

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Durée de l'épreuve : **4 heures**

CORRECTION

Chaudière à granulés



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

Question 1.1 | **Indiquer** quel combustible émet le plus de gaz à effet de serre en *kg.équivalent CO₂ / MW·h utile*.
DT1 (feuillet 1/2)

Le fuel

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

L'électricité

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 CO₂ / MW·h utile*.
DT1

	Gaz	Électricité	Fioul	Bois
Part d'émission de gaz à effet de serre en <i>kg.équivalent CO₂ / MW·h</i>	$28,6 \% \times 222 = 63,5$	$35,1 \% \times 180 = 63,2$	$15,4 \% \times 466 = 71,8$	$17,3 \% \times 37 = 6,4$

Le fioul est celle qui émet le plus de gaz à effet de serre *kg. équivalent CO₂ /MWh utile*.

Question 1.4 | **Calculer** le gain en Co2 si 100% du chauffage utilisait du bois. **Conclure** sur la pertinence de cette solution au regard de ce critère.

$$100\% \times 37 = 37 \text{ kg.équivalent CO}_2 / \text{MW}\cdot\text{h utile}$$

$$\text{Quantité totale actuelle : } 63,5 + 63,2 + 71,8 + 6,4 = 204,9 \text{ kg.équivalent CO}_2 / \text{MW}\cdot\text{h utile}$$

$$\text{Gain : } 204,9 - 37 = 167,9 \text{ kg.équivalent CO}_2 / \text{MW}\cdot\text{h utile}$$

Conclusion cette solution fait gagner 81% d'émission de CO₂ pour le chauffage domestique.

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

Question 2.1 | **Indiquer** les risques pour la santé des particules PM10.

DT1 (feuille 1/2)

Risques augmentés pour : accidents cardiaques, cancer du poumon, cancer des sinus de la face, accidents vasculaires cérébraux.

Question 2.2 | **Donner** le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois par les ménages et le **comparer** avec celui du trafic routier.

DT1 (feuille 2/2)

$80\% \times 29\% = 23,2\%$ équivalent à celui du trafic routier (25%) pour l'île de France.

Question 2.3 | **Calculer** le pourcentage des émissions totales de PM10 liées à la combustion de bois de chauffage pour les ménages équipés de cheminées à foyer ouvert.

DT1 (feuille 2/2)

Les appareils à foyer ouvert *représentent 50% des émissions dues au chauffage au bois. C'est-à-dire $23,2\% \times 50\% = 11,6\%$ du total*

Question 2.4 | **Evaluer** les conséquences du remplacement des appareils à foyer ouvert par un chauffage aux granulés sur le pourcentage des émissions totales de PM10. **Conclure** sur l'intérêt d'un chauffage bois aux granulés.

DT1 (feuille 2/2)

Le granulé de bois émet 8 fois moins qu'une cheminée à foyer ouvert

Ainsi, les émissions de PM10 d'un combustible à granulés ne représenteraient plus que $11,6\% / 8 = 1,45\%$ soit un gain de 10 points environ sur les émissions du secteur résidentiel.

Partie 3 : comment évaluer la consommation annuelle en granulés ?

Question 3.1 | Le tableau du DT2 indique la quantité d'énergie thermique dégagée par la combustion de différents types d'énergie. **Relever** le pouvoir calorifique inférieur (PCi) du fioul et des granulés de bois en précisant bien l'unité de produit correspondante.

DT2

PCi du fioul : 9,97 kWh pour un litre de fioul

PCi des granulés de bois : 4600 kWh pour une tonne de granulés

Question 3.2 | Sachant que la consommation actuelle de fioul domestique est de 1380 L par an, **calculer** la quantité d'énergie thermique E_T (en kWh) produite par l'ancienne chaudière, dont le rendement est de 75%.

$E_T = 0,75 \times 1380 \times 9,97 = 10318,95 \text{ kWh}$

Question 3.3 | **Relever** la valeur du rendement à charge partielle de la nouvelle chaudière à granulés.

DT3

Calculer la masse de granulés à stocker (en kg) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe afin de produire la même quantité d'énergie thermique E_T .

Rendement à charge partielle de la chaudière Euroclima 32 : 91%

$$E_T = 0,91 \times m_G \times 4600 \text{ donc } m_G = E_T / (0,91 \times 4600) = 2,465 \text{ tonnes} = 2465 \text{ kg}$$

Question 3.4 | **Calculer** le volume de granulés à stocker (en m^3) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe.

