

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Durée de l'épreuve : **4 heures**

PARTIE COMMUNE (12 points)

Chaudière à granulés



Partie 1 : le chauffage au bois permet-il de réduire les émissions de gaz à effet de serre ?

Question 1.1 | **Indiquer** quel combustible émet le plus de gaz à effet de serre en *kg.équivalent CO₂/ MW·h utile*.
DT1 (feuillet 1/2)

Le fuel

Question 1.2 | **Indiquer** l'énergie la plus utilisée pour le chauffage des foyers français.
DT1 (feuillet 1/2)

L'électricité

Question 1.3 | **Recopier et compléter** le tableau ci-dessous. **Indiquer** l'énergie qui émet le plus de gaz à effet de serre pour le chauffage des foyers français en *kg.équivalent CO₂/ MW·h utile*.
DT1

	Gaz	Électricité	Fioul	Bois
Part d'émission de gaz à effet de serre en <i>kg.équivalent CO₂ / MW·h</i>	$28,6 \% \times 222 =$ 63,5	$35,1 \% \times 180 =$ 63,2	$15,4 \% \times 466 =$ 71,8	$17,3 \% \times 37 =$ 6,4

Le fioul est celle qui émet le plus de gaz à effet de serre *kg. équivalent CO₂ /MWh utile*.

Question 1.4 | **Calculer** le gain en Co2 si 100% du chauffage utilisait du bois. **Conclure** sur la pertinence de cette solution au regard de ce critère.

$$100\% \times 37 = 37 \text{ kg.équivalent CO}_2 / \text{MW}\cdot\text{h utile}$$

$$\text{Quantité totale actuelle : } 63,5 + 63,2 + 71,8 + 6,4 = 204,9 \text{ kg.équivalent CO}_2 / \text{MW}\cdot\text{h utile}$$

$$\text{Gain : } 204,9 - 37 = 167,9 \text{ kg.équivalent CO}_2 / \text{MW}\cdot\text{h utile}$$

Conclusion cette solution fait gagner 81% d'émission de CO₂ pour le chauffage domestique.

Partie 2 : quel est l'impact du chauffage au bois sur les émissions de particules fines ?

Question 2.1 | **Indiquer** les risques pour la santé des particules PM10.

DT1 (feuillet 1/2)

Risques augmentés pour : accidents cardiaques, cancer du poumon, cancer des sinus de la face, accidents vasculaires cérébraux.

Question 2.2 | **Donner** le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois par les ménages et le **comparer** avec celui du trafic routier.

DT1 (feuillet 2/2)

$80\% \times 29\% = 23,2\%$ équivalent à celui du trafic routier (25%) pour l'île de France.

Question 2.3 | **Calculer** le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois de chauffage pour les ménages équipés de cheminées à foyer ouvert.

DT1 (feuillet 2/2)

Les appareils à foyer ouvert *représentent 50% des émissions dues au chauffage au bois.*
C'est-à-dire $23,2\% \times 50\% = 11,6\%$ du total

Question 2.4 | **Evaluer** les conséquences du remplacement des appareils à foyer ouvert par un chauffage aux granulés sur le pourcentage des émissions totales de PM10. **Conclure** sur l'intérêt d'un chauffage bois aux granulés.

DT1 (feuillet 2/2)

Le granulé de bois émet 8 fois moins qu'une cheminée à foyer ouvert

Ainsi, les émissions de PM10 d'un combustible à granulés ne représenteraient plus que $11,6\% / 8 = 1,45\%$ soit un gain de 10 points environ sur les émissions du secteur résidentiel.

Partie 3 : comment évaluer la consommation annuelle en granulés ?

Question 3.1 | Le tableau du DT2 indique la quantité d'énergie thermique dégagée par la combustion de différents types d'énergie. **Relever** le pouvoir calorifique inférieur (PCi) du fioul et des granulés de bois en précisant bien l'unité de produit correspondante.

DT2

PCi du fioul : 9,97 kWh pour un litre de fioul

PCi des granulés de bois : 4600 kWh pour une tonne de granulés

Question 3.2 | Sachant que la consommation actuelle de fioul domestique est de 1380 L par an, **calculer** la quantité d'énergie thermique E_T (en kWh) produite par l'ancienne chaudière, dont le rendement est de 75%.

$E_T = 0,75 \times 1380 \times 9,97 = 10318,95 \text{ kWh}$

Question 3.3 |

DT3

Relever la valeur du rendement à charge partielle de la nouvelle chaudière à granulés.

Calculer la masse de granulés à stocker (en kg) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe afin de produire la même quantité d'énergie thermique E_T .

Rendement à charge partielle de la chaudière Euroclima 32 : 91%

$$E_T = 0,91 \times m_G \times 4600 \text{ donc } m_G = E_T / (0,91 \times 4600) = 2,465 \text{ tonnes} = 2465 \text{ kg}$$

Question 3.4

DT4, DT5

Calculer le volume de granulés à stocker (en m^3) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe.

Justifier le choix du silo proposé sur le document DT5.

Masse volumique des granulés : $600 \text{ kg} \cdot m^{-3}$

$$\text{Donc } V_G = 2465 / 600 = 4,11 \text{ m}^3$$

Le silo proposé sur le document DT5 permet bien de stocker ce volume de $4,1 \text{ m}^3$ (max $4,6 \text{ m}^3$) et la masse correspondante de 2,47 tonnes (max 3,1 tonnes).

Question 3.5

DT6

Le document technique DT6 donne l'évolution de la production et de la consommation de granulés de bois en France. **Déterminer** graphiquement ces deux valeurs pour l'année 2019.

Expliquer l'écart entre ces deux valeurs (production et consommation).

Consommation en 2019 : 1800 kTonnes = 1 800 000 tonnes (valeurs admises entre 1750 et 1850 Ktonnes)

Production en 2019 : 1650 kTonnes = 1 650 000 tonnes (valeurs admises entre 1600 et 1700 Ktonnes)

A la production française s'ajoute ce qui est importé de l'étranger. On exporte aussi un peu, mais moins que ce qui est importé. Cette différence entre les imports et les exports se retrouve entre ce qui est produit et consommé en France.

Question 3.6

DT6

Sachant que la consommation annuelle moyenne de granulés pour un foyer est de 2,5 tonnes, **déterminer** le nombre de foyers qui auraient pu se chauffer avec des granulés produits en France en 2019.

$$\text{Nb de foyers} = 1650000 / 2,5 = 660\,000$$

Question 3.7 | En se basant sur l'ensemble des questions précédentes (parties 1 à 3), **Expliquer** les avantages et inconvénients d'une généralisation d'un chauffage par chaudière à granulés. **Citer** d'autres critères qu'il faudrait étudier pour conclure sur la pertinence de cette solution au regard du développement durable.

Avantage : diminution importante des gaz à effet de serre

Inconvénient : émet des particules fines, la production française est actuellement insuffisante mais en constante augmentation.

Critères à étudier au regard du DD : les coûts de cette solution, l'impact social, l'impact d'une surproduction de granulés sur la ressource en bois.

Partie 4 : comment optimiser le fonctionnement de la chaudière ?

Question 4.1 | Sur le diagramme de blocs internes du DR1, **identifier** les flux suivants en **repassant sur les traits** avec les couleurs indiquées ci-dessous :
DR1

- flux d'information : concernant la **température en bleu**
- flux de matière : concernant les **granulés en vert**
- flux d'énergie : en **orange** (ou jaune)

Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

Question 4.2 | **Déterminer** graphiquement la température eau départ chauffage θ_{edc} qui permettra d'obtenir la température confort dans l'habitation (arrondir à la valeur entière supérieure) après 5 heures du matin.
DT7

Pour une consigne $\theta_{int} = 20^\circ\text{C}$ et $\theta_{ext} = 7^\circ\text{C}$, on relève sur la courbe de chauffe une température eau départ = 42°C ou 43°C

Question 4.3 | **Calculer** la quantité de chaleur Q_E (en J) que devra fournir la chaudière afin d'obtenir la température « eau départ chauffage » désirée en sachant que la température « eau retour chauffage » est de 23°C .
DT3

Données : la masse volumique de l'eau est de $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et sa capacité thermique de $C = 4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$.

Il y a 90 L d'eau dans la chaudière (DT3)

$$Q_E = 90 \times 4185 \times (43-23) = 7,53 \cdot 10^6 \text{ J} \quad \text{ou} \quad Q_E = 90 \times 4185 \times (42-23) = 7,16 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Question 4.4 | **Calculer** la puissance de chauffe nécessaire P_c (en W) pour une montée en température de la chaudière jusqu'à θ_{edc} en 10 minutes.

$$P_c = 7,53 \cdot 10^6 / (60 \times 10) = 12,6 \text{ kW} \quad \text{ou} \quad P_c = 7,16 \cdot 10^6 / (60 \times 10) = 11,9 \text{ kW}$$

Détermination de la quantité optimale de granulés par cycle

Question 4.5 | **Convertir** la masse volumique des granulés en $\text{g} \cdot \text{mm}^{-3}$ et en **déduire** la
DT4 masse maximale de granulés (en g) qui peuvent être amenés pour un tour
de la vis de dosage.

Masse volumique des granulés : $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 $= 600 \cdot 10^3 \text{ g} / 10^9 \text{ mm}^3 = 0,6 \text{ g} / 10^3 \text{ mm}^3 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ g} / \text{mm}^3$
Volume de granulés pour 1 tour de vis $V = 125 \text{ cm}^3 = 125 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
Masse de granulés pour un tour de vis : $m = 0,6 \cdot 10^{-3} \times 125 \cdot 10^3 = 75 \text{ g}$

Question 4.6 | **Calculer** le nombre de tours effectués par la vis pour un cycle
DT8 d'alimentation en vous aidant de la documentation technique du
motoréducteur.

Vitesse de rotation du moteur : 3 tours par minute, donc 3 tours en 60 sec, soit 1 tour en 20 sec.

Question 4.7 | Pour un temps de chauffe de 10 minutes, **calculer** la masse totale de
granulés lorsque le débit moyen de granulés est de $0,7 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$. En **déduire**
le nombre de cycles d'alimentation électrique du moteur.

