

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, Innovation et Développement Durable
ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

CORRIGÉ

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 collègue » 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)

CORRIGÉ

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



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

- 0 **Présentation de l'étude et questionnaire** pages 3 à 11
- 0 **Documents techniques** pages 12 à 21
- 0 **Documents réponses** pages 22 à 23

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 étant fixé à de plus de 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).

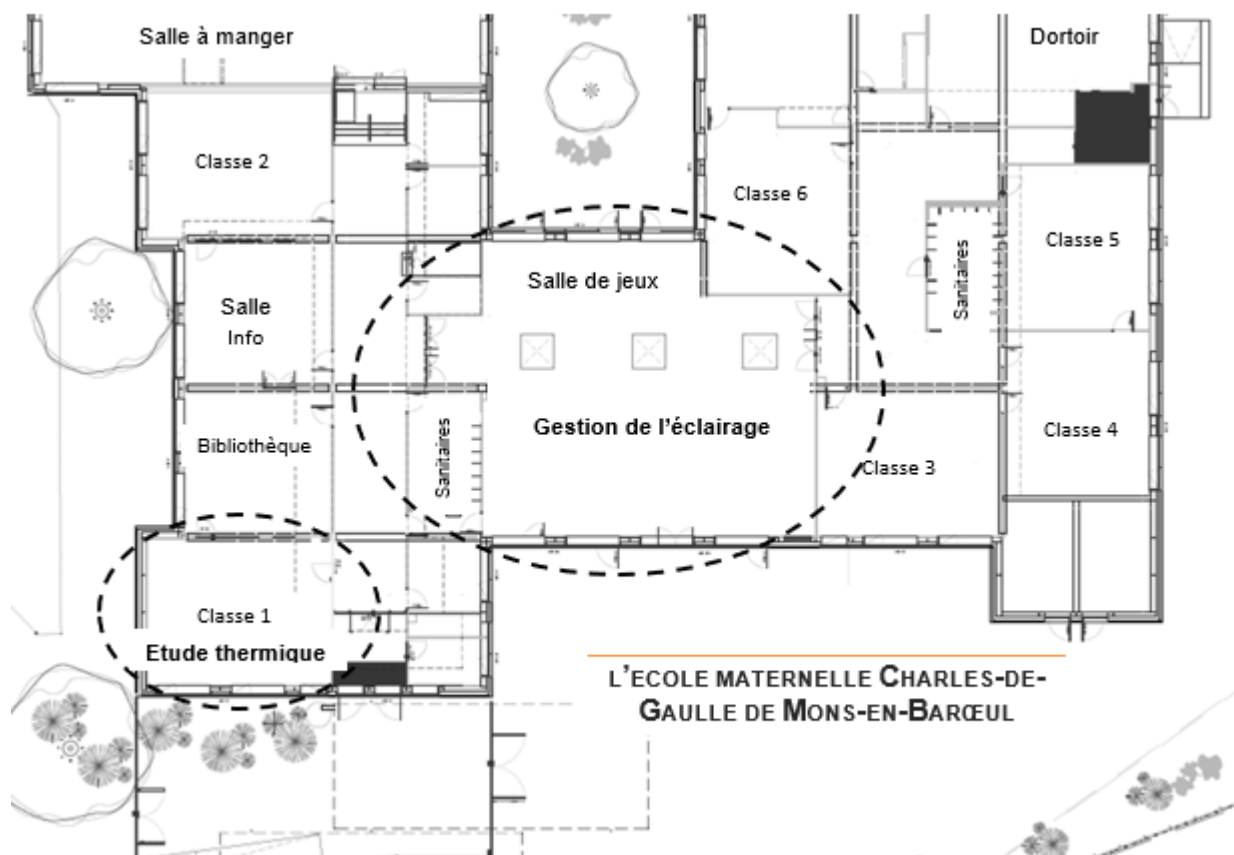


Figure 2 : vue en plan partielle

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 | La rénovation de l'école s'inscrit-elle dans une démarche de développement durable ?

Mise en situation

DT1

3 points

A 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.
- d'un point de vue environnemental : limiter perte thermique
- d'un point de vue sociétal : accès PMR.
- d'un point de vue économique baisse de la facture énergétique.

Question 1.2 | 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.

DT1, DT2

2 points

La réglementation thermique qui s'applique est la RT Globale (arrêté du 13 juin 2008) : D'après les DT1.1 et DT1.2, le bâtiment existant a été construit après 1948, la surface plancher (égale à 1500 m²) est >à 1000 m² et le coût des travaux est >à 25% de la valeur du bâti.

Question 1.3 | À partir des documents techniques DT3, **résumer** les critères d'exigences qui doivent être respectés pour satisfaire la réglementation RT2012 puis à partir du DT4, **justifier** le scénario d'étude thermique qui devra être retenu.

DT3, DT4

3 points

Les critères devant être respectés sont :

- Le besoin bioclimatique Bbio, il caractérise l'efficacité énergétique du bâti ($U_{bat} < U_{bat\ max}$)
- La Consommation en énergie primaire Cep exprimée en kWh_{ep}·m⁻² ($Cep < Cep\ référence$)
- La Tic maximale (température intérieure de confort) ($Tic < Tic\ référence$)
- Des performances minimales (garde-fous) sont également requises pour une série de composants (isolation, ventilation, système de chauffage...).

1 point

A la lecture du DT1.4, le scénario 2 satisfait tous les critères de la RT GLOBALE.

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

3 points

À partir du document DR1, **calculer** les résistances thermiques de chaque composant. **Compléter** le tableau en y indiquant les valeurs trouvées.

Voir document réponses DR1.1 → Utiliser la formule : $R_{\text{composant}} = \frac{e_{\text{comp}}}{\lambda_{\text{comp}}}$

Question 1.5

DR1, DT5

2 points

En déduire la résistance globale R_{therm} de la paroi verticale rénovée. **Compléter** le DR1.

Voir document réponses DR1.1 :

Résistance thermique globale de la paroi verticale rénovée :

$$R_{\text{therm}} = R_i + \frac{e_{\text{béton}}}{\lambda_{\text{béton}}} + \frac{e_{\text{polystyrène}}}{\lambda_{\text{polystyrène}}} + \frac{e_{\text{panneau}}}{\lambda_{\text{panneau}}} + R_e$$

$$R_{\text{therm}} = 0,13 + \frac{0,2}{2,3} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{0,14}{0,022} + 0,04$$

$$R_{\text{therm}} = 7,62 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

2 points

A l'aide du DT5, **vérifier** que la réglementation pour ce projet de rénovation est respectée.

D'après le DT1.5, la réglementation thermique RT 2012 exige une valeur minimale de $2,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ pour les murs, ceci dans le cadre d'une rénovation. La paroi verticale rénovée satisfait très largement cette réglementation (puisque $R_{\text{therm}} = 7,62 \gg 2,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$).

On utilise la valeur calculée précédemment pour paramétrer le modèle d'évolution de la température intérieure de la salle de classe 1. Il s'agira 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

3 points

Sur le DR2, **positionner** sur le modèle de simulation, les blocs A, B et C au regard de leur description.

Voir document réponses DR1.2

2 points

Indiquer dans le tableau le type des variables (interne ou externe) associées aux composants.

