CORRIGÉ NON OFFICIEL

BTS Fluides Énergies Domotique

E4.1 - Étude des systèmes - Analyse et définition d'un système

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 FED, veuillez visiter :
bts-fed.fr/annales-sujets-et-corriges

BTS Fluides, Énergies, Domotique
Session 2026
U41 Analyse et définition d'un système

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 1 – RENFORCEMENT DE L'ISOLATION DU BÂTIMENT — 24 points

Question 1.1

Donner trois exemples de bâtiments qui entrent dans le cadre du décret tertiaire.

Sont concernés, selon le DT 1 : les bureaux, les bâtiments d'enseignement, les commerces (ou les hôpitaux), dès lors que leur surface à usage tertiaire dépasse 1000 m².

Question 1.2

Expliquer brièvement la différence entre une réglementation thermique et un label thermique.

Une réglementation thermique est un texte à caractère obligatoire qui fixe des exigences minimales de performance énergétique (construction ou rénovation) auxquelles le maître d'ouvrage doit se conformer. Un label thermique est une certification volontaire, délivrée à partir d'un référentiel, qui atteste d'un niveau de performance supérieur à celui imposé par la réglementation (par exemple le label Bâtiment passif en rénovation, démarche EnerPHit du projet).

Question 1.3

En prenant appui sur la comparaison des consommations énergétiques avant et après rénovation, calculer le pourcentage de réduction de la consommation d'énergie primaire de ce projet de rénovation. Est-ce que cette rénovation permet de satisfaire l'exigence du décret tertiaire à l'échéance 2050 ?

Sur la ligne « Global » du DT 1, le Cep passe de 166 kWh.m^{-2}.an^{-1} à 43 kWh.m^{-2}.an^{-1}. La réduction est :

$\frac{166-43}{166} = \frac{123}{166} \approx 0{,}741$

La consommation d'énergie primaire diminue donc de **74,1 %**.

Le décret tertiaire demande une économie de 60 % à l'échéance 2050, par rapport à l'année de référence (situation avant rénovation). La réduction obtenue (74,1 %) étant supérieure à 60 %, la rénovation permet de satisfaire l'exigence 2050. Elle dépasse également les objectifs intermédiaires de 40 % en 2030 et de 50 % en 2040.

Question 1.4

D'après le bilan annuel global des apports, indiquer l'intérêt et l'inconvénient des apports de chaleur gratuits.

Les apports de chaleur gratuits (apports solaires au travers des baies, apports internes des occupants, des équipements et de l'éclairage) réduisent les besoins de chauffage en période de chauffe, ce qui constitue leur intérêt. Leur inconvénient est qu'ils peuvent provoquer des surchauffes

en intersaison et en été, dans un bâtiment très bien isolé et étanche, d'où la nécessité d'un dispositif de ventilation naturelle nocturne.

D'après le bilan annuel global, les apports gratuits valent environ 24 kWh.m^{-2}.an^{-1} (apports solaires 8,14 et apports internes 16,47) pour des déperditions totales de 33 kWh.m^{-2}.an^{-1} : ils en couvrent environ 73 % (24 / 33 ≈ 0,73), et les besoins de chauffage ne sont plus que de 8,92 kWh.m^{-2}.an^{-1}.

Question 1.5

(DT 2) Donner trois intérêts de mettre en œuvre de la ouate de cellulose ou de la fibre de bois au lieu de polystyrène.

Trois intérêts, d'après le tableau du DT 2 :

1. Un isolant d'origine bio-sourcée (ouate issue du recyclage de papiers, fibre de bois issue du végétal), alors que le polystyrène est un produit synthétique issu de la pétrochimie.
2. Une énergie grise nettement plus faible : 2 kWhep/UF pour la ouate de cellulose et 31 kWhep/UF pour la fibre de bois, contre 89 kWhep/UF pour le polystyrène.
3. Un impact négatif sur l'effet de serre (stockage de carbone) : –10 kgCO_2eq/UF pour la ouate et –6 kgCO_2eq/UF pour la fibre de bois, contre +14 pour le polystyrène.

Remarque : leur masse volumique et leur chaleur spécifique plus élevées (1600 à 2100 J.kg^{-1}.K^{-1} contre 1450 pour le polystyrène) améliorent en outre l'inertie thermique et le confort d'été.

Sont également acceptés : la limitation de la pollution liée à la fabrication, le recours à des matériaux recyclés ou renouvelables.

Question 1.6

(DT 2 ; DR 1) Le coefficient U du mur de façade avant rénovation est de 0,407 W.m^{-2}.K^{-1}. Calculer le coefficient U du mur de façade modifié en complétant le tableau. Conclure.

Résistances des isolants ($R = \frac{e}{\lambda}$) :

Ouate de cellulose : $R = \frac{0{,}220}{0{,}035} \approx 6{,}29\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$

Fibre de bois : $R = \frac{0{,}060}{0{,}036} \approx 1{,}67\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$

Résistance globale : $R_{tot} = 2{,}282 + 6{,}29 + 1{,}67 + 0{,}17 \approx 10{,}40\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$

Coefficient U : $U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{10{,}40} \approx 0{,}096\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$

Élément	Épaisseur (m)	Conductivité (W.m^{-1}.K^{-1})	Résistance (m².K.W^{-1})
Façade existante	0,303	–	2,282
Ouate de cellulose	0,220	0,035	6,29
Fibre de bois	0,060	0,036	1,67
Rsi + Rse	–	–	0,17
R global	–	–	10,40
U (W.m^{-2}.K^{-1})	–		0,096

Conclusion : le coefficient U passe de 0,407 à 0,096 W.m^{-2}.K^{-1}, soit une division par environ 4,2 (0,407 / 0,096 ≈ 4,2). L'ensemble MOB réduit fortement les déperditions de la façade.