Il faut $0,7 \times 10 \times 60 = 420 \text{ g}$
Le motoréducteur doit être commandé pour effectuer $420/75 = 5,6$ tours en 10 min
On prendra 6 tours en 10 min
L'alimentation en granulés sera ainsi optimisée en commandant le nombre de cycle du
motoréducteur

Détermination du volume optimal d'air par cycle

Question 4.8 | **Relever** sur le DT9, le rapport $\frac{A}{G}$ (masse Air / masse Granulés) pour la
DT9 valeur de référence $\lambda_{\text{réf}} = 1,3$. **Calculer** la masse d'air puis le volume d'air
nécessaire à l'obtention de la combustion complète (pour un cycle de 20 s)
sachant que la masse volumique de l'air est de $\rho = 1,204 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Pour avoir $\lambda_{\text{réf}} = 1,3$, il faut le rapport $\frac{A}{G} = 7,8$ (réponses admises entre 7,4 et 8)
Pour une masse de granulés = 75g, il faut une masse d'air de $75 \times 7,8 = 585 \text{ g}$
Le volume d'air correspondant $0,585 / 1,204 = 0,486 \text{ m}^3$

Question 4.9 | **Déduire** le débit d'air correspondant (en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) et **vérifier** la capacité du
DT3 moto-ventilateur à fournir ce débit.

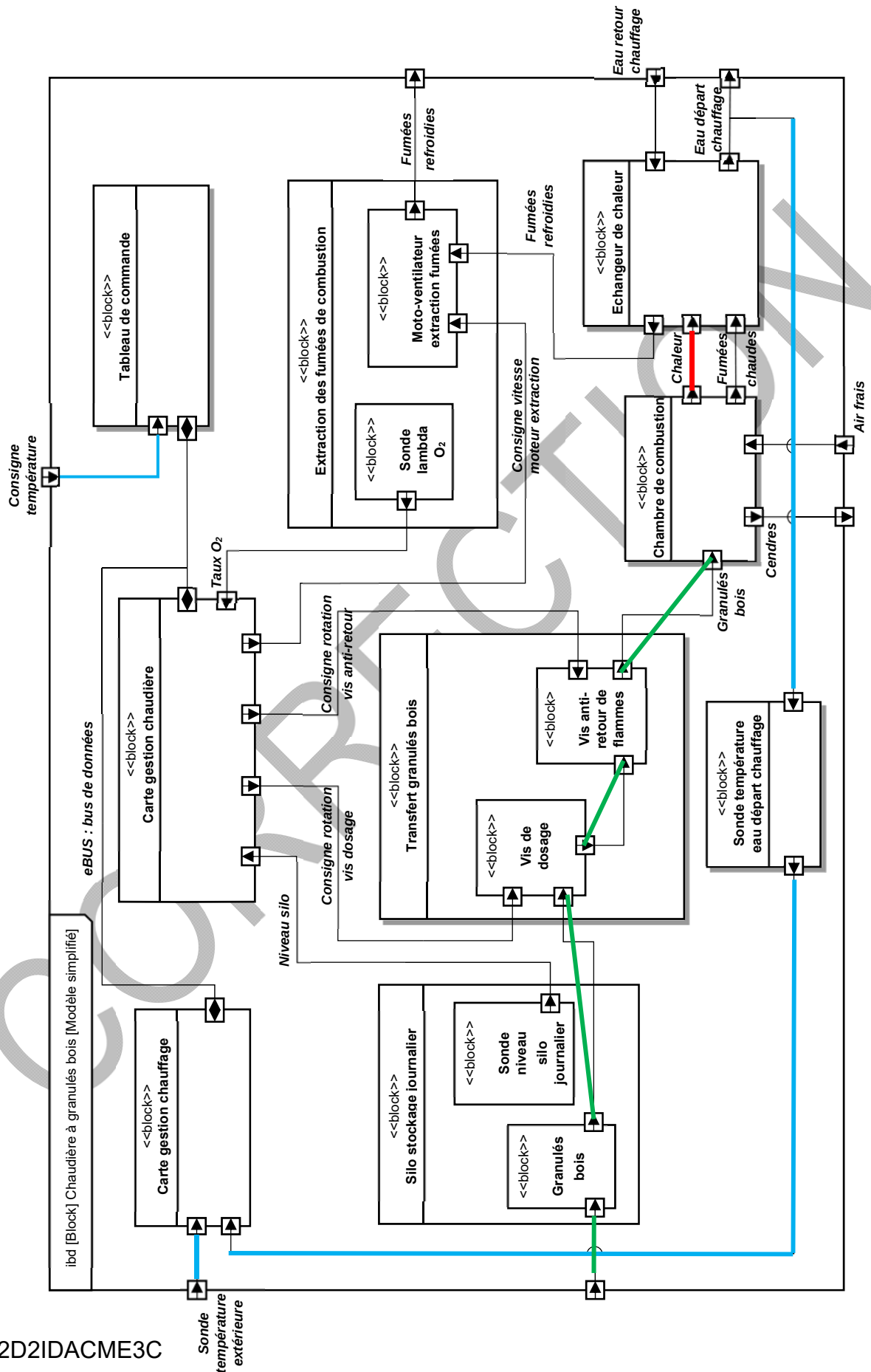
Débit d'air = $V_{\text{air}} / \text{durée cycle} = 0,486 \times 3600/20 = 87,5 \text{ m}^3/\text{h}$
D'après le DT3, le débit d'air maximum du moto-ventilateur la chaudière est de $290 \text{ m}^3/\text{h}$ donc
il convient.

Question 4.10 | **Relever** les valeurs limites de lambda pour rester dans la zone idéale :
DT9 λ_{mini} et λ_{maxi} .

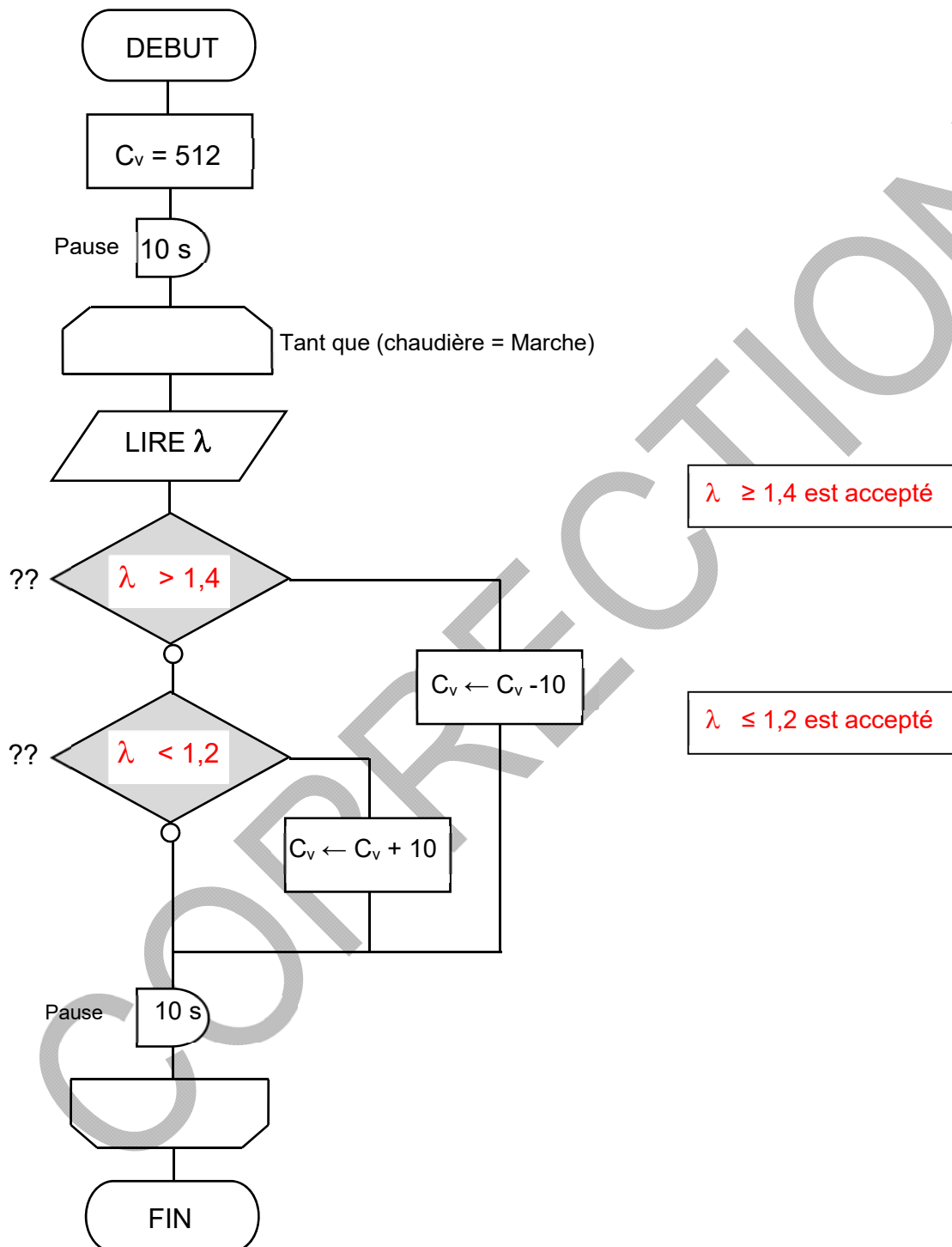
$\lambda_{\text{mini}} = 1,2$ et $\lambda_{\text{maxi}} = 1,4$

Question 4.11 | **Compléter** sur le DR2 l'algorithme de traitement des informations du microcontrôleur de sorte que la vitesse de rotation du moto-ventilateur s'adapte automatiquement pour fournir le volume d'air optimal.
DR2

CORRECTION



Algorithme de régulation du volume d'air



ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Chaudière à granulés



Partie A : implantation du silo à granulés.

