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 :
www.formav.co/explorer

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, Innovation et Développement Durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Durée de l'épreuve : **4 heures**

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 34 pages numérotées de 1/34 à 34/34.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (12 points)

Analyse thermique et gestion de l'éclairage d'une école



UNE ÉCOLE OÙ IL FAIT BON GRANDIR (Crédit photo DSA)

- **Présentation de l'étude et questionnement** ..... pages 3 à 8
- **Documents techniques** ..... pages 9 à18
- **Documents réponses** ..... pages 19 à 20

Mise en situation

Dans le cadre de sa compétence en énergie, la Métropole Européenne de Lille (MEL) gère les réseaux de chaleur publics répartis sur son territoire. Six réseaux de chaleur publics existent actuellement.

Ils se situent sur les communes de Lille, Mons-en-Barœul, Villeneuve d'Ascq, Roubaix, Wattignies et Wattrelos. Les équipements sont alimentés à partir de plusieurs combustibles comme la biomasse ou le gaz.

Les réseaux appartiennent à la MEL, mais ils sont gérés par des concessionnaires qui ont en charge l'exploitation, l'entretien et le développement de ces infrastructures.



Figure 1 : chaufferie urbaine de Mons-en-Barœul

En 2015, le réseau de 82 km a distribué 575 GWh sur 450 points de livraison (45 % habitat, 55 % tertiaire), soit l'équivalent de 40 000 logements. La chaleur produite était d'origine biomasse à 20 % ; l'objectif à atteindre pour 2023 est de dépasser 50 %.

Les investissements se poursuivent en février 2017 avec l'attribution par la MEL d'une nouvelle concession. Ce contrat prévoit une extension du réseau de chaleur de Lille / Roubaix vers Halluin. Ce projet permettra de valoriser l'énergie fatale (énergie non utile aux procédés industriels, mais récupérable) issue du processus d'incinération du centre de valorisation énergétique d'Halluin. Ce réseau de chaleur alimentera de nouveaux édifices publics tels que les équipements sportifs ou encore les établissements scolaires.

Dans le même temps, les communes approvisionnées de la métropole mènent une campagne de réhabilitation des bâtiments publics et d'habitation.

C'est dans ce contexte que la ville de Mons-en-Barœul a entrepris des travaux de rénovation de l'école maternelle Charles de Gaulle, située en centre-ville.

Dans cette partie commune, nous nous intéresserons à l'étude thermique de la salle de classe n°1 et au projet de gestion d'éclairage de la salle de jeux (voir Figure 2 ci-dessous).

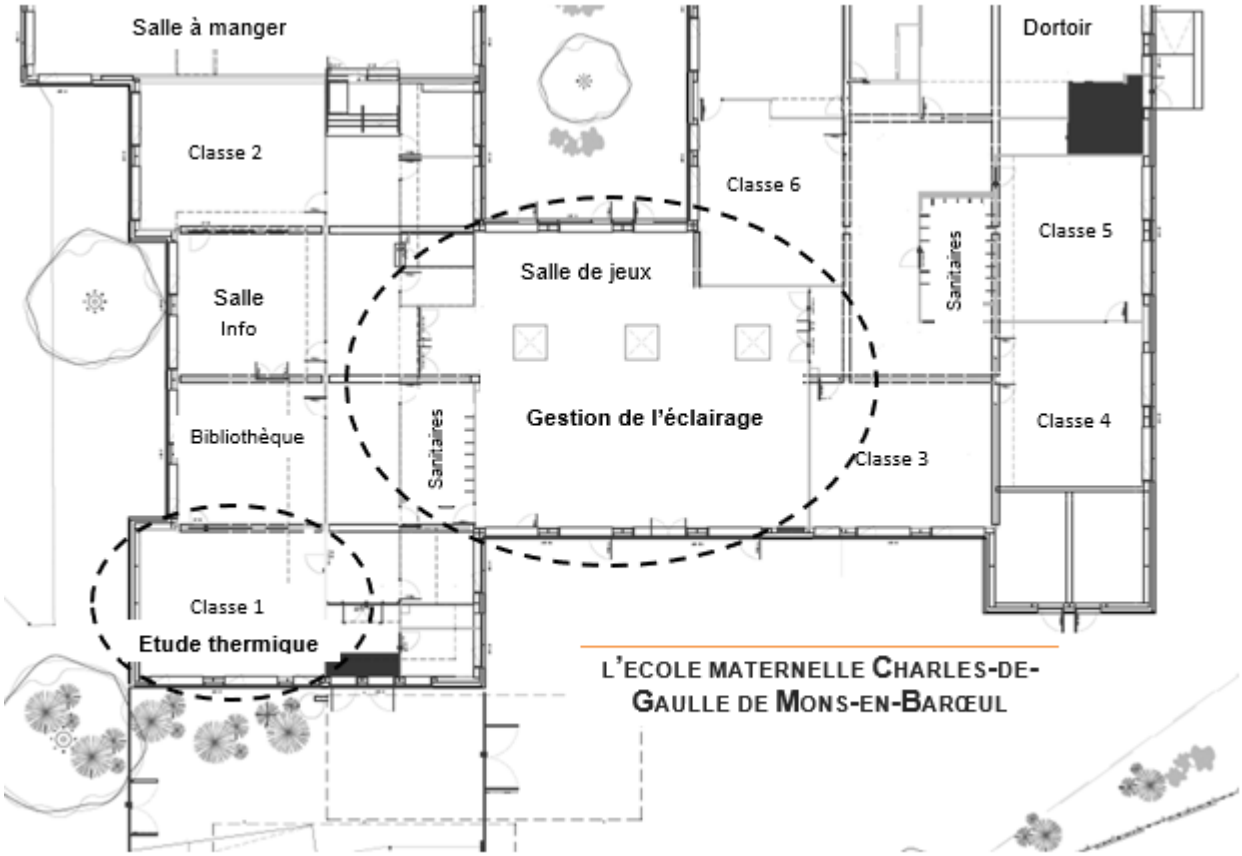


Figure 2 : vue en plan partielle

Travail demandé

Partie 1 : l'isolation des bâtiments anciens par l'extérieur (ITE) constitue-t-elle un bon investissement ?

Objectif : estimer les gains en énergie thermique pouvant être obtenus par isolation des parois extérieures de l'école.

Question 1.1 Mise en situation DT1	La rénovation de l'école s'inscrit-elle dans une démarche de développement durable ? À l'aide de la mise en situation et du diagramme des exigences (document technique DT1), **énoncer** pour chacun des 3 piliers du développement durable : - 1 argument inscrivant le projet dans une démarche environnementale ; - 1 argument inscrivant le projet dans une démarche sociétale ; - 1 argument inscrivant le projet dans une démarche économique.
Question 1.2 DT1, DT2	À partir des documents techniques DT1 et DT2, **identifier** la réglementation thermique qui s'applique au projet de rénovation énergétique de l'école. **Justifier** votre réponse.
Question 1.3 DT3, DT4	À partir du document technique DT3, **résumer** les critères d'exigences qui doivent être respectés pour satisfaire la réglementation RT2012, puis à l'aide du DT4, **justifier** le scénario d'étude thermique qui devra être retenu.

Afin de constater l'impact sur la régulation du chauffage, on souhaite estimer par une modélisation les déperditions de chaleur d'une salle de classe avant et après rénovation. Pour cela, il est nécessaire de déterminer la résistance thermique équivalente des parois.

Question 1.4 DR1	À partir du document réponse DR1, **calculer** les résistances thermiques de chaque composant. **Compléter** le tableau en indiquant les valeurs trouvées.
Question 1.5 DR1, DT5	**En déduire** la résistance globale R_{therm} de la paroi verticale rénovée. **Compléter** le DR1. À l'aide du DT5, **vérifier** que la réglementation pour ce projet de rénovation est respectée.

On utilise la valeur calculée précédemment pour paramétrer le modèle de simulation relatif à l'évolution de la température intérieure de la salle de classe 1. Il s'agit de montrer l'impact de la rénovation des parois extérieures sur la régulation du chauffage. La modélisation proposée tient compte du volume de la pièce, de la surface des parois extérieures et de l'évolution de la température extérieure.

Question 1.6 DR2	Sur le DR2, **positionner** sur le modèle de simulation, les blocs A, B et C au regard de leur description. **Indiquer** dans le tableau le type des variables (interne ou externe) associées aux composants.
Question 1.7 DT4, DT6 DR2	À la lecture du DT6, **commenter** les résultats des simulations de la régulation de chauffage avant et après rénovation. La puissance installée des radiateurs est inchangée. À l'aide du DT6, **calculer** le rapport « R_t » des temps de fonctionnement du chauffage : $R_t = t_{\text{avant rénovation}} / t_{\text{après rénovation}}$. À l'aide du DT4, **calculer** le rapport « R_c » des consommations en énergie primaire du chauffage : $R_c = E_{\text{avant rénovation}} / E_{\text{après rénovation}}$. **Analyser** les écarts entre R_t et R_c puis **identifier** les hypothèses simplificatrices retenues pour le modèle proposé.

La paroi d'origine est composée d'un voile de béton plein et d'une fine épaisseur de polystyrène expansé. L'isolation par l'extérieur va permettre de diminuer le flux de chaleur s'échappant par les parois.

Question 1.8 DT1, DT7	En vous référant aux performances des matériaux du DT7 d'une part et au diagramme des exigences en DT1 d'autre part, **déterminer** le panneau sandwich le plus adapté au regard de la charge additionnelle acceptée. **Confirmer** ce choix au regard de l'impact environnemental lié au changement climatique et au regard des performances thermiques attendues.
Question 1.9	**Conclure** sur les choix constructifs retenus pour l'isolation thermique des parois extérieures de l'école, au regard du cahier des charges et du développement durable.

Partie 2 : l'investissement dans de nouveaux luminaires de technologie DEL est-il nécessaire ?

Objectif : mener une étude préliminaire pour estimer la rentabilité de l'investissement.

Avec le remplacement des luminaires à tubes fluorescents existants, un gain non négligeable est attendu au regard de leur consommation et en termes de cycle de vie. Le choix se porte sur des luminaires à technologie. Trois puits de lumière naturelle sont également prévus.

Question 1.10
DT8

Justifier, à partir du DT8, la pertinence du choix de la technologie en fonction de son coût global et de sa durée de vie.

L'éclairement **E** en Lux peut être calculé avec l'équation : $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{\Phi} * \mathbf{cos}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2}$

$\mathbf{\Phi}$: flux lumineux initial en lumen (lm)
α : angle d'ouverture du faisceau de lumière en degré (°)
d : distance entre le plafond d'installation et le plan d'activité en mètre (m)

Question 1.11
DT9

Pour le modèle *Philips CoreLine Downlight* présenté dans le DT9, **relever** les valeurs du flux lumineux initial en lumen ainsi que la valeur de l'angle d'ouverture du faisceau de lumière.

Calculer l'éclairement (en Lux) d'un luminaire sur le plan utile d'activité. Dans notre cas le sol est situé à 2,8 mètres du luminaire.

