

**SESSION 2009**  
**CA-PLP**

---

**CONCOURS EXTERNE**

---

Section : **GÉNIE ÉLECTRIQUE**

Option : **ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉNERGIE**

**DOSSIER**

**TECHNIQUE**

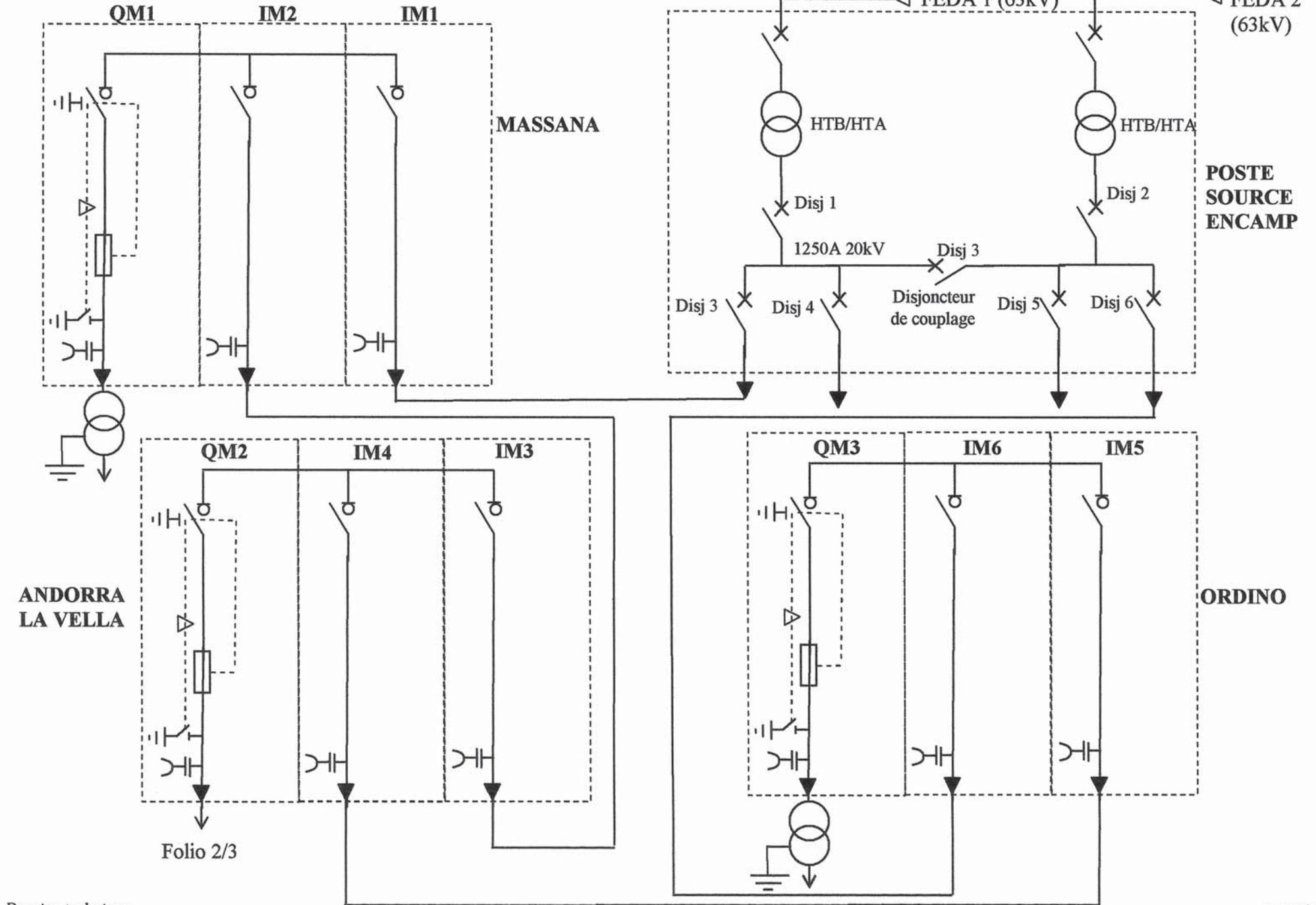
DT 1/29

Tournez la page S.V.P.



