

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2021**

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

**Ingénierie, innovation et développement durable**

### **ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT**

Durée de l'épreuve : **4 heures**

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

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

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

Ce sujet comporte 39 pages numérotées de 1/39 à 39/39.

**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.**

## **PARTIE COMMUNE (12 points)**

---

### **Chaudière à granulés**



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

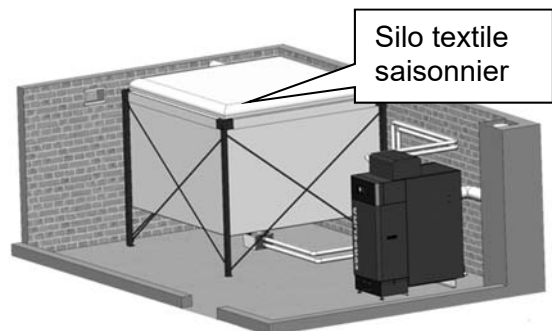
Les granulés sont fabriqués à partir de résidus, copeaux et sciures de bois, issus de l'industrie du bois (menuiserie, parqueterie, fabrique de palettes...), qui sont agglomérés ensemble, sans agent de liaison, pour former de petits cylindres compacts. Moderne et facile d'utilisation, la chaudière à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

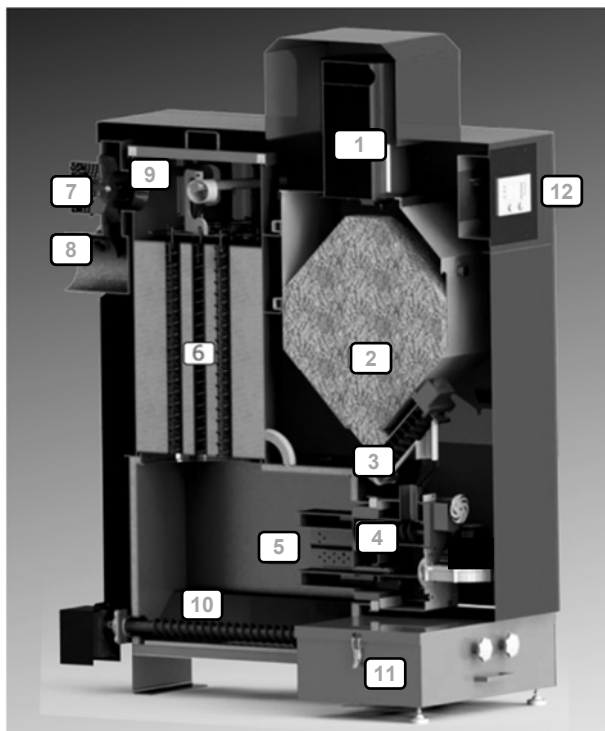
Le volume de ce silo textile saisonnier doit être adapté à la consommation annuelle afin d'éviter les rechargements en cours de saison de chauffe.



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

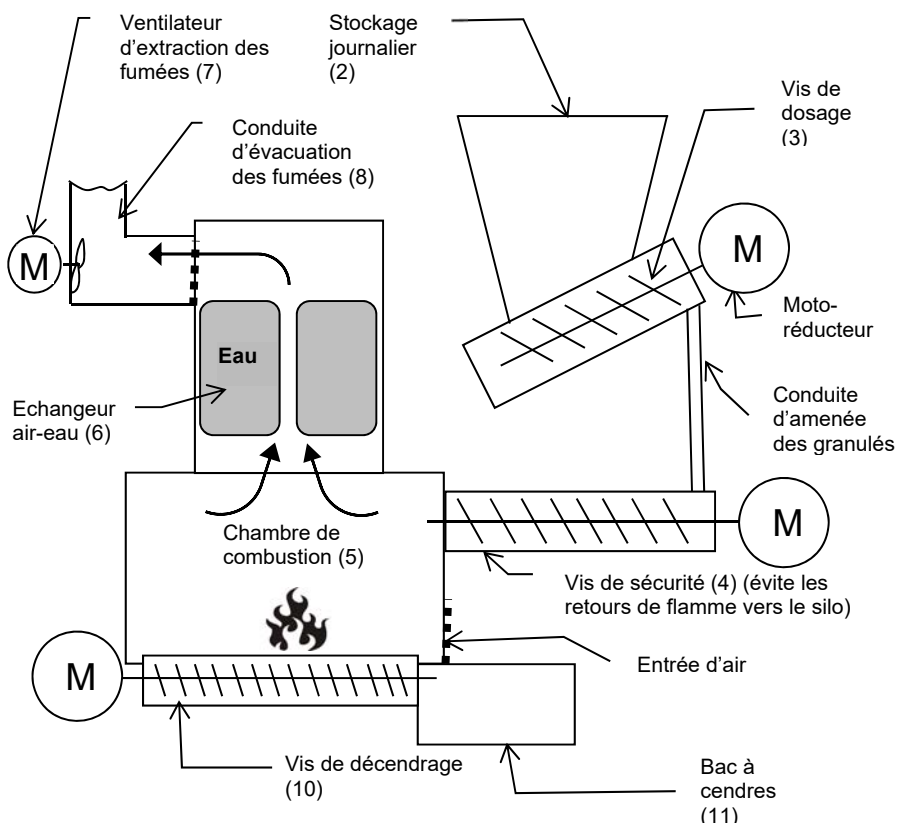


## Description du fonctionnement

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 moyenne) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|-------|----------------------|
| Part des émissions de gaz à effet de serre en <i>kg.équivalent CO<sub>2</sub>/ MW·h</i> | 0,286 x 222 =<br>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 $m^3$ ) 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 ?**

---

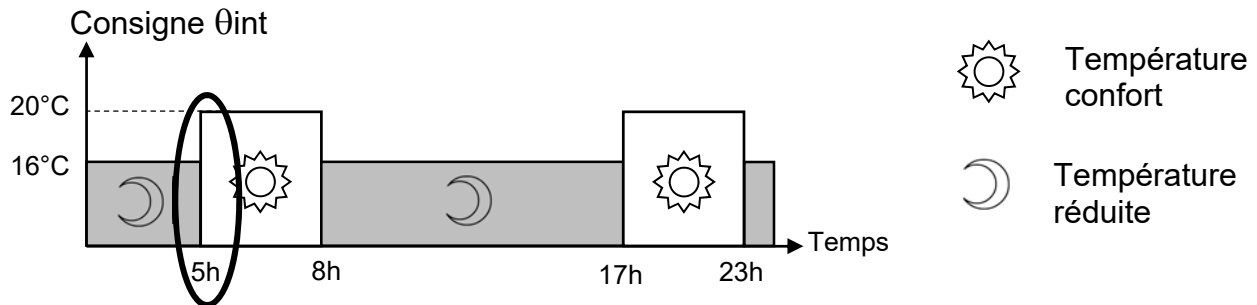
Afin de devenir une solution s'inscrivant dans une démarche de développement durable et respectueuse de la santé, le fonctionnement de la chaudière à granulés doit être optimisé. Afin d'obtenir le rendement maximum, il convient notamment de veiller à ce que la combustion des granulés soit complète. Ceci 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 ?

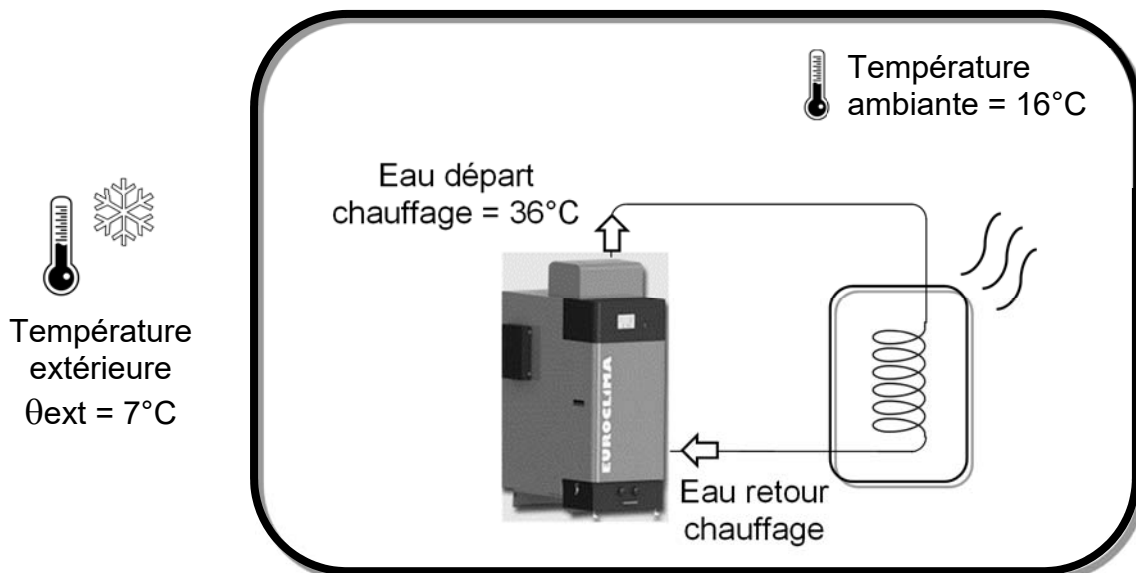
- |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 relation de la quantité de chaleur  $Q$  [J] nécessaire pour élever la température d'un corps de masse  $m$  [kg] et de capacité thermique massique  $C$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ ], de la température initiale  $\theta_i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] à la température finale  $\theta_f$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] 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  $23^{\circ}\text{C}$ .

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

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

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

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

DT4

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

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

DT8

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

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

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

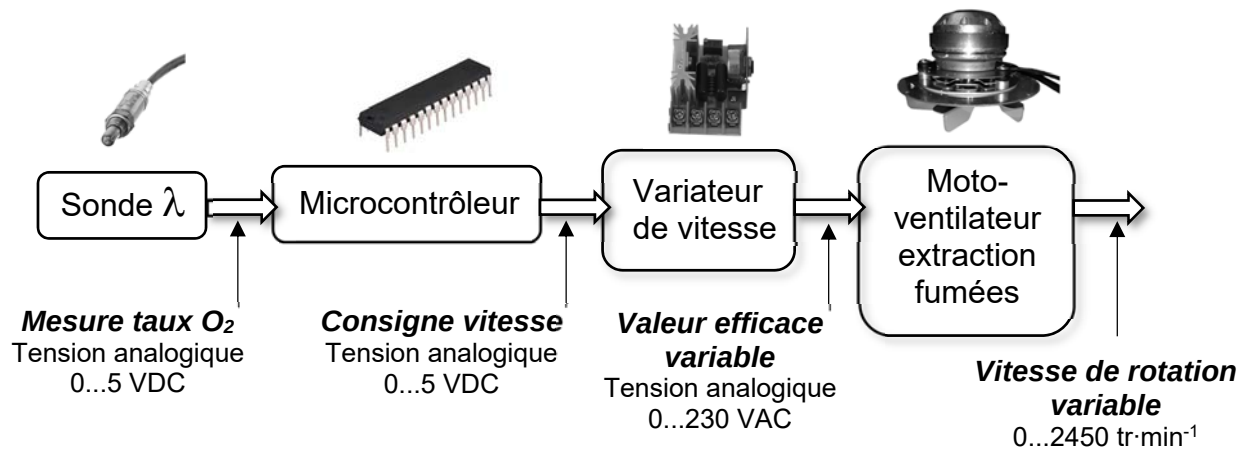
Question 4.8 | **Relever** sur le DT9, le rapport  $\frac{A}{G}$  (masse Air / masse Granulés) pour la valeur de référence  $\lambda_{\text{réf}} = 1,3$ . **Calculer** la masse d'air puis le volume d'air nécessaire à l'obtention de la combustion complète (pour un cycle de 20 s) sachant que la masse volumique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

DT9

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

DT3

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



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

Question 4.10 | **Relever** les valeurs limites  $\lambda_{\text{mini}}$  et  $\lambda_{\text{maxi}}$  pour rester dans la zone idéale.

