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

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

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 36 pages numérotées de 1/36 à 36/36.

Constitution du sujet :

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

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

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (12 points)

Chaudière à granulés



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

Mise en situation

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

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

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

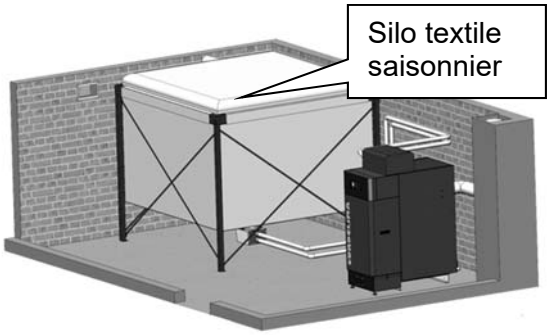




Les granulés sont fabriqués à partir de résidus, copeaux et sciures de bois, issus de l'industrie du bois (menuiserie, parqueterie, fabrique de palettes…), qui sont agglomérés ensemble, sans agent de liaison, pour former de petits cylindres compacts. Moderne et facile d'utilisation, la chaudière à granulés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

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

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

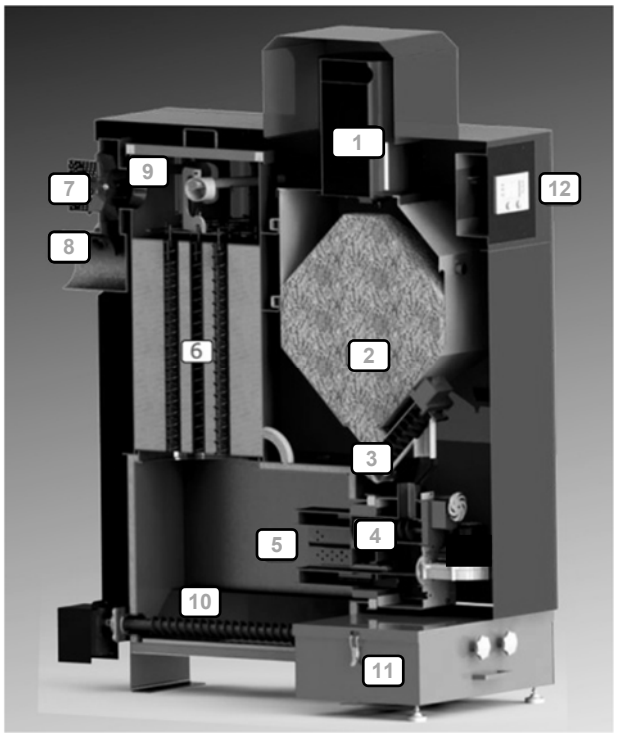


Le volume de ce silo textile saisonnier doit être adapté à la consommation annuelle afin d'éviter les rechargements en cours de saison de chauffe.

