

# 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 collègue » 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 :**

<b>Partie commune (durée indicative 2h30)</b>	12 points
<b>Partie spécifique (durée indicative 1h30)</b>	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.**

**Chaudière à granulés**



- **Présentation de l'étude et questionnaire**..... 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.

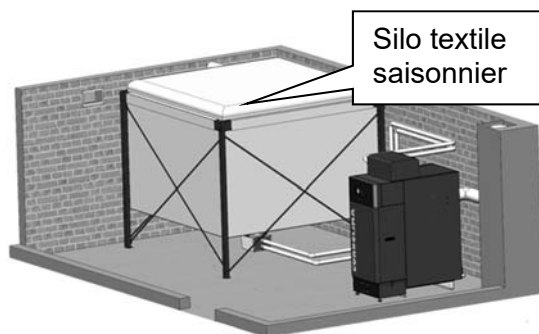
Les granulés sont fabriqués à partir de résidus, copeaux et sciures de bois, issus de l'industrie du bois (menuiserie, parqueterie, fabrique de palettes...), qui sont agglomérés ensemble, sans agent de liaison, pour former de petits cylindres compacts. Moderne et facile d'utilisation, la chaudière à 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.

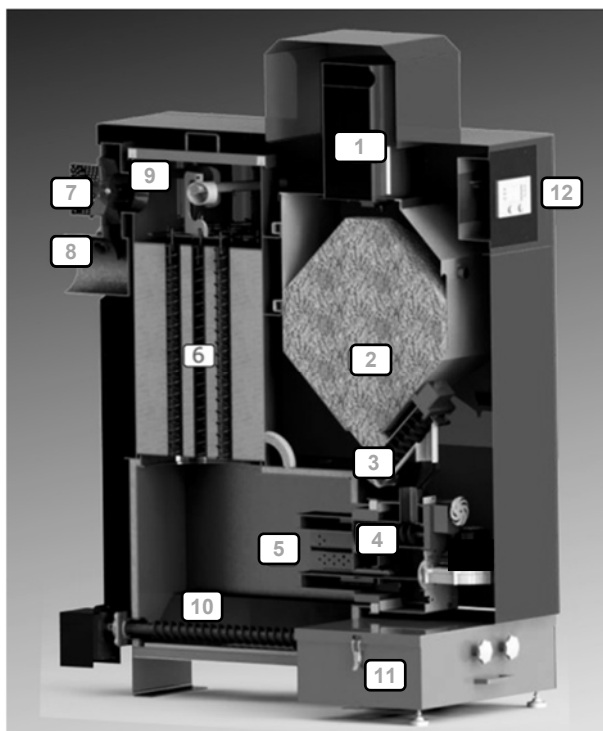
Le volume de ce silo textile saisonnier doit être adapté à la consommation annuelle afin d'éviter les rechargements en cours de saison de chauffe.



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

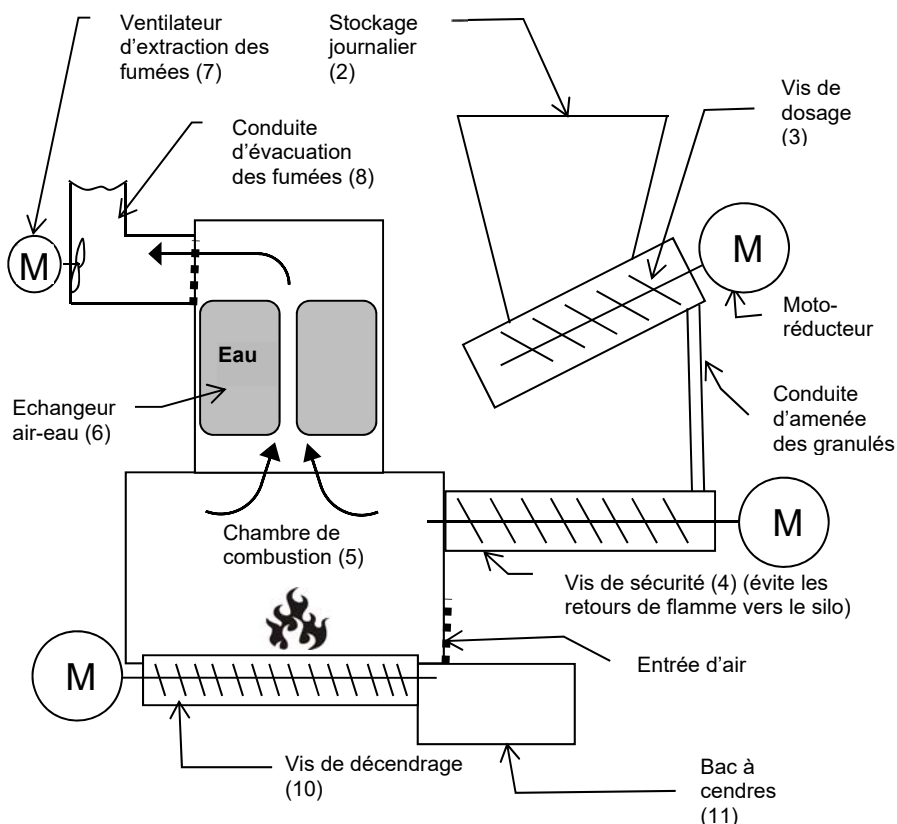


### Description du fonctionnement

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

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

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 CO<sub>2</sub> / MW·h utile*.  
DT1

	Gaz	Électricité	Fioul	Bois (en moyenne)
Part des émissions de gaz à effet de serre en <i>kg.équivalent CO<sub>2</sub> / MW·h</i>	$0,286 \times 222 = 63,5$			

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 | **Expliquer** pourquoi les particules PM10 sont dangereuses pour les humains.  
DT1 (feuillet 1/2)

Question 2.2 DT1 (feuillet 2/2)	<b>Calculer</b> le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois par les ménages et le <b>comparer</b> avec celui du trafic routier.
Question 2.3 DT1 (feuillet 2/2)	<b>Calculer</b> 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)	<b>Évaluer</b> les conséquences du remplacement des appareils à foyer ouvert par un chauffage aux granulés sur le pourcentage des émissions totales de PM10. <b>Conclure</b> 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	<b>Relever</b> 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	<b>Calculer</b> la quantité d'énergie thermique $E_T$ (en kWh) produite par l'ancienne chaudière, dont le rendement est de 75%.
Question 3.3 DT3	<p><b>Relever</b> la valeur du rendement à charge partielle de la nouvelle chaudière à granulés.</p> <p><b>Calculer</b> 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 <math>E_T</math>.</p>
Question 3.4 DT4, DT5	<p><b>Calculer</b> le volume de granulés à stocker (en m<sup>3</sup>) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe.</p> <p><b>Justifier</b> le choix du silo proposé sur le document DT5.</p>

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

- |                     |  |
|---------------------|--|
| Question 3.5<br>DT6 | <b>Déterminer</b> graphiquement ces deux valeurs pour l'année 2019.<br><b>Expliquer</b> 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<br>DT6 | <b>Déterminer</b> le nombre de foyers qui auraient pu se chauffer avec des granulés <u>produits</u> en France en 2019. |
|---------------------|--|

- |              |   |
|--------------|---|
| Question 3.7 | <b>Expliquer</b> 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 ?**

---

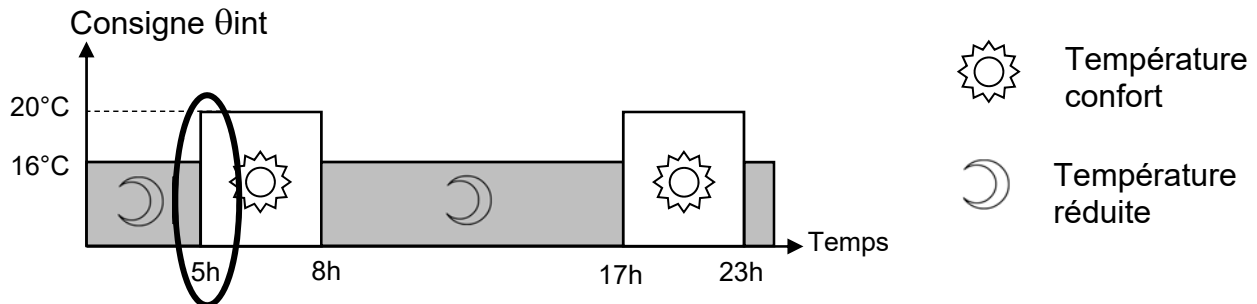
Afin de devenir une solution s'inscrivant dans une démarche de développement durable et respectueuse de la santé, le fonctionnement de la chaudière à granulés doit être optimisé. Afin d'obtenir le rendement maximum, il convient notamment de veiller à ce que la combustion des granulés soit complète. Ceci permettra d'une part de réduire la consommation de combustible, d'autre part de diminuer les rejets : émissions polluantes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ...) 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 ?

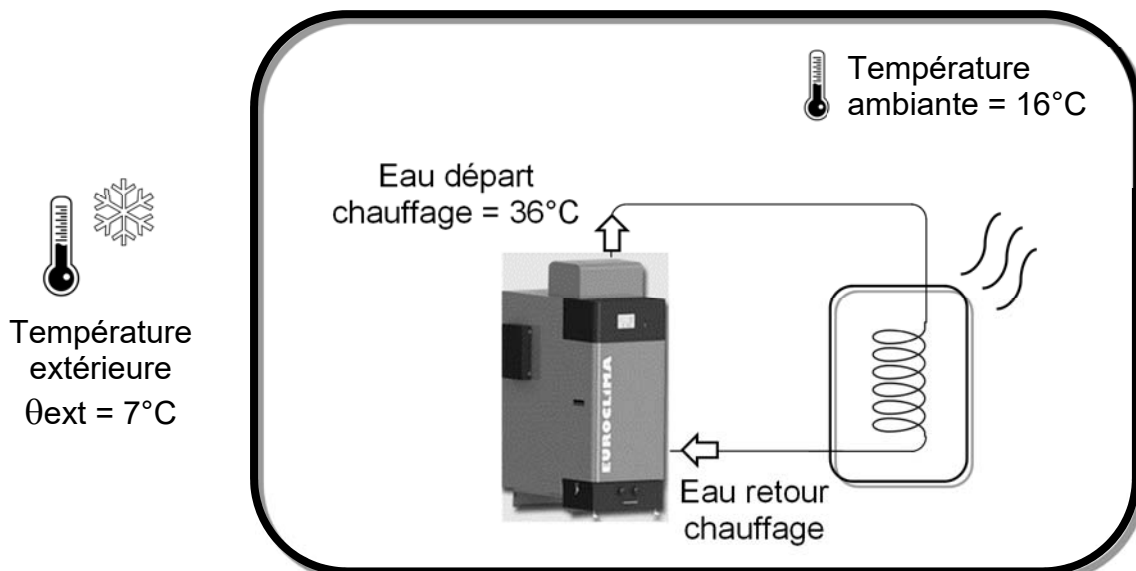
- |                     |   |
|---------------------|---|
| Question 4.1<br>DR1 | Sur le diagramme de blocs internes du DR1, <b>identifier</b> les flux suivants en <b>repassant sur les traits</b> avec les couleurs indiquées ci-dessous : <ul style="list-style-type: none"><li>- flux d'information : concernant la <b>température</b> en <b>bleu</b> ;</li><li>- flux de matière : concernant les <b>granulés</b> en <b>vert</b> ;</li><li>- flux d'énergie : en <b>rouge</b>.</li></ul> |
|---------------------|---|

## Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

Le graphe de programmation horaire définit les consignes de température intérieure (Consigne  $\theta_{int}$ ) 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  $\theta_{edc}$  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  $C$  [ $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ], de la température initiale  $\theta_i$  [ $^\circ C$ ] à la température finale  $\theta_f$  [ $^\circ C$ ] par :  $Q = m \cdot C \cdot (\theta_f - \theta_i)$ .

Eau : masse volumique  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ , capacité thermique  $C = 4185 \text{ J} \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ .

### 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  $23^\circ C$ .



Question 4.4 | **Calculer** la puissance de chauffe nécessaire  $P_c$  (en W) pour une montée en température de la chaudière jusqu'à  $\theta_{edc}$  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 | **Convertir** la masse volumique des granulés en  $\text{g}\cdot\text{mm}^{-3}$  et en **déduire** la masse maximale de granulés (en g) qui peuvent être amenés pour un tour de la vis de dosage.

DT4

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

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

DT8

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  $0,7 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ .  
En **déduire** le nombre de cycles d'alimentation électrique du moteur.

### Détermination du volume optimal d'air par cycle

Il faut  $m = 75 \text{ g}$  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 ( $\lambda$ ) contrôle le pourcentage d'oxygène imbrûlé dans les fumées.

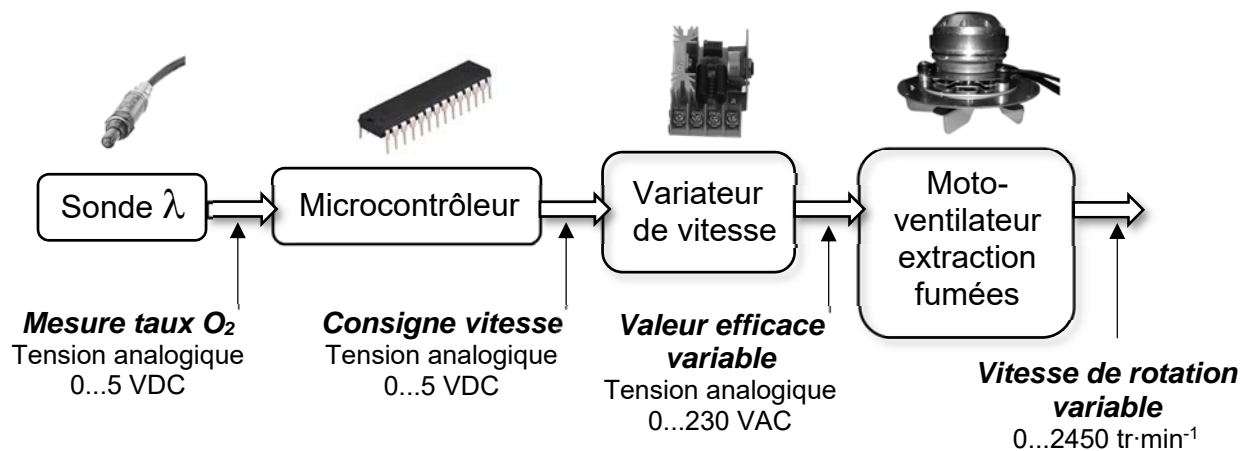
Question 4.8 | **Relever** sur le DT9, le rapport  $\frac{A}{G}$  (masse Air / masse Granulés) pour la valeur de référence  $\lambda_{\text{réf}} = 1,3$ . **Calculer** la masse d'air puis le volume d'air nécessaire à l'obtention de la combustion complète (pour un cycle de 20 s) sachant que la masse volumique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

DT9

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

DT3

En réalité, au cours du cycle d'approvisionnement en granulés, la valeur de  $\lambda$  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 | **Relever** les valeurs limites  $\lambda_{\text{mini}}$  et  $\lambda_{\text{maxi}}$  pour rester dans la zone idéale.

DT9

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

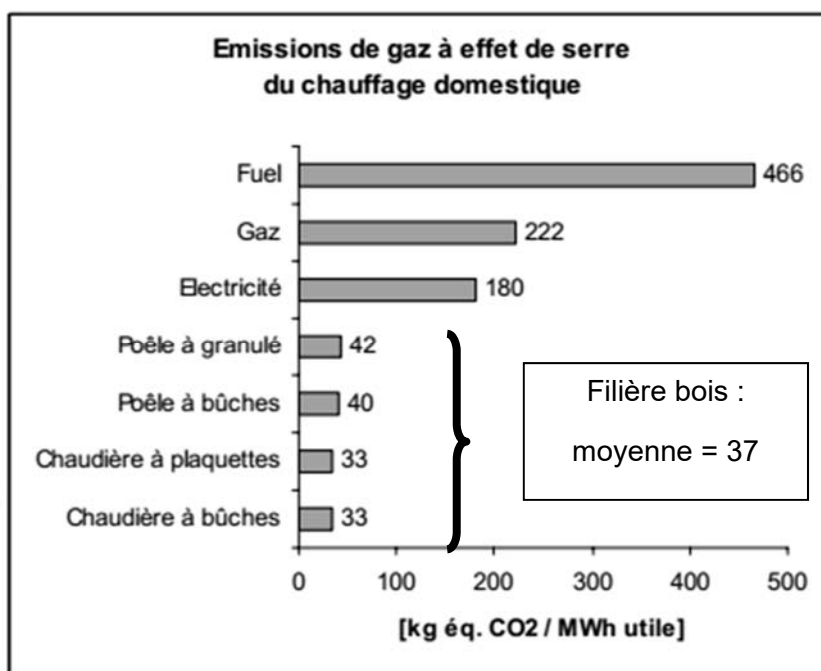
## DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (feuille 1/2)

### 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'utilisateur...) qui sont liées à la production d'un MW·h utile de chaleur chez l'utilisateur (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

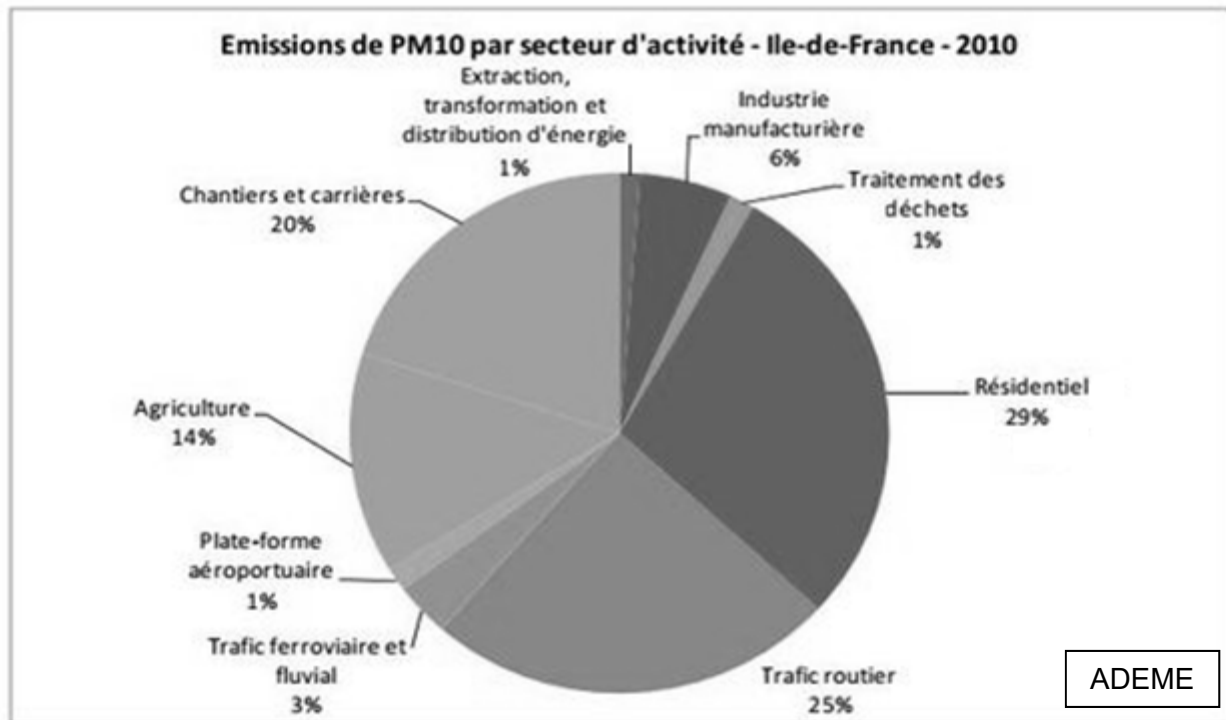
La combustion du bois provoque l'émanation dans l'air de particules polluantes, comme pour les véhicules diesel.

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 (feuille 2/2)



### Pour le secteur résidentiel (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

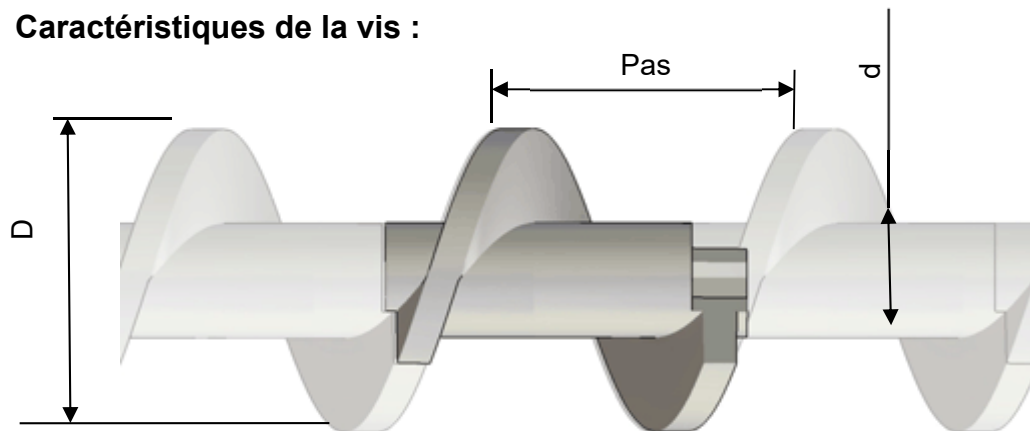
## DT3 : caractéristiques de la chaudière Euroclima 32

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 <sub>2</sub> )	mg·m <sup>-3</sup>	74
CO à charge partielle (10% de O <sub>2</sub> )	mg·m <sup>-3</sup>	88
Poussières à puissance nominale (10% de O <sub>2</sub> )	mg·m <sup>-3</sup>	18
Poussières à charge partielle (10% de O <sub>2</sub> )	mg·m <sup>-3</sup>	14
Qualité des granulés		DIN+
Débit d'air maximum	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	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.

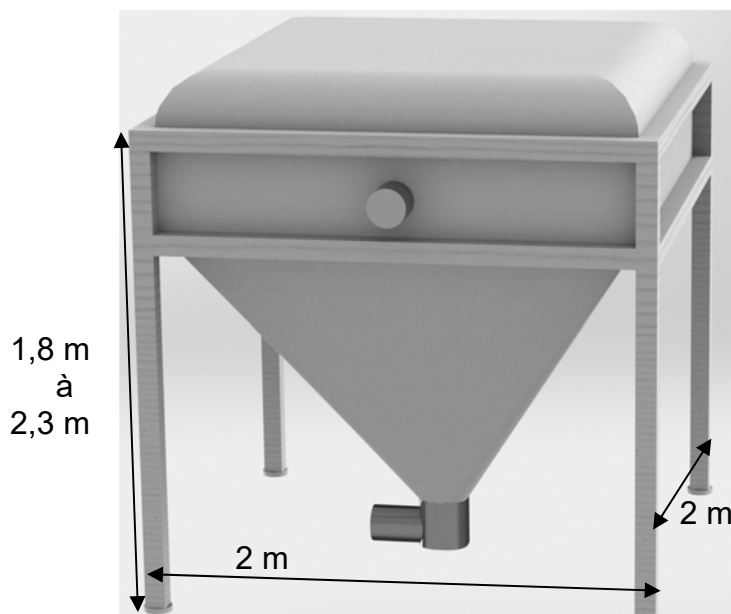
- **Caractéristiques de la vis :**



Volume utile disponible pour contenir les granulés :  $V=125\,000\text{ mm}^3$  par tour de vis.

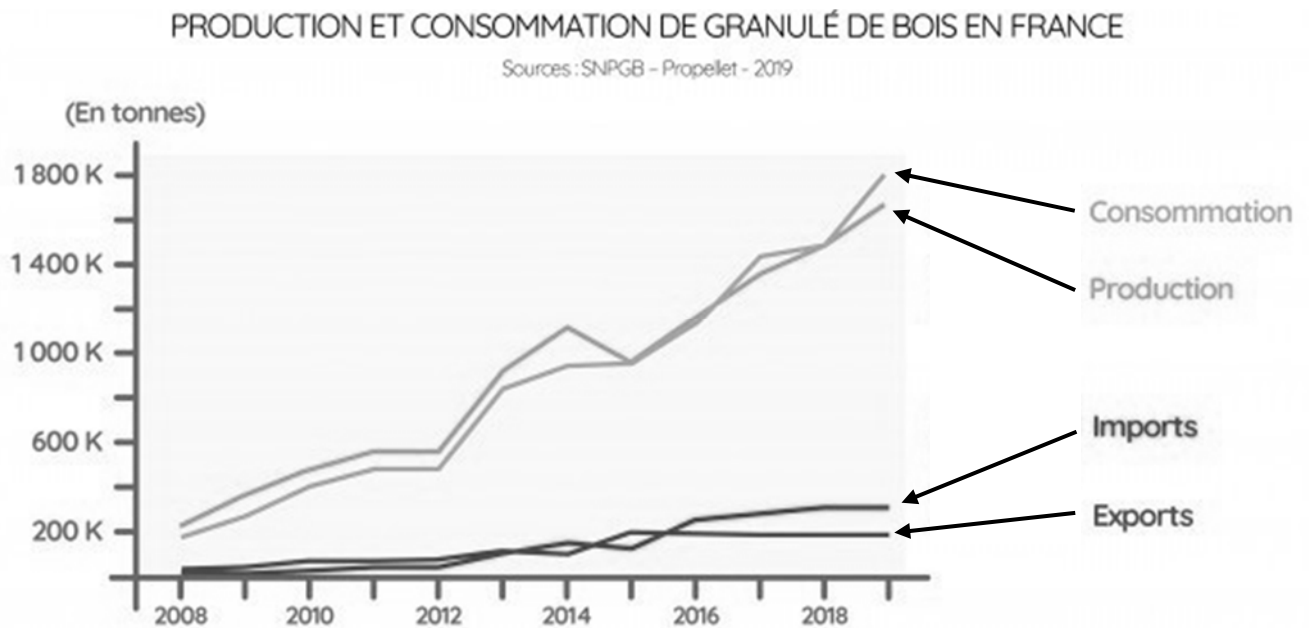
- **Masse volumique des granulés :**  $600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

## DT5 : silo ECO200P



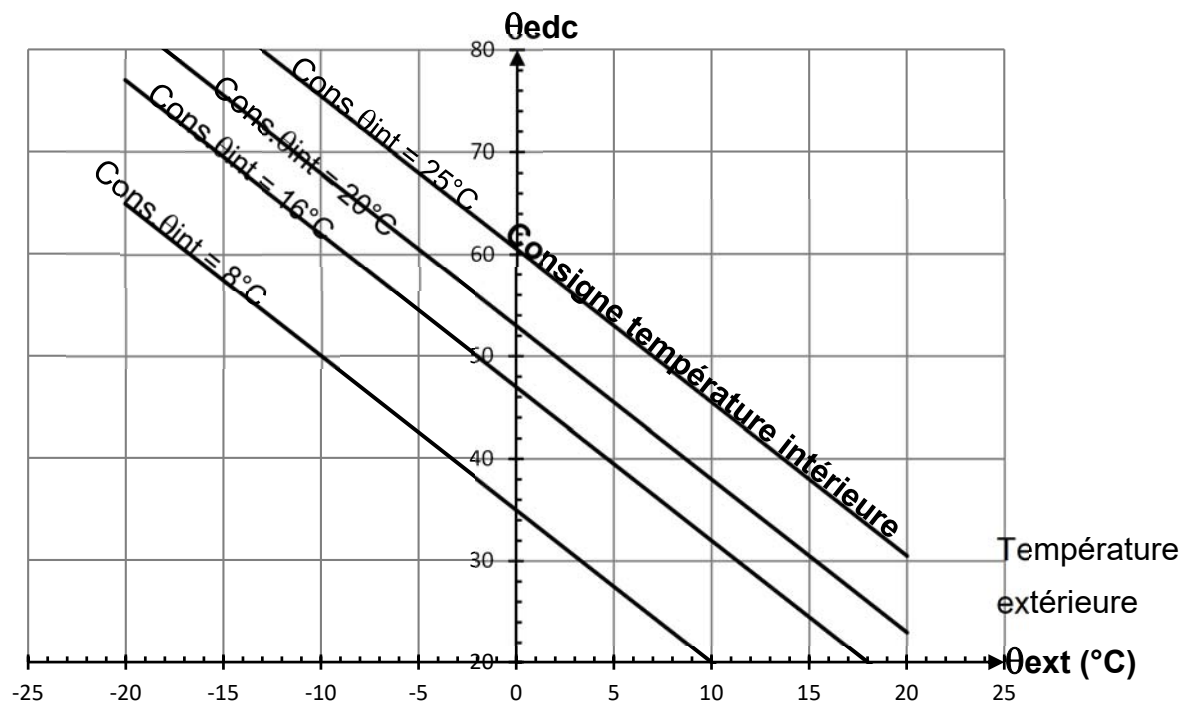
Article	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

