

La section des câbles électriques

Perte par effet Joule

Problème

Les câbles électriques sont généralement en cuivre, un métal considéré comme un excellent conducteur. Ce constat est a priori vrai sur les courtes distances, mais dès que la longueur devient importante, la perte par effet Joule (échauffement) n'est pas négligeable surtout pour de fortes intensités.

Un peu de physique :

Une des caractéristiques électriques d'un métal est sa résistivité exprimée en ohm-mètre ($\Omega.m$).

Les meilleurs conducteurs électriques sont l'argent, le cuivre, l'or et l'aluminium, par contre l'air est un bon isolant, sa résistivité est d'environ $3.10^9 \Omega.m$.

La résistance R d'un conducteur (aptitude à s'opposer à la conduction) est donnée par la formule $R = \rho L / s$ où ρ représente la résistivité, L la longueur et s la section.

Donc, lorsque la longueur augmente, la résistance augmente et pour une intensité I donnée, la perte par échauffement ($P = R I^2$) augmente et si la chaleur dégagée est trop importante, le fil peut fondre.

Solution

La solution est d'augmenter la section s .

ATTENTION : Les pertes par effet Joule proviennent d'une résistance trop grande d'un conducteur qui peut être due à une longueur trop importante (cas décrit ci-dessus) mais aussi à un mauvais contact au niveau d'une borne de raccordement. Autrefois les épissures étaient responsables de nombreux incendies.

L'échauffement peut être minimisé en diminuant l'intensité du courant par l'augmentation de la tension de service, c'est une des raisons qui ont poussé au passage de 110 V à 220 V.

En très basse tension, les fortes puissances consommées se traduisent par des courants très importants d'où la nécessité d'avoir des sections importantes comme dans le domaine automobile ou le modélisme ferroviaire.

À l'inverse, la soudure à l'arc exploite ce phénomène d'échauffement local (modèle professionnel : 48 volts à vide, plage de réglage 60 à 250 ampères).



Normes domestiques

Pour éviter le problème d'échauffement des conducteurs et de surcharge, des normes de sécurité ont été mises en place.

Extrait de la norme **NF C15-100** sur la section des conducteurs, calibres des protections.

section * (mm ²)		protection	
		disjoncteur	fusible
1,5	prise de courant 16 A ⁽¹⁾	16 A	interdit
	prise commandée ⁽²⁾	16 A	10 A
	VMC	2 A	interdit
	éclairage ⁽³⁾	16 A	10 A
	convecteur 2250 W ⁽⁷⁾	10 A	10 A
2,5	prise de courant 16 A ⁽⁴⁾	20 A	16 A
	prise ou circuit spécialisé ⁽⁵⁾	20 A	16 A
	plaque de cuisson (triphase) ⁽⁶⁾	20 A	16 A
	four ⁽⁶⁾	20 A	16 A
	chauffe-eau ⁽⁶⁾	20 A	16 A
	convecteur 4500 W ⁽⁷⁾	20 A	16 A
4	convecteur 5750 W ⁽⁷⁾	25 A	20 A
6	plaque de cuisson (monophasé) ⁽⁶⁾	32 A	32 A
	convecteur 7250 W ⁽⁷⁾	32 A	25 A

(*) Il s'agit ici de conducteur rigide et non souple multibrin.

- 1 - circuit composé au maximum de 5 socles
- 2 - un interrupteur de commande pour 2 prises maxi situées dans la même pièce
- 3 - 8 points d'éclairage maxi par circuit
- 4 - circuit composé au maximum de 8 socles
- 5 - 1 circuit par gros appareil
- 6 - boîte de connexion ou socle de prise de courant
- 7 - nombre d'appareils limité par la somme des puissances

Une règle ancienne préconisait de ne pas dépasser 10 ampères par millimètre carré de section.

Longueur admissible d'un conducteur

Le tableau suivant est valable pour un courant monophasé sous 220 V en prenant un coefficient $\cos \alpha = 1$ (kW = kVA, appareils résistifs) pour une ligne en cuivre en s'autorisant une chute de tension de 3% maximum.

