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 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**

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 35 pages numérotées de 1/35 à 35/35.

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.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (12 points)

Chaudière à granulés



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 10
- **Documents techniques** ..... pages 11 à 16
- **Documents réponses** ..... pages 17 à 18

Mise en situation

Les modes de chauffage individuel contribuent à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles et à la production de polluants atmosphériques.

L'étude suivante doit permettre de répondre à la problématique : en quoi le chauffage à granulés de bois constitue une solution d'avenir dans le cadre du développement durable ?

Les chaudières à granulés sont de plus en plus nombreuses dans les foyers français.

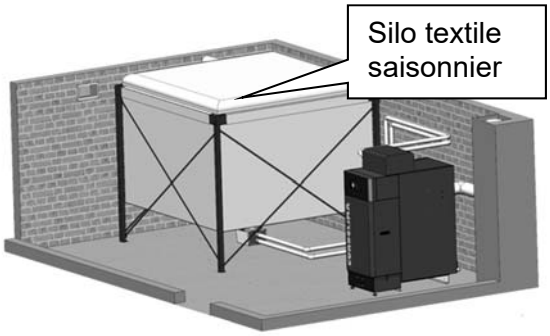




Les granulés sont fabriqués à partir de résidus, copeaux et sciures de bois, issus de l'industrie du bois (menuiserie, parqueterie, fabrique de palettes…), qui sont agglomérés ensemble, sans agent de liaison, pour former de petits cylindres compacts. Moderne et facile d'utilisation, la chaudière à granulés convient parfaitement aux personnes qui souhaitent bénéficier d'un chauffage naturel. La chaleur produite permet de chauffer l'eau d'un circuit de chauffage central d'un logement.

La production est automatisée grâce à un clavier ou à l'aide d'une télécommande : il suffit d'allumer sa chaudière à granulés, de la programmer, puis de la régler. Elle s'arrête automatiquement lorsqu'il n'y a plus de granulés.

Pour améliorer le confort d'utilisation, les granulés peuvent être stockés en grande quantité, par exemple dans un silo textile saisonnier.

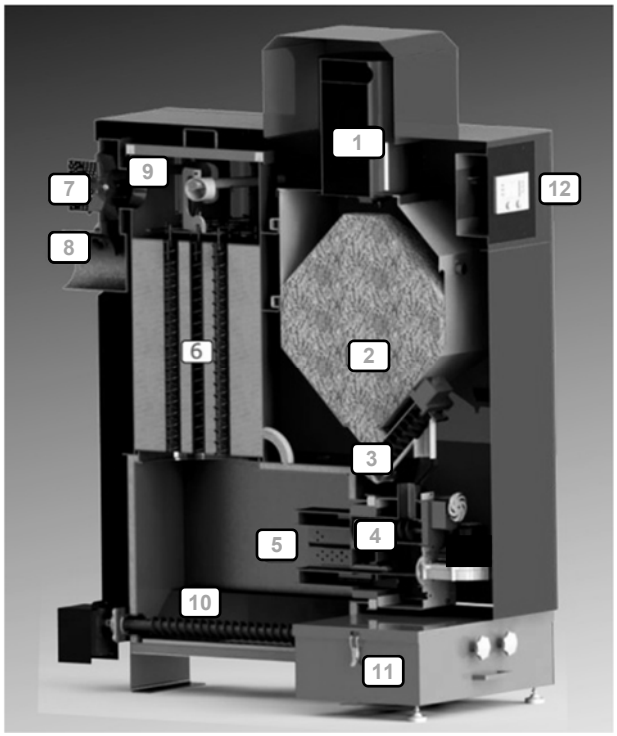


Le volume de ce silo textile saisonnier doit être adapté à la consommation annuelle afin d'éviter les rechargements en cours de saison de chauffe.

Le silo textile existe en différentes tailles. Il est rempli par camion souffleur. Sa structure évite la propagation de poussières. Lors du remplissage, le textile permet d'évacuer l'air, mais piège les poussières à l'intérieur du silo. Une liaison en tube flexible (entre le bas du silo et la chaudière) permet de transférer au fur et à mesure les granulés vers la chaudière par un système d'aspiration intégré.

Présentation de la chaudière

1. Aspiration granulés
2. Stockage journalier
3. Vis de dosage
4. Vis de sécurité
5. Chambre de combustion
6. Échangeur air-eau
7. Ventilateur d'extraction fumées
8. Conduite d'évacuation des Fumées
9. Sonde lambda
10. Vis de décendrage
11. Bac à cendres
12. Tableau de commande

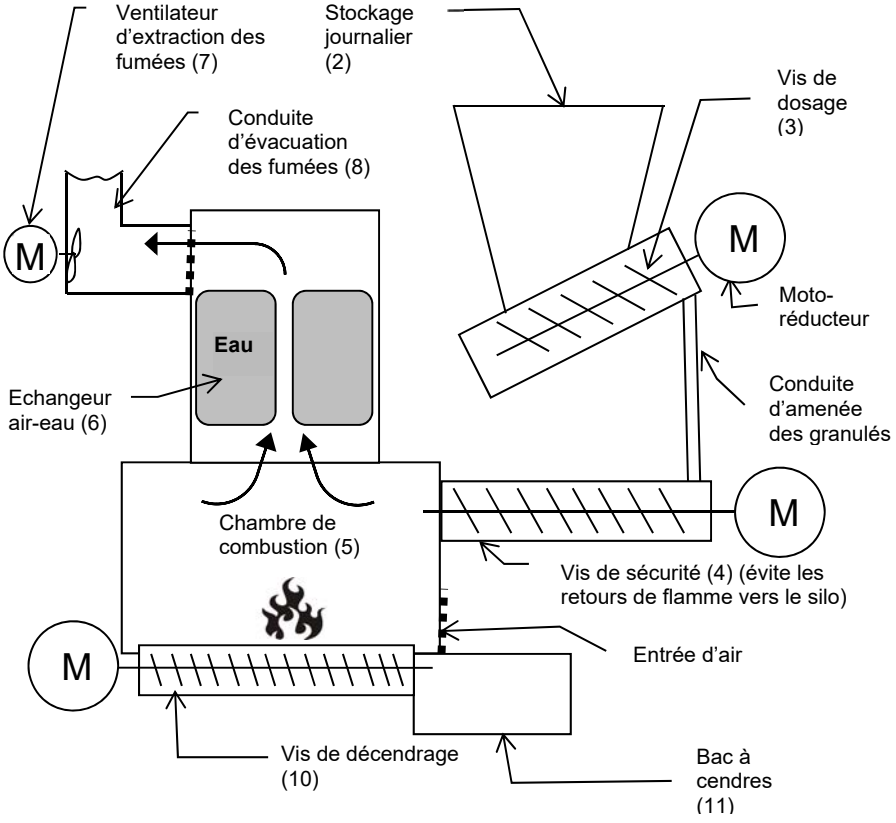


Description du fonctionnement

Les granulés sont stockés en (2). La vis de dosage (3) puis la vis de sécurité (4) amènent les granulés dans la chambre de combustion (5).

Après la combustion des granulés, les cendres sont récupérées dans le bac (11). La chaleur produite et les fumées sont aspirées par le ventilateur (7) et passent au travers d'un échangeur thermique air-eau (6). L'eau ainsi chauffée alimente les radiateurs répartis dans le logement.

Pour augmenter la chaleur produite, les granulés sont envoyés en plus grande quantité dans la chambre de combustion. Dans le même temps, l'aspiration des fumées augmente l'apport d'air dans la chambre de combustion.



Travail demandé

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

L'objectif de cette partie est de comparer l'impact environnemental des émissions de gaz à effet de serre des différentes énergies utilisées dans les chauffages domestiques.

Question 1.1
DT1 (feuillet 1/2)

Indiquer quel combustible émet le plus de gaz à effet de serre en *kg.équivalent CO_2 / MW·h utile*.

Question 1.2
DT1 (feuillet 1/2)

Indiquer l'énergie la plus utilisée pour le chauffage des foyers français.

Question 1.3
DT1

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 CO_2 / MW·h utile*.

	Gaz	Électricité	Fioul	Bois (en moyenne)
Part des émissions de gaz à effet de serre en *kg.équivalent CO_2 / MW·h*	0,286 x 222 = 63,5			

Tableau à recopier sur la copie

Question 1.4

En déduire par quelle énergie il faut remplacer le fioul pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

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

L'objectif de cette partie est de comparer les différentes solutions de chauffage au bois (à foyer ouvert et à granulés).

Dans les questions qui suivent, on s'intéresse aux émissions de particules fines en Île de France en 2010.

Question 2.1
DT1 (feuillet 1/2)

Expliquer pourquoi les particules PM10 sont dangereuses pour les humains.

Question 2.2 DT1 (feuillet 2/2)	**Calculer** le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois par les ménages et le **comparer** avec celui du trafic routier.
Question 2.3 DT1 (feuillet 2/2)	**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.
Question 2.4 DT1 (feuillet 2/2)	**Évaluer** 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.

Partie 3 : comment évaluer la consommation annuelle en granulés ?

L'objectif de cette partie est d'évaluer la consommation annuelle de granulés et de choisir le silo. L'habitation à équiper est actuellement chauffée au fioul domestique avec une chaudière très ancienne.

Le tableau du DT2 indique la quantité d'énergie thermique dégagée par la combustion de différents types d'énergie.

Question 3.1 DT2	**Relever** le pouvoir calorifique inférieur (PCi) du fioul et des granulés de bois en précisant bien l'unité de produit correspondante.

La consommation actuelle de fioul domestique est de 1380 L par an.

Question 3.2	**Calculer** la quantité d'énergie thermique E_T (en kWh) produite par l'ancienne chaudière, dont le rendement est de 75%.
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.
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.

Le document technique DT6 donne l'évolution de la <u>production</u> et de la <u>consommation</u> de granulés de bois en France.

Question 3.5 DT6	**Déterminer** graphiquement ces deux valeurs pour l'année 2019. **Expliquer** l'écart entre ces deux valeurs (production et consommation).

La consommation annuelle moyenne de granulés pour un foyer est de 2,5 tonnes.

Question 3.6 DT6	**Déterminer** le nombre de foyers qui auraient pu se chauffer avec des granulés <u>produits</u> en France en 2019.

Question 3.7	**Expliquer** pourquoi la chaudière à granulés est une solution d'avenir dans le cadre du développement durable (économie, social et environnement) en se basant sur l'ensemble des questions précédentes (parties 1 à 3).

Partie 4 : comment optimiser le fonctionnement de la chaudière ?

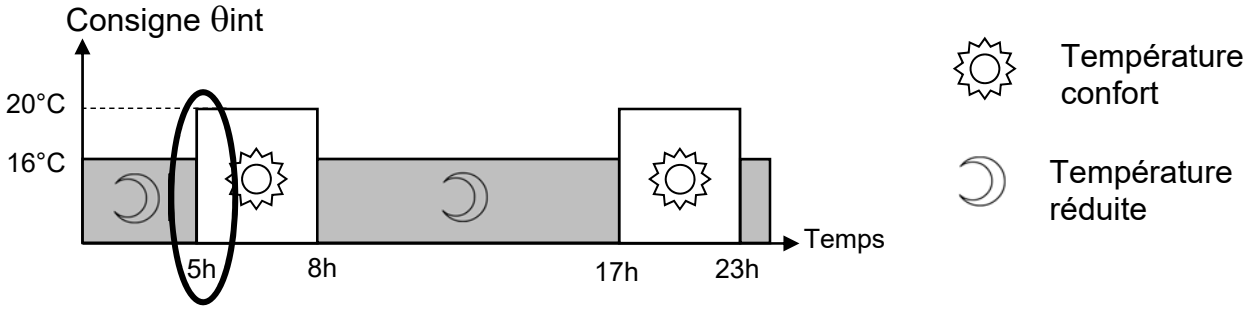
Afin de devenir une solution s'inscrivant dans une démarche de développement durable et respectueuse de la santé, le fonctionnement de la chaudière à granulés doit être optimisé. Afin d'obtenir le rendement maximum, il convient notamment de veiller à ce que la combustion des granulés soit complète. Ceci permettra d'une part de réduire la consommation de combustible, d'autre part de diminuer les rejets : émissions polluantes (CO_2, NOx, ...) et cendres.