La surface d'éclairement d'un luminaire S en m^2 peut être calculée à partir de la relation :

$$E = \mathbf{\Phi}/\mathbf{S}$$

$\mathbf{\Phi}$: flux lumineux initial en lumen (lm)

E : éclairement en lux

Question 1.12

Calculer la surface d'éclairement d'un luminaire sur le plan d'activité en utilisant les données de la question précédente.

Question 1.13
DT1, DT10

Comparer cet éclairement en Lux à celui de l'exigence de confort visuel exprimée dans le DT1. **Conclure** quant au choix de ce modèle de luminaire.

On définit le facteur d'insuffisance comme étant le rapport entre l'exigence de confort visuel et l'éclairement du luminaire sur le plan d'activité, ces deux valeurs étant exprimées en lux.

Calculer le facteur d'insuffisance.

L'essentiel de l'activité se déroule au centre de la pièce.

À partir des résultats des simulations « Dialux » sur le DT10, **choisir** et **justifier** l'implantation optimale des luminaires pour compenser cette insuffisance et satisfaire le critère d'exigence de confort visuel.

Question 1.14 | Pour la suite de l'étude, le facteur d'insuffisance est fixé à 2,15. **Déterminer** le nombre minimal théorique de luminaires *Philips CoreLine Downlight* nécessaires sachant que la salle de jeux totalise une surface de 215 m².

Les anciens tubes fluorescents avaient une efficacité lumineuse d'environ 80 $lm \cdot W^{-1}$ (lumen par watt).

Question 1.15 DT9 | En vous référant au DT9, **indiquer** l'efficacité lumineuse des luminaires *Philips CoreLine Downlight* et **déterminer** le gain (en %) obtenu grâce au passage à la technologie DEL.

Dans les bâtiments, la consommation d'énergie liée à l'éclairage est conséquente. Son impact environnemental n'est pas négligeable. Dans cette école, les luminaires fonctionnent durant les périodes d'ouverture hebdomadaire à raison de 5 jours pendant 10 h, 36 semaines par an.

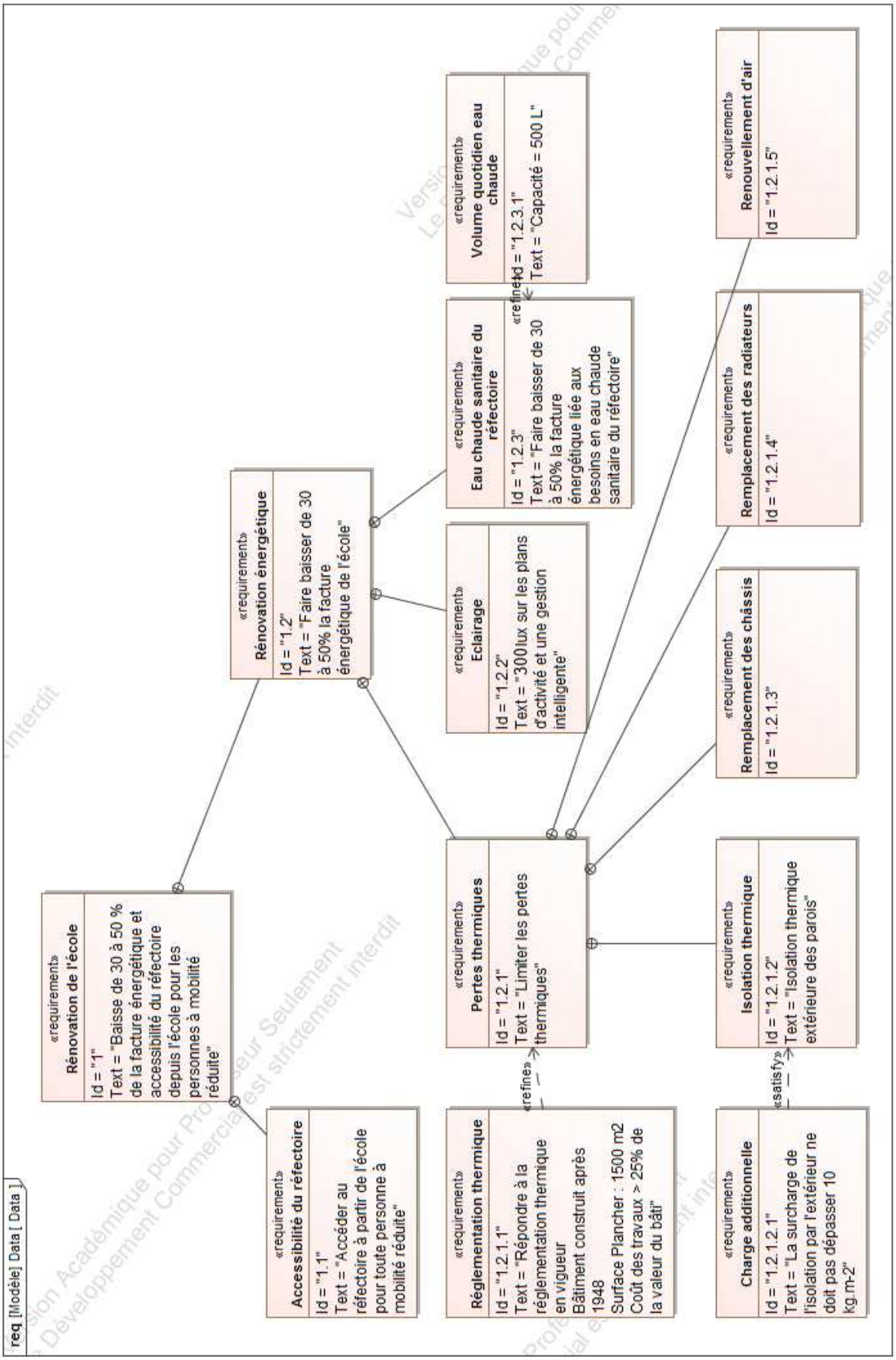
On estime qu'une gestion intelligente du bâtiment peut permettre une économie de 60 % de la consommation d'énergie liée à l'éclairage. Cette gestion tient compte de lumière naturelle ambiante, des horaires d'ouverture et de la présence des usagers.

Question 1.16 DT9 | À partir du DT9, **calculer** pour 30 luminaires *Philips CoreLine Downlight*, l'énergie consommée (en kWh) sur une période d'un an avec cette gestion d'éclairage intelligente.

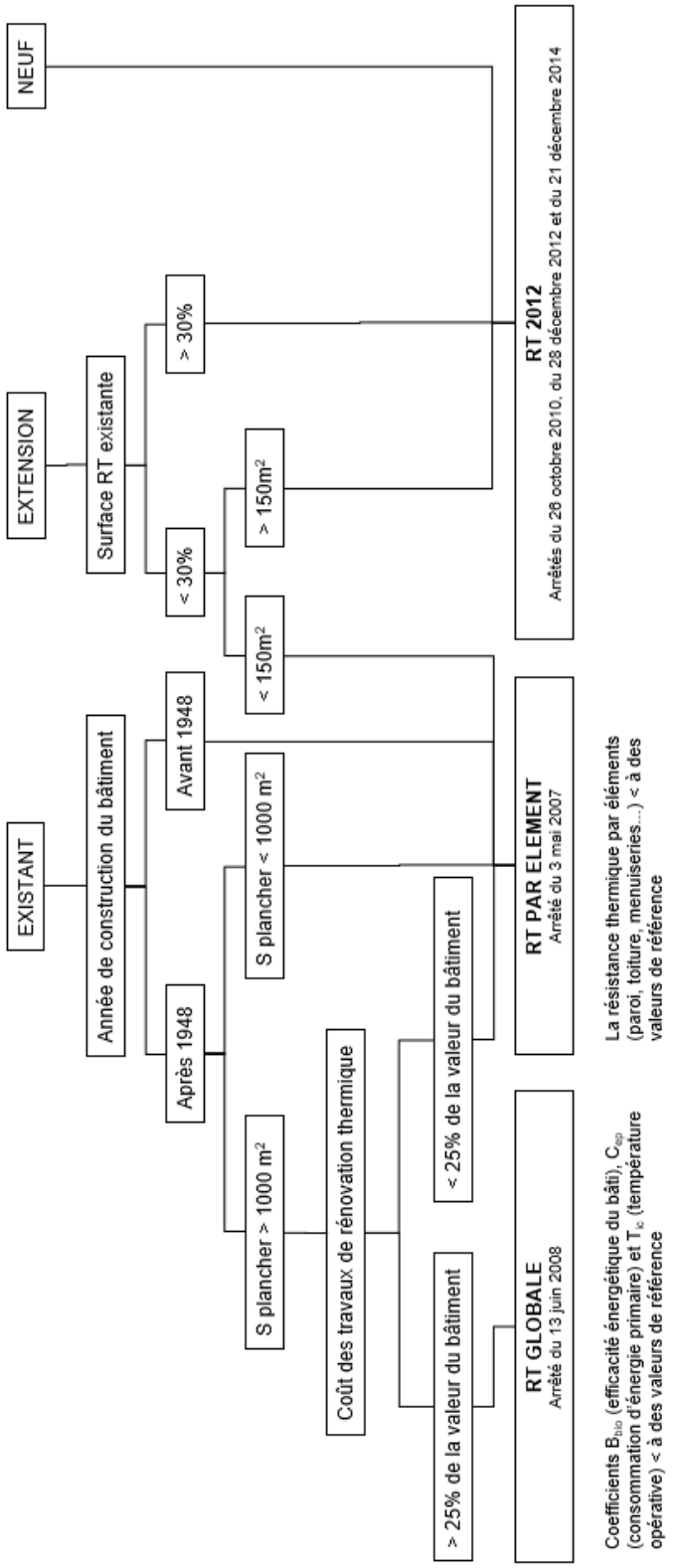
Calculer alors l'économie annuelle réalisée en Euros sachant que le kWh coûte 0,20 €.

Question 1.17 DT1 | À partir du DT1, **conclure** sur le respect des exigences quant aux choix de la technologie retenue pour l'éclairage et pour sa gestion.

DT1 : diagramme des exigences



DT2 : organigramme d'application de la réglementation thermique



DT3 : RT globale, critères à satisfaire

La méthode de calcul Th-BCE 2012 est une méthode de calcul réglementaire définie par le centre scientifique et technique du bâtiment. Elle est utilisée obligatoirement pour toute étude thermique de bâtiments soumis à la RT2012. La méthode se base sur un modèle horaire d'occupation du bâtiment et des données climatiques locales. La RT 2012 s'articule autour de trois exigences principales.

- Le besoin bioclimatique Bbio caractérise l'efficacité énergétique du bâti. Le Bbio vise à réduire la consommation de chauffage, de rafraîchissement et d'éclairage artificiel du bâtiment en optimisant sa conception. Le coefficient Ubât permet d'évaluer le niveau d'isolation global du bâtiment.

- La consommation d'énergie primaire Cep, exprimée en $kWhep \cdot m^{-2}$, représente les consommations d'énergie primaire en chauffage, climatisation, ventilation, éclairage, eau chaude sanitaire et auxiliaires du bâtiment. La Cep du projet doit être au moins inférieure de 30 % à la Cep initiale et inférieure à une Cep de référence préconisée par le moteur de calcul.

