

Détermination des sections de câbles

Les tableaux ci-contre permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit.

Ils ne sont utilisables que pour des canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur.

Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut :

- déterminer une lettre de sélection qui
- dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose
- déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

Ce coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction, K1, K2, K3, Kn et Ks :

- le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose
- le facteur de correction K2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côté
- le facteur de correction K3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant
- le facteur de correction du neutre chargé Kn
- le facteur de correction dit de symétrie Ks.

Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multic conducteurs	• sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré	B
	• sous vide de construction, faux plafond	
câbles multic conducteurs	• sous caniveau, moulures, plinthes, chambres	C
	• en apparent contre mur ou plafond	
câbles mono conducteurs	• sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé	E
	• fixés en apparent, espacés de la paroi	
câbles mono conducteurs	• câbles suspendus	F
	• sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé	
câbles mono conducteurs	• fixés en apparent, espacés de la paroi	
	• câbles suspendus	

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 multic conducteurs	0,90
	• vides de construction et caniveaux	0,95
C	• pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	• autres cas	1

Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multic conducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C, F	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	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
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			
	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			

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :

- 0,80 pour deux couches
- 0,73 pour trois couches
- 0,70 pour quatre ou cinq couches.

Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
	élastomère (caoutchouc)		
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,94	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

Facteur de correction Kn (conducteur Neutre chargé) (selon la norme NF C 15-100 § 523.5.2)

- Kn = 0,84
- Kn = 1,45

► Détermination de la section d'un conducteur Neutre chargé ► page A47.

Facteur de correction dit de symétrie Ks

(selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle)

- Ks = 1 pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie
- Ks = 0,8 pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non respect de la symétrie.

Exemple d'un circuit à calculer selon la méthode NF C 15-100 § 523.7

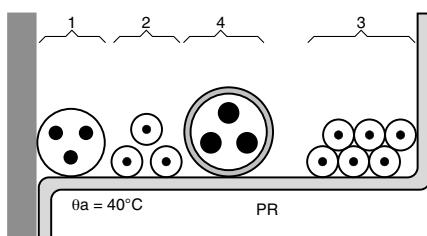
Un câble polyéthylène réticulé (PR) triphasé + neutre (4^e circuit à calculer) est tiré sur un chemin de câbles perforé, jointivement avec 3 autres circuits constitués :

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

Il y aura donc 5 regroupements triphasés.

La température ambiante est de 40 °C et le câble véhicule 58 ampères par phase.

On considère que le neutre du circuit 4 est chargé.



La lettre de sélection donnée par le tableau correspondant est E.

Les facteurs de correction K1, K2, K3 donnés par les tableaux correspondants sont respectivement :

- K1 = 1
- K2 = 0,75
- K3 = 0,91.

Le facteur de correction neutre chargé est :

- Kn = 0,84.
- Le coefficient total K = K1 x K2 x K3 x Kn est donc $1 \times 0,75 \times 0,91 \times 0,84$ soit :
- K = 0,57.

Détermination de la section

On choisira une valeur normalisée de In juste supérieure à 58 A, soit In = 63 A.

Le courant admissible dans la canalisation est Iz = 63 A. L'intensité fictive Iz prenant en compte le coefficient K est Iz = $63/0,57 = 110,5$ A.

En se plaçant sur la ligne correspondant à la lettre de sélection E, dans la colonne PR3, on choisit la valeur immédiatement supérieure à 110,5 A, soit, ici :

- pour une section cuivre 127 A, ce qui correspond à une section de 25 mm²,
- pour une section aluminium 120 A, ce qui correspond à une section de 35 mm².

Détermination de la section d'un conducteur neutre chargé

Les courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3 circulant dans les conducteurs de phases d'un circuit triphasé s'additionnent dans le conducteur neutre et le surchargent.

Pour les circuits concernés par la présence de ces harmoniques, pour les sections de phase > 16 mm² en cuivre ou 25 mm² en aluminium, il faut déterminer la section des conducteurs de la manière suivante, en fonction du taux d'harmoniques en courant de rang 3 et multiples de 3 dans les conducteurs de phases :

- taux (ih3) < 15% :

Le conducteur neutre n'est pas considéré comme chargé. La section du conducteur neutre (Sn) égale à celle nécessaire pour les conducteurs de phases (Sph). Aucun coefficient lié aux harmoniques n'est appliqué : Sn = Sph

- taux (ih3) compris entre 15% et 33% :

Le conducteur neutre est considéré comme chargé, sans devoir être surdimensionné par rapport aux phases.

Détermination de la section minimale

Connaissant Iz et K (Iz est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : Iz = I_z/K), le tableau ci-après indique la section à retenir.

