BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4

CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2026

« Marilyn », data center à faible impact environnemental



DOSSIER RESSOURCES

DRES 1 : détermination de la section des conducteurs (2 pages) 2

DRES 2 : vérification de la chute de tension en ligne 4

DRES 3 : détermination de la longueur maximale de câble dans le cas du schéma des liaisons de mise à la terre TN 5

DRES 4 : compensation de l'énergie réactive 6

DRES 5 : alimentation sans interruption en ligne à stockage inertiel 7

DRES 6 : indices de classification des data centers – critères de performances énergétiques et écologiques. 8

DRES 7 : tarification de l'énergie électrique. 9

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

Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut :
- déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose
- déterminer un cœfficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

Ce cœfficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction, K1, K2, K3, Kn et Ks :
- le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose
- le facteur de correction K2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte
- le facteur de correction K3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant
- le facteur de correction du neutre chargé Kn

Lettre de sélection

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

Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	• câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	• conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	• câbles multiconducteurs	0,90
	• vides de construction et caniveaux	0,95
C	• pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	• autres cas	1

Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2 nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C, F	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles.		
	simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :
- 0,80 pour deux couches
- 0,73 pour trois couches
- 0,70 pour quatre ou cinq couches.

Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71

Facteur de correction Kn (conducteur Neutre chargé) en fonction du taux d'harmoniques de rang 3 ($T_{h3\%}$) :

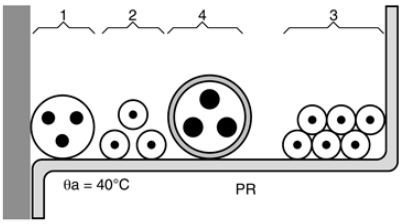
- **$T_{h3\%}$ < 15% : Kn = 1**
- **15% < $T_{h3\%}$ < 33% : Kn = 0,84**
- **$T_{h3\%}$ > 33% : Kn = 1,45**

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

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

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

Il y aura donc 5 regroupements triphasés.
La température ambiante est de 40 °C et le câble véhicule 58 ampères par phase.
On considère que le neutre du circuit 4 est chargé.



La lettre de sélection donnée par le tableau correspondant est E.
Les facteurs de correction K1, K2, K3 donnés par les tableaux correspondants sont respectivement :

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

Le facteur de correction neutre chargé est :

- Kn = 0,84.

Le coefficient total K = K1 x K2 x K3 x Kn est donc 1 x 0,75 x 0,91 x 0,84 soit :

- K = 0,57.

Détermination de la section

On choisira une valeur normalisée de In juste supérieure à 58 A, soit In = 63 A.
Le courant admissible dans la canalisation est Iz = 63 A.
L'intensité fictive I'z prenant en compte le coefficient K est I'z = 63/0,57 = 110,5 A.
En se plaçant sur la ligne correspondant à la lettre de sélection E, dans la colonne PR3, on choisit la valeur immédiatement supérieure à 110,5 A, soit, ici :

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

Détermination de la section minimale

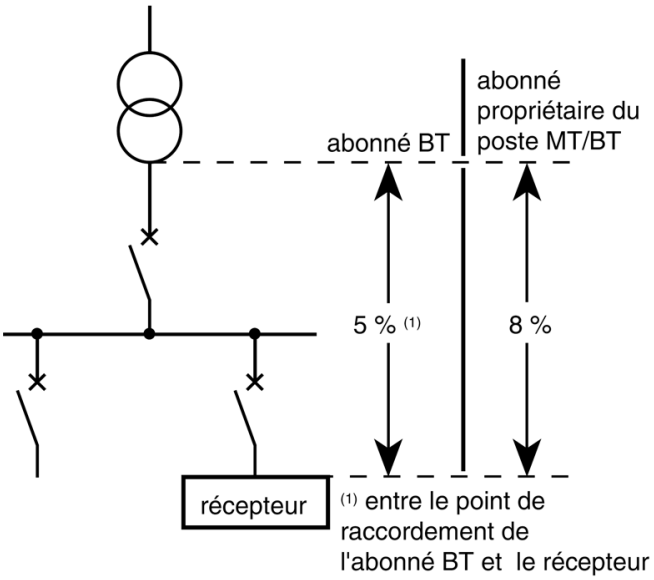
Connaissant I'z et K (I'z est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : I'z = Iz/K), le tableau ci-après indique la section à retenir.

