

<b>Département Energie Environnement</b>	<b>MEDIAN</b> CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX ELECTRIQUES INDUSTRIELS	Lionel COMTET
		
<b>Semestre Printemps 2013</b>		<b>UV ER40</b>

**NOM :**

**Prénom :**

**TOTAL :** \_\_\_\_\_ / 60 pts

**NOTE :** \_\_\_\_\_ / 20 pts

**Aucuns documents autorisés.**

**Calculatrice autorisée.**

***Une lecture attentive et complète est conseillée avant de traiter les différentes parties.***

Partie 1 : Schéma de puissance et de commande MAS. 4 pts

Partie 2 : Au Geisterschloss d'Europapark. 10 pts

Partie 3 : Conservatoire de musique et de danse de Bourges. 25 pts

Partie 4 : Les différentes puissances dans une installation. 11 pts

Partie 5 : Compensation d'énergie réactive. 10 pts

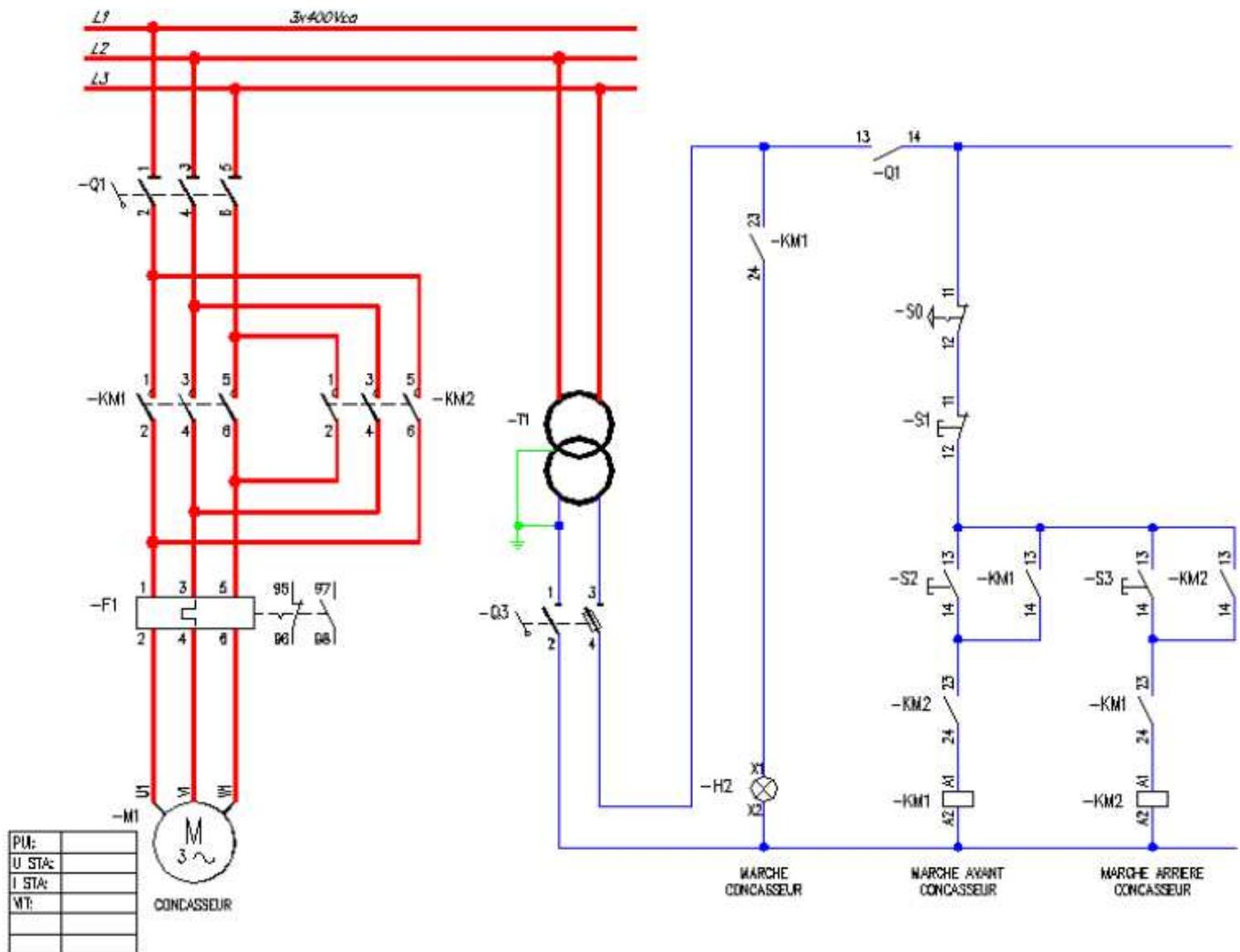
***Tous les documents, énoncé compris, sont à rendre en fin d'épreuve.***

***Les enseignants surveillants ne répondront à aucune question. Si vous pensez qu'une erreur ou qu'un malentendu s'est glissé dans le sujet, vous formulerez des hypothèses.***

## Partie 1 : schéma de puissance et commande moteur asynchrone.

( / 4 pts)

☞ A partir du schéma de puissance et de commande du concasseur donné ci-dessous, **préciser** où se situent les 8 erreurs en proposant une solution ou en annotant le schéma. ( / 4 pts)



## Partie 2 : Au Geisterschloss d'Europapark. ( / 10 pts)

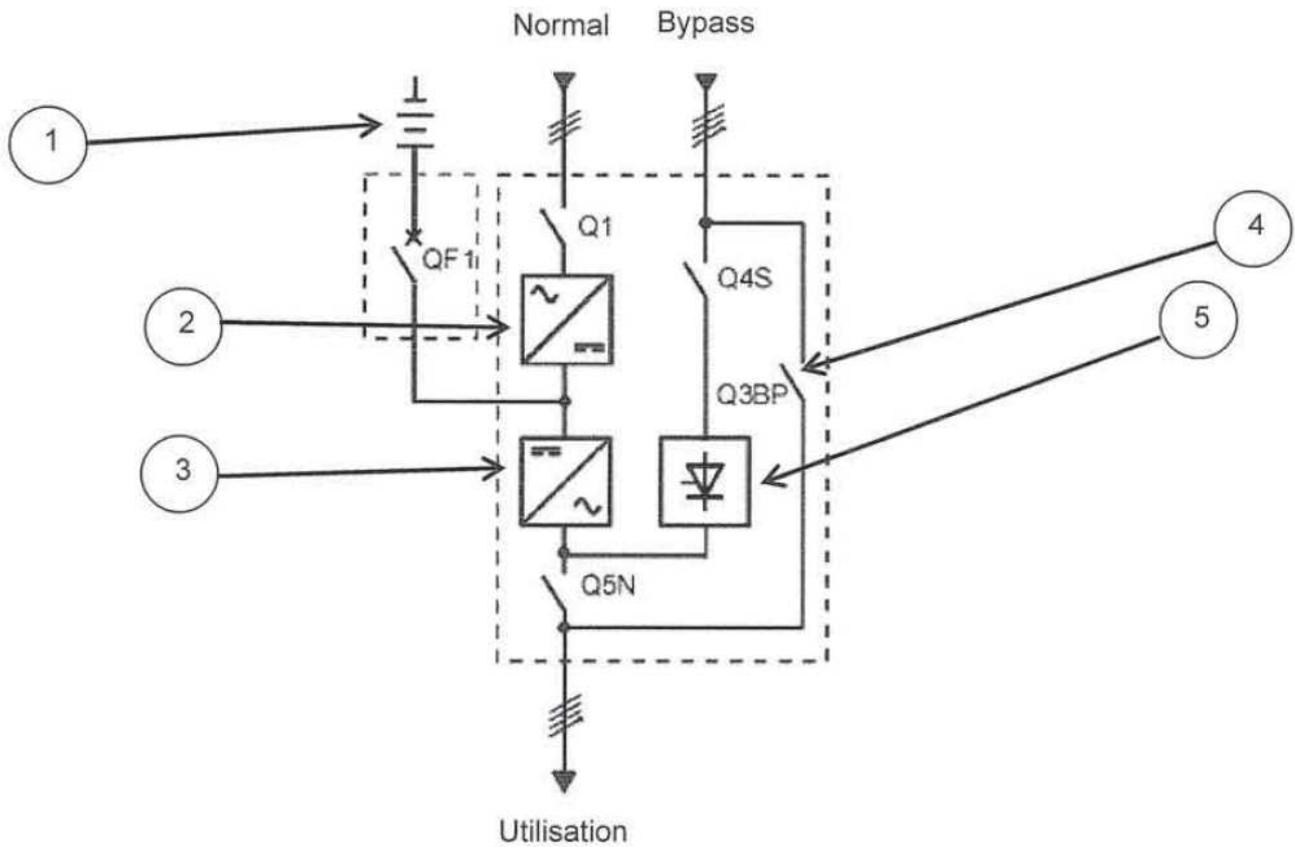
A Europa-park (parc d'attraction en Allemagne), il est prévu d'installer des batteries au plomb (type OpzS de chez Hawker) au niveau de l'attraction « Le château hanté » afin de secourir la partie éclairage de secours de l'attraction.