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
	caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR						
	B	PVC3	PVC2	PR3	PR3	PR2	PR2	PR2	PR2	PR2
section cuivre (mm ²)	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 ²)	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	

Prévoir une section du conducteur neutre (Sn) égale à celle nécessaire pour les conducteurs de phases (Sph). Mais un facteur de réduction de courant admissible de 0,84 doit être pris en compte pour l'ensemble des conducteurs :

$Sn = Sph = Spho \times 1/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section Spho calculée).

- taux (ih3) > 33% :

Le conducteur est considéré comme chargé et doit être surdimensionné pour un courant d'emploi égal à 1,45/0,84 fois le courant d'emploi dans la phase, soit environ 1,73 fois le courant calculé.

Selon le type de câble utilisé :

- câbles multipolaires : la section du conducteur neutre (Sn) est égale à celle nécessaire pour la section des conducteurs de phases (Sph) et un facteur de correction de 1,45/0,84 doit être pris en compte pour l'ensemble des conducteurs.

$Sn = Sph = Spho \times 1,45/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section Spho calculée).

- câbles unipolaires : le conducteur neutre doit avoir une section supérieure à celle des conducteurs de phases.

La section du conducteur neutre (Sn) doit avoir un facteur de dimensionnement de 1,45/0,84 et. Pour les conducteurs de phases (Sph) un facteur de réduction de courant admissible de 0,84 doit être pris en compte :

$Sn = Spho \times 1,45/0,84$

$Sph = Spho \times 1/0,84$

- Lorsque le taux (ih3) n'est pas défini par l'utilisateur, on se placera dans les conditions de calcul correspondant à un taux compris entre 15% et 33%.

$Sn = Sph = Spho \times 1/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section Spho calculée).

Détermination des sections de câbles

Les tableaux ci-contre permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit pour des canalisations enterrées et protégées par disjoncteur.

Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut, pour la lettre de sélection D qui correspond aux câbles enterrés : déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

Ce coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction, K4, K5, K6, K7, Kn et Ks :

- le facteur de correction K4 prend en compte le mode de pose
- le facteur de correction K5 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte
- le facteur de correction K6 prend en compte l'influence de la nature du sol
- le facteur de correction K7 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant
- le facteur de correction du neutre chargé Kn
- le facteur de correction dit de symétrie Ks.

Lettre de sélection D

La lettre de sélection D correspond à des câbles enterrés.

Facteur de correction K4

type de pose des câbles (1) enterrés	espace entre conduits ou circuits	nombre de conduits ou circuits					
		1	2	3	4	5	6
Appliquer d'abord un coefficient général de 0,80 puis tenir compte l'espace entre circuits et du nombre de conducteurs							
■ seul	1						
■ jointif		0,87	0,77	0,72	0,68	0,65	
■ 0,25 m		0,93	0,87	0,84	0,81	0,79	
■ 0,5 m		0,95	0,91	0,89	0,87	0,86	
■ 1,0 m		0,97	0,95	0,94	0,93	0,93	
posés directement dans le sol avec ou sans protection							
■ seul	1						
■ jointif		0,76	0,64	0,57	0,52	0,49	
■ un diamètre		0,79	0,67	0,61	0,56	0,53	
■ 0,25 m		0,84	0,74	0,69	0,65	0,60	
■ 0,5 m		0,88	0,79	0,75	0,71	0,69	
■ 1,0 m		0,92	0,85	0,82	0,80	0,78	

(1) Câbles mono ou multiconducteurs.

Facteur de correction K5

influence mutuelle des circuits dans un même conduit	disposition des câbles jointifs	nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	
enterrés	1	0,71	0,58	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25		

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, multiplier K5 par :

- 0,80 pour 2 couches
- 0,73 pour 3 couches
- 0,70 pour 4 ou 5 couches
- 0,68 pour 6 ou 8 couches
- 0,66 pour 9 couches et plus

Facteur de correction K6

influence de la nature du sol	nature du sol					
	■ terrain très humide	1,21	■ humide	1,13	■ normal	1,05
■ sec	1					
■ très sec	0,86					

Facteur de correction K7

température du sol (°C)	isolation polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) éthylène, propylène (EPR)	
		10	15
10	1,10	1,07	
15	1,05	1,04	
20	1,00	1,00	
25	0,95	0,96	
30	0,89	0,93	
35	0,84	0,89	
40	0,77	0,85	
45	0,71	0,80	
50	0,63	0,76	
55	0,55	0,71	
60	0,45	0,65	

Facteur de correction Kn (conducteur Neutre chargé) (selon la norme NF C15-100 § 523.5.2)

- Kn = 0,84
- Kn = 1,45

► Détermination de la section d'un conducteur Neutre chargé ► page A47.

