



Ce document a été mis en ligne par l'organisme [FormaV®](#)

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :

[www.formav.co/explorer](http://www.formav.co/explorer)

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2021**

## **SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE**

**Ingénierie, innovation et développement durable**

**INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION**

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 32 pages numérotées de 1/32 à 32/32.

**Constitution du sujet :**

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>Partie commune (durée indicative 2h30)</b>    | 12 points |
| <b>Partie spécifique (durée indicative 1h30)</b> | 8 points  |

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

**Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.**

**Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie**

**Chaudière à granulés**



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

## Mise en situation

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

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

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

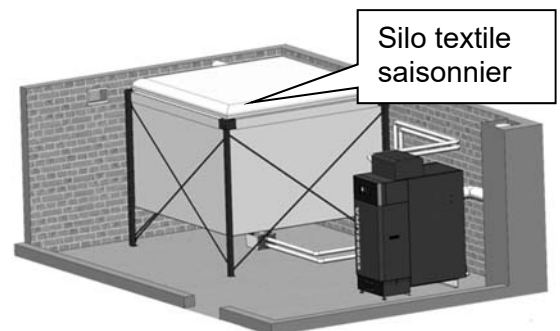
Les granulés sont fabriqués à partir de résidus, copeaux et sciures de bois, issus de l'industrie du bois (menuiserie, parqueterie, fabrique de palettes...), qui sont agglomérés ensemble, sans agent de liaison, pour former de petits cylindres compacts. Moderne et facile d'utilisation, la chaudière à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



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

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

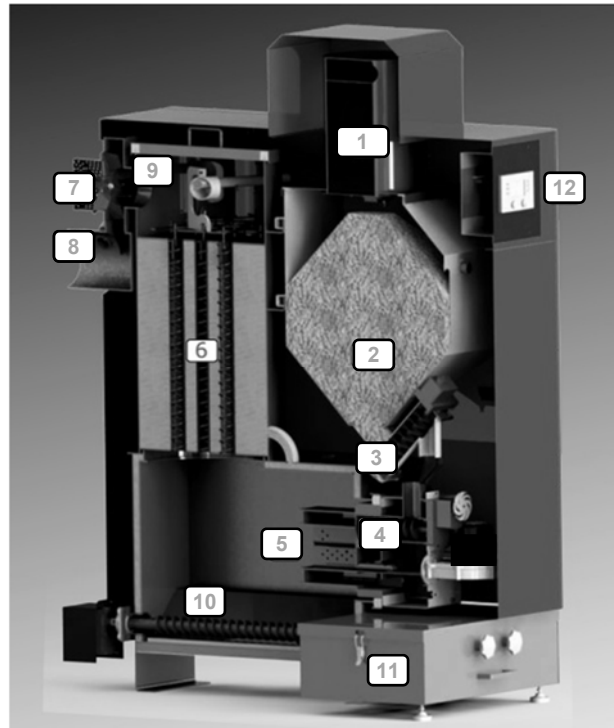
Le volume de ce silo textile saisonnier doit être adapté à la consommation annuelle afin d'éviter les rechargements en cours de saison de chauffe.



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

## Présentation de la chaudière

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

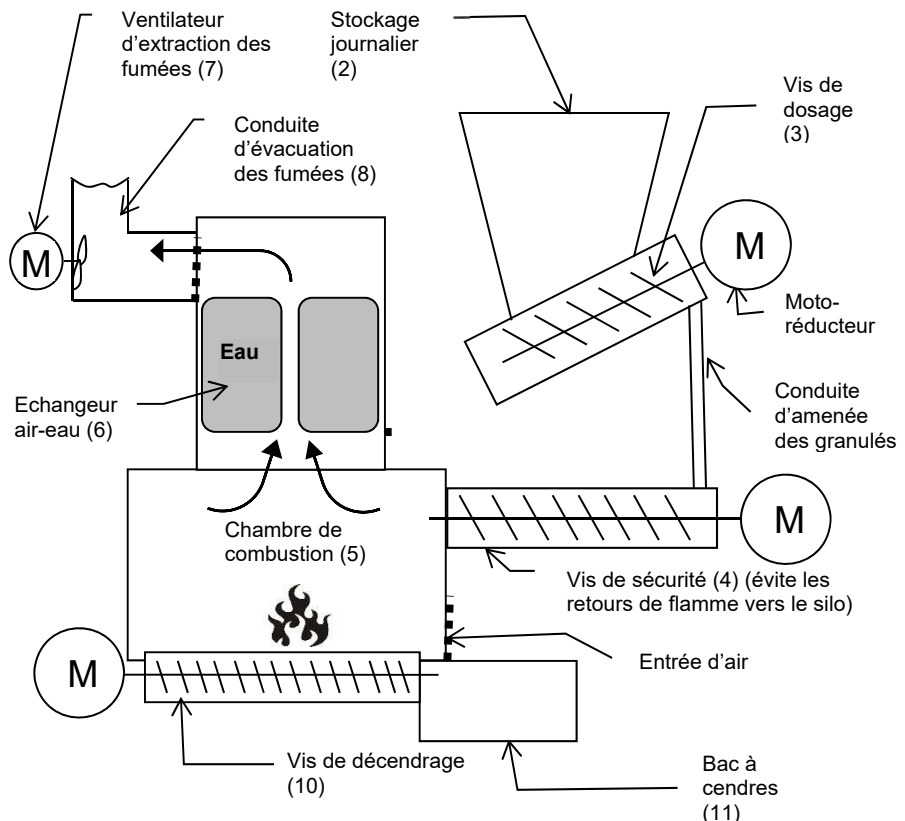


### Description du fonctionnement

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

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

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



## Travail demandé

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

---

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

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

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

Question 1.3 | **Recopier et compléter** le tableau ci-dessous. **Indiquer** l'énergie qui émet le plus de gaz à effet de serre pour le chauffage des foyers français en *kg.équivalent CO<sub>2</sub>/ MW·h utile*.  
DT1

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

Question 1.4 | **En déduire** par quelle énergie il faut remplacer le fioul pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

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

---

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

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

Question 2.1 | **Expliquer** pourquoi les particules PM10 sont dangereuses pour les humains.  
DT1 (feuillet 1/2)

|                                    |                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Question 2.2<br>DT1 (feuillet 2/2) | <b>Calculer</b> le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois par les ménages et le <b>comparer</b> avec celui du trafic routier.                                                               |
| Question 2.3<br>DT1 (feuillet 2/2) | <b>Calculer</b> le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois de chauffage pour les ménages équipés de cheminées à foyer ouvert.                                                                |
| Question 2.4<br>DT1 (feuillet 2/2) | <b>Évaluer</b> les conséquences du remplacement des appareils à foyer ouvert par un chauffage aux granulés sur le pourcentage des émissions totales de PM10. <b>Conclure</b> sur l'intérêt d'un chauffage bois aux granulés. |

### Partie 3 : comment évaluer la consommation annuelle en granulés ?

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

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

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

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

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

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

|                          |                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Question 3.4<br>DT4, DT5 | <b>Calculer</b> le volume de granulés à stocker (en m <sup>3</sup> ) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe.<br><b>Justifier</b> 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<br>DT6 | <b>Déterminer</b> graphiquement ces deux valeurs pour l'année 2019.<br><b>Expliquer</b> l'écart entre ces deux valeurs (production et consommation). |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

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

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

## Partie 4 : comment optimiser le fonctionnement de la chaudière ?

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

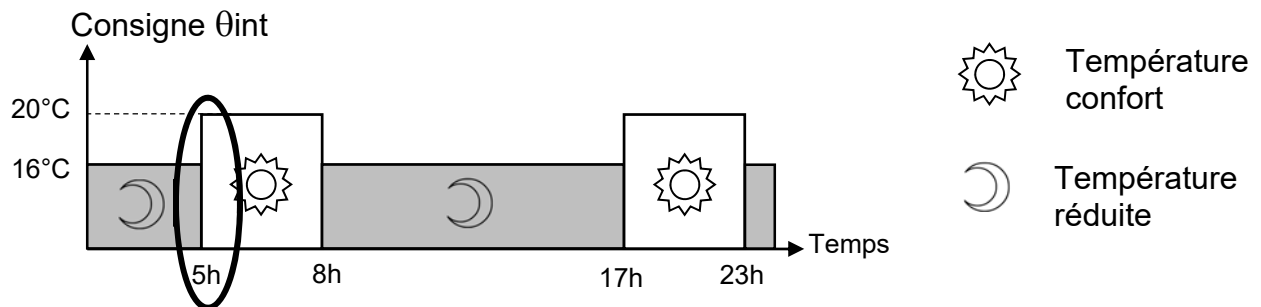
L'objectif de cette partie est de répondre à la problématique : comment déterminer, pour un point de fonctionnement donné, l'ajustement optimal du mélange air / combustible solide afin que la combustion soit complète ?

