Session 2026

Brevet de technicien supérieur

ÉLECTROTECHNIQUE

E4 - CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Durée : 4 heures **Coefficient : 5**

Matériel autorisé :

- l'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé,
- l'usage de calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

- le candidat répondra sur le dossier réponses et des feuilles de copie ;
- le dossier réponses est à rendre agrafé au bas d'une copie.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte quatre dossiers :

- le dossier **présentation – questionnement** qui se compose de 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10 ;
- le dossier **technique** qui se compose de 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7 ;
- le dossier **ressources** qui se compose de 9 pages, numérotées de 1/9 à 9/9 ;
- le dossier **réponses**, à rendre avec la copie qui se compose de 2 pages, numérotées de 1/2 à 2/2.

Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases construites respectant la syntaxe de la langue française. **Chaque réponse sera clairement précédée du numéro de la question à laquelle elle se rapporte**.

Les notations du texte seront scrupuleusement respectées.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE	Session 2026
Épreuve E4 : Conception – Étude préliminaire	Code : **26EQCEPME1**

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4

CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2026

« Marilyn », data center à faible impact environnemental

CELESTE



PRÉSENTATION - QUESTIONNEMENT

PRÉSENTATION GÉNÉRALE 2

PARTIE A : vérifier le capacité de l'installation à intégrer la nouvelle unité de refroidissement 4

PARTIE B : rétablissement du taux de charge des transformateurs hta / bt 7

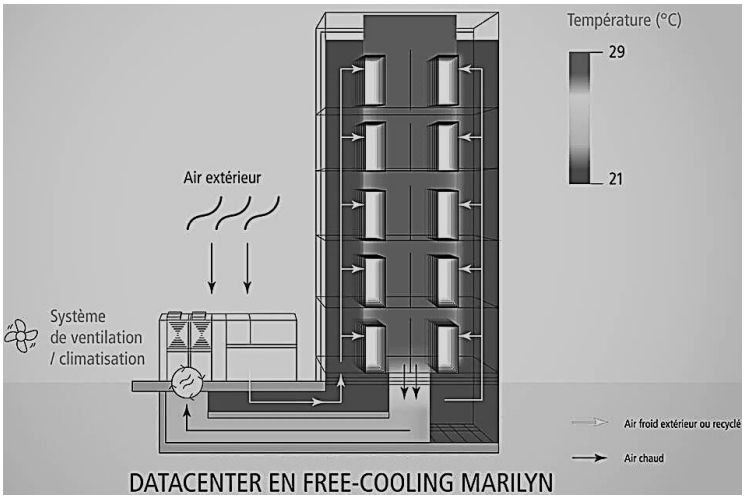
PARTIE C : capacité du data center à basculer sur l'alimentation électrique de secours. 8

PARTIE D : préservation du classement énergetique du data center 9

PARTIE E : opportunité d'optimisation financière et écologique du fonctionnement du data center 10

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'entreprise CELESTE, spécialisée dans le déploiement du réseau fibré très haut débit en France, a fait le choix de se doter de ses propres centres de stockage de données numériques (data centers). Le centre « Marilyn » situé en Île-de-France est composé de deux tours de 300 m² incluant chacune 100 baies informatiques. Ce centre de stockage de données garantit une bonne performance énergétique grâce à un système de refroidissement utilisant l'air extérieur (free-cooling).



DATACENTER EN FREE-COOLING MARILYN

Une architecture électrique redondante

Afin d'assurer la continuité de service des serveurs, le data center « Marilyn » a été conçu autour d'une architecture électrique redondante :

- architecture en double dérivation depuis le réseau de distribution public HTA avec deux transformateurs triphasés, chacun capable de couvrir seul la totalité de la puissance électrique du site ;
- deux alimentations sans interruption à stockage inertiel afin de limiter l'utilisation de batteries, trop impactantes pour l'environnement ;
- deux groupes électrogènes, en redondance, capables en cas de panne du réseau de distribution, de couvrir la totalité de la puissance électrique du site.

Les baies informatiques sont alimentées par des lignes de distribution redondantes, ce qui permet d'assurer une disponibilité élevée du service de stockage de données.

Réchauffement climatique – Impact sur l'efficacité énergétique du data center

Avec le réchauffement climatique, des épisodes caniculaires exceptionnels se produisent de façon récurrente. Les températures extérieures peuvent dépasser les 35 °C sur plusieurs jours.
Les équipes techniques ont décidé de procéder à une augmentation de la capacité de ventilation en free-cooling en ajoutant une unité de refroidissement supplémentaire à l'installation existante.

Premier enjeu étudié : réussir l'intégration d'un module de refroidissement supplémentaire sur l'alimentation électrique existante afin de supporter les épisodes caniculaires de plus en plus fréquents.

