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

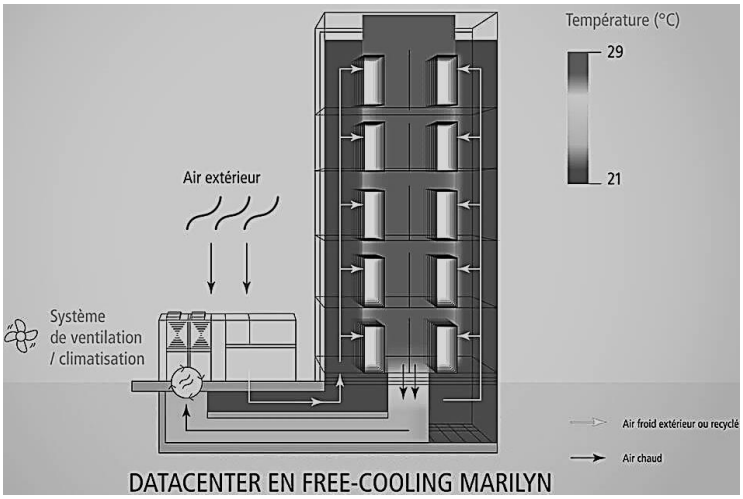
PARTIE C : capacité du data center à basculer sur l'alimentation électrique de secours. 8

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.

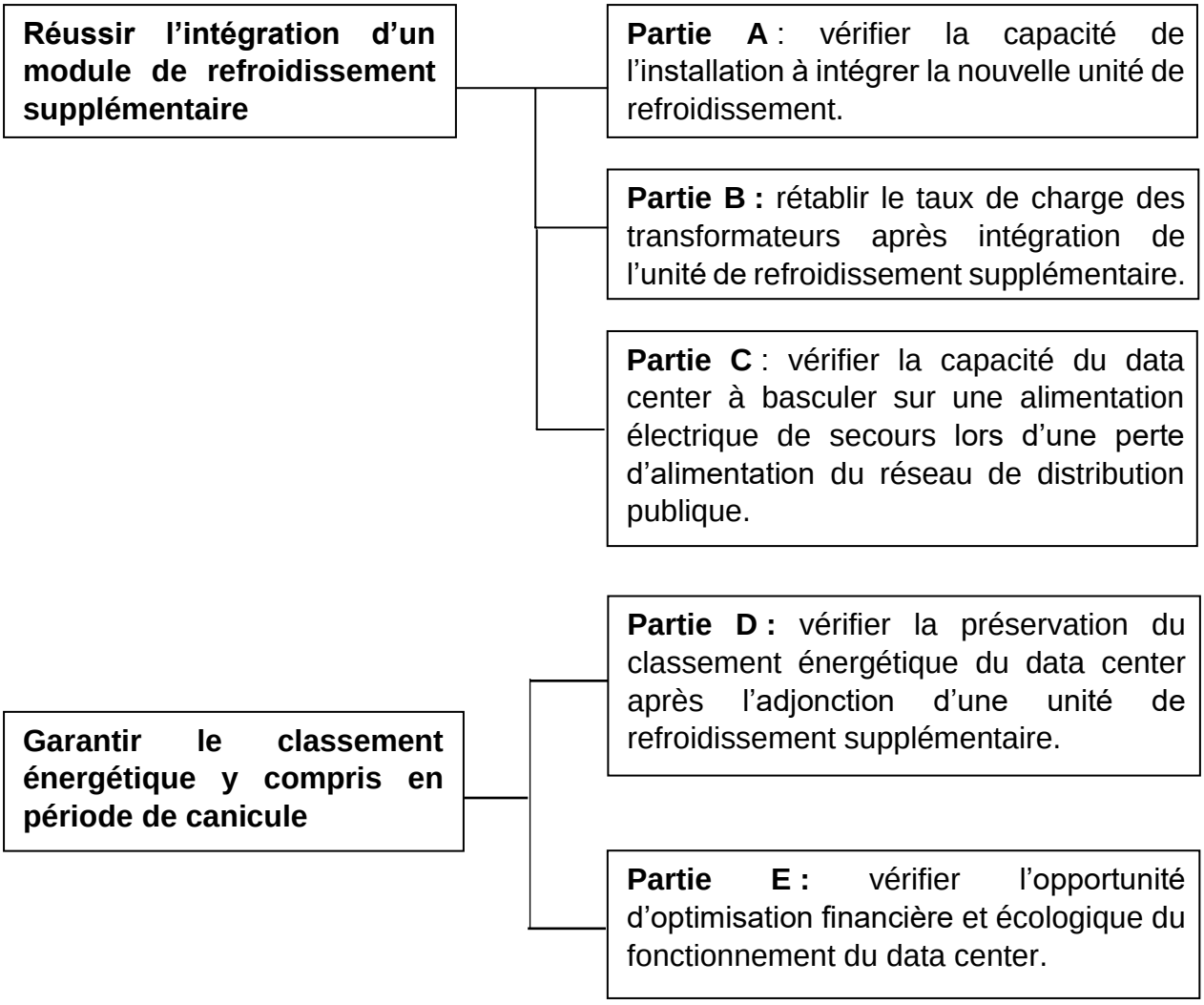
L'ajout d'une unité de refroidissement supplémentaire sur l'installation électrique existante impose de vérifier que celle-ci est en capacité de l'alimenter, tout en maintenant les critères de performances définis dans l'appel d'offres initial.

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.

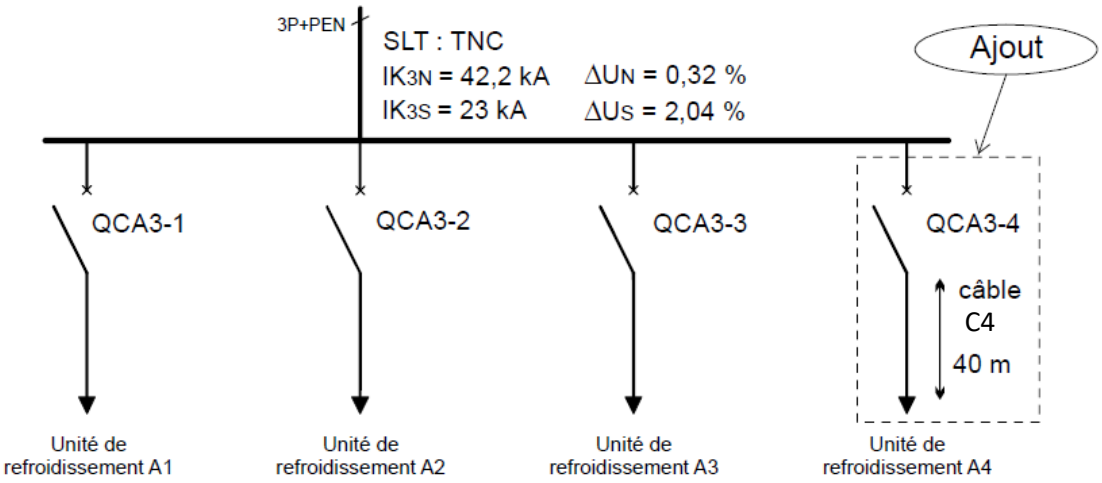


PARTIE A : VÉRIFIER LA CAPACITÉ DE L'INSTALLATION À INTÉGRER LA NOUVELLE UNITÉ DE REFROIDISSEMENT

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 φ).

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.