## DT6 : production et consommation de granulés de bois en France



## DT7 : courbes de chauffe pour une régulation climatique

Température eau départ chauffage  $\theta_{edc}$



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

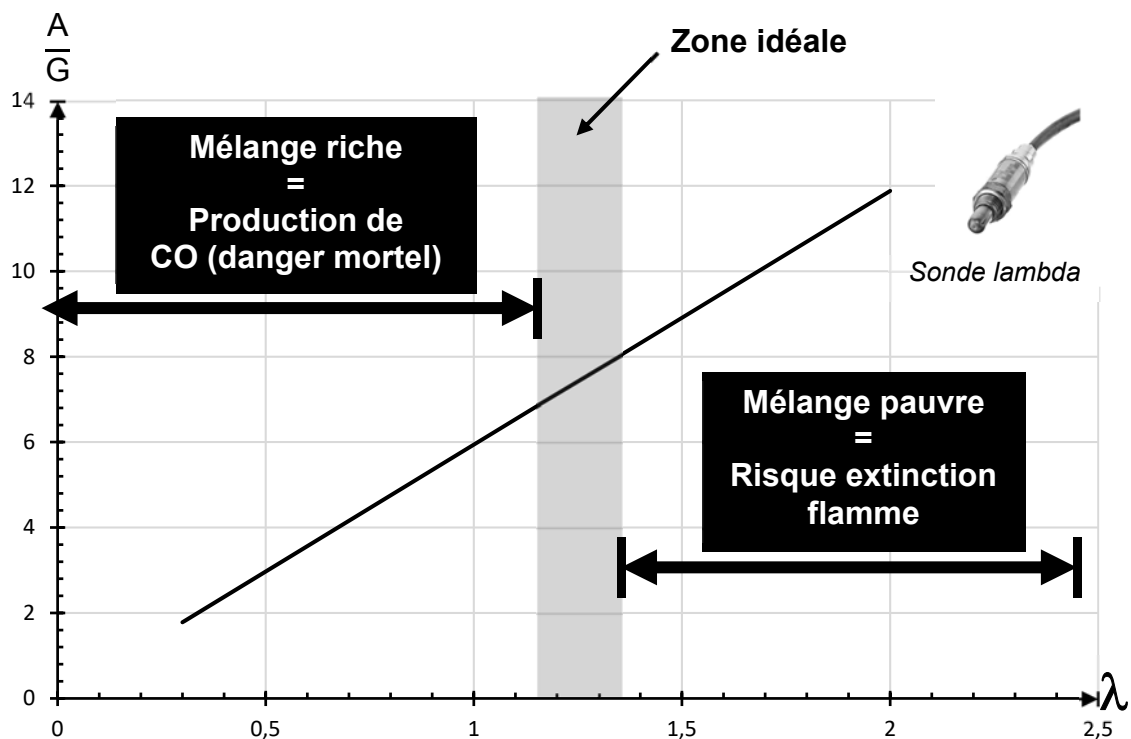
Description	Information compléme
<b>Description</b>	
Motoréducteur pour Poêle à Granulés – ref FB1249	
Alimentation 220VCA	
Vitesse: 3 rpm	
Tôles feuilletées: 32 mm	
Diamètre arbre: 8,5 mm	



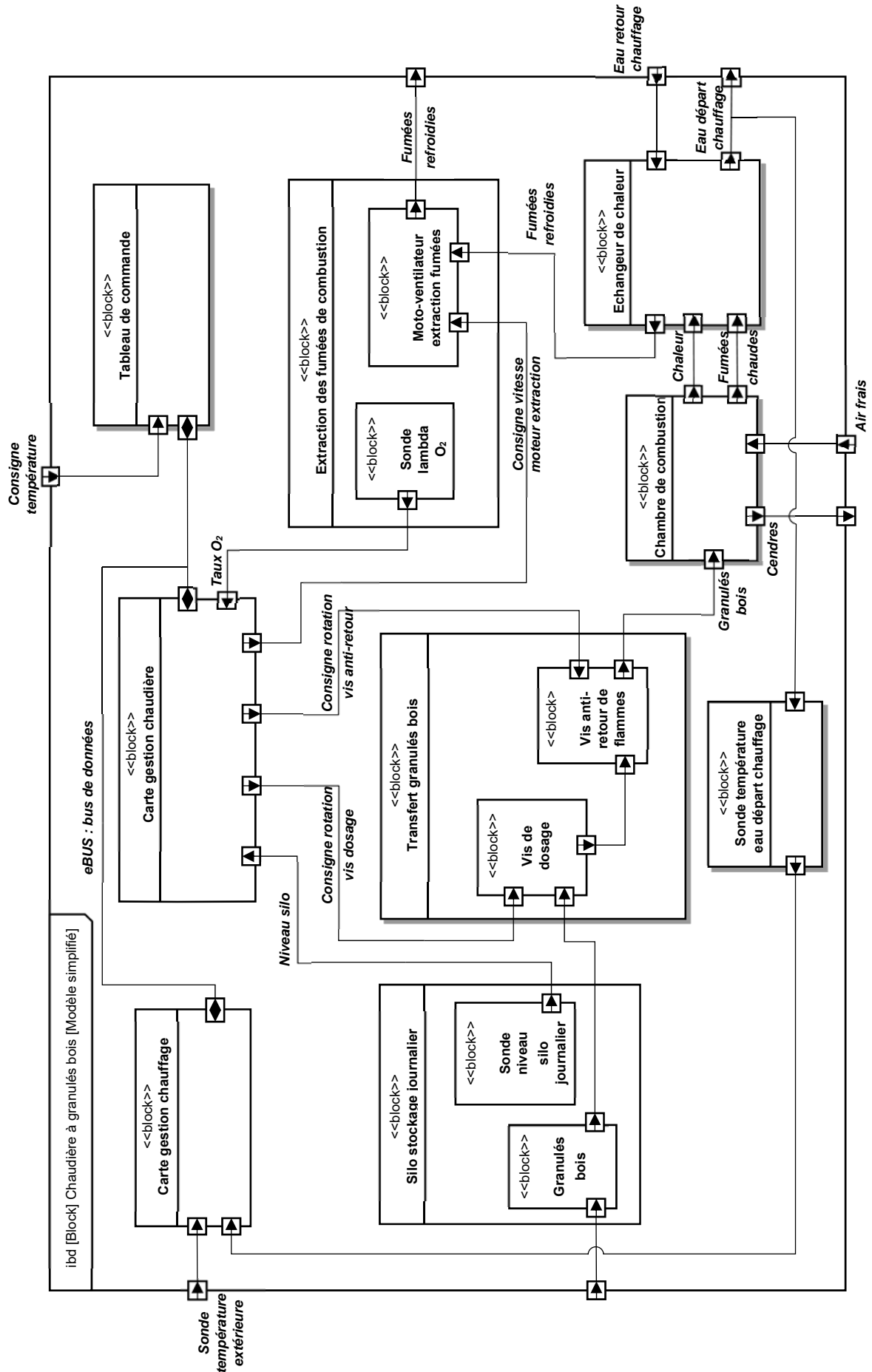
Remarque : **rpm** « revolutions per minute » =  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$

## DT9 : richesse d'un mélange combustible-comburant

Rapport masse Air / masse Granulés en fonction de  $\lambda$









## **ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION**

### **Chaudière à granulés**



### **Constitution du sujet :**

- **Dossier sujet et questionnaire** ..... 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.

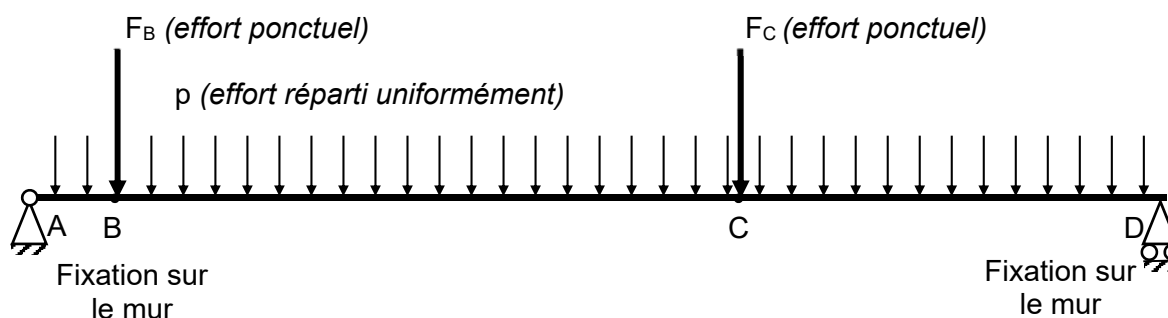
**Indiquer** les différents travaux à accomplir pour cette opération.

## 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 <sup>3</sup> )	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  $x_D$ .

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

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  $4,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ .

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 [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ ].

### 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 | **Relever** sur les graphiques la flèche maximale  $f_{\max}$  et la contrainte normale en flexion maximale  $\sigma_{\max}$  de cette poutre.

DRS3

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

DTS1

## 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 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 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 =  $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

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.

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).  
**Décrire** la composition du nouveau mur et **donner** son épaisseur.

DTS7

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.

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

Question E.1 | **Donner** le coefficient  $\lambda$  du béton ordinaire.

DRS4

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

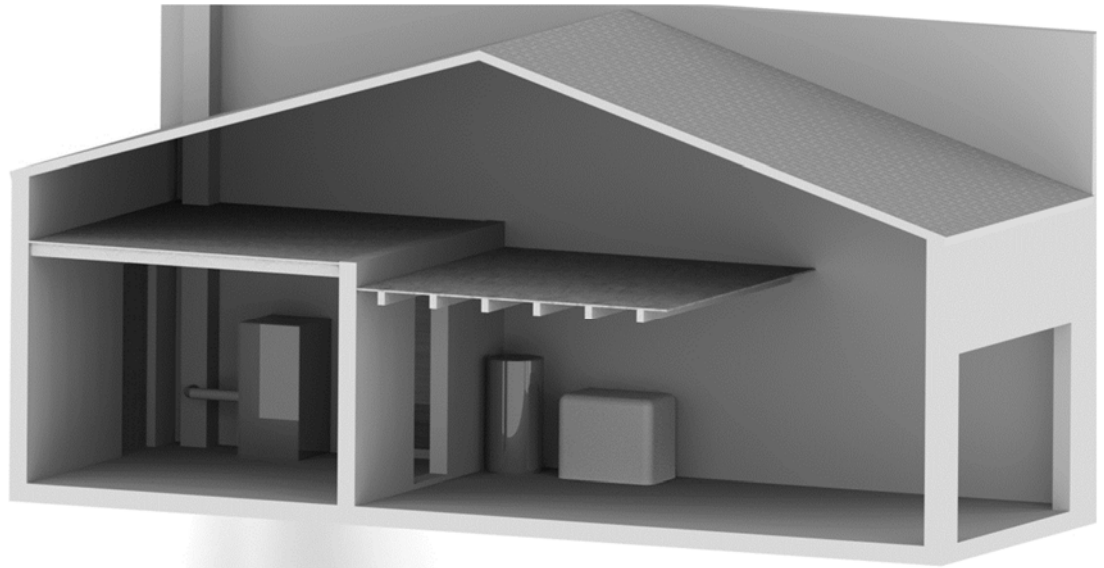
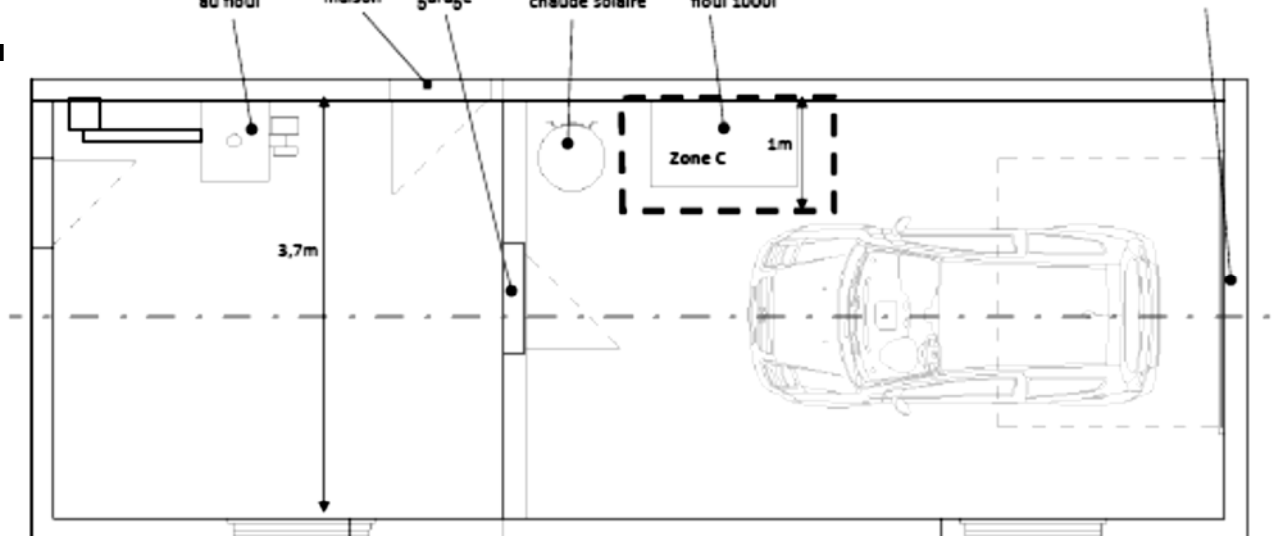
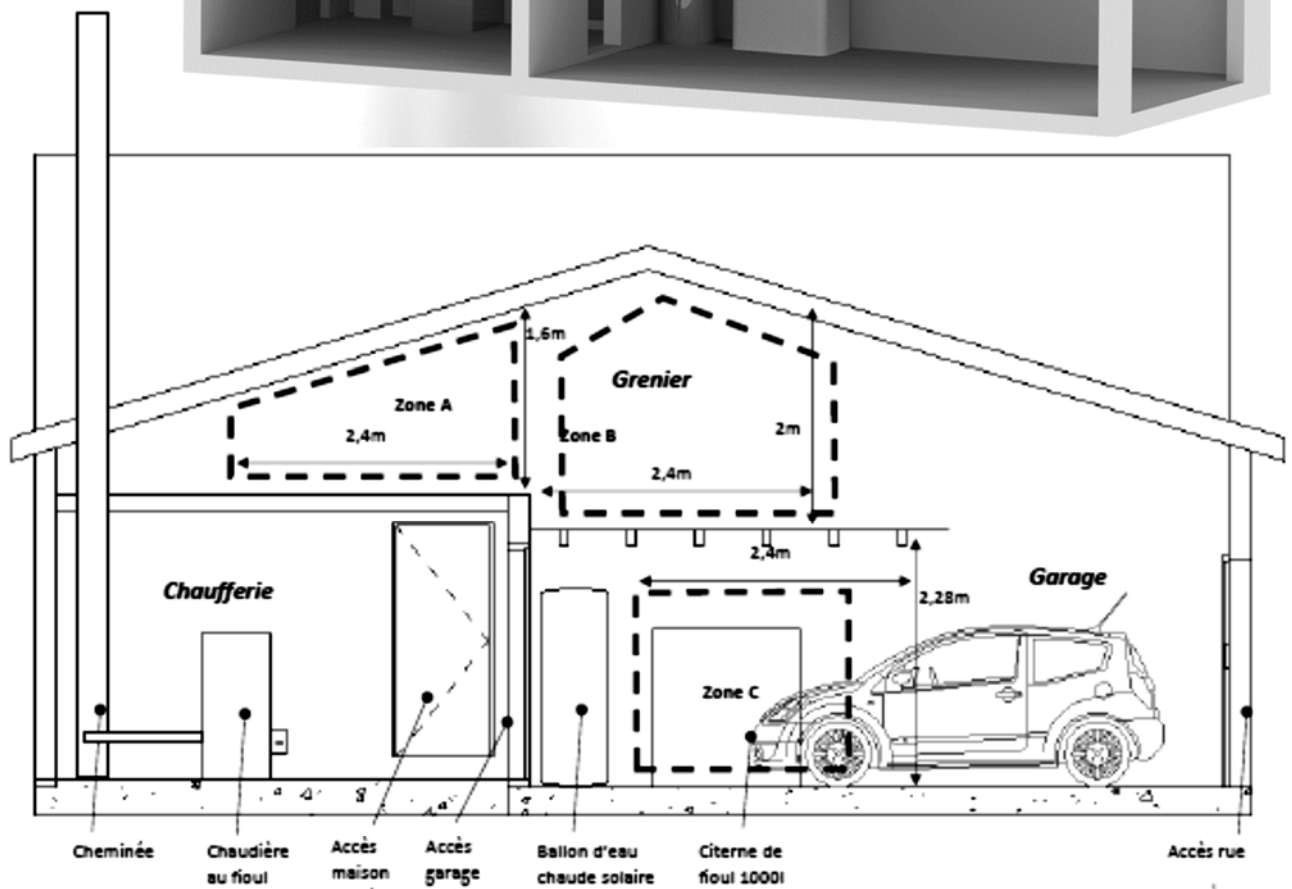
DTS7

DRS4

Question E.3 | **Calculer** la valeur du gain thermique en %.

Question E.4 | **Conclure** sur l'utilité de cette isolation.



[illegible]

## 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.

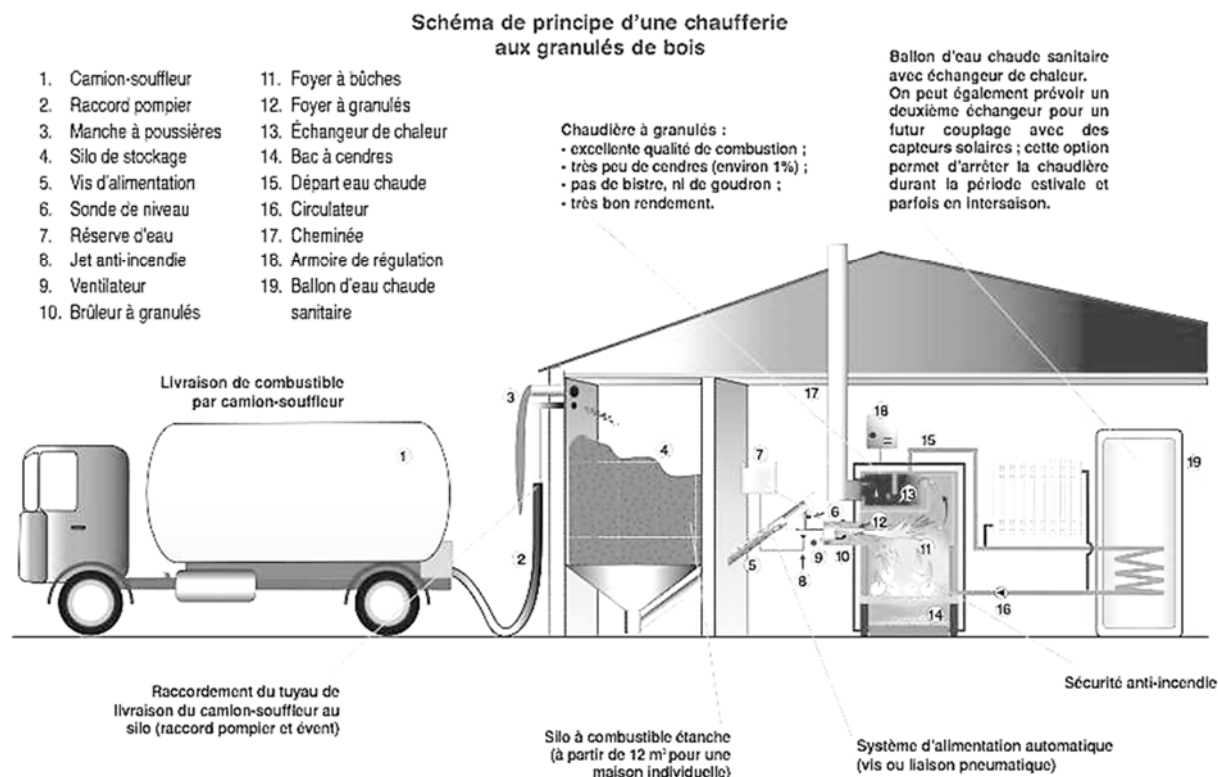
Cette opération évitera :

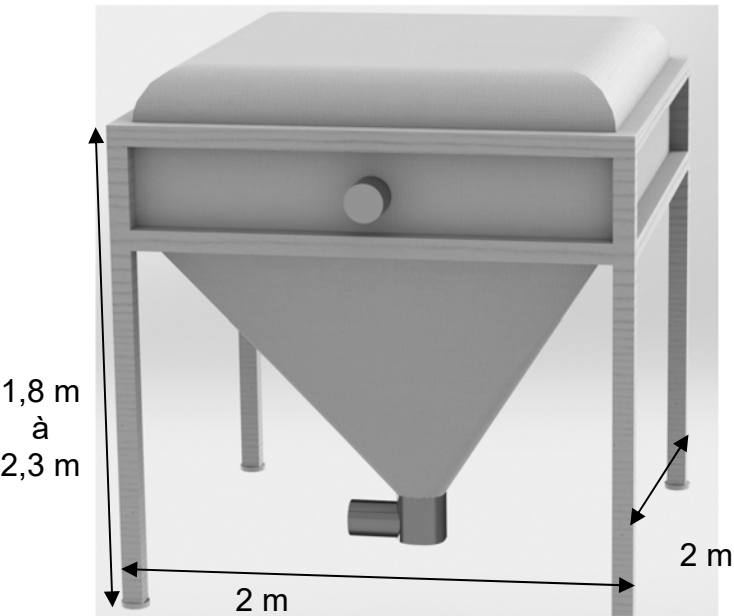
- l'effritement du combustible (poussière),
- une mauvaise qualité de la combustion du bois (encrassement, etc.).

### 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.

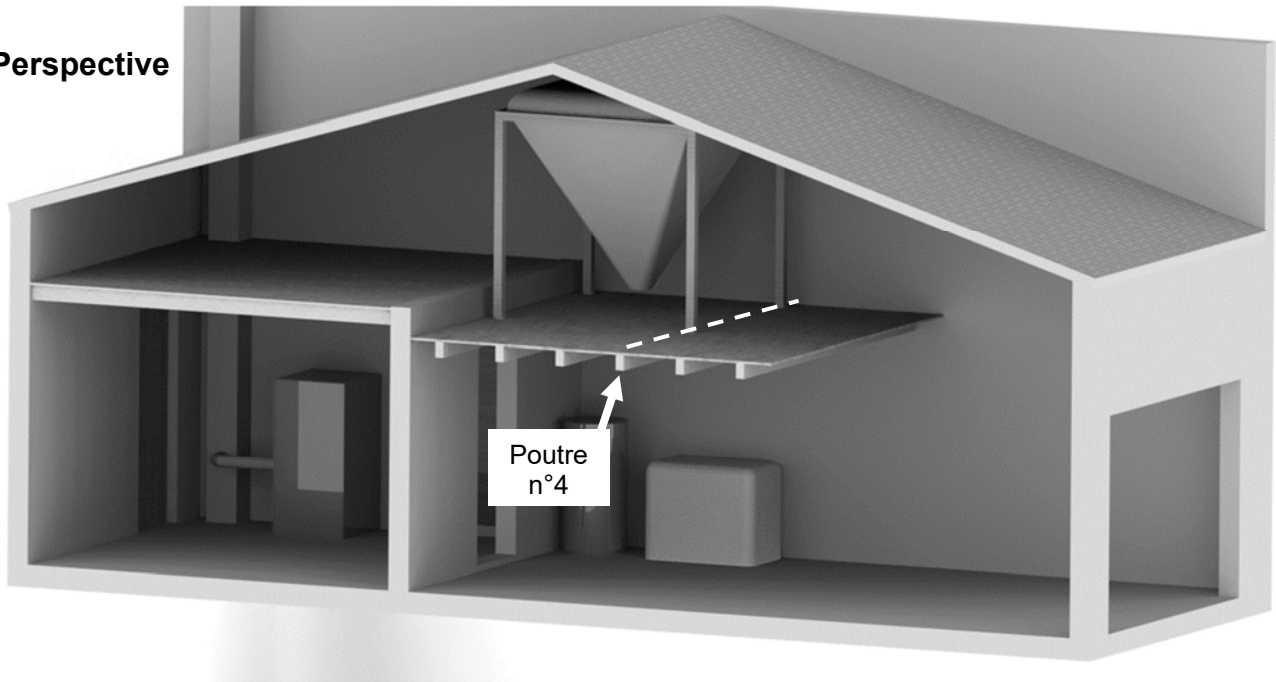




Article	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

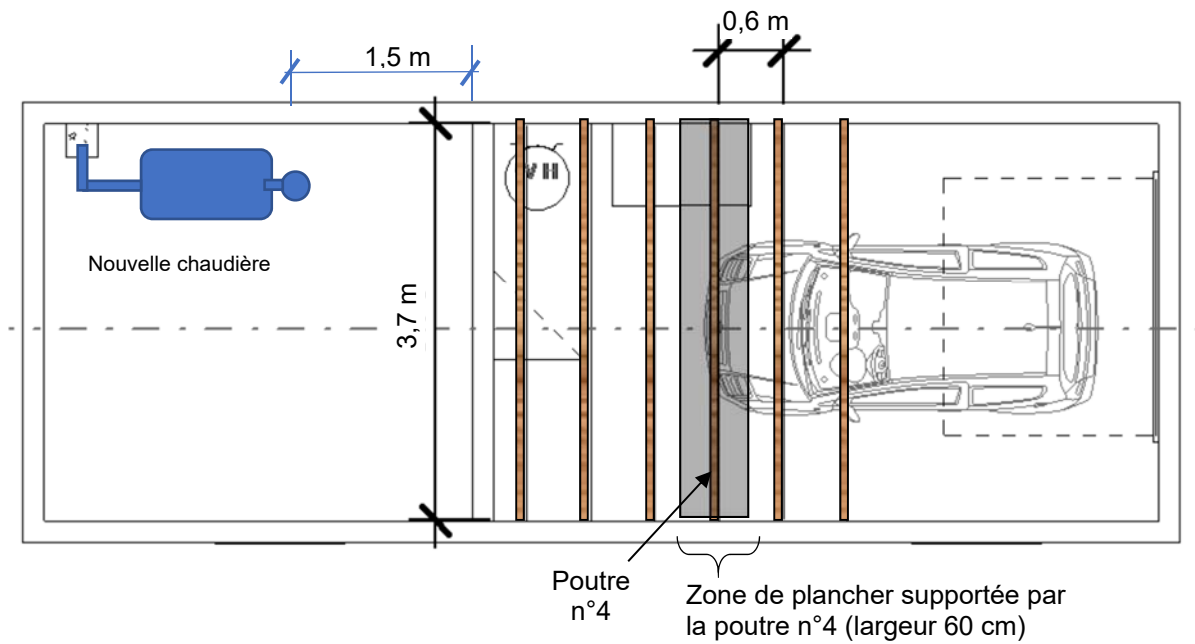
## DTS4 : plan structurel du plancher haut garage

Perspective



Plan du plancher haut garage

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



## DTS5 : Rappels d'acoustique

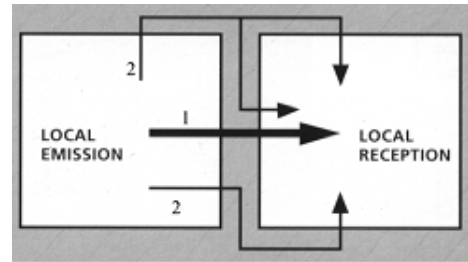
Rappel : L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE  $R_w$  (C, Ctr)

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 :

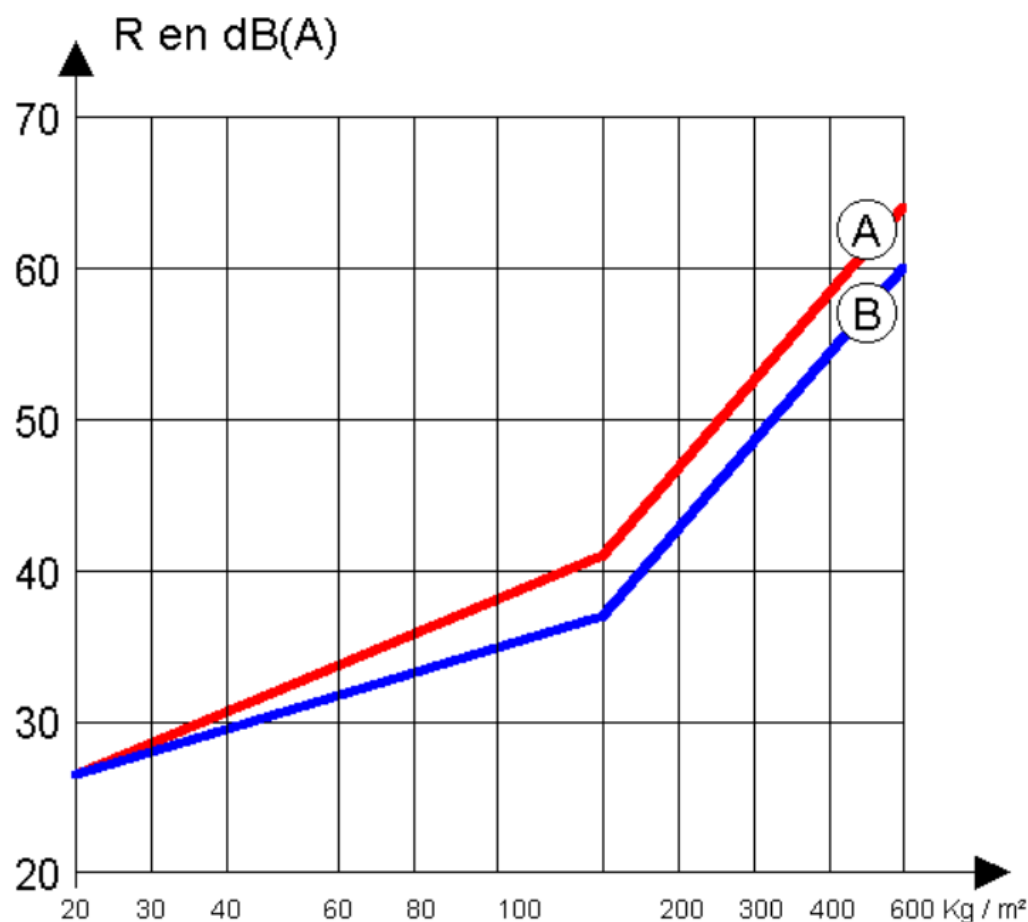
Bruit généré par les équipements techniques d'un bâtiment (ascenseur, ventilation, robinetterie, chauffage par ex.).

