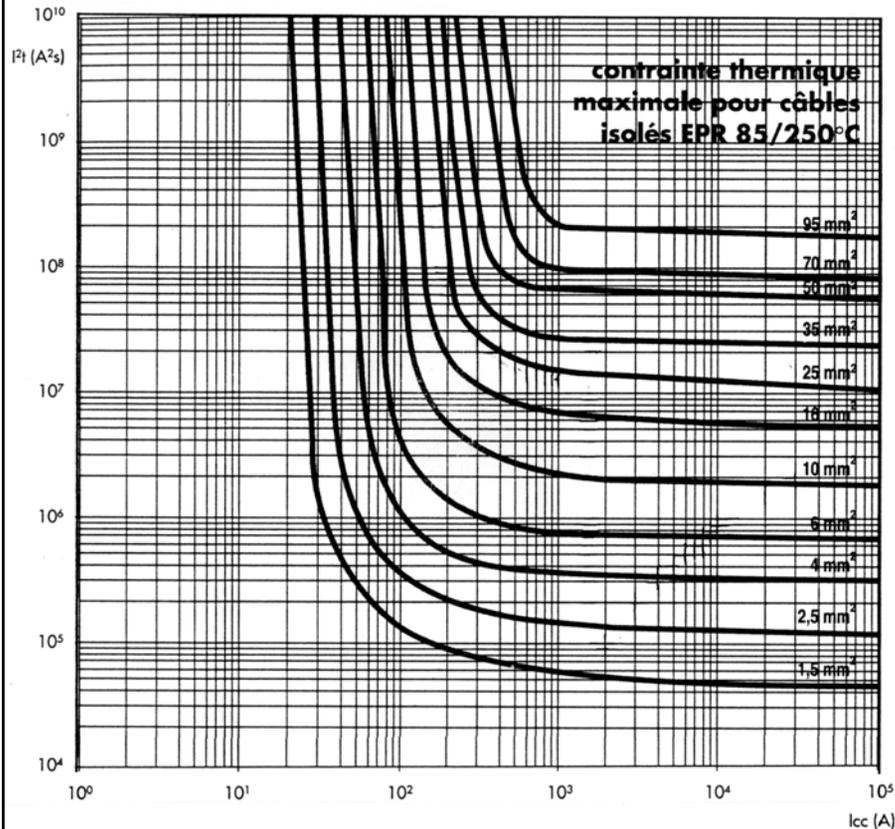
La contrainte thermique correspond à l'énergie dissipée par unité de résistance du circuit, que l'on pourrait aussi exprimer en J/Ω (joule/ohm).

Section Nature	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
PVC Cu	29,7 k	82,6 k	212 k	476 k	1,32 M	3,40 M	8,26 M	16,2 M	33,1 M
PVC Al	-	-	-	-	541 k	1,39 M	3,38 M	6,64 M	13,5 M
PRC Cu	41,0 k	139 k	292 k	656 k	1,82 M	4,69 M	13,9 M	22,3 M	45,6 M
PRC Al	-	-	-	-	752 k	1,93 M	4,70 M	9,23 M	18,8 M

10.3 Les caractéristiques des câbles électriques

La contrainte thermique des conducteurs

En fait, si l'énergie est dissipée sur un temps assez important, le câble a le temps de se refroidir par dissipation thermique. La valeur de la contrainte thermique est alors supérieure à la valeur donnée précédemment.



10.3 Les caractéristiques des câbles électriques

L'assemblage

C'est le cas des câbles à plusieurs conducteurs. Les conducteurs sont groupés de façon géométrique. Quand le câble a plus de 5 conducteurs, on assemble les conducteurs en plusieurs couches. Une couche comporte toujours 6 conducteurs de plus que la couche précédente si les conducteurs ont le même diamètre.

Le bourrage

Le bourrage a pour but de remplir les interstices entre les conducteurs afin de donner au câble une forme cylindrique.

Le câble

C'est un ensemble comportant plusieurs conducteurs électriquement distincts et mécaniquement solidaires.

