

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Durée de l'épreuve :**4 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 35 pages numérotées de 1/35 à 35/35.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

**Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.**

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (12 points)

Chaudière à granulés



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

Mise en situation

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

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

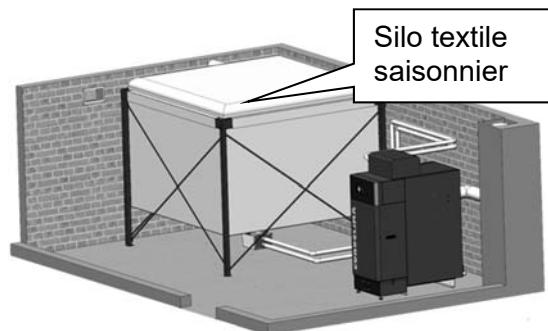
Les chaudières à granulés sont de plus en plus nombreuses dans les foyers français.

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



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

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

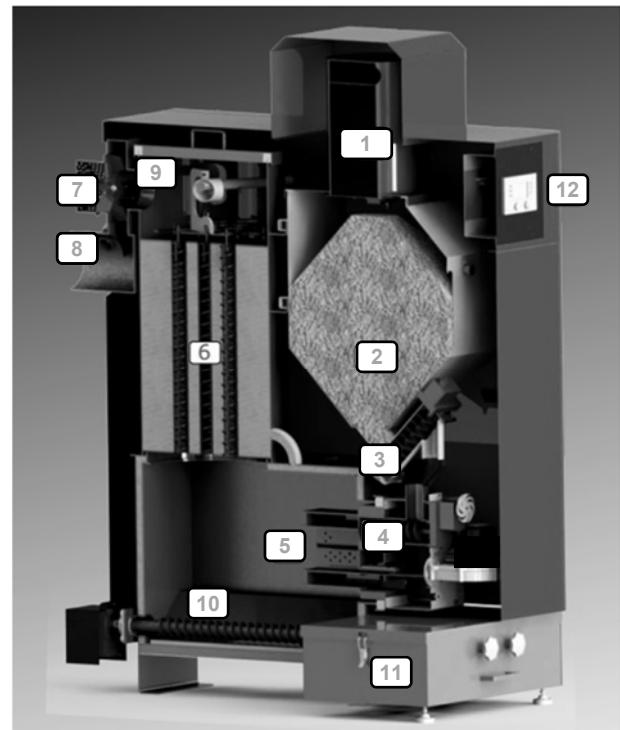


Le volume de ce silo textile saisonnier doit être adapté à la consommation annuelle afin d'éviter les rechargements en cours de saison de chauffe.

Le silo textile existe en différentes tailles. Il est rempli par camion souffleur. Sa structure évite la propagation de poussières. Lors du remplissage, le textile permet d'évacuer l'air, mais piége 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

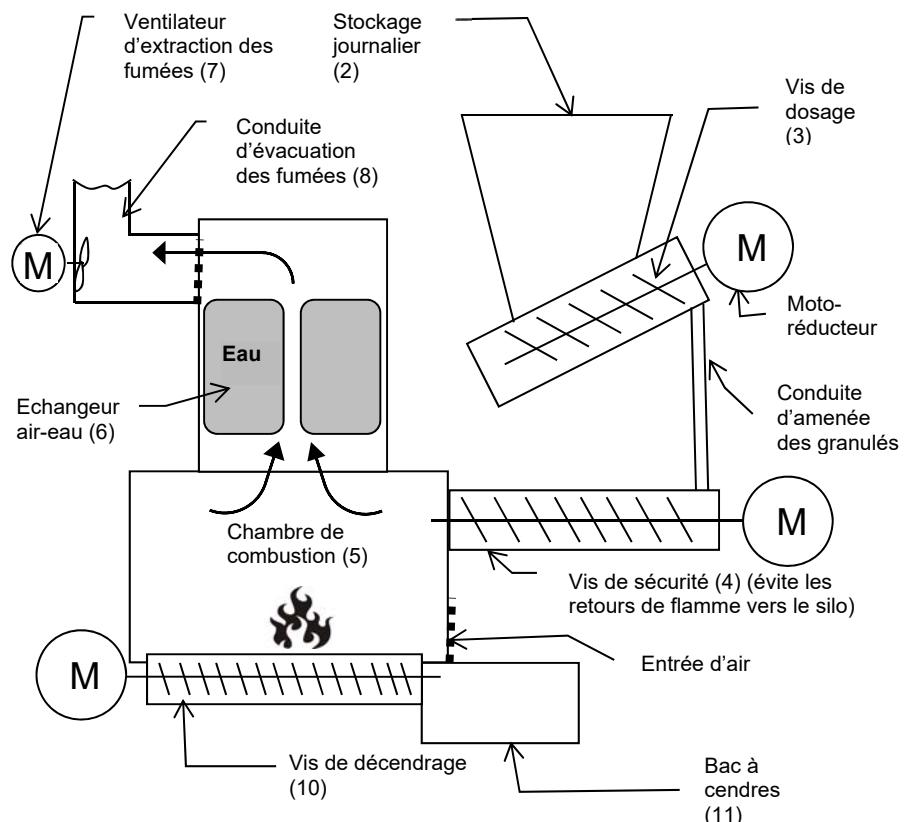


Description du fonctionnement

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 $kg.\text{équivalent CO}_2 / MW\cdot h \text{ utile}$.
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 $kg.\text{équivalent CO}_2 / MW\cdot h \text{ utile}$.
DT1

	Gaz	Électricité	Fioul	Bois (en moyenne)
Part des émissions de gaz à effet de serre en $kg.\text{équivalent CO}_2 / MW\cdot h$	$0,286 \times 222 = 63,5$			<i>Tableau à recopier sur la copie</i>

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)	Calculer le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois par les ménages et le comparer avec celui du trafic routier.
Question 2.3 DT1 (feuillet 2/2)	Calculer le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois de chauffage pour les ménages équipés de cheminées à foyer ouvert.
Question 2.4 DT1 (feuillet 2/2)	Évaluer les conséquences du remplacement des appareils à foyer ouvert par un chauffage aux granulés sur le pourcentage des émissions totales de PM10. Conclure sur l'intérêt d'un chauffage bois aux granulés.

Partie 3 : comment évaluer la consommation annuelle en granulés ?

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

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

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

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

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

Question 3.3 DT3	Relever la valeur du rendement à charge partielle de la nouvelle chaudière à granulés. Calculer la masse de granulés à stocker (en kg) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe afin de produire la même quantité d'énergie thermique E_T .
---------------------	---

Question 3.4 DT4, DT5	Calculer le volume de granulés à stocker (en m^3) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe. Justifier le choix du silo proposé sur le document DT5.
--------------------------	--

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

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

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

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

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

Partie 4 : comment optimiser le fonctionnement de la chaudière ?

Afin de devenir une solution s'inscrivant dans une démarche de développement durable et respectueuse de la santé, le fonctionnement de la chaudière à granulés doit être optimisé. Afin d'obtenir le rendement maximum, il convient notamment de veiller à ce que la combustion des granulés soit complète. Ceci permettra d'une part de réduire la consommation de combustible, d'autre part de diminuer les rejets : émissions polluantes (CO₂, NOx, ...) et cendres.

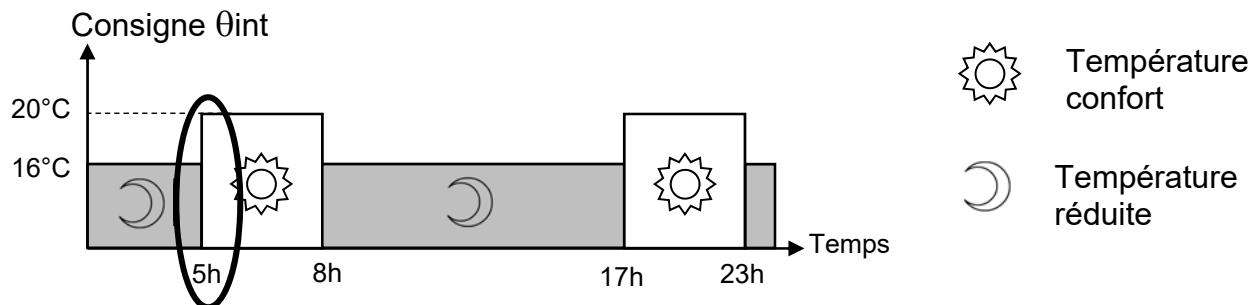
L'objectif de cette partie est de répondre à la problématique : comment déterminer, pour un point de fonctionnement donné, l'ajustement optimal du mélange air / combustible solide afin que la combustion soit complète ?

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

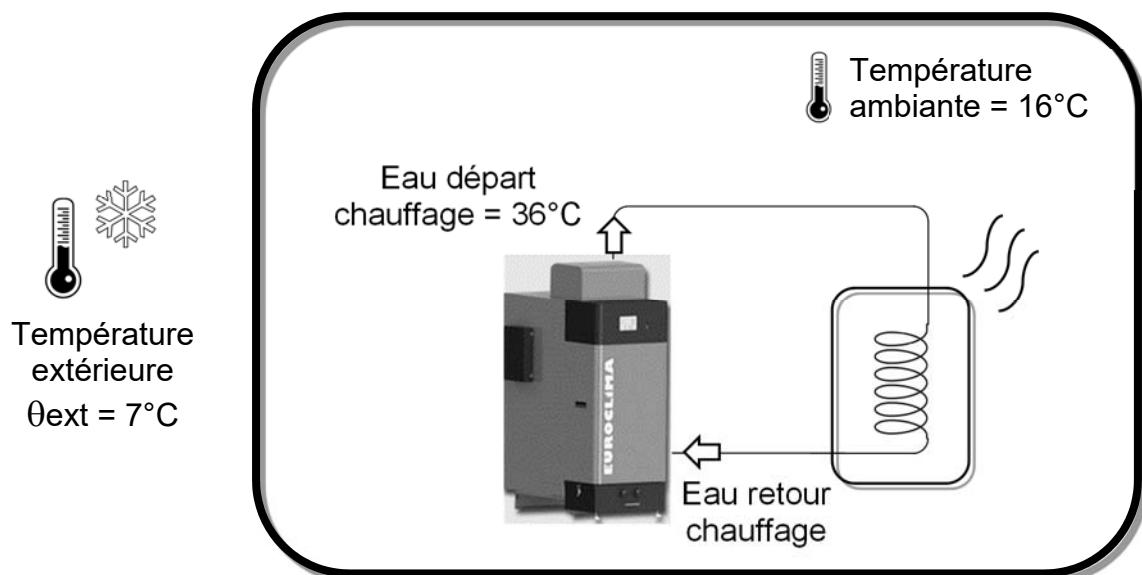
- flux d'information : concernant la **température** en **bleu** ;
- flux de matière : concernant les **granulés** en **vert** ;
- flux d'énergie : en **rouge**.

Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

Le graphe de programmation horaire définit les consignes de température intérieure (Consigne θ_{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 θ_{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 éléver 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 θ_i [$^\circ C$] à la température finale θ_f [$^\circ C$] par : $Q = m \cdot C \cdot (\theta_f - \theta_i)$.

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

Question 4.3

DT3

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

Question 4.4	Calculer la puissance de chauffe nécessaire P_c (en W) pour une montée en température de la chaudière jusqu'à θ_{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 DT4	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.
---------------------	---

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

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

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

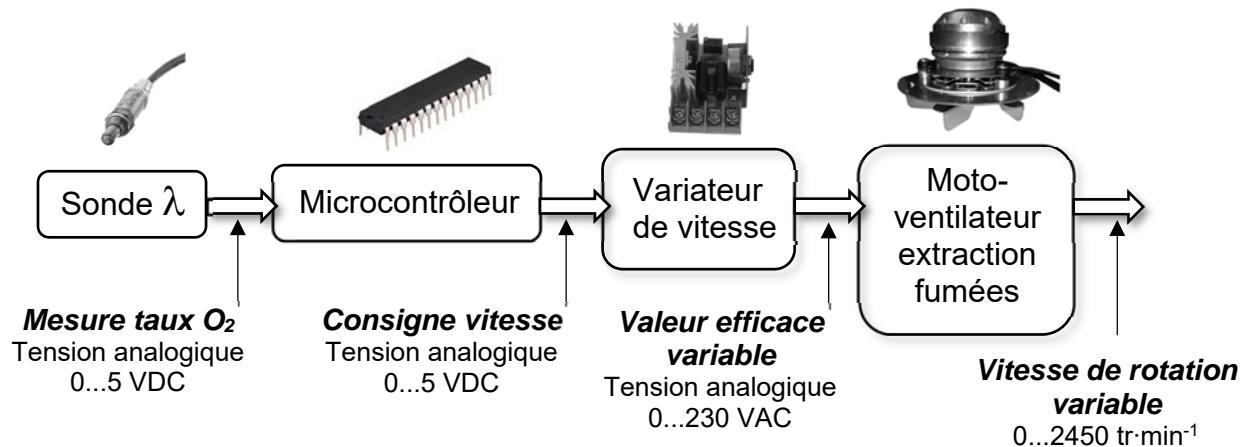
Détermination du volume optimal d'air par cycle

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 (λ) contrôle le pourcentage d'oxygène imbrûlé dans les fumées.

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

Question 4.9 DT3	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.
---------------------	---

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



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

Question 4.10 | **Relever** les valeurs limites λ_{\min} et λ_{\max} pour rester dans la zone idéale.

DT9

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

DR2

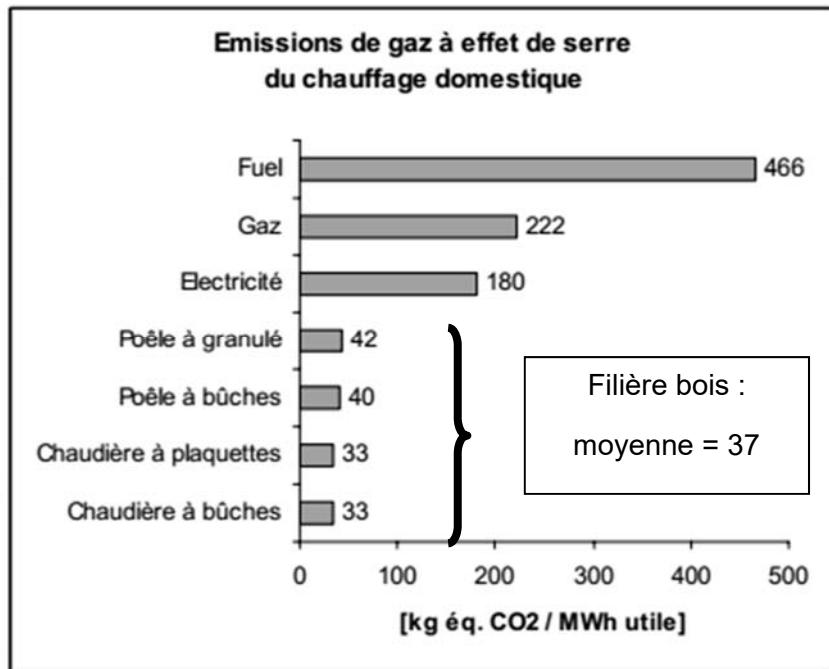
DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (feuillet 1/2)

Gaz à effet de serre

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

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

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



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

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

Émissions des particules fines PM10

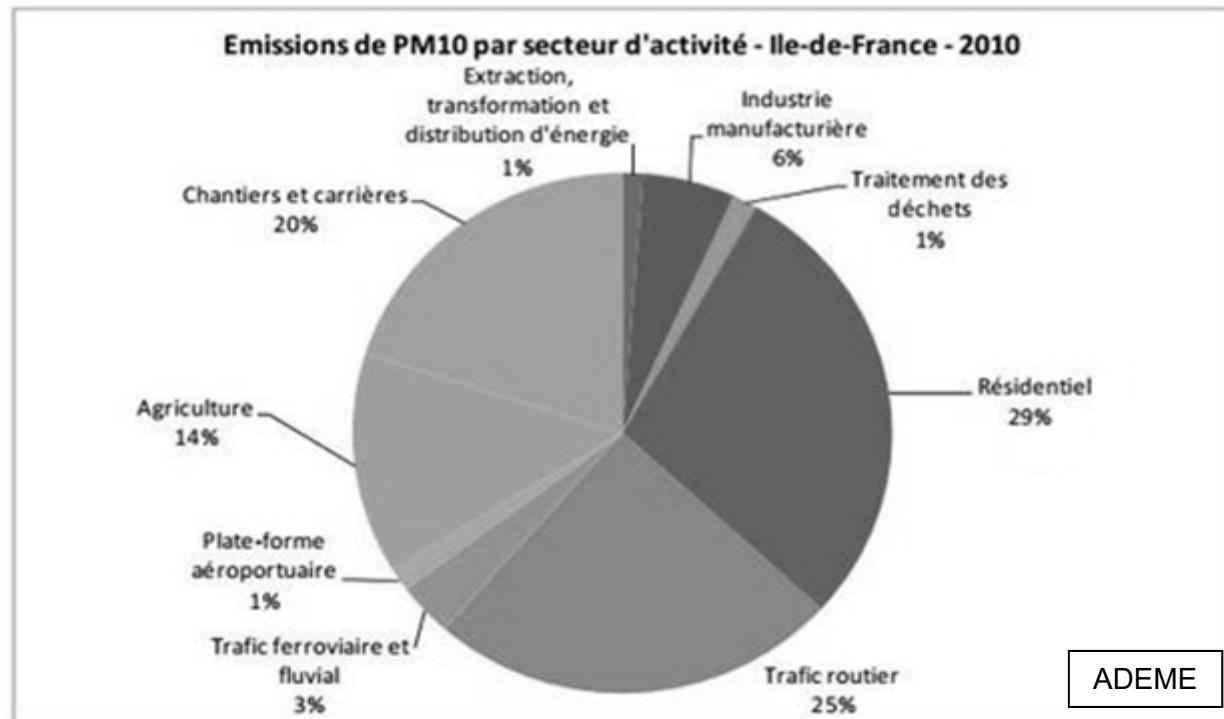
La combustion du bois provoque l'émanation dans l'air de particules polluantes, comme pour les véhicules diesel.

Le danger vient de leur finesse : plus elles sont fines, plus elles pénètrent dans le système respiratoire.

Ces particules dites « fines » de type PM10 (particules de diamètre inférieur à 10 micromètres) sont considérées comme dangereuses avec des répercussions néfastes sur la santé, puisqu'elles comportent des métaux lourds et des hydrocarbures cancérigènes, équivalent à un tabagisme passif. Sur les humains, les risques sont augmentés pour les :

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

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



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

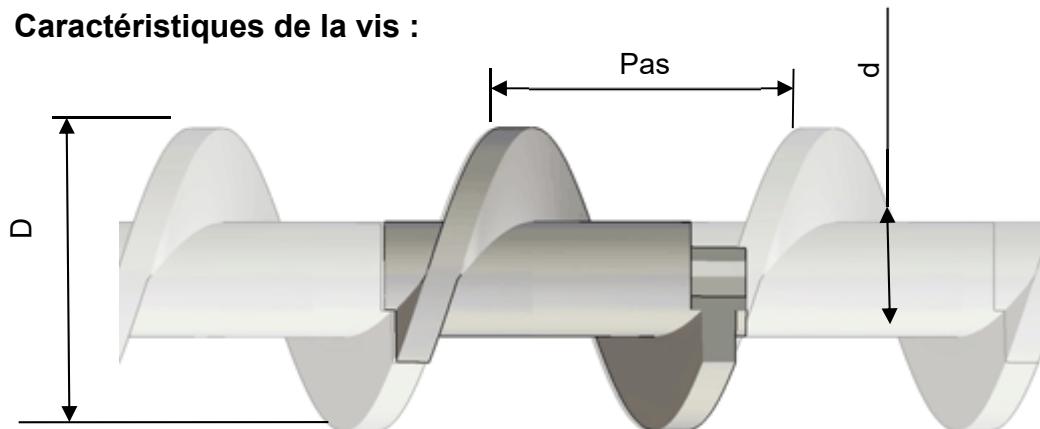
DT3 : caractéristiques de la chaudière Euroclima 32

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 ₂)	mg·m ⁻³	74
CO à charge partielle (10% de O ₂)	mg·m ⁻³	88
Poussières à puissance nominale (10% de O ₂)	mg·m ⁻³	18
Poussières à charge partielle (10% de O ₂)	mg·m ⁻³	14
Qualité des granulés		DIN+
Débit d'air maximum	m ³ ·h ⁻¹	290
Température d'utilisation	°C	60-85
Pression maxi	bars	3

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

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

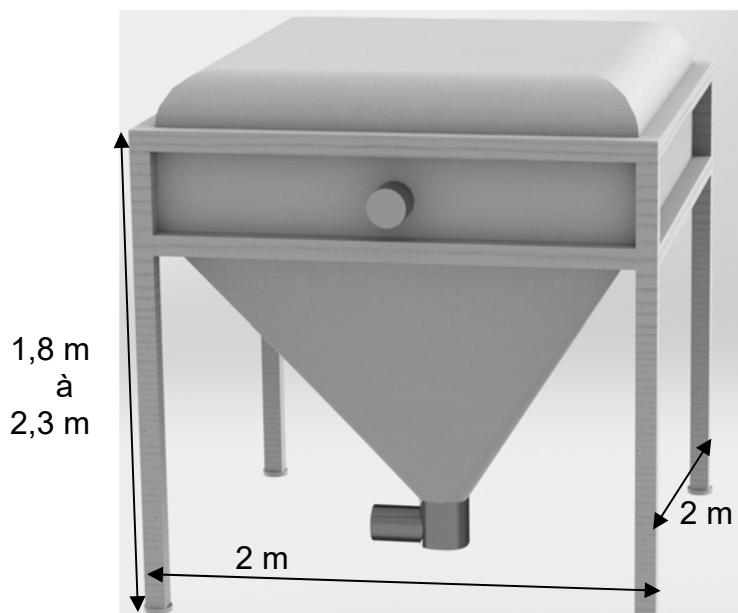
- **Caractéristiques de la vis :**



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

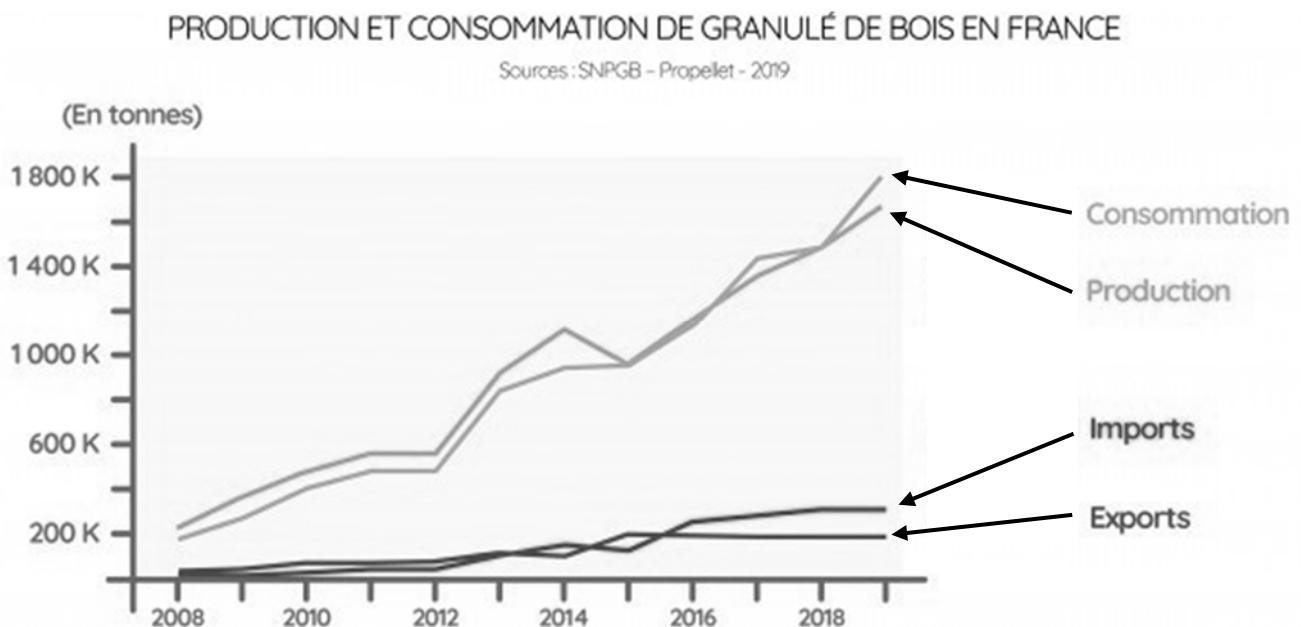
- **Masse volumique des granulés :** $600\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