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	**B**	**PVC3**	**PVC2**		**PR3**		**PR2**			
	C		**PVC3**		**PVC2**	**PR3**		**PR2**		
	E			**PVC3**		**PVC2**	**PR3**		**PR2**	
	F				**PVC3**		**PVC2**	**PR3**		**PR2**
section cuivre (mm²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1 083
	630					855	1 005	1 088		1 254
section aluminium (mm²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

Source documentaire : SCHNEIDER ELECTRIC.

DRES 2 : vérification de la chute de tension en ligne

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau ci-dessous.
D'autre part la norme NF C 15-100 § 559-6-1 limite la puissance totale des moteurs installés chez l'abonné BT tarif bleu. Pour des puissances supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, l'accord du distributeur d'énergie est nécessaire.



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

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

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

Source documentaire : SCHNEIDER ELECTRIC.

DRES 3 : détermination de la longueur maximale de câble dans le cas du schéma des liaisons de mise à la terre TN

Le tableau de la figure F25 permet de déterminer la longueur de circuit maximale, au-delà desquelles la protection des personnes contre les contacts indirects n'est pas assurée dans le cas du schéma de mise à la terre TN.

Le tableau de la figure F24 permet de déterminer le facteur de correction à appliquer à la valeur de longueur donnée dans le tableau de la figure F25.

Circuit	Matériau conducteur	$m = S_{ph}/S_{PE}$ (ou PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3P + N ou P + N	Cuivre	1	0,67	0,50	0,40
	Aluminium	0,62	0,42	0,31	0,25

Fig. F24 - Facteur de correction à appliquer aux longueurs indiquées dans les tableaux F25

Section nominale des conducteurs	Réglage du courant de déclenchement instantané ou court retard I_m des disjoncteurs (ampères)															
mm^2	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38
16					427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61
25							417	333	260	208	167	149	132	119	104	95
35								467	365	292	233	208	185	167	146	133
50									495	396	317	283	251	226	198	181
70												417	370	333	292	267
95														452	396	362
120																457

Section nominale des conducteurs	Réglage du courant de déclenchement instantané ou court retard I_m des disjoncteurs (ampères)												
mm^2	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500
1.5	5	4	4										
2.5	8	7	7	5	4								
4	13	12	11	8	7	5	4						
6	20	18	16	13	10	8	6	5	4				
10	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4		
16	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4
25	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7
35	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9
50	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13
70	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19
95	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25
120	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
150	435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35
185		459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41
240				400	320	256	200	160	128	102	80	64	51

Fig. F25 - Longueur de circuit maximale (en mètres) pour différentes sections de conducteurs et paramètres de courant de déclenchement instantané pour disjoncteurs industriels dans un schéma TN avec m = 1.

Exemple :

Soit une installation triphasée 230/400 V en schéma TN-C (3 P + PEN) alimentant un circuit protégé par un disjoncteur industriel dont le déclencheur magnétique est réglé à 1600 A. Ce circuit est alimenté via un câble en aluminium avec des conducteurs de phase de 50 mm² et un conducteur neutre (PEN) de 25 mm².

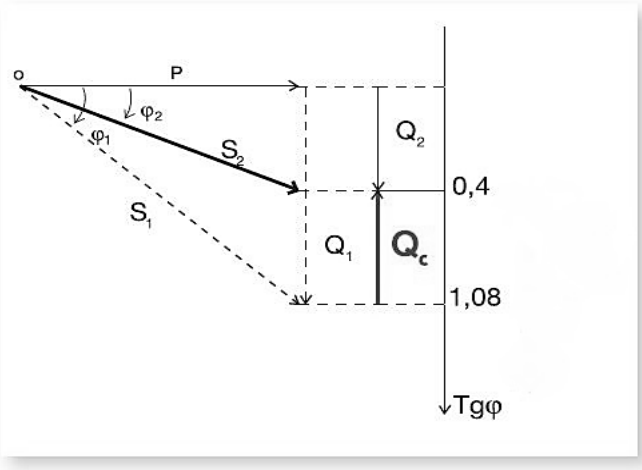
Le tableau de la figure F25 donne 99 m (50 mm² et un déclencheur magnétique réglé à 1600 A) et le tableau de la figure F24 donne un facteur correction de 0,42 (conducteur aluminium et $\frac{S_{ph}}{S_{pen}} = 2$).