DT9

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

DR2

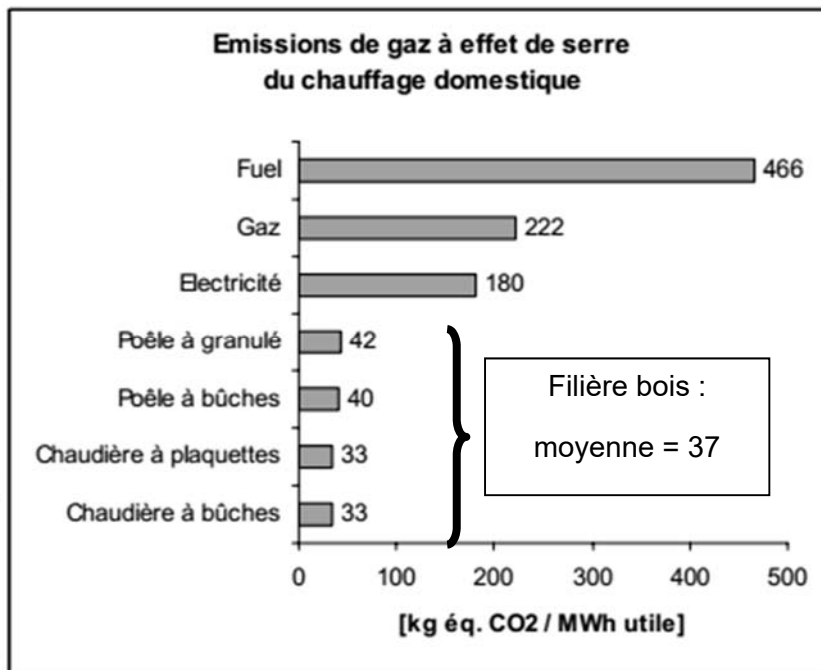
## DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (feuille 1/2)

### Gaz à effet de serre

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

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

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



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

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

### Émissions des particules fines PM10

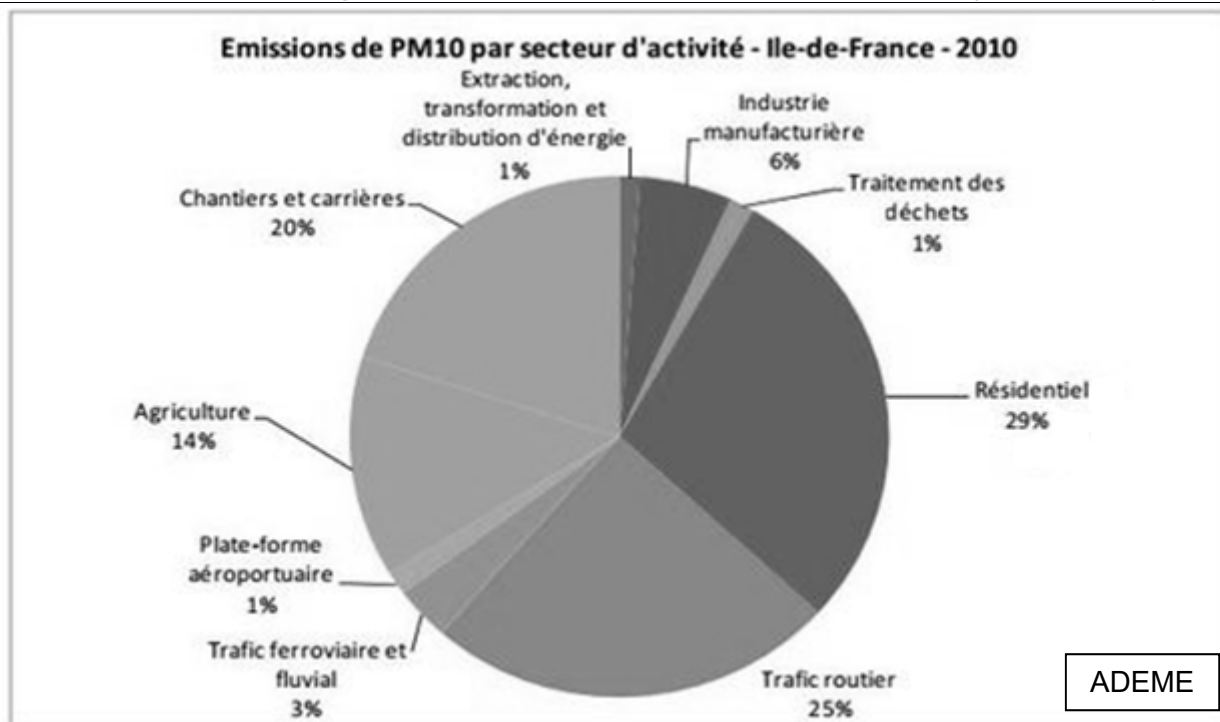
La combustion du bois provoque l'émanation dans l'air de particules polluantes, comme pour les véhicules diesel.

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

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

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

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



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

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

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

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



## DT2 : comparatif des types d'énergie

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

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

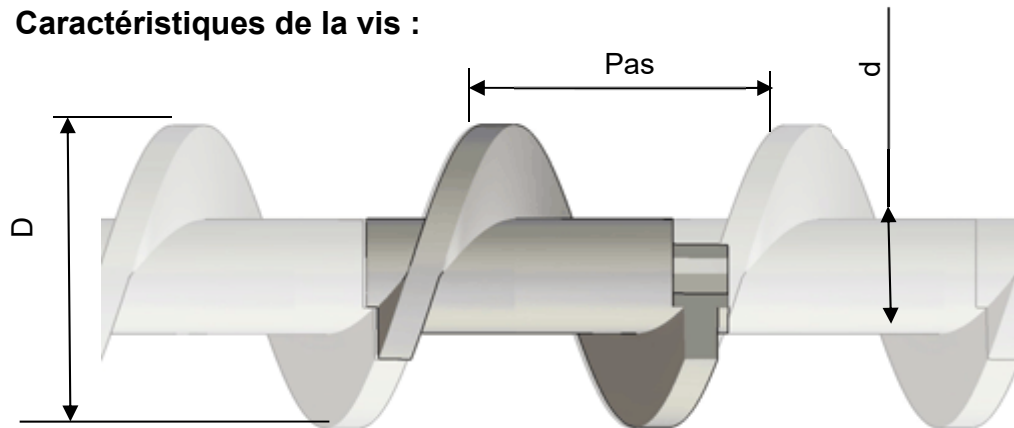
## DT3 : caractéristiques de la chaudière Euroclima 32

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

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

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

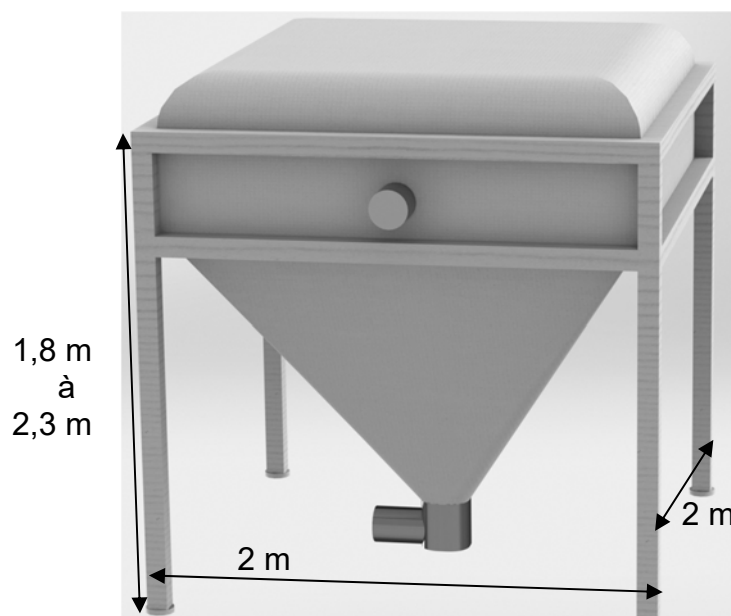
- **Caractéristiques de la vis :**



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

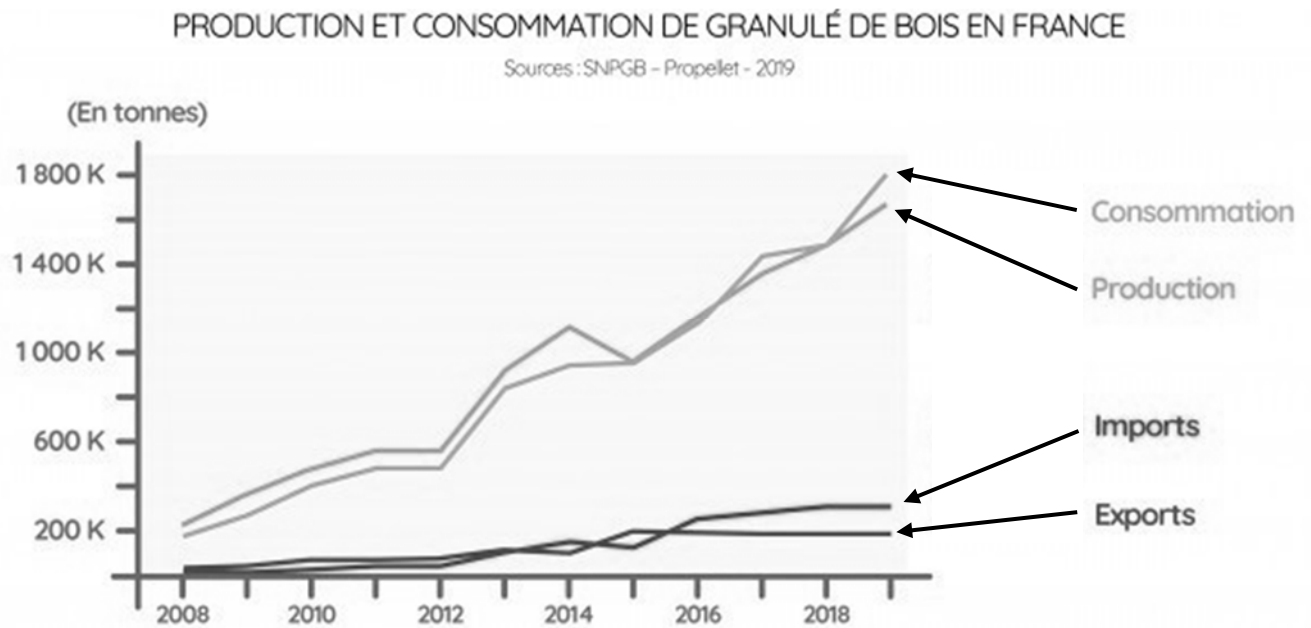
- **Masse volumique des granulés :**  $600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

