



UTE
C 13-205
Juillet 1994

UNION TECHNIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Installations électriques à haute tension

GUIDE PRATIQUE

DÉTERMINATION DES SECTIONS DE CONDUCTEURS ET CHOIX DES DISPOSITIFS DE PROTECTION

Determination of cross-sectional area of conductors and
selection of protective devices

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	4
A DÉTERMINATION DU COURANT MAXIMAL D'EMPLOI	9
B DÉTERMINATION DES COURANTS ADMISSIBLES	9
B.1 Règle générale	9
B.2 Modes de pose	9
B.3 Valeurs des courants admissibles dans les câbles	13
B.4 Facteurs de correction	25
B.5 Courants admissibles dans les conducteurs nus	28
B.6 Conditions de mise à la terre des écrans de câbles	30
B.6.1 Câbles unipolaires	30
B.6.2 Câbles tripolaires	31
C COURANTS DE COURT-CIRCUIT	32
C.1 Généralités	32
C.2 Calcul des courants de court-circuit	32
C.2.2 Courants de court-circuits maximaux	32
C.2.3 Courants de court-circuit minimaux	33
C.3 Valeurs des différentes impédances	34
C.3.1 Conducteurs	34
C.3.2 Caractéristiques des sources	34
C.3.3 Contribution des moteurs	36
C.3.4 Sources en parallèle	37
C.3.5 Niveaux de tension	37
ANNEXE C.1 – Réactance homopolaire des transformateurs	38
D COURANTS DE DÉFAUT	40
D.1 Protection contre les contacts indirects – Règle générale	40
D.2 Application aux schémas TTx et TNx	40
D.3 Application aux schémas ITx	42
D.4 Tensions de pas	42
ANNEXE D.1 – Capacité des câbles	47

Pages

ANNEXE D.2	- Courant de surintensité de courte durée admissibles dans les écrans des câbles à isolation synthétique extrudée	50
E	VÉRIFICATION DES CONTRAINTES THERMIQUES DES CONDUCTEURS	50
F	CHUTES DE TENSION	54

INTRODUCTION

Domaine d'application

Le présent Guide s'applique aux installations électriques de tension supérieure à 1 000 volts en courant alternatif, suivant les règles de la norme NF C 13-200.

Il donne notamment les méthodes de calcul des différents éléments des installations permettant de satisfaire aux règles de la norme.

Sections des conducteurs

Les sections des conducteurs sont choisies pour satisfaire aux conditions suivantes :

- Courant admissible au moins égal au courant d'emploi de la canalisation (I_B), affecté éventuellement de facteurs d'utilisation et de simultanéité S 1
- Contraintes thermiques admissibles en fonction du courant de court-circuit maximal I_{cc3} S 3
- Contraintes thermiques admissibles en fonction du courant de défaut I_d S 3

La section des conducteurs est la plus grande des sections S 1, S 2 et S 3.

Courants admissibles (chapitre B)

Les valeurs de courants admissibles pour les câbles isolés au papier imprégné ont été supprimés du fait que ces câbles ne sont plus fabriqués et bien qu'il en existe encore dans les installations en service.

Cette suppression concerne celle des tableaux 52 C 13, 52 C 26 et 52 C 36 de la NF C 13-200.

Pour chacun des tableaux de courants admissibles, ont été ajoutées les valeurs des coefficients A et b de la formule ayant servi aux calculs des courants admissibles ; cette formule permet d'effectuer les calculs dans les logiciels.

Courants de court-circuit (chapitre C)

La méthode de calcul des courants de court-circuit est la méthode des impédances d'après la Publication 909 de la CEI et résumée dans l'annexe de la partie 4 de la NF C 13-200.

Les courants de court-circuit sont calculés en régime transitoire qui est généralement celui pendant lequel les dispositifs de protection interviennent.

Il n'est pas tenu compte du régime permanent dans lequel les courants de court-circuit sont nettement plus faibles pour les générateurs et les moteurs.

Le régime subtransitoire est utilisé uniquement pour les efforts électrodynamiques.

Il n'est pas tenu compte des impédances des jeux de barres et des appareillages dont les valeurs sont très faibles par rapport à celles des autres éléments de l'installation.

Des valeurs moyennes sont données pour permettre d'effectuer des calculs en l'absence d'informations précises.

Courants de défaut (chapitre D)

Les calculs des courants de défaut reposent sur les mêmes hypothèses que ceux des courants de court-circuit.

Ils tiennent compte en outre des schémas des liaisons à la terre.

L'article D 4 donne des informations sur l'évaluation des tensions de pas à l'approche de la zone d'influence de la liaison équipotentielle principale, mais il paraît difficile de donner une méthode de calcul qui devrait faire intervenir les conditions locales d'installation.

Choix des dispositifs de protection

Le courant assigné d'un dispositif de protection est choisi pour satisfaire aux conditions suivantes :

- en fonction du courant d'emploi I_B $I_n \geq I_B$
- son courant de fonctionnement instantané ($I_m = \mu I_n$) doit être au plus égal :
 - au courant de court-circuit minimal I_{cc2} de la canalisation qu'il protège,
 - au courant de défaut I_d suivant le schéma des liaisons à la terre.

Lorsque la protection est assurée par disjoncteurs, le courant de fonctionnement instantané (I_m) est au plus égal au plus petit des courants I_{cc2} et I_d , divisé par 1,2 pour tenir compte des tolérances de fabrication.

Lorsque la protection est assurée par des fusibles, le courant de fusion en 100 millisecondes est au plus égal au plus petit des courants I_{cc2} ou I_d .

Lorsqu'une installation peut être alimentée par plusieurs sources (transformateurs, alternateurs) pouvant fonctionner en parallèle ou séparément, les dispositions suivantes sont à respecter :

- la canalisation alimentée par le circuit secondaire d'un transformateur est protégée par le dispositif protégeant le circuit primaire du transformateur, à condition que le courant de fonctionnement instantané I_m de ce dispositif soit réglé pour le courant I_{cc2} ou I_d – suivant le plus petit – de la canalisation, multiplié par le facteur de transformation inverse du transformateur (voir figure 1),
- la même canalisation peut comporter à son extrémité un dispositif de protection destiné à la protéger contre les courants de court-circuit ou de défaut provenant des autres sources ; dans ce cas, le courant de fonctionnement instantané de ce dispositif doit être réglé pour le courant I_{cc2} ou I_d – suivant le plus petit – provenant des autres sources pouvant fonctionner simultanément et pouvant réalimenter cette canalisation en retour (voir figure 2).

En aucun cas, le courant de fonctionnement instantané d'un dispositif de protection (I_m) ne doit être inférieur à deux fois le courant maximal d'emploi de la canalisation qu'il protège.

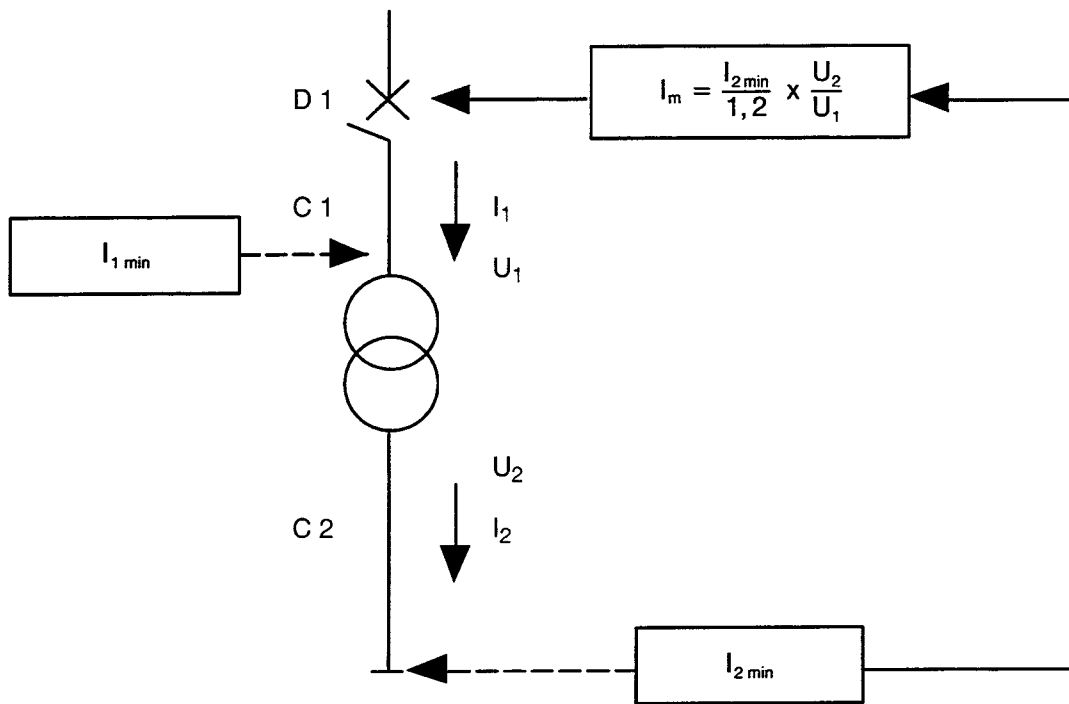


Figure 1 – Protection de la canalisation C 2 assurée par le dispositif D 1 (à condition que $I_m \leq I_1 \text{ minimal}$)

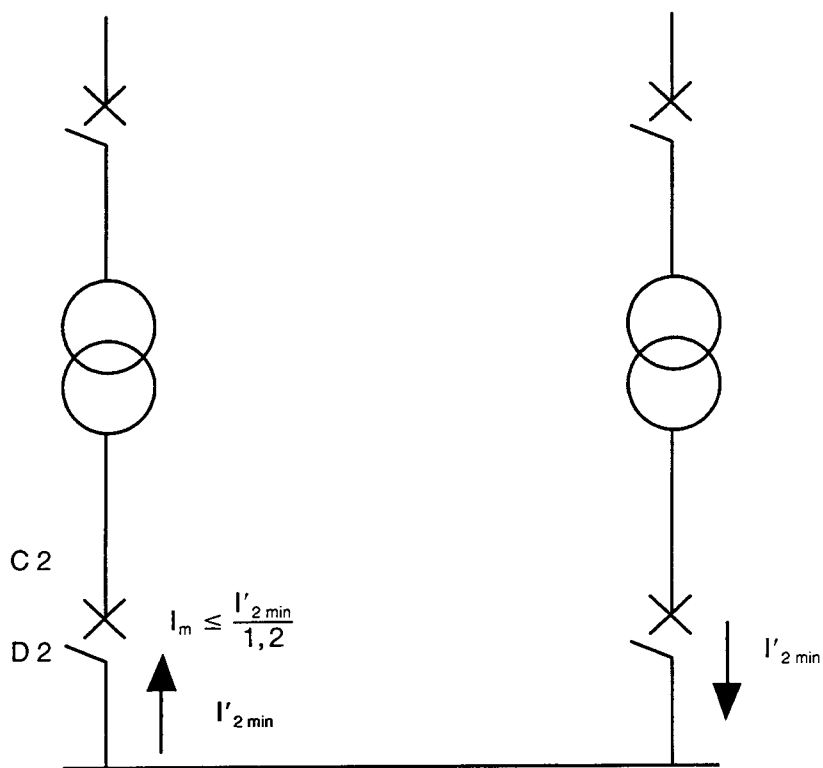


Figure 2 – Protection d'une canalisation à son extrémité (à condition que $I_m \geq 2 I_B$)

Il peut être nécessaire de tenir compte des courants d'appel des matériels alimentés, notamment pour les transformateurs, les moteurs, les condensateurs, ... , par exemple en temporisant le fonctionnement des dispositifs de protection, à condition que le retard soit compatible avec les autres règles de protection, notamment pour les contraintes thermiques.

Vérification des contraintes thermiques (chapitre E)

Ce chapitre résume les conditions dans lesquelles doivent être vérifiées les contraintes thermiques des conducteurs.

Il est à noter que les courants pris en considération pour ces vérifications sont ceux déterminés pour le régime transitoire et non pour le régime permanent qui correspond au temps (jusqu'à une seconde) pour lequel les contraintes thermiques sont généralement indiquées. Cette référence, qui est prise dans un but de simplification, va dans le sens de la sécurité.

Chutes de tension (chapitre F)

Le calcul des chutes de tension n'est pas traité dans la NF C 13-220, ni les limites à ne pas dépasser.