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

#### 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	
	$R_w(C;C_{tr})$	$R_A$	$R_{A,tr}$	$\Delta R_{A(lourd)^*}$	$\Delta R_{A,t(lourd)^*}$
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	
	$R_w(C;C_{tr})$	$R_A$	$R_{A,tr}$	$\Delta R_A$	$\Delta R_{A,tr}$
Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ; -10)	68	61	13	10
Mur non isolé	56(-1 ; -5)	55	51	-	-

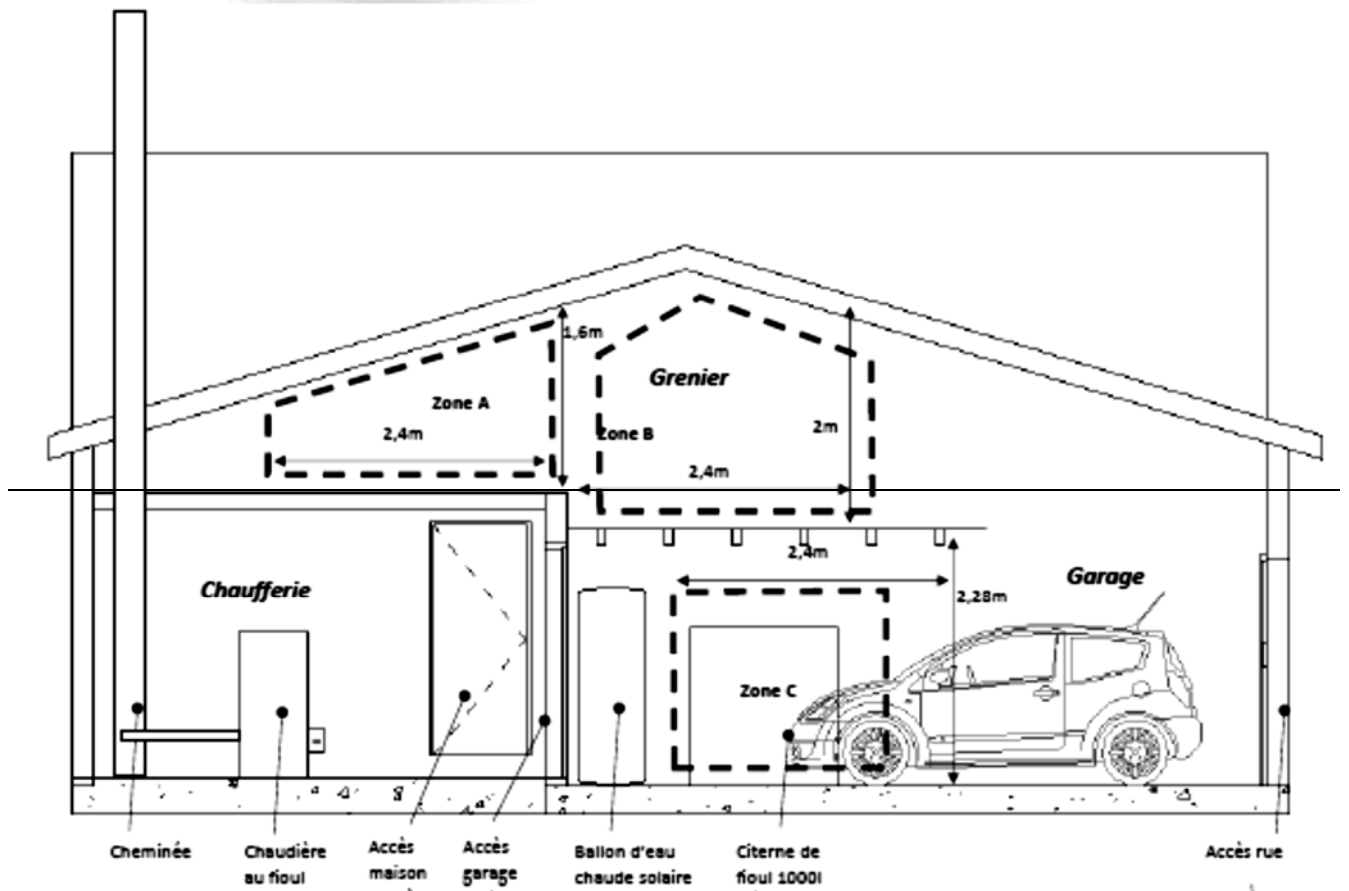
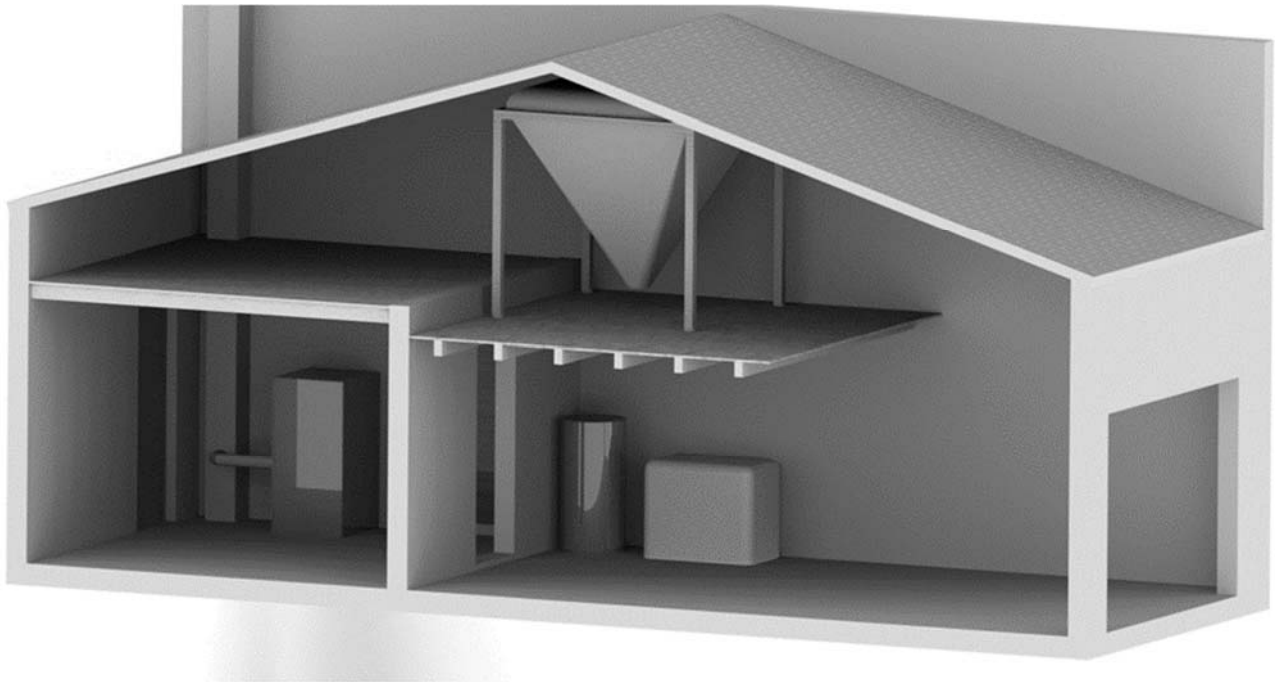


##### ➤ Sur briques creuses 200 mm avec enduit mortier (simulation AcousSTIFF)

Solution n°3	Affaiblissement acoustique en dB			Gain acoustique en dB	
	$R_w(C;C_{tr})$	$R_A$	$R_{A,tr}$	$\Delta R_A$	$\Delta R_{A,tr}$
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.**

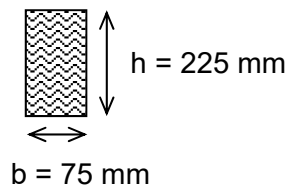




## DOCUMENT RÉPONSES DRS2

### Étude en flexion de la poutre n°4 :

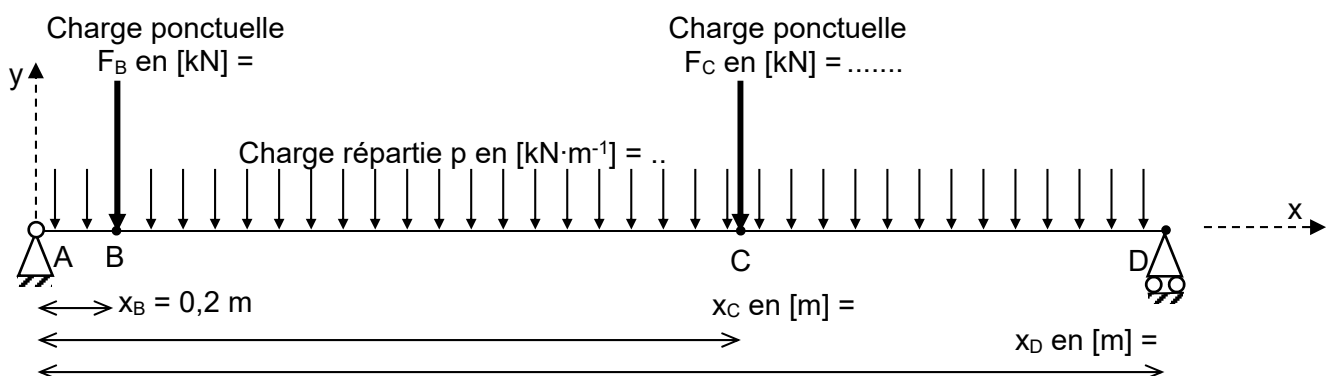
#### Profil de la poutre



section de la poutre  $S = b \cdot h =$

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

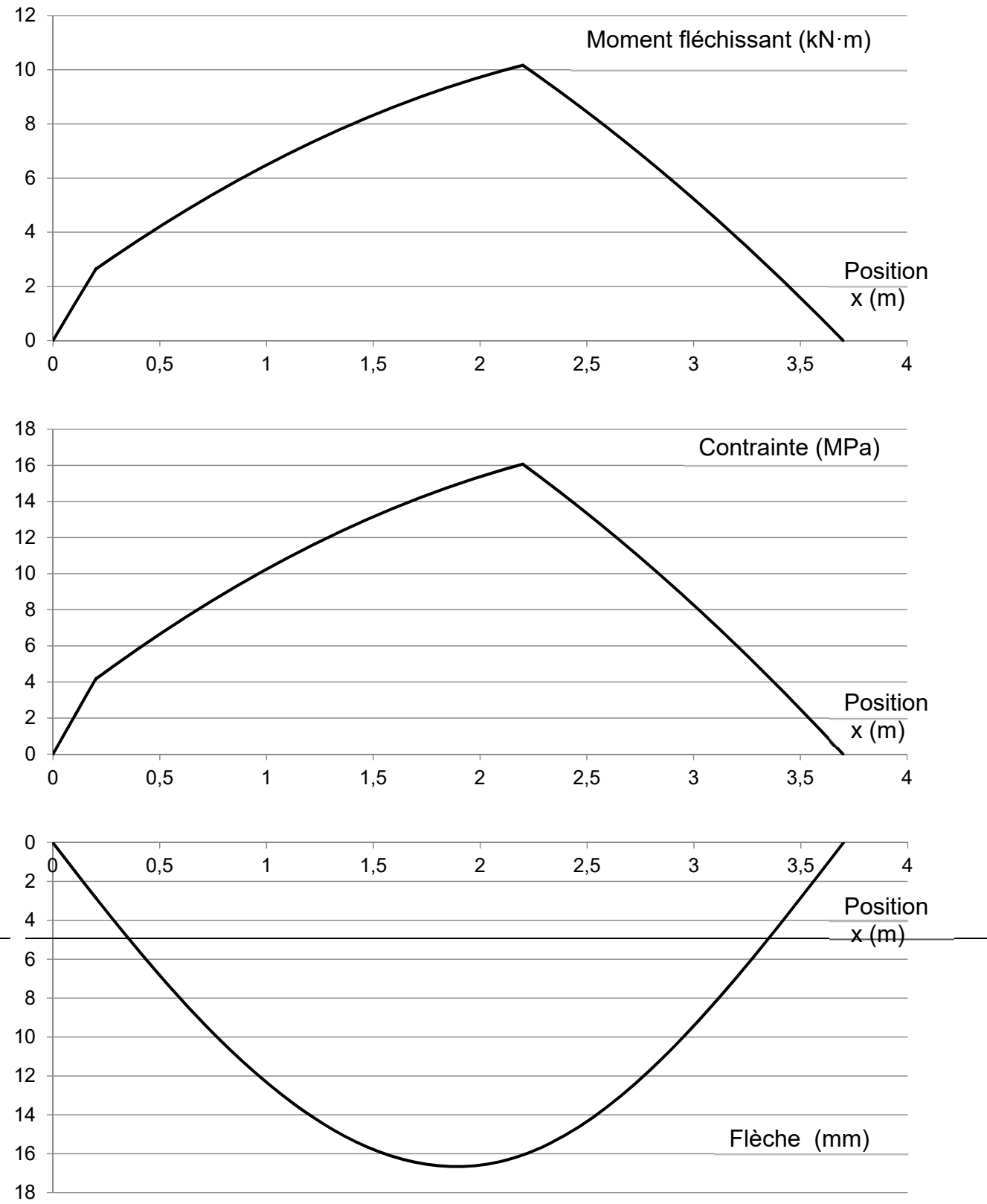
#### Modèle de calcul de structure pour la poutre



#### 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 <sup>-2</sup>	0,9 kN·m <sup>-1</sup>
Plaque OSB	3,7	0,6	0,022	6	kN·m <sup>-3</sup>	0,079 kN·m <sup>-1</sup>
Charge linéique d'exploitation qp :						qp = kN·m <sup>-1</sup>
Poutre n°4				4,2	kN·m <sup>-3</sup>	
	Poids de la poutre Gp =				kN	gp = kN·m <sup>-1</sup>
Charge linéique totale p :						p = kN·m <sup>-1</sup>

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 $\lambda$ ( W/m.°C)	Epaisseur e (en mètre)	Résistance thermique $R_{th} = e / \lambda$ (m².°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	
	naturel	polyester	0.035	
		laine de verre	0.035	
		laine de roche	0.040	
		OSB (800kg/m3)	0.150	
	VEGETAUX	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	
		béton cellulaire (400kg/m3)	0.110	
STRUCTURE	BETON	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	
		briques (700kg/m3)	0.300	
	brique	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 :				

## **ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT**

### **Chaudière à granulés**



#### **Constitution du sujet :**

- **Dossier sujet et questionnaire** ..... pages 20 à 27
- **Dossier technique**..... pages 28 à 36
- **Document réponse** ..... pages 37 à 39

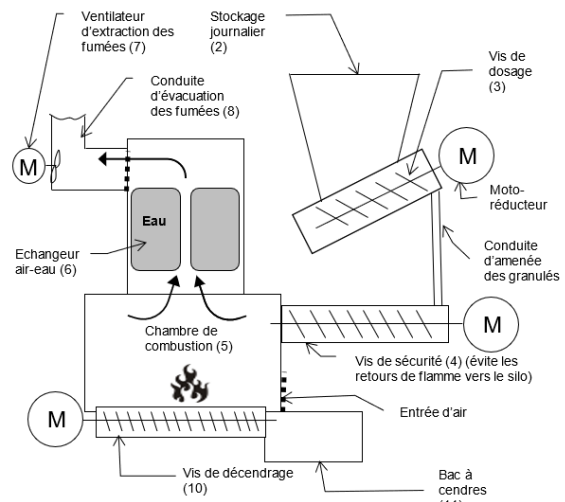
**Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie C (choix 1) ou la partie D (choix 2). Les autres parties A et B sont à traiter obligatoirement.**

## Mise en situation :

La chaudière à granulés est composée de 4 chaînes de puissance électrique (le ventilateur d'extraction des fumées, la vis de dosage, la vis de sécurité et la vis de décendrage) et d'une chaîne d'information, permettant de gérer le fonctionnement. Ces éléments ont besoin d'énergie électrique pour fonctionner. Cette énergie électrique est fournie par le réseau EDF.

Il est donc important de pouvoir évaluer la consommation électrique de la chaudière et d'évaluer son efficacité énergétique.

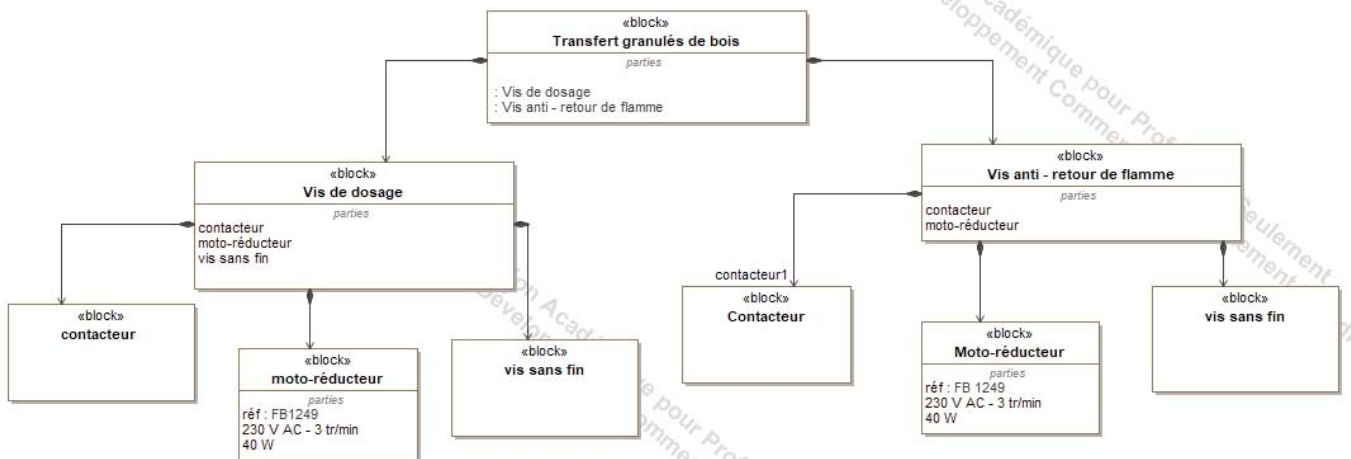
La chaudière à granulés est dépendante de l'électricité pour fonctionner. En cas de coupure de courant (fréquent dans certaines régions en hiver), la chaudière ne peut donc pas fonctionner. Afin d'assurer la continuité du chauffage en cas de coupure de courant, il semble intéressant d'installer une alimentation électrique de secours.



## Travail demandé

### Partie A : Quelle est la consommation énergétique de la chaîne de puissance liée à la vis de dosage ?

La vis de dosage fait partie du système de transfert des granulés. Ce système permet de transférer les granulés du « stockage journalier » jusque dans la chambre de combustion.



## Objectif de cette partie

- Valider une simulation multi-physique de la chaîne de puissance de la « vis de dosage ».
- Evaluer la consommation énergétique de la chaîne de puissance de la « vis de dosage ».

Le diagramme IBD du système de « transfert granulés de bois » est donné sur le document réponse DRS1.

Question A.1

DRS1

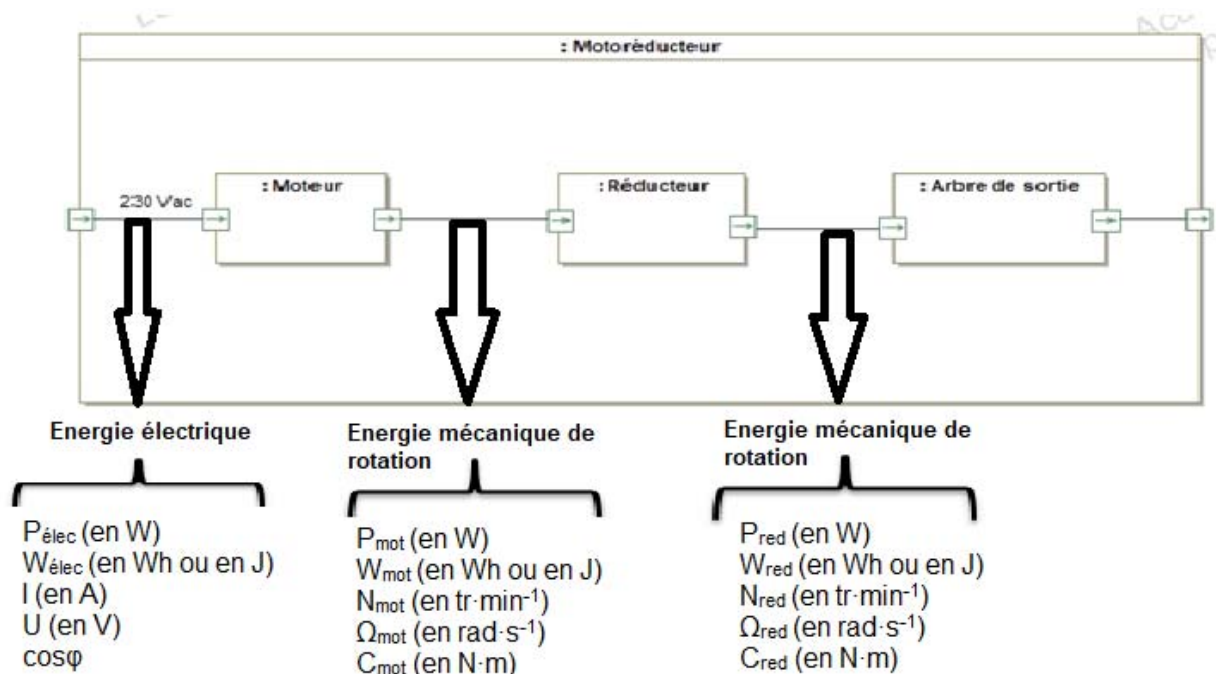
Sur le diagramme I.B.D. du document réponse DRS1, **repasser en bleu** le flux d'énergie circulant lors du fonctionnement de la vis de dosage.

Une simulation multi-physique de la chaîne de puissance de la vis de dosage a été réalisée. Ce modèle est donné sur le document technique DTS3.

Avant d'exploiter une simulation multi-physique, il est nécessaire de vérifier que le modèle multi-physique corresponde bien au système réel (le moto-réducteur).

### Validation du modèle multi-physique :

L'objectif de cette partie est de vérifier que les caractéristiques du modèle multi-physique correspondent à celles du moto-réducteur de la « vis de dosage ».



### Validation du réducteur :

Question A.2 DTS3 – DTS10	A partir des résultats de la simulation multi-physique, <b>calculer</b> le rapport de réduction et le rendement du réducteur programmés dans le modèle.
Question A.3 DTS1	A la lecture des données constructeur (DTS1), <b>conclure</b> sur la modélisation du réducteur.

### Validation du moteur :

Question A.4 DTS3	A partir de la simulation multi-physique (DTS3), <b>relever</b> le couple en sortie du moteur ( $C_{\text{mot}}$ ) et l'intensité ( $I$ ) consommée par le moteur.
Question A.5 DTS2	A partir des courbes caractéristiques du moteur asynchrone (DTS2), <b>déterminer</b> l'intensité ( $I_{\text{const}}$ ) et le couple moteur ( $C_{\text{const}}$ ) lorsque le moteur tourne à la vitesse de $2900 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .
Question A.6 DTS2	<b>Comparer</b> les caractéristiques du constructeur avec les caractéristiques du modèle multi-physique et <b>conclure</b> sur la validité de ce modèle.

### Evaluation de la consommation électrique :

Lors d'un cycle d'alimentation **la vis de dosage doit faire un tour**. Le moteur est commandé pour fonctionner le temps d'un cycle d'alimentation puis s'arrête.

Lors de la simulation multi-physique (DTS3), la durée de simulation (25 s) est plus longue que la durée d'un cycle d'alimentation.

Question A.7 DTS3	A partir de la simulation multi-physique (DTS3), <b>relever</b> la durée d'un cycle d'alimentation (c'est-à-dire le temps que met la vis de dosage pour faire un tour).
Question A.8 DTS3 – DTS10	A partir de la simulation multi-physique (DTS3), <b>déterminer</b> la puissance électrique ( $P_{\text{elec}}$ ) et l'énergie électrique ( $W_{\text{elec}}$ ) consommée par le moteur lors d'un cycle d'alimentation. <i>Donner l'énergie en J puis en Wh.</i>

## Partie B : Est-ce intéressant d'un point de vue de l'efficacité énergétique de remplacer la chaudière au fioul domestique par la chaudière à granulés « Euroclima » ?

L'habitation à équiper est actuellement chauffée au fioul domestique. L'objectif de cette partie est de valider la pertinence de passer d'une chaudière au fioul à une chaudière à granulés. Pour cela, il faut déterminer l'efficacité énergétique de la chaudière à granulés et la comparer avec l'efficacité énergétique de la chaudière au fioul.

### Données sur la consommation électrique de la chaudière à granulés :

Une étude sur la consommation des différentes chaînes de puissance électrique et de la chaîne d'information a été réalisée. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Chaîne de puissance	Puissance électrique	Durée d'utilisation
Turbine aspiration granulés	1200 W	3 minutes par jour
Chaîne de puissance de la « vis de dosage »	40 W	6 minutes par jour
Chaîne de puissance de la « vis de sécurité »	40 W	6 minutes par jour
Chaîne de puissance de la « vis de déchargement »	40 W	3 minutes par jour
Ventilateur d'extraction des fumées	32 W	En continu pendant 6 mois
Chaîne d'information	Puissance électrique	Durée d'utilisation
Platine régulation électronique (chaîne d'information)	11 W	En continu pendant 6 mois

La durée d'utilisation annuelle du chauffage est de **6 mois** (novembre à avril), c'est-à-dire **182 jours**.

Question B.1 | **Compléter** le tableau (DRS2) **en calculant** les énergies électriques consommées par les différentes chaînes de puissance et d'information sur une journée. Puis **calculer** l'énergie journalière totale consommée par la chaudière ( $W_{\text{jour}}$ ).

DRS2 – DTS10

Question B.2 | **Calculer** la consommation électrique annuelle ( $W_{\text{année}}$ ) de la chaudière. **Indiquer** les deux chaînes (de puissance ou d'information) qui consomment le plus.



Une simulation de chauffage a été réalisée (voir document DTS4) sur la période du 1<sup>er</sup> novembre au 30 avril.

La température de confort recommandée est de 19°C.

D'après le logiciel CALSOL, **les données climatiques** de la région où se situe la maison sont :

	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
T air moyen (°C)	2.6	4.1	6.7	9.5	13.4	16.9	19.4	18.9	15.8	11.8	6.6	4	10.8
T eau moyen (°C)	5.5	5.5	6.6	8.5	10.7	12.6	13.8	13.8	12.6	10.7	8.5	6.6	9.6
Humidité relevé (%)	81	78	73	71	72	72	68	71	75	80	81	80	75.2
Vent moyen (m/s)	2.9	2.8	2.9	3.1	2.6	2.6	2.5	2.3	2.3	2.7	2.7	2.8	2.7

Question B.3

DTS4

A partir des données de CALSOL, **déterminer** la température moyenne de l'air pendant la période de chauffage. **Conclure** sur la validité du scénario de chauffage donné dans le document technique DTS4.

Question B.4

DTS4 – DRS3

A partir des résultats de la simulation de chauffage (DTS4), **compléter** le tableau du document DRS3, **en relevant** l'énergie fournie par la combustion des granulés et l'énergie finale puis **en calculant** les pertes énergétiques.

Question B.5

DRS4

A partir des résultats précédents, **compléter** le diagramme de Sankey se trouvant sur le document DRS4.

**Définition de l'efficacité énergétique (en %):**

$$\text{Efficacité énergétique} = \frac{\text{Energie thermique utile}}{\text{Energie totale consommée}} \times 100$$

L'efficacité énergétique de la chaudière au fioul est de 70 %

Question B.6

**Déterminer** l'efficacité énergétique de la chaudière à granulés.

Question B.7

**Conclure** sur l'intérêt de remplacer la chaudière au fioul par la chaudière à granulés au regard de la problématique de cette partie.

## Choix 1

### Partie C : Comment choisir le modulateur DC/DC du chargeur de l'alimentation de secours ?

#### Mise en situation :

La chaudière a besoin d'énergie électrique pour fonctionner. En cas de coupure du réseau EDF, la maison est privée de chauffage. Pour éviter ce genre de problème, une alimentation de secours a été mise en place.

L'alimentation de secours est présentée dans le document technique DTS5.

#### Objectif de cette partie :

Une partie du chargeur est déjà conçue (le modulateur AC/AC, le modulateur AC/DC et la carte de contrôle). Il reste à choisir le modulateur DC/DC.

Le diagramme IBD de l'alimentation de secours est donné sur le document réponse DRS5.

Question C.1 DRS5	Sur le diagramme I.B.D. de l'alimentation de secours, <b>repasser</b> en bleu la circulation du flux d'énergie lors de la recharge de la batterie.
----------------------	--

#### Etude du modulateur AC/AC (transformateur) et du modulateur AC/DC (redresseur).

Une simulation avec le modulateur AC/AC (transformateur) et le modulateur AC/DC (redresseur) est présentée sur les documents techniques DTS6 et DTS7.

$$\text{Pour rappel : } V_{\text{maxi}} = \sqrt{2} \cdot V_{\text{efficace}}$$

Question C.2 DTS6	A partir des courbes de la simulation (DTS6), <b>donner</b> la tension maxi de $VP_2$ ( $VP_{2\text{maxi}}$ ). <b>Calculer</b> la tension efficace $VP_{2\text{efficace}}$ .
----------------------	--

Question C.3 DTS7	A partir des courbes de la simulation (DTS7), <b>donner</b> la tension $VP_3$ en sortie du modulateur AC/DC. <b>Indiquer</b> si cette tension correspond à $VP_{2\text{maxi}}$ ou $VP_{2\text{efficace}}$ .
----------------------	---

Question C.4 DRS6	Sur le diagramme I.B.D. du chargeur de l'alimentation de secours, <b>compléter</b> les caractéristiques des énergies. <i>Utiliser la liste suivante : 12 V AC, 230 V AC et 17 V DC.</i>
----------------------	--

Les caractéristiques de la batterie à charger sont données dans le document DTS9. La batterie doit se recharger en 10 heures.