## DT5 : silo ECO200P

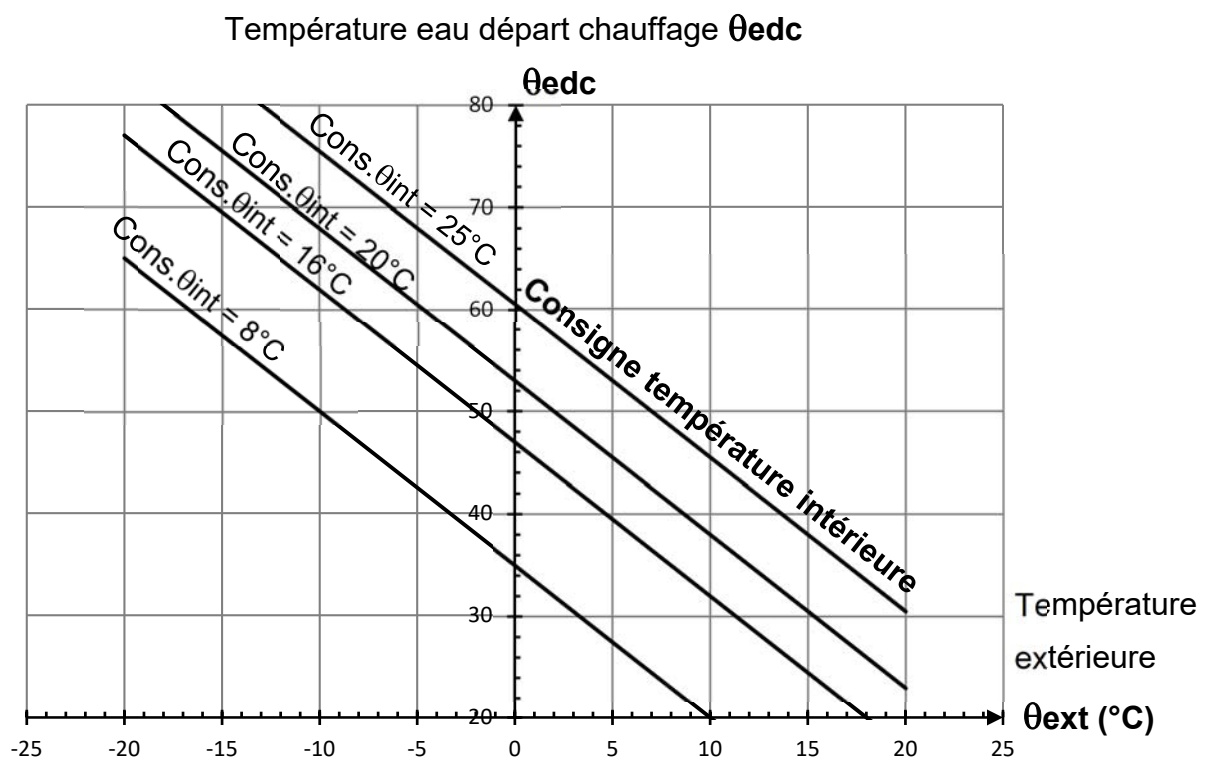


| Article | Longueur (cm) | Largeur (cm) | Hauteur (cm) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Tonnage (t) |
|---------|---------------|--------------|--------------|--------------------------|-------------|
| ECO200P | 200           | 200          | 180-230      | 3,2-4,6                  | 2,1-3,1     |

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

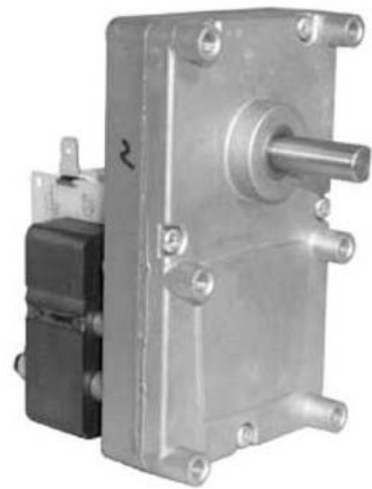


## DT7 : courbes de chauffe pour une régulation climatique



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

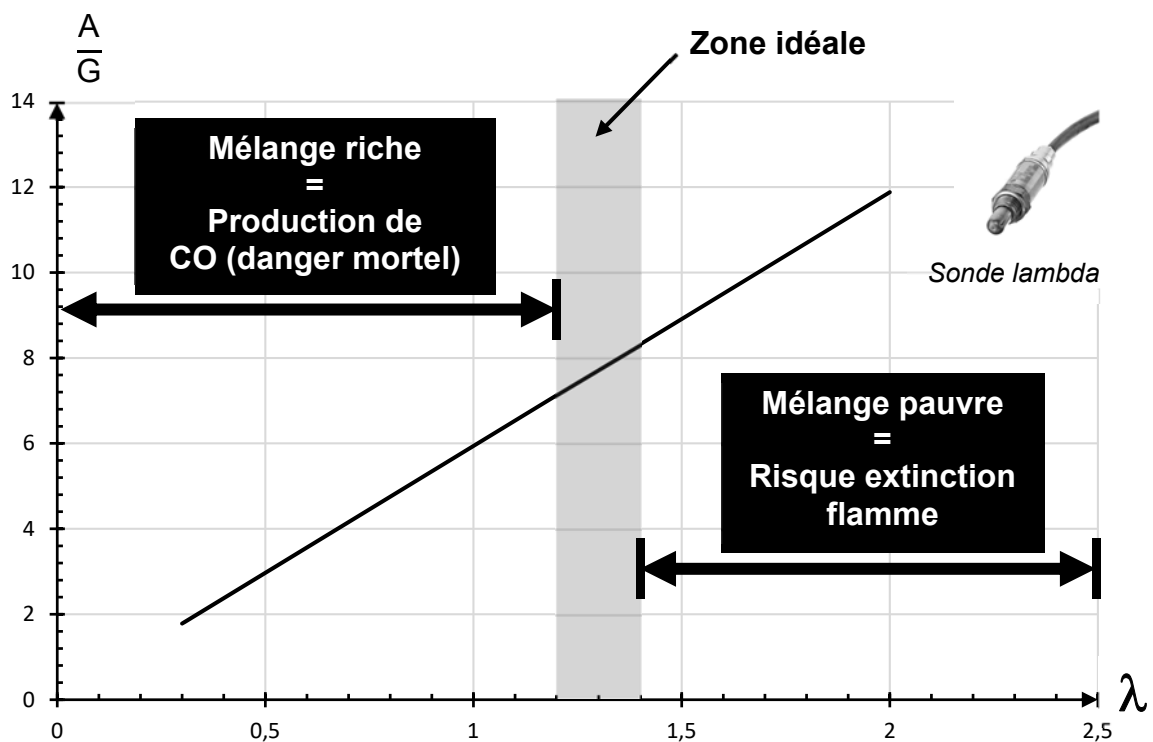
| Description                                      | Information compléme |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Description</b>                               |                      |
| Motoréducteur pour Poêle à Granulés – ref FB1249 |                    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

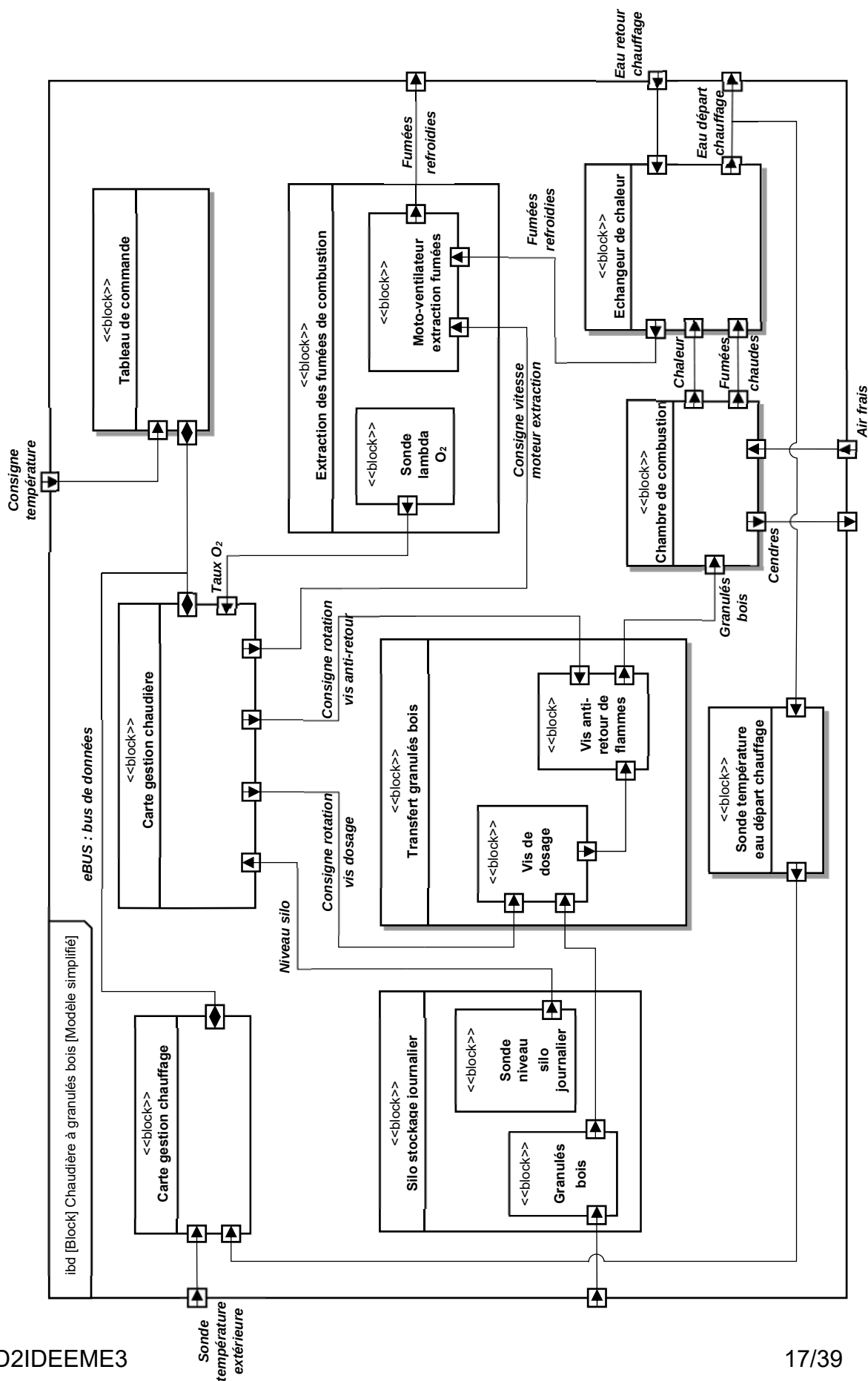


Remarque : **rpm** « revolutions per minute » =  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$