Il a paru utile de donner les formules de calcul, bien que généralement les chutes de tension soient très faibles, sauf pour certaines alimentations de grande longueur.

Application aux programmes de calcul informatisés

Les indications du présent Guide servent de référence pour la vérification des programmes de calcul informatisés dans le cadre de l'attribution de l'Avis technique par l'Union technique de l'Electricité (procédure 13-L-200).

**DÉTERMINATION DES SECTIONS DE CONDUCTEURS
ET CHOIX DES DISPOSITIFS DE PROTECTION**

	Section des conducteurs	Dispositif de protection	NF C 13-200	C 13-205
1. DÉTERMINATION DU COURANT D'EMPLOI I_B			311	A
2. COURANTS ADMISSIBLES (I_2) Modes de pose Facteurs de correction - température f_1 - groupement f_2 $f=2 (f_1 \times f_2 \times \dots)$ - nature des conducteurs $I_z \geq \frac{I_B}{f}$	S_1		523	B 1 B 2 Tab. 52 A B 3 Tableaux 52 B 52 C
3. COURTS-CIRCUITS Maximal $I_{cc3} \rightarrow S_2 \geq \frac{I_{cc3}^2 t}{k}$ Maximal I_{cc2}	S_2	I_n	432	C C 3, E C 4
4. COURANTS DE DÉFAUT I_d $S_3 \geq \frac{I_d^2 t}{k}$ - Schéma TNR $I_d \geq \mu I_n$ - Schéma TTx $I_d \geq I_{\Delta n}$ - Schéma I_{xx} $I_{cc2} \geq \mu I_n$	S_3	I_n $I_{\Delta n}$ I_n	413	D E D 2.1 D 2.2 D 3
6. CHUTES DE TENSION			-	F

A DÉTERMINATION DU COURANT MAXIMAL D'EMPLOI

Le courant maximal d'emploi d'une canalisation (I_B) est déterminé d'après la somme des puissances alimentées par cette canalisation, en appliquant si nécessaire des facteurs d'utilisation et de simultanéité.

Le plus souvent, une canalisation alimente un seul appareil d'utilisation, tel qu'un transformateur, un moteur, un four ou une chaudière. Dans ce cas, le courant d'emploi est pris égal au courant assigné de l'appareil alimenté.

Lorsqu'une même canalisation alimente plusieurs appareils tels que des moteurs, le courant d'emploi est pris égal à la somme des courants absorbés par les moteurs pouvant fonctionner simultanément.

Dans la détermination du courant d'emploi, il peut être nécessaire de tenir compte des courants d'appel des matériels alimentés, notamment dans le cas de démarrages fréquents.

B DÉTERMINATION DES COURANTS ADMISSIBLES

B.1 Règle générale

La valeur du courant admissible I_z est déterminée en fonction du courant d'emploi I_B du circuit par la relation :

$$I_z = \frac{I_B}{f}$$

I_B Courant d'emploi du circuit, en ampères.

f facteur global de correction, en fonction :

- de la température Tableaux 52 D1-D2
 - du groupement des câbles ou conducteurs Tableaux 52 E1-E2
 - de la résistivité thermique du sol pour les câbles entrés Tableau 52 D3
- Valeurs des courants admissibles Tableaux 52 C
suivant indications
du tableau 52 BA

B.2 Modes de pose

Les tableaux 52 C indiquent les courants admissibles pour des canalisations constituées :

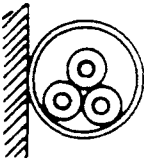
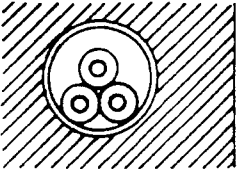
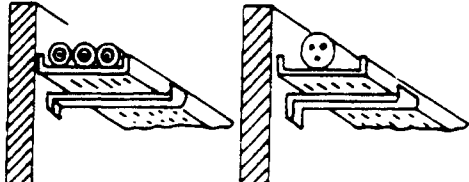
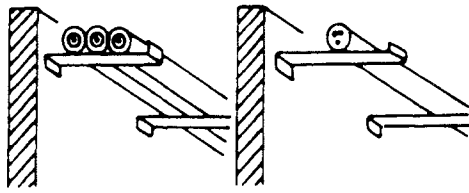
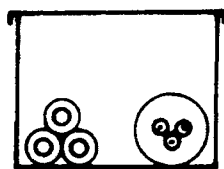
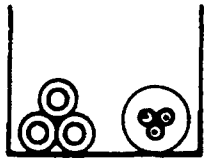
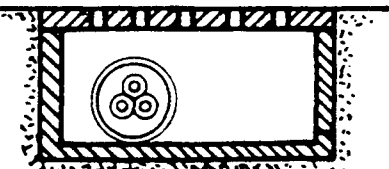
- soit par un câble tripolaire,
- soit par trois câbles unipolaires :
 - en triangle ou en nappe lorsqu'ils sont enterrés,
 - en triangle ou en nappe lorsqu'ils sont installés à l'air libre,

Le tableau BA indique, pour chacun des modes de pose décrits dans le tableau 52 A de la NF C 13-200 :

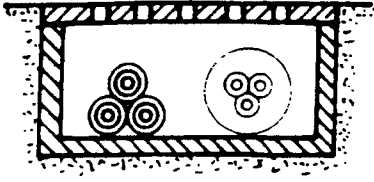
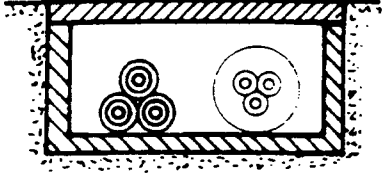
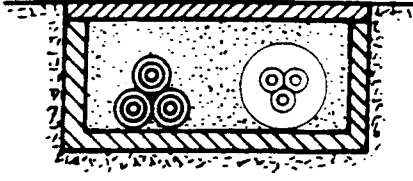

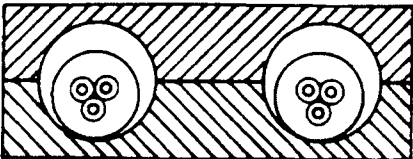
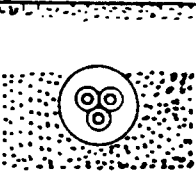
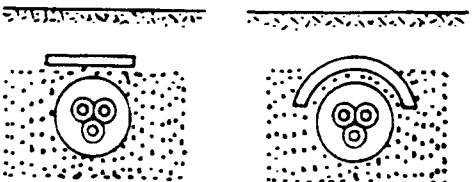
- les colonnes des tableaux 52 C à utiliser pour la détermination des courants admissibles,
- les tableaux donnant les facteurs de correction à appliquer éventuellement.

TABLEAU BA

DÉTERMINATION DES COURANTS ADMISSIBLES

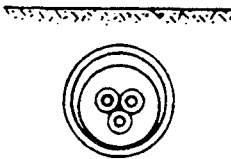
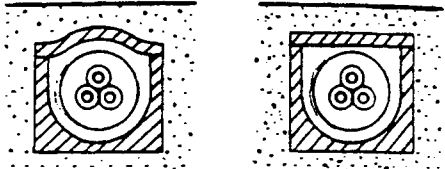
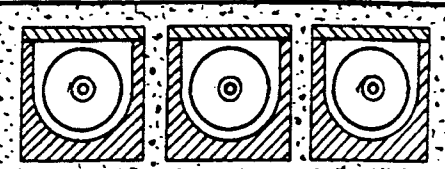
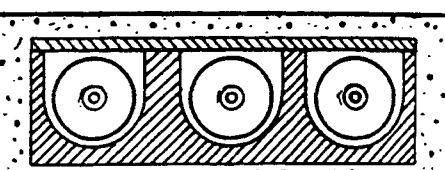

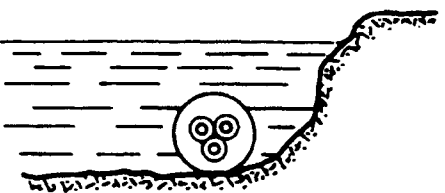
Mode de pose	Exemple	Colonne des tableaux	Facteurs de correction	
			f ₁	f ₂
A Conduits en montage apparent		(3) x 0,90	D 1	E 2 ligne F
B Conduits en montage encastré		(3) x 0,90	D 1	E 2 ligne F
F Pose sur chemins de câbles ou tablettes		(3)	D 1	E 2 ligne F
G Pose sur corbeaux ou sur échelles à câbles		(3)	D 1	E 2 ligne G
H Goulottes (fermées)		(3) x 0,90	D 1	E 2 ligne F
J Gouttières (goulottes ouvertes)		(3)	D 1	E 2 ligne G
L1 Conduits dans caniveaux ouverts ou ventilés		(3) x 0,80	D 1	E 2 ligne F

f₁ Température ambiantef₂ Groupement de câbles

Mode de pose	Exemple	Colonne des tableaux	Facteurs de correction			
			f ₁	f ₂	f ₃	
L3 Pose directe dans caniveaux ouverts ou ventilés		(3) x 0,90	D 1	E 2 ligne F	-	
L4 Pose direct dans caniveaux fermés		(3) x 0,80	D 1	E 2 ligne F	-	
L5 Pose directe dans des caniveaux remplis de sable		(3) x 0,80	D 1	E 2 ligne F	-	
N Alvéoles		(3) x 0,90	D 1	E 2 ligne F	-	
P Blocs manufacturés		(3) x 0,90	D 1	E 2 ligne F	-	
S1 Enterré directement (câbles armés)		P	D	D 2	E 1	D 3
		(1)	(2)			
S2 Enterré avec protection mécanique		(1)	(2)	D 2	E 1	D 3

f₁ Température ambiante
 f₂ Groupement de câbles
 f₃ Résistivité du sol

P Régime permanent
 D Régime discontinu

Mode de pose	Exemple	Colonne des tableaux		Facteurs de correction		
		P	D	f ₁	f ₂	f ₃
S3 Enterré dans des fourreaux		(1) x 0,80	(2) x 0,80	D 2	E 1	D 3
S4 Câbles posés en trèfle sur caniveau préfabriqué, enterré directement dans le sol avec, éventuellement, apport de remblai contrôlé		(1) x 0,80	(2) x 0,80	D 2	E 1	D 3
S5 Câbles unipolaires posés en caniveaux individuels, enterrés directement dans le sol avec, éventuellement, apport de remblai contrôlé		(1) x 0,80	(2) x 0,80	D 2	E 1	D 3
S6 Câbles unipolaires posés en nappe espacée dans un caniveau préfabriqué, enterré directement dans le sol avec, éventuellement, apport de remblai contrôlé		(1) x 0,80	(2) x 0,80	D 2	E 1	D 3
V Lignes aériennes		(3) x 1,10		D 1	-	-
W Immersion dans l'eau		A l'étude				

f₁ Température ambiante
 f₂ Groupement de câbles
 f₃ Résistivité du sol

P Régime permanent
 D Régime discontinu

B.3 Valeurs des courants admissibles dans les câbles

Le tableau à utiliser est indiqué dans le tableau 52 B suivant la nature du câble, son isolant et sa tension assignée.

Les valeurs de courants admissibles peuvent être calculées par application de la formule :

$$I = 10^A \cdot \log S \cdot B = 10^B \times S^A$$

où I = intensité admissible (A)

S = section conventionnelle des câbles (mm²)

A et B = deux coefficients dont les valeurs sont données sous chaque tableau.

Ces formules permettent de retrouver les valeurs des tableaux à ± 5 % près. Conformément à la CEI 502, il est recommandé d'utiliser pour les calculs la section de 47,5 mm² au lieu de 50 mm².

TABLEAU 52 B

Référence des tableaux de courants admissibles

Canalisations	Isolation	Tension assignée (kV)		
		≤ 6/6	≤ 6/10	≤ 18/30
Câbles tripolaires à champ non radial	PVC	52 C 11	—	—
	EPR	52 C 12	—	—
			—	—
3 câbles unipolaires	PVC	—	52 C 21	—
	PE	—	52 C 22	52 C 24
	PR – EPR	—	52 C 23	52 C 25
Câbles tripolaires à champ radial	PVC	—	52 C 31	—
	PE	—	52 C 32	52 C 34
	PR – EPR	—	52 C 33	52 C 35

Les tableaux 52 B et 52 C ne comportent pas les valeurs de courants admissibles pour les câbles isolés au papier imprégné qui ne sont plus fabriqués.