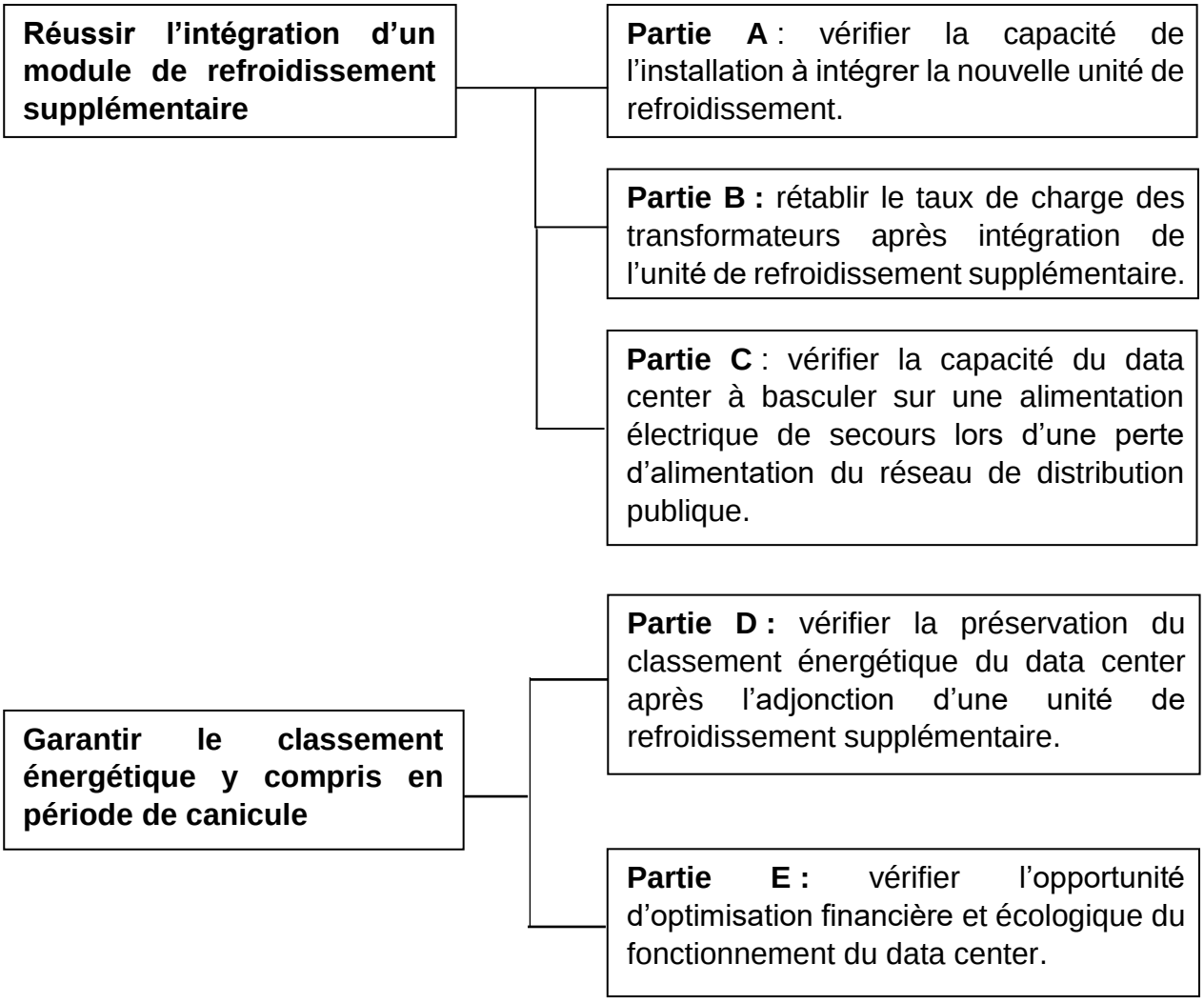
L'ajout d'une unité de refroidissement supplémentaire sur l'installation électrique existante impose de vérifier que celle-ci est en capacité de l'alimenter, tout en maintenant les critères de performances définis dans l'appel d'offres initial.

Deuxième enjeu étudié : garantir le classement énergétique du data center conformément au CCTP y compris en période de canicule.

L'entreprise CELESTE se doit d'établir un rapport d'exploitation prévisionnel annuel du data center. Ce rapport doit contenir les données de classement énergétique du data center ainsi que des prévisions chiffrées sur les impacts environnementaux et économiques de son exploitation.

Objectifs de l'étude préliminaire

Le sujet a pour objectif de conduire une étude de conception préliminaire en relation avec les deux enjeux énoncés précédemment selon le plan présenté ci-dessous.

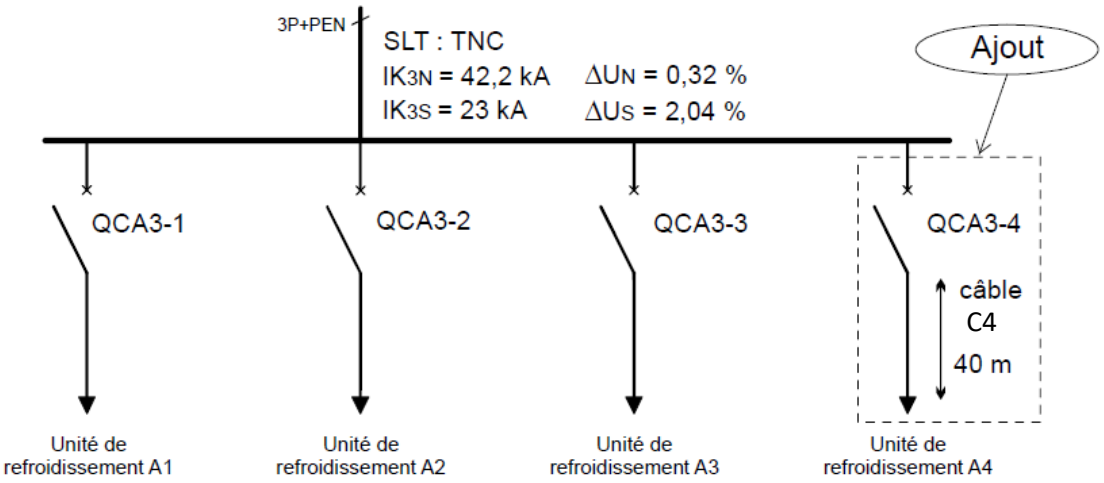


PARTIE A : VÉRIFIER LA CAPACITÉ DE L'INSTALLATION À INTÉGRER LA NOUVELLE UNITÉ DE REFROIDISSEMENT

Afin de supporter les épisodes caniculaires exceptionnels, il a été décidé d'ajouter une unité de refroidissement supplémentaire sur l'installation existante du data center. L'étude porte sur l'avant-projet de dimensionnement du départ qui permet l'alimentation électrique de cette unité de refroidissement depuis le TGBT - Chaîne A.

Documents :

- **DTEC 1** : extrait du CCTP concernant l'alimentation du data center



- **DTEC 3** : caractéristiques de l'unité de refroidissement de toiture FCM

Caractérisation de la protection associée à l'unité de refroidissement

L'unité de refroidissement supplémentaire est l'unité de base référencée FCM-230 ; ses caractéristiques sont données dans le document DTEC 3.

A1. **Relever,** à l'aide du tableau des caractéristiques du DTEC 3, la puissance électrique absorbée, l'intensité nominale du courant et l'intensité du courant au démarrage.

A2. **Relever,** sur le document DTEC 1, les valeurs efficaces des intensités des courants de court-circuit triphasé obtenues au niveau du jeu de barres du TGBT de la chaîne A. **Préciser** laquelle de ces deux valeurs est déterminante pour le choix du dispositif de protection.

A3. À l'aide du document DTEC 1 et des résultats obtenus précédemment, **déterminer** les caractéristiques du disjoncteur à associer à l'unité de base FCM-230 (nombre de pôles, pouvoir de coupure ultime, calibre, seuil de protection thermique).