L'objectif de cette partie est de répondre à la problématique : comment déterminer, pour un point de fonctionnement donné, l'ajustement optimal du mélange air / combustible solide afin que la combustion soit complète ?

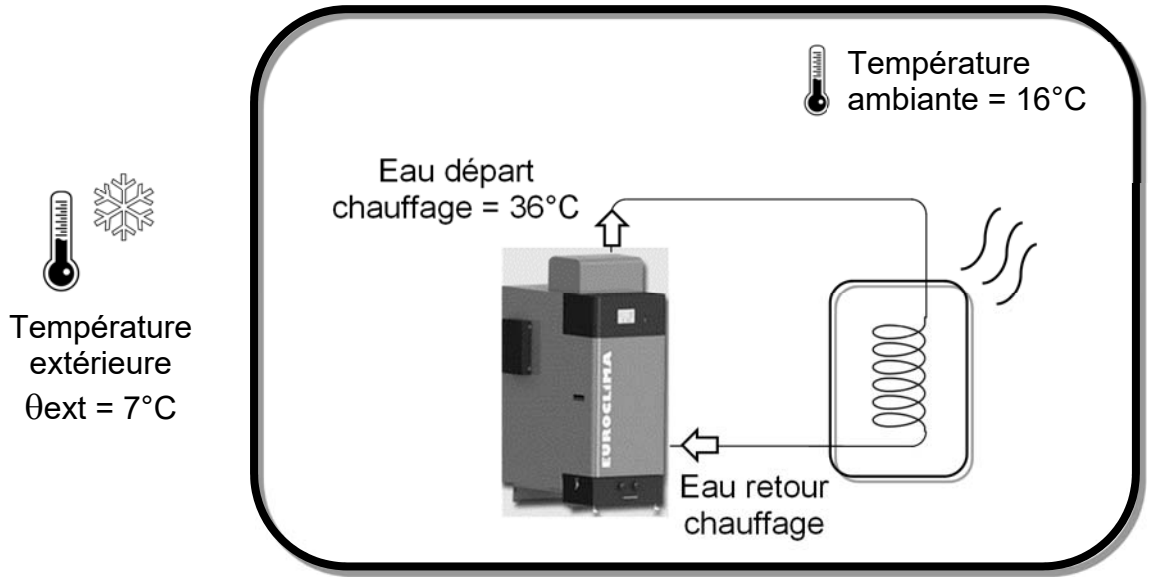
Question 4.1 DR1	Sur le diagramme de blocs internes du DR1, **identifier** les flux suivants en **repassant sur les traits** avec les couleurs indiquées ci-dessous : - flux d'information : concernant la **température** en **bleu ;** - flux de matière : concernant les **granulés** en **vert ;** - flux d'énergie : en **rouge.**

Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

Le graphe de programmation horaire définit les consignes de température intérieure (Consigne θint) de la maison au cours de la journée. Elles sont saisies par l'utilisateur grâce au tableau de commande.



Au point de fonctionnement étudié (juste avant 5 h du matin), la situation thermique est la suivante :



La chaudière produit de la chaleur pour réchauffer l'eau qui circule dans les tuyaux jusqu'aux appareils de chauffage de l'habitation (radiateurs, plancher chauffant ...).

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

On définit la relation de la quantité de chaleur Q [J] nécessaire pour élever la température d'un corps de masse m [kg] et de capacité thermique massique C [J·kg^{-1}·°C^{-1}], de la température initiale θi [°C] à la température finale θf [°C] par : $Q = m \cdot C \cdot (\theta f - \theta i)$.

Eau : masse volumique ρ = 1000 kg·m^{-3}, capacité thermique C = 4185 J·kg^{-1}·°C^{-1}.

Question 4.3 DT3	**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.

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

Pour fournir la puissance de chauffe nécessaire P_c, la carte gestion chaudière va devoir déterminer les quantités optimales de granulés et d'air.

Détermination de la quantité optimale de granulés par cycle

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

Le moteur est commandé de façon discontinue pour effectuer des cycles d'alimentation d'une durée de 20 s.

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

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

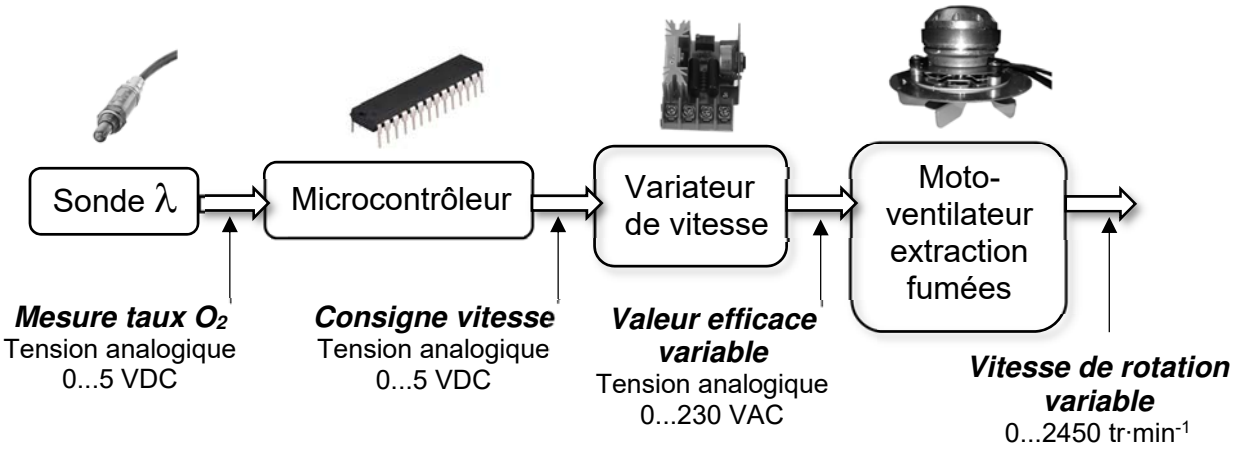
Détermination du volume optimal d'air par cycle

Il faut m = 75 g de granulés par cycle de 20 s pour produire une puissance de chauffe de 13 kW. Le rendement maximum de la chaudière est obtenu en ajustant de façon optimale le mélange air-granulés pour que la combustion soit complète. Un capteur appelé sonde lambda (λ) contrôle le pourcentage d'oxygène imbrûlé dans les fumées.

Question 4.8
DT9 | **Relever** sur le DT9, le rapport $\frac{A}{G}$ (masse Air / masse Granulés) pour la valeur de référence $\lambda_{réf}$ =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 ρ = 1,204 $kg \cdot m^{-3}$.

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

En réalité, au cours du cycle d'approvisionnement en granulés, la valeur de λ varie. Si l'on souhaite conserver le mélange air - granulés optimum, il est nécessaire de mettre en œuvre une régulation automatique. Ceci est réalisé par la carte gestion chaudière dont la chaîne d'information et d'action de la partie étudiée est la suivante :



Volume d'air de fumées extrait = volume d'air frais entrant dans la chaudière.

Question 4.10
DT9

Relever les valeurs limites λ_{mini} et λ_{maxi} pour rester dans la zone idéale.

Question 4.11
DR2

Compléter, sur le DR2, l'algorigramme 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.

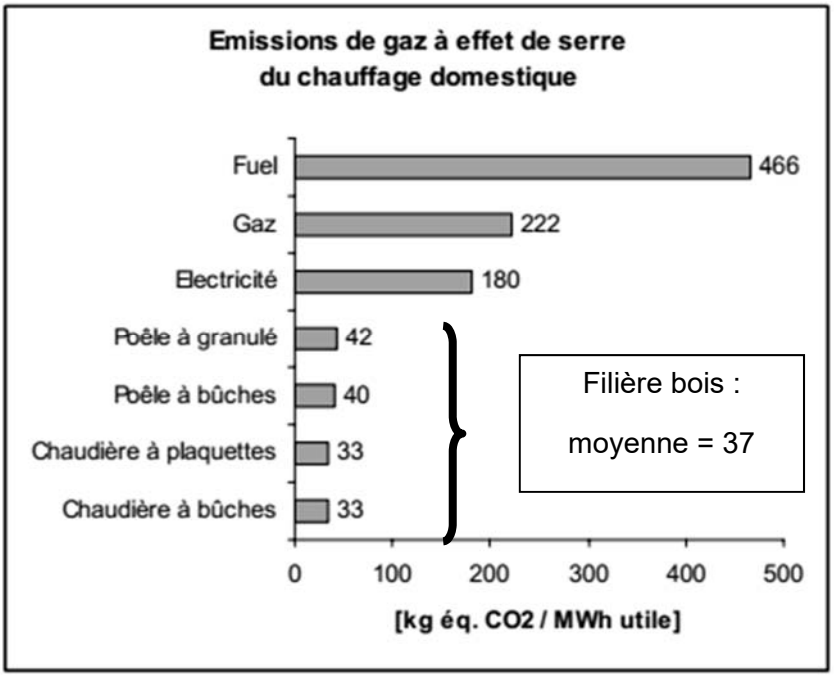
DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (*feuillet 1/2*)

Gaz à effet de serre

La combustion de la biomasse est généralement considérée comme neutre en termes d'émission de gaz à effet de serre du fait notamment que le gaz carbonique émis sera ensuite à nouveau recyclé lors de la croissance des végétaux, ce qui est le cas en France et en Europe où la forêt s'accroît régulièrement.

Le système énergétique global, « de la pépinière à la cendre », consomme en revanche des énergies fossiles et émet des gaz à effet de serre lors de l'extraction du combustible, de son conditionnement et de son transport.

Les émissions de gaz à effet de serre de la filière bois-énergie ont été estimées selon la méthode de l'analyse de cycle de vie. Celle-ci consiste à quantifier les émissions de ces gaz pour l'ensemble des activités concernées (extraction du combustible, distribution, utilisation finale chez l'usager…) qui sont liées à la production d'un MW·h utile de chaleur chez l'usager (ADEME).