Voir document réponses DR1.2

Question 1.7	À la lecture du DT6, commenter les résultats des simulations de la régulation du chauffage <u>avant et après</u> rénovation.
DT4, DT6	
1 point	A la lecture du DT6, on observe <u>qu'après rénovation</u> : • La température intérieure (entre 18 et 20°C) diminue bien moins rapidement. • Le chauffage en régulation se déclenche 4,6 fois moins souvent (23 fois avant rénovation contre seulement 5 fois après rénovation sur une période de 12 h).
	La puissance installée des radiateurs est inchangée.
	A l'aide du DT1.6, calculer le rapport « R_t » des temps de fonctionnement du chauffage : $R_t = t_{\text{avant rénovation}} / t_{\text{après rénovation}}$.
	Temps avant rénovation : 23 impulsions x 305 / Temps après rénovation / 5 impulsions x 305
2 points	Le rapport de temps de chauffage est donc de 4,6.
	A l'aide du DT1.4, calculer le rapport « R_c » des consommations en énergie primaire : $R_c = E_{\text{avant rénovation}} / E_{\text{après rénovation}}$.
2 points	Sur le DT4 - scénario 2, on observe que la consommation d'énergie primaire en chauffage est initialement de 188,176 kWhep.m ⁻² et le projet de rénovation prévoit une Cep de 53,841 kWhep.m ⁻² , soit 3,5 fois moins de dépenses énergétiques sur ce poste.
2 points	Analyser les écarts entre R_t et R_c et identifier les hypothèses simplificatrices retenues pour le modèle proposé. Les écarts peuvent s'expliquer par une modélisation des déperditions de chaleur par les parois extérieures rénovées uniquement (pas de modélisation des déperditions en planchers, toiture ou huisseries) et un modèle climatique plus complet pour l'étude thermique menée par le bureau d'études. Les hypothèses simplificatrices sont ainsi la modélisation des déperditions de chaleur par les parois extérieures uniquement et une variation moyenne de la température annuelle.

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	En vous référant aux performances des matériaux du DT1.7 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.
DT1, DT7	
3 points	le panneau en mousse rigide a une masse surfacique de 4,48 kg.m ⁻² . Elle est 4 fois moins importante que celle du panneau avec une âme de laine de roche et satisfait d'après le DT1, l'exigence de surcharge additionnelle étant inférieure à 10 kg.m ⁻² .

Confirmer ce choix au regard de l'impact environnemental lié au changement climatique et des performances thermiques attendues.

D'après le DT7, L'analyse du cycle de vie montre un impact plus faible du point de vue « changement climatique (7 fois moins d'émission de CO2)

De plus, sa conductivité thermique est 2 fois plus petite.

Question 1.9

DT1

2 points

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.

Le panneau de bardage retenu en mousse rigide a un impact moindre que d'autres solutions sur le critère « changement climatique ».

D'après la simulation, le panneau isolant retenu permettra d'atteindre les performances énergétiques souhaitées (diminution des consommations, y compris en matière de chauffage et ainsi presque 50% de gain sur la facture d'énergie). Il faudrait affiner cette modélisation en ajoutant les déperditions par les autres parois (toiture, parois vitrées et planchers).

Partie 2 : L'investissement dans de nouveaux luminaires de technologie LED est-il nécessaire?

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

Avec le remplacement des luminaires à tubes fluorescents existant, 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 LED. Trois puits de lumière naturelle sont également prévus.

Question 1.10
DT8 | **Justifier** à partir du DT8, la pertinence du choix de la technologie LED en fonction de son coût global et de sa durée de vie.

3 points

La technologie LED a la meilleure durée de vie avec plus de 10ans sans devoir racheter de lampe (6 ans pour le fluo compacte et 2 ans pour l'halogène).

Concernant le coût, c'est la courbe qui a le coefficient directeur le plus petit donc le moins de consommation.

Ainsi, malgré le coût légèrement plus élevé à l'achat comparé au fluo compacte, la technologie LED est la plus rentable sur la durée.

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.

2 points

Pour le DN130B utilisé, $\Phi = 2200 \text{ lm}$ et $\alpha = 120^\circ$

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.

2 points

$$\text{Eclairement : } E = \frac{2200 * \cos(\frac{120}{2})}{2.8^2} = 140 \text{ Lux}$$

Question 1.12 | **Calculer** la surface d'éclairement d'un luminaire sur le plan d'activité en utilisant les données de la question précédente.

2 points

Surface d'éclairement :

$$S = 2200/140 = 15,7\text{m}^2$$

Question 1.13
DT1, DT10 | **Comparer** cet éclairage en Lux à l'exigence de confort visuel exprimée dans le DT1. **Conclure** quant au choix de ce modèle.

2 points

D'après le document technique DT1, l'exigence de confort visuel pour cette salle de jeux est de 300 Lux. Le modèle LED choisipour un luminaire (*Philips CoreLine Downlight DN130B*) ne semble pas convenir.

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.

2 points

Calculer le facteur d'insuffisance.

$$\text{Facteur d'insuffisance} = \text{exigence} / E = 300/140 = 2,14$$

3 points

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

Après analyse des différentes simulations Dialux du DT10, **choisir** et **justifier** l'implantation optimale des luminaires pour compenser l'insuffisance et satisfaire l'exigence de confort visuel.

D'après l'analyse des simulations Isolux du DT1.10, les implantations 1 et 2 ne respectent pas l'exigence d'éclairement au centre de la pièce. L'implantation 4 (avec 54 luminaires) la respecte mais est surdimensionnée.

L'implantation optimale est la N°3, ceci en permettant un éclairage quasi uniforme et moyen de 350 Lux dans la salle de jeux.

Question 1.14

2 points

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

Nombre minimal théorique de luminaires :

$$Nb = \frac{215}{s} * \text{Facteur} = 30 \text{ luminaires.}$$

Les anciens tubes fluorescents avaient une efficacité lumineuse d'environ 80 lm·W⁻¹ (lumen par watt).

Question 1.15
DT9

1 points

2 points

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

Efficacité lumineuse du luminaire *Philips CoreLine Downlight* : 107 lm·W⁻¹, d'où un gain (en %) de : $G = (107 / 80) - 1 = 0,3375$, soit 33,75% d'économie énergétique réalisée.

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

2 points

2 points

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.

L'énergie dépensée est :

$$E = P * t = 20,5 \text{ (W)} * 30 \text{ lampes} * 5 \text{ jours} * 10 \text{ h} * 40 \% * 36 \text{ semaines} = 442\,800 \text{ Wh} = 442,8 \text{ kWh}$$

.