Les canalisations classiques

Types de canalisations		Attribution des couleurs		
Nombre de conducteurs	Polarités	Conducteur vert et jaune	Conducteur bleu clair	Autres conducteurs
2	Ph, N	sans	N	Ph
2	Ph, Ph	sans	Ph	Ph
3	Ph, N, PE	PE	N	Ph
3	Ph, Ph, Ph	sans	Ph	Ph, Ph
3	Ph, Ph, PE	PE	Ph	Ph
4	Ph, Ph, Ph, N	sans	N	Ph, Ph, Ph
4	Ph, Ph, Ph, PE	PE	Ph	Ph, Ph
5	Ph, Ph, Ph, N, PE	PE	N	Ph, Ph, Ph

10.3 Les caractéristiques des câbles électriques

La protection du ou des conducteurs

Le degré de protection requis pour un câble dépend de l'environnement dans lequel il sera posé et donc de son utilisation courante.

La gaine

C'est la protection la plus simple. Elle est extrudée (PVC, Polychloroprène, Hypalon). Elle peut également faire bourrage.

Les armures

C'est la protection contre les chocs. Les câbles B.T. 1000 V qui possèdent une armure peuvent être enterrés sans autre protection. Les armures sont toujours métalliques ; elles peuvent être réalisées de différentes façons :

- les armures en feillard d'acier ;
- les armures en feillard d'aluminium ;
- les armures en fils d'acier galvanisé ;
- les tresses en fils d'acier galvanisé sont réservées aux câbles souples ou aux petits câbles.

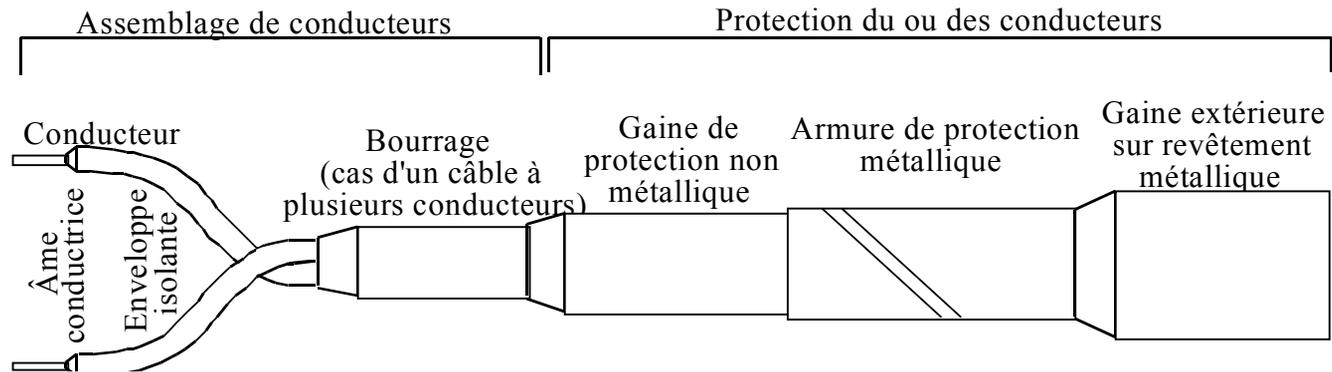
Les écrans et blindages

Les écrans ou blindages ne sont pas destinés à la protection mécanique mais à la protection électrique.

Il doivent :

- faire barrière aux champs électrostatiques extérieurs au câble ;
- répartir le champ électrique à l'intérieur du câble (câble M.T. ou H.T. à champ radial) ;
- évacuer les courants capacitifs, ainsi que le courant de court-circuit homopolaire en cas de défaut.