DT5 : silo ECO200P

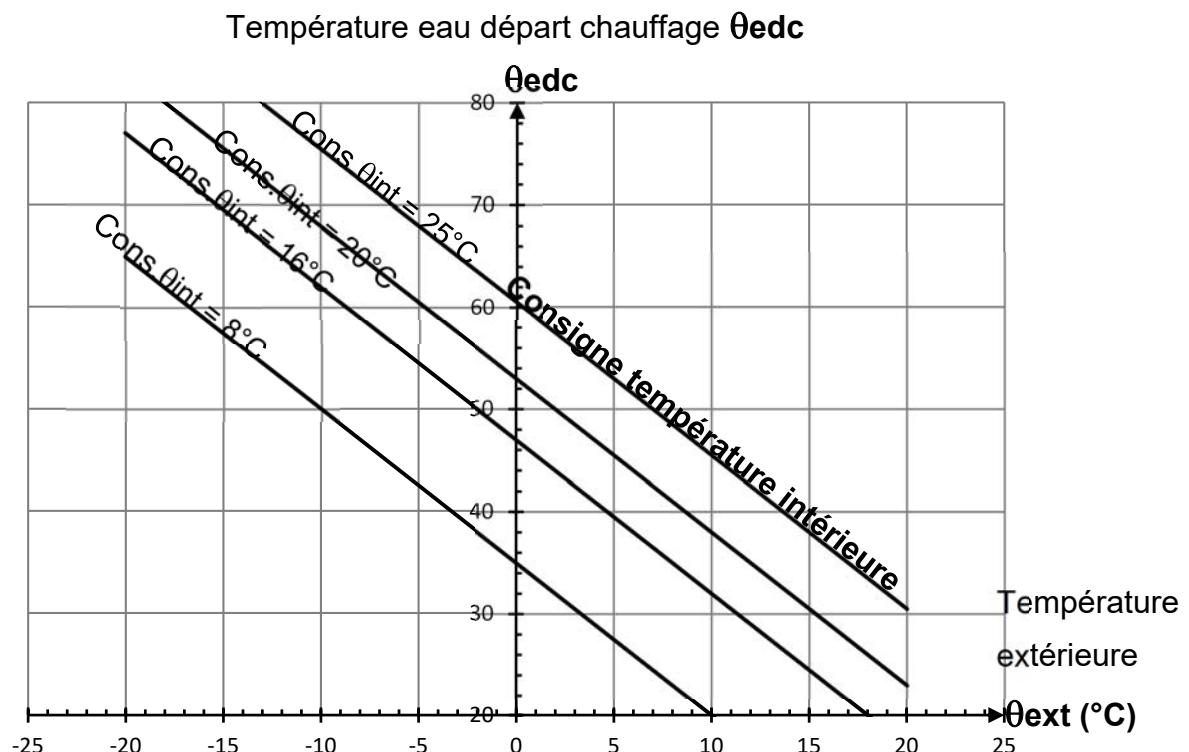


Article	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m ³)	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

DT6 : production et consommation de granulés de bois en France



DT7 : courbes de chauffe pour une régulation climatique



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

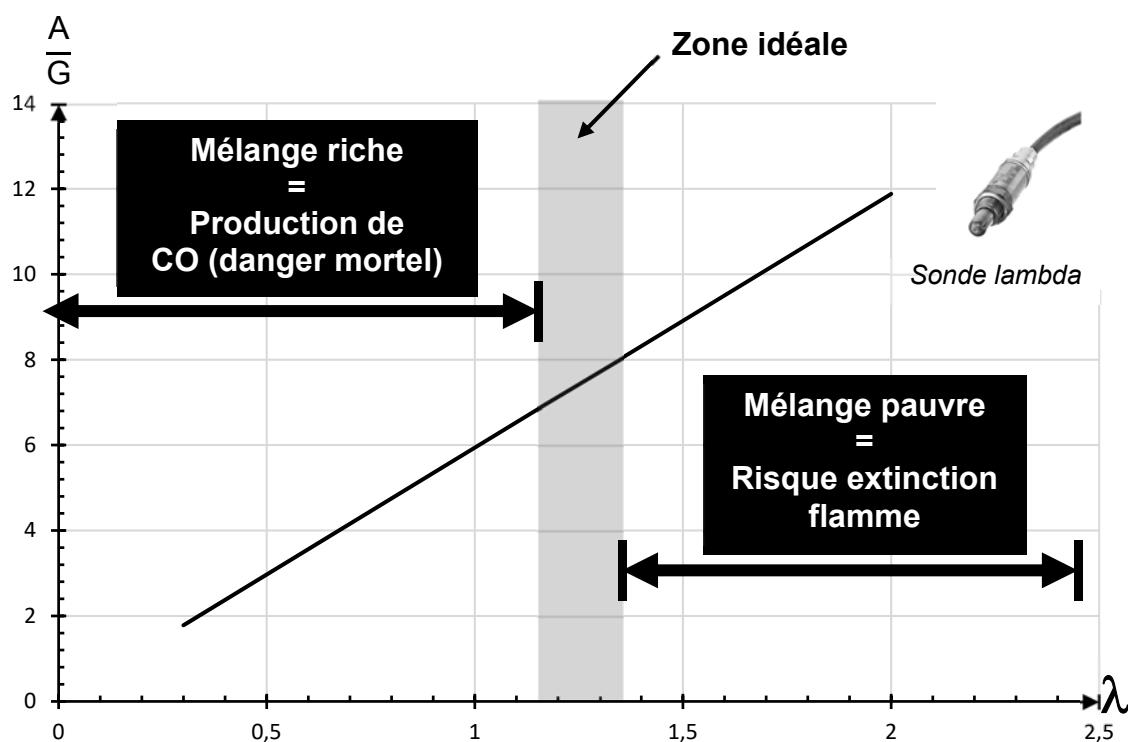
Description	Information complémentaire
<h3>Description</h3>	
Motoréducteur pour Poêle à Granulés – ref FB1249	
Alimentation 220VCA	
Vitesse: 3 rpm	
Tôles feuilletées: 32 mm	
Diamètre arbre: 8,5 mm	



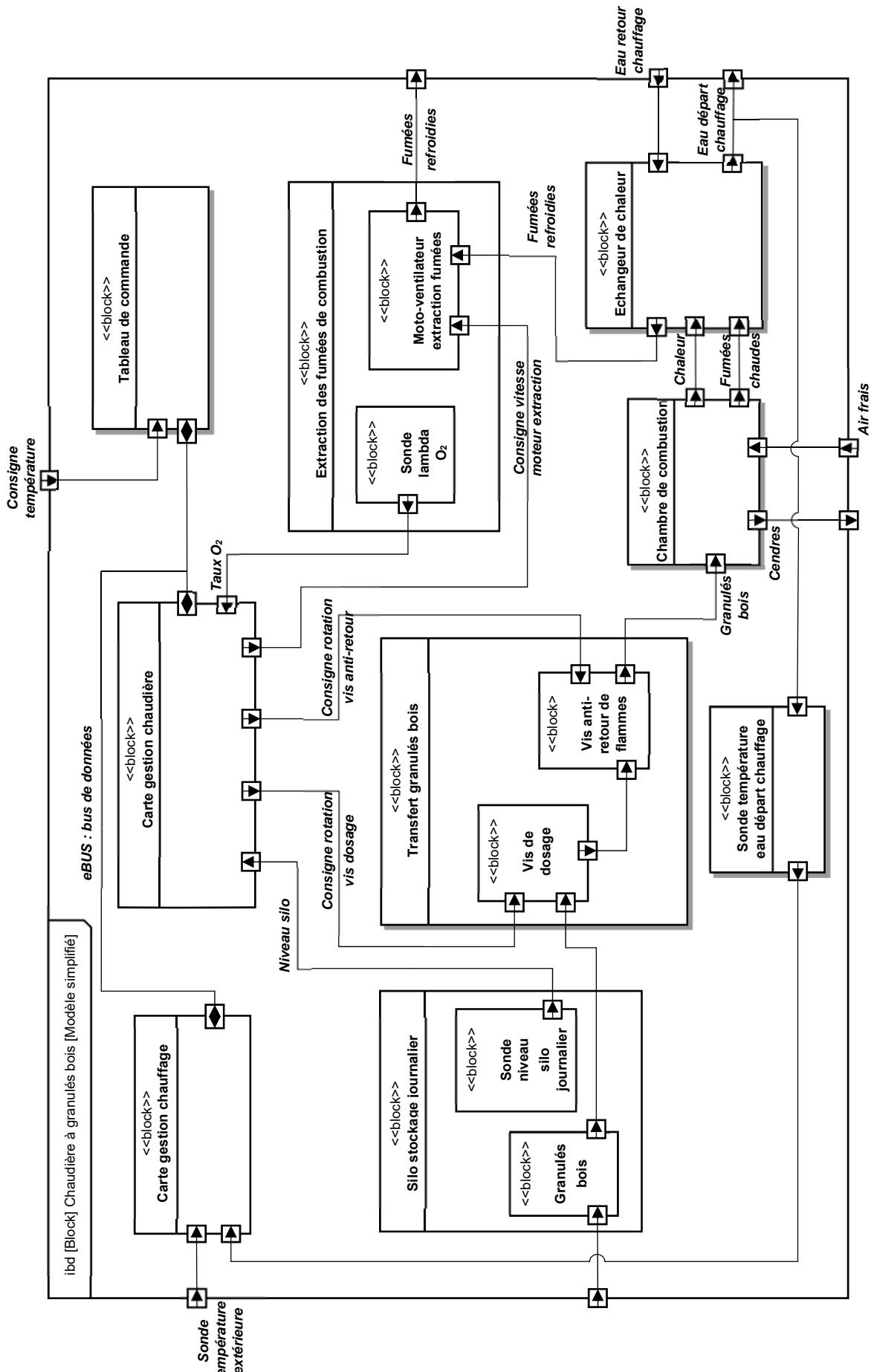
Remarque : **rpm** « revolutions per minute » = $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$

DT9 : richesse d'un mélange combustible-comburant

Rapport masse Air / masse Granulés en fonction de lambda

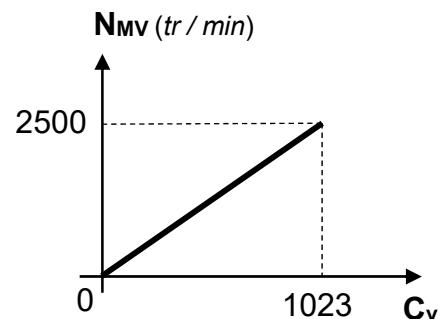
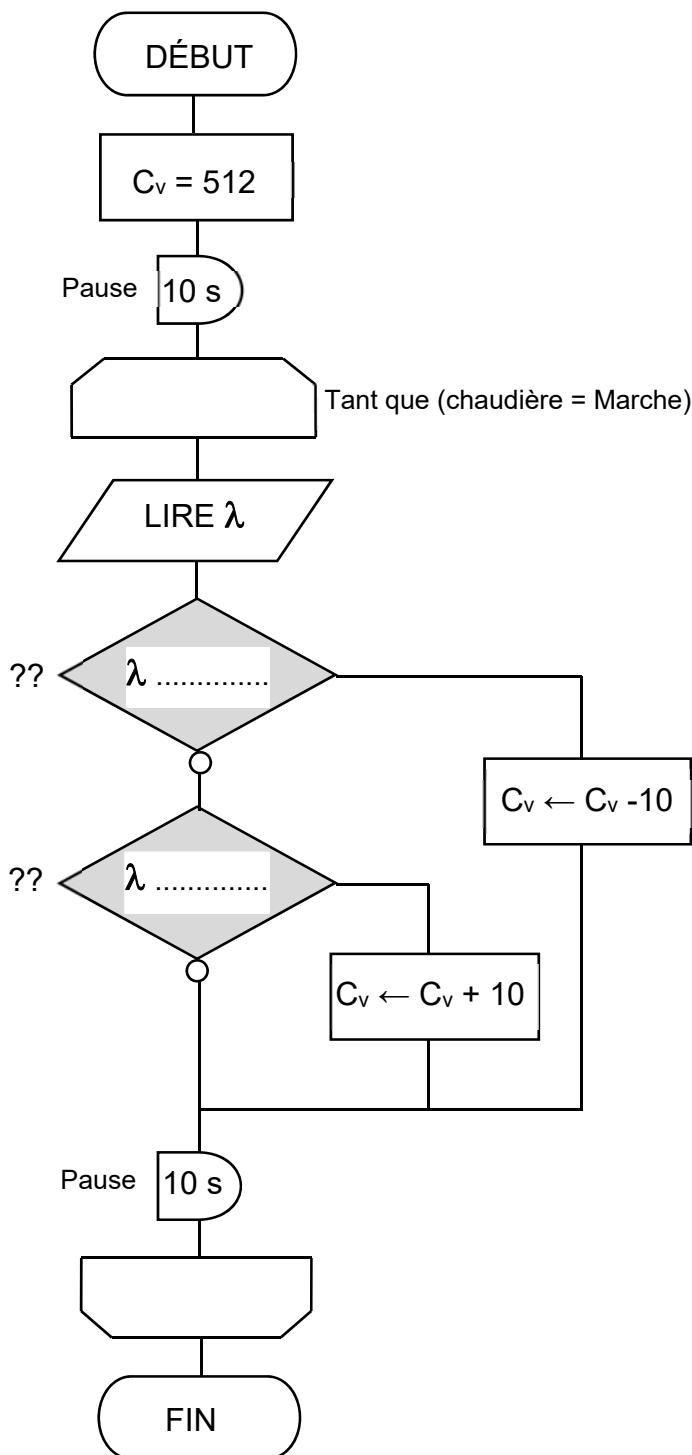


DOCUMENT RÉPONSES DR1



DOCUMENT RÉPONSES DR2

Algorigramme de régulation du volume d'air



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

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

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Chaudière à granulés



Constitution du sujet :

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

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

Partie A : implantation du silo à granulés.

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

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

Question A.1

DTS1, DTS2

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

Question A.2

DRS1

DTS1, DTS3

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

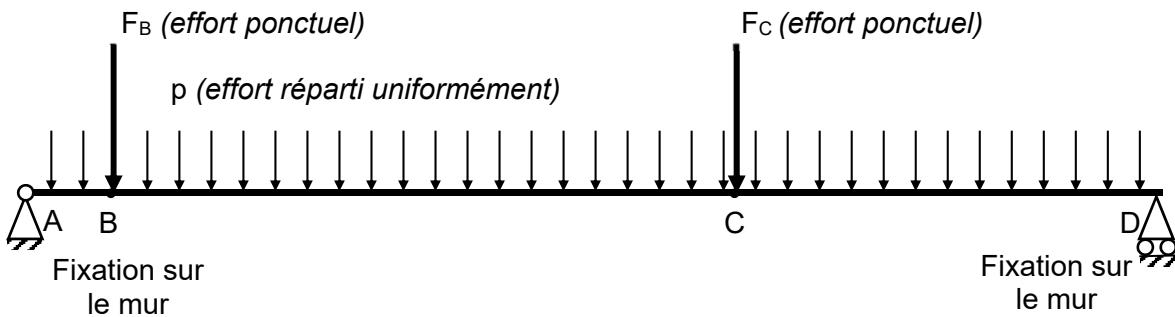
Indiquer les différents travaux à accomplir pour cette opération.

Partie B : calculs de résistance de la nouvelle installation.

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

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

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



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

Les poutres qui supportent ce plancher ont une longueur de 3,7 m pour une section rectangulaire de 7,5 cm sur 22,5 cm. Elles sont placées tous les 60 cm (voir DTS4). Des plaques d'OSB de 22 mm d'épaisseur, de poids volumique 6 kN·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 | **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 .

DRS2

DRS3, DTS4

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

- La charge du mobilier et des personnes sur un plancher courant fixée à 1,5 kN·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 | **Indiquer**, sur le DRS2, les charges ponctuelles supportées par la poutre aux points B et C du modèle : F_B et F_C en [kN].

DRS2

DRS3, DTS4

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 [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$].
- DRS4
- 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 σ_{\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

Choix 2

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

La chaudière nouvellement installée ainsi que le mode d'aspiration des granulés représentent une gêne sonore bien supérieure à celle que représentait l'ancienne installation au fioul. Celle-ci est principalement dû au besoin d'acheminer les granulés jusqu'à la chaudière. En effet, après aspiration, les granulés sont entraînés dans le brûleur 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

DTS4

DTS5

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

Conclure sur la solution retenue.

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

Question E.1 | **Donner** le coefficient λ 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 côté 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

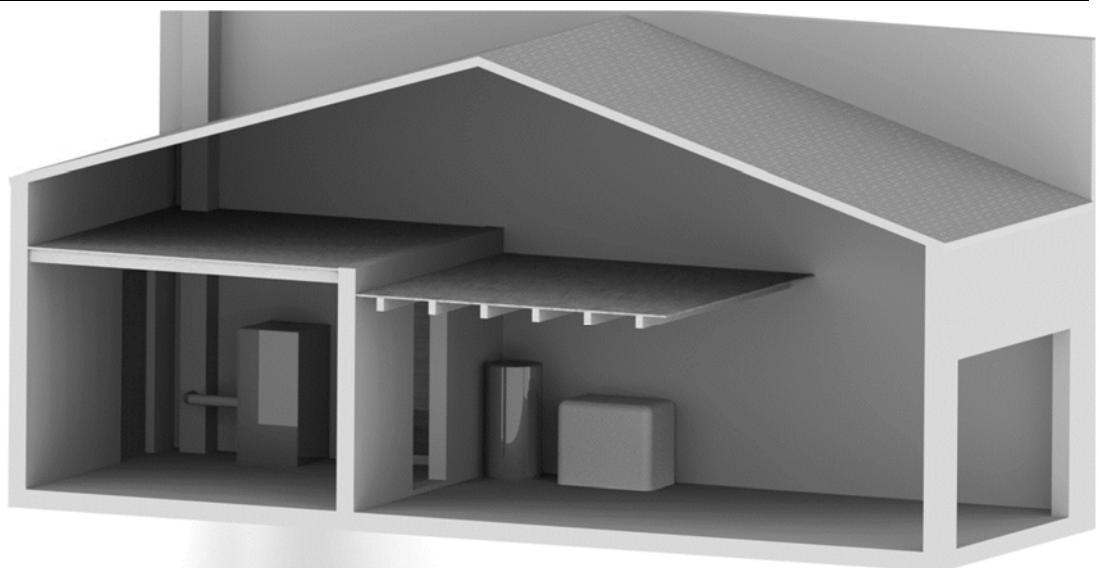
DRS4

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

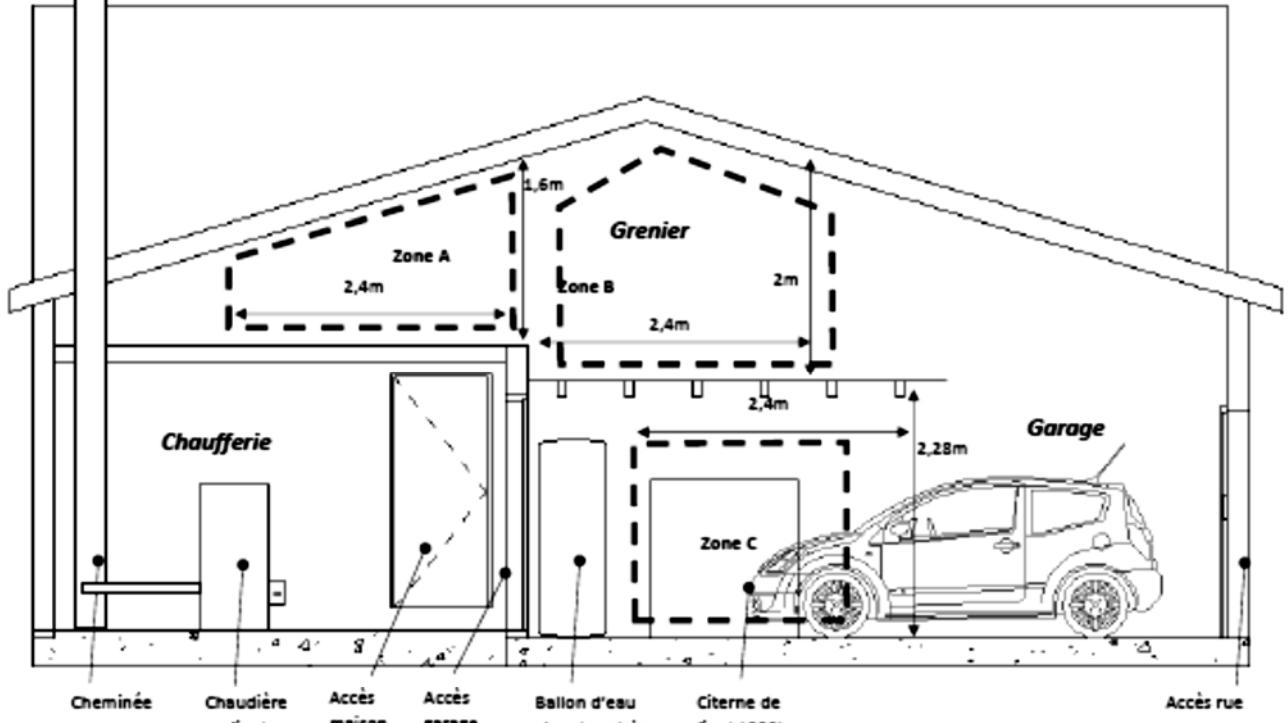
Question E.4 | **Conclure** sur l'utilité de cette isolation.