A4. **Préciser** et **justifier** la valeur minimale de réglage du déclencheur magnétique du disjoncteur QCA3-4.

Pour la suite de l'étude, le seuil de protection thermique du disjoncteur est réglé à 180 A et celui de la protection magnétique est réglé à 1000 A.

Documents :

- **DRES 1** : détermination de la section des conducteurs ;
- **DRES 2** : vérification de la chute de tension en ligne ;
- **DRES 3** : détermination de la longueur maximale de câble dans le cas du schéma des liaisons de mise à la terre TN.

Détermination de la section des conducteurs du câble C4

L'unité de refroidissement est alimentée par un câble multiconducteur posé sur un chemin de câbles perforé avec trois autres câbles (une seule couche). Ce câble est isolé au polyéthylène réticulé (PR) et l'âme conductrice est en aluminium. La température ambiante maximale est de 35 °C. Le taux de distorsion harmonique $T_{h3\%}$ de rang 3 de cette unité de refroidissement est d'environ 6 % (le neutre est donc considéré comme non chargé).

A5. À l'aide du document DRES 1, **calculer** le coefficient de correction global K en détaillant la démarche.

A6. **Calculer** l'intensité fictive I'_Z correspondante. **Déterminer** et **justifier** la section minimale des conducteurs composant le câble d'alimentation de l'unité de refroidissement.

Pour la suite, l'unité de refroidissement est alimentée par un câble composé de 4 conducteurs en aluminium de 120 mm² et l'intensité du courant nominal I_B circulant dans celui-ci est de 176 A avec un facteur de déplacement (cos φ) de 0,89.

Vérification de la chute de tension en ligne en mode d'alimentation normale

La chute de tension engendrée par le câble C4 est de 3,6 V.

La chute de tension Δ_{U_N} , entre le transformateur et le jeu de barre de la chaîne A, est égale à 0,32 %.

A7. **Calculer** la chute de tension totale en % au niveau de l'unité de refroidissement. **Vérifier** la conformité de l'installation vis-à-vis de la norme NF C 15-100.

Vérification de la protection des personnes

Il est rappelé que le câble C4 a une longueur de 40 m.

A8. À l'aide du document DRES 3 et des résultats précédemment établis, **calculer** la longueur maximale de câble protégée dans les conditions d'alimentation.

A9. **Justifier** que dans les conditions d'installation du câble C4, la protection des personnes est assurée.

Détermination des taux de charge des transformateurs HTA/BT du data center

L'unité de refroidissement supplémentaire ajoutée sur le TGBT de la chaîne A possède des caractéristiques identiques aux trois autres déjà installées sur celui-ci. Il faut vérifier que les contraintes imposées aux transformateurs HTA/BT respectent bien celles définies dans le CCTP.

Les charges étant considérées comme linéaires, le facteur de puissance F_p est égal au facteur de déplacement ($\cos \varphi$).

Documents :

- **DTEC 1** : extrait du CCTP concernant l'alimentation du data center ;
- **DTEC 2** : synoptique initial et modifié de la chaîne A ;
- **DREP 1** : bilan de puissance du data center à charge maximale après rajout d'une unité de refroidissement supplémentaire.

A10. À l'aide du document DTEC 2, **calculer** la puissance apparente foisonnée des unités de refroidissement installées sur le TGBT de la chaîne A modifiée. **Préciser** les calculs effectués. **Reporter** les résultats sur le document DREP 1.

A11. **Calculer** la puissance apparente totale au niveau du jeux de barres du TGBT de la chaîne A compte tenu des autres départs. **Reporter** le résultat sur le document DREP 1.

A12. En tenant compte du facteur de foisonnement F_S du jeu de barres, **calculer** la puissance apparente foisonnée au niveau du jeux de barres du TGBT de la chaîne A. **Reporter** le résultat sur le document DREP 1.

A13. **En déduire** l'intensité du courant au niveau du TGBT de la chaîne A.

Pour la suite, les puissances apparentes mises en jeu au niveau des TGBT – Chaînes A et B seront considérées comme identiques : $S_A = S_B = 920$ kVA.

A14. À l'aide du document DTEC 1, **déterminer** le taux de charge en % du transformateur TR1 alimentant le TGBT de la chaîne A.

A15. Dans le cas d'une défaillance du transformateur TR2, **déterminer** le taux de charge en % du transformateur TR1 alimentant seul l'ensemble des deux chaînes A et B.

A16. **Comparer** les résultats obtenus à la contrainte sur le taux de charge des transformateurs HTA / BT fixé par le CCTP.

PARTIE B : RÉTABLISSEMENT DU TAUX DE CHARGE DES TRANSFORMATEURS HTA / BT

Suite à l'ajout de l'unité de refroidissement, le taux de charge d'un transformateur alimentant seul l'ensemble des deux chaînes A et B ne respecte pas la contrainte fixée par le CCTP. Pour rétablir le taux de charge attendu des transformateurs, il a été décidé de rajouter des batteries de compensation de l'énergie réactive au niveau des TGBT de chaque chaîne.

L'étude porte sur l'avant-projet de dimensionnement d'une compensation d'énergie réactive permettant d'obtenir un facteur de puissance tel que : $\tan \varphi = 0{,}34$ (dans le cas d'un fonctionnement avec un seul transformateur).

Les puissances mises en jeu au niveau de chaque TGBT des chaînes A et B avant compensation sont $P_A = 810$ kW et $Q_A = 450$ kvar pour un facteur de déplacement $\cos \varphi_A = 0{,}88$. Les deux chaînes sont identiques.

Documents :

- **DTEC 2** : synoptique initial et modifié de la chaîne A ;
- **DRES 4** : compensation de l'énergie réactive.

Caractérisation des équipements de compensation d'énergie réactive à installer

B1. À l'aide du document DRES 4**, déterminer** la puissance réactive Q_c que devra fournir la batterie de condensateurs à installer sur les TGBT de chacune des chaînes A et B pour atteindre le facteur de puissance défini dans le CCTP.

B2. **Déterminer** le type de compensation, fixe ou automatique, à installer aux niveaux des deux TGBT dans le cas où un seul transformateur de puissance apparente S_n = 2 000 kVA alimente simultanément les chaînes A et B.