La longueur maximale protégée est donc : $L_{max} = 0{,}42 \times 99 = 41{,}5\ m$.

Source documentaire : SCHNEIDER ELECTRIC.

DRES 4 : compensation de l'énergie réactive

Bilan des Puissances.



$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Avec : Q_c : puissance réactive de compensation

P : puissance active

Q_1 : puissance réactive **sans** compensation d'énergie réactive

S_1 : puissance apparente **sans** compensation d'énergie réactive

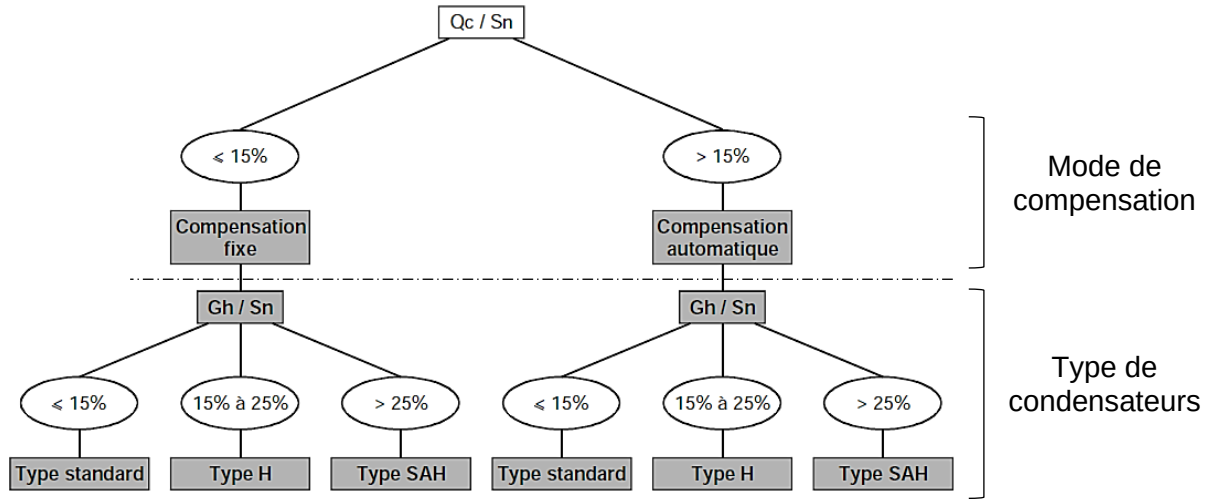
φ_1 : déphasage **sans** compensation

Q_2 : puissance réactive **après** compensation d'énergie réactive

S_2 : puissance apparente **après** compensation d'énergie réactive

φ_2 : déphasage **après** compensation

Détermination du mode de compensation et du type de condensateur



Légende :

- **Sn** : puissance apparente en kVA du transformateur.
- **Qc** : puissance réactive de compensation en kVAr.
- **Gh** : puissance apparente en kVA des récepteurs produisant des harmoniques (moteurs à vitesse variable, convertisseurs statiques, électronique de puissance….)

DRES 5 : alimentation sans interruption en ligne à stockage inertiel

Une alimentation électrique sans interruption fait référence à un système qui fournit une alimentation de secours lorsque la source d'alimentation secteur est défaillante.

Stockage inertiel :

Le stockage par volant d'inertie consiste à faire tourner à très grande vitesse un volant massique cylindrique, emmagasinant ainsi de l'énergie cinétique. L'énergie stockée augmente avec la masse et est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation. Il existe deux typologies de volants d'inertie, dont l'une joue sur la masse, l'autre sur la vitesse :



- **les volants d'inertie basse vitesse** : ce sont les systèmes les plus matures, ils mettent en jeu des masses importantes dans des matériaux lourds (type acier). Leur vitesse de rotation est inférieure à 10 000 tr/min ;
- **les volants d'inertie haute vitesse** : ils utilisent des matériaux plus légers (type fibre de carbone ou de verre) et ont des vitesses de rotation pouvant aller jusqu'à 50 000 tr/min.