DTS1 : installation actuelle

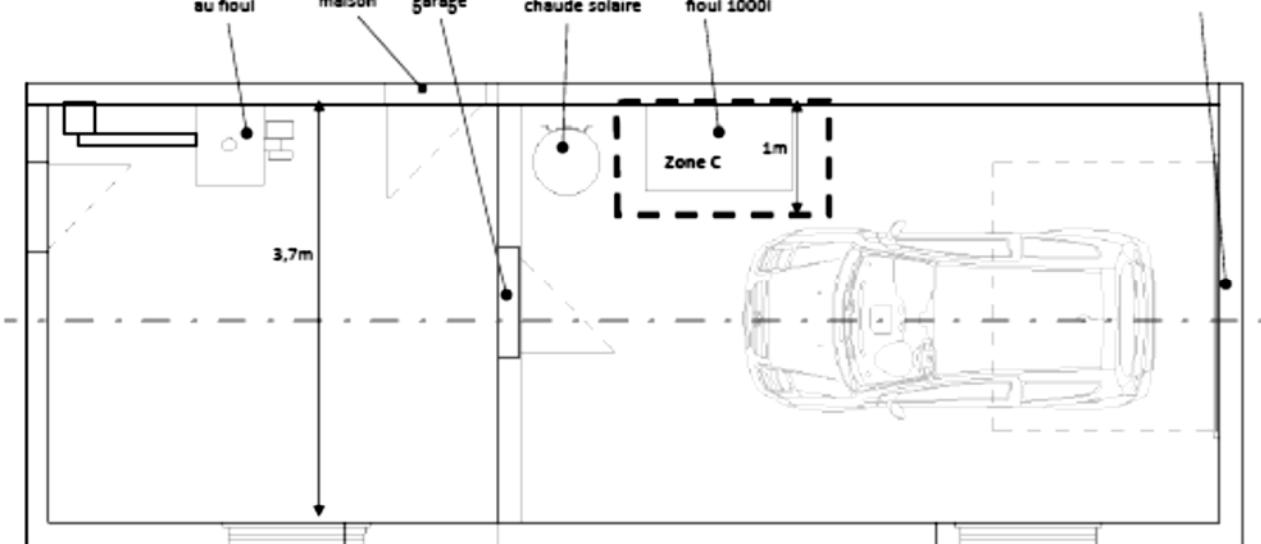
Perspective



Coupe



Plan du garage



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

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

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

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

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

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

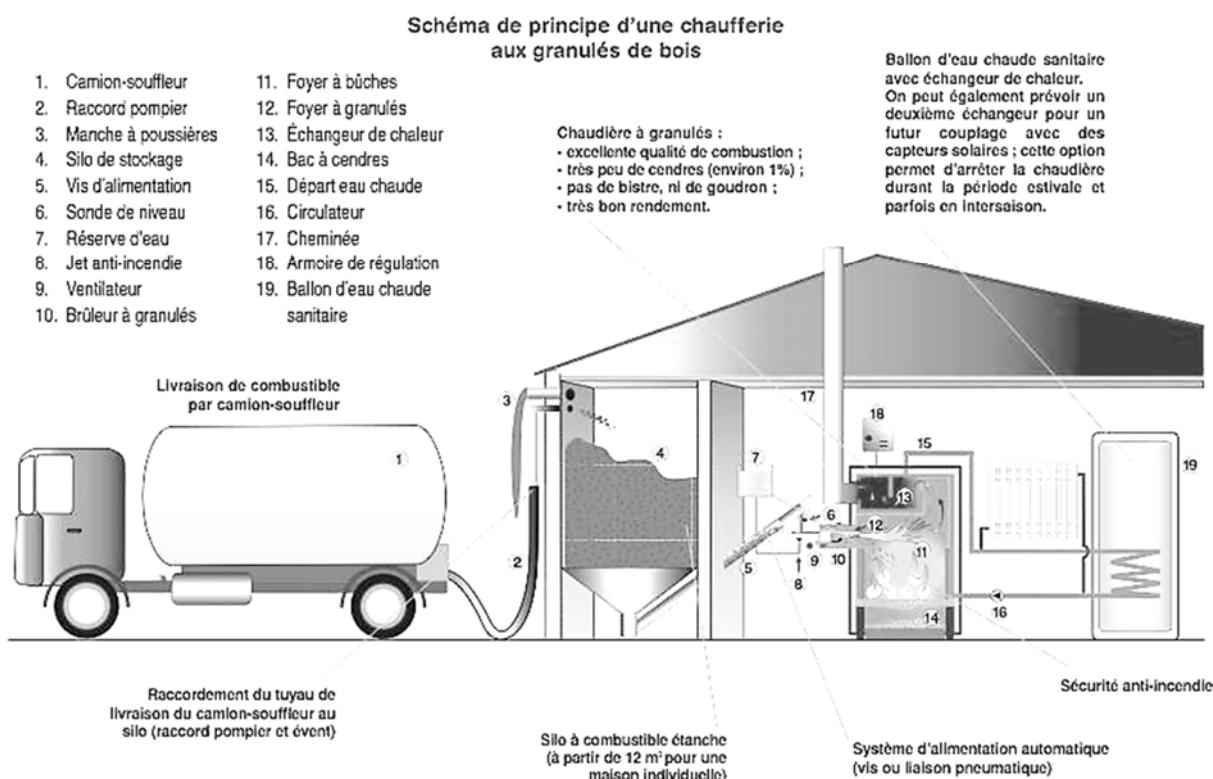
Cette opération évitera :

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

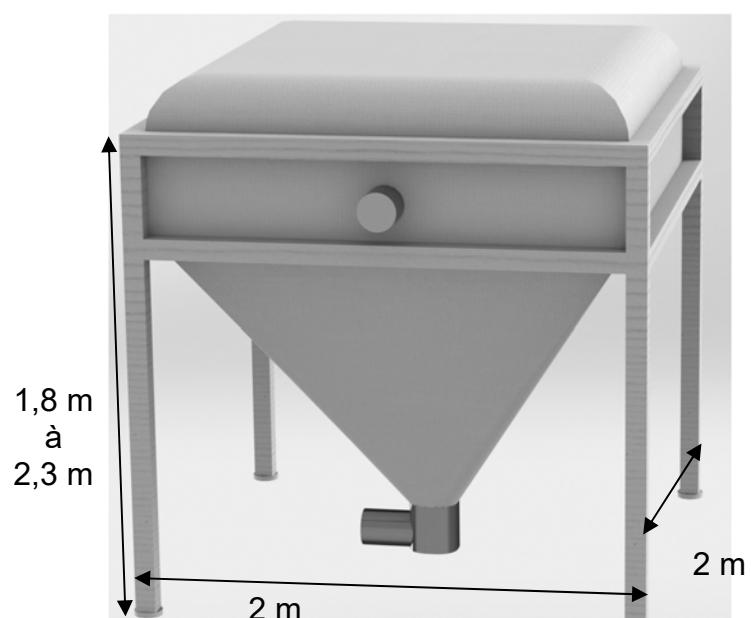
Remarque

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

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



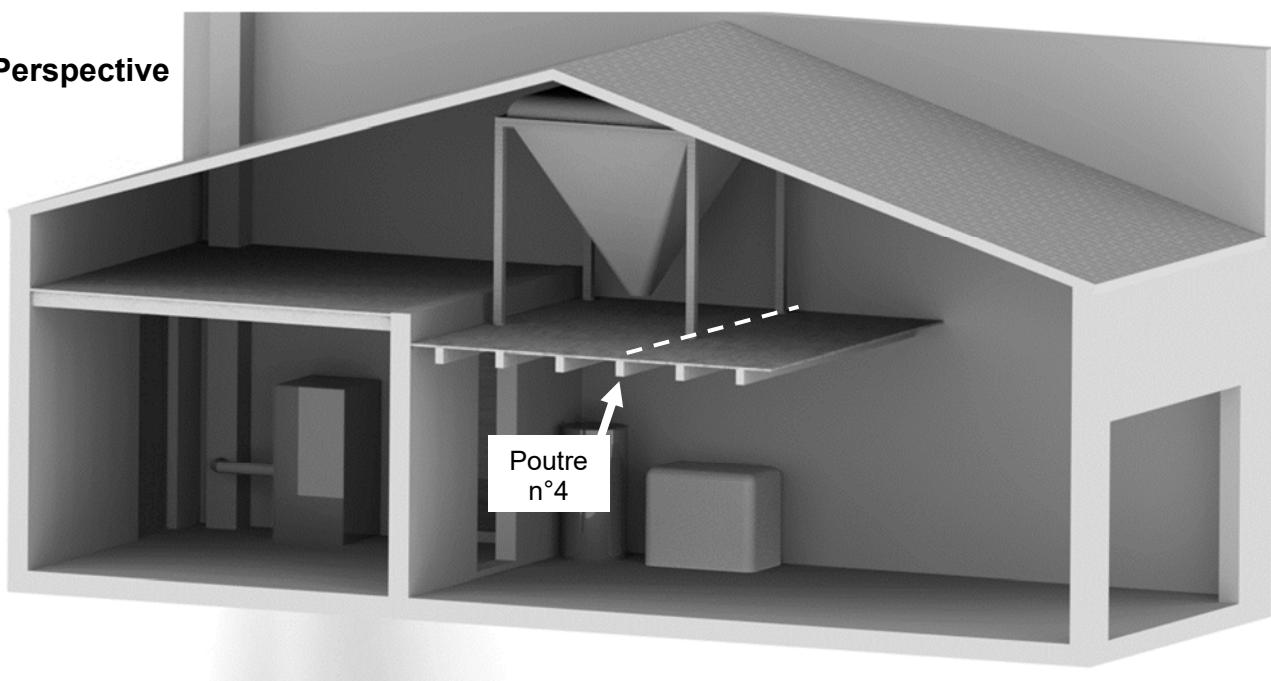
DTS3 : silo ECO200P



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

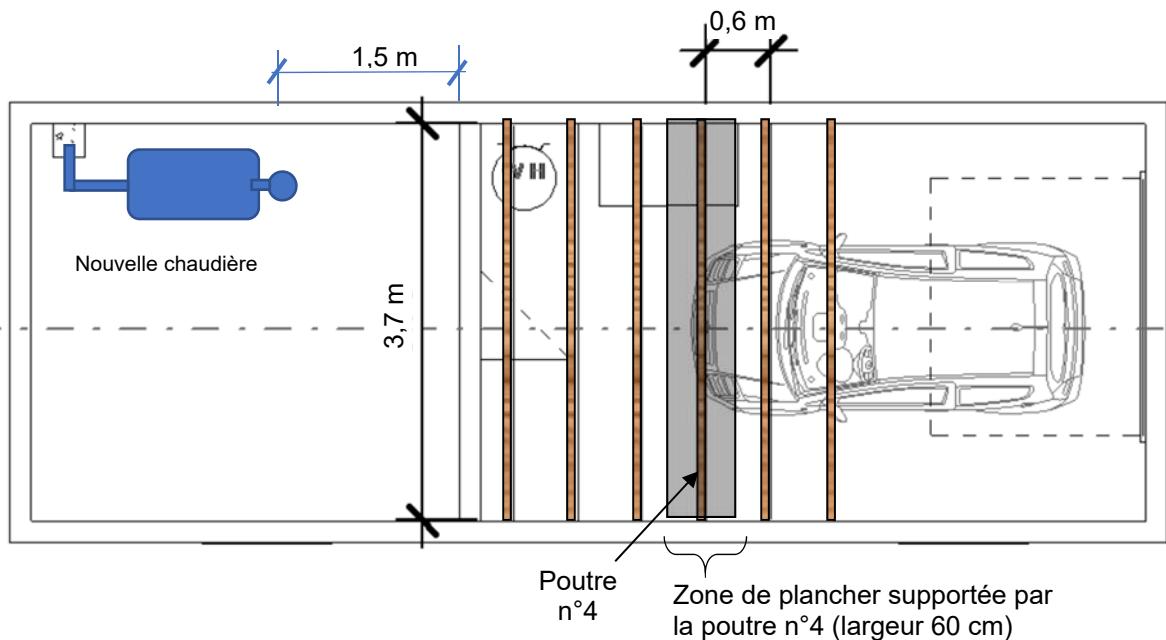
DTS4 : plan structurel du plancher haut garage

Perspective



Plan du plancher haut garage

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



DTS5 : Rappels d'acoustique

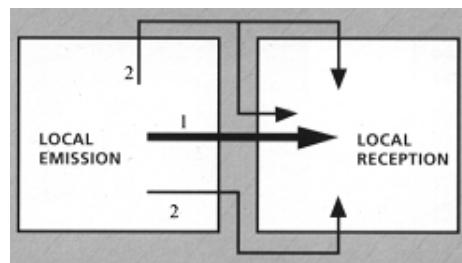
Rappel : L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE R_w (C,Ctr)

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

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

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

1 transmission directe – 2 transmissions indirecte



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

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

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

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

Rappel sur la mesure du bruit

Le niveau de bruit (sources INRS)

On mesure physiquement le niveau du bruit en décibels.

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

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

50 dB(A) = niveau habituel de conversation

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

120 dB(A) = bruit provoquant une sensation douloureuse

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

Rappels :

Bruit rose

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

BRUIT - d'équipements :

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

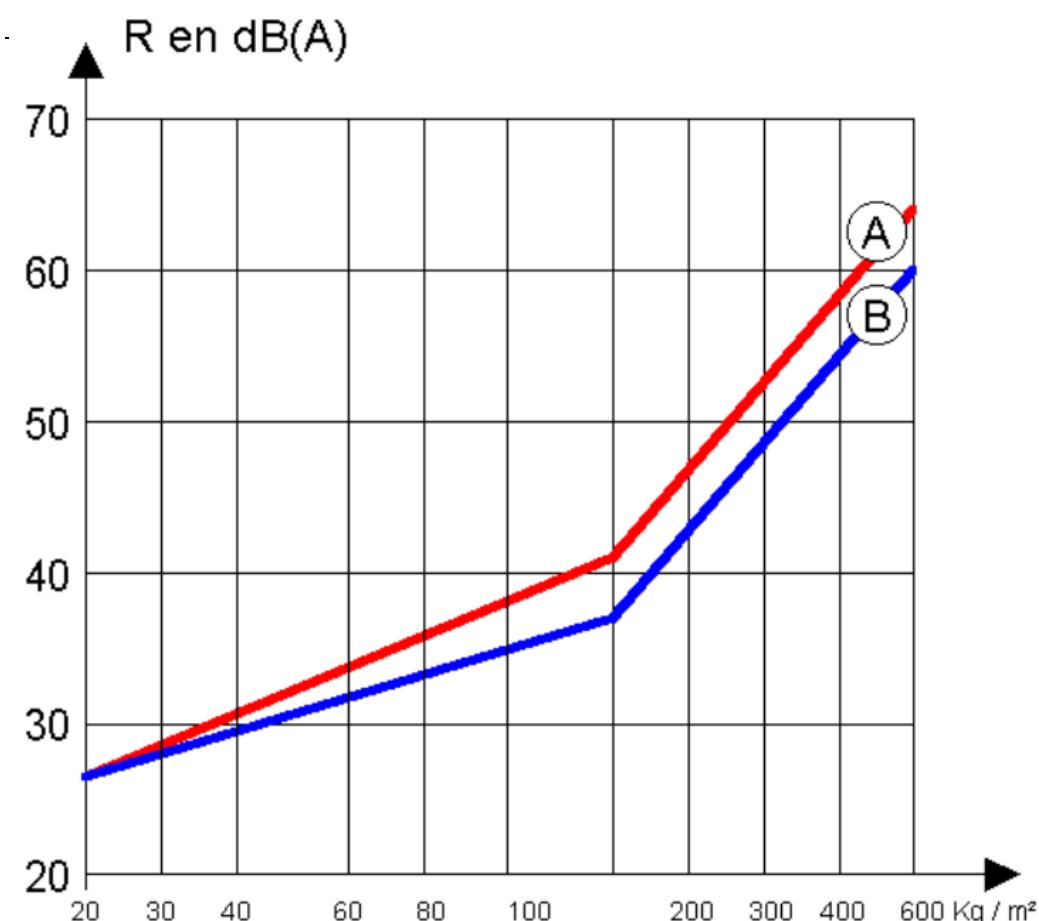
DTS6 : acoustique

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

❶ 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

DT57 : 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	$R_{A,tr}$	$\Delta R_{A(lourd)*}$	$\Delta R_{A,t(lourd)*}$
1 Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ; -10)	68	61	11	8
2 Mur non isolé	59(-2 ; -6)	57	53	-	-



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

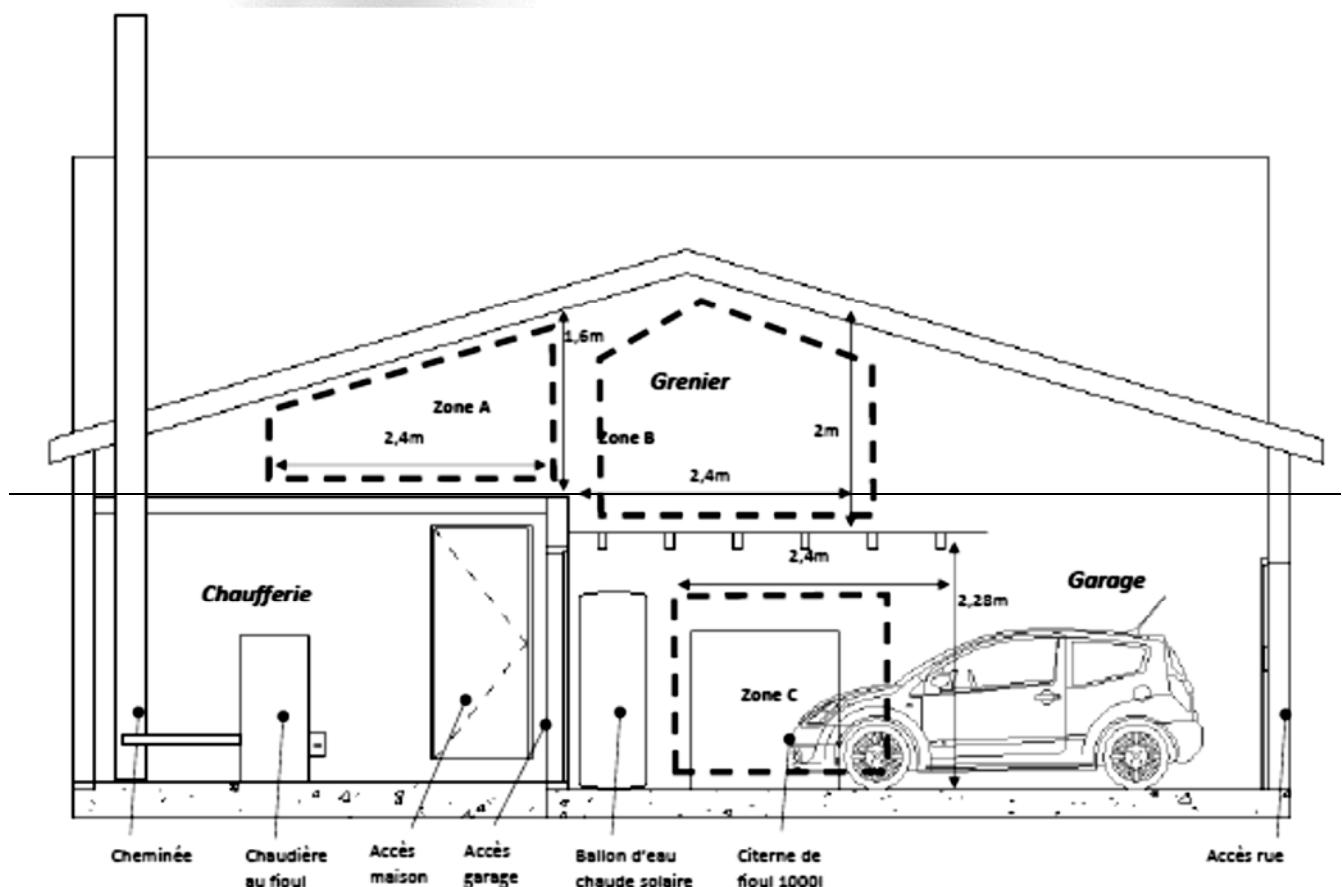
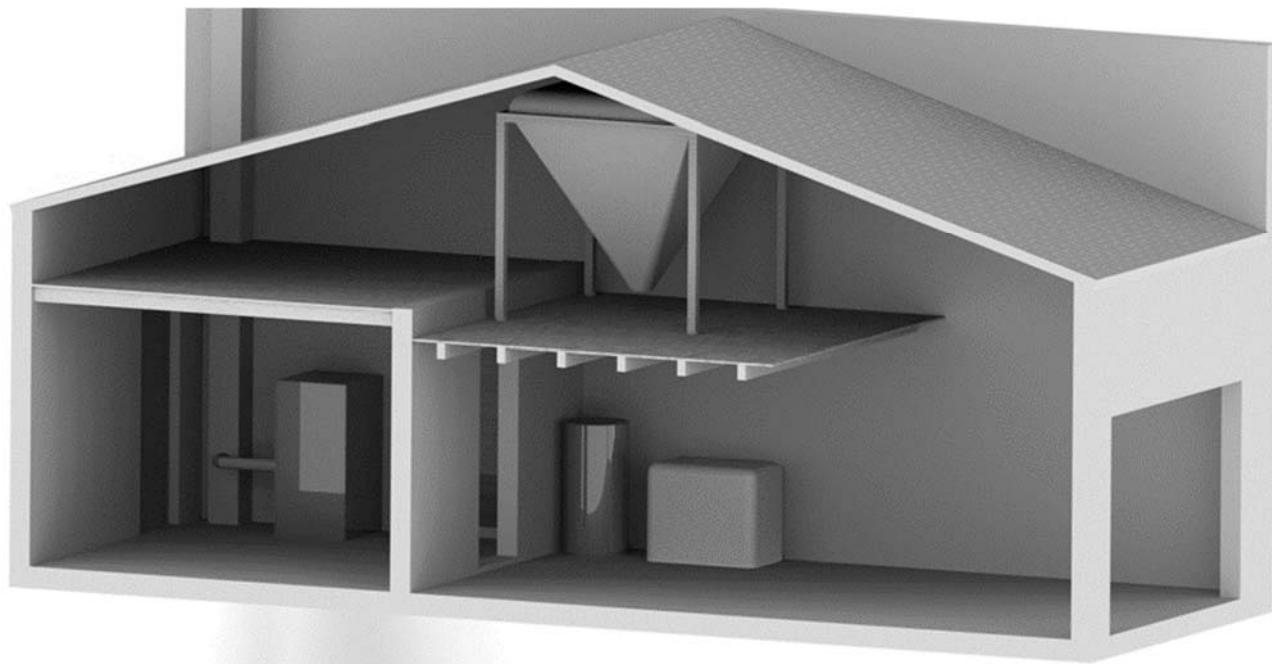
Solution n°2	Affaiblissement acoustique en dB			Gain acoustique en dB	
	$R_w(C;C_{tr})$	R_A	$R_{A,tr}$	ΔR_A	$\Delta R_{A,tr}$
Mur + Optima GR32 45 mm + BA13	71(-3 ; -10)	68	61	13	10
Mur non isolé	56(-1 ; -5)	55	51	-	-



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

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

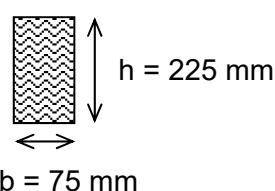
DOCUMENT RÉPONSES DRS1 : schéma de l'alimentation en granulés de la chaudière.



DOCUMENT RÉPONSES DRS2

Étude en flexion de la poutre n°4 :

Profil de la poutre



$$\text{section de la poutre } S = b \cdot h =$$

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

$$b = 75 \text{ mm}$$

Modèle de calcul de structure pour la poutre

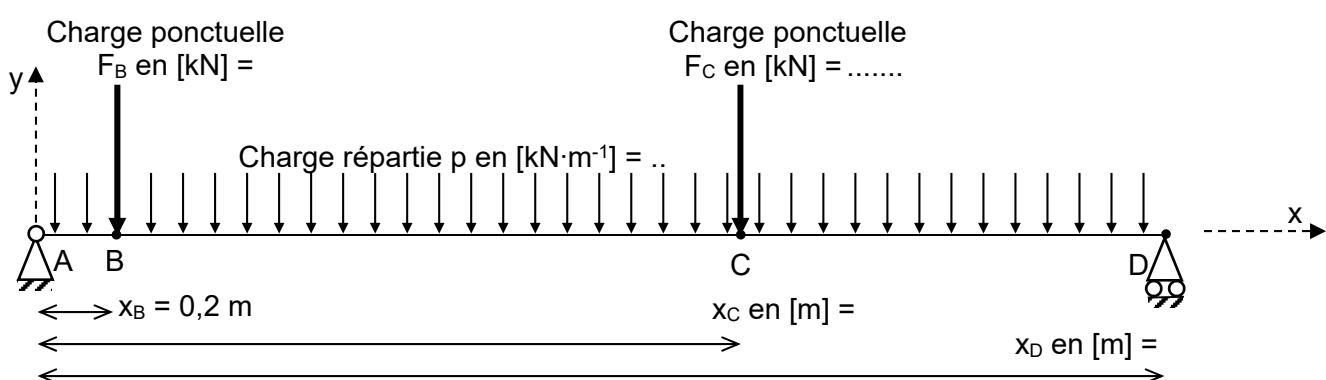
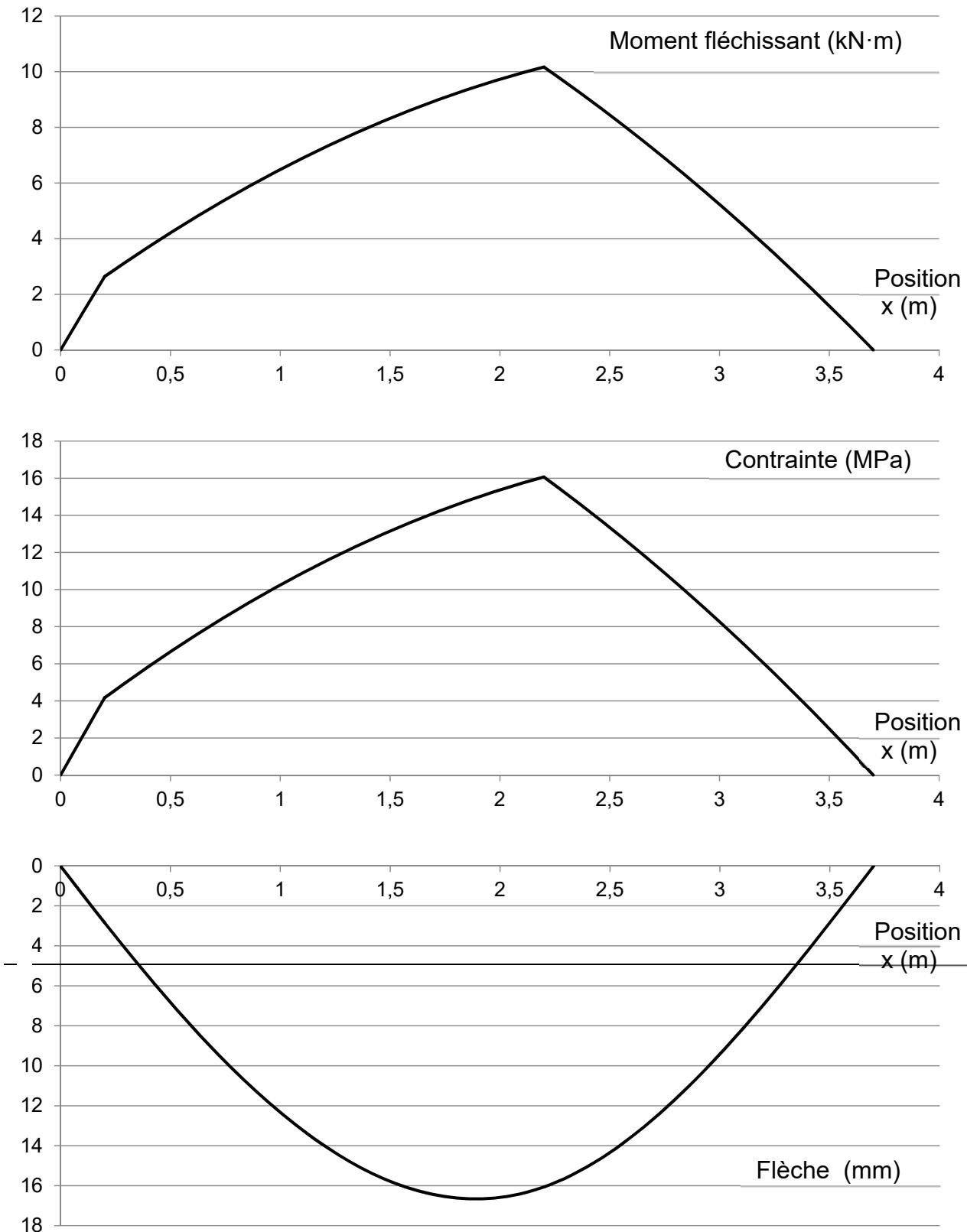


