

SECTION DES CONDUCTEURS ET PROTECTION DES INSTALLATIONS

Les installations électriques Basse Tension (B.T.) sont soumises à un ensemble de textes qui peuvent être classés en 3 catégories :

- ♦ les textes réglementaires (décrets, arrêtés ou circulaires d'application, notes et fiches techniques, avis) relatif à la protection des travailleurs (décret du 14 novembre 1988),
- ♦ les textes normatifs (règles de conception) et guides pratiques (norme NF C 15-100, recueil UTE 18-510),
- ♦ Les cahiers des charges ou recommandations (Promotelec).

Si pour concevoir une installation les réglementations sont nécessaires il faut aussi avoir toutes les informations sur les récepteurs à alimenter :

- ♦ leur mode de fonctionnement (normal, démarrages fréquents),
- ♦ leur localisation dans le plan et le bâtiment,
- ♦ leurs puissances installées, utilisées et à prévoir (K_u , K_s , K_e).

Tous ces éléments permettent de déduire la puissance et le nombre de sources nécessaires en fonction de l'installation et le type de tarification adaptée (tarifs E.J.P., Jour/Nuit, Bleu, Tempo, Vert, Jaune).

Le type de canalisation, son mode de pose, la nature de l'âme et de l'isolant des conducteurs, la nature des appareils de protection, le type de schéma de liaison à la terre étant connus on peut réaliser les choix des éléments de l'installation. Tous les calculs se font pour une phase.

Certains logiciels (Ecodial,...), détermine la section des canalisations et leurs protections à partir des caractéristiques (type de câble, mode de pose, ...) En conformité avec la norme NF C 15-100 et suivant le diagramme ci-dessous.

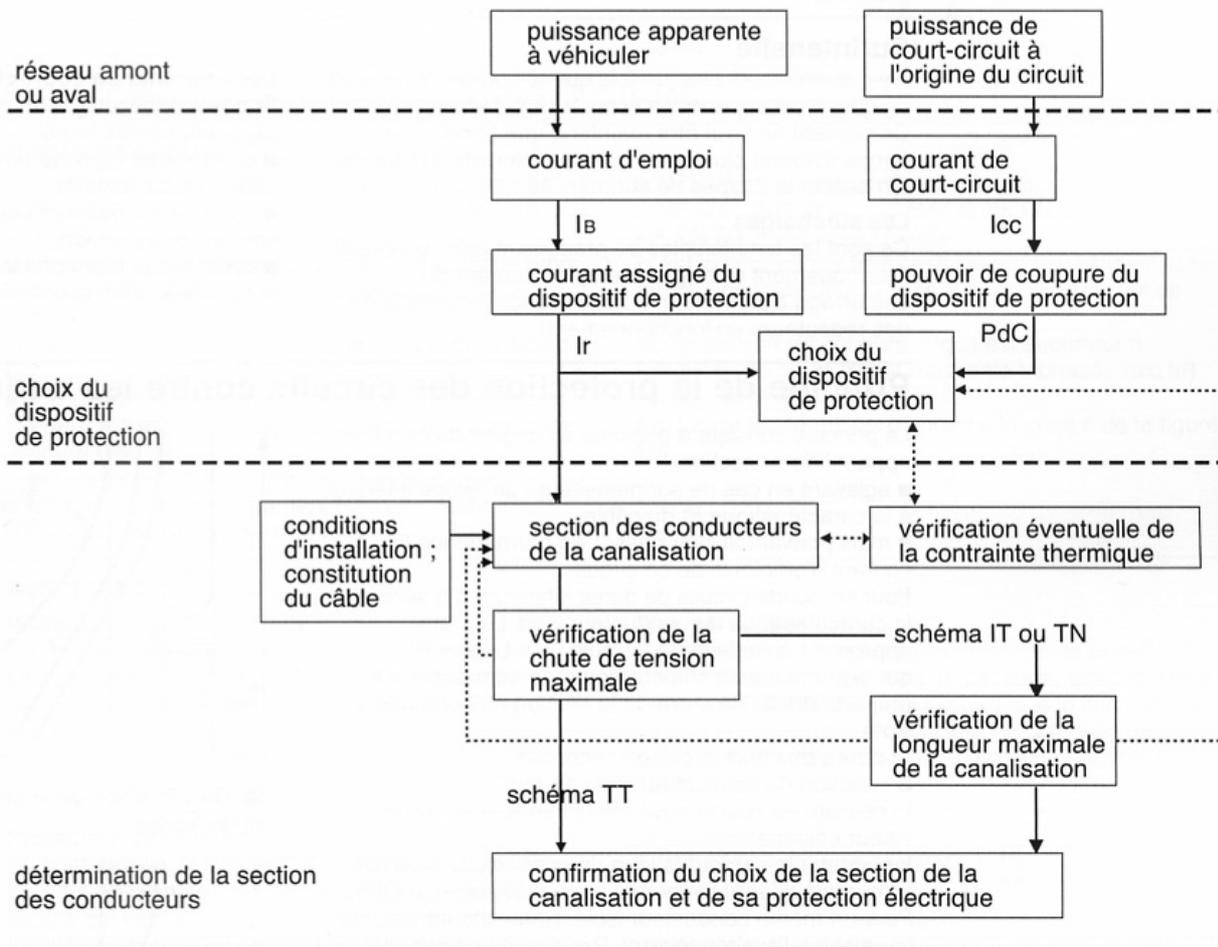


Tableau G1 : Logigramme du choix de la section des canalisations et du dispositif de protection.

1. Calcul du courant d'emploi I_B :

On calcule le courant d'emploi I_B à partir de la puissance à véhiculer dans le câble.

Le guide UTE C 15-105 décrit une méthode de détermination du courant maximal d'emploi qui s'appuie sur la connaissance de la puissance de chaque circuit d'utilisation pour lequel sont attribués différents coefficients.

Coefficients minorants :

- ♦ facteur de simultanéité lié au foisonnement des circuits (prises de courant par exemple),
- ♦ facteur d'utilisation (ou de charge) généralement choisi entre 0,7 et 0,8.

Coefficients majorants :

- ♦ facteur lié au rendement ou au $\cos \varphi$ dégradé (lampes à fluorescence) et à des surintensités (démarrage moteurs),
- ♦ facteur de prévision d'extension de l'installation.

Dans l'exemple ci-dessous calculer les puissances d'utilisation à chaque niveau de l'installation en tenant compte des coefficients d'utilisation et de simultanéité. La tension étant de 420 V, déduire les courants d'emploi circulant dans les 4 câbles C1, C2, C3, C4 de l'armoire générale (SLT : TN)

$$.(I_{C1} = 27,3 A ; I_{C2} = 22,5 A ; I_{C3} = 54,6 A ; I_{C4} = 83,7 A)$$

utilisation		n°	puis. absorbée kVA	facteur d'utilisation maxi	puis. d'utilisation maxi kVA	1 ^{er} niveau		2 ^e niveau		3 ^e niveau	
						facteur de simultanéité	puis. d'utilisation kVA	facteur de simultanéité	puis. d'utilisation kVA	facteur de simultanéité	puis. d'utilisation kVA
atelier A	tour	n°1	5	0,8	4	0,75	14,4	force	18,9	0,9	C1
		n°2	5	0,8	4						
		n°3	5	0,8	4						
		n°4	5	0,8	4						
	perceuse	n°1	2	0,8	1,6	0,2	3,6	prises	3	0,9	C2
		n°2	2	0,8	1,6						
		5 prises 10/16 A	18	1	18	1	3	lumière			
	30 fluos	3	1	3	1						
atelier B	compresseur	15	0,8	12	1	12	force	15,6	0,9	C3	
	3 prises 10/16 A	10,6	1	10,6	0,4	4,3	prises				
	10 fluos	1	1	1	1	1	lumière				
atelier C	ventilateur	n°1	2,5	1	2,5	1	35	force	37,8	0,9	
		n°2	2,5	1	2,5						
	fours	n°1	15	1	15	0,28	5	prises	2	0,9	
		n°2	15	1	15						
		5 prises 10/16 A	18	1	18	1	2	lumière			
		20 fluos	2	1	2	1					

Tableau B18 : Exemple d'estimation des puissances (les facteurs utilisés à titre d'exemple n'ont qu'une valeur indicative).