Question 1.7

Estimer l'économie annuelle en euros réalisée grâce à la mise en œuvre de cet ensemble MOB.

Énergie économisée : 28 000 kWh.an^{-1}. Prix de l'énergie : 0,05 € TTC.kWh^{-1}.

$E = 28\,000 \times 0{,}05 = 1\,400$ € TTC.an^{-1}

L'économie annuelle est d'environ **1 400 € TTC**.

Question 1.8

Estimer le temps de retour sur investissement en années pour la mise en œuvre de cet ensemble MOB (en faisant l'hypothèse d'un coût de l'énergie constant).

Investissement : $I = 150 \times 1366 = 204\,900$ € TTC

Temps de retour : $T = \frac{I}{E} = \frac{204\,900}{1\,400} \approx 146$ ans

Le temps de retour sur investissement est d'environ **146 ans**.

Question 1.9

Vérifier que l'énergie primaire (chaufferie urbaine) dégage un équivalent CO_2 de 59 gCO_2.kWh^{-1}. En déduire la réduction d'émission de CO_2 en tonnes occasionnée par la mise en œuvre de l'ensemble MOB (sur le cycle de vie du bâtiment de 50 ans).

Équivalent CO_2 du réseau : $0{,}80 \times 13 + 0{,}20 \times 243 = 10{,}4 + 48{,}6 = 59$ gCO_2.kWh^{-1}. La valeur de 59 g est vérifiée.

Réduction annuelle : $28\,000 \times 59 = 1\,652\,000$ gCO_2 $= 1{,}652$ tCO_2.an^{-1}

Sur 50 ans : $1{,}652 \times 50 \approx 82{,}6$ tCO_2

La mise en œuvre de l'ensemble MOB évite l'émission d'environ **82,6 tonnes de CO_2** sur 50 ans.

Question 1.10

Estimer la quantité de CO_2 stockée grâce à l'ensemble MOB en tonnes.

Les valeurs du DT 2 sont exprimées par unité fonctionnelle (UF = 1 m² d'isolant pour 50 ans). Les isolants rapportés (ouate de cellulose et fibre de bois) représentent 1366 m² chacun, soit 1366 UF.

Ouate de cellulose : $1366 \times (-10) = -13\,660$ kgCO_2eq

Fibre de bois : $1366 \times (-6) = -8\,196$ kgCO_2eq

Total : $-21\,856$ kgCO_2eq $\approx -21{,}9$ tCO_2eq

Le signe négatif traduit un stockage de carbone : environ **21,9 tonnes de CO_2** sont stockées.

Question 1.11

Conclure sur les intérêts économique et environnemental de la mise en œuvre de l'ensemble MOB.

Sur le plan économique, l'économie annuelle de 1 400 € TTC pour un investissement de 204 900 € TTC conduit à un temps de retour d'environ 146 ans : l'intérêt économique est très faible, et le projet se justifie par d'autres critères (confort, exigence réglementaire, objectifs du label).

Sur le plan environnemental, l'intérêt est réel : environ 82,6 tCO_2 évitées sur 50 ans, auxquelles s'ajoutent environ 21,9 tCO_2 stockées dans les isolants, soit un gain total d'environ 104,5 tCO_2.

L'énergie grise plus faible des isolants biosourcés renforce cet intérêt.

Question 1.12

Citer deux autres documents devant être fournis dans le DCE, en précisant leurs sigle (ou acronyme) et signification.

Deux documents parmi les pièces du DCE :

- CCTP : cahier des clauses techniques particulières, qui décrit les prestations techniques, les matériaux et les modalités d'exécution des travaux.
- DPGF : décomposition du prix global et forfaitaire, dans laquelle l'entreprise chiffre les prestations.

Sont également acceptés : CCAP (cahier des clauses administratives particulières), DQE (détail quantitatif estimatif), BPU (bordereau des prix unitaires).

PARTIE 2 – SOUS-STATION DE CHAUFFAGE URBAIN ET PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE — 23 points

Question 2.1

Quel est l'intérêt technique d'avoir préféré une production délocalisée dans les différents blocs sanitaires pour l'immeuble de bureaux ?

La consommation d'ECS des bureaux étant faible, une production locale par ballon électrique dans chaque bloc sanitaire supprime le réseau de distribution et de bouclage d'ECS. On évite ainsi les pertes thermiques de distribution, les risques de développement de légionelles dans un réseau long et peu utilisé, et on simplifie l'installation (pas de réseau ECS ni de bouclage entre la sous-station et les blocs sanitaires des bureaux, investissement réduit).

Question 2.2

Évaluer la puissance nécessaire pour produire l'ECS en période de pointe en kW. En déduire l'inconvénient majeur d'une production instantanée.

Débit de pointe : 10 douches × 4 l.min^{-1} = 40 l.min^{-1}, soit 40 kg.min^{-1} = 0,667 kg.s^{-1}.

Élévation de température : $\Delta\theta = 60 - 10 = 50\ \mathrm{K}$.

$P = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta\theta = 0{,}667 \times 4{,}18 \times 50 \approx 139{,}3\ \mathrm{kW}$

Puissance arrondie à l'unité supérieure : **140 kW**.

Inconvénient majeur : une production instantanée impose une puissance très élevée pendant les seuls moments de pointe. Le réseau et l'échangeur doivent être dimensionnés pour cette puissance, ce qui augmente la puissance souscrite et donc le coût de l'abonnement.

Question 2.3

Déterminer la puissance de chauffage du bâtiment en kW. En déduire la puissance globale de la sous-station en admettant une puissance ECS de 140 kW et l'abonnement annuel, partie fixe de la facture énergétique en € TTC.an^{-1}.

Déperditions : $27 \times 2339 = 63\,153\ \mathrm{W} = 63{,}15\ \mathrm{kW}$

Avec le surdimensionnement de 10 % : $63{,}15 \times 1{,}10 = 69{,}47\ \mathrm{kW}$, soit **70 kW** arrondis à l'unité supérieure.