10.3 La structure des câbles électriques



10.3 La fabrication des câbles électriques

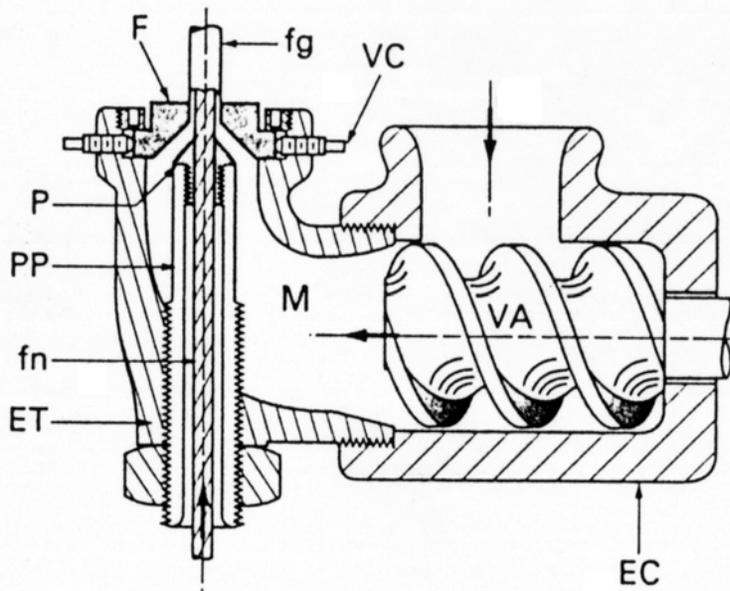
La fabrication

La fabrication d'un câble complexe comporte de nombreuses opérations. La fabrication d'un conducteur (âme et enveloppe isolante) nécessite deux opérations principales :

- **l'extrusion**, qui va disposer la matière isolante autour de l'âme conductrice ;
- **la réticulation**, qui va faire polymériser et durcir la matière isolante.

L'extrusion

A la sortie de l'extrudeuse, le conducteur à isoler est tiré par un cabestan, et est refroidi progressivement en traversant en général des bacs à eau à température décroissante.



EC	corps d'extrudeuse
ET	tête d'extrudeuse
F	filière
fn	fil nu
fg	fil gainé
M	mélange à extruder
P	poinçon
PP	porte-poinçon
VA	vis d'alimentation
VC	vis de centrage

10.3 La fabrication des câbles électriques

La réticulation

La réticulation consiste, après extrusion, à ponter les chaînes de molécules par des liaisons radiales. Le cas le plus courant est celui du polyéthylène. L'amélioration porte notamment sur :

- la température maximale admissible par le matériau ;
- la tenue mécanique ;
- la résistance aux intempéries, car le polymère obtenu se prête mieux à l'incorporation d'éléments protecteurs.

Plusieurs méthodes sont utilisées :

- réticulation par peroxyde sous vapeur d'eau, le câble tiré dans un tube est amené à une température de 200°C à 220°C sous une pression de vapeur d'eau de 16 à 23 bar, puis est progressivement refroidi à la même pression. L'inconvénient de ce procédé est d'introduire de l'eau dans l'isolant, ce qui a pour effet de réduire la tension d'utilisation ;
- réticulation par peroxyde sous fluide inerte, le câble tiré dans un tube est amené à une température de 280°C sous une pression de 10 à 12 bar, puis est progressivement refroidi à la même pression. L'absence d'eau permet à l'isolant de supporter des champs électriques beaucoup plus élevés ;
- réticulation par des silanes, le procédé consiste à ajouter un additif catalyseur et antioxydant au polyéthylène, et à procéder normalement à l'extrusion. Le câble obtenu est mis sur tourets puis maintenu dans un bain à 90°C pendant une durée de 1 à 4 h où a lieu la polymérisation ;
- réticulation par irradiation, ce procédé consiste, par bombardement d'électrons ou de rayon γ , à produire des radicaux libres permettant le pontage des chaînes de molécules.