Tableau de répartition des charges linéiques supportées par la poutre

	longueur	largeur	épaisseur	charges		Charges linéiques
				m	m	
Mobilier et personnes				1,5	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$	0,9 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$
Plaque OSB	3,7	0,6	0,022	6	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	0,079 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$
Charge linéique d'exploitation q_p :					$q_p =$	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$
Poutre n°4				4,2	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	
Poids de la poutre G_p =					kN	$g_p =$
Charge linéique totale p :					$p =$	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$

DOCUMENT RÉPONSES DRS3

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



DOCUMENT RÉPONSES DRS4

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

CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION SURFACIQUE D'UNE PAROI							
		Conductivité thermique λ (W/m.°C)	Epaisseur e (en mètre)	Résistance thermique $R_{th} = e / \lambda$ (m ² .°C/W)			
ENDUITS		plaque de carton plâtre	0.210				
		mortier de chaux, mortier bâtarde chaux/ciment, mortier de chaux hydraulique	0.870				
		mortier au ciment	1.400				
		enduit chaux /sable	1.050				
ISOLANTS	naturel SYNTHETIQUE	polystyrène extrudé	0.028				
		polystyrène expansé	0.035				
		polyuréthane en panneau	0.025				
		polyuréthane en mousse	0.030				
		polyester	0.035				
	VEGETAUX	laine de verre	0.035				
		laine de roche	0.040				
		OSB (800kg/m3)	0.150				
		granulat de bois	0.110				
		laine de cellulose (60kg/m3)	0.045				
		liège expansé (80 kg/m3)	0.032				
		laine de lin (vrac, rouleau, panneau semi rigide)	0.037				
		laine de lin (panneau aggloméré)	0.090				
		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				
	brique	béton ordinaire (2500kg/m3)	2.100				
		briques (700kg/m3)	0.300				
		briques (2000kg/m3)	0.960				
		brique creuse	0.500				
		brique Monomur BIOMUR 30 (ép.30)	0.124				
	bois	bois (600 kg/m3) épicéa, pin, sapin	0.130				
		bois (800 kg/m3) hêtre, chêne	0.200				
LAME D'AIR VERTICALE		lame d'air (ép. 5 à 7 mm)	R=0,11				
		lame d'air (ép. 7 à 9 mm)	R=0,13				
		lame d'air (ép. 9 à 11mm)	R=0,14				
		lame d'air (ép. 11 à 13mm)	R=0,15				
		lame d'air (ép. >à 14 mm)	R=0,16				
Résistance thermique du mur en béton seul :							
Résistance thermique du mur isolé :							

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Chaudière à granulés



Constitution du sujet :

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

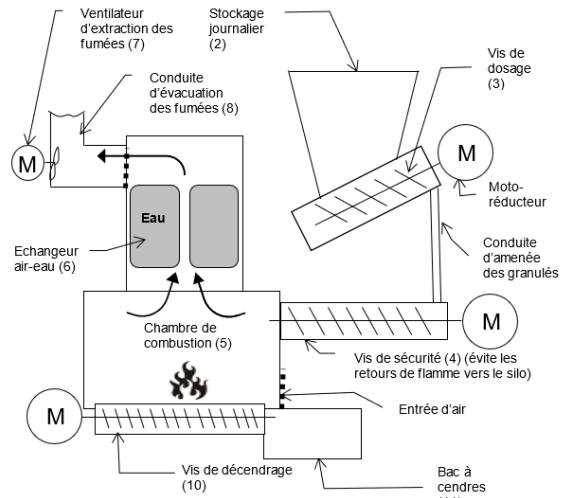
Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie C (choix 1) ou la partie D (choix 2). Les autres parties A et B sont à traiter obligatoirement.

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.

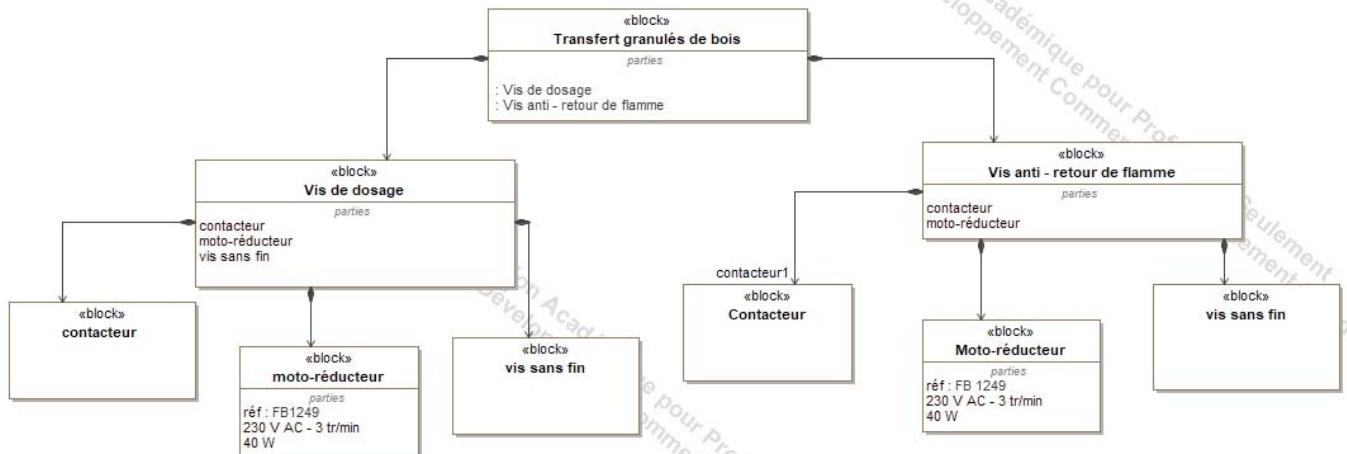
La chaudière à granulés est dépendante de l'électricité pour fonctionner. En cas de coupure de courant (fréquent dans certaines régions en hiver), la chaudière ne peut donc pas fonctionner. Afin d'assurer la continuité du chauffage en cas de coupure de courant, il semble intéressant d'installer une alimentation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

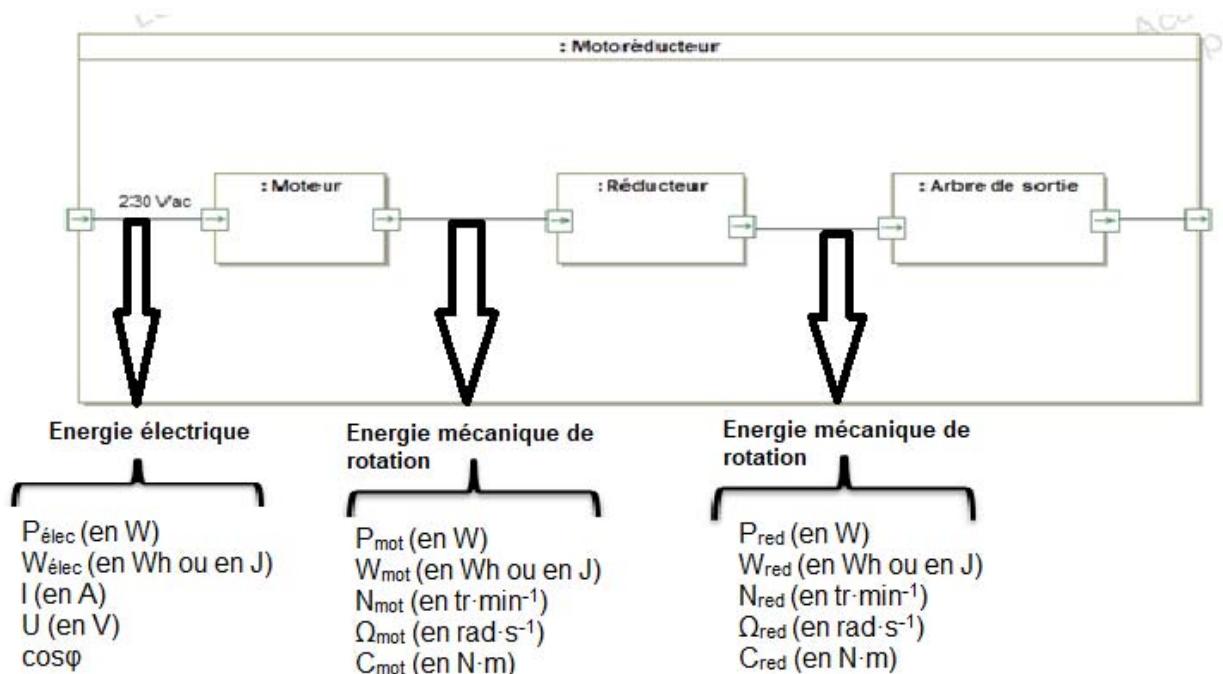
Question A.1 | Sur le diagramme I.B.D. du document réponse DRS1, **repasser en bleu** le flux d'énergie circulant lors du fonctionnement de la vis de dosage.

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, calculer le rapport de réduction et le rendement du réducteur programmés dans le modèle.
Question A.3 DTS1	A la lecture des données constructeur (DTS1), conclure sur la modélisation du réducteur.

Validation du moteur :

Question A.4 DTS3	A partir de la simulation multi-physique (DTS3), relever le couple en sortie du moteur (C_{mot}) et l'intensité (I) consommée par le moteur.
Question A.5 DTS2	A partir des courbes caractéristiques du moteur asynchrone (DTS2), déterminer l'intensité (I_{const}) et le couple moteur (C_{const}) lorsque le moteur tourne à la vitesse de $2900 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.
Question A.6 DTS2	Comparer les caractéristiques du constructeur avec les caractéristiques du modèle multi-physique et conclure 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), relever 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), déterminer la puissance électrique (P_{elec}) et l'énergie électrique (W_{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 chaines de puissance électrique et de la chaîne d'information a été réalisée. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Chaine de puissance	Puissance électrique	Durée d'utilisation
Turbine aspiration granulés	1200 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 pendant 6 mois
Chaine d'information	Puissance électrique	Durée d'utilisation
Platine régulation électronique (chaine 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

DRS2 – DTS10

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

Question B.2

Calculer la consommation électrique annuelle ($W_{année}$) de la chaudière. **Indiquer** les deux chaines (de puissance ou d'information) qui consomment le plus.

Une simulation de chauffage a été réalisée (voir document DTS4) sur la période du 1^{er} 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 | Sur le diagramme I.B.D. de l'alimentation de secours, **repasser** en bleu la circulation du flux d'énergie lors de la recharge de la batterie.
DRS5

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 | A partir des courbes de la simulation (DTS6), **donner** la tension maxi de V_{P2} ($V_{P2\text{maxi}}$). **Calculer** la tension efficace $V_{P2\text{efficace}}$.
DTS6

Question C.3 | A partir des courbes de la simulation (DTS7), **donner** la tension V_{P3} en sortie du modulateur AC/DC. **Indiquer** si cette tension correspond à $V_{P2\text{maxi}}$ ou $V_{P2\text{efficace}}$.
DTS7

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

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

Question C.5 **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 **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.

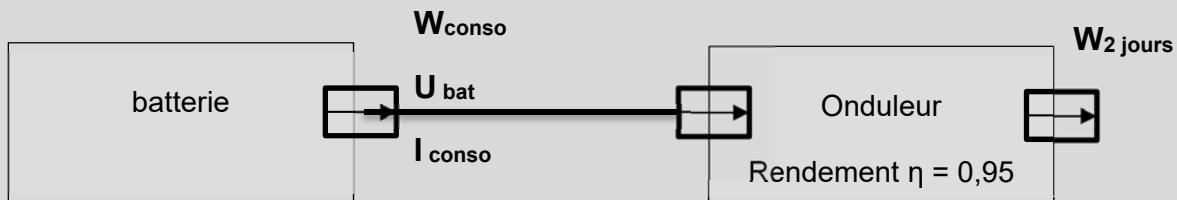
Le diagramme IBD de l'alimentation de secours est donné sur le document réponse DRS5.

Question D.1 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_{consso}) que doit délivrer la batterie en 2 jours pour alimenter la chaudière.
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 $W_{disp} = 1100 \text{ Wh}$.

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 $W_{disp} = 2208 \text{ Wh}$ 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

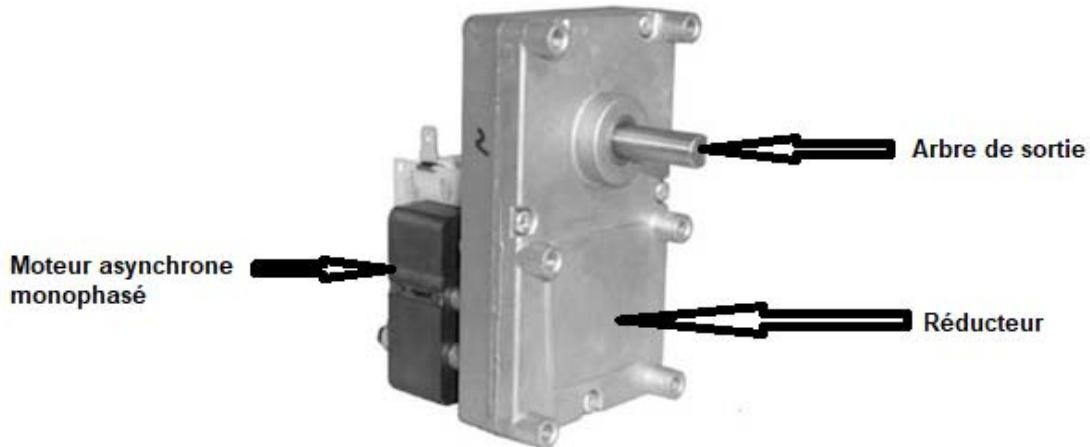


Diagramme B.D.D.

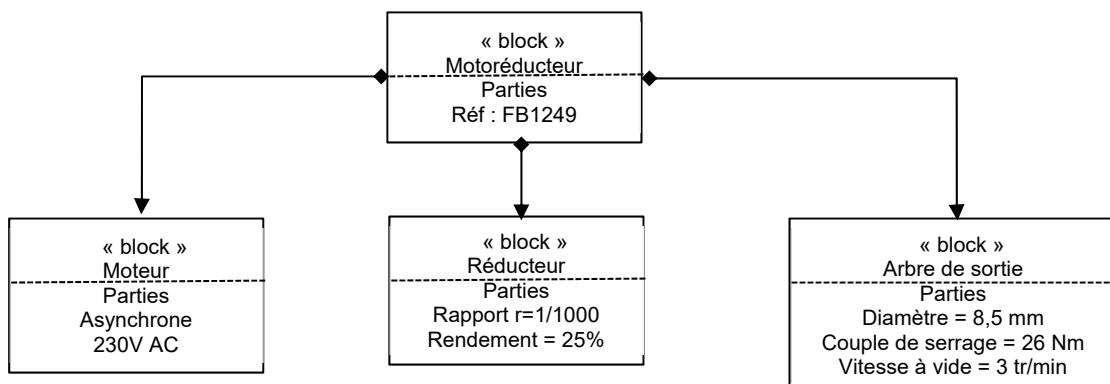
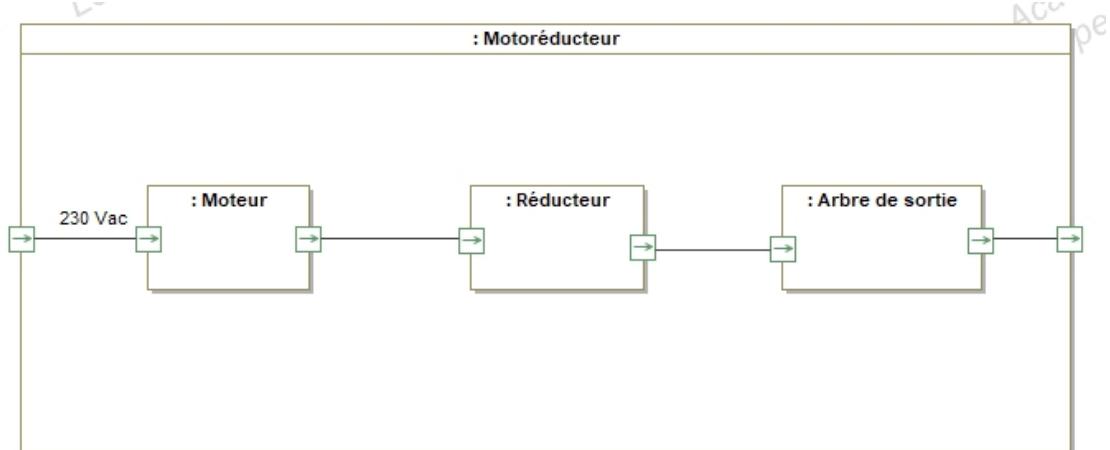


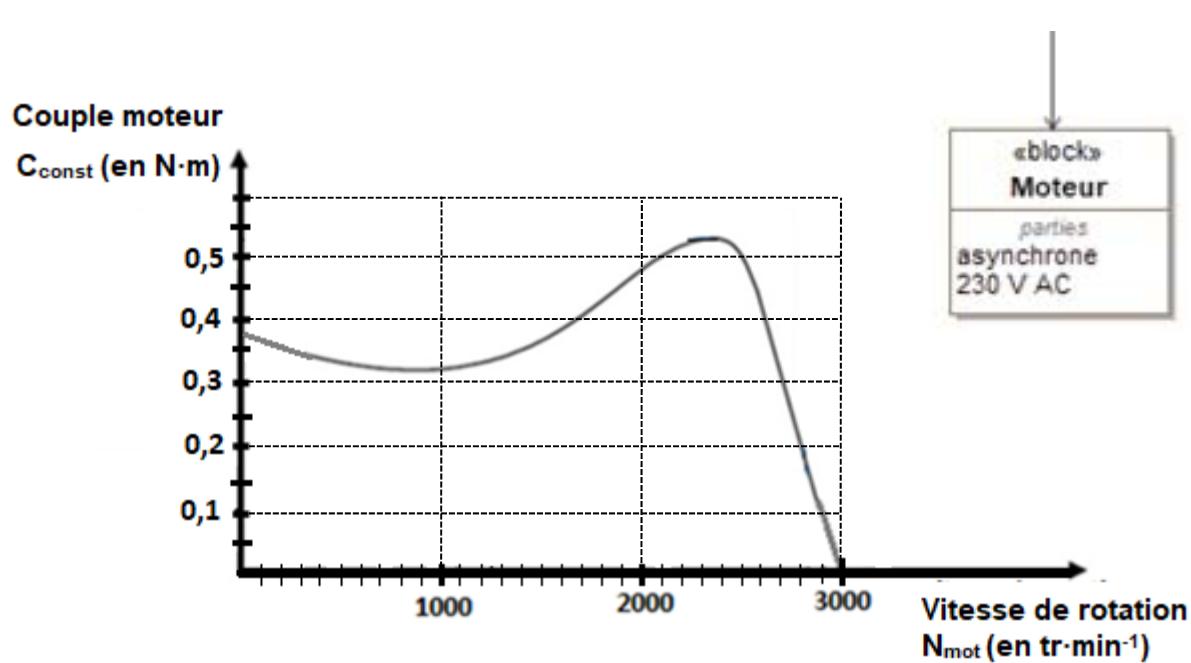
Diagramme I.B.D.



DTS2 : Courbes caractéristiques du moteur asynchrone

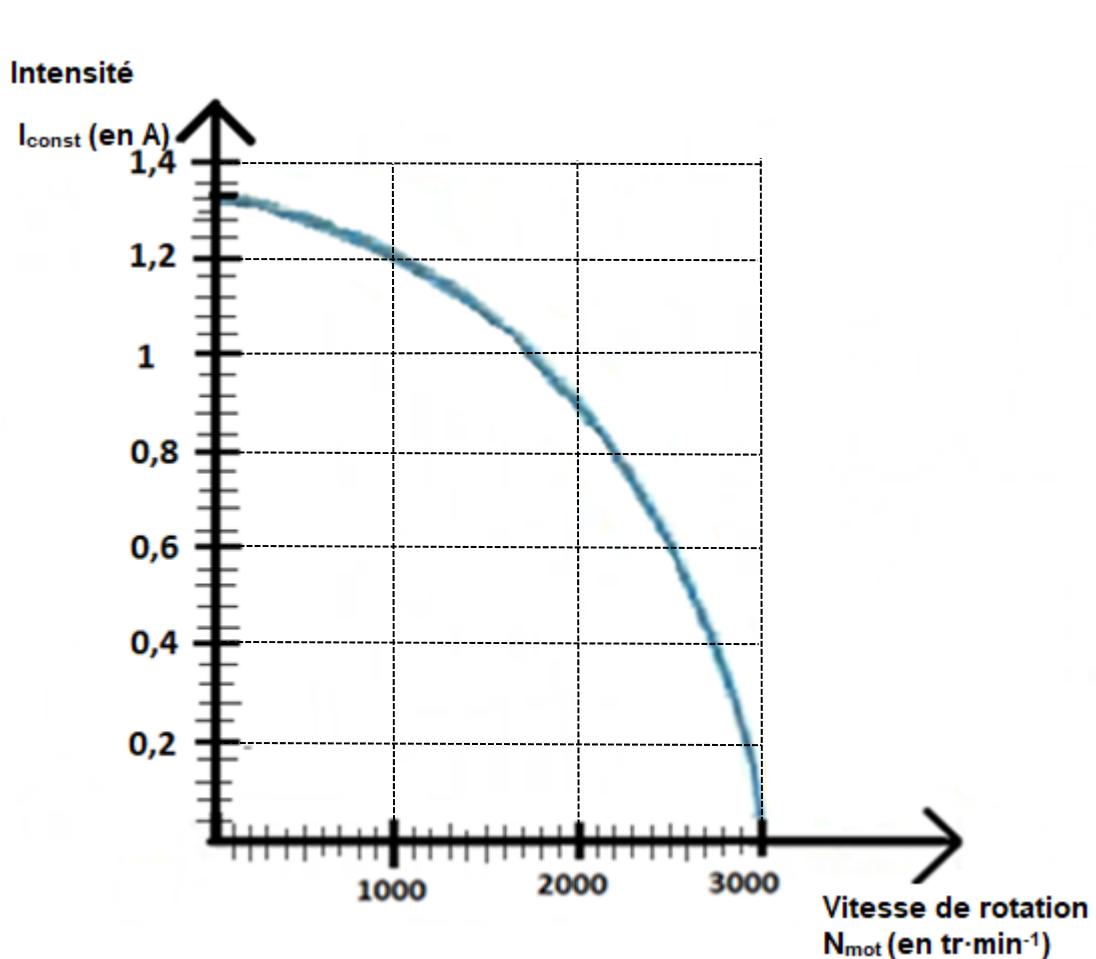
Couple moteur

C_{const} (en N·m)