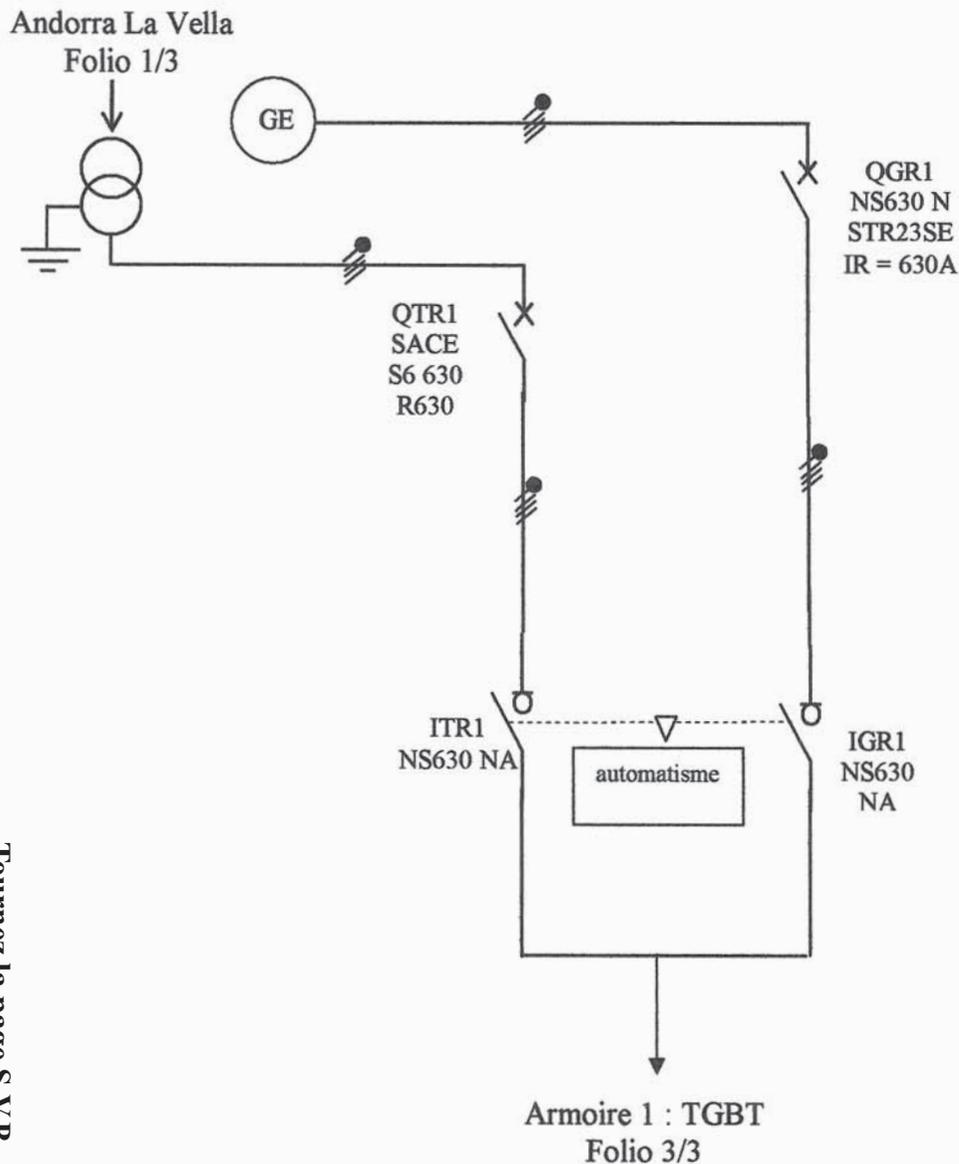
# SCHEMAS DE DISTRIBUTION ELECTRIQUES

Folio 1/3



Folio 2/3

Liste des armoires électriques et moteurs



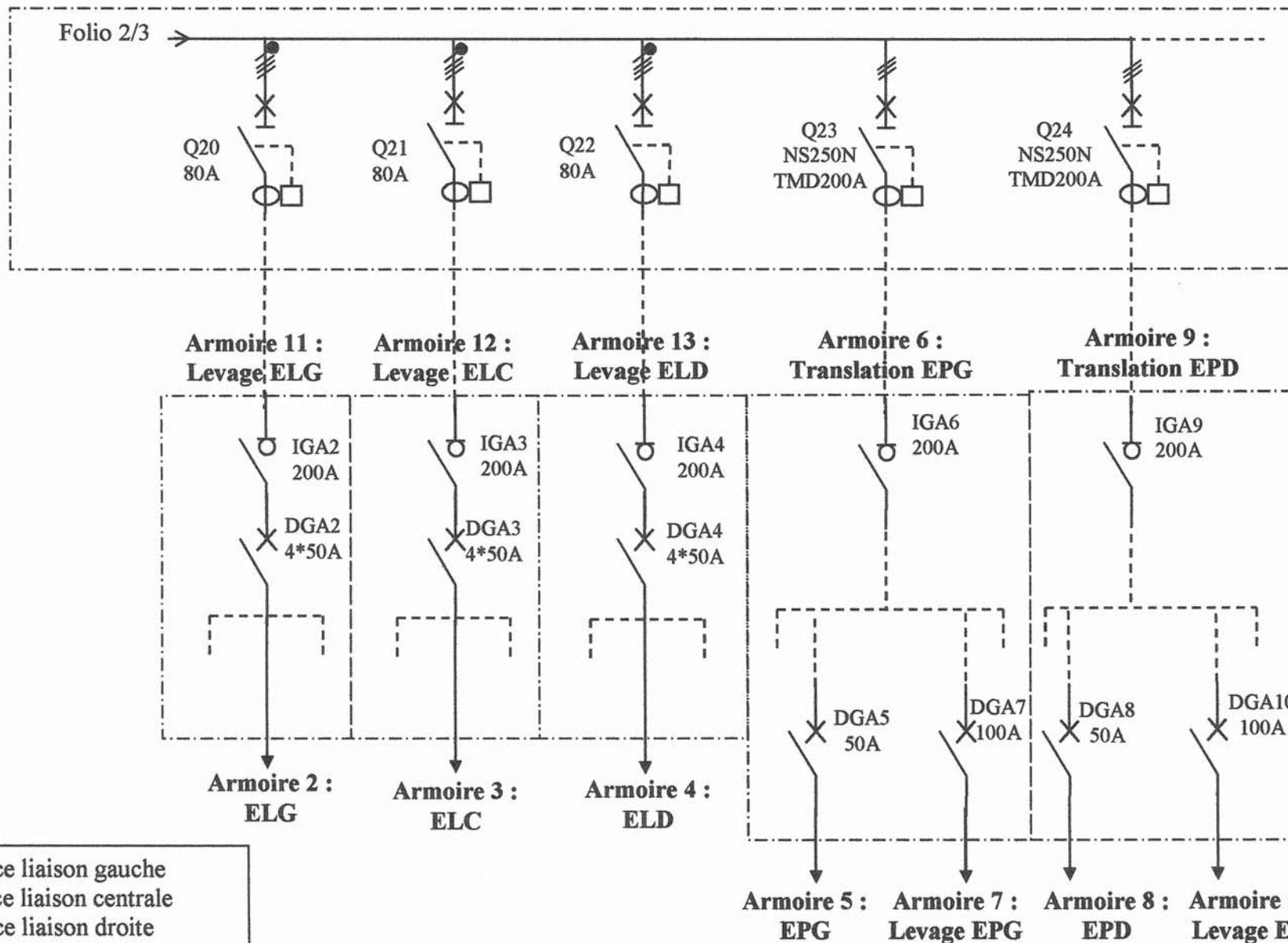
Armoires	Dénomination variateurs	P (kW) motorisation	Référence motorisation
Armoire 2	Variateur transfert berceau	2,2	K21R 100 L4
	Variateur transfert chariot	4	K21R 112 M4
	Variateur plaque tournante	4	K21R 112 M4
Armoire 3 et 4	Idem armoire 2	Idem	Idem
Armoire 11	Variateur levage	22	K21R 180 L4
Armoire 12 et 13	Idem armoire 11	Idem	Idem
Armoire 6	Variateur translation	45kW	-
Armoire 9	Idem	Idem	Idem
Armoire 7	Variateur levage	22	K21R 180 L4
Armoire 10	Idem	Idem	Idem
Armoire 5	Variateur transfert berceau haut	1,5	K21R 90 L4
	Variateur transfert berceau bas	3	K21R 100 LX4
	Variateur transfert chariot haut	3	K21R 100 LX4
	Variateur transfert chariot bas	3	K21R 100 LX4
Armoire 8	Idem armoire 5	Idem	Idem

Tournez la page S.V.P.

# SCHEMAS DE DISTRIBUTION ELECTRIQUES

## Armoire 1 : TGBT

Folio 3/3



ELG : élévatrice liaison gauche  
 ELC : élévatrice liaison centrale  
 ELD : élévatrice liaison droite

EPG : élévatrice principale gauche  
 EPD : élévatrice principale droite

# transformateurs de distribution HTA/BT

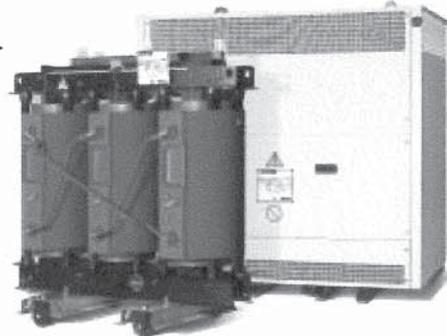
transformateurs secs enrobés TRIHAL de 160 à 2500 kVA  
 isolement  $\leq 24$  kV - tension secondaire 410 V - 50 Hz  
 classe thermique F - ambiante  $\leq 40^\circ$  C, altitude  $\leq 1000$  m



## normes

Ces transformateurs sont conformes aux normes :

- NFC 52 100 (1990), harmonisée avec les documents d'harmonisation CENELEC HD 398-1 à 398-5 ;
- norme NF C 52115 (1994) harmonisée avec le document HD 538 S1 du CENELEC ;
- norme NF C 52726 (1993) harmonisée avec le document EN 60726 (2003) du CENELEC ;
- IEC 60076-1 à 60076-5 ;
- IEC 60076-11 (2004) ;
- IEC 60905.