L'ensemble de l'éclairage de secours représente 75A sous 220Vcc (variation en tension tolérée  $\pm 10\%$ ) et l'autonomie requise est de 2 heures, afin de permettre une éventuelle évacuation des personnes en toute sécurité. La température au niveau du local batterie est de 20°C, aussi, aucun coefficient de dépréciation ne sera à appliquer pour la température. Pour tenir compte du vieillissement des batteries, un coefficient de sécurité de 20% sera appliqué.

Hawker précise dans sa documentation que la tension de floating est de 2,23V/élément.



Donner le nom de l'ASI, utilisée pour réaliser cette fonction de secours, dont le schéma est fourni ci-dessous. Citer les avantages de cette topologie. ( / 2 pts)



Donner la désignation et la fonction des éléments repérés de 1 à 5 sur le schéma ci-dessus. ( / 2 pts)

Repère	Nom	Fonctions
1		
2		
3		
4		
5		

## Partie 3 : Conservatoire de musique et de danse de Bourges. ( / 25 pts)

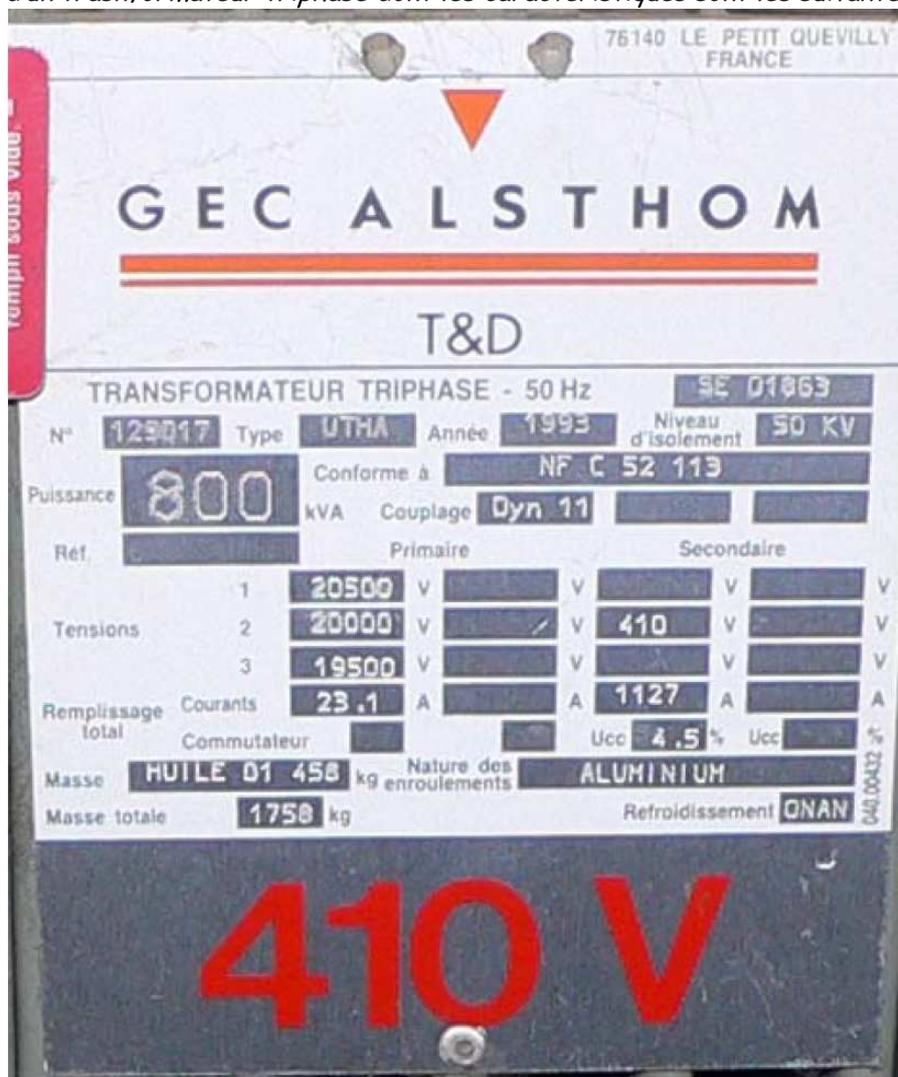
Fondée en 1921, l'Ecole Nationale de Musique et de Danse devient en 2007 un Conservatoire à rayonnement départemental. Aujourd'hui le Conservatoire compte près de 1000 élèves.

Les locaux de l'école nationale de musique et de danse étant devenus trop exigus, le conseil municipal de Bourges a décidé de construire une nouvelle école avec une démarche HQE.