L'énergie cinétique de rotation est telle que :

$W = ½ J \Omega^2$ avec :

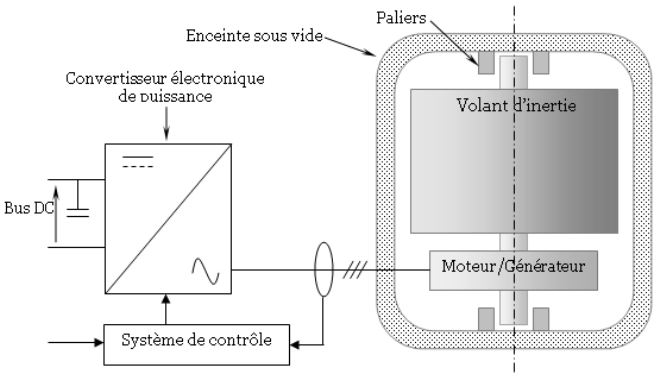
W : énergie cinétique en joules (J)

J : moment d'inertie en kg·m² (proportionnel à la masse)

Ω : vitesse angulaire de rotation (rad/s)

Une machine électrique, fonctionnant en moteur ou en générateur, freine ou accélère le volant afin de réaliser les charges et les décharges du système avec un haut rendement.

La machine électrique est pilotée par un convertisseur électronique de puissance, la variation de la vitesse étant à la base du fonctionnement.



Ce stockage inertiel, qui vient en remplacement des batteries, ne peut fonctionner que pendant un temps limité et l'alimentation sans interruption nécessite une source d'énergie complémentaire, de plus longue durée, telle qu'un groupe électrogène.
Le groupe doit avoir démarré avant que la durée d'interruption de l'alimentation électrique de l'alimentation sans interruption devienne critique.

Sources documentaires : Revue 3EI n°48, mars 2007 & PILLER / https://www.connaissancedesenergies.org

DRES 6 : indices de classification des data centers – critères de performances énergétiques et écologiques.

PUE (Power Usage Effectiveness) :

Le PUE est un indicateur de performance énergétique défini par la norme ISO 30134-2 qui détaille la méthode de calcul pour un data center. Dans le cas d'un Data Center tout électrique, le PUE se calcule par la formule suivante :

$$PUE = \frac{\text{(Consommation énergétique totale du Data Center [kWh]}}{\text{(Consommation énergétique des équipements informatiques [kWh])}}$$

Le tableau ci-dessous permet de définir les niveaux de performances des data centers :

PUE	Level of efficiency	DCIE
3.0	Very inefficient	33%
2.5	Inefficient	40%
2.0	Average	50%
1.5	Efficient	67%
1.2	Very efficient	83%

Source documentaire : EFFICACITY.

DRES 7 : tarification de l'énergie électrique

Grille horo-saisonnière du tarif vert A option Base (tarif au 01/08/2022) :

Tarif vert A Base	Mois	Jour	Période tarifaire	Nombre d'heure par jour	Tarif du kW.h en centimes d'euros
Hiver	Décembre, janvier et février	Lundi au samedi	Pointe (Pte)	4 H	27,372
			Heure Pleine Hiver (HPH)	12 H	19,126
			Heure Creuse Hiver (HCH)	8 H	10,764
		Dimanche	Heure Creuse Hiver (HCH)	24 H	10,764
	Novembre et mars	Lundi au samedi	Pointe (Pte)	0 H	27,372
			Heure Pleine Hiver (HPH)	16 H	19,126
			Heure Creuse Hiver (HCH)	8 H	10,764
		Dimanche	Heure Creuse Hiver (HCH)	24 H	10,764
Eté	Avril à octobre inclus	Lundi au samedi	Heure Pleine Eté (HPE)	16 H	9,464
			Heure Creuse Eté (HCE)	8 H	4,879
		Dimanche	Heure Creuse Eté (HCE)	24 H	4,879

Grille horo-saisonnière du tarif vert A option EJP (tarif au 01/08/2022) :

Tarif vert A EJP	Mois	Jour	Période tarifaire	Nombre d'heure par jour	Tarif du kW.h en centimes d'euros
Hiver	Novembre, décembre, janvier, février et mars	22 jours EJP	Pointe Mobile (PM)	18 H	28,055
			Heure Hiver (HH)	6 H	14,333
		129 jours non EJP	Heure Hiver (HH)	24 H	14,333
Eté	Avril à octobre inclus	Lundi au samedi	Heure Pleine Eté (HPE)	16 H	8,656
			Heure Creuse Eté (HCE)	8 H	4,453
		Dimanche	Heure Creuse Eté (HCE)	24 H	4,453

Source documentaire : Journal officiel du 31/07/2022.