Néanmoins, pour permettre les calculs d'extensions d'installations réalisées avec des câbles isolés au papier imprégné, le tableau suivant donne les valeurs des coefficients A et B permettant le calcul des courants admissibles à l'aide de la formule ci-dessus.

Canalisations	Colonnes	Cuivre		Aluminium	
		A	B	A	B
Câbles tripolaires à champ non radial	1	0,540	1,446	0,549	1,321
	2	0,543	1,492	0,544	1,386
	3	0,588	1,371	0,598	1,293
3 câbles unipolaires	1	0,556	1,269	0,571	1,130
	2	0,567	1,286	0,573	1,179
	3	0,587	1,196	0,605	1,064
Câbles tripolaires à champ radial	1	0,581	1,215	0,594	1,089
	2	0,573	1,264	0,578	1,155
	3	0,600	1,117	0,608	1,004

TABLEAU 52 C 11

**Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ non radial
de tension assignée inférieure ou égale à 6/6 (7,2) kV**

Câbles isolés au polychlorure de vinyle (PVC)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²) **	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
72	78	62	10	56	61	48
94	100	81	16	72	79	62
120	130	105	25	94	100	82
145	160	130	35	115	125	100
185	205	165	50	145	160	130
225	250	205	70	175	195	160
270	300	250	95	210	235	195
310	345	290	120	240	270	225
345	390	330	150	270	300	255
385	430	370	185	300	335	285
445	500	440	240	350	390	345

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.
(**) A partir de 50 mm², les valeurs sont calculées pour des câbles à âme sectoriale.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	240	0,581	1,281
	2	10	240	0,594	1,297
	3	10	240	0,617	1,175
Alu	1	10	240	0,588	1,161
	2	10	240	0,596	1,184
	3	10	240	0,632	1,036

TABLEAU 52 C 12

**Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ non radial
de tension assignée inférieure ou égale à 6/6 (7,2) kV**

Câbles isolés au caoutchouc éthylène-propylène (EPR) ou au polyéthylène réticulé (PR)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²) **	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
86	94	78	10	67	73	60
110	120	100	16	86	94	79
145	155	130	25	110	120	105
170	190	165	35	135	145	125
215	240	205	50	165	185	160
260	295	255	70	205	230	195
315	355	310	95	245	275	240
360	405	360	120	280	315	280
405	455	410	150	315	355	320
450	505	460	185	350	395	360
525	590	550	240	410	460	430

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.
(**) A partir de 50 mm², les valeurs sont calculées pour des câbles à âme sectoriale.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	240	0,582	1,344
	2	10	240	0,596	1,366
	3	10	240	0,636	1,238
Alu	1	10	240	0,580	1,236
	2	10	240	0,594	1,258
	3	10	240	0,625	1,145

TABLEAU 52 C 21

Courants admissibles dans les circuits constitués par trois câbles unipolaires
de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV

Câbles isolés au polychlorure de vinyle (PVC)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
80	89	71	10	62	69	55
105	115	95	16	80	89	73
135	150	125	25	105	115	96
160	180	150	35	125	140	115
190	215	180	50	150	170	140
235	265	230	70	180	205	175
285	320	280	95	220	250	215
320	365	320	120	250	285	250
360	410	370	150	280	320	285
410	470	425	185	320	365	330
475	540	500	240	370	425	390
540	610	580	300	420	485	455
610	700	670	400	480	550	530
680	780	760	500	540	630	610
770	880	870	630	620	720	710
850	980	990	800	700	810	820
930	1 070	1 110	1 000	780	900	940
980	1 130	1 210	1 200	840	970	1 030
1 030	1 190	1 290	1 400	890	1 030	1 110
1 080	1 250	1 360	1 600	940	1 080	1 180

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	630	0,540	1,376
	2	10	630	0,548	1,410
	3	10	630	0,601	1,256
	1	630	1600	0,364	1,867
	2	630	1600	0,378	1,887
	3	630	1600	0,493	1,559
Alu	1	10	630	0,550	1,252
	2	10	630	0,568	1,266
	3	10	630	0,620	1,115
	1	630	1600	0,453	1,525
	2	630	1600	0,448	1,602
	3	630	1600	0,560	1,284

TABLEAU 52 C 22

Courants admissibles dans les circuits constitués par trois câbles unipolaires de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV

Câbles isolés au polyéthylène (PE)**

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1)*	(2)*	(3)*		(1)*	(2)*	(3)*
86	97	76	10	67	76	59
110	125	100	16	86	97	78
140	160	130	25	110	125	100
170	195	160	35	130	150	125
200	230	190	50	160	180	150
245	285	240	70	190	220	185
295	340	295	95	230	265	230
335	385	340	120	260	300	265
375	435	385	150	290	335	300
425	490	445	185	330	380	345
490	570	530	240	385	445	410
550	640	600	300	435	500	470
600	690	700	400	495	580	550
700	810	790	500	560	650	640
790	920	920	630	640	750	750
870	1010	1040	800	720	840	860
950	1100	1160	1000	800	930	980
1000	1160	1260	1200	860	1000	1080
1050	1220	1350	1400	910	1060	1160
1100	1280	1420	1600	950	1110	1230

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.
 (**) Pour les câbles dont l'isolation est en polyéthylène haute densité (PEHD), les valeurs sont à multiplier par :
 1,05 pour les colonnes (1) et (2)
 1,06 pour la colonne (3)

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	630	0,536	1,396
	2	10	630	0,542	1,446
	3	10	630	0,606	1,266
	1	630	1600	0,356	1,900
	2	630	1600	0,353	1,974
	3	630	1600	0,480	1,619
Alu	1	10	630	0,546	1,278
	2	10	630	0,555	1,320
	3	10	630	0,624	1,127
	1	630	1600	0,440	1,572
	2	630	1600	0,433	1,662
	3	630	1600	0,546	1,346

TABLEAU 52 C 23

Courants admissibles dans les circuits constitués par trois câbles unipolaires
de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV

Câbles isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
99	110	93	10	77	87	72
125	145	120	16	98	110	95
165	185	160	25	125	145	125
195	225	200	35	150	175	150
230	265	235	50	180	205	185
285	325	295	70	220	250	230
340	390	360	95	260	300	280
385	445	420	120	300	345	325
430	500	475	150	335	385	370
485	560	550	185	380	440	425
560	650	650	240	440	510	510
630	730	740	300	500	580	580
720	840	860	400	570	660	680
800	940	990	500	640	750	790
910	1 060	1 140	630	740	860	920
1 000	1 170	1 300	800	830	970	1 070
1 100	1 270	1 450	1 000	920	1 070	1 220
1 160	1 350	1 570	1 200	990	1 150	1 340
1 220	1 420	1 680	1 400	1 050	1 230	1 450
1 280	1 480	1 770	1 600	1 100	1 290	1 530

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	630	0,533	1,467
	2	10	630	0,542	1,509
	3	10	630	0,605	1,364
	1	630	1600	0,367	1,931
	2	630	1600	0,366	2,000
	3	630	1600	0,487	1,697
Alu	1	10	630	0,550	1,328
	2	10	630	0,560	1,367
	3	10	630	0,614	1,242
	1	630	1600	0,438	1,642
	2	630	1600	0,448	1,680
	3	630	1600	0,570	1,369

TABLEAU 52 C 24

Courants admissibles dans les circuits constitués par trois câbles unipolaires de tension assignée supérieure à 6/6 (7,2) kV et inférieure ou égale à 18/30 (36) kV

Câbles isolés au polyéthylène (PE)**

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1)*	(2)*	(3)*		(1)*	(2)*	(3)*
110	125	105	16	86	96	81
140	160	135	25	110	125	105
170	195	165	35	130	150	130
200	230	200	50	155	180	155
250	280	250	70	190	220	190
295	335	300	95	230	260	235
335	385	350	120	260	300	270
375	430	395	150	290	335	305
425	490	455	185	330	380	355
490	560	530	240	385	445	420
550	640	610	300	435	500	480
630	720	710	400	495	570	560
700	810	810	500	560	650	650
790	920	930	630	640	740	750
870	1010	1050	800	720	830	860
960	1100	1180	1000	800	930	990
1 010	1170	1270	1200	860	1000	1090
1 070	1240	1360	1400	920	1060	1170
1 110	1290	1430	1600	960	1110	1240

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.
 (**) Pour les câbles dont l'isolation est en polyéthylène haute densité (PEHD), les valeurs sont à multiplier par :
 1,05 pour les colonnes (1) et (2)
 1,06 pour la colonne (3)

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	16	630	0,532	1,410
	2	16	630	0,542	1,446
	3	16	630	0,594	1,306
	1	630	1600	0,381	1,830
	2	630	1600	0,363	1,949
	3	630	1600	0,476	1,636
Alu	1	16	630	0,546	1,277
	2	16	630	0,556	1,313
	3	16	630	0,606	1,179
	1	630	1600	0,454	1,534
	2	630	1600	0,450	1,609
	3	630	1600	0,557	1,316

TABLEAU 52 C 25

Courants admissibles dans les circuits constitués par trois câbles unipolaires de tension assignée supérieure à 6/6 (7,2) kV et inférieure ou égale à 18/30 (36) kV

Câbles isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
125	140	130	16	98	110	99
165	185	170	25	125	140	130
195	220	200	35	150	170	160
230	260	245	50	180	205	190
280	320	305	70	220	250	235
335	385	375	95	260	300	290
385	440	425	120	300	340	330
430	495	485	150	335	385	375
490	560	560	185	380	435	430
560	650	660	240	440	510	510
640	730	750	300	500	570	590
720	830	870	400	570	660	680
810	940	1 000	500	640	740	790
910	1 060	1 150	630	740	850	930
1 010	1 170	1 300	800	830	960	1 060
1 110	1 280	1 470	1 000	930	1 070	1 230
1 180	1 360	1 590	1 200	1 000	1 160	1 350
1 240	1 440	1 700	1 400	1 060	1 230	1 450
1 290	1 500	1 790	1 600	1 110	1 290	1 540

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.mW.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	16	630	0,529	1,478
	2	16	630	0,541	1,511
	3	16	630	0,592	1,402
	1	630	1600	0,386	1,874
	2	630	1600	0,384	1,951
	3	630	1600	0,490	1,690
Alu	1	16	630	0,551	1,326
	2	16	630	0,559	1,365
	3	16	630	0,610	1,262
	1	630	1600	0,450	1,609
	2	630	1600	0,463	1,634
	3	630	1600	0,556	1,411

TABLEAU 52 C 31

**Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial
de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV**

Câbles isolés au polychlorure de vinyle (PVC)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
80	87	71	10	62	68	55
100	115	90	16	79	87	71
130	145	120	25	100	115	93
160	175	145	35	120	135	115
185	205	175	50	145	160	135
230	255	215	70	180	195	165
275	305	260	95	210	235	205
310	345	300	120	240	270	235
345	385	340	150	270	300	265
390	435	385	185	305	340	300
450	500	450	240	350	390	355
500	560	520	300	395	440	405

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	300	0,555	1,331
	2	10	300	0,550	1,389
	3	10	300	0,594	1,239
Alu	1	10	300	0,550	1,236
	2	10	300	0,554	1,272
	3	10	300	0,594	1,135

TABLEAU 52 C 32

Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV

Câbles isolés au polyéthylène (PE)**

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1)*	(2)*	(3)*		(1)*	(2)*	(3)*
85	94	75	10	66	73	58
110	120	98	16	84	94	76
140	155	125	25	110	120	99
165	190	155	35	130	145	120
195	220	185	50	150	170	140
240	270	230	70	185	210	175
285	320	275	95	220	250	215
325	365	315	120	250	285	245
365	415	365	150	285	325	280
410	465	410	185	320	360	320
475	530	485	240	370	420	380
530	605	560	300	420	475	435

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.
(**) Pour les câbles dont l'isolation est en polyéthylène haute densité (PEHD), les valeurs sont à multiplier par :
1,05 pour les colonnes (1) et (2)
1,06 pour la colonne (3)

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	300	0,540	1,391
	2	10	300	0,548	1,419
	3	10	300	0,590	1,280
Alu	1	10	300	0,548	1,265
	2	10	300	0,553	1,308
	3	10	300	0,594	1,154

TABLEAU 52 C 33

**Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial
de tension assignée inférieure ou égale à 6/10 (12) kV**

Câbles isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
97	110	92	10	75	84	71
125	140	120	16	96	110	92
160	180	155	25	125	140	120
190	215	190	35	150	165	145
225	250	225	50	175	195	175
275	310	280	70	215	240	215
330	370	340	95	255	285	260
370	420	385	120	290	325	300
420	475	445	150	325	370	345
470	535	510	185	365	415	395
540	610	590	240	425	480	465
610	690	680	300	480	540	530

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.m/W.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	10	300	0,540	1,446
	2	10	300	0,543	1,492
	3	10	300	0,588	1,371
Alu	1	10	300	0,549	1,321
	2	10	300	0,544	1,386
	3	10	300	0,598	1,243

TABLEAU 52 C 35

Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial
de tension assignée supérieure à 6/6 (7,2) kV et inférieure ou égale à 18/30 (36) kV

Câble isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90°C

Température ambiante : 30°C dans l'air, 20°C enterré

AMES EN CUIVRE			SECTION NOMINALE (mm ²)	AMES EN ALUMINIUM		
(1) *	(2) *	(3)		(1) *	(2) *	(3)
125	140	125	16	96	105	95
160	175	160	25	125	135	125
190	210	195	35	145	165	150
225	250	230	50	175	195	175
270	305	280	70	210	235	220
330	370	345	95	255	285	265
370	420	395	120	290	325	305
415	465	450	150	320	360	345
465	525	510	185	360	410	395
540	610	600	240	420	475	470

(*) Valeurs données pour un terrain de résistivité thermique moyenne de 1 K.mW.