Trois possibilités d'installation sont envisagées sur le document DTS1 :

- zone A : dans le grenier, juste au-dessus de la chaudière avec transfert gravitaire des granulés ;
- zone B : dans le grenier au-dessus de l'actuelle cuve de fioul avec transfert par vis ou par aspiration ;
- zone C : à la place de l'actuelle citerne de fioul avec transfert par aspiration sans gêner l'ouverture de la porte d'accès à la maison et sans déplacer le ballon d'eau chaude solaire.

Question A.1

DTS1, DTS2

Justifier que la zone B est celle qui conviendrait le mieux à cette habitation au regard de la position de la chaudière, des positions des accès et des contraintes liées au transfert des granulés données dans le document DTS2.

Dans la zone A : intéressante car cette zone est peu accessible donc perdue, le granulé peut tomber directement dans la chaudière et ne gêne pas l'utilisation du garage. Mais la hauteur sous toiture est faible et nécessite un silo sur mesure.

Dans la zone B : possible car plus accessible au remplissage, permet le contrôle visuel et ne gêne pas l'utilisation du garage. La hauteur sous toiture est plus importante.

Dans la zone C : incompatible car la place disponible risque de gêner le stationnement dans le garage. De plus le transfert des granulés vers la chaudière est plus long et tortueux.

La zone B paraît la plus appropriée

Question A.2

DRS1

DTS1, DTS3

Proposer, à l'aide d'un schéma sur le document réponse DRS1, une solution technologique pour le transport des granulés entre le silo et la chaudière à l'aide d'un tuyau souple.

Indiquer les différents travaux à accomplir pour cette opération.

Voir DR

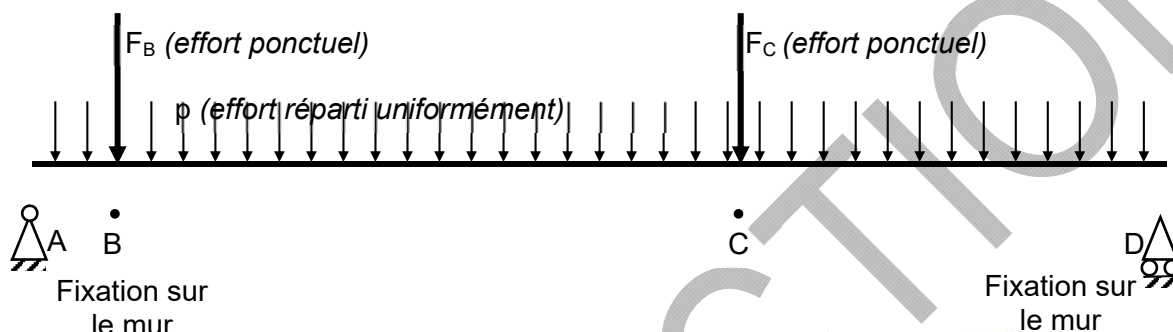
Travaux minimal en passant dans le haut du plafond au-dessus de la porte de la chaufferie pour ne pas utiliser la zone A

Partie B : calculs de résistance de la nouvelle installation.

La quantité de granulés à stocker étant déterminée, l'installateur propose un silo textile sur structure en bois modèle ECO200P (DTS3).

Référence	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m ³)	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

La structure réelle est soumise à une charge répartie p et à des charges ponctuelles F_B et F_C . Le modèle utilisé est donné ci-dessous :



Paramétrage de la simulation de résistance d'une poutre du plancher

Les poutres qui supportent ce plancher ont une longueur de 3,7 m pour une section rectangulaire de 7,5 cm sur 22,5 cm. Elles sont placées tous les 60 cm (voir DTS4). Des plaques d'OSB de 22 mm d'épaisseur, de poids volumique $6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ sont posées sur ces poutres. Le silo s'appuie sur ces plaques de telle sorte que deux des quatre pieds s'appuient au droit de la poutre n°4 en B et C. La géométrie du silo est donnée sur le DTS3.

Question B.1

DTS3, DTS4

DRS2

Déterminer, sur le DRS2, la section S de la poutre, son moment quadratique I_{Gz} et la position des points d'appui x_C et x_D .

Les dimensions de la poutre sont données sur le DR3 : $b=75\text{mm}$ et $h=225\text{mm}$, et les formules donnent $S=16\,875\text{mm}^2$ et $I_{Gz}=71\,191\,406\text{mm}^4$.

Les dimensions du silo sont données sur le DT9 : 2m sur 2m, donc la distance BC vaut $L=2\text{m}$: $x_C=x_B+2=2,2\text{m}$

La distance entre mur est notée sur le DT12 donc $x_D=3,7\text{m}$

La surface de plancher de largeur 0,6 m supportée par la poutre n°4 est représentée par la zone grisée sur le DTS4. La poutre supporte tout ce qui est présent dans cette zone, à savoir :

- La charge du mobilier et des personnes sur un plancher courant fixée à $1,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$.
- Le poids du plancher est la somme du poids de la poutre et des plaques d'OSB (bois reconstitué).
- Le silo plein de poids de 60 kN réparti de façon égale sur les 4 pieds.

Question B.2

DTS3, DTS4

Indiquer, sur le DRS2, les charges ponctuelles supportées par la poutre aux points B et C du modèle : F_B et F_C en [kN].

DRS2

Les 60kN du silo se reportent équitablement sur les 4 pieds donc chaque pied transmet à la poutre $60/4=15\text{kN}$. $F_B=F_C=15\text{kN}$

Les poutres sont en pin de poids volumique $4,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$.

Question B.3

À partir des caractéristiques du bois et de sa géométrie, **calculer** le poids de la poutre G_p en [kN] puis son poids linéique g_p en [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$].

DTS4

DRS2

Compléter le tableau de répartition des charges du DRS2 pour déterminer la charge linéique d'exploitation q_p en [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$] que doit supporter la poutre n°4 en plus de son poids propre.

En **déduire** la charge répartie $p = g_p + q_p$ en [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$].

Le volume de la poutre est $b \times h \times L = 0,075 \times 0,225 \times 3,7 = 0,0624 \text{ m}^3$.

Le poids propre est $G_p = 0,0624 \times 4,2 = 0,262 \text{ kN}$

Par mètre de poutre, le poids linéique vaut $g_p = G_p / L = 0,0708 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$

La charge linéique supplémentaire est due aux plaques d'OSB et à la charge d'exploitation. La surface de plancher à prendre en compte est le rectangle grisé de 3,7m sur 0,6m.

Choix 1

Partie C : analyse des résultats de la simulation de résistance d'une poutre du plancher.

La flèche maximale doit être limitée à :

$$f_{\max} = L / 250 \text{ où } L \text{ est la longueur entre appuis.}$$

Le bois utilisé est du pin de classe C24 dont la résistance à la flexion est de 24 MPa.

Le DRS3 donne les résultats obtenus par la simulation précédente : les moments fléchissants en [$\text{kN}\cdot\text{m}$], la contrainte normale en flexion en [MPa] ainsi que la flèche verticale en [mm], tout au long de la poutre n°4.

Question C.1

DRS3

Relever sur les graphiques la flèche maximale $f_{\max}$ et la contrainte normale en flexion maximale $\sigma_{\max}$ de cette poutre. *La flèche maximale se trouve vers $x = 1,9\text{m}$ et vaut $f_{\max} = 17\text{mm}$ (vers le bas)
La contrainte en flexion est maximale au niveau du pied C et vaut $\sigma_{\max} = 16\text{MPa}$*

Question C.2

Comparer les valeurs précédemment relevées aux valeurs limites de flèche et de contrainte admissible en flexion. **Indiquer** si la poutre actuelle est suffisamment dimensionnée.

Proposer si nécessaire une autre solution en l'argumentant. *La poutre en pin à une résistance à la flexion de 24MPa, donc la contrainte relevée 16MPa est admissible car inférieure au 24MPa.
La flèche admissible est $3,7/250 = 0,0148\text{m} = 14,8\text{mm}$ donc la flèche relevée 17mm est trop importante.*

La poutre n'est pas suffisamment dimensionnée pour supporter le silo plein

On pourrait doubler la poutre 4 par une similaire et placer les pieds du silo sur ce couple de poutres (bien sur il faudrait faire la même chose au niveau des autres pieds). Le I_{gz} serait plus grand, il y aurait moins de flèche.

*On pourrait remplacer cette poutre par une plus épaisse : le I_{gz} serait plus grand, il y aurait moins de flèche.
On pourrait remplacer cette poutre par une de matériau plus rigide : le module E serait plus grand donc la flèche plus petite*

Question C.3

DTS1

Conclure sur les avantages et inconvénients de la solution choisie vis-à-vis des deux autres possibilités d'installation proposées sur le DTS1.

La solution retenue est réalisable mais avec une adaptation du plancher. Elle est économique car elle permet d'installer un silo standard (du commerce). Elle ne nuit en rien à l'utilisation du garage.

La solution en zone A aurait permis de récupérer un volume inutilisé mais au prix de la construction d'un silo sur mesure (bien plus onéreux). Et l'adaptation du plancher serait nécessaire aussi.

La solution en Zone C nécessite aussi un silo sur mesure pour ne pas gêner le stationnement du véhicule.

Partie D : choisir une solution de doublage acoustique coté garage-chaufferie pour le mur séparatif avec la chambre attenante.

La chaudière nouvellement installée ainsi que le mode d'aspiration des granulés représentent une gêne sonore bien supérieure à celle que représentait l'ancienne installation au fioul. Celui-ci est principalement due au besoin d'acheminer les granulés jusqu'à la chaudière. En effet après aspiration les granulés sont entraînés dans le bruleur par un procédé mécanique par vis sans fin.

Le but ici est de choisir une solution acoustique limitant la transmission des bruits coté chambre.

Afin de ne pas effectuer de travaux dans la chambre il a été décidé d'amortir la propagation des bruits en ajoutant des matériaux acoustiques sur le mur coté garage-chaufferie. Actuellement la séparation entre le local où se trouve la chaudière et la chambre est constitué d'un simple mur de **béton de 16 cm d'épaisseur** (masse volumique du béton = $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). D'après la documentation du fabricant de la chaudière, le niveau sonore (L_{NAT}) maximum en fonctionnement est de 70 dB (bruit rose).