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

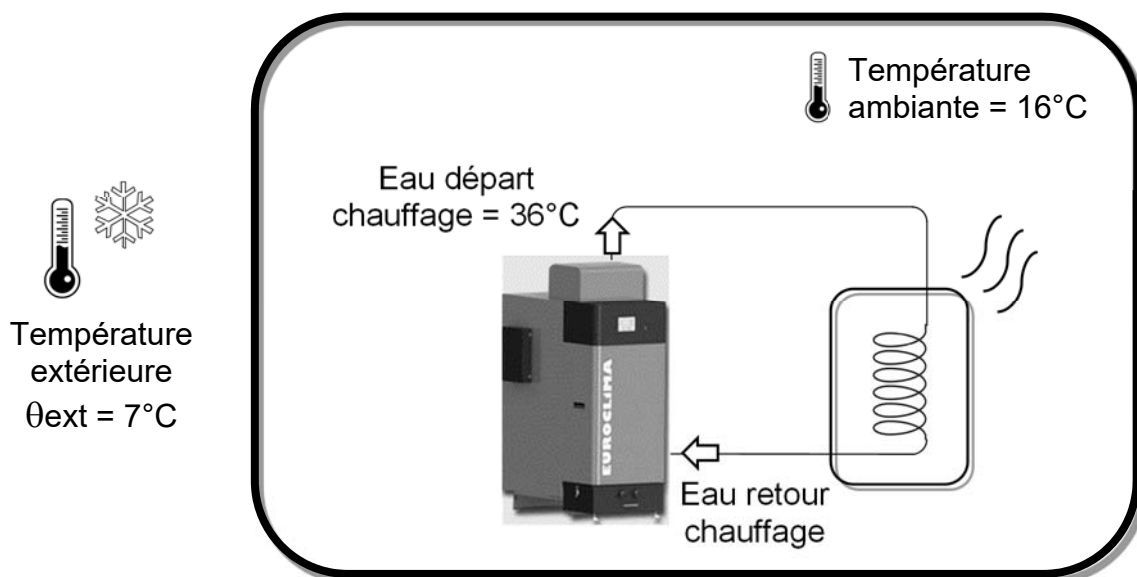


## Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

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



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



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

Question 4.2

DT7

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

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

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

Question 4.3

DT3

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

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

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

### Détermination de la quantité optimale de granulés par cycle

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

DT4

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

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

DT8

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

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

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

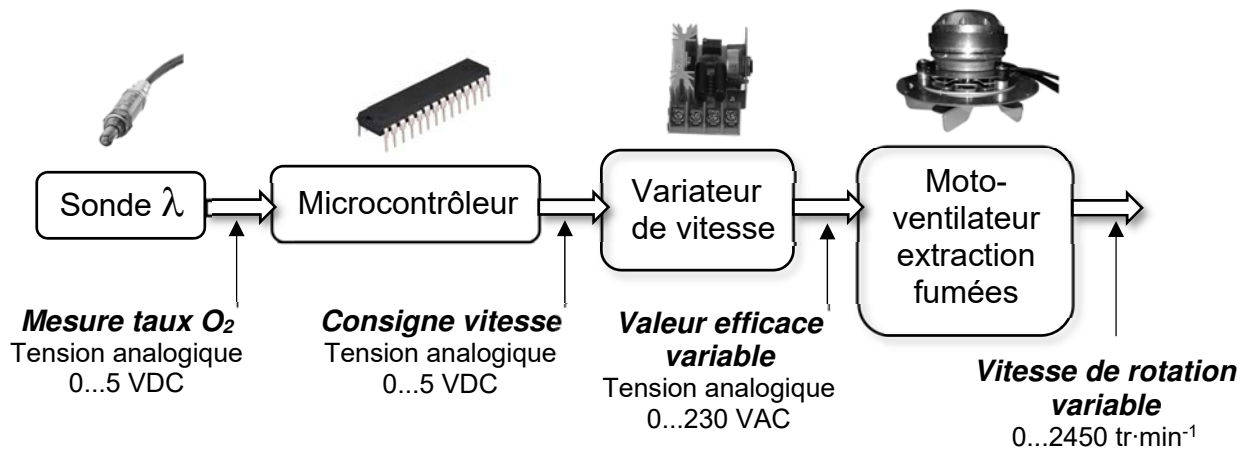
Question 4.8 | **Relever** sur le DT9, le rapport  $\frac{A}{G}$  (masse Air / masse Granulés) pour la valeur de référence  $\lambda_{\text{réf}} = 1,3$ . **Calculer** la masse d'air puis le volume d'air nécessaire à l'obtention de la combustion complète (pour un cycle de 20 s) sachant que la masse volumique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

DT9

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

DT3

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



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

Question 4.10

DT9

**Relever** les valeurs limites  $\lambda_{\text{mini}}$  et  $\lambda_{\text{maxi}}$  pour rester dans la zone idéale.

Question 4.11

DR2

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

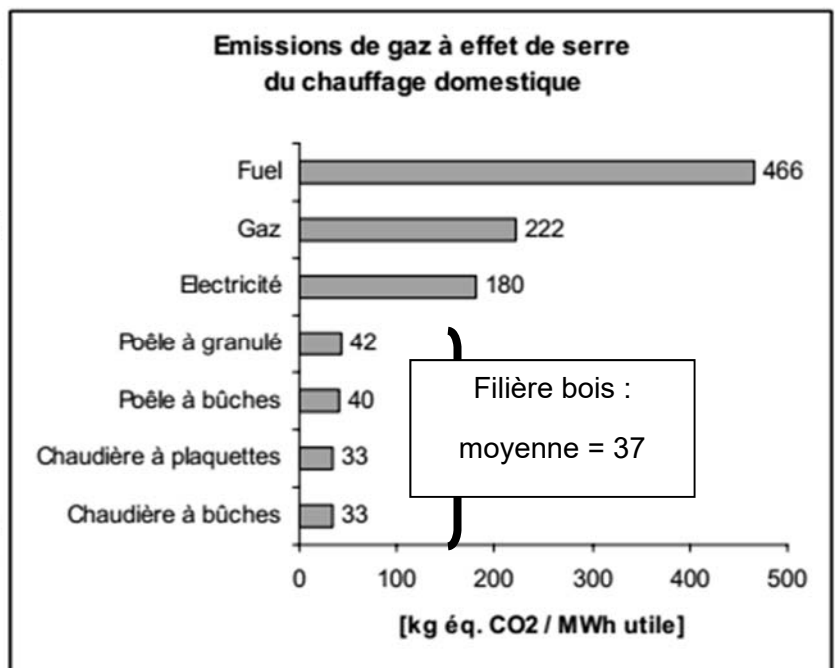
## DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (feuille 1/2)

### Gaz à effet de serre

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

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

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



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

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

### Émissions des particules fines PM10

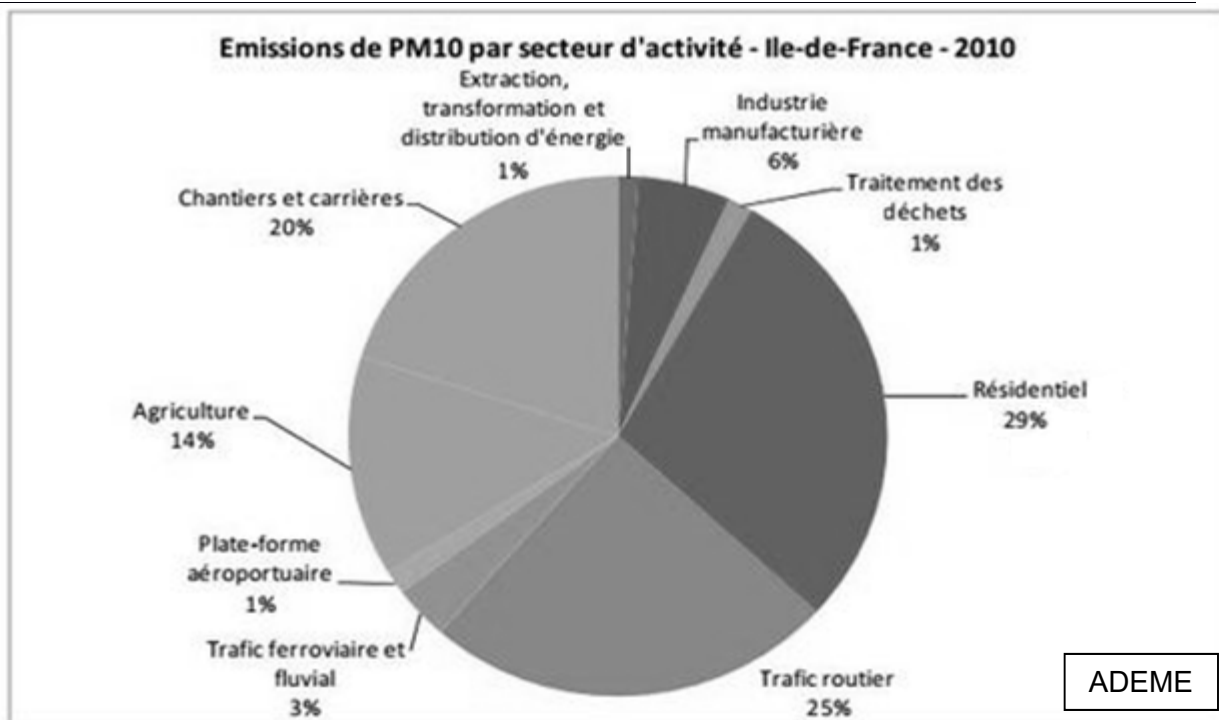
La combustion du bois provoque l'émanation dans l'air de particules polluantes, comme pour les véhicules diesel.