### Données techniques de la distribution principale.

Le tableau général basse tension 1 (TGBT1) et 2 (TGBT2) permettent la distribution principale basse tension de l'Auditorium, des 3 corps de bâtiments et de l'éclairage extérieur. Les TGBT1 et TGBT2 sont alimentés à partir d'un transformateur triphasé dont les caractéristiques sont les suivantes :

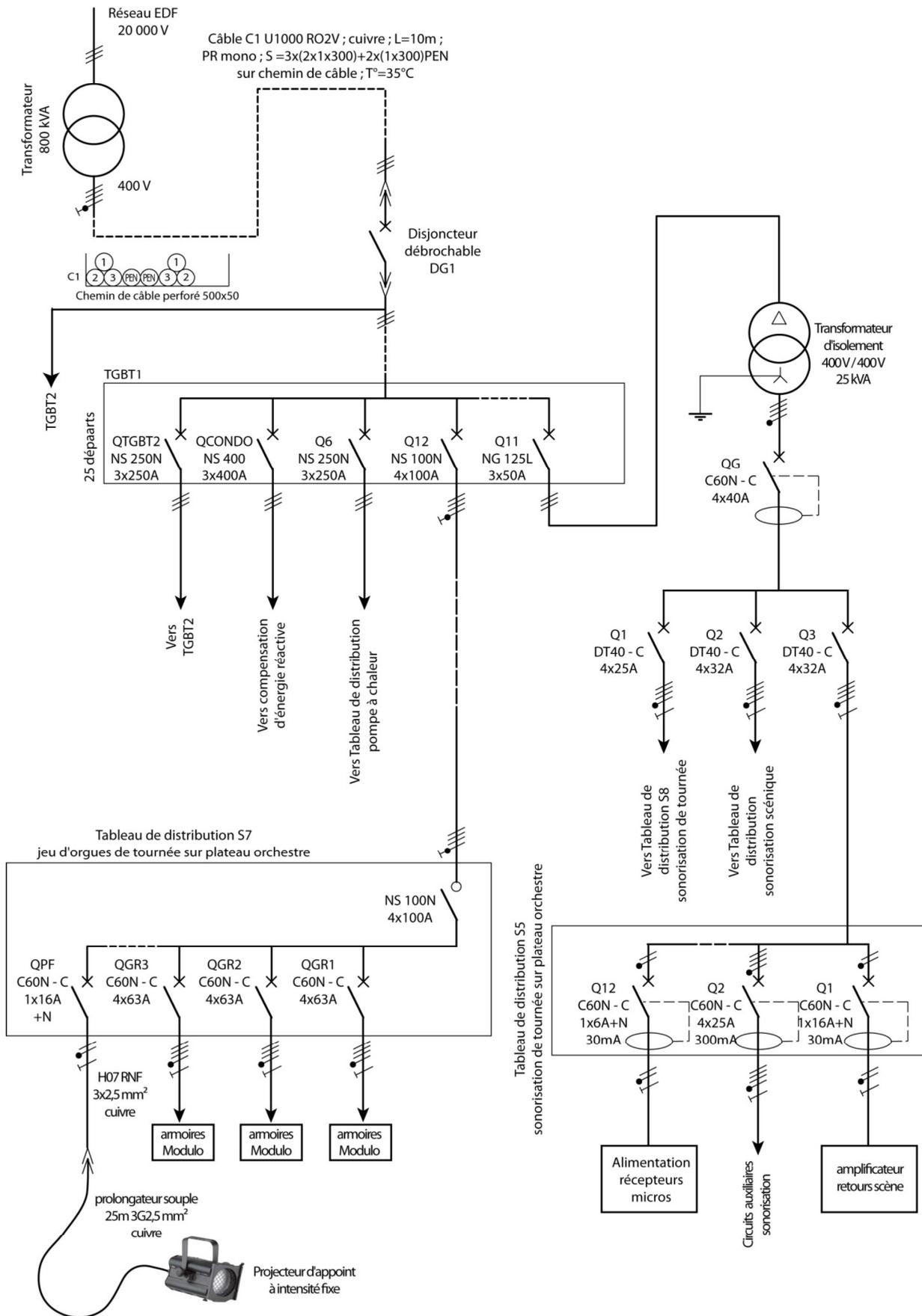


Le schéma des liaisons à la terre est du type TN.

Le disjoncteur principal basse tension, DG1, est situé dans le poste de transformation. Il est alimenté depuis les bornes secondaires du transformateur par des câbles unipolaires, série U1000 R02V, de 10 m, en cuivre de section 300 mm<sup>2</sup>, isolés en polyéthylène réticulé (PR), avec 2 autres câbles par phase.

Ces câbles seront posés sur des chemins de câbles perforés disposés en plancher haut du local transformateur.

La température ambiante du local transformateur est considérée égale à 35 °C.



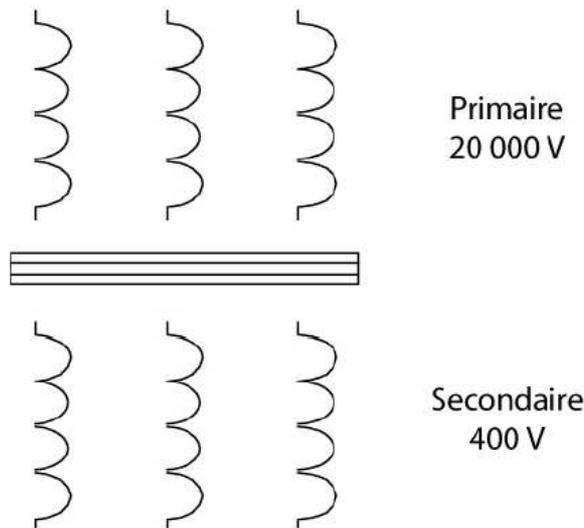
### 3.1. Etude du transformateur de distribution des TGBT1 et TGBT2. ( / 4 pts)



Calculer le courant nominal  $I_{2N}$  au secondaire du transformateur. ( / 1 pt)



Préciser la signification de Dyn11 indiquée sur la plaque signalétique du transformateur HTA/BT. Représenter le couplage des enroulements du transformateur ci-dessous. ( / 3 pts)



### 3.2. Dimensionnement et choix du disjoncteur DG1. ( / 10 pts)

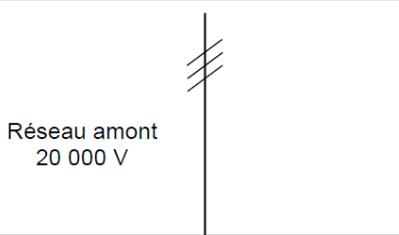
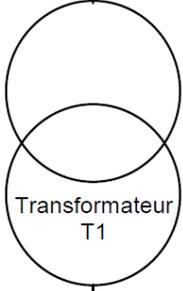
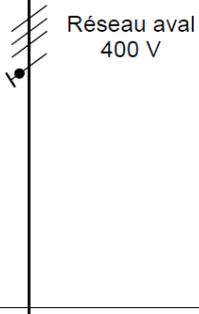
On souhaite déterminer le courant de court-circuit triphasé  $I_{cc1}$  présumé aux bornes aval du disjoncteur DG1.

Les données et hypothèses sont les suivantes :

- La puissance de court-circuit  $P_{cc}$  du réseau amont est de 500 MVA.
- L'impédance des jeux de barre de l'armoire est considérée comme négligeable.
- La résistance des pôles des disjoncteurs est considérée comme négligeable et la réactance d'un pôle est estimée à  $0,15 \text{ m}\Omega$ .
- La résistivité du cuivre est de  $22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .
- La réactance linéique des câbles unipolaires est de  $0,09 \text{ m}\Omega/\text{m}$  par conducteur.



A l'aide des documents techniques fournis et des hypothèses ci-dessus, compléter le tableau page suivante en justifiant vos réponses puis calculer le courant de court-circuit triphasé au point A. ( / 6 pts)

	Résistance R (mΩ)	Réactance X (mΩ)
 <p>Réseau amont 20 000 V</p>	<i>Réseau amont :</i>	
 <p>Transformateur T1</p>		
 <p>Réseau aval 400 V</p> <p>Câble C1</p>		
 <p>Disjoncteur DG1</p>		
 <p>A</p>		

---



---



---

👉 A l'aide des documents techniques fournis et des résultats ci-dessus, **déterminer** la référence du disjoncteur DG1 en justifiant vos réponses. ( / 2 pts)

---



---



---



---



---

Le déclencheur Micrologic 2.0 A associé au disjoncteur **DG1**, permet d'assurer les protections contre les surcharges et les courts circuits. La protection magnétique est réglée à 11,26 kA. Pour des raisons de sélectivité on règle la temporisation  $t_r$  à 1s.