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

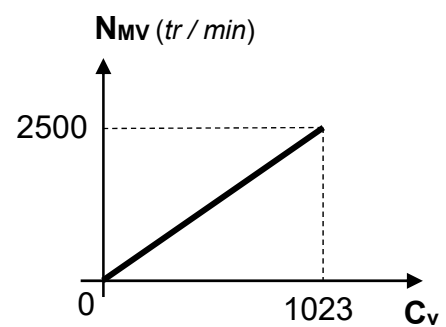
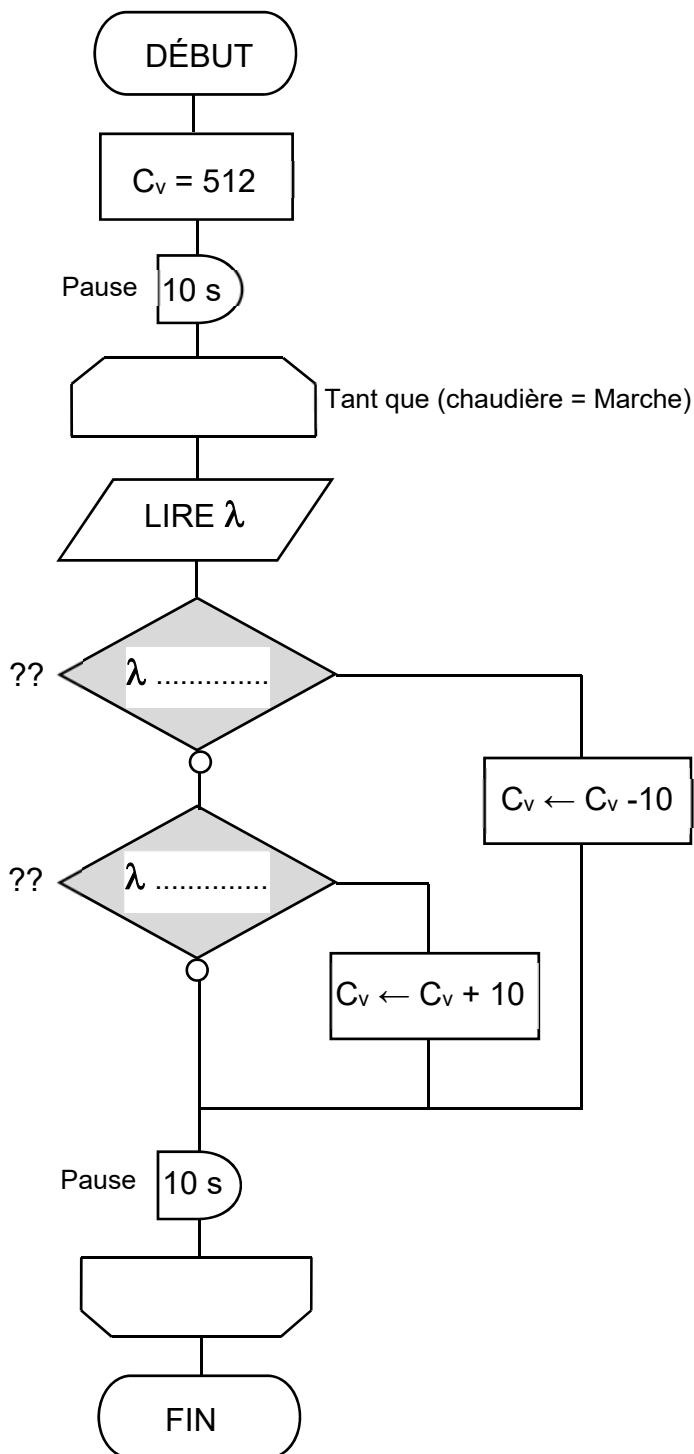
Rapport masse Air / masse Granulés en fonction de lambda







## 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)



## **ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT**

### **Chaudière à granulés**



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

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

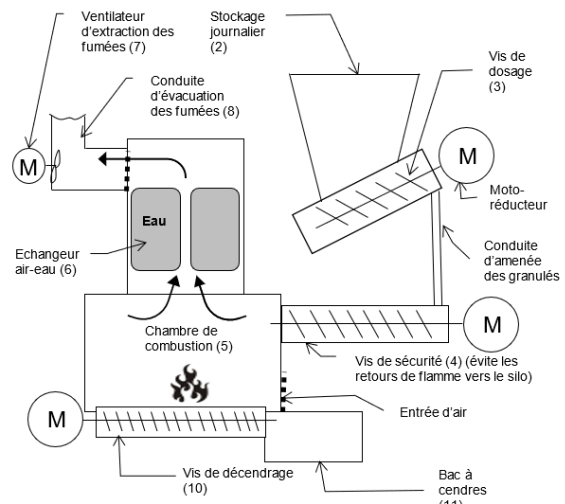
**Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie C (choix 1) ou la partie D (choix 2). Les autres parties A et B sont à traiter obligatoirement.**

## Mise en situation :

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

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

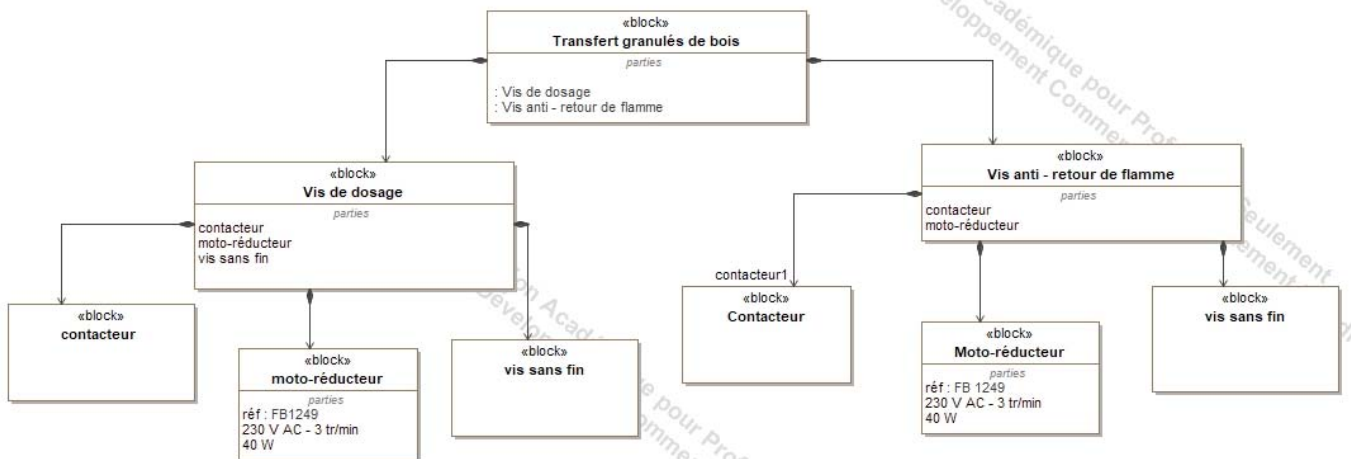
La chaudière à granulés est dépendante de l'électricité pour fonctionner. En cas de coupure de courant (fréquent dans certaines régions en hiver), la chaudière ne peut donc pas fonctionner. Afin d'assurer la continuité du chauffage en cas de coupure de courant, il semble intéressant d'installer une alimentation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



## Travail demandé

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

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



## Objectif de cette partie

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

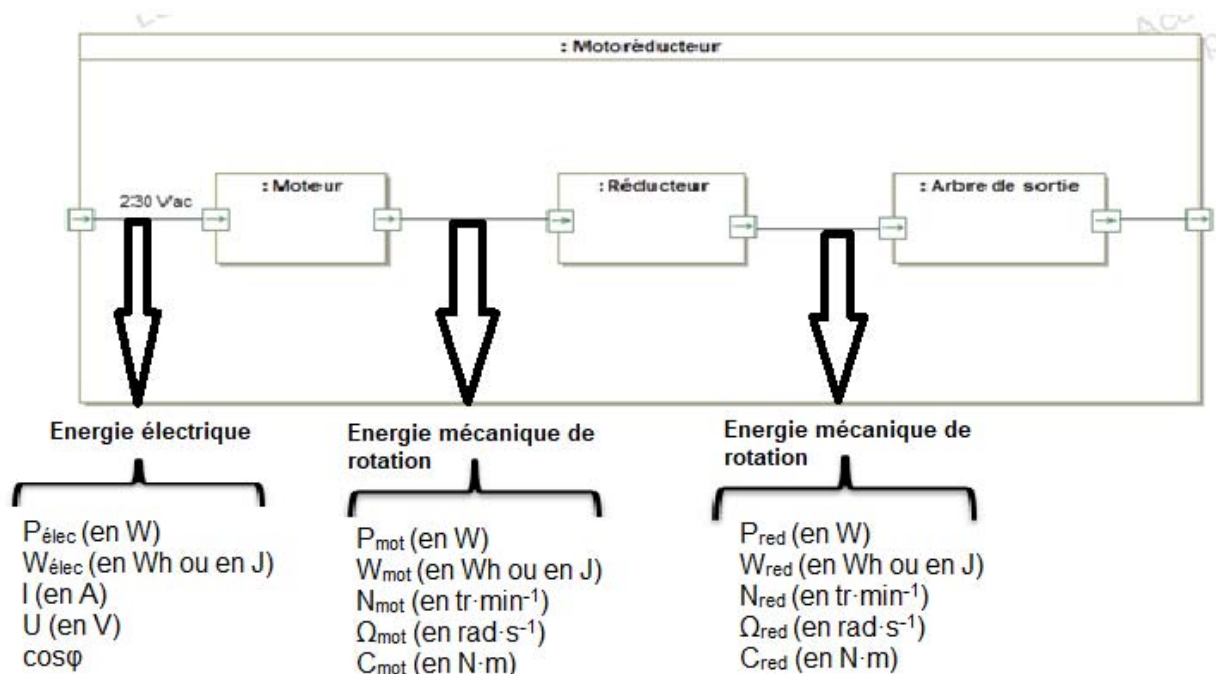
DRS1

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

### Validation du moteur :

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

### Evaluation de la consommation électrique :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DRS2 – DTS10

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

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

La température de confort recommandée est de 19°C.