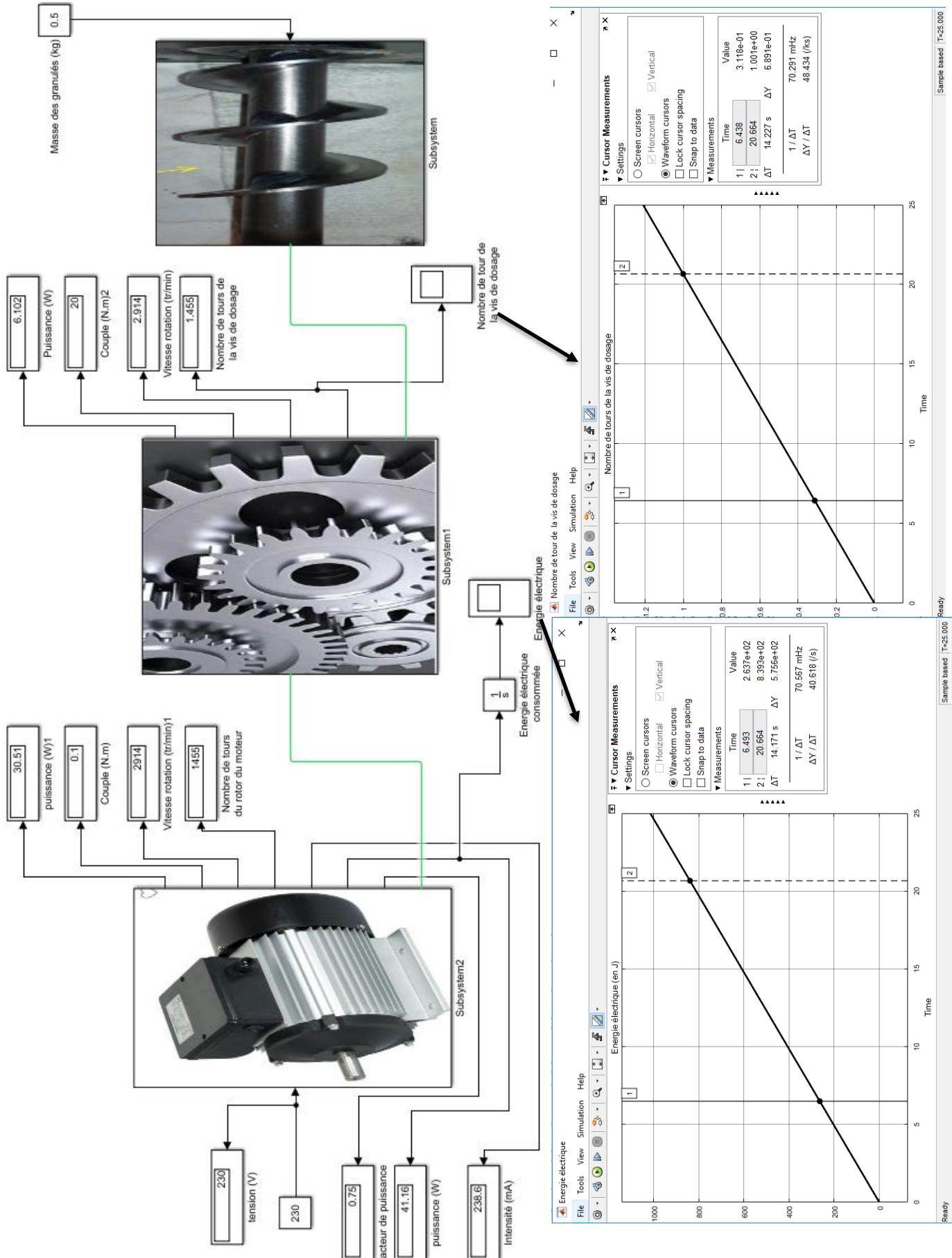


Intensité

I_{const} (en A)



DTS3 : Simulation de la chaîne de puissance de la vis dosage



DTS4 : Simulation d'un scénario de chauffage

Paramétrage du logiciel :

Scenario de chauffage

Temperatures

Temperature de base extérieure: 5,58 deg. C

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

Temperature de consigne en période réduite: 17,00 deg. C

Periode de chauffage

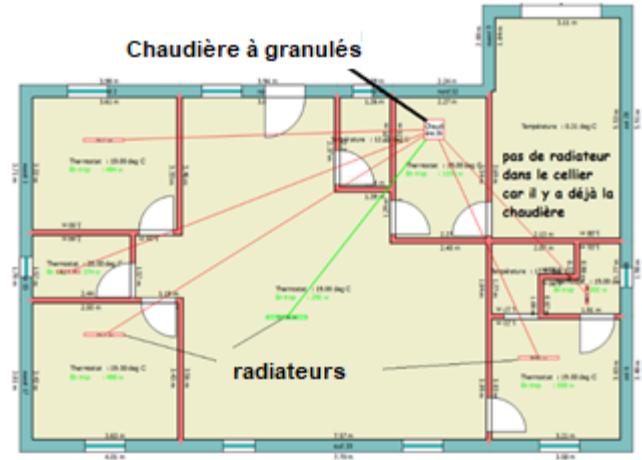
Duree journaliere de chauffe normale: 16 heures

Duree journaliere de chauffe réduite: 8 heures

novembre 2020						
dim.	lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.
44	25	26	27	28	29	30
45	1	2	3	4	5	6
46	8	9	10	11	12	13
47	15	16	17	18	19	20
48	22	23	24	25	26	27
49	29	30	1	2	3	4

avril 2021						
dim.	lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.
13	28	29	30	31	1	2
14	4	5	6	7	8	9
15	11	12	13	14	15	16
16	18	19	20	21	22	23
17	25	26	27	28	29	30
18	2	3	4	5	6	7

OK Annuler



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

Résultats de la simulation :



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).

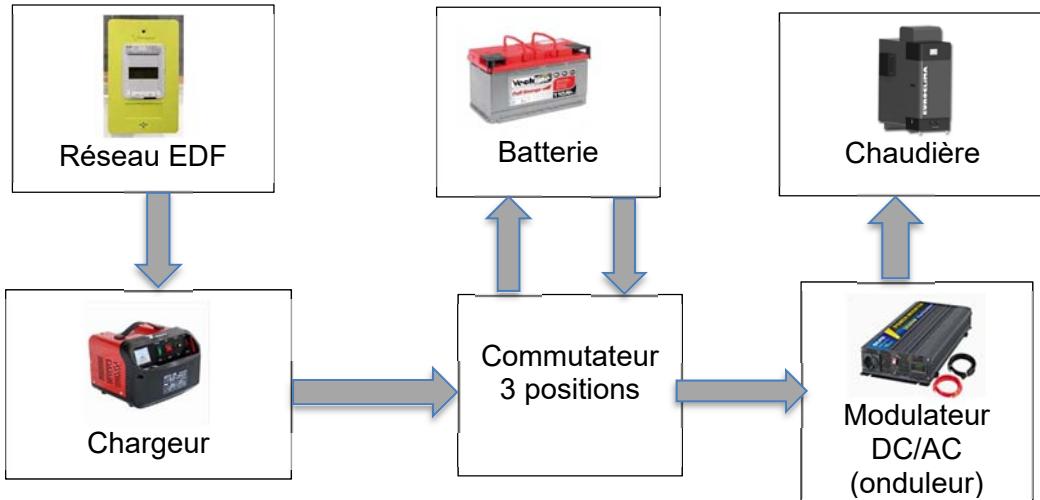
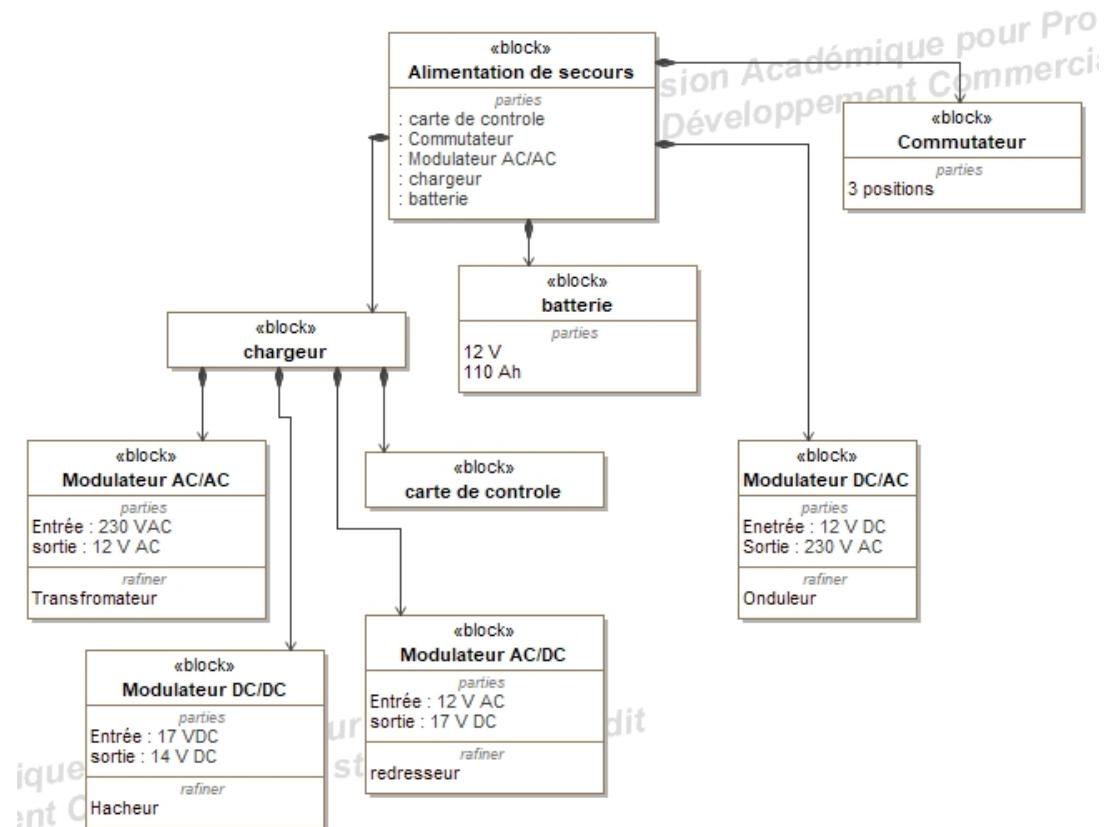
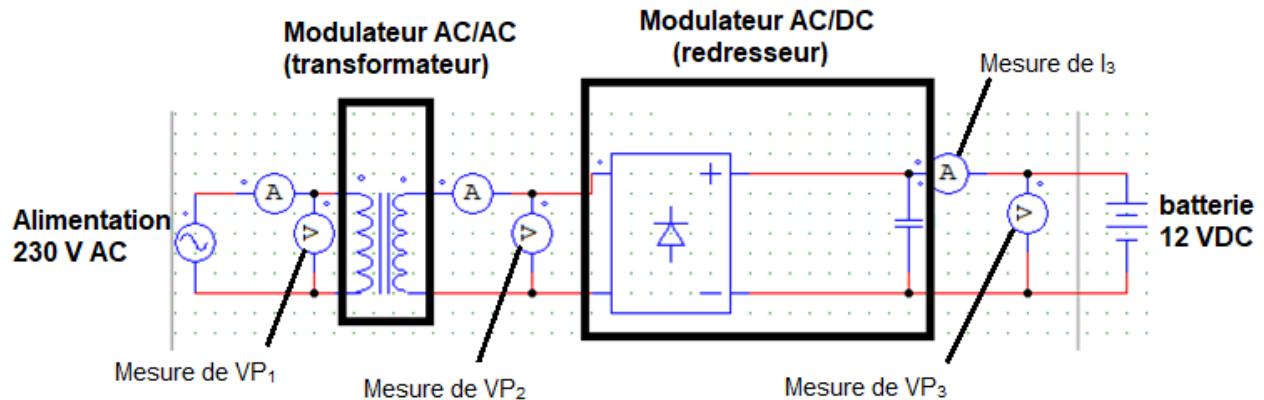


Diagramme B.D.D.



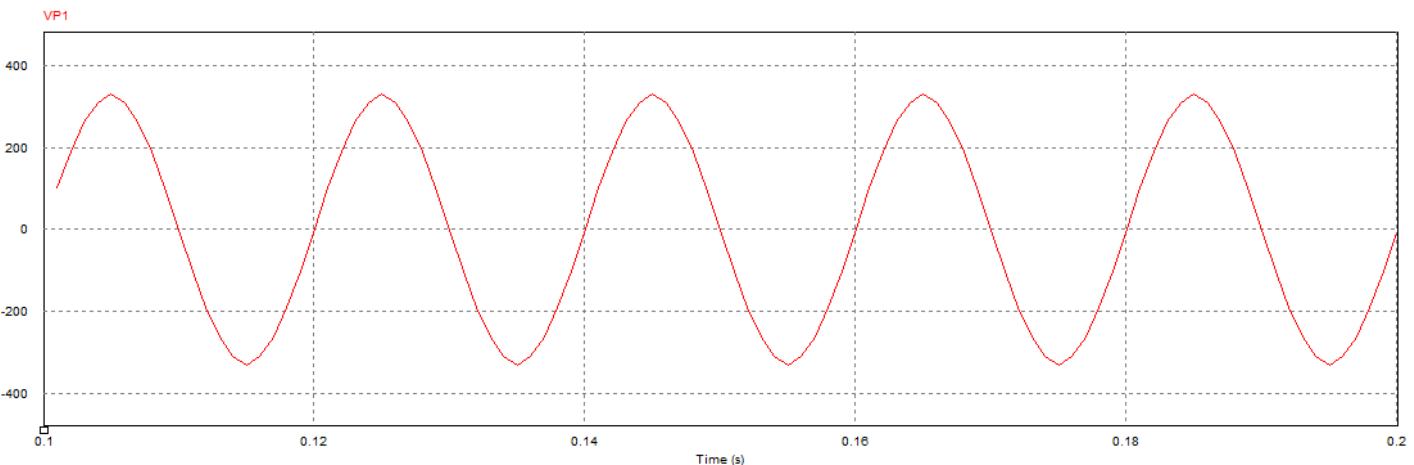
DTS6 : Simulation du modulateur AC/AC et du modulateur AC/DC

Présentation du système simulé :

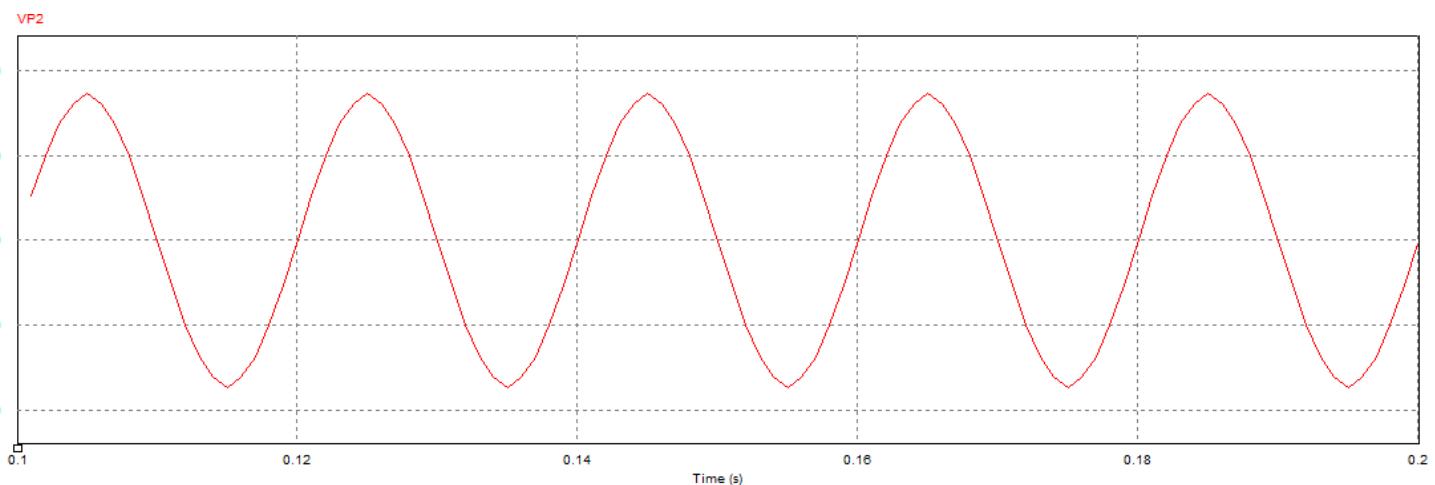


Résultats de la simulation :

Evolution de VP₁ en fonction du temps :

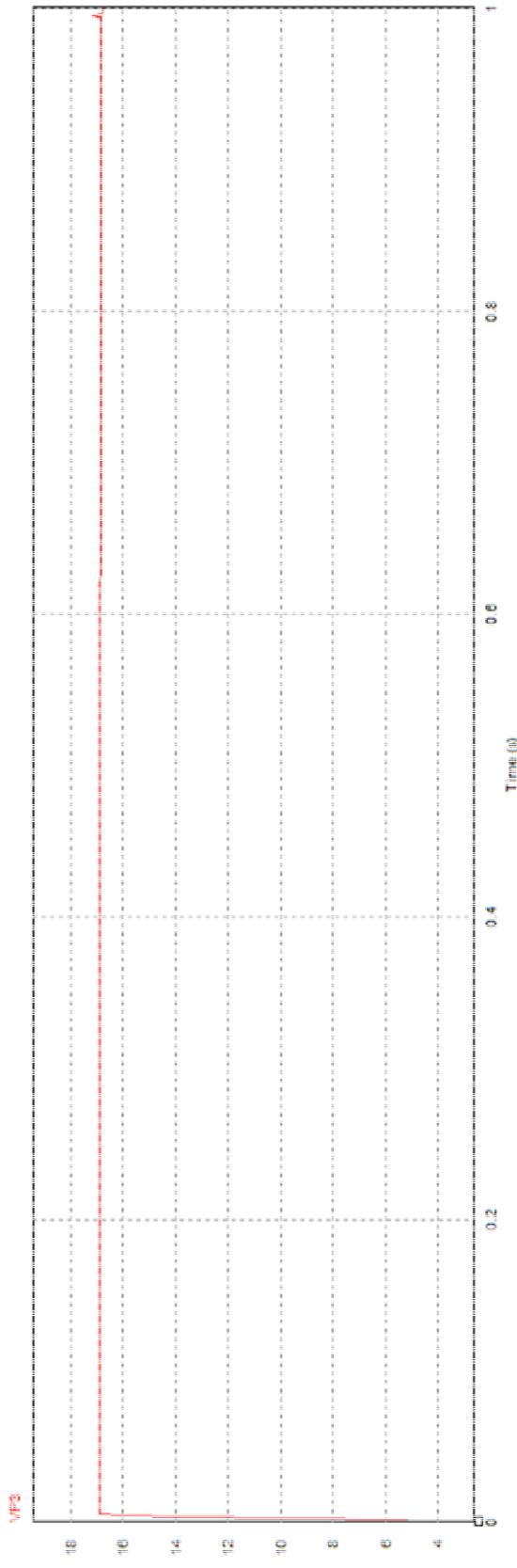


Evolution de VP₂ en fonction du temps

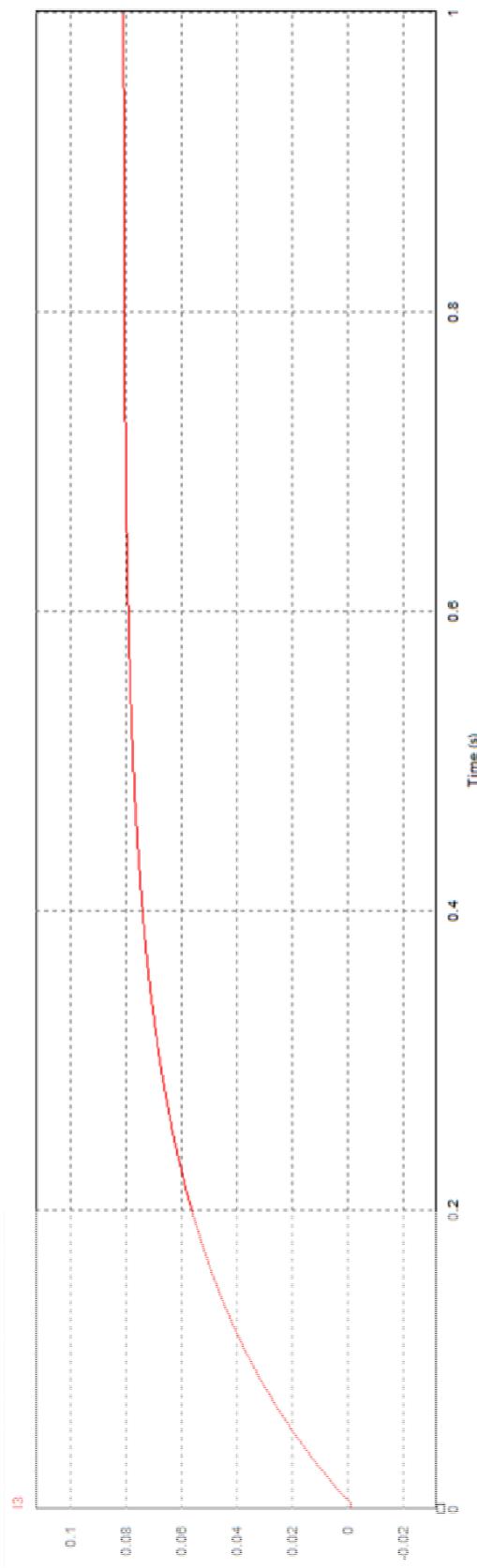


DTS7 : Simulation du modulateur AC/AC et du modulateur AC/DC

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 :

Matériaux : 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 :

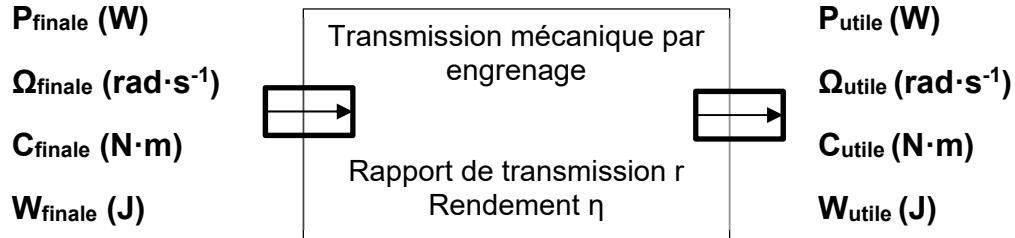
- **12 V**
- **110 A·h**

Prix : 177 €



DTS10 : Formulaire

1. Transmission mécanique par engrenage

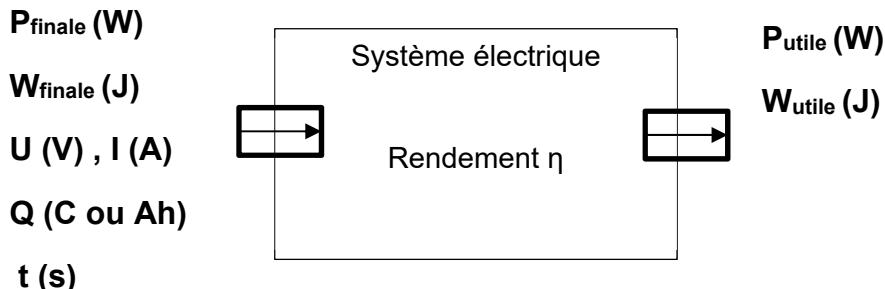


$$P_{finale} = C_{finale} \cdot \Omega_{finale}$$

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

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

2. Énergie électrique à tension continue



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

Quantité de charge : $Q = I \cdot t$

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

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

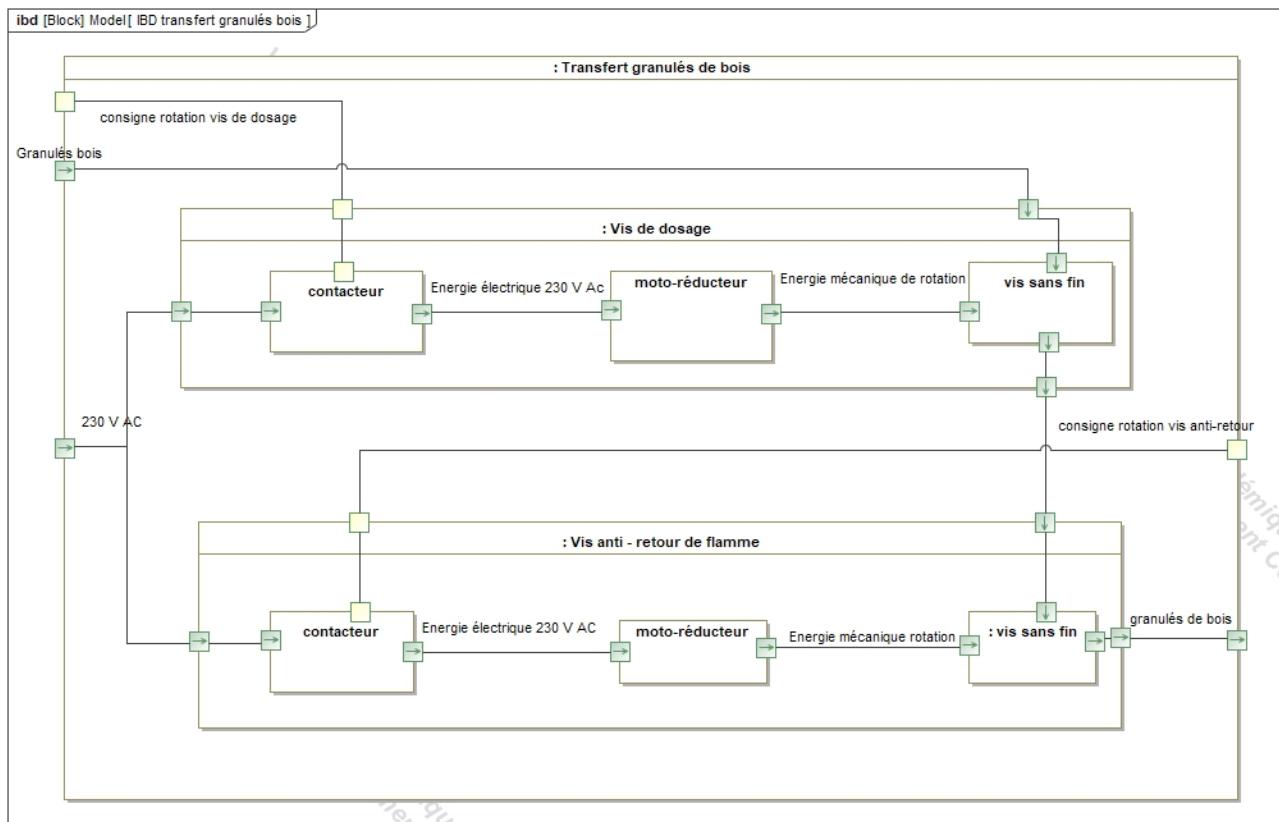
$$1 \text{ Wh} = 3 \text{ 600 J}$$

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	
Energie journalière totale (W_{jour}) :			