Pour la suite de l'étude, les batteries de gradins de condensateurs installées sur les TGBT des chaînes A et B auront chacune une puissance standard de 200 kvar. Un seul transformateur alimente les chaînes A et B.

B3. **Déterminer** la puissance apparente des chaînes A et B, avec l'ensemble des gradins de condensateurs en service.

B4. **Déterminer** le taux de charge en % du transformateur TR1.

B5. **Citer** deux avantages de la mise en place de la compensation d'énergie réactive sur l'ensemble de l'installation électrique du data center.

PARTIE C : CAPACITÉ DU DATA CENTER À BASCULER SUR L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DE SECOURS

Au vu des modifications apportées sur les TGBT du data center, il est nécessaire de vérifier que celles-ci n'ont pas altéré la sécurisation du site du point de vue de la continuité de service électrique. L'étude porte sur la vérification des performances de l'alimentation de secours suite à la coupure de l'alimentation normale.

Documents :

- **DTEC 1 :** extrait du CCTP concernant l'alimentation du data center ;
- **DTEC 2** : synoptique initial et modifié de la chaîne A ;
- **DRES 5** : alimentation sans interruption en ligne à stockage inertiel.

Caractérisation des performances de l'alimentation sans interruption (ASI)

Lors de la perte des deux alimentations principales, les baies informatiques doivent rester alimentées pendant un temps supérieur au temps de démarrage maximal des groupes électrogènes.
La puissance active maximale consommée par l'ensemble des baies d'une tour est P_{BAIE} = 260 kW.

C1. À l'aide du synoptique modifié présenté dans le document **DTEC 2**, **lister** les départs concernés alimentés par une ASI. **En déduire** la puissance totale que doit fournir une ASI.

C2. À l'aide des documents DRES 5 et DTEC1**, calculer** l'énergie W_{ASI} (en joules) stockée dans l'une des ASI.

C3. **En déduire** que l'énergie utile délivrée aux baies informatiques par une ASI est Wu = 57 MJ.

C4. À l'aide de la relation liant l'énergie et la puissance, **déterminer** la durée d'alimentation maximale assurée par une ASI.

C5. **Vérifier** que cette durée d'alimentation par les ASI permet le démarrage des groupes électrogènes dans les conditions du CCTP.

Caractérisation des performances des groupes électrogènes

Le taux de charge des groupes électrogènes lorsqu'ils alimentent l'ensemble du data center est de 77 %. Les deux groupes électrogènes doivent pouvoir assurer l'alimentation de l'ensemble du data center sans aucun délestage pendant 36 h.

Document :

- **DTEC 4** : groupe électrogène XC 1250C.

C6. À l'aide du document DTEC 4, **déterminer** la consommation horaire en carburant des deux groupes électrogènes en charge d'assurer l'alimentation électrique de secours de l'ensemble du data center à pleine charge.

C7. Sachant que le volume de la cuve est de 15 000 L, **calculer** la durée d'alimentation maximale du data center à pleine charge lorsqu'il est alimenté par les deux groupes électrogènes. **Vérifier** que cette autonomie respecte bien les contraintes définies dans le CCTP.

PARTIE D : PRÉSERVATION DU CLASSEMENT ÉNERGÉTIQUE DU DATA CENTER

Afin de faire un bilan des travaux engagés sur le data center, il est nécessaire de pouvoir quantifier leurs effets.
Le CCTP initial du data center impose d'obtenir un coefficient de performance énergétique PUE à une valeur annuelle moyenne inférieure à 1,4.

Documents :

- **DRES 6** : indices de classification des data centers – critères de performances énergétiques et écologiques ;
- **DTEC 5** : relevé énergétique annuel du data center.

Le 3° roof top permet de garantir le PUE y compris lors des périodes de canicule.

Détermination de l'indicateur de performance énergétique du data center « Marylin »

D1. **Calculer** la valeur annuelle de l'énergie consommée par l'ensemble des charges du data center.

D2. À l'aide du document DRES 6**, calculer** la valeur annuelle du coefficient de performance énergétique PUE obtenue sur le data center. **Vérifier** que cette valeur respecte bien la contrainte définie dans le CCTP.

D3. À l'aide du document DRES 6**, déterminer** le niveau de performance énergétique obtenu par le data center après l'intégration du 3° roof-top. **Conclure**.

PARTIE E : OPPORTUNITÉ D'OPTIMISATION FINANCIÈRE ET ÉCOLOGIQUE DU FONCTIONNEMENT DU DATA CENTER

La tonne de CO_2 équivalent par mégawattheure (t eq. CO_2) est une unité de mesure utilisée pour comparer les émissions des gaz à effet de serre des moyens de production d'énergie. En France, la production d'énergie électrique génère 70.10^{-3} t eq. CO_2 par MW·h.

La tarification de l'énergie électrique consommée par le data center peut se faire selon deux options :

- tarif vert A option Base : le data center est alimenté uniquement par le réseau électrique ENEDIS. Pour une énergie annuelle de 2 577 MW·h facturée au tarif vert option Base par le data center, l'impact environnemental est de 180 t eq. CO_2 ;
- tarif vert A option EJP (Effacement Jour de Pointe) ; les jours de pointe (22 jours d'hiver par an) le data center est alimenté par les groupes électrogènes et tous les autres jours par le réseau électrique ENEDIS. L'énergie annuelle fournie au datacenter par ENEDIS dans le cas de l'option EJP est de 2 472 MWh.

E1. **Calculer** la valeur de l'impact environnemental annuel (en t eq. CO_2) correspondant à la consommation du data center au tarif vert option EJP

Les groupes électrogènes consomment 24 000 L de carburant type B7 par an pour la période tarifaire PM de l'option EJP. Les rejets atmosphériques sont de 2 640 g de CO_2 par litre de carburant.

E2. **Calculer** la valeur de l'impact environnemental annuel (en t eq. CO_2) correspondant à l'émission de CO_2 par la combustion annuelle du carburant, en période tarifaire PM, dans les groupes électrogènes.