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

$$\text{Economie} = 132\text{€} = 0,2 \times 442 \times 0,6 / 0,4$$

Question 1.17
DT1

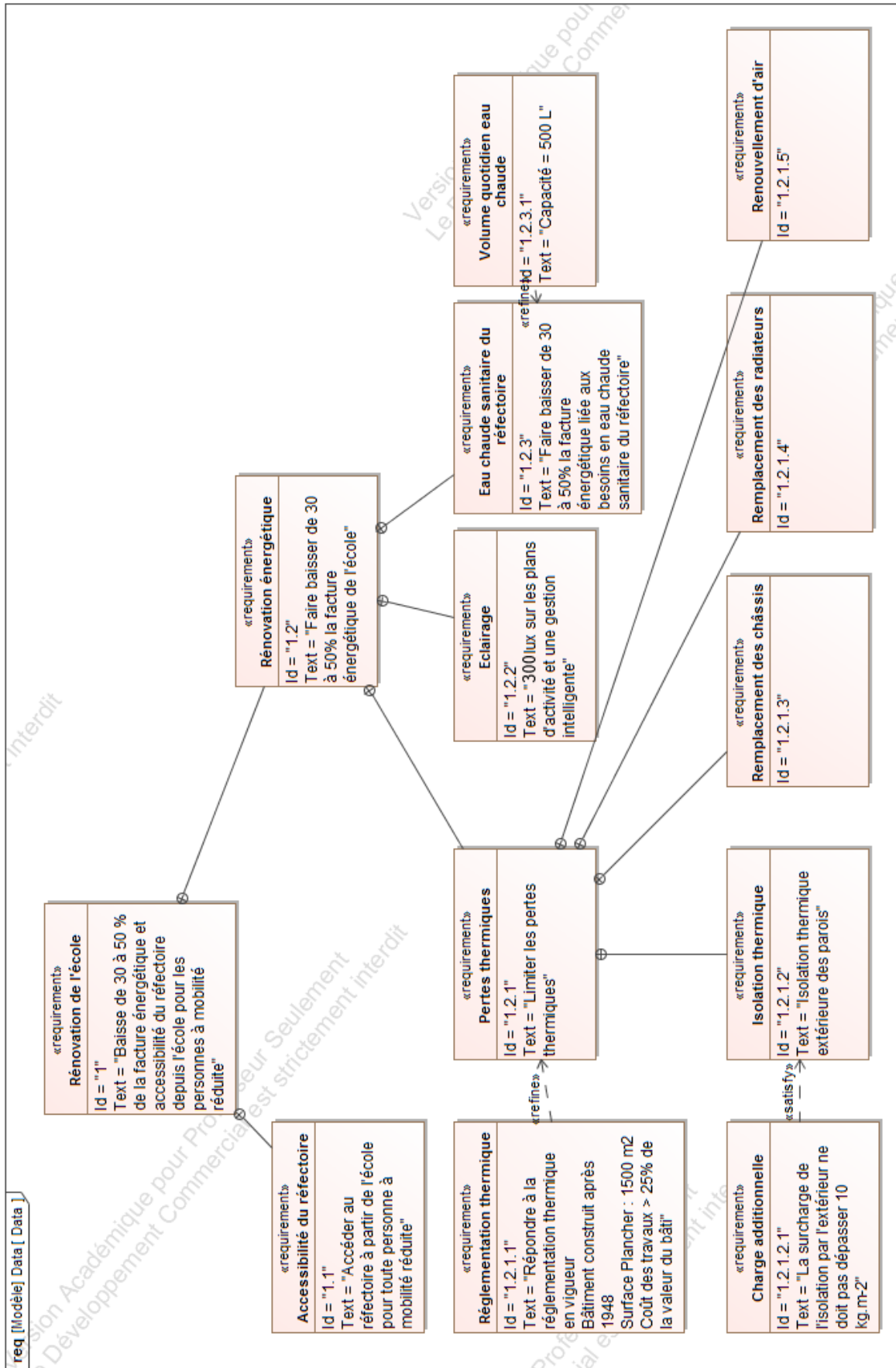
À partir du DT1, **conclure** sur le respect des exigences quant aux choix de la technologie retenue pour l'éclairage et pour sa gestion.

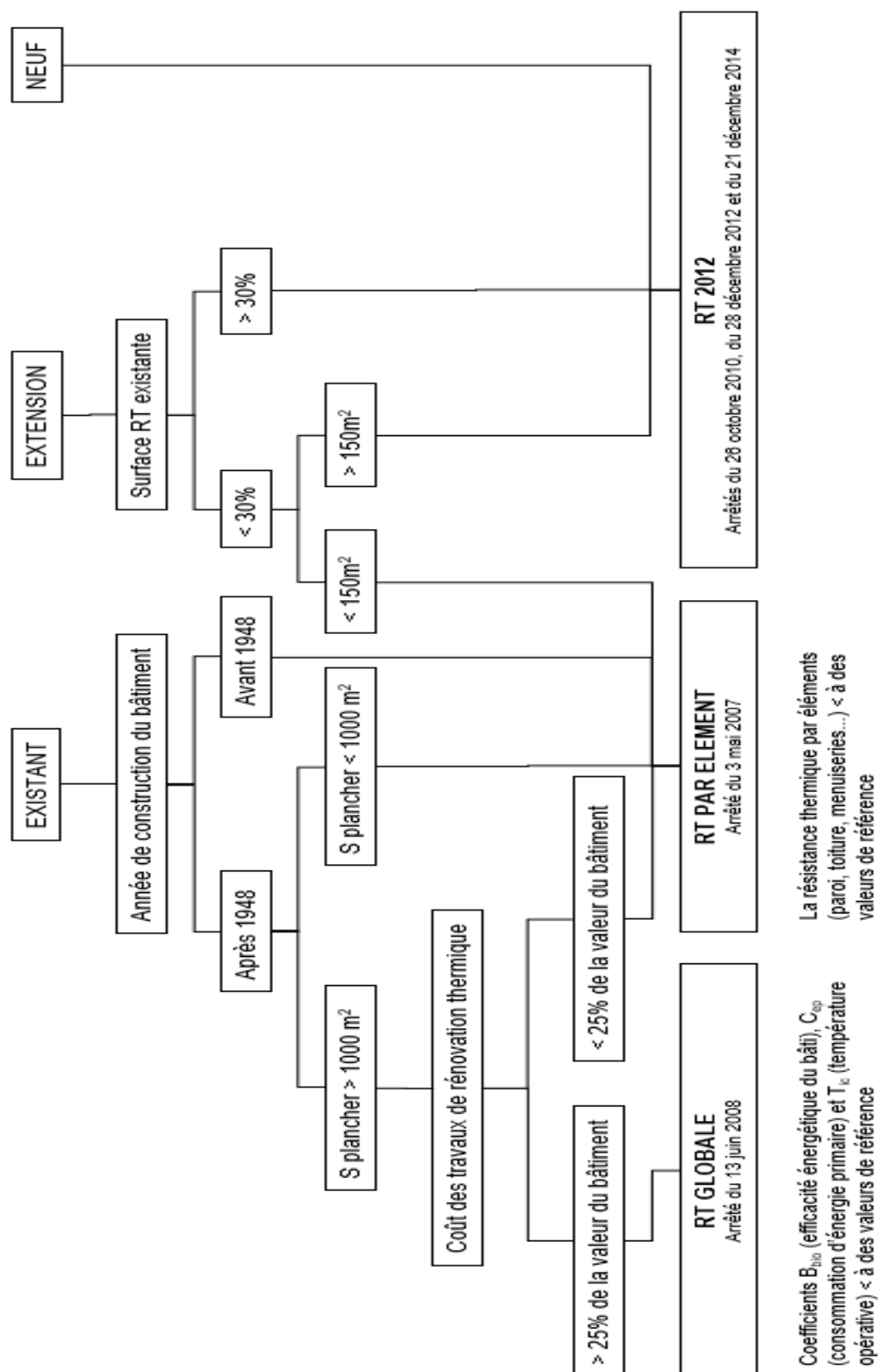
2 points

La technologie LED présente un intérêt sur l'ensemble du cycle de vie des luminaires (consommation – durée de vie) tout en respectant le confort visuel exigé.

Le gain de consommation sera important (près de 35%) et la prise en compte du contexte de fonctionnement, la gestion de l'éclairage (en fonction de l'éclairement naturel) permettent d'obtenir une luminosité constante, adaptée et automatisée.

23-2D2IDEEP01C





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 kWh_{ep}·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)	UBâttréf (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 (Kwhep/m²)	Cepproj (Kwhep/m²)	Cepréf (Kwhep/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/UBâttréf	Gain UBât/UBâtmax
Bâtiment non conforme		32.58 %	-18.57 %	-	7.48 %	38.32 %

Comparatif des consommations en énergie primaire (kWh/m²)

	Chauffage	Refruid.	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)	UBâttréf (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 (Kwhep/m²)	Cepproj (Kwhep/m²)	Cepréf (Kwhep/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/UBâttréf	Gain UBât/UBâtmax
Bâtiment conforme		60.81 %	25.50 %	-	7.48 %	38.32 %

Comparatif des consommations en énergie primaire (kWh/m²)

	Chauffage	Refruid.	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 $50\text{kWh.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ (à moduler suivant les régions) et une isolation respectant des valeurs seuils minimales pour chaque élément. Le tableau ci-dessous récapitule ces valeurs :

Elément	Valeur R par élément (pour une construction neuve et bénéficiaire d'un crédit d'impôt)	Valeur R par élément (pour une rénovation)
<i>Combles perdus</i>	$R \geq 7.0$	$R \geq 4.5$
<i>Combles aménagés</i>	$R \geq 6.0$	$R \geq 4.0$
<i>Murs</i>	$R \geq 3.7$	$R \geq 2.3^{**}$
<i>Planchers</i>	$R \geq 3.0$	$R \geq 2.3^{***}$
<i>Toiture-terrasse</i>	$R \geq 4.5$	$R \geq 2.5$