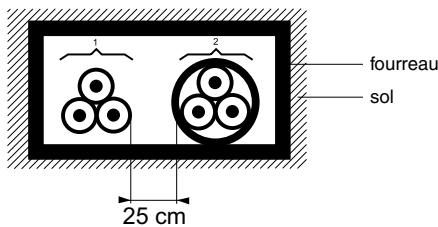
Facteur de correction dit de symétrie Ks

(selon la norme NF C15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle)

- Ks = 1 pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie
- Ks = 0,8 pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non respect de la symétrie.

Exemple d'un circuit à calculer selon la méthode NF C15-100 § 52 GK

Un câble polyéthylène réticulé (PR) triphasé + neutre (circuit 2, à calculer) est posé à 25 cm d'un autre circuit (circuit 1) dans des fourreaux enterrés, dans un sol humide dont la température est 25 °C. Le câble véhicule 58 ampères par phase. On considère que le neutre n'est pas chargé.



La lettre de sélection est D, s'agissant de câbles enterrés.

Les facteurs de correction K4, K5, K6, K7 donnés par les tableaux correspondants sont respectivement :

- $K4 = 0,80 \times 0,93 = 0,74$
- $K5 = 0,71$
- $K6 = 1,13$
- $K7 = 0,96$.

Le coefficient total $K = K4 \times K5 \times K6 \times K7$ est donc $0,74 \times 0,71 \times 1,13 \times 0,96$ soit :

- $K = 0,57$.

Détermination de la section

On choisira une valeur normalisée de I_n juste supérieure à 58 A, soit $I_n = 63$ A.

Le courant admissible dans la canalisation est $I_z = 63$ A. L'intensité fictive I_z prenant en compte le coefficient K est $I_z = 63/0,57 = 110,5$ A.

Dans le tableau de choix des sections on choisit la valeur immédiatement supérieure à 110,5 A, soit, ici :

- pour une section cuivre 113 A, ce qui correspond à une section de 16 mm²,
- pour une section aluminium 111 A, ce qui correspond à une section de 25 mm².

Nota : En cas de neutre chargé, prendre en compte le facteur de correction K_n et éventuellement le facteur de correction dit de symétrie K_s .

Détermination de la section minimale

Connaissant I_z et K (I_z est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : $I_z = I_n/K$), le tableau ci-après indique la section à retenir.

section cuivre (mm ²)	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)			
	caoutchouc ou PVC		butyle ou PR ou éthylène PR	
	3 conducteurs	2 conducteurs	3 conducteurs	2 conducteurs
1,5	26	32	31	37
2,5	34	42	41	48
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	208
50	174	211	206	247
70	216	261	254	304
95	256	308	301	360
120	290	351	343	410
150	328	397	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	598
300	480	581	565	677
section aluminium (mm ²)	10	57	68	80
	16	74	88	104
	25	94	114	133
	35	114	137	160
	50	134	161	188
	70	167	200	233
	95	197	237	275
	120	224	270	314
	150	254	304	359
185	285	343	337	398
240	328	396	388	458
300	371	447	440	520

Détermination de la section d'un conducteur neutre chargé

Les courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3 circulant dans les conducteurs de phases d'un circuit triphasé s'additionnent dans le conducteur neutre et le surchargent.

Pour les circuits concernés par la présence de ces harmoniques, pour les sections de phase > 16 mm² en cuivre ou 25 mm² en aluminium, il faut déterminer la section des conducteurs de la manière suivante, en fonction du taux d'harmoniques en courant de rang 3 et multiples de 3 dans les conducteurs de phases :

- taux (ih3) < 15% :

Le conducteur neutre n'est pas considéré comme chargé. La section du conducteur neutre (S_n) égale à celle nécessaire pour les conducteurs de phases (Sph). Aucun coefficient lié aux harmoniques n'est appliqué : $S_n = Sph$

- taux (ih3) compris entre 15% et 33% :

Le conducteur neutre est considéré comme chargé, sans devoir être surdimensionné par rapport aux phases.

Prévoir une section du conducteur neutre (S_n) égale à celle nécessaire pour les conducteurs de phases (Sph). Mais un facteur de réduction de courant admissible de 0,84 doit être pris en compte pour l'ensemble des conducteurs :

$S_n = Sph = Spho \times 1/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section Spho calculée).

- taux (ih3) > 33% :

Le conducteur est considéré comme chargé et doit être surdimensionné pour un courant d'emploi égal à 1,45/0,84 fois le courant d'emploi dans la phase, soit environ 1,73 fois le courant calculé.