Question C.5

DTS9 – DTS10

**Donner** la capacité ( $Q_{bat}$ ) et la tension ( $U_{bat}$ ) de la batterie à recharger. Puis **calculer** l'intensité de recharge ( $I_{bat}$ ), dans le cas d'une recharge complète de 10 heures.

Le document technique DTS8 donne les caractéristiques de deux modulateurs DC/DC.

Question C.6

DTS8

**Choisir** le modulateur DC/DC qui convient pour le chargeur. **Justifier** votre réponse.

## Choix 2

### Partie D : Comment assurer une autonomie d'utilisation de la chaudière sur deux jours en cas de coupure de courant ?

#### Mise en situation :

La chaudière a besoin d'énergie électrique pour fonctionner. En cas de coupure du réseau EDF, la maison est privée de chauffage. Pour éviter ce genre de problème, une alimentation de secours a été mise en place, elle est présentée dans le document technique DTS5.

#### Objectif de la partie :

- Valider le choix de la batterie (DTS9)

#### Extrait du cahier des charges :

- En cas de coupure de courant sur le réseau EDF, le cahier des charges impose une autonomie minimale de 2 jours.

Le diagramme IBD de l'alimentation de secours est donné sur le document réponse DRS5.

Question D.1

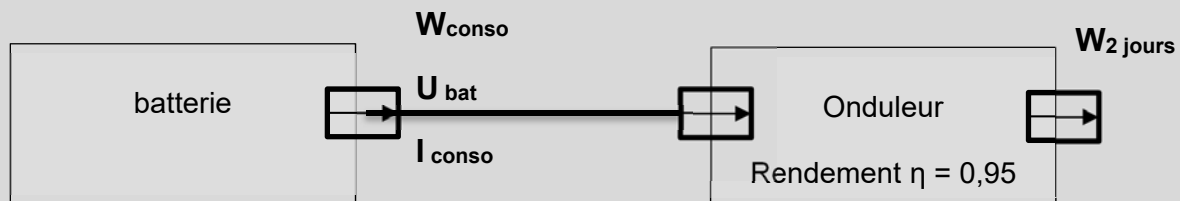
DRS5

Sur le diagramme IBD, **repasser** en bleu la circulation du flux d'énergie lors de l'alimentation de la chaudière par la batterie.

## Energie journalière :

Pour augmenter l'autonomie énergétique en cas de coupure de courant, le transfert des granulés du silo à la chaudière se fait manuellement. Dans ce cas la consommation électrique quotidienne de la chaudière est de  $W_{24h} = 1000 \text{ Wh}$ .

Question D.2 | **Calculer** l'énergie consommée en 2 jours ( $W_{2 \text{ jours}}$ ).



Question D.3 | A partir du rendement de l'onduleur, **calculer** l'énergie ( $W_{\text{conso}}$ ) que doit délivrer la batterie en 2 jours pour alimenter la chaudière.

DTS10

Les caractéristiques de la batterie sont données dans le document DTS9.

Question D.4 | A partir du document technique DTS9, **donner** la tension ( $U_{\text{bat}}$ ) et la capacité ( $Q_{\text{bat}}$ ) de la batterie. **Calculer** la quantité d'énergie  $W_{\text{bat}}$  stockée dans la batterie.

DTS9 – DTS10

Pour éviter d'endommager les batteries il faut éviter les décharges profondes. En tenant compte de la profondeur de décharge l'énergie disponible dans la batterie est  $W_{\text{disp}} = 1\,100 \text{ Wh}$ .

Question D.5 | **Conclure** sur la pertinence du choix de cette batterie au regard de la problématique de cette partie.

DTS9

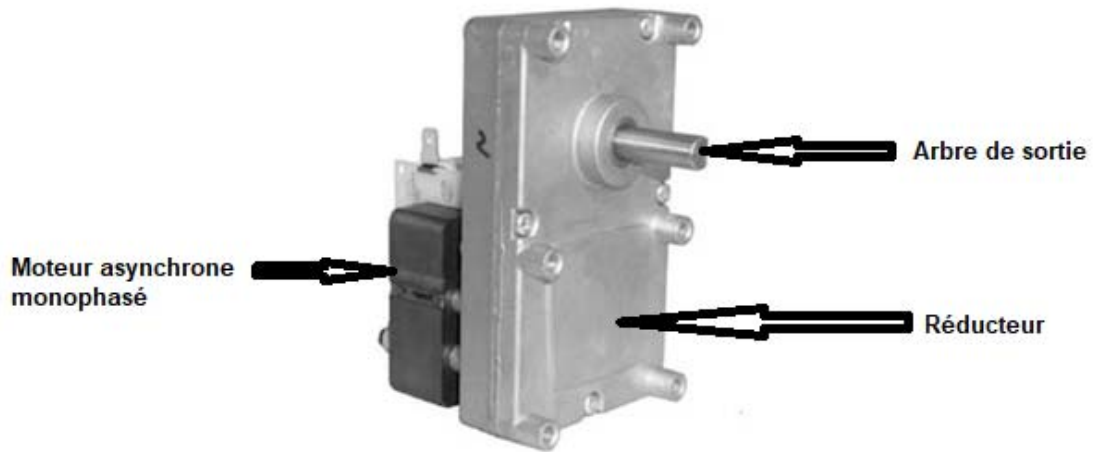
Afin d'augmenter l'autonomie énergétique du système d'alimentation de secours, le constructeur propose de remplacer la batterie par une autre dont l'énergie disponible est  $W_{\text{disp}} = 2\,208 \text{ Wh}$  et dont le prix est de 320 €.

Pour rappel l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner la chaudière sur une journée est  $W_{24h} = 1000 \text{ Wh}$ .

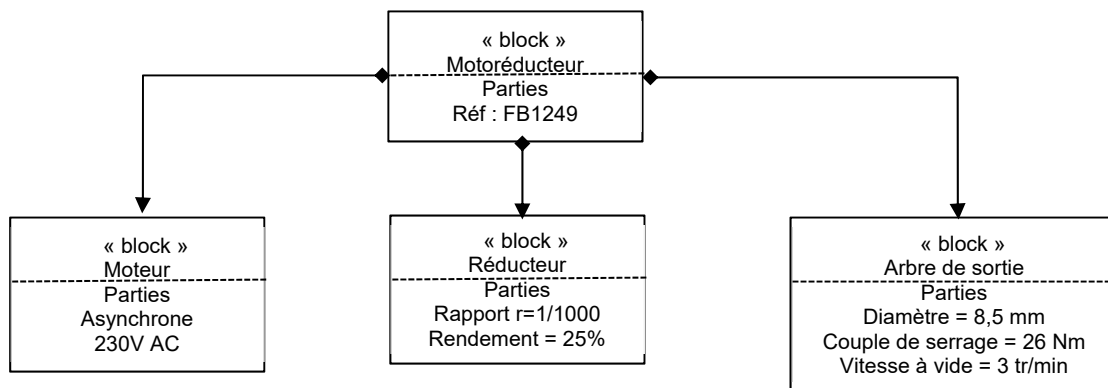
Question D.6 | **Calculer** l'autonomie ( $T$ ) énergétique de l'alimentation de secours si on utilise la batterie en option. **Conclure** sur l'intérêt d'utiliser la batterie en option au regard de la problématique de cette partie.

## DTS1 : Présentation du motoréducteur pour poêle à granulés.

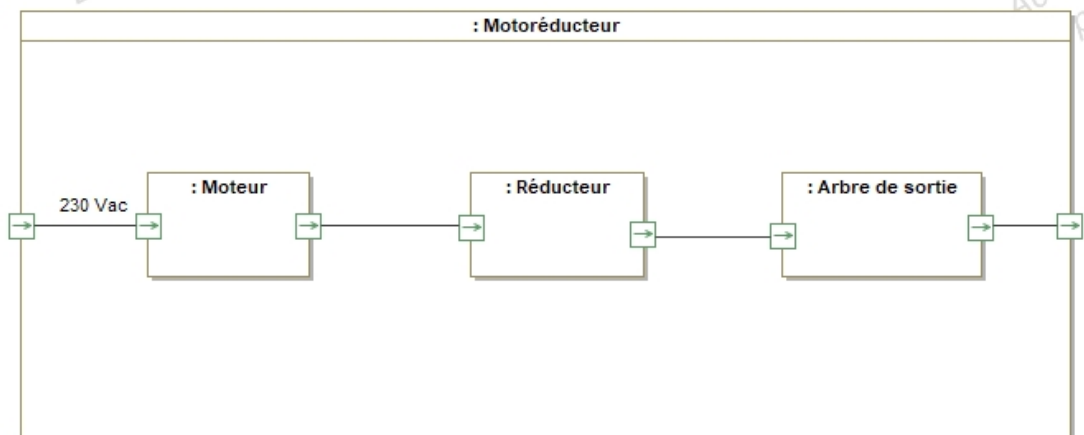
Référence : FB1249



### Diagramme B.D.D.



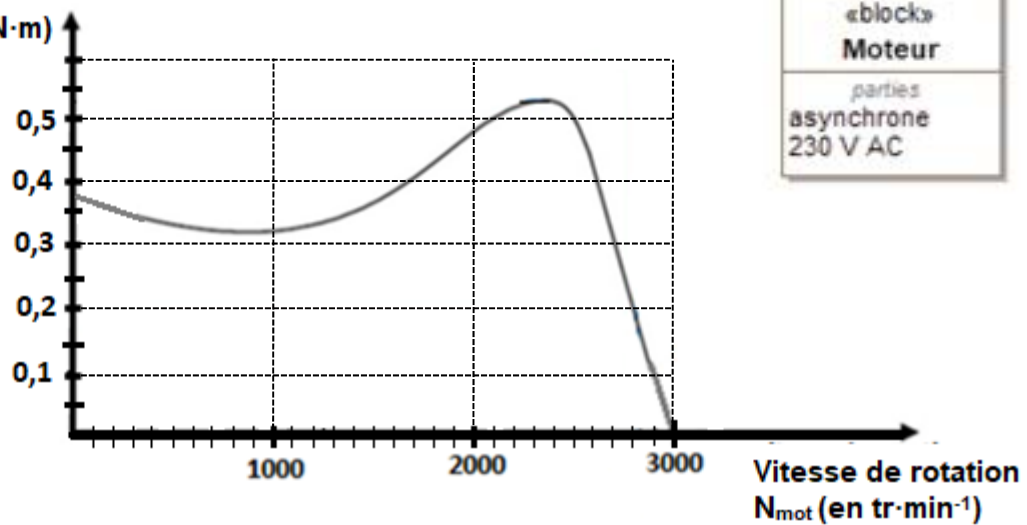
### Diagramme I.B.D.



## DTS2 : Courbes caractéristiques du moteur asynchrone

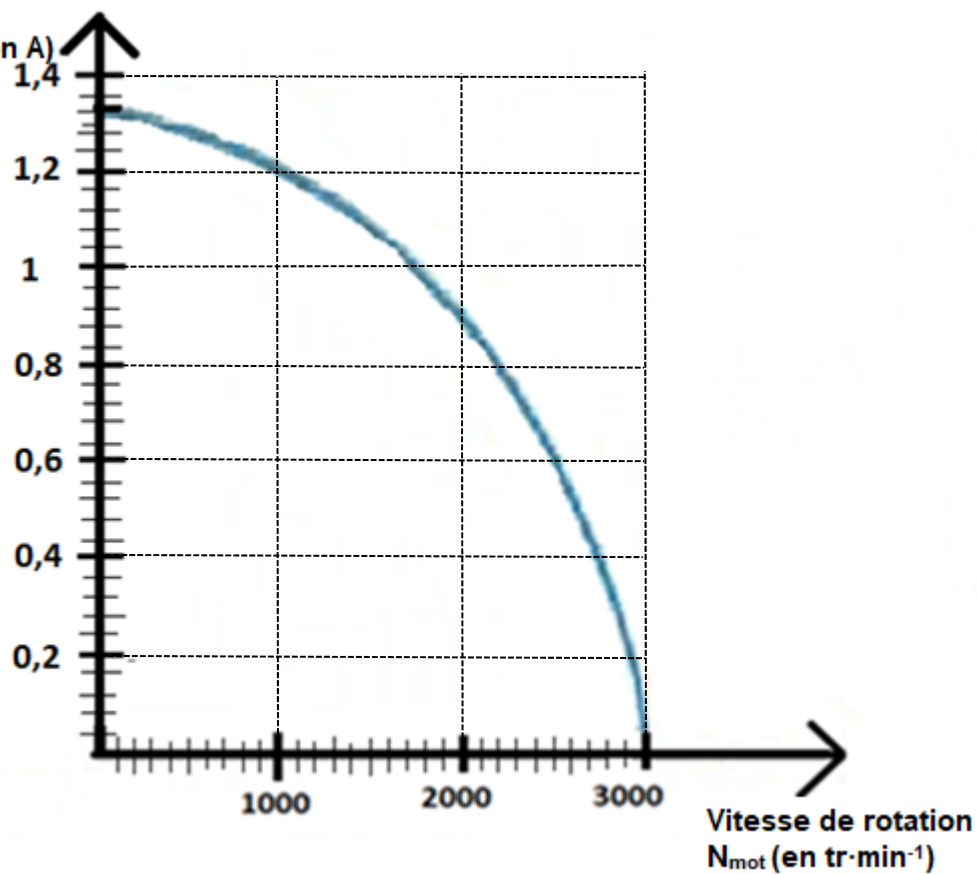
Couple moteur

$C_{\text{const}}$  (en N·m)

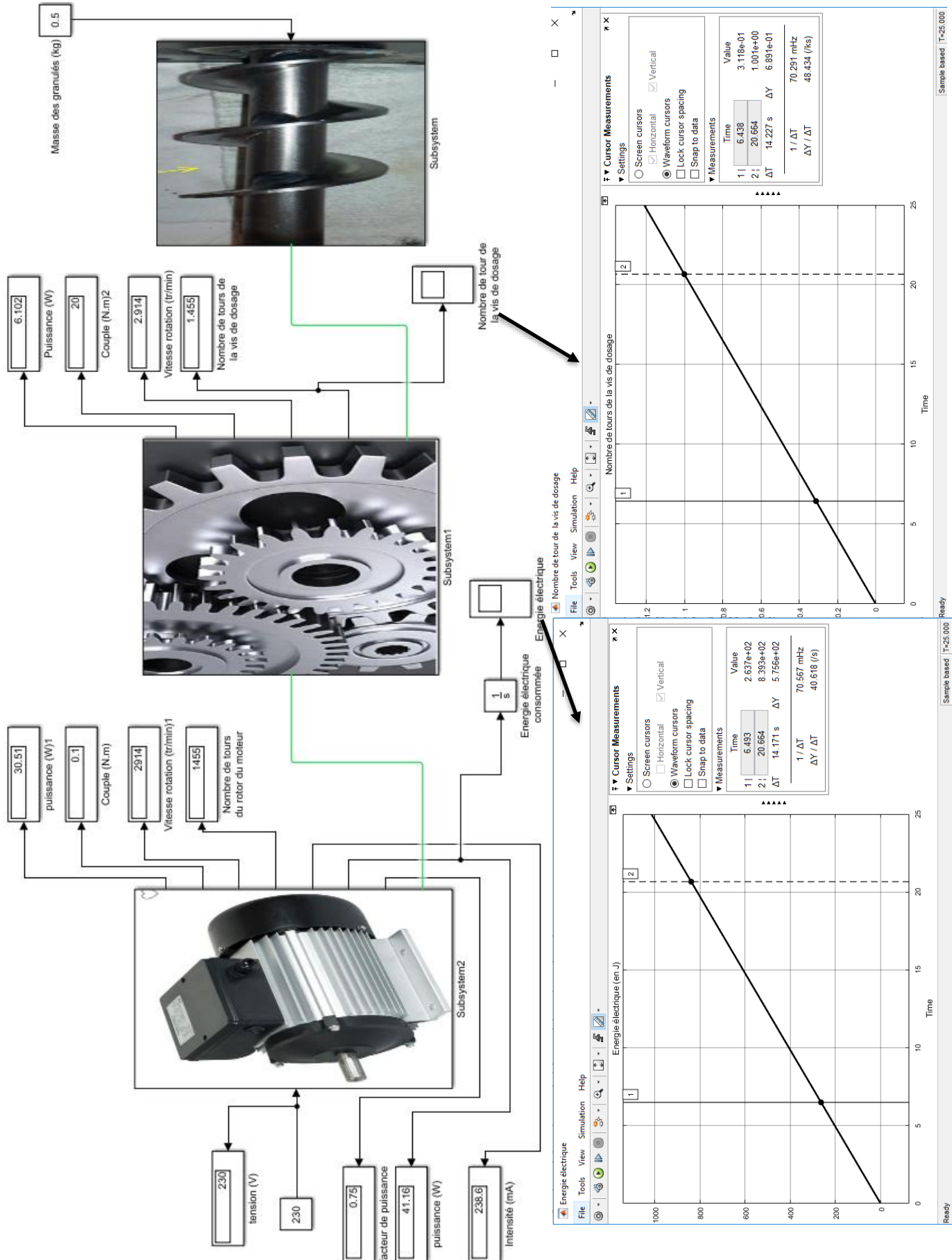


Intensité

$I_{\text{const}}$  (en A)



# DTS3 : Simulation de la chaine de puissance de la vis dosage



## DTS4 : Simulation d'un scénario de chauffage

### Paramétrage du logiciel :

Scenario de chauffage

Temperatures

Temperature de base exterieure: 5,58 deg. C

Temperature de consigne en periode normale: 19,00 deg. C

Temperature de consigne en periode reduite: 17,00 deg. C

Periode de chauffage

Duree journaliere de chauffe normale: 16 heures

Duree journaliere de chauffe reduite: 8 heures

Debut

novembre 2020

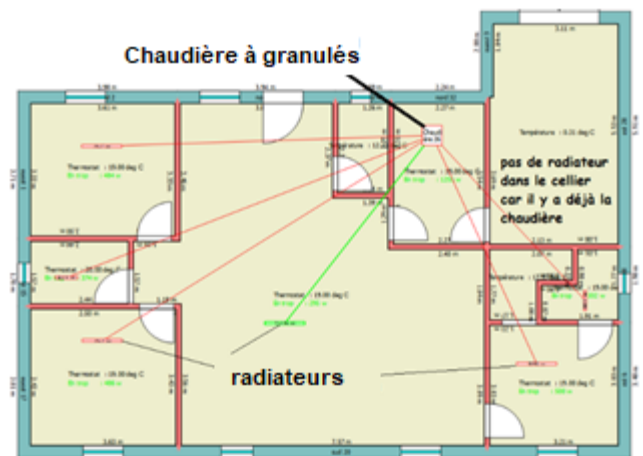
	dim.	lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.
44	25	26	27	28	29	30	31
45	1	2	3	4	5	6	7
46	8	9	10	11	12	13	14
47	15	16	17	18	19	20	21
48	22	23	24	25	26	27	28
49	29	30	1	2	3	4	5

Fin

avril 2021

	dim.	lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.
13	28	29	30	31	1	2	3
14	4	5	6	7	8	9	10
15	11	12	13	14	15	16	17
16	18	19	20	21	22	23	24
17	25	26	27	28	29	30	1
18	2	3	4	5	6	7	8

OK Annuler



La période de chauffage simulée va du 1 novembre au 30 avril

### Résultats de la simulation :

Simulateur : <input checked="" type="radio"/> Chauffage <input type="radio"/> Ventilation <input type="radio"/> Off					
Bilan de puissance		Bilan energetique		Bilan economique	
etage	batiment	Energie consommee :	4704 kwh / an	Cout annuel :	325 Euros
Apports :	12448 12448 w	Energie fournie :	4147 kwh/an	Investissement :	8786 Euros
Deperditions :	1722 1721 w	Energie requise :	4147 kwh/an	Prix revient / 5 ans :	10412 Euros
Bilan :	10726 10726 w	Bilan :	0 kwh/an	Prix revient / 10 ans :	12038 Euros

40 Kwhep / m2.an

10 A B C D E F G

### Informations sur les résultats :

- L'énergie consommée correspond à l'énergie finale fournie par la combustion des granulés
- L'énergie fournie est l'énergie thermique utile qui a permis de chauffer la maison.
- L'énergie requise est l'énergie qu'il aurait fallu pour atteindre la température de consigne.



## DTS5 : Alimentation de secours

L'alimentation de secours est composée d'une batterie, d'un chargeur, d'un modulateur DC/AC (onduleur) et d'un commutateur 3 positions.

- Commutateur en position « EDF » : Le chargeur recharge la batterie à partir de l'électricité fournie par le réseau EDF
- Commutateur en position « repos » : le système est à l'arrêt
- Commutateur en position « secours » : la batterie alimente la chaudière par l'intermédiaire du modulateur DC/AC (onduleur).

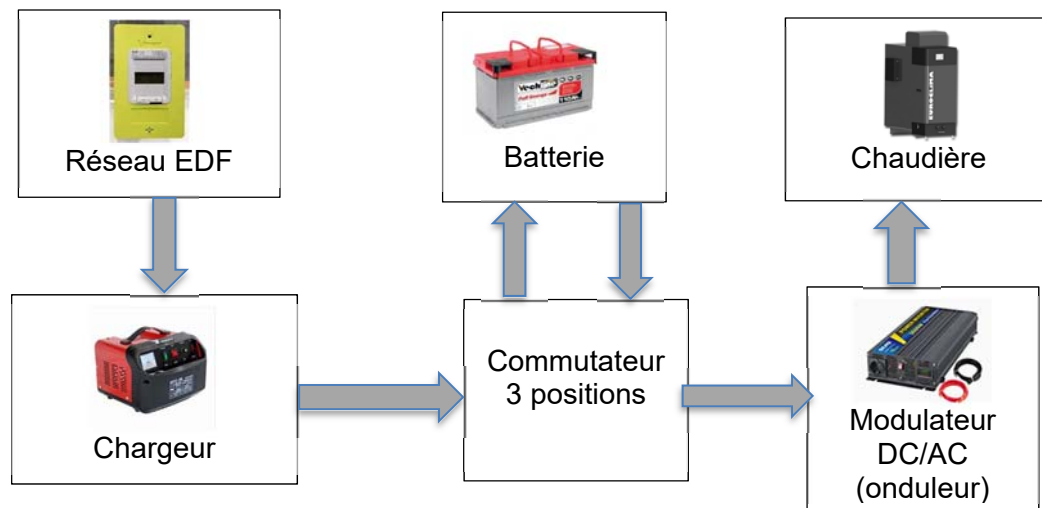
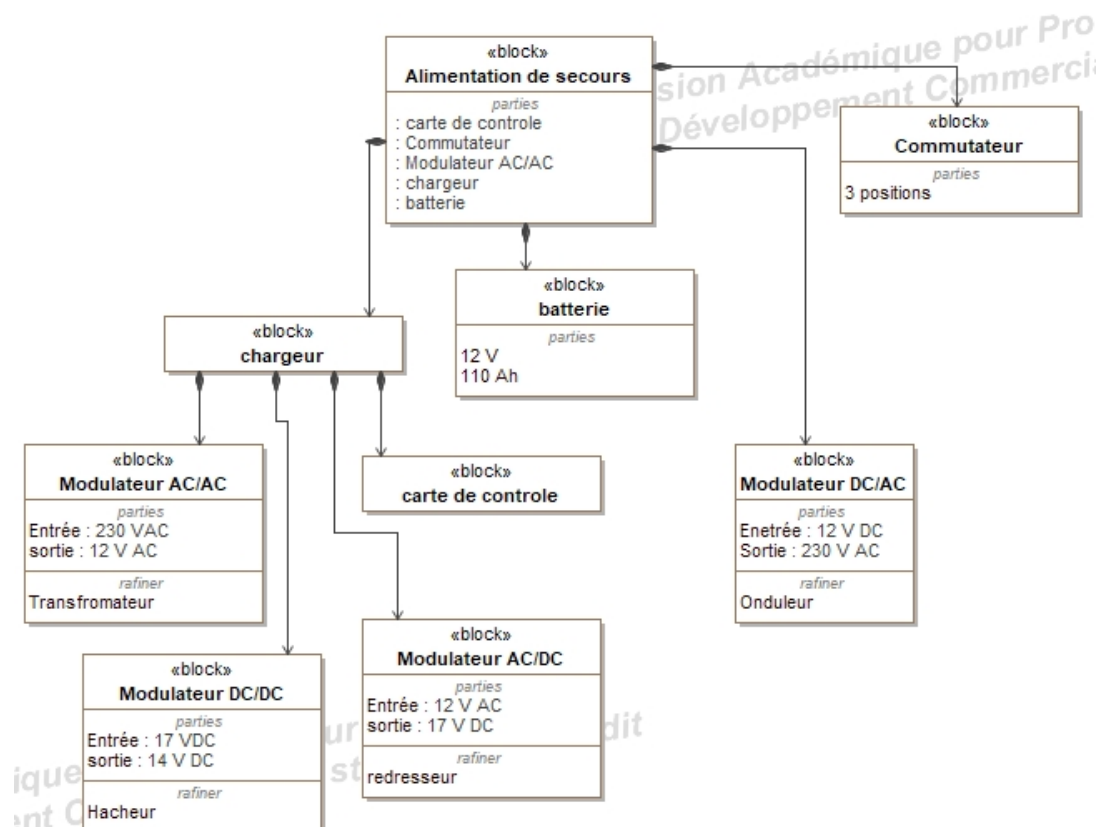
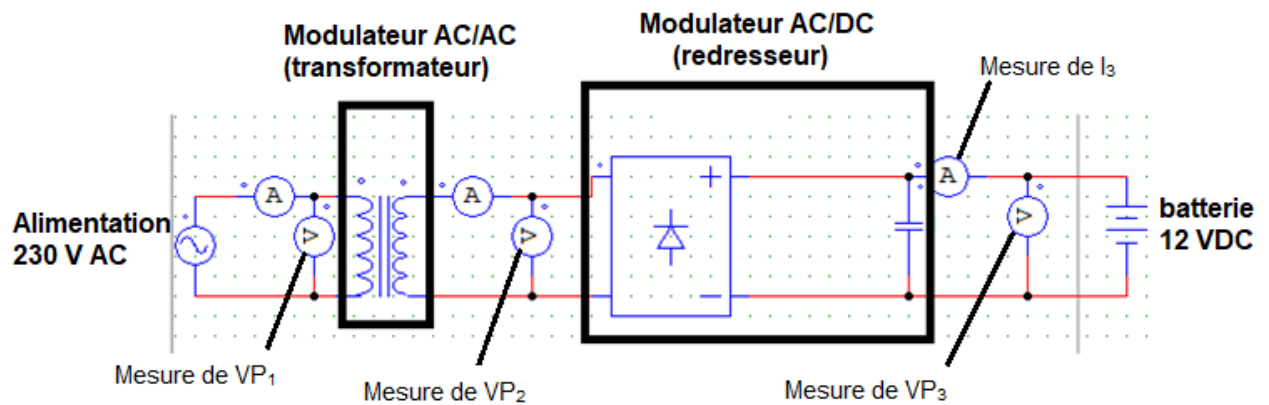


Diagramme B.D.D.