P signifie puissance consommée en kilowatt (kW) et **I**, intensité du courant correspondant en ampères (A).

Les distances admissibles sont en mètres.

Ces informations proviennent d'une documentation de la société **Câblerie Daumesnil**.

P (kW)	I (A)	section (mm ²)												
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
0,5	2,3	100	165	265	395									
1	4,6	60	84	135	200	335	530							
1,5	6,8	33	57	90	130	225	355	565						
2	9,1	25	43	68	100	170	285	430	595					
2,5	11,4	20	34	54	80	135	210	340	470	630				
3	13,6	17	29	45	66	110	180	285	395	520				
3,5	16	14	24	39	56	95	155	245	335	450				
4	18		21	34	49	84	135	210	295	395	580			
4,5	20		19	30	44	75	120	190	260	350	515			
5	23			27	39	68	105	170	235	315	460	630		
6	27			23	32	56	90	140	195	260	385	530		
7	32				28	48	76	120	170	225	330	460	570	
8	36					42	67	105	145	195	290	400	500	620
9	41					38	60	94	130	175	255	355	440	550
10	45					34	54	84	120	155	230	320	400	495
12	55						45	70	93	130	190	265	330	410
14	64						32	60	84	110	165	230	285	350
16	73							53	74	99	145	200	250	305
18	82							47	65	88	125	175	220	270
20	91								59	79	115	160	200	245
25	114									64	95	130	160	195
30	136										77	105	135	165
35	159											90	115	140
40	182											80	100	125
45	205												89	110
50	227													98

Comment utiliser ce tableau par l'exemple

Question : Vous avez souscrit auprès d'EDF un contrat de 12 kW et votre compteur a été placé en bordure de votre terrain alors que votre pavillon est situé 60 m plus loin. Vous devez donc tirer une ligne, mais de quelle section ?

Réponse : Une section de 25 mm² autorise pour 12 kW une longueur de 70 m, donc **25 mm²**

Question : Est-ce judicieux ?

Réponse : Non

Question : Pourquoi ?

Réponse : Si vous envisagez ultérieurement d'augmenter le calibre de votre compteur à 18 kW, la longueur ne doit alors pas dépasser 47 m pour une section de 25 mm² ; une section de 35 mm², vous aurait permis d'atteindre vos 60 m sans échauffement.

La bonne réponse est 35 mm².

Désignation des câbles

Pays métriques

Les pays utilisant le système métrique désignent les câbles électriques par leur section exprimée en millimètres carrés (mm²). La norme IEC 60228 définit les tailles standards des conducteurs dans les câbles électriques.

États-Unis

Les américains utilisent le système **AWG**, signifiant **American Wire Gauge** (gabarit, calibre de fils).

Ce système, appelé aussi parfois *Brown and Sharpe Wire Gauge* du nom de ses inventeurs, a été adopté en 1857. Il est aujourd'hui défini au sein de la norme ASTM B 258-02.

Un câble xxx AWG signifie que xxx est une valeur liée à l'inverse du diamètre. Plus la valeur est grande, plus le diamètre du fil est petit.

Explication :

Brown disposait de 2 fils de diamètres différents, l'un de 0,005 inch (5 mils ou 0,127 mm) et l'autre de 0,46 inch (11,7 mm), pour créer une gamme de 40 valeurs soit 39 intervalles. Il nomme 0000 AWG, le fil de 0,46" et 36 AWG, le fil de 0,005" ; les valeurs intermédiaires sont nommées 000, 00, 0, 1, 2 ... 35 AWG. (0000 AWG peut aussi s'écrire 4/0 AWG).

