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

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

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 33 pages numérotées de 1/33 à 33/33.

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 à 18
- **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).

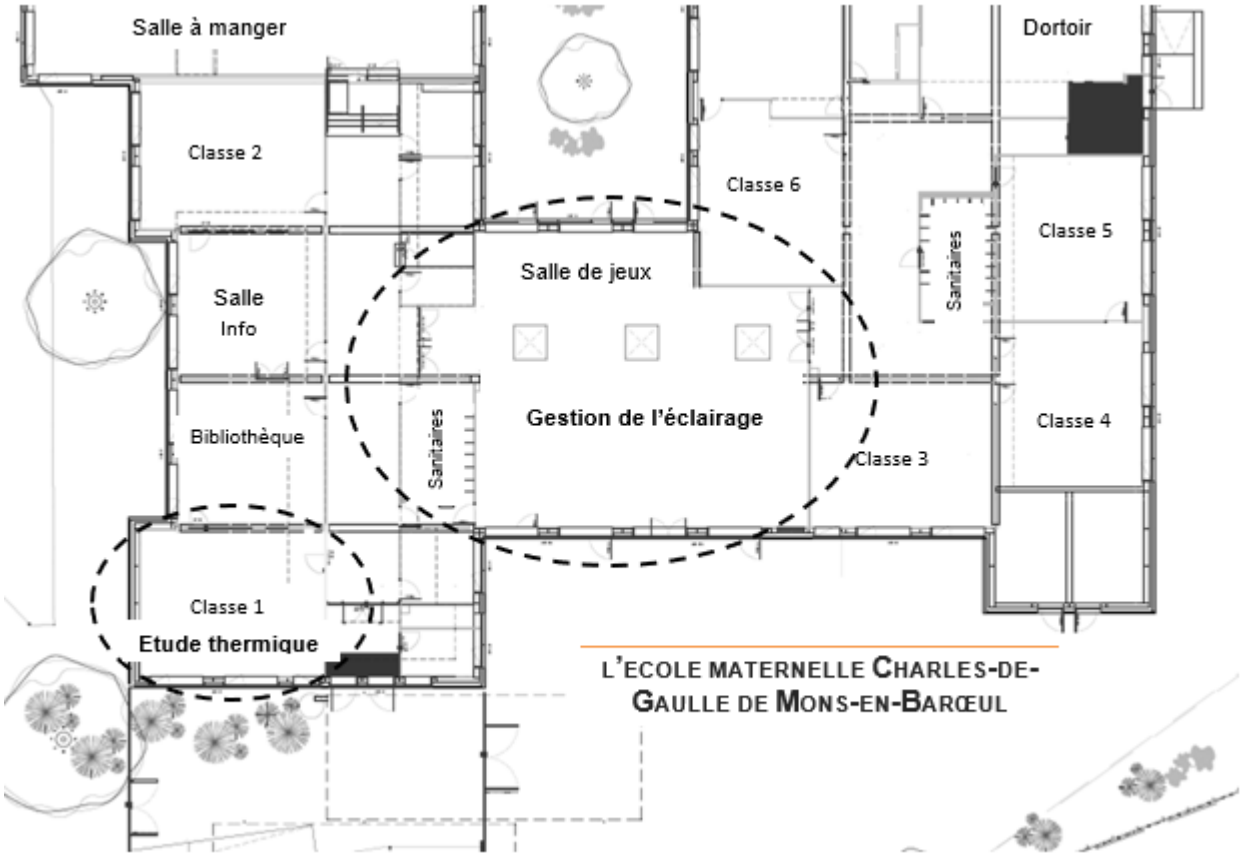


Figure 2 : vue en plan partielle

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.

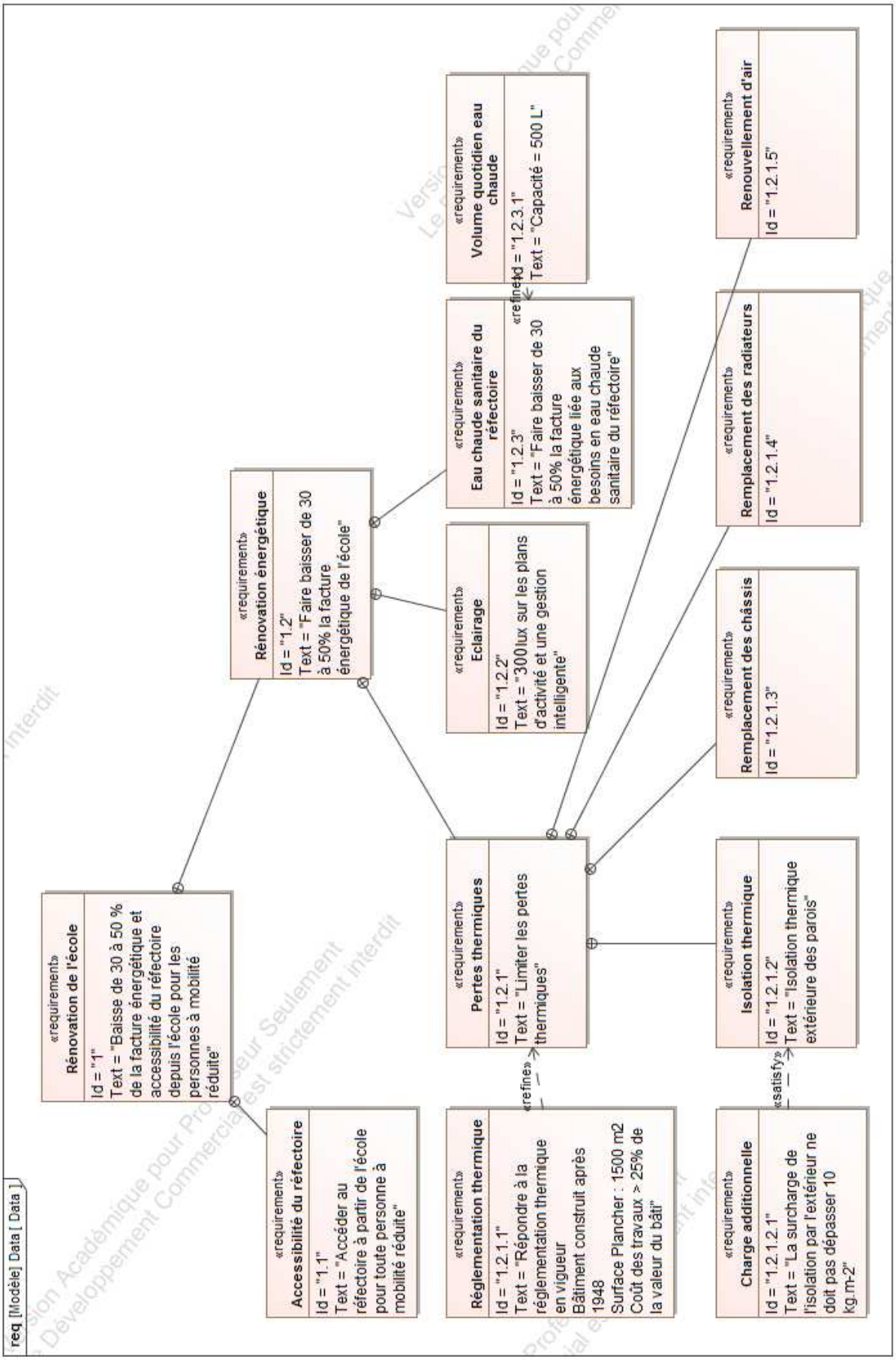
On estime qu'une gestion intelligente du bâtiment peut permettre une économie de 60 % de la consommation d'énergie liée à l'éclairage. Cette gestion tient compte de lumière naturelle ambiante, des horaires d'ouverture et de la présence des usagers.