- Question D.1 | **Calculer** la masse surfacique du mur en béton de 16 cm d'épaisseur.
DTS6 | **Donner** l'affaiblissement R obtenu en utilisant la courbe de « loi des masses » (DTS6)
En déduire le niveau sonore du bruit de la chaudière perçu dans la chambre.
- 2500kg/ m3 donc pour une épaisseur de 16cm soit $2500 \times 16 / 100 = 400 \text{ Kg/m}^2$
 - **COURBE A** . Soit un indice d'affaiblissement **Rw de 59 dB**
 $70 - 59 = 11 \text{ dB}$.
Le seuil normalisé est atteint.(inf à 35 dB) mais la chambre n'est pas totalement isolée

Afin de garantir un niveau sonore inférieur à 5 dB dans la chambre la nuit, les propriétaires décident de renforcer l'isolation acoustique du mur. Le groupe ISOVER présente plusieurs solutions d'isolation acoustique (DTS7). La valeur caractéristique à prendre en compte est R_A en dB pour le bruit rose.

- Question D.2 | **Choisir** la solution qui répond à l'affaiblissement souhaité à partir des différentes solutions murales proposées par le groupe ISOVER (DTS7).
DTS7 | **Décrire** la composition du nouveau mur et **donner** son épaisseur.

- *Solution numéro 1*
 - *MUR béton 160mm+ laine de verre 45mm+ Ba13 ep 12.5mm*
- Rw est de 71 dB donc supérieur au bruit de la chaudière.*

- Question D.3 | **Dire** si la solution retenue assure le silence voulu dans la chambre en analysant l'organisation des volumes du garage (DTS4) et le document (DTS5) sur la transmission indirecte des bruits.
DTS4
DTS5 | **Conclure** sur la solution retenue.

- *La solution paraît déjà suffisante pour les bruits aériens arrivant sur le mur.*

Pour le traitement indirecte vue la hauteur de plafond (éloignement du lieu d'émission du bruit) la propagation du bruit de la chaudière sera sûrement négligeable. (On peut supposer que la présence de l'isolation thermique sous toiture pourra suffire et annuler toute transmission par le plafond.

Partie E : calcul d'un gain thermique avec le nouveau mur.

Question E.1

DRS4

- **Donner** le coefficient λ du béton ordinaire.

Béton ordinaire (2500kg/m³) $\lambda = 2.1$ (W/m.°C)

En déduire la résistance thermique R_{th} du mur en béton ordinaire de 16 cm d'épaisseur séparant la chambre du garage et **le reporter** sur le DRS4.

- *MUR béton 160mm seul $R=0.16/2.1 = 0.076$*

Pour assurer une protection acoustique de la chambre attenante une isolation a été rajoutée coté garage (solution n°1 du DTS7). Elle se compose de :

- isolant en laine de verre GR32 45 mm ;
- lame d'air entre l'isolant et la plaque de plâtre de 17,5 mm ;
- plaque de plâtre BA13 vissée sur fourrure Optima, d'épaisseur 13 mm.

Question E.2

DTS7

DRS4

Calculer le nouveau R_{th} obtenu et **le reporter** sur le DRS4.

- *MUR béton 160mm $R= 0.076$
laine de verre 45mm $R= 1.286$
Ba13 ep 12.5mm $R= 0.062$
Lame d'air 17.5 mm $R= 0.16$
TOTAL $R= 1.584$*

Question E.3

Calculer la valeur du gain thermique en %.

$1.584-0.076 = 1.508$ soit $1.508/0.076 = 19.84$ soit prêt de 2000%

Question E.4

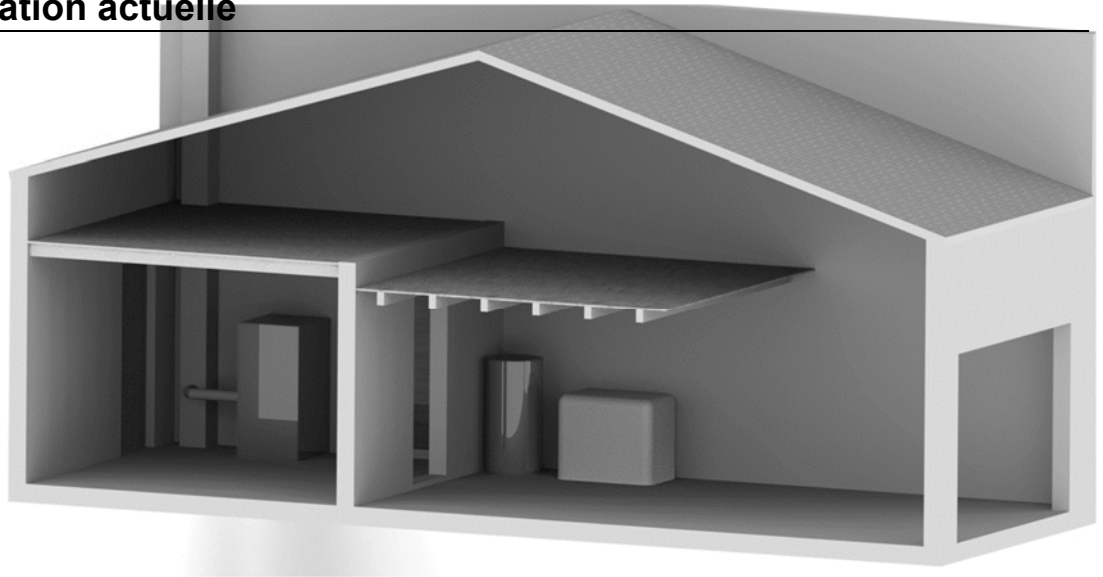
Conclure sur l'utilité de cette isolation.

Soit un R augmenté pour cette paroi de +1.5. La laine de verre est un bon isolant thermique, ce qui n'est pas le cas du béton qui a lui un rôle structurel.

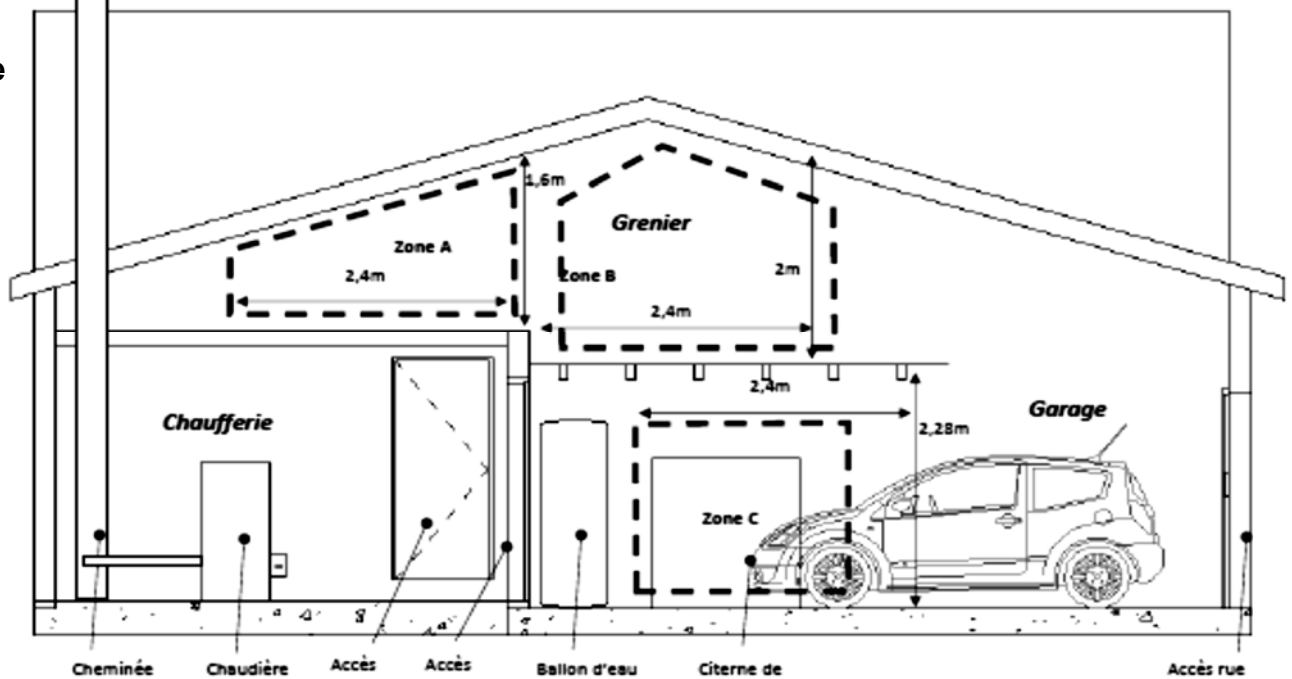
Il y aura bien un gain thermique significatif qui minimisera la consommation annuelle du logement.

DTS1 : installation actuelle

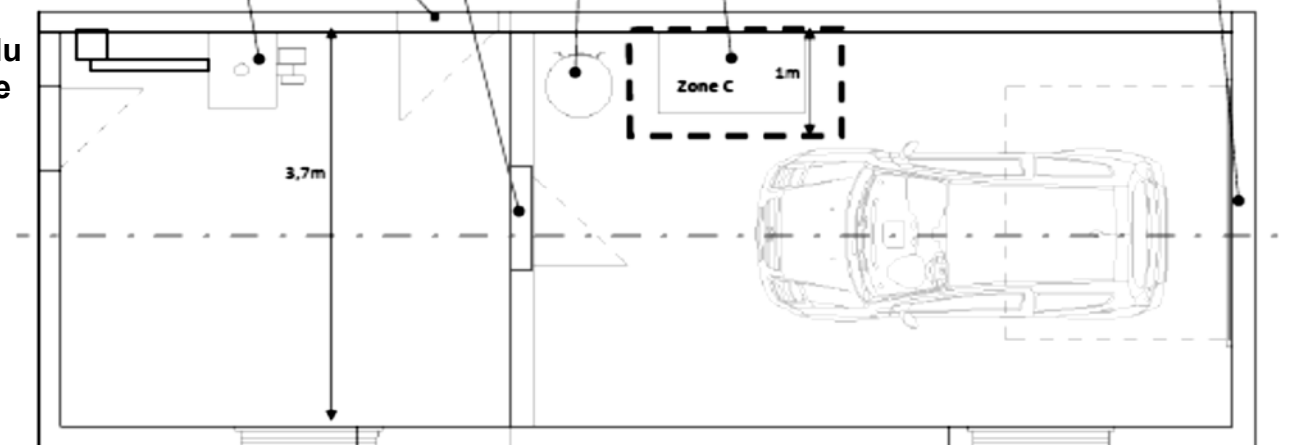
Perspective



Coupe



Plan du garage



DTS2 : recommandations pour le remplissage d'un silo à granulés

La construction ou l'achat d'un silo adapté au stockage des granulés en vrac est indispensable pour la conservation du produit et pour la sûreté de l'installation.