- La température opérative maximale Tic est calculée en période d'occupation pour un jour chaud. La Tic du projet doit être inférieure à la Tic de référence préconisée par le moteur de calcul.

Des performances minimales (des garde-fous) sont également requises pour une série de composants (isolation, ventilation, système de chauffage...).

DT4 : RT globale, résultats des études thermiques

Scénario n°1 : réfection de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture, et remplacement des menuiseries.

Conformité du bâtiment selon le moteur : 1.0.3

Condition	Satisfaite	Bâtiment	Usage	SHONinit (m²)	SHONproj. (m²)	Surf. utile (m²)
Cepprj <= 0,7xCepi	OUI	OBJECTIF -30%	non résidentiel	1496.00	1496.00	1496.00
Cepprojet <= Cepréf	NON	UBâtinit (W/m².K)	UBâtproj (W/m².K)	UBâtréf (W/m².K)	UBâtbase (W/m².K)	UBâtmax (W/m².K)
UBât <= Ubâtmax	OUI	1.239	0.576	0.623	0.623	0.934
Garde-fous conformes	OUI	Cepinit (Kweph/m²)	Cepproj (Kweph/m²)	Cepréf (Kweph/m²)	Cep_p (Kwhep/m²)	Cepmax (Kwhep/m²)
Tic conforme	OUI	253.69	171.04	144.26	-	-
		Gain Cepproj/Cepinit	Gain Cepproj/Cepréf	Gain Cep_p/Cepmax	Gain UBât/UBâtréf	Gain UBât/UBâtmax
Bâtiment non conforme		32.58 %	-18.57 %	-	7.48 %	38.32 %

Comparatif des consommations en énergie primaire (kWhep/m²)

	Chauffage	Refroid.	ECS	Ventil.	Aux.	Eclair.	PhotoV.	Total
initial	188.176	0.000	17.209	1.719	1.292	45.291	0.000	253.687
projet	124.334	0.000	17.209	1.125	0.677	27.699	0.000	171.044
référence	81.688	0.000	16.571	14.193	1.383	30.424	0.000	144.260

Scénario n°2 : réfection de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture, remplacement des menuiseries, installation d'une VMC double flux et remplacement des systèmes d'éclairage.

Conformité du bâtiment selon le moteur : 1.0.3

Condition	Satisfaite	Bâtiment	Usage	SHONinit (m²)	SHONproj. (m²)	Surf. utile (m²)
Cepprj <= 0,7xCepi	OUI	OBJECTIF -50%	non résidentiel	1496.00	1496.00	1496.00
Cepprojet <= Cepréf	OUI	UBâtinit (W/m².K)	UBâtproj (W/m².K)	UBâtréf (W/m².K)	UBâtbase (W/m².K)	UBâtmax (W/m².K)
UBât <= Ubâtmax	OUI	1.239	0.576	0.623	0.623	0.934
Garde-fous conformes	OUI	Cepinit (Kweph/m²)	Cepproj (Kweph/m²)	Cepréf (Kweph/m²)	Cep_p (Kwhep/m²)	Cepmax (Kwhep/m²)
Tic conforme	OUI	253.69	99.43	133.47	-	-
		Gain Cepproj/Cepinit	Gain Cepproj/Cepréf	Gain Cep_p/Cepmax	Gain UBât/UBâtréf	Gain UBât/UBâtmax
Bâtiment conforme		60.81 %	25.50 %	-	7.48 %	38.32 %

Comparatif des consommations en énergie primaire (kWhep/m²)

	Chauffage	Refroid.	ECS	Ventil.	Aux.	Eclair.	PhotoV.	Total
initial	188.176	0.000	17.209	1.719	1.292	45.291	0.000	253.687
projet	53.841	0.000	17.209	5.902	0.559	21.915	0.000	99.427
référence	72.368	0.000	16.571	12.766	1.338	30.424	0.000	133.467

DT5 : extrait de la réglementation thermique RT 2012

La réglementation thermique RT 2012 spécifie pour les bâtiments neufs une consommation maximale de 50kWh.m^{-2}.an^{-1} (à moduler suivant les régions) et une isolation respectant des valeurs seuils minimales pour chaque élément. Le tableau ci-dessous récapitule ces valeurs :

Élément	**Valeur R par élément (pour une construction neuve et bénéficier d'un crédit d'impôt)**	**Valeur R par élément (pour une rénovation)**
Combles perdus	R ≥ 7.0	R ≥ 4.5
Combles aménagés	R ≥ 6.0	R ≥ 4.0
Murs	R ≥ 3.7	R ≥2.3**
Planchers	R ≥ 3.0	R ≥ 2.3***
Toiture-terrasse	R ≥ 4.5	R ≥ 2.5

** cette valeur dépend du type de mur

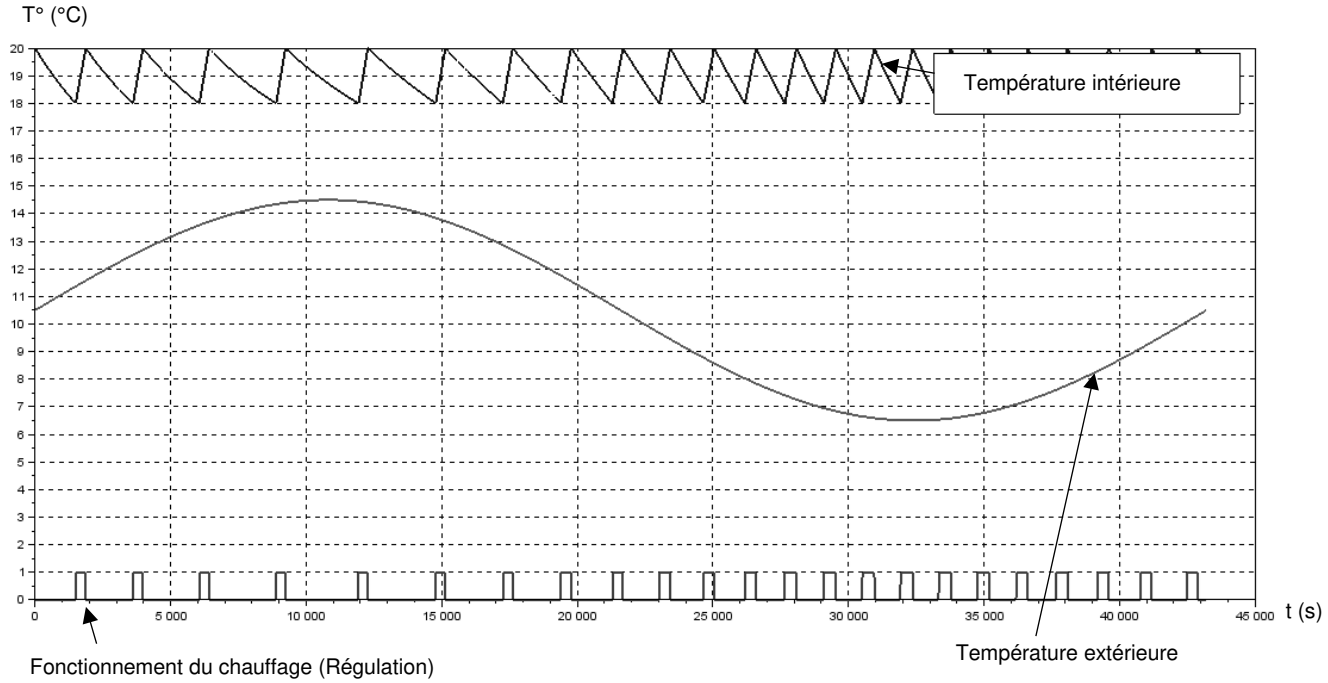
*** cette valeur dépend du type de plancher

DT6 : simulation des variations de la température intérieure et de la régulation du chauffage

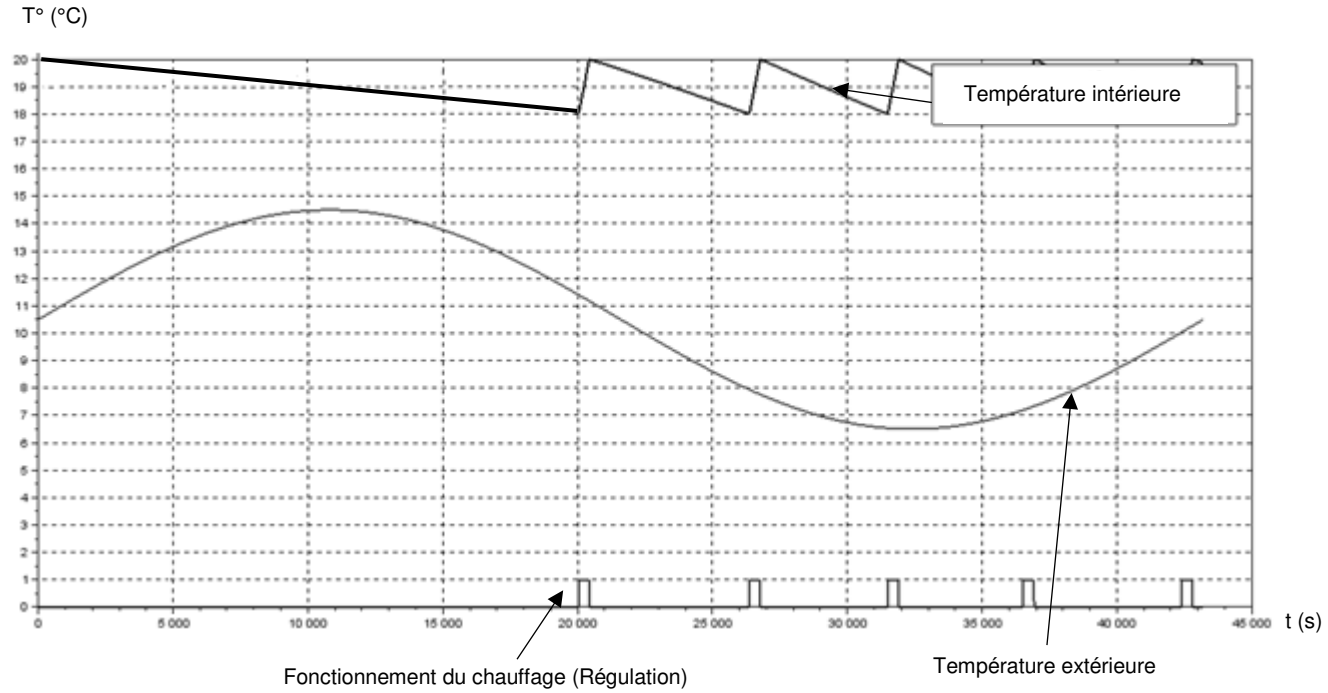
Les simulations ci-dessous sont obtenues pour une variation de la température extérieure comprise entre 6,5°C et 14,5°C : températures moyennes minimales et maximales de la région en hiver.

Les résultats ont été obtenus sur une période de 12 h. Le chauffage fonctionne en moyenne 305s par impulsion.