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

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

Question B.3

DTS4

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

Question B.4

DTS4 – DRS3

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

Question B.5

DRS4

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

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

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

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

Question B.6

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

Question B.7

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

## Choix 1

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

#### Mise en situation :

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

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

#### Objectif de cette partie :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Question C.5

DTS9 – DTS10

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

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

Question C.6

DTS8

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

## Choix 2

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

#### Mise en situation :

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

#### Objectif de la partie :

- Valider le choix de la batterie (DTS9)

#### Extrait du cahier des charges :

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

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

Question D.1

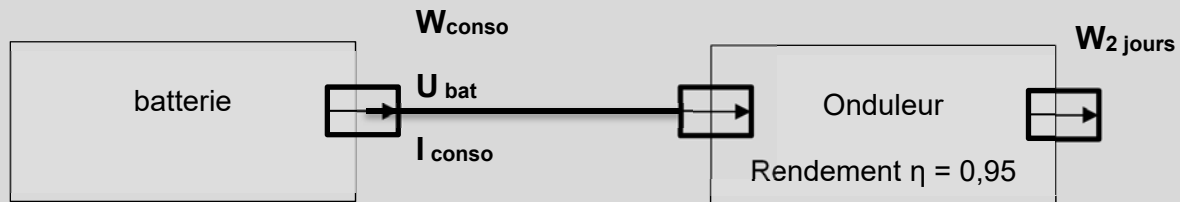
DRS5

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

## Energie journalière :

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

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



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

DTS10

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

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

DTS9 – DTS10

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

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

DTS9

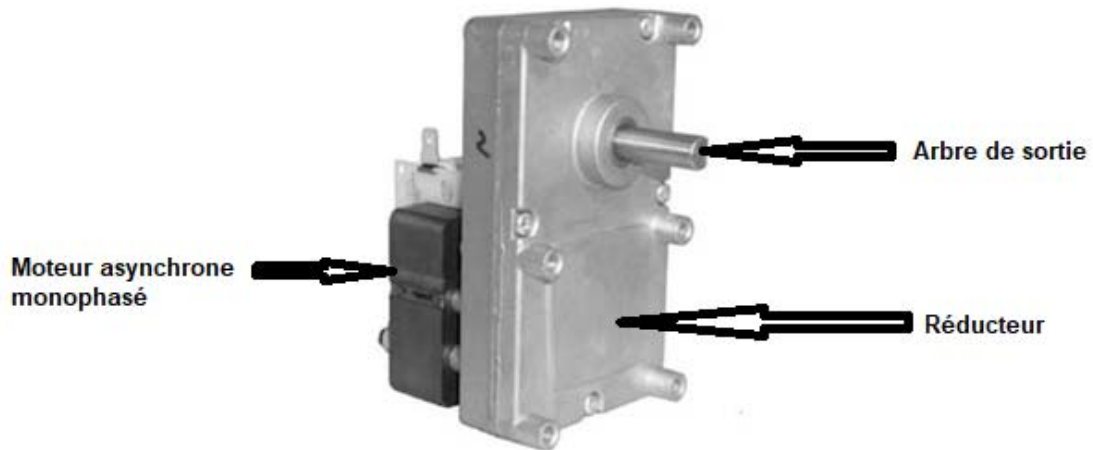
Afin d'augmenter l'autonomie énergétique du système d'alimentation de secours, le constructeur propose de remplacer la batterie par une autre dont l'énergie disponible est  $W_{disp} = 2\,208 \text{ Wh}$  et dont le prix est de 320 €.

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

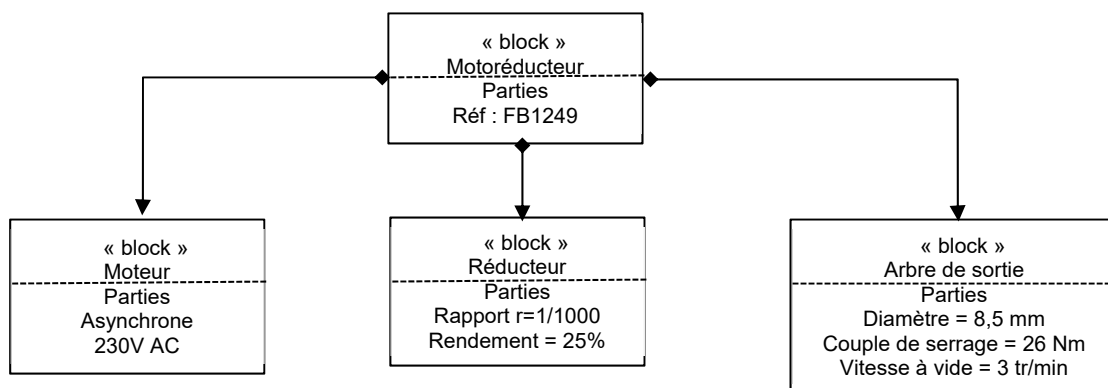
Question D.6 | **Calculer** l'autonomie ( $T$ ) énergétique de l'alimentation de secours si on utilise la batterie en option. **Conclure** sur l'intérêt d'utiliser la batterie en option au regard de la problématique de cette partie.

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

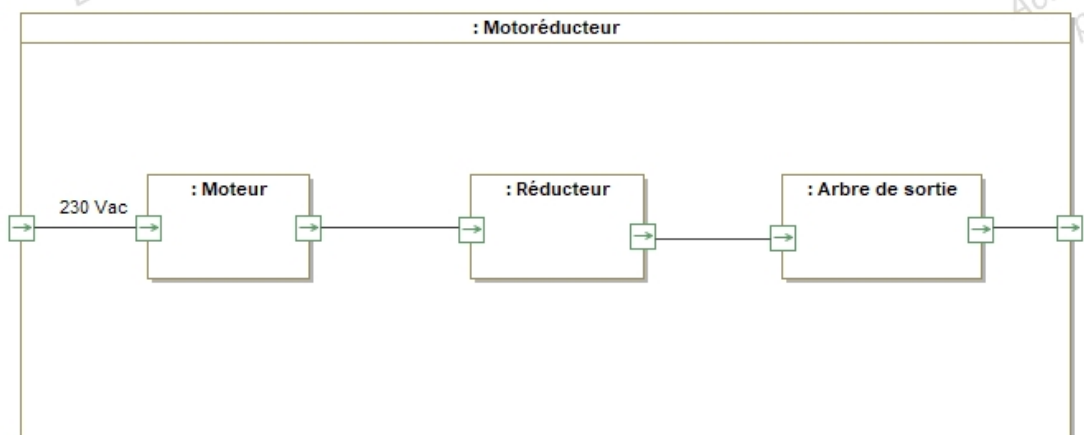
Référence : FB1249



### Diagramme B.D.D.



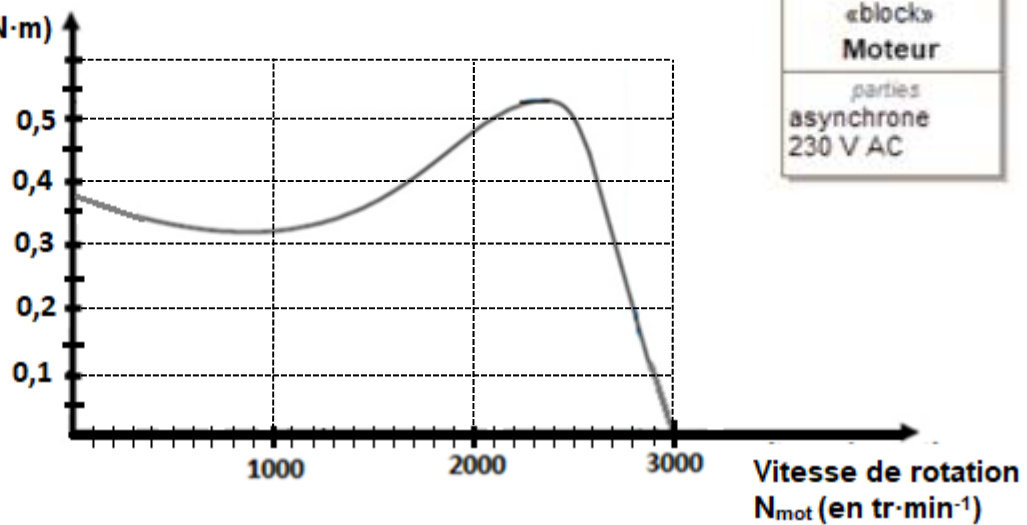
### Diagramme I.B.D.



## DTS2 : Courbes caractéristiques du moteur asynchrone

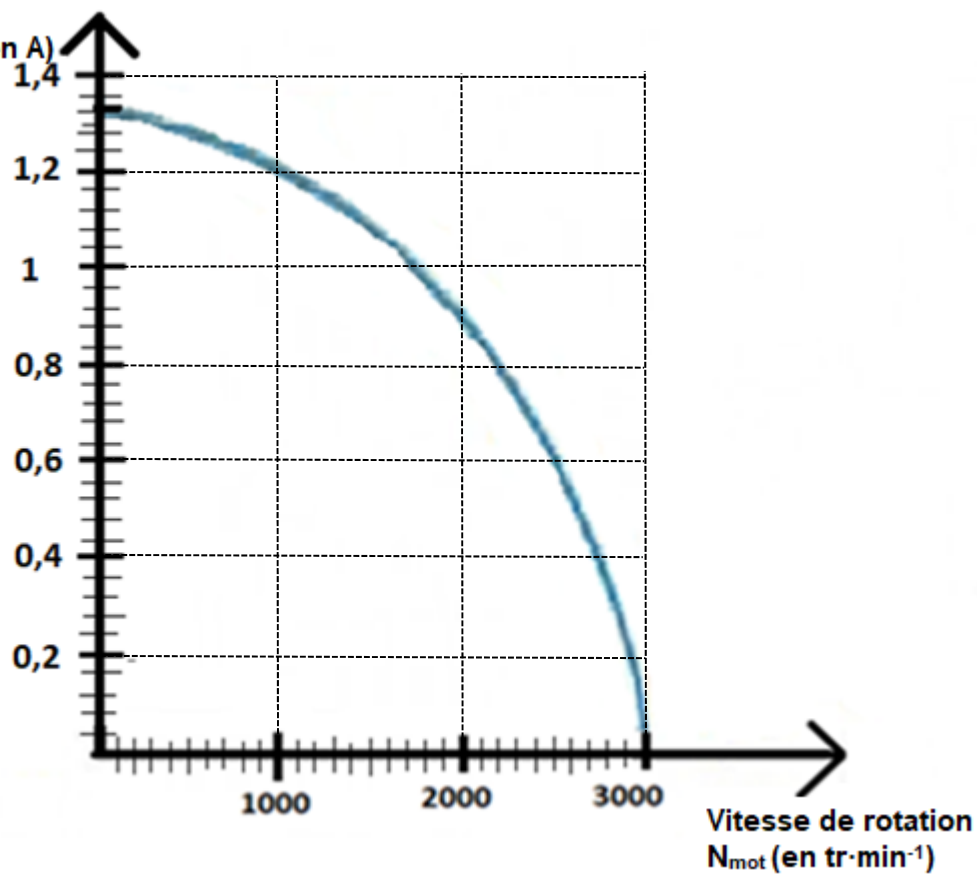
Couple moteur

$C_{\text{const}}$  (en N·m)

