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 en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BACHELOR UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

MÉTIERS DE LA TRANSITION ET DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUES

ÉVALUATION DE LA COMPÉTENCE C2 : OPTIMISER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE D'UN BÂTIMENT, D'UN SITE OU D'UNE INSTALLATION

SESSION 2026

Durée : 3 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
MÉTIERS DE LA TRANSITION ET DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUES	3,0 INDICATIF

Moyens de calculs et matériel autorisés :

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

Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet et d'une calculatrice autorisée.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

Les documents réponses en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : BUREAU D'ÉTUDES ÉNERGIS CONSEIL, MISSION RÉALISÉE POUR LA SOCIÉTÉ AVENIR BUREAUX, BÂTIMENT TERTIAIRE SITUÉ À TOURS (INDRE-ET-LOIRE)

Le bureau d'études Énergis Conseil réalise un audit énergétique et prépare un programme de travaux pour un bâtiment de bureaux occupé par la société Avenir Bureaux. Le bâtiment, construit en 1998, comporte un niveau, une toiture-terrasse et une surface utile de 240 m². Le maître d'ouvrage vise une réduction des consommations d'énergie finale d'au moins 25 % à périmètre et conditions d'usage constants, tout en maintenant le confort des occupants et le renouvellement d'air prévu au cahier des charges.

Votre mission consiste à exploiter les données de l'audit, comparer des solutions d'amélioration et préparer une intervention portant sur l'isolation de la toiture et la récupération de chaleur sur l'air extrait. Les références réglementaires et normatives citées dans le dossier servent à cadrer l'étude et la préparation des travaux. Les modalités de durée et de pondération de cette évaluation relèvent de l'organisation pédagogique de l'établissement.

Les consommations annuelles de référence sont de 92 000 kWh de gaz naturel pour le chauffage et de 38 000 kWh d'électricité pour les usages du bâtiment. Les durées d'occupation et les conditions d'exploitation sont supposées inchangées après travaux. Les résultats seront présentés avec les unités, les hypothèses et un arrondi cohérent.

PARTIE 1 : ANALYSE FONCTIONNELLE ET RÉGLEMENTAIRE (5 points)

Caractérisation du site, des besoins et du cadre de l'intervention

À partir du contexte et du dossier technique DT 1 à DT 3, établissez un diagnostic synthétique avant travaux. Distinguez les données mesurées des hypothèses de calcul et reliez vos conclusions aux objectifs du maître d'ouvrage.

Données de référence du bâtiment

Grandeur	Valeur	Unité ou précision
Surface utile chauffée	240	m²
Surface de toiture	240	m² bruts
Consommation annuelle de gaz	92 000	kWh/an
Consommation annuelle d'électricité	38 000	kWh/an
Température intérieure de consigne en période occupée	20	°C
Durée annuelle équivalente de chauffage	65 000	K·h/an

Données fournies par le maître d'ouvrage et relevées lors de l'audit.

1.1 (1,5 point) Calculer les consommations annuelles de gaz et d'électricité rapportées à la surface utile, en $\mathrm{kWh/(m^2 \cdot an)}$. Donner également la consommation totale d'énergie finale rapportée à la surface utile.

1.2 (2 points) À partir des relevés du DT 1 et des caractéristiques de l'enveloppe du DT 2, identifier deux postes présentant un potentiel d'amélioration. Pour chacun, justifier le diagnostic par une donnée chiffrée et expliquer l'effet attendu sur les besoins ou les consommations.

1.3 (1,5 point) Indiquer deux vérifications à prévoir avant la mise en œuvre des travaux, en les reliant aux références du DT 3 : l'une concernant la conception énergétique ou la ventilation, l'autre concernant la préparation et la sécurité de l'intervention.

PARTIE 2 : ÉTUDE TECHNOLOGIQUE, DIMENSIONNEMENT ET MÉTRÉ (7 points)

Comparaison de solutions, calculs thermiques, énergétiques et économiques

Les caractéristiques des parois et des équipements, les facteurs de conversion ainsi que les conventions de calcul sont fournis dans les DT 1 et DT 2. Pour une paroi plane, utiliser $R = e/\lambda$, $R_{\mathrm{tot}} = \sum R_i$ et $U = 1/R_{\mathrm{tot}}$. Les pertes par transmission sont estimées par $\dot{Q} = U A \Delta T$. Pour la toiture, l'économie annuelle de chaleur utile est évaluée par $\Delta E_{\mathrm{utile}} = (U_{\mathrm{existant}} - U_{\mathrm{projet}}) A \, 65\,000$. Les données annuelles fournies permettent de ramener cette économie à une économie de gaz en tenant compte du rendement de la chaudière.