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

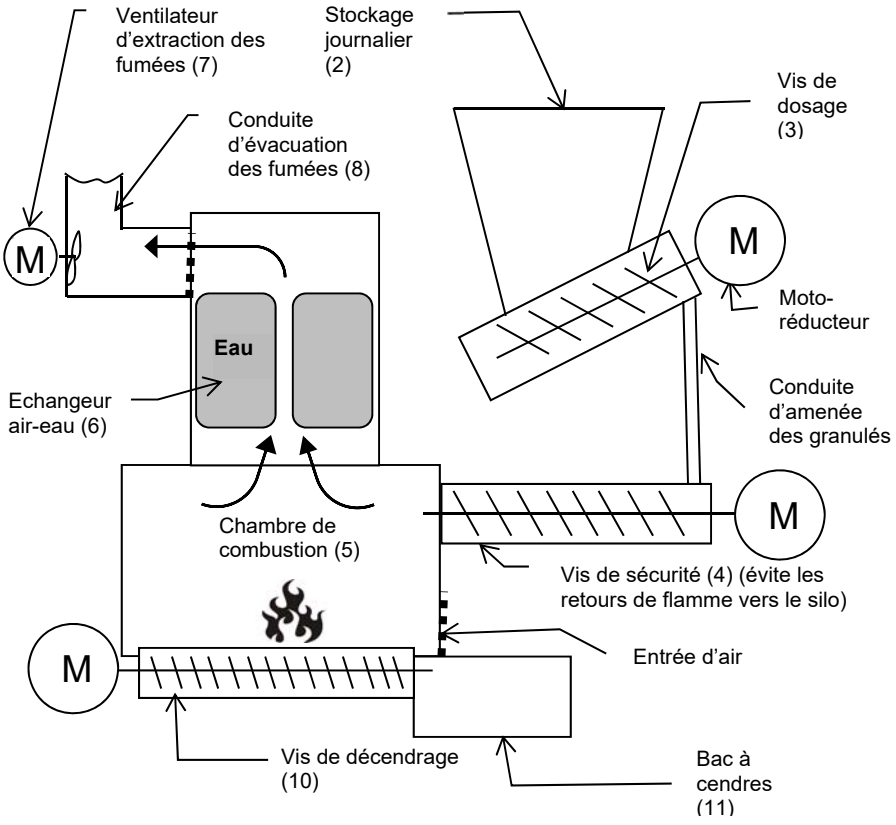


Description du fonctionnement

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
DT1 (feuillet 1/2)

Indiquer quel combustible émet le plus de gaz à effet de serre en *kg.équivalent CO_2 / MW·h utile*.

Question 1.2
DT1 (feuillet 1/2)

Indiquer l'énergie la plus utilisée pour le chauffage des foyers français.

Question 1.3
DT1

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_2 / MW·h utile*.

	Gaz	Électricité	Fioul	Bois (en moyenne)
Part des émissions de gaz à effet de serre en *kg.équivalent CO_2 / MW·h*	0,286 x 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
DT1 (feuillet 1/2)

Expliquer pourquoi les particules PM10 sont dangereuses pour les humains.

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

Partie 3 : comment évaluer la consommation annuelle en granulés ?

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

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

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

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

Question 3.2	**Calculer** la quantité d'énergie thermique E_T (en kWh) produite par l'ancienne chaudière, dont le rendement est de 75%.
Question 3.3 DT3	**Relever** la valeur du rendement à charge partielle de la nouvelle chaudière à granulés. **Calculer** la masse de granulés à stocker (en kg) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe afin de produire la même quantité d'énergie thermique E_T.
Question 3.4 DT4, DT5	**Calculer** le volume de granulés à stocker (en m^3) pour alimenter la chaudière pendant une saison de chauffe. **Justifier** le choix du silo proposé sur le document DT5.

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

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

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

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

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

Partie 4 : comment optimiser le fonctionnement de la chaudière ?

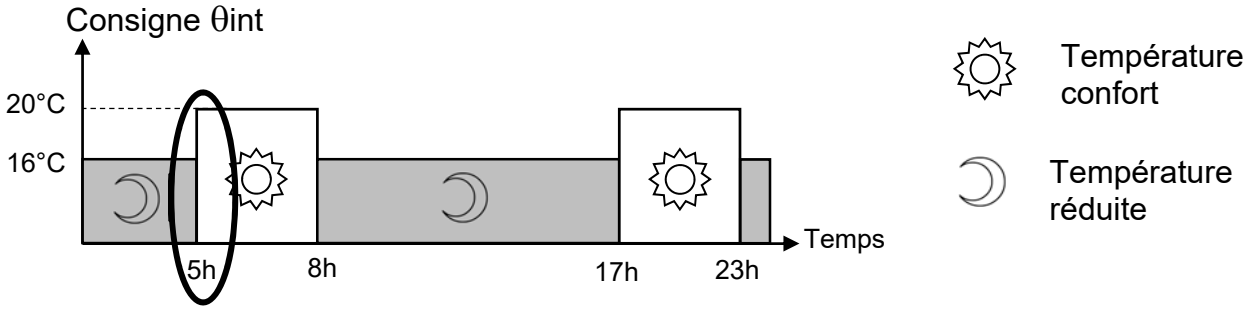
Afin de devenir une solution s'inscrivant dans une démarche de développement durable et respectueuse de la santé, le fonctionnement de la chaudière à granulés doit être optimisé. Afin d'obtenir le rendement maximum, il convient notamment de veiller à ce que la combustion des granulés soit complète. Ceci permettra d'une part de réduire la consommation de combustible, d'autre part de diminuer les rejets : émissions polluantes (CO_2, NOx, ...) et cendres.