Le chauffage des foyers français : répartition des énergies utilisées en %

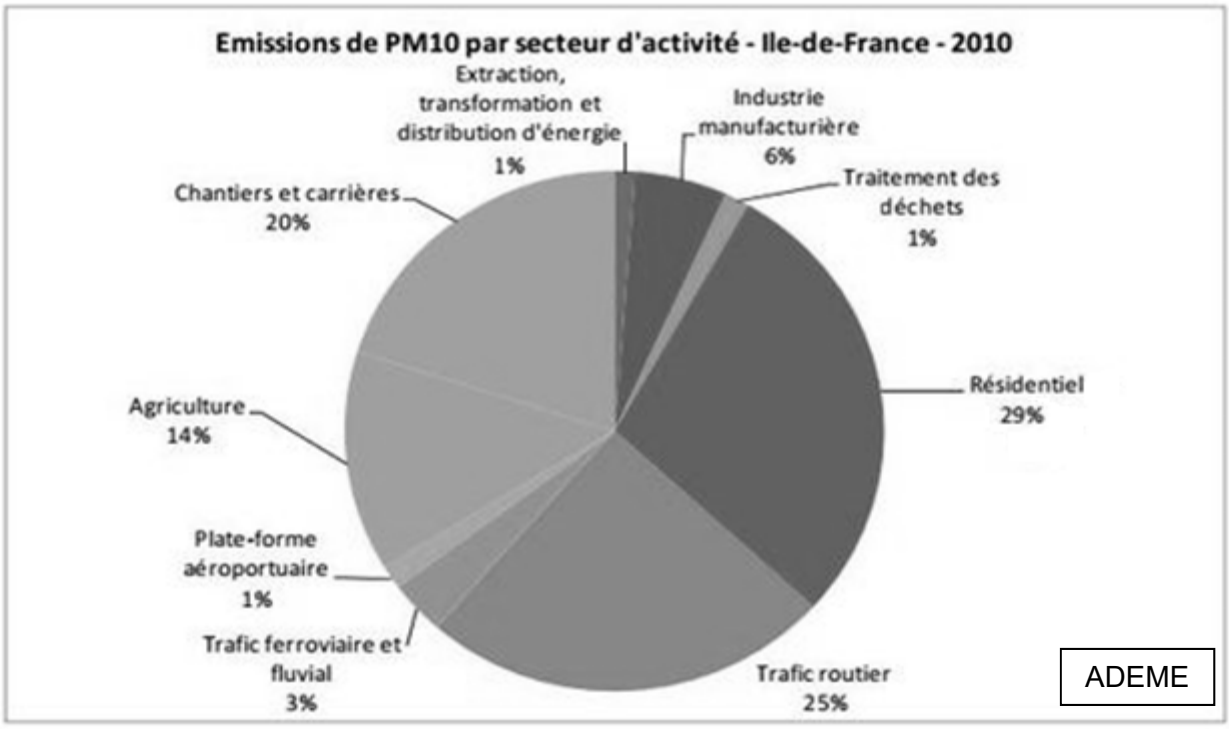
	Gaz	Électricité	Fioul	Bois	Autres	GPL bouteilles
Répartition en %	28,6	35,1	15,4	17,3	2,5	1,1

Émissions des particules fines PM10

La combustion du bois provoque l'émanation dans l'air de particules polluantes, comme pour les véhicules diesel.
Le danger vient de leur finesse : plus elles sont fines, plus elles pénètrent dans le système respiratoire.
Ces particules dites « fines » de type PM10 (particules de diamètre inférieur à 10 micromètres) sont considérées comme dangereuses avec des répercussions néfastes sur la santé, puisqu'elles comportent des métaux lourds et des hydrocarbures cancérigènes, équivalent à un tabagisme passif. Sur les humains, les risques sont augmentés pour les :

- accidents cardiaques ;
- cancers du poumon ;
- cancers des sinus de la face ;
- accidents vasculaires cérébraux.

DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (*feuillet 2/2*)



<u>Pour le secteur résidentiel</u> (Île de France en 2010)

Les PM10 proviennent à 80 % des ménages (secteur résidentiel) utilisant un combustible bois.

Selon la DRIEE (direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie), les appareils à foyer ouvert (exemple sur la photo ci-contre) :

- *représentent 50 % des émissions de PM dues au chauffage au bois ;*
- *émettent huit fois plus de particules qu'un foyer fermé avec un insert à granulés.*



DT2 : comparatif des types d'énergie

Définition du pouvoir calorifique inférieur (PCi) : c'est la quantité moyenne d'énergie thermique dégagée par la combustion d'une unité de produit.

Type d'énergie	PCi en kWh
1 litre de fioul domestique	9,97
1 kg de gaz propane	12,66
1 kg de gaz butane	12,56
1 kg de charbon	8,889
1 stère de bûches de bois	1680
1 tonne de granulés de bois	4600
1 tonne de plaquettes bois	2200

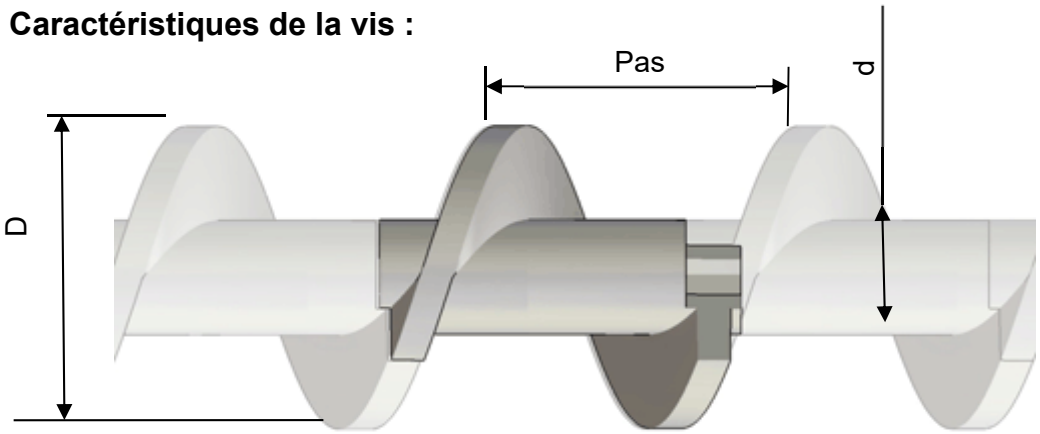
DT3 : caractéristiques de la chaudière Euroclima 32

Chaudière Euroclima 32		
Puissance nominale	kW	32
Puissance à charge partielle	kW	9
Hauteur	mm	1 850
Largeur	mm	806
Profondeur	mm	1 452
Masse	kg	515
Diamètre sortie de fumée	mm	153
Contenance en eau	L	90
Raccordement électrique	V	230
Température des fumées	C°	130
Rendement à puissance nominale selon EN 303. 5	%	93
Rendement à charge partielle	%	91
CO à puissance nominale (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	74
CO à charge partielle (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	88
Poussières à puissance nominale (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	18
Poussières à charge partielle (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	14
Qualité des granulés		DIN+
Débit d'air maximum	$m3 \cdot h^{-1}$	290
Température d'utilisation	°C	60-85
Pression maxi	bars	3

DT4 : caractéristiques de la vis de dosage 2 et des granulés

La vis de dosage est une vis sans fin qui en tournant permet d'amener les granulés vers les vis de sécurité qui empêchent le retour des flammes vers le stockage journalier.

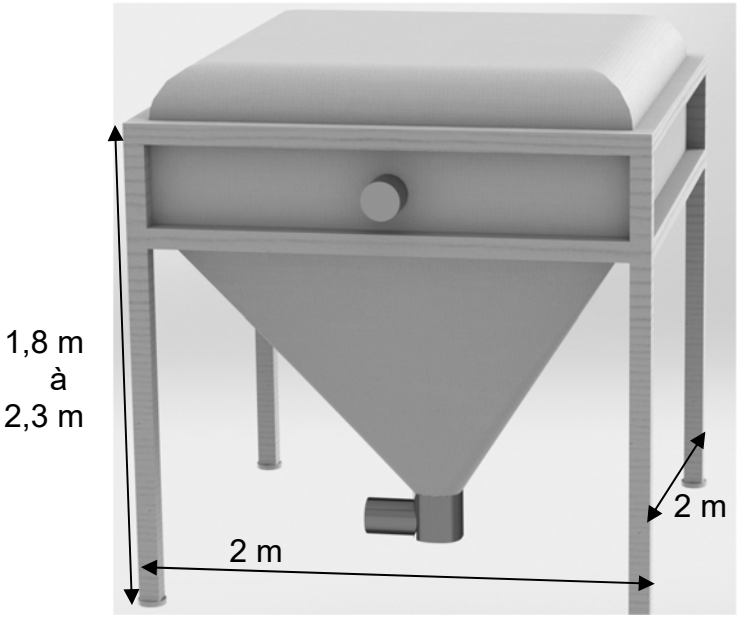
- **Caractéristiques de la vis :**



Volume utile disponible pour contenir les granulés : V=125 000 mm^3 par tour de vis.

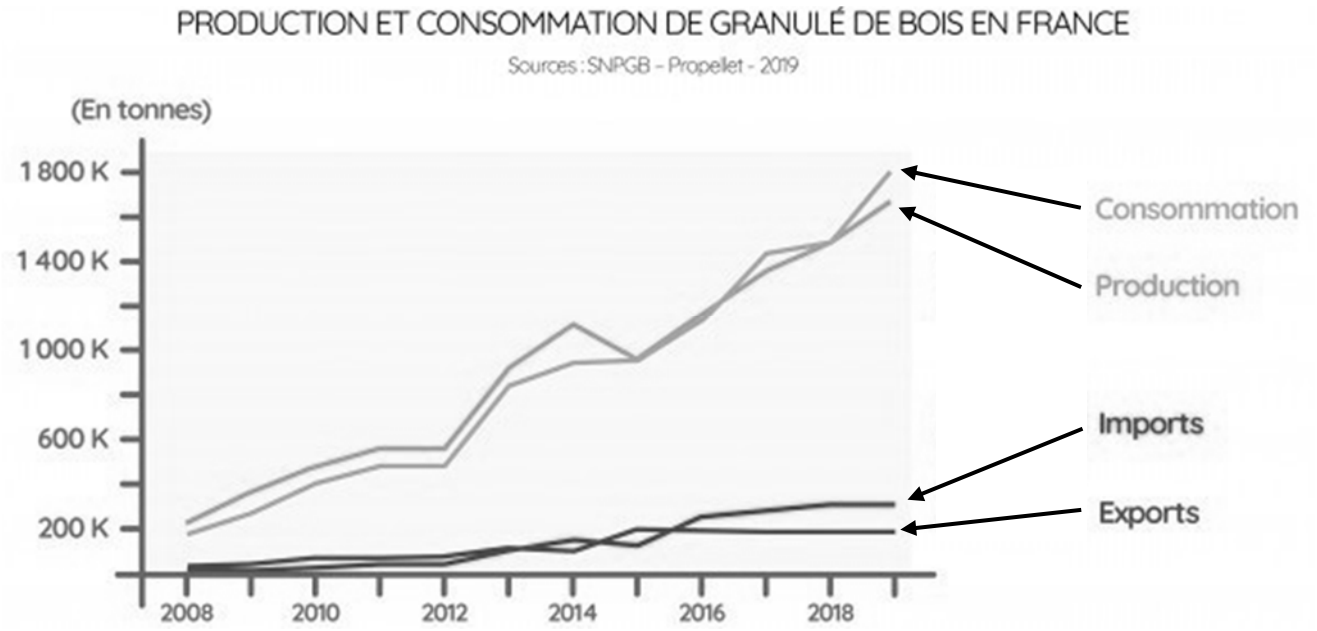
- **Masse volumique des granulés :** 600 $kg \cdot m^{-3}$