Puissance globale de la sous-station : $140 + 70 = 210\ \text{kW}$

Abonnement : $R_2 = 64 \times 210 = 13\,440\ €\ \text{HT.an}^{-1}$

Avec la TVA de 5,5 % : $13\,440 \times 1{,}055 = 14\,179{,}20\ €\ \text{TTC.an}^{-1}$

Question 2.4

Quelle économie sur l'abonnement annuel permet ce choix technique en € TTC.an^{-1} ?

La puissance souscrite passe à la puissance de chauffage du bâtiment, soit 70 kW :

$R'_2 = 64 \times 70 = 4\,480\ €\ \text{HT}$, soit $4\,480 \times 1{,}055 = 4\,726{,}40\ €\ \text{TTC}$

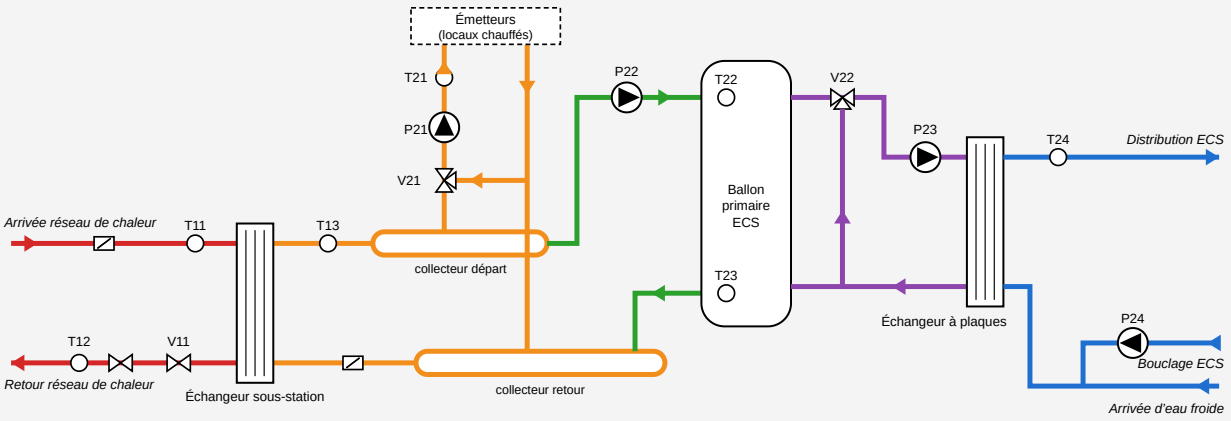
Économie : $14\,179{,}20 - 4\,726{,}40 = 9\,452{,}80\ €\ \text{TTC.an}^{-1}$

Question 2.5

(DR 2) Surligner avec 5 couleurs différentes tout en complétant la légende : le réseau de chauffage urbain, le réseau de chauffage du bâtiment, le réseau de charge du ballon primaire ECS, le réseau primaire de production ECS, les réseaux sanitaires.

Sur le DR 2, chaque réseau est surligné d'une couleur différente, reportée dans la légende (les couleurs sont au choix du candidat ; exemple ci-dessous) :

- **Réseau de chauffage urbain** (rouge) : arrivée réseau de chaleur (T11, filtre), primaire de l'échangeur de la sous-station, puis retour réseau de chaleur par la vanne V11 et la sonde T12 ;
- **Réseau de chauffage du bâtiment** (orange) : secondaire de l'échangeur (T13) et collecteurs départ/retour, puis départ chauffage par la V3V V21, le circulateur P21 et la sonde T21 vers les émetteurs des locaux chauffés, et retour vers le collecteur retour (voie de recyclage de V21 comprise) ;
- **Réseau de charge du ballon primaire ECS** (vert) : piquage sur le collecteur départ, pompe P22, entrée haute du ballon primaire (T22) ; sortie basse du ballon (T23) vers le collecteur retour ;
- **Réseau primaire de production ECS** (violet) : sortie haute du ballon primaire, V3V V22, pompe P23, primaire de l'échangeur à plaques, retour vers le bas du ballon et voie de recyclage de V22 ;
- **Réseaux sanitaires** (bleu) : arrivée d'eau froide, bouclage d'eau chaude sanitaire (P24) qui rejoint l'arrivée d'eau froide, secondaire de l'échangeur à plaques et distribution d'eau chaude sanitaire (T24).



DR 2 complété (schéma simplifié) : chaque réseau est tracé dans la couleur de la légende complétée ci-dessous ; les flèches indiquent le sens de circulation

Légende	Couleur adoptée
Réseau de chauffage urbain	rouge
Réseau de chauffage du bâtiment	orange
Réseau de charge du ballon primaire ECS	vert
Réseau primaire de production ECS	violet
Réseaux sanitaires	bleu

Question 2.6

(DR 2) Justifier la variation de vitesse du circulateur P21.

Le circulateur à vitesse variable adapte son débit aux besoins réels de chaleur. Les émetteurs étant régulés par des vannes deux voies motorisées ou thermostatiques, le débit demandé varie en permanence. Une vitesse variable maintient la pression différentielle nécessaire au bon fonctionnement des vannes, évite les surdébits et les bruits, et réduit la consommation électrique du circulateur (la puissance absorbée diminue fortement avec la vitesse).

Question 2.7

(DR 2) En prenant modèle sur la description de la V2V V11, expliquer le rôle et le fonctionnement de : la V3V V21 ; la V3V V22.

Une vanne trois voies (V3V) montée en mélange comporte deux entrées et une sortie. Elle régule une température en modifiant la proportion du débit qui passe par chacune des voies, sans faire varier le débit total du circuit.