## caractéristiques électriques

isolement 17,5 kV et 24 kV - tension secondaire 410 V

puissance assignée (kVA) <sup>(1)</sup>	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
tension primaire assignée <sup>(1)</sup>	15 kV, 20 kV et doubles tensions 15/20 kV (puissance conservée)										
niveau d'isolement assigné <sup>(2)</sup>	17,5 kV pour 15 kV - 24 kV pour 20 kV										
tension secondaire à vide <sup>(1)</sup>	410 V entre phases, 237 V entre phase et neutre										
réglage (hors tension) <sup>(1)</sup>	$\pm 2,5$ % <sup>(1)</sup>										
couplage		Dyn 11 (triangle, étoile neutre sorti)									
pertes (W)	à vide	650	880	1200	1650	2000	2300	2800	3100	4000	5000
	à 75°C	2350	3300	4800	6800	8200	9600	11400	14000	17400	20000
	dues à la charge à 120°C	2700	3800	5500	7800	9400	11000	13100	16000	20000	23000
tension de court-circuit (%)	6										
courant à vide (%)	2,3										
courant d'enclenchement	le/In valeur crête	10,5	10,5	10	10	10	10	10	10	9,5	9,5
	constante de temps	0,13	0,18	0,25	0,26	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40	0,5
chute de tension à pleine charge (%)	cos $\varphi = 1$ à 120°C	1,85	1,69	1,55	1,41	1,35	1,27	1,22	1,18	1,18	1,10
	cos $\varphi = 0,8$ à 120°C	4,87	4,77	4,68	4,59	4,55	4,50	4,47	4,44	4,44	4,38
rendement (%)	charge 100 %	97,95	98,16	98,35	98,52	98,60	98,69	98,74	98,82	98,81	98,89
	charge 75 %	97,45	97,71	97,95	98,16	98,25	98,36	98,43	98,53	98,52	98,62
bruit <sup>(3)</sup>	puissance acoustique LWA	62	65	68	70	72	73	75	76	78	81
	pression acoustique LPA à 1 m	50	53	56	57	59	60	61	62	63	66
décharges partielles <sup>(4)</sup>	$\leq 10$ pC à 1,3 Un										

## Courant de court-circuit maximal en aval d'un transformateur HTA/BT

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous correspondent à un c triphasé boulonné aux bornes BT d'un transformateur MT/BT raccordé dont la puissance de court-circuit est de 500 MVA.

### Transformateur triphasé immergé dans l'huile (NF C 52-112-1 édition de juin 1994)

	puissance en kVA											
	50	100	160	250	400	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
237 V												
In (A)	122	244	390	609	974	1 535	1 949	2 436				
Icc (kA)	3,04	6,06	9,67	15,04	23,88	37,20	31,64	39,29				
Ucc (%)	4	4	4	4	4	4	6	6				
pertes cuivre (kW)	1,35	2,15	2,35	3,25	4,6	6,5	10,7	13				
410 V												
In (A)	70	141	225	352	563	887	1 127	1 408	1 760	2 253	2 816	3 520
Icc (kA)	1,76	3,50	5,59	8,69	13,81	21,50	18,29	22,71	28,16	35,65	44,01	54,16
Ucc (%)	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
pertes cuivre (kW)	1,35	2,15	2,35	3,25	4,6	6,5	10,7	13	16	20	25,5	32

Nota : La norme NF C 52-112 est l'application française du document d'harmonisation européen HD 428.

### Transformateur triphasé sec enrobé TRIHAL (NF C 52-115 édition de février 1994)

	puissance en kVA											
	100	160	250	400	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	
237 V												
In (A)	244	390	609	974	1 535	1 949	2 436					
Icc (kA)	4,05	6,46	10,07	16,03	25,05	31,64	39,29					
Ucc (%)	6	6	6	6	6	6	6					
pertes cuivre (kW)	2	2,7	3,8	5,5	7,8	9,4	11					
410 V												
In (A)	141	225	352	563	887	1 127	1 408	1 760	2 253	2 816	3 520	
Icc (kA)	2,34	3,74	5,82	9,26	14,48	18,29	22,71	28,16	35,65	44,01	54,16	
Ucc (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
pertes cuivre (kW)	2	2,7	3,8	5,5	7,8	9,4	11	13,1	16	20	23	

Nota : La norme NF C 52-115 est l'application française du document d'harmonisation européen HD 538.

# TRANSFORMATEURS HTA/BT : VENTILATION DU LOCAL

## ventilation du local

- détermination de la hauteur et des sections des orifices de ventilation.

Dans le cas général du refroidissement naturel (AN), la ventilation du local ou de l'enveloppe a pour but de dissiper par convection naturelle les calories produites par les pertes totales du transformateur en fonctionnement.

Une bonne ventilation sera constituée par un orifice d'entrée d'air frais de section S dans le bas du local et un orifice de sortie d'air S' situé en haut, sur la paroi opposée du local à une hauteur H de l'orifice d'entrée (figures 1 et 2).

Pour assurer un refroidissement efficace du transformateur par une circulation d'air suffisante, il est impératif de maintenir une hauteur minimum de 150 mm sous la partie active, en mettant en place les galets de roulement ou un rehausseur équivalent.

Il faut noter qu'une circulation d'air restreinte engendre une réduction de la puissance nominale du transformateur.

- formule de calcul de ventilation naturelle (figure 1) :

$$S = \frac{0,18P}{\sqrt{H}} \text{ et } S' = 1,10 \times S$$

P = somme des pertes à vide et des pertes dues à la charge du transformateur exprimée en kW à 120°C.

S = surface de l'orifice d'arrivée d'air frais (grillage éventuel déduit) exprimée en m<sup>2</sup>.

S' = surface de l'orifice de sortie d'air (grillage éventuel déduit) exprimée en m<sup>2</sup>.

H = hauteur entre les deux orifices exprimée en mètre.

Cette formule est valable pour une température ambiante moyenne de 20°C et une altitude de 1000 m.

Exemple :

- un seul transformateur Trihal 1000 kVA,

- Po = 2300 W, Pcc à 120°C = 11000 W,

soit P = 13,3 kW.

Si l'entraxe des grilles = 2 mètres, alors S = 1,7 m<sup>2</sup> de surface nette nécessaire.

Imaginons un grillage obstruant à 30% l'entrée d'air ; la surface grillagée d'entrée d'air devra alors être de 1,5 m × 1,5 m, celle de sortie d'air devra être de 1,5 m × 1,6 m.

- ventilation forcée du local (figure 2) :

Une ventilation forcée du local est nécessaire en cas de température ambiante supérieure à 20°C, de local exigü ou mal ventilé, de surcharges fréquentes.

Le ventilateur peut être commandé par thermostat et fonctionnera en extracteur, en partie haute du local.

Débit conseillé (m<sup>3</sup>/seconde) à 20°C = 0,1 × P.

P = somme des pertes à vide et des pertes dues à la charge du transformateur exprimée en kW à 120°C.

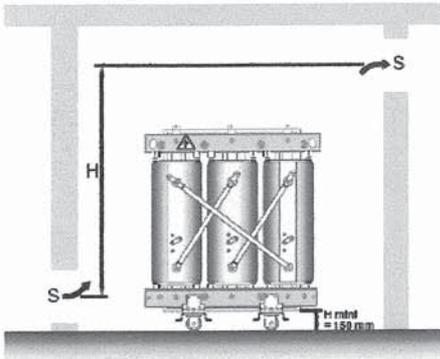


figure 1 - ventilation naturelle du local

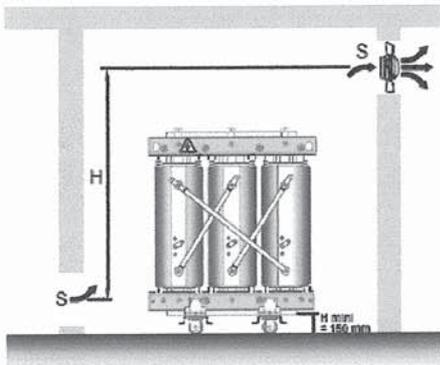


figure 2 - ventilation forcée du local

# TRANSFORMATEURS HTA/BT : FUSIBLES SOLEFUSE

Caractéristiques  
des unités fonctionnelles

## Protection des transformateurs

### Tableau de choix

Le code couleur est lié à la tension assignée du fusible.  
Calibre en A - utilisation sans surcharge à - 5 °C < t < 40 °C.  
En cas de surcharge ou au-delà de 40 °C, nous consulter.