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.

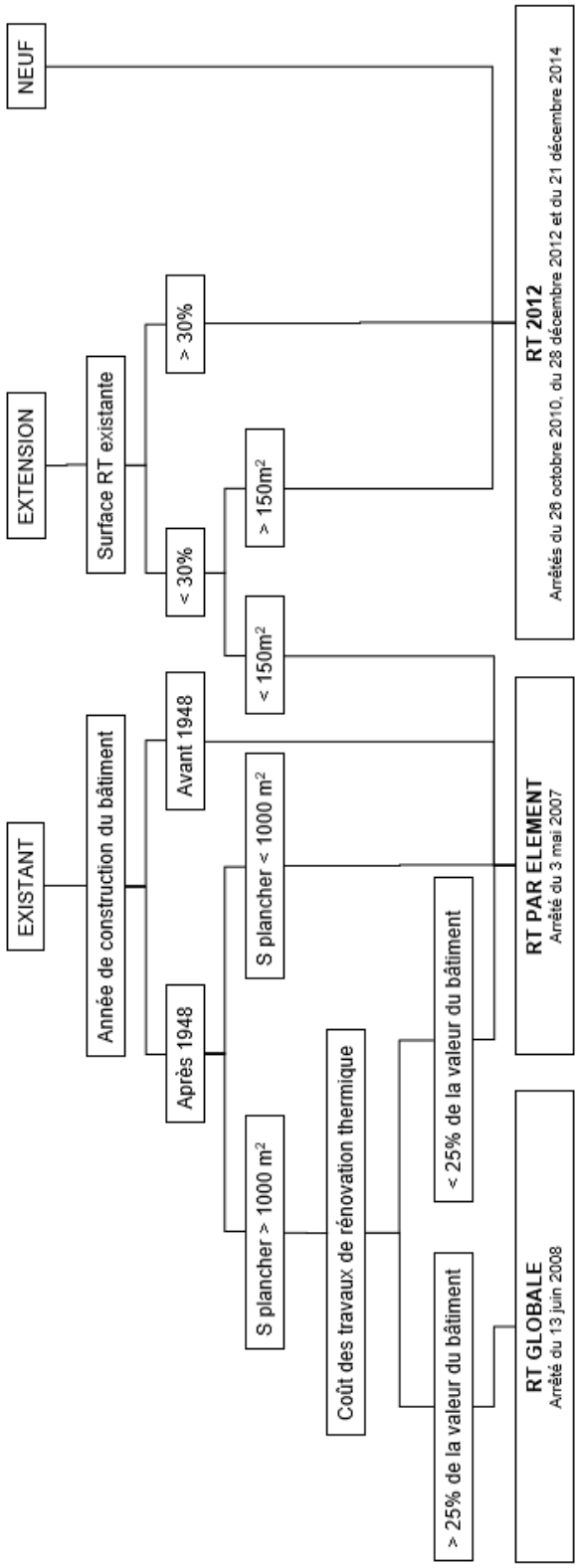
Calculer alors l'économie annuelle réalisée en Euros sachant que le kWh coûte 0,20 €.

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	$R \geq 7.0$	$R \geq 4.5$
Combles aménagés	$R \geq 6.0$	$R \geq 4.0$
Murs	$R \geq 3.7$	$R \geq 2.3^{**}$
Planchers	$R \geq 3.0$	$R \geq 2.3^{***}$
Toiture-terrasse	$R \geq 4.5$	$R \geq 2.5$

** cette valeur dépend du type de mur

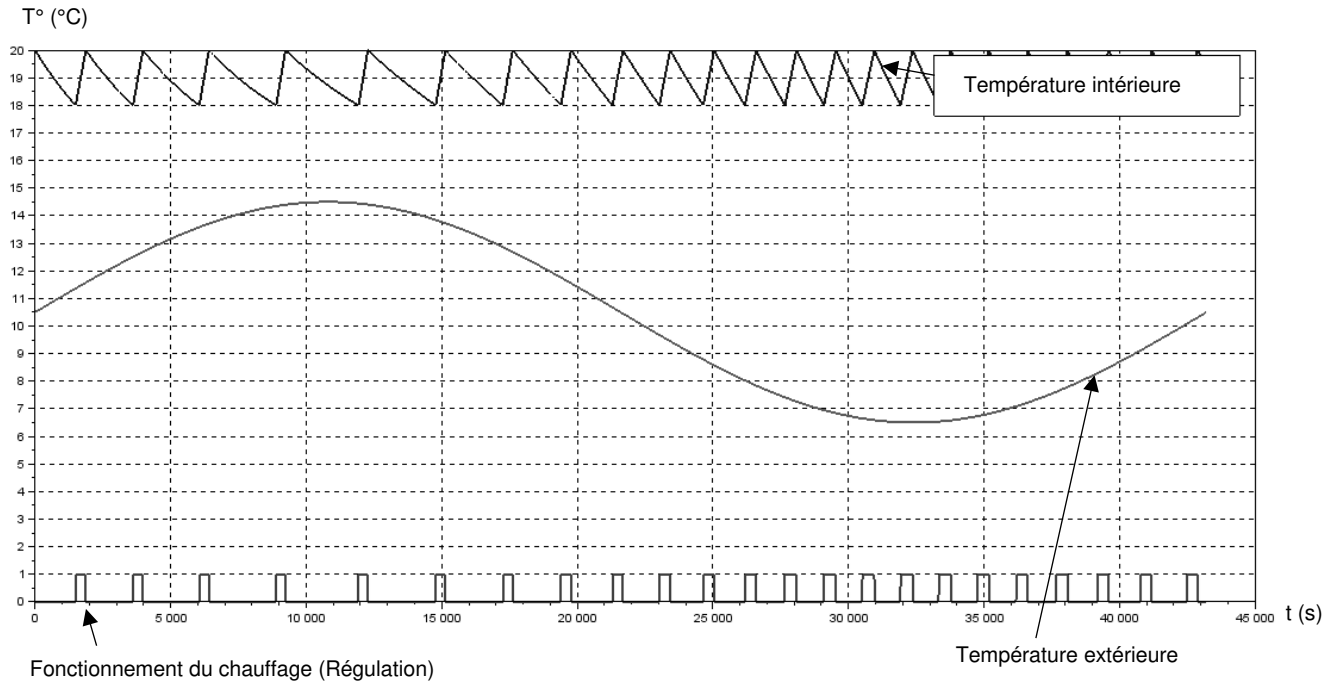
*** cette valeur dépend du type de plancher