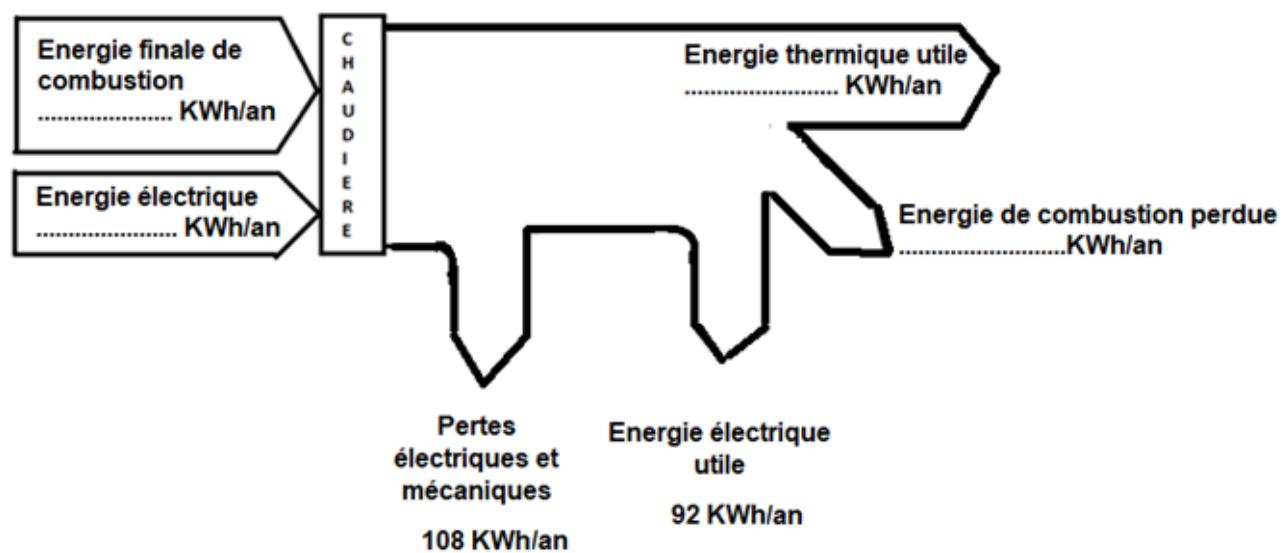
DRS3 : Bilan énergétique du chauffage d'une maison

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 :	

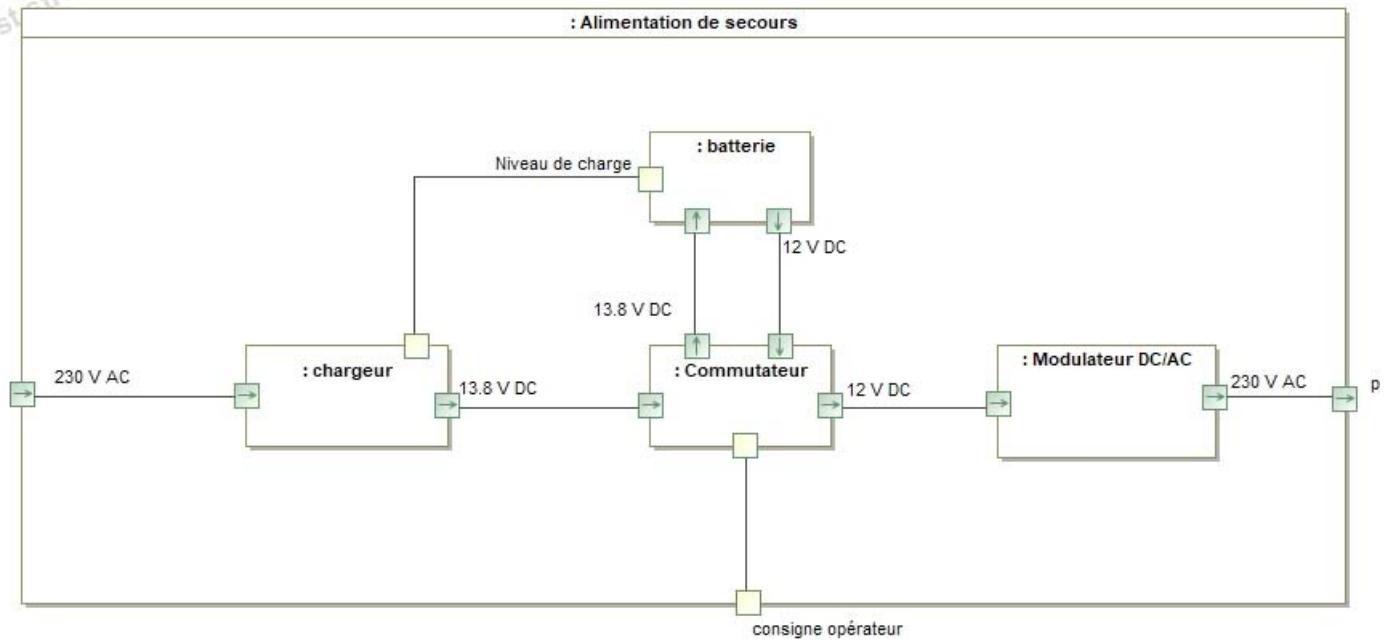
DRS4 : Diagramme de Sankey

Question B.5



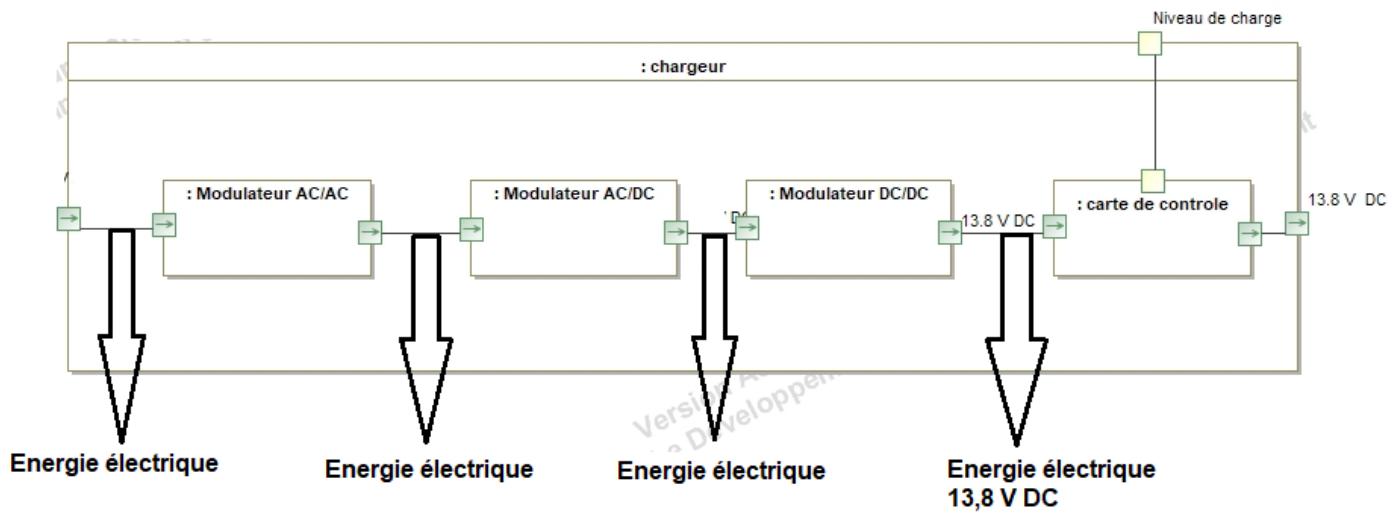
DRS5 : Diagramme IBD de l'alimentation de secours

Question C.1 ou D.1



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

Question C.4



PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO CONCEPTION

Chaudière à granulés



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement** 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 :

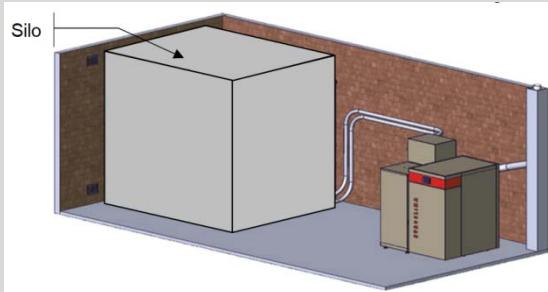
- une autonomie annuelle en besoin de granulés (Partie A) ;
- une sûreté de fonctionnement de l'alimentation en granulés (Partie B) ;
- une automatisation de l'alimentation en granulés de la chaudière (Partie C).

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.

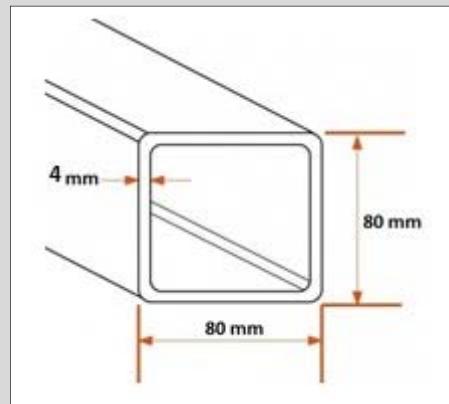


Le système de stockage (DTS3) est constitué d'une structure porteuse démontable, pour être transportée puis assemblée dans le local, et d'une poche textile souple pour contenir la réserve de granulés.

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

DTS2

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

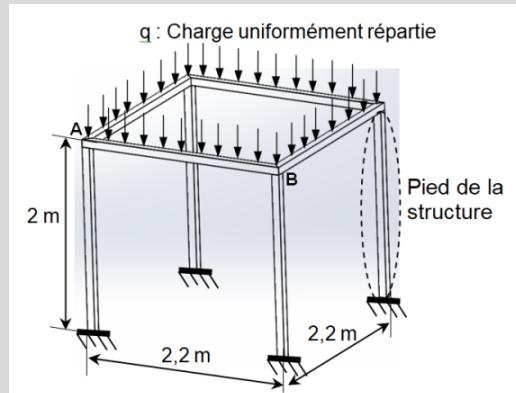
Dimensionnement de la structure porteuse : Le bureau d'études propose deux modèles pour la structure porteuse, représentées sur le DTS3. L'objectif est de valider et choisir la solution optimale.

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 $N \cdot m^{-1}$)



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.

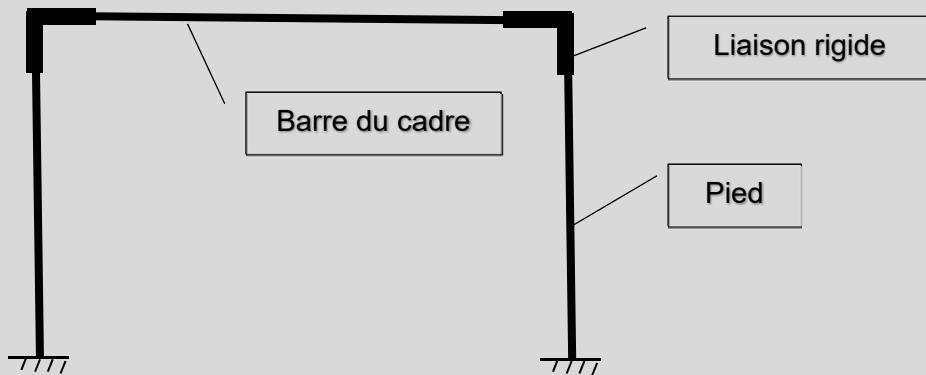
On rappelle que les pieds de la structure sont constitués de profilés creux de section 80 x 80 x épaisseur 4.

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 encastrements 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.



Poussée latérale accidentelle

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

La structure est constituée de profilés en S235 de limite élastique $R_e = 235 \text{ MPa}$.

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.

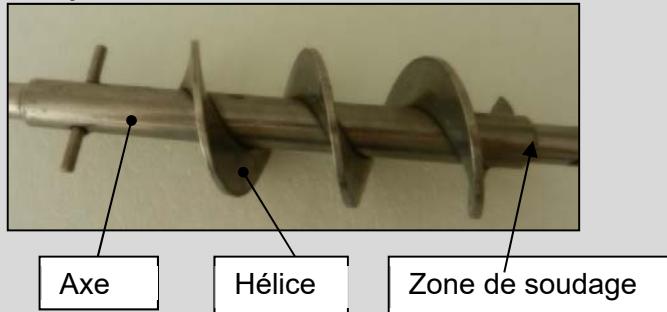
Question B.6
DTS6

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



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 α 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 | En vous aidant de la présentation du convoyeur sur le DTS9, **vérifier** que la densité des granulés est compatible avec les caractéristiques de ce type de convoyeur.
DTS1 ; DTS9

Question C.3 | Sur le DRS2, **tracer l'axe du tube** du convoyeur entre son point de départ D, et son point d'arrivée A.
DRS9; DRS2
Reporter les valeurs R et α sur le DRS2.

Question C.4 | En vous aidant des tracés effectués précédemment sur le DRS2, **déterminer** la longueur approchée du tube du convoyeur à installer.
DRS9; DRS2

PARTIE D : Synthèse

Question D.1 | En vous aidant des résultats obtenus dans les différentes parties, **conclure** sur la validité des différentes solutions mises en œuvre.

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

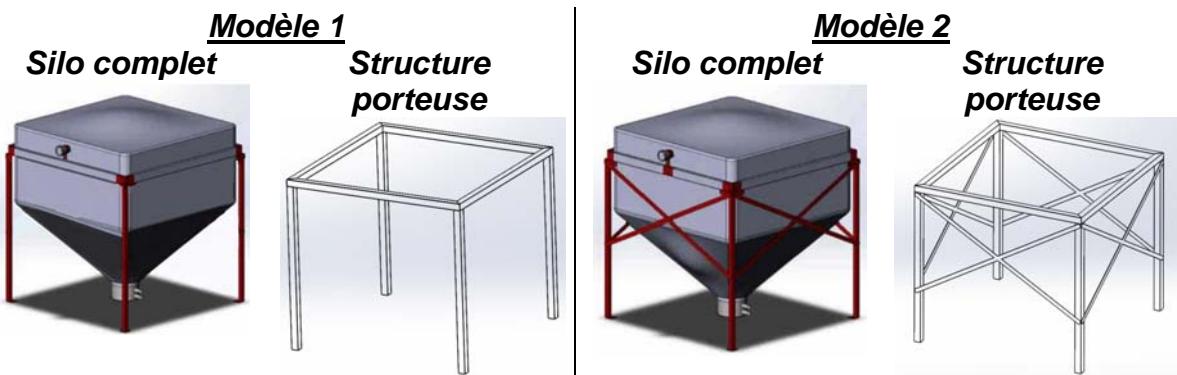
Tableau des caractéristiques physiques de la norme internationale ISO 17225-2, granulés de catégorie A1 (particuliers et petites puissances)

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

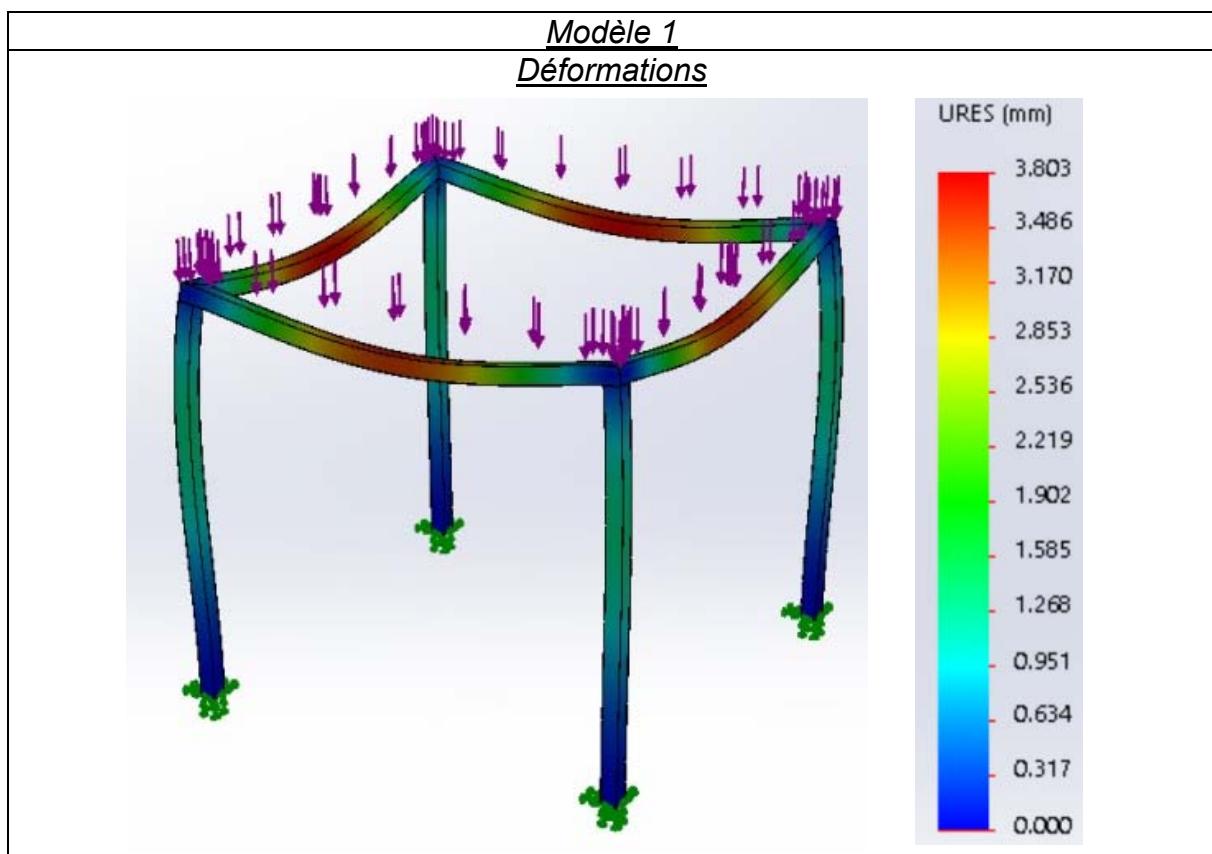
DTS2 : Silo textile pour stockage des granulés de bois

Type	Volume m^3	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

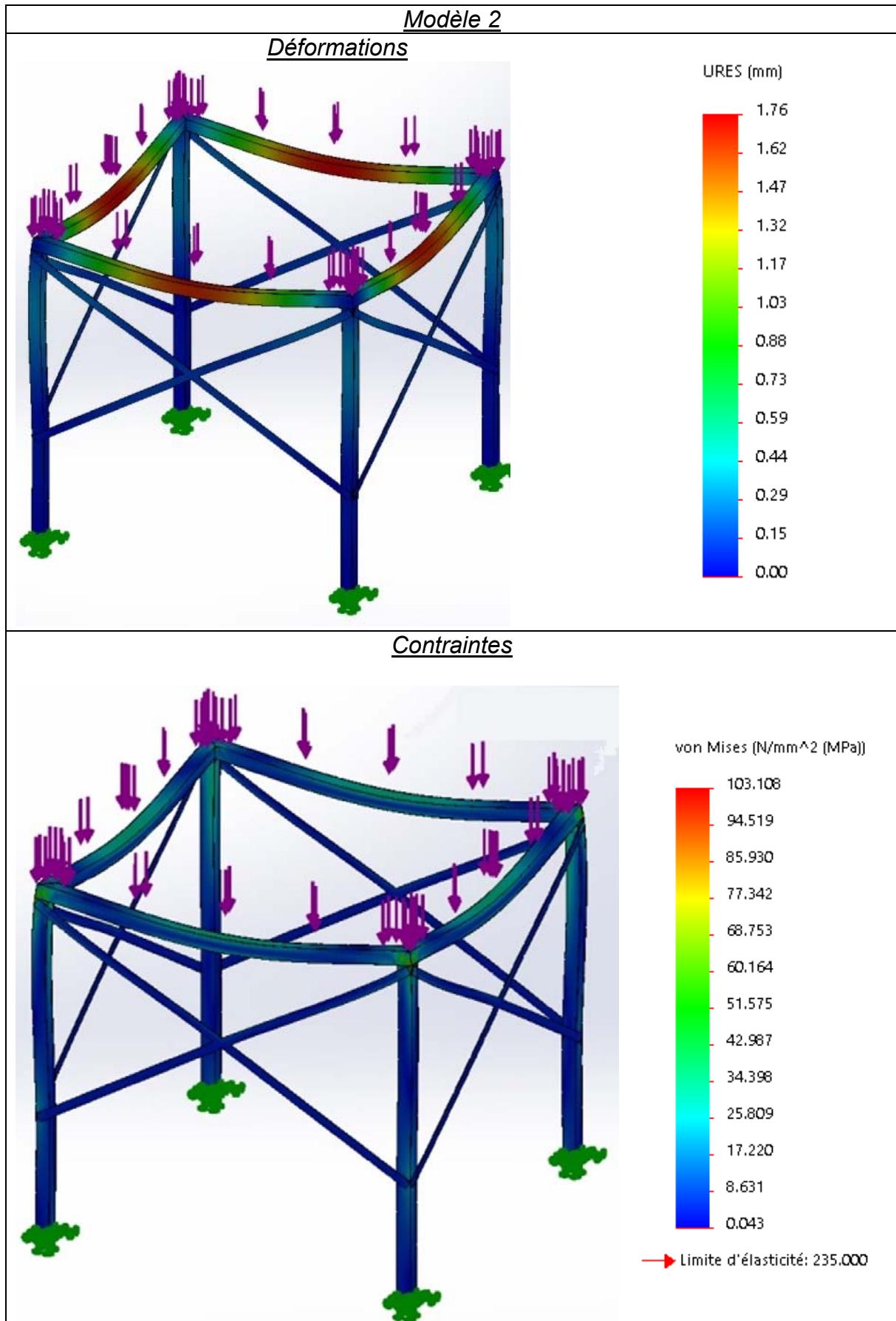
DTS3 : Solutions proposées par le bureau d'études