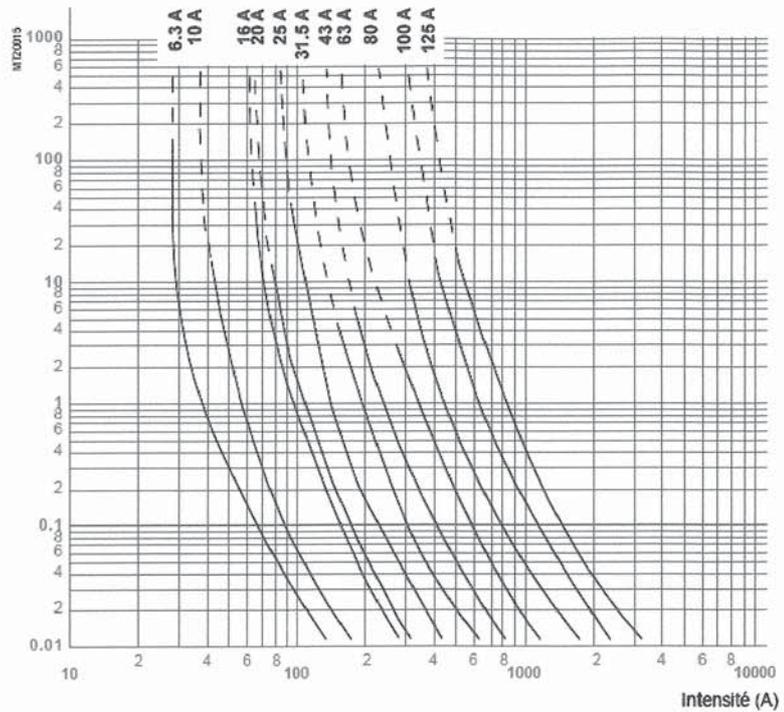
Type de fusible	Tension de service (kV)	Puissance du transformateur (kVA)														Tension assignée (kV)	
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250		1600
Soléfuse (normes UTE NFC 13.100, 64.210)																	
	5,5	6,3	16	31,5	31,5	63	63	63	63	63							7,2
	10	6,3	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	63					
	15	6,3	6,3	16	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63			
	20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63		24

# Fusibles Soléfuse

## Courbes de fusion et de limitation

### Courbes de fusion 7,2 - 12 - 17,5 - 24 kV

Temps (s)



## TRANSFORMATEURS HTA/BT : TABLEAUX DE SELECTIVITE

Aval	Amont Calibre(A) Réglage Ir	NS160N/H/L Décl.STR22SE				NS250N/H/L Décl.STR22SE				NS400N/H/L Décl.STR23SE/53UE					NS630N/H/L Décl.STR23/53UE							
		160	100	125	160	250	125	160	200	250	400	160	200	250	320	400	630	250	320	400	500	630
NS160N Décl.STR22SE	40	2	2	2	2	3	3	3	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100				2		3	3	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	160								3		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
NS160H/L Décl.STR22SE	40	2	2	2	2	3	3	3	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100				2		3	3	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	160								3		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
NS250N/H/L Décl.STR22SE	100						3	3	3	5	5	5	5	5	5	T	T	T	T	T	T	T
	160							3	3			5	5	5	T	T	T	T	T	T	T	T
	250												5		T	T	T	T	T	T	T	T
NS400N/H/L	160															8	8	8	8	8	8	8
	200																8	8	8	8	8	8
	250																	8	8	8	8	8
	320																			8	8	8
	400																					8
NS630N	250																					
	320																					
	400																					
	500																					
	630																					

# CARACTERISTIQUES DES MOTEURS

## Caractéristiques techniques

400 V, 50 Hz



4 pôles  
1500 min<sup>-1</sup>

### Moteurs triphasés à cage

Ventilation extérieure, service S1,  
classe d'isolation F, degré de protection IP 55



Type	P kW	n min <sup>-1</sup>	EFF- -	Charge			I A	I <sub>D</sub> /I <sub>N</sub> -	C <sub>D</sub> /C <sub>N</sub> -	C <sub>max</sub> /C <sub>N</sub> -	C <sub>max</sub> /C <sub>N</sub> -	J kgm <sup>2</sup>	m kg
				100 %	75 %	100 %							
K21R 56 K4	0,06	1410		60,5	56,8	0,60	0,24	3,1	2,3	2,3	2,7	0,00019	4,3
K21R 56 G4	0,09	1375		62,0	61,0	0,68	0,31	3,2	1,9	1,9	2,2	0,00019	4,4
K21R 63 K4	0,12	1370		57,5	56,7	0,68	0,44	3,2	1,9	1,8	2,2	0,00019	4,8
K21R 63 G4	0,18	1360		61,0	56,5	0,66	0,65	3,3	2,0	2,0	2,3	0,00024	5,2
K21R 71 K4	0,25	1365		64,6	62,3	0,72	0,78	3,6	1,8	1,8	2,1	0,00040	6,8
K21R 71 G4	0,37	1370		67,8	66,9	0,74	1,06	3,8	2,0	2,0	2,2	0,00050	7,8
K21R 80 K4	0,55	1400		71,5	69,3	0,69	1,60	4,1	2,1	2,0	2,3	0,00087	10,6
K21R 80 G4	0,75	1400		73,5	70,8	0,70	2,10	4,6	2,2	2,1	2,3	0,00107	11,7
K21R 80 Gx4	0,9	1390		75,1	74,6	0,73	2,36	4,7	2,6	2,2	2,4	0,00129	12,5
K21R 90 S4	1,10	1410	2	76,6	75,3	0,79	2,62	5,5	2,3	2,2	2,5	0,00207	15,5
K21R 90 L4	1,50	1400	2	78,8	77,9	0,81	3,40	5,5	2,5	2,4	2,6	0,00260	18
K21R 90 Lv4	1,8	1400		77,5	78,4	0,81	4,1	5,8	2,6	2,5	2,7	0,00195	19,5
K21R 100 L4	2,20	1420	2	81,0	80,0	0,79	5,15	6,0	3,0	2,7	2,9	0,00400	23,5
K21R 100 LX4	3,00	1430	2	82,6	82,3	0,79	6,70	6,4	2,3	2,1	2,8	0,00725	30
K21R 112 M4	4,00	1435	2	84,2	83,6	0,78	8,80	6,9	2,6	2,5	3,0	0,00900	37
K21R 112 Mx4	5,5	1425		84,3	85,4	0,81	11,6	6,6	2,6	2,3	3	0,01500	45
K21R 132 S4T	5,5	1425	2	85,7	85,3	0,78	11,8	6,3	2,5	2,4	2,9	0,01500	50
K21R 132 M4	7,5	1450	2	87,0	86,0	0,84	15	6,0	2,0	1,7	2,9	0,028	70
K21R 160 M4	11	1450	2	88,4	88,0	0,85	21	6,8	2,2	1,9	3,3	0,035	92
K21R 160 L4	15	1465	2	89,4	89,0	0,86	28	7,3	2,5	2,0	3,0	0,078	120
K21R 180 M4	18,5	1460	2	90,0	89,5	0,86	34,5	6,8	2,5	2,0	2,9	0,090	136
K21R 180 L4	22	1465	2	90,5	90,5	0,84	42	6,5	2,0	1,8	2,8	0,138	170
K21R 200 L4	30	1465	2	91,5	91,0	0,85	55,5	7,0	2,0	1,7	2,4	0,168	200
K21R 225 S4	37	1470	2	92,5	91,5	0,86	67	7,0	2,0	1,7	2,5	0,275	270
K21R 225 M4	45	1470	2	93,0	92,5	0,86	81	7,0	2,0	1,7	2,5	0,313	300

# DETERMINATION DU COURANT ADMISSIBLE I<sub>z</sub>

## ► Courants admissibles dans les câbles

Le tableau ci-après donne la valeur du courant maximal I<sub>z</sub> admissible pour chaque section des câbles cuivre et aluminium. Elles sont à corriger en fonction des coefficients suivants :

- Km : coefficient de mode de pose (page D.16)
- Kn : coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble (voir page D.76)
- Kt : coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble (voir page D.77).