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

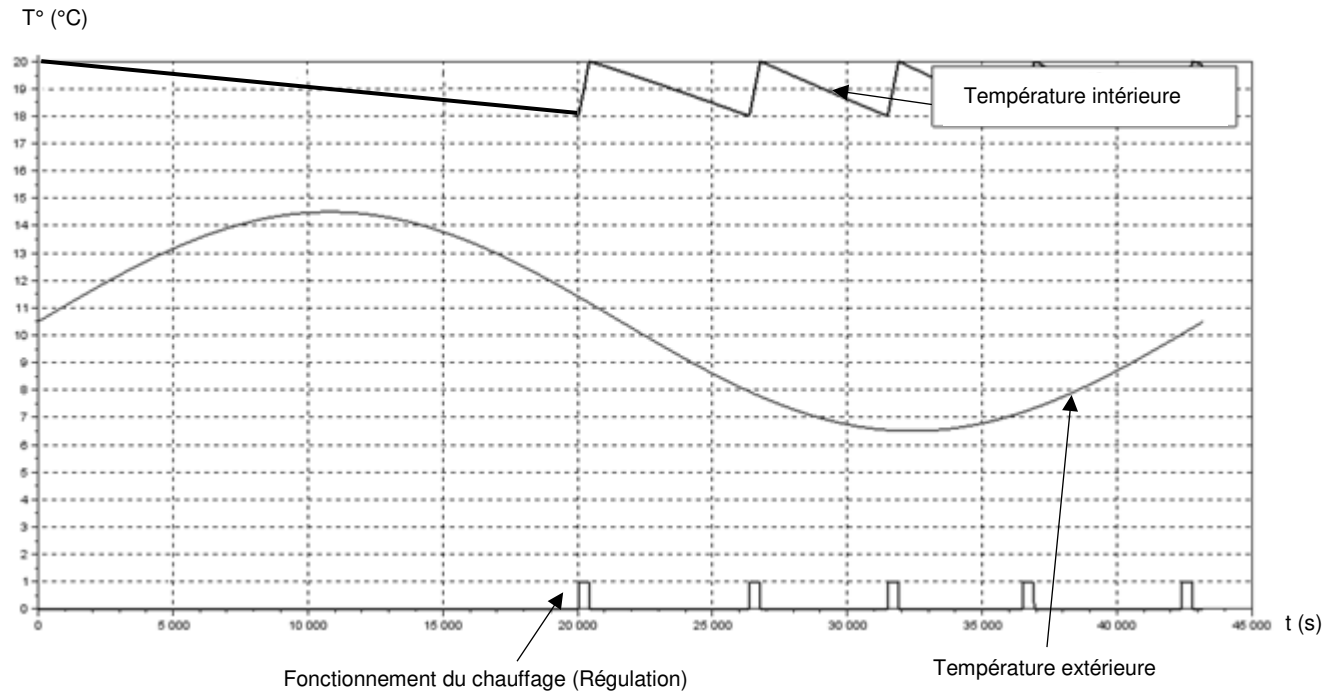
Les simulations ci-dessous sont obtenues pour une variation de la température extérieure comprise entre 6,5°C et 14,5°C : températures moyennes minimales et maximales de la région en hiver.

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 :



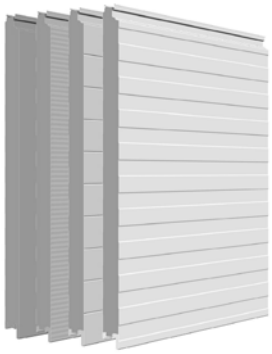
Simulation de la régulation de chauffage après rénovation :



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

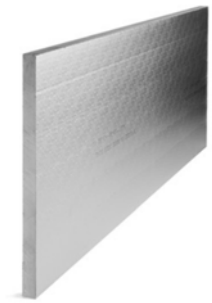


Conductivité thermique :
λ de 0,043 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

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

Impact environnemental	Unité	Valeur sur UF
Consommation ressources énergétiques primaires totales	MJ	1021,7
Epuisement 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

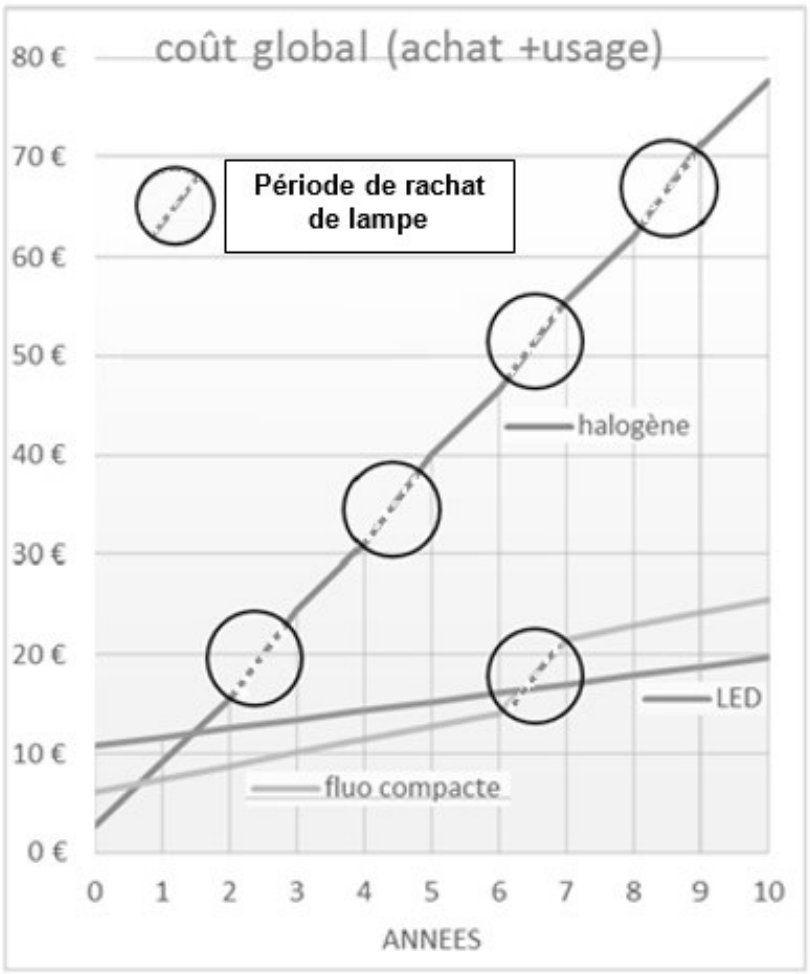


Conductivité thermique :
λ de 0,022 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

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

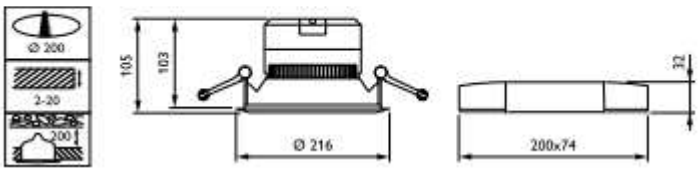
Dimensions (hauteur x largeur x profondeur)	108 x 0 x 0 mm (4.3 x 0 x 0 in)

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

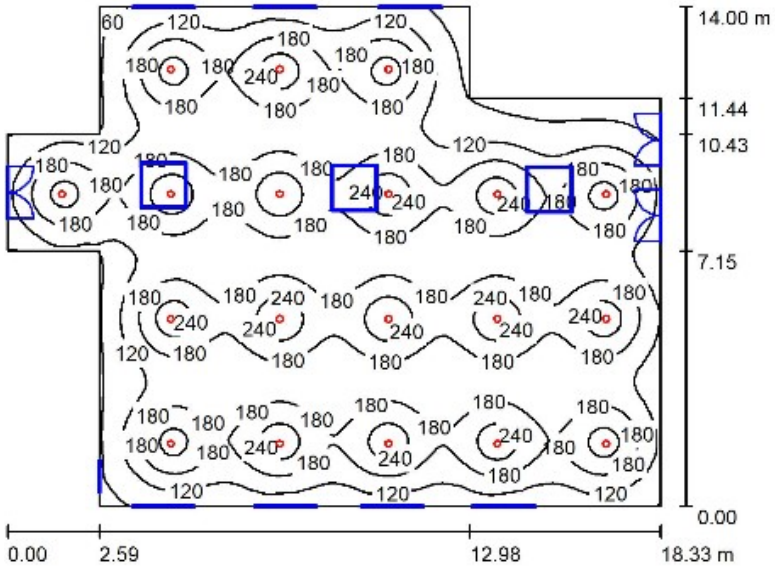
Conditions d'utilisation	
Plage de températures ambiantes	-20 à +40 °C
Performance Température Ambiante Tq	25 °C
Niveau de gradation maximal	1%
Convient à une commutation aléatoire	Oui