Simulation de la régulation de chauffage avant rénovation :



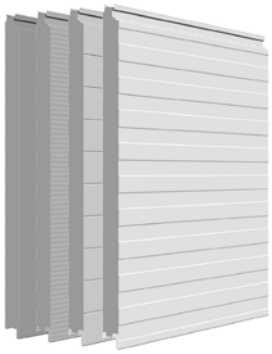
Simulation de la régulation de chauffage après rénovation :



DT7 : caractéristiques de deux panneaux sandwichs

Définition de l'unité fonctionnelle (UF) : étude réalisée pour 1 m² de paroi verticale pendant 50 ans en assurant les performances prescrites du produit (données environnementales des produits – base INIES ou données fabricant).

Panneau sandwich de bardage avec une âme laine de roche et deux parements acier

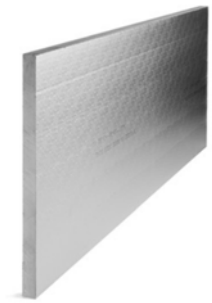


Conductivité thermique :
λ de 0,043 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Masse surfacique :
19,5 $kg \cdot m^{-2}$

Impact environnemental	Unité	Valeur sur UF
Consommation ressources énergétiques primaires totales	MJ	1021,7
Épuisement des ressources	kg éq Sb	$9,4.10^{-6}$
Consommation d'eau	m^3	$5,5.10^{-1}$
Déchets Dangereux Non dangereux Radioactifs	kg	 $3,2.10^{-2}$ 26,3 $3,4.10^{-3}$
Changement climatique	kg éq CO_2	47,7
Acidification	kg éq SO_2	$2,2.10^{-1}$
Pollution de l'air	m^3	5250
Pollution de l'eau	m^3	5,7
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg éq CFC-11	$4,8.10^{-6}$
Formation d'ozone photochimique	kg éq C_2H_4	$2,6.10^{-2}$
Eutrophisation	kg éq PO_4^{3-}	$2,4.10^{-2}$

Panneau sandwich de bardage en mousse rigide et deux parements aluminium

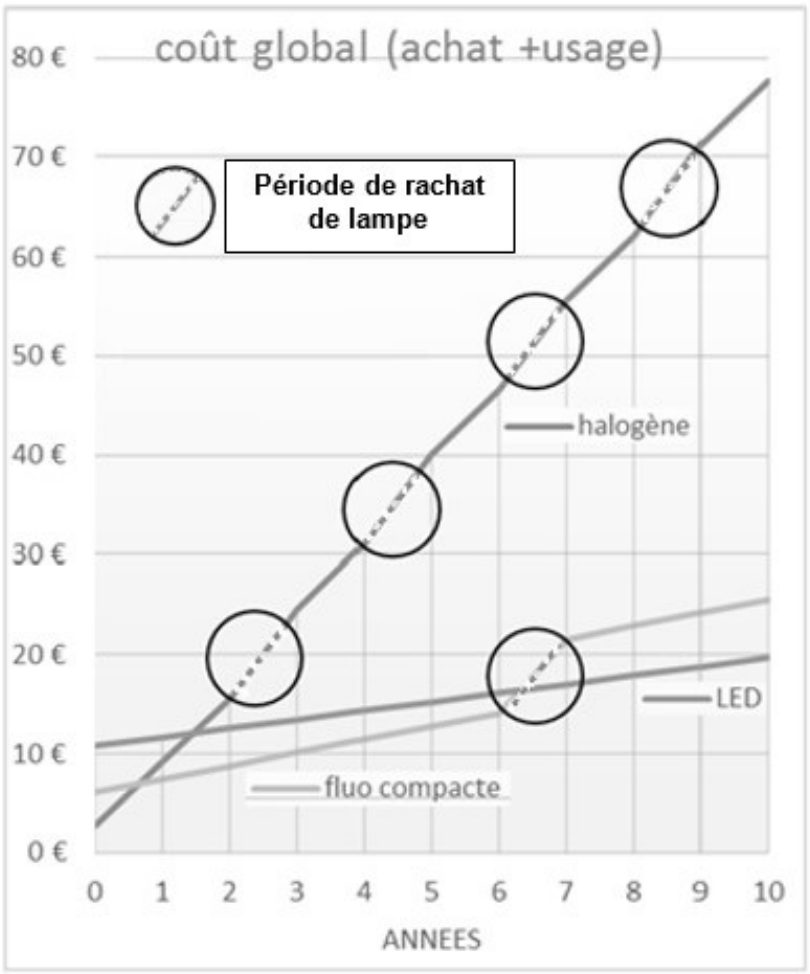


Conductivité thermique :
λ de 0,022 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Masse surfacique :
4,48 $kg \cdot m^{-2}$

Impact environnemental	Unité	Valeur sur UF
Consommation ressources énergétiques primaires totales	MJ	149,17
Epuisement des ressources	kg éq Sb	$9,48.10^{-5}$
Consommation d'eau	m^3	$5,77.10^{-1}$
Déchets Dangereux Non dangereux radioactifs	kg	 $7,43.10^{-1}$ 1,34 $2,75.10^{-3}$
Changement climatique	kg éq CO_2	6,99
Acidification	kg éq SO_2	$8,75.10^{-3}$
Pollution de l'air	m^3	798
Pollution de l'eau	m^3	5,19
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg éq CFC-11	$4,33.10^{-6}$
Formation d'ozone photochimique	kg éq C_2H_4	$2,12.10^{-3}$
Eutrophisation	kg éq PO_4^{3-}	$3,11.10^{-3}$

DT8 : calcul des coûts d'utilisation de lampe



Calcul des coûts d'utilisation de lampes LED (DEL) de 6 watt, équivalente aux anciennes lampes de 60 Watt – Source ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)

CoreLine Downlight

DN140B LED20S/840 PSD-E WR

Coreline Downlight Gen4 - 840 blanc neutre - Alimentation avec interface DALI - Réflecteur blanc - Connecteur à poussoir et soulagement de traction - Protection des doigts

Données du produit

Caractéristiques générales	
Angle d'ouverture du faisceau de lumière	120 °
Température de couleur	840 blanc neutre
Source lumineuse de substitution	Non
Nombre d'unités d'appareillage	1 unit
Driver/alimentation/transformateur	PSD [Alimentation avec interface DALI]
Driver inclus	Oui
Type d'optique	WR [Réflecteur blanc]
Faisceau du luminaire	90°
Interface de commande	DALI

Connexion	Connecteur à poussoir et soulagement de traction
Câble	Non
Classe de protection CEI	Classe de sécurité I
Essai au fil incandescent	Température 850 °C, durée 5 s
Essai au fil incandescent	F [conçus pour des surfaces normalement inflammables]
Marquage CE	Marquage CE
Marquage ENEC	Non
Garantie	5 ans
Remarques	*-Conformément au document d'orientation de Lighting Europe

	« Evaluer les performances des luminaires LED - janvier 2018 », statistiquement, il n'existe aucune différence significative de maintien du flux lumineux entre B50 et, par exemple, B10. La valeur de la durée de vie utile moyenne (B50) représente donc également la valeur B10.
Flux lumineux constant	Non
Nombre de produits par disjoncteur de 16 A type B	24
Conforme à la directive RoHS UE	Oui
Service Tag	Oui
Code de la famille de produits	DN140B [Coreline Downlight Gen4]
Score taux d'éblouissement CEN	25

Caractéristiques électriques	
Tension d'entrée	220-240 V
Fréquence d'entrée	50 à 60 Hz
Consommation électrique de CLO initiale	- W
Consommation électrique de CLO moyenne	- W
Fin de la consommation électrique CLO	- W
Courant d'appel	20.4 A
Temps du courant d'appel	0.195 ms
Facteur de puissance (min.)	0.95

Gestion et gradation	
avec gradation	Oui

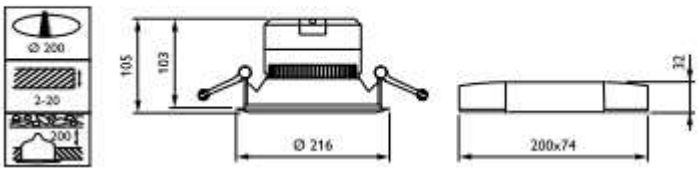
Dimensions (hauteur x largeur x profondeur)	108 x 0 x 0 mm (4.3 x 0 x 0 in)

Normes et recommandations	
Code d'indice de protection	IP20 [Protection des doigts]
Code de protection contre les chocs mécaniques	IK02 [0.2 J standard]
Notation de durabilité	-

Performances initiales (conforme IEC)	
Flux lumineux initial	2200 lm
Tolérance du flux lumineux	+/-10%
Efficacité lumineuse à 0h du luminaire LED	107 lm/W
Température de couleur proximale initiale	4000 K
Indice de rendu des couleurs (initial)	≥80
Chromaticité initiale	(0.380,0.377) SDCM≤5
Puissance initiale absorbée	20 . 5 W
Tolérance de consommation électrique	+/-10%

Durées de vie (conforme IEC)	
Taux de défaillance driver à la durée de vie utile moyenne de 50 000 h	5 %
Maintien du flux lumineux en fin de vie (50 000 h à 25 °C)	L70

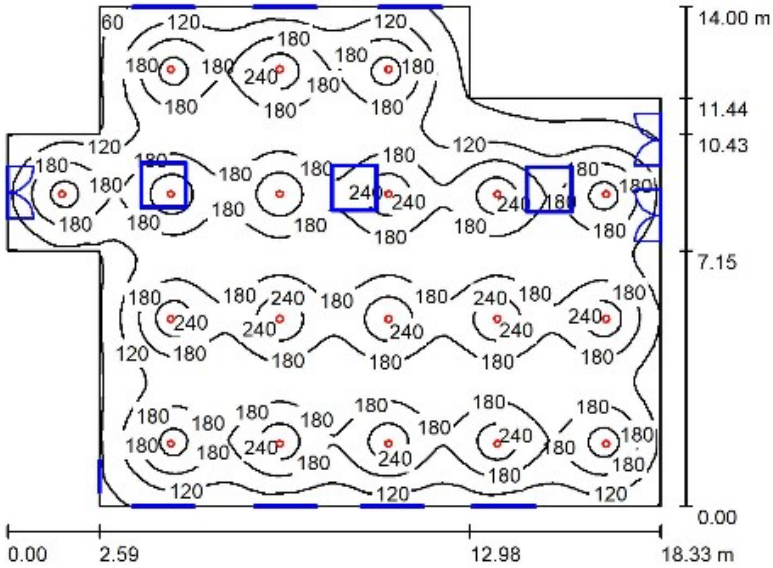
Conditions d'utilisation	
Plage de températures ambiantes	-20 à +40 °C
Performance Température Ambiante Tq	25 °C
Niveau de gradation maximal	1%
Convient à une commutation aléatoire	Oui



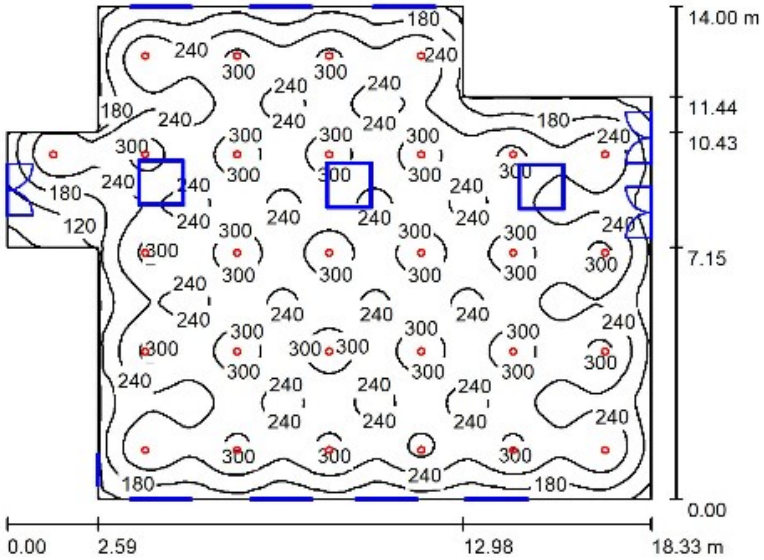
DT10 : simulations avec Dialux

Comparaison en courbes Isolux (valeurs en lux) de quatre implantations en nombres différents du luminaire *Philips CoreLine Downlight* employé dans la salle de jeux.