E3. **Comparer** les impacts environnementaux liés au choix de l'option tarifaire (Base ou EJP) et **conclure** quant à l'opportunité écologique du changement de tarification de l'énergie électrique consommée.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4

CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2026

« Marilyn », data center à faible impact environnemental

CELESTE



DOSSIER TECHNIQUE

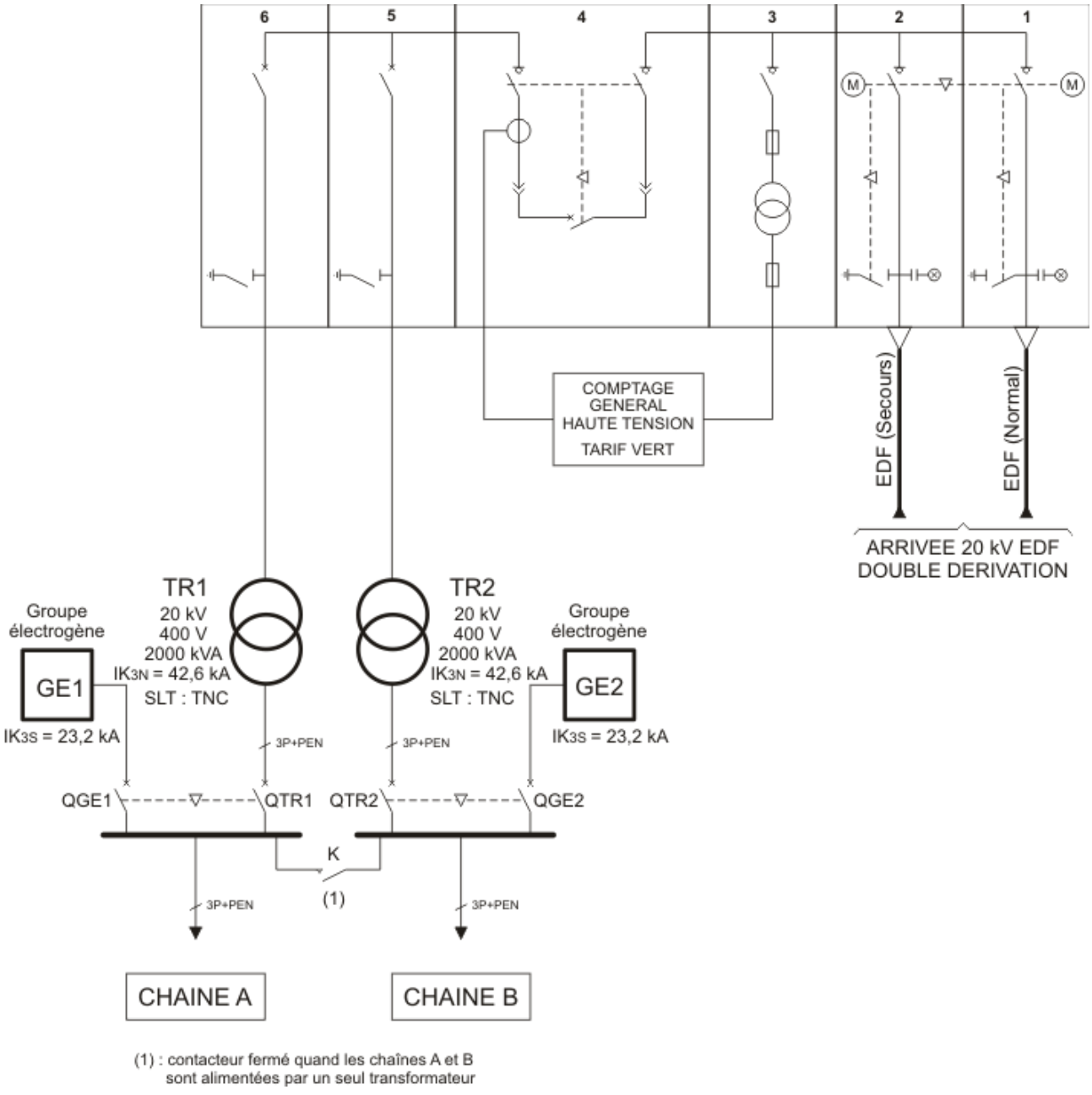
DTEC 1 : extrait du CCTP - alimentation du data center – page 1/2.....2
DTEC 1 : extrait du CCTP - alimentation du data center – page 2/2.....3
DTEC 2 : synoptique initial et modifié de la chaine A.....4
DTEC 3 : caractéristiques de l'unité de refroidissement de toiture FCM.....5
DTEC 4 : groupe électrogène XC 1250C.....6
DTEC 5 : relevé énergétique de consommation électrique annuelle du data center.....7

DTEC 1 : extrait du CCTP - alimentation du data center – page 1/2

Le présent lot concerne les travaux du lot alimentation du site « Marylin », ce qui inclut l'ensemble des prestations liées aux installations HTA et BT du site.

ALIMENTATION NORMALE DU SITE :

L'alimentation du site sera faite en double dérivation via deux arrivées HTA à 20 kV passant à proximité de CELESTE, conformément au synoptique ci-dessous :



(1) : contacteur fermé quand les chaînes A et B sont alimentées par un seul transformateur

DTEC 1 : extrait du CCTP - alimentation du data center – page 2/2

ALIMENTATION NORMALE DU SITE :

Transformateurs HTA/BT :	- Chaque transformateur sera de type huile minérale et devra assurer la fourniture normale de l'énergie BT nécessaire à l'alimentation de chaque chaine de distribution. - Chaque transformateur devra avoir la capacité d'assurer seul l'alimentation complète des deux TGBT (Chaine A et Chaine B) en gardant un taux de charge inférieur à 90 %.
Schémas des liaisons à la terre :	- Schéma de liaison à la terre de la distribution du réseau électrique : TNC et TNS. - Les liaisons entre les postes sources et les TGBT, ainsi que les liaisons entre les TGBT et les différents tableaux divisionnaires se feront en TNC. - Le passage du TNC au TNS sera réalisé à l'intérieur des tableaux divisionnaires si nécessaire.

ALIMENTATION SECOURUE DU SITE :

Alimentations Sans Interruption :	- De type « On-Line » à stockage d'énergie inertiel. - Chaque alimentation sans interruption devra assurer l'alimentation des baies informatiques pendant un temps supérieur au temps de démarrage maximal des sources d'alimentation de secours (groupes électrogènes), temps auquel sera appliqué un facteur de sécurité de 1,2. - moment d'inertie $J_{ASI} = 48{,}7\ kg \cdot m^2$ - vitesse de rotation n_{ASI}= 15 000 tr/min - rendement $\eta_{ASI} = 95\ \%$
Groupes électrogènes :	- Un groupe électrogène de 1 136 kVA – type PRP devra être associé à chaque TGBT. Il devra pouvoir assurer l'alimentation de chaque TGBT sans aucun délestage pendant un temps supérieur à 36 h. - Le temps maximal de démarrage des groupes devra être inférieur à 90 s (3 essais de démarrage successifs). - Les deux groupes électrogènes seront alimentés à partir d'une même cuve de 15 000 litres.