Métal	Colonne	Domaine en section		A	B
		de	à		
Cu	1	16	240	0,540	1,446
	2	16	240	0,543	1,487
	3	16	240	0,579	1,394
Alu	1	16	240	0,545	1,326
	2	16	240	0,557	1,350
	3	16	240	0,590	1,262

B.4 Facteurs de correction

TABLEAU 52 D 1

Facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30°C à appliquer aux valeurs de référence des courants admissibles pour câbles dans l'air

(Colonnes (3) des tableaux 52C)

TEMPERATURE °C	NATURE DE L'ISOLANT	
	PVC PE	PR EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76

TABLEAU 52 D 2

Facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 20°C dans le sol, à appliquer aux valeurs de référence des courants admissibles, pour toutes les installations avec câbles enterrés

(Colonnes (1) et (2) des tableaux 52C)

TEMPERATURE °C	NATURE DE L'ISOLANT	
	PVC PE	PR EPR
0	1,18	1,13
5	1,14	1,10
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
60	0,45	0,65
65	—	0,60
70	—	0,53
75	—	0,46
80	—	0,38

TABLEAU 52 D 3

Facteurs de correction pour des résistivités thermiques du sol différentes de 1 K.m W à appliquer aux valeurs de référence des courants admissibles

(Colonnes (1) et (2) des tableaux 52 C)

RÉSISTIVITÉ DU SOL (K.m/W)	HUMIDITÉ	NATURE DU TERRAIN			ENSEMBLE DE TROIS CABLES UNIPOLAIRES	CABLES TRIPOLAIRES
0,5	Terrain très humide	Sable	Argile et Calcaire		1,25	1,20
0,7	Terrain humide				1,14	1,10
0,85	Terrain dit normal				1,06	1,05
1	Terrain sec				1,00	1,00
1,2	Terrain très sec			Cendres et Mâchefer	0,93	0,95
1,5					0,85	0,88
2					0,75	0,79
2,5					0,68	0,72
3				0,62	0,68	

TABLEAU 52 E 1

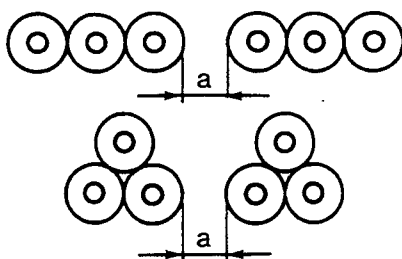
Facteurs de correction pour groupement de plusieurs canalisations, à appliquer aux valeurs de référence des courants admissibles pour les câbles enterrés

(Colonnes (1) et (2) des tableaux 52 C)

NOMBRE DE CIRCUITS	DISTANCE ENTRE CABLES = a (*)				
	NULLE (CABLES JOINTIFS)	UN DIAMÈTRE DE CABLE	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

(*) Détermination de la distance "a" dans le cas de câbles unipolaires posés en nappe ou en trèfle et de câbles tripolaires.

Câbles unipolaires



Câbles tripolaires

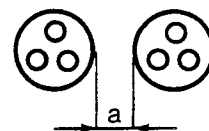


TABLEAU 52 E 2

**Facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits
ou de plusieurs câbles, à appliquer, s'il y a lieu,
aux valeurs de référence des courants admissibles pour les câbles posés
dans l'air et à l'abri du rayonnement solaire direct**

(Colonnes (3) des tableaux 52 C)

MODES DE POSE	DISPOSITION	NOMBRE DE CIRCUITS OU DE CÂBLES MULTICONDUCTEURS				
		2	3	4	6	> 9
F	Sur tablettes horizontales non perforées	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70
G	Sur tablettes horizontales perforées ou sur corbeaux	0,90	0,80	0,80	0,75	0,75
—	Sur tablettes ou plans verticaux	0,80	0,75	0,70	0,70	0,65

- 1) Les valeurs indiquées sont des moyennes, arrondies aux 5/100e, pour les types de câbles et la gamme des sections pris en considération dans la norme NF C 33-220.
- 2) Dans ce tableau, le nombre de circuits ou de câbles s'entend pour un fonctionnement électrique nécessitant un seul conducteur par phase. Un circuit est constitué par un groupement de câbles unipolaires posés en triangle ou en nappe.
- 3) Les facteurs de correction sont applicables pour des câbles ou circuits posés conjointement en une seule couche. Une disposition en plusieurs couches est généralement déconseillée pour des câbles de ce type et conduirait à des facteurs de correction plus faibles.

De plus, pour une disposition en tablettes horizontales superposées, il est généralement considéré que l'échauffement mutuel est négligeable entre ces tablettes lorsqu'elles sont séparées d'une distance supérieure à 30 cm.

- 4) Les dispositions de ce tableau supposent qu'elles sont prévues dans des endroits suffisamment aérés ou ventilés et dans lesquels les pertes thermiques dissipées par les câbles en fonctionnement ne sont pas susceptibles d'échauffer l'air ambiant à proximité du câble.

Dans les cas contraires (galeries techniques de petites dimensions et non ventilées, caniveaux fermés à fleur de sol, etc.), un calcul précis de l'échauffement de l'air ambiant, lorsque les câbles sont en fonctionnement, peut être nécessaire. Il peut être effectué selon la méthode décrite par la Publication CEI 287 (*), avec :

$$\Delta\sigma = \frac{W}{3p}$$

$\Delta\sigma$: échauffement de l'air au-dessus de l'ambiante, °C ;

W : puissance totale dissipée dans l'enceinte par mètre de longueur, W/m ;

p : partie de périmètre de l'enceinte participant à la dissipation de chaleur.

Le coefficient de correction est ensuite déterminé, conformément au tableau 52 D 1, en fonction de la température de l'air ainsi calculée.

- 5) La pose des câbles en fourreau, qui n'a pas été prévue, engendre une diminution du courant admissible par rapport aux valeurs des tableaux 52 C.

Les courants à retenir sont à définir par la méthode de calcul décrite dans la Publication CEI 287 (*).

B.5 Courants admissibles dans les conducteurs nus

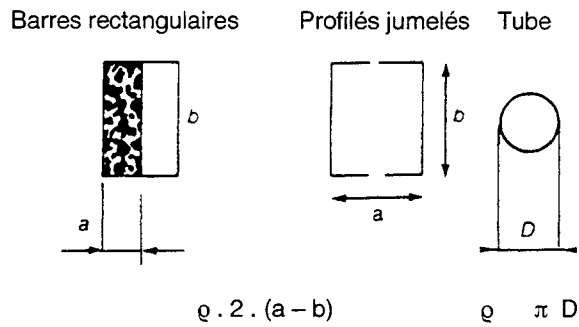
Les courants admissibles dans les conducteurs nus peuvent être calculés avec la formule :

$$I = 5 k S^{0.5} p^{0.39}$$

où I est le courant admissible en A

S est la section du conducteur en mm²

p est le périmètre extérieur du conducteur en mm

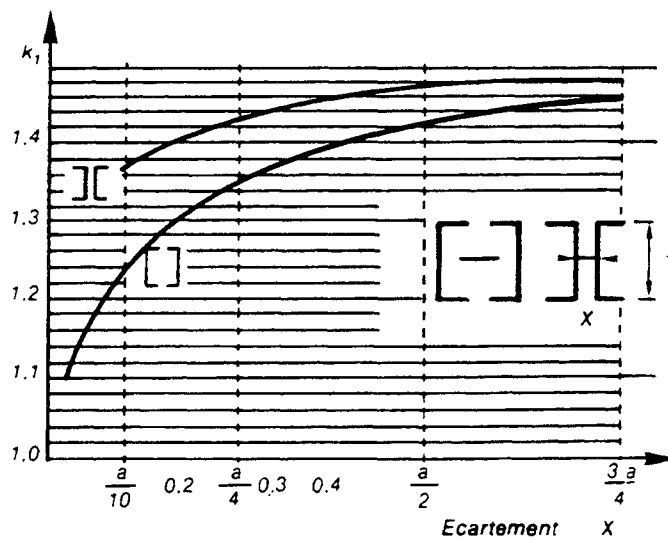


k est un coefficient numérique variable appelé coefficient de condition : ce coefficient est le produit de sept facteurs de k₁ à k₇ correspondant chacun à une condition de refroidissement du conducteur.

Ces sept facteurs sont les suivants :

– COEFFICIENT DE FORME :

k₁ = 1, pour conducteurs constitués par un seul profilé. Voir tableau ci-dessous pour les profilés en U jumelés.



- COEFFICIENT DE NATURE DU MÉTAL :

$$k_2 = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

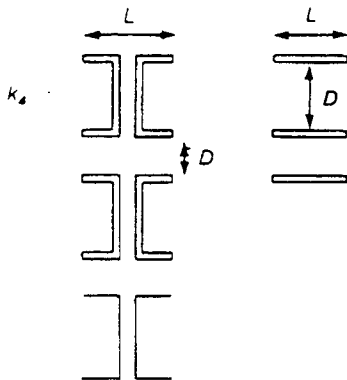
ρ_2 étant la résistivité réelle du métal à 20°C,

ρ_1 étant la résistivité théorique d'après laquelle sont calculées les valeurs de courants admissibles, soit 18 pour le cuivre et 29 pour l'aluminium.

- COEFFICIENT D'ÉTAT DE SURFACE :

$k_3 =$ 1,0 pour les profilés non peints
1,2 pour les profilés peints.

- COEFFICIENT DE POSITION :



Si les conducteurs sont disposés dans un plan horizontal avec :

$$D \geq 2 L \quad k_4 = 1$$

Si les conducteurs sont dans un plan horizontal avec :

$$D \geq 2 L \quad k_4 = 0,9$$

- COEFFICIENT D'ATMOSPHÈRE :

- Atmosphère très calme $k_5 = 1,0$
- Atmosphère calme, mais non confinée (cas habituel des locaux industriels) $k_5 = 1,1$
- Profilés situés à l'extérieur $k_5 = 1,2$
- Conducteurs enclos dans des gaines en alliage léger non ventilées et disposées dans un local où l'atmosphère est calme, mais non confinée $k_5 = 0,7$

- COEFFICIENT D'ÉCHAUFFEMENT :

$k_6 =$

ECHAUFFEMENT EN °C	k_6
30	0,86
35	0,93
40	1,00
45	1,07
50	1,14

- COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE AMBIANTE :

Coefficient de température ambiante pour une température θ différente de 20°C.

$$k_7 = \sqrt{\frac{1,1}{1 + 0,004 (\theta - 20)}}$$

B.6 Conditions de mise à la terre des écrans de câbles

B.6.1 Câbles unipolaires

Lorsque la longueur d'une liaison reste inférieure à 150 mètres, les écrans et armures peuvent n'être mis à la terre qu'à une seule extrémité.

Il est toutefois nécessaire de vérifier que leur potentiel par rapport à la terre, au niveau de l'extrémité libre, reste inférieur à 50 volts. Le courant intervenant dans le calcul des élévations de potentiel est le courant de défaut triphasé de la partie de l'installation située en aval de la liaison.