DT5 : silo ECO200P

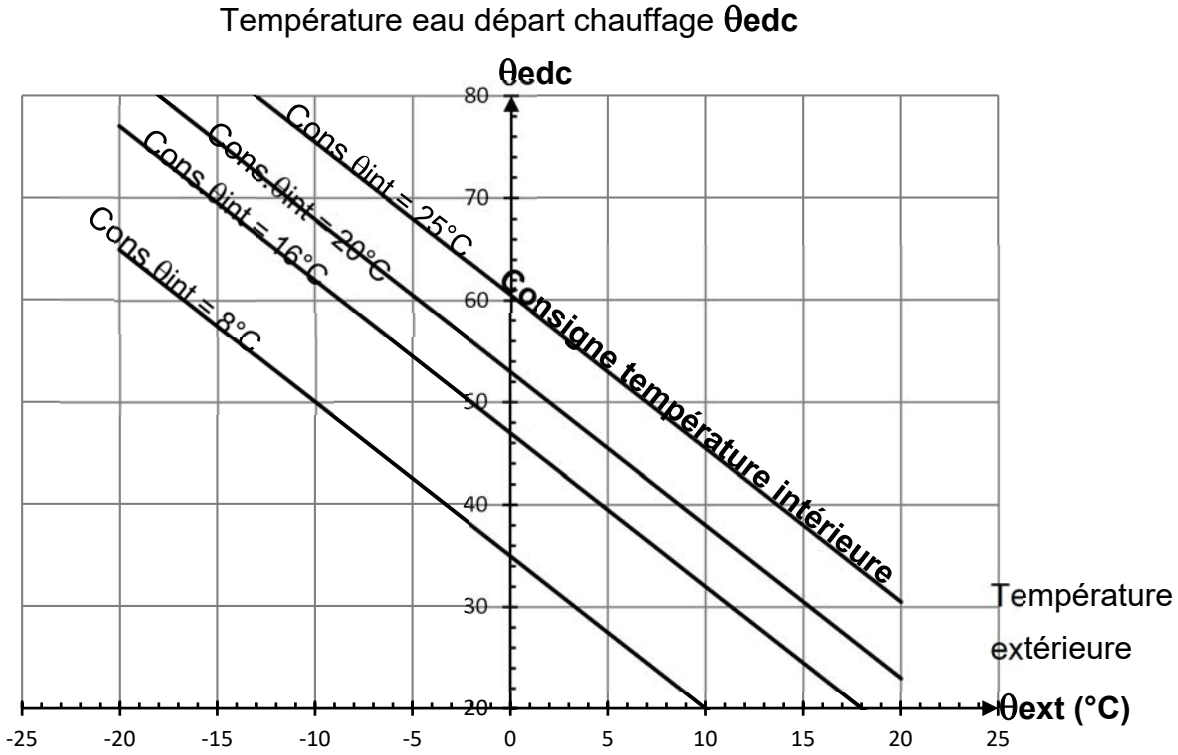


Article	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m^3)	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

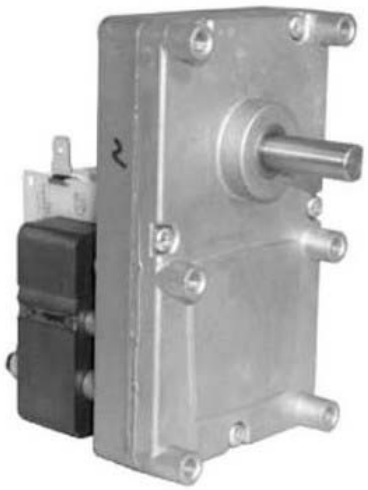
DT6 : production et consommation de granulés de bois en France



DT7 : courbes de chauffe pour une régulation climatique



DT8 : caractéristiques du moto-réducteur de la vis de dosage



Description | Information compléme

Description

Motoréducteur pour Poêle à Granulés – ref FB1249

Alimentation 220VCA

Vitesse: 3 rpm

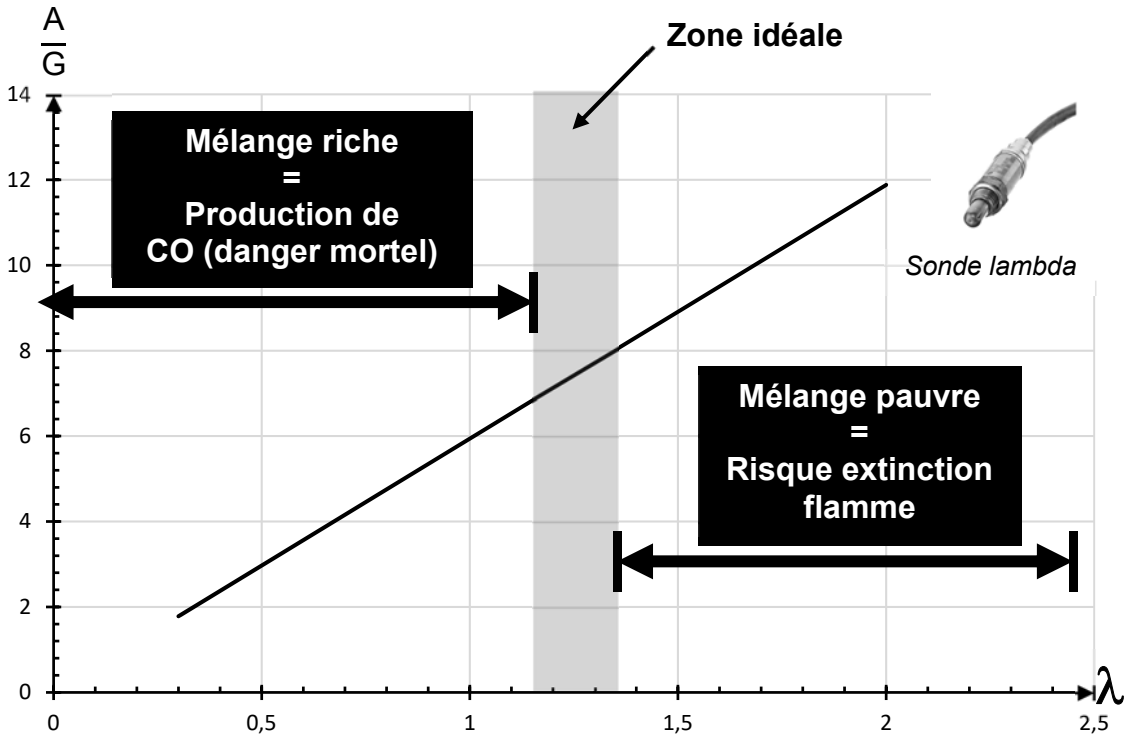
Tôles feuilletées: 32 mm

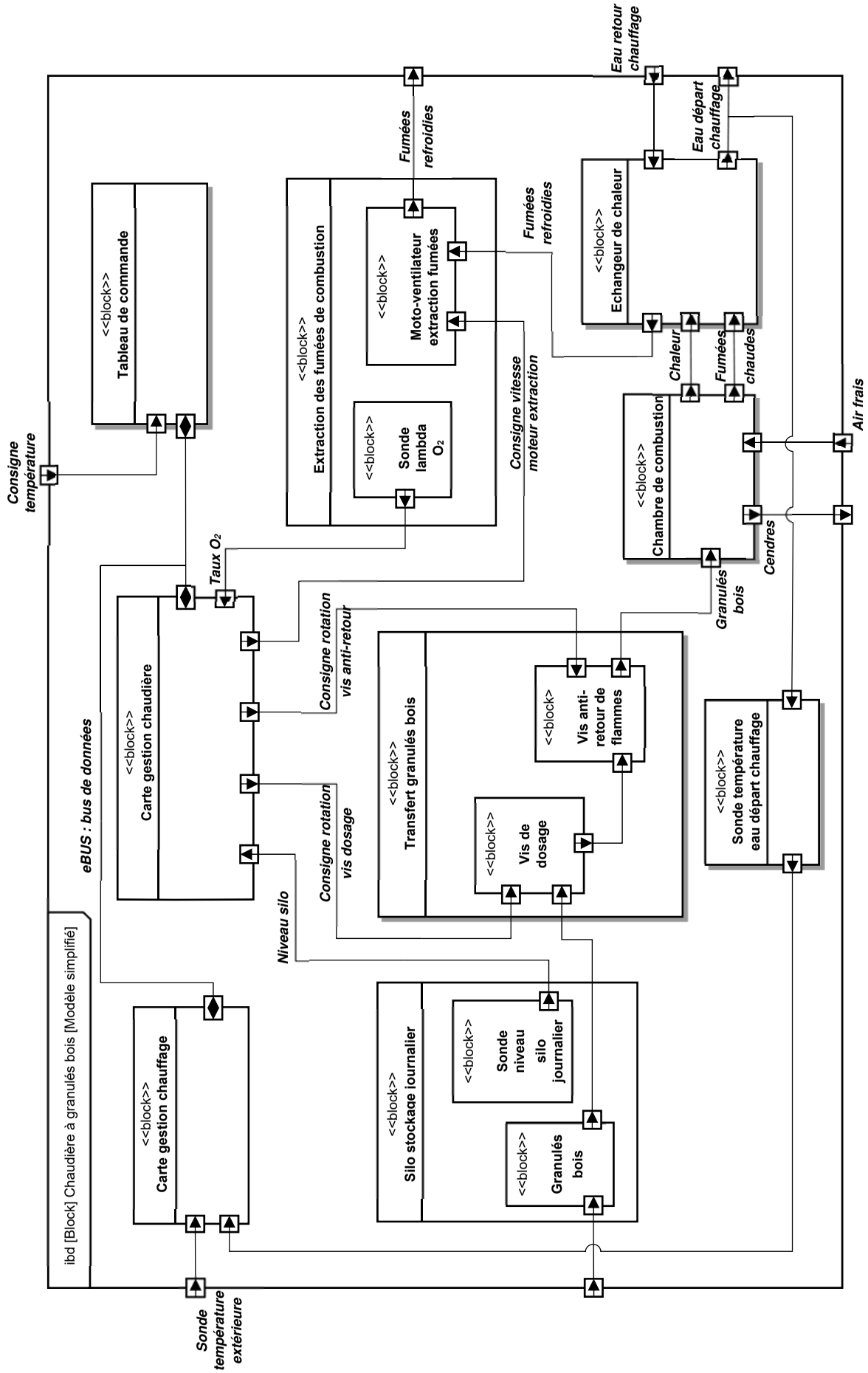
Diamètre arbre: 8,5 mm

Remarque : **rpm** « revolutions per minute » = $tr \cdot min^{-1}$

DT9 : richesse d'un mélange combustible-comburant

Rapport masse Air / masse Granulés en fonction de lambda




ibd [Block] Chaudière à granulés bois [Modèle simplifié]
<<block>> Tableau de commande
<<block>> Extraction des fumées de combustion
<<block>> Moto-ventilateur extraction fumées
<<block>> Sonde lambda O_2
<<block>> Echangeur de chaleur
<<block>> Chambre de combustion
<<block>> Carte gestion chaudière
<<block>> Transfert granulés bois
<<block>> Vis anti-retour de flammes
<<block>> Vis de dosage
<<block>> Sonde température eau départ chauffage
<<block>> Carte gestion chauffage
<<block>> Silo stockage journalier
<<block>> Sonde niveau silo journalier
<<block>> Granulés bois
Consigne température
Fumées refroidies
Eau retour chauffage
Eau départ chauffage
Fumées refroidies
Consigne vitesse moteur extraction
Chaleur
Fumées chaudes
Air frais
Cendres
Granulés bois
Taux O_2
Consigne rotation vis anti-retour
Consigne rotation vis dosage
Niveau silo
eBUS : bus de données
Sonde température extérieure

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.)