Le silo doit être installé dans un lieu sec, sans conduit d'installation électrique et sans passage de conduite d'eau.

Il est important que le silo soit le plus étanche possible aux poussières et à l'eau. Il devra être équipé au minimum de deux bouches pompier type DN100 pour le raccordement du tuyau de remplissage.

La livraison des granulés de bois s'effectue par voie pneumatique à partir d'un camion souffleur équipé d'un compresseur qui propulse le combustible dans le silo.

Le déchargement par camion souffleur doit se faire le plus proche possible du silo en limitant ainsi au maximum la longueur du tuyau. En effet, celui-ci ne doit pas excéder une longueur supérieure à 20 m linéaire ni un nombre important de coudes. Le soufflage du granulé doit se faire à une pression de soufflage minimale permettant de conserver la qualité des granules.

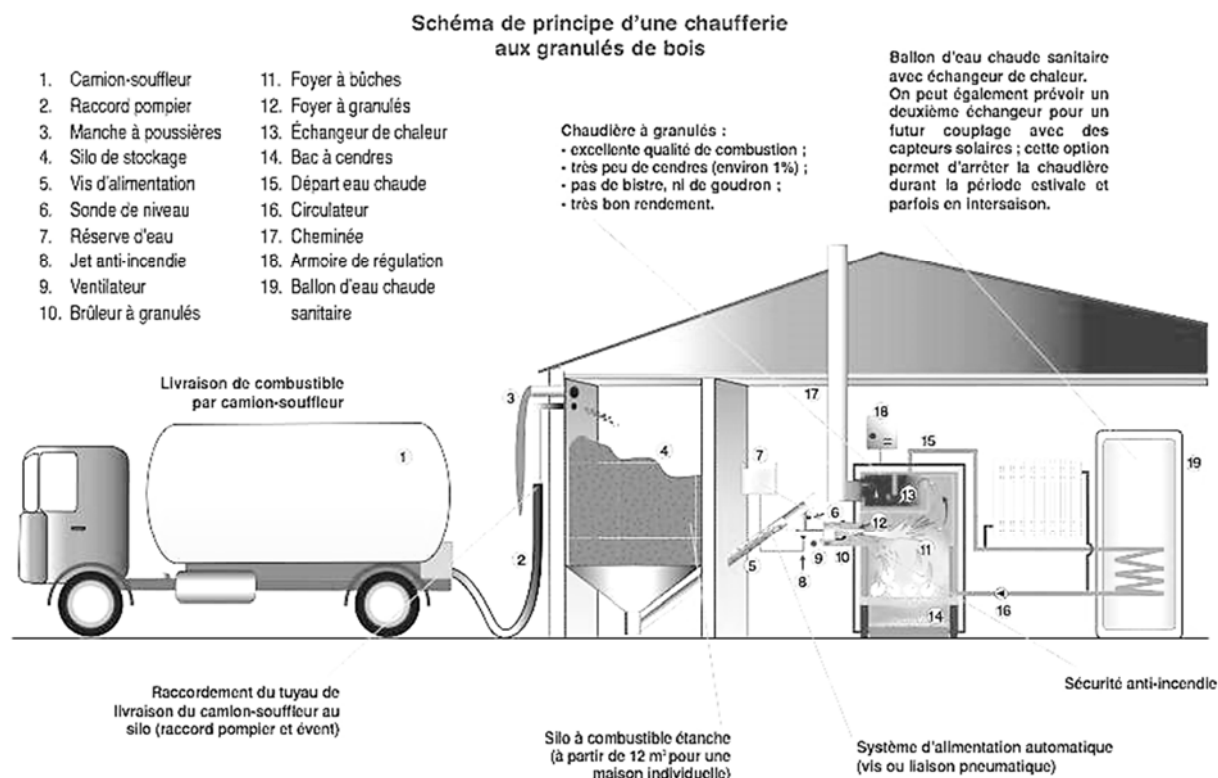
Cette opération évitera :

- l'effritement du combustible (poussière),
- une mauvaise qualité de la combustion du bois (encrassement, etc.).

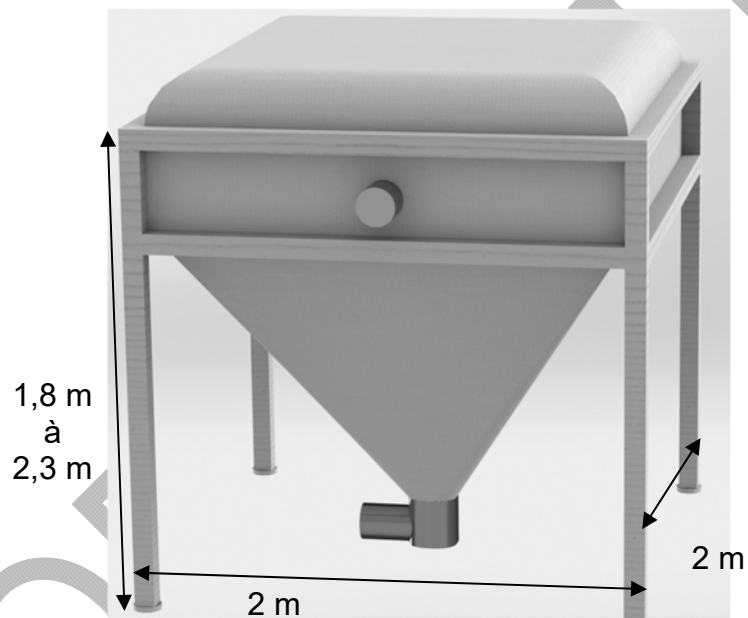
Remarque

Les camions dépourvus d'un système aspiro-ventilateur pour la récupération des poussières concernant les silos maçonnés doivent mettre en place à la sortie du raccord de refoulement d'air une « chaussette » ou poche afin de récupérer les poussières.

L'alimentation de la chaudière se fait par un système totalement automatisé qui alimente la chaudière en fonction des besoins. Ce dispositif assure un confort d'usage similaire aux systèmes à fioul ou à gaz.



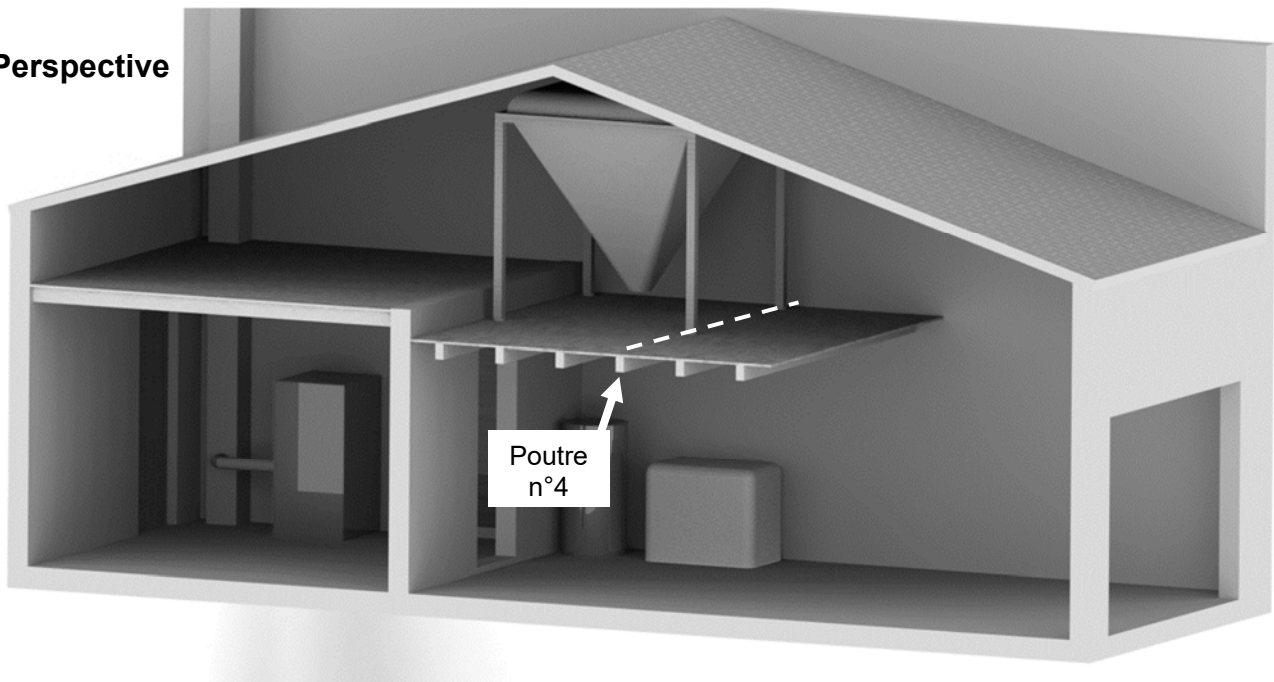
DTS3 : silo ECO200P



Article	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m ³)	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