Par analogie avec V11 :

- **V3V V21** (vanne de mélange sur le départ chauffage) : régule la température de départ chauffage T21 selon une loi d'eau fonction de la température extérieure T26 ; si T21 > consigne, V21 ferme la voie directe (recyclage du retour) ; si T21 < consigne, V21 ouvre la voie directe ; en priorité ECS ou en l'absence de besoin de chauffage, la voie directe est fermée.
- **V3V V22** (vanne de mélange sur le primaire de production ECS) : régule la température de l'ECS distribuée T24 à 60 °C en dosant l'eau chaude venant du ballon primaire ; si T24 > 60 °C, V22 ferme la voie ballon (recyclage du retour de l'échangeur) ; si T24 < 60 °C, V22 ouvre la voie ballon.

Question 2.8

En admettant une puissance de sous-station de 70 kW et une quantité d'énergie de stockage de 126 000 kJ, calculer le temps nécessaire en minutes pour que le ballon primaire ECS soit rechargé en énergie. Expliquer pourquoi la priorité ECS n'est pas problématique pour le chauffage du bâtiment.

$t = \frac{E}{P} = \frac{126\,000\ \text{kJ}}{70\ \text{kW}} = 1\,800\ \text{s} = 30\ \text{min}$

La priorité ECS n'est pas problématique pour le chauffage car la recharge du ballon ne dure que 30 minutes. L'interruption du chauffage reste donc brève, et l'inertie du bâtiment, fortement isolé (bâtiment passif), limite la baisse de température intérieure sur ce laps de temps. De plus, la consommation de pointe d'ECS est ponctuelle.

Question 2.9

Donner un avantage et un inconvénient du choix technique effectué par le bureau d'études (ballon primaire pour l'ECS) et conclure.

Avantage : la puissance souscrite est limitée à 70 kW, ce qui réduit l'abonnement d'environ 9 450 € TTC par an.

Inconvénient : le ballon primaire est un stockage d'énergie qui ajoute un équipement (encombrement, coût d'investissement, pertes thermiques), et la priorité ECS interrompt le chauffage pendant la recharge.

Conclusion : le choix est pertinent car les économies sur l'abonnement sont importantes, l'interruption du chauffage reste brève, et la production ECS reste instantanée, donc sans stockage d'ECS et sans risque de légionelles lié à un stockage d'eau sanitaire.

PARTIE 3 – VENTILATION PAR CTA — 15 points

Question 3.1

(DT 3) Déterminer : a. le nombre maximal de personnes prévues dans le local R1-038 ; b. le débit de renouvellement d'air réglementaire par personne ; c. le débit de ventilation maximal dans le local R1-038 ; d. le débit de ventilation minimal dans le local R1-038.

a. Surface du local R1-038 (DT 3) : S = 32,67 m², soit $N = 32{,}67 \times 1 \approx 32$ personnes (arrondi à l'entier inférieur, la surface ne permettant pas une 33e personne à 1 m² chacune ; la réponse 33 personnes, soit 990 $m^3.h^{-1}$ et 119 $m^3.h^{-1}$, est également acceptée).

b. Local de réunion : 30 $m^3.h^{-1}$ par occupant (code du travail, DT 3).

c. $Q_{max} = 32 \times 30 = 960\ \mathrm{m^3.h^{-1}}$

d. $Q_{min} = 0{,}12 \times 960 \approx 115\ \mathrm{m^3.h^{-1}}$

Question 3.2

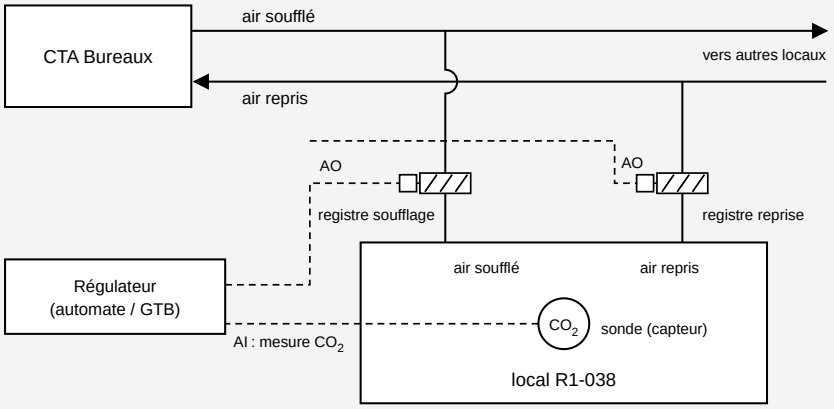
(DR 3) Représenter le schéma de régulation (capteur, régulateur et actionneur) sur l'extrait de schéma de principe et compléter la liste des points dans le tableau.

Schéma : une sonde de CO_2 dans le local R1-038 (ou sur sa gaine de reprise) reliée au régulateur (automate/GTB), qui commande les servomoteurs des deux registres motorisés de soufflage et de reprise du local.

Liste des points :

Désignation des points	DI	AI	DO	AO
Mesure CO_2 R1-038		X		
Commande registre soufflage R1-038 (position 12 % ou 100 %)				X
Commande registre reprise R1-038 (position 12 % ou 100 %)				X

La commande étant à deux états (12 % / 100 %), une sortie DO par registre (servomoteur avec butée minimale réglée à 12 %) est également correcte ; la sortie AO correspond à un servomoteur 0-10 V recevant deux consignes de position.