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

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

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

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



### Pour le secteur résidentiel (Île de France en 2010)

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

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

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



## DT2 : comparatif des types d'énergie

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

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

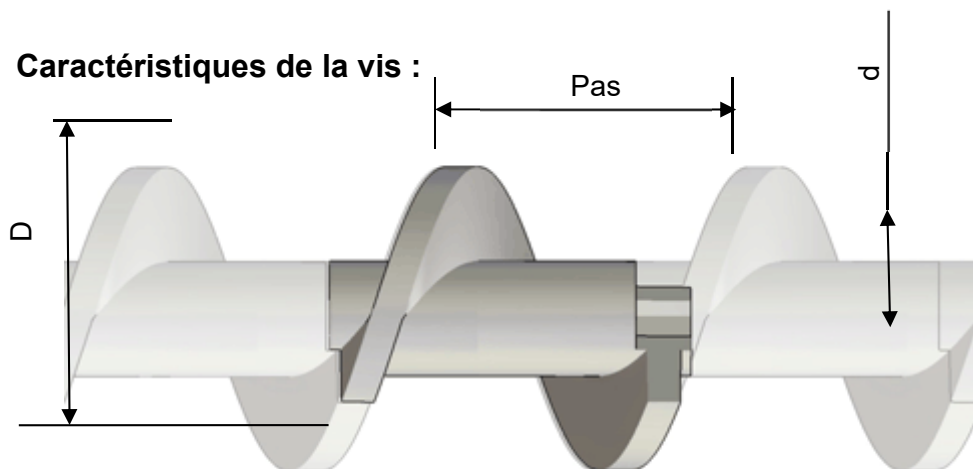
## DT3 : caractéristiques de la chaudière Euroclima 32

| Chaudière Euroclima 32                                   |                                 |       |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|
| Puissance nominale                                       | kW                              | 32    |
| Puissance à charge partielle                             | kW                              | 9     |
| Hauteur                                                  | mm                              | 1 850 |
| Largeur                                                  | mm                              | 806   |
| Profondeur                                               | mm                              | 1 452 |
| Masse                                                    | kg                              | 515   |
| Diamètre sortie de fumée                                 | mm                              | 153   |
| Contenance en eau                                        | L                               | 90    |
| Raccordement électrique                                  | V                               | 230   |
| Température des fumées                                   | C°                              | 130   |
| Rendement à puissance nominale selon EN 303. 5           | %                               | 93    |
| Rendement à charge partielle                             | %                               | 91    |
| CO à puissance nominale (10% de O <sub>2</sub> )         | mg·m <sup>-3</sup>              | 74    |
| CO à charge partielle (10% de O <sub>2</sub> )           | mg·m <sup>-3</sup>              | 88    |
| Poussières à puissance nominale (10% de O <sub>2</sub> ) | mg·m <sup>-3</sup>              | 18    |
| Poussières à charge partielle (10% de O <sub>2</sub> )   | mg·m <sup>-3</sup>              | 14    |
| Qualité des granulés                                     |                                 | DIN+  |
| Débit d'air maximum                                      | m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> | 290   |
| Température d'utilisation                                | °C                              | 60-85 |
| Pression maxi                                            | bars                            | 3     |

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

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

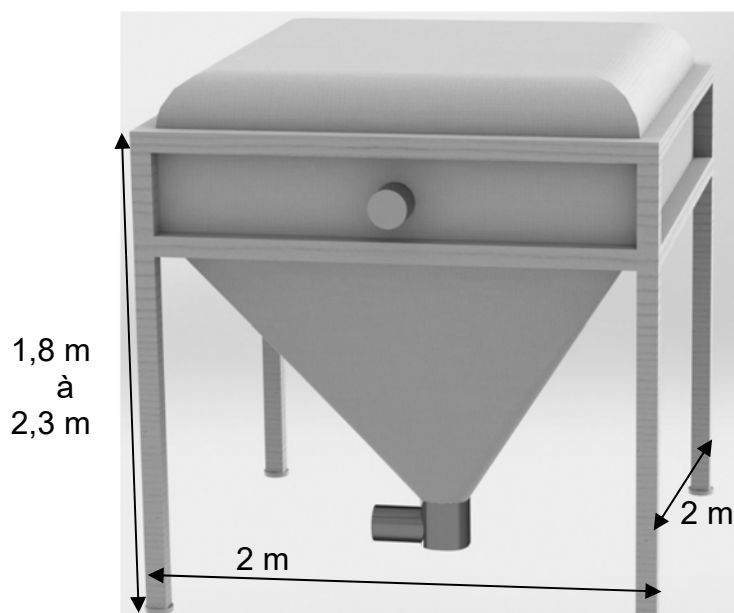
- **Caractéristiques de la vis :**



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

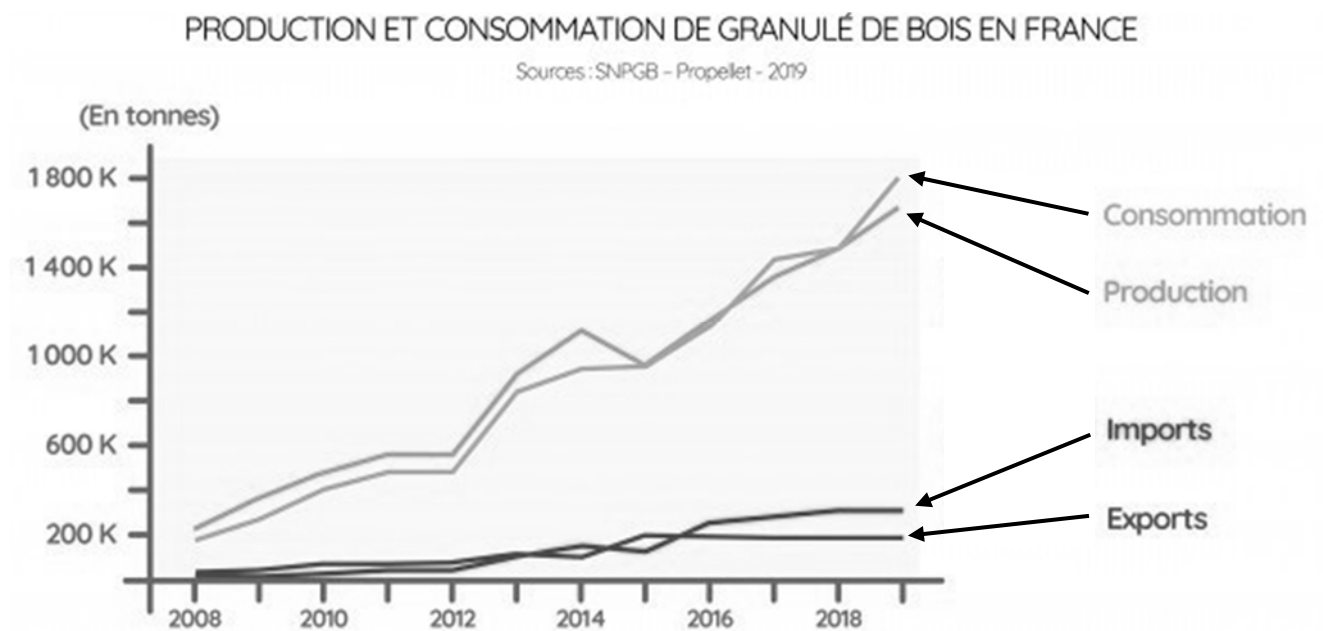
- **Masse volumique des granulés :**  $600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

## DT5 : silo ECO200P

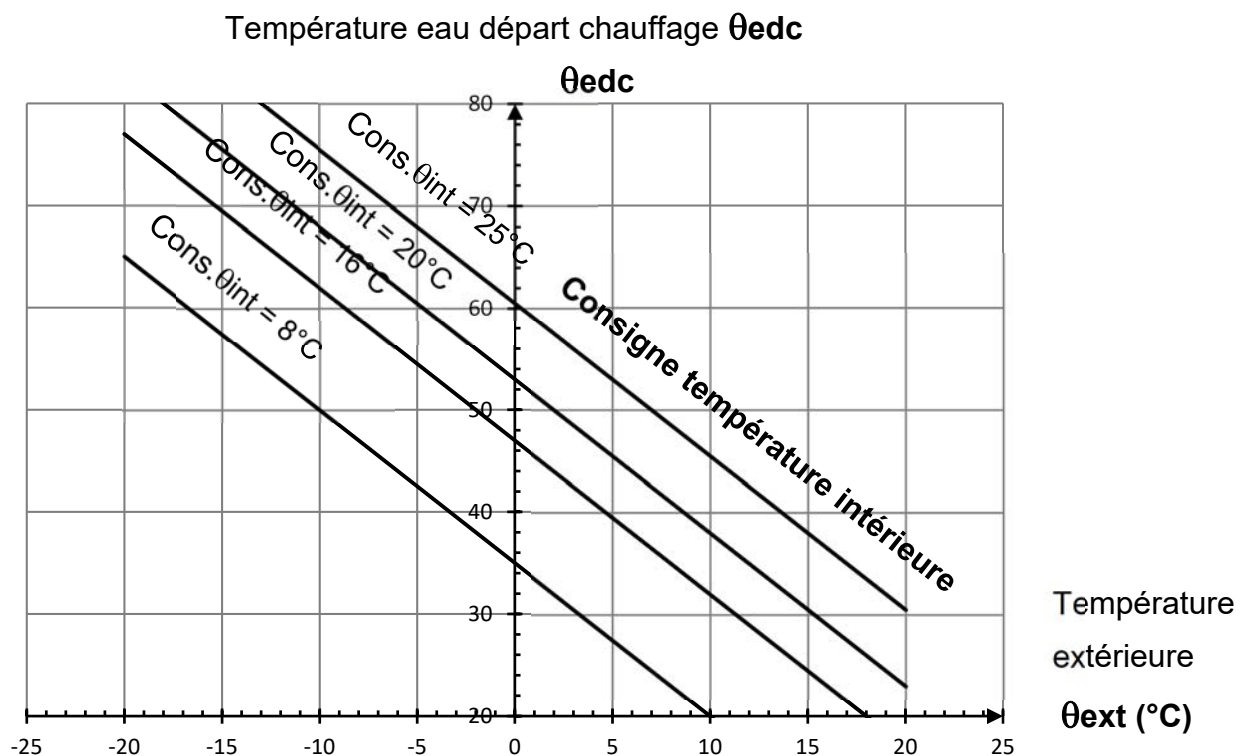


| Article | Longueur (cm) | Largeur (cm) | Hauteur (cm) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Tonnage (t) |
|---------|---------------|--------------|--------------|--------------------------|-------------|
| ECO200P | 200           | 200          | 180-230      | 3,2-4,6                  | 2,1-3,1     |