Solutions à étudier

Solution	Intervention	Donnée de dimensionnement
A	Isolation de la toiture par ajout de laine minérale	Épaisseur 240 mm, conductivité thermique 0,036 W/(m·K)
B	Ajout d'un échangeur de récupération sur l'air extrait	Débit 900 m³/h, rendement thermique 72 %
C	Mise en œuvre combinée des solutions A et B	Vérifier économies, coût et maintien du débit d'air

Les propriétés et prix unitaires sont donnés dans les DT 2 et DT 3.

2.1 (2 points) Calculer la résistance thermique de la couche d'isolant ajoutée, puis la résistance thermique totale et le coefficient de transmission thermique U de la toiture après travaux. Comparer le résultat au coefficient de la toiture existante fourni dans le DT 2. Présenter les résultats avec leurs unités.

2.2 (2 points) Déterminer la surface nette de toiture à isoler en déduisant les quatre lanterneaux. Calculer la surface de laine minérale à commander avec 10 % de marge de découpe. À partir du prix fourni dans le DT 2, calculer le coût de l'isolant et le coût des chutes correspondant à cette marge.

2.3 (1,5 point) Calculer l'économie annuelle de chaleur utile attribuable à l'isolation de la toiture à l'aide de la formule fournie. En déduire l'économie annuelle de gaz en tenant compte du rendement saisonnier de la chaudière. Calculer ensuite les émissions annuelles de CO_2 évitées à l'aide du facteur du DT 2.

2.4 (1,5 point) Pour la récupération de chaleur, calculer l'économie annuelle de chaleur utile à partir du débit d'air, de la masse volumique, de la capacité thermique massique, de l'écart de température équivalent, de la durée de fonctionnement et du rendement de récupération du DT 2. Convertir cette économie en gaz économisé avec le rendement de chaudière. Calculer le temps de retour simple de l'investissement combiné, en utilisant les économies annuelles de gaz des solutions A et B et le coût total fourni dans le DT 2. Le résultat sera exprimé en années et accompagné de la formule utilisée.

PARTIE 3 : PRÉPARATION DES TRAVAUX ET PROTOCOLE OPÉRATOIRE (5 points)

Métré, approvisionnement, phasage et contrôle de la qualité

Vous préparez l'intervention sur le bâtiment occupé. Le DT 1 précise la géométrie de la toiture et le DT 2 fournit les données de commande. Les travaux doivent préserver l'étanchéité existante, éviter l'obstruction des ventilations et maintenir les accès de maintenance aux équipements. Compléter le DR 1 et le DR 2 en indiquant les unités, les hypothèses et les contrôles à réaliser.

Ordre de grandeur des approvisionnements

Élément	Donnée de base	Marge ou convention
Laine minérale	Surface nette de toiture	10 % de marge de découpe
Membrane pare-vapeur compatible	Surface nette de toiture	8 % de recouvrement et de relevés
Accessoires de fixation	Selon prescription du fabricant	Quantité à confirmer après relevé de chantier

Les valeurs de commande doivent être justifiées par vos calculs.

3.1 (2 points) Compléter le DR 1 : calculer les surfaces nette et commandée de laine minérale, la quantité de membrane à prévoir avec 8 % de marge, le coût de la laine et le coût global estimatif des travaux à partir des prix unitaires et du forfait fournis dans le DT 2. Indiquer les quantités arrondies de manière adaptée à la commande.

3.2 (1,5 point) Compléter le DR 2 par un protocole opératoire en quatre étapes au minimum, depuis la préparation de la zone jusqu'à la réception. Pour chaque étape, indiquer une opération, un contrôle qualité associé et un point de vigilance concernant l'occupation du bâtiment ou la continuité de l'étanchéité.

3.3 (1,5 point) Rédiger une préconisation synthétique au maître d'ouvrage comparant la solution toiture seule et la solution combinée. Elle devra préciser les économies annuelles calculées, le bénéfice environnemental chiffrable avec les facteurs fournis, une limite ou hypothèse de l'étude et un indicateur à suivre après travaux.

PARTIE 4 : PRÉVENTION ET SÉCURITÉ (3 points)

Identification des risques et mesures de prévention

Les interventions se déroulent en toiture-terrasse et dans un local technique. Les prescriptions générales de prévention du DT 3 sont à appliquer. Les mesures proposées doivent être adaptées aux risques identifiés et à l'organisation du chantier en site occupé.