En toute rigueur il faut appliquer la méthode de Boucherot :

$$S = \sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2} ; I_B = \frac{S}{U \times \sqrt{3}}$$

2. Choix du calibre de l'appareil de protection

:(voir tableau G11 page 3)

L'intensité assignée I_n du dispositif de protection, coupe-circuit à fusible ou disjoncteur doit être prise juste supérieure à l'intensité d'emploi I_B calculée.

$$I_n \geq I_B$$

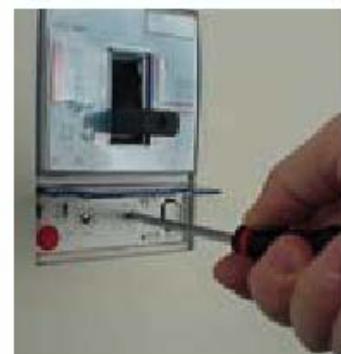
On réglera le disjoncteur de calibre I_n pour obtenir une intensité de réglage

$$I_r \approx I_B$$

Le choix du pouvoir de coupure de l'appareil PdC de protection se fera après calcul du courant de court-circuit présumé à l'endroit où l'appareil de protection est installé.



Cartouches cylindriques



Réglage du seuil magnétique d'un disjoncteur DPX

Dans le tableau ci-dessous choisir les calibres des disjoncteurs nécessaires pour protéger les câbles dont le courant d'emploi a été calculé précédemment.

Icu sous 400 V	DPX 125						DPX 160								
	25 kA			36 kA			25 kA			50 kA					
	500						500								
Ui (V)	3 P		3P+N/2	4 P		3 P		3P+N/2	4 P		3 P		3P+N/2	4 P	
In (A)	16	250 36		250 44	250 50		250 58								
	25	250 37		250 45	250 51		250 59	251 21		251 29	251 61		251 69		
	40	250 38		250 46	250 52		250 60	251 22		251 30	251 62		251 70		
	63	250 39		250 47	250 53		250 61	251 23		251 31	251 63		251 71		
	100	250 40	250 42	250 48	250 54	250 56	250 62	251 24	251 26	251 32	251 64	251 66	251 72		
	125	250 41	250 43	250 49	250 55	250 57	250 63								
	160							251 25	251 27	251 33	251 65	251 67	251 73		

$$(I_{nc1} = 40 A ; I_{nc2} = 25 A ; I_{nc3} = 63 A ; I_{nc4} = 100 A)$$

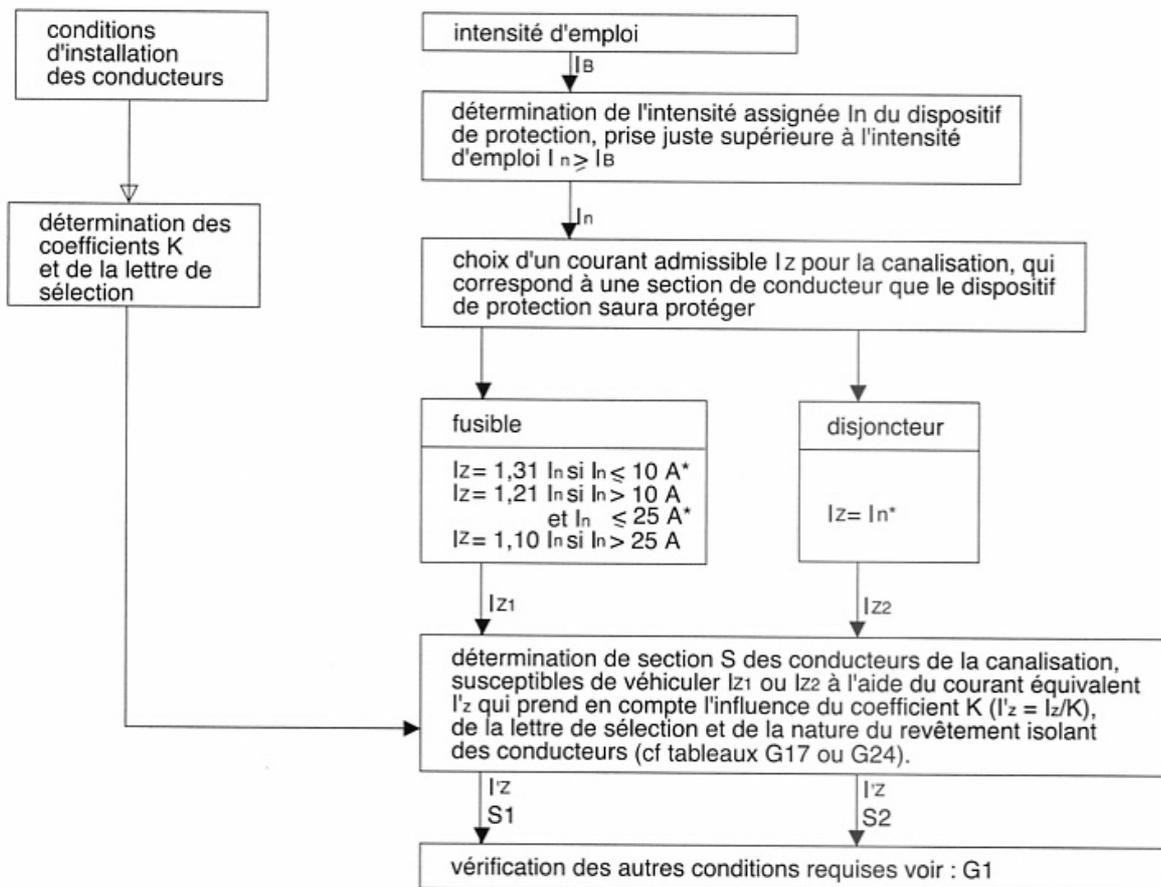
3. Détermination de la section de la canalisation :

La section de la canalisation qui va véhiculer le courant d'emploi I_B doit être choisie de sorte que le courant admissible I_Z de celle-ci soit supérieur au calibre de l'appareil I_n qui le protège.

Il convient donc de respecter : $I_B \leq I_n \leq I_Z$

Pour les disjoncteurs réglables, il est conseillé de choisir I_Z égal ou juste supérieur au calibre I_n nominal de l'appareil de protection. Les conséquences d'un réglage thermique I_r inadapté ou d'une évolution du courant d'emploi I_B seront sans risque.

En cas de protection de la canalisation par coupe-circuit à fusibles il convient d'appliquer un coefficient majorant l'intensité I_Z .



* ou juste supérieur

Tableau G11 : Logigramme de la détermination de la section d'une canalisation.

Donner la valeur des courants admissibles I_Z . (Disjoncteurs donc les $I_Z = I_n$)

Pour prendre en compte les conditions dans lesquelles est installée la canalisation des facteurs de correction sont appliqués. Ils tiennent compte du mode de pose, du type de câble mono ou multi-conducteur, de la nature de l'isolant et de l'âme des conducteurs, du regroupement des circuits, et de la température ambiante.

a) Méthode de référence et facteur de correction lié au mode de pose K1 :

Des tableaux (voir exercices Stade de France et Ballon captif) permettent de déterminer une lettre de sélection ou méthode de référence correspondant au type de conducteurs utilisés (mono ou multiconducteurs) et un coefficient d'influence K1.