☞ A l'aide des documents techniques présents fournis, **déterminer** les réglages du disjoncteur DG1. ( / 2 pts)

---

---

---

### **3.3. Vérification de la section des câbles entre le transformateur et le disjoncteur DG1. ( / 6 pts)**

Le but est de vérifier si la section des câbles entre le secondaire du transformateur et le disjoncteur DG1 a été correctement choisie.

☞ A l'aide des documents techniques présents fournis, **déterminer** la section des câbles et comparer la avec la section réellement installée. Toutes les étapes de la démarche seront détaillées. ( / 6 pts)

---

---

---

---

---

---

---

---

### **3.4. Etude de la protection des personnes : schémas des liaisons à la terre. ( / 5 pts)**

Le but est d'étudier la protection de l'un des circuits lumières de l'auditorium.

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- Au secondaire du transformateur d'alimentation, le neutre est relié à une prise de terre  $R_B$  de résistance  $1 \Omega$ .
- Les impédances de ligne jusqu'au disjoncteur de scène QPF sont négligées.
- Les impédances des disjoncteurs et des interrupteurs sectionneurs sont négligés (ces organes sont fermés à l'apparition du défaut).
- La tension entre la phase en défaut et le PE ou le PEN à l'origine du circuit, est prise égale à 80% de la tension simple nominale.
- Le calcul des longueurs maximales des canalisations sera vérifiée à partir de la formule :

$$L_{max} = \frac{0,8 \cdot V \cdot S_{ph}}{\rho \cdot (1 + m) \cdot I_{mag}}$$



Dans le schéma des liaisons à la terre, **donner** la signification des lettres T, N, C et S. ( / 1 pt)

---



---



---

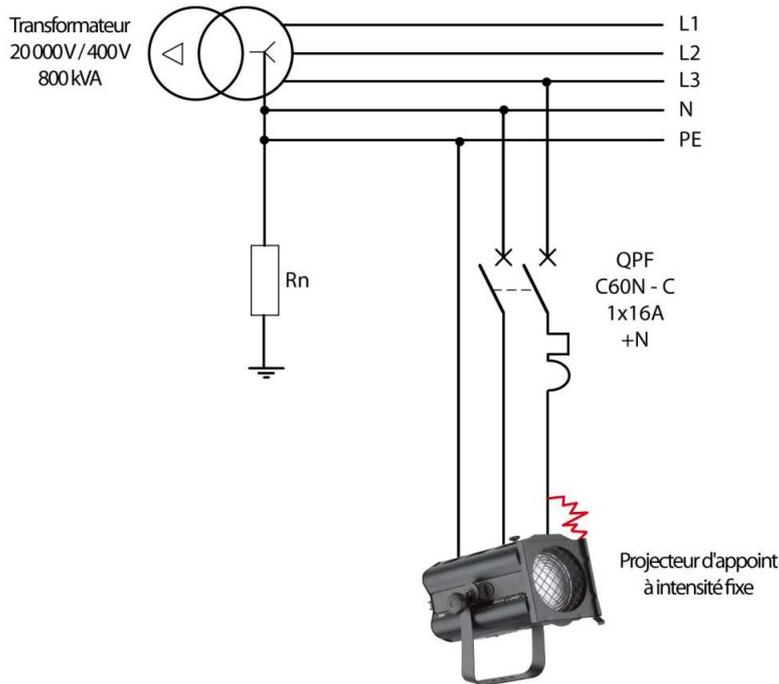


---

*Un défaut franc apparaît au niveau du projecteur d'appoint à intensité fixe. La phase du câble prolongateur alimentant ce projecteur, en cuivre 3G2,5 et d'une longueur de 25m, est en contact direct avec la carcasse métallique. On désire vérifier si le disjoncteur QPF assure la fonction de protection lors du défaut.*



Tracer en rouge, sur le schéma ci-dessous, le parcours du courant de défaut noté Id. ( / 1 pt)



*Lors de la mise en place de spectacles, on est susceptible de déplacer le projecteur d'appoint.*



**Calculer** la longueur maximale de câble possible entre la protection QPF et le projecteur de scène pour que la protection des personnes soient toujours assurée. Proposer des solutions si la longueur du câble devait dépasser la longueur permise. ( / 3 pts)

---



---



---



---



---

# DOCUMENTATION TECHNIQUE

## Impédances

Tableau I : Impédance du réseau amont

Pcc	U <sub>20</sub> (V)	R (mΩ)	X (mΩ)
250 MVA	237	0,033	0,222
	410	0,1	0,70
500 MVA	237	0,017	0,111
	410	0,050	0,350

Tableau II : Impédance d'un transformateur

Tension	U <sub>20</sub> 237V				U <sub>20</sub> 410V			
	Puissance (KVA)	Ucc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)	Ucc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)
25	4	59,7	60	84,6	4	179	183	256
50	4	23,5	35,2	42,3	4	70,3	107	128
100	4	11,79	19,13	22,47	4	35,30	57,23	67,24
160	4	5,15	13,06	14,04	4	15,63	39,02	42,03
200	4	3,8	9,87	10,6	4	11,4	29,9	32
250	4	2,92	8,50	8,99	4	8,93	25,37	26,90
315	4	2,21	6,78	7,13	4	6,81	20,22	21,34
400	4	1,614	5,38	5,62	4	5,03	16,04	16,81
500	4	1,235	4,32	4,49	4	3,90	12,87	13,45
630	4	0,92	3,45	3,57	4	2,95	10,25	10,67
800	4,5	0,895	3,03	3,16	4,5	2,88	9	9,45
1000	5,5	0,68	3,01	3,09	5	2,24	8,10	8,405
1250					5,5	1,813	7,16	7,39
1600					6	1,389	6,14	6,30
2000					6,5	1,124	5,34	5,46