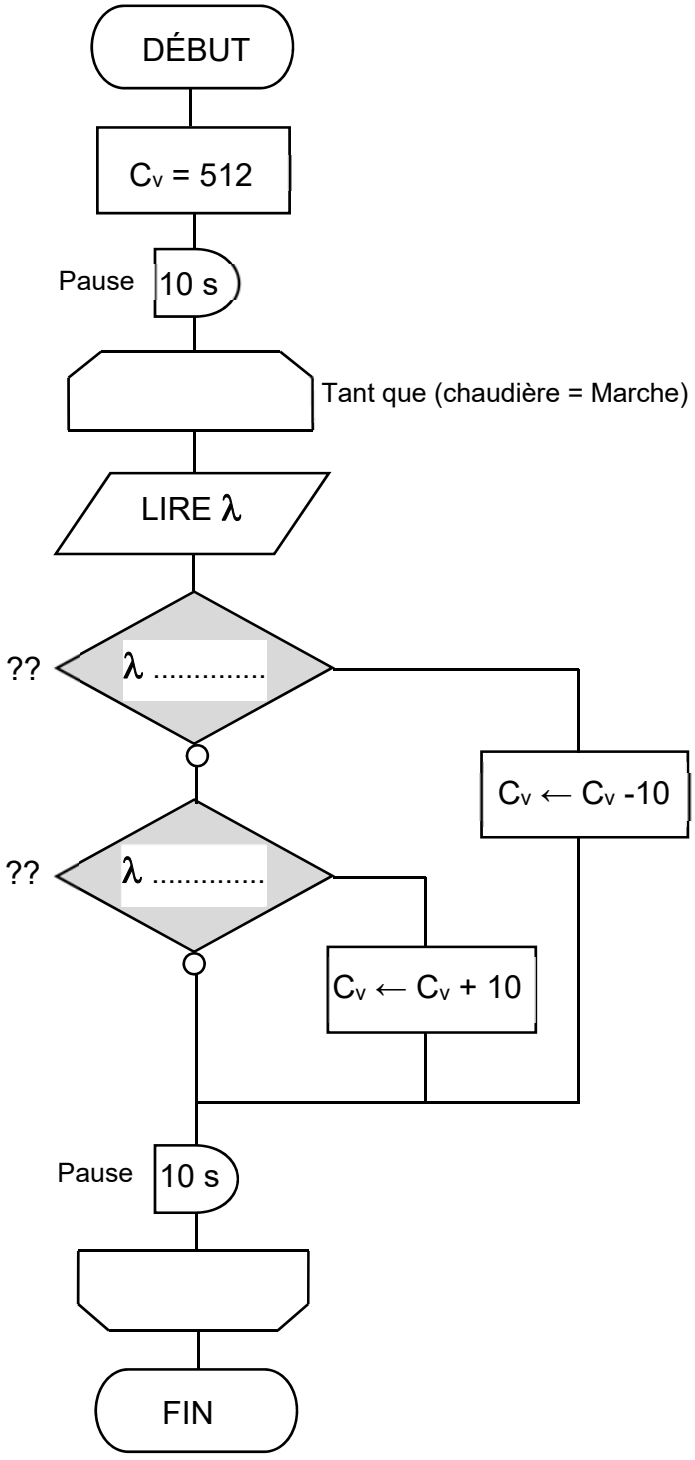
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

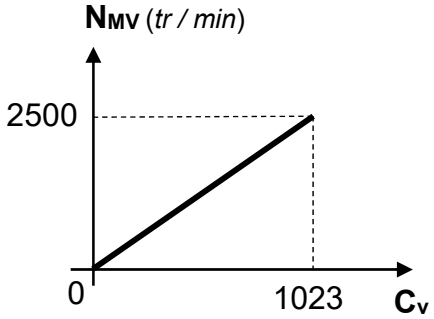
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES DR2

Algorigramme de régulation du volume d'air





N_{MV} : Vitesse de rotation du moto-ventilateur extraction fumées

C_v : Consigne vitesse (valeur numérique codée sur 10 bits)

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Chaudière à granulés



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement** ..... Pages 20 à 24
- **Dossier technique et documents réponse** ..... Pages 25 à 35

Dans la partie spécifique, vous devez choisir entre traiter la partie C (choix 1) ou la partie D (choix 2).
Les autres parties sont à traiter obligatoirement.

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.

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.

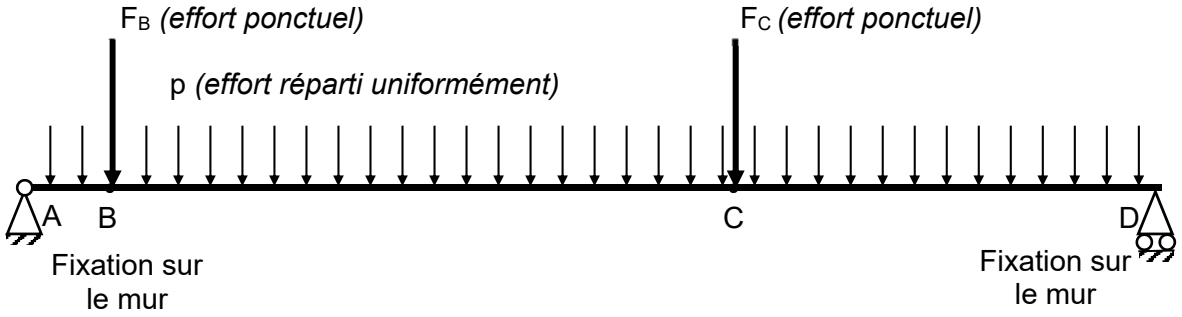
.

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 $kN \cdot m^{-3}$ 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.

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 $kN \cdot m^{-2}$.
- 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 DRS2	**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].

Les poutres sont en pin de poids volumique 4,2 kN·m^{-3}.

Question B.3 DTS4 DRS2	À partir des caractéristiques du bois et de sa géométrie, **calculer** le poids de la poutre Gp en [kN] puis son poids linéique gp en [kN·m^{-1}]. **Compléter** le tableau de répartition des charges du DRS2 pour déterminer la charge linéique d'exploitation qp en [kN·m^{-1}] que doit supporter la poutre n°4 en plus de son poids propre. En **déduire** la charge répartie p = gp + qp en [kN·m^{-1}].

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 où L 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 [kN·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 σ_{max} de cette poutre.
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.
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.

Choix 2

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. Celle-ci est principalement dû au besoin d'acheminer les granulés jusqu'à la chaudière. En effet, après aspiration, les granulés sont entrainés 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 côté 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 côté garage-chaufferie. Actuellement la séparation entre le local où se trouve la chaudière et la chambre est constituée d'un simple mur de **béton de 16 cm d'épaisseur** (masse volumique du béton = 2500 $kg \cdot m^{-3}$).

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 DTS6	**Calculer** la masse surfacique du mur en béton de 16 cm d'épaisseur. **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.

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 DTS7	**Choisir** la solution qui répond à l'affaiblissement souhaité à partir des différentes solutions murales proposées par le groupe ISOVER (DTS7). **Décrire** la composition du nouveau mur et **donner** son épaisseur.
Question D.3 DTS4 DTS5	**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 <u>indirecte</u> des bruits. **Conclure** sur la solution retenue.

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

Question E.1 DRS4	**Donner** le coefficient λ du béton ordinaire. **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.

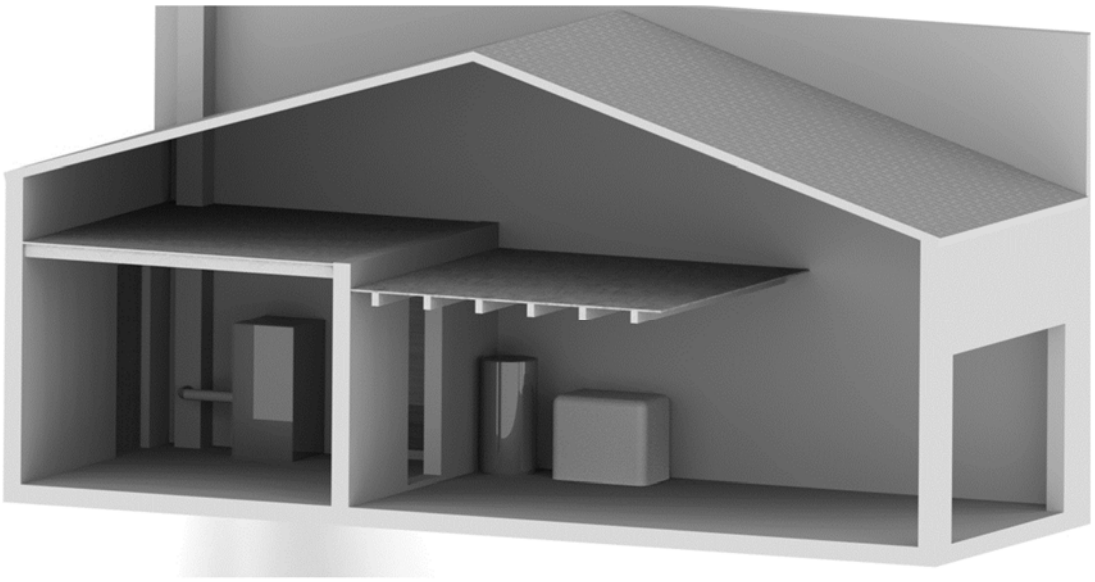
Pour assurer une protection acoustique de la chambre attenante une isolation a été rajoutée coté garage (solution n°1 du DTS7). Elle se compose de :

- 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.

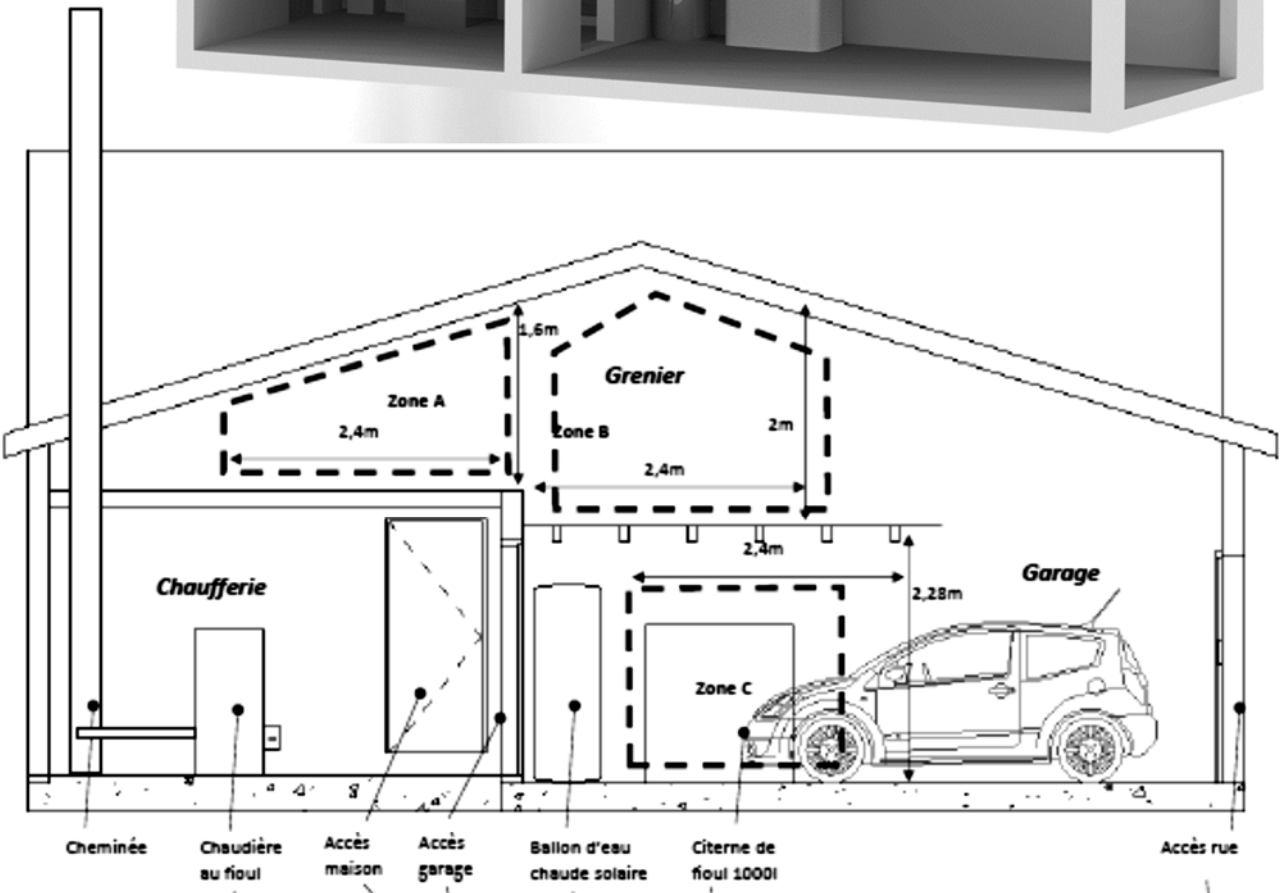
Question E.2 DTS7 DRS4	**Calculer** le nouveau R_{th} obtenu et **le reporter** sur le DRS4.
Question E.3	**Calculer** la valeur du gain thermique en %.
Question E.4	**Conclure** sur l'utilité de cette isolation.