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

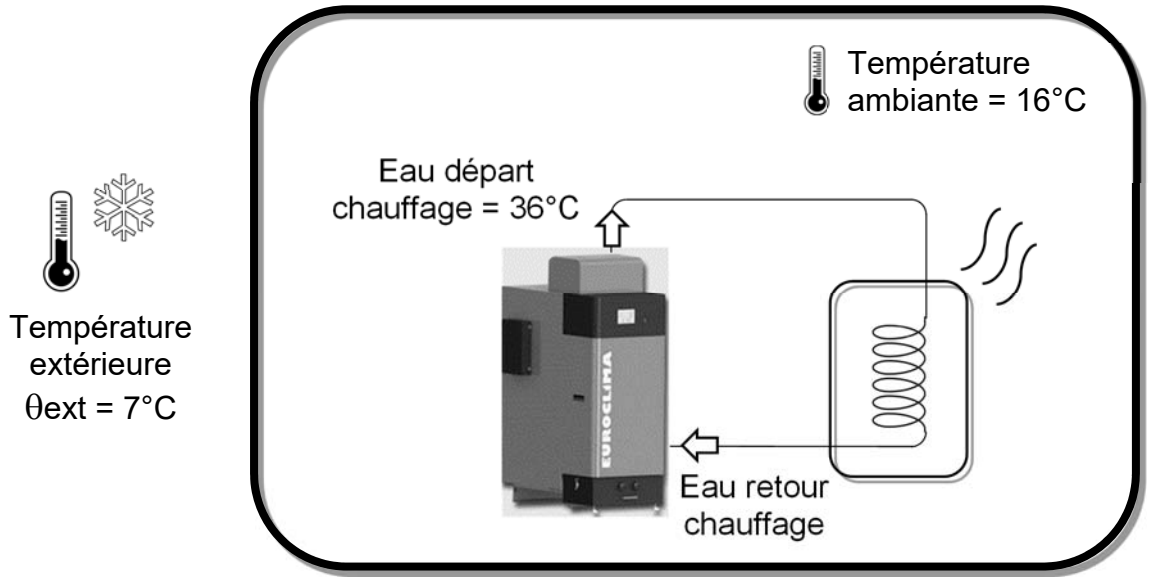
Question 4.1 DR1	Sur le diagramme de blocs internes du DR1, **identifier** les flux suivants en **repassant sur les traits** avec les couleurs indiquées ci-dessous : - flux d'information : concernant la **température** en **bleu ;** - flux de matière : concernant les **granulés** en **vert ;** - flux d'énergie : en **rouge.**

Détermination de la puissance de chauffe nécessaire

Le graphe de programmation horaire définit les consignes de température intérieure (Consigne θint) 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 θedc qui permettra d'obtenir la température confort dans l'habitation (arrondir à la valeur entière supérieure) après 5 heures du matin.

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

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

Question 4.3 DT3	**Calculer** la quantité de chaleur Q_E (en J) que devra fournir la chaudière afin d'obtenir la température « eau départ chauffage » désirée en sachant que la température « eau retour chauffage » est de 23°C.

Question 4.4 | **Calculer** la puissance de chauffe nécessaire P_c (en W) pour une montée en température de la chaudière jusqu'à θedc en 10 minutes.

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

Détermination de la quantité optimale de granulés par cycle

Question 4.5
DT4 | **Convertir** la masse volumique des granulés en $g \cdot mm^{-3}$ et en **déduire** la masse maximale de granulés (en g) qui peuvent être amenés pour un tour de la vis de dosage.