DT4, DT5

Justifier le choix du silo proposé sur le document DT5.

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

$$\text{Donc } V_G = 2465 / 600 = 4,11 \text{ m}^3$$

Le silo proposé sur le document DT5 permet bien de stocker ce volume de $4,1 \text{ m}^3$ (max $4,6 \text{ m}^3$) et la masse correspondante de 2,47 tonnes (max 3,1 tonnes).

Question 3.5 | Le document technique DT6 donne l'évolution de la production et de la consommation de granulés de bois en France. **Déterminer** graphiquement ces deux valeurs pour l'année 2019.

DT6

Expliquer l'écart entre ces deux valeurs (production et consommation).

Consommation en 2019 : 1800 kTonnes = 1 800 000 tonnes (valeurs admises entre 1750 et 1850 Ktonnes)

Production en 2019 : 1650 kTonnes = 1 650 000 tonnes (valeurs admises entre 1600 et 1700 Ktonnes)

A la production française s'ajoute ce qui est importé de l'étranger. On exporte aussi un peu, mais moins que ce qui est importé. Cette différence entre les imports et les exports se retrouve entre ce qui est produit et consommé en France.

Question 3.6 | Sachant que la consommation annuelle moyenne de granulés pour un foyer est de 2,5 tonnes, **déterminer** le nombre de foyers qui auraient pu se chauffer avec des granulés produits en France en 2019.

DT6

$$\text{Nb de foyers} = 1650000 / 2,5 = 660\,000$$

Question 3.7

En se basant sur l'ensemble des questions précédentes (parties 1 à 3), **Expliquer** les avantages et inconvénients d'une généralisation d'un chauffage par chaudière à granulés. **Citer** d'autres critères qu'il faudrait étudier pour conclure sur la pertinence de cette solution au regard du développement durable.

Avantage : diminution importante des gaz à effet de serre

Inconvénient : émet des particules fines, la production française est actuellement insuffisante mais en constante augmentation.

Critères à étudier au regard du DD : les coûts de cette solution, l'impact social, l'impact d'une surproduction de granulés sur la ressource en bois.

Partie 4 : comment optimiser le fonctionnement de la chaudière ?

Question 4.1

DR1

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

- flux d'information : concernant la **température** en **bleu**
- flux de matière : concernant les **granulés** en **vert**
- flux d'énergie : en **orange** (ou jaune)

Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

Question 4.2

DT7

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

Pour une consigne $\theta_{int} = 20^\circ\text{C}$ et $\theta_{ext} = 7^\circ\text{C}$, on relève sur la courbe de chauffe une température eau départ = 42°C ou 43°C

Question 4.3

DT3

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

Données : la masse volumique de l'eau est de $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et sa capacité thermique de $C = 4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$.

Il y a 90 L d'eau dans la chaudière (DT3)

$$Q_E = 90 \times 4185 \times (43-23) = 7,53 \cdot 10^6 \text{ J} \quad \text{ou} \quad Q_E = 90 \times 4185 \times (42-23) = 7,16 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Question 4.4

Calculer la puissance de chauffe nécessaire P_C (en W) pour une montée en température de la chaudière jusqu'à θ_{edc} en 10 minutes.

$$P_C = 7,53 \cdot 10^6 / (60 \times 10) = 12,6 \text{ kW} \quad \text{ou} \quad P_C = 7,16 \cdot 10^6 / (60 \times 10) = 11,9 \text{ kW}$$

Détermination de la quantité optimale de granulés par cycle

Question 4.5

DT4

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

Masse volumique des granulés : $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 $= 600 \cdot 10^3 \text{ g} / 10^9 \text{ mm}^3 = 0,6 \text{ g} / 10^3 \text{ mm}^3 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ g} / \text{mm}^3$

Volume de granulés pour 1 tour de vis $V = 125 \text{ cm}^3 = 125 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Masse de granulés pour un tour de vis : $m = 0,6 \cdot 10^{-3} \times 125 \cdot 10^3 = 75 \text{ g}$

Question 4.6

DT8

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

Vitesse de rotation du moteur : 3 tours par minute, donc 3 tours en 60 sec, soit 1 tour en 20 sec.