Les 4 câbles de l'installation étudiée sont multiconducteurs et posés sur des tablettes perforées.

A partir du tableau ci-dessous, donner la lettre de sélection et le coefficient K1 correspondant.

(Lettre E ; K1 = 1)

Câbles et conducteurs posés à l'air libre							
N° mode de pose	Exemple	Description	Méthode de référence	Facteur de correction	Référence des tableaux spécifiques des facteurs liés aux groupements		
					Circuits	Couches	Conduits
11		Câbles mono ou multiconducteurs, avec ou sans armature, fixés au mur	C	1	T1, D2	-	-
11A		Câbles mono ou multiconducteurs, avec ou sans armature, fixés à un plafond	C	0,95	T1, D3	-	-
12		Câbles mono ou multiconducteurs posés sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées	C	1	T1, D2	T2	-
13		Câbles multiconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical	E	1	T1, D4	T2	-
13A		Câbles monoconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical	F	1	T1, D4	T2	-
14		Câbles multiconducteurs sur des corbeaux sur des chemins de câbles en treillis soudé	E	1	T1, D5	T2	-
14A		Câbles monoconducteurs sur des corbeaux sur des chemins de câbles en treillis soudé	F	1	T1, D5	T2	-

b) Facteur de correction lié au groupement de circuits K2 :

Ce facteur tient compte de l'influence thermique mutuelle des circuits placés côte à côte.

Les câbles sont considérés comme jointifs si la distance les séparant n'excède pas 2 fois le diamètre du plus gros des câbles.

Si les câbles sont disposés en plusieurs couches il faut appliquer à K2 un facteur multiplicatif du tableau T2.

En triphasé, le nombre de circuits à considérer est le nombre total de lignes triphasées placées dans la canalisation.

T2 - Facteurs de correction pour pose en plusieurs couches					
Nombre de couches	2	3	4 ou 5	6 à 8	9 et plus
Coefficient	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

Pour notre exercice le câble entre le transformateur et l'armoire générale est seul dans sa canalisation, les 3 autres câbles sont disposés ensemble sur une seule couche. A partir du tableau T1, donner les valeurs des coefficients K_2 de chacun des câbles C1 à C4. (Pour C4, $K_2 = 1$ pour les autres $K_2 = 0,82$)

T1 - Facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou plusieurs câbles multiconducteurs												
Disposition de circuits ou de câbles jointifs ⁽¹⁾	Facteurs de correction											
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
D1 : Enfermés	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
D2 : Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes 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		
D3 : Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
D4 : 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			
D5 : Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

c) Facteur de correction lié à la température ambiante K_3 :

La température ambiante et la nature de l'isolant ont une influence directe sur le dimensionnement des conducteurs.

La température à prendre en compte est celle de l'air autour des câbles (pose à l'air libre), et celle du sol pour les câbles enterrés.

T8 - Facteurs de correction pour les températures ambiantes dans l'air différentes de 30 °C			
Température ambiante (°C)	Caoutchouc	Isolation	
		PVC	PR
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
25	1,15	1,12	1,08
30	1,07	1,06	1,04
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
65	-	-	0,65
70	-	-	0,58
75	-	-	0,50
80	-	-	0,41
85	-	-	-
90	-	-	-
95	-	-	-

Les câbles sont tous en polyéthylène réticulé PR. La température ambiante est de 40 °C, donner la valeur du coefficient K_3 à partir du tableau T8.

(Pour tous $K_3 = 0,91$)

d) Choix de la section des conducteurs :

Quand tous les facteurs spécifiques de correction sont connus, on calcule le coefficient global K de correction égal au produit de tous les facteurs spécifiques.

Extrait du tableau des courants admissibles												
Méthode de référence	Isolant et nombre de conducteurs chargés											
	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 3	PR 2							
B												
C												
D												
E												
F												
S (mm ²)												
Cuivre	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	2	26				
2,5	21	24	25	27	30	31	3	36				
4	28	32	34	36	40	42	4	49				
6	36	41	43	46	51	54	5	63				
10	50	57	60	63	70	75	8	86				
16	68	76	80	85	94	100	10	110				
25	89	96	101	112	119	127	15	149	161			
35	110	119	126	138	147	158	15	185	200			
50	134	144	149	163	176	189	20	225	242			
70	171	184	196	213	229	246	25	289	310			
95	207	223	238	256	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	505	542	575				

On en déduit le courant fictif I'_z admissible par la canalisation : $I'_z = \frac{I_z}{K}$

La connaissance de I'_z permet alors de se reporter aux tableaux de détermination des courants admissibles (ci-après) qui permet de déterminer la section nécessaire (en mm²). La lecture s'effectue dans la colonne qui correspond au type de conducteur et à la ligne de la méthode de référence. Pour trouver la section il suffit alors de choisir dans le tableau correspondant à la nature de l'âme la valeur de courant admissible immédiatement supérieure à la valeur I'_z .

($I'_{zC1} = 53,6 A$; $I'_{zC2} = 33,5 A$; $I'_{zC3} = 84,4 A$; $I'_{zC4} = 109,8 A$)

Après le calcul des I_Z , déterminer la section des conducteurs de phase en cuivre des 3 câbles C1 à C3 et celle en aluminium du câble C4.

$$(S_{PhC1} = 6 \text{ mm}^2 ; S_{PhC2} = 4 \text{ mm}^2 ; S_{PhC3} = 16 \text{ mm}^2 ; S_{PhC4} = 35 \text{ mm}^2)$$

Courants admissibles dans les canalisations (en A)													
Méthode de référence	Isolant et nombre de conducteurs chargés												
	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2							
B													
C													
D													
E													
F													
S (mm ²)													
Cuivre													
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26		26	32	31	37
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36		34	42	41	48
4	28	32	34	36	40	42	45	49		44	54	53	63
6	36	41	43	48	51	54	58	63		56	67	66	80
10	50	57	60	63	70	75	80	86		74	90	87	104
16	68	76	80	85	94	100	107	115		96	116	113	136
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161	123	148	144	173
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200	147	178	174	208
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242	174	211	206	247
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310	216	261	254	304
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377	256	308	301	360
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437	290	351	343	410
150		299	319	344	371	395	441	473	504	328	397	387	463
185		341	364	392	424	450	506	542	575	367	445	434	518
240		403	430	461	500	538	599	641	679	424	514	501	598
300		464	497	530	576	621	693	741	783	480	581	565	677
400					656	754	825		940				
500					749	868	946		1083				
630					855	1005	1088		1254				
Aluminium													
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28					
4	22	25	26	28	31	32	35	38					
6	28	32	33	36	39	42	45	49					
10	39	44	46	49	54	58	62	67		57	68	67	80
16	53	59	61	66	73	77	84	91		74	88	87	104
25	70	73	78	83	90	97	101	108	121	94	114	111	133
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150	114	137	134	160
50	104	110	117	125	136	146	154	164	184	134	161	160	188
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237	167	200	197	233
95	161	170	183	195	211	227	241	257	289	197	237	234	275
120	186	197	212	226	245	263	280	300	337	224	270	266	314
150		227	245	261	283	304	324	346	389	254	304	300	359
185		259	280	298	323	347	371	397	447	285	343	337	398
240		305	330	352	382	409	439	470	530	328	396	388	458
300		351	381	406	440	471	508	543	613	371	447	440	520
400					526	600	663		740				
500					610	694	770		856				
630					711	808	899		996				

4. Section du conducteur neutre

Par principe, le neutre doit avoir la même section que le conducteur de phase dans tous les circuits monophasés.

Dans les circuits triphasés de section supérieure à 16 mm² en cuivre et 25 mm² en aluminium, la section du neutre peut être réduite jusqu'à $S_{ph}/2$.