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



## DT7 : courbes de chauffe pour une régulation climatique





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

Description

Information compl me

### Description

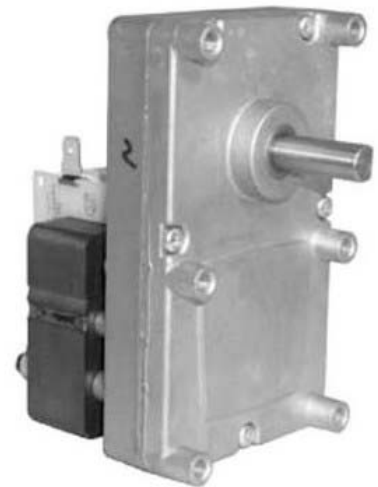
Motoréducteur pour Poêle   Granulés – ref FB1249

Alimentation 220VCA

Vitesse: 3 rpm

Tôles feuilletées: 32 mm

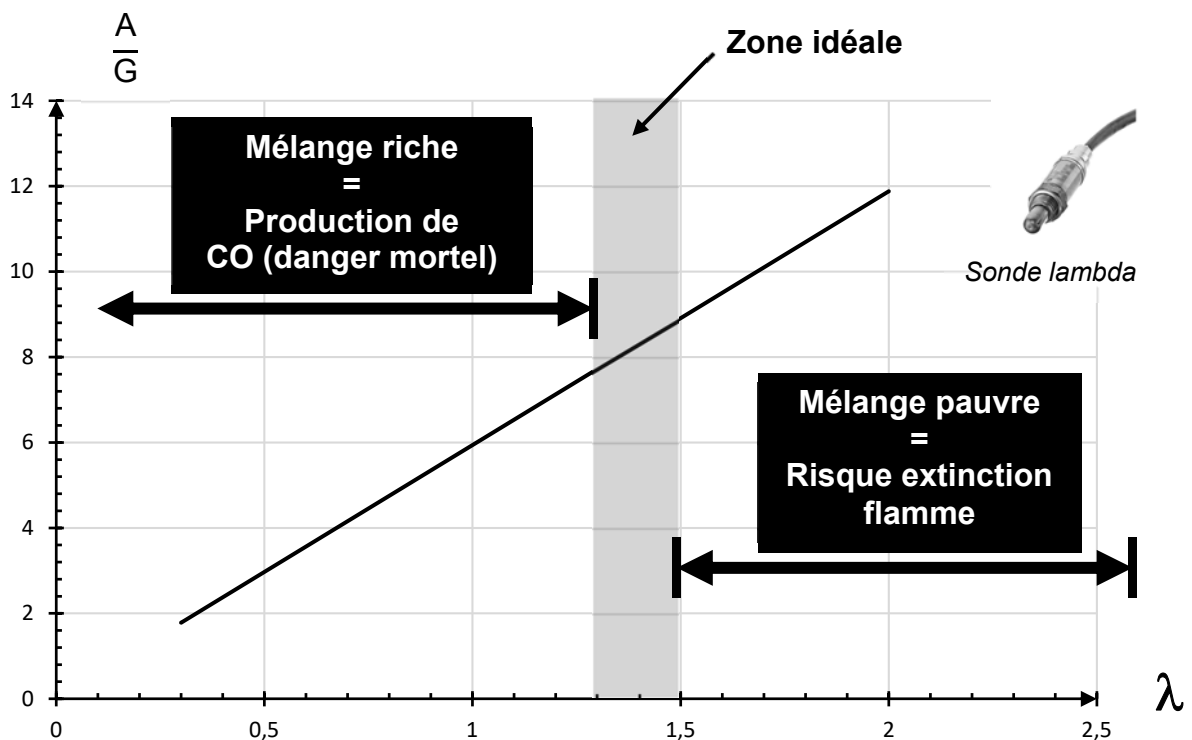
Diamètre arbre: 8,5 mm

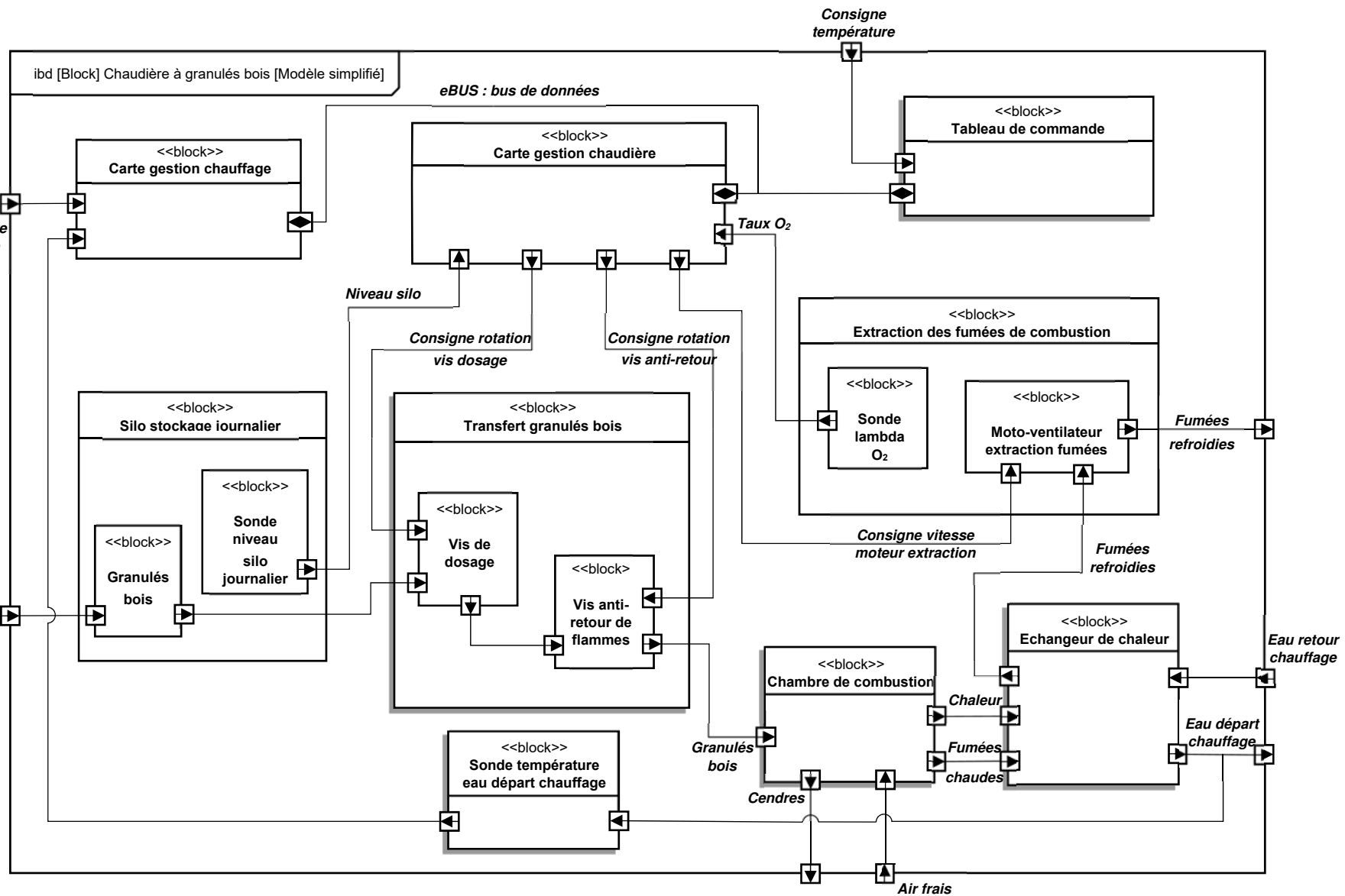


Remarque : rpm « revolutions per minute » =  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$

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

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





**NOM DE FAMILLE** (naissance) :  
(en majuscules)

**NOM DE FAMILLE** (naissance) :  
(en majuscules)

(en majuscules)

**PRENOM :**

**RENOM :**  
(en majuscules)

**N° candidat :**

**N° d'inscription :**

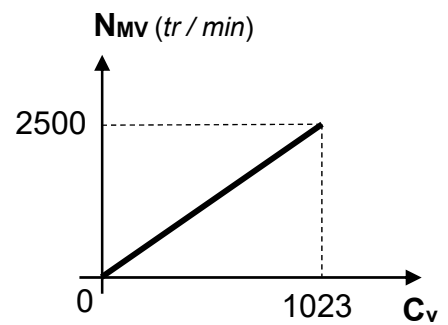
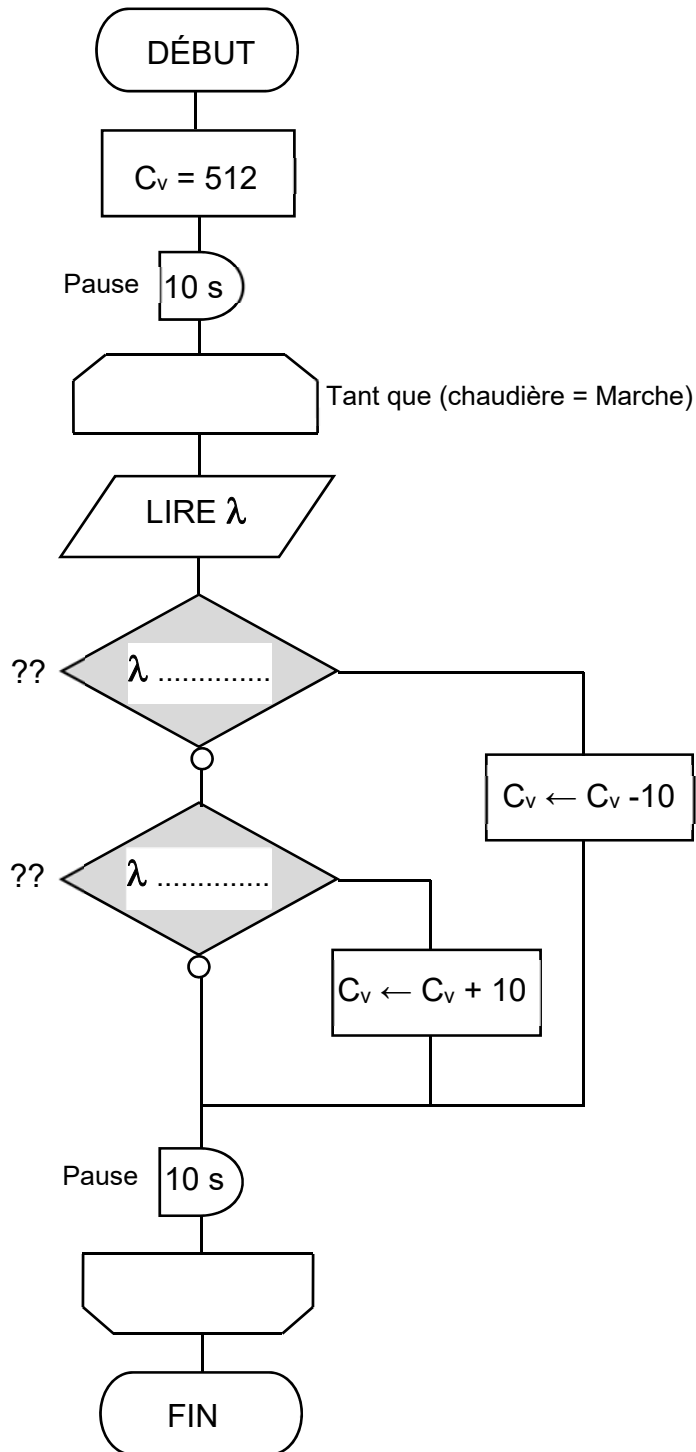


Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**Né(e) le :**

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

## Algorithme 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)

**NOM DE FAMILLE** (naissance) :  
(en majuscules)

**NOM DE FAMILLE** (naissance) :  
(en majuscules)

(en majuscules)

**PRENOM :**

**RENOM :**  
(en majuscules)

**N° candidat :**

**N° d'inscription :**



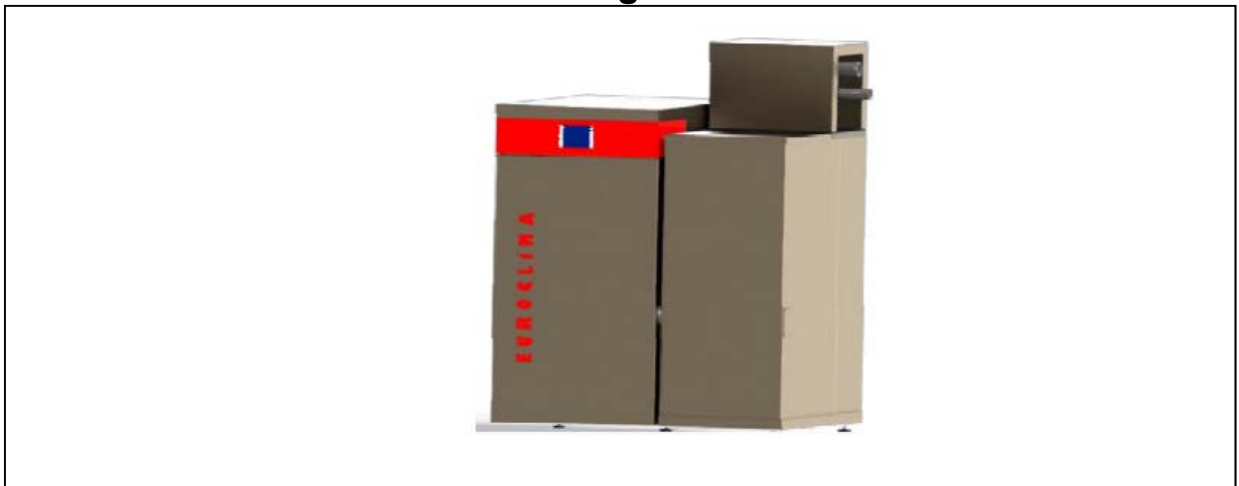
Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**Né(e) le :**

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

## **INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO CONCEPTION**

### **Chaudière à granulés**



### **Constitution du sujet :**

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

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

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



## Mise en situation

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

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

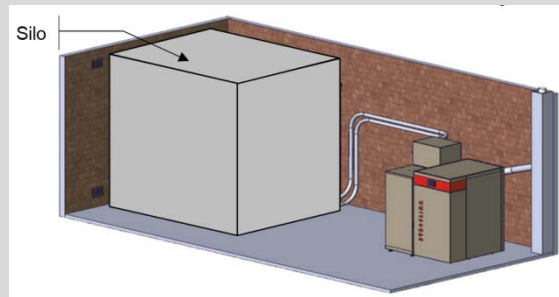
- une autonomie annuelle en besoin de granulés (Partie A) ;
- une sûreté de fonctionnement de l'alimentation en granulés (Partie B) ;
- une automatisation de l'alimentation en granulés de la chaudière (Partie C).

## Travail demandé

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

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

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

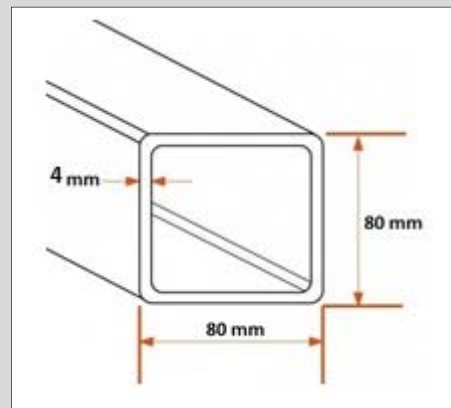


Le système de stockage (DTS3) est constitué d'une structure porteuse démontable, pour être transportée puis assemblée dans le local, et d'une poche textile souple pour contenir la réserve de granulés.

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

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

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



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

DTS2

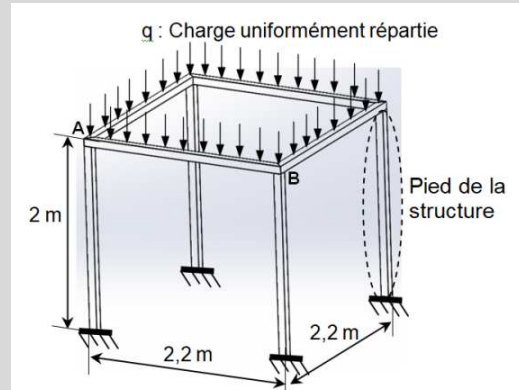


**Dimensionnement de la structure porteuse : Le bureau d'études propose deux modèles pour la structure porteuse, représentées sur le DTS3. L'objectif est de valider et choisir la solution optimale.**

Question A.2

DTS3

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



Question A.3

DTS3

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

Question A.4

DTS3

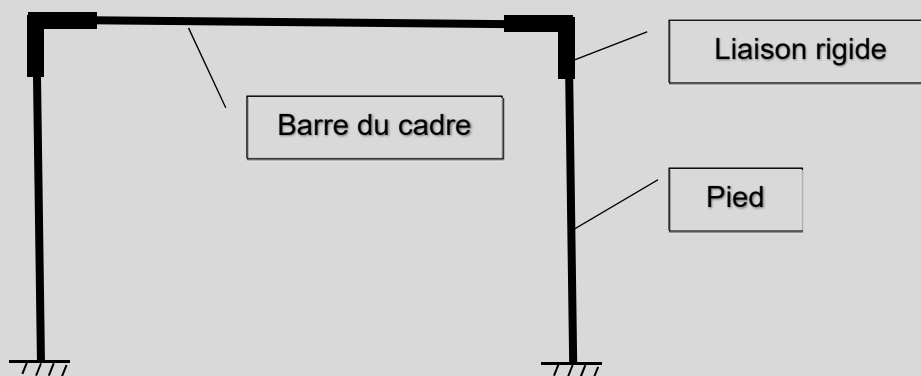
Dans le cas du modèle 1 : **Calculer** la contrainte dans un pied.  
On rappelle que les pieds de la structure sont constitués de profilés creux de section 80 x 80 x épaisseur 4.