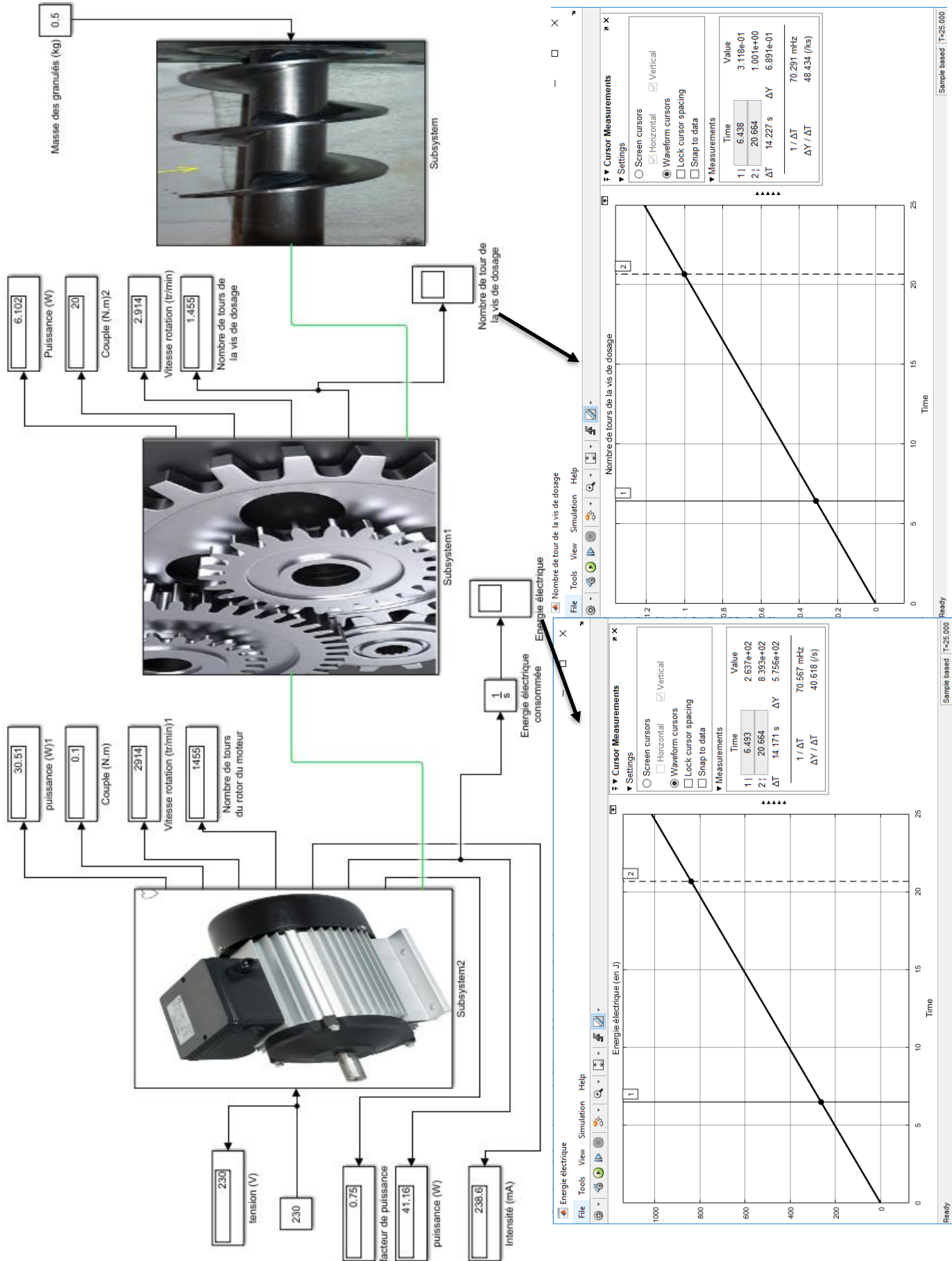


Intensité

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



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



## DTS4 : Simulation d'un scénario de chauffage

### Paramétrage du logiciel :

Scenario de chauffage

Temperatures

Temperature de base exterieure : 5,58 deg. C

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

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

Periode de chauffage

Duree journaliere de chauffe normale : 16 heures

Duree journaliere de chauffe reduite : 8 heures

Debut

novembre 2020

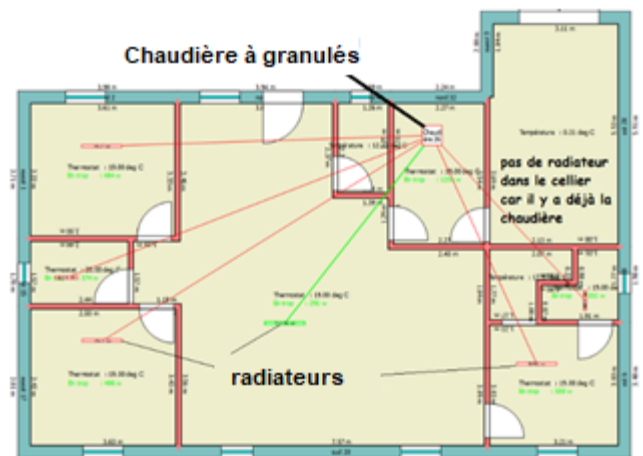
|    | dim. | lun. | mar. | mer. | jeu. | ven. | sam. |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 44 | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31   |
| 45 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| 46 | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| 47 | 15   | 16   |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

Fin

avril 2021

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

OK Annuler



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

### Résultats de la simulation :

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

40 Kwhep / m2.an

10 A B C D E F G

### Informations sur les résultats :

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

## DTS5 : Alimentation de secours

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

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

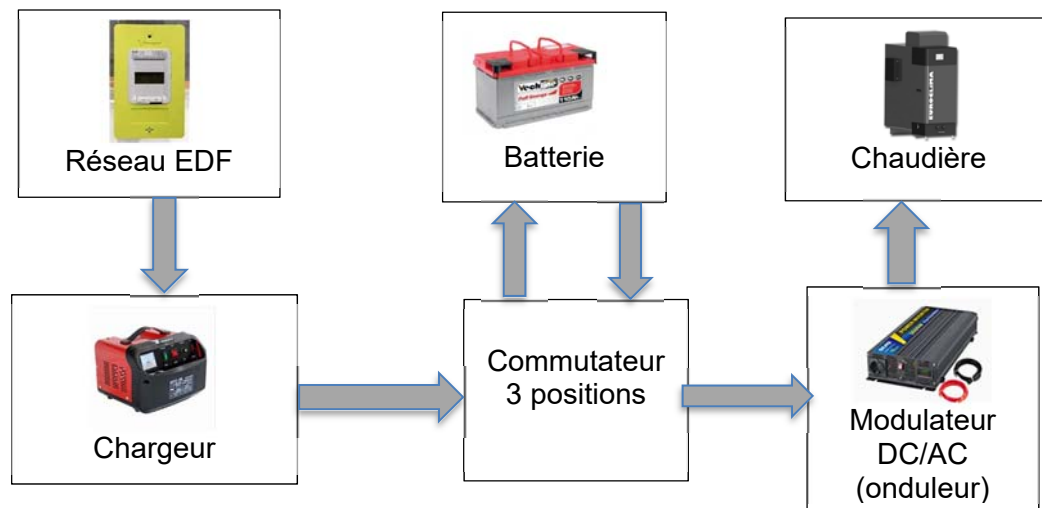
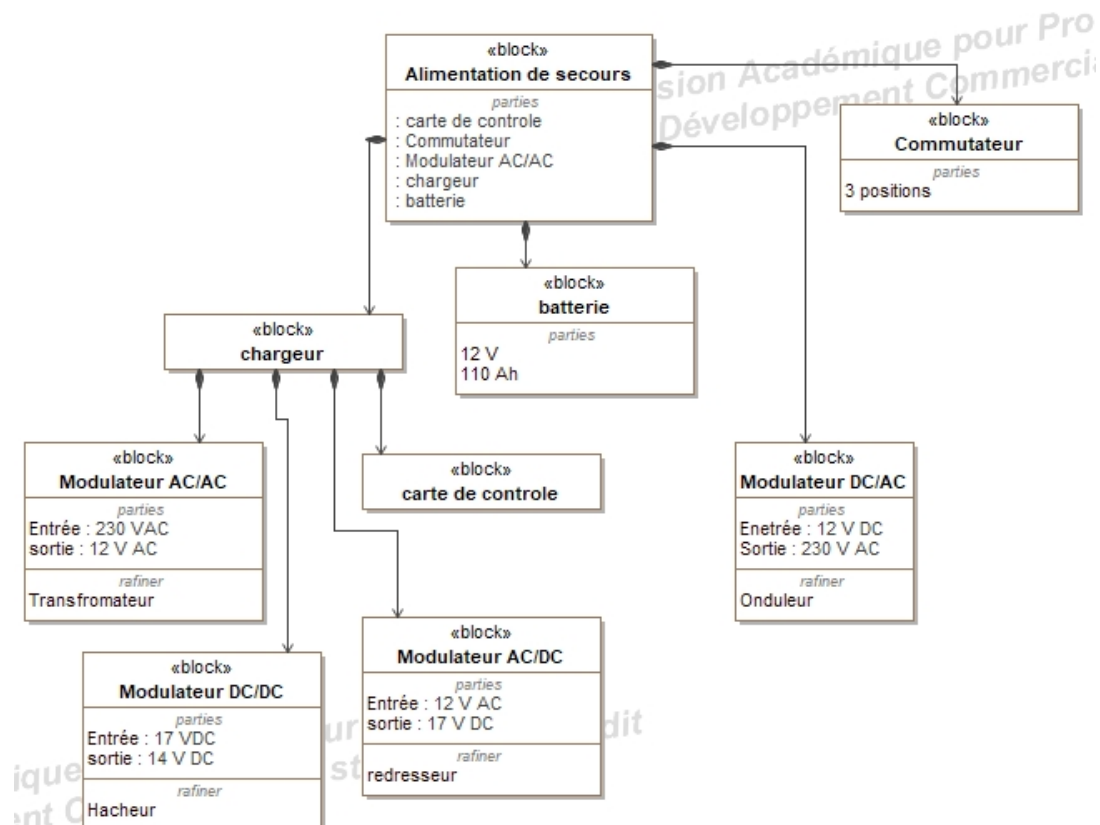
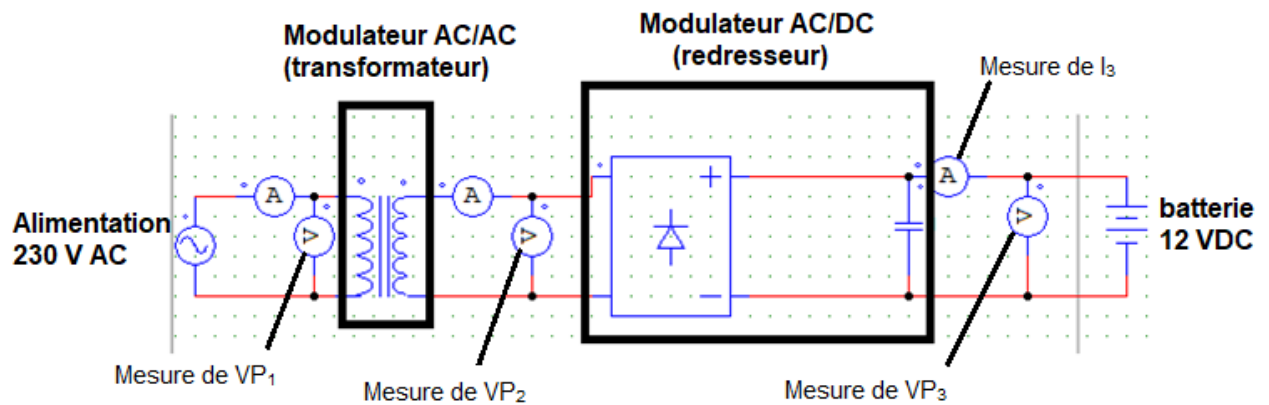


Diagramme B.D.D.