Selon le type de câble utilisé :

- câbles multipolaires : la section du conducteur neutre (S_n) est égale à celle nécessaire pour la section des conducteurs de phases (Sph) et un facteur de correction de 1,45/0,84 doit être pris en compte pour l'ensemble des conducteurs.

$S_n = Sph = Spho \times 1,45/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section Spho calculée).

- câbles unipolaires : le conducteur neutre doit avoir une section supérieure à celle des conducteurs de phases.

La section du conducteur neutre (S_n) doit avoir un facteur de dimensionnement de 1,45/0,84 et. Pour les conducteurs de phases (Sph) un facteur de réduction de courant admissible de 0,84 doit être pris en compte :

$S_n = Spho \times 1,45/0,84$

$Sph = Spho \times 1/0,84$

- Lorsque le taux (ih3) n'est pas défini par l'utilisateur, on se placera dans les conditions de calcul correspondant à un taux compris entre 15% et 33%.

$S_n = Sph = Spho \times 1/0,84$ (facteur de dimensionnement pour l'ensemble des conducteurs, par rapport à la section Spho calculée).

Détermination des chutes de tension admissibles

L'impédance d'un câble est faible mais non nulle : lorsqu'il est traversé par le courant de service, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité.

Or le bon fonctionnement d'un récepteur (surtout un moteur) est conditionné par la valeur de la tension à ses bornes.

Il est donc nécessaire de limiter les chutes de tension en ligne par un dimensionnement correct des câbles d'alimentation.

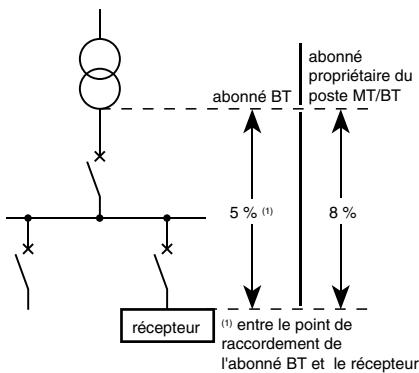
Ces pages vous aident à déterminer les chutes de tension en ligne, afin de vérifier :

- la conformité aux normes et règlements en vigueur
- la tension d'alimentation vue par le récepteur
- l'adaptation aux impératifs d'exploitation.

Les normes limitent les chutes de tension en ligne

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau ci-dessous.

D'autre part la norme NF C 15-100 § 559-6-1 limite la puissance totale des moteurs installés chez l'abonné BT tarif bleu. Pour des puissances supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, l'accord du distributeur d'énergie est nécessaire.



Chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation

	éclairage	autres usages (force motrice)
abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique	3%	5%
abonné propriétaire de son poste HT-A/BT	6%	8% (1)

(1) Entre le point de raccordement de l'abonné BT et le moteur.

Puissance maxi de moteurs installés chez un abonné BT (en kVA) ($I < 60$ A en triphasé ou 45 A en monophasé)

moteurs	triphasés (400 V)	monophasés (230 V)
locaux d'habitation	à démarrage direct pleine puissance	autres modes de démarrage
autres réseau aérien	5,5	11
locaux (1) réseau souterrain	11	22
	22	45
		5,5

(1) Les autres locaux comprennent des locaux tels que ceux du secteur tertiaire, du secteur industriel, des services généraux des bâtiments d'habitation, du secteur agricole, etc.

L'examen préalable par le distributeur d'énergie est nécessaire dans les cas de moteurs entraînant une machine à forte inertie, de moteurs à lent démarrage, de moteurs à freinage ou inverseur de marche par contre-courant.

Les moteurs sont donnés pour une tension nominale d'alimentation $U_n \pm 5\%$. En dehors de cette plage, les caractéristiques mécaniques se dégradent rapidement. Dans la pratique, plus un moteur est gros, plus il est sensible aux tensions :

- inférieures à U_n : échauffements anormaux par augmentation du temps de démarrage
- supérieures à U_n : augmentation des pertes Joule et des pertes fer (pour les moteurs très optimisés...).

Sur le plan thermique, plus un moteur est gros, plus il peut évacuer de calories, mais l'énergie à dissiper croît encore plus vite. Une baisse de tension d'alimentation, en diminuant fortement le couple de démarrage, fait augmenter le temps de démarrage et échauffe les enroulements.