DTS1 : installation actuelle

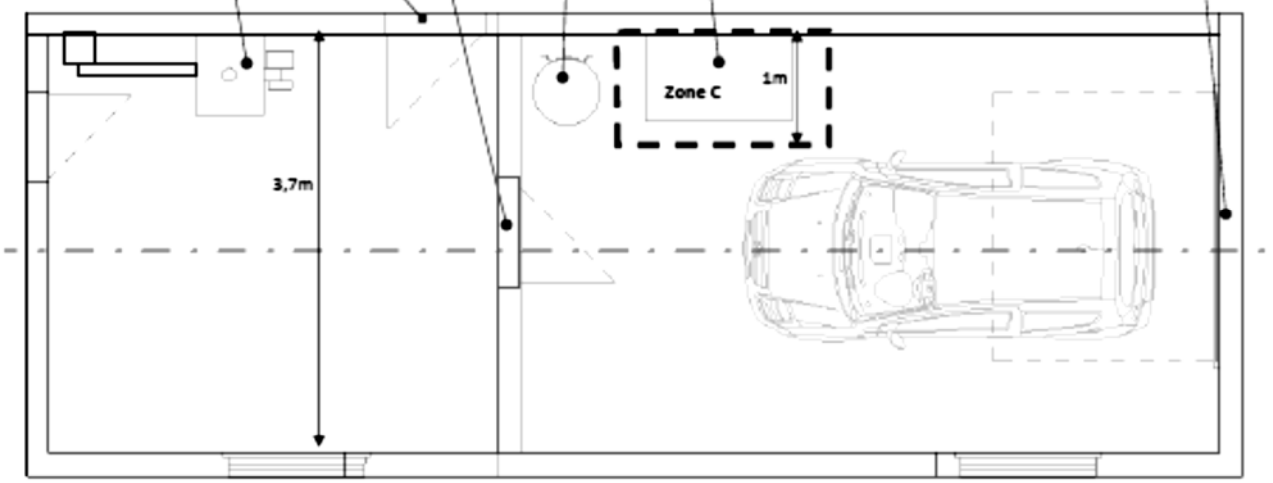
Perspective



Coupe



Plan du garage

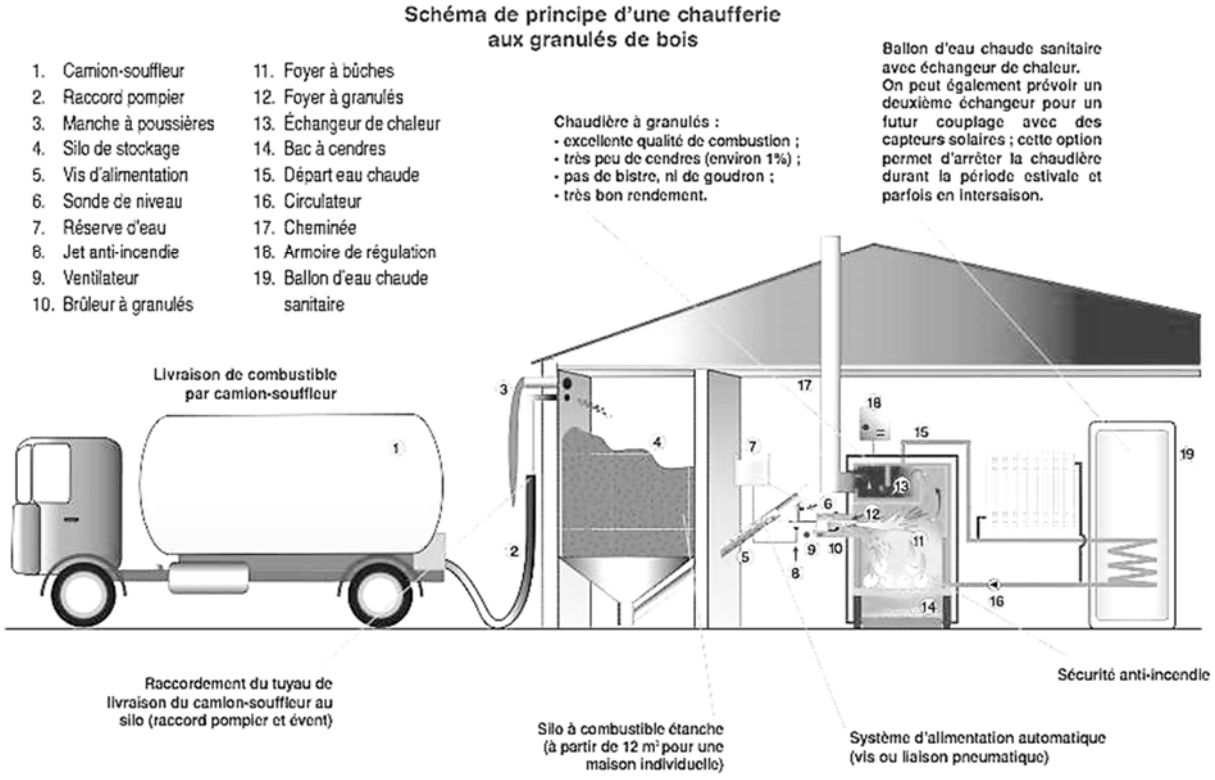


DTS2 : recommandations pour le remplissage d'un silo à granulés

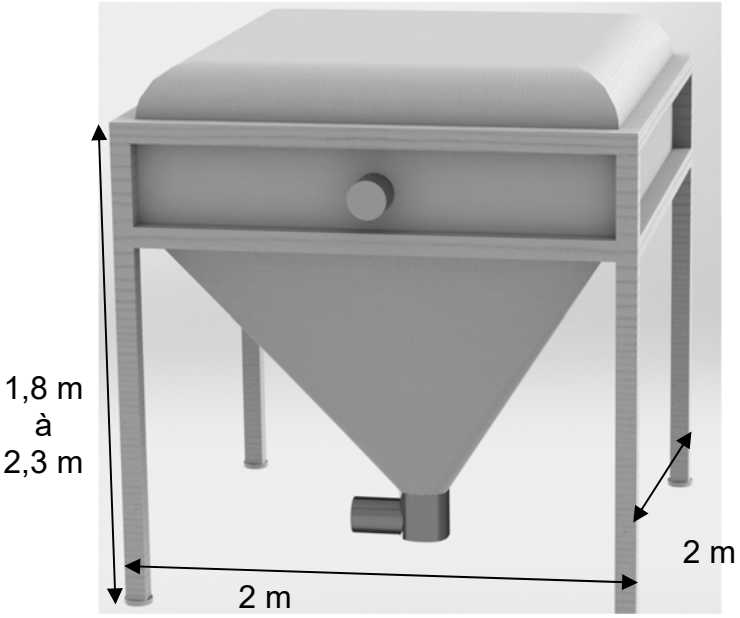
La construction ou l'achat d'un silo adapté au stockage des granulés en vrac est indispensable pour la conservation du produit et pour la sûreté de l'installation.
Le silo doit être installé dans un lieu sec, sans conduit d'installation électrique et sans passage de conduite d'eau.
Il est important que 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.