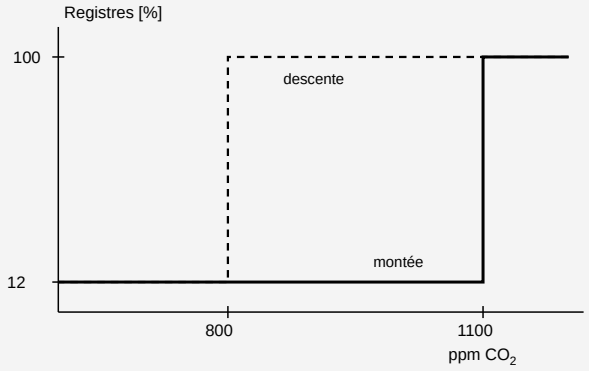
DR 3 complété : sonde CO_2 (capteur), régulateur et servomoteurs des deux registres (actionneurs), liaisons en pointillés

Question 3.3

(DR 3) Compléter le graphe de régulation en précisant les valeurs manquantes.

Régulation « tout ou peu » avec différentiel de 300 ppm :

- pour un taux de CO_2 inférieur ou égal à 800 ppm (1100 – 300), les registres sont à 12 % (débit minimal) ;
- pour un taux supérieur à 1100 ppm, les registres sont à 100 % (débit maximal) ;
- entre 800 et 1100 ppm, la position reste celle de l'état précédent : le registre passe de 12 % à 100 % en montant à 1100 ppm, et revient de 100 % à 12 % en descendant à 800 ppm.



Graphe de régulation : registres en fonction du taux de CO_2 (trait plein : taux croissant ; pointillés : taux décroissant)

Question 3.4

(DT 3) Vérifier que la CTA sélectionnée satisfait aux besoins du bâtiment. Critiquer le choix effectué par le bureau d'études.

Vérification : 4 000 $m^3.h^{-1}$ = 1,11 $m^3.s^{-1}$. Sur l'abaque du DT 3, le point (1,11 $m^3.s^{-1}$; 300 Pa) est situé à l'intérieur du domaine de fonctionnement de la taille 14 (débit maximal d'environ 1,7 $m^3.s^{-1}$, soit environ 6 000 $m^3.h^{-1}$, pour une pression disponible supérieure à 500 Pa) : la CTA satisfait aux besoins.

Critique : la taille 14 est surdimensionnée (la taille 12, limitée à environ 1,4 $m^3.s^{-1}$, aurait suffi) : surcoût d'investissement, mais réserve de débit utile pour la sur-ventilation nocturne estivale (partie

5) et fonctionnement à vitesse réduite (moins de bruit et de consommation).

En complément, la batterie de chauffage est électrique. L'effet Joule transforme l'énergie électrique en chaleur avec un rendement de 1, alors que la sous-station dispose déjà d'une énergie thermique (réseau de chaleur urbain) qui pourrait assurer le chauffage de l'air soufflé. Le choix d'une batterie électrique est donc peu performant énergétiquement et plus coûteux en exploitation. Le récupérateur à roue à 84 % d'efficacité est en revanche un choix pertinent pour réduire les besoins de chauffage.

Question 3.5

(DR 4) L'évolution de l'air neuf à travers l'échangeur récupérateur à roue est tracée sur le diagramme de l'air humide. Préciser les caractéristiques de l'air neuf après son passage dans la roue en complétant le tableau.

Température après la roue, avec une efficacité de 84 % et un air repris à 19 °C :

$\theta_1 = \theta_{ext} + \eta\,(\theta_{reprise} - \theta_{ext}) = -7 + 0{,}84 \times (19 + 7) = -7 + 21{,}84 \approx 14{,}8\,^{\circ}\mathrm{C}$, soit environ 15 °C, valeur retenue pour la lecture du point 1.

Lecture du point 1 tracé sur le DR 4 (tableau du DR 4) :

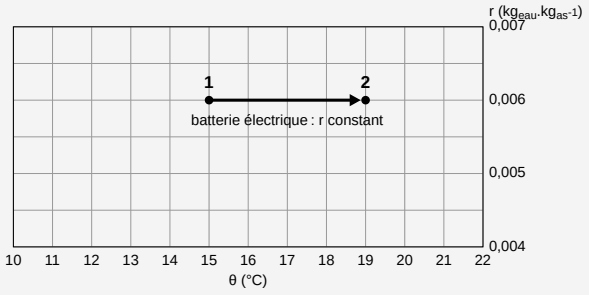
Point	**θ (°C)**	**HR (%)**	**h (kJ.kg$_{as}^{-1}$)**	**r (kg$_{eau}$.kg$_{as}^{-1}$)**	**v (m^3.kg$_{as}^{-1}$)**
Point 1 : air neuf après récupérateur	≈ 15	≈ 57	≈ 30	≈ 0,006	≈ 0,824

La teneur en humidité r passe d'environ 0,0019 kg$_{eau}$.kg$_{as}^{-1}$ (air extérieur à -7 °C et 90 % HR) à environ 0,006 kg$_{eau}$.kg$_{as}^{-1}$ grâce au caractère hygroscopique de la roue, qui transfère une partie de l'humidité de l'air repris vers l'air neuf.

Question 3.6

(DR 4) Tracer l'évolution de l'air à travers la batterie électrique sur le diagramme de l'air humide et en déduire les caractéristiques de l'air neuf soufflé en complétant le tableau.

La batterie électrique réalise un échauffement sensible : le tracé 1 → 2 est une horizontale du diagramme (r constant), de 15 °C à 19 °C. Sur le DR 4, tracer à partir du point 1 un segment horizontal (r = 0,006 kg$_{eau}$.kg$_{as}^{-1}$) jusqu'à la verticale 19 °C ; le point d'intersection est le point 2.



Extrait simplifié du DR 4 (quadrillage θ et r seuls) : évolution 1 → 2 à r ≈ 0,006 kg$_{eau}$.kg$_{as}^{-1}$, de 15 °C à 19 °C

Point	**θ (°C)**	**HR (%)**	**h (kJ.kg$_{as}^{-1}$)**	**r (kg$_{eau}$.kg$_{as}^{-1}$)**	**v (m^3.kg$_{as}^{-1}$)**
Point 1 : air neuf après récupérateur	≈ 15	≈ 57	≈ 30	≈ 0,006	≈ 0,824
Point 2 : air soufflé	19	≈ 44	≈ 34	≈ 0,006	≈ 0,836

La teneur en humidité est inchangée (r ≈ 0,006 $kg_{eau}.kg_{as}^{-1}$) ; l'humidité relative baisse de 57 % à 44 % environ.