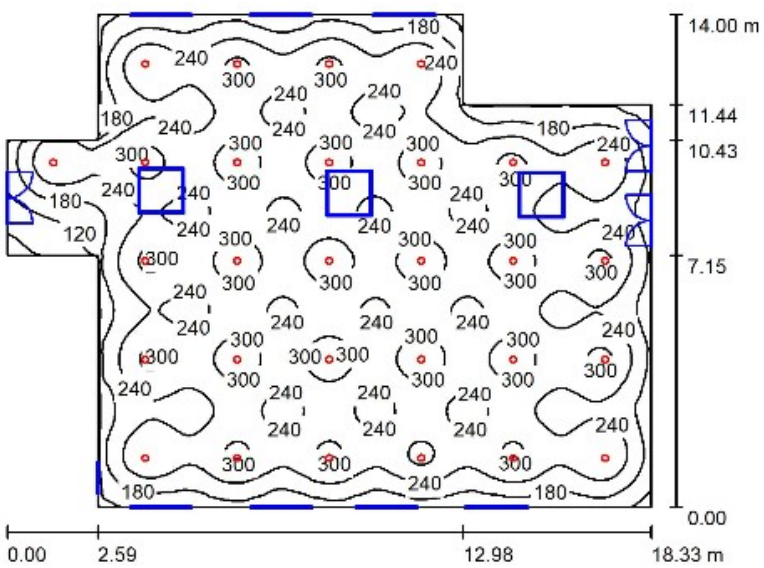
DT10 : simulations avec Dialux

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

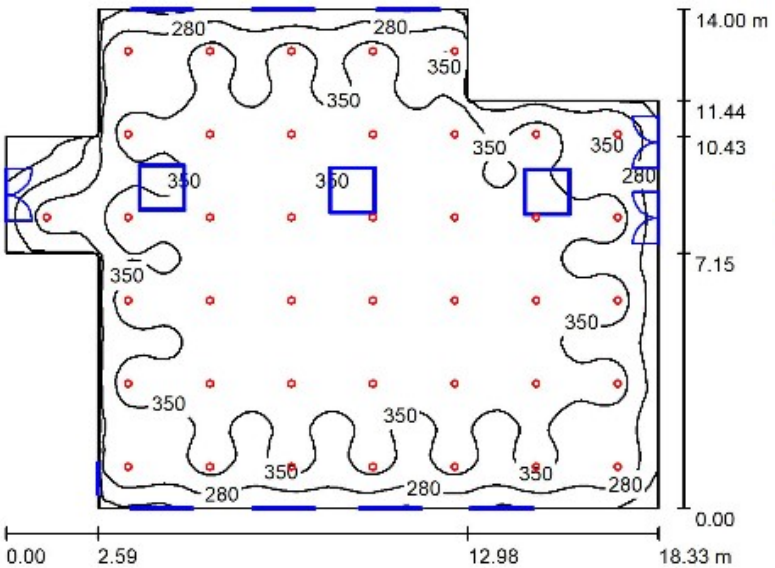
Implantation 1
(19 luminaires)



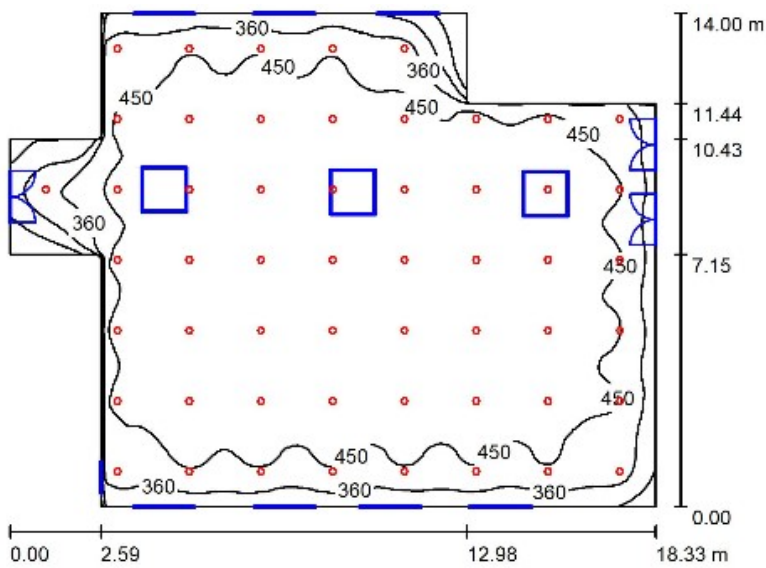
Implantation 2
(29 luminaires)



Implantation 3
(41 luminaires)



Implantation 4
(54 luminaires)



DR1 : caractéristiques thermiques d'une salle de classe

Composition de la paroi verticale existante :

Composants	Èpaisseur (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	Èpaisseur (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 : / /

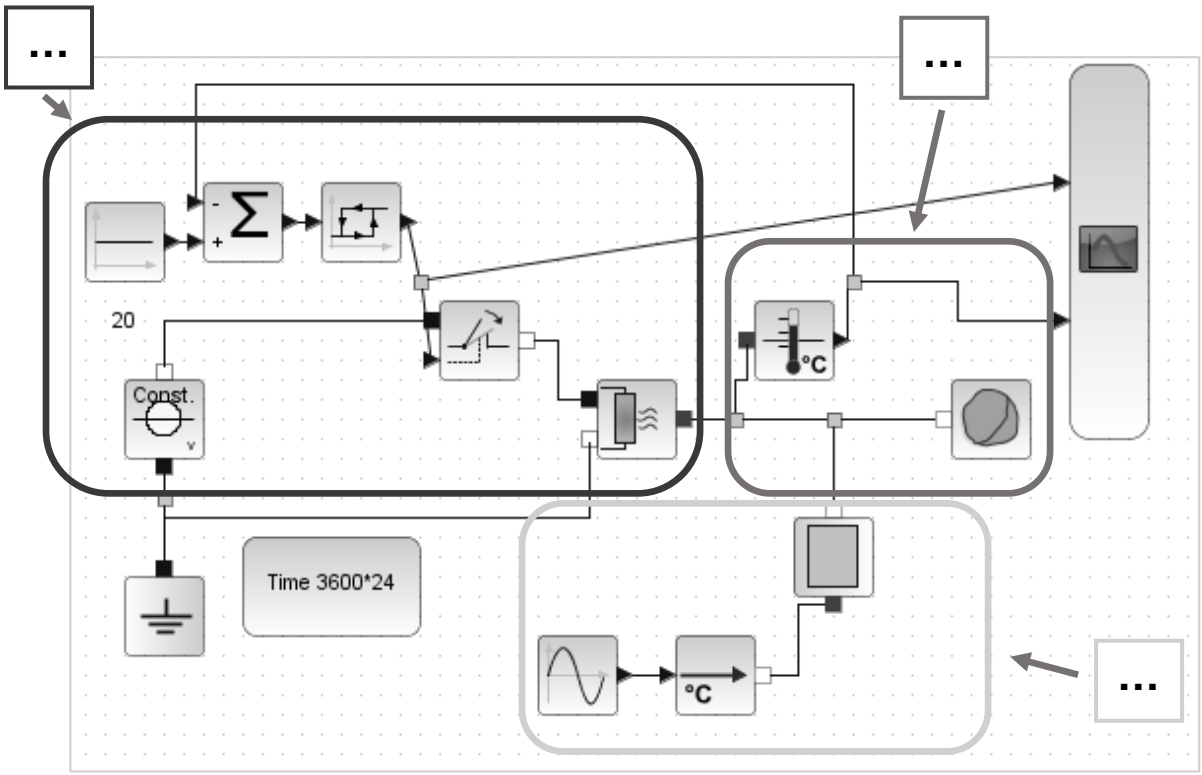
1.2

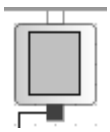
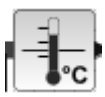
Question 1.6

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)

ÉNERGIE ENVIRONNEMENT

Des calories pour la restauration



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 22 à 24
- **Documents techniques**..... pages 26 à 32
- **Documents réponses** ..... pages 33 à 35

Mise en situation

Pour répondre aux exigences du cahier des charges de la rénovation de l'école Charles de Gaulle, il est nécessaire d'étudier la possibilité d'installer un ballon d'eau chaude sanitaire solaire pour la cuisine de restauration scolaire.