Les coefficients Km, Kn et Kt sont déterminés en fonction des catégories d'installation des câbles : B, C, E ou F (voir pages D.16 et D.17).

La section retenue doit être telle que :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

Les câbles sont classés en deux familles : PVC et PR (voir tableau page D.24). Le chiffre suivant donne le nombre de câbles chargés. Les câbles isolés par élastomère (caoutchouc, butyle,...) sont classés dans la famille PR.

**Exemple :** PVC 3 indique un câble de la famille PVC avec 3 conducteurs chargés (3 phases ou 3 phases + neutre).

Tableau A

Catégorie	I <sub>z</sub> courant maximal admissible dans les conducteurs (A)								
	B	PVC3	PVC2	PR3	PR2	PR3	PR2	PR2	PR2
C			PVC3	PVC2	PR3	PR2	PR3	PR2	
E			PVC3	PVC3	PVC2	PR3	PR3	PR2	
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
S mm <sup>2</sup> cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254

## ► Coefficient Km

Suivant norme NF C 15-100 et CEI 60364

CATEGORIE	MODE DE POSE	Km					
		(a)	(b)	(c)	(d)		
B	1 Sous parois thermiquement isolantes	0,77	-	0,70	0,77		
	2 Montage apparent, encastré sous paroi ou sous profilé	1	-	0,9	-		
	3 Sous vide de construction ou faux plafonds	0,95	-	0,865	0,95		
	4 Sous caniveaux	0,95	0,95	-	0,95		
	5 Sous goulottes, moulures, plinthes	-	1	-	0,9		
C	1 Câbles mono ou multiconducteurs encastrés directement dans une paroi sans protection mécanique	-	-	-	1		
	2 Câbles fixés	-	-	-	1		
	• sur un mur				0,95		
	• au plafond						
3 Conducteurs nus ou isolés sur isolateur	-	1,21	-	-			
4 Câbles sur chemins de câbles non perforés	-	-	-	1			
E	Câbles multiconducteurs ou Câbles monoconducteurs	sur	1 - Chemins de câbles perforés	-	-	-	1
2 - Corbeaux, échelles							
3 - Colliers éloignés de la paroi							
4 - Câbles suspendus à un câble porteur							

(a) Conducteur isolé placé dans un conduit

(b) Conducteur isolé non placé dans un conduit

(c) Câble placé dans un conduit

(d) Câble non placé dans un conduit

# DETERMINATION DU COURANT ADMISSIBLE $I_z$ (suite)

## ► Coefficient $K_n$

Suivant norme NF C 15-100 et CEI 60364

Tableau A

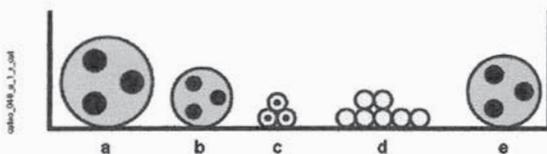
CATEGORIE	DISPOSITION DES CABLES JOINTIFS	FACTEURS DE CORRECTION $K_n$											
		NOMBRE DE CIRCUITS OU DE CABLES MULTICONDUCTEURS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles		
	Simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
E, F	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			
	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Quand les câbles sont disposés en plusieurs couches, il faut multiplier  $K_n$  par :

Tableau B

Nbre de couches	2	3	4 et 5	6 à 8	9 et plus
Coefficient	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

### Exemple



Sur une tablette perforée sont disposés :

- 2 câbles tripolaires (2 circuits a et b)
- 1 ensemble de 3 câbles unipolaires (1 circuit c)
- 1 ensemble formé de 2 conducteurs par phase (2 circuits d)
- 1 câble tripolaire pour lequel on cherche  $K_n$  (1 circuit e)

Le nombre total de circuits est de 6. La méthode de référence est la méthode E (tablette perforée).  $K_n = 0,55$ .

NFC 15-100 § 523.6

D'une manière générale, il est recommandé de mettre en oeuvre le moins possible de câbles en parallèle. Dans tous les cas, leur nombre ne doit pas dépasser quatre. Au-delà, il y a lieu de préférer la mise en oeuvre de canalisations préfabriquées.

PS : Des méthodes particulièrement intéressantes de protection de conducteurs en parallèle contre les surcharges par fusibles sont données dans la publication CEI 60364-4-47.

## ► Modes de pose

<p><b>• Catégorie B - 1</b></p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolantes.</p> <p>Câbles multiconducteurs dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolantes.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits en montage apparent.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits profilés en montage apparent.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés en montage apparent.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans une paroi.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi.</p>	<p><b>• Catégorie B - 3</b></p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des vides de construction.</p> <p>Conducteurs isolés dans des vides de construction.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des vides de construction.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits dans des vides de construction.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits profilés dans des vides de construction.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés dans des vides de construction.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits profilés noyés dans la construction.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés noyés dans la construction.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs : - dans les faux-plafonds - dans des plafonds suspendus.</p>	<p><b>• Catégorie B - 5</b></p> <p>Conducteurs isolés dans des mouleurs.</p> <p>Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des plinthes rainurées.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles mono- ou multiconducteurs dans les chambranles.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles mono- ou multiconducteurs dans les huisseries de fenêtres.</p>	<p><b>• Catégories E - 1<sup>(1)</sup> et F - 1<sup>(2)</sup></b></p> <p>- sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical.</p> <p><b>• Catégories E - 2<sup>(1)</sup> et F - 2<sup>(2)</sup></b></p> <p>- sur des corbeaux,</p> <p><b>• Catégories E - 3<sup>(1)</sup> et F - 3<sup>(2)</sup></b></p> <p>- sur échelles à câbles.</p> <p><b>• Catégories E - 4<sup>(1)</sup> et F - 4<sup>(2)</sup></b></p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs suspendus à un câble porteur ou autoporteur.</p>
<p><b>• Catégorie B - 2</b></p> <p>Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes fixées aux parois : - en parcours horizontal</p> <p>- en parcours vertical</p> <p>Conducteurs isolés dans des goulottes encastrées dans des planchers.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes encastrées dans des planchers.</p> <p>Conducteurs isolés dans des goulottes suspendues.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes suspendues.</p>	<p><b>• Catégorie B - 4</b></p> <p>Câbles multiconducteurs encastrés directement dans des parois thermiquement isolantes.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical.</p> <p>Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés.</p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.</p>	<p><b>• Catégorie C - 1</b></p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois sans protection mécanique complémentaire.</p> <p><b>• Catégorie C - 2</b></p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois avec protection mécanique complémentaire.</p> <p><b>• Catégorie C - 3</b></p> <p>Conducteurs nus ou isolés sur isolateurs.</p> <p><b>• Catégorie C - 4</b></p> <p>Câbles mono- ou multiconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées.</p>	<p>(1) câbles multiconducteurs (2) câbles monoconducteurs</p>

# DETERMINATION DU COURANT ADMISSIBLE I<sub>Z</sub> (suite)

## ► Coefficient Kt

Suivant norme NF C 15-100 et CEI 60364

Tableau C

TEMPERATURE AMBIANTE (°C)	ISOLANTS			TEMPERATURE AMBIANTE (°C)	ISOLANTS		
	ELASTOMERE (CAOUTCHOUC)	PVC	PR/EPR		ELASTOMERE (CAOUTCHOUC)	PVC	PR/EPR
10	1,29	1,22	1,15	50	0,58	0,71	0,82
15	1,22	1,17	1,12	55	-	0,61	0,76
20	1,15	1,12	1,08	60	-	0,50	0,71
25	1,07	1,06	1,04	65	-	-	0,65
35	0,93	0,94	0,96	70	-	-	0,58
40	0,82	0,87	0,91				
45	0,71	0,79	0,87				

**Exemple :** Pour un câble isolé au PVC qui se trouve dans un local où la température ambiante atteint 40 °C. Kt = 0,87.