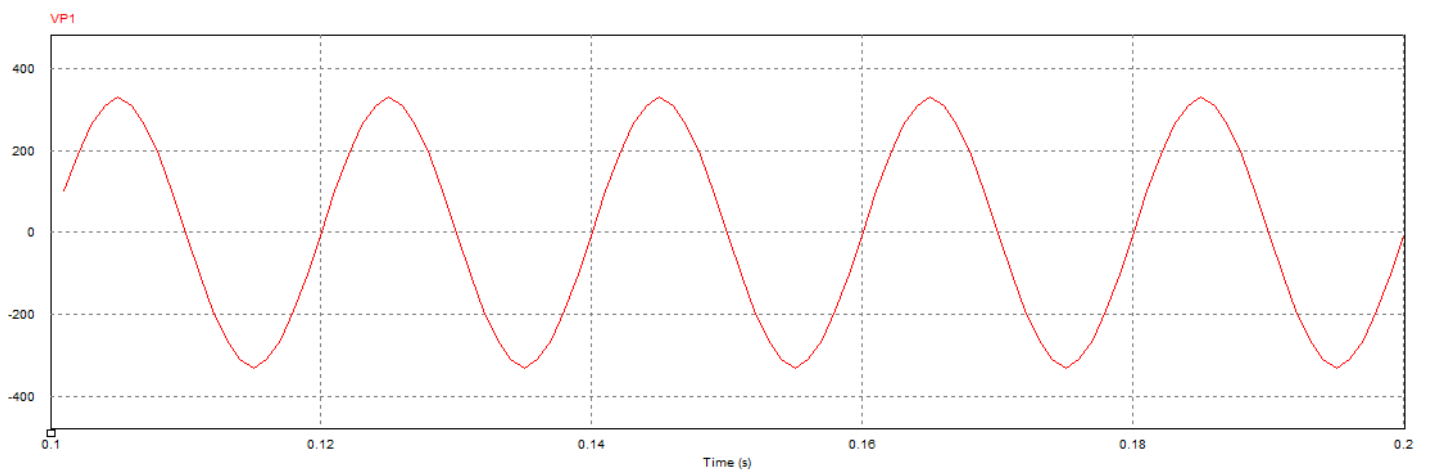
## DTS6 : Simulation du modulateur AC/AC et du modulateur AC/DC

Présentation du système simulé :

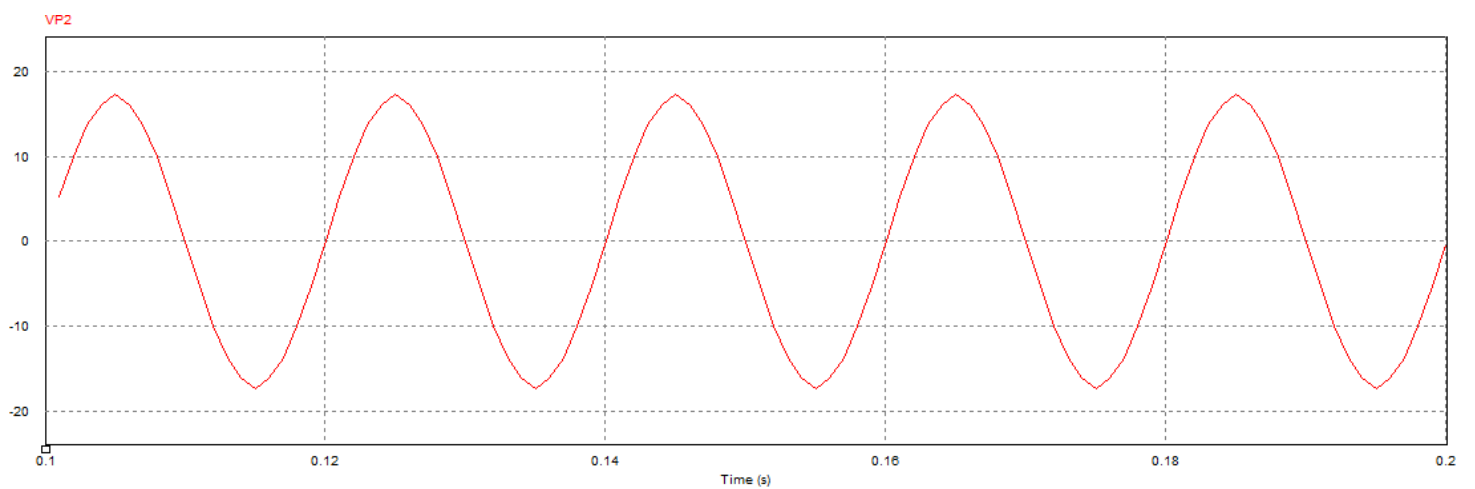


Résultats de la simulation :

Evolution de VP<sub>1</sub> en fonction du temps :

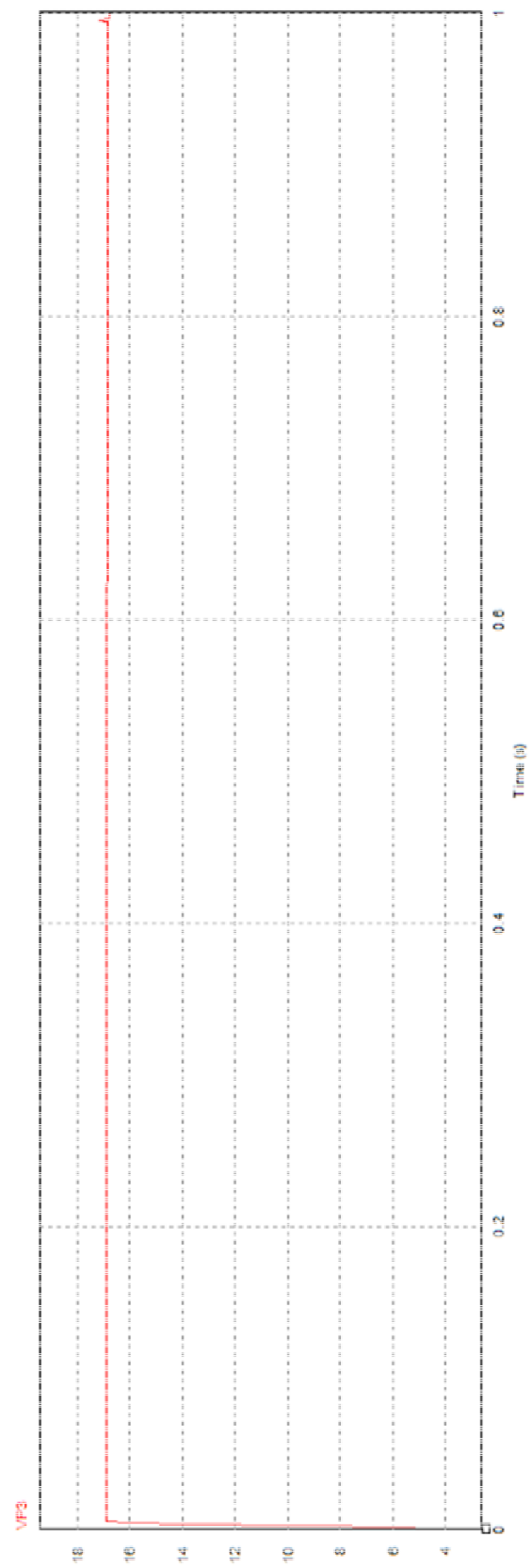


Evolution de VP<sub>2</sub> en fonction du temps

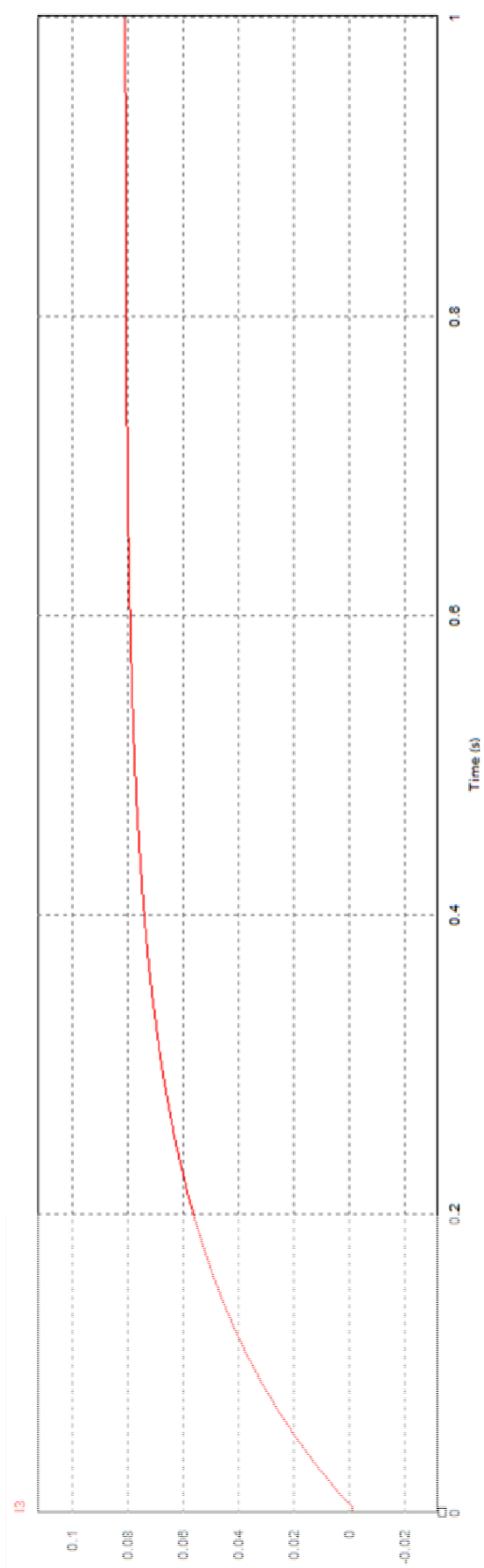


# DTS7 : Simulation du modulateur AC/AC et du modulateur AC/DC

Evolution de  $VP_3$  en fonction du temps



Evolution de  $I_3$  en fonction du temps



## **DTS8 : Caractéristiques des modulateurs de l'alimentation de secours**

---

- **Modulateur n°1 : Module d'alimentation Yosoo**

**Caractéristiques techniques :**

Nom : Module d'alimentation synchronisé réglable 200 W.

Dimensions du boîtier en aluminium : 70 x 38 x 31 mm.

Tension d'entrée : 8-55 V en continu.

Tension de sortie : 1-36 V en continu.

Courant de sortie : valeur max. 15 A..

Température : -10 à + 85 °C.

Efficacité de conversion : jusqu'à 94 %.

Protection contre surtension : oui (le courant de sortie dépasse les tests actuels (15A)).

Protection de polarités inversées (ne brûle pas si les polarités sont inversées).



- **Modulateur n°2 : module d'alimentation LM2596HV**

**Caractéristiques techniques :**

Matériau : métal.

Couleur : comme sur les photos.

Dimensions : 50 x 25 x 14 mm.

Plage de tension d'entrée : 5 V-60 V (maximum dans 55 V continu).

Plage de tension de sortie : 1,25 V-26 V (réglable continu).

Courant de sortie maximum : 3 A.

Courant de fonctionnement continu : 1,5 A (puissance totale à l'intérieur 20 W).



## **DTS9 : La batterie de l'alimentation de secours**

---

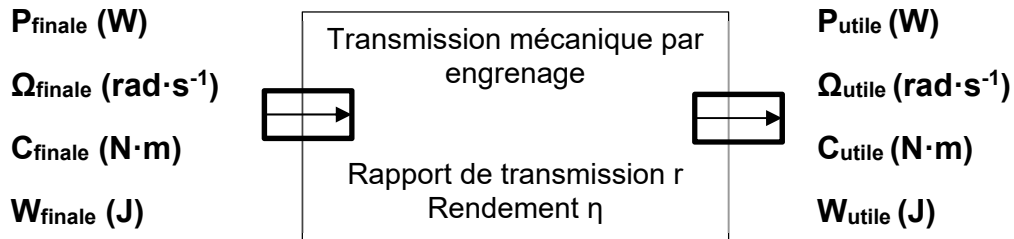
**Caractéristiques techniques :**

- 12 V
- 110 A·h

**Prix : 177 €**



## 1. Transmission mécanique par engrenage

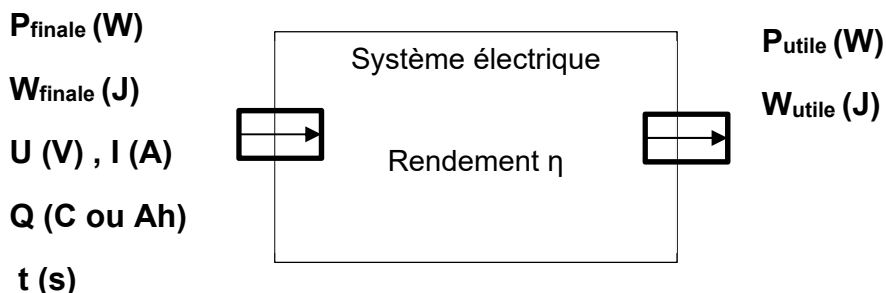


$$P_{\text{finale}} = C_{\text{finale}} \cdot \Omega_{\text{finale}}$$

$$P_{\text{utile}} = C_{\text{utile}} \cdot \Omega_{\text{utile}}$$

$$r = \frac{\text{vitesse de sortie}}{\text{vitesse entrée}}$$

## 2. Énergie électrique à tension continue



**Puissance :**  $P_{\text{finale}} = U \cdot I$

**Quantité de charge :**  $Q = I \cdot t$

**Énergie :**  $W_{\text{finale}} = P_{\text{finale}} \cdot t$  **et**  $W_{\text{utile}} = P_{\text{utile}} \cdot t$

$$W_{\text{finale}} = Q \cdot U$$

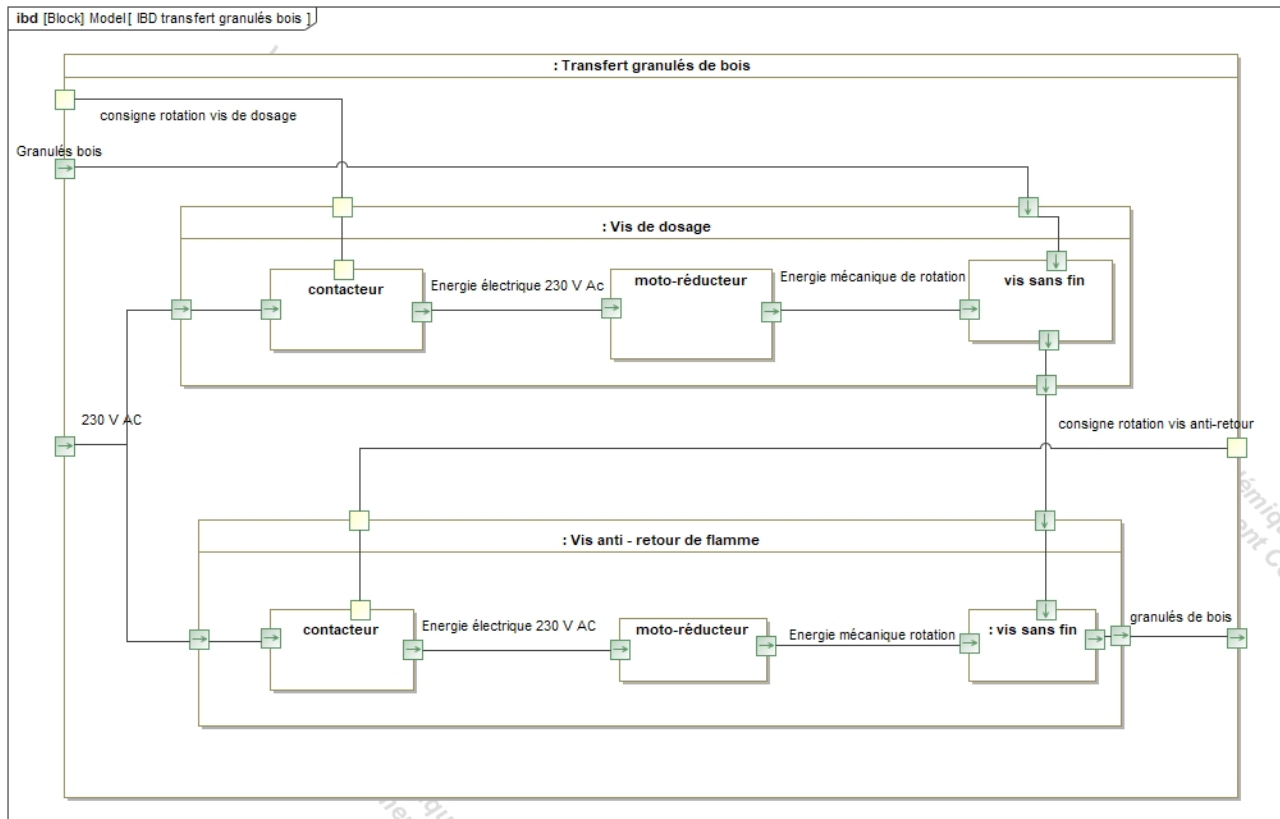
$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$$

**Rendement :**  $\eta = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance finale}}$

$$\eta = \frac{\text{Énergie utile}}{\text{Énergie finale}}$$

## DRS1 : Diagramme I.B.D. du système de « transfert granulés de bois »

Question A.1



## DRS2 : Consommation électrique journalière de la chaudière

Question B.1

	Puissance électrique	Durée d'utilisation journalière	Energie électrique consommée (en Wh)
Turbine aspiration granulés	1 200 W	3 minutes par jour	
Chaine de puissance de la « vis de dosage »	40 W	6 minutes par jour	
Chaine de puissance de la « vis de sécurité »	40 W	6 minutes par jour	
Chaine de puissance de la « vis de décendrage »	40 W	3 minutes par jour	
Ventilateur d'extraction des fumées	32 W	En continu	
Platine régulation électronique (chaine d'information)	11 W	En continu	
<b>Energie journalière totale (<math>W_{\text{jour}}</math>) :</b>			

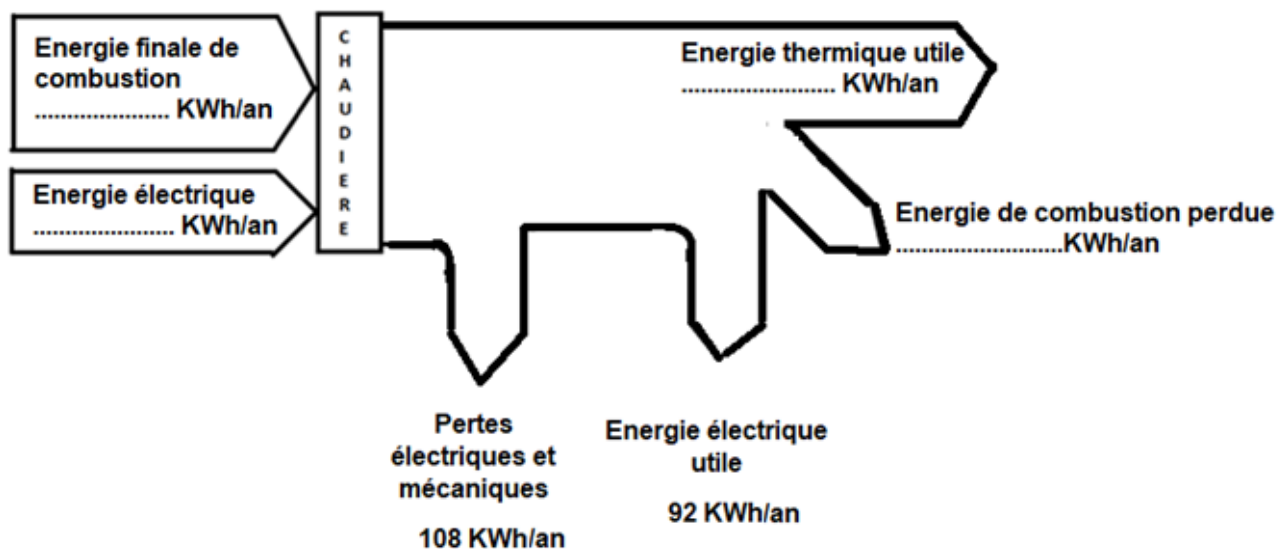
### DRS3 : Bilan énergétique du chauffage d'une maison

Question B.4

	Énergie en KWh/an
Énergie finale par la combustion des granulés :	
Énergie thermique utile pour chauffer la maison :	
Énergie de combustion perdue :	

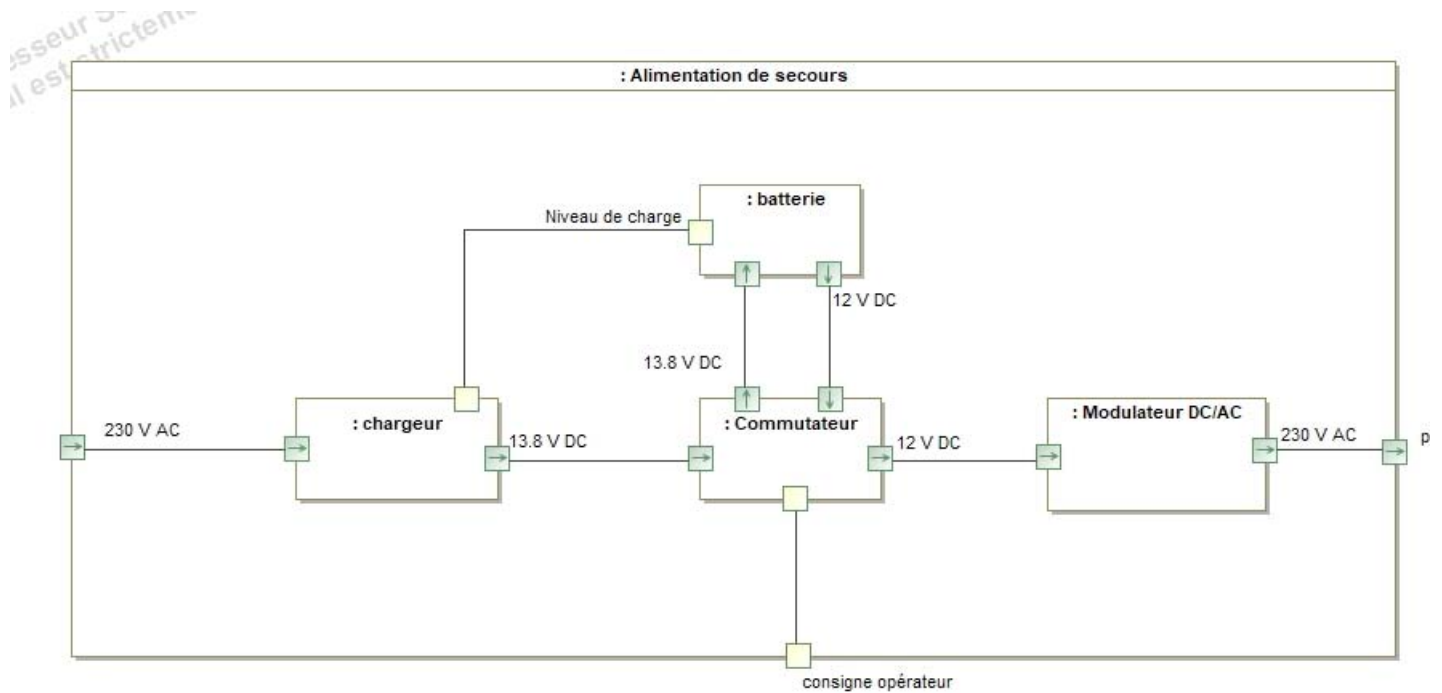
### DRS4 : Diagramme de Sankey

Question B.5



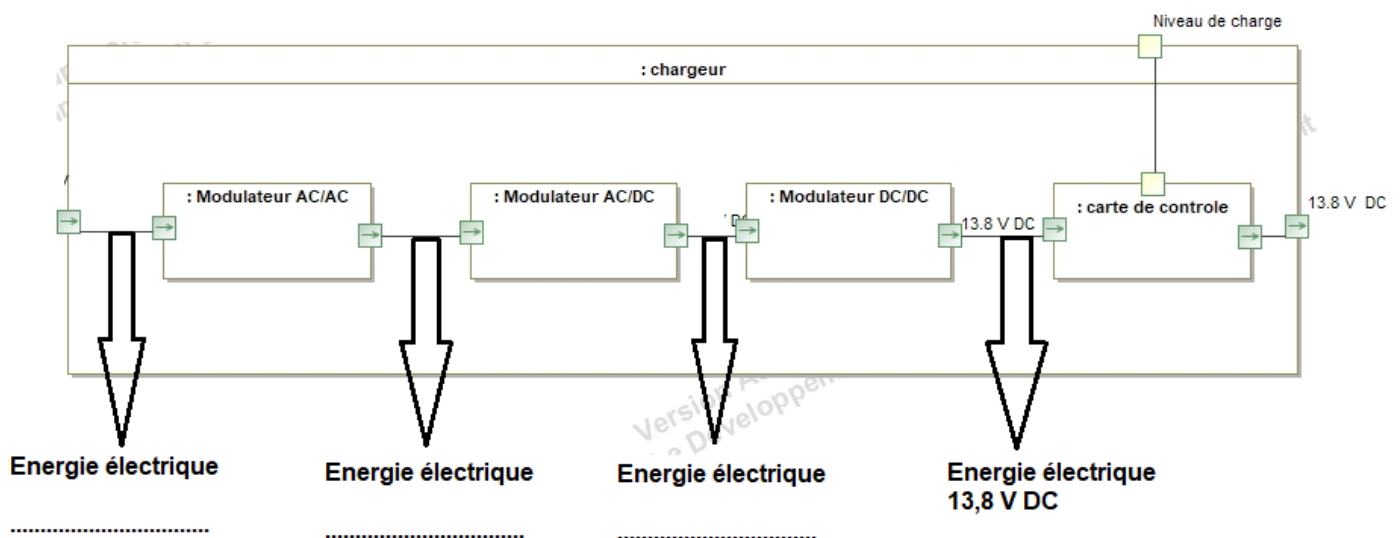
## DRS5 : Diagramme IBD de l'alimentation de secours

Question C.1 ou D.1



## DRS6 : Diagramme IBD du chargeur de l'alimentation de secours

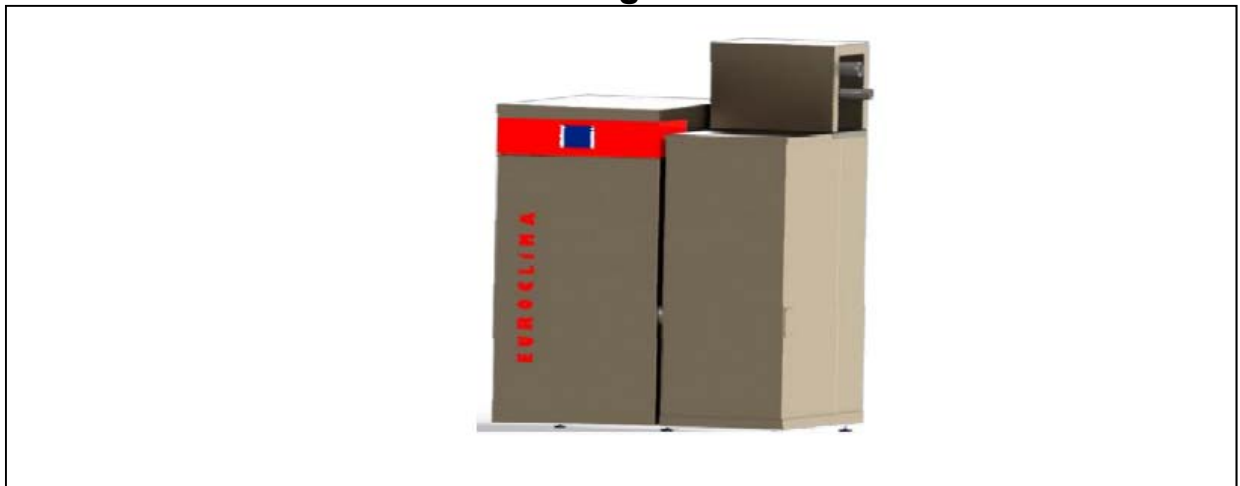
Question C.4





## **INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO CONCEPTION**

### **Chaudière à granulés**



#### **Constitution du sujet :**

- **Dossier sujet et questionnaire** ..... pages 20 à 25
- **Dossier technique** ..... pages 26 à 31
- **Documents réponses** ..... page 32

**Dans la partie spécifique, vous devez choisir entre traiter la partie A (choix 1)  
ou la partie B (choix 2).**

**Les autres parties sont à traiter obligatoirement.**

## Mise en situation

L'installation d'une chaudière à granulés répond aux attentes en ce qui concerne la réduction de l'usage de combustibles issus de ressources non renouvelables (gaz, fioul). Cependant cette technologie sera plébiscitée si elle n'amène pas de contraintes supplémentaires lors du fonctionnement.

C'est pourquoi la société Euroclima, qui commercialise ces chaudières, souhaite procurer à ses clients une installation technique permettant :

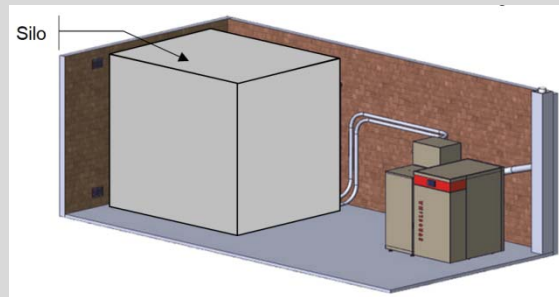
- une autonomie annuelle en besoin de granulés (Partie A) ;
- une sûreté de fonctionnement de l'alimentation en granulés (Partie B) ;
- une automatisation de l'alimentation en granulés de la chaudière (Partie C).

## Travail demandé

### PARTIE A - CHOIX 1 : Comment adapter le stockage des granulés ?

La société EUROCLIMA souhaite proposer à ses clients une solution complète incluant la fonction « stockage des granulés ».

Les particuliers investissant dans une chaudière à granulés n'ont souvent pas prévu la zone de stockage du combustible. Une solution consiste à installer un silo de stockage dans le local choisi.

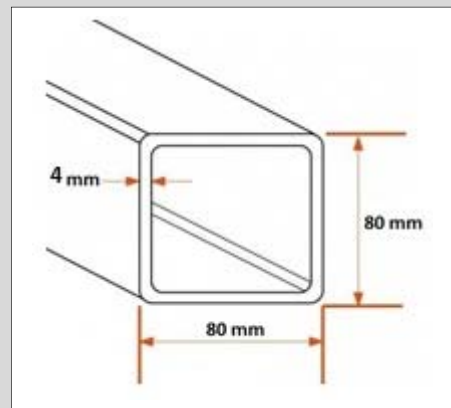


Le système de stockage (DTS3) est constitué d'une structure porteuse démontable, pour être transportée puis assemblée dans le local, et d'une poche textile souple pour contenir la réserve de granulés.

La structure (cadre + pieds) est entièrement réalisée à partir de profilés carrés creux de section 80 x 80 x épaisseur 4 (figure ci-contre)

Elle est constituée d'un cadre supérieur de 2,20 m de côté, soutenu par un piétement de 4 barres. La hauteur de la structure (sans la poche textile) fait 2 m.

Pour les besoins de chauffage de l'habitat à équiper, on estime la consommation annuelle utile de granulés à 5 000 L, qui correspond à une masse de granulés  $M = 3\,000\text{ kg}$ .



Question A.1 | **Relever** les dimensions minimales (surface au sol et hauteur) que devra avoir la zone d'installation du silo complet (avec structure).