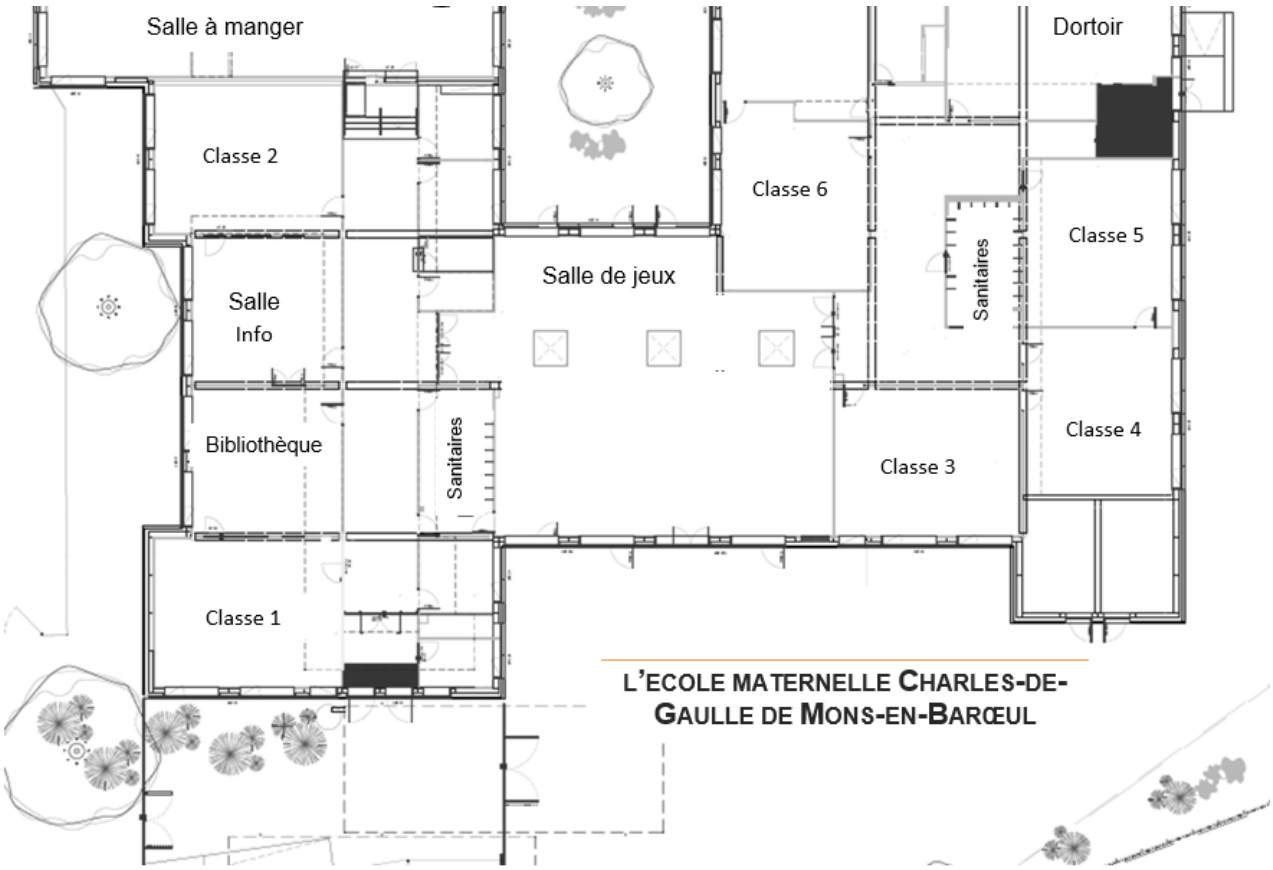


Figure 1 : plan de situation

Travail demandé

Partie A : comment produire de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire ?

Objectif : dimensionner une installation de panneaux solaires pour la production d'eau chaude à partir d'une simulation numérique.

L'eau chaude sanitaire qui sera produite grâce au système solaire servira exclusivement au réfectoire. Les repas pour les 120 élèves fréquentant la cantine sont fournis par une centrale de préparation. Le personnel de l'école se charge de réchauffer les plats servis. Un seul service a lieu chaque journée d'ouverture.

Question A.1 DTS2	À partir du DTS1, **déterminer** les besoins en eau chaude par repas servi puis **calculer** les besoins journaliers pour le restaurant scolaire. À partir du DTS2 , **choisir** le réservoir de stockage d'eau chaude approprié et le nombre de capteurs adéquats selon la technologie.

Pour la suite de l'étude, on prendra une consommation estimée à 360 litres d'eau chaude sanitaire par jour. La consigne de température est fixée à 60°C.

On donne : $Q = \rho \cdot V \cdot C \cdot \Delta T$

C = 4185 $J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$: Chaleur massique de l'eau,

V : Volume d'eau consommée en m^3,

ΔT : Écart de température en ° C,

Q : Energie thermique en Joules (J).

Rappel : masse volumique de l'eau ρ_{eau} = 1000 $kg \cdot m^{-3}$.

Question A.2	L'eau du réseau est à une température de 10°C. **Calculer** l'énergie thermique à fournir Q (en kJ) pour chauffer à 60°C, la quantité d'eau nécessaire pour la consommation journalière. **Exprimer** cette valeur en kWh (1 kWh = 3 600 kJ). **Déduire** l'énergie annuelle à fournir sachant que le restaurant scolaire fonctionne 5 jours par semaine, 35 semaines par an.

La suite de l'étude vise à choisir un panneau solaire thermique.

Question A.3 DTS4	**Choisir** le panneau solaire qui vous semble le plus performant à partir des courbes de rendement des trois produits présentés sur le DTS4. **Justifier** votre réponse.

Question A.4 DTS3 DRS1	D'après le DTS3, **calculer** le rendement du panneau VITOSOL200 pour un différentiel de température (ΔT) de 10°K. **Reporter** le résultat dans le tableau réponse DRS1.

Les éléments déterminés précédemment vont nous permettre de paramétrer le logiciel de simulation CALSOL, afin de valider le dimensionnement de l'installation.

Le DTS5 explicite les différents paramètres nécessaires au logiciel CALSOL pour le calcul des gains énergétiques.

Question A.5 DTS3, DTS5 DRS2	À partir des DTS3 et DTS5, **compléter** les valeurs de B et K (k_2 étant négligeable) pour le panneau choisi sur le DRS2. Sur le DRS2, **entourer** en bleu les paramètres externes et en vert les paramètres internes du modèle de simulation des panneaux solaires thermiques.

Question A.6 DTS6	À partir du DTS6, **analyser** les résultats de la simulation. **Préciser** les limites de cette simulation.

Partie B : comment piloter une installation bi-énergie ?

Objectif : justifier le principe du pilotage de l'installation bi-énergie de l'école Charles de Gaulle.

Dans la zone climatique de l'école, le rayonnement solaire est insuffisant pour assurer le chauffage complet de l'eau chaude sanitaire. C'est pourquoi une installation solaire de ce type nécessite l'association d'un autre générateur de chaleur. On parle d'installation bi-énergie. Un synoptique de l'installation est présenté sur le DTS7.