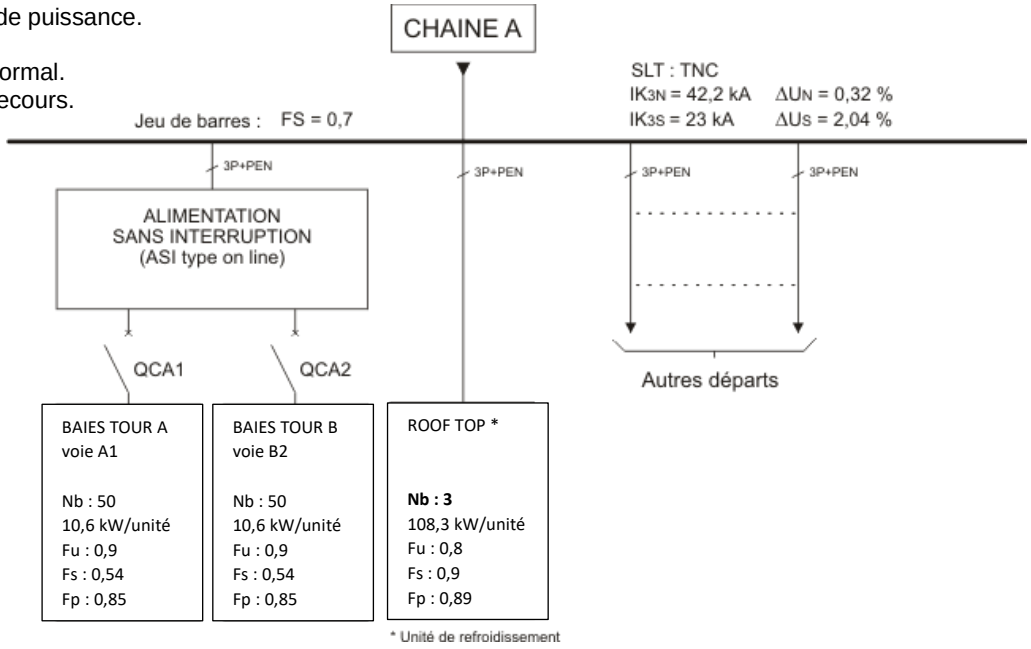
Source : CELESTE.

DTEC 2 : synoptique initial et modifié de la chaine A

Synoptique initial du TGBT - Chaine A :

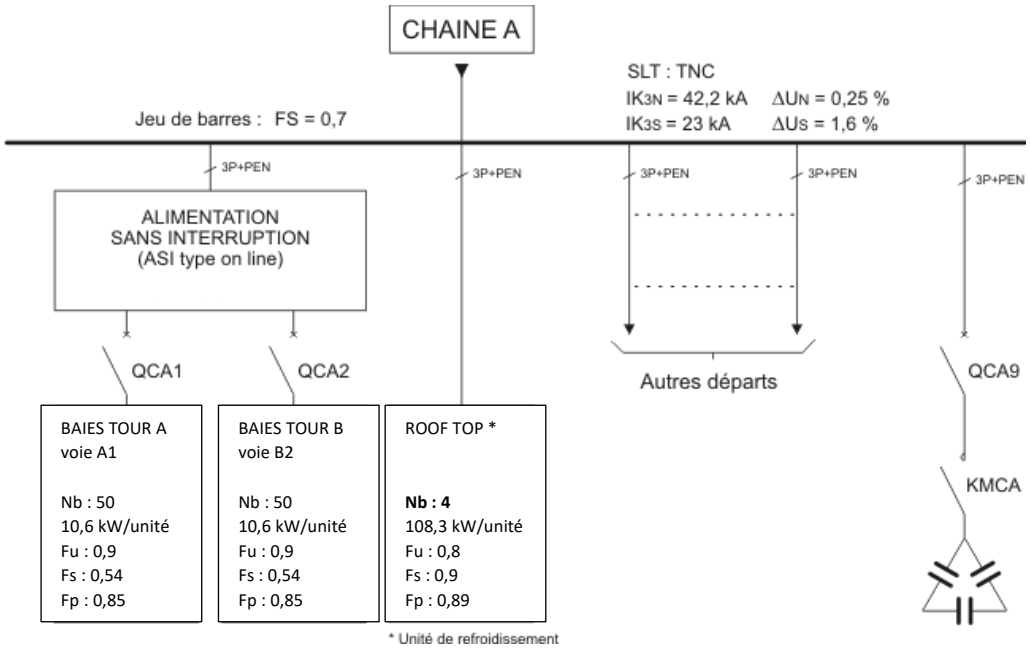
F_u : facteur d'utilisation.
F_s : facteur de simultanéité ou de foisonnement.
F_p : facteur de puissance.

Indice N : Normal.
Indice S : Secours.



Synoptique du TGBT - Chaine A modifiée :

Intégration d'une unité de refroidissement supplémentaire sur le TGBT de la chaine A et rajout de batterie de compensation de l'énergie réactive sur chaque chaine.