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

Question A.5

DTS4

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



Question A.6

DTS4 ; DTS5

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

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



Poussée  
latérale  
accidentelle

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

Question A.7

DTS5

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

Question A.8

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

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

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

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

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

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

Question B.1

DTS6, DRS1

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

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

Question B.2

DTS6, DRS1

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

Question B.3

DTS6, DTS7, DRS1

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

## Question B.4

DTS6, DRS1

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

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

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

## Question B.5

DTS6

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

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

## Question B.6

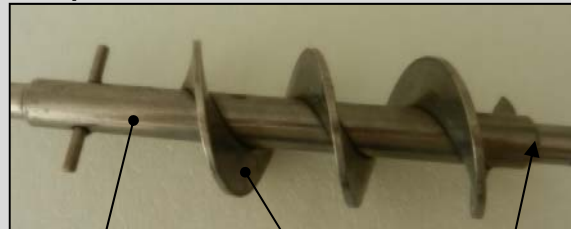
DTS6

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

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

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

**Hélice soudée sur axe pré-usiné**



Axe

Hélice

Zone de soudage

## Question B.7

DTS8

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

## Question B.8

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

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

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

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

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



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

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

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

DTS9; DRS2

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

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

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

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

### ***PARTIE D : Synthèse***

---

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

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

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

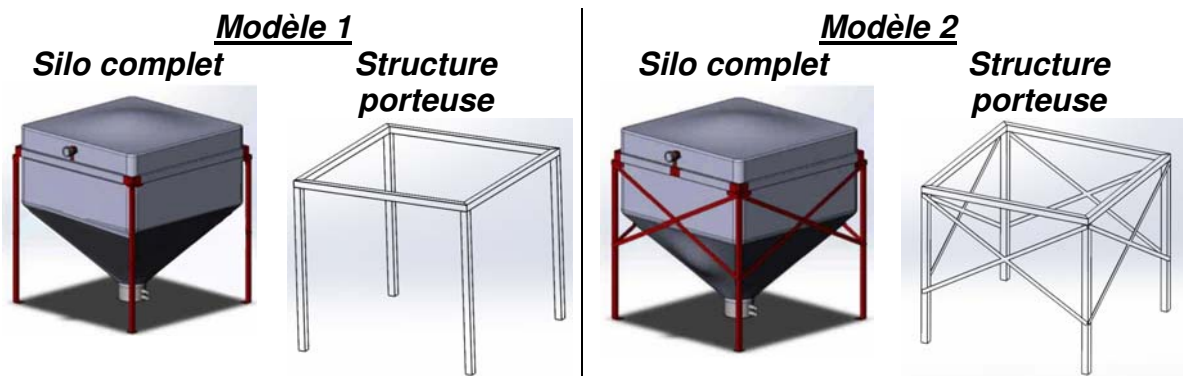
|                               |                         |                                   |              |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Diamètre                      | 6 mm ± 1 ou 8 mm ± 1    | Masse volumique apparente         | ≥ 600 kg/m³  |
| Longueur                      | 3,15 mm                 | Origine matière première          | bois vierge  |
| Humidité                      | ≤ 10%                   | Température de fusion des cendres | à mentionner |
| Cendres                       | ≤ 0,7 %                 | Azote                             | < 0,3 %      |
| Résistance mécanique          | ≥ 97,5 %                | Soufre                            | < 0,04 %     |
| Quantité de fines             | ≤ 1 %                   | Chlore                            | < 0,02 %     |
| Additifs                      | ≤ 2 %                   | Contrôle des métaux lourds        | oui          |
| Pouvoir calorifique inférieur | 4 600 ≤ Q ≤ 5 300 Wh/kg |                                   |              |



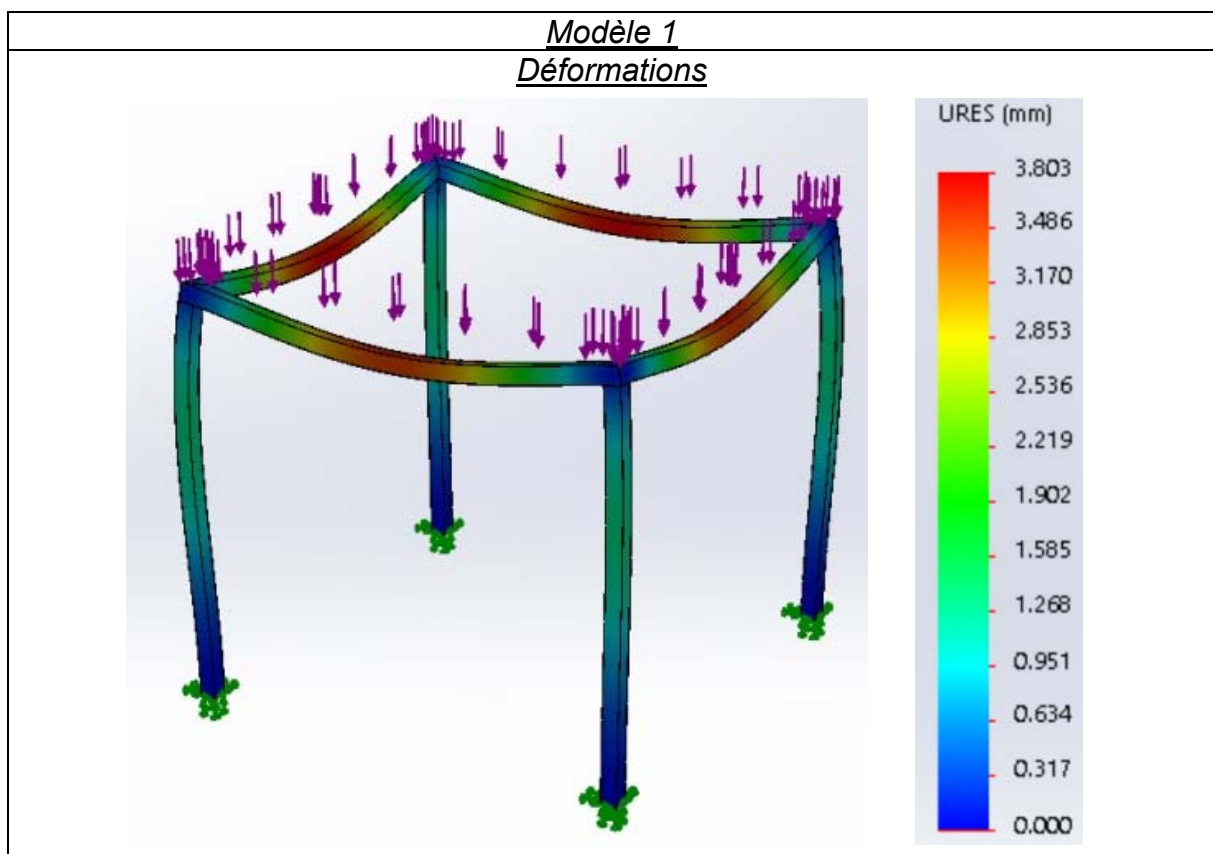
### ***DTS2 : Silo textile pour stockage des granulés de bois***

| Type     | Volume m³ | Surface au sol | Hauteur cm | Référence |
|----------|-----------|----------------|------------|-----------|
| Silo 3.2 | 3.2       | 165 x 165      | 215        | 100990V   |
| Silo 4.4 | 4.4       | 195 x 195      | 215        | 100991V   |
| Silo 5.6 | 5.6       | 223 x 223      | 215        | 100992V   |
| Silo 6.3 | 6.7       | 254 x 254      | 215        | 100993V   |
| Silo 3.9 | 3.9       | 165 x 165      | 250        | 100995V   |
| Silo 5.5 | 5.5       | 220 x 220      | 250        | 100996V   |
| Silo 7.3 | 7.3       | 223 x 223      | 250        | 100997V   |
| Silo 8.6 | 8.6       | 254 x 254      | 250        | 100998V   |
| Silo 9.3 | 10.6      | 301 x 301      | 250        | 100999V   |