Toutefois cette réduction n'est pas autorisée si :

- ♦ les charges ne sont pas pratiquement équilibrées,
- ♦ le taux de courants harmoniques de rang 3 est supérieur à 15% du fondamental.

Si ce taux est supérieur à 33%, la section des conducteurs actifs des câbles multipolaires est choisie en majorant le courant I_B par un coefficient multiplicateur de 1,45. Pour les câbles unipolaires, seule la section du neutre est augmentée.

5. Section du conducteur de protection :

Section du conducteur de protection (S _{PE}) en fonction de la section des conducteurs de phase (S _{ph})	
Section des conducteurs de phase S _{ph}	Section du conducteur de protection S _{PE}
S _{ph} < 16 mm ²	S _{ph}
16 mm ² < S _{ph} ≤ 35 mm ²	16 mm ²
S _{ph} > 35 mm ²	S _{ph} / 2

Pour les matériels présentant des courants de fuite permanents élevés (>10mA), la section S_{PE} du conducteur de protection devra être d'au moins 10 mm² pour le cuivre ou 16 mm² pour l'aluminium, ou bien le double de la section "normale" par la disposition d'un second conducteur parallèle au premier mis en œuvre jusqu'au point de l'installation où la section de 10 mm² (cuivre) ou 16 mm² (alu) est atteinte.

L'utilisation du schéma TN est recommandée en cas de courants de fuites élevés.

En considérant que les charges de l'installation sont équilibrées et que le taux d'harmoniques est inférieur à 15%, donner les sections des conducteurs de neutre et de protection pour chaque câble.

(TNS pour C1 et C2 S_N et S_{PEN} = S_{Ph} ; TNC pour C3 et C4 S_{PENC3} = S_{PhC3} et S_{PENC4} = 16 mm²)

6. Vérification de la chute de tension maximale :

Si la chute de tension est supérieure aux valeurs limites admises, il y a lieu d'augmenter la section des conducteurs jusqu'à ce que la chute de tension devienne inférieure aux valeurs prescrites.

Valeurs limites admises de chutes de tension		
Branchement	Eclairage	Autres usages
Branchement à basse tension à partir du réseau de distribution public	3 %	5 %
Branchement par poste de livraison ou poste de transformation à partir d'un réseau haute tension	6 %	8 %

Ces valeurs de chutes de tension s'appliquent en fonctionnement normal, sans tenir compte d'appareils pouvant générer des courants d'appel importants et des chutes de tension au démarrage (ex. : moteur).

Lorsque les canalisations principales de l'installation ont une longueur supérieure à 100 m, les valeurs limites admises des chutes de tension peuvent être augmentées de 0,005 % par mètre au-delà de 100 m, sans que ce supplément ne dépasse lui-même 0,5 %.

Cette chute de tension peut-être déterminée par calcul ou directement à l'aide de tableau.

Les relations ci-dessous permettent de calculer la chute de tension dans un circuit.

circuit	chute de tension	
	en volt	en %
monophasé : deux phases	$\Delta U = 2 I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
monophasé : phase et neutre	$\Delta U = 2 I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
triphase équilibré : trois phases (avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

I_B : courant d'emploi en ampère.
L : longueur du câble en km.
R : résistance linéaire d'un conducteur en Ω/km,

$$R = \frac{22,5 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}}{S \text{ (section en mm}^2\text{)}} \text{ pour le Cuivre. } R = \frac{36 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}}{S \text{ (section en mm}^2\text{)}} \text{ Pour l'Aluminium.}$$

R négligeable pour S > 500 mm². X réactance linéique en Ω/km ; négligeable pour S < 50 mm².

En l'absence d'indication prendre X = 0,08 Ω/km.

U_n : tension nominale entre phase. φ : déphasage du courant sur la tension. Force motrice au démarrage cos φ = 0,35, normal cos φ = 0,5, éclairage cos φ = 1, en l'absence d'indication cos φ = 0,8.

L'entreprise est propriétaire de son propre poste de transformation.

A l'aide du tableau ($X = \lambda$) vérifier la valeur des chutes de tension à l'extrémité des câbles.

Les chutes de tension entre les armoires d'atelier et les récepteurs sont inférieures à 5 V.

C1, L = 55 m

C2, L = 60 m

C3, L = 40 m

C4, L = 120 m

$\cos \varphi = 0,85$

Conclure sur le choix des sections des câbles C1, C2, C3 et C4.



Dans le cas où l'installation alimente des moteurs, il est recommandé de vérifier la chute de tension dans les conditions de démarrage. Pour cela, il suffit de remplacer, dans la formule ci-contre, le courant I_n par le courant de démarrage du moteur et d'utiliser le facteur de puissance au démarrage. En l'absence de données plus précises, le courant de démarrage peut être pris égal à $6 \times I_n$. La chute de tension, en tenant compte de tous les moteurs pouvant démarrer en même temps, ne doit pas dépasser 15 %. Outre le fait qu'une chute de tension trop élevée peut gêner les autres utilisateurs de l'installation, elle risque aussi d'empêcher le démarrage du moteur.

Chutes de tension unitaire (en V) pour 1 A et pour 100 m de conducteur avec $\lambda = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (câbles multi ou monoconducteurs en trèfle)						
Section	Triphasé Cu 100 m			Triphasé Alu 100 m		
	Cos φ			Cos φ		
	1	0,85	0,35	1	0,85	0,35
1,5	1,533	1,308	0,544	2,467	2,101	0,871
2,5	0,920	0,786	0,329	1,480	1,262	0,525
4	0,575	0,493	0,209	0,925	0,790	0,331
6	0,383	0,330	0,142	0,617	0,528	0,223
10	0,230	0,200	0,088	0,370	0,319	0,137
16	0,144	0,126	0,058	0,231	0,201	0,088
25	0,092	0,082	0,040	0,148	0,130	0,059
35	0,066	0,060	0,030	0,106	0,094	0,044
50	0,046	0,043	0,024	0,074	0,067	0,033
70	0,033	0,032	0,019	0,053	0,049	0,026
95	0,024	0,025	0,016	0,039	0,037	0,021
120	0,019	0,021	0,014	0,031	0,030	0,018
150	0,015	0,017	0,013	0,025	0,025	0,016
185	0,012	0,015	0,012	0,020	0,021	0,014
240	0,010	0,012	0,011	0,015	0,017	0,013
300	0,008	0,011	0,010	0,012	0,015	0,012
400	0,006	0,009	0,010	0,009	0,012	0,011
500	0,005	0,008	0,009	0,007	0,011	0,010
630	0,004	0,007	0,009	0,006	0,009	0,010
2 x 120	0,010	0,010	0,007	0,015	0,015	0,009
2 x 150	0,008	0,009	0,006	0,012	0,013	0,008
2 x 185	0,006	0,007	0,006	0,010	0,011	0,007
2 x 240	0,005	0,006	0,005	0,008	0,009	0,006
3 x 120	0,006	0,007	0,005	0,010	0,010	0,006
3 x 150	0,005	0,006	0,004	0,008	0,008	0,005
3 x 185	0,004	0,005	0,004	0,007	0,007	0,005
3 x 240	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,004
4 x 185	0,003	0,004	0,003	0,005	0,005	0,004
4 x 240	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003

$(\Delta u_{C4} = 9,44 \text{ V}; \Delta u_{C1} = 4,95 \text{ V}; \Delta u_{C2} = 6,65 \text{ V}; \Delta u_{C3} = 2,75 \text{ V};$

$\text{Ateliers A : } \Delta u < 19,38 \text{ V} < 4,6 \% ; \text{ B : } \Delta u < 21,09 \text{ V} < 5 \% ; \text{ C : } \Delta u < 17,19 \text{ V} < 4 \% \text{ donc convient})$

7. Calcul des courants de courts-circuits :

La détermination des valeurs de courant de courts-circuits présumés en tous points d'une installation est essentielle au choix des matériels (PdC des dispositifs de protection). Elle commence par l'estimation de cette valeur à l'origine de l'installation, puis en n'importe quel point selon plusieurs méthodes dont le choix dépend de l'importance de l'installation, des données disponibles, du type de vérification à effectuer...