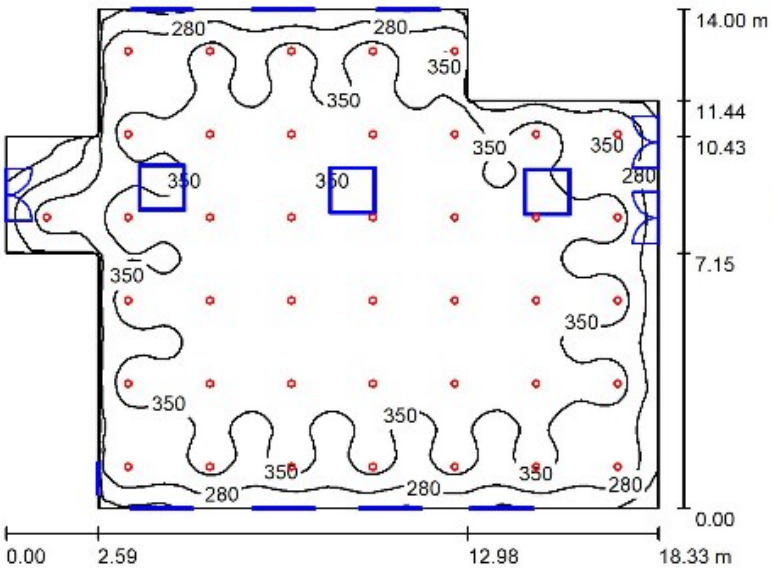
Implantation 1
(19 luminaires)



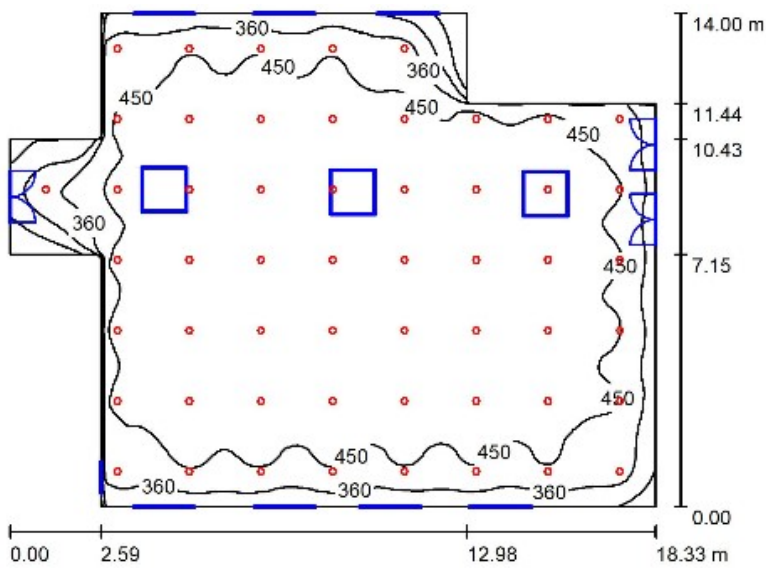
Implantation 2
(29 luminaires)



Implantation 3
(41 luminaires)



Implantation 4
(54 luminaires)



DR1 : caractéristiques thermiques d'une salle de classe

Composition de la paroi verticale existante :

Composants	Épaisseur (m)	Conductivité thermique λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Béton plein armé	0,20	2,3
Polystyrène expansé	0,05	0,05

Composition de la paroi verticale rénovée :

Composants	Épaisseur (m)	Conductivité thermique λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Résistance thermique composant ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
Ri			0,13
Béton plein armé	0,20	2,3	Q1.4 .....
Polystyrène expansé	0,05	0,05	Q1.4 .....
Panneau sandwich en mousse rigide	0,14	0,022	Q1.4 .....
Lame d'air faiblement ventilée*	0,02		
Vêture brique*	0,1		
Re			0,04
		R_{therm} paroi ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Q1.5 .....

***** La lame d'air et le parement brique ne contribuent pas à l'isolation thermique par l'extérieur du fait de la non-étanchéité à l'air de l'ensemble.

Définition :

La résistance thermique globale d'une paroi est notée $\mathbf{R_{therm}}$ · [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

$$R_{therm} = R_i + \sum \frac{e_{matériau}}{\lambda_{matériau}} + R_e$$

Avec R_i = 0,13 $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ et R_e = 0,04 $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

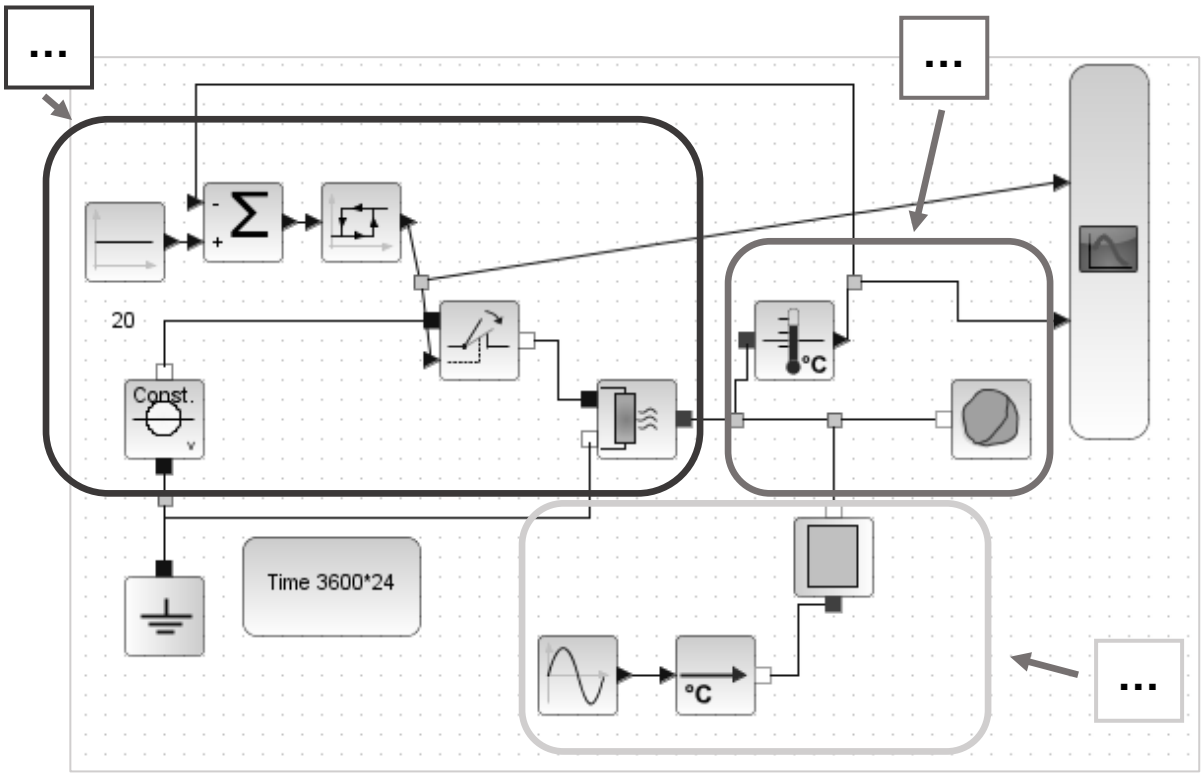
1.2

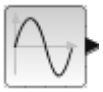
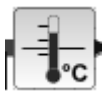
Question 1.6

A : déperditions de chaleur à travers la paroi (dépend de la conductivité thermique et de l'épaisseur des matériaux de la paroi) en fonction des variations de température extérieure.

B : modélisation du chauffage et de sa régulation. Le chauffage se déclenche quand la température descend en-dessous de 18°C et s'arrête lorsque la température atteint 20°C.

C : volume de la pièce à chauffer (capacité thermique de l'air de la salle de classe) et mesure de la température intérieure.



Composants	Paramètres	Type de variable (interne ou externe)
	Conductivité thermique de la paroi	Q1.6 .....
	Épaisseur de la paroi	Q1.6 .....
	Variations de la température extérieure	Q1.6 .....
	Variations de la température intérieure	Q1.6 .....

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

ARCHITECTURE ET CONTRUCTION



- **Présentation de l'étude et questionnement** ..... pages 22 à 25
- **Documents techniques** ..... pages 26 à 31
- **Documents réponses** ..... pages 32 à 34

Mise en situation

La ville de Mons-en-Barœul a entrepris des travaux de rénovation de l'école maternelle Charles de Gaulle.

Dans un environnement urbain très bétonné, les toits végétalisés offrent des espaces de verdure. En plus d'être esthétiques, ils favorisent la biodiversité et augmentent les performances en termes d'isolation et de rétention d'eau.

On souhaite d'abord mener une première étude pour végétaliser la toiture au-dessus de la salle de jeux (voir figure 1 ci-dessous). Cette végétalisation entraînera une charge supplémentaire sur les fondations. Une vérification du dimensionnement est donc nécessaire.

Des nuisances sonores sont constatées par les usagers dans certaines classes. La problématique de l'ambiance acoustique de la salle de classe 3 (voir figure 1) fera l'objet d'une seconde étude.