** cette valeur dépend du type de mur

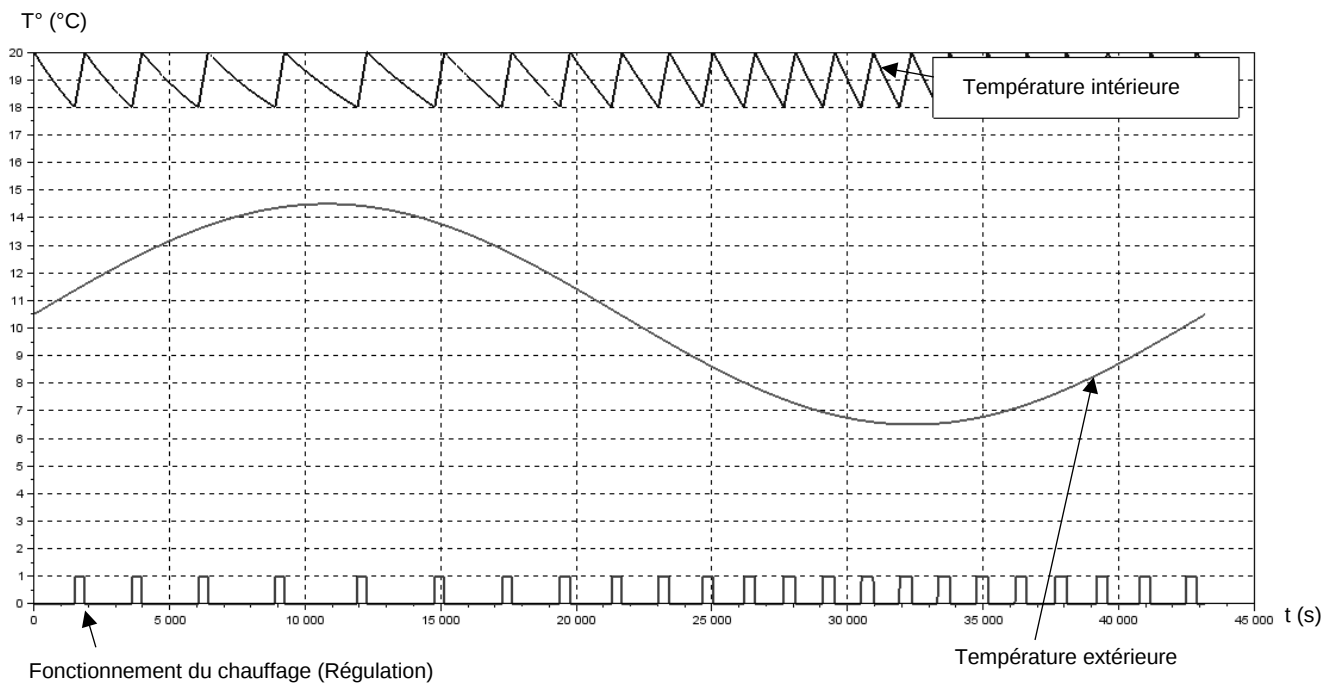
*** cette valeur dépend du type de plancher

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

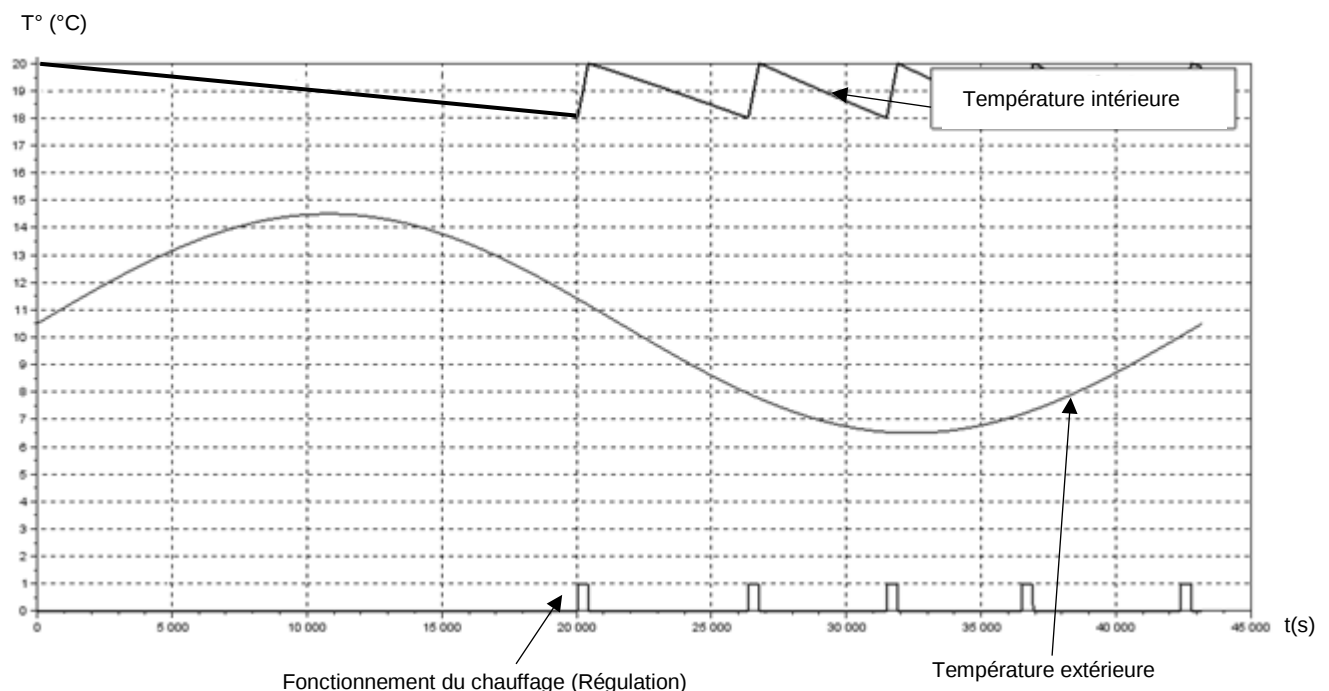
Les simulations ci-dessous sont obtenues pour une variation de la température extérieure comprise entre 6,5°C et 14,5°C : températures moyennes minimales et maximales de la région en hiver.

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 :



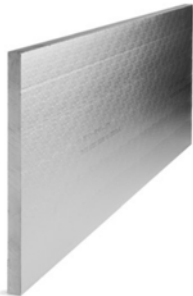
DT7 : Caractéristiques de deux panneaux sandwichs.

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).