Question 4.7

Pour un temps de chauffe de 10 minutes, **calculer** la masse totale de granulés 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.

Il faut $0,7 \times 10 \times 60 = 420 \text{ g}$

Le motoréducteur doit être commandé pour effectuer $420/75 = 5,6$ tours en 10 min

On prendra 6 tours en 10 min

L'alimentation en granulés sera ainsi optimisée en commandant le nombre de cycle du motoréducteur

Détermination du volume optimal d'air par cycle

Question 4.8

DT9

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

Pour avoir $\lambda_{\text{ref}} = 1,3$, il faut le rapport $\frac{A}{G} = 7,8$ (réponses admises entre 7,4 et 8)

Pour une masse de granulés = 75g, il faut une masse d'air de $75 \times 7,8 = 585 \text{ g}$

Le volume d'air correspondant $0,585 / 1,204 = 0,486 \text{ m}^3$

Question 4.9

DT3

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

Débit d'air = $V_{\text{air}} / \text{durée cycle} = 0,486 \times 3600 / 20 = 87,5 \text{ m}^3 / \text{h}$

D'après le DT3, le débit d'air maximum du moto-ventilateur la chaudière est de $290 \text{ m}^3 / \text{h}$ donc il convient.

Question 4.10

DT9

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

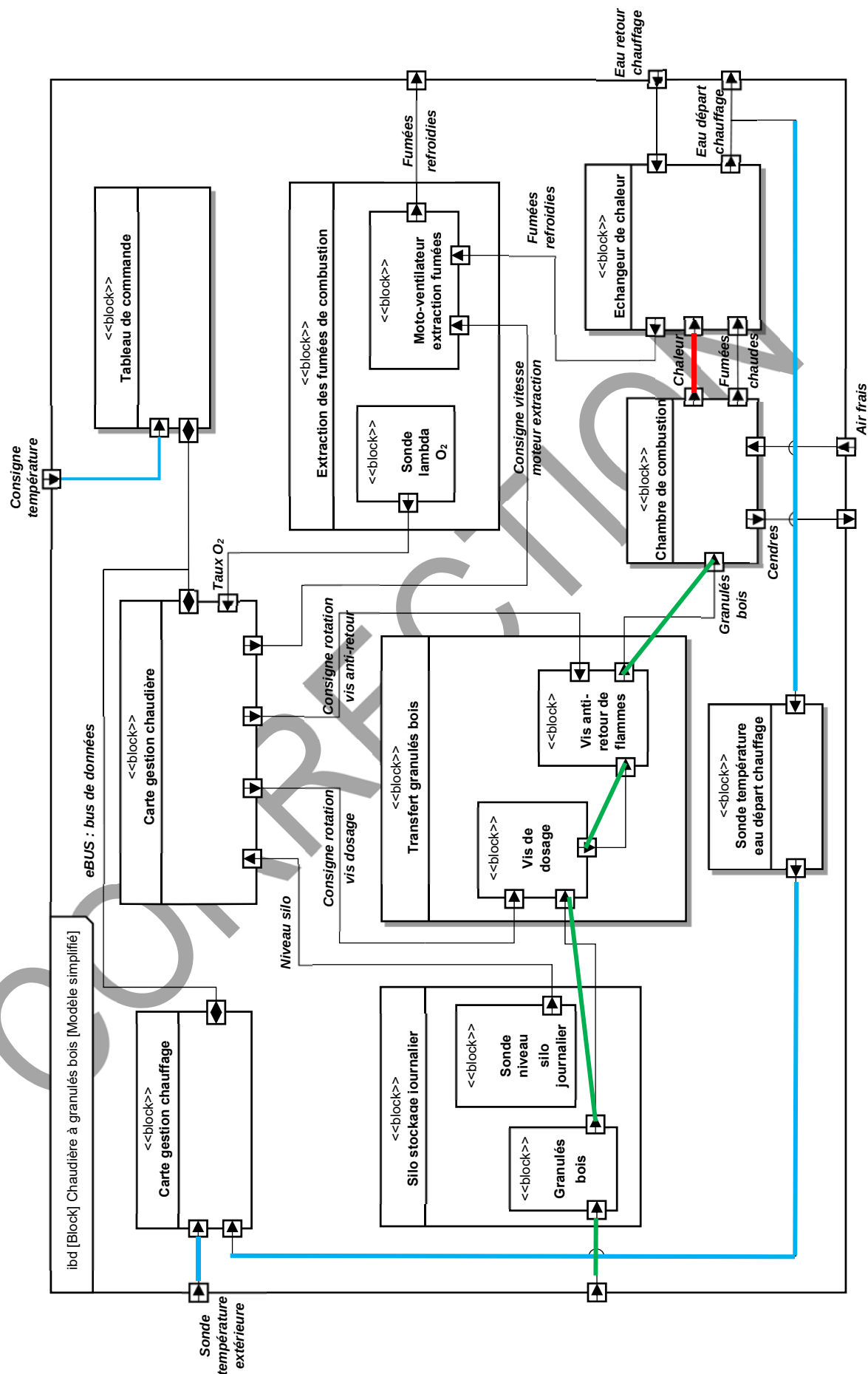
$\lambda_{\text{mini}} = 1,2$ et $\lambda_{\text{maxi}} = 1,4$