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



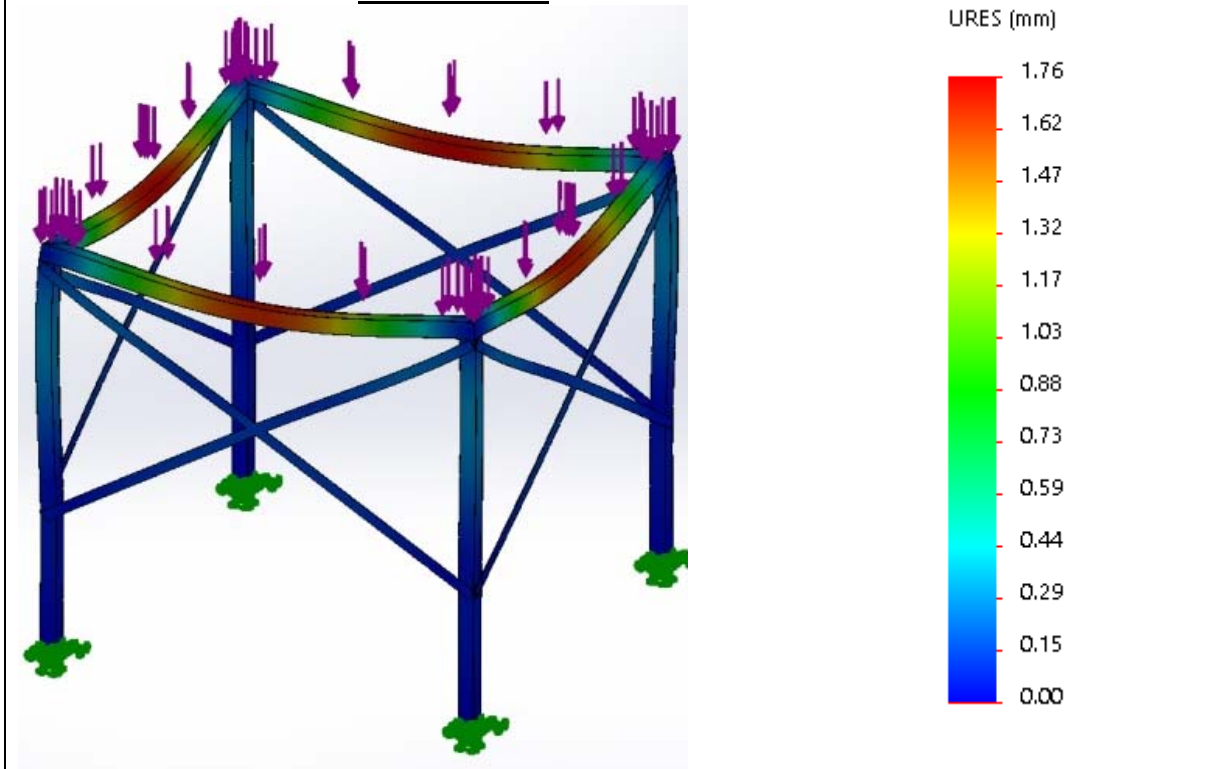
### DTS4 : Résultats des simulations



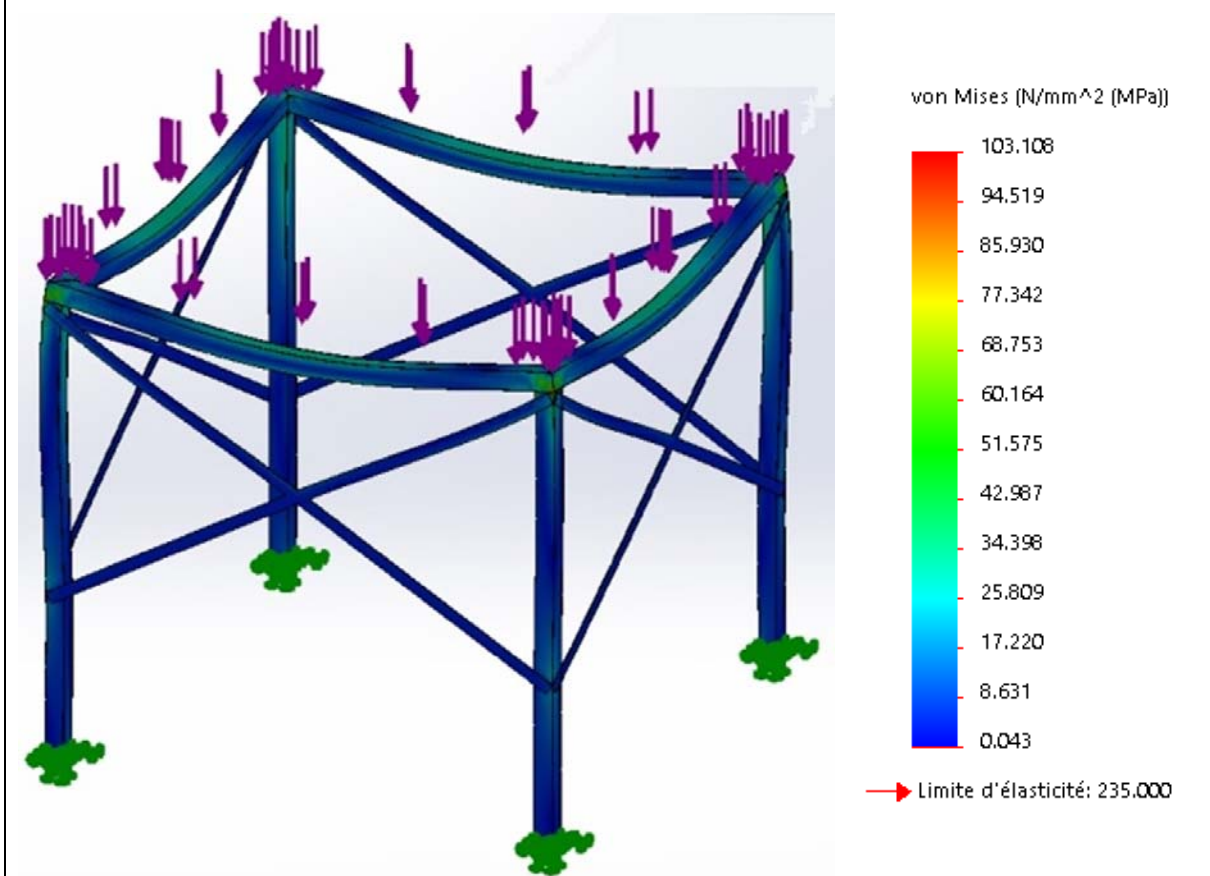


Modèle 2

Déformations

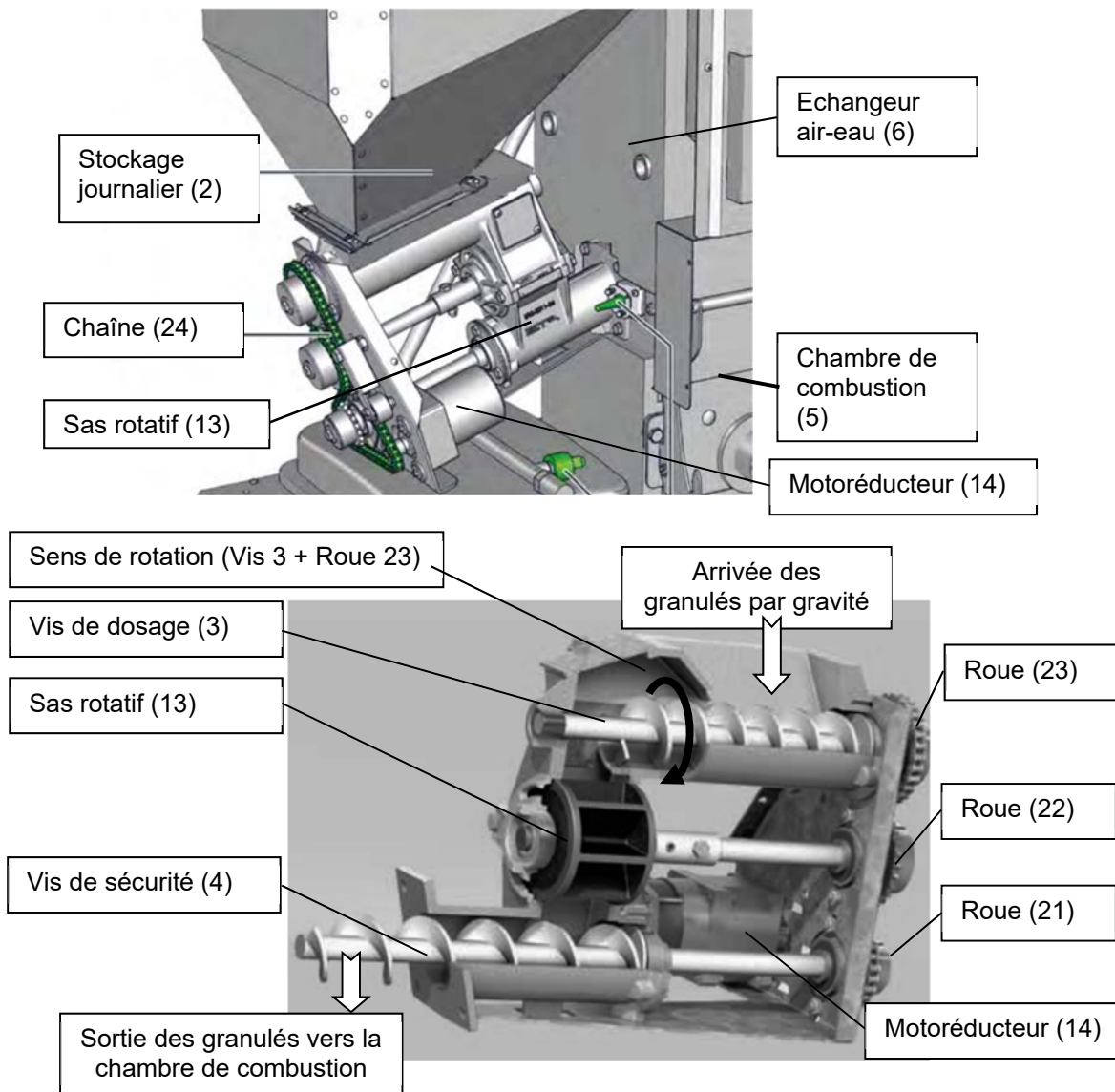


Contraintes





## DTS6 : Écluse anti-retour de flamme

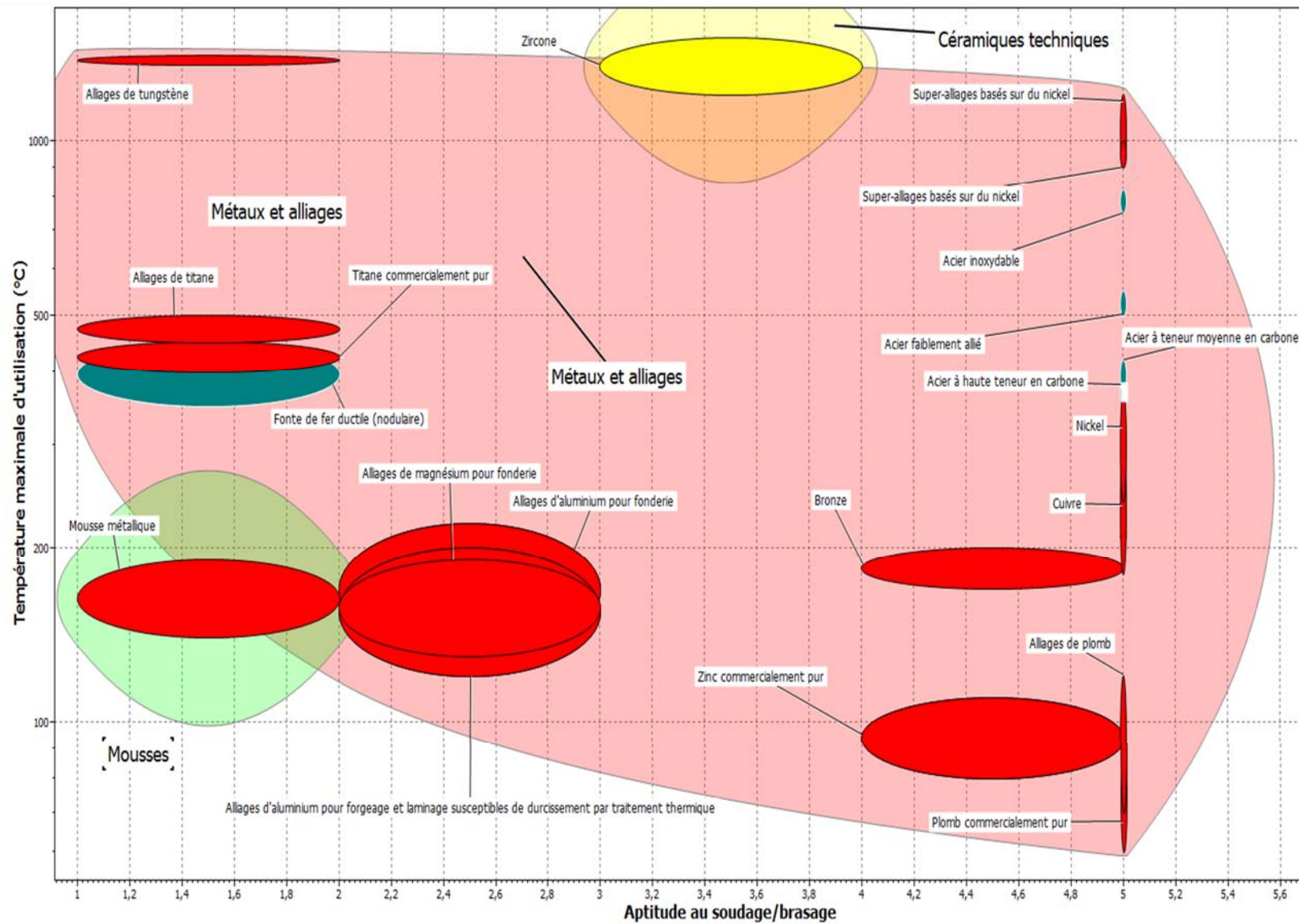


| Caractéristiques des systèmes de transports des granulés |          |                                                   |
|----------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------|
|                                                   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