Situations de travail à analyser

Situation	Risque principal	Donnée disponible
Acheminement des panneaux isolants en toiture	Chute de hauteur, manutention	Accès par trappe et cheminement repéré
Découpe de laine minérale	Poussières et irritation	Découpe dans une zone dédiée
Intervention sur l'unité de ventilation	Risque électrique et mécanique	Consignation prévue avant intervention

Éléments issus de la visite préalable du site.

4.1 (1,5 point) Pour les travaux en toiture et la découpe de l'isolant, identifier les risques principaux et proposer, pour chacun, une mesure de prévention collective ou organisationnelle puis un équipement de protection individuelle adapté. Préciser une vérification préalable de la zone de travail.

4.2 (1,5 point) Pour l'intervention sur l'unité de ventilation, décrire les étapes essentielles de mise en sécurité avant travaux et citer les contrôles à effectuer avant remise en service. Préciser comment informer et protéger les occupants pendant l'intervention.

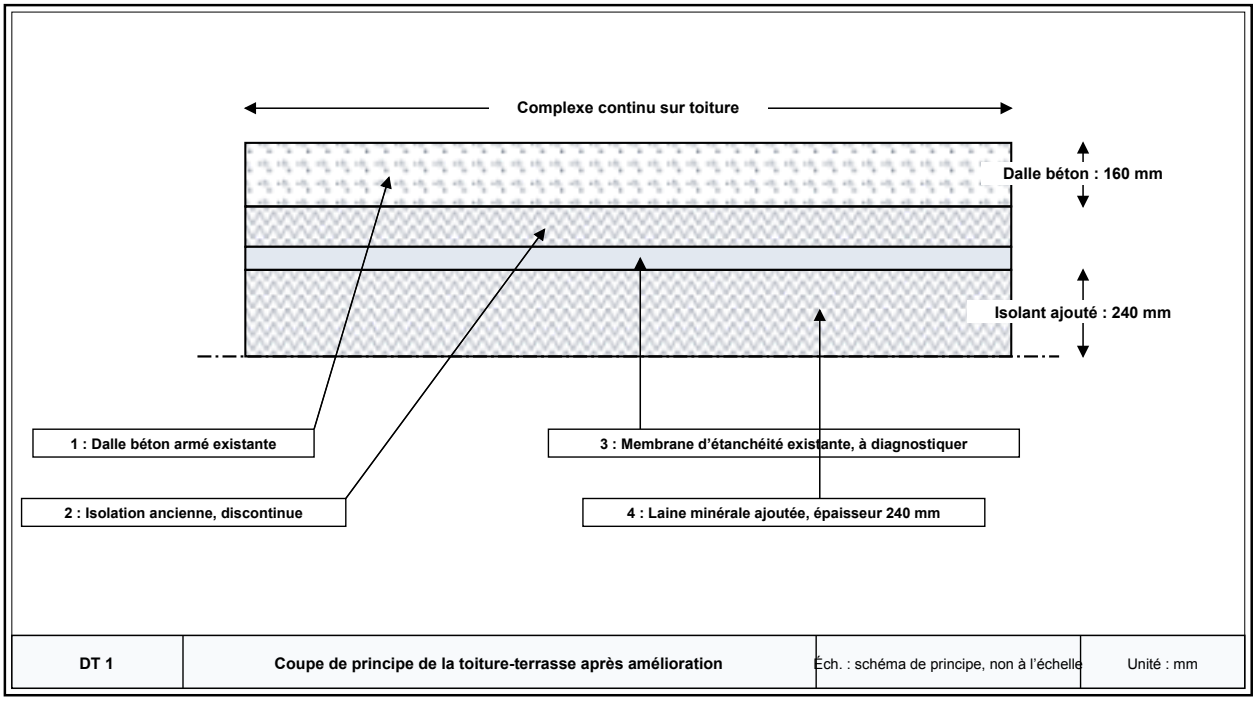
DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : DONNÉES DU BÂTIMENT, RELEVÉS ET COUPE DE PRINCIPE DE LA TOITURE

Le bâtiment est un volume rectangulaire de 20 m par 12 m. La toiture-terrasse est accessible aux professionnels par une trappe située dans le local technique. Elle comprend quatre lanterneaux de 2,4 m² chacun. La surface brute de toiture est de 240 m². Les mesures de consommation sont des totaux annuels relevés sur une année complète représentative. Le bâtiment est occupé 2 200 h/an. La durée annuelle équivalente de chauffage utilisée pour le calcul simplifié des économies par transmission est de 65 000 K·h/an.

