CORRIGÉ NON OFFICIEL

BTS Électrotechnique

E4 - Conception - étude préliminaire

Session 2026

Proposition de corrigé rédigée par FormaV pour s'entraîner. Ce n'est pas le corrigé officiel de l'examen et elle ne remplace pas les éléments de correction officiels.

Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du BTS Électrotechnique, veuillez visiter :
btselectrotechnique.fr/annales-sujets-et-corriges

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4 – Conception – étude préliminaire

Session 2026

PROPOSITION DE CORRIGÉ

Proposition de corrigé établie par FormaV à partir du sujet, non officielle. Elle ne préjuge pas des consignes nationales de correction données aux jurys.

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

Question 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.

D'après le tableau des caractéristiques électriques de DTEC 3 (unité de base FCM-230) :

- puissance absorbée : PA = 108,3 kW ;
- intensité nominale (intensité en pleine charge) : FLA = 175,6 A ;
- intensité de démarrage : SUA = 369,2 A.

Question 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.

D'après le DTEC 1 : I_{K3N} = 42,6 kA (alimentation normale par le transformateur TR1) et I_{K3S} = 23,2 kA (alimentation de secours par le groupe électrogène GE1). Remarque : le synoptique du DTEC 2 indique au jeu de barres des valeurs voisines (42,2 kA et 23 kA), sans incidence sur le choix du disjoncteur.

La valeur déterminante est I_{K3N} = 42,6 kA : c'est le courant de court-circuit présumé maximal au point d'installation, il impose le pouvoir de coupure du disjoncteur.

Question 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).

Nombre de pôles : schéma TNC (3P+PEN), le conducteur PEN ne doit jamais être coupé : disjoncteur tripolaire (3P).

Pouvoir de coupure ultime : $I_{cu} \geq I_{K3N}$ = 42,6 kA, soit I_{cu} = 50 kA (valeur normalisée).

Calibre : $I_n \geq I_B$ = 175,6 A, soit I_n = 200 A (valeur normalisée immédiatement supérieure), avec un déclencheur thermique réglable permettant d'afficher I_r = 180 A.

Seuil de protection thermique : $I_r \geq I_B$ = 175,6 A, soit I_r = 180 A.

Question A4

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

Le déclencheur magnétique ne doit pas agir au démarrage de l'unité de refroidissement : I_m > SUA = 369,2 A.

La valeur minimale de réglage du déclencheur magnétique est donc I_m > 369,2 A : on choisit le premier réglage disponible supérieur à 369,2 A. Le réglage I_m = 1 000 A retenu pour la suite de l'étude respecte cette condition.

Question A5

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

- Lettre de sélection : câble multiconducteur sur chemin de câbles perforé, lettre E.
- K1 = 1 (lettre E, « autres cas »).
- K2 = 0,77 (lettre E, simple couche sur tablettes horizontales perforées, 4 câbles multiconducteurs : le câble C4 et les trois autres câbles).
- K3 = 0,96 (isolant PR, température ambiante 35 °C).
- Kn = 1 (Th3 = 6 % < 15 %, neutre non chargé).

K = K1 × K2 × K3 × Kn = 1 × 0,77 × 0,96 × 1 = 0,739, soit K ≈ 0,74.

Question 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.

Le courant admissible à retenir est égal au réglage du seuil thermique : $I_z = I_r$ = 180 A.

$I'_z = I_z / K$ = 180 / 0,739 ≈ 244 A.

Tableau de DRES 1, lettre E, colonne PR3 (3 conducteurs chargés), aluminium : 95 mm² donne 227 A (< 244 A) et 120 mm² donne 263 A (≥ 244 A).

Section minimale : 120 mm² aluminium, première section dont le courant admissible est supérieur ou égal à I'_z.

Question 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.

Chute de tension due au câble C4 : ΔU_{C4} = 3,6 V, soit en pourcentage de la tension composée de 400 V : 3,6 / 400 × 100 = 0,90 %.

Chute de tension totale : $\Delta U_{totale} = \Delta U_N + \Delta U_{C4}$ = 0,32 % + 0,90 % = 1,22 %.

Installation alimentée par un poste HTA/BT privé : la limite NF C 15-100 pour les autres usages est 8 %. ΔU = 1,22 % < 8 % : l'installation est conforme.

Question 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.

- Tableau F25 : section 120 mm², I_m = 1 000 A, L = 400 m (valeur pour m = 1, cuivre).
- Tableau F24 : conducteurs en aluminium, m = S_{ph} / S_{PEN} = 120 / 120 = 1, facteur de correction 0,62.

L_{max} = 0,62 × 400 = 248 m.