Question 3.7

(DR 4) Évaluer la puissance de la batterie électrique en kW.

Débit massique d'air sec, avec le volume spécifique du point 1 lu sur le DR 4 :

$q_m = \frac{q_v}{v} = \frac{4\,000/3\,600}{0{,}824} \approx 1{,}35\ \mathrm{kg_{as}\cdot s^{-1}}$

$P = q_m \times (h_2 - h_1) = 1{,}35 \times (34{,}3 - 30{,}3) \approx 5{,}4\ \mathrm{kW}$

La puissance de la batterie électrique est d'environ **5,4 kW**.

Remarque : la méthode $P = \rho\, q_v\, c_p\, \Delta\theta = 1{,}2 \times \frac{4\,000}{3\,600} \times 1{,}006 \times 4 \approx 5{,}4\ \mathrm{kW}$ donne le même résultat ; avec θ_1 = 14,8 °C (Δθ = 4,2 K), on obtiendrait environ 5,6 kW, écart compatible avec la précision de lecture du diagramme.

Question 3.8

Donner trois intérêts de la roue hygroscopique dans cette CTA.

1. Récupération de la chaleur de l'air extrait : l'air neuf est préchauffé (efficacité de 84 %), ce qui réduit fortement les besoins de chauffage et la puissance de la batterie.
2. Récupération de l'humidité de l'air extrait : l'air neuf hivernal, très sec, est partiellement humidifié, ce qui améliore le confort des occupants.
3. Limitation de la consommation énergétique globale de la ventilation et réduction de la taille des équipements de chauffage.

Sont également acceptés : limitation du risque de condensation sur les parois, bilan énergétique favorable au label passif.

PARTIE 4 – PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE — 11 points

Question 4.1

(DT 4) Expliquer pourquoi la production électrique est plus stable sur une journée dans la configuration présentant trois orientations de modules photovoltaïques qu'une configuration avec une seule orientation.

Les modules orientés plein sud produisent au maximum à midi, ceux orientés est en matinée et ceux orientés ouest en fin de journée. Les pics de production étant décalés dans le temps, leur somme forme une courbe journalière plus plate et plus régulière qu'avec une seule orientation, dont la production est concentrée autour de midi.

Question 4.2

Expliquer brièvement le principe d'une installation photovoltaïque de type autoconsommation avec vente de surplus.

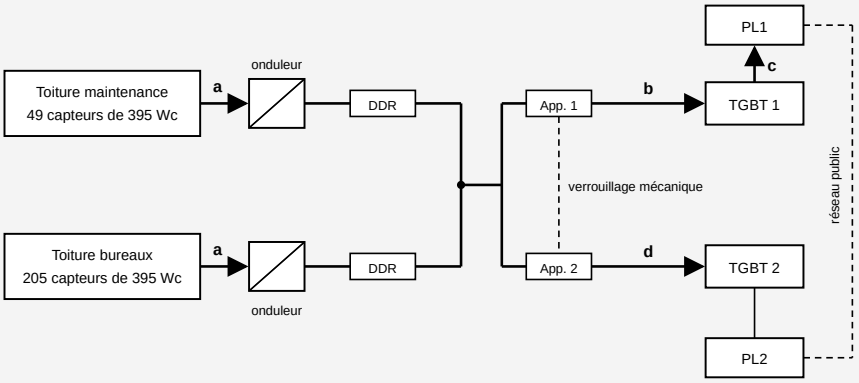
L'énergie électrique produite est consommée en priorité sur le site, ce qui réduit les achats au distributeur. Lorsque la production dépasse la consommation instantanée, le surplus est injecté sur le réseau public et vendu. Lorsque la production est insuffisante, le complément est fourni par le réseau public.

Question 4.3

(DT 5 ; DR 5) Surligner le parcours en précisant le sens de l'énergie électrique produite par le système photovoltaïque pour les situations suivantes : cas 1 : le TGBT 1 est alimenté seul ; cas 2 : la production dépasse la consommation du TGBT 1 ; cas 3 : le TGBT 2 consomme davantage que le TGBT 1.

Parcours et sens de l'énergie sur le DR 5 (DT 5). Le nombre de capteurs de la toiture maintenance, laissé en pointillés sur le DR 5, est de 49 (DT 4).

- **Cas 1 :** appareil 1 fermé, appareil 2 ouvert ; énergie : capteurs (49 + 205 capteurs de 395 Wc) → onduleurs → disjoncteurs → appareil 1 → TGBT 1 → récepteurs du TGBT 1.
- **Cas 2 :** même parcours, et le surplus remonte du TGBT 1 vers PL1 puis le réseau public (sens TGBT 1 → réseau).
- **Cas 3 :** appareil 1 ouvert, appareil 2 fermé ; capteurs → onduleurs → appareil 2 → TGBT 2 → récepteurs du TGBT 2.



Synoptique simplifié du DR 5 : cas 1 = flèches a + b ; cas 2 = a + b + c ; cas 3 = a + d (DDR : disjoncteur différentiel)

Report sur le DR 5 (repères du synoptique simplifié ci-dessus) : surligner pour le cas N°1 les flèches a et b, pour le cas N°2 les flèches a, b et c, pour le cas N°3 les flèches a et d, en indiquant le sens de l'énergie.

Question 4.4

(DR 6) Préciser les noms et fonctions des éléments du tableau.