La toiture existante comprend, de l'intérieur vers l'extérieur, une dalle en béton, une isolation ancienne discontinue et une membrane d'étanchéité. La solution étudiée consiste à ajouter une couche continue d'isolant compatible avec le complexe existant, après vérification de l'état du support, de la gestion de la vapeur d'eau et des prescriptions du fabricant du système d'étanchéité. Le schéma est représentatif et n'est pas à l'échelle des épaisseurs.



Relevés et équipements existants

Élément	Donnée	Unité ou observation
Surface utile chauffée	240	m²
Dimensions extérieures de toiture	20 × 12	m
Lanterneaux	4 × 2,4	m²
Débit d'air extrait en fonctionnement	900	m³/h
Consommation annuelle de gaz	92 000	kWh/an
Consommation annuelle d'électricité	38 000	kWh/an
Température intérieure de consigne	20	°C
Durée de chauffage équivalente	65 000	K·h/an

Données de l'audit énergétique et de la visite du site.

DT 2 : CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES, ÉNERGÉTIQUES ET ÉCONOMIQUES

Pour la toiture existante, la résistance thermique équivalente de l'ensemble des couches, hors résistances superficielles, est de 0,39 m²·K/W. Pour l'étude simplifiée, les résistances superficielles intérieure et extérieure sont respectivement de 0,10 et 0,04 m²·K/W. La nouvelle couche d'isolant est considérée homogène et continue sur la surface nette calculée.

Pour le calcul de récupération de chaleur, utiliser $\dot{Q} = \rho c_p \dot{V} \Delta T$, puis $E_{\text{récupérée}} = \rho c_p \dot{V} \Delta T \, t \, \eta$. Convertir le débit en m³/s et les heures en secondes si nécessaire. Les résultats annuels seront exprimés en kWh. Le calcul est une estimation simplifiée : il ne remplace pas une simulation dynamique ni une étude réglementaire complète.

Le facteur d'émission conventionnel fourni pour le gaz naturel est de 0,204 kg CO_2/kWh d'énergie finale. Pour une estimation des émissions évitées par l'électricité, le facteur fourni est de 0,052 kg CO_2/kWh. Ces facteurs sont des données de l'énoncé à utiliser uniquement pour les calculs demandés.

Propriétés et coûts des matériaux et équipements

Donnée	Valeur	Unité
Conductivité thermique laine minérale, λ	0,036	W/(m·K)
Épaisseur d'isolant ajouté, e	0,240	m
Prix de la laine minérale	19,00	€/m² commandé
Prix de la membrane compatible	7,50	€/m² commandé
Marge de découpe de l'isolant	10	%
Marge de recouvrement et relevés de membrane	8	%
Résistance thermique de la toiture existante, couches hors résistances superficielles	0,39	m²·K/W
Résistances superficielles intérieure et extérieure	0,10 et 0,04	m²·K/W
Rendement saisonnier de la chaudière gaz	0,90	sans unité
Masse volumique de l'air, ρ	1,20	kg/m³
Capacité thermique massique de l'air, cp	1 005	J/(kg·K)
Écart de température équivalent pour le calcul de récupération	15	K
Durée annuelle de fonctionnement de la ventilation	2 200	h/an
Rendement thermique de l'échangeur	0,72	sans unité
Investissement de la solution toiture	18 500	€ HT
Investissement de la solution récupération de chaleur	8 900	€ HT
Investissement total des solutions combinées	27 400	€ HT
Prix moyen du gaz utilisé pour le temps de retour	0,095	€/kWh
Facteur d'émission du gaz	0,204	kg CO_2/kWh
Facteur d'émission de l'électricité	0,052	kg CO_2/kWh

Données de consultation fournisseur pour le projet étudié.

Données de la centrale de ventilation

Paramètre	Valeur existante	Valeur après amélioration
Débit d'air traité	900 m³/h	900 m³/h
Puissance électrique des ventilateurs	1,50 kW	1,50 kW
Récupération thermique	Absente	Rendement 72 %
Débit minimal à maintenir selon le cahier des charges du site	900 m³/h	900 m³/h

Données nominales communiquées par l'exploitant et le fournisseur.