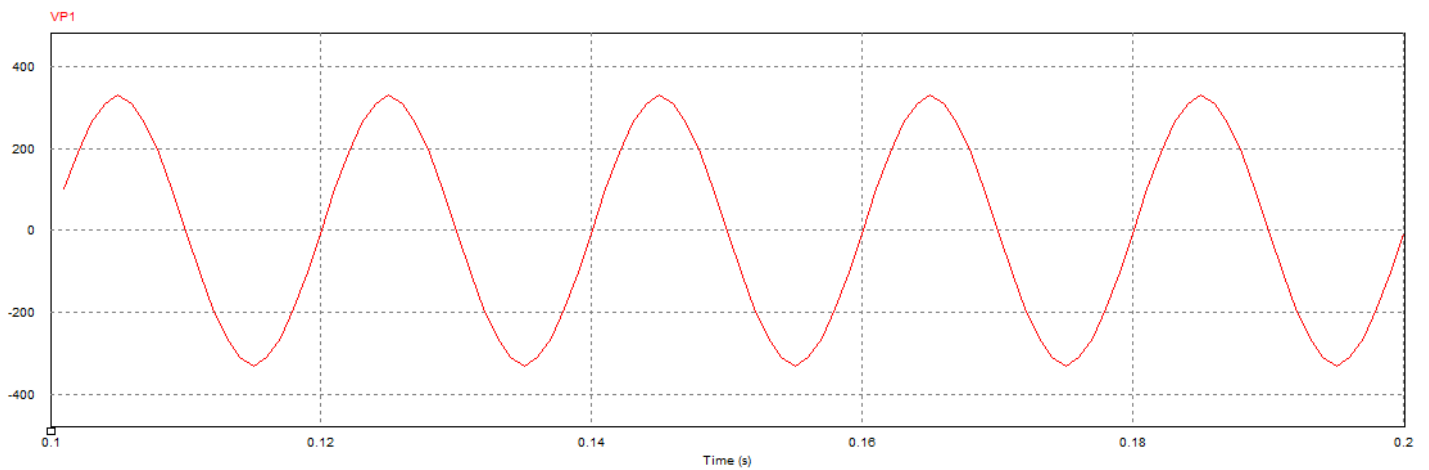
## DTS6 : Simulation du modulateur AC/AC et du modulateur AC/DC

Présentation du système simulé :

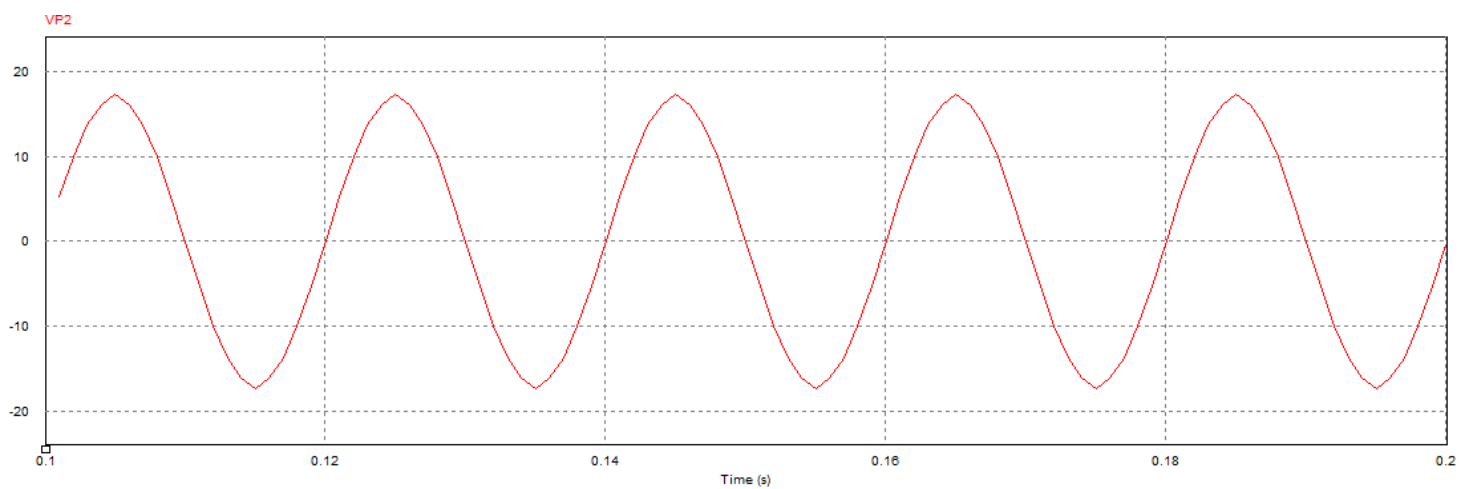


Résultats de la simulation :

Evolution de VP1 en fonction du temps :

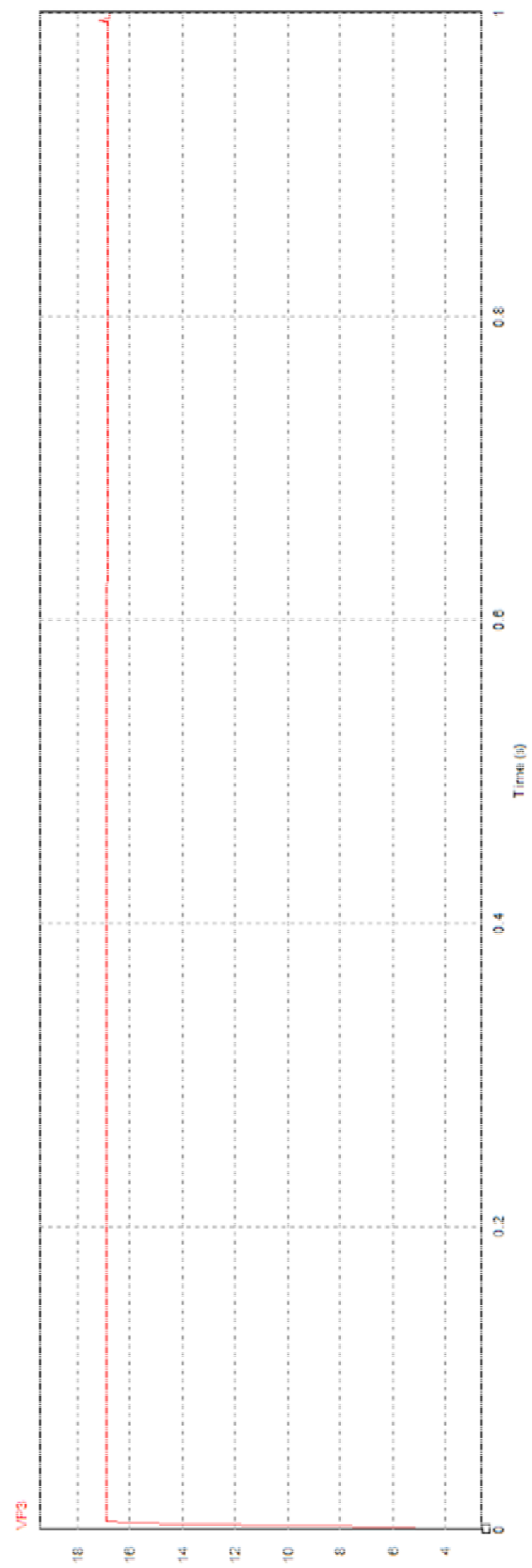


Evolution de VP2 en fonction du temps

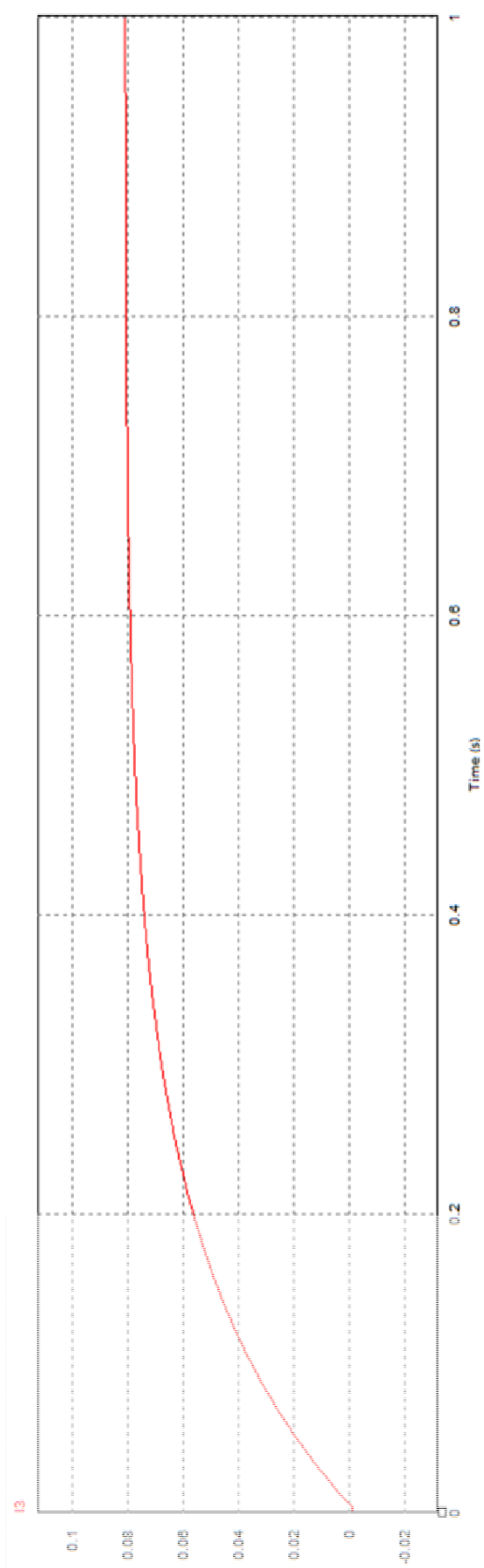


# DTS7 : Simulation du modulateur AC/AC et du modulateur AC/DC

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 :**

Matériau : métal.

Couleur : comme sur les photos.

Dimensions : 50 x 25 x 14 mm.

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

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

Courant de sortie maximum : 3 A.