Une telle installation nécessite une régulation de la température de l'eau du ballon avec une gestion des apports d'énergie.

Un réglage en usine permet de limiter la température de l'eau du ballon à 60°C. Ce réglable est possible de 4 à 75°C. Si la température mesurée dépasse la température réglée, le circulateur du circuit solaire est arrêté.

Question B.1 DTS7	À partir du synoptique de l'installation présenté sur le DTS7, **indiquer** la fonction des éléments repérés A,B,C.
Question B.2 DRS4	**Compléter** le diagramme de blocs internes (DRS4) du chauffe-eau bi-énergie en indiquant les énergies mises en œuvre (électrique, mécanique, lumineuse…). **Entourer** en bleu la chaîne de puissance.
Question B.3 DTS7 DRS3	**Compléter** sur le document réponse DRS3, le schéma-bloc dans l'hypothèse du réglage usine et d'une température de l'eau chaude sanitaire égale à 55°C.
Question B.4 DRS4	À partir du DRS4, au regard de la nature des données informationnelles à l'entrée du régulateur, **indiquer** quand il faudra distribuer l'énergie électrique à la résistance.

DTS1 : besoins en eau chaude sanitaire en collectivité.

Extrait d'Eau Chaude Solaire Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives – ADEME.

Type d'établissement	Observation	Consommation d'eau à 60°C
Gymnases	Vérifier la nature des sports pratiqués (Football ou rugby : + 50 %)	30 l / utilisateur
Restaurant	Repas ordinaire Repas luxe Petit déjeuner	8 l / repas 12 à 20 l / repas 2 l / repas
Cantine	Cuisine de réchauffage Repas normal	3 l / repas 5 l / repas
Buanderie	Hôtel 4/5 * Cycle court Cycle automatique	7 l / kg de linge 6 l / kg de linge 5 l / kg de linge

(Source : Calculs pratiques de plomberie sanitaire. Editions Parisiennes)

DTS2 : dimensionnement ballon d'eau chaude sanitaire et choix des capteurs.

Extrait de la notice d'étude VITOSOL de Viessmann.

« Pour obtenir un taux de couverture de 60 %, le volume de stockage total disponible (ballon d'ECS bi-énergie ou ballon de préchauffage) doit être environ 1,5 à 2 fois plus grand que les besoins quotidiens en eau chaude en prenant en compte la température ECS souhaitée ».

BESOINS EN EAU CHAUDE PAR JOUR	VOLUME DE STOCKAGE	CAPTEURS PLATS VITOSOL 100	CAPTEURS A TUBES VITOSOL 200	CAPTEURS A TUBES VITOSOL 300
De 250 à 300 L	300 L	2 x SV1 2 x SH1	1 x 3 m²	1 x 3 m²
De 300 à 350 L	400 L	2 x SV1 2 x SH1	2 x 2 m²	2 x 2 m²
De 350 à 400 L	500 L	3 x SV1 3 x SH1	1 x 2 m² et 1 x 3 m²	1 x 2 m² et 1 x 3 m²

DTS3 : rendement d'un capteur.

L'efficacité d'un capteur dépend de ses caractéristiques thermiques (diminution des pertes) et optiques (augmentation des apports solaires utiles).

Le rendement optique η_0 représente le rendement maximum du capteur lorsque la température du fluide est à température ambiante (pas de pertes thermiques). Ce rendement dépend de trois facteurs :

- le facteur d'absorption de l'absorbeur ;
- le facteur de transmission du vitrage ;
- le facteur de rendement du capteur.

Pour un capteur à tube sous vide, à absorbeur sur cuivre, on peut espérer un rendement de l'ordre de 75 à 85 %.

Les coefficients de déperdition thermique dépendent de la qualité d'isolation des capteurs :

- coefficient linéaire de transfert thermique : k_1 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] ;
- coefficient quadratique de transfert thermique k_2 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$].

Le rendement du capteur est alors donné par la formule suivante :

$$\eta = \eta_0 - k_1 \times \frac{\Delta T}{E_0} - k_2 \times \frac{\Delta T^2}{E_0}$$

Avec :

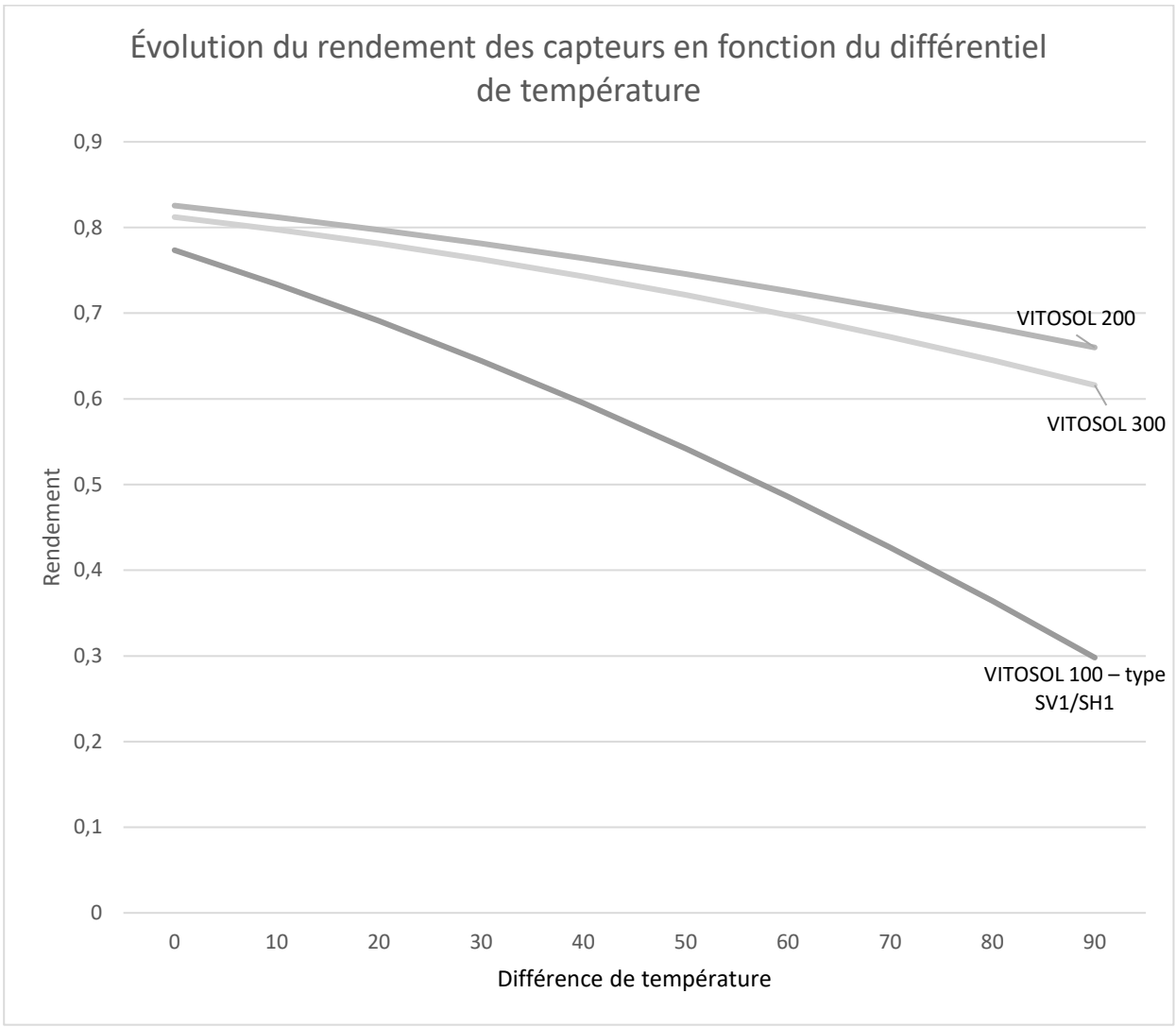
- E_0 : 1 000 $W \cdot m^{-2}$;
- ΔT = T°capt - T°amb.