DT 3 : RÉFÉRENCES TECHNIQUES, PRESCRIPTIONS DE PRÉPARATION ET DONNÉES ÉCONOMIQUES

Références à prendre en compte pour la préparation de l'étude et des travaux : NF EN ISO 6946 pour la détermination de la résistance thermique et du coefficient de transmission thermique des composants de bâtiment ; NF EN 16247-2 pour les audits énergétiques des bâtiments ; NF EN 16798-1 pour les paramètres d'ambiance intérieure et la ventilation des bâtiments ; NF EN 12831-1 pour la méthode de calcul des charges thermiques de base. Les textes et normes applicables au projet doivent être vérifiés dans leur version en vigueur et selon le domaine d'application concerné.

La toiture est un complexe existant : l'entreprise doit vérifier l'état du support, la compatibilité des matériaux, les prescriptions du fabricant du système d'étanchéité, la gestion de la vapeur d'eau et le traitement des points singuliers avant travaux. Le débit d'air de 900 m³/h doit être conservé après installation et vérifié lors de la mise en service. Les valeurs de cet énoncé ne constituent pas une étude réglementaire complète.

Pour la prévention, appliquer les principes généraux de prévention du Code du travail, notamment l'évaluation des risques et la priorité donnée aux protections collectives. Les interventions électriques sont préparées selon les prescriptions applicables aux opérations concernées et les procédures de consignation du site ; les habilitations nécessaires sont vérifiées avant intervention. L'accès en toiture, les conditions météorologiques, les protections contre les chutes, la manutention et les poussières doivent être évalués avant le démarrage.

Prix de consultation pour l'estimation de la fourniture et des travaux : isolant 19,00 €/m² commandé ; membrane 7,50 €/m² commandé ; accessoires et consommables 1 800 € HT ; pose et préparation de la toiture 7 500 € HT. Le forfait de travaux toiture inclut la main-d'œuvre et les accessoires, mais pas le prix de l'isolant ni celui de la membrane. Le coût total de la solution toiture calculé dans le sujet doit donc ajouter les fournitures à ces deux forfaits.

Documents et contrôles à mobiliser

Domaine	Référence ou prescription	Contrôle associé
Calcul thermique des parois	NF EN ISO 6946	Vérifier les résistances des couches et les hypothèses de calcul
Audit énergétique bâtiment	NF EN 16247-2	Tracer les données, hypothèses et préconisations
Ventilation et ambiance intérieure	NF EN 16798-1	Maintenir et mesurer le débit d'air du cahier des charges
Sécurité des travailleurs	Code du travail, principes généraux de prévention	Évaluer les risques et privilégier les protections collectives
Travaux en toiture	Plan de prévention et consignes du site	Vérifier accès, protections contre les chutes et météo
Intervention sur équipement électrique	Procédure de consignation du site et prescriptions applicables	Consigner, vérifier l'absence de tension selon la procédure autorisée

Références citées pour cadrer l'analyse et la préparation de l'intervention.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : questions 3.1 et 2.2 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les cases marquées « ... ». Faire apparaître les calculs, les unités et les arrondis retenus. Les quantités à commander sont arrondies au dixième de m² pour les calculs de coût.

Métré et estimation des fournitures

Élément	Calcul	Résultat	Unité
Surface brute de toiture	.....	.....	m²
Surface des quatre lanterneaux	.....	.....	m²
Surface nette à isoler	.....	.....	m²
Surface d'isolant à commander, marge 10 %	.....	.....	m²
Surface de membrane à commander, marge 8 %	.....	.....	m²
Coût de l'isolant	.....	.....	€ HT
Coût de la membrane	.....	.....	€ HT
Coût total estimatif toiture : fournitures et forfaits	.....	.....	€ HT

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Document réponse à rendre avec la copie : questions 3.2 et 4.1 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter le tableau avec un protocole chronologique. Les mesures de prévention doivent répondre aux risques recensés et être adaptées aux opérations. Compléter également les lignes de prévention demandées pour les travaux en toiture et la découpe de l'isolant.

Protocole opératoire et prévention

Phase ou situation	Opération ou risque	Mesure de prévention collective ou organisationnelle	EPI adapté	Contrôle qualité ou vérification
1. Préparation du chantier	.....	.....	.....	.....
2. Diagnostic du support et approvisionnement	.....	.....	.....	.....
3. Pose de l'isolant et traitement des points singuliers	.....	.....	.....	.....
4. Contrôle final et réception	.....	.....	.....	.....
Travail en toiture : chute de hauteur et manutention	.....	.....	.....	.....
Découpe de la laine minérale : poussières et irritation	.....	.....	.....	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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.