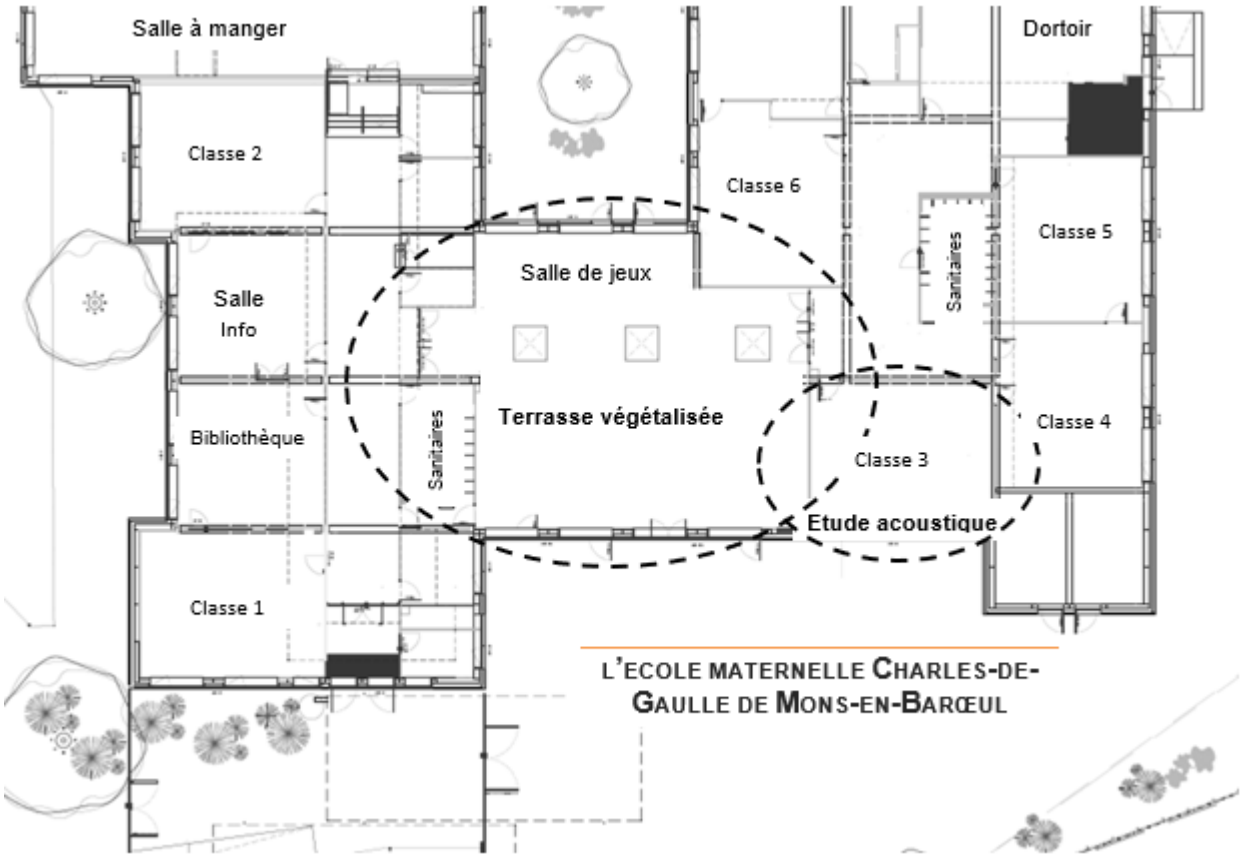


Figure 1 : vue en plan partielle

Travail demandé

PARTIE A : le dimensionnement des structures existantes sera-t-il suffisant pour accueillir une terrasse végétalisée ?

Objectif : valider les caractéristiques dimensionnelles des fondations.

Après avoir vérifié que la toiture terrasse est capable de supporter une végétalisation, on souhaite déterminer les charges à l'état limite ultime (ELU) sur la semelle de fondation.

Nous n'effectuerons pas l'étude dimensionnelle des différents porteurs intermédiaires (poteau, poutre, etc.).

On rappelle les principales solutions constructives ci-dessous :

- tous les éléments de la structure sont en béton armé (B.A.) de poids volumique $\rho_{\text{béton armé}} = 25\ \text{kN.m}^{-3}$;
- le plancher du rez-de-chaussée est une dalle flottante sur terre-plein en B.A. reposant par conséquent directement sur le sol.

Question A.1 DTS1	À l'aide du document technique DTS1, **analyser** et **justifier** l'influence du poids du plancher bas du rez-de-chaussée sur le calcul du dimensionnement de la semelle de fondation du poteau P1.
Question A.2 DTS2 DRS1	<u>*Rappel :*</u> la surface portée est nommée *surface d'influence*, c'est la portion de dalle ou de plancher supportée par un porteur. À l'aide du document technique DTS2, **tracer** en rouge et **coter** sur le document réponse DRS1, la surface d'influence supportée par le poteau étudié P1. **Calculer** cette surface en m² en détaillant votre calcul sur le document réponse DRS1.
Question A.3 DTS4	À l'aide du DTS4, **déterminer** la charge surfacique S en $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ due à la neige en sachant que l'ouvrage est situé à Mons-en-Barœul à une altitude de 30 m.

La charge supportée, Pu, par la fondation est est donnée ci-dessous. On pondère les charges pour se donner une marge de sécurité :

Pu = 1,35G + 1,50 (Q ou S)

Pour réaliser la descente des charges sur la semelle S1 :

Question A.4 DTS1	À l'aide du DTS1, **déterminer** le volume du poteau P1. **Calculer** son poids P en KN (Rappel : poids volumique du B.A. $\rho_{\text{béton armé}} = 25\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$).

Question A.5
DRS3

Compléter le DRS3 par les informations manquantes.

Déterminer l'ensemble des charges Pu aux états limites ultimes (ELU) appliqué sur la semelle de fondation S1.

Nous allons vérifier que les semelles de fondations calculées avant la rénovation par l'entreprise sont correctement dimensionnées pour supporter en plus la végétalisation de la toiture terrasse.

Connaissant les charges appliquées à l'ELU provenant de la structure, on souhaite vérifier le dimensionnement de la semelle de fondation du poteau P1 afin que le sol puisse supporter la contrainte.

On supposera que la résultante des charges Pu à l'ELU, appliquées sur l'assise de la fondation isolée S1, est égale à 450 KN.

Question A.6

Sachant que la contrainte admissible du sol est de σ_{sol} = 0,4 MPa et que l'on doit respecter la condition de résistance : $\sigma \leq \sigma_{sol}$, **calculer** la surface minimale de la semelle de fondation en m^2.

On rappelle la formule de la contrainte σ = Pu / S, dans laquelle σ est exprimée en MPa, Pu en MN (Méga Newton soit 10^6 N) et S en m^2.

Question A.7
DTS1, DTS5

À l'aide du DTS5 et en partant de l'hypothèse que chaque semelle isolée est de section carrée (dimension b' égale à c'), **déterminer** les dimensions minimales de la semelle de fondation S1 sous le poteau P1.

À l'aide des données du DTS1**, vérifier** si la semelle S1 mise en œuvre respecte a minima ce dimensionnement théorique.

PARTIE B : comment améliorer les ambiances acoustiques ?

Objectif : vérifier les exigences réglementaires.

Afin de travailler dans de bonnes conditions, la réglementation acoustique impose un temps de réverbération dans les locaux d'enseignement compris entre 0,8 s et 1,2 s.
Pour cette étude, la fréquence du son sera considérée à 1 000 Hertz (Hz).

La salle de classe 3 faisant l'objet de cette étude est représentée sur le DTS3. Les caractéristiques dimensionnelles et constructives sont précisées.

Question B.1 DTS3	À l'aide du DTS3, **calculer** les surfaces des murs (en déduisant les ouvertures) et la surface totale des parois.

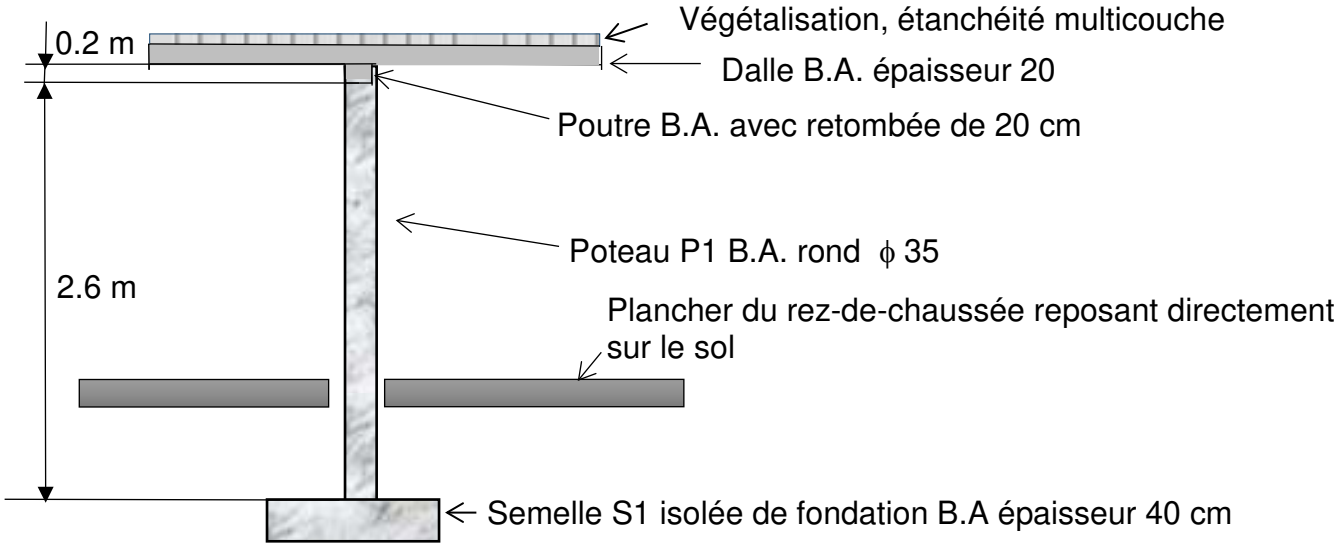
Question B.2 DTS6 DRS2	À l'aide du DTS6, **compléter** le DRS2 et **calculer** la surface équivalente d'absorption A. **Déduire**, en répondant sur le DRS2, le temps de réverbération de la salle de classe 3 en utilisant la formule de Sabine décrite dans le DTS6. **Conclure** sur la conformité vis-à-vis de la réglementation.

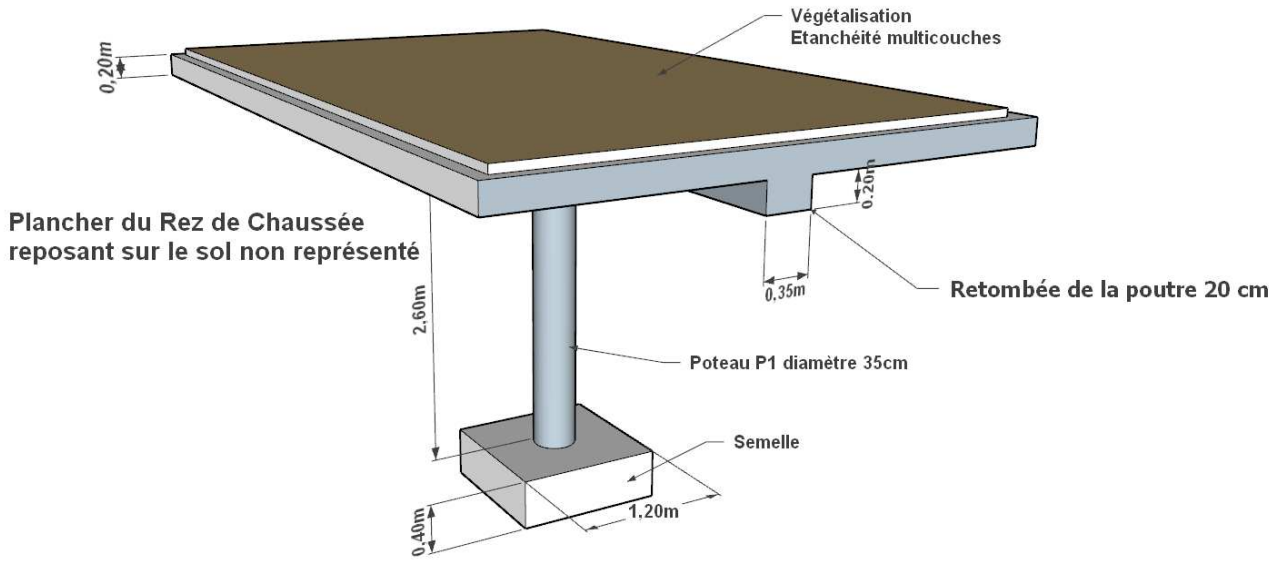
On effectue une correction du temps de réverbération (Tr) en recouvrant la moitié du plafond d'un faux-plafond en matériau absorbant (dalles de fibres, par exemple) de coefficient d'absorption acoustique $\alpha = 0{,}66$ à 1 000 Hz.