Question A9

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

Longueur réelle du câble C4 : 40 m < L_{max} = 248 m. En cas de défaut d'isolement, le courant de défaut dépasse le seuil magnétique de 1 000 A : le disjoncteur QCA3-4 déclenche instantanément et la protection des personnes contre les contacts indirects est assurée.

Question 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.

Chaîne A modifiée (DTEC 2) : 4 unités de 108,3 kW, Fu = 0,8, Fs = 0,9, Fp = cos φ = 0,89.

Puissance active foisonnée : P = 4 × 108,3 × 0,8 × 0,9 = 311,9 kW.

Puissance apparente foisonnée : S = P / cos φ = 311,9 / 0,89 ≈ 350,5 kVA.

Document DREP 1 complété (bilan de puissance modifié, chaîne A à charge maximale ; les dernières lignes sont justifiées en A11 à A13) :

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	108,3 kW	4	0,8	0,9	0,89	350,5
Autres départs						396
Puissance totale (kVA)						1 352,5
Puissance apparente foisonnée en kVA au niveau du jeu de barres avec Fs = 0,7						946,7
Intensité en A						1 366

Question A11

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

S = S_{baies} + $S_{unités}$ + $S_{autres\ départs}$ = 606 + 350,45 + 396 = 1 352,45 kVA, soit environ 1 352,5 kVA.

Question A12

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

Avec Fs = 0,7 au niveau du jeu de barres : S = 0,7 × 1 352,45 ≈ 946,7 kVA.

Question A13

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

I = S / (√3 × U) = 946,7 × 10^3 / (√3 × 400) ≈ 1 366 A.

Question A14

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

Le transformateur TR1 a une puissance apparente nominale de 2 000 kVA. Le taux de charge est :

$\tau = S / S_n$ = 920 kVA / 2 000 kVA = 0,46, soit 46 %.

Question 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.

TR1 alimente seul les deux chaînes : $S = S_A + S_B$ = 920 kVA + 920 kVA = 1 840 kVA.

Taux de charge : τ = 1 840 / 2 000 = 0,92, soit 92 %.

Question A16

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

Le CCTP (DTEC 1) impose qu'un transformateur alimentant seul les deux TGBT garde un taux de charge inférieur à 90 %.

En fonctionnement normal, 46 % < 90 % : conforme. En cas de défaillance de TR2, 92 % > 90 % : la contrainte n'est pas respectée. Cette situation justifie la compensation d'énergie réactive étudiée en partie B.

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

Question 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.

Avant compensation, par chaîne : P_A = 810 kW et Q_A = 450 kvar, soit $\tan \varphi_A = Q_A / P_A$ = 450 / 810 = 0,556.

Objectif : tan φ = 0,34. La puissance réactive visée est Q' = P × tan φ = 810 × 0,34 = 275,4 kvar.

Puissance réactive à fournir par la batterie : $Q_c = Q_A - Q' = 450 - 275{,}4 = 174{,}6$ kvar, soit environ 175 kvar par chaîne.

Question 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.

Q_c total = 2 × 174,6 = 349,2 kvar.

Q_c / S_n = 349,2 / 2 000 = 0,175, soit 17,5 % > 15 % : d'après DRES 4, la compensation doit être automatique.

Question B3

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

Chaque TGBT est compensé par une batterie de 200 kvar. Par chaîne : Q = 450 − 200 = 250 kvar, P = 810 kW.

Puissance apparente d'une chaîne : $S = \sqrt{(810^2 + 250^2)} = \sqrt{(718\,600)} \approx 847{,}7$ kVA, soit environ 848 kVA.

Pour les deux chaînes : P = 1 620 kW, Q = 500 kvar, $S = \sqrt{(1\,620^2 + 500^2)} = \sqrt{(2\,874\,400)} \approx 1\,695$ kVA.

Question B4

Déterminer le taux de charge en % du transformateur TR1.

Taux de charge : $\tau = S / S_n$ = 1 695 kVA / 2 000 kVA ≈ 0,848, soit 84,8 %.

84,8 % < 90 % : avec la compensation, la contrainte du CCTP est de nouveau respectée lorsqu'un seul transformateur alimente les chaînes A et B (contre 92 % sans compensation, A15).

Question 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.

- Diminution de la puissance apparente appelée, donc du taux de charge des transformateurs et des lignes, ce qui permet de rester dans la contrainte du CCTP en cas de défaillance d'un transformateur ;
- Diminution des courants en ligne, donc des pertes par effet Joule et de la chute de tension, et amélioration du facteur de puissance de l'installation.

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

Question 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.

Départs alimentés par l'ASI de la chaîne A (DTEC 2) : QCA1 (baies tour A, voie A1) et QCA2 (baies tour B, voie B2).

Grâce à la double alimentation des baies, chaque départ doit pouvoir alimenter seul l'ensemble des baies d'une tour, soit P_{BAIE} = 260 kW (donnée du sujet).