Lorsque la longueur d'une liaison est supérieure à 150 mètres, les écrans et armures doivent être mis à la terre aux deux extrémités. Il est alors nécessaire de vérifier qu'ils peuvent supporter les courants de circulation résultant de cette disposition.

a) Câbles unipolaires dont les écrans et les armures ne sont mis à la terre qu'à une extrémité

La tension par rapport à la terre des écrans et armures à l'extrémité libre d'une liaison dont l'autre extrémité est mise à la terre a pour expression :

$$E_0 = 0,145 \left(\log_{10} \frac{2a}{d} \right) I l$$

a = distance entre axes des câbles (mm)

d = diamètre moyen de l'écran ou de l'armure (mm)

I = intensité transitée dans l'âme (A)

l = longueur de la liaison (km)

Il est recommandé de disposer les câbles unipolaires d'une même liaison en trèfle et jointivement afin d'améliorer l'équilibrage de la liaison.

En court-circuit, le courant dans l'âme peut être très élevé et cela multiplie d'autant la tension induite. Le calcul de celle-ci doit donc être effectué pour le courant de court-circuit.

Une tension relativement élevée à l'une des extrémités de l'écran ou de l'armure peut poser des problèmes au niveau des boîtes de raccordement.

b) Câbles unipolaires dont les écrans et les armures sont mis à la terre aux deux extrémités.

Le courant induit dans les armures et écrans a pour expression

$$I = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

R = Résistance de l'armure ou de l'écran

X = Réactance de l'armure ou de l'écran

$$X = 0,145 \left(\log_{10} \frac{2a}{d} \right) I$$

E_0 = Expression donnée en a)

Les valeurs de R et de X sont indiquées par le fabricant de câbles.

Les courants à prendre en considération sont de deux types :

- i) Les courants résultant du courant maximal que la liaison peut accepter en permanence.
- ii) Les courants dus à la circulation du courant de défaut triphasé de la partie de l'installation située en aval de la liaison. Dans ce cas, l'effet des courants n'est à considérer que pendant la durée du défaut.

La circulation de courant dans l'écran ou l'armure d'un câble provoque d'autre part des échauffements supplémentaires qui contribuent à réduire son intensité admissible.

- L'incidence du courant de circulation dans les écrans et armures n'est à prendre en compte que pour les sections supérieures à 240 mm².
- Pour les câbles avec écran mince et sans armure, le fait de relier l'écran à la terre aux deux extrémités a une faible incidence jusqu'à 1000 mm² et à partir de cette section, il faut réduire l'intensité admissible de 5 %.
- Pour les câbles avec écran non mince (gaine d'aluminium épaisse, nappe de fils) et sans armure, le fait de relier l'écran à la terre aux deux extrémités amène à réduire le courant admissible de :

5 % pour les sections de 240 mm² à 800 mm²,
10 % pour les sections supérieures à 800 mm².
- Pour les câbles avec écran et armure, le fait de relier ceux-ci à la terre aux deux extrémités amène à réduire l'intensité admissible de :

5 % pour les sections de 240 mm² à 400 mm²,
10 % pour les sections de 500 mm² à 800 mm²,
15 % pour les sections supérieures à 800 mm².

Ces pourcentages varient peu avec la tension.

Il est possible de supprimer les courants de circulation dans les revêtements métalliques des câbles unipolaires d'une même liaison en utilisant la technique de permutation des écrans. Cette technique nécessite une surveillance en exploitation.

B.6.2 Câbles tripolaires

Pour les câbles tripolaires à champ radial et avec écran métallique en contact, la champ électromagnétique est nul en régime équilibré.

Il n'y a pas de courant de circulation dans les écrans en fonctionnement normal ; ceux-ci sont raccordés à la terre aussi souvent que possible et notamment aux deux extrémités.

C COURANTS DE COURT-CIRCUIT

C.1 Généralités

En application des règles de la Section 434 de la norme NF C 13-200, il est nécessaire de déterminer pour chaque canalisation, le courant de court-circuit maximal présumé et le courant de court-circuit minimal présumé.

Le courant de court-circuit maximal présumé est utilisé pour :

- la vérification du pouvoir de coupure des dispositifs de protection,
- la vérification des contraintes thermiques des conducteurs,
- la vérification des efforts électrodynamiques.

Le courant de court-circuit minimal présumé est utilisé pour :

- la vérification des conditions de coupure des dispositifs de protection (courant de réglage des disjoncteurs ou courant de fusion des fusibles).

C.2 Calcul des courants de court-circuit

C.2.1 Le présent Guide présente une méthode de calcul des courants de court-circuit – dite méthode des impédances – basée sur la publication 909 de la CEI.

Cette méthode, concise et pratique, conduit à des résultats suffisamment précis et généralement par excès.

Cela n'exclut pas pour autant l'emploi d'autres méthodes pour des applications particulières.

La méthode des impédances est basée sur la détermination des valeurs des impédances de chaque élément du circuit, d'après les caractéristiques assignées de ces éléments.

C.2.2 Courants de court-circuit maximaux

Les courants de court-circuit maximaux sont des courants de court-circuit triphasés symétriques (valeur efficace)
 I_{cc3} :

$$I_{cc3} = 1,1 \frac{U_0}{Z_1}$$

U_0 Tension entre phase et neutre,

Z_1 Impédance globale d'un conducteur de phase vue du point considéré, tenant compte de toutes les sources pouvant alimenter le court-circuit et des impédances de liaison entre ces sources et le point considéré.

$$Z_1 = \sqrt{\sum R_1^2 + \sum X_1^2}$$

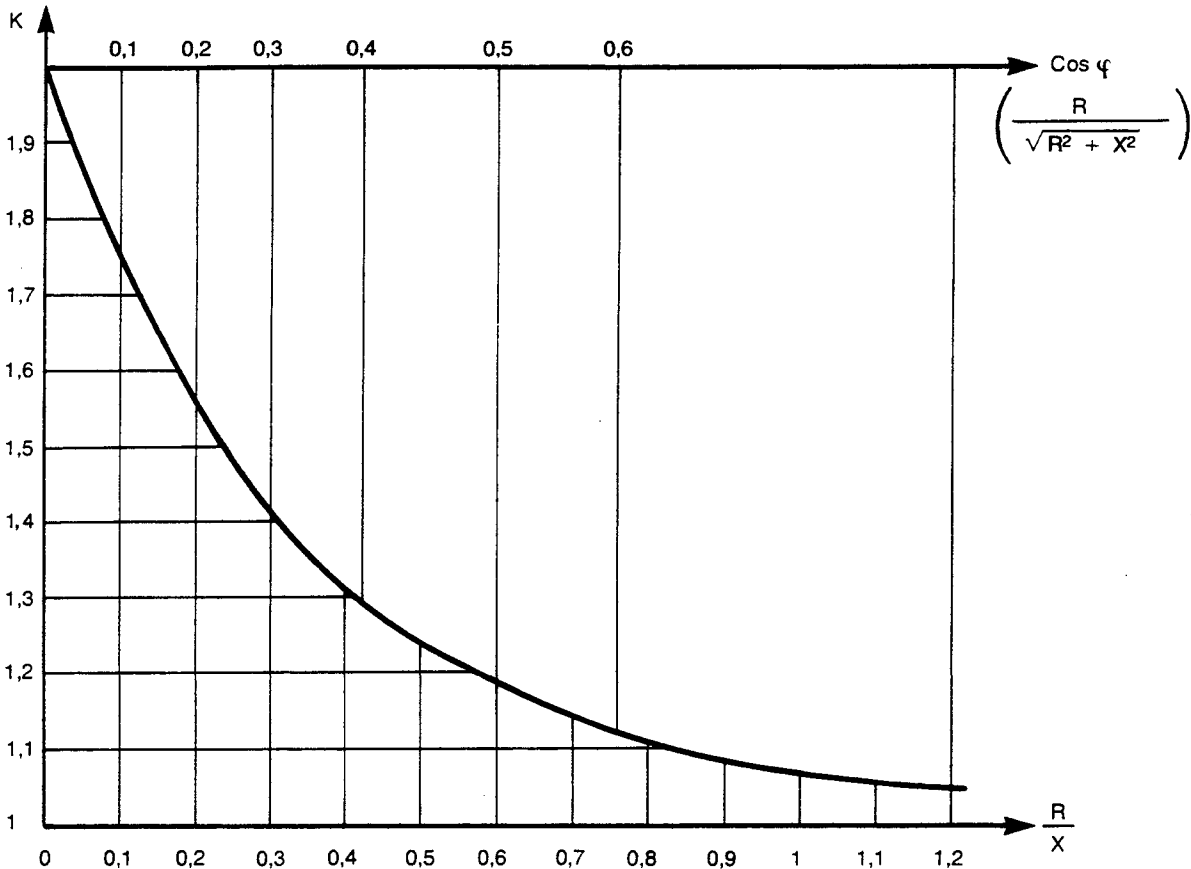
$\sum R_1$ Somme des résistances de chaque élément du conducteur de phase,

$\sum X_1$ Somme des réactances de chaque élément du conducteur de phase,

La valeur de crête du courant de court-circuit est calculée par la formule :

$$\hat{i} = k \sqrt{2} \cdot I_{cc3}$$

k étant un facteur de crête dont la valeur est indiquée sur la figure 1.



Les courants de court-circuit maximaux sont calculés pour la tension à vide, soit $1,1 U_0$, U_0 étant égale à $U/\sqrt{3}$. U étant la tension nominale entre phases de l'installation.

En pratique, cette tension est égale (en kV) à :

Tension nominale (U)	Tension à vide $1,1 U_0$
3	1,90
6	3,81
10	6,35
15	9,53
20	12,70
30	19,05
45	28,58
63	40,40

C.2.3 Courants de court-circuit minimaux

Les courants de court-circuit minimaux sont des courants de court-circuit biphasés I_{cc2} égaux en valeur efficace à :

$$I_{cc2} = \frac{U_o \sqrt{3}}{2 Z_2}$$

Z_2 Impédance de l'installation, vue du point considéré, tenant compte du nombre minimal de sources pouvant alimenter le court-circuit et des impédances de liaison entre ces sources et le point considéré. Si l'installation peut être alimentée par plusieurs sources en parallèle, une seule source est prise en considération et il n'est pas tenu compte de la contribution des moteurs.

$$Z_2 = \sqrt{\sum R_2^2 + \sum X_2^2}$$

$\sum R_2$ Somme des résistances de chaque élément du conducteur de phase,

$\sum X_2$ Somme des réactances de chaque élément du conducteur de phase.

C.3 Valeurs des différentes impédances

C.3.1 Conducteurs

C.3.1.1 Résistance des conducteurs

La résistance des conducteurs est égale à :

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

L étant la longueur simple des canalisations, en mètres

S étant la section des conducteurs, en mm²,

ρ étant la résistivité des conducteurs prise égale à :

1,25 fois la résistivité des conducteurs à 20°C pour le calcul des courants de court-circuit maximaux I_{cc3} , soit 22,5 mohms.mm²/m pour le cuivre et 36 mohms.mm²/m pour l'aluminium,

1,5 fois la résistivité des conducteurs à 20°C pour le calcul des courants de court-circuit minimaux, soit 29 mohms.mm²/m pour le cuivre et 43 mohms.mm²/m pour l'aluminium.

C.3.1.2 Réactance des conducteurs

La réactance des conducteurs est égale à $X = \lambda L$

λ étant égale conventionnellement à :

0,08 mohms/m pour les câbles multiconducteurs,

0,15 mohms/m pour les câbles monoconducteurs,

0,30 mohms/m pour les lignes aériennes.

C.3.2 Caractéristiques des sources

C.3.2.1 Tension d'alimentation

Le paramètre de référence est la tension à vide.

C.3.2.2 Lorsque la source est un transformateur

- Impédance du réseau amont :

$$Z = \frac{U^2}{P_{cc}}$$

P_{cc} Puissance de court-circuit du réseau amont,

- Impédance du transformateur Z.

$$X_d = X_i = X_o = \frac{U^2}{P} \frac{e}{100}$$

U Tension nominale secondaire du transformateur, en kV,

P Puissance nominale du transformateur, en kVA.

e Tension de court-circuit du transformateur, en %. Sauf indication contraire, réactances directe, inverse et homopolaire sont supposées identiques, ce qui est le cas des transformateurs dont le couplage est triangle-étoile et dont le point neutre du secondaire est relié à la terre*.