# DOCUMENTATION TECHNIQUE

## Disjoncteurs Compact

Disjoncteurs Compact

### Disjoncteurs Compact NS de 800 à 3200 A, déclencheurs Caractéristiques et choix

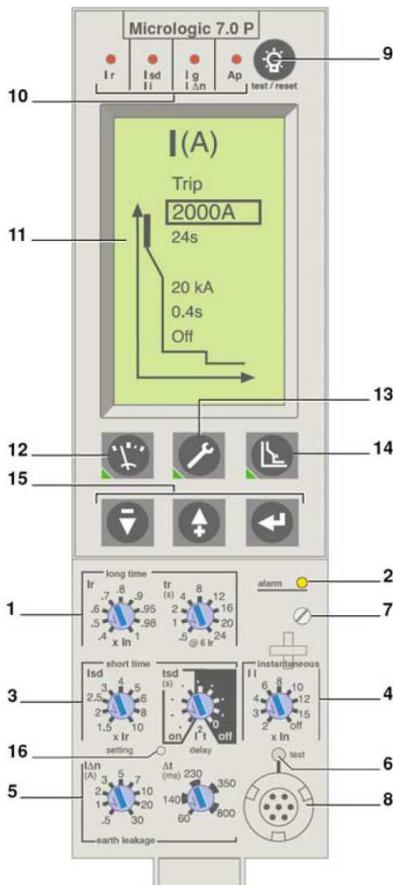
	NS800	NS1000	NS1250	NS1600	NS1600b	NS2000	NS2500	NS3200
<b>disjoncteurs Compact</b>								
nombre de pôles commandé	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4
	manuelle	à maneton						
	électrique	rotative directe ou protégée						
<b>type de disjoncteur</b>								
recouvrement	fixe							
	débranchable sur châssis							
	prises avant							
	prises arrière							
<b>caractéristiques électriques suivant IEC 60947-2 et EN 60947-2</b>								
courant assigné (A)	800	1000	1250	1600	1600	2000	2500	3200
tension assignée d'isolement (V) UI	800	1000 (L: 950)	1090	1160	1600	2000	2500	3200
tension assignée d'emploi (V) Uimp	800	1000	1090	1160	1600	2000	2500	3200
tension assignée d'emploi (V) Ue	800	1000	1090	1160	1600	2000	2500	3200
CA 50/60 Hz	800	1000	1250	1600	1600	2000	2500	3200
CC	500	500	500	500	500	500	500	500
<b>type de disjoncteur</b>								
pouvoir de coupure ultime (KA eff)	N	H	L	N	H	N	H	N
CA	50	70	150	50	70	85	125	50
50/60 Hz	50	70	150	50	70	85	125	50
220/240 V	50	65	130	50	65	85	125	50
380/415 V	40	50	100	40	50	65	85	40
440 V	30	40	75	30	40	50	65	30
600/690 V	25	30	60	25	30	40	50	25
500 V	25	30	60	25	30	40	50	25
<b>caractéristiques électriques suivant NEMA AB1</b>								
degré de pollution	III	L	H	N	H	III	III	III
pouvoir de coupure (KA)	50	70	150	50	70	85	125	50
240 V	50	70	150	50	70	85	125	50
480 V	25	30	60	25	30	40	50	25
600 V	17	21	42	17	21	21	21	17
<b>protections et mesures</b>								
déclencheurs interchangeables	Micrologique 2.0 A	Micrologique 5.0 A	Micrologique 2.0 A	Micrologique 2.0 A	Micrologique 5.0 A	Micrologique 5.0 A	Micrologique 7.0 A	Micrologique 7.0 A
protections contre les surcharges	long retard	Ir (In x ...)						
protections contre les courts circuits	court retard	Icd (Ir x ...)						
protections contre les défauts terre	instantané	Ii (In x ...)						
protections différentielle résiduelle	I <sub>Δn</sub>							
protection au démarrage	ZSI							
mesure des courants	non							
<b>auxiliaires de signalisation et de commande complémentaires</b>								
contacts de signalisation	déclencheur							
déclencheurs voltétriques	déclencheur à émission de courant I/M							
<b>communication à distance par bus</b>								
signaux de commande à distance de	non							
transmission des réglages commutateurs	non							
signalisation et identification des protections et alarmes	non							
transmission des courants mesurés	non							
<b>installation</b>								
accessoires	plages et éparouisseurs							
	cache-bornes et séparateurs de phases							
dimensions des appareils fixes prises avant (mm)	H x L x P	327 x 210 x 147	327 x 210 x 147	327 x 210 x 147	350 x 420 x 160			
masses des appareils fixes prises avant (kg)	3P	14	14	14	24	24	24	24
4P	18	18	18	18	36	36	36	36
<b>inversion de sources (voir chapitre inverseurs de sources)</b>								
inverseurs manuels, télécommandés ou automatiques	non							
(1) Pour NS1600b, ouverture uniquement par déclencheurs voltétriques, IM ou I/M.								



# DOCUMENTATION TECHNIQUE

Disjoncteurs Compact

## Unités de contrôle Micrologic A pour Compact NS800 à 3200 Caractéristiques



- 1 seuil et temporisation de déclenchement Long Retard
- 2 témoin lumineux de surcharge
- 3 seuil et temporisation de déclenchement Court Retard
- 4 seuil de déclenchement Instantané
- 5 seuil et temporisation de déclenchement Vigi ou Terre
- 6 bouton test Vigi ou Terre
- 7 vis de fixation du calibre Long Retard
- 8 prise test
- 9 test lampe, « reset » et état de la pile
- 10 signalisation des causes de déclenchement
- 11 affichage digital
- 12 ampèremètre et bargraphe triphasé
- 13 touches de navigation

Les unités de contrôle Micrologic A protègent les circuits de puissance en versions 2, 5 et 7. Elles offrent mesures, affichage, communication et maximètre de courant. La version 6 intègre la protection de terre, la version 7 offre en plus la protection différentielle.

### Réglage des protections

Les protections sont réglables en seuil et en temporisation par commutateurs. Les valeurs choisies s'affichent temporairement sur l'écran en ampères et en secondes.

La précision des réglages peut être augmentée par changement de calibre Long Retard, avec une zone de réglage limitée.

#### Protection contre les surcharges

Protection long retard de type efficace vraie (RMS).

Mémoire thermique : image thermique avant et après déclenchement.

#### Protection contre les courts circuits

Protections court retard (RMS) et instantanée.

Choix du type  $I^2t$  (On ou Off) sur temporisation court retard.

#### Protection différentielle résiduelle (Vigi)

Fonctionne sans alimentation extérieure.

Immunié contre les risques de déclenchements intempêtes.

$\Delta I$  Tenue aux composantes continues classe A jusqu'à 10 A.

#### Protection du neutre

Sur disjoncteurs tripolaires, pas de protection du neutre possible.

Sur disjoncteurs tétrapolaires, réglage de la protection du neutre par commutateur à 3 positions : neutre non protégé (4P 3d), neutre moitié protégé (4P 3d + N/2), neutre plein protégé (4P 4d).

#### Sélectivité logique ZSI

Un bornier "Zone Sélective Interlocking" (ZSI) permet le câblage de plusieurs unités de contrôle pour une sélectivité totale en protection court retard et terre sans temporisation au déclenchement.

### Témoin lumineux de surcharge

Une diode rouge (alarm) s'allume, fixe lors d'un dépassement du seuil de déclenchement Long Retard.

### Mesures « Ampèremètre »

Les unités de contrôle Micrologic A mesurent la valeur efficace vraie (RMS) des courants.

Un écran LCD numérique affiche en permanence la phase la plus chargée ( $I_{max}$ ) et permet, par pressions successives sur une touche, la lecture de  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_{1N}$ ,  $I_{2N}$ ,  $I_{3N}$ , des courants mémorisés (maximètres) et des réglages.

L'alimentation externe, optionnelle, permet l'affichage des courants < 20 %  $I_n$ .

### Option de communication

Associée à l'option de communication COM, l'unité de contrôle transmet les paramètres suivant :

- lecture des réglages,
- ensemble des mesures « ampèremètre »,
- signalisation des causes de déclenchement,
- remise à zéro des maximètres.

### Signalisation des défauts

Signalisation lumineuse du type de défaut :

- surcharge (protection Long Retard) ou température interne anormale ( $I_r$ ),
- court-circuit (protection Court Retard) ou instantanée ( $I_{sd}$ ),
- protection différentielle ( $I_{\Delta N}$ ),
- défaut de fonctionnement du microprocesseur ( $A_p$ )

#### Alimentation par pile

La diode d'indication de défauts reste allumée jusqu'à l'acquiescement par le bouton (test/reset). La durée de vie de la pile est d'environ 10 ans pour une utilisation normale.