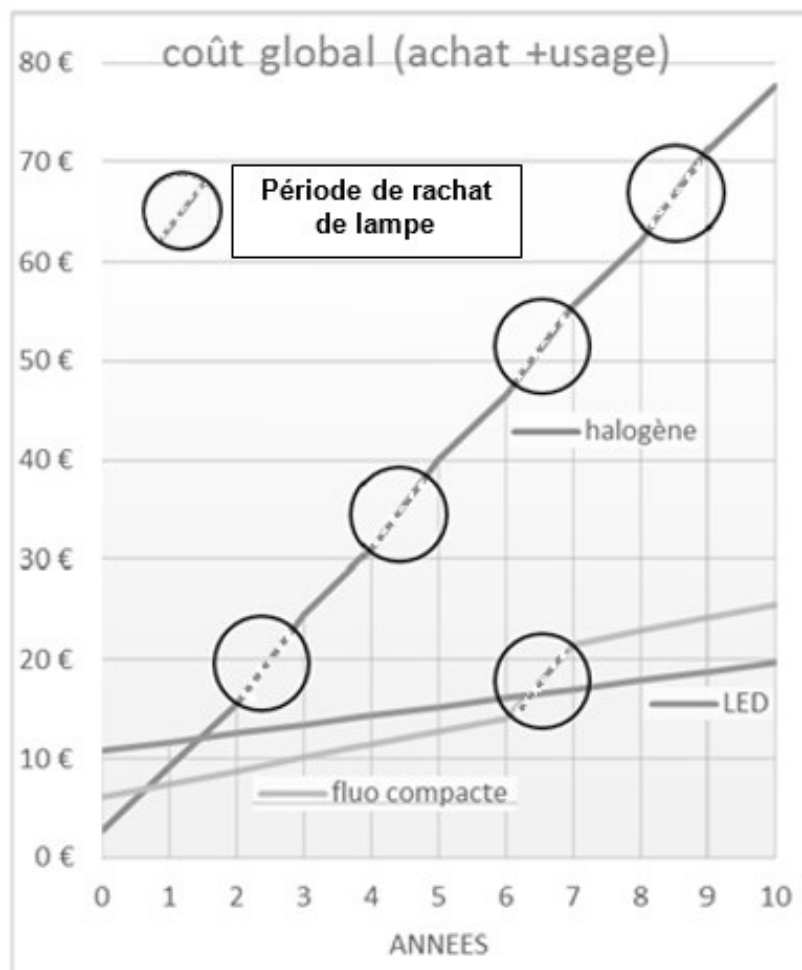
Panneau sandwich de bardage avec une âme laine de roche et deux parements acier

 Conductivité thermique : λ de 0,043 W·m⁻¹·K⁻¹ Masse surfacique : 19,5 kg·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	kg	
	Dangereux		3,2.10 ⁻²
	Non dangereux		26,3
	Radioactifs		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 ₂ H 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·m⁻¹·K⁻¹ Masse surfacique : 4,48 kg·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	kg	
	Dangereux		7,43.10 ⁻¹
	Non dangereux		1,34
	radioactifs		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 ₂ H ₄	2,12.10 ⁻³
	Eutrophisation	kg éq PO ₄ ³⁻	3,11.10 ⁻³

DT8 : Calcul des coûts d'utilisation de lampes.



Calcul des coûts d'utilisation de lampes (LED de 6 watt, équivalente aux anciennes lampes de 60 Watt) – Source ADEME

DT9 : Luminaire à Leds pour la salle de jeux.

CoreLine Downlight

DN140B LED20S/840 PSD-E WR

Coreline Downlight Gen4 - 840 blanc neutre - Alimentation avec interface DALI - Réflecteur blanc - Connecteur à poussoir et soulèvement 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 unité
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

	« 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

Connexion	Connecteur à poussoir et soulèvement 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

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%

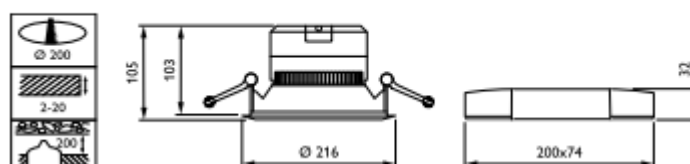
Durées de vie (conforme IEC)

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

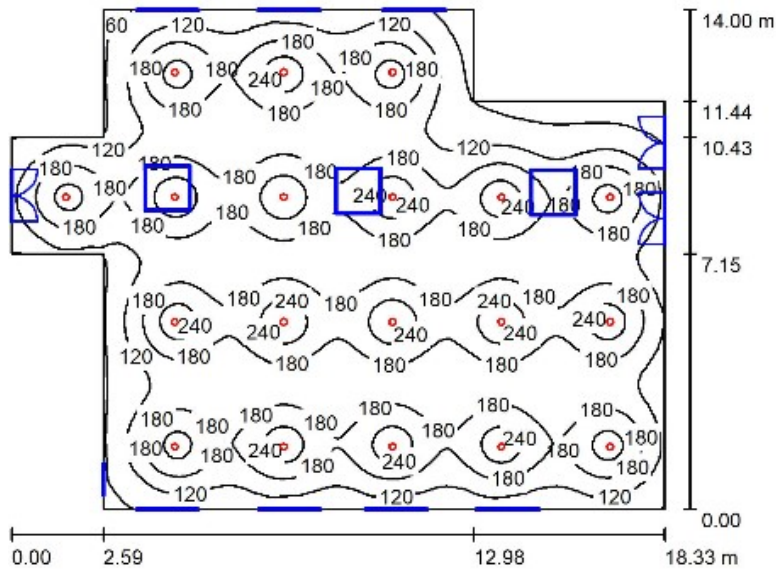
Schéma dimensionnel



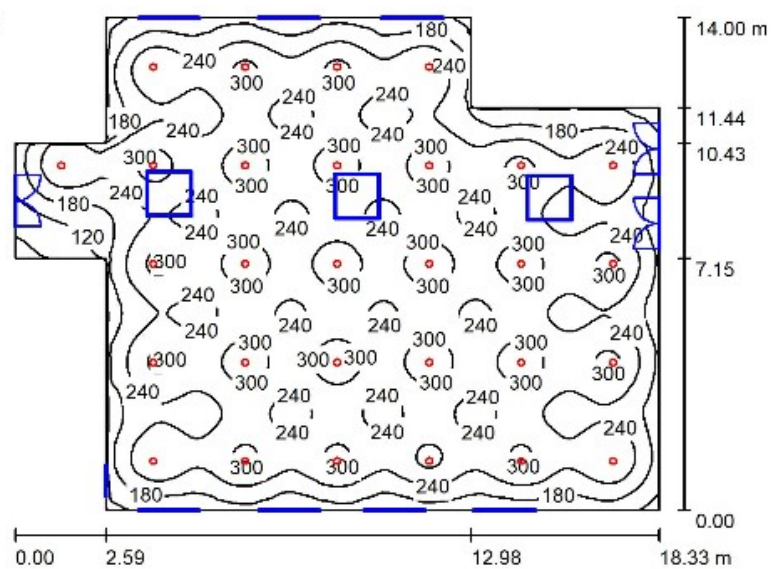
DT10 : Simulations sous Dialux.

Comparaison en courbes Isolux de quatre implantations en nombres différents du luminaire *Philips CoreLine Downlight* employédans la salle de jeux.

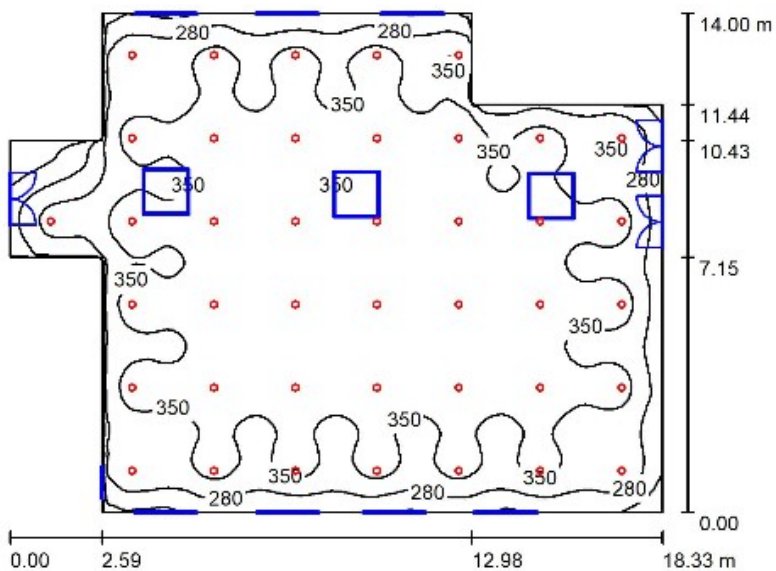
Implantation 1
(19 luminaires)