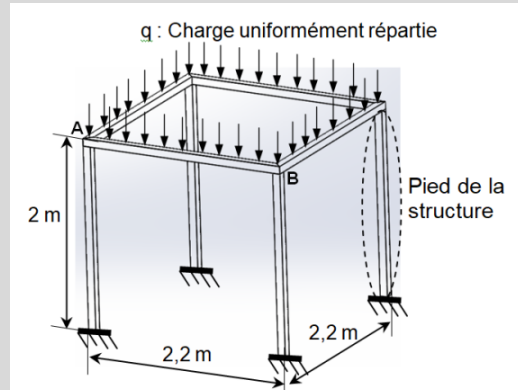
DTS2

**Dimensionnement de la structure porteuse : Le bureau d'études propose deux modèles pour la structure porteuse, représentées sur le DTS3. L'objectif est de valider et choisir la solution optimale.**

Question A.2

DTS3

**Justifier** le paramétrage par la charge linéique  $q$  représentée ci-contre sur la structure.  
**Déterminer** la valeur de la charge linéique  $q$  (en  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ )



Question A.3

DTS3

Dans le cas du modèle 1 :  
Hypothèse : la charge totale se répartie également sur les 4 pieds.  
**Déterminer** les efforts appliqués sur chacun des 4 pieds.  
**Préciser** la sollicitation subie par chaque pied,

Question A.4

DTS3

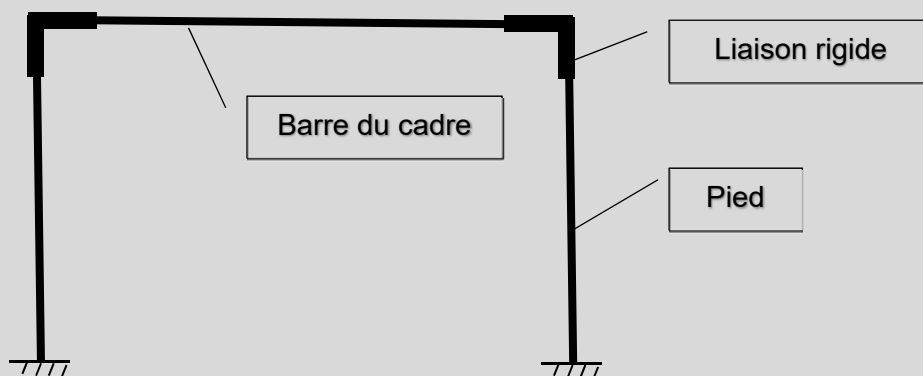
Dans le cas du modèle 1 : **Calculer** la contrainte dans un pied.  
On rappelle que les pieds de la structure sont constitués de profilés creux de section 80 x 80 x épaisseur 4.

Une étude de résistance des matériaux est réalisée au moyen d'une simulation numérique, lorsque les structures subissent la charge maximale due au poids des granulés. (Voir DTS4 et DTS5).

Question A.5

DTS4

Dans le cas du modèle 1 : Les liaisons entre les différents éléments de la structure (cadre et pieds) sont des encastremements rigides (voir schéma ci-dessous). La simulation présentée en DTS4 fait apparaître une flexion des pieds. **Expliquer** en quoi la nature des liaisons induit ce phénomène (il peut être utile de faire un schéma)

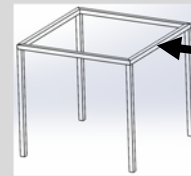


Question A.6

DTS4 ; DTS5

Dans le cas du modèle 1 : **Expliquer** ce qui peut se produire si un effort latéral accidentel est appliqué en haut de la structure.

Dans le cas du modèle 2 : **Expliquer** en quoi le modèle 2 apporte une solution à ce problème.



Poussée  
latérale  
accidentelle

La structure est constituée de profilés en S235 de limite élastique **Re = 235 MPa**.

Question A.7

DTS5

Dans le cas du modèle 2 : en vous aidant des valeurs des contraintes affichées sur la simulation (DTS5), **vérifier** la résistance de la structure.

Question A.8

**Conclure** sur l'intérêt du modèle 2.

## ***PARTIE B – CHOIX 2 : Comment optimiser l'alimentation en granulés ?***

Le rendement thermique d'une chaudière à granulés est garanti si l'alimentation en granulés est optimale. Dans le cas contraire, un manque de combustible entraîne la baisse de la température dans la chambre à combustion et réduit les performances de la chaudière. Une cause de défaillance est le bourrage des granulés lors de leur cheminement.

Le système d'alimentation doit pallier le risque de retour de flamme lors du fonctionnement de la chaudière. Pour cela une écluse anti-retour de flamme à sas rotatif est ajoutée (DTS6).

L'ensemble est mis en rotation par un seul motoréducteur entraînant le pignon moteur (20) à la vitesse maxi  **$N_{20 \text{ Maxi}} = 1,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$** .

Les granulés sont dosés par la vis sans fin (3), puis transportés et déversés dans le sas rotatif (13). Celui-ci dépose les granulés sur la vis de sécurité (4), qui les emmène jusqu'à la chambre de combustion.

Question B.1

DTS6, DRS1

Le DTS6, précise le sens de rotation de la roue (23).

**Justifier** le choix de ce sens de rotation. Sur le DRS1, **reporter** ce sens de rotation.

Question B.2

DTS6, DRS1

**Représenter** par des flèches sur le DRS1, les sens de rotation des roues (20), (21), (22) ainsi que le sens de déplacement de la chaîne.

Question B.3

DTS6, DTS7, DRS1

**Justifier** le choix d'installer une chaîne au lieu d'une courroie.

## Question B.4

DTS6, DRS1

**Calculer successivement** les vitesses de rotation de la vis de dosage (3), du sas rotatif (13), et de la vis de sécurité (4).

$$\text{Rappel : } r = \frac{Z_{\text{Moteur}}}{Z_{\text{Récepteur}}} = \frac{N_{\text{Récepteur}}}{N_{\text{Moteur}}}$$

Le sas rotatif (13) comporte 8 logements (chambres) permettant de recevoir et déverser les granulés d'une vis sans fin à l'autre. Le débit de chaque vis est précisé sur le DTS6. L'ensemble est entraîné à vitesse constante par le motoréducteur.

## Question B.5

DTS6

**Calculer** les débits (en  $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ) de granulés transportés par les vis (3) et (4), ainsi que par le sas (13).

**Justifier** ce principe de transport des granulés au regard des risques de bourrage des granulés.

## Question B.6

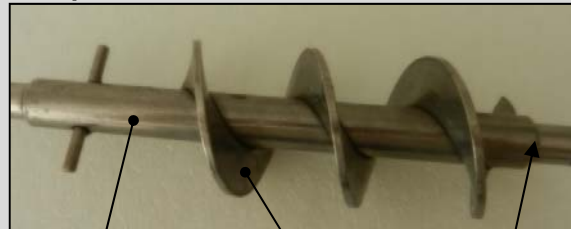
DTS6

A l'aide du DTS6, **expliquer** en quoi le sas rotatif pallie au risque de retour de flamme.

La vis de sécurité permet d'alimenter directement la chambre de combustion en granulés. Son extrémité est alors soumise à des températures de fonctionnement pouvant avoisiner les 600 °C.

Une solution de fabrication des vis sans fin consiste à préformer l'hélice puis à l'assembler par soudage sur un axe pré-usiné.

**Hélice soudée sur axe pré-usiné**



Axe

Hélice

Zone de soudage

## Question B.7

DTS8

A l'aide du DTS8, **choisir** un type de matériau pour la fabrication de la vis de sécurité, **justifier** ce choix.

## Question B.8

**Conclure** sur la validité des différents choix effectués pour respecter les contraintes de l'alimentation en granulés.

### **PARTIE C : Comment assurer l'alimentation en granulés de façon autonome ?**

La réduction des opérations de manutention des granulés est un critère de confort lors du fonctionnement de la chaudière.

La solution retenue consiste à installer un convoyeur à vis sans fin et tube flexible présenté ci-dessous et sur le DTS9.

Un motoréducteur électrique entraîne la vis sans fin insérée dans le tube de convoyage pour acheminer les granulés du silo à la chaudière.



On donne ci-dessous les contraintes géométriques imposées par le lieu d'installation :

- distance chaudière – axe du silo :  **$d = 4\text{ m}$**  ;
- fixation du convoyeur sous le silo : l'axe du tube flexible est à une hauteur  **$h = 300\text{ mm}$**  de la surface du sol ;
- positionnement de la sortie du tube du convoyeur au-dessus de la chaudière :  **$H = 2200\text{ mm}$** .

Question C.1 | A partir des dimensions précédentes, **reporter** ces valeurs sur le DRS2.

DTS9; DRS2

Le convoyeur de référence **MA40** présenté sur le DTS9 fonctionne correctement si son rayon de courbure  $R$  et l'angle  $\alpha$  respectent les valeurs limites imposées par le constructeur. Lors de la mise en place du convoyeur, on positionne l'ensemble tel que  **$R = 800 \text{ mm}$**  et  **$\alpha = 45^\circ$** .

Question C.2 DTS1 ; DTS9	En vous aidant de la présentation du convoyeur sur le DTS9, <b>vérifier</b> que la densité des granulés est compatible avec les caractéristiques de ce type de convoyeur.
-----------------------------	---

Question C.3 DTS9; DRS2	Sur le DRS2, <b>tracer</b> <u>l'axe du tube</u> du convoyeur entre son point de départ D, et son point d'arrivée A.  <b>Reporter</b> les valeurs <b><math>R</math></b> et <b><math>\alpha</math></b> sur le DRS2.
----------------------------	---

Question C.4 DTS9; DRS2	En vous aidant des tracés effectués précédemment sur le DRS2, <b>déterminer</b> la longueur <u>approchée</u> du tube du convoyeur à installer.
----------------------------	--

### ***PARTIE D : Synthèse***

---

Question D.1	En vous aidant des résultats obtenus dans les différentes parties, <b>conclure</b> sur la validité des différentes solutions mises en œuvre.
--------------	--

### ***DTS1 : Caractéristiques des granulés bois (pellets) (d'après propellet.fr)***

**Tableau des caractéristiques physiques de la norme internationale ISO 17225-2, granulés de catégorie A1 (particuliers et petites puissances)**

Diamètre	6 mm ± 1 ou 8 mm ± 1	Masse volumique apparente	≥ 600 kg/m <sup>3</sup>
Longueur	3,15 mm	Origine matière première	bois vierge
Humidité	≤ 10%	Température de fusion des cendres	à mentionner
Cendres	≤ 0,7 %	Azote	< 0,3 %
Résistance mécanique	≥ 97,5 %	Soufre	< 0,04 %
Quantité de fines	≤ 1 %	Chlore	< 0,02 %
Additifs	≤ 2 %	Contrôle des métaux lourds	oui
Pouvoir calorifique inférieur	4 600 ≤ Q ≤ 5 300 Wh/kg		

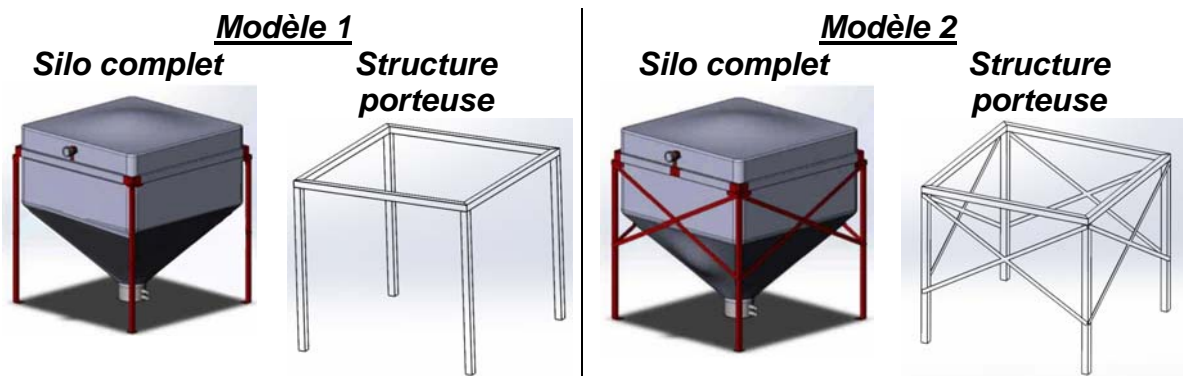


### ***DTS2 : Silo textile pour stockage des granulés de bois***

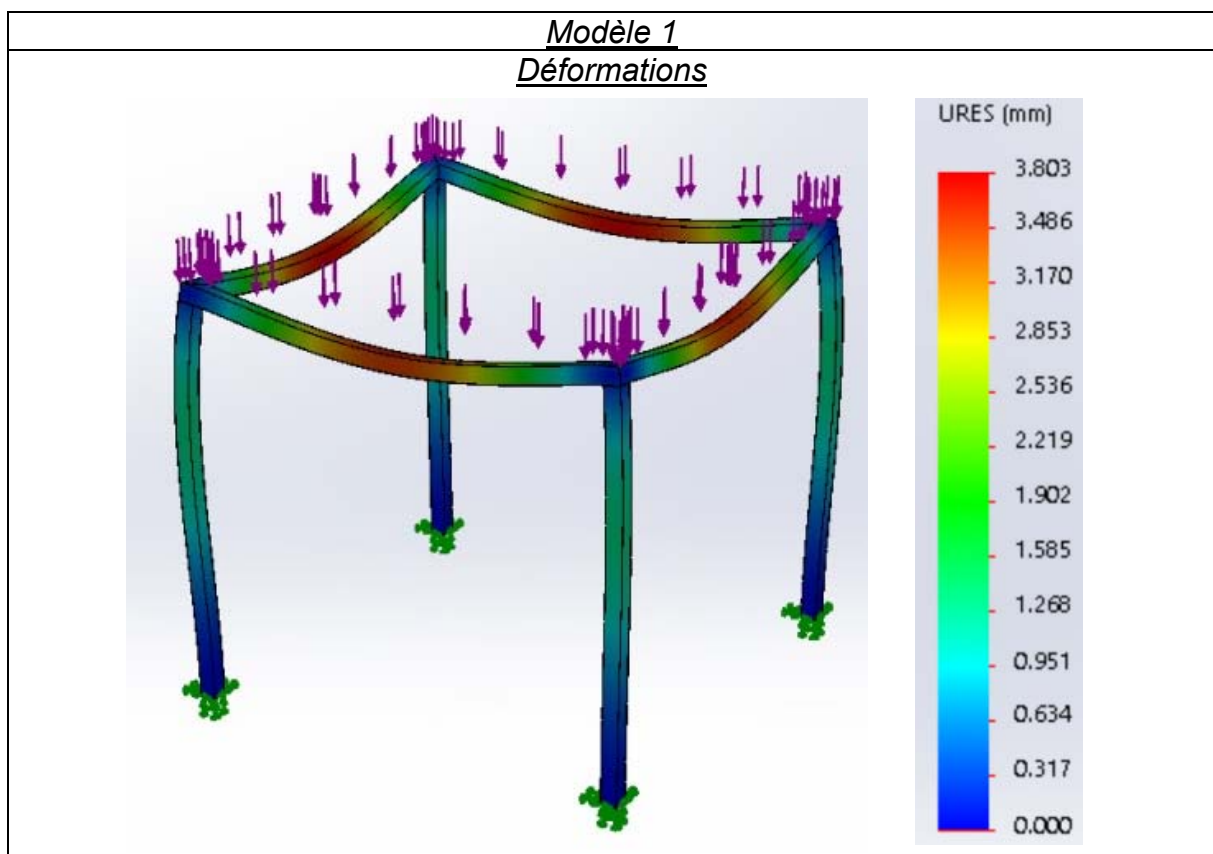
Type	Volume m <sup>3</sup>	Surface au sol	Hauteur cm	Référence
Silo 3.2	3.2	165 x 165	215	100990V
Silo 4.4	4.4	195 x 195	215	100991V
Silo 5.6	5.6	223 x 223	215	100992V
Silo 6.3	6.7	254 x 254	215	100993V
Silo 3.9	3.9	165 x 165	250	100995V
Silo 5.5	5.5	220 x 220	250	100996V
Silo 7.3	7.3	223 x 223	250	100997V
Silo 8.6	8.6	254 x 254	250	100998V
Silo 9.3	10.6	301 x 301	250	100999V



### DTS3 : Solutions proposées par le bureau d'études

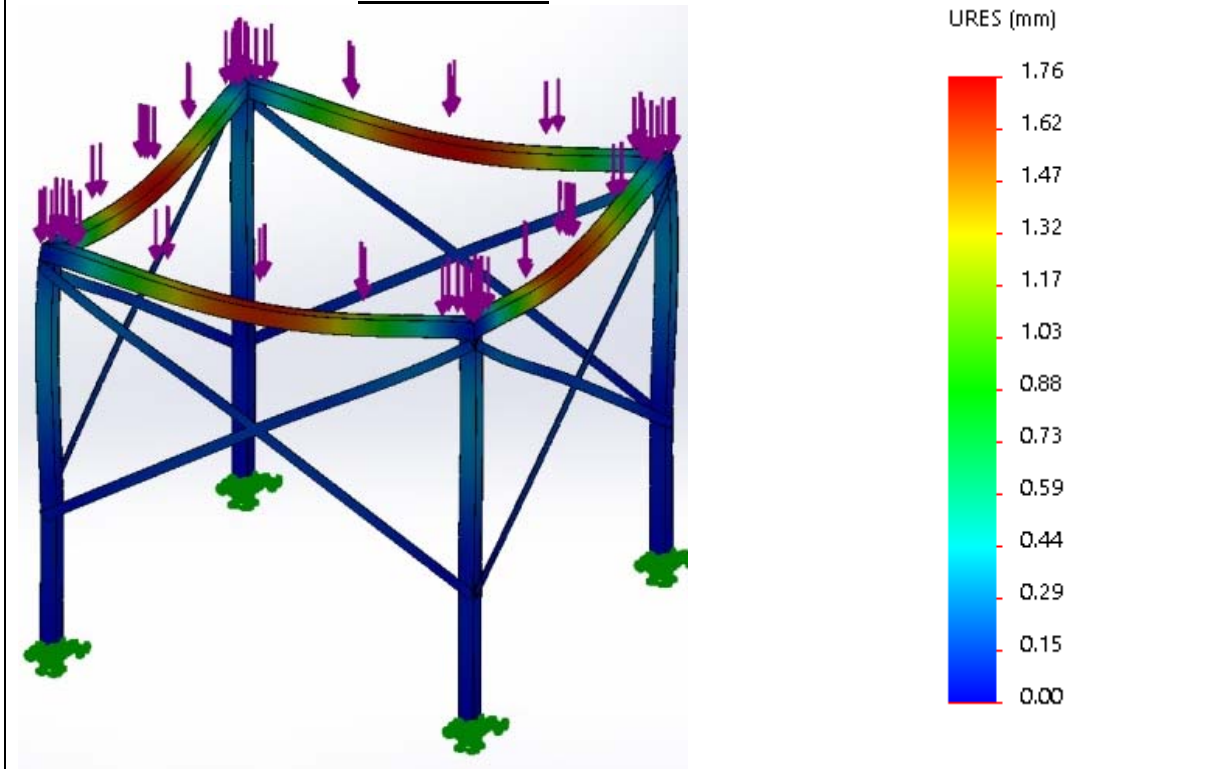


### DTS4 : Résultats des simulations

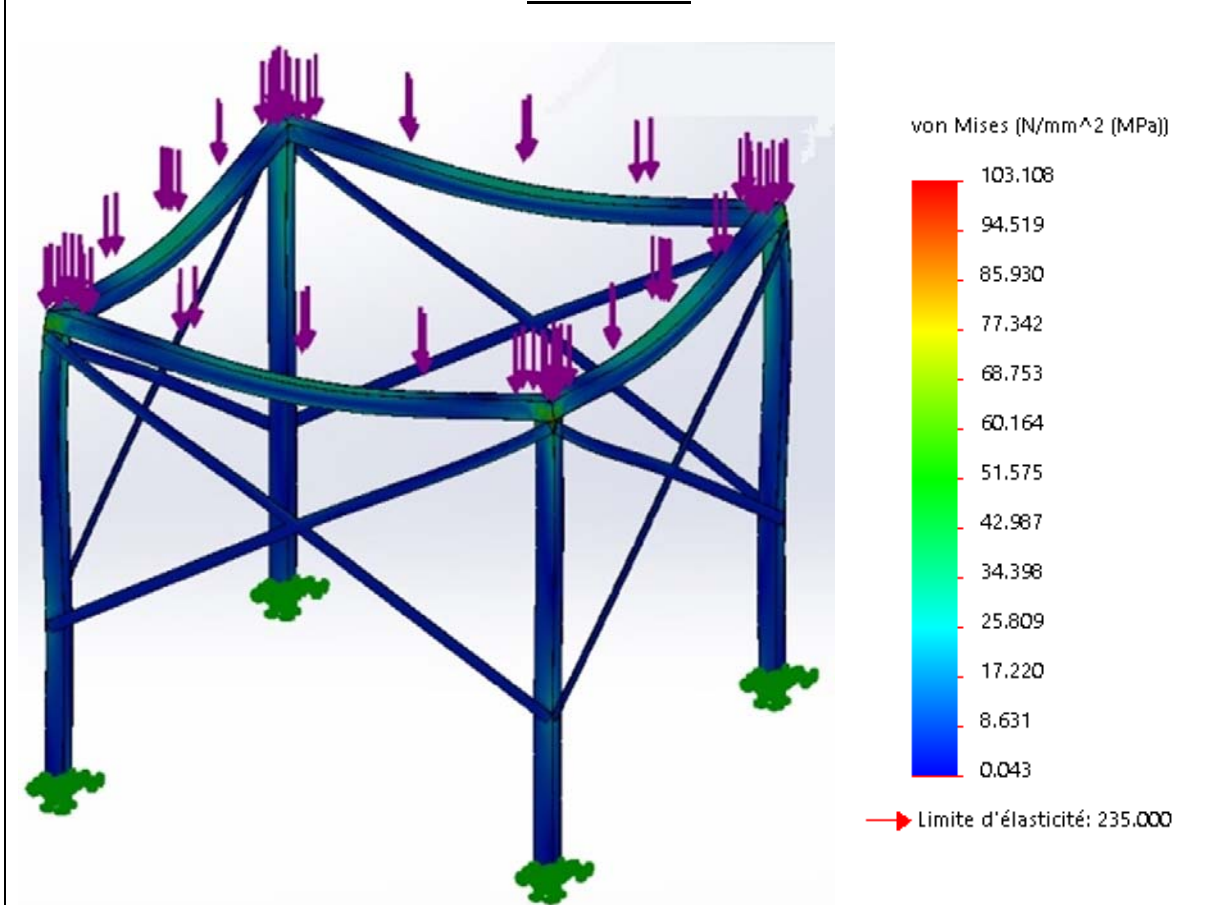


Modèle 2

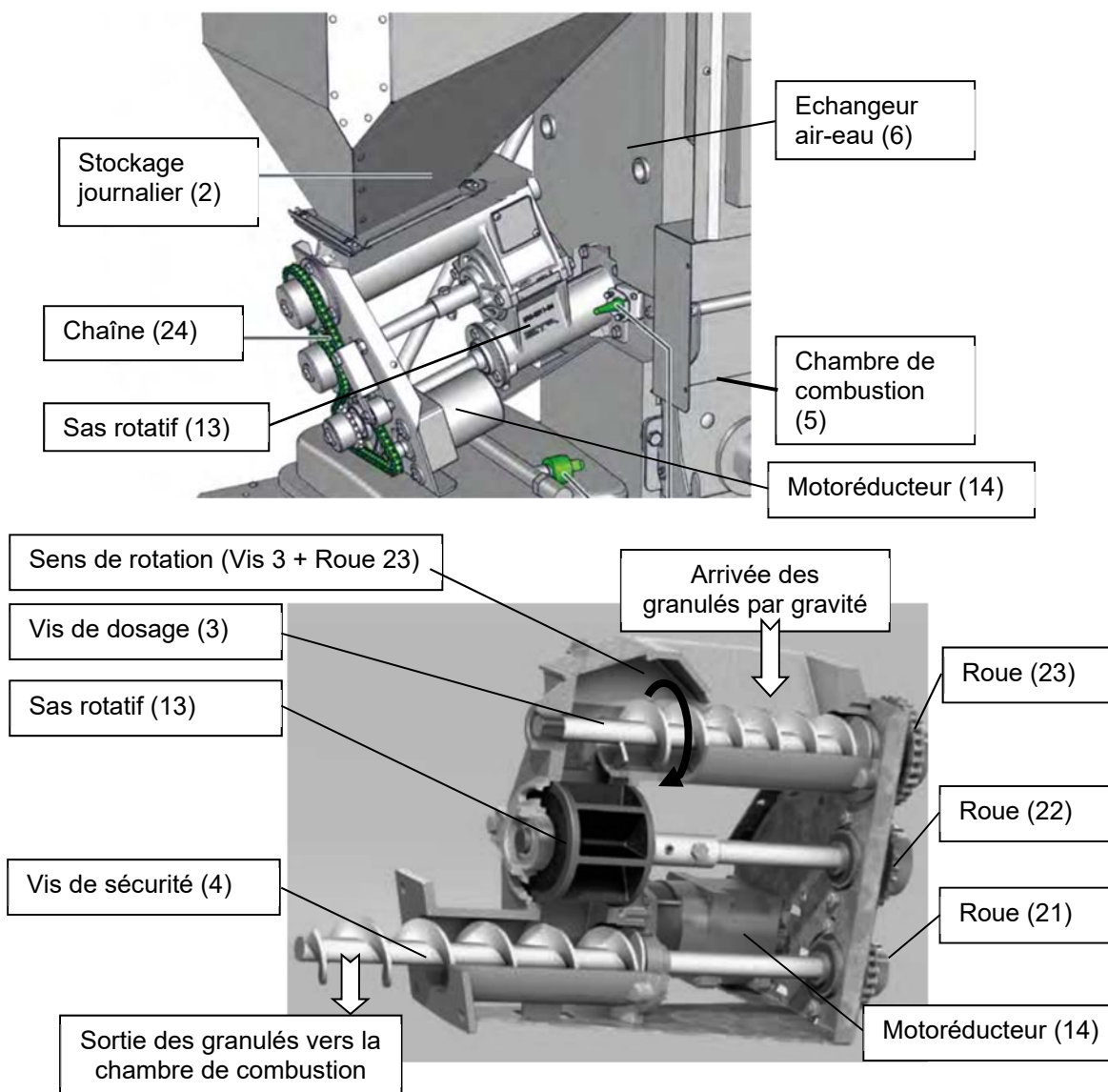
Déformations



Contraintes



## DTS6 : Écluse anti-retour de flamme

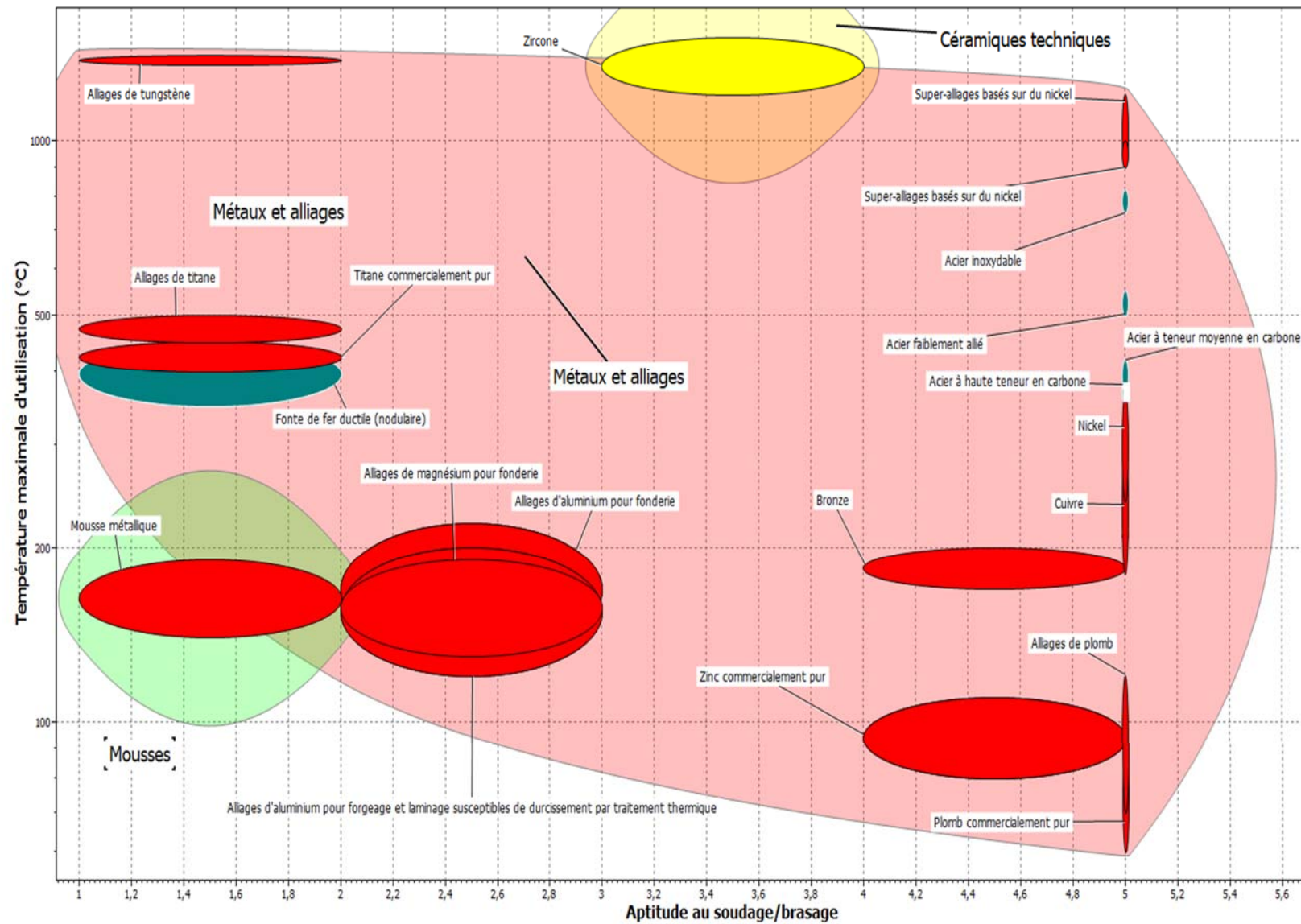


Caractéristiques des systèmes de transports des granulés		
	Pas	Débit Maxi ( $\text{mm}^3 \cdot \text{tr}^{-1}$ )
Vis de dosage	A droite	125 000
Vis de sécurité	A droite	250 000
Sas rotatif	X	150 000