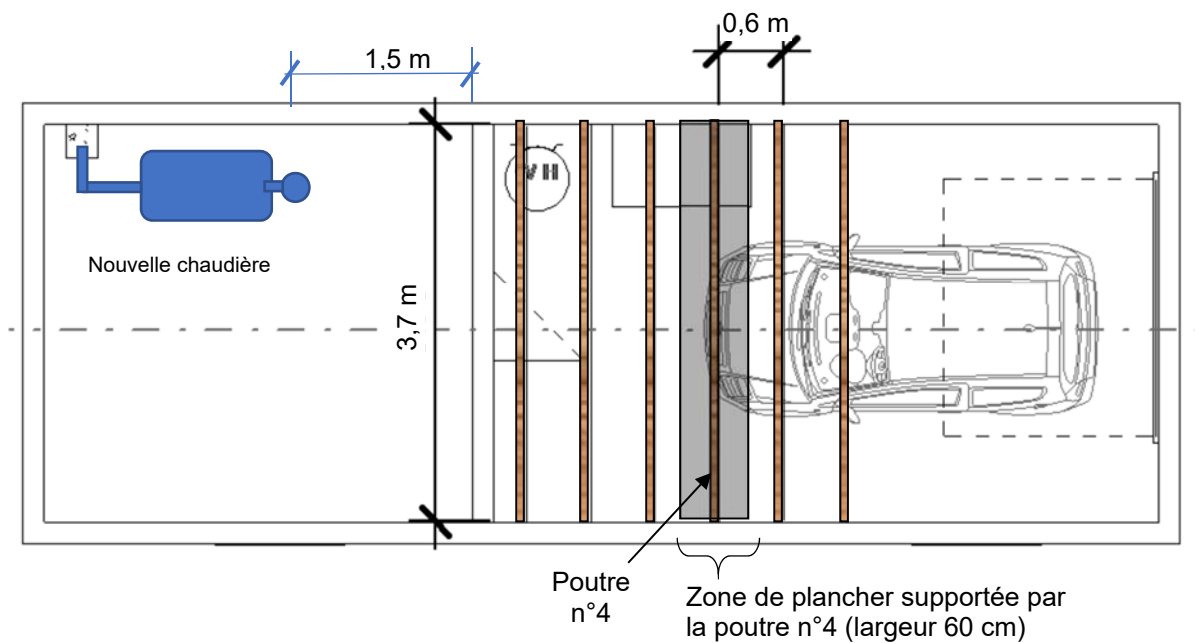
DTS4 : plan structurel du plancher haut garage

Perspective



Plan du plancher haut garage

Entraxe des poutres 60 cm
Distance entre les murs 3,7 m



DTS5 : Rappels d'acoustique

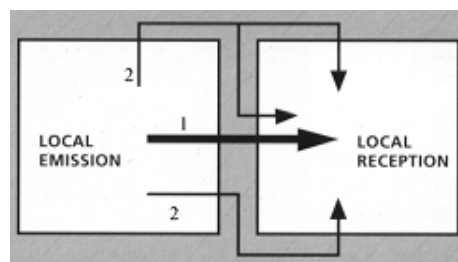
Rappel : L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE R_w (C, Ctr)

Cet indice caractérise la qualité acoustique d'une paroi de construction (mur, cloison, plancher, plafond, fenêtre, porte, etc.).

Il est mesuré uniquement en laboratoire et ne prend en compte que la transmission directe d'un bruit aérien.

Plus R_w est grand, plus l'élément a un isolement acoustique élevé.

1 transmission directe – 2 transmissions indirecte



Cependant la valeur de R_w dépend du type de bruit (rose ou routier). De ce fait les performances de la paroi devront prendre en compte deux coefficients d'adaptation :

- **C** (pour le bruit rose) et **Ctr** (pour le bruit routier)

Un élément testé sera donc caractérisé par : **R_w , C, Ctr**

- S'il est soumis à un bruit rose son indice d'affaiblissement est : **$R_w + C$**
- S'il est soumis à un bruit routier son indice d'affaiblissement est : **$R_w + Ctr$**

Rappel sur la mesure du bruit

Le niveau de bruit (sources INRS)

On mesure physiquement le niveau du bruit en décibels.

Pour prendre en compte le niveau réellement perçu par l'oreille, on utilise le décibel pondéré A, dont l'abréviation est dB(A).

0 dB(A) = bruit le plus faible qu'une oreille (humaine) peut percevoir

50 dB(A) = niveau habituel de conversation

80 dB(A) = seuil de nocivité (pour une exposition de 8h/j)

120 dB(A) = bruit provoquant une sensation douloureuse

D'une façon générale, le niveau sonore en champ libre est inversement proportionnel au carré de la distance, c'est-à-dire à la distance multipliée par elle-même. L'écart entre deux mesures de la même source en champ libre à des distances différentes est la valeur en décibels du rapport des distances.

Rappels :

Bruit rose

Bruit normalisé de référence utilisé pour les mesures acoustiques des bruits aériens dans les bâtiments et caractérisé par un niveau de pression constant par bande d'octave (exprimé en dB(A)). Il est représenté par un spectre plat.

BRUIT - d'équipements :

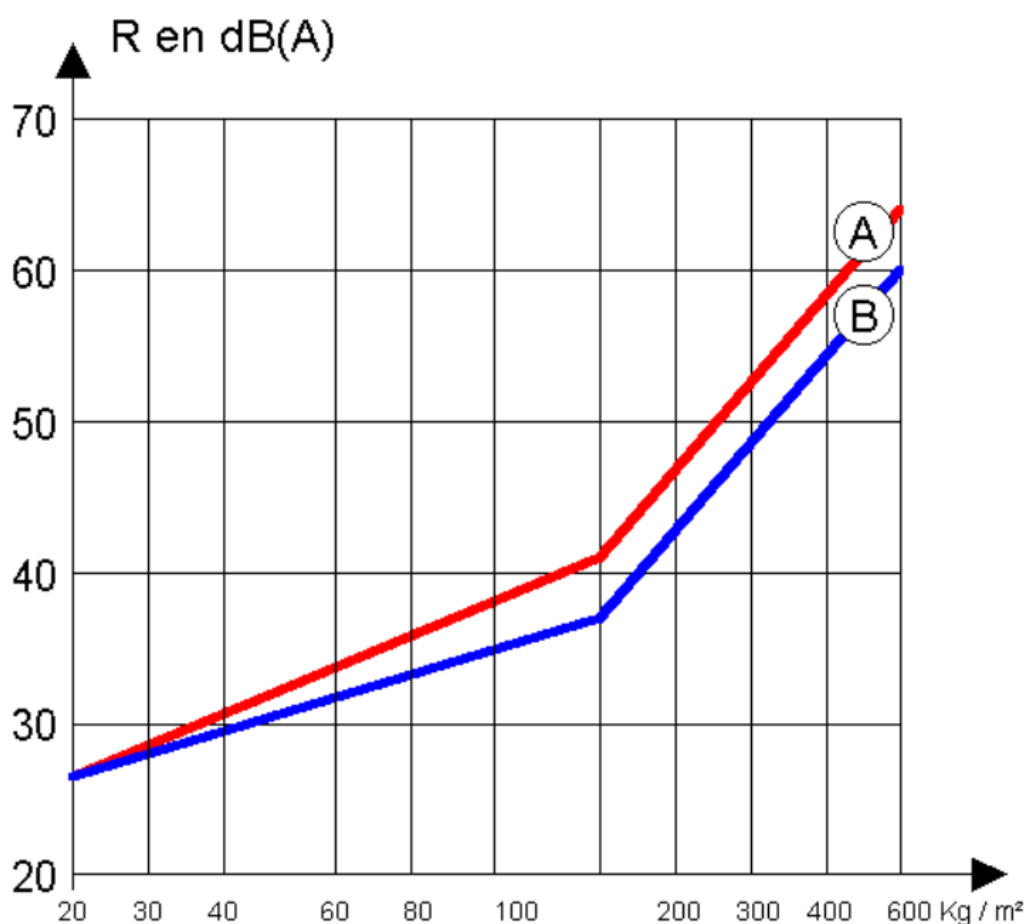
Bruit généré par les équipements techniques d'un bâtiment (ascenseur, ventilation, robinetterie, chauffage par ex.).

Bruit des équipements (Niveau de bruit : L_{nAT})

● Valeurs minimales à respecter :

Niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT}	Local de réception du bruit	
	Pièces principales	Cuisine
Appareil individuel de chauffage ou appareil individuel de climatisation	< 35 dB(A)	< 50 dB(A)*
Installation de ventilation mécanique (débit minimal)	< 30 dB(A)	< 35 dB(A)
Équipement individuel d'un logement	< 30 dB(A)	< 35 dB(A)
Équipement collectif du bâtiment (ascenseur, chaufferie, transformateur, surpresseur d'eau, vide-ordures, etc.)	< 30 dB(A)	< 35 dB(A)

* Si la cuisine ouverte est sur une pièce principale, la valeur est réduite à < 40 dB(A)



A : loi de masse expérimentale pour un bruit rose

B : loi de masse expérimentale pour un bruit route

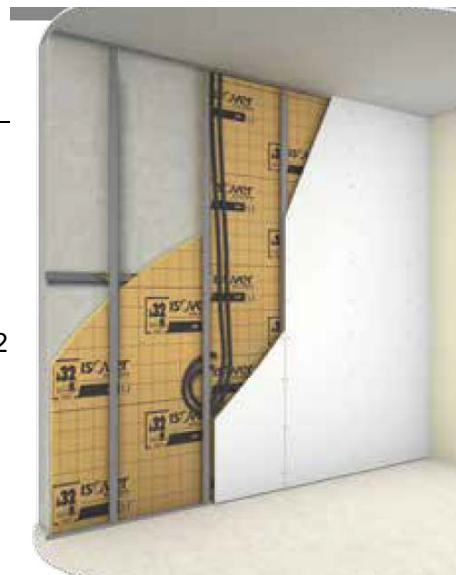
DTS7 : acoustique - isolation

Isolation acoustique mince des murs **SYSTÈME OPTIMA MURS**

DESSCRIPTIF

- Mur béton de 160 mm
- Isolant en laine de verre GR32 45 mm, posée sous ossature métallique
- Système Optima : lisse Clip'Optima, fourrure télescopique, appui Optima2
- Lamé d'air entre l'isolant et la plaque de plâtre de 17,5 mm
- Plaque de plâtre BA13 vissée sur fourrure Optima, d'épaisseur 13 mm

AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE





➤ Sur mur béton 160 mm

Solution n°1	Affaiblissement acoustique en dB			Gain acoustique en dB	
	$R_w(C;C_{tr})$	R_A	$R_{A,tr}$	$\Delta R_{A(lourd)^*}$	$\Delta R_{A,t(lourd)^*}$
➊ Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ; -10)	68	61	11	8
➋ Mur non isolé	59(-2 ; -6)	57	53	-	-



➤ Sur blocs béton creux 200 mm avec enduit mortier
(simulation AcousSTIFF)

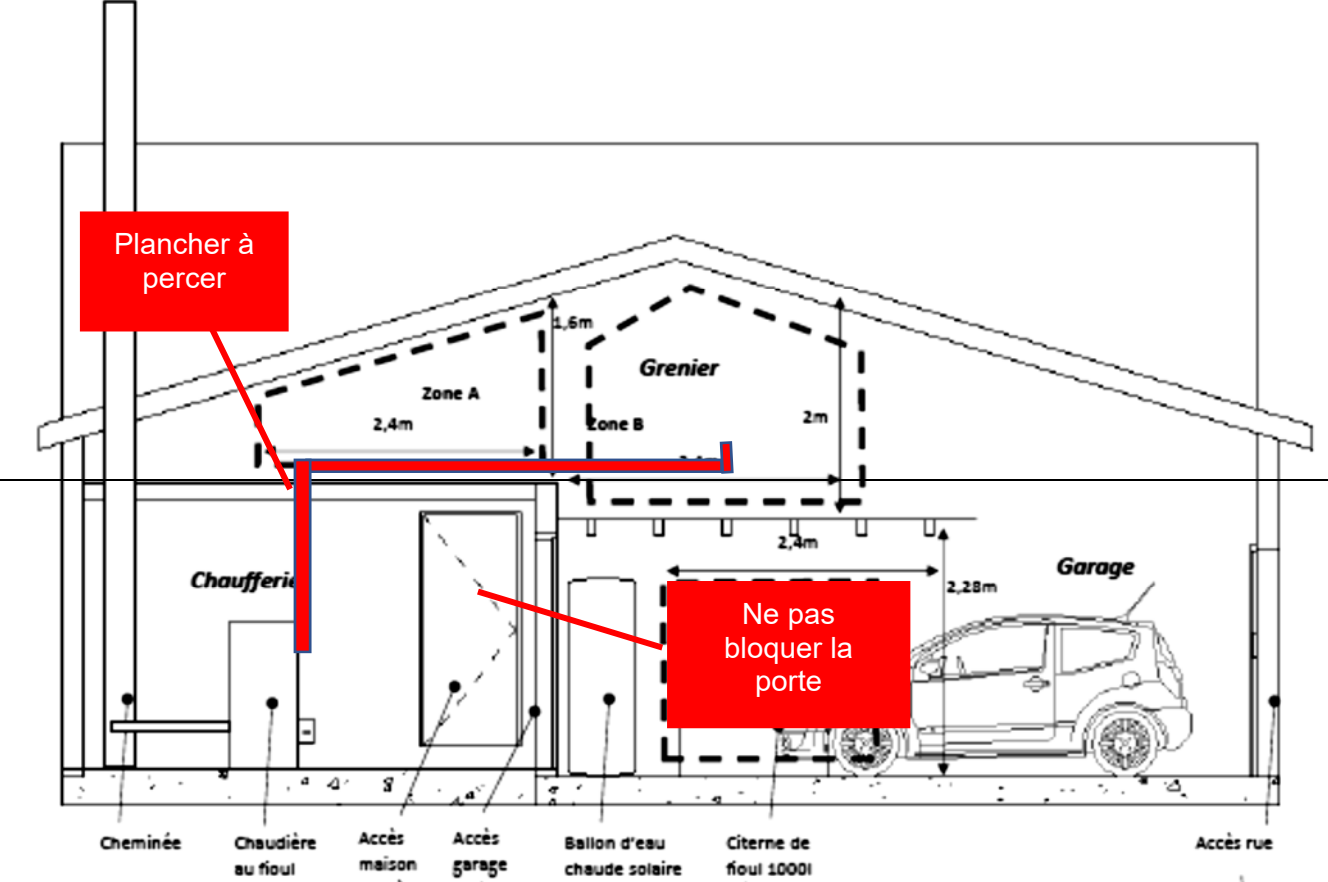
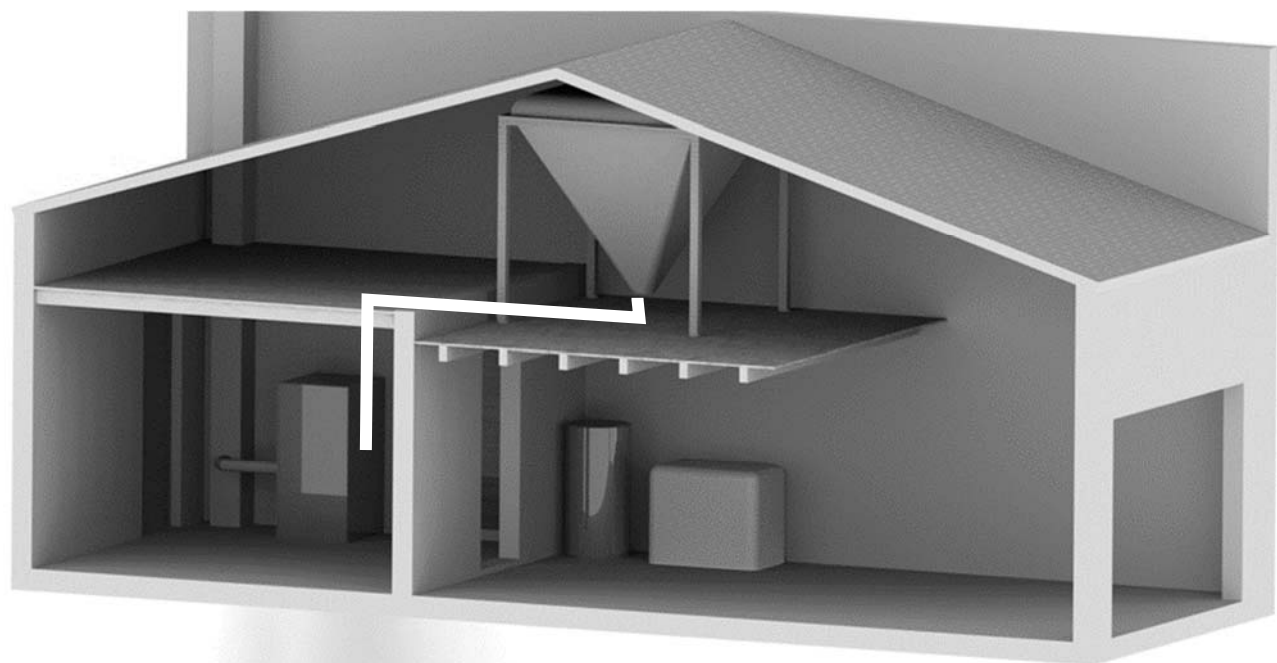
Solution n°2	Affaiblissement acoustique en dB			Gain acoustique en dB	
	$R_w(C;C_{tr})$	R_A	$R_{A,tr}$	ΔR_A	$\Delta R_{A,tr}$
Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ; -10)	68	61	13	10
Mur non isolé	56(-1 ; -5)	55	51	-	-



➤ Sur briques creuses 200 mm avec enduit mortier
(simulation AcousSTIFF)

Solution n°3	Affaiblissement acoustique en dB			Gain acoustique en dB	
	$R_w(C;C_{tr})$	R_A	$R_{A,tr}$	ΔR_A	$\Delta R_{A,tr}$
Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	63(-3 ; -9)	60	54	19	14
Mur non isolé	41(0 ; -1)	41	40	-	-

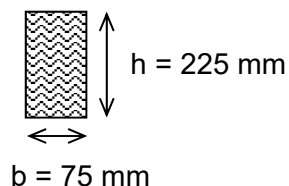
DOCUMENT RÉPONSES DRS1 : schéma de l'alimentation en granulés de la chaudière.



DOCUMENT RÉPONSES DRS2

Étude en flexion de la poutre n°4 :

Profil de la poutre



section de la poutre $S = b \cdot h = 16\,875\text{mm}^2$

moment quadratique de la section $I_{Gz} = \frac{b \cdot h^3}{12} = 71.191.406\text{mm}^4$