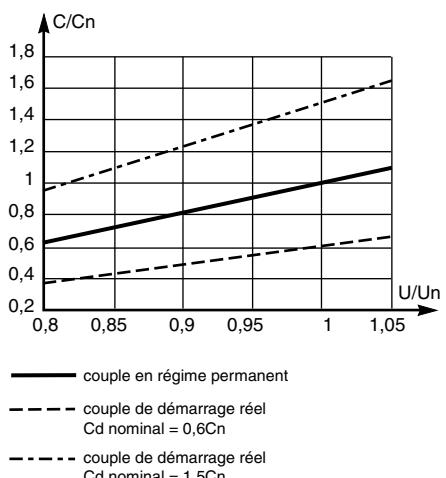
Exemple

Un moteur de puissance moyenne alimenté à 90 % de sa tension nominale fournit :

- en fonctionnement : 81% de son couple nominal au lieu de 100%
- au démarrage : 121% du couple nominal au lieu de 150%.

Influence de la tension d'alimentation d'un moteur en régime permanent

La courbe ci-après montre que les couples C et C_n varient en fonction du carré de la tension. Ce phénomène passe relativement inaperçu sur les machines centrifuges mais peut avoir de graves conséquences pour les moteurs entraînant des machines à couple hyperbolique ou à couple constant. Ces défauts de tension peuvent réduire notablement l'efficacité et la durée de vie du moteur ou de la machine entraînée.



Effets des variations de la tension d'alimentation en fonction de la machine entraînée

Le tableau ci-dessous résume les effets et les défaillances possibles dus aux défauts de tension d'alimentation.

variation de tension	machine entraînée		effets	défaillances possibles
$U > U_n$	couple parabolique (machines centrifuges)	ventilateur	échauffement inadmissible des enroulements dû aux pertes fer	vieillissement prématûre des enroulements perte d'isolation
		pompe	échauffement inadmissible des enroulements dû aux pertes fer pression supérieure dans la tuyauterie	vieillissement prématûre des enroulements pertes d'isolation fatigue supplémentaire de la tuyauterie
	couple constant	concasseur pétrin mécanique tapis roulant	échauffement inadmissible des enroulements puissance mécanique disponible supérieure	vieillissement prématûre des enroulements perte d'isolation fatigue mécanique supplémentaire de la machine
$U < U_n$	couple parabolique (machines centrifuges)	ventilation, pompe	temps de démarrage augmenté	risque de déclenchement des protections perte d'isolation
	couple constant	concasseur pétrin mécanique tapis roulant	échauffement inadmissible des enroulements blocage du rotor non-démarrage du moteur	vieillissement prématûre des enroulements perte d'isolation arrêt de la machine

Détermination des chutes de tension admissibles

Calcul de la chute de tension en ligne en régime permanent

La chute de tension en ligne en régime permanent est à prendre en compte pour l'utilisation du récepteur dans des conditions normales (limites fixées par les constructeurs des récepteurs).

Le tableau ci-contre donne les formules usuelles pour le calcul de la chute de tension.

Plus simplement, les tableaux ci-dessous donnent la chute de tension en % dans 100 m de câble, en 400 V/50 Hz triphasé, en fonction de la section du câble et du courant véhiculé (I_n du récepteur). Ces valeurs sont données pour un $\cos \varphi$ de 0,85 dans le cas d'un moteur et de 1 pour un récepteur non inductif. Ces tableaux peuvent être utilisés pour des longueurs de câble $L \neq 100$ m : il suffit d'appliquer au résultat le coefficient $L/100$.

Chute de tension dans 100 m de câble en 400 V/50 Hz triphasé (%)

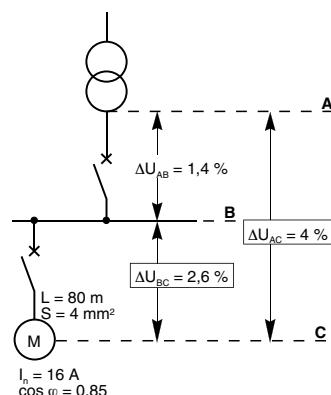
cos = 0,85

$$\cos = 1$$

Pour un réseau triphasé 230 V, multiplier ces valeurs par $\sqrt{3} = 1,73$.

Pour un réseau triphasé 230 V, multiplier ces valeurs par $\sqrt{3}$ = 1,73.

Exemple d'utilisation des tableaux



Un moteur triphasé 400 V, de puissance 7,5 kW ($I_n = 15 \text{ A}$) $\cos \varphi = 0,85$ est alimenté par 80 m de câble cuivre triphasé de section 4 mm^2 .

La chute de tension entre l'origine de l'installation et le départ moteur est évaluée à 1,4 %. La chute de tension totale en régime permanent dans la ligne est-elle admissible ?