Rendements des capteurs pour les 3 technologies de panneau Vitosol (Extrait documentation du constructeur - valeurs calculées selon la norme EN 12975).

Type de capteur	Rendement optique (par rapport à la surface de l'absorbeur) η_0 en %	Coefficients de déperditions calorifiques	
		k_1 en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	k_2 en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$
VITOSOL 100 – type SV1/SH1	81	3,48	0,0164
VITOSOL 200	83,8	1,18	0,0066
VITOSOL 300	82,5	1,19	0,009

DTS4 : courbes de rendement des panneaux VITOSOL .

Rendements mesurés (documentation constructeur).

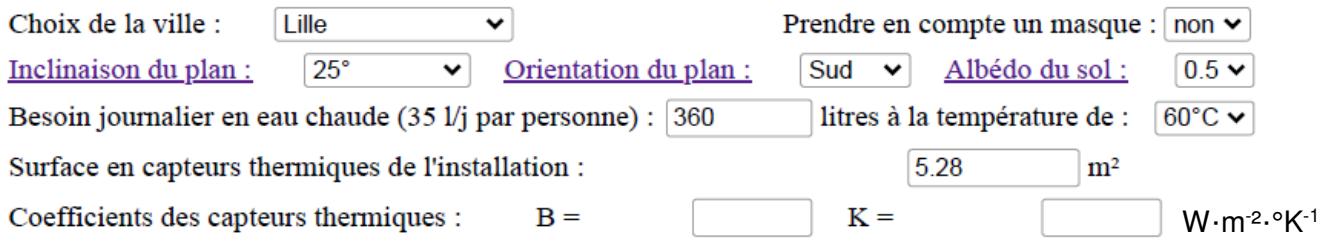


DTS5 : outil CALSOL

CALSOL est un logiciel à vocation pédagogique qui a été développé par l'Institut National de l'Energie Solaire Education pour permettre :

- d'effectuer des évaluations simplifiées d'installations utilisant l'énergie solaire ;
- de fournir une estimation des avantages énergétiques, économiques et environnementaux de celles-ci ;
- de comparer l'influence des variations des paramètres principaux (ensoleillement, surface des capteurs, montage financier…).

Les paramètres ci-dessous doivent être renseignés dans le logiciel pour dimensionner les gains énergétiques et en émissions de CO_2 :



Choix de la ville : emplacement de l'installation.

Prendre en compte un masque : le masque correspond à la zone occultant le soleil. Le masque est créé par le relief, les bâtiments, la végétation ou les éléments proches comme des murs ou des cheminées.

Inclinaison du plan : angle par rapport à l'horizontal.

Orientation du plan : orientation par rapport à la rose des vents. Pour des panneaux orientés au sud, les panneaux font face au soleil lorsque celui-ci est à son zénith.

Albédo du sol : c'est le pouvoir réfléchissant du sol (compris entre 0 et 1).

Besoin journalier en eau chaude : en litres et température de stockage.

Surface en capteurs thermiques de l'installation : c'est la surface ouverte du panneau, en contact avec le rayonnement solaire.

Coefficients des capteurs thermiques :

- B, rendement optique ;
- K, pertes thermiques en $W \cdot m^{-2} \cdot °K^{-1}$.

DTS6 : résultats de la simulation CALSOL

Résultats énergétiques cumulés sur un an :

Calculs thermiques, moyenne par jour ○ ou cumulés sur la durée ◉ COMPARAISONS

-	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
IGP (kWh/m²)	29	47	91	128	157	167	160	141	110	72	35	23	1160
T air (°C)	2.5	3.1	6.2	9.1	12.4	15.4	17.2	17.4	15	10.7	6.3	3.5	9.9
T eau (°C)	6.2	6.5	8.1	9.5	11	13	14	14	13	10	8.1	6.7	10
Besoins (kWh)	697	626	673	633	635	589	596	596	589	648	651	691	7624
Apports (kWh)	77	127	245	346	425	452	437	389	304	198	96	61	3158
Couverture (%)	11.1	20.3	36.5	54.6	66.9	76.8	73.3	65.3	51.7	30.5	14.7	8.9	41.4

Gains en émissions de CO_2 sur un an :

Calculs du gain environnemental

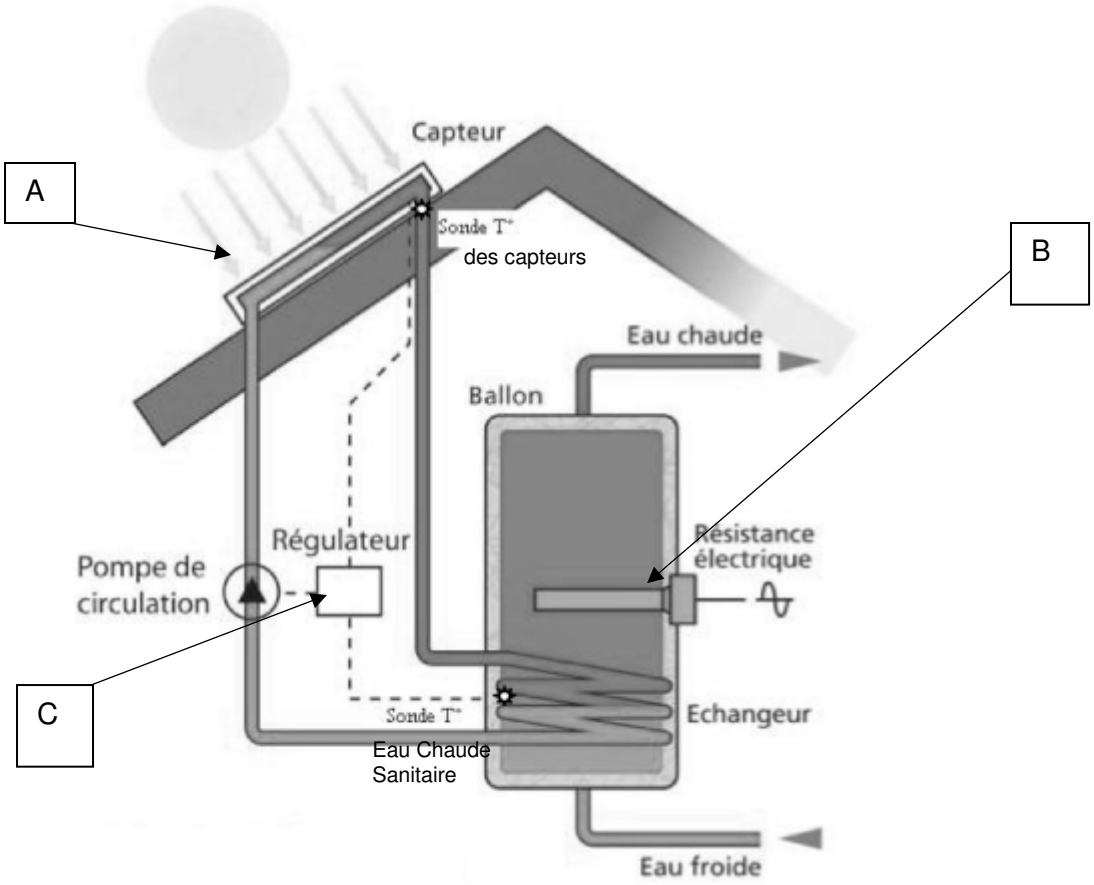
Emission de CO2 évité (moyenne électricité Europe : 0,476 kg/kWh)	1503	kg par an
Emission de CO2 évité (moyenne électricité France : 0,089 kg/kWh)	281	kg par an
Emission de CO2 évité (gaz naturel : 0,203 kg / kWh)	641	kg par an
Emission de CO2 évité (fioul domestique : 0,315 kg / kWh)	995	kg par an