Question 4.11

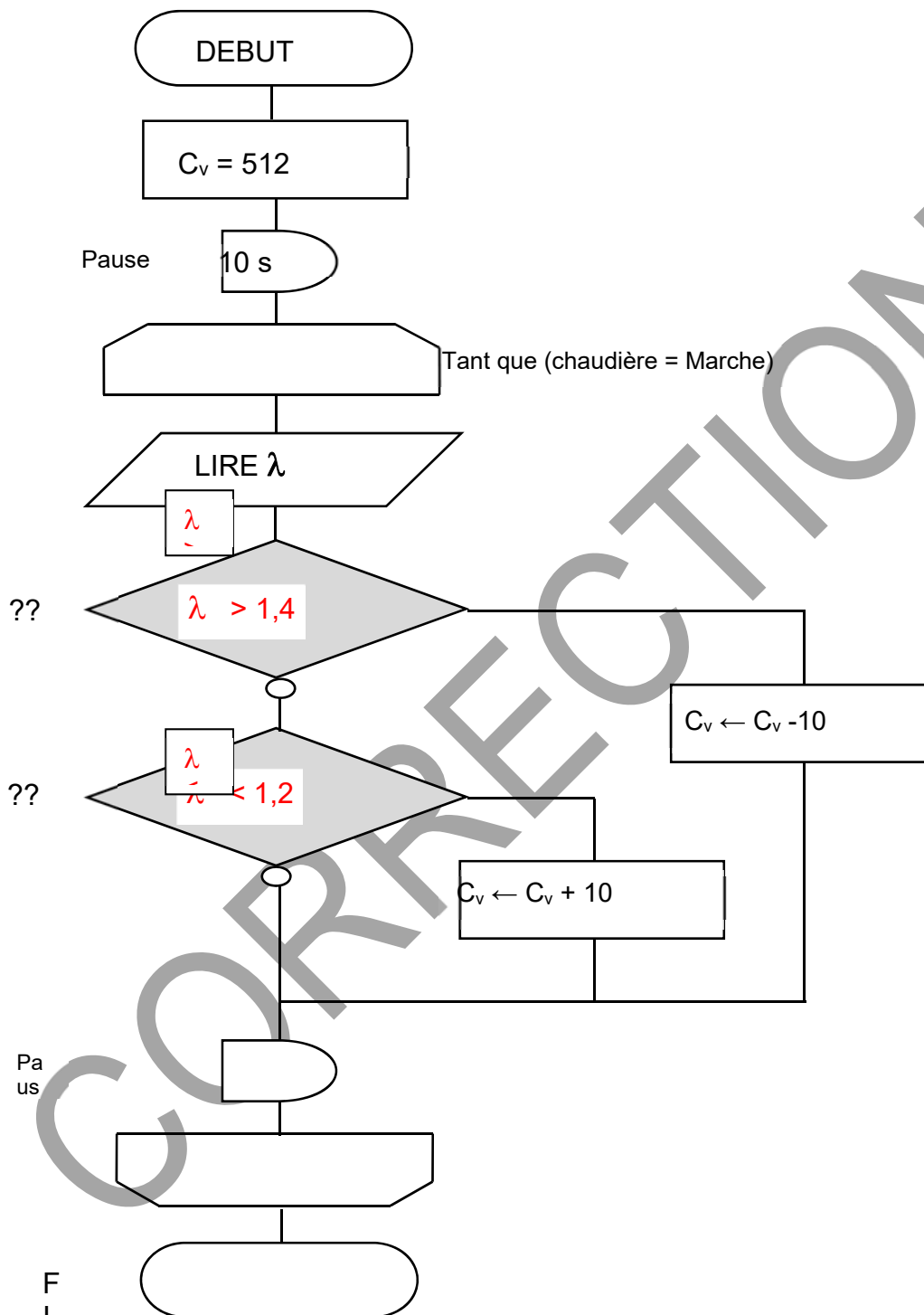
DR2

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.

CORRECTION



Algorithme de régulation du volume d'air



INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Chaudière à granulés



Travail demandé

PARTIE A : Comment adapter le stockage des granulés ?

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

On utilisera un silo de type 5.5. La zone d'installation devra avoir :

- Une surface au sol au moins de $S=2,2 \times 2,2 = 4,84 \text{ m}^2$.
- Une hauteur supérieure à $H= 2,5 \text{ m}$

Question A.2 | **Justifier** le paramétrage par la charge linéique q représentée ci-dessus sur la structure.

DTS3

Déterminer la valeur de la charge linéique q (en N/m)

La masse de 3 000 kg est supportée par les 4 barres horizontales et répartie tout le long de la fixation du silo sur la structure.

$$q = \frac{P_{\text{Granulés}}}{4 \cdot L} = \frac{M \cdot g}{4 \cdot L} = \frac{3\,000 \cdot 9,81}{4 \cdot 2,20} = 3\,344 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Question A.3 | Dans le cas du modèle 1 :

DTS3

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

Le poids total de la charge se répartit sur les 4 pieds.

$$\text{Donc chaque pied subit } F = \frac{P}{4} = \frac{M \cdot g}{4} = \frac{3\,000 \cdot 9,81}{4} = 7\,357,5 \text{ N}$$

Les 2 efforts appliqués (égaux et opposés) sur un pied tendent à diminuer sa longueur, donc ils sont sollicités en compression.

Question A.4 | Dans le cas du modèle 1 : **Calculer** la contrainte dans un pied.

DTS3

On rappelle que les pieds de la structure sont constitués de profilés creux. (voir Figure 2 ci-dessus).

On a de la compression. Donc la contrainte dans un pied est une contrainte normale égale à :