Modèle de calcul de structure pour la poutre

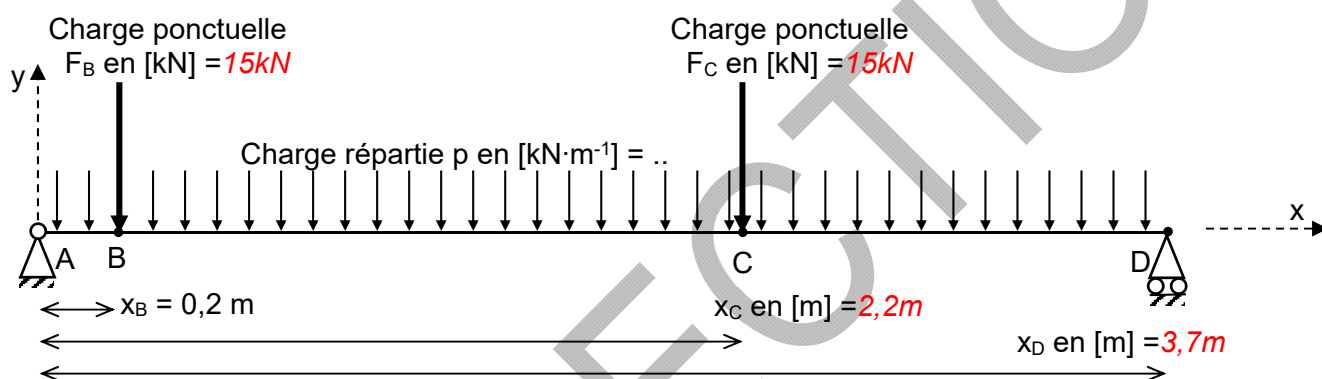
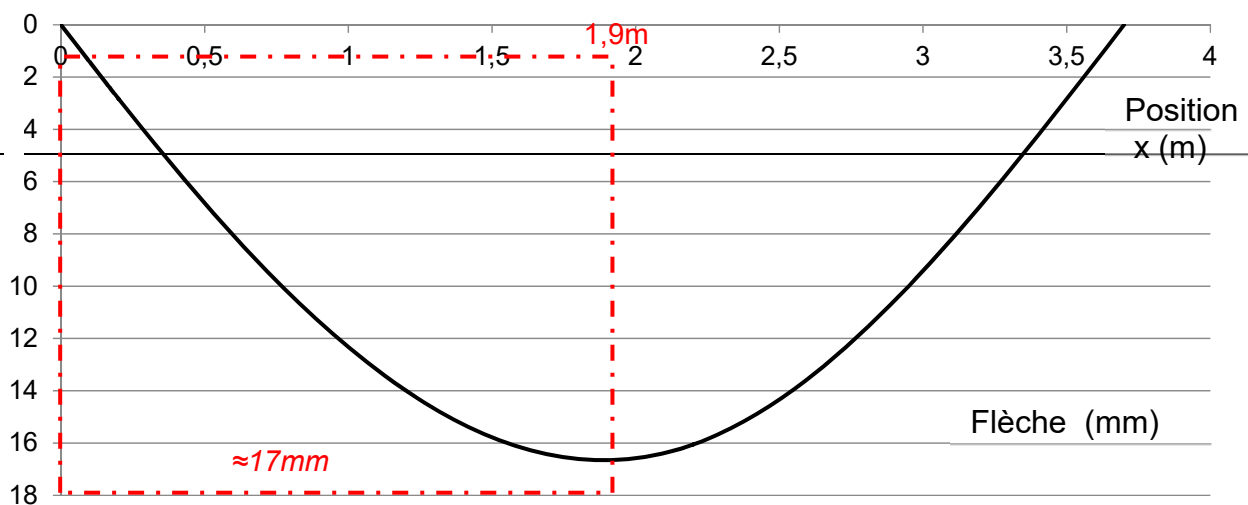
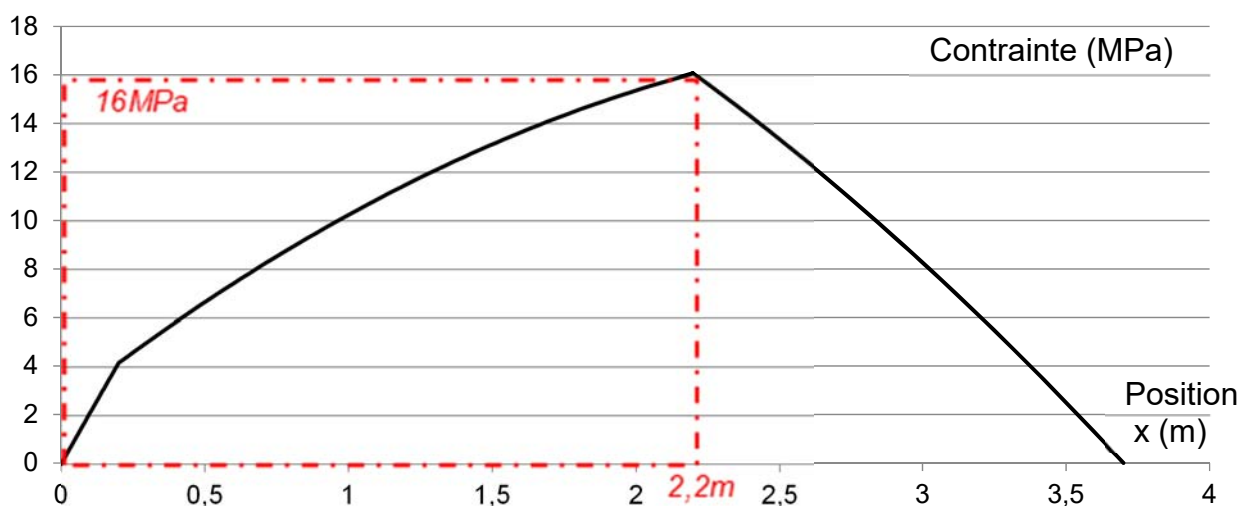
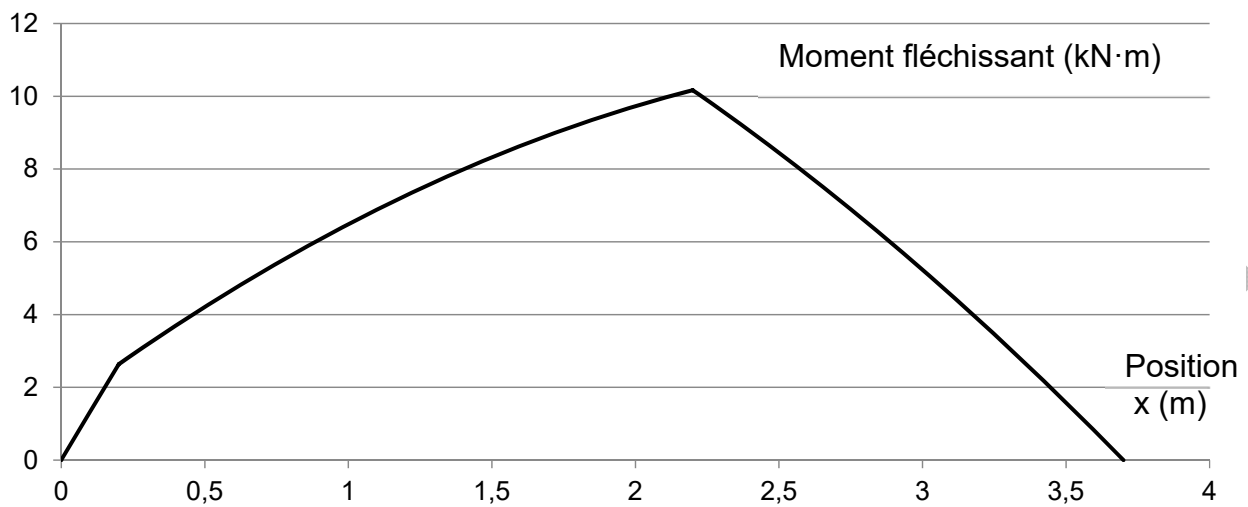


Tableau de répartition des charges linéiques supportées par la poutre

	longueur	largeur	épaisseur	charges		Charges linéiques
	m	m	m	valeur	unité	
Mobilier et personnes				1,5	kN·m ⁻²	0,9 kN·m ⁻¹
Plaque OSB	3,7	0,6	0,022	6	kN·m ⁻³	0,079 kN·m ⁻¹
Charge linéique d'exploitation qp :						qp = 0.979 kN·m ⁻¹
Poutre n°4	3,7	0,075	0,225	4,2	kN·m ⁻³	
	Poids de la poutre Gp =			0,2604	kN	gp = 0,0708 kN·m ⁻¹
Charge linéique totale p :						p = 1.05 kN·m ⁻¹

DOCUMENT RÉPONSES DRS3

Etude en flexion de la poutre n°4 : Résultats de la simulation numérique



DOCUMENT RÉPONSES DRS4

Pour connaître la résistance thermique de chaque composant diviser son épaisseur par sa conductivité par mètre d'épaisseur. Faire la somme de ces résistances.

CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION SURFACIQUE D'UNE PAROI						
Nature du matériau			Conductivité thermique λ (W/m.°C)	Epaisseur e (en mètre)	Résistance thermique $R_{th} = e / \lambda$ (m².°C/W)	
ENDUITS		plaque de carton plâtre	0.210	0.013	0.062	
		mortier de chaux, mortier bâtard chaux/ciment, mortier de chaux hydraulique	0.870			
		mortier au ciment	1.400			
		enduit chaux /sable	1.050			
ISOLANTS	SYNTHETIQUE	polystyrène extrudé	0.028			
		polystyrène expansé	0.035			
		polyuréthane en panneau	0.025			
		polyuréthane en mousse	0.030			
		polyester	0.035			
	naturel	laine de verre	0.035	0.045	1.286	
		laine de roche	0.040			
		VEGETAUX	OSB (800kg/m3)	0.150		
			granulat de bois	0.110		
			laine de cellulose (60kg/m3)	0.045		
			liège expansé (80 kg/m3)	0.032		
			laine de lin (vrac, rouleau, panneau semi rigide)	0.037		
STRUCTURE	BETON	laine de lin (panneau aggloméré)	0.090			
		béton cellulaire (400kg/m3)	0.110			
		blocs creux en béton de gravillon (parpaings)ép.10cm	R=0,09			
		blocs creux en béton de gravillon (parpaings)ép.20cm	R=0,21			
		béton léger (600kg/m3)	0.220			
	brique	béton ordinaire (2500kg/m3)	2.100	0.160	0.076	
		briques (700kg/m3)	0.300			
		briques (2000kg/m3)	0.960			
		brique creuse	0.500			
		brique Monomur BIOMUR 30 (ép.30)	0.124			
bois	bois (600 kg/m3) épicéa, pin, sapin	0.130				
	bois (800 kg/m3) hêtre, chêne	0.200				
LAME D'AIR VERTICALE	lame d'air (ép. 5 à 7 mm)		R=0,11			
	lame d'air (ép. 7 à 9 mm)		R=0,13			
	lame d'air (ép. 9 à 11mm)		R=0,14			
	lame d'air (ép. 11 à 13mm)		R=0,15			
	lame d'air (ép. >à 14 mm)		R=0,16		0.16	
Résistance thermique du mur en béton seul :					1.584	
Résistance thermique du mur isolé :					0.63	