La méthode des impédances consiste à totaliser les résistances et réactances des boucles de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et à en calculer l'impédance équivalente.

Les différents courants de court-circuit et de défaut sont alors déduits par l'application de la loi d'Ohm.

a) Impédance due au réseau amont HTA :

- ♦ L'impédance du réseau HT, vue côté BT, peut être obtenue auprès du distributeur, mesurée ou calculée à partir des formules suivantes : $Z_Q = \frac{(f_C \times U_n)^2}{S_{cc}} \text{ (en } m\Omega \text{)}$.

f_C : facteur de charge à vide pris égal à 1,05.

U_n : tension nominale de l'installation entre phases, en V.

S_{cc} : puissance de court-circuit du réseau HT, en kVA.

En l'absence d'informations précises de la part du distributeur d'énergie, la norme CEI 909 indique de calculer les résistances et réactances comme suit :

$R_Q = 0,1 \times X_Q$ et $X_Q = 0,995 \times Z_Q$ (valeurs en $m\Omega$). Par défaut, prendre $S_{cc} = 500$ MVA.

b) L'Impédance du transformateur :

$$Z_{TR} = \frac{(f_C \times U_n)^2}{S_{TR}} \times \frac{U_{cc}}{100}, \quad R_{TR} = \frac{P_{CU}}{3 \times I_n^2} \quad \text{et} \quad X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2} \quad (\text{en } m\Omega).$$

f_C : facteur de charge à vide, pris égal à 1,05.

U_n : tension nominale de l'installation entre phases, en V.

I_n : Intensité nominale du transformateur en A.

S_{TR} : puissance assignée du transformateur en kVA.

P_{CU} : pertes cuivre du transformateur en W.

U_{cc} : tension de court-circuit du transformateur, en %.

Les valeurs des résistances et réactances sont parfois données par le constructeur. Dans le cas contraire, elles sont à calculer à l'aide des formules : $R_{TR} = 0,31 \times Z_{TR}$ et $X_{TR} = 0,95 \times Z_{TR}$ (valeurs en $m\Omega$).

Les tableaux ci-dessous fournissent les valeurs de résistances, réactances et courts-circuits triphasés maximaux (impédance HT nulle) pour les transformateurs immergés. Ces valeurs ont été calculées en fonction des éléments fournis dans le guide UTE C 15-105.

NB : les valeurs de court-circuit données dans les catalogues constructeurs peuvent être légèrement inférieures car généralement calculées pour une tension de 410 V.

Après avoir choisi le transformateur adapté à notre application, déterminer les résistances et réactances du réseau et du transformateur. ($S_{TR} = 100$ kVA ; $Z_Q = X_Q = 0,39$ $m\Omega$; $R_Q = 0,039$ $m\Omega$)

Transformateurs triphasés immergés dans un diélectrique liquide, conformes à la norme NFC 52-112
Valeurs calculées pour une tension à vide de 420 V

S (kVA)	50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
I_n (A)	69	137	220	275	344	433	550	687	866	1100	1375	1718	2200	2749	3437
U_{cc} (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
I_{cc3} (kA)	1,81	3,61	5,78	7,22	9,03	11,37	14,44	18,05	22,75	19,26	24,07	30,09	38,52	48,15	60,18
R_{TR} ($m\Omega$)	43,75	21,9	13,7	10,9	8,75	6,94	5,47	4,38	3,47	4,10	3,28	2,63	2,05	1,64	1,31
X_{TR} ($m\Omega$)	134,1	67	41,9	33,5	26,8	21,28	16,76	13,41	10,64	12,57	10,05	8,04	6,28	5,03	4,02



Transformateurs en parallèle

Pour assurer la bonne marche de transformateurs en parallèle,

il est nécessaire de vérifier les conditions suivantes :

- même rapport de transformation sur toutes les prises
- même indice horaire
- même tension de court-circuit (tolérance 10 %)
- rapport des puissances assignées compris entre 0,5 et 2

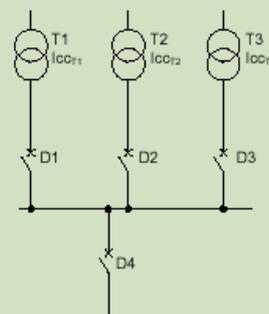
Détermination des pouvoirs de coupure des appareils

• Pouvoir de coupure d'un disjoncteur de source (ex. : disjoncteur D1)

Il doit être au moins égal à la valeur la plus élevée entre celle du court-circuit maximum (I_{cc1}) généré par le transformateur T1 (cas d'un court-circuit en aval de D1) et la somme de tous les courts-circuits ($I_{cc12} + I_{cc13}$) générés par les autres transformateurs couplés (cas d'un court-circuit en amont du disjoncteur D1).

• Pouvoir de coupure d'un disjoncteur de départ (ex. : disjoncteur D4)

Il doit être au moins égal à la somme de tous les courts-circuits maximaux générés par tous les transformateurs couplés ($I_{cc1} + I_{cc12} + I_{cc13}$).



c) Pour un disjoncteur, seule la réactance $X_D = 0,15 \text{ m}\Omega$ peut-être prise en compte.

d) La résistance des jeux de barres est souvent négligée.

La réactance peut-être de l'ordre de $X_B = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$

e) On calcule la résistance des conducteurs des canalisations par la relation :

$R = \rho \times \frac{l}{S}$ avec $\rho = 22,5 \text{ m}\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre et $\rho = 36 \text{ m}\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium.

La réactance des conducteurs dont la section $S < 50 \text{ mm}^2$ peut être négligée, pour les autres cas on peut se reporter au tableau ci-dessous.

Réactance linéique des conducteurs à utiliser en fonction du type de câble et de son mode de pose	
Câbles et poses	Réactance linéique λ (m Ω / m)
Câbles multiconducteurs ou câbles monoconducteurs en trèfle	0,08
Câbles monoconducteurs jointifs en nappe	0,09
Câbles monoconducteurs séparés de plus d'un diamètre	0,13

f) Courant de court-circuit en un point quelconque de l'installation :

Pour déterminer la valeur d'un court-circuit en un point quelconque de l'installation on totalise les résistances et réactances de la boucle de défaut depuis la source jusqu'au point considéré. On en déduit l'impédance équivalente. Les valeurs de court-circuit sont alors calculées par application de la loi d'Ohm (formule générale) :

$$I_{cc} = \frac{f_c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_T} = \frac{f_c \times U_n}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$$

f_c : facteur de charge à vide, pris égal à 1,05.

U_n : tension nominale de l'installation entre phases, en V.

Z_T : impédance totale de la boucle de défaut au point considéré. C'est la somme vectorielle des résistances et réactances composant la boucle.

La méthode de composition est une approche simplifiée : connaissant le courant du court-circuit triphasé en amont, la longueur de la canalisation, la section et la nature des conducteurs, le courant de court-circuit présumé en aval peut-être déterminé à l'aide d'un tableau. Cette méthode s'applique à des installations dont la puissance n'excède pas 800 kVA.

Calculer les résistances et réactances des câbles, puis la valeur des courants de courts-circuits aux différents points de l'installation en négligeant les impédances des jeux de barres et des disjoncteurs. Vous pouvez alors choisir complètement les disjoncteurs de protection de chacun des câbles C1 à C4.

(Armoire générale $I_{cc} = 3,6 \text{ kA}$, cohérence avec le I_{cc} du transfo.