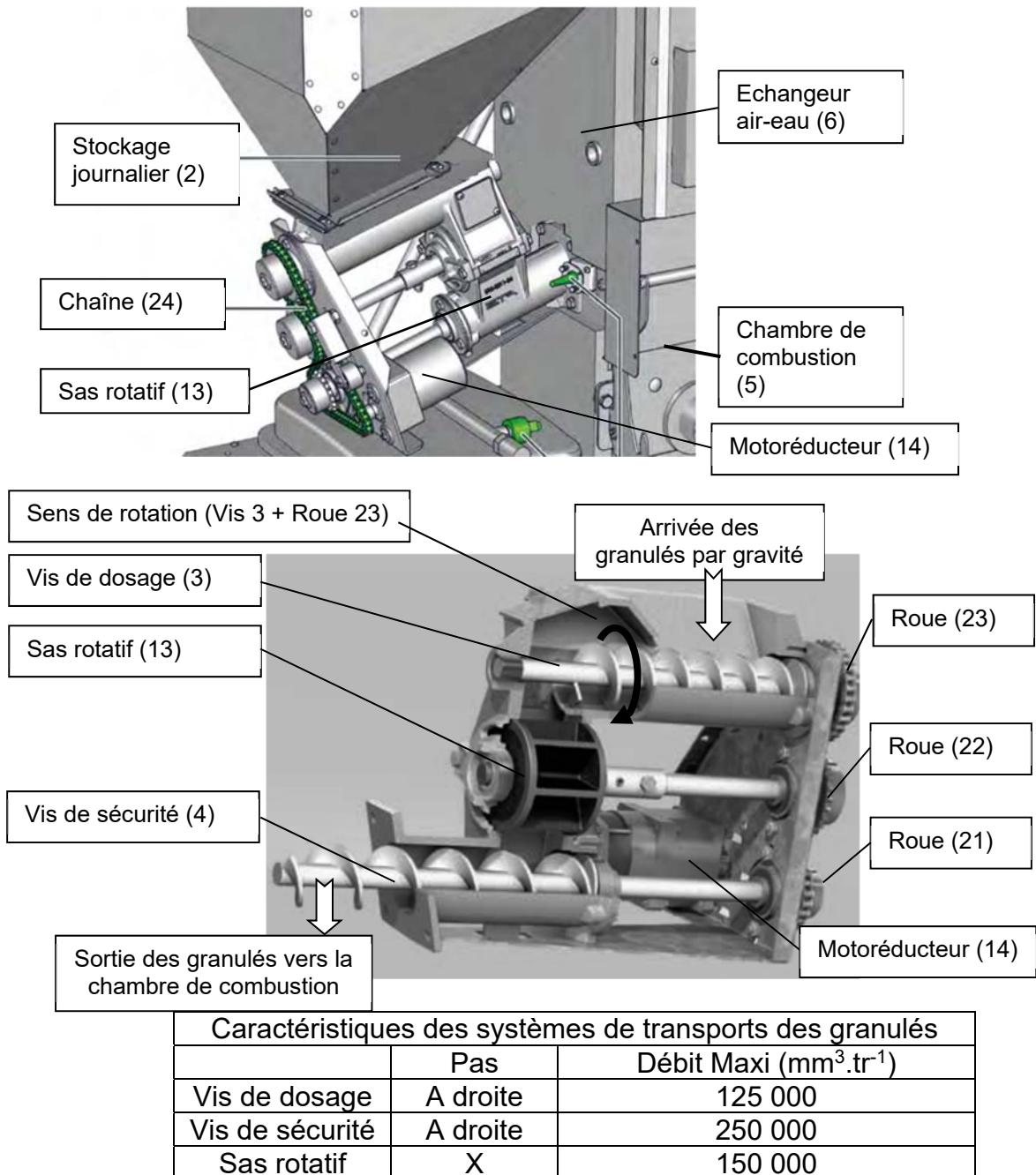
DTS4 : Résultats des simulations



DTS5 : Résultats des simulations



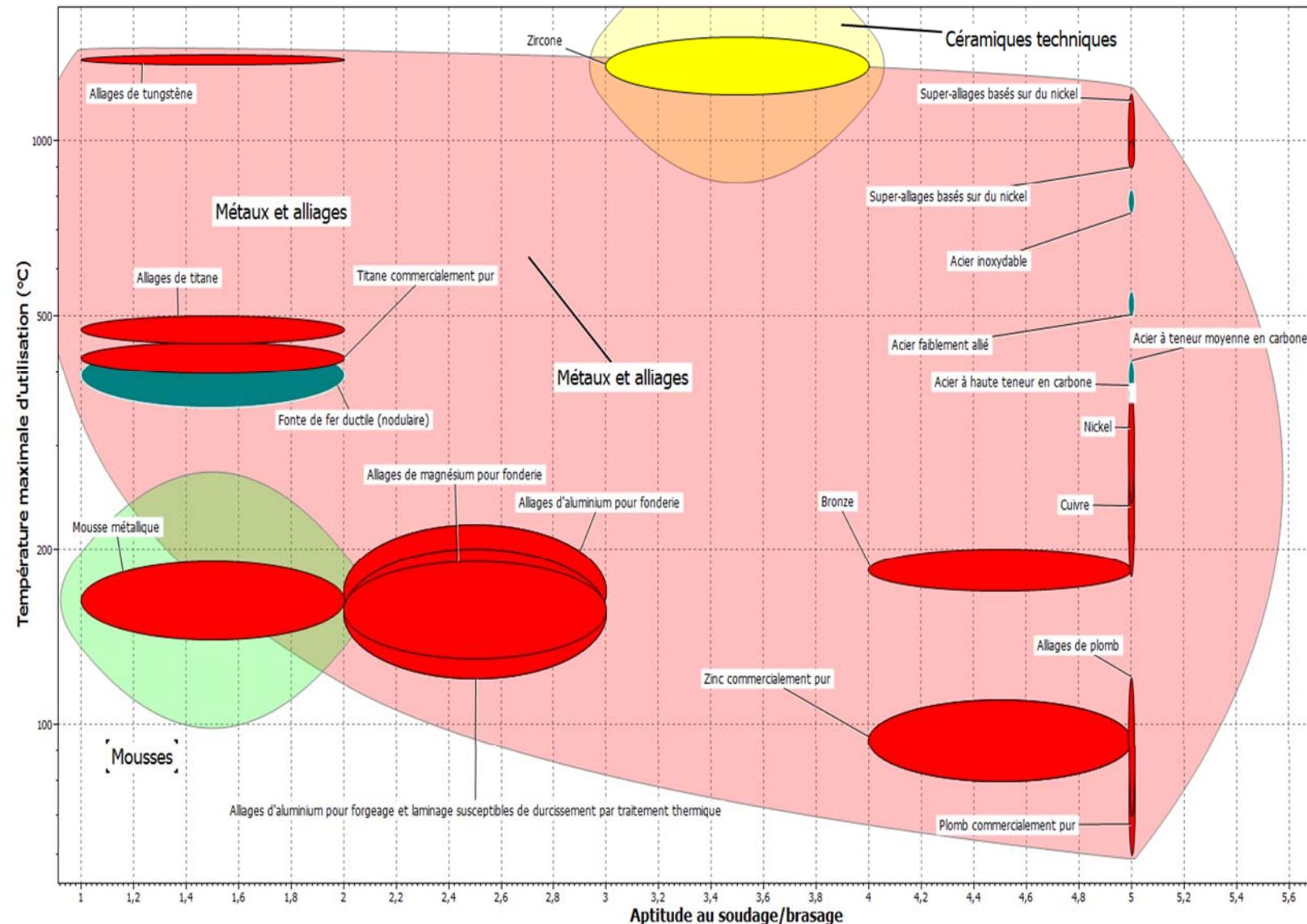
DTS6 : Écluse anti-retour de flamme



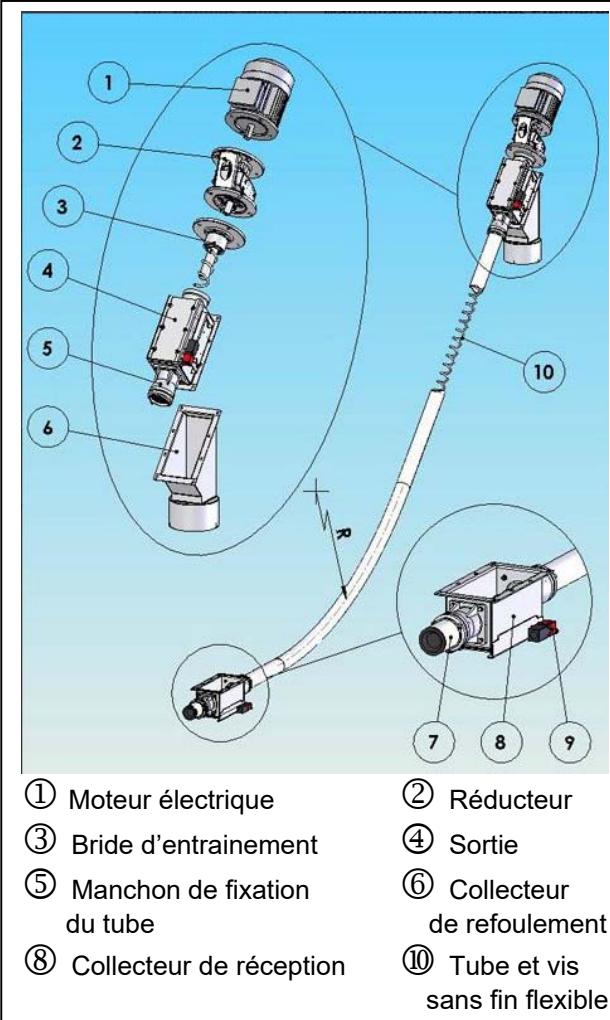
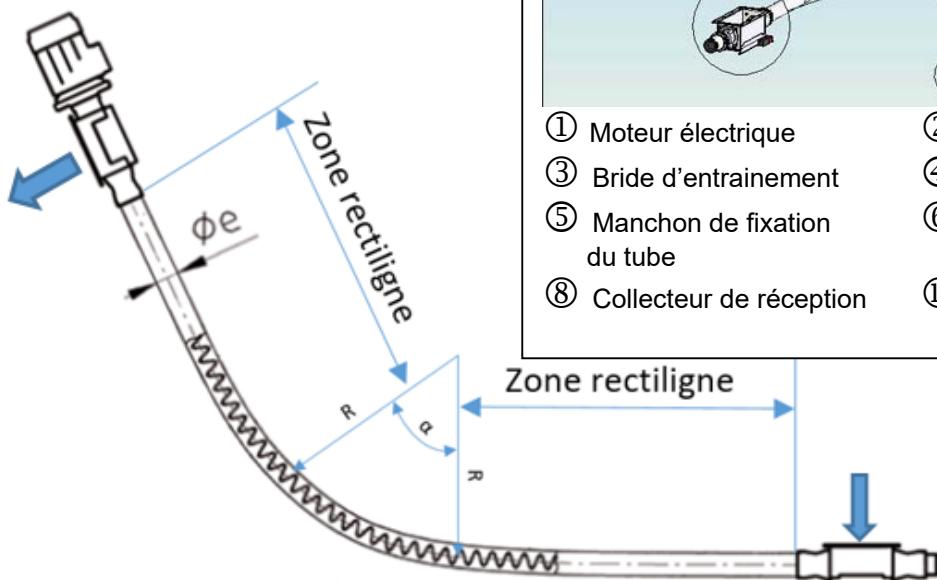
DTS7 : Solutions pour transmissions de puissance

Transmission	Avantages	Inconvénients	Températures de fonctionnement
Courroie plate	Vitesses importantes Silencieuse	Glissement possible Couples faibles Réglage de la tension de la courroie	Moyenne
Courroie synchrone	Synchrone - Silencieuse Vitesses importantes	L'entraxe doit être réglable	
Courroie trapézoïdale	Faible glissement Vitesses moyennes	L'entraxe doit être réglable	
Châînes	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 Øe	Capacité de transport en kg/h		R (mm)
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	
MA 40	180	120	800
MA 55	500	340	1000
MA 65	1100	720	1300
MA 70	1600	1080	1500
MA 80	2300	1540	2100
MA 90	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 $N = 930$ tr / min (moteur à entraînement direct 6 pôles).

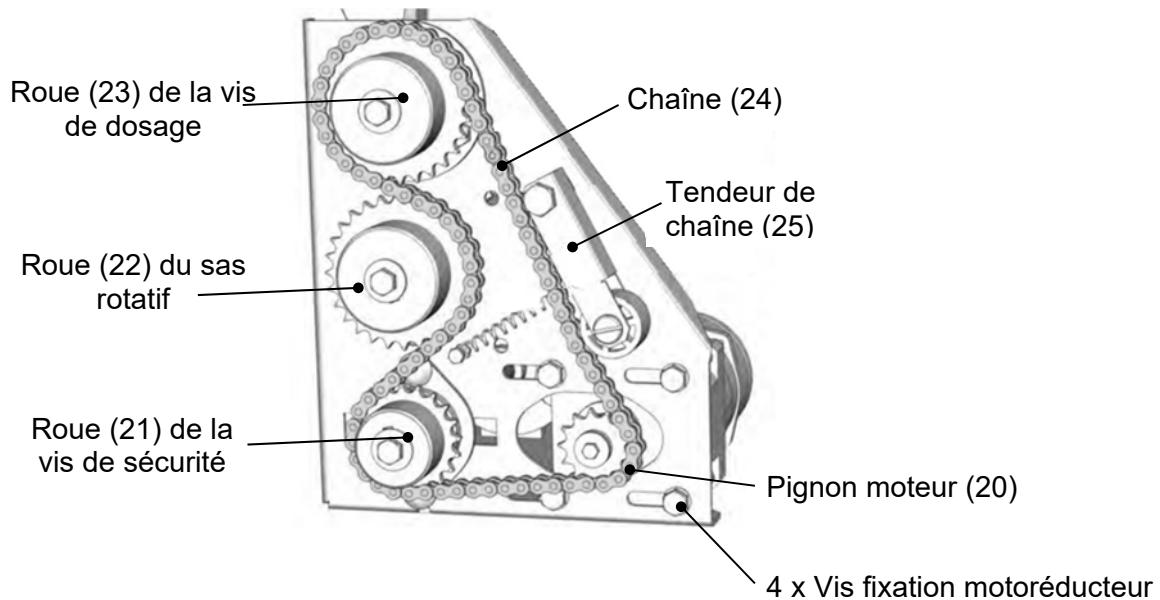
La capacité réelle est également liée à :

- 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.

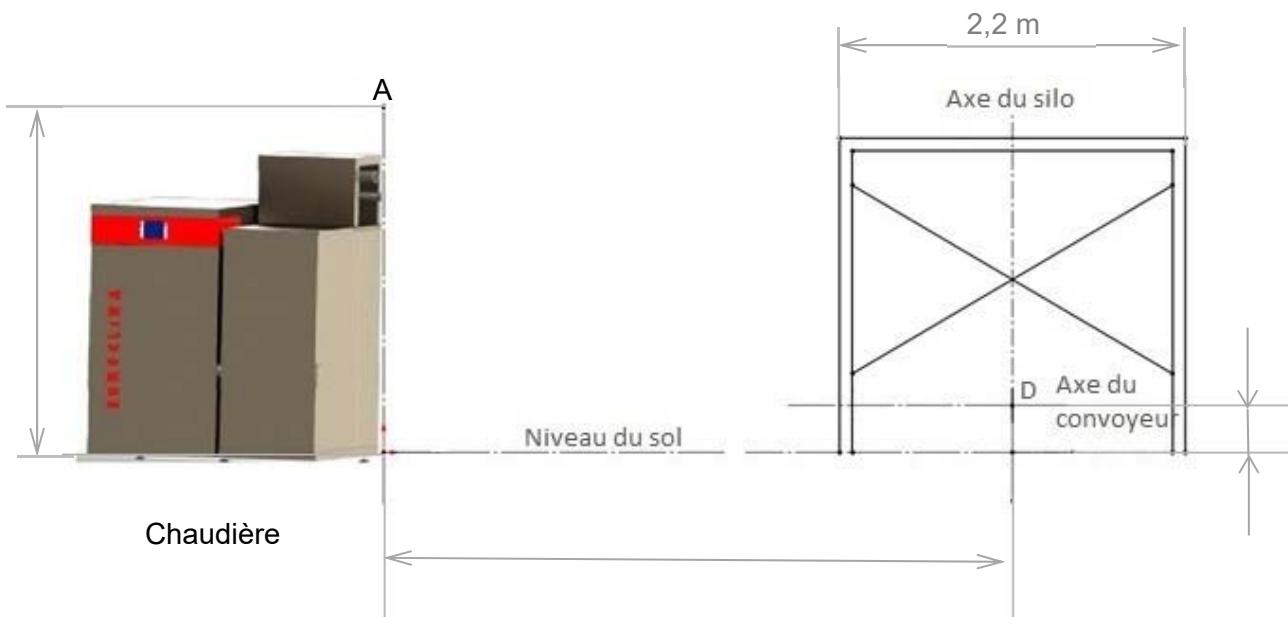
DRS1 : Etude cinématique de l'écluse anti-retour de flamme

	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



PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Chaudière à granulés



Constitution du sujet :

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

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

- 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 $m_{4\text{mini}}$ 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.
- DRS2
- 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 :

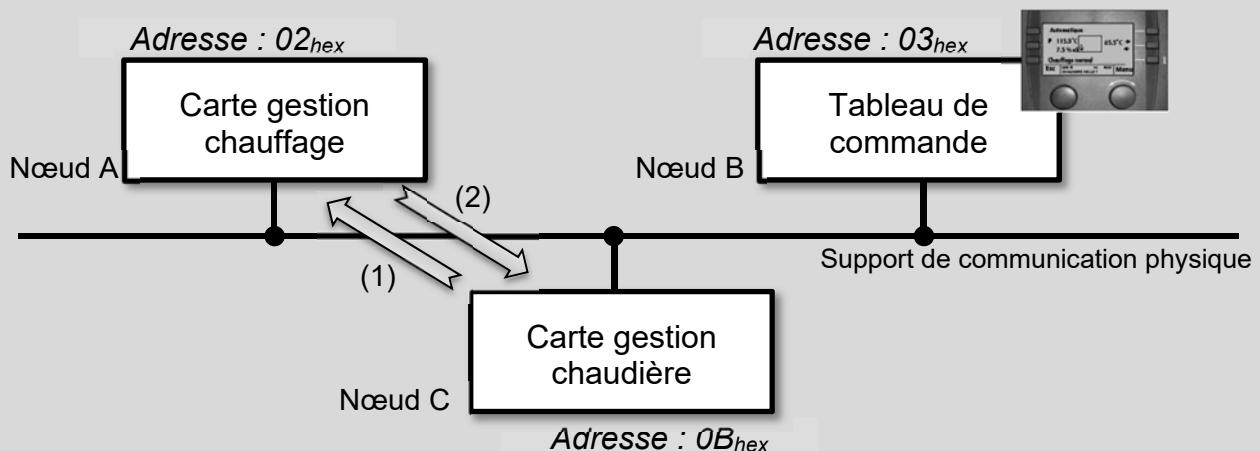
Un shield Ethernet est associé à la carte Arduino lui permettant de communiquer sur le réseau. Un serveur web et une base de données sont hébergés sur un Raspberry Pi. Le shield Ethernet de l'Arduino se comporte en client du serveur web et lui communique toutes les quatre heures la valeur *masseGranulesInt*, 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 DTS5 DTS7 DTS8	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 <i>masse</i> a été masqué 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 <i>masse</i> et donc la valeur transmise.
Question B.4 DTS7	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.

Choix 2 :

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

Pour la chaudière, la température eau départ chauffage θ_{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 :



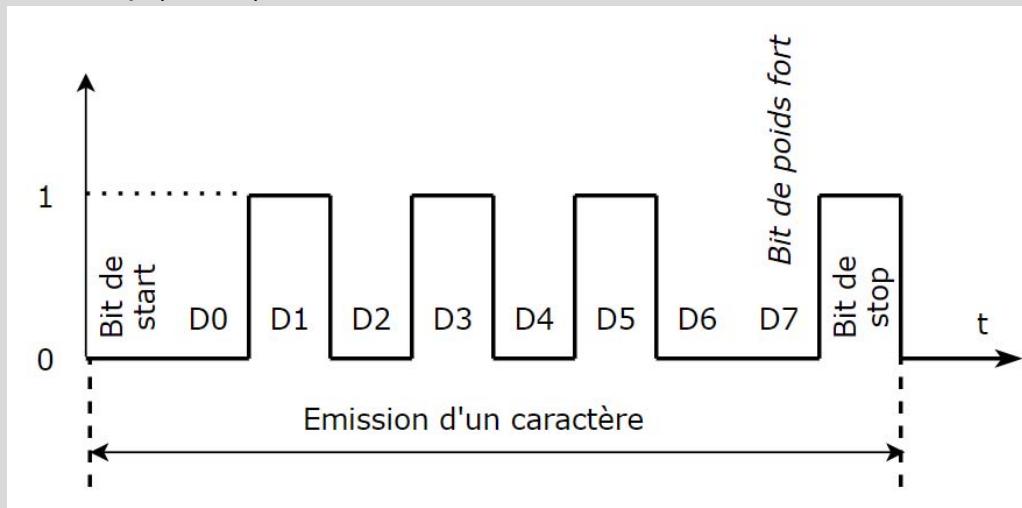
À intervalles de temps réguliers, la carte gestion chaudière interroge la carte gestion chauffage grâce à une trame de requête (1), celle-ci lui répond par une trame de réponse (2) en lui fournissant les informations manquantes : température eau départ chauffage θ_{edc} et température extérieure $\theta_{ext}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

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

La valeur de la consigne de température eau départ chauffage θ_{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 (θ_{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.
DRS5
DRS6

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

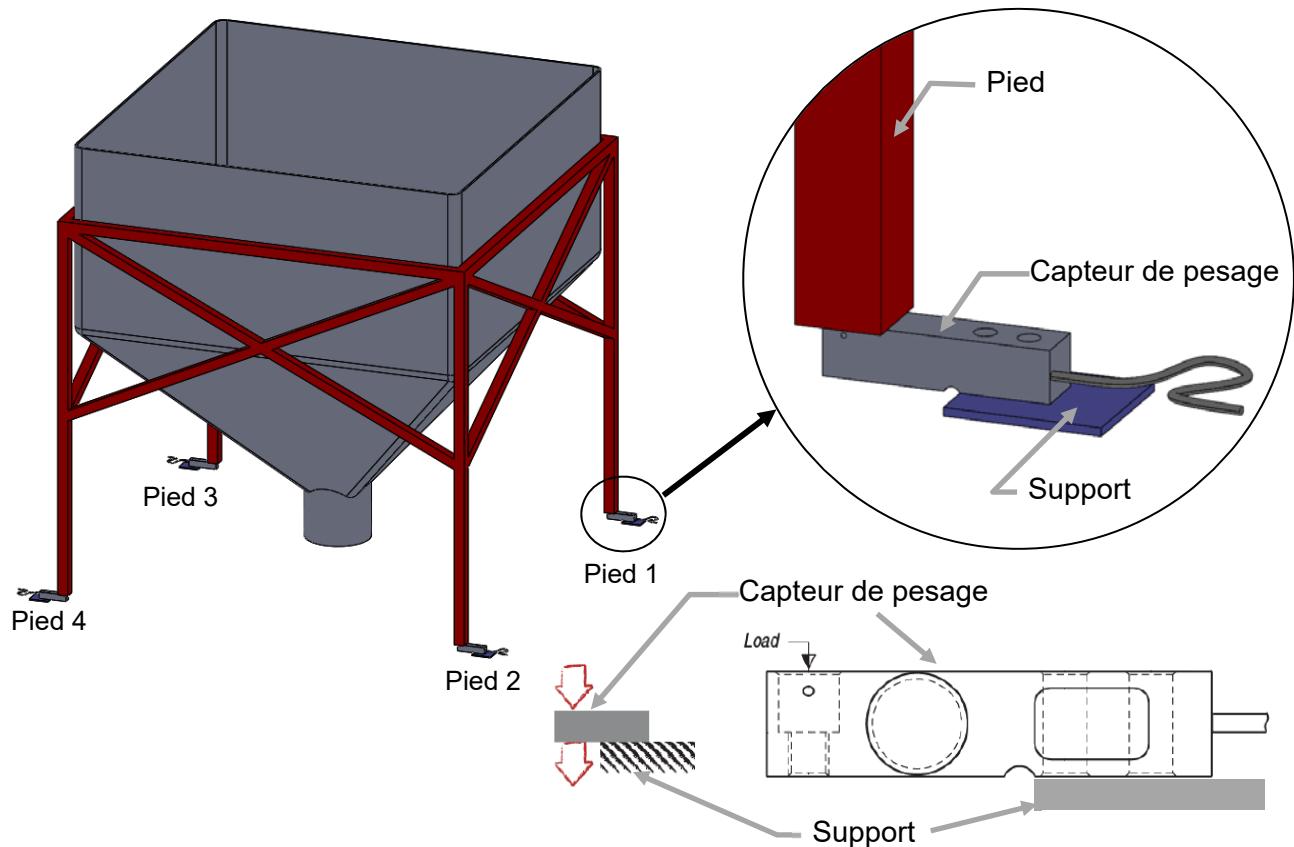
PARTIE E : Conclusion

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, calculer la taille minimale (en octets puis en ko) de la mémoire nécessaire si l'on veut archiver 10 ans de consommation. On considérera que l'installation fonctionne 245 jours par an.
Question E.2	A l'aide de études réalisées dans les parties A, D et E, conclure sur la viabilité de la solution retenue pour suivre la consommation de granulés.