Pour vérifier la bonne correction, on effectue une simulation du niveau sonore de la salle de classe 3. Le DTS7 présente les résultats de cette simulation.

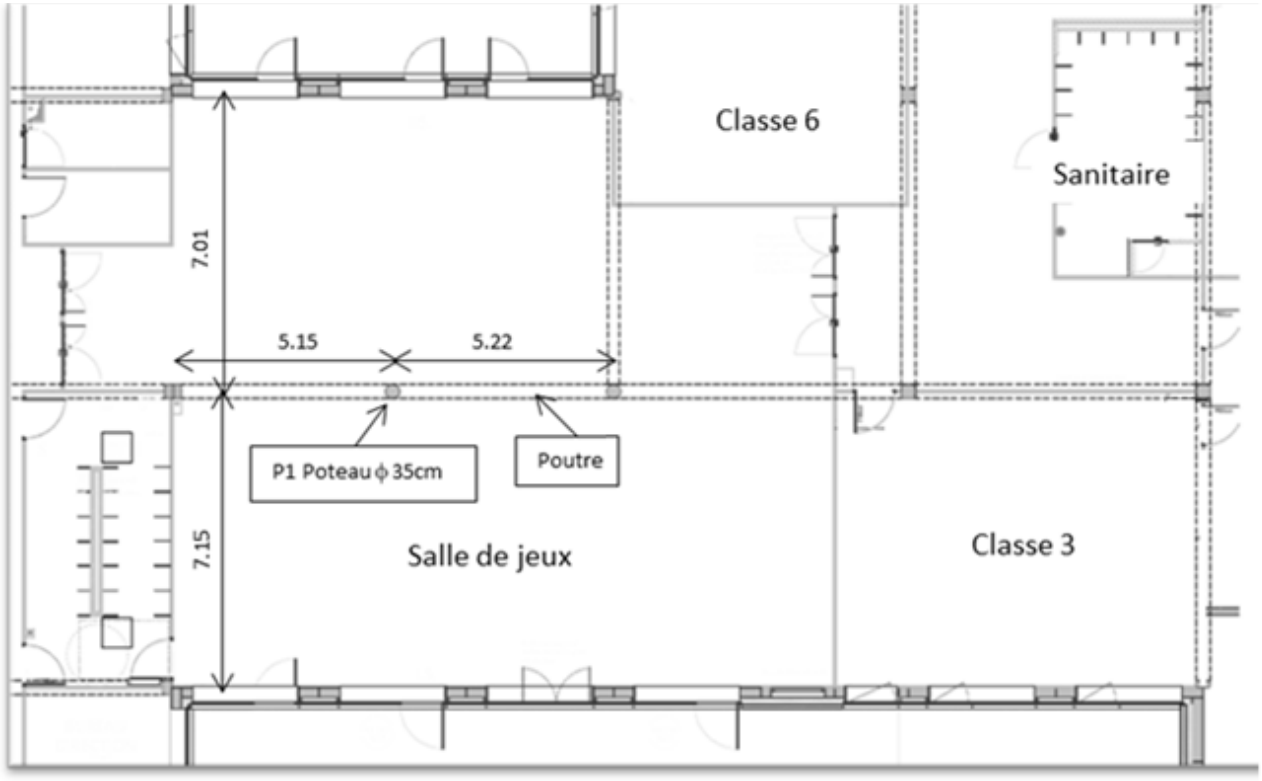
Question B.3 DTS7 DRS4	À l'aide du DTS7, **mesurer** sur le DRS4 le temps de réverbération Tr obtenu après correction. **Conclure** sur la valeur de Tr obtenue par simulation en la comparant aux exigences réglementaires.

DTS1 : description de la structure

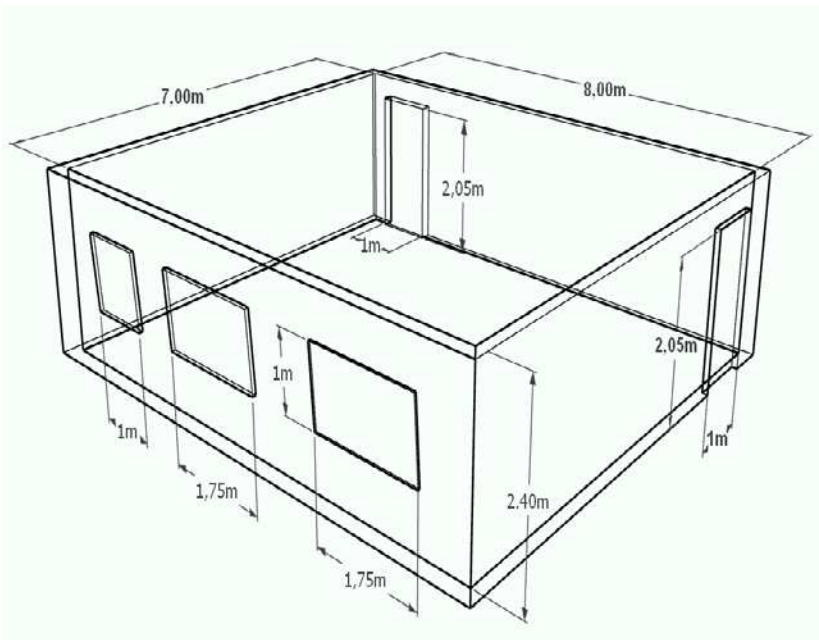




DTS2 : plan coté de la salle de jeux



DTS3 : représentation de la classe 3



- Dimensions : 8,0 m x 7,0 m ;
- Hauteur sous plafond : 2,40 m ;

- 2 portes isoplanes : 2,05 m x 1,00 m ;

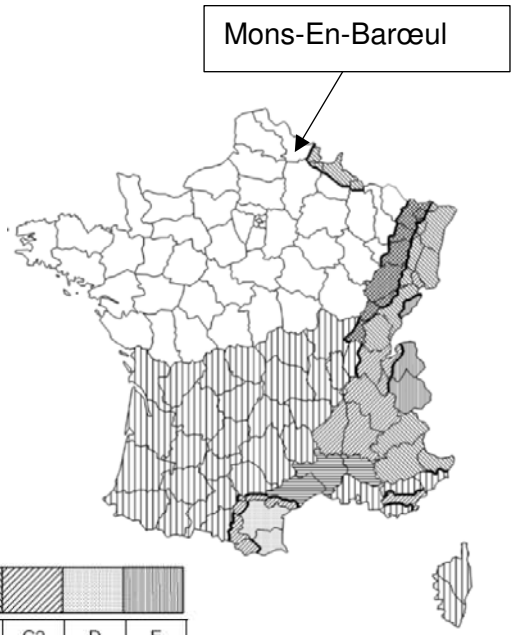
- 3 fenêtres vitrées (vitrage courant) :
  1,00 m x 1,00 m ;
  1,00 m x 1,75 m ;
  1,00 m x 1,75 m ;

- Plafond en plâtre peint ;
- Murs en plâtre peint ;
- Sol en carrelage ;
- Salle vide, sans mobilier ni personnes.

DTS4 : charges de neige

Charges de neige sur les constructions :

$$S = Sk * \mu * Ce * Ct$$



- **Sk,** charge de neige caractéristique :

Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S_k) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	Δs_1							Δs_2

(charges en KN/m^2)

Zones de neige.

Altitude A	Δs_1	Δs_2
de 200 à 500 m	A/1000 – 0,20	1,5 A/1000 – 0,30
de 500 à 1000 m	1,5 A/1000 – 0,45	3,5 A/1000 – 1,30
de 1000 à 2000 m	3,5 A/1000 – 2,45	7 A/1000 – 4,80

- **μ,** coefficient de forme de la toiture :

α en degré (angle du toit avec l'horizontale)	**0°≤ α ≤ 30°**	**30° ≤ α ≤ 60°**	**α ≥ 60°**
μ	0,8	$0{,}8\frac{(60-\alpha)}{30}$	0

- **Ce,** le coefficient d'exposition (dans notre cas Ce = 1)
- **Ct,** le coefficient thermique (dans notre cas Ct = 1)

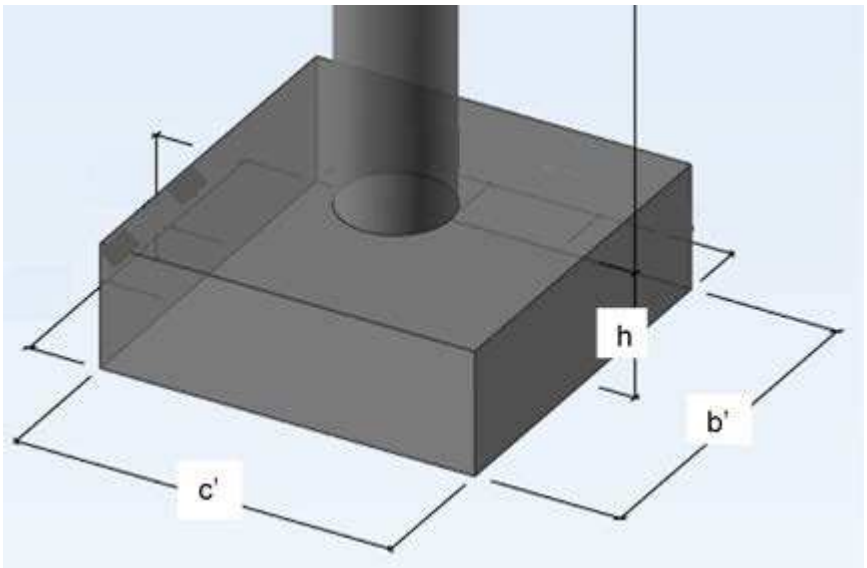
DTS5 : règle de dimensionnement d'une semelle isolée.