$R_{C4} = 123,4 \text{ m}\Omega$; Armoires d'atelier $I_{cc} = 1,55 \text{ kA}$. Les DPX 125 conviennent $P_{dc} = 25 \text{ kA}$.

Références $Q_{C1} : 25046$; $Q_{C2} : 25045$; $Q_{C3} : 25039$; $Q_{C4} : 25040$)

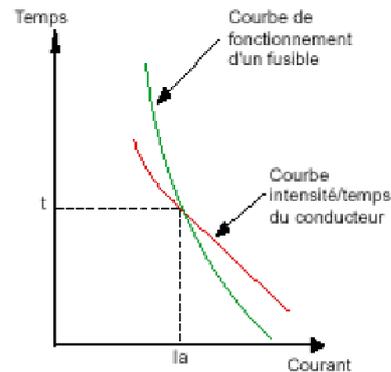
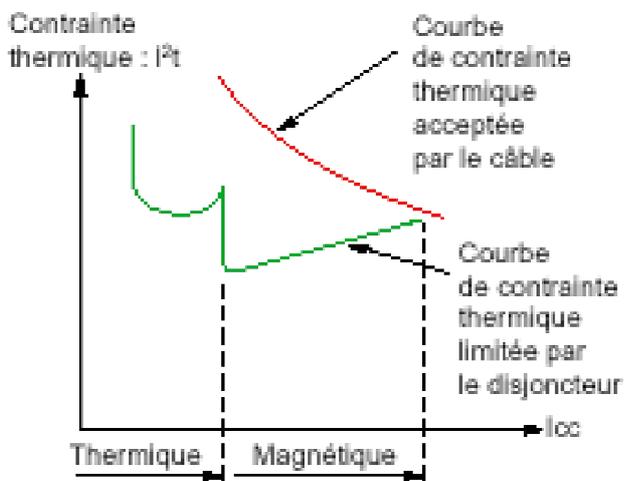
8. Vérification éventuelle de la contrainte thermique :

Le temps de coupure d'un disjoncteur, suite à un court-circuit ayant lieu en un point quelconque d'un circuit, ne doit pas être supérieur au temps portant la température des conducteurs à la limite admissible. Pratiquement, il convient de s'assurer que la contrainte thermique que laisse passer le disjoncteur n'est pas supérieure à celle que peut effectivement supporter le câble. La contrainte thermique maximale (pour des temps inférieurs à 5 s) supportée par une canalisation se calcule par la formule suivante :

$$I^2 t = K^2 \times S^2$$

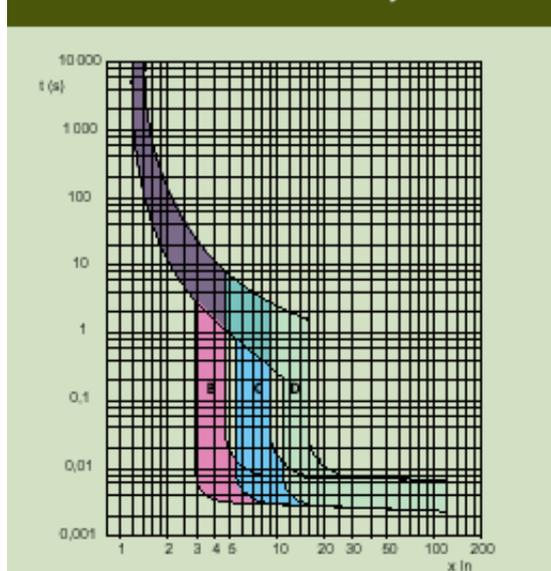
Valeur de K pour les conducteurs actifs et de protection																		
Isolant	PVC			PR / EPR			Caoutchouc 60°C			Caoutchouc 85°C			Caoutchouc siliconé			Nu sans isolant		
θ° max (°C)	160/ 140 ⁽²⁾			250			200			220			350			200/150 ⁽¹⁾		
Nature de l'âme	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier
Conducteur de protection non incorporé à un câble ou conducteurs non-regroupés	143	95	52	176	116	64	159	105	58	166	110	60	201	133	73	159	105	58
	133 ⁽²⁾	88 ⁽²⁾	49 ⁽²⁾													138 ⁽¹⁾	91 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾
Conducteur actif ou de protection constitutif d'un câble multiconducteur ou conducteurs regroupés	115	76		143	94		141	93		134	89		132	87		138	91	50
	103 ⁽²⁾	68 ⁽²⁾																

(1) Si risque particulier d'incendie.
 (2) Section supérieure à 300 mm² ou conducteurs regroupés



La valeur du courant de court-circuit minimum doit être supérieure à la valeur I_{ca}

Courbes de déclenchement des disjoncteurs DX

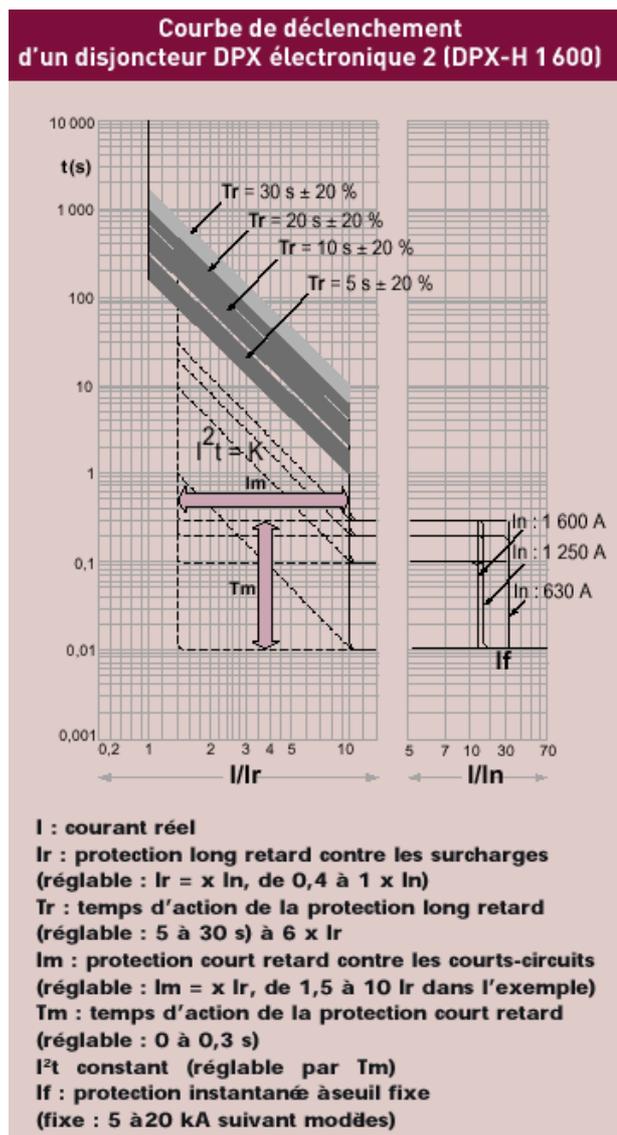
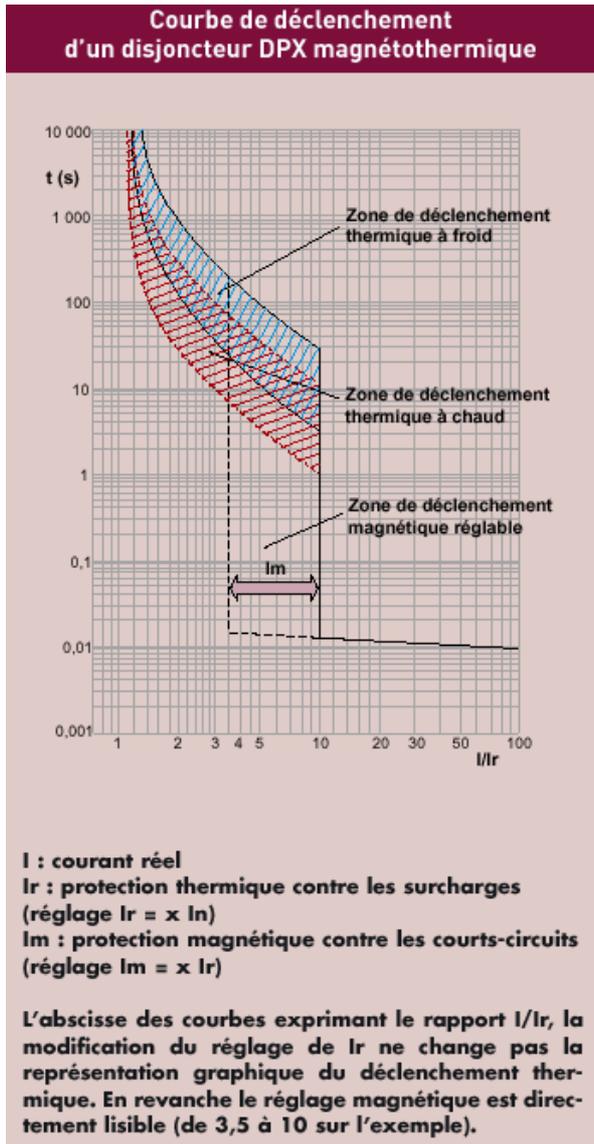