$$\sigma = \frac{N}{S} = \frac{-F}{S} = \frac{-7\,357,5}{(80 \times 80) - (72 \times 72)} = \frac{-7\,357,5}{1216} \Rightarrow \sigma = -6,05 \text{ MPa}$$

(valeur positive ou négative admise)

Question A.5 | Dans le cas du modèle 1 Les liaisons entre les différents éléments de la structure (cadre et pieds) sont des encastrement rigides. La simulation présentée en DTS4 fait apparaître une flexion des pieds. **Expliquer** en quoi la nature des liaisons décrites ci-dessus induit ce phénomène (il peut être utile de faire un schéma)

DTS4 ; DTS5

La flexion des barres du cadre engendre une rotation de la liaison avec les pieds ; la liaison étant rigide cette rotation induit une flexion du pied.

Question A.6 | 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.

DTS4 ; DTS5

Dans le cas du modèle 1 : Les pieds peuvent se replier au niveau du cadre, sous l'effet de la charge horizontale, et la structure s'effondrer.

Dans le cas du modèle 2 : On a rigidifié la structure en ajoutant des barres croisées : système triangulé (Le candidat peut aussi citer la croix de Saint-André)

Question A.7 | En vous aidant des valeurs des contraintes affichées sur les simulations (DTS5), **vérifier** la résistance de la structure.

DTS4 ; DTS5

Condition de résistance : $\sigma_{Maxi} \leq \frac{\sigma_e}{s}$

Modèle 2

$\sigma_{Maxi} = 103,1 \text{ MPa}$

$\sigma_e = 235 \text{ MPa}$

$$s > \frac{\sigma_e}{\sigma_{Maxi}} \Rightarrow s > \frac{235}{103,1} \Rightarrow s > 2,3$$

La condition de résistance est vérifiée

Question A.8 | **Conclure** sur l'intérêt du modèle 2
 Le modèle 2 est plus stable et plus rigide (déformations moindres)

PARTIE B : Comment optimiser l'alimentation en granulés ?