Réponse :

pour $L = 100 \text{ m}$, le tableau page précédente donne :

$$\Delta U_{AC} = 3,2 \%$$

Pour $L = 80 \text{ m}$, on a donc :

$$\Delta U_{AC} = 3,2 \times (80/100) = 2,6 \%$$

La chute de tension entre l'origine de l'installation et le moteur vaut donc :

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{AC}$$

$$\Delta U_{AC} = 1,4\% + 2,6\% = 4\%$$

La plage de tension normalisée de fonctionnement des moteurs ($\pm 5\%$) est respectée (transfo. HTA/BT 400 V en charge).

Détermination des chutes de tension admissibles

Pour qu'un moteur démarre dans des conditions normales, le couple qu'il fournit doit dépasser 1,7 fois le couple résistant de la charge.

Or, au démarrage, le courant est très supérieur au courant en régime permanent.

Si la chute de tension en ligne est alors importante, le couple du démarrage diminue de façon significative. Cela peut aller jusqu'au non-démarrage du moteur.

Cette chute de tension doit être évaluée pour :

- vérifier que les perturbations provoquées sur les départs voisins sont acceptables
- calculer la chute de tension effective aux bornes du moteur au démarrage.

Le tableau ci-contre permet de connaître la chute de tension au point B au moment du démarrage : il donne une bonne approximation du coefficient de majoration k_2 en fonction du rapport de la puissance de la source et de la puissance du moteur.

Chute de tension en ligne au démarrage d'un moteur: risque de démarrage difficile

Exemple :

- sous une tension réelle de 400 V, un moteur fournit au démarrage un couple égal à 2,1 fois le couple résistant de sa charge

- pour une chute de tension au démarrage de 10%, le couple fourni devient : $2,1 \times (1 - 0,1)^2 = 1,7$ fois le couple résistant.

Le moteur démarre correctement.

- pour une chute de tension au démarrage de 15% le couple fourni devient : $2,1 \times (1 - 0,15)^2 = 1,5$ fois le couple résistant.

Le moteur risque de ne pas démarrer ou d'avoir un démarrage très long.

En valeur moyenne, il est conseillé de limiter la chute de tension au démarrage à une valeur maximum de 10%.

Calcul de la chute de tension au démarrage

Par rapport au régime permanent, le démarrage d'un moteur augmente :

- la chute de tension ΔU_{AB} en amont du départ moteur. Celle-ci est ressentie par le moteur mais aussi par les récepteurs voisins
- la chute de tension ΔU_{AC} dans la ligne du moteur.

Chute de tension au démarrage en amont du départ moteur

Coefficient de majoration de la chute de tension en amont du départ du moteur au démarrage (voir exemple ci-dessous)

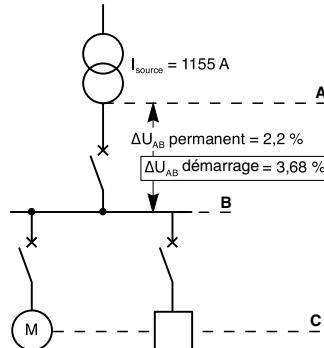
Id/In	démarrage							
	étoile triangle	direct	5	6	7	8		
I _{source} /I _d 2	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	
4	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	
6	1,17	1,34	1,50	1,67	1,84	2,00	2,17	
8	1,13	1,25	1,38	1,50	1,63	1,75	1,88	
10	1,10	1,23	1,34	1,45	1,56	1,67	1,78	
15	1,07	1,14	1,20	1,27	1,34	1,40	1,47	

Ce tableau a été établi en négligeant le $\cos \phi$ transitoire de l'installation au moment du démarrage du moteur. Néanmoins, il donne une bonne approximation de la chute de tension au moment du démarrage.

Pour un calcul plus précis il faudra intégrer le $\cos \phi$ au démarrage.

Cette remarque s'applique surtout quand $I_{source} = 2I_{moteur}$.

Exemple d'utilisation du tableau



Pour un moteur de 18,5 kW ($I_n = 35 \text{ A}$, $I_d = 175 \text{ A}$), le courant total disponible à la source est : $I_{source} = 1155 \text{ A}$.

La chute de tension ΔU_{AB} en régime permanent est 2,2%.

Quelle est la chute de tension ΔU_{AC} au démarrage du moteur ?

Réponse :

$$I_{source}/I_d = 1155/175 = 6,6.$$

Le tableau donne pour $I_{source}/I_d = 6$ et $I_d/I_n = 5$:

$$k_2 = 1,67.$$

On a donc :

$$\Delta U_{AB \text{ démarage}} = 2,2 \times 1,67 = 3,68 \text{ %}$$

Ce résultat est tout à fait admissible pour les autres récepteurs.

Chute de tension au démarrage aux bornes du moteur

La chute de tension en ligne au démarrage est fonction du facteur de puissance $\cos \varphi$ du moteur à sa mise sous tension.