La résistance R interne d'un transformateur peut être calculée par la formule :

$$R = W \frac{U^2}{P^2}$$

W étant les pertes totales en charge, en kW,

U et P ayant les mêmes significations que pour le calcul de Z.

C.3.2.3 Lorsque la source est un alternateur

- La réactance subtransitoire X''_d , est prise égale à :

$$X''_d = x''_d \frac{U^2}{P}$$

Elle est utilisée pour le calcul du courant de crête du courant de court-circuit triphasé.

- La réactance transitoire est égale à :

$$X'_d = x'_d \frac{U^2}{P}$$

Elle est utilisée pour le calcul de la valeur efficace du courant de court-circuit triphasé.

* Voir pour les autres couplages, l'annexe C1.

La réactance homopolaire est égale à :

$$X'o = x'o \cdot \frac{U^2}{P}$$

U étant la tension nominale entre phases, en kilovolts,

P étant la puissance nominale de l'alternateur, en kVA.

Sauf indication contraire, les réactances en pourcent sont prises égales à :

$$x''_d = 0,2$$

$$x'_d = 0,3$$

$$x'o = 0,06$$

Les courants de court-circuit sont calculés :

- pour la détermination des efforts électrodynamiques, d'après les réactances en régime subtransitoire,
- pour la détermination des conditions de protection contre les courts-circuits et les courants de défaut, y compris la vérification des contraintes thermiques des conducteurs, par les réactances en régime transitoire.

Il n'est généralement pas tenu compte du régime permanent en supposant que les dispositifs de protection coupent le courant pendant le régime transitoire.

Les courants de court-circuit aux bornes des alternateurs sont ainsi égaux à :

- pour la vérification des efforts électrodynamiques,

$$I_{cc3} = 1,1 \frac{U_o}{X''_d}$$

- pour les conditions de protection,
- courant de court-circuit triphasé (valeur efficace) :

$$I_{cc3} = 1,1 \frac{U_o}{X'_d}$$

- courant de court-circuit biphasé (valeur efficace) :

$$I_{cc2} = \frac{U_o \sqrt{3}}{2 X'_d}$$

- courant de court-circuit monophasé (valeur efficace) :

$$I_{cc1} = \frac{3 U_o}{2 X'_d + X'o}$$

U_o tension entre phase et neutre.

C.3.3 Contribution des moteurs

La contribution des moteurs aux courants de court-circuit est déterminée en tenant compte d'une impédance interne égale à :

$$Z = X = \frac{U^2}{\frac{P}{r \cdot \cos \varphi} \cdot \frac{I_d}{I_n}}$$

U étant la tension entre phases, en kV,

P étant la puissance nominale du moteur, en kW,

r étant le rendement,

cos φ étant le facteur de puissance,

I_d/I_n étant le rapport du courant de démarrage au courant nominal du moteur.

En l'absence d'informations, on peut prendre :

r égal à 0,9

cos φ égal à 0,9

I_d/I_n égal à 6.

C.3.4 Sources en parallèle

Dans le cas de plusieurs sources en parallèle, les calculs sont effectués en tenant compte :

- pour déterminer les courants de court-circuit maximaux, du nombre total de sources pouvant fonctionner en parallèle, y compris les moteurs,
- pour déterminer les courants de court-circuit minimaux, du nombre minimal de sources pouvant fonctionner en parallèle – en principe une seule source ayant l'impédance interne la plus grande – et sans tenir compte des moteurs.

C.3.5 Niveaux de tension

Dans le calcul des impédances, les impédances des installations à des tensions autres que celles du point considéré, doivent être multipliées par le carré du rapport inverse des tensions.

$$Z = Z \left\{ \frac{U_1}{U_2} \right\}^2$$

U_1 étant la tension de l'installation du point considéré,

U_2 étant la tension de l'autre installation.

ANNEXE C.1

Réactance homopolaire des transformateurs

Schéma équivalent - Valeur de la réactance

GROUPEMENT			SCHEMA UNIFILAIRE EQUIVALENT	VALEUR DE LA REACTANCE HOMOLAIRE DU TRANSFORMATEUR, VUE		
PRIMAIRE	SECONDAIRE	TERTIAIRE		DES BORNES PRIMAIRES 1	DES BORNES SECONDAIRES 2	DES BORNES TERTIAIRES 3
				infinie	infinie	
				infinie	infinie	
				Flux libres infinie Flux forcés $X_{11} = 10 \text{ à } 15$ fois X_{cc}	F.L. infinie F.F. infinie	
				$X_{12} = X_{cc}$	$X_{12} = X_{cc}$	
				infinie	infinie	
				$X_{12} = X_{cc}$	infinie	
				infinie	infinie	
				infinie	$X_{22} = 1 \text{ p.c. de } S_n$	
				F.L. infinie F.F. : $X_{11} = 10 \text{ à } 15$ fois X_{cc}	F.L. infinie F.F. infinie	

Réactance homopolaire des transformateurs

Schéma équivalent - Valeur de la réactance

GROUPEMENT			SCHEMA UNIFILAIRE EQUIVALENT	VALEUR DE LA REACTANCE HOMOPOLAIRE DU TRANSFORMATEUR, VUE		
PRIMAIRE	SECONDAIRE	TERTIAIRE		DES BORNES PRIMAIRES 1	DES BORNES SECONDAIRES 2	DES BORNES TERTIAIRES 3
				infinie	$X_{22} = 1 \text{ p.c. environ}$	
				Flux libres infinie Flux forcés $X_{11} = 10 \text{ à } 15$ fois X_{cc}	Flux libres $X_{22} = 1 \text{ p.c. } S_n$ Flux forcés $X_{22} = 1 \text{ p.c. } S_n$	
				infinie	infinie	
				Flux libres infinie Flux forcés $X_{11} = 10 \text{ à } 15$ fois X_{12}	infinie	infinie
				$X_1 = \frac{(X_2 + X_{02})(X_3 + X_{03})}{X_2 + X_3 + X_{02} + X_{03}}$	$X_2 = \frac{(X_1 + X_{01})(X_3 + X_{03})}{X_1 + X_3 + X_{01} + X_{03}}$	$X_3 = \frac{(X_1 + X_{01})(X_2 + X_{02})}{X_1 + X_2 + X_{01} + X_{02}}$
				$X_1 + \frac{X_2 X_3}{X_2 + X_3}$	infinie	infinie
				$X_1 = \frac{X_2(X_3 - X_{03})}{X_2 + X_3 + X_{03}}$	infinie	$X_3 = \frac{X_2(X_1 - X_{01})}{X_1 + X_2 + X_{01}}$
				$X_1 + X_2 = X_{12}$	infinie	$X_{33} = 1 \text{ p.c. } S_n$

X_{11} : réactance directe à vide du transformateur vue des bornes 1.
 X_1, X_2, X_3 : réactances fictives de court-circuit des trois branches de l'étoile d'un transformateur à 3 enroulements.
 X_{12}, X_{cc} : réactances de fuites totales entre enroulements primaire et secondaire.
 X_{22}, X_{33} : réactances de fuites totales entre les deux demi-enroulements du zig-zag de chaque colonne.
 X_{01}, X_{02}, X_{03} : réactances homopolaires des réseaux 1, 2, 3 vues des bornes 1, 2, 3, le transformateur étant déconnecté.
 S_n : puissance nominale du transformateur.

D COURANTS DE DÉFAUT

D.1 Protection contre les contacts indirects – Règle générale

Pour assurer la protection contre les contacts indirects, l'article 413.1 de la norme NF C 13-200 impose que la résistance R entre deux éléments quelconques – masses ou éléments conducteurs – simultanément accessibles soit au plus égale à :

$$R = \frac{50}{I_d}$$

I_d étant le courant maximal de défaut à la terre.

La valeur du courant de défaut I_d dépend du schéma des liaisons à la terre. Suivant le schéma, le courant de défaut doit ou non provoquer la coupure du dispositif de protection du circuit siège du défaut.

D.2 Application aux schémas TTx et TNx

Dans les schémas TTx et TNx, le courant de défaut doit provoquer le fonctionnement du dispositif de protection dans un temps compatible avec les contraintes thermiques des conducteurs (voir chapitre E).

Le courant de défaut à la terre est égal à :

D.2.1 Dans le schéma TNr

$$I_d = \frac{3 U_o}{Z_d + Z_i + Z_o + 3 Z_L}$$

Z_d , Z_i , Z_o , impédances directe, inverse et homopolaire de la boucle de défaut, y compris la source.

Z_L étant l'impédance éventuellement insérée entre le point neutre et le conducteur de protection pour limiter le courant de défaut à une valeur inférieure à 50 A. Cette résistance est notamment prévue dans les installations alimentant des moteurs à haute tension afin d'éviter des dégradations des circuits magnétiques dues aux efforts électrodynamiques.

En pratique, deux cas sont à considérer :

– aucune impédance n'est insérée entre le neutre et le conducteur de protection ; le courant de défaut est égal à :

$$I_d = \frac{3 U}{Z_d + Z_i + Z_o}$$

Pour les conducteurs, $Z_d = Z_i = Z_o = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}$, les valeurs de R et de X étant celles indiquées en C 5. Pour les résistances, la résistivité est prise égale à 1,25 fois celle à 20°C.

Pour les transformateurs, $Z_d = Z_i = Z_o = X$ (voir C.6.2).

Pour les alternateurs et les moteurs, voir C.6.3 et C.6.4.

– une impédance (Z_L) est insérée entre le point neutre et le conducteur de protection afin de limiter le courant de défaut à une valeur inférieure à environ 50 A.

Le courant de défaut peut être pris égal à :

$$I_d = \frac{U_o}{Z_L}$$

en négligeant les valeurs des impédances qui sont généralement faibles par rapport à l'impédance Z_L .

Dans le premier cas ($Z_L = 0$), la protection est assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités de telle manière que le courant de défaut I_d soit au moins égal au courant assurant le fonctionnement instantané du dispositif de protection.

Dans le deuxième cas, la protection est assurée par des dispositifs à courant homopolaire.

D.2.2 Dans les schémas TTN et TTS, le courant de défaut est égal à :

$$I_d = \frac{U_o}{Z_d + Z_i + Z_o + R_A + R_B + Z_L}$$

R_A et R_B étant respectivement les résistances des prises de terre des masses de l'installation et du neutre.

Les autres symboles ont les mêmes significations que dans le schéma TNR.

Généralement, les impédances Z_d , Z_i et Z_o sont négligeables devant les résistances R_A , R_B et R_L . Le courant de défaut peut être pris égal à :

$$I'_d = \frac{U_o}{R_A + R_B + Z_L}$$

Par ailleurs, pour limiter les valeurs des surtensions transitoires, la partie du courant de défaut qui se referme directement au point neutre doit être au moins égal à 2 fois le courant capacitif I_c .

I_c étant égal à :

$$I_c = 3 U_o C L 2 \pi f$$

L étant la longueur totale des canalisations de l'installation,

C étant la capacité linéique des canalisations (voir Annexe D.1),

f étant la fréquence (50 Hz).

Il en résulte que l'impédance Z_L doit être au plus égale à :

$$Z_L \leq \frac{1}{6 LC 2 \pi f}$$

La protection est assurée par des dispositifs à courant homopolaire dont le courant homopolaire assurant la coupure est :

- au moins égal 1,3 fois le courant capacitif de l'installation I_c ,

$$I_c = 3 U_o C L 2 \pi f$$

- au plus égal à 0,2 fois le courant de défaut I_d .

D.3 Application aux schémas ITx

D.3.1 Dans les schémas ITx, il est admis de ne pas couper lors d'un premier défaut d'isolement à condition que le courant de défaut soit au plus égal à :

$$I_d \leq \frac{50}{R_A}$$

R_A étant la résistance de la prise de terre des masses de l'installation.

Le courant de défaut est égal à :

$$I_d = \frac{U_o}{Z_d + Z_i + Z_o + 3 Z_L} + I_c$$

Z_L étant l'impédance insérée entre le point neutre et la terre.

Z_d , Z_i , Z_o ayant la signification indiquée en D.2.1 pour le schéma TNR.

I_c étant le courant capacitif dont la valeur est donnée en D.2.2 pour les schémas TTR et TTN.