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



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

---

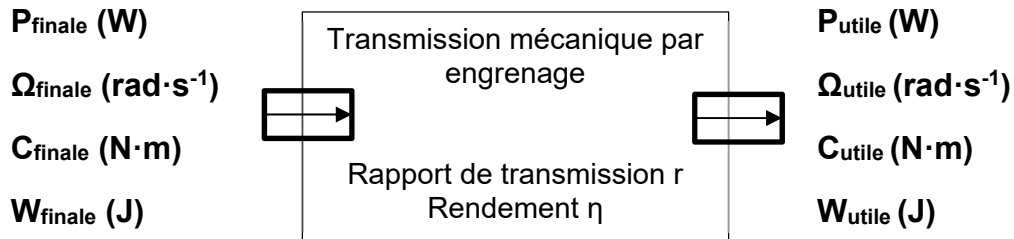
**Caractéristiques techniques :**

- 12 V
- 110 A·h

**Prix : 177 €**



## 1. Transmission mécanique par engrenage

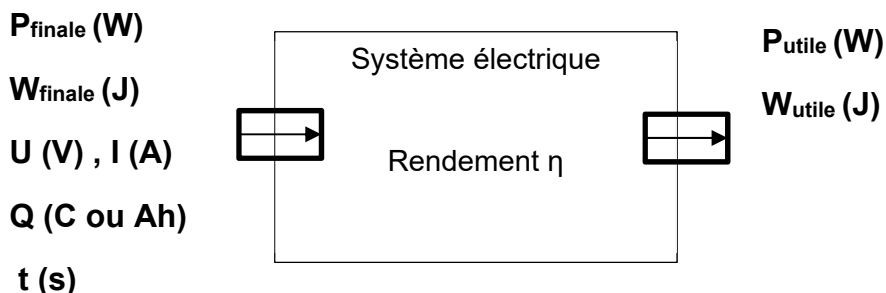


$$P_{\text{finale}} = C_{\text{finale}} \cdot \Omega_{\text{finale}}$$

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

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

## 2. Énergie électrique à tension continue



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

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

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

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

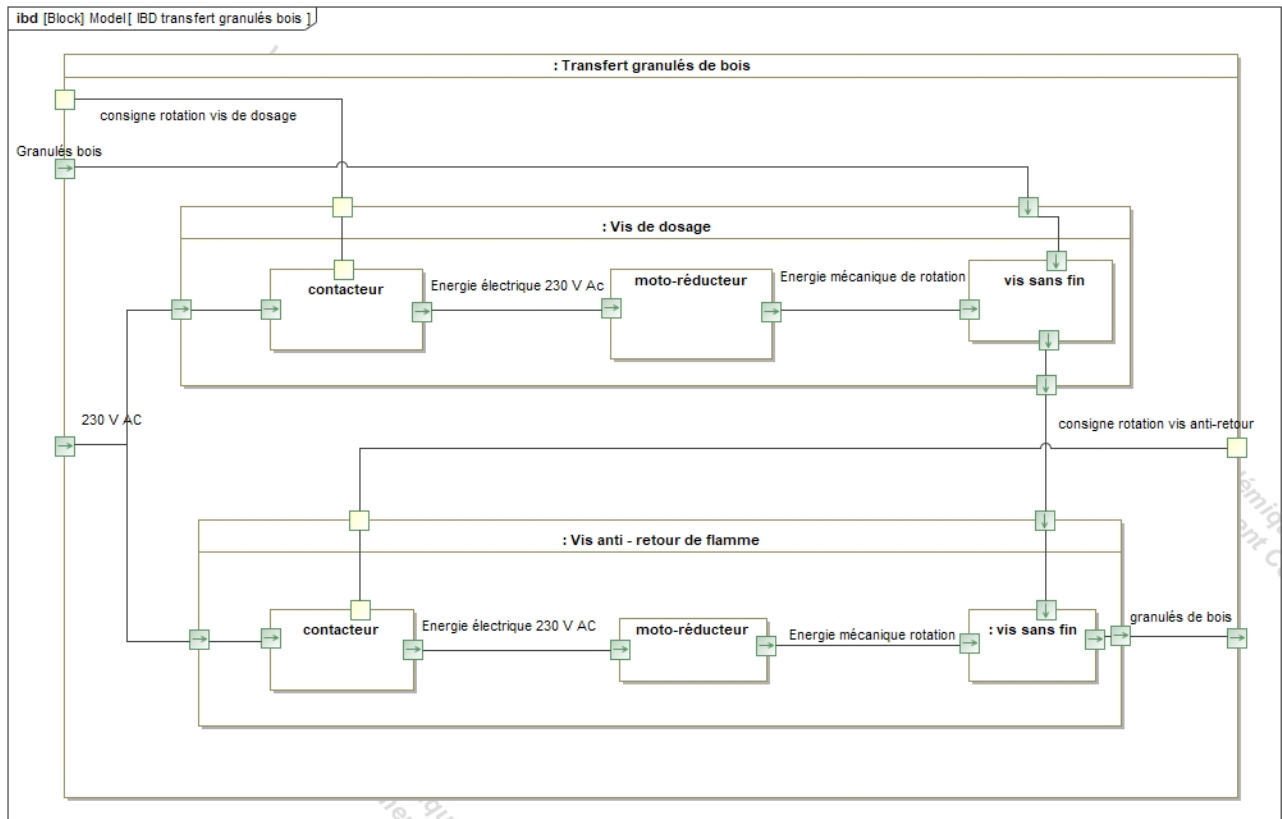
$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$$

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

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

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

Question A.1



## DRS2 : Consommation électrique journalière de la chaudière

Question B.1

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



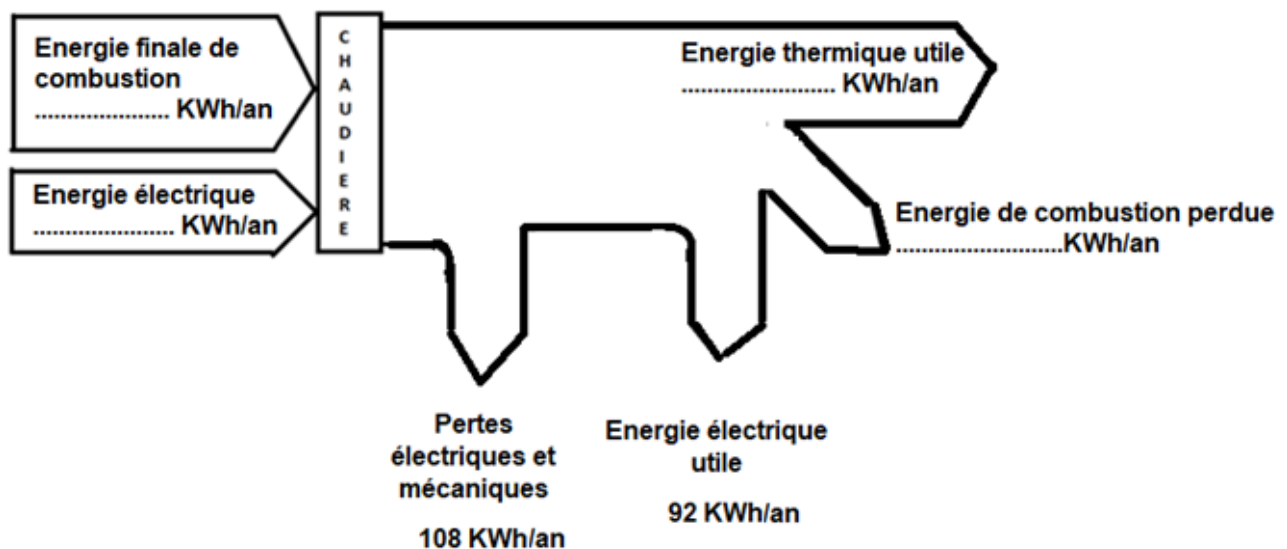
### DRS3 : Bilan énergétique du chauffage d'une maison

Question B.4

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

### DRS4 : Diagramme de Sankey

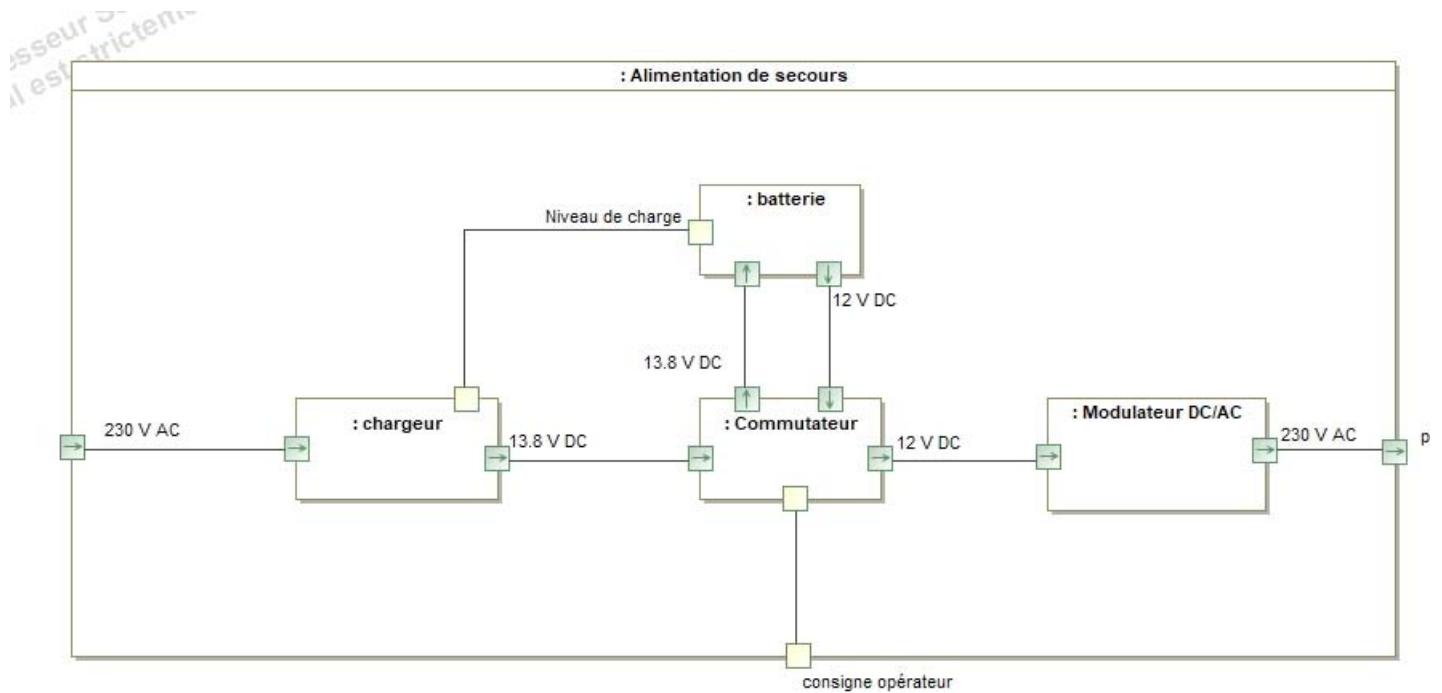
Question B.5



1.2

## 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