10.3 La dénomination des conducteurs et des câbles électriques

UTE

Code de normalisation	U (UTE)
Tension de service	250 : 250 V 500 : 500 V 1000 : 1000 V
Âme conductrice	Pas de code : (cuivre rigide) A : aluminium S : souple
Isolant	X : caoutchouc vulcanisé X : néoprène (PCP) R : polyéthylène réticulé (PR) V : (PVC) P : plomb 2 : gaine interne épaisse
Bourrage	G : matière plastique ou élastique formant bourrage O : aucun bourrage I : gaine d'assemblage formant bourrage
Gaine interne	X : caoutchouc vulcanisé X : néoprène (PCP) R : polyéthylène réticulé (PR) V : (PVC) P : plomb 2 : gaine interne épaisse
Armature métallique	F : feuillard
Gaine externe	X : caoutchouc vulcanisé X : néoprène (PCP) R : polyéthylène réticulé (PR) V : (PVC) P : plomb 2 : gaine interne épaisse

CENELEC

Code de normalisation	H : harmonisé A : dérivé d'un type harmonisé FNR : national mais avec une désignation internationale
Tension de service	03 : 300 V 05 : 500 V 07 : 750 V 1 : 1000 V
Mélange isolant	B : caoutchouc d'éthylène propylène (EPR) R : caoutchouc naturel (rubber) V : polychlorure de vinyle (PVC) X : polyéthylène réticulé (PR) N : polychloroprène Néoprène (PCP)
Mélange gaine	B : caoutchouc d'éthylène propylène (EPR) R : caoutchouc naturel (rubber) V : polychlorure de vinyle (PVC) X : polyéthylène réticulé (PR) N : polychloroprène Néoprène (PCP)
Construction spéciale	U : rigide massive R : rigide câblée F : souple classe 5 K : souple classique H : extra souple classe 6 H : méplat divisible H2 : méplat non divisible
Nature de l'âme	Pas de code : cuivre A : aluminium
Symbole de l'âme	U : rigide massive R : rigide câblée F : souple classe 5 K : souple classique H : extra souple classe 6 H : méplat divisible H2 : méplat non divisible
Composition du câble	: nb de conducteurs X : absence de conducteur V/J G : présence de conducteur V/J : section des conducteurs

10.3 La dénomination des conducteurs et des câbles électriques

Le comportement au feu

CR 1	C 1	C 2	C 3	S H
Résistant au feu	Non propagateur de l'incendie	Retardant la propagation de la flamme	Pas de caractéristiques du point de vue du comportement au feu	Sans halogène (fumées toxiques)

Fil de câblage à très basse tension

Désignation	Tension assignée	Souplesse	Revêtements	Particularités	Sections (mm ²)
U 50 (VV)	50 V	Rigide	Gaine thermoplastique	C2 retardant la propagation de la flamme	0,12 - 0,75

Les conducteurs à isolant minéral

Désignation	Tension assignée	Souplesse	Revêtements	Particularités	Sections (mm ²)
U 500 X	300/500 V	Rigide	-	CR1 résistant au feu	1,5 - 4
U 1000 X	600/1000 V	Rigide	-	CR1 résistant au feu	1,5 - 150
U 500 XV	300/500 V	Rigide	Gaine thermoplastique	CR1 résistant au feu	1,5 - 4
U 1000 XV	600/1000 V	Rigide	Gaine thermoplastique	CR1 résistant au feu	1,5 - 150

10.3 La dénomination des conducteurs et des câbles électriques

Les conducteurs isolés

Désignation	Tension assignée	Souplesse	Revêtements	Particularités	Sections (mm ²)
H 07 V-U, R	450/750 V	Rigide	-	C2	1,5 - 400
H 07 V-K	450/750 V	Souple	-	C2	1,5 - 240
FR-N 07 V-AU	450/750 V	Rigide	-	C2 - Alu	10 - 16
FR-N 07 V-AR	450/750 V	Rigide	-	C2 - Alu	10 - 400
H 05 V-U	300/500 V	Rigide	-	C2	0,5 - 1
H 05 V-K	300/500 V	Souple	-	C2	0,5 - 1
FR-N 05 G2-U, R	300/500 V	Rigide	-	C1 - Sans Halogène	0,5 - 1
FR-N 05 G2-K	300/500 V	Souple	-	C1 - Sans Halogène	0,5 - 1
H 05 SJ-K	300/500 V	Souple	-	C2 - TV (Tresse)	0,5 - 16
FR-N 07 X3-U, R	450/750 V	Rigide	-	C1 - Sans Halogène	1,5 - 50
FR-N 07 X3-K	450/750 V	Souple	-	C1 - Sans Halogène	1,5 - 50
H 07 G-U, R	450/750 V	Rigide	-	C3	0,5 - 95
H 07 G-K	450/750 V	Souple	-	C3	0,5 - 95