Il créa une progression géométrique de pas **n** telle que :

$$AWG - 1 = AWG \times n \text{ avec } n = \sqrt[39]{\frac{0,46}{0,005}} = 1,1229322$$

Dans le tableau ci-dessous, sont récapitulées les diamètres **d** des câbles en millimètres en fonction de l'AWG et les sections correspondantes **S** selon la formule $S = \pi d^2/4$ avec $\pi = 3,14159$

AWG	diamètre		section	AWG	diamètre		section
	inch	mm	mm ²		inch	mm	mm ²
0000	0,4600	11,684	107	19	0,0359	0,912	0,653
000	0,4096	10,405	85,0	20	0,0320	0,812	0,518
00	0,3648	9,266	67,4	21	0,0285	0,723	0,411
0	0,3249	8,251	53,5	22	0,0254	0,644	0,326
1	0,2893	7,348	42,4	23	0,0226	0,573	0,258
2	0,2576	6,544	33,6	24	0,0201	0,511	0,205
3	0,2294	5,827	26,7	25	0,0179	0,455	0,162
4	0,2043	5,189	21,1	26	0,0159	0,405	0,129
5	0,1819	4,621	16,8	27	0,0142	0,361	0,102
6	0,1620	4,115	13,3	28	0,0126	0,321	0,0810
7	0,1443	3,665	10,5	29	0,0113	0,286	0,0642
8	0,1285	3,264	8,37	30	0,0100	0,255	0,0510
9	0,1144	2,906	6,63	31	0,0089	0,227	0,0404
10	0,1019	2,588	5,26	32	0,0080	0,202	0,0320
11	0,0907	2,305	4,17	33	0,0071	0,18	0,0254
12	0,0808	2,053	3,31	34	0,0063	0,16	0,0201
13	0,0720	1,828	2,62	35	0,0056	0,143	0,0160
14	0,0641	1,628	2,08	36	0,0050	0,127	0,0127
15	0,0571	1,45	1,65	37	0,0045	0,113	0,0100
16	0,0508	1,291	1,31	38	0,0040	0,101	0,00797
17	0,0453	1,15	1,04	39	0,0035	0,0897	0,00632
18	0,0403	1,024	0,823	40	0,0031	0,0799	0,00501

Il existe des valeurs inférieures à 4/0 et supérieures à 40.

Conversion :

Le passage du système AWG à la valeur métrique est défini par la formule ci-dessous où **d** et AWG sont les diamètres correspondants.

Pour les fortes sections, prendre AWG = 3 pour 4/0 AWG, AWG = 2 pour 3/0 AWG, AWG = 1 pour 2/0 AWG et AWG = 0 pour 1/0 AWG.

$$d_{mm} = \frac{11,684}{1,122932^{AWG+3}}$$

Remarques :

1 - Le passage de la valeur AWG n à (n+6) entraîne une division du diamètre par 2.

$$d_{n\text{AWG}} = 2 d_{(n+6)\text{AWG}}$$

ex : $d_{15\text{AWG}} = 1,45\text{ mm}$
 $d_{21\text{AWG}} = 0,723\text{ mm}$

2 - Le passage de la valeur AWG n à (n+3) entraîne une division de la section par 2.

$$S_{n\text{AWG}} = 2 S_{(n+3)\text{AWG}}$$

ex : $S_{14\text{AWG}} = 2,08\text{ mm}^2$
 $S_{21\text{AWG}} = 1,04\text{ mm}^2$

Il existe des similitudes avec l'échelle d'affaiblissement ou d'amplification de signaux en décibels ; 3 dB correspondant à un doublement du niveau de signal.

exemple d'utilisation :



Les câbles ethernet catégorie 5e utilisent des fils monobrins de 24 AWG ou multibrins 26 AWG alors que la catégorie 6 utilise du monobrin SFTP (double blindage) 23 AWG ou UTP (non blindé) 24 AWG.

*Les britanniques possédaient également un système de mesure pour désigner les tailles des fils appelé SWG ou **Standard Wire Gauge** défini de manière identique mais sur 57 valeurs comprises entre 0,5" et 0,001"*

Autre système :

Les américains utilisent également une **Metric Gauge** désignant les fils électriques par leur diamètre en dixièmes de millimètres.