# DOCUMENTATION TECHNIQUE

protections		Micrologic 2.0 A										
<b>long retard</b>												
<b>seuil (A)</b>	$I_r = I_n \times \dots$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	1		
déclenchement	entre 1,05 à 1,20 $I_r$	autres plages ou inhibition par changement de calibre										
<b>temporisation (s.)</b>	$t_r$ à 1,5 x $I_r$	12,5	25	50	100	200	300	400	500	600		
précision	: 0 à -20 %	$t_r$ à 6 x $I_r$	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
		$t_r$ à 7,2 x $I_r$	0,34	0,69	1,38	2,7	5,5	8,3	11	13,8	16,6	
<b>mémoire thermique</b>		20 min avant et après déclenchement										
<b>instantanée</b>												
<b>seuil (A)</b>	$I_{sd} = I_r \times \dots$	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10		
précision	: ±10 %											
<b>temporisation</b>		fixe : 20 ms										
<b>ampèremètre</b>		<b>Micrologic 2.0 A</b>										
<b>mesure permanente des courants</b>												
<b>mesures de 20 à 200 % de <math>I_n</math></b>		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_N$							
précision : 1,5 % (capteurs inclus)		alimentation par propre courant (pour $I > 20\% I_n$ )										
<b>maximètres</b>		$I_{1\max}$	$I_{2\max}$	$I_{3\max}$	$I_{N\max}$							
<b>protections</b>		<b>Micrologic 5.0 A / 7.0 A</b>										
<b>long retard</b>												
<b>seuil (A)</b>	$I_r = I_n \times \dots$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	1		
déclenchement	entre 1,05 à 1,20 $I_r$	autres plages ou inhibition par changement de calibre										
<b>temporisation (s.)</b>	$t_r$ à 1,5 x $I_r$	12,5	25	50	100	200	300	400	500	600		
précision	: 0 à -20 %	$t_r$ à 6 x $I_r$	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
		$t_r$ à 7,2 x $I_r$	0,34	0,69	1,38	2,7	5,5	8,3	11	13,8	16,6	
<b>mémoire thermique</b>		20 min avant et après déclenchement										
<b>court retard</b>												
<b>seuil (A)</b>	$I_{sd} = I_r \times \dots$	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10		
précision	: ±10 %											
<b>temporisation (ms.) à 10 <math>I_r</math></b>	crans de réglage $I^{st}$ Off	0	0,1	0,2	0,3	0,4						
	$I^{st}$ On	0,1	0,2	0,3	0,4							
	$t_{sd}$ (non déclenchement)	20	80	140	230	350						
	$t_{sd}$ (max de coupure)	80	140	200	320	500						
<b>instantanée</b>												
<b>seuil (A)</b>	$I_i = I_n \times \dots$	2	3	4	6	8	10	12	15	off		
précision	: ±10 %											
<b>différentielle résiduelle (Vigi)</b>		<b>Micrologic 7.0 A</b>										
<b>sensibilité (A)</b>	$I_{\Delta n}$	0,5	1	2	3	5	7	10	20	30		
précision	: 0 à -20 %											
<b>temporisation (ms.)</b>	crans de réglage	60	140	230	350	800						
	$t_{\Delta n}$ (non déclenchement)	80	140	230	350	800						
	$t_{\Delta n}$ (max de coupure)	140	200	320	500	1000						
<b>ampèremètre</b>		<b>Micrologic 5.0 A / 7.0 A</b>										
<b>mesure permanente des courants</b>												
<b>mesures de 20 à 200 % de <math>I_n</math></b>		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_N$	$I_g$	$I_{\Delta n}$					
précision : 1,5 % (capteurs inclus)		alimentation par propre courant (pour $I > 20\% I_n$ )										
<b>maximètres</b>		$I_{1\max}$	$I_{2\max}$	$I_{3\max}$	$I_{N\max}$	$I_{g\max}$	$I_{\Delta n\max}$					

### Nota :

Toutes les fonctions de protection basées sur le courant fonctionnent à propre courant.

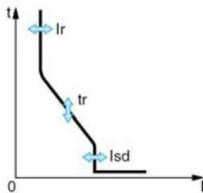
Le bouton test/reset remet à zéro les maximètres, efface la signalisation du défaut et permet le test de la pile.

# DOCUMENTATION TECHNIQUE

Caractéristiques complémentaires des disjoncteurs

## Unités de contrôle électroniques

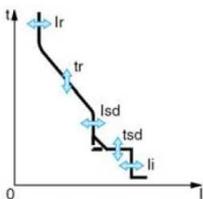
Disjoncteurs Compact NS800 à 1600  
Disjoncteurs Compact NS1600b à 3200  
Masterpact NT08 à NT16, NW08 à NW63



### Micrologic 2.0 A

Les déclencheurs 2.0 A offrent les protections suivantes :

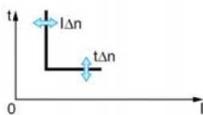
- long retard LR à seuil  $I_r$  réglable contre les surcharges
  - temporisation  $t_r$  du long retard réglable
  - instantanée  $I_{sd}$  à seuil  $I$  réglable contre les courts-circuits.
- Les seuils sont définis pour 1, 2 ou 3 pôles chargés.



### Micrologic 5.0 A et 7.0 A

Les déclencheurs 5.0 A et 7.0 A offrent les protections suivantes :

- long retard LR à seuil  $I_r$  réglable contre les surcharges
  - temporisation  $t_r$  du long retard fixe
  - court retard  $I_{sd}$  à seuil  $I_m$  réglable contre les courts-circuits
  - temporisation  $t_{sd}$  du court retard réglable
  - interrupteur ON-OFF permettant, sur position ON, d'avoir une courbe type P't
  - instantanée  $I_i$  à seuil  $I$  fixe contre les courts-circuits
  - position OFF permettant, sur les types N et H, de ne pas mettre en service la protection  $I_i$ .
- Les seuils sont définis pour 1, 2 ou 3 pôles chargés.



### Micrologic 7.0 A

Les déclencheurs 7.0 A intègrent la protection différentielle résiduelle (Vigi) :

- seuil  $I_{\Delta n}$  réglable
- temporisation  $t$  réglable.

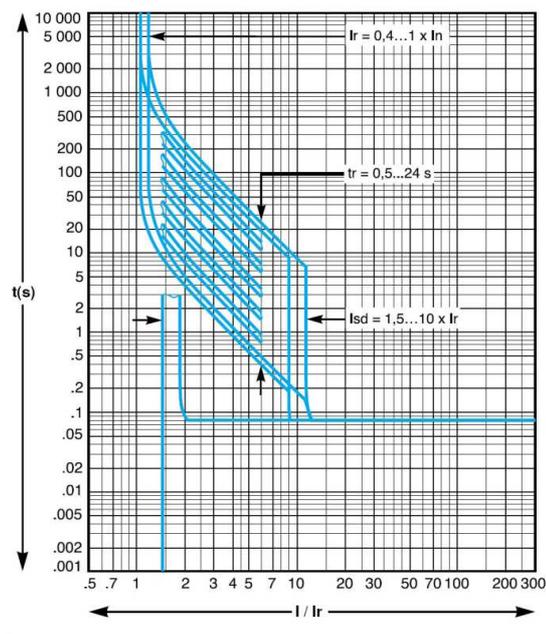
Caractéristiques complémentaires des disjoncteurs

## Courbes de déclenchement

Disjoncteurs Compact NS800 à 3200  
Disjoncteurs Masterpact NT - NW

### Déclencheurs électroniques Micrologic

Micrologic 2.0



# DOCUMENTATION TECHNIQUE

Etude d'une installation  
Protection des circuits

## Détermination des sections de câbles

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

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

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

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

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

- le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose
- le facteur de correction K2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à 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
- le facteur de correction dit de symétrie Ks.

### Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré</li> <li>■ sous vide de construction, faux plafond</li> <li>■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles</li> </ul>	B
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ en apparent contre mur ou plafond</li> <li>■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées</li> </ul>	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li> <li>■ fixés en apparent, espacés de la paroi</li> <li>■ câbles suspendus</li> </ul>	E
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li> <li>■ fixés en apparent, espacés de la paroi</li> <li>■ câbles suspendus</li> </ul>	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
C	■ vides de construction et caniveaux	0,95
	■ 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	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
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	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
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	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	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	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	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

(selon la norme NF C15-100 § 523.5.2)

- Kn = 0,84

### Facteur de correction dit de symétrie Ks

(selon la norme NF C15-105 § B.5.2)

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

# DOCUMENTATION TECHNIQUE

## Exemple d'un circuit à calculer selon la méthode NF C15-100 § 523.7

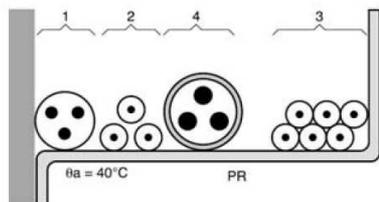
Un câble polyéthylène réticulé (PR) triphasé + neutre (4<sup>e</sup> circuit à calculer)

est tiré sur un chemin de câbles perforé, conjointement avec 3 autres circuits constitués :

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

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 = 0,77
- K3 = 0,91.

Le facteur de correction neutre chargé est :

- Kn = 0,84.

Le coefficient total  $K = K1 \times K2 \times K3 \times Kn$  est donc  $1 \times 0,77 \times 0,91 \times 0,84$  soit :

- $k = 0,59$ .

### Détermination de la section

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

Le courant admissible dans la canalisation est  $I_z = 63$  A. L'intensité fictive  $I'z$  prenant en compte le coefficient K est  $I'z = 63/0,59 = 106,8$  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 106,8 A, soit, ici :

- pour une section cuivre 127 A, ce qui correspond à une section de 25 mm<sup>2</sup>,
- pour une section aluminium 122 A, ce qui correspond à une section de 35 mm<sup>2</sup>.

## Détermination de la section minimale

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

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
	caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
	B	PVC3	PVC2	PR3	PR2	PR3	PR2	PR3	PR2
C				PVC2	PR3	PR2	PR3	PR2	
E			PVC3						
F				PVC3	PVC2	PR3	PR2	PR3	PR2
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	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
	35	110	119	126	138	147	158	169	185
	50	134	144	153	168	179	192	207	225
	70	171	184	196	213	229	246	268	289
	95	207	223	238	258	278	298	328	352
	120	239	259	276	299	322	346	382	410
	150		299	319	344	371	395	441	473
	185		341	364	392	424	450	506	542
	240		403	430	461	500	538	599	641
	300		464	497	530	576	621	693	741
	400					656	754	825	940
	500					749	868	946	1 083
	630					855	1 005	1 088	1 254
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	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	59	62	67
	16	53	59	61	66	73	79	84	91
	25	70	73	78	83	90	98	101	108
	35	86	90	96	103	112	122	126	135
	50	104	110	117	125	136	149	154	164
	70	133	140	150	160	174	192	198	211
	95	161	170	183	195	211	235	241	257
	120	186	197	212	226	245	273	280	300
	150		227	245	261	283	316	324	346
	185		259	280	298	323	363	371	397
	240		305	330	352	382	430	439	470
	300		351	381	406	440	497	508	543
	400					526	600	663	740
	500					610	694	770	856
	630					711	808	899	996

## Temps de coupure maximal (en secondes) pour les circuits terminaux

Selon la tension nominale entre phase et neutre  $U_0$ , le temps de coupure maximal du tableau ci-dessous doit être appliqué à tous les circuits terminaux (d'après UTE C 15-100).

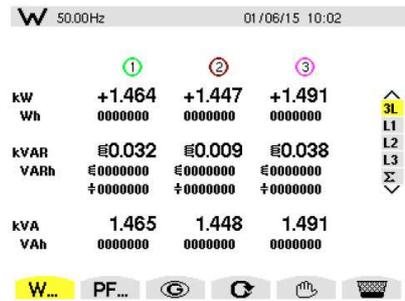
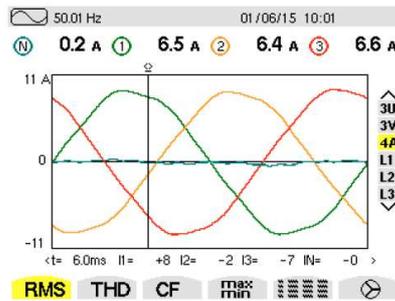
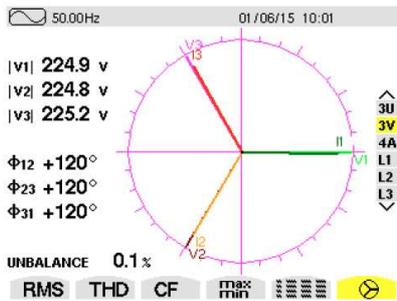
Temps de coupure (s)	50 V < $U_0$ ≤ 120 V		120 V < $U_0$ ≤ 230 V		230 V < $U_0$ ≤ 400 V		$U_0$ > 400 V	
	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	Alternatif	continu
Schéma TN ou IT	0,8	5	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
Schéma TT	0,3	5	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

# Partie 4 : Les différentes puissances dans une installation électrique. ( / 11 pts)

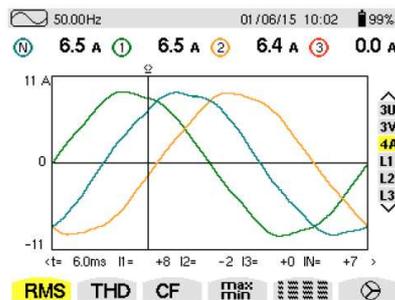
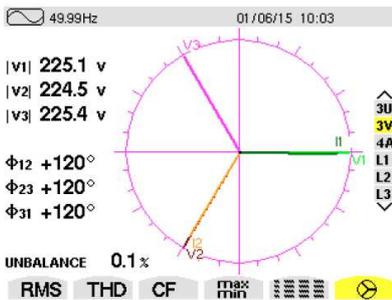
Des relevés fournis ci-dessous, réalisés à l'aide d'un analyseur de réseaux, ont été effectués sur 3 sites différents :

- 1 : cas avec des récepteurs linéaires équilibrés,
- 2 : cas avec des récepteurs linéaires déséquilibrés,
- 3 : cas avec des récepteurs non linéaires équilibrés.