## ► Identification des câbles

Tableau A :

équivalences entre l'ancienne et la nouvelle appellation (câbles)

ANCIENNE APPELLATION (NORME NATIONALE)	NOUVELLE APPELLATION (NORME HARMONISEE)
U 500 VGV	A 05VV - U (ou R)
U 1000 SC 12 N	H 07 RN - F
U 500 SV 0V	A 05 VV - F
U 500 SV 1V	

Tableau B : classification des câbles

CABLES PR		CABLES PVC	
U 1000	R 12 N	FR-N 05	W-U,R
U 1000	R2V	FR-N 05	W-AR
U 1000	RVFV	FR-N 05	VL2V-U, R
U 1000	RGPFV	FR-N 05	VL2V-AR
H 07	RN-F	H 07	VVH2-F
FR-N 07	RN-F	H 07	VVD3H2-F
A 07	RN-F	H 05	VV-F
FR-N 1	X1X2	H 05	VVH2-F
FR-N 1	X1G1	FR-N 05	VV5-F
FR-N 1	X1X2Z4X2	FR-N 05	VVC4V5-F
FR-N 1	X1G1Z4G1	A 05	VV-F
FR-N 07	X4X5-F	A 05	VVH2-F
0,6/1	Torsadés		
FR-N 1	XDV-AR, AS, AU		
H 05	RN-F		
A 05	RN-F		
H 05	RR-F		
A 05	RR-F		

## CHUTES DE TENSION

### ► Définition

La chute de tension est la différence de tension observée entre le point d'origine de l'installation et le point de branchement d'un récepteur. Pour assurer le bon fonctionnement des récepteurs, les normes NF C 15-100 et CEI 364 définissent une chute de tension maximale (voir tableau A).

Tableau A : NF C 15-100 chute de tension maximale

	ECLAIRAGE	AUTRES USAGES
Alim. directe par réseau public BT		
• circuits monophasés	6 %	10 %
• circuits triphasés	3 %	5 %
Alimentation par poste HT/BT		
• circuits monophasés	12 %	16 %
• circuits triphasés	6 %	8 %

### ► Calcul de la chute de tension dans un câble de longueur L

$$\Delta u = Ku \times I \text{ (Ampères)} \times L \text{ (km)}$$

Tableau B : valeurs de Ku

SECTION CÂBLE (mm²)	COURANT (CONTINU)	Câbles multiconducteurs ou monconducteurs en tresse			Câbles microconducteurs joints en nappe			Câbles monoconducteurs séparés		
		cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8	cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8	cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8
		1,5	30,67	4,69	7,74	12,31	4,69	7,74	12,32	4,72
2,5	18,40	2,84	4,67	7,41	2,85	4,68	7,41	2,88	4,71	7,44
4	11,50	1,80	2,94	4,05	1,81	2,95	4,05	1,85	2,99	4,08
6	7,67	1,23	1,99	3,11	1,24	1,99	3,12	1,27	2,03	3,14
10	4,60	0,77	1,22	1,89	0,78	1,23	1,89	0,81	1,26	1,92
16	2,88	0,51	0,79	1,20	0,52	0,80	1,20	0,55	0,83	1,23
25	1,84	0,35	0,53	0,76	0,36	0,54	0,76	0,40	0,57	0,81
35	1,31	0,27	0,40	0,57	0,28	0,41	0,58	0,32	0,44	0,60
50	0,92	0,21	0,30	0,42	0,22	0,31	0,42	0,26	0,34	0,45
70	0,66	0,17	0,23	0,31	0,18	0,24	0,32	0,22	0,29	0,34
95	0,48	0,15	0,19	0,24	0,16	0,20	0,25	0,20	0,23	0,27
120	0,38	0,13	0,17	0,20	0,14	0,17	0,21	0,18	0,21	0,23
150	0,31	0,12	0,15	0,17	0,13	0,15	0,18	0,17	0,19	0,20
185	0,25	0,11	0,13	0,15	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
240	0,19	0,10	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,15	0,16	0,15
300	0,15	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,15	0,15	0,14
400	0,12	0,09	0,10	0,09	0,10	0,11	0,10	0,14	0,14	0,12

Circuits monophasés : multiplier les valeurs par 2.

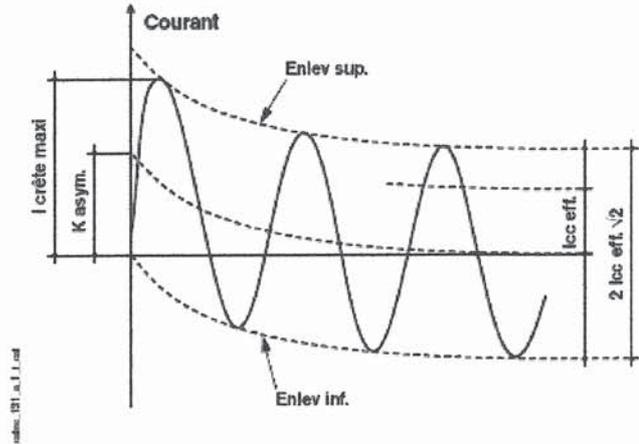
# COURANTS DE COURTS-CIRCUITS

## Définition

Un courant de court-circuit est un courant provoqué par un défaut d'impédance négligeable entre des points d'installation présentant normalement une différence de potentiel.

On distingue 3 niveaux de courant de court-circuit :

- le courant de **court-circuit crête** ( $i_{cc}$  crête) correspondant à la valeur extrême de l'onde, générant des forces électrodynamiques élevées notamment au niveau des jeux de barres et des contacts ou connexions d'appareillage.
- le courant de **court-circuit efficace** ( $i_{cc}$  eff) : valeur efficace du courant de défaut qui provoque des échauffements dans les appareils et les conducteurs et peut porter les masses des matériels électriques à un potentiel dangereux.
- le courant de **court-circuit minimum** ( $i_{cc}$  min) : valeur efficace du courant de défaut s'établissant dans des circuits d'impédance élevée (conducteur à section réduite et canalisation de grande longueur...) et dont cette impédance a été en plus augmentée par l'échauffement de la canalisation en défaut. Il est nécessaire d'éliminer rapidement ce type de défaut dit impédant par des moyens appropriés.



## Calcul du $i_{cc}$ d'une source

### Avec 1 transformateur

- Evaluation rapide en fonction de la puissance du transformateur :

Secteurs	$I_n$	$i_{cc}$ eff
127 / 220 V	S (kVA) x 2,5	$I_n$ x 20
220 / 380 V	S (kVA) x 1,5	$I_n$ x 20

- Evaluation rapide en fonction de la tension de court-circuit du transformateur (u) :

$$i_{cc} \text{ (A eff)} = \frac{S}{U\sqrt{3}} \times \frac{100}{u} \times k$$

S : puissance (VA)  
 U : tension composée (V)  
 u : tension de court-circuit (%)  
 k : coefficient pour tenir compte des impédances amont (0,8 par exemple).

### Avec « n » transformateurs en parallèle

"n" étant le nombre de transformateurs.

- T1 ; T2 ; T3 identiques.
- Court-circuit en A, B ou C, les appareils 1, 2 ou 3 doivent supporter :  $i_{ccA} = (n-1) \times i_{cc}$  d'un transformateur.
- Court-circuit en D, l'appareil 4 doit supporter :  $i_{ccB} = n \times i_{cc}$  d'un transformateur.