- Pour les dimensions b' et c' : S = b' x c'
- Pour la hauteur h :

  Lorsque la hauteur h est inconnue, on utilise la condition de rigidité qui fixe la hauteur utile minimum d

  Pour une semelle rectangulaire : $d \geq max\left[\frac{b'-b}{4} ; \frac{c'-c}{4}\right]$

  Avec : h = d + 6 cm
  b' et c' : dimensions de la semelle isolée
  b et c : dimensions du poteau isolé (ici on fixera b = c = 0,35 m)



DTS6 : données acoustiques

Les coefficients d'absorption α à la fréquence de 1000 Hz des matériaux couvrant les surfaces de ce local sont donnés dans le tableau suivant :

Matériaux	Coefficients d'absorption acoustique α_i 1000 Hz
Béton brut	0,02
Plâtre brut	0,04
Plâtre peint	0,03
Staff	0,05
Briques	0,04
Vitrage courant	0,12
Porte en bois traditionnelle	0,09
Porte plane en bois	0,09
Contreplaqué 5 mm espacé de 5 cm	0,11
Marbre, carrelage	0,03
Parquet sur lambourdes	0,07
Parquet bois collé	0,06
Linoléum sur feutre	0,10
Moquette bouclée 4 mm	0,11
Moquette sur thibaude	0,50
Panneau de fibres isolant	0,40
Panneau de laine minérale 4 cm	0,85
Fibragglo contre la paroi	0,54
Fibres de roche projetées	0,88
Mousse d'argile	0,99
Fibres de bois compressées	0,44

Correction acoustique :

Elle peut être déterminée par bande d'octave dans un premier temps, puis globalement avec la **formule de Sabine**.

$$T_r = 0{,}16 \times \frac{V}{A}$$

Avec :

- T_r : temps de réverbération [s] ;
- V : volume de la pièce étudiée [m^3] ;
- 0,16 : constante de Sabine [$s \cdot m^{-1}$] ;
- A : aire équivalente d'absorption [m^2].

$$A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \times S_i$$

Avec :

- S_i : surface [m^2] ;
- α_i : caractérise la capacité d'absorption d'énergie du matériau.

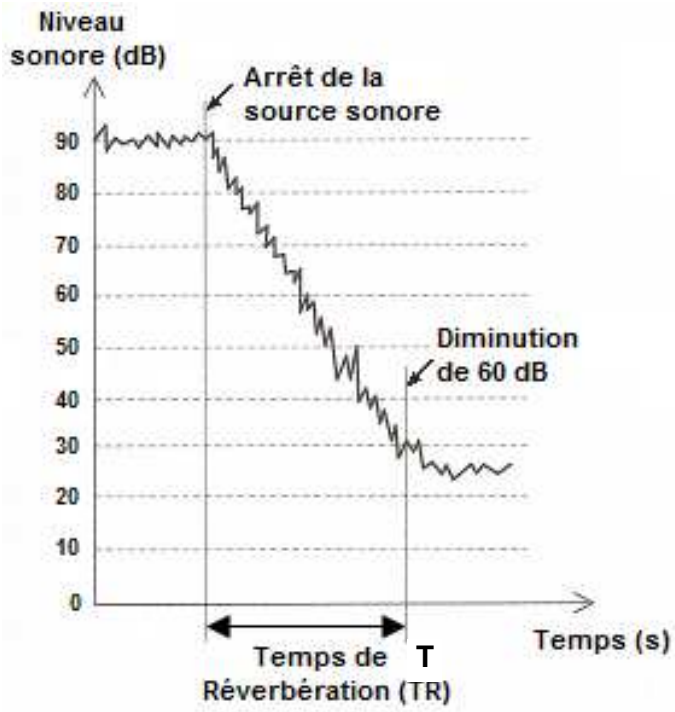
Le coefficient α est appelé coefficient d'absorption du matériau et est donné par bande d'octave.

DTS7 : mesure de temps de réverbération

La réverbération est une caractéristique essentielle d'un local. Elle renforce et prolonge le son à cause des ondes sonores réfléchies par les parois. Un local trop réverbérant provoque la superposition et le mélange des syllabes et un local trop sourd est fatigant car le niveau sonore est faible et sans relief.

Il existe un Temps de réverbération (T_r) optimum pour chaque salle en fonction de son utilisation.

Le Temps de réverbération T_r est le temps nécessaire pour que le niveau de bruit diminue de 60 dB (décibel) après l'arrêt de la source sonore en fonctionnement.
Le graphique ci-contre illustre la mesure du Temps de réverbération T_r.

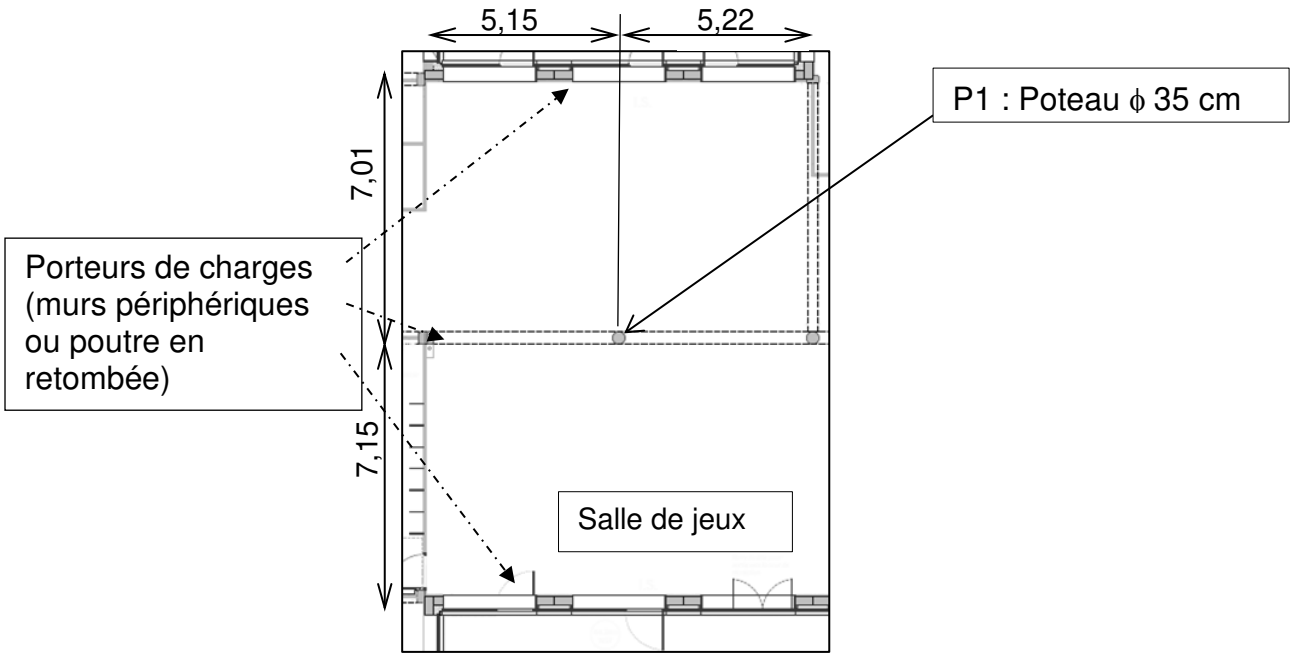


PAGE BLANCHE LAISSÉE INTENTIONNELLEMENT.

NE RIEN ÉCRIRE DESSUS

DRS1

Question A.2 – Partie du plan de la salle de jeux



Surface d'influence Poteau P1 (en m²) :

DRS2

Question B.2 – Temps de réverbération

Désignation	Nature	Surfaces en m²	1000 Hz	
			α	α x S
Plafond	Plâtre peint	56,00		
Sol	carrelage			
Portes	Traditionnelle bois	4,10		
Fenêtres	Vitrage courant	4,50		
Murs	Plâtre peint		0,03	1,90
TOTAL :			**A =**	

Temps de réverbération en secondes :

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Question A.5 – Descente de charges

Élément considéré	Charge Permanente G					
	Poids unitaire	Unité	Longueur	Largeur	Hauteur	Poids total
			[m]	[m]	[m]	[kN]
Couche de terre végétale	21	$kN \cdot m^{-3}$			0,10	77,16
Épaisseur filtrante et drainante pour récupérer les eaux de pluie	0,1	$kN \cdot m^{-2}$	7,08	5,19		
Étanchéité multicouche	0,12		7,08	5,19		4,41
Dalle B.A.	25	$kN \cdot m^{-3}$	7,08	5,19	0,20	183,73
Poutre B.A.		$kN \cdot m^{-3}$	5,19	0,35	0,20	9,08
Poteau B.A.	25	$kN \cdot m^{-3}$				6,25
Semelle B.A.	25	$kN \cdot m^{-3}$	1,20	1,20	0,40	14,40
					Total	

Élément considéré	Charge d'exploitation Q			
	Longueur	Largeur	Charge par m^2	Poids total
	[m]	[m]	$[kN \cdot m^{-2}]$	[kN]
Plancher terrasse non accessible (sauf entretien)			1,00	
			Total	

Élément considéré	Charge climatique S			
	Longueur	Largeur	Charge par m^2	Poids total
	[m]	[m]	$[kN \cdot m^{-2}]$	[kN]
Neige	7,08	5,19		
			Total	

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

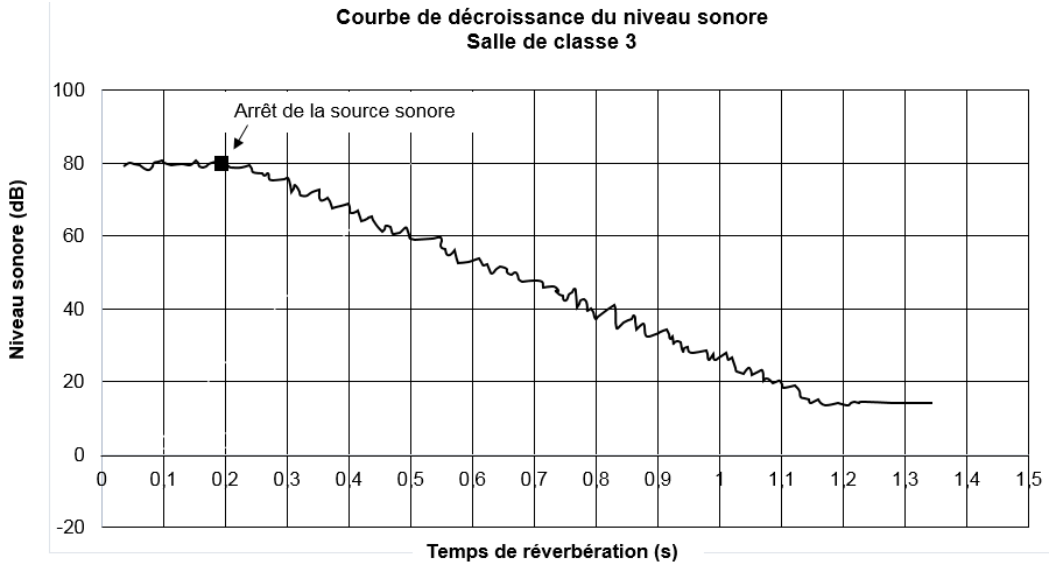
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DRS4

Question A.3 – Mesure Tr



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.