Pour les disjoncteurs magnéto-thermiques divisionnaires la courbe de déclenchement magnétique est réglée en usine selon la norme EN 60898 :

- Courbe B : 3 à 5 In.
- Courbe C : 5 à 10 In.
- Courbe D : 10 à 20 In.

D'autres types de courbes peuvent également être utilisés :

- Courbe Z : 2,4 à 3,6 In
- Courbe MA : 12 à 14 In



Préciser les réglages à effectuer sur le disjoncteur protégeant le câble C4. En déduire les zones de déclenchement et leur temps d'action. ($I_{rC4} = 90 A$; $I_{mC4} = 900 A$)

Calculer la contrainte thermique du câble C4. Au regard de cette valeur, le câble est-il correctement protégé par le disjoncteur ? Combien de temps le câble peut-il supporter la valeur du courant correspondante au réglage magnétique du disjoncteur ?

($I^2 \cdot t_{C4} = 1,08 \times 10^7 A^2 \cdot s$, $I^2_{ZC4} 32900 A$ en 0,01 s donc convient. Pour 900 A, $t = 13 s$, mais plus en phase adiabatique.)

9. Vérification des longueurs maximales protégées :

Pour assurer la protection des personnes en schéma de liaison à la terre TN et IT (au deuxième défaut), il est nécessaire de s'assurer que le plus petit courant de court-circuit fera effectivement fonctionner l'appareil de protection dans le temps limite fixé par la norme (voir courbes de sécurité : $U_L = 50 V$ local sec ou humide, $U_L = 25 V$ local mouillé). Pour cela, il suffit de vérifier que ce courant, est supérieur au seuil de déclenchement du déclencheur magnétique du disjoncteur. Généralement des tableaux permettent de faire ce type de vérification. Voir le cours SLT et exercices.

Vérifier la longueur Max. du câble C4 et conclure. ($L_{max C4} = 104 m$ ne convient pas. Réglage du magnétique de Q_{C4} sur $0,8 \times I_n = 720 A$, pour avoir $L_{max C4} = 124 m$. Protection des personnes assurée)

$$L_{max} = \frac{0,8 \times V \times S}{2 \times \rho \times I_m}$$

L_{max} : longueur maximale protégée, en m

V : tension nominale de l'installation entre phase et neutre, en V. Si le neutre n'est pas distribué, prendre la tension entre phases

S : section des conducteurs, en mm^2

ρ : résistivité du métal constituant l'âme du conducteur, en $\Omega \cdot mm^2/m$

I_m : courant de déclenchement du magnétique du disjoncteur, en A.

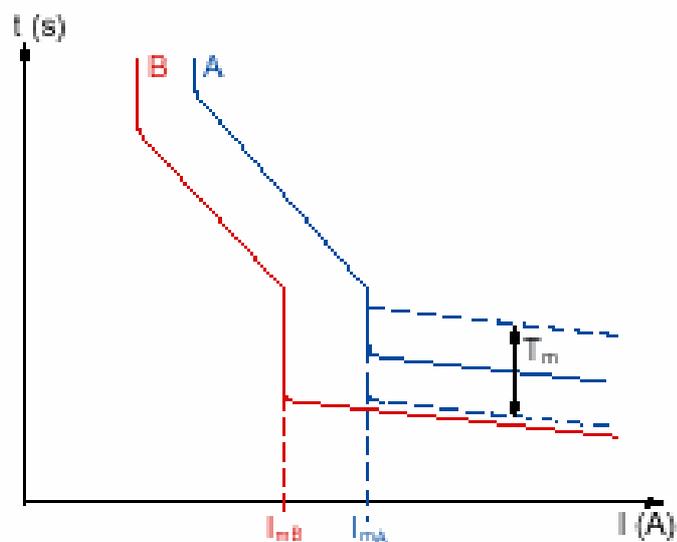
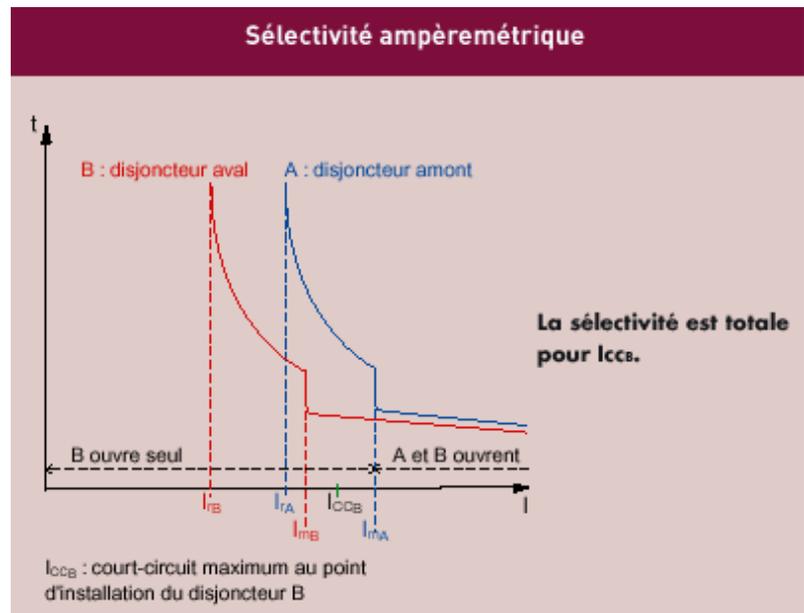
10. La sélectivité entre dispositifs de protection :

La sélectivité est une technique qui consiste à coordonner les protections de manière à ce qu'un défaut sur un circuit ne fasse déclencher que la protection placée en tête de ce circuit, évitant ainsi la mise hors service du reste de l'installation. La sélectivité améliore la continuité de service et la sécurité de l'installation. On distingue :

a) La sélectivité ampèremétrique :

Cette technique repose sur le décalage en intensité des courbes de déclenchement des disjoncteurs amont et aval. Elle se vérifie par comparaison de ces courbes en s'assurant qu'elles ne se chevauchent pas. Elle s'applique pour la zone des surcharges et la zone des courts-circuits et est d'autant meilleure que les calibres des appareils sont éloignés.