Puissance totale à fournir par une ASI : P = 2 × 260 = 520 kW.

Question C2

À l'aide des documents DRES 5 et DTEC 1, calculer l'énergie W_{ASI} (en joules) stockée dans l'une des ASI.

Données de DTEC 1 : J_{ASI} = 48,7 kg·m², n_{ASI} = 15 000 tr/min.

$\omega = 2\pi \times n / 60 = 2\pi \times 15\,000 / 60 \approx 1\,570{,}8$ rad/s.

$W_{ASI} = ½ \times J \times \omega^2 = ½ \times 48{,}7 \times 1\,570{,}8^2 \approx 60{,}1 \times 10^6$ J, soit $W_{ASI} \approx 60{,}1$ MJ.

Question C3

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

Avec le rendement η_{ASI} = 95 % (DTEC 1) : $W_u = \eta_{ASI} \times W_{ASI} = 0{,}95 \times 60{,}1 \approx 57$ MJ.

Question C4

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

Relation : $W_u = P \times t$, donc $t = W_u / P$.

$t = 57 \times 10^6 / (520 \times 10^3) \approx 109{,}6$ s.

Question C5

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

Le CCTP (DTEC 1) impose un temps de démarrage des groupes inférieur à 90 s, auquel s'applique un facteur de sécurité de 1,2 : t > 1,2 × 90 = 108 s.

109,6 s > 108 s : l'ASI couvre le démarrage des groupes électrogènes, la condition est respectée (avec une faible marge).

Question 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.

Relation de DTEC 4 : $C = 2{,}57 \times T_c + 0{,}53$, avec $T_c = 77$ %.

$C = 2{,}57 \times 77 + 0{,}53 \approx 198{,}4$ L/h par groupe.

Pour les deux groupes : $2 \times 198{,}4 \approx 396{,}8$ L/h.

Question 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.

$t = V_{cuve} / C = 15\,000 / 396{,}8 \approx 37{,}8$ h.

37,8 h > 36 h : l'autonomie respecte la contrainte du CCTP.

PARTIE D – PRÉSERVATION DU CLASSEMENT ÉNERGÉTIQUE DU DATA CENTER

Question D1

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

D'après DTEC 5 : $W = W_{informatique} + W_{non\ informatique} = 1\,912\,513 + 664\,506 = 2\,577\,019$ kWh, soit environ 2 577 MWh.

Question 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.

PUE = énergie totale du data center / énergie des équipements informatiques (DRES 6).

PUE = 2 577 019 / 1 912 513 ≈ 1,35.

1,35 < 1,4 : la contrainte du CCTP est respectée.

Question 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.

Avec PUE ≈ 1,35, compris entre 1,5 (Efficient) et 1,2 (Very efficient), le data center se classe au niveau Efficient, sans atteindre le niveau Very efficient (DCiE = 1 / PUE ≈ 74 %, entre 67 % et 83 %).

Conclusion : le 3e roof-top permet de conserver ce classement énergétique, y compris en période de canicule, conformément au deuxième enjeu de l'étude.

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

Question 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.

Énergie annuelle fournie par ENEDIS dans l'option EJP : 2 472 MW·h. Facteur d'émission : 70×10^{-3} t eq. CO_2 par MW·h.

Impact : $2\,472 \times 70 \times 10^{-3} = 173{,}04$ t eq. CO_2, soit environ 173 t eq. CO_2.

Question 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.

Carburant consommé : 24 000 L par an. Rejets : 2 640 g de CO_2 par litre.

Émissions : $24\,000 \times 2\,640$ g = 63 360 000 g = 63,36 t, soit environ 63,4 t eq. CO_2.

Question 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.

Option Base : 180 t eq. CO_2 par an.

Option EJP : impact du réseau (173 t eq. CO_2, E1) + impact de la combustion (63,4 t eq. CO_2, E2) = 236,4 t eq. CO_2 par an.

Écart : $236{,}4 - 180 = 56{,}4$ t eq. CO_2, soit une hausse d'environ 31 % par rapport à l'option Base.

Conclusion : l'option EJP réduit de 7 t eq. CO_2 l'impact lié au réseau ENEDIS, mais les émissions des groupes électrogènes (63,4 t eq. CO_2) dépassent largement ce gain. Le changement de tarification vers l'option EJP n'est pas favorable sur le plan écologique.

Continue à t'entraîner

Retrouve tous les sujets et corrigés du BTS Électrotechnique, classés par épreuve et par année :

btselectrotechnique.fr/annales-sujets-et-corriges

Pour réviser tout le programme avant l'examen, les Fiches de Révision du BTS Électrotechnique reprennent l'essentiel de chaque épreuve :

btselectrotechnique.fr/fiches-de-revision

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.