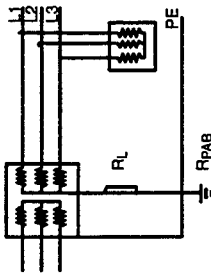
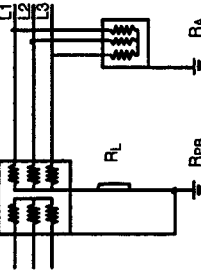
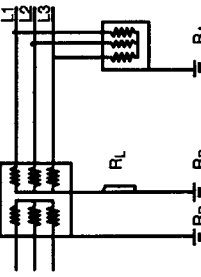
D.3.2 Si un deuxième défaut survient sur une autre phase avant la suppression du premier, le courant de double défaut est un courant de court-circuit biphasé I_{cc2} dont la valeur est indiquée à l'article C 4. Il doit assurer le fonctionnement des dispositifs de protection contre les surintensités.

D.4 Tensions de pas

Si à l'intérieur de la zone d'influence des liaisons équipotentielles prescrites pour assurer la protection contre les contacts indirects (voir D.1), aucune tension de contact dangereuse ne peut apparaître, des tensions de pas peuvent apparaître en dehors de cette zone. La tension de pas est la tension qui peut apparaître entre deux points du sol distants d'un mètre.

La tension de pas dépend de la valeur du courant de défaut à la terre de l'installation alimentant le poste de transformation – généralement le réseau de distribution publique à haute tension – et de la résistivité du sol.

La limitation de la tension de pas peut être obtenue en disposant des conducteurs de terre horizontaux reliés à la prise de terre de l'installation et orientés vers l'extérieur.

SCHÉMAS DES LIAISONS A LA TERRE	CONDITIONS PARTICULIÈRES	CONDITIONS PRATIQUES DE CALCUL
<p>TNR</p> 	<p>$R_L = 0$ $I_d \geq I_m$</p>	$I_d = \frac{U_0}{\sqrt{\left[R_T + R_{PE} + \rho_1 \left(\frac{L}{S_a N_a} + \frac{L}{S_p R_p} \right) \right]^2 + \left[X' + X_{PE} + \lambda L \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_p} \right) \right]^2}}$ <p>$I_d = \frac{U_0}{R_L} \leq 50 \text{ A}$</p>
<p>TTN</p> 	<p>R_L telle que $I_d \geq I_m$</p>	$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_L} \geq I_{\Delta n}$
<p>TTS</p> 	<p>$R_L \leq \frac{1}{6 L_s C 2 \pi f}$</p>	
<p>U_0 I_m $I_{\Delta n}$ L L_s</p>	<p>Tension entre phase et neutre Courant de fonctionnement instantané du dispositif de protection contre les surintensités Courant différentiel assigné du dispositif de protection à courant homopolaire Longueur du circuit considéré Longueur totale des canalisations de l'installation</p>	<p>R_T, X_T Résistance et réactance d'un conducteur de phase depuis l'origine de l'installation jusqu'à l'origine du circuit considéré. Pour les sources, X_T est la réactance homopolaire X_0 R_{PE}, X_{PE} Résistance et réactance du conducteur de protection depuis la LEP jusqu'à l'origine du circuit considéré S_a, N_a Section et nombre des conducteurs de chaque phase S_p, N_p Section et nombre de conducteurs de protection</p>

SCHEMAS DES LIAISONS A LA TERRE		CONDITIONS PRATIQUES DE CALCUL	
		Au premier défaut	Au deuxième défaut
ITR			$I_{cc2} = \frac{U_o \sqrt{3}}{2 \sqrt{\left[R_T + \rho_2 \frac{L}{S_a N_a} \right]^2 + \left[X_T + \frac{\lambda L}{N_a} \right]^2}}$ $I_{cc2} \geq I_m$
ITN		$I_d = \frac{U_o}{Z} + I_c \leq \frac{50}{R_A}$ $I_c = 3 U_o C L 2 \pi f$ $Z \leq \frac{1}{6 L_s C 2 \pi f}$	
ITS			
Uo	Tension entre phase et neutre		C
I _m	Courant de fonctionnement instantané du dispositif de protection contre les surintensités		R _T , X _T
L	Longueur du circuit considéré		S _a , N _a
L _s	Longueur totale des canalisations de l'installation+		Capacité linéique des canalisations Résistance et réactance d'un conducteur de phase depuis l'origine de l'installation jusqu'à l'origine du circuit considéré. Pour les sources, X _T est la réactance transitoire X' _d Section et nombre de conducteurs de chaque phase

ANNEXE D.1

CAPACITÉ DES CÂBLES

La capacité des câbles à champ radial est donnée par la formule suivante :

$$C = \frac{\varepsilon}{18 \ln \frac{D}{d}} \text{ en } \mu \text{ F/km}$$

ε étant la permittivité relative de l'isolant,
 D le diamètre de l'isolant sous l'écran externe,
 d le diamètre de l'isolant sur l'écran sur âme.

Dans le cas des câbles sectoraux, le rapport $\frac{D}{d}$ peut être remplacé par le rapport des périmètres correspondants sans erreur appréciable.

Il n'est pas possible de donner de règle pour les câbles à champ non radial.

Les valeurs de permittivité sont les suivantes :

PE haute et basse densité	2,3
PR	2,5 ± 10 %
EPR	2,8 ± 15 %
PVC	6 ± 2

Les tableaux ci-joints donnent les valeurs de capacité pour les câbles isolés au PE et à l'EPR.

Pour les câbles isolés au PR non chargé ($\varepsilon = 2,3$), les valeurs sont les mêmes que pour les câbles isolés au PE.

**Câbles isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées
de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV**

VALEURS APPROXIMATIVES DE CAPACITÉ (en μ F/km)

Câbles à champ radial isolés EPR (tableau V de la norme NF C 33-220)

SECTIONS (mm ²)	TENSION (kV)					
	1,8/3	3,5/6	5,8/10	8,7/15	12/20	18/30
10	0,24	0,19				
16	0,28	0,22	0,21			
25	0,33	0,26	0,24	0,19		
35	0,37	0,29	0,26	0,21	0,18	
50	0,40	0,31	0,28	0,23	0,20	0,15
70	0,46	0,35	0,32	0,26	0,22	0,17
95	0,48	0,40	0,36	0,29	0,25	0,19
120	0,53	0,44	0,39	0,31	0,27	0,20
150	0,57	0,47	0,43	0,34	0,29	0,22
185	0,63	0,52	0,46	0,37	0,31	0,24
240	0,70	0,58	0,52	0,41	0,35	0,26
300	0,79	0,65	0,58	0,45	0,38	0,28
400	0,83	0,73	0,65	0,51	0,43	0,32
500	0,86	0,76	0,72	0,56	0,47	0,35
630	0,97	0,86	0,81	0,63	0,53	0,39
800	1,10	0,97	0,92	0,71	0,59	0,43
1 000	1,15	1,08	1,03	0,79	0,66	0,48
1 200	1,22	1,15	1,08	0,84	0,70	0,50
1 400	1,32	1,24	1,17	0,90	0,75	0,54
1 600	1,40	1,32	1,25	0,96	0,80	0,57

**Câbles isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées
de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV**

VALEURS APPROXIMATIVES DE CAPACITÉ (en μ F/km)

Câbles à champ radial isolés PE (tableau III de la norme NF C 33-220)

SECTIONS (mm ²)	TENSION (kV)					
	1,8/3	3,5/6	5,8/10	8,7/15	12/20	18/30
10		0,18				
16		0,21	0,17			
25		0,24	0,19	0,16		
35		0,27	0,22	0,17	0,15	
50		0,29	0,23	0,19	0,16	0,13
70		0,34	0,26	0,21	0,18	0,14
95		0,38	0,30	0,24	0,20	0,16
120		0,42	0,32	0,26	0,22	0,17
150		0,45	0,35	0,28	0,24	0,18
185		0,50	0,38	0,30	0,26	0,19
240		0,54	0,43	0,34	0,28	0,21
300		0,56	0,47	0,37	0,32	0,23
400		0,60	0,53	0,42	0,35	0,26
500		0,62	0,59	0,46	0,39	0,28
630		0,70	0,67	0,52	0,44	0,32
800		0,79	0,75	0,58	0,49	0,35
1 000		0,89	0,84	0,65	0,54	0,39
1 200		0,94	0,89	0,69	0,57	0,41
1 400		1,02	0,96	0,74	0,62	0,44
1 600		1,08	1,02	0,79	0,66	0,47

ANNEXE D.2

**COURANTS DE SURINTENSITÉ DE COURTE DURÉE ADMISSIBLES
DANS LES ÉCRANS DES CÂBLES À ISOLATION SYNTHÉTIQUE EXTRUDÉE**

En l'absence d'indication, les valeurs des tableaux ci-après peuvent être prises.

Les calculs ont été effectués selon la méthode décrite dans l'Annexe I chapitre A.2 de l'additif de la norme NF C 33-220.

Le type d'écran retenu est constitué par un ruban de cuivre de 0,1 mm d'épaisseur posé rubané avec un recouvrement de 15 %.

CONDITIONS DE TEMPÉRATURE RETENUES POUR LE CALCUL

TYPE D'ISOLANT	TEMPÉRATURE SUR ÉCRAN EN SERVICE (°C)	TEMPÉRATURE FINALE APRÈS SURINTENSITÉ (°C)
P R	70	250
E P R	70	250
P E	60	150
PVC	60	160

Les valeurs sont arrondies selon la règle suivante :

- au 10 les plus proches pour les $I_{cc} < 1000$ A,
- au 50 les plus proches pour les $I_{cc} > 1000$ A.

Câbles unipolaires ou tripolaires à champ radial à isolants PR ou EPR

Courant de court-circuit admissible dans l'écran (A)

TENSION ASSIGNÉE	6/10 (12) kV			8,7/15 (17,5) kV			12/20 (24) kV			18/30 (36) kV		
	0,5 s	1 s	2 s	0,5 s	1 s	2 s	0,5 s	1 s	2 s	0,5 s	1 s	2 s
SECTION mm ²												
16	1 100	900	650	1 350	1 000	800	1 800	1 400	1 100			
25	1 200	950	700	1 400	1 050	800	1 800	1 400	1 100			
35	1 400	1 000	900	1 650	1 250	1 000	1 850	1 400	1 100			
50	1 600	1 150	1 000	1 750	1 350	1 050	1 950	1 450	1 150	2 500	1 950	1 550
70	1 750	1 250	1 050	1 900	1 450	1 150	2 100	1 600	1 250	2 700	2 050	1 650
95	1 850	1 350	1 100	2 050	1 550	1 200	2 200	1 700	1 300	2 800	2 150	1 700
120	1 900	1 400	1 150	2 150	1 650	1 300	2 500	1 950	1 550	3 100	2 400	1 900
150	2 150	1 650	1 300	2 400	1 850	1 500	2 600	2 000	1 600	3 150	2 450	1 950
185	2 400	1 850	1 450	2 600	2 000	1 600	2 750	2 150	1 700	3 350	2 600	2 100
240	2 700	2 050	1 650	2 800	2 150	1 700	3 100	2 400	1 950	3 600	2 750	2 200
300	2 800	2 150	1 750	3 150	2 450	1 950	3 300	2 550	2 050	3 800	2 950	2 350
400	3 050	2 350	1 800	3 450	2 650	2 150	3 650	2 800	2 250	4 200	3 300	2 650
500	3 400	2 550	1 950	3 800	2 950	2 350	4 100	3 200	2 550	4 550	3 550	2 850
630	3 750	3 000	2 300	4 250	3 300	2 650	4 450	3 450	2 800	4 950	3 850	3 100
800	4 400	3 400	2 600	4 650	3 600	2 900	4 850	3 750	3 000	5 300	4 150	3 300
1 000	5 100	3 900	3 050	5 200	4 050	3 250	5 350	4 200	3 350	5 850	4 550	3 650
1 200	5 350	4 100	3 300	5 450	4 250	3 400	5 650	4 400	3 550	6 150	4 800	3 850
1 400	5 600	4 400	3 550	5 900	4 550	3 650	6 050	4 700	3 800	6 550	5 100	4 100
1 600	6 000	4 700	3 800	6 200	4 850	3 900	6 400	5 000	4 000	6 900	5 350	4 300

Câbles unipolaires ou tripolaires à champ radial à isolants PE

Courant de court-circuit admissible dans l'écran (A)