## DTS7 : Solutions pour transmissions de puissance

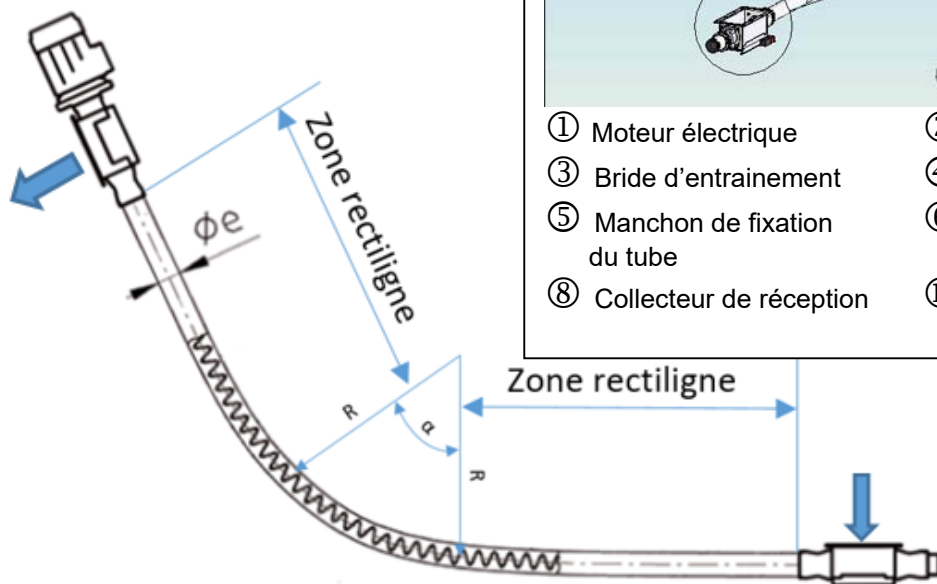
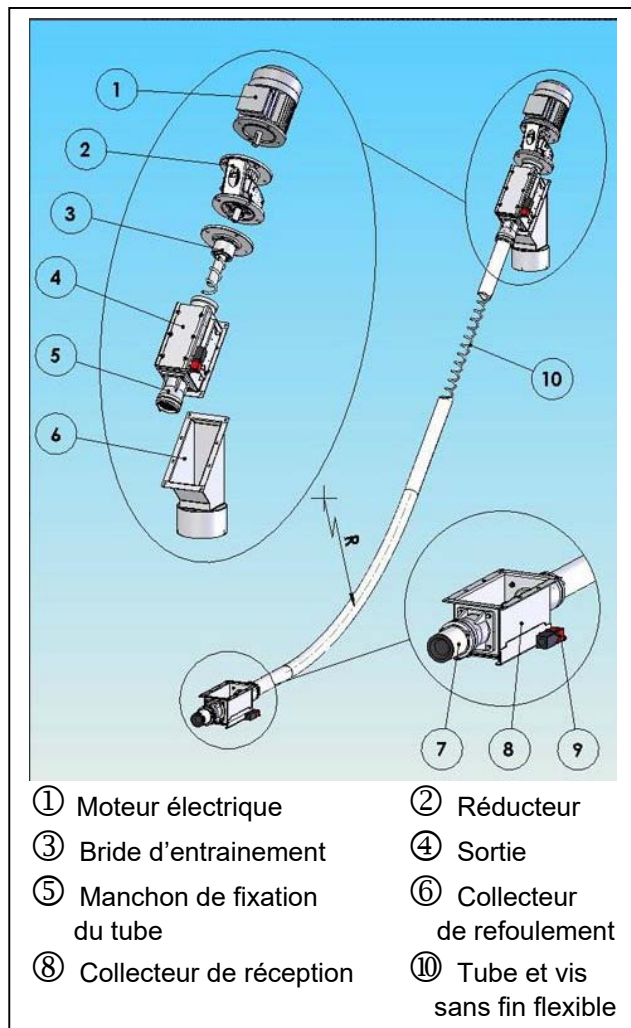
Transmission	Avantages	Inconvénients	Températures de fonctionnement
<b>Courroie plate</b>	Vitesses importantes Silencieuse	Glissement possible Couples faibles Réglage de la tension de la courroie	Moyenne
<b>Courroie synchrones</b>	Synchrone - Silencieuse Vitesses importantes	L'entraxe doit être réglable	
<b>Courroie trapézoïdale</b>	Faible glissement Vitesses moyennes	L'entraxe doit être réglable	
<b>Chaînes</b>	Durée de vie importante Couples importants	Bruyante Mise en place d'un système de tension	Importantes

## DTS8 : Diagramme température maximale d'utilisation / Aptitude au soudage





Modèle $\varnothing e$	Capacité de transport en kg/h		R (mm)
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	
<b>MA 40</b>	180	120	800
<b>MA 55</b>	500	340	1000
<b>MA 65</b>	1100	720	1300
<b>MA 70</b>	1600	1080	1500
<b>MA 80</b>	2300	1540	2100
<b>MA 90</b>	3200	2100	2800



Les convoyeurs à vis sans fin flexibles s'adaptent facilement aux systèmes existants et sont largement utilisés dans les industries alimentaire, chimique, pharmaceutique et plastique pour le transport des poudres, granulés, broyats et mélanges.

Ils sont conçus avec le tuyau dans six dimensions différentes. Les produits transportés doivent avoir une densité maximale de 0,7.

Le moteur électrique tourne à  $N = 930 \text{ tr / min}$  (moteur à entraînement direct 6 pôles).

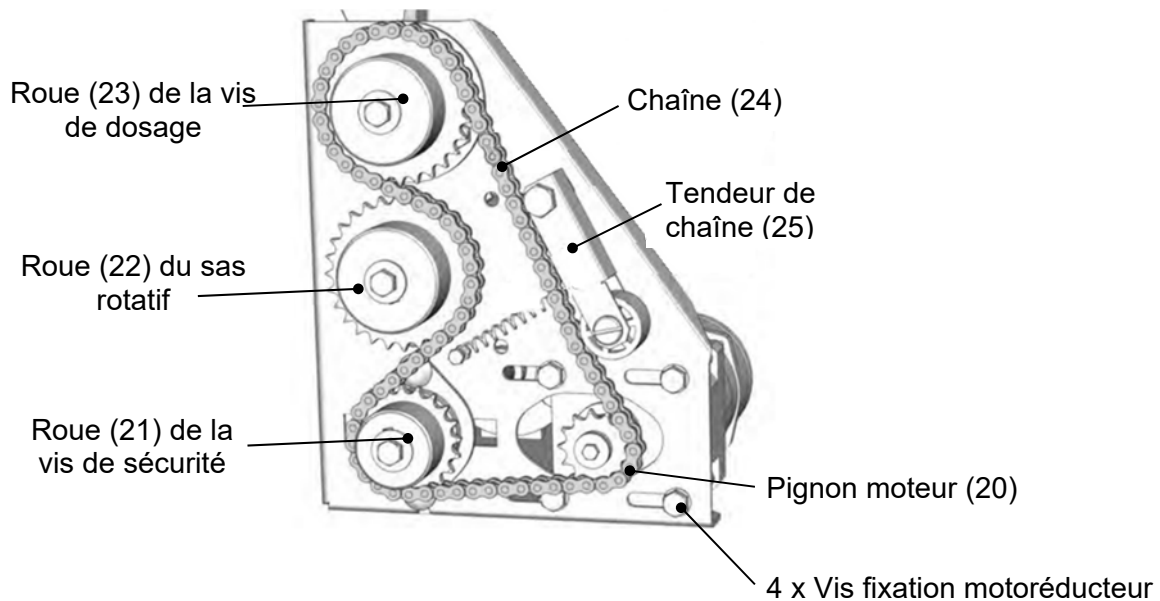
La capacité réelle est également liée à :

- 1) vitesse de rotation
- 2) Inclinaison du tube lors du transport
- 3) fluidité du matériau

Ils évitent la pollution car ils sont hermétiques et mécaniques, tout en assurant un fonctionnement silencieux.

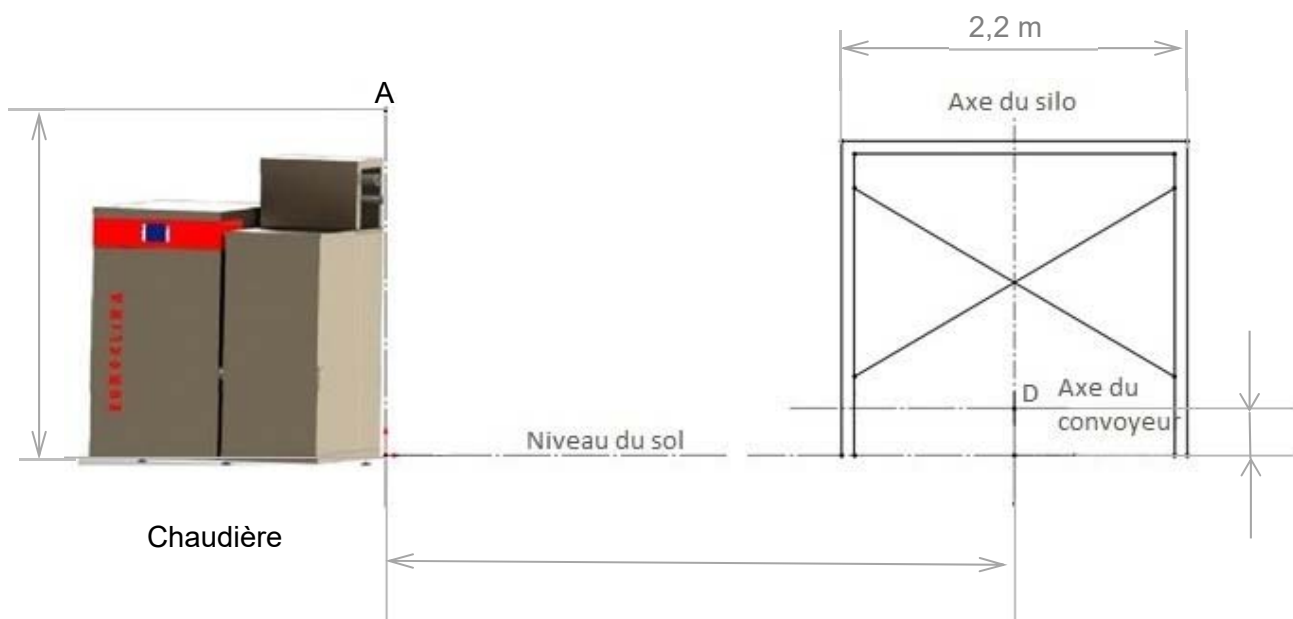
## DRS1 : Etude cinématique de l'écluse anti-retour de flamme

	Nombre de dents
Pignon (20)	$Z_{20} = 13$ dents
Roue (21)	$Z_{21} = 20$ dents
Roue (22)	$Z_{22} = 28$ dents
Roue (23)	$Z_{23} = 28$ dents



Justification du sens de rotation de la roue (23) :

## DRS2 : Détermination de la longueur du flexible d'alimentation



## **SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE**

### **Chaudière à granulés**



#### **Constitution du sujet :**

- **Dossier sujet et questionnaire** ..... pages 20 à 26
- **Dossier technique**..... pages 27 à 30
- **Documents réponses** ..... pages 31 à 36

**Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie B (choix 1) ou la partie C (choix 2). Les autres parties A et D et E sont à traiter obligatoirement.**

## Mise en situation

Afin de pouvoir gérer plus facilement la consommation de granulés et donc l'énergie consommée par l'habitation en chauffage, il est décidé de mettre en place un dispositif de mesure de la masse de granulés ainsi qu'un enregistrement de cette donnée sur une base de données hébergée localement.

Les données enregistrées permettront de comparer la consommation de cette habitation avec la consommation moyenne d'une habitation comparable et d'archiver plusieurs années de consommation.

On s'intéressera également à l'échange interne d'informations au sein de la chaudière.

## Travail demandé

### **PARTIE A : Peut-on obtenir 6 mesures de consommation différentes par jour pour un débit moyen de $0,7 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ ?**

---

Pour évaluer la consommation en granulés de la chaudière, le choix a été fait de mesurer la masse de granulés dans le silo de stockage. Pour cela, des capteurs de pesage à base de jauges de contrainte sont placés sous chaque pied du silo de stockage. Le DTS1 montre une vue de cette implantation. La masse totale de l'ensemble sera donnée en additionnant les indications des 4 capteurs.

Question A.1     **Expliquer** comment, à partir de la déformation d'un capteur de pesage équipé de jauges de contrainte, on obtient un signal électrique proportionnel à la charge appliquée.

DTS2

#### Hypothèses :

- Le silo de stockage peut contenir au maximum une masse  $m_{\text{granulés}} = 3\text{t}$  de granulés.
- La masse propre du silo et de sa structure est  $m_{\text{silo}} = 240 \text{ kg}$ . Cette masse se répartit équitablement sur les 4 pieds de la structure.
- Pour dimensionner la capacité nominale des capteurs de pesage, on considèrera le cas défavorable où la masse de granulés se répartit de manière identique uniquement sur deux pieds du silo (pied 1 et pied 2).

Question A.2     A l'aide des hypothèses ci-dessus, **donner** l'expression littérale permettant de calculer la charge équivalente  $C_{\text{capteur}}$  (en kg) à laquelle est soumise un capteur sous le pied 1 ou le pied 2 en fonction de  $m_{\text{granulés}}$  et  $m_{\text{silo}}$ .

**Réaliser** l'application numérique.

Question A.3     Les capacités nominales disponibles pour les capteurs de pesage sont : 300kg, 500kg, 1000kg ou 2000kg. **Justifier** l'utilisation de 4 capteurs de pesage de capacité nominale de 2000kg pour mesurer la masse de l'ensemble (granulés + silo et sa structure).



Question A.4 DRS1	<p>Le DRS1 présente la chaîne d'information de la mesure de la masse de granulés. <b>Compléter</b> les rectangles vides en utilisant les termes ci-dessous :</p> <p>"Information numérique" - "Tension analogique" - "poids de l'ensemble" - "Tension analogique amplifiée"</p>
Question A.5 DTS3	<p>La tension <math>V_{IN+} - V_{IN-}</math> délivrée par un capteur de pesage dépend de sa tension d'alimentation. Le DTS3 indique la caractéristique <math>V_{IN+} - V_{IN-}</math> en fonction de la masse mesurée et pour différentes tensions d'alimentation du capteur. <b>Indiquer</b> la tension <math>(V_{IN+} - V_{IN-})_{nominal}</math> délivrée par le capteur pour sa capacité nominale de 2000kg si la tension d'alimentation est <math>U_{alim} = 10V</math>. On donnera cette valeur en mV.</p>
Question A.6 DRS1	<p>Les Convertisseurs Analogiques Numériques (CAN) sont intégrés à une carte Arduino. Les entrées analogiques de l'Arduino acceptant des tensions comprises entre 0 et 5V, <b>justifier</b> l'utilisation d'un amplificateur en sortie de chaque capteur de pesage.</p> <p>La tension en sortie de chaque amplificateur est donnée par :  <math>U_0 = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times G</math>    <math>G</math> étant le gain de l'amplificateur.</p> <p><b>Calculer</b> le gain <math>G</math> des amplificateurs pour obtenir une tension de 5V sur une entrée analogique de l'Arduino pour la tension nominale <math>(V_{IN+} - V_{IN-})_{nominal}</math> délivrée par un capteur.</p>
Question A.7 DTS4	<p>A l'aide du document technique DTS4, <b>calculer</b> le quantum (résolution) du CAN. Le quantum est la tension minimale détectable par le CAN (correspondant à <math>N = 1</math>). On choisira une tension pleine échelle de 5V et on précise que <math>n = 10</math> bits pour une entrée analogique d'un Arduino Uno.</p>
Question A.8	<p>Quels que soient les résultats précédents, on considèrera que la valeur de masse de granulés est donnée par :</p> $m_{granulés} = 400 \times U_0 \quad (\text{avec } U_0 = \text{tension en sortie d'un amplificateur en V})$ <p>A partir du quantum déterminé précédemment, <b>calculer</b> la masse minimale <math>m_{mini}</math> détectée par le CAN pour un capteur puis pour 4 capteurs <math>m_{4mini}</math>.</p>

Si l'on prend également en compte l'erreur de mesure introduite par les capteurs de pesage (1,36kg), on peut estimer que  $m_{4mini} = 9,18 \text{ kg}$ .

Question A.9 | Si on considère un débit moyen de granulés de  $0,7 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ , **calculer** le temps mis pour consommer la masse  $m_{4mini}$  de granulés (en heures).

Question A.10 | **Conclure** sur la possibilité de respecter la problématique de la partie A avec cette chaîne d'information.

En étudiant les résultats précédents, pour obtenir une meilleure précision sur l'acquisition de la masse de granulés, **indiquer** quel est l'élément de cette chaîne d'information à modifier en priorité (entre les capteurs de pesage, les amplificateurs ou les CAN). **Justifier** votre réponse.

Choix 1 :

## PARTIE B : Comment vérifier la bonne réception de la valeur de la masse de granulés par le serveur ?

Les CAN sont intégrés à une carte Arduino, les tensions analogiques  $U_{01}$  à  $U_{04}$  en sortie des amplificateurs sont présentées aux entrées analogiques A1 à A4 de la carte Arduino (cf. DRS1).

La masse nette de granulés s'obtient à partir de l'addition des indications des 4 capteurs de pesage en n'oubliant pas de soustraire la masse propre du silo et de sa structure (tare).

Question B.1 | Bien lire l'algorithme donné sur le DRS2 qui permet de calculer la masse nette de granulés dans le silo (*masseGranulesFloat*). **Compléter** alors la ligne 17 de cet algorithme en utilisant les noms de variables données dans celui-ci.

Question B.2 | **Donner** la valeur de *masseGranulesInt* calculée par l'algorithme précédent si les valeurs numériques présentes en sorties des CAN sont :

$N_1 = 307$        $N_2 = 276$        $N_3 = 317$        $N_4 = 245$

On donne sur le DTS5 un schéma du réseau local de l'habitation :

Un shield Ethernet est associé à la carte Arduino lui permettant de communiquer sur le réseau. Un serveur web et une base de données sont hébergés sur un Raspberry Pi. Le shield Ethernet de l'Arduino se comporte en client du serveur web et lui communique toutes les quatre heures la valeur *masseGranulesInt*, valeur qui sera stockée dans la base de données avec son horodatage. Pour communiquer la masse de granulés, le shield Ethernet de l'Arduino effectue une requête HTTP avec passage de paramètre grâce à la méthode GET. Le paramètre se nomme ici *masse*.

Question B.3 | Sur le DTS7, la requête HTTP avec la méthode GET a été capturée (trame n°310). La partie basse de la capture donne cette trame en hexadécimal et en ASCII. Le code ASCII de la valeur du paramètre *masse* a été masquée par 4 points d'interrogations correspondants aux 4 codes hexadécimaux encadrés. A l'aide de la table ASCII donnée en DTS8, **déterminer** les 4 caractères du paramètre *masse* et donc la valeur transmise.

DTS5

DTS7

DTS8

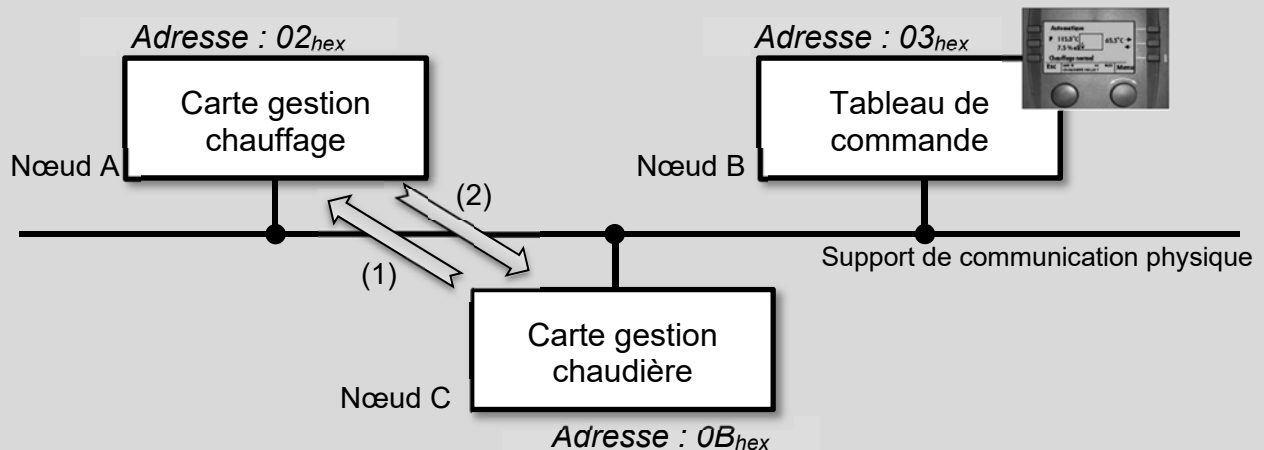
Question B.4 | La trame n°312 sur le DTS7 correspond à la réponse à cette requête. **Conclure** sur la bonne transmission de la masse de granulés vers le serveur.

DTS7

Choix 2 :

## PARTIE C : Comment gérer la transmission d'information au sein de la chaudière ?

Pour la chaudière, la température eau départ chauffage  $\theta_{edc}$  est calculée par une carte électronique appelée « carte gestion chauffage ». Le réseau interne de communication numérique entre les différentes cartes électroniques de la chaudière utilise le protocole eBUS (energy BUS). L'architecture de ce réseau est la suivante :



À intervalles de temps réguliers, la carte gestion chaudière interroge la carte gestion chauffage grâce à une trame de requête (1), celle-ci lui répond par une trame de réponse (2) en lui fournissant les informations manquantes : température eau départ chauffage  $\theta_{edc}$  et température extérieure  $\theta_{ext} = 7^{\circ}\text{C}$ .

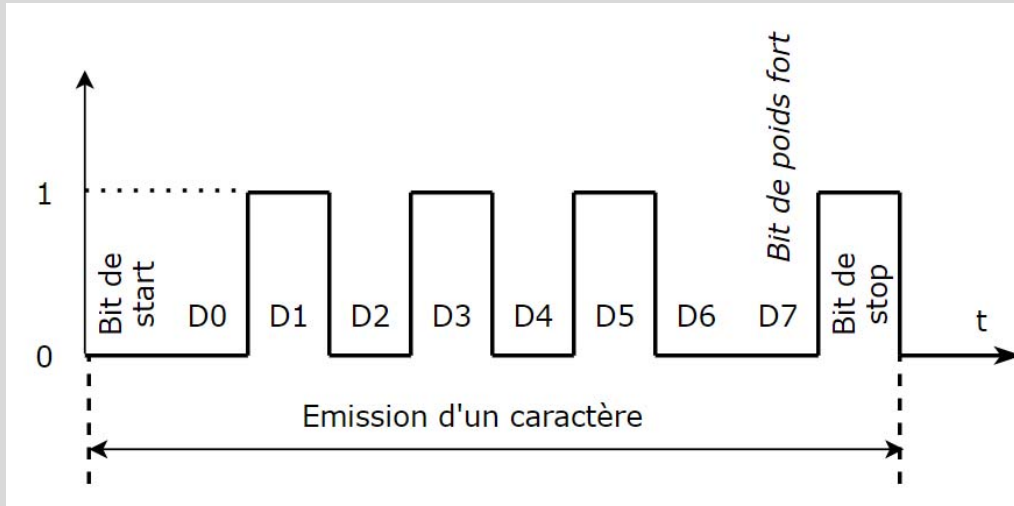
Question C1 | **Compléter**, sur le document réponse DRS3, les trames de requête (1) et de réponse (2) qu'échangeront les deux cartes électroniques.

DRS3

La valeur de la consigne de température eau départ chauffage  $\theta_{edc}$  sera complétée lors de la question C2.

Chaque octet de données d'une trame est en fait émis de la manière suivante :

- 1 bit de start (bit à 0)
- Les 8 bits de l'octet à transmettre (bit de poids faible transmis en premier)
- 1 bit de stop (bit à 1)



Question C.2

DRS3

Le chronogramme ci-dessus est un enregistrement de l'émission de la valeur de la température eau de départ chauffage ( $\theta_{edc}$ ).

**Donner** la valeur binaire de cette température. **Convertir** cette valeur en hexadécimal et en décimal puis **compléter** alors le DRS3.

La vitesse de transmission de cette communication est de 2400 bits/s.

La trame de *fin de transmission* (3) sur le DRS3 comporte 11 octets.

Question C3

DRS3

En examinant le chronogramme ci-dessus, **indiquer** le nombre de bits nécessaires à l'émission d'un caractère (dont la longueur utile est de un octet).

**En déduire** le nombre de bits nécessaires à l'émission des 3 trames (1 : *Demande d'informations*, 2 : *Envoi d'informations* et 3 : *Fin de transmission* du DRS3).

**Calculer** la durée totale de la communication depuis l'émission de la requête (1) jusqu'à la fin de l'émission de la trame de fin de transmission (3).

Question C4

En examinant le nombre de paramètres transmis par la trame de réponse et au regard de la question précédente, **conclure** sur le choix de cette technologie de transmission pour gérer les échanges d'informations au sein de la chaudière.

## PARTIE D : Comment suivre la consommation énergétique du chauffage de l'habitation ?

---

On donne sur le DTS5 un schéma du réseau local de l'habitation :

Un shield Ethernet est associé à la carte Arduino lui permettant de communiquer sur le réseau. Un serveur web et une base de données sont hébergés sur un Raspberry Pi. Le shield Ethernet de l'Arduino communique toutes les quatre heures au Raspberry Pi la masse de granulés restante dans le silo, valeur qui sera stockée dans la base de données avec son horodatage.

Un appareil du réseau domestique effectue une requête sur le serveur pour connaître la masse de granulés présente dans le silo.

Question D.1 | **Compléter** le diagramme de séquence donné dans le DRS4 en y plaçant le numéro de chacune des 4 actions proposées au-dessus des 4 flèches.  
DRS4

On donne ci-dessous le début d'une capture de la requête d'un appareil du réseau local vers le serveur afin de connaître la masse de granulés restants. Cette trame est codée en hexadécimal. Le préambule + SFD n'est pas enregistré dans cette trame.

0000	b8	27	eb	55	0f	a5	78	24	af	82	eb	9a	08	00	45	00
0010	02	0e	e5	ab	40	00	80	06	91	b7	c0	a8	00	1f	c0	a8
0020	00	17	c8	2e	00	50	b2	0d	12	b5	e2	b0	12	f2	50	18
0030	20	14	65	e1	00	00	47	45	54	20	2f	20	48	54	54	50
0040	2f	31	2e	31	0d	0a	48	...								

Question D.2 | **Déterminer** l'adresse IP (en hexadécimal puis en notation décimale pointée) et l'adresse MAC de l'appareil ayant exécuté la requête en vue de connaître la masse de granulés restant. **Donner** son nom.  
DTS5  
DTS6

En se connectant sur le serveur, on peut consulter la masse de granulés restante (G) ainsi que la consommation des 12 mois précédant le mois en cours. L'affichage permet de comparer les consommations mensuelles avec des valeurs moyennes de référence. La couleur d'affichage de ces consommations permet de vérifier si l'on dépasse les valeurs de référence.