Symbole (DR 6)	Nom	Fonction
1 : champ hachuré	Capteurs photovoltaïques	Convertir le rayonnement solaire en énergie électrique (courant continu).
2 : carré barré (= / ~)	Onduleur	Convertir le courant continu en courant alternatif 230/400 V 50 Hz synchronisé au réseau (recherche du point de puissance maximale, découplage).
3 : appareil avec tore	Disjoncteur différentiel	Protéger le circuit alternatif contre les surintensités (surcharges, courts-circuits), protéger les personnes contre les défauts d'isolement et permettre le sectionnement.
4 : deux appareils verrouillés	Inverseur de sources (deux appareils motorisés à verrouillage mécanique, commandés par la GTB)	Diriger la production vers le TGBT 1 ou le TGBT 2 en interdisant la fermeture simultanée des appareils 1 et 2.

Question 4.5

Expliquer l'intérêt de raccorder les modules en série.

La mise en série additionne les tensions des modules. Elle permet d'obtenir une tension de chaîne compatible avec la plage de tension d'entrée de l'onduleur, et, pour une puissance donnée, elle réduit le courant. Les pertes Joule dans les câbles (proportionnelles au carré du courant) sont alors plus faibles, et les sections de câbles peuvent être réduites.

Question 4.6

Expliquer l'intérêt d'autoconsommer la production photovoltaïque.

L'énergie électrique consommée est facturée 25 cts € TTC.kWh^{-1}, alors que le surplus est racheté 11,07 cts € TTC.kWh^{-1}. Chaque kWh autoconsommé évite l'achat d'un kWh au distributeur à un prix plus de deux fois supérieur à celui de la revente. L'autoconsommation valorise donc mieux l'énergie produite, réduit la dépendance au réseau et limite les appels de puissance sur le réseau public.

Question 4.7

Pour une énergie autoconsommée annuelle de 59 700 kWh et un surplus annuel de 30 500 kWh, calculer : les proportions d'énergie électrique de l'autoconsommation et du surplus en % ; l'économie réalisée par l'autoconsommation ; le gain financier par la revente du surplus ; le gain global annuel ; les proportions financières de l'autoconsommation et du surplus en %.

Production totale : $59\,700 + 30\,500 = 90\,200\ \mathrm{kWh}$

Proportions énergétiques :

Autoconsommation : $\frac{59\,700}{90\,200} \approx 66{,}2\ \%$

Surplus : $\frac{30\,500}{90\,200} \approx 33{,}8\ \%$

Économie réalisée par l'autoconsommation : $59\,700 \times 0{,}25 = 14\,925\ €\ \mathrm{TTC}$

Gain financier par la revente du surplus : $30\,500 \times 0{,}1107 = 3\,376{,}35\ €\ \mathrm{TTC}$

Gain global annuel : $14\,925 + 3\,376{,}35 = 18\,301{,}35\ €\ \mathrm{TTC}$

Proportions financières :

Autoconsommation : $\frac{14\,925}{18\,301{,}35} \approx 81{,}6\ \%$

Surplus : $\frac{3\,376{,}35}{18\,301{,}35} \approx 18{,}4\ \%$

L'autoconsommation représente 66,2 % de l'énergie produite mais 81,6 % du gain financier.

PARTIE 5 – VENTILATION NOCTURNE — 7 points

Question 5.1

Expliquer l'intérêt de la ventilation naturelle nocturne pour la gestion du confort en été.

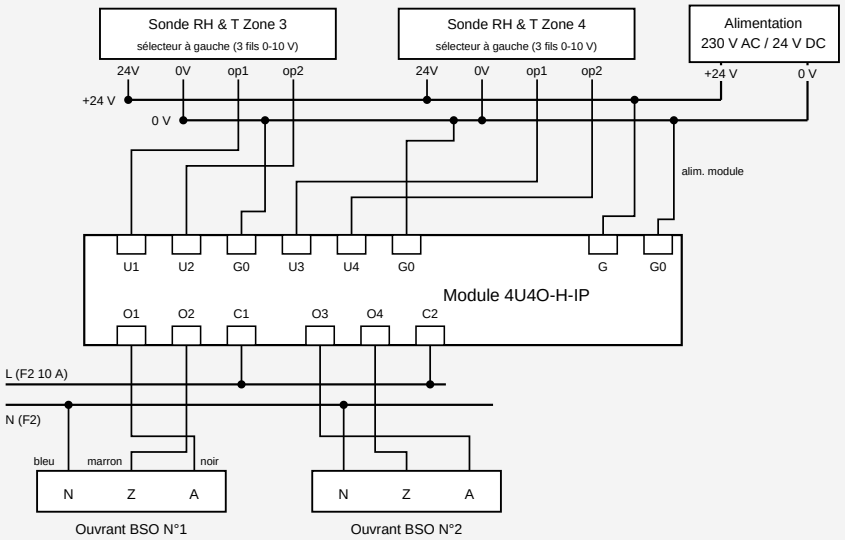
Pendant la nuit, l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur. L'ouverture des ouvrants motorisés (de 21 h à 7 h, sous réserve d'un écart de température supérieur à 3 °C et par vent nul) permet d'évacuer la chaleur accumulée dans le bâtiment pendant la journée. La structure, à forte inertie, se refroidit, et la température intérieure des bureaux reste ainsi inférieure ou égale à 25 °C le lendemain, sans recours à la climatisation.

Question 5.2

(DT 6, DT 7, DR 7) Le transmetteur de la sonde « température / humidité » délivre des signaux 0-10 V. a. Préciser le type et le nombre d'entrées du module de régulation nécessaires pour câbler cette sonde. b. Réaliser le câblage des deux sondes (zone 3 et 4), y compris leur alimentation.

a. Les signaux 0-10 V sont reçus par des entrées analogiques universelles du module 4U4O-H-IP. Une sonde double délivre deux signaux (température et humidité) : il faut donc 2 entrées analogiques par sonde, soit 4 entrées analogiques pour les deux sondes (zones 3 et 4).

b. Pour chaque sonde (montage 3 fils 0-10 V, sélecteur en position gauche, DT 7) : borne 24 V au +24 V de l'alimentation, borne 0 V au 0 V de l'alimentation et à la borne G0 du module (référence commune) ; zone 3 : op1 (température) → U1, op2 (humidité) → U2 ; zone 4 : op1 → U3, op2 → U4. Les 4 entrées universelles du module 4U4O-H-IP sont ainsi utilisées.