Question B.1	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.
DTS6, DRS1	

Vis avec un pas à droite, permet de faire translater les granulés vers le bout de la vis

Cf DRS1

Question B.2	A l'aide du DTS6, déduire de la question précédente et 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.
DTS6, DRS1	

Cf DRS1

Question B.3	Justifier le choix d'installer une chaîne au lieu d'une courroie.
DTS6, DTS7, DRS1	

Choix d'une chaîne : Synchrone, durée de vie importante, adaptée à une température importante.

Choix d'une courroie : risque de glissement, température admissible de fonctionnement risquant d'être dépassée.

Question B.4	Calculer successivement les vitesses de rotation de la vis de dosage (3), du sas rotatif (13), et de la vis de sécurité (4).
DTS6, DRS1	

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

Vitesse de la vis de dosage (3) : Elle est entraînée par la roue 23. Donc $N_3 = N_{23}$

$$\frac{Z_{20}}{Z_{23}} = \frac{N_{23}}{N_{20}} \Rightarrow N_{23} = \frac{Z_{20}}{Z_{23}} \cdot N_{20} = \frac{13}{28} \cdot 1,5 \Rightarrow N_{23} = N_3 = 0,7 \text{ tr. min}^{-1}$$

Vitesse du sas rotatif (13) : Il est entraîné par la roue 22. Donc $N_{13} = N_{22}$

On peut voir que $Z_{23} = Z_{22}$ mais les deux roues tournent en sens opposées. Donc on aura $N_{13} = N_{22} = -N_{23} = -0,7 \text{ tr. min}^{-1}$

Vitesse de la vis de sécurité (4) : Elle est entraînée par la roue 21. Donc $N_4 = N_{21}$

$$\frac{Z_{20}}{Z_{21}} = \frac{N_{21}}{N_{20}} \Rightarrow N_{21} = \frac{Z_{20}}{Z_{21}} \cdot N_{20} = \frac{13}{20} \cdot 1,5 \Rightarrow N_{21} = N_4 = 0,975 \text{ tr. min}^{-1}$$

Question B.5 DTS6	Calculer successivement les débits (en $\text{mm}^3.\text{min}^{-1}$) 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.
----------------------	---

Débit de la vis de dosage (3) :

$$Q = \frac{\text{Débit Maxi}}{N_3} = \frac{125\,000}{0,7} = 178\,571 \text{ mm}^3.\text{min}^{-1}$$

Débit du sas rotatif (13) :

$$Q = \frac{\text{Débit Maxi}}{N_{13}} = \frac{150\,000}{0,7} = 214\,286 \text{ mm}^3.\text{min}^{-1}$$

Débit de la vis de sécurité (4) :

$$Q = \frac{\text{Débit Maxi}}{N_4} = \frac{250\,000}{0,975} = 256\,410 \text{ mm}^3.\text{min}^{-1}$$

Le débit ne fait qu'augmenter tout au long du transport, ce qui tends à séparer les granules les uns des autres et réduire ainsi les risques de bourrage.

Question B.6 DTS6	A l'aide du DTS6, expliquer en quoi le sas rotatif pallie au risque de retour de flamme.
----------------------	--

Il évite les retours de flammes vers la zone de stockage journalier en faisant obstruction entre la vis de sécurité et la vis de dosage.

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.
----------------------	---

Il faut un matériau qui puisse se souder (fabrication des vis) et dont la température d'utilisation soit supérieure à 600°C .

DTS8 : L'acier inoxydable et les super alliages au nickel respectent ces contraintes.

Question B.8 | **Conclure** sur la validité des différents choix effectués pour respecter les contraintes de l'alimentation en granulés.

Alimentation en granulés sécurisée :

- Améliorer la sécurité incendie :
 - o grâce au sas rotatif
 - o matériau des vis résistant aux températures élevées
- Fiabilité du système d'alimentation en granulés :
 - o Utilisation d'une Tr. de puissance par chaîne, fiable, synchrone, résistante à de possibles températures élevées
 - o Utilisation de vis sans fin
 - o Diminution des risques de bourrage

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

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

DTS9; DRS2

Voir DRS2

Question C.2 | En vous aidant de la présentation du convoyeur sur le DTS9, **vérifier** que la densité des granulés est compatible avec les caractéristiques de ce type de convoyeur.