DTEC 3 : caractéristiques de l'unité de refroidissement de toiture FCM

Unité de toiture rooftop air/air

85 → 234 kW



LENNOX Think far*

FLEXY

FCM - FGM - FHM - FDM

DONNÉES GÉNÉRALES

LENNOX

FCM	Froid seul	**FHM**	Pompe à chaleur
FGM	Froid seul avec bruleur gaz	**FDM**	Pompe à chaleur avec bruleur gaz

FLEXY™		150	170	200	230
Carrosserie		G BOX		H BOX	
Débit d'air nominal	m^3/h	26000	30000	35000	39000
Mode froid (FCM - FGM)					
Puissance froid brute (1)	kW	148	170	197	234

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

LENNOX

	150			170			200			230		
	PA kW	FLA A	SUA A	PA kW	FLA A	SUA A	PA kW	FLA A	SUA A	PA kW	FLA A	SUA A
FCM/FHM												
Unité de base FCM / FHM	63,6	115,9	259,0	77,8	140,8	283,9	84,7	153,5	296,6	108,3	175,6	369,2

PA Puissance absorbée (kW)

FLA Intensité en pleine charge (A)

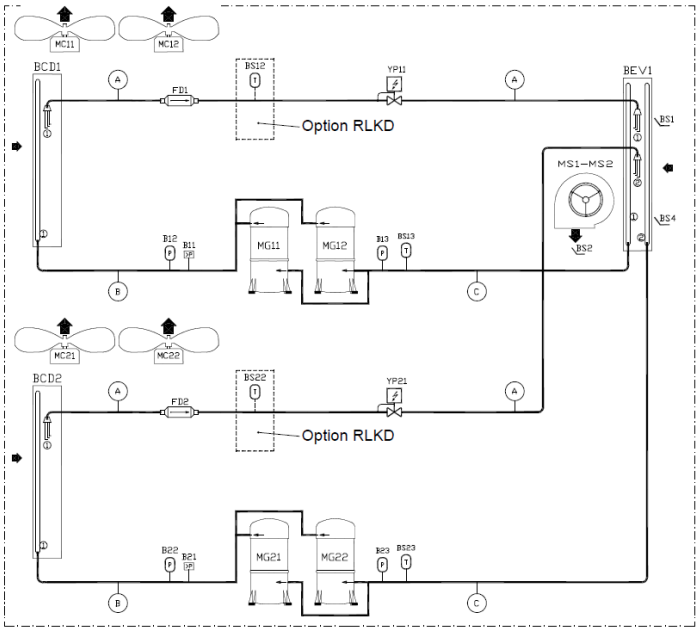
SUA Intensité de démarrage (A)

SCHÉMAS FRIGORIFIQUES

LENNOX

Avec détendeur électronique

FC 200 - 230



FC 200 - 230	
A	7/8"
B	1" 1/8
C	1" 3/8

Sources : CELESTE & LENNOX.

DTEC 4 : groupe électrogène XC 1250C





X1250C

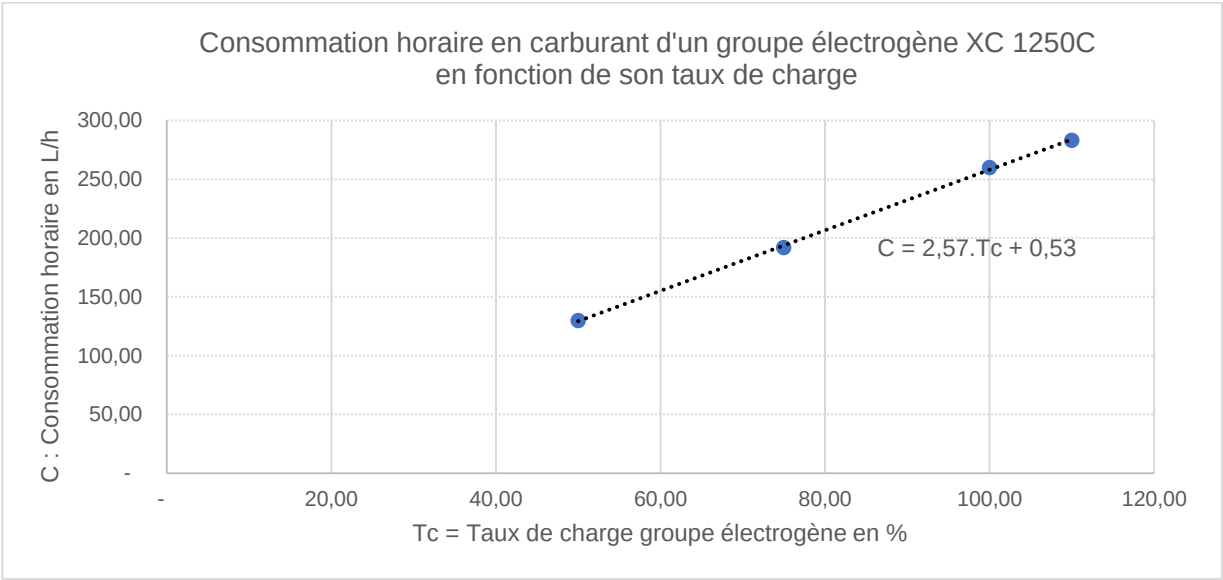
Engine ref.	18V2000G65E
Alternator ref.	LSA 50.2 M6
Performance class	G3

GENERAL CHARACTERISTICS

Frequency (Hz)	50
Voltage (V)	400/230
Optional control panel	M80
Optional Control Panel	TELYS
Optional control panel	APM802

POWER

Voltage	PRP		Standby Amps
	kWe	kVA	
415/240	909	1136	1739
400/230	909	1136	1804
380/220	909	1136	1899



Sources : CELESTE & SDMO.

DTEC 5 : relevé énergétique de la consommation électrique annuelle du data center

Consommations électriques annuelles des tours du data center :

Source de consommation	Énergie annuelle consommée en kW·h
Charges informatiques du data center	1 912 513
Charges non informatiques nécessaires au fonctionnement du data center	664 506

Consommations électriques par périodes tarifaires du data center sur une année :

Période tarifaire	Energie totale annuelle consommée en kW·h
Pointe (PTE)	79 959
Heure pleine hiver (HPH)	475 037
Heure creuse hiver (HCH)	411688
Heure pleine été (HPE)	918 041
Heure creuse été (HCE)	692 295
Pointe mobile (PM)	104 769
Heure hiver (HH)	861 914

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

DRES 1 : détermination de la section des conducteurs – page 1/2

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 ($T_{h3\%}$) :

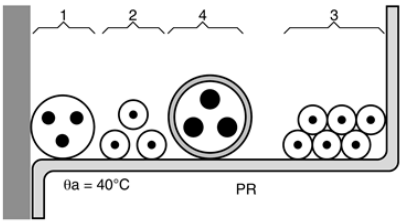
- **$T_{h3\%}$ < 15% : Kn = 1**
- **15% < $T_{h3\%}$ < 33% : Kn = 0,84**
- **$T_{h3\%}$ > 33% : Kn = 1,45**