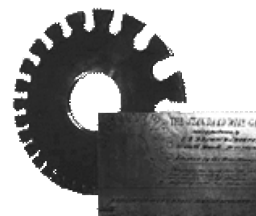
	mm	mm ²
5	0,5	0,2
6	0,6	0,28
8	0,8	0,5
10	1,0	0,8
...

Un peu d'histoire

En 1833, les horlogers David Brown et son fils Joseph R. Brown fondent un atelier de confection d'instruments scientifiques à Pawtucket près de Providence (Rhode Island).

En 1853, l'apprenti, Lucian Sharpe devient associé, mais pour réaliser les ressorts d'horloge, il leur manque un système de mesure pour les fils métalliques. Les seuls outils à leur disposition sont réalisés par des constructeurs anglais et manquent de qualité comme de précision.

En 1856, Sharpe propose une standardisation dans la production des fils ; leurs tailles suivraient une progression géométrique régulière. Il réalise des gabarits faits de disques en acier munis d'encoches correspondant aux différentes tailles de fil et lors d'un congrès de fabricants de laiton du Connecticut à Naugatuck Valley, Sharpe présente ses gabarits dont le coût est faible, ce fut un grand succès. L'Association Brass Waterbury adopte ce système ainsi que huit des plus grands fabricants américains en février 1857.



- gabarit de Sharpe et son certificat -

Il existe des gabarits pour câbles monobrins et pour multibrins car la section totale d'un conducteur multibrin est plus grande que celle d'un monobrin à résistance mécanique égale du fait de la présence des interstices entre les brins.

Le gabarit Brown & Sharpe sera adopté comme *American Wire Gauge* et deviendra une norme au 20^e siècle.

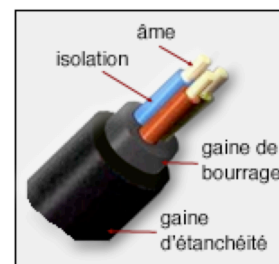
Contexte historique : En 1854, le français Charles Bourseul (1829-1912) suggéra de transmettre la parole électriquement, il avait décrit le principe qui ne sera réalisé qu'en 1876 par A. G. Bell. Dans les années qui suivirent, la fabrication de câbles télégraphiques s'intensifia jusqu'à la réalisation des câbles destinés aux liaisons transatlantiques.

Brown & Sharpe est aujourd'hui une division de *Hexagon Metrology, Inc*, une société multinationale axée sur les outils de métrologie et de la technologie. Depuis deux siècles, *Brown & Sharpe* est un acteur influent dans l'industrie de la machine-outil, son nom est synonyme de certaines normes industrielles. Elle a introduit la "métrologie" dans l'industrie. On lui doit entre autres le pied à coulisse moderne avec lecture au millième de pouce (1851), un système de fabrication de pignons (1872)...

Nomenclature des câbles électriques

Le Comité Européen de Normalisation de l'Électrotechnique (CENELEC) a établi une nomenclature pour la normalisation des câbles sous la forme **naXXb-c**

- **n** : nombre de conducteurs
- **XX** indique la tension nominale maximale en volts entre phase et terre, et entre phases
 - 00** : 100/100
 - 01** : 100/100 et 300/300
 - 03** : 300/300
 - 05** : 300/500
 - 07** : 450/750
 - 1** : 600/1000
- **b** : nature de l'isolant
 - R** : caoutchouc
 - V** : PVC
 - S** : caoutchouc silicone
 - X** : polyéthylène réticulé (PR)
- **c** : nature de l'âme
 - U** : rigide en cuivre
 - K** : souple en cuivre
 - R** : multibrin rigide en cuivre



	H07V-R 1G25-V/J : fil de terre multibrin rigide isolant PVC vert/jaune section 25 mm ² 450/750 V
	3H07V-R 6 : câble de 3 conducteurs cuivre multibrins rigides isolant PVC section 6 mm ² 450/750 V