TENSION ASSIGNEE	6/10 (12)kV			8,7/15 (17,5)kV			12/20 (24)kV			18/30 (36)kV		
	0,5 s	1 s	2 s	0,5 s	1 s	2 s	0,5 s	1 s	2 s	0,5 s	1 s	2 s
SECTION mm ²												
16	800	650	490	1 000	740	560	1 200	870	660			
25	900	700	510	1 000	750	570	1 200	870	660			
35	1 000	750	540	1 100	800	600	1 200	880	660			
50	1 100	800	580	1 150	840	640	1 250	1 000	770	1 750	1 300	990
70	1 300	920	700	1 350	990	760	1 450	1 100	820	1 750	1 300	1 000
95	1 350	1 000	750	1 450	1 050	820	1 550	1 150	880	2 050	1 550	1 200
120	1 450	1 050	800	1 500	1 150	860	1 650	1 200	930	2 150	1 650	1 230
150	1 550	1 100	840	1 600	1 200	910	1 700	1 300	1 000	2 250	1 700	1 300
185	1 650	1 150	900	1 700	1 250	970	2 000	1 500	1 200	2 350	1 800	1 400
240	1 800	1 450	1 100	2 000	1 550	1 200	2 150	1 650	1 250	2 650	2 050	1 600
300	2 000	1 550	1 200	2 150	1 650	1 300	2 300	1 750	1 350	2 800	2 150	1 700
400	2 300	1 750	1 400	2 600	2 000	1 550	2 650	2 050	1 600	3 000	2 300	1 800
500	2 550	1 900	1 500	2 900	2 200	1 750	3 050	2 350	1 850	3 400	2 600	2 050
630	2 750	2 050	1 550	3 000	2 300	1 800	3 150	2 400	1 900	3 500	2 650	2 050
800	3 000	2 250	1 700	3 300	2 500	2 000	3 450	2 600	2 100	3 700	2 800	2 200
1 000	3 300	2 400	1 800	3 500	2 700	2 100	3 650	2 800	2 200	3 950	3 000	2 400
1 200	3 550	2 550	1 900	3 700	2 850	2 200	3 850	2 950	2 300	4 200	3 200	2 550
1 400	3 650	2 750	2 000	3 900	3 000	2 350	4 050	3 100	2 450	4 350	3 350	2 650
1 600	3 750	2 850	2 100	4 000	3 100	2 400	4 150	3 200	2 500	4 500	3 400	2 700

**Câbles tripolaires à ceinture à isolant PVC
de tension assignée 6/6 (7,2 kV)**

Courant de court-circuit admissible dans l'écran (A)

SECTION mm ²	DURÉE DU COURT-CIRCUIT		
	0,5 s	1 s	2 s
10	1 550	1 200	980
16	1 700	1 300	1 050
25	1 950	1 450	1 200
35	2 050	1 550	1 250
50	2 150	1 600	1 300
70	2 300	1 700	1 400
95	2 550	1 900	1 550
120	2 750	2 100	1 650
150	2 900	2 200	1 750
185	3 350	2 450	2 050
240	3 500	2 650	2 200

E VÉRIFICATION DES CONTRAINTES THERMIQUES DES CONDUCTEURS

La vérification des contraintes thermiques consiste à s'assurer que le temps de fonctionnement du dispositif de protection (le temps de fusion des fusibles) n'est pas supérieur au temps t égal à (en secondes) :

$$t \leq \frac{(I^2t)}{I_{cc}^2}$$

(I^2t) étant la contrainte thermique admissible dans les conducteurs, soit :

$$(I^2t) = k_1^2 S^2$$

pour les conducteurs et câbles,

k_1 étant un facteur dont la valeur est donnée dans le tableau E.1 suivant la nature de l'âme des conducteurs et de l'isolant,

S étant la section des conducteurs, en mm^2 ,

I_{cc} étant le courant de court-circuit, en ampères, pris égal à :

I_{cc3} pour les conducteurs actifs (voir C.3).

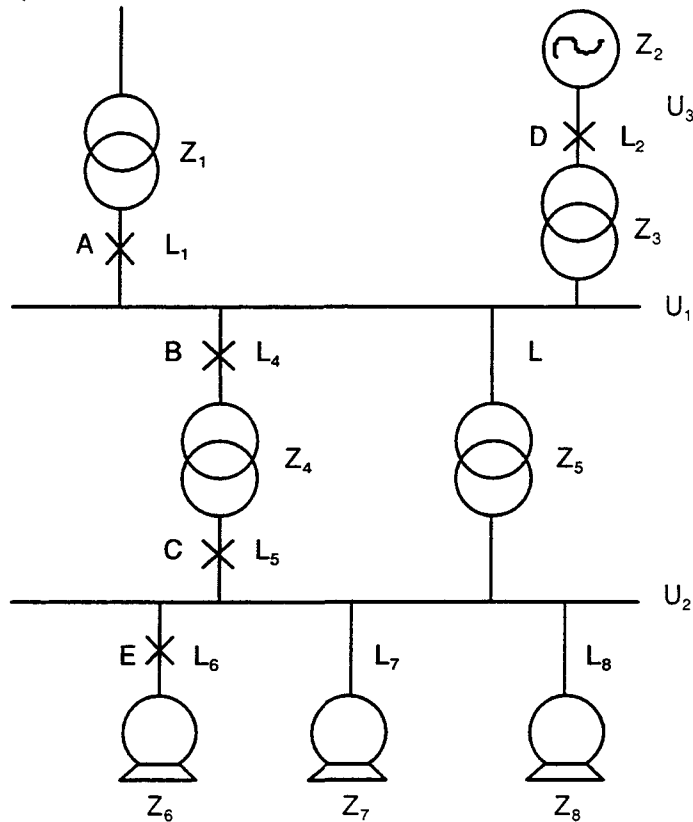
I_d pour les conducteurs de protection et de liaisons équipotentielles (voir chapitre D).

Tableau E.1 – Valeurs du facteur k

	Isolants				Conducteurs nus
	PVC PE		PR, EPR		
CONDUCTEURS ACTIFS					
– en cuivre	115		143		160
– en aluminium	74		94		104
CONDUCTEURS DE PROTECTION	a	b	a	b	
– en cuivre	143	115	176	143	159
– en aluminium	95	75	116	94	105
– en acier	52	—	64	—	58
<i>a conducteurs de protection non incorporés aux câbles</i> <i>b conducteurs de protection incorporés aux câbles</i>					

EXEMPLES DE CALCULS DES CONTRAINTES THERMIQUES DES CONDUCTEURS

Le calcul consiste à déterminer le courant de court-circuit maximal susceptible de parcourir un conducteur en tenant compte de toutes les sources pouvant fonctionner simultanément et de la contribution des moteurs.



Soit l'installation ci-dessus. Les calculs doivent déterminer les courants de court-circuit maximaux parcourant les canalisations L1, L2, L4, L5 et L6 en cas de court-circuit sur leurs parcours. Les impédances des liaisons sont négligées car elles ont peu d'influence

Liaison L1

Le plus grand courant de court-circuit parcourant la liaison L1 en cas de court-circuit en A est le plus grand des deux :

- celui dû au transformateur d'impédance Z_1 et égal à $\frac{U}{Z_1}$
- celui dû à l'alternateur Z_2 à travers le transformateur Z_3 et à la contribution des moteurs Z_6 , Z_7 et Z_8 à travers les transformateurs Z_4 et Z_5 en parallèle.

Si Z_M est l'impédance équivalente aux trois moteurs Z_6 , Z_7 et Z_8 en parallèle, soit :

$$Z_M = \frac{Z_6 \times Z_7 \times Z_8}{Z_6 Z_7 + Z_7 Z_8 + Z_6 Z_8}$$

le deuxième courant de court-circuit parcourant L1 est égal à :

$$I_{CCA} = \frac{U}{Z_2 \left(\frac{U_1}{U_3}\right)^2 + Z_3} + \frac{U}{Z_M \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 + \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5}}$$

Liaison L 4

Le courant de court-circuit maximal parcourant la liaison L₄ lors d'un court-circuit en B est la somme de 3 courants de court-circuit :

- celui dû au transformateur Z₁,
- celui dû à l'alternateur Z₂ à travers le transformateur Z₃,
- celui dû à la contribution des 3 moteurs Z₆, Z₇, Z₈ à travers le transformateur Z₅,

soit :

$$I_{CCB} = \frac{U}{Z_1} + \frac{U}{Z_2 \left(\frac{U_1}{U_3}\right)^2 + Z_3} + \frac{U}{Z_M \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 + Z_5}$$

Liaison L 5

Le plus grand courant de court-circuit parcourant la liaison L 5 en cas de court-circuit en C est la somme de 4 courants de court-circuit :

- la contribution de chacun des 3 moteurs Z₆, Z₇ et Z₈,
- le courant dû au transformateur Z₁ et à l'alternateur Z₂ en parallèle, à travers le transformateur Z₅,

soit :

$$I_{CCC} = \frac{U}{Z_6} + \frac{U}{Z_7} + \frac{U}{Z_8} + \frac{U}{\left\{ \frac{z_1 \left[z_2 \left(\frac{U_1}{U_3} \right)^2 + z_3 \right]}{z_1 + z_2 \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 + z_3} \right\} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 + Z_5}$$

Liaison L2

Le plus grand courant de court-circuit parcourant la liaison L 2 en cas de court-circuit en D est :

- soit celui dû à l'alternateur,
- soit celui dû au transformateur Z₁ et à l'ensemble des 3 moteurs à travers les transformateurs Z₃ et Z₄ en parallèle, à travers le transformateur Z₃,

soit :

$$I_{CCD} = \frac{U}{\left\{ \frac{\left[z_M \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 + \frac{z_4 + z_5}{2} \right] \times z_1}{z_M \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 + \frac{z_4 + z_5}{2} + z_1} \right\} \left(\frac{U_3}{U_1} \right)^2 + Z_3 \left(\frac{U_3}{U_1} \right)^2}$$

Liaisons L6, L7 et L8

Le plus grand court-circuit parcourant ces liaisons en cas de court-circuit sur leur parcours, est la somme de 3 courants de court-circuit :

- la contribution des deux autres moteurs,
- le courant de court-circuit dû à l'ensemble transformateur Z 1 et l'alternateur Z 2 – transformateur Z 3 en parallèle, à travers les transformateurs Z 4 et Z 5 en parallèle,

soit :

$$I_{CCE} = \frac{U}{Z_7} + \frac{U}{Z_8} + \frac{U}{\left\{ \frac{z_1 \left[z_2 \left(\frac{U_1}{U_3} \right)^2 + z_3 \right]}{z_1 + z_2 \left(\frac{U_1}{U_3} \right)^2 + z_3} \right\} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 + \frac{z_4 \cdot z_5}{z_4 + z_5}}$$

Note : La valeur de U dépend de la nature du courant de court-circuit ; pour le courant de court-circuit triphasé I_{cc3} , U est égal à $1,1 U_0$, U_0 étant la tension entre phase et neutre du circuit considéré.

F CHUTES DE TENSION

Les chutes de tension sont calculées à l'aide de la formule :

$$u = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \phi + \lambda L \sin \phi \right) I_B$$

u étant la chute de tension, en volts,

b étant un coefficient égal à $\sqrt{3}$ pour les circuits triphasés, et égal à 2 pour les circuits monophasés,

ρ_1 étant, sauf indications contraires (1), la résistivité des conducteurs en service normal, soit 1,25 fois celle à 20°C (voir C.3.1.1),

L étant la longueur simple de la canalisation, en mètres,

S étant la section des conducteurs, en mm²,

cos ϕ étant le facteur de puissance ; en l'absence d'indications précises, le facteur de puissance est pris égal à 0,8 (sin $\phi = 0,6$),

λ étant la réactance linéique des conducteurs (voir C.3.1.2),

I_B étant le courant d'emploi, en ampères.

La chute de tension relative (en pourcent) est égale à :

$$u = 100 \frac{U}{U}$$

U étant, en volts :

- la tension entre phase et neutre, pour la chute de tension des circuits monophasés,
- la tension entre phases pour la chute de tension des circuits triphasés.

(1) Lorsque la section des conducteurs est supérieure à celle correspondant au courant admissible, la résistivité peut être prise égale à :

$$\rho = 1,25 \rho_{20} \left(\frac{I_B}{I_z} \right)^2$$

Il en est par exemple ainsi lorsque la section des conducteurs est augmentée pour limiter les contraintes thermiques.