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

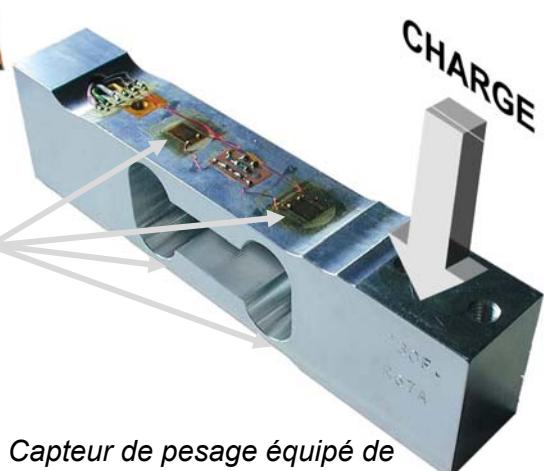


DTS2 : Fonctionnement d'un capteur de pesage à jauge de contrainte

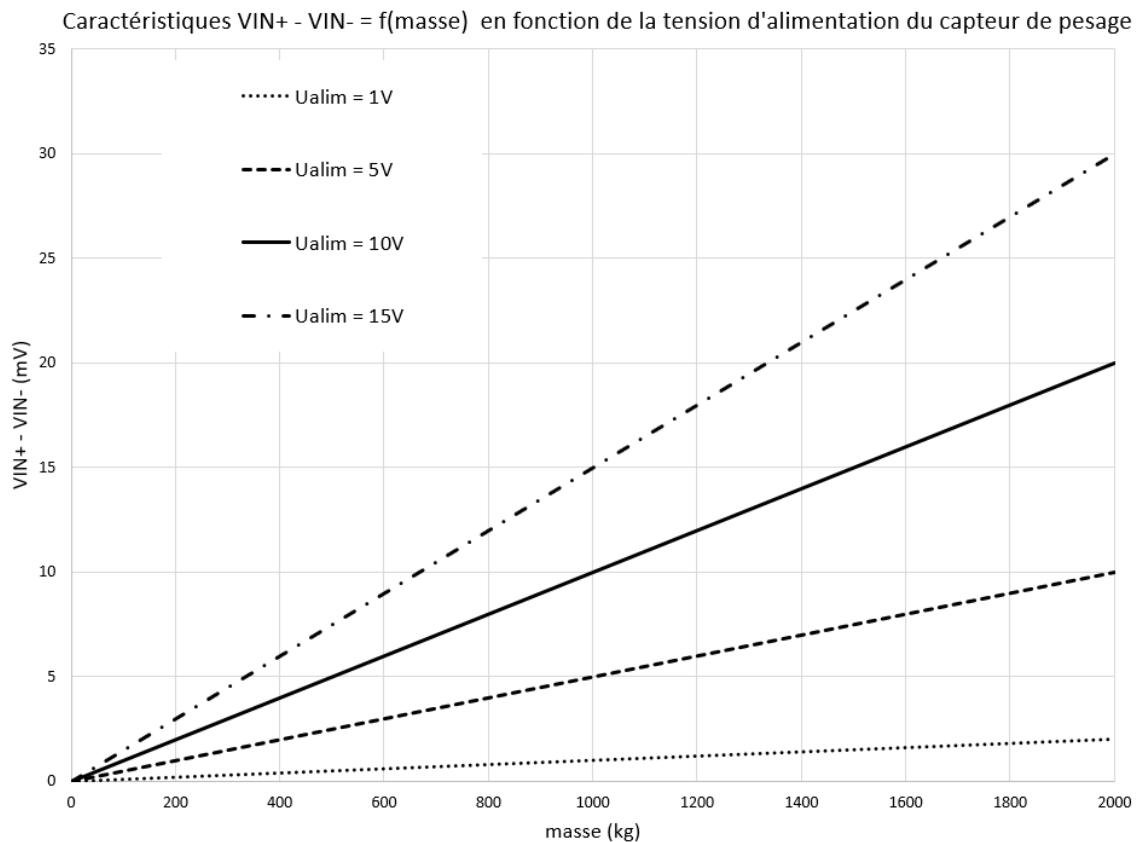
Un capteur de pesage est un barreau métallique qui a été usiné de sorte que certaines zones soient fortement soumises à la contrainte lorsqu'une force s'applique sur celles-ci. Des jauge de contrainte sont collées dans ces zones. Les jauge de contrainte les plus courantes sont constituées d'un fil très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



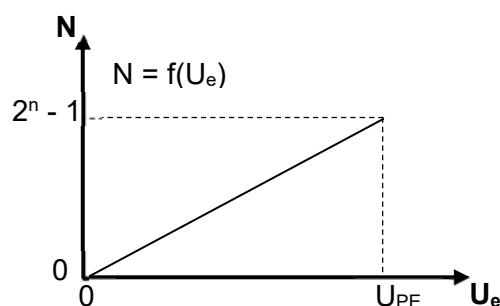
- Les jauge de contraintes sont collées aux endroits sensibles à la déformation
- Lorsqu'on applique la charge, le corps d'épreuve se déforme
- Les jauge collées suivent la déformation, entraînant une variation de leur résistance
- C'est à partir de cette variation qu'on obtient un signal électrique proportionnel à la charge



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



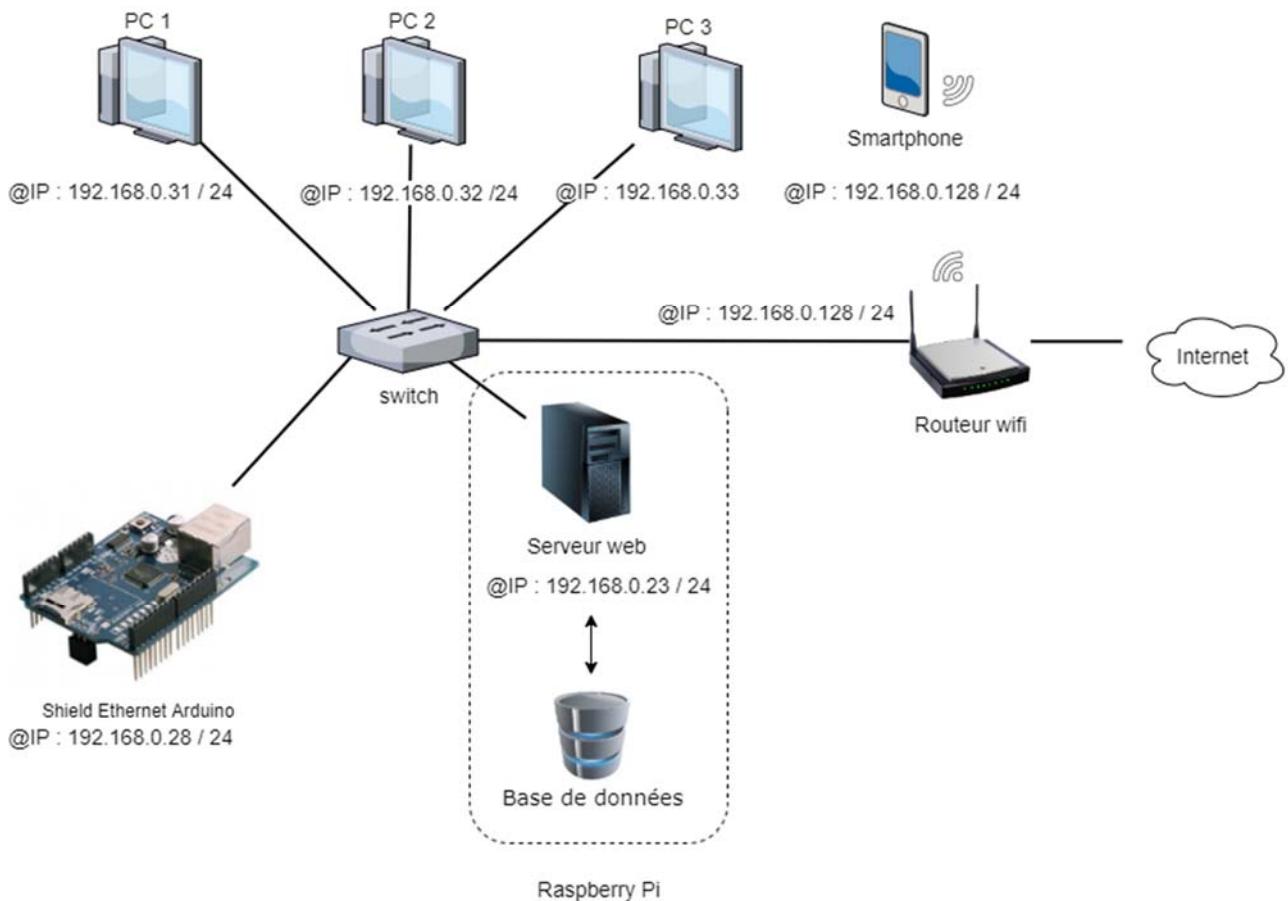
U_{PE} : Tension pleine échelle, tension d'entrée maximale du convertisseur

U_e : Tension d'entrée du CAN

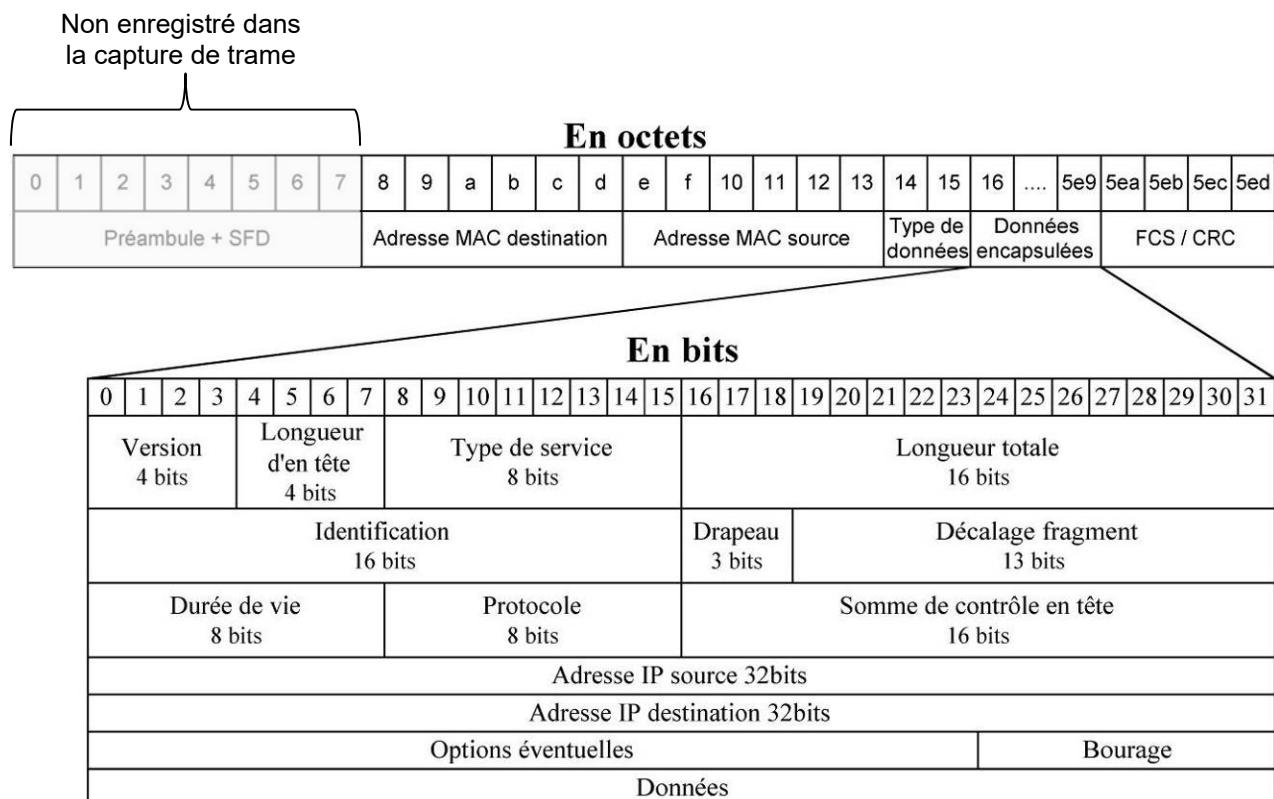
N : Valeur numérique, image de U_e

n : nombre de bits du CAN

DTS5 : Schéma du réseau domestique



DTS6 : Trame Ethernet



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=
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	???
0030	73	74	3a	31	39	32	2e	31	36	38	2e	30	2e	32	33	0d	HTTP /1.1 200 OK
0040	0a	43	6f	6e	6e	65	63	74	69	6f	6e	3a	20	63	6c	6f	st:192.1 68.0.23.
0050	73	65	0d	0a	0d	0a											·Connect ion: clo
																	se....

Trame codée en hexadécimal

Trame codée en ASCII

DTS8 : Table ASCII

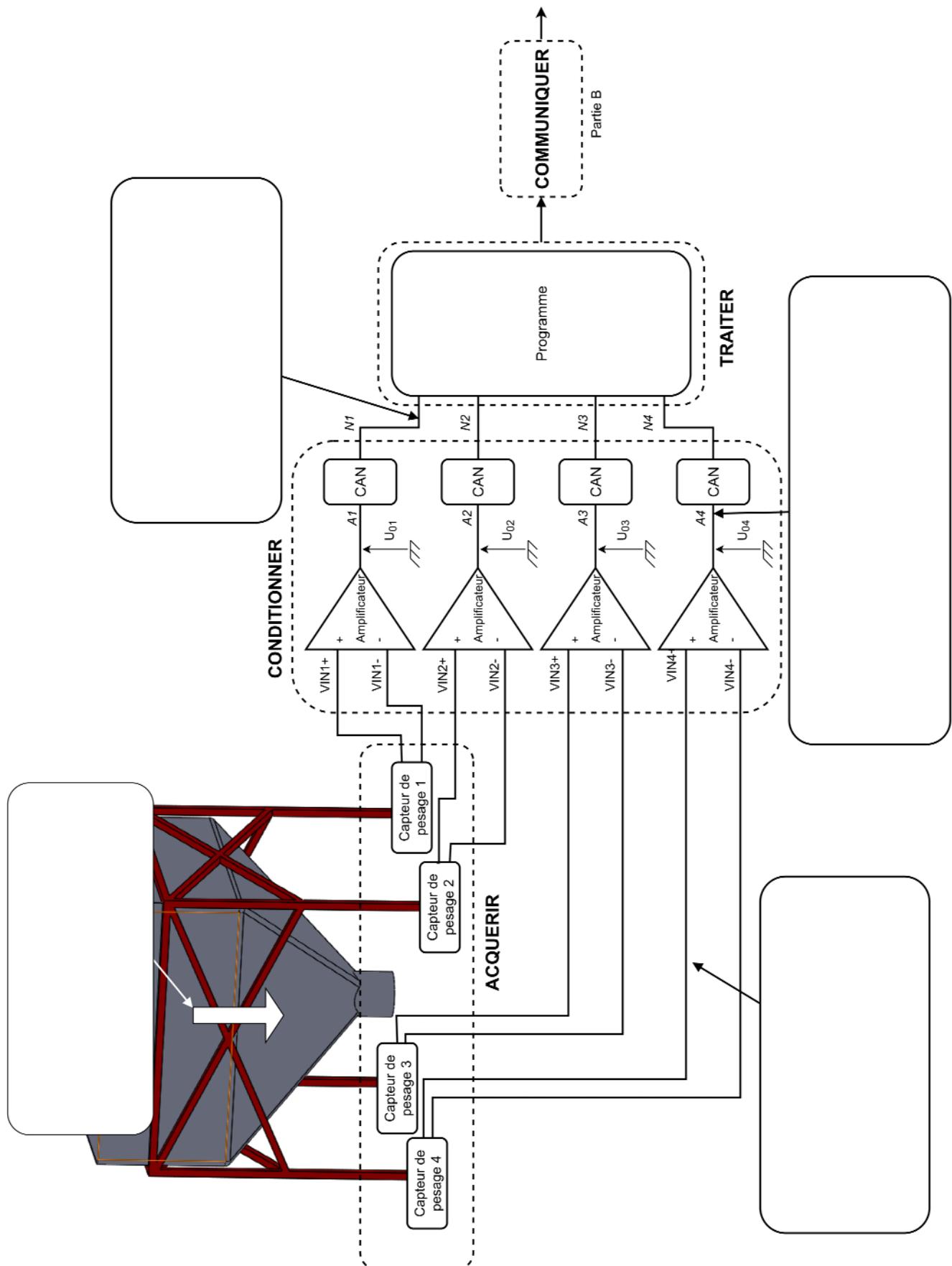
ASCII TABLE

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	[END 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

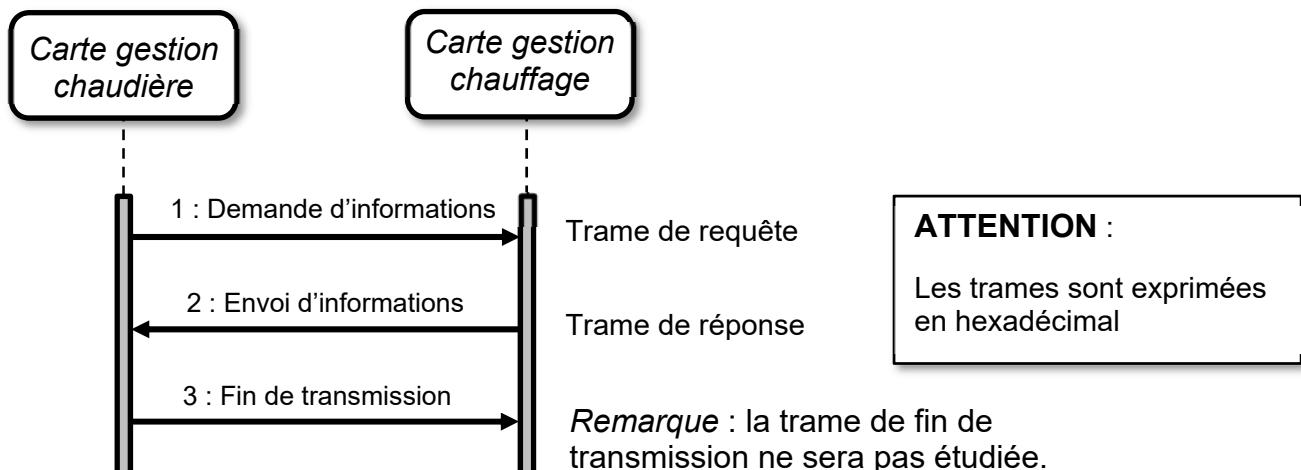
lectureEntreeAnalogique(broche) est une fonction qui permet d'obtenir la valeur numérique image de la tension présente sur l'entrée analogique *broche*.

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
...	...	05	00	01	AA	77	00	AA

protocole trame de réponse (2)

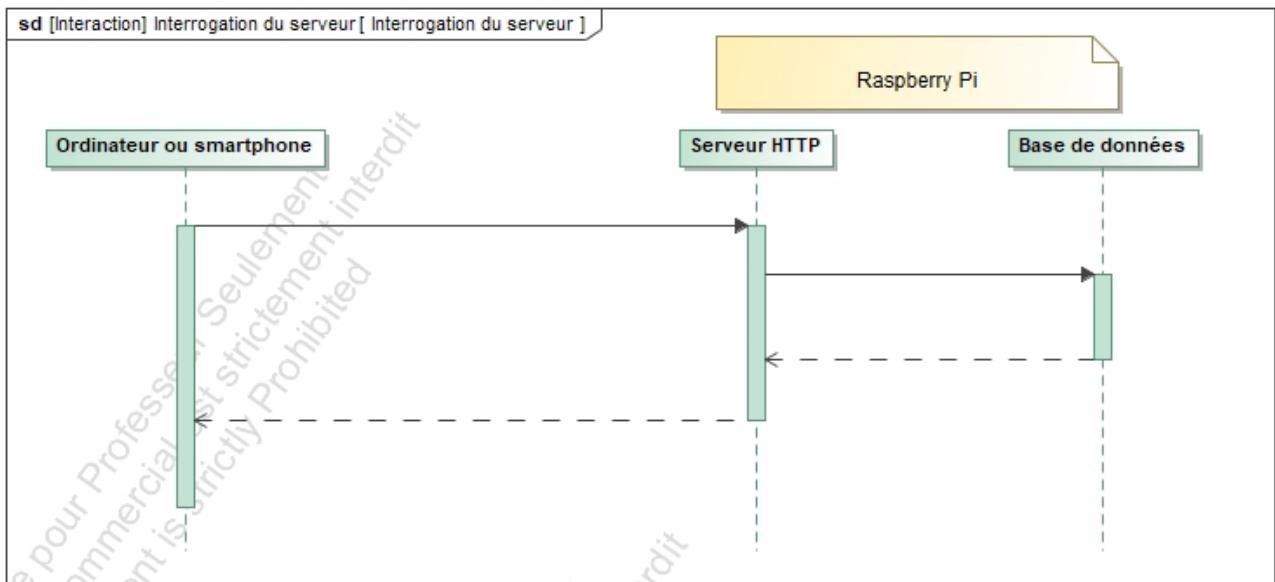
Adresse source	Adresse destination	Contrôle chaudière	Contrôleur données	Nbre d'octets données	Statut chauffage	Consigne temp. eau départ chauffage	Consigne temp. ECS (57°C)	Suite de la trame ci-dessous
1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	
...	...	05	01	05	AA	...	39	

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
	...	64	A2	00	AA

DRS4 : diagramme de séquence

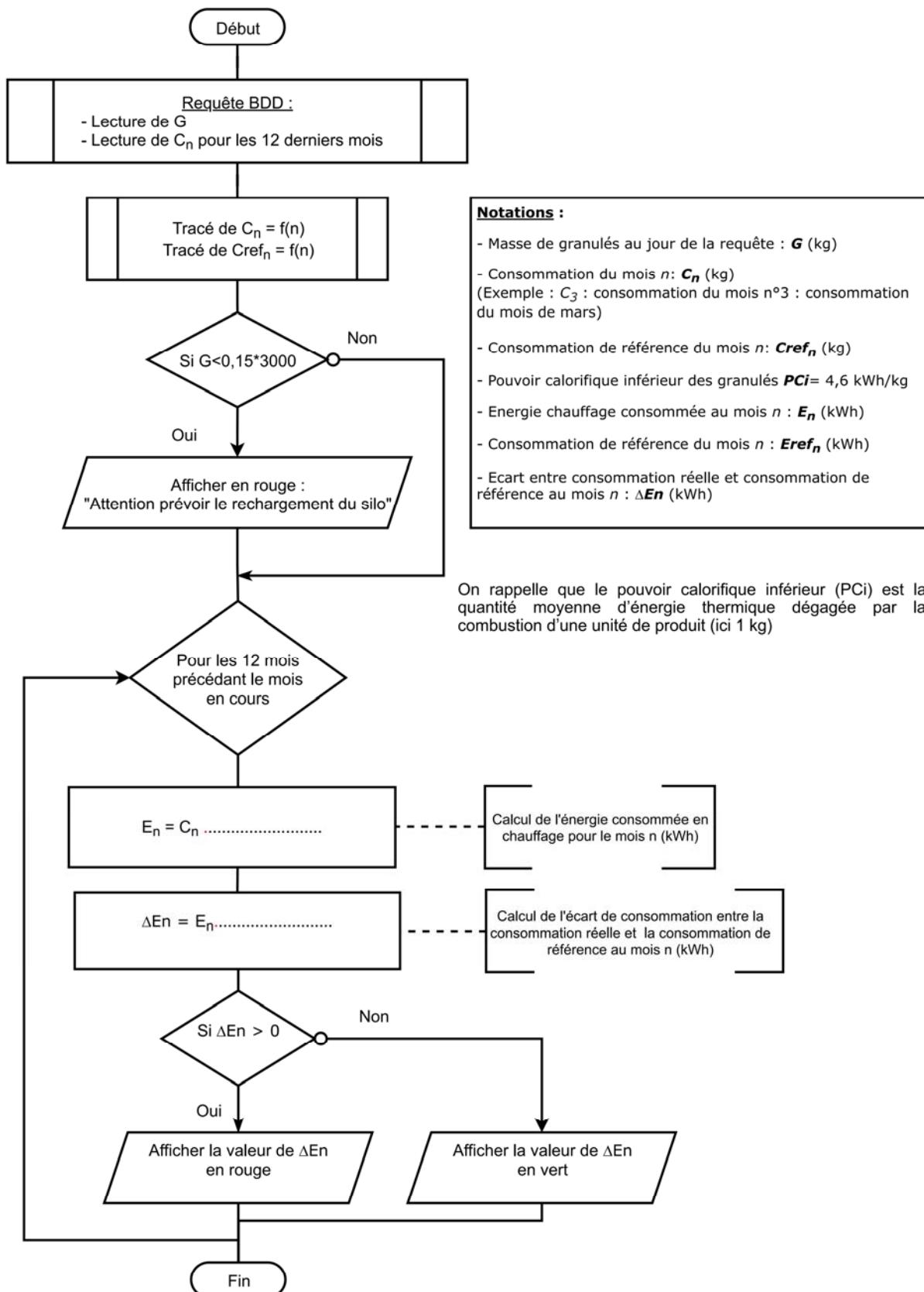
Question D.1



- 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
G (kg)	430	2707	904
Affichage "Attention prévoir le rechargement du silo" (O/N)			
E_n (kWh)	197	2487	863
E_{refn} (kWh)	658	1897	1068
ΔE_n (kWh)			
Couleur d'affichage de ΔE_n			