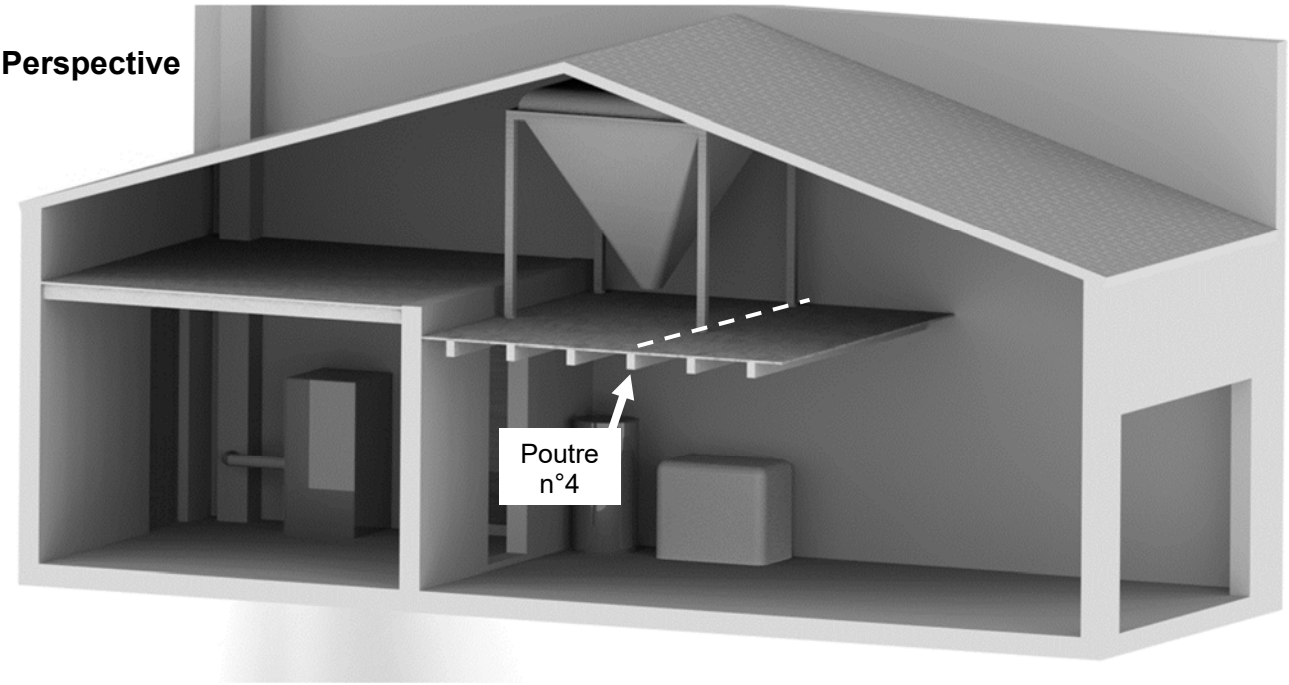
DTS3 : silo ECO200P



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

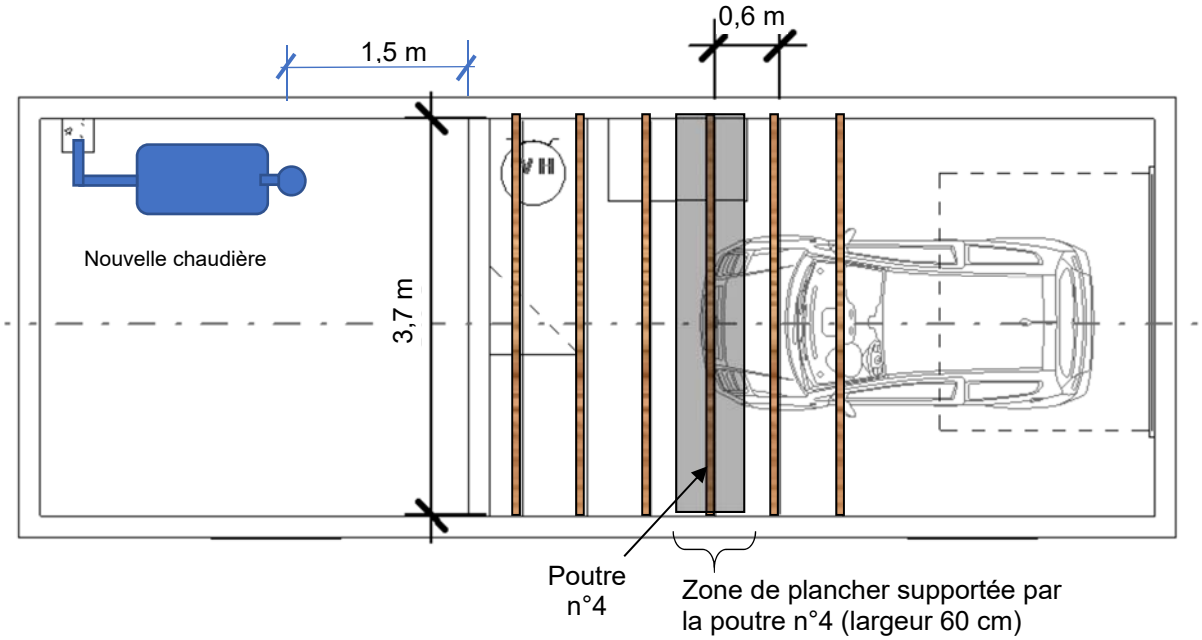
DTS4 : plan structurel du plancher haut garage

Perspective



Plan du plancher haut garage

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

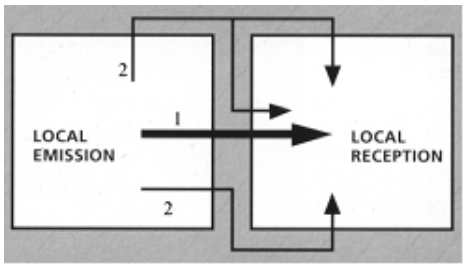


DTS5 : Rappels d'acoustique

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

1 transmission directe – 2 transmissions indirecte



Cependant la valeur de Rw 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 **: Rw, C, Ctr**

- S'il est soumis à un bruit rose son indice d'affaiblissement est **: Rw + C**
- S'il est soumis à un bruit routier son indice d'affaiblissement est **: Rw + 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.

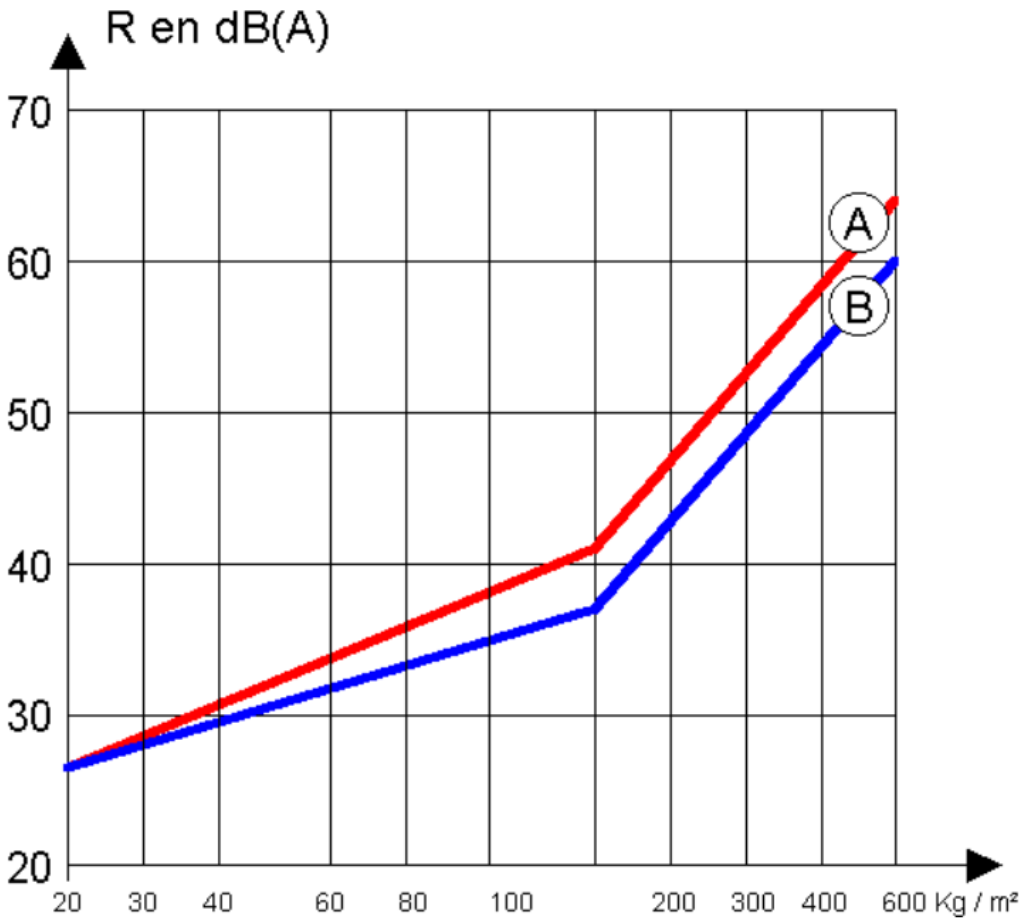
BRUIT - d'équipements :
Bruit généré par les équipements techniques d'un bâtiment (ascenseur, ventilation, robinetterie, chauffage par ex.).

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

Valeurs minimales à respecter :

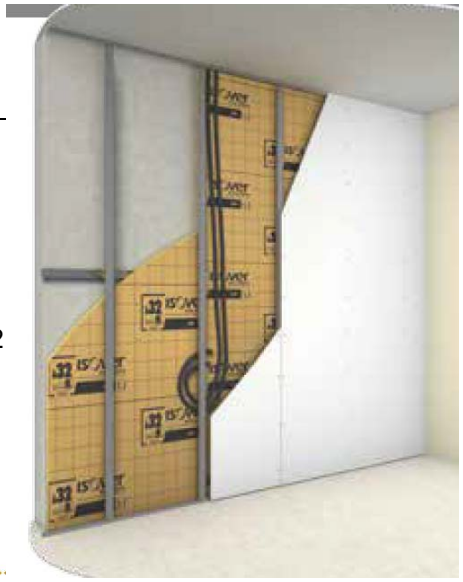
Niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT}	Local de réception du bruit	
	Pièces principales	Cuisine
Appareil individuel de chauffage ou appareil individuel de climatisation	< 35 dB(A)	< 50 dB(A)*
Installation de ventilation mécanique (débit minimal)	< 30 dB(A)	< 35 dB(A)
Équipement individuel d'un 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



Isolation acoustique mince des murs
SYSTÈME OPTIMA MURS

DESCRIPTIF

- 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
- 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

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	$R_{A,tr}$	$\Delta R_{A(lourd)*}$	$\Delta R_{A,t(lourd)*}$
❶ Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ;-10)	68	61	11	8
❷ Mur non isolé	59(-2 ;-6)	57	53	-	-



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

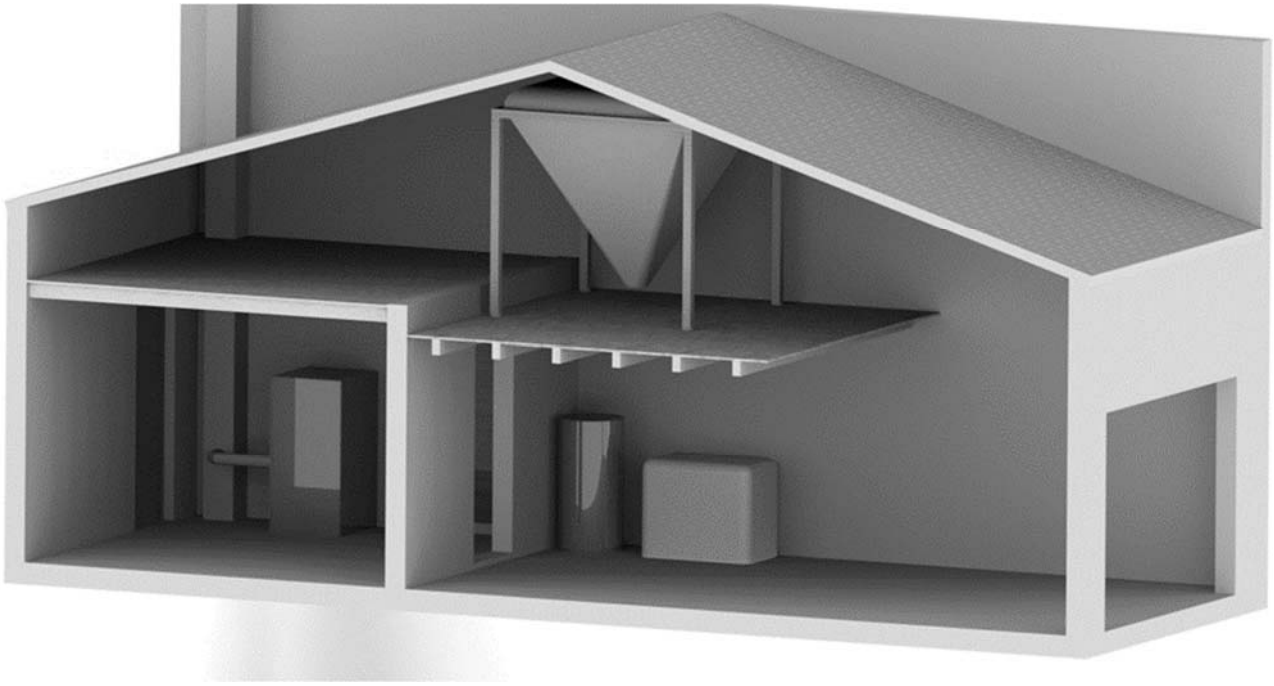
Solution n°2	Affaiblissement acoustique en dB			Gain acoustique en dB	
	$R_w(C;C_{tr})$	R_A	$R_{A,tr}$	ΔR_A	$\Delta R_{A,tr}$
Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ;-10)	68	61	13	10
Mur non isolé	56(-1 ;-5)	55	51	-	-