Gains économiques sur un an :

Calculs économiques (par la méthode TEC de B.Chabot/ADEME)

Energie solaire thermique produite par unité de surface de capteurs par an :	598	kWh/m².an
Coût évité sur l'année en énergie d'appoint :	316	€
Temps de Retour Brut (TRB) :	8.4	an(s)
Prix de revient (CGA) du kWh solaire thermique :	0.065	€/kWh
Temps de Retour actualisé (TRA) :	10.8	an(s)
Taux de Rentabilité interne (TRI) :	9.1	%
Gain ou Valeur actuelle nette (VAN) en fin d'exercice :	1665	€
Taux d'enrichissement du capital investi (TEC) :	0.631	(sans unité)
Taux de subventions à l'investissement initial pour une rentabilité nulle :	18.5	%

DTS7 : synoptique d'installation bivalente



PAGE BLANCHE LAISSÉE INTENTIONNELLEMENT.

NE RIEN ÉCRIRE DESSUS.

DOCUMENT RÉPONSES DRS1

Différentiel de températures	0	10	20
VITOSOL200	0.838	.....	0.81176

DOCUMENT RÉPONSES DRS2

Question A.

Extrait du paramétrage CALSOL :

Choix de la ville : Lille — Prendre en compte un masque : non

Inclinaison du plan : 25° — Orientation du plan : Sud — Albédo du sol : 0.5

Besoin journalier en eau chaude (35 l/j par personne) : 360 litres à la température de : 60°C

Surface en capteurs thermiques de l'installation : 5.28 m²

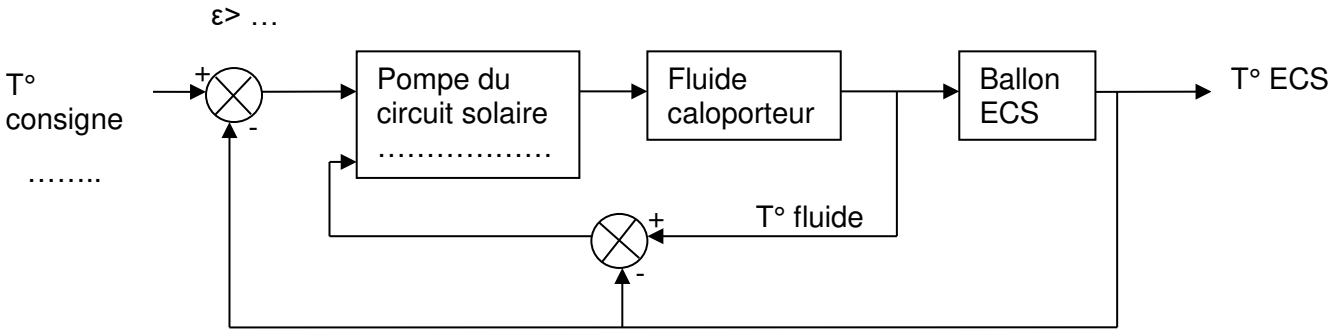
Coefficients des capteurs thermiques : B = K = W/m².°C

DOCUMENT RÉPONSES DRS3

Question B.3

Compléter le champ « Pompe du circuit solaire » par : arrêtée ou activée.

Compléter les deux autres champs par une valeur de température ou d'un écart de température.



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.)

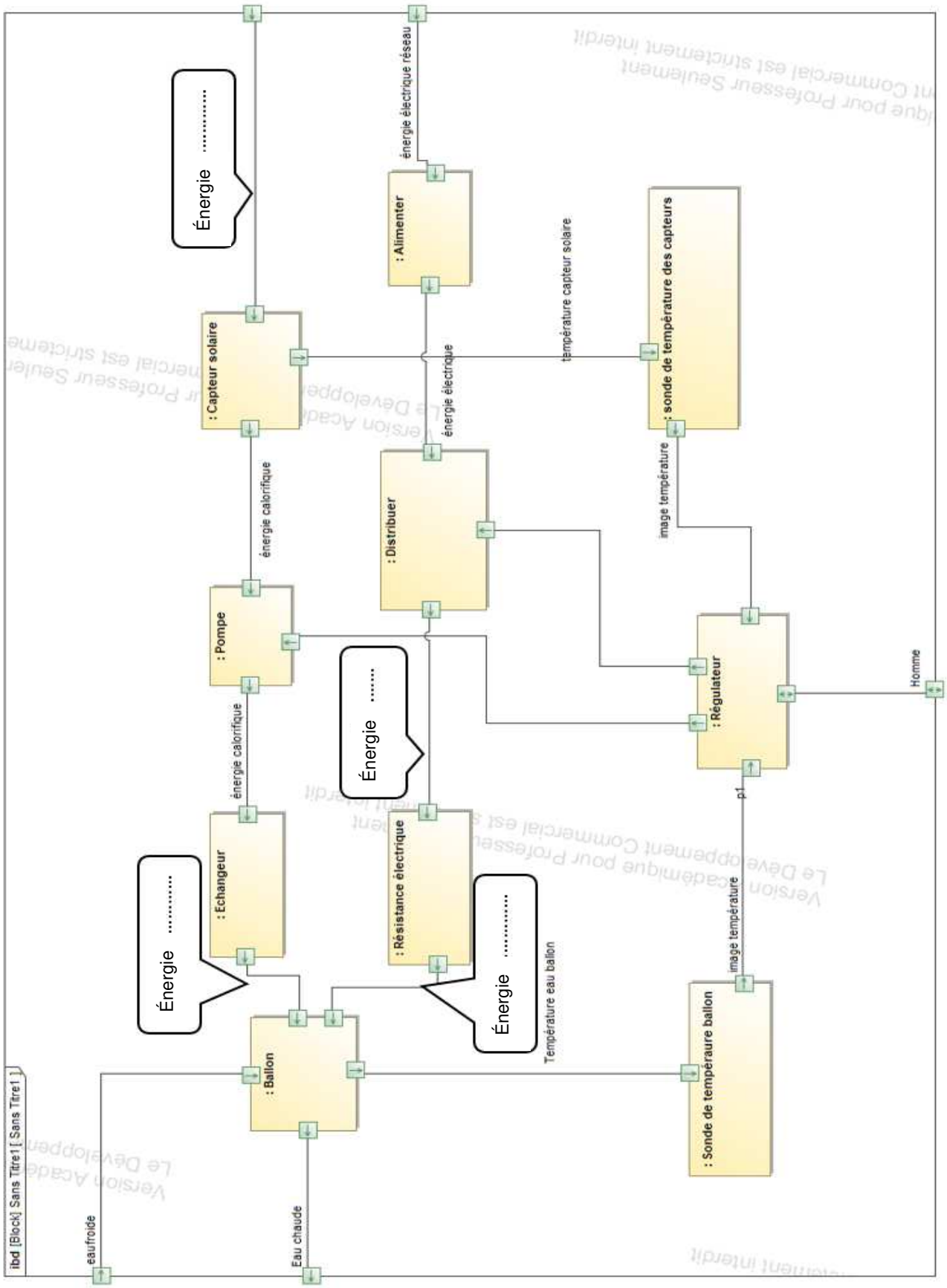
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

DOCUMENT RÉPONSES DRS4

Question B.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

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.