10.3 La dénomination des conducteurs et des câbles électriques

Les câbles isolés aux élastomères (famille PR)

Désignation	Tension assignée	Souplesse	Revêtements	Particularités	Sections (mm ²)
U 1000 R12N	600/1000 V	Rigide	R	C2 - Classe II	1,5 - 630
U 1000 R2V	600/1000 V	Rigide	T	C2 - Classe II	1,5 - 630
U 1000 RVFV	600/1000 V	Rigide	T A T	C2	1,5 - 300
U 1000 RGPV	600/1000 V	Rigide	P A T	C2	1,5 - 240
H 07 RN-F	450/750 V	Souple	R	C2 - Classe II	1,5 - 500
FR-N 07 RN-F	450/750 V	Souple	R	C2 - Classe I	1,5 - 4
A 07 RN-F	450/750 V	Souple	R	C2 - Classe II	1,5 - 300
FR-N 1 X1X2	600/1000 V	Rigide	R	C1 - Classe II - Sans Halogène	1,5 - 630
FR-N 1 X1G1	600/1000 V	Rigide	T	C1 - Classe II - Sans Halogène	1,5 - 630
FR-N 1 X1X2Z4X2	600/1000 V	Rigide	R A R	C1 - Sans Halogène	1,5 - 300
FR-N 1 X1G1Z4G1	600/1000 V	Rigide	T A T	C1 - Sans Halogène	1,5 - 300
FR-N 07 X4X5-F	450/750 V	Souple	R	C1 - Classe II - Sans Halogène	1,5 - 500
0,6/1 Torsades	600/1000 V	Rigide	R	C3 - Alu	16 - 150
FR-N 1 XDV-AR, AS, AU	600/1000 V	Rigide	A T	C2 - Alu	16 - 240
H 05 RN-F	300/500 V	Souple	R	C2 - Classe II	0,75 - 1
A 05 RN-F	300/500 V	Souple	R	C2 - Classe II	0,5 - 1
H 05 RR-F	300/500 V	Souple	R	C3 - Classe II	0,75 - 6
A 05 RR-F	300/500 V	Souple	R	C3 - Classe II	0,75 - 6

10.3 La dénomination des conducteurs et des câbles électriques

Les câbles isolés au polychlorure de vinyle (famille PVC)

Désignation	Tension assignée	Souplesse	Revêtements	Particularités	Sections (mm ²)
FR-N 05 W-U, R	300/500 V	Rigide	T	C2 - Classe II	1,5 - 35
FR-N 05 W-AR	300/500 V	Rigide	T	C2 - Classe II - Alu	10 - 35
FR-N 05 VL2V-U, R	300/500 V	Rigide	PT	C2	1,5 - 25
FR-N 05 VL2V-AR	300/500 V	Rigide	T	C2 - Classe II - Alu	10 - 35
H 07 VVH2-F	450/750 V	Souple	T	C2 - Classe II - Méplat	1,5 - 16
H 07 VVD3H2-F	450/750 V	Souple	T	C2 - Méplat - Porteur	1,5 - 16
H 05 VV-F	300/500 V	Souple	T	C2 - Classe II	0,75 - 4
H 05 VVH2-F	300/500 V	Souple	T	C2 - Classe II - méplat	0,75
FR-N 05 SJ-K	300/500 V	Souple	T	C2 - TV (Tresse)	0,5 - 16
FR-N 05 VV5-F, R	300/500 V	Souple	T	C2	0,5 - 35
FR-N 05 VVC4V5-F	300/500 V	Souple	T-E	C2 - Classe II	0,5 - 2,5
A 05 VV-F	300/500 V	Souple	T	C2 - Classe II	0,75 - 4
A 05 VVH2-F	300/500 V	Souple	T	C2 - Classe II - Méplat	1

Fin
du chapitre 10