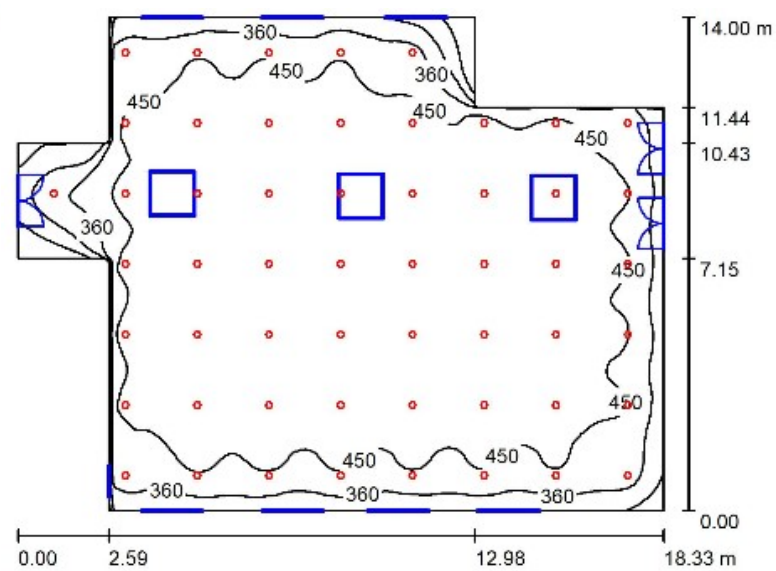
Implantation 2
(29 luminaires)



Implantation 3
(41 luminaires)



Implantation 4
(54 luminaires)



DOCUMENT RÉPONSES DR1 : Caractéristiques thermiques d'une salle de classe.

Composition de la paroi verticale existante :

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

Composition de la paroi verticale rénovée :

Composants	Epaisseur (m)	Conductivité thermique λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Résistance thermique composant ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)
Ri			0,13
Béton plein armé	0,20	2,3	Q1.4... 0,09
Polystyrène expansé	0,05	0,05	Q1.4... 1,00
Panneau sandwich en mousse rigide	0,14	0,022	Q1.4... 6,36
Lame d'air faiblement ventilée*	0,02		
Vêture brique*	0,1		
Re			0,04
		$R_{\text{therm paroi}}$ ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)	Q1.5 7,62

* 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 R_{therm} · [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]

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

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

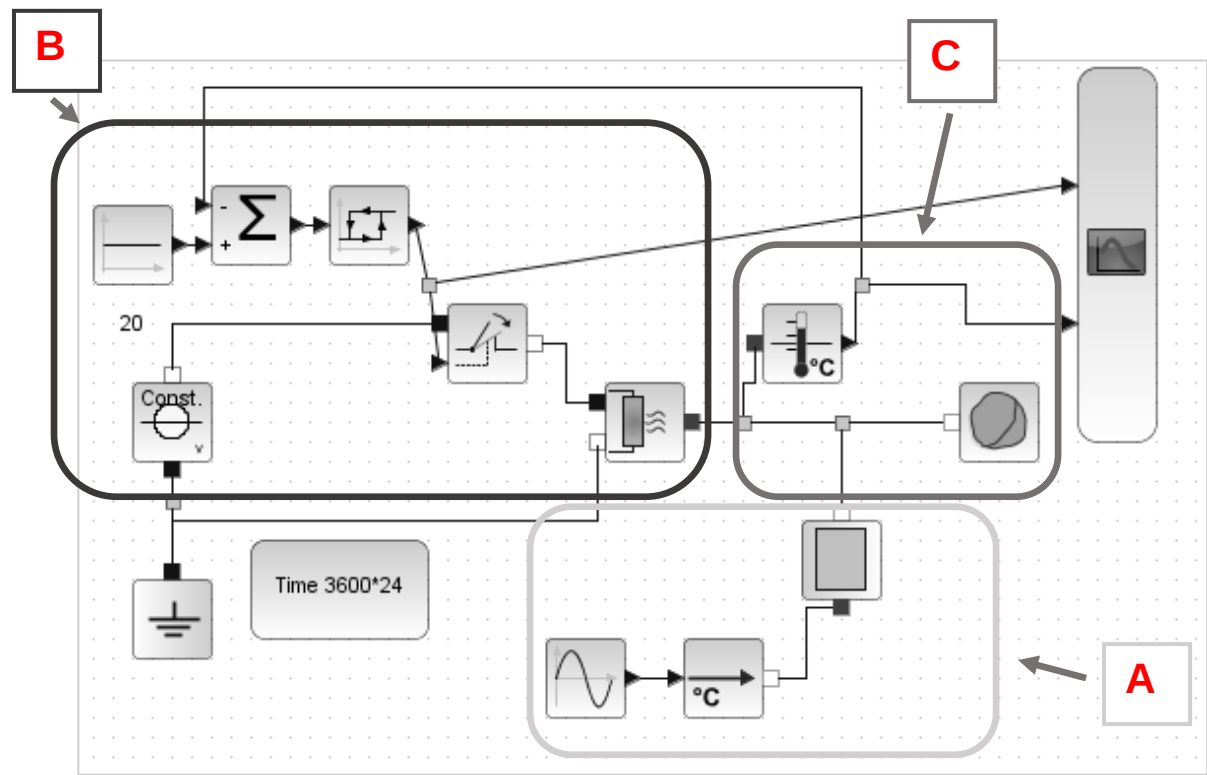
DOCUMENT RÉPONSES DR2

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 17°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...interne.....
	Epaisseur de la paroi	Q1.6...interne.....
	Variations de la température extérieure	Q1.6...externe.....
	Variations de la température intérieure	Q1.6 ...externe.....

PARTIE SPECIFIQUE (8 points)

CORRIGÉ

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Des calories pour la restauration



- o **Présentation de l'étude et questionnaire.....** pages 25 à 28
- o **Documents techniques.....** pages 29 à 34
- o **Documents réponses** pages 35 à 36

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.