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

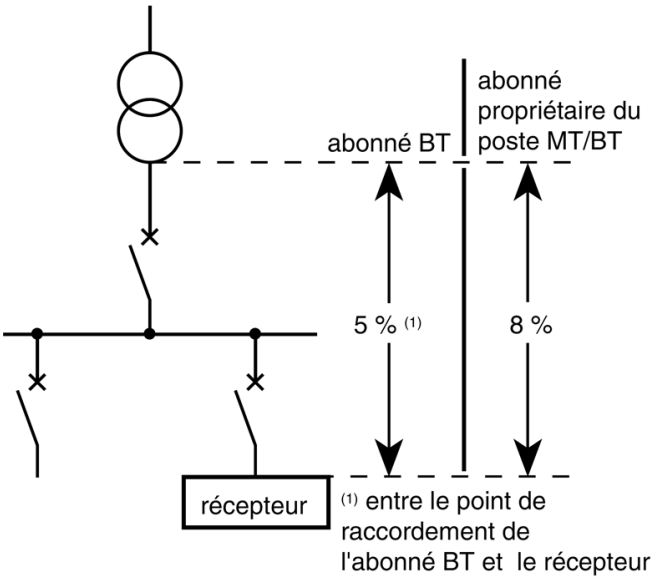
Connaissant I'z et K (I'z est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : I'z = Iz/K), le tableau ci-après indique la section à retenir.

		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.

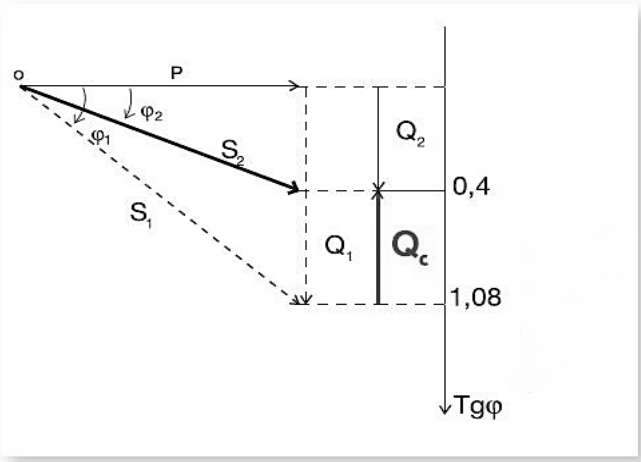
Le tableau de la figure F25 donne 99 m (50 mm² et un déclencheur magnétique réglé à 1600 A) et le tableau de la figure F24 donne un facteur correction de 0,42 (conducteur aluminium et $\frac{S_{ph}}{S_{pen}} = 2$).

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

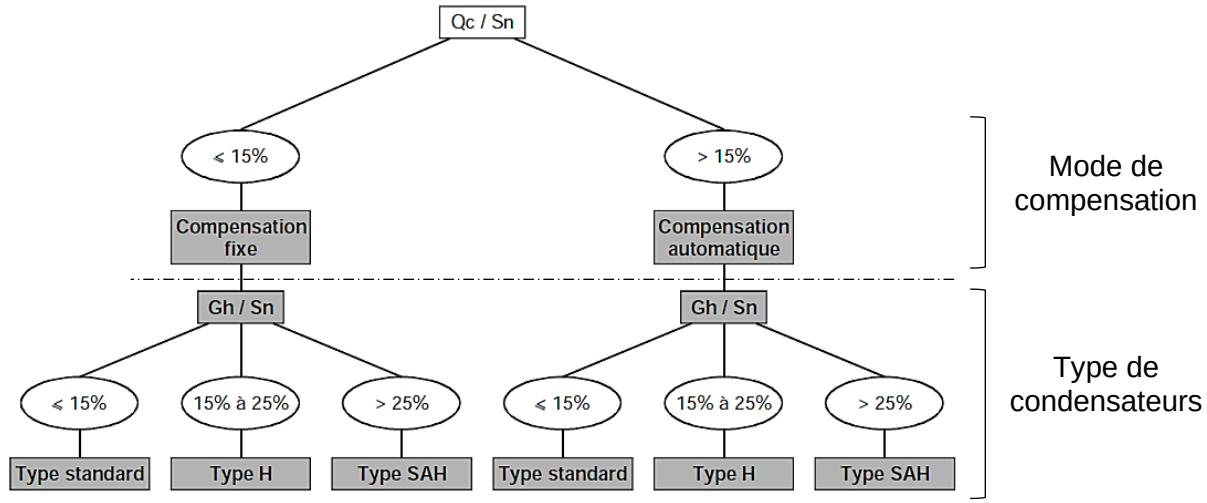
φ_1 : déphasage **sans** compensation

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 :

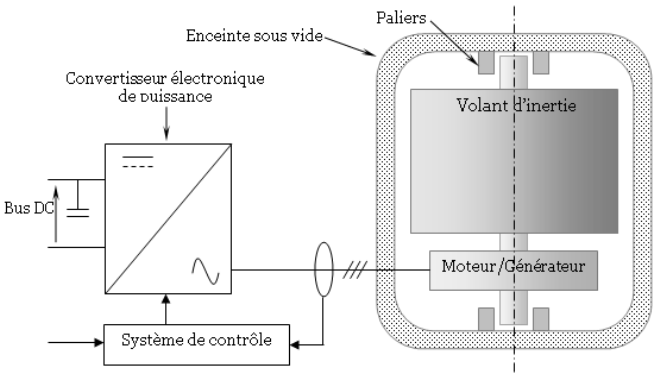
W : énergie cinétique en joules (J)

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.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4

CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2026

« Marilyn », data center à faible impact environnemental

CELESTE



DOSSIER RÉPONSES

DREP 1 : bilan de puissance du data center à charge maximale après rajout d'une unité de refroidissement supplémentaire. 2

DREP 1 : bilan de puissance du data center à charge maximale après rajout d'une unité de refroidissement supplémentaire

Bilan de puissance modifié – Chaîne A à charge maximale :

Désignation	Puissance active unitaire	Nombre	Fu	Fs	cos φ	Puissance apparente foisonnée en kVA
Départs baies voies A1 et B2	10,6 kW	100	0,9	0,54	0,85	606
Unités de refroidissement	….	….	….	….	….	…..
Autres départs						396
Puissance totale (kVA)						…..
Puissance apparente foisonnée en kVA au niveau du jeu de barres avec Fs = 0,7						…..
Intensité en A						…..

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2