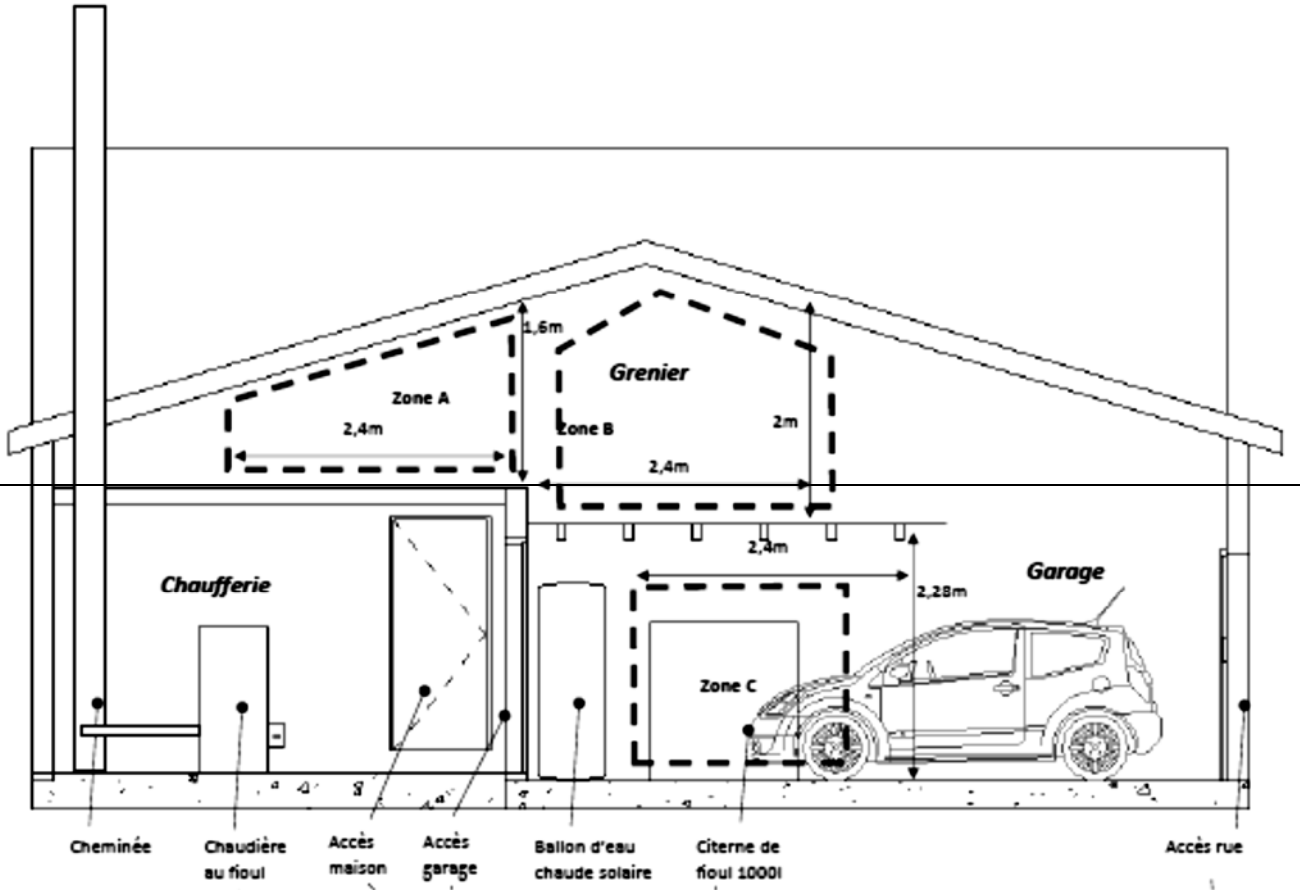


Sur briques creuses 200 mm avec enduit mortier (simulation AcousSTIFF)

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.





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

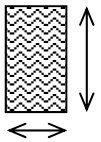
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES DRS2

Étude en flexion de la poutre n°4 :

Profil de la poutre



h = 225 mm

b = 75 mm

section de la poutre S = b·h =

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

Modèle de calcul de structure pour la poutre

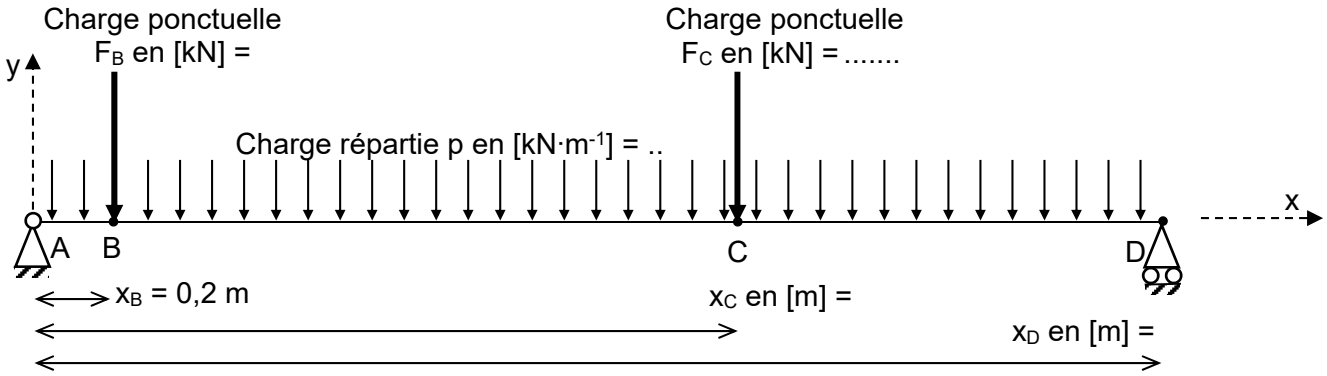


Tableau de répartition des charges linéiques supportées par la poutre

	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 = kN·m^{-1}
Poutre n°4				4,2	kN·m^{-3}	
	Poids de la poutre Gp =				kN	gp = kN·m^{-1}
Charge linéique totale p :						p = kN·m^{-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.)

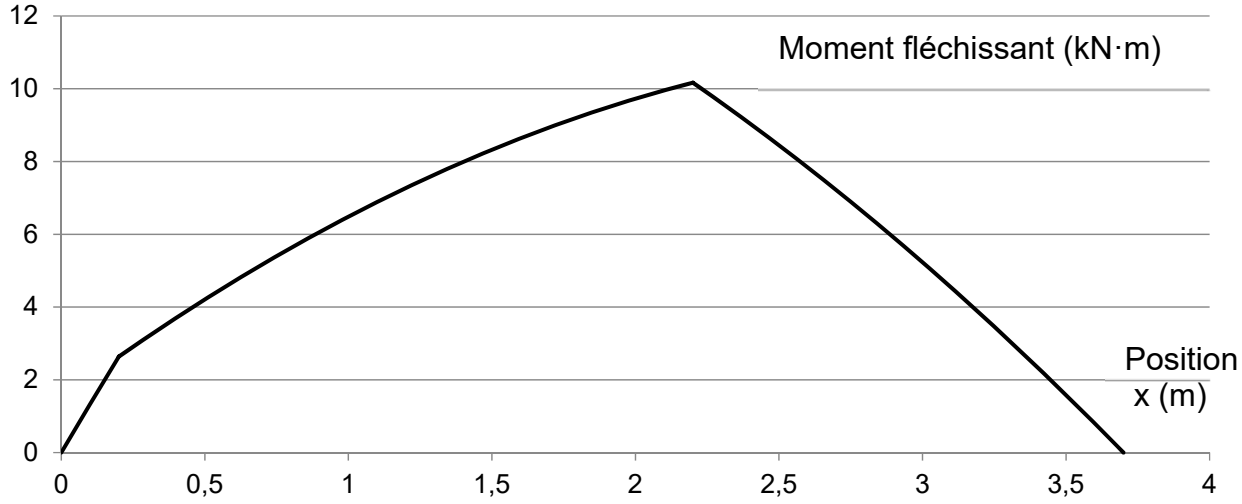
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

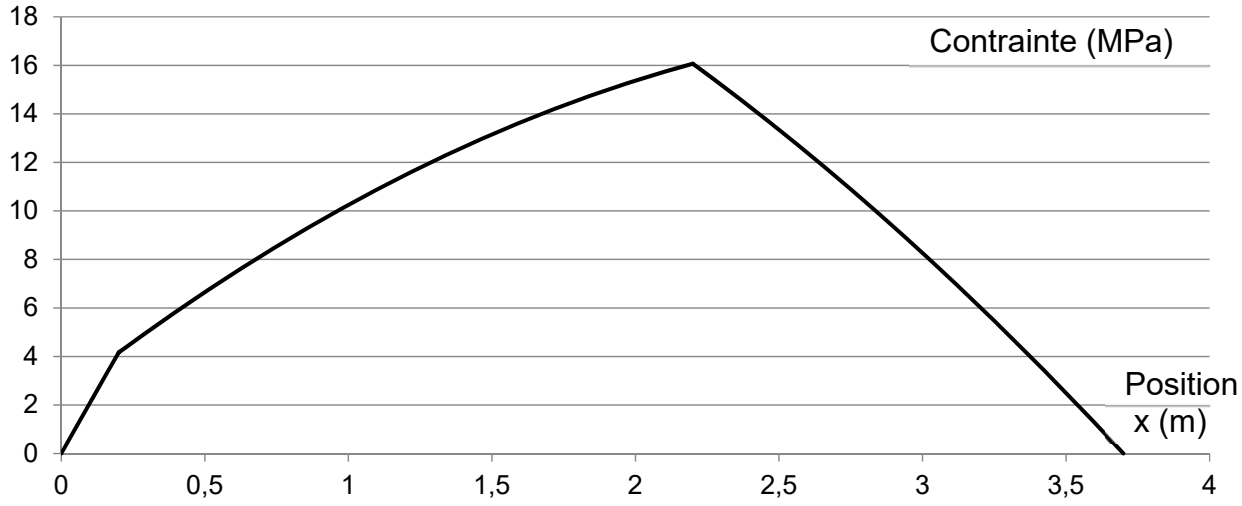
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

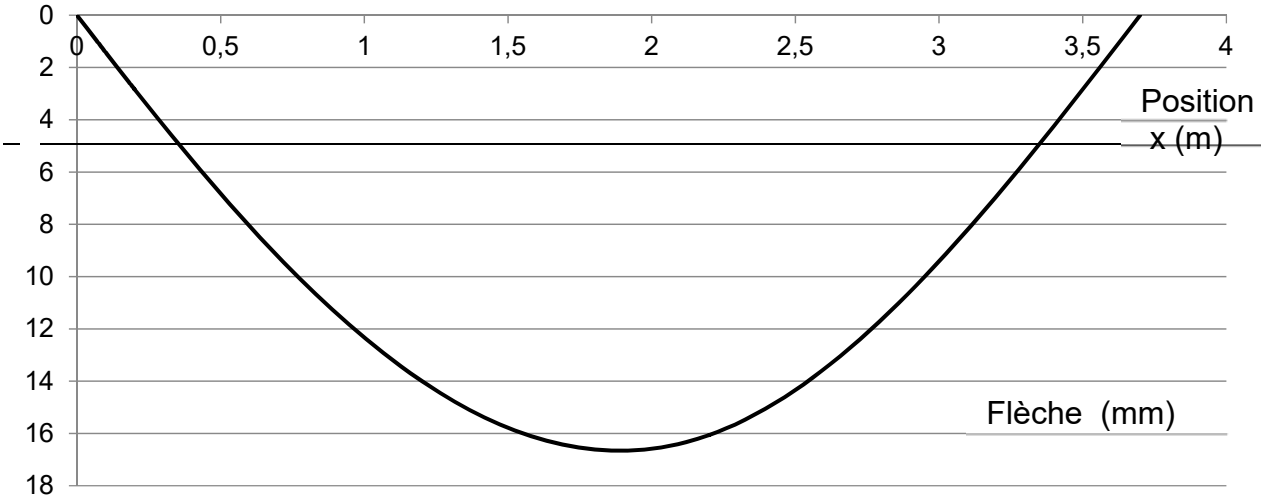
1.2

DOCUMENT RÉPONSES DRS3

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







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

Pour connaitre 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/ λ (m^2.°C/W)**
ENDUITS		plaque de carton plâtre	0.210		
		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		
		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		
		laine de lin (panneau aggloméré)	0.090		
STRUCTURE	BETON	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		
		béton ordinaire (2500kg/m3)	2.100		
	brique	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		

Résistance thermique du mur en béton seul :	
Résistance thermique du mur isolé :	

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.