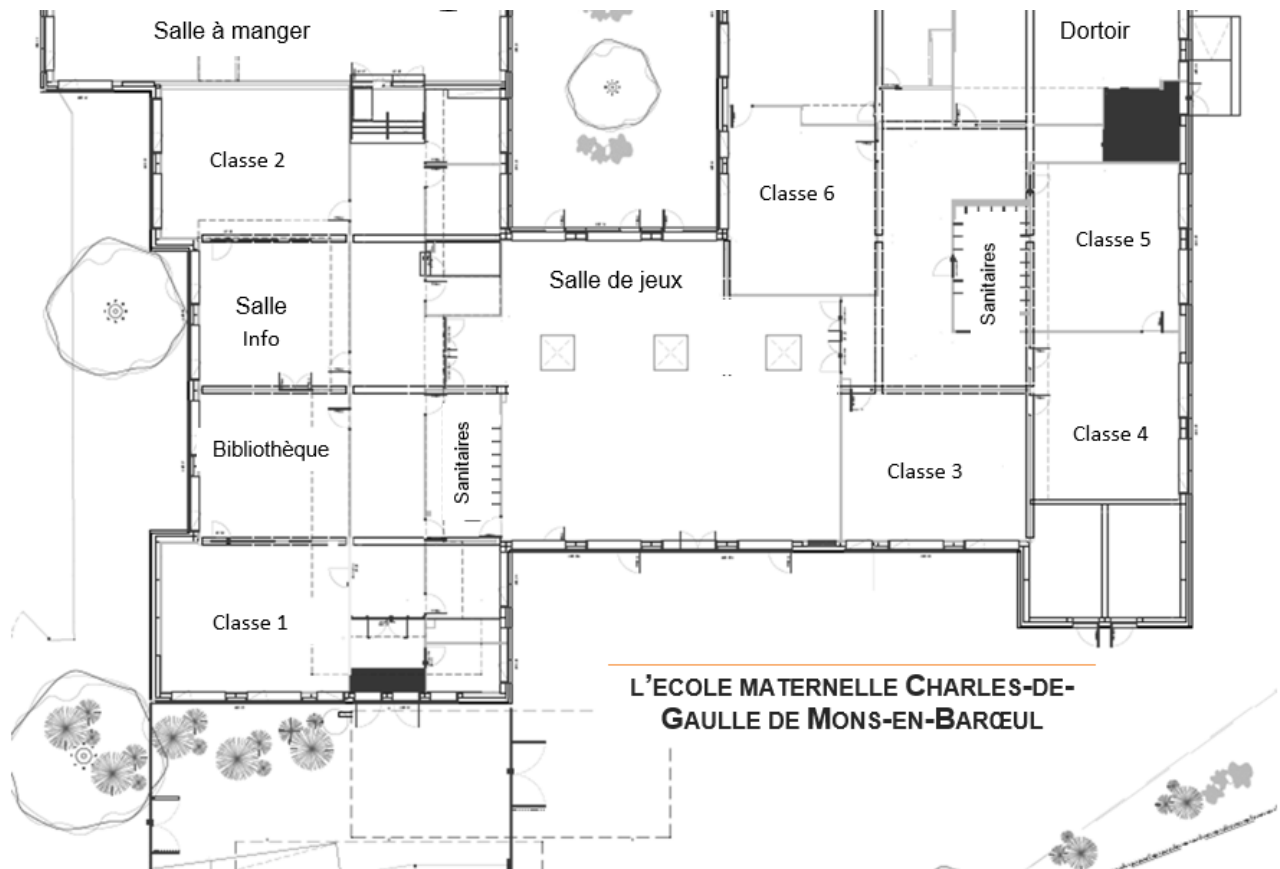


Figure 1 : plan de situation

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

DTS1, DTS2

4 points

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.

3*120 = 360 L journalier en moyenne, soit un réservoir d'une capacité de 500 L.

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

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·Kg⁻¹·K⁻¹ : Chaleur massique de l'eau,

V : Volume d'eau consommée en m³,

ΔT : Écart de température en °C,

Q : Energie thermique en Joules (J).

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

Question A.2

6 points

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.

$$Q = 1000 \times 0,360 \times 4185 \times (60-10) = 75330000 \text{ J} = 75330 \text{ kJ}$$

$$\text{Energie journalière} = 75330/3600 = 20,925 \text{ kWh}$$

$$\text{Energie annuelle} = 20,925 \times 5 \times 35 = 3661,875 \text{ Wh}$$

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

Question A.3

DTS3, DTS4

DRS1

3 points

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.

Le panneau VITOSOL200 a le meilleur rendement quel que soit le différentiel de températures.

Question A.4

DTS3 DRS1

3 points

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.

$$\eta = 0,838 - (1,18 \times 10 / 1000) - (0,0066 \times 10^2 / 1000) = 0,82554$$

Les éléments déterminés précédemment vont nous permettre de paramétrer le logiciel de simulation CALSOL, afin de valider le dimensionnement de l'installation. Le DT2.5 explicite les différents paramètres nécessaires au logiciel CALSOL pour le calcul des gains énergétiques.

Question A.5

DTS3, DTS5

DRS2

3 points

À partir des DTS3 et DTS5, **compléter** les valeurs de B et K (k_2 étant négligeable) pour le panneau choisi sur le DR2.2.

Sur le DR2.2, **entourer** en bleu les paramètres externes et en vert les paramètres internes du modèle de simulation des panneaux solaires thermiques.

Pour le VITOSOL200, choisi à la question A.4, B = 0,84 et K = 1,18 (compte tenu de l'unité seul k_1 est pris en compte).

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

Question A.6

DTS6

4 points

À partir du DTS6, **analyser** les résultats de la simulation

Préciser les limites de cette simulation.

L'installation ainsi dimensionnée couvre 41.4 % des besoins en eau chaude sanitaire. Les besoins calculés par le logiciel (7624 kWh) sont quasiment égaux aux besoins calculés à la question 2.3 (7637 kWh). L'installation permet d'économiser 3158 kWh d'électricité.

L'installation de panneaux solaires thermiques permet également d'éviter l'émission de 281 kg par an de CO₂.

Les limites de la simulation effectuée par CALSOL sont :

- La non prise en compte du masque, c'est-à-dire des obstacles environnants,
- Et la simplification du rendement du panneau à 2 coefficients de capteurs thermiques.

Partie B : comment piloter une installation bi-énergie ?

Objectif : justifier le principe de fonctionnement du pilotage de l'installation de l'école Charles de Gaulle.

Question B.1 | Le DTS8 représente le schéma de la partie chauffage électrique du chauffe-eau bi-énergie.
6 points

Indiquer le nom et la fonction dans la chaîne de puissance des éléments repérés A,B,C

- A : capteur : convertir énergie solaire en énergie thermique
- B : résistance électrique. Convertir énergie électrique en énergie thermique
- C : régulateur : réguler la température du circuit primaire.

Question B.2 | **Compléter** sur le diagramme de blocs internes (DRS3) du chauffe-eau bi-énergie en indiquant les énergies mises en œuvre (électrique, mécanique, lumineuse...).

DRS4

5 points

Entourer en bleu la chaîne de puissance.

(voir DR2.3)

- Avant capteur solaire : énergie solaire
- Après échangeur : énergie calorifique
- Avant résistance : énergie électrique
- Après résistance : énergie calorifique

Question B.3 | **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.

DTS7

DRS3

3 points

- Voir DR2.4

Question B.4 | A partir du DR2.4, au regard de la nature des données informationnelles à l'entrée du régulateur, **indiquer** quand il faudra distribuer l'énergie électrique à la résistance.

3 points

La distribution de l'énergie électrique à la résistance sera commandée par le régulateur quand la température de l'eau sanitaire sera inférieure à la température de consigne et si la température du fluide caloporteur issu du capteur solaire est insuffisante.

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 m ²	1 x 3 m ²
De 300 à 350 l	400 l	2 x SV1 2 x SH1	2 x 2 m ²	2 x 2 m ²
De 350 à 400 l	500 l	3 x SV1 3 x SH1	1 x 2 m ² et 1 x 3 m ²	1 x 2 m ² et 1 x 3 m ²

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

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 :