DR 7 complété : sondes des zones 3 et 4 (U1 à U4, question 5.2) et ouvrants N°1 et N°2 (O1 à O4, question 5.3)

Question 5.3

(DT 6, DT 8, DR 7) Préciser le nombre de sorties digitales nécessaires pour un ouvrant motorisé puis réaliser le câblage de deux ouvrants motorisés N°1 et N°2 sur le module E/S 4U4O-H-IP.

Un ouvrant motorisé nécessite 2 sorties digitales : une pour la commande d'ouverture et une pour la commande de fermeture (inversion du sens de rotation du moteur, DT 8).

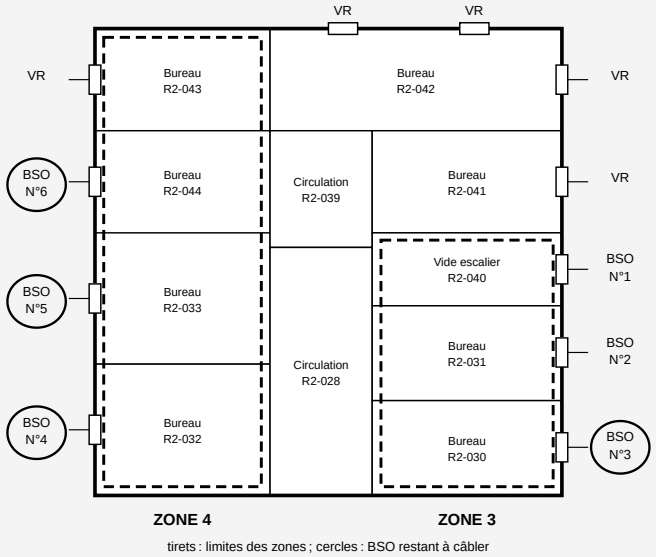
Câblage de puissance : phase L issue de F2 (10 A) raccordée aux communs C1 et C2 ; ouvrant N°1 : O1 → borne A (ouverture, fil noir), O2 → borne Z (fermeture, fil marron), N de F2 → borne N (fil bleu) ; ouvrant N°2 : O3 → A, O4 → Z, N → N. Les relais (3 A 230 V AC) commandent directement les moteurs 230 V AC. Les 4 sorties du module sont ainsi utilisées (câblage sur le DR 7 complété de la question 5.2).

Question 5.4

(DT 6, DR 8, DR 9) On rappelle que seules les fenêtres équipées d'un BSO disposent d'un ouvrant motorisé. Les ouvrants motorisés des BSO N°1 et N°2 sont déjà câblés au module 4U4O-H-IP. a. Délimiter les deux zones 3 et 4 et entourer les BSO restants à câbler (DR 8). b. Compléter le DR 9. c. Le module d'extension de référence 120 H de la gamme MAX-RS convient-il ? Justifier votre réponse.

a. Zone 3 : pièces R2-030, R2-031 et R2-040. Zone 4 : pièces R2-043, R2-044, R2-033 et R2-032.

Correspondance sur le DR 8 : zone 3 = R2-040 (BSO N°1), R2-031 (BSO N°2), R2-030 (BSO N°3) ; zone 4 = R2-043 (VR uniquement), R2-044 (BSO N°6), R2-033 (BSO N°5), R2-032 (BSO N°4). La limite entre les deux zones passe par les circulations centrales R2-039 et R2-028 : zone 3 à droite du plan (partie basse, sans les bureaux R2-041 et R2-042), zone 4 à gauche du plan. BSO à entourer : N°3 (zone 3), N°4, N°5 et N°6 (zone 4) ; les volets roulants VR n'ont pas d'ouvrant motorisé et ne sont pas concernés.



DR 8 complété (plan simplifié) : zones 3 et 4 délimitées, BSO N°3 à N°6 entourés

b. Inventaire des sorties digitales nécessaires :

Composant à piloter	Quantité de composants	Nombre de sorties digitales par composant	Nombre de sorties digitales
Ouvrant motorisé (BSO N°1 à N°6)	6	2	12
Entrée d'air motorisée	2	2	4
Nombre total de sorties digitales			16

c. Le module 4U4O-H-IP dispose de 4 DO, toutes utilisées par les ouvrants N°1 et N°2. Il reste 16 - 4 = 12 sorties digitales à câbler (4 ouvrants restants et 2 entrées d'air motorisées). Le module d'extension 120-H de la gamme MAX-RS possède 12 DO (relais NO 3 A 230 V AC, DT 6) : il convient, sans aucune sortie de réserve, et ses relais 230 V AC sont compatibles avec la commande des ouvrants (DT 8).

TABLEAU RÉCAPITULATIF DU BARÈME

Partie	Points
Partie 1 – Renforcement de l'isolation du bâtiment	24
Partie 2 – Sous-station de chauffage urbain et production d'eau chaude sanitaire	23
Partie 3 – Ventilation par CTA	15
Partie 4 – Production photovoltaïque	11
Partie 5 – Ventilation nocturne	7
Total	**80**

Continue à t'entraîner

Retrouve tous les sujets et corrigés du BTS FED, classés par épreuve et par année :
bts-fed.fr/annales-sujets-et-corriges

Pour réviser tout le programme avant l'examen, les Fiches de Révision du BTS FED reprennent l'essentiel de chaque épreuve :
bts-fed.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.