La norme IEC 947-4-1 définit les limites extrêmes de ce facteur de puissance en fonction de l'intensité nominale du moteur :

- pour $I_n \leq 100$ A, $\cos \varphi \leq 0,45$
- pour $I_n > 100$ A, $\cos \varphi \leq 0,35$.

Le tableau ci-dessous donne la chute de tension en % dans 1 km de câble parcouru par 1 A, en fonction de la section du câble et du $\cos \varphi$ du moteur.

La chute de tension au démarrage (en %) dans un circuit moteur s'en déduit par :

$$\Delta U \text{ (en \%)} = k_1 \times I_d \times L$$

k_1 : valeur donnée par le tableau ci-dessous

I_d : courant de démarrage du moteur (en A)

L : longueur du câble en km.

Chute de tension au démarrage dans 1 km de câble parcouru par 1 A (en %)

S (mm ²)	câble cuivre										câble aluminium											
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	10	16	25	35	50	70	95	120	150
0,35	2,43	1,45	0,93	0,63	0,39	0,26	0,18	0,14	0,11	0,085	0,072	0,064	0,058	0,61	0,39	0,26	0,20	0,15	0,12	0,09	0,082	0,072
0,45	3,11	1,88	1,19	0,80	0,49	0,32	0,22	0,16	0,12	0,098	0,081	0,071	0,063	0,77	0,49	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,094	0,082
en régime établi*																						
0,85	5,83	3,81	2,20	1,47	0,89	0,56	0,37	0,27	0,19	0,144	0,111	0,092	0,077	1,41	0,89	0,58	0,42	0,30	0,22	0,17	0,135	0,112

(*) La dernière ligne de ce tableau permet le calcul de la chute de tension en régime établi ($\cos \varphi$ à charge nominale) avec la même formule en remplaçant I_d par I_n moteur.

Exemple d'utilisation du tableau

Un moteur de 18,5 kW ($I_n = 35$ A et $I_d = 5 \times I_n = 175$ A) est alimenté par un câble de cuivre triphasé, de section 10 mm², de longueur 72 m. Son $\cos \varphi$ au démarrage est 0,45. La chute de tension au dernier niveau de distribution est égale à 2,4 % et

$$I_{\text{source}}/I_d = 15.$$

Quelle est la chute de tension totale en régime établi et la chute de tension totale au démarrage ?

Réponse :

- d'après le tableau ci-dessus (dernière ligne), la chute de tension dans la ligne moteur en régime établi vaut :

$$\Delta U_{BC} = 0,89 \times 35 \times 0,072 = 2,24 \%$$

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$$

$$\Delta U_{AC} = 2,4 \% + 2,24 \% = 4,64 \%$$

Ce résultat est tout à fait acceptable pour le fonctionnement du moteur.

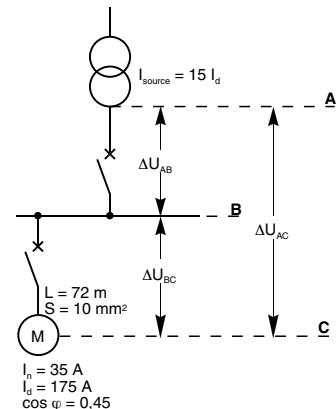
- d'après le tableau ci-dessus, la chute de tension dans la ligne moteur au démarrage vaut :

$$\Delta U_{BC} = 0,49 \times 175 \times 0,072 = 6,17 \%$$

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{BC} + (\Delta U_{AB} \times k2) \text{ (voir tableau page précédente)}$$

$$\Delta U_{AC} = 6,17 + (2,4 \times 1,27) = 9,22 \%$$

Ce résultat est admissible pour un démarrage correct du moteur.



Détermination des courants de court-circuits (Icc)

Déterminer résistances et réactances de chaque partie de l'installation

partie de l'installation	valeurs à considérer résistances (mΩ)	réactances (mΩ)
réseau amont (1)	$R1 = 0,1 \times Z_Q$	$X1 = 0,995 Z_Q$ $Z_Q = \frac{(m U_n)^2}{S_{KQ}}$
transformateur	$R2 = \frac{W_{Cx} U^2}{S^2} 10^{-3}$ W _{Cx} =pertes cuivre (W) S=puissance apparente du transformateur (kVA)	$X2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z = \frac{U_{cc} \times U^2}{100 \times S}$ U _{cc} =tension de court-circuit du transfo (en %)
liaison en câbles (3)	$R3 = \rho \frac{L}{S}(3)$ $\rho = 18,51$ (Cu) ou $29,41$ (Al) L en m, S en mm ²	$X3 = 0,09L$ (câbles uni jointifs) $X3 = 0,13L$ (2) (câbles uni espacés) L en m $X3 = 0,15L$ (4) L en m
en barres	$R3 = \rho \frac{L}{S}(3)$ $\rho = 18,51$ (Cu) ou $29,41$ (Al) L en m, S en mm ²	
disjoncteur		
rapide	R4 négligeable	X4 négligeable
sélectif	R4 négligeable	X4 négligeable

(1) S_{KQ} : puissance de court-circuit du réseau à haute tension en kVA.
(2) Réactance linéaire des conducteurs en fonction de la disposition des câbles et des types.