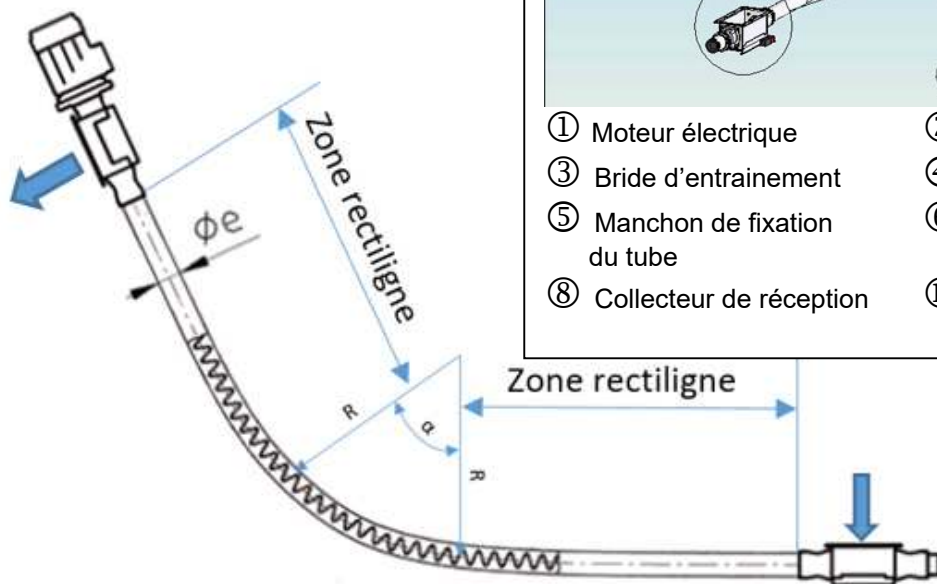
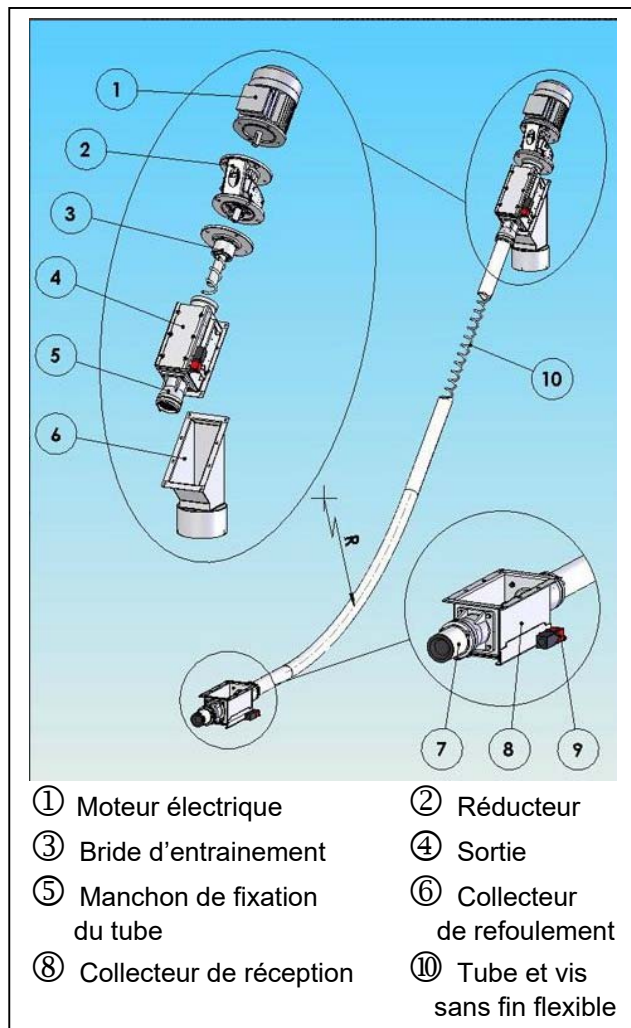
## DTS7 : Solutions pour transmissions de puissance

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

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



| Modèle<br>Øe | Capacité de transport en kg/h |                     | R<br>(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  $N = 930 \text{ tr / min}$  (moteur à entraînement direct 6 pôles).

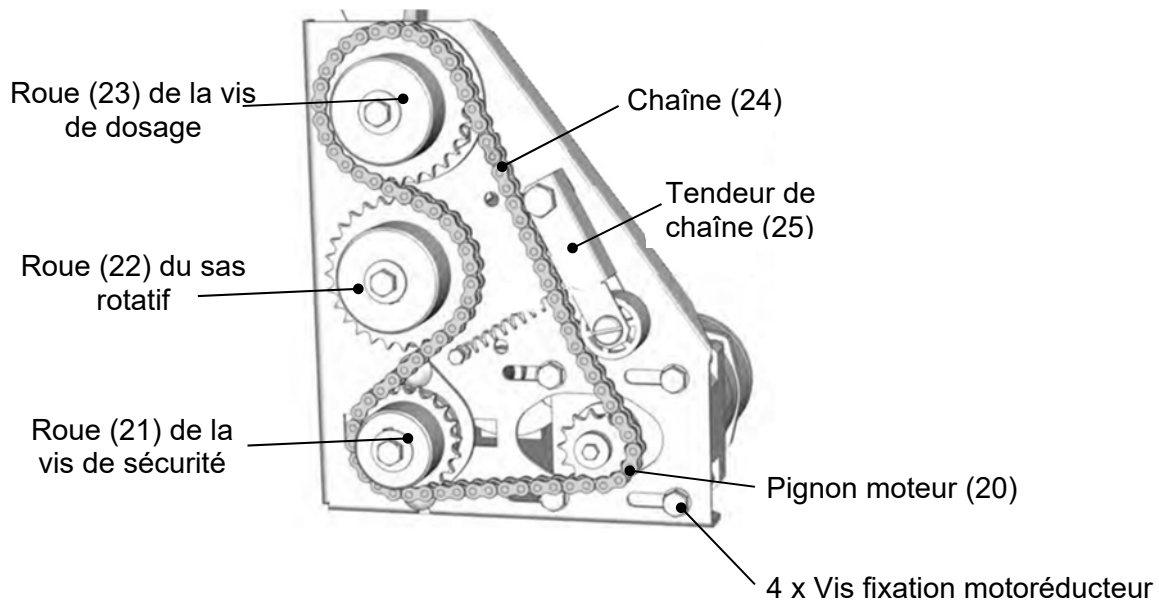
La capacité réelle est également liée à :

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

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

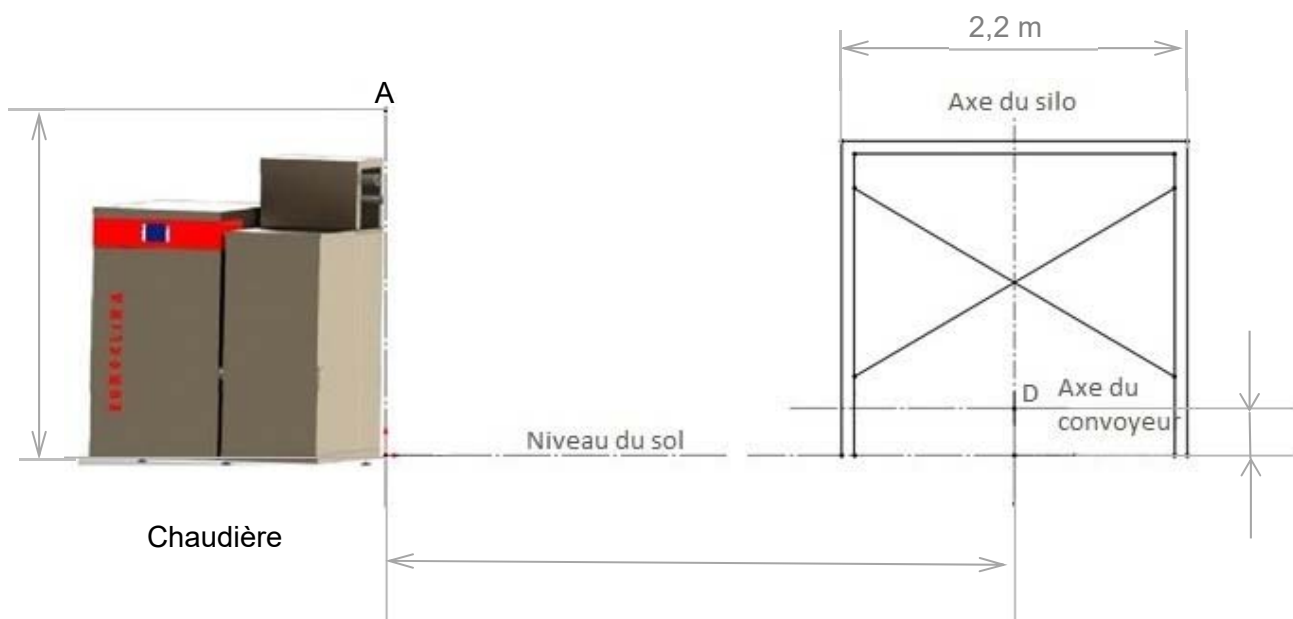
## DRS1 : Etude cinématique de l'écluse anti-retour de flamme

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



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

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





Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.