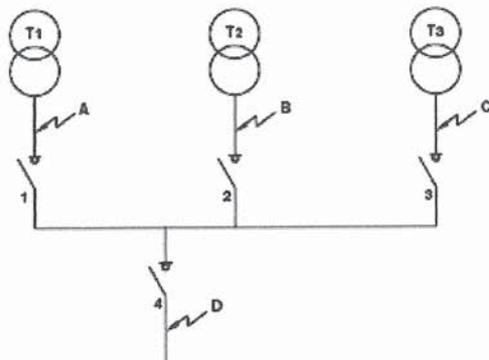


Fig. 1 : court-circuit avec plusieurs transformateurs en parallèle

### $i_{cc}$ batteries

Les valeurs de  $i_{cc}$  en aval d'une batterie d'accumulateurs sont approximativement :

- $i_{cc} = 15 \times Q$  (plomb ouverte)
- $i_{cc} = 40 \times Q$  (plomb étanche)
- $i_{cc} = 20 \times Q$  (Ca-Ni)
- Q (Ah) : capacité en Ampère - heure.

### $i_{cc}$ des groupes générateurs

L'impédance interne d'un alternateur dépend de sa construction. Celle-ci peut être caractérisée par deux valeurs exprimées en % :

- la réactance transitoire  $X'd$  :
  - 15 à 20 % d'un turboalternateur
  - 25 à 35 % pour un alternateur à pôles saillants (la réactance subtransitoire est négligée)
- la réactance homopolaire  $X'o$  : on peut l'estimer à 6 % en l'absence d'indications plus précises.

On peut calculer :

$$i_{cc3} = \frac{k_3 \times P}{U_0 \times X'd}$$

P : Puissance de l'alternateur en kVA

$U_0$  : Tension simple

$X'd$  : Réactance transitoire

$k_3 = 0,37$  pour  $i_{cc3}$  max

$k_3 = 0,33$  pour  $i_{cc3}$  min

$$i_{cc2} = 0,86 \times i_{cc3}$$

$$i_{cc1} = \frac{k_1 P}{U_0 (2X'd + X'o)}$$

$X'o$  : Réactance homopolaire

$k_1 = 1,1$  pour  $i_{cc1}$  max

$k_1 = 1,1$  pour  $i_{cc1}$  min

Exemple : P = 400 kVA  $X'd = 30\%$   $X'o = 6\%$   $U_0 = 230$  V

$$i_{cc3} \text{ max} = \frac{0,37 \times 400}{230 \times \frac{30}{100}} = 2,14 \text{ kA} \quad i_{cc1} \text{ max} = \frac{1,1 \times 400}{230 \times \left[ 2 \times \frac{30}{100} + \frac{6}{100} \right]} = 2,944 \text{ kA}$$

$$i_{cc2} \text{ max} = 1,844 \text{ kA}$$

Les faibles courants de court-circuit générés par les groupes électrogènes rendent difficile la protection des circuits par les moyens habituels. SOCOMEC propose à travers le système DIRIS une solution appropriée.

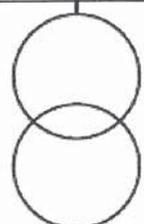
## COURANTS DE COURTS-CIRCUITS (suite)

### ► Méthode des impédances (suite)

#### Détermination des valeurs de "R" et de "X" (réseau) R = résistance X = réactance

• Le tableau ci-dessous donne les valeurs de R et X pour les différentes parties du circuit jusqu'au point de court-circuit. Pour calculer

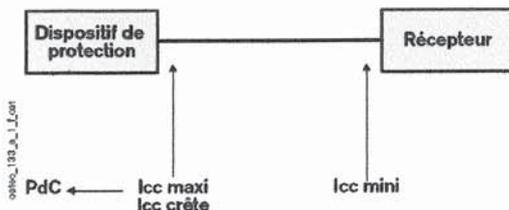
l'impédance de la boucle de défaut, il faudra additionner séparément les R et les X (voir exemple page D.24).

Schéma	Valeurs de R et X																																																				
	<p><b>Réseau amont</b> Valeurs de "R" et "X" en amont des transformateurs HT/BT (400 V) en fonction de la puissance de court-circuit (Pcc en MVA) de ce réseau.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>MVA</th> <th>RESEAU</th> <th>R (mΩ)</th> <th>X (mΩ)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>500</td> <td>&gt; 63 kV</td> <td>0,04</td> <td>0,35</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>&gt; 24 kV près des centrales</td> <td>0,07</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>125</td> <td>&gt; 24 kV loin des centrales</td> <td>0,14</td> <td>1,4</td> </tr> </tbody> </table> <p>Si la puissance de court-circuit (Pcc) est connue Uo tension à vide (400 V ou 230 V en AC 50 Hz).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">R_{(m\Omega)} = 0,1 \times X_{(m\Omega)}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">X_{(m\Omega)} = \frac{3,3 \times U_0^2}{P_{cc} \text{ kva}}</math> </div> </div>	MVA	RESEAU	R (mΩ)	X (mΩ)	500	> 63 kV	0,04	0,35	250	> 24 kV près des centrales	0,07	0,7	125	> 24 kV loin des centrales	0,14	1,4																																				
MVA	RESEAU	R (mΩ)	X (mΩ)																																																		
500	> 63 kV	0,04	0,35																																																		
250	> 24 kV près des centrales	0,07	0,7																																																		
125	> 24 kV loin des centrales	0,14	1,4																																																		
	<p><b>Transformateurs immergés à secondaires 400 V</b> Valeurs de "R" et "X" en fonction de la puissance du transformateur.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>P (kVA)</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>160</th> <th>200</th> <th>250</th> <th>400</th> <th>630</th> <th>1000</th> <th>1250</th> <th>1600</th> <th>2000</th> <th>2500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I<sub>cc3</sub> (kA)</td> <td>1,80</td> <td>3,60</td> <td>5,76</td> <td>7,20</td> <td>9,00</td> <td>14,43</td> <td>22,68</td> <td>24,01</td> <td>30,03</td> <td>38,44</td> <td>48,04</td> <td>60,07</td> </tr> <tr> <td>R (mΩ)</td> <td>43,7</td> <td>21,9</td> <td>13,7</td> <td>10,9</td> <td>8,7</td> <td>5,5</td> <td>3,5</td> <td>3,3</td> <td>2,6</td> <td>2,0</td> <td>1,6</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>X (mΩ)</td> <td>134</td> <td>67</td> <td>41,9</td> <td>33,5</td> <td>26,8</td> <td>16,8</td> <td>10,6</td> <td>10,0</td> <td>8,0</td> <td>6,3</td> <td>5,0</td> <td>4,01</td> </tr> </tbody> </table>	P (kVA)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500	I <sub>cc3</sub> (kA)	1,80	3,60	5,76	7,20	9,00	14,43	22,68	24,01	30,03	38,44	48,04	60,07	R (mΩ)	43,7	21,9	13,7	10,9	8,7	5,5	3,5	3,3	2,6	2,0	1,6	1,31	X (mΩ)	134	67	41,9	33,5	26,8	16,8	10,6	10,0	8,0	6,3	5,0	4,01
P (kVA)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500																																									
I <sub>cc3</sub> (kA)	1,80	3,60	5,76	7,20	9,00	14,43	22,68	24,01	30,03	38,44	48,04	60,07																																									
R (mΩ)	43,7	21,9	13,7	10,9	8,7	5,5	3,5	3,3	2,6	2,0	1,6	1,31																																									
X (mΩ)	134	67	41,9	33,5	26,8	16,8	10,6	10,0	8,0	6,3	5,0	4,01																																									
	<p><b>Conducteurs</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">R_{(m\Omega)} = \frac{\rho \times l_{(m)}}{S_{(mm^2)}} \quad \text{avec} \quad \rho = \frac{m\Omega \times mm^2}{m}</math> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="2">RESISTIVITE ρ EN 10<sup>-4</sup> mΩ.m</th> </tr> <tr> <th colspan="2">I<sub>cc</sub> maxi</th> </tr> <tr> <th>I<sub>cc</sub> mini</th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>Protection fusible</th> <th>Protection disjoncteur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuivre</td> <td>18,51</td> <td>28</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Aluminium</td> <td>29,4</td> <td>44</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">X_{(m\Omega)} = 0,08 \times l_{(m)} \text{ (câbles multipolaires ou câbles monopolaires en trèfle) }^{(1)}</math> <math display="block">X_{(m\Omega)} = 0,13 \times l_{(m)} \text{ (câbles monopolaires jointifs en nappe) }^{(1)}</math> <math display="block">X_{(m\Omega)} = 0,09 \times l_{(m)} \text{ (câbles monoconducteurs séparés)}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">X_{(m\Omega)} = 0,15 \times l_{(m)} \text{ (jeux de barres) }^{(1)}</math> </div> <p><small>(1) Cuivre et aluminium</small></p>		RESISTIVITE ρ EN 10 <sup>-4</sup> mΩ.m		I <sub>cc</sub> maxi		I <sub>cc</sub> mini			Protection fusible	Protection disjoncteur	Cuivre	18,51	28	23	Aluminium	29,4	44	37																																		
	RESISTIVITE ρ EN 10 <sup>-4</sup> mΩ.m																																																				
	I <sub>cc</sub> maxi																																																				
	I <sub>cc</sub> mini																																																				
	Protection fusible	Protection disjoncteur																																																			
Cuivre	18,51	28	23																																																		
Aluminium	29,4	44	37																																																		
	<p><b>Appareil en position fermée</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; margin: 10px auto; width: 80%;"> <math display="block">R = 0 \text{ et } X = 0,15 \text{ m}\Omega</math> </div>																																																				