- Pour avoir sélectivité dans la zone des surcharges, il faut que le rapport des courants de réglage (I_r) soit au moins égal à 2.
- Pour avoir sélectivité dans la zone de courts-circuits, il faut que le rapport des courants de réglage magnétique (I_m) soit au moins égal à 1,5.
- La limite de sélectivité est alors égale au courant de déclenchement magnétique I_{mA} du disjoncteur amont.



b) La sélectivité chronométrique :

Cette technique repose sur le décalage en temps des courbes de déclenchement des disjoncteurs amont et aval. Elle se vérifie par comparaison des courbes et s'applique pour la sélectivité dans la zone des courts-circuits. Elle s'utilise en complément de la sélectivité ampèremétrique afin d'obtenir une

sélectivité au-delà du

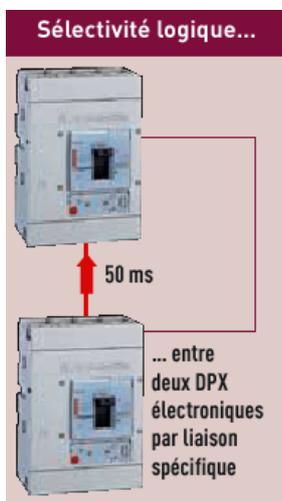
courant de réglage magnétique du disjoncteur amont (I_{mA}).

Le disjoncteur amont doit être temporisable et capable de supporter le courant de court-circuit et ses effets pendant toute la durée de la temporisation. Les canalisations parcourues par ce courant doivent supporter les contraintes thermiques (I^2t).

c) La sélectivité logique :

Elle est assurée entre deux appareils qui communiquent via une liaison spécifique. Lorsque le disjoncteur aval détecte un défaut, il envoie un signal vers l'appareil amont qui sera alors temporisé. Si l'appareil aval n'a pas pu éliminer ce défaut durant la temporisation, il y aura intervention de l'appareil amont.

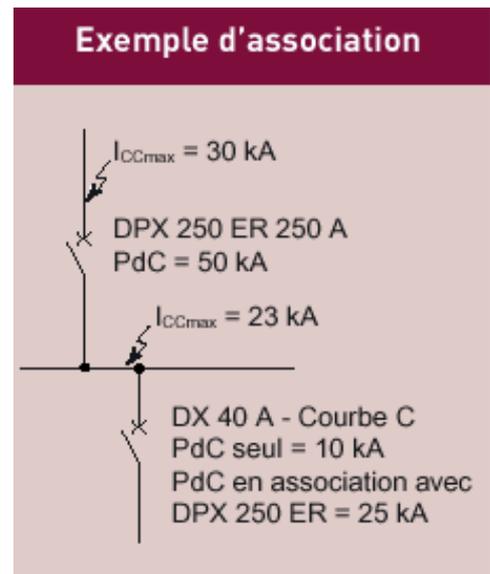
Analyser la sélectivité entre les disjoncteurs C4 et C3. ($I_{rC3} = 0,9 I_n = 56,7 A$; $I_{mC3} = 567 A$; Sélectivité partielle dans la zone des surcharges entre C3 et C4 car $I_{rC4}/2 < I_{rC3}$. Réduire I_{rC3} à $0,7 \times I_n = 44,1 A$, risque de déclenchements)



11. L'association ou filiation :

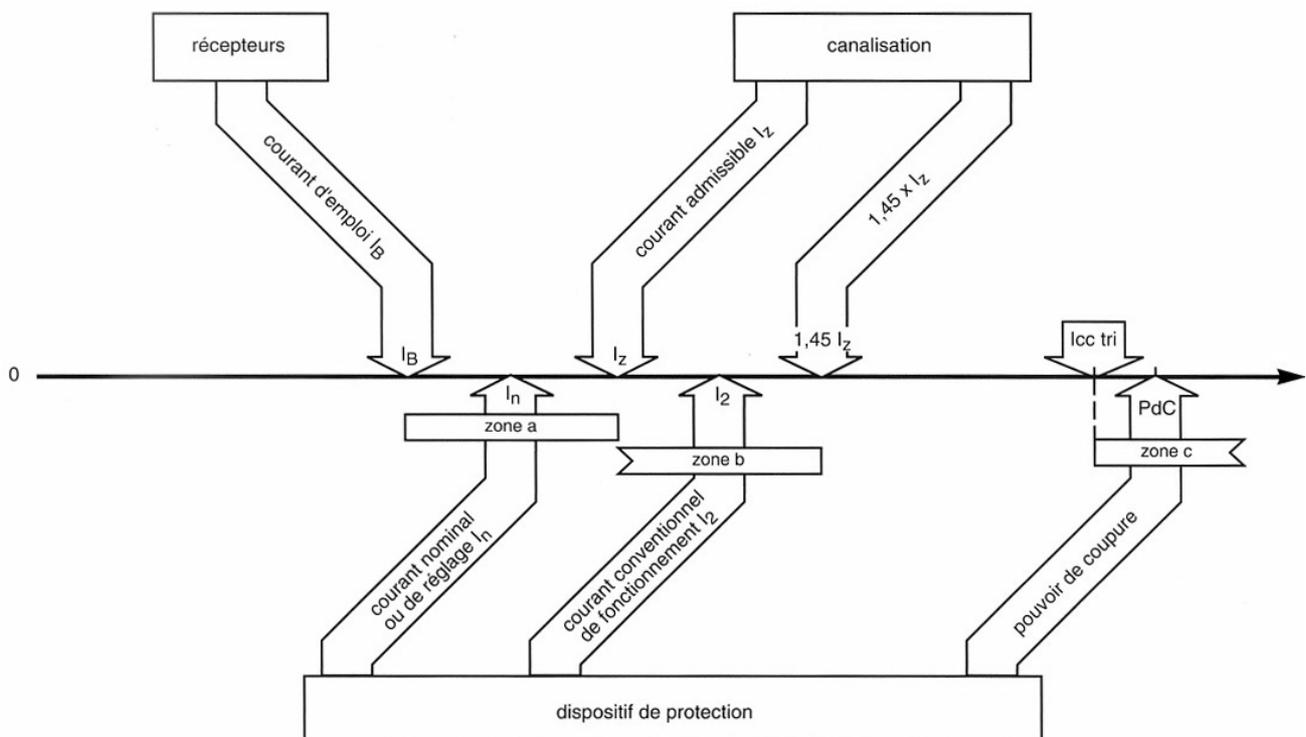
C'est une technique qui permet d'utiliser un appareil de protection possédant un pouvoir de coupure inférieur au courant de court-circuit présumé maximum en son point d'installation (dérogation NF C 15-100, art. 434), à condition qu'un disjoncteur en amont limite la contrainte thermique à la valeur des disjoncteurs placés en aval.

Cette association ou filiation entre disjoncteurs ne peut être fournie que par les constructeurs du matériel concerné à l'aide de tableaux.



Bibliographie : Guide de l'installation électrique Schneider
 Guide Distribution et Puissance Legrand

Résumé



En conformité avec la norme NF C 15-100, un dispositif de protection assure correctement sa fonction si :

- I_n , son courant nominal ou I_r son courant de réglage est situé dans la zone a : $I_B \leq I_n \leq I_Z$.
- I_2 son courant conventionnel est inférieur à $1,45 I_Z$. Zone b : $I_2 < 1,45 \times I_Z$.
- Son pouvoir de coupure PdC est supérieur à l'intensité du courant de court-circuit à l'endroit où il est installé. $PdC \geq I_{CC}$.

Le courant conventionnel I_2 d'un dispositif de protection est celui qui certifie son fonctionnement

- dans le temps conventionnel 1h ou 2 h suivant le calibre pour un fusible, appelé courant de fusion I_f .
- $I_2 = 1,45 \times I_Z$ pour un disjoncteur domestique (NF C 61-410).
- $I_2 = 1,30 \times I_Z$ pour un disjoncteur industriel (NF C 61-201).