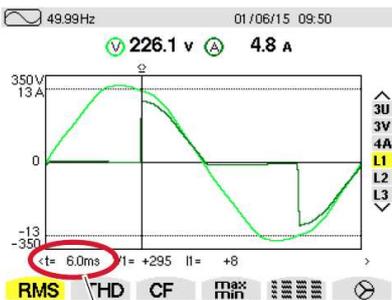
## Récepteur linéaire équilibré



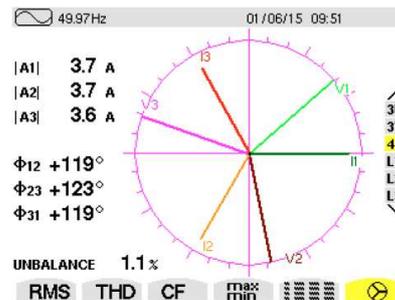
## Récepteur linéaire déséquilibré (phase 3 coupée)



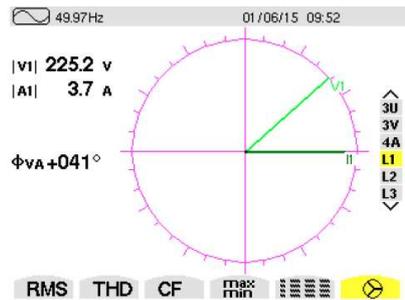
## Récepteur non linéaire équilibré



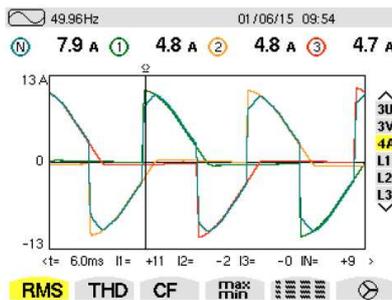
Réglage gradateur



Puissance par phase L1, L2, L3



Puissance en triphasé





Calculer, pour les 3 cas, les différentes valeurs du tableau suivant : ( / 6 pts)

Récepteur linéaire équilibré

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Neutre
$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$	$I_N =$
$\varphi_1 =$	$\varphi_2 =$	$\varphi_3 =$	
$P_1 =$	$P_2 =$	$P_3 =$	$\Sigma P =$
$Q_1 =$	$Q_2 =$	$Q_3 =$	$\Sigma Q =$
$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$	$\Sigma S =$
PF =	PF =	PF =	PF =
DPF =	DPF =	DPF =	DPF =

Récepteur linéaire déséquilibré

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Neutre
$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$	$I_N =$
$\varphi_1 =$	$\varphi_2 =$	$\varphi_3 =$	
$P_1 =$	$P_2 =$	$P_3 =$	$\Sigma P =$
$Q_1 =$	$Q_2 =$	$Q_3 =$	$\Sigma Q =$
$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$	$\Sigma S =$
PF =	PF =	PF =	PF =
DPF =	DPF =	DPF =	DPF =

Récepteur non linéaire équilibré

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Neutre
$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$	$I_N =$
$\varphi_1 =$	$\varphi_2 =$	$\varphi_3 =$	
$P_1 =$	$P_2 =$	$P_3 =$	$\Sigma P =$
$Q_1 =$	$Q_2 =$	$Q_3 =$	$\Sigma Q =$
$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$	$\Sigma S =$
PF =	PF =	PF =	PF =
DPF =	DPF =	DPF =	DPF =



**Comparer**, pour les 3 cas, le courant qui circule dans le neutre par rapport aux courants qui circulent dans les 3 phases. **Justifier** cette valeur. ( / 1,5 pts)

Récepteur linéaire équilibré

---



---

Récepteur linéaire déséquilibré

---



---

Récepteur non linéaire équilibré

---



---



**Calculer**, pour les 3 cas, la valeur de la puissance déformante D. ( / 1,5 pts)

Récepteur linéaire équilibré

---



---

Récepteur linéaire déséquilibré

---



---

Récepteur non linéaire équilibré

---



---



**Expliquer**, pour les 3 cas, au vu de l'extrait de norme fourni ci-dessous, quelle précaution devra être prise lors du dimensionnement du conducteur du neutre. ( / 2 pts)

■ Rappels : Norme (art 523.5 & 524.2)  
(NFC 15 100 modifiée en 2003)

La section du conducteur neutre  $S_n$  /  $S_{ph}$

S neutre = S phases	S neutre < S phase $S_n = 1/2 S_{ph}$	S neutre > S phase
<input type="checkbox"/> Circuits monophasés ou <input type="checkbox"/> Circuits polyphasés 4 section $\leq 16\text{mm}^2$ Cu 4 section $\leq 25\text{mm}^2$ Al ou courants harmoniques 15% < THDI < 33% quelque soit la section	<input type="checkbox"/> Circuits polyphasés 4 section > 16mm <sup>2</sup> Cu 4 section > 25mm <sup>2</sup> Al et <input type="checkbox"/> THDI < 15% et <input type="checkbox"/> Neutre protégé	<input type="checkbox"/> Courants harmoniques THDI > 33% (rangs 3 et multiples de 3) Prendre $I_N = 1,45 I_{ph}$

Récepteur linéaire équilibré

---



---

Récepteur linéaire déséquilibré

---



---

Récepteur non linéaire équilibré

---



---

## Partie 5 : Compensation d'énergie réactive. ( / 10 pts)

Des relevés fournis ci-dessous, réalisés à l'aide d'un analyseur de réseaux, ont été effectués sur 3 sites différents :

Pendant le mois de novembre 1993, aux postes horaires "heures pleines d'hiver" et "heures de pointes", le lycée Carnot a consommé :

- énergie active :  $E_{act} = 39\,237\text{ kWh}$

- énergie réactive :  $E_{réact} = 28\,800\text{ kVARh}$ .



**Calculer** le facteur de puissance moyen du lycée pendant cette durée. ( / 0,5 pt)

---

---

---

EdF fournit l'énergie réactive en franchise (gratuite) jusqu'à  $\tan \phi = 0,40$ .



Quel est le facteur de puissance  $\cos \phi$  correspondant ? ( / 0,5 pt)

---

---



D'après l'énergie active consommée, **calculer** l'énergie réactive fournie en franchise au lycée pendant ce mois. ( / 1 pt)

---

---

---



En **déduire** l'énergie réactive facturée par EdF, en kVARh. ( / 1 pt)

---

---

---



**Calculer** le montant payé, au prix unitaire de 2,23 centimes (H.T.) par kVARh. ( / 1 pt)

---

---

---

Toute l'énergie réactive consommée est fournie par une batterie de condensateurs, montée sur les bornes de sortie du transformateur alimentant le lycée.



En supposant les condensateurs branchés 24 h par jour pendant les 30 jours du mois de novembre, **calculer** la puissance réactive de la batterie. ( / 1 pt)

---

---

---

---

 L'installation étant triphasée, **calculer** la puissance réactive fournie par chacun des trois bras de la batterie de condensateurs. ( / 1 pt)

---

---

---

---

 Les condensateurs étant montés en triangle, la tension entre phases 400 V et la fréquence 50 Hz, **déterminer** la capacité équivalente à un bras de la batterie de condensateurs. ( / 1 pt)

---

---

---

---

 Combien faut-il de condensateurs 5  $\mu\text{F}$  montés en parallèle pour réaliser l'ensemble de la batterie ? ( / 1 pt)

---

---

---

---

*En novembre 1993, le devis d'installation de cette batterie de condensateurs se montait à 3021 euros (H.T.) pose comprise.*

 **Calculer** la durée d'amortissement, en nombre de mois, en supposant constante la consommation d'énergie réactive par le lycée. ( / 2 pts)

---

---

---

---