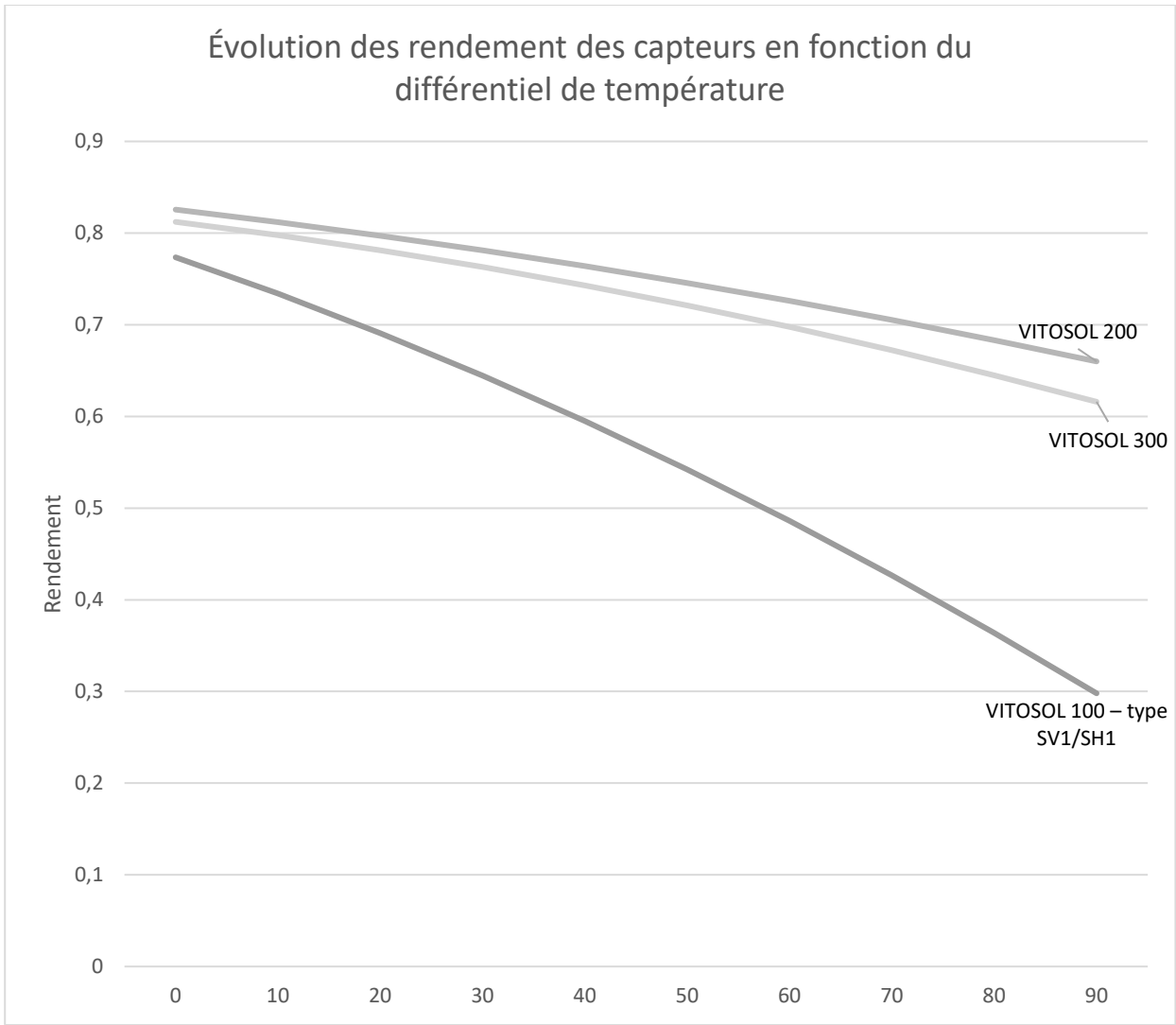
- E_0 : $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- $\Delta T = T^{\circ}\text{capt} - T^{\circ}\text{amb}$.

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 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	k_2 en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$
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 CO₂ :

Choix de la ville : Prendre en compte un masque :

Inclinaison du plan : Orientation du plan : Albédo du sol :

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

Surface en capteurs thermiques de l'installation : m²

Coefficients des capteurs thermiques : B = K = W·m⁻²·°K⁻¹

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·m⁻²·°K⁻¹.

DTS6 : Résultats 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 CO₂ sur un an :

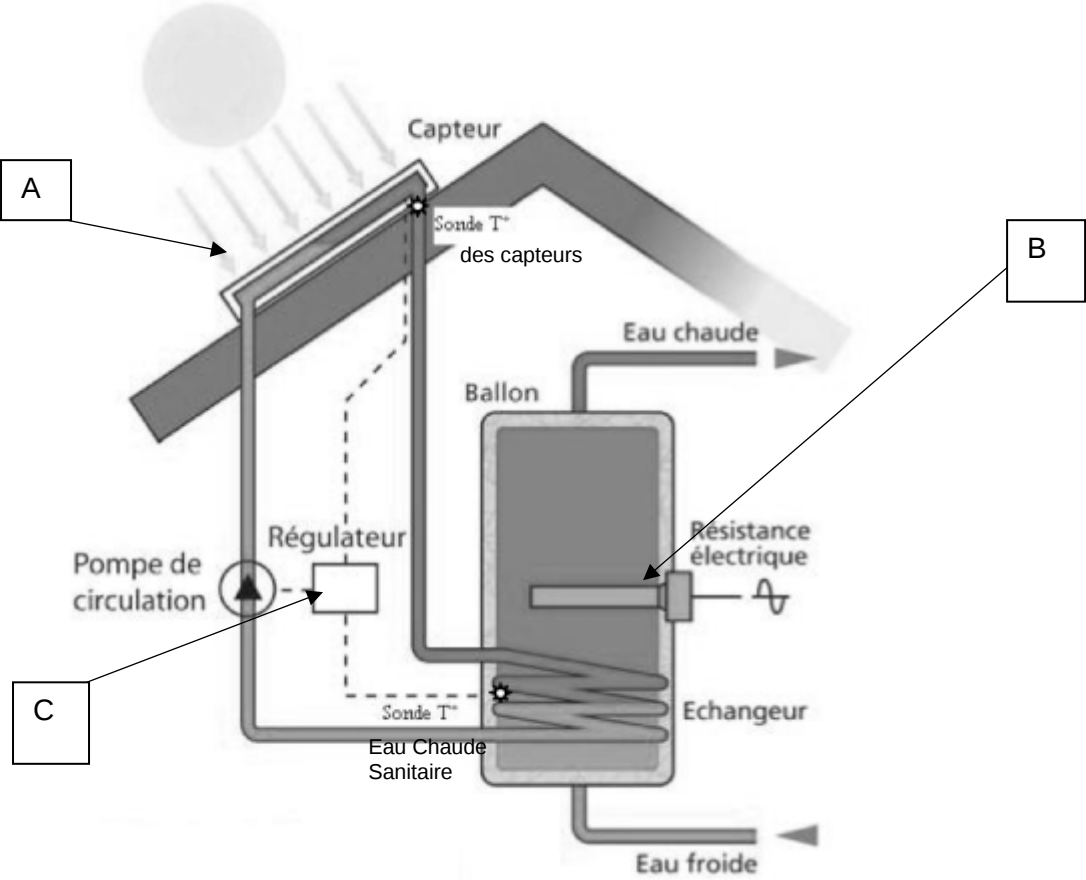
Calculs du gain environnemental

Emission de CO ₂ évité (moyenne électricité Europe : 0,476 kg/kWh)	1503	kg par an
Emission de CO ₂ évité (moyenne électricité France : 0,089 kg/kWh)	281	kg par an
Emission de CO ₂ évité (gaz naturel : 0,203 kg / kWh)	641	kg par an
Emission de CO ₂ 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	%



DOCUMENT REPONSES DRS1

Question A.3

Différentiel de températures	0	10	20
VITOSOL200	0.838	0,82554	0.81176

DOCUMENT REPONSES DRS2

Question A.4

Extrait du paramétrage CALSOL :

Choix de la ville : Prendre en compte un masque :

Inclinaison du plan : Orientation du plan : Albédo du sol :

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

Surface en capteurs thermiques de l'installation : m²

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

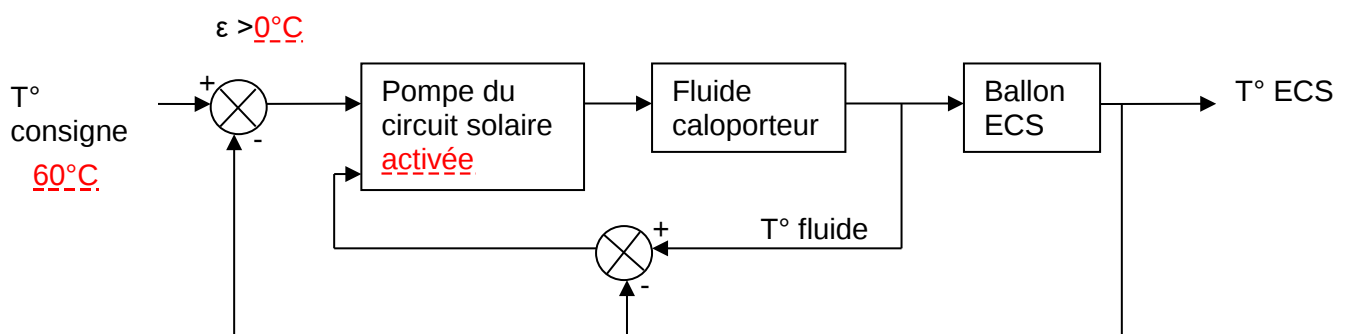
DOCUMENT REPONSES DRS3

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.

Correction



Question B.2
Chaine de puissance