DTS9

Densité des granulés $600/1000=0,6 < \text{densité maximale requise de } 0,7$

Question C.3 | Sur le DRS2, **tracer l'axe du tube** du convoyeur entre son point de départ D, et son point d'arrivée A.

DTS9; DRS2

Reporter les valeurs **R** et **α** sur le DRS2.

Voir DRS2

Question C.4

DTS9; DRS2

En vous aidant des tracés effectués précédemment sur le DRS2, **déterminer** la longueur approchée du tube du convoyeur à installer.

Calcul approché :

$$AB = 2,2 - 0,3 = 1,9 \text{ m}$$

$$\cos(45^\circ) = \frac{AB}{AC} \Rightarrow AC = \frac{AB}{\cos(45^\circ)} = \frac{1,9}{\cos(45^\circ)} = 2,69 \text{ m}$$

$$ABC \text{ isocèle donc } AB = BC = 1,9 \text{ m}$$

$$CD = 4 - BC = 4 - 1,9 = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Longueur du tube} = AC + CD = 2,69 + 2,1 = 4,79 \text{ m}$$

PARTIE D : Synthèse

Question D.1

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

Partie A : Stockage des granulés

- Volume du silo adapté à une conso annuelle
- Dimension maxi du silo + structure possible à installer dans un habitat
- Résistance adaptée de la structure du silo

Partie B : Alimentation optimisée en granulés :

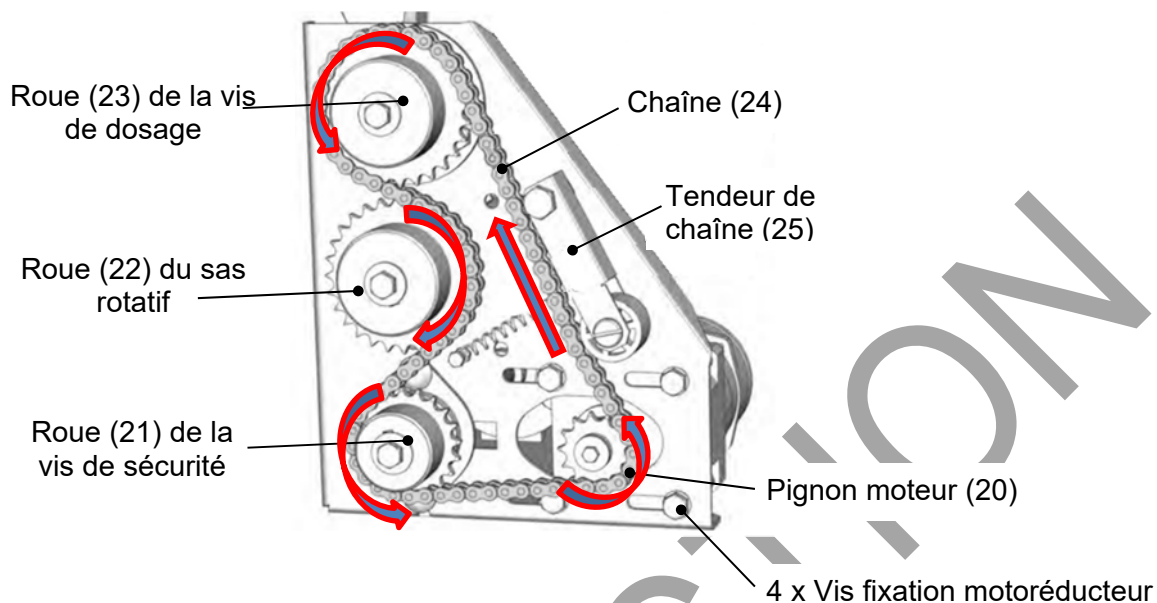
- Système fiable de transfert des granulés avec vis sans fin et chaînes
- Sécurité vis-à-vis des incendies grâce au sas rotatif et matériau adapté des vis sans fin
- Transfert des granulés avec débit précis

Partie C : Alimentation autonome en granulés

- Technologie du tube de transfert déjà éprouvée en industrie
- Système souple et adaptable
- Avantages du système (silencieux, pas de poussières) bien adaptés aux habitats.

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