(3) S'il y a plusieurs conducteurs en parallèle par phase diviser la résistance et la réactance d'un conducteur par le nombre de conducteurs.

R est négligeable pour les sections supérieures à 240 mm².

(4) Réactance linéaire des jeux de barres (Cu ou Al) en valeurs moyennes.

Icc en un point quelconque de l'installation

Valeur de l'Icc en un point de l'installation par la méthode suivante : (méthode utilisée par le logiciel My Ecodial L en conformité avec la norme NF C 15-500).

1. calculer :

la somme Rt des résistances situées en amont de ce point :

Rt = R1 + R2 + R3 + ... et la somme Xt des réactances situées en amont de ce point : Xt = X1 + X2 + X3 + ...

2. calculer :

$$Icc \text{ maxi.} = \frac{mc U_n}{\sqrt{3} \sqrt{Rt^2 + Xt^2}} \text{ kA.}$$

Rt et Xt exprimées en mΩ

Important :

- U_n = tension nominale entre phases du transformateur (400 V)
- m = facteur de charge à vide = 1,05
- c = facteur de tension = 1,05.

Exemple

schéma	partie de l'installation	résistances (mΩ)	réactances (mΩ)
	réseau amont $S_{KQ}^{(1)} = 500000$ kVA	$R1 = \frac{(1,05 \times 400)^2}{500000} \times 0,1$ $R1 = 0,035$	$R1 = \frac{(1,05 \times 400)^2}{500000} \times 0,995$ $X1 = 0,351$
	transformateur $S_{nt} = 630$ kVA $U_{kr} = 4\%$ $U = 420$ V $P_{cu} = 6300$ W	$R2 = \frac{7800 \times 420^2 \times 10^{-3}}{630^2}$ $R2 = 3,5$	$X2 = \sqrt{\left(\frac{4}{100} \times \frac{420^2}{630}\right)^2 - (3,5)^2}$ $X2 = 10,6$
	liaison (cables) transformateur disjoncteur 3x(1x150 mm ²) Cu par phase L = 5 m	$R3 = \frac{18,51 \times 5}{150 \times 3}$ $R3 = 0,20$	$X3 = 0,09 \times \frac{5}{3}$ $X3 = 0,15$
	× M1 disjoncteur rapide	R4=0	X4=0
	liaison disjoncteur départ 2 barres (Cu) 1x80x5 mm ² par phase L = 2 m	$R5 = \frac{18,51 \times 2}{400}$ $R5 = 0,09$	$X5 = 0,15 \times 2$ $X5 = 0,30$
	× M2 disjoncteur rapide	R6=0	X6=0
	liaison (cables) tableau général BT tableau secondaire 1x(1x185 mm ²) Cu par phase L = 70 m	$R7 = 18,51 \times \frac{70}{185}$ $R7 = 7$	$X7 = 0,13 \times 70$ $X7 = 9,1$
	tableau secondaire M3		

Calcul des intensités de court-circuit (kA)

résistances (mΩ)	réactances (mΩ)	Icc (kA)
en $Rt1 = R1 + R2 + R3$ M1 $Rt1 = 3,73$	$Xt1 = X1 + X2 + X3$ $Xt1 = 11,10$	$\frac{1,05 \times 1,05 \times 400}{\sqrt{3} \sqrt{(3,73)^2 + (11,1)^2}} = 21,7$ kA
en $Rt2 = Rt1 + R4 + R5$ M2 $Rt2 = 3,82$	$Xt2 = Xt1 + X4 + X5$ $Xt2 = 11,40$	$\frac{1,05 \times 1,05 \times 400}{\sqrt{3} \sqrt{(3,82)^2 + (11,40)^2}} = 21,2$ kA
en $Rt3 = Rt2 + R6 + R7$ M3 $Rt3 = 10,82$	$Xt3 = Xt2 + X6 + X7$ $Xt3 = 20,50$	$\frac{1,05 \times 1,05 \times 400}{\sqrt{3} \sqrt{(10,82)^2 + (20,50)^2}} = 11,0$ kA