Question D.3 | Le DRS5 présente l'algorithme qui permet de gérer les données de consommation et leur affichage. **Compléter** les 2 cadres contenant des pointillés sur le DRS5.  
DRS5

Question D.4 | A l'aide des éléments donnés sur le DRS5, **compléter** le tableau du DRS6.  
DRS6

## PARTIE E : Conclusion

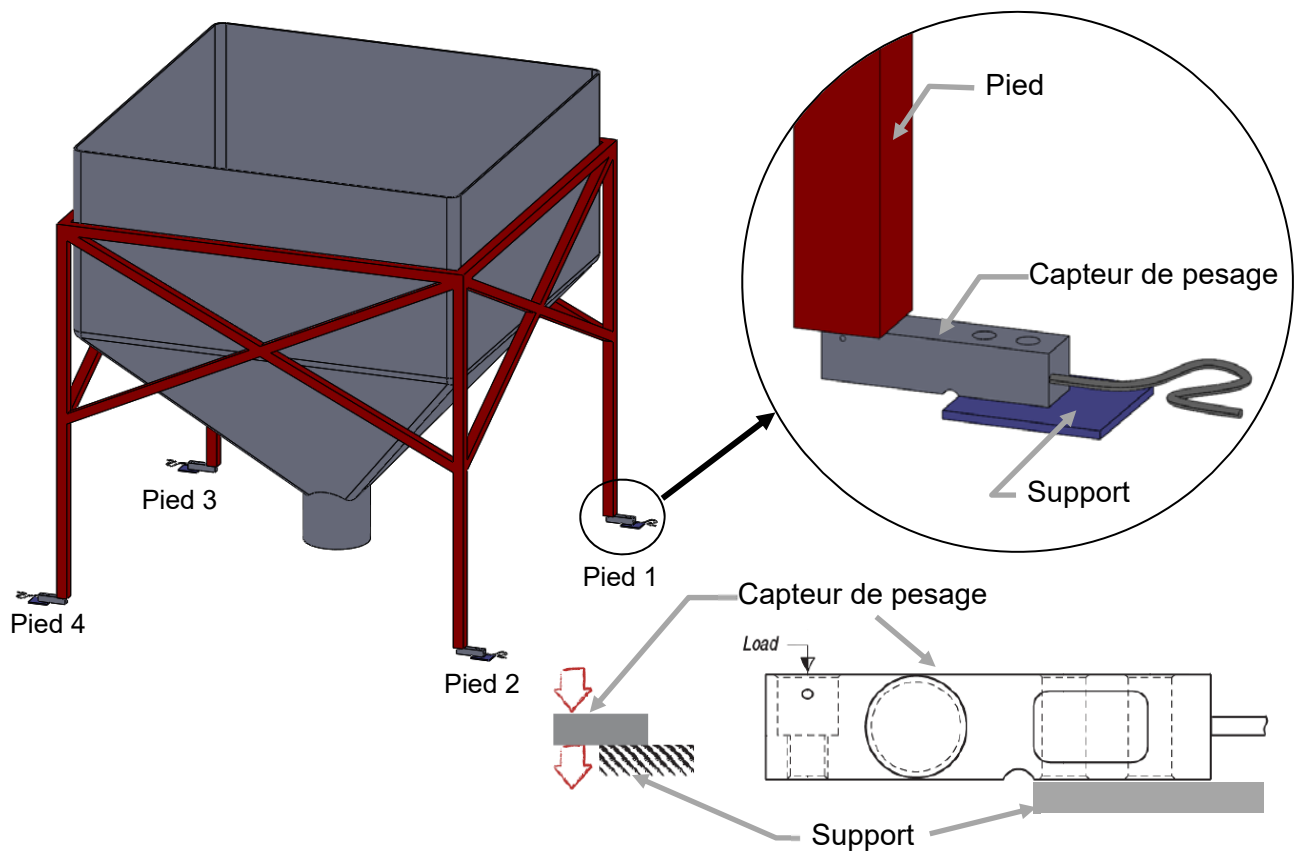
---

La base de données stocke à chaque relevé :

- Un index sur 4 octets
- La masse de granulés sur 2 octets
- L'heure et la date sur 20 octets

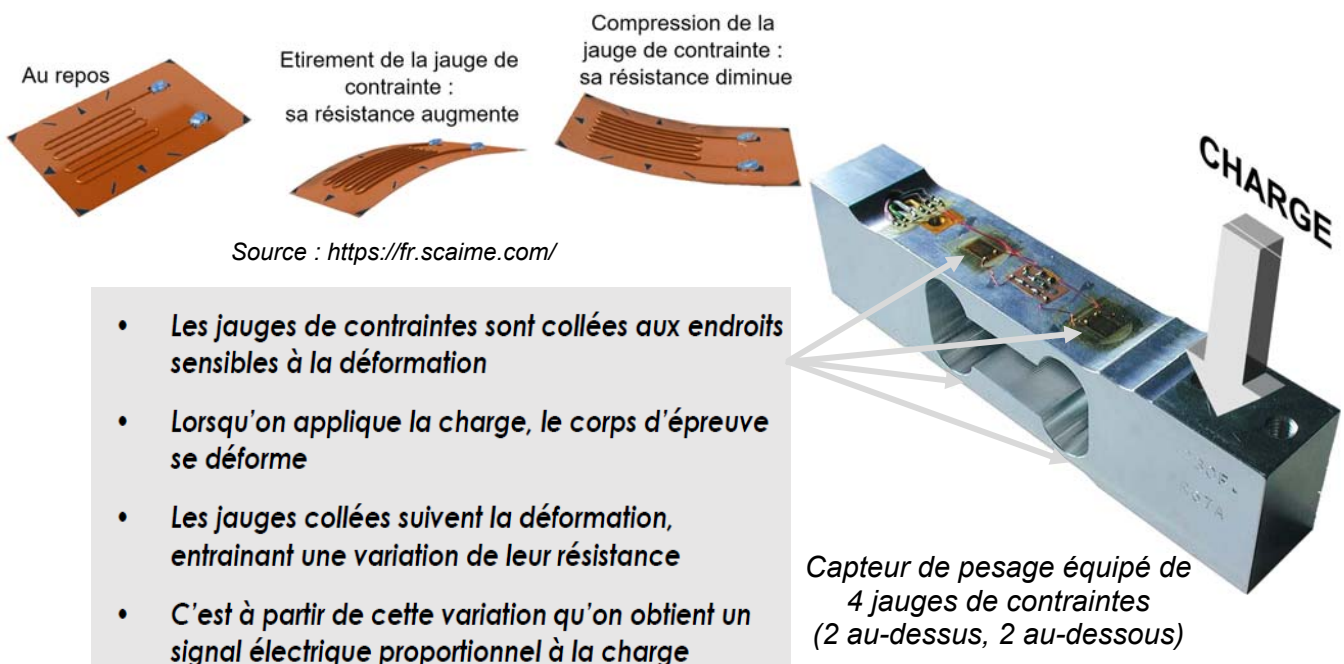
Question E.1	Sachant que l'on stocke dans la base de données un relevé toutes les 4 heures, <b>calculer</b> la taille minimale (en octets puis en ko) de la mémoire nécessaire si l'on veut archiver 10 ans de consommation. On considèrera que l'installation fonctionne 245 jours par an.
Question E.2	A l'aide de études réalisées dans les parties A, D et E, <b>conclure</b> sur la viabilité de la solution retenue pour suivre la consommation de granulés.

## DTS1 : Implantation des capteurs de pesage sous les pieds du silo

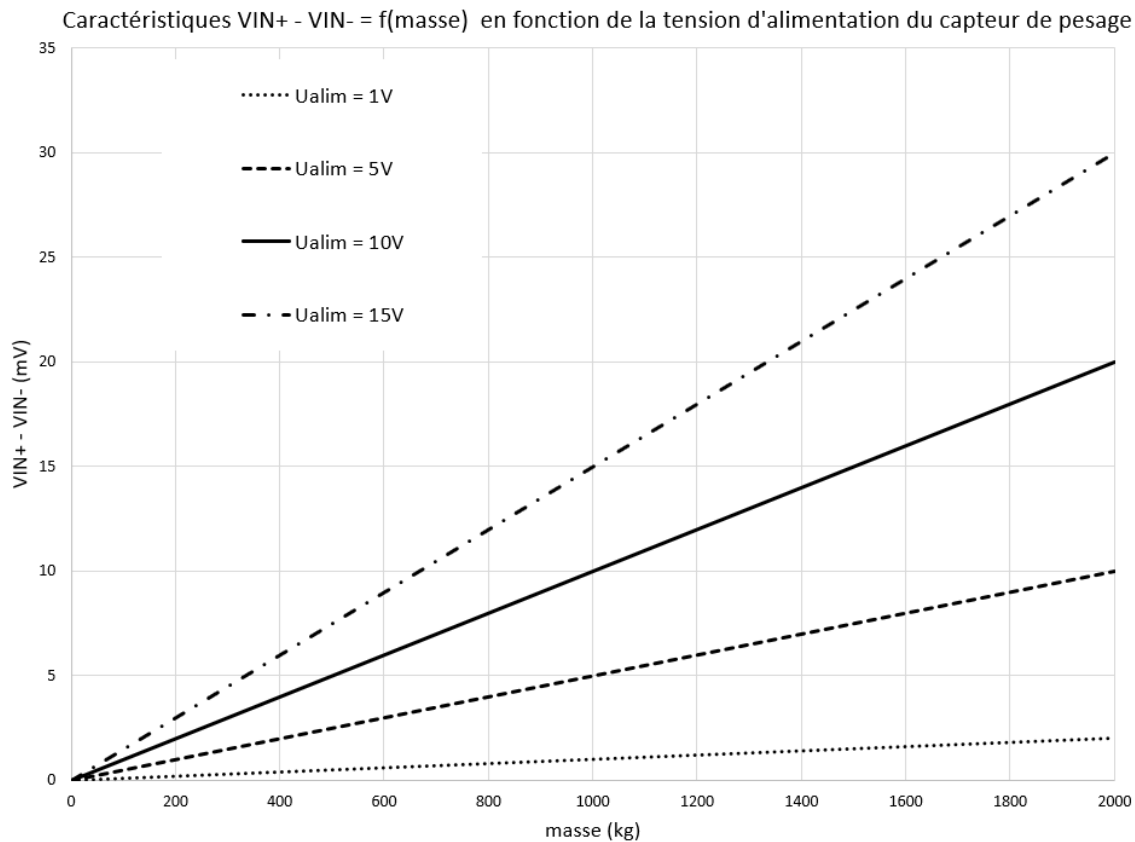


## DTS2 : Fonctionnement d'un capteur de pesage à jauges de contrainte

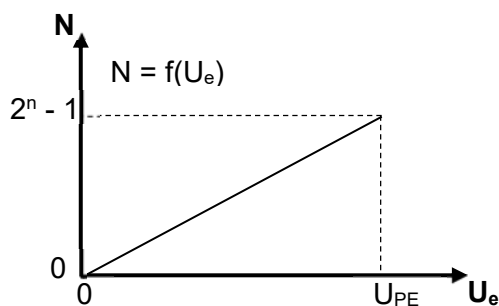
Un capteur de pesage est un barreau métallique qui a été usiné de sorte que certaines zones soient fortement soumises à la contrainte lorsqu'une force s'applique sur celles-ci. Des jauges de contrainte sont collées dans ces zones. Les jauges de contrainte les plus courantes sont constituées d'un fil très fin qui va se déformer de la même manière que la zone où elles sont collées.



### DTS3 : $V_{IN+} - V_{IN-}$ du capteur de pesage en fonction de la masse et de sa tension d'alimentation



### DTS4 : Valeur numérique N en fonction de la tension d'entrée d'un CAN



$U_{PE}$  : Tension pleine échelle, tension d'entrée maximale du convertisseur

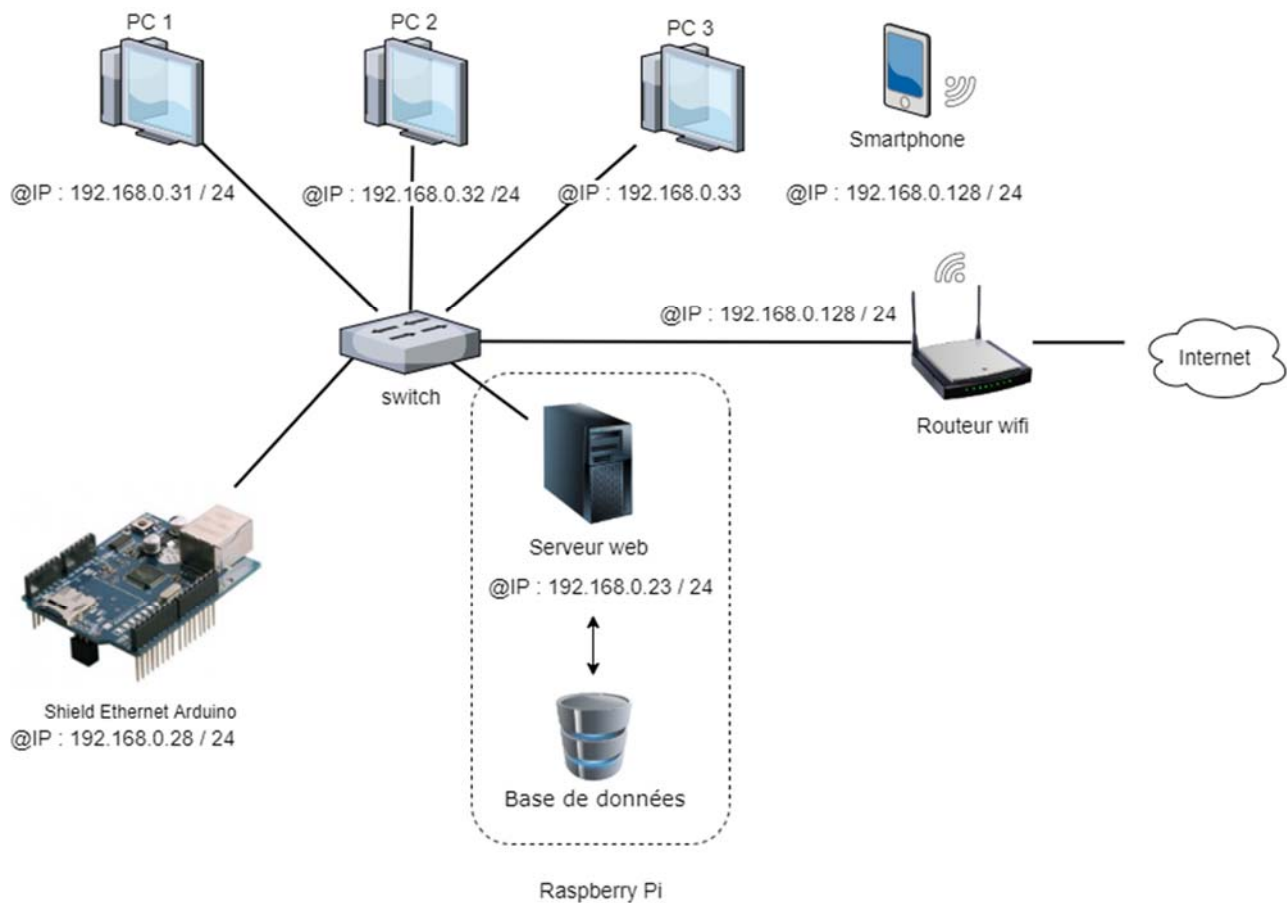
$U_e$  : Tension d'entrée du CAN

$N$  : Valeur numérique, image de  $U_e$

$n$  : nombre de bits du CAN



## DTS5 : Schéma du réseau domestique



## DTS6 : Trame Ethernet

Non enregistré dans la capture de trame

En octets																												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	10	11	12	13	14	15	16	....	5e9	5ea	5eb	5ec	5ed
Préambule + SFD								Adresse MAC destination						Adresse MAC source						Type de données	Données encapsulées				FCS / CRC			

En bits																															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Version 4 bits				Longueur d'en tête 4 bits				Type de service 8 bits								Longueur totale 16 bits															
Identification 16 bits																Drapeau 3 bits		Décalage fragment 13 bits													
Durée de vie 8 bits								Protocole 8 bits								Somme de contrôle en tête 16 bits															
Adresse IP source 32bits																															
Adresse IP destination 32bits																															
Options éventuelles																								Bourage							
Données																															

## DTS7 : Communication de la masse de granulés entre l'Arduino et le serveur

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
310	5.374803916	192.168.0.28	192.168.0.23	HTTP	60	GET /enregistrement.php/?masse= HTTP/1.1
312	5.398516001	192.168.0.23	192.168.0.28	HTTP	222	HTTP/1.1 200 OK

0000	47 45 54 20 2f 65 6e 72	65 67 69 73 74 72 65 6d	GET /enr egistrem
0010	65 6e 74 2e 70 68 70 2f	3f 6d 61 73 73 65 3d 31	ent .php/ ?masse=?
0020	39 39 38 20 48 54 54 50	2f 31 2e 31 0d 0a 48 6f	HTTP /1.1 ·Ho
0030	73 74 3a 31 39 32 2e 31	36 38 2e 30 2e 32 33 0d	st:192.1 68.0.23·
0040	0a 43 6f 6e 6e 65 63 74	69 6f 6e 3a 20 63 6c 6f	·Connect ion: clo
0050	73 65 0d 0a 0d 0a		se····

Trame codée en hexadécimal

Trame codée en ASCII

## DTS8 : Table ASCII

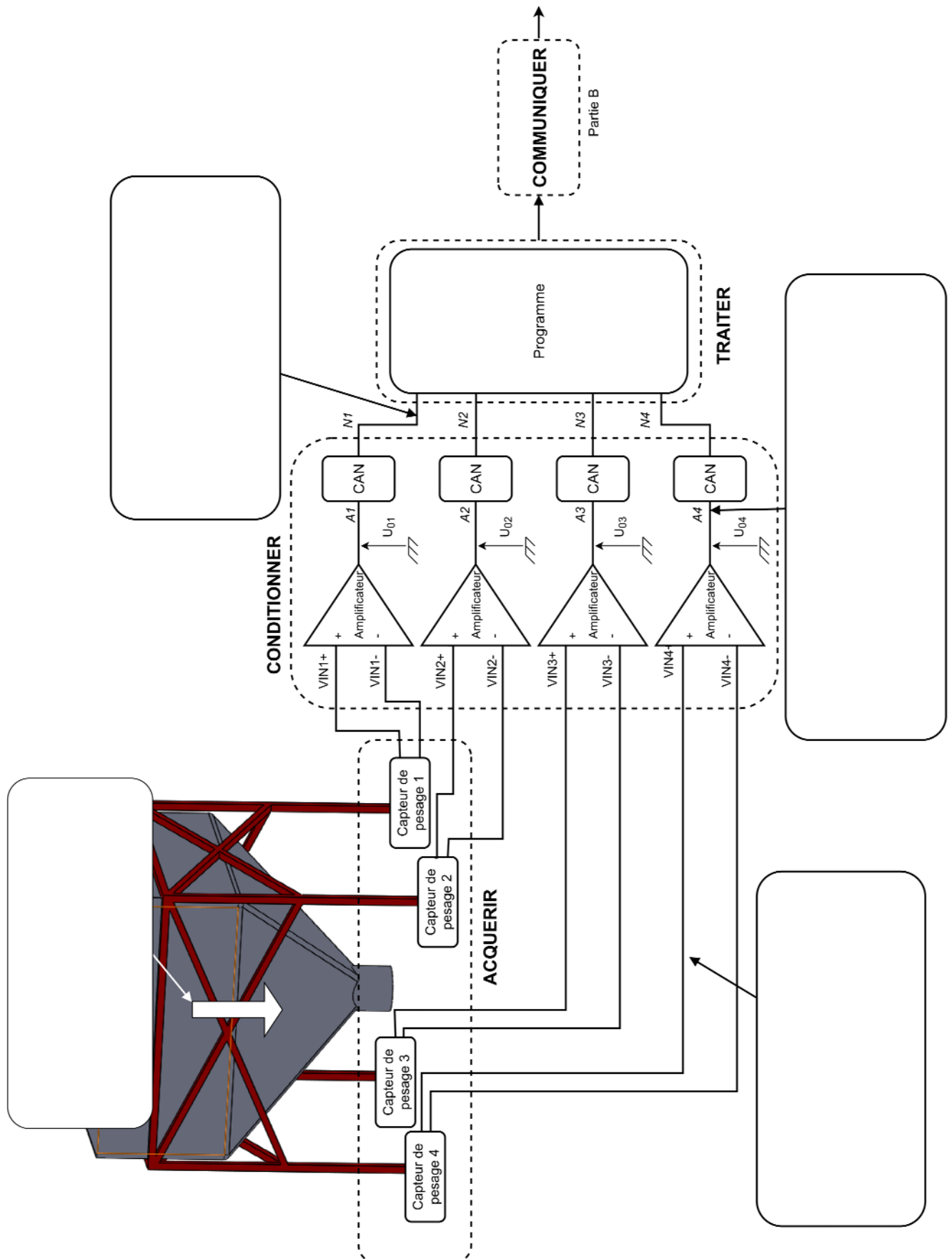
# ASCII TABLE

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[ENG OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

Exemple d'utilisation : le code décimal 65 ou hexadécimal 41 correspond au caractère A

## DRS1 : Chaîne d'information " pesage granulés"

Question A.4



## DRS2 : Calcul de la masse de granulés

### Question B.1

#### Variables

```
01 | brocheCapteur : type liste // liste des entrées analogiques utilisées
02 | NversM : type flottant      // permet la conversion d'une valeur numérique en masse (en kg)
03 | tare : type flottant        // masse propre du silo et de sa structure (en kg)
04 | masseGranulesFloat : type flottant // masse nette de granulés (en kg)
05 | masseGranulesInt : type entier // partie entière de la masse nette de granulés (en kg)
06 | somme : type entier
07 | i : type entier
```

#### Début algorithme

```
08 | NversM ← 1,955
09 | tare ← 240,0
10 | somme ← 0
11 | brocheCapteur ← [A1, A2, A3, A4]
12 |
13 | Pour i allant de 0 à 3 par pas de 1 // addition de l'information des 4 capteurs
14 | | somme ← somme + lectureEntreeAnalogique(brocheCapteur[i])
15 | Fin de Pour
16 |
17 | masseGranulesFloat ← -----
18 | masseGranulesInt ← INT(masseGranulesFloat) //On conserve seulement la partie entière
```

#### Fin algorithme

#### Remarques :

Pour une variable de type liste, on accède à chaque élément de la liste par son indice (qui débute à 0).

Par exemple, si *liste* = [10, 21, 54], *liste*[0] = 10 et *liste*[2] = 54

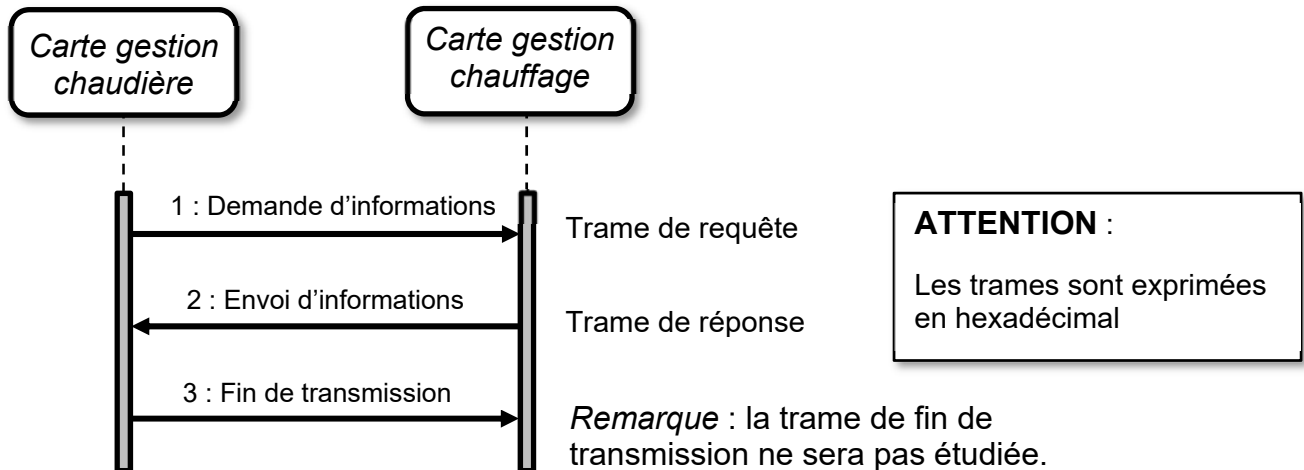
*lectureEntreeAnalogique*(*broche*) est une fonction qui permet d'obtenir la valeur numérique image de la tension présente sur l'entrée analogique *broche*.

Le facteur *NversM* permet la conversion d'une variable numérique en une grandeur en kg (par exemple, si N=1, la masse sera de 1,955 kg)

## DRS3 :

### Protocole de communication eBUS

L'eBUS (energy BUS) est un bus de communication de données série bidirectionnel. L'échange d'informations entre les différents nœuds respecte le protocole suivant :



#### protocole trame de requête (1)

Adresse source	Adresse destination	Contrôle chaudière	Requête	Nbre d'octets données	Etat requête	Contrôle CRC	ACQ	Relâchement du bus
1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet
...	...	<b>05</b>	<b>00</b>	<b>01</b>	<b>AA</b>	<b>77</b>	<b>00</b>	<b>AA</b>

#### protocole trame de réponse (2)

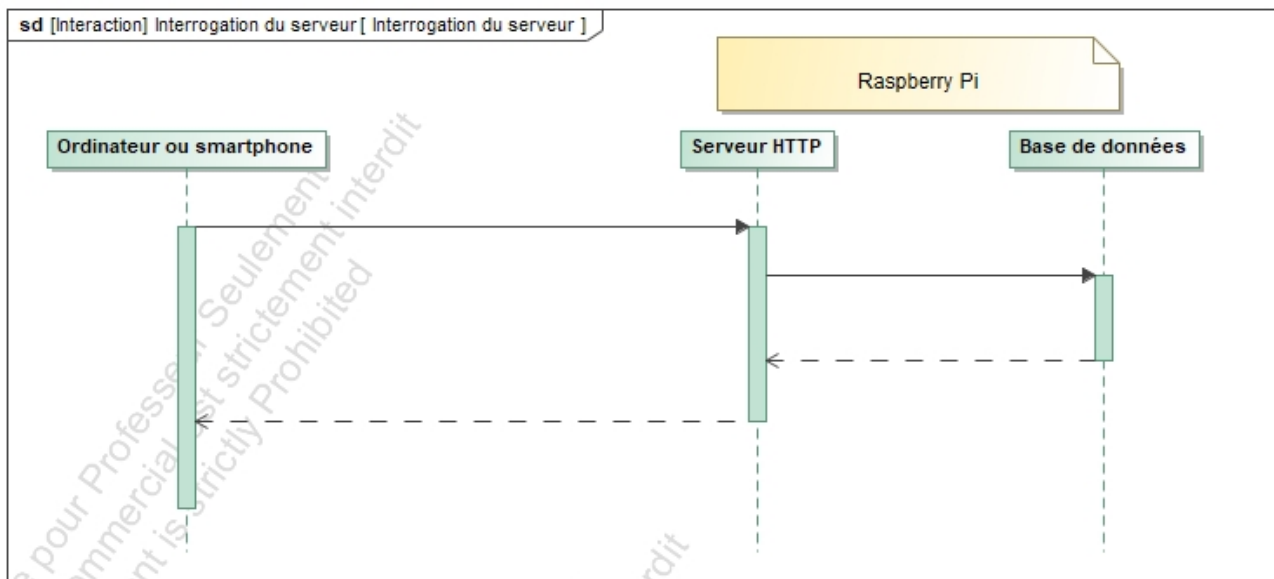
Adresse source	Adresse destination	Contrôle chaudière	Contrôle données	Nbre d'octets données	Statut chauffage	Consigne temp. eau départ chauffage	Consigne temp.ECS (57°C)	Suite de la trame ci-dessous
1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	
...	...	<b>05</b>	<b>01</b>	<b>05</b>	<b>AA</b>	...	<b>39</b>	

Question C2

Suite de la trame de réponse	Temp. extérieure	Performance chaudière (%)	Contrôle CRC	ACQ	Relâchement du bus
	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet
	...	<b>64</b>	<b>A2</b>	<b>00</b>	<b>AA</b>

## DRS4 : diagramme de séquence

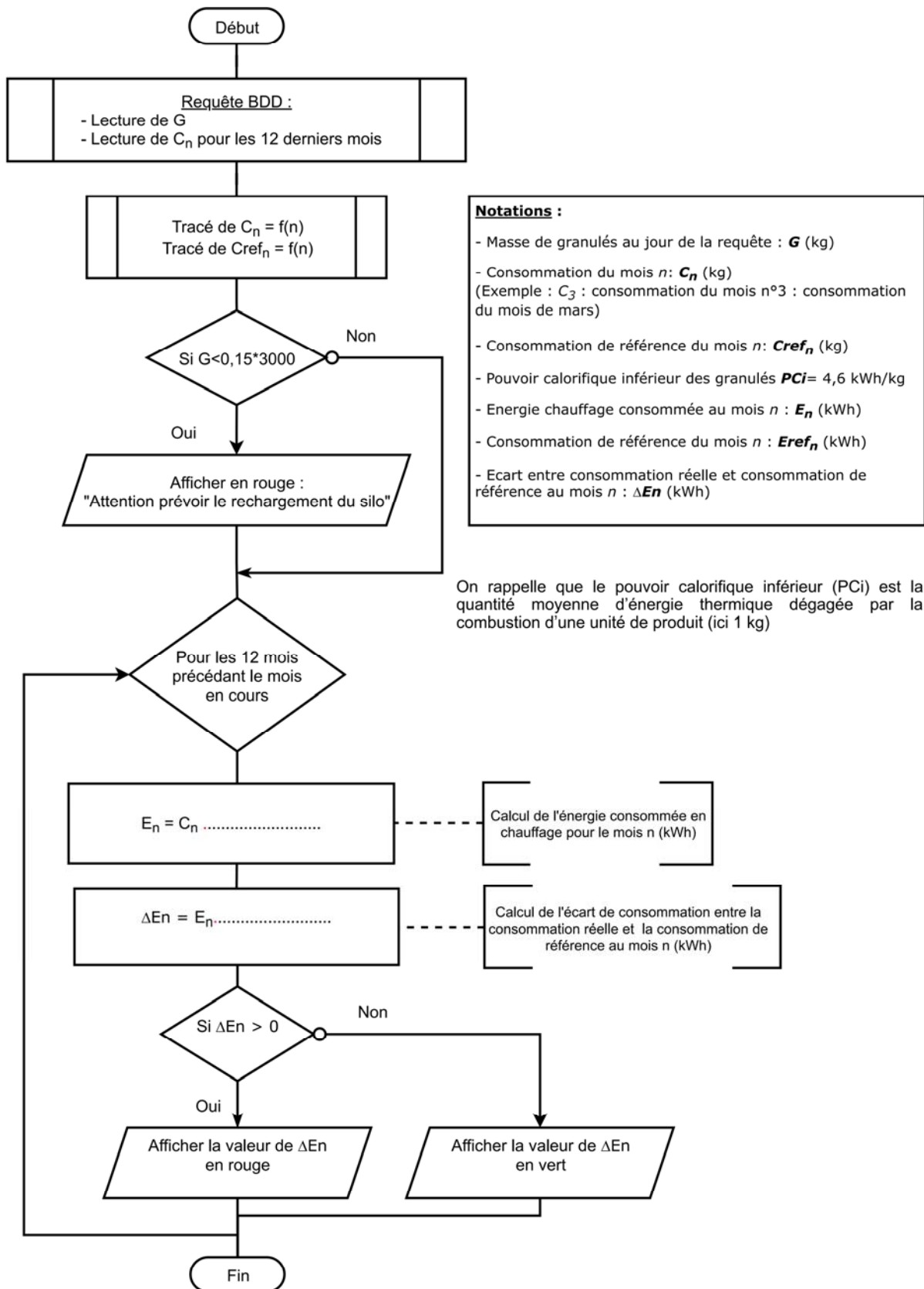
Question D.1



- 1- Réponse de la Base de Données
- 2- Requête http (demande de masse de granulés restante)
- 3- Interrogation de la Base de Données
- 4- Envoi de la page HTML au client

## DRS5 : Etude de la consommation

### Question D.3



## DRS6 : Etude de la consommation

---

### Question D.4

Mois	Mai	Décembre	Mars
<b>G</b> (kg)	430	2707	904
Affichage " <i>Attention prévoir le rechargement du silo</i> " (O/N)			
<b>E<sub>n</sub></b> (kWh)	197	2487	863
<b>Eref<sub>n</sub></b> (kWh)	658	1897	1068
<b><math>\Delta E_n</math></b> (kWh)			
Couleur d'affichage de <b><math>\Delta E_n</math></b>			