## Calcul du $I_{cc}$ d'une installation BT

### ► Généralités

- Le calcul des courants de court-circuit a pour but de déterminer :
- le pouvoir de coupure du dispositif de protection (PdC)
  - la section des conducteurs permettant :
    - de supporter la contrainte thermique du courant de court-circuit
    - de garantir l'ouverture du dispositif de protection contre les contacts indirects dans le temps prescrit par les normes NF C 15-100 et CEI 60364.
  - la tenue mécanique des supports de conducteur (efforts électrodynamiques).
- Le PdC du dispositif de protection est déterminé à partir de  $I_{cc}$  maxi calculé à ses bornes.
- La section des conducteurs dépend de  $I_{cc}$  mini calculé aux bornes du récepteur.
- La tenue mécanique des supports des conducteurs est déterminée à partir du calcul de  $I_{cc}$  crête déduit du  $I_{cc}$  maxi.



Le calcul des courants de court-circuit peut se faire suivant l'une des trois méthodes :

- **Méthode conventionnelle**  
Elle permet de calculer  $I_{cc}$  mini. Voir ci-dessous.
- **Méthode des impédances**  
La méthode des impédances consiste à calculer l'impédance  $Z$  de la boucle de défaut en tenant compte de l'impédance de la source d'alimentation (réseau, batteries, groupe...). Cette méthode est précise et permet de calculer  $I_{cc}$  maxi et  $I_{cc}$  mini, mais nécessite la connaissance des paramètres du circuit en défaut (voir page D.23).
- **Méthode rapide**  
La méthode rapide s'applique dans le cas où les paramètres du circuit de défaut ne sont pas tous connus. Le courant de court-circuit  $I_{cc}$  est déterminé en un point du réseau, connaissant  $I_{cc}$  amont ainsi que la longueur et la section de raccordement au point amont (voir page D.25). Cette méthode donne uniquement la valeur de  $I_{cc}$  maxi.

### ► Méthode conventionnelle

Elle donne la valeur de  $I_{cc}$  mini, à l'extrémité d'une installation qui n'est pas alimentée par un alternateur.

$$I_{cc} = A \times \frac{0,8 U \times S}{2 \rho L}$$

- $U$  : tension entre phases en V  
 $L$  : longueur en m de la canalisation  
 $S$  : section des conducteurs en  $mm^2$   
 $\rho = 0,028 \text{ m}\Omega.m$  pour le cuivre en protection fusible  
 $0,044 \text{ m}\Omega.m$  pour l'aluminium en protection fusible  
 $0,023 \text{ m}\Omega.m$  pour le cuivre en protection disjoncteur  
 $0,037 \text{ m}\Omega.m$  pour l'aluminium en protection disjoncteur  
 $A = 1$  pour les circuits avec neutre (section neutre = section phase)  
 $1,73$  pour les circuits sans neutre  
 $0,67$  pour les circuits avec neutre (section neutre =  $\frac{1}{2}$  section phase)

Pour des sections de câbles supérieures ou égales à  $150 \text{ mm}^2$ , il faut tenir compte de la réactance divisant la valeur de  $I_{cc}$  par : câble de  $150 \text{ mm}^2$  : 1,15 ; câble de  $185 \text{ mm}^2$  : 1,2 ; câble de  $240 \text{ mm}^2$  : 1,25 ; câble de  $300 \text{ mm}^2$  : 1,3

### ► Méthode des impédances

La méthode des impédances consiste à additionner toutes les résistances  $R$  et toutes les réactances  $X$  du circuit en amont du court-circuit (voir page suivante) puis, à calculer l'impédance  $Z$ .

$$Z_{(m.s)} = \sqrt{R_{(m.s)}^2 + X_{(m.s)}^2}$$

Cette méthode permet de calculer :

- $I_{cc3}$  : courant de court-circuit triphasé

$$I_{cc3} = 1,1 \times \frac{U_0}{Z_3}$$

$U_0$  : tension simple  
(230 V dans un réseau 230/400)

$Z_3$  : impédance de la boucle triphasée (voir page D.24).

- $I_{cc2}$  : courant de court-circuit entre 2 phases

$$I_{cc2} = 0,86 \times I_{cc3}$$

- $I_{cc1}$  : courant de court-circuit monophasé

$$I_{cc1} = 1,1 \times \frac{U_0}{Z_1}$$

$U_0$  : tension simple  
(230 V dans un réseau 230/400)

$Z_1$  : impédance de la boucle monophasée (voir page D.24).

- $I_{cc}$  crête

Dans les cas où il est nécessaire de connaître les efforts électrodynamiques, sur un support de barres par exemple, il faut calculer  $I_{cc}$  crête :

$$I_{cc} \text{ crête}_{(kA)} = I_{cc} \text{ eff}_{(kA)} \times \sqrt{2} \times k$$

$k$  : coefficient d'asymétrie donné ci-dessous.

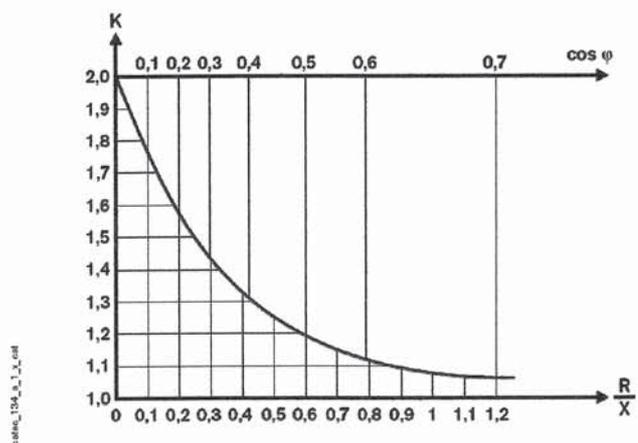


Fig. 1

**Nota** : on utilisera plus naturellement la valeur de  $R/X$ , celle-ci étant davantage exploitable dans ce diagramme.

$k = 1$  pour un régime symétrique ( $\cos \varphi = 1$ ).