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

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

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

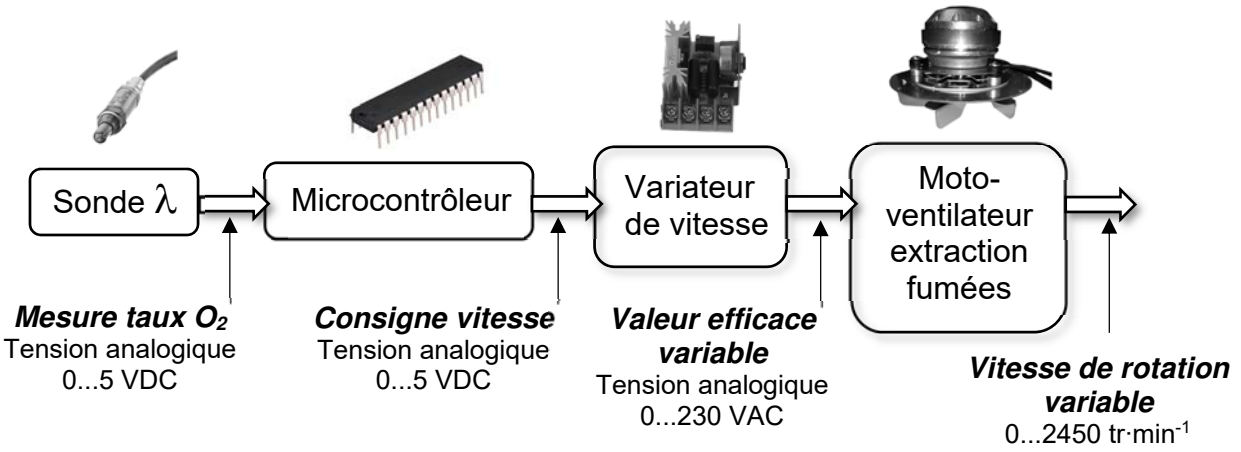
Détermination du volume optimal d'air par cycle

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

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

Question 4.9
DT3 | **Déduire** le débit d'air correspondant (en $m^3 \cdot h^{-1}$) et **vérifier** la capacité du moto-ventilateur à fournir ce débit.

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



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

Question 4.10
DT9

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

Question 4.11
DR2

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

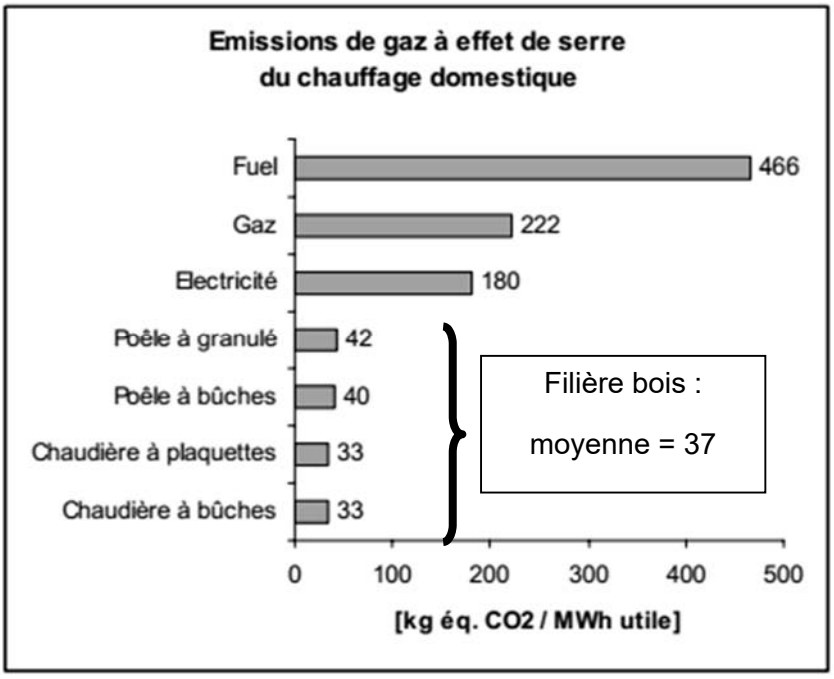
DT1 : émissions de gaz à effet de serre et de particules (*feuillet 1/2*)

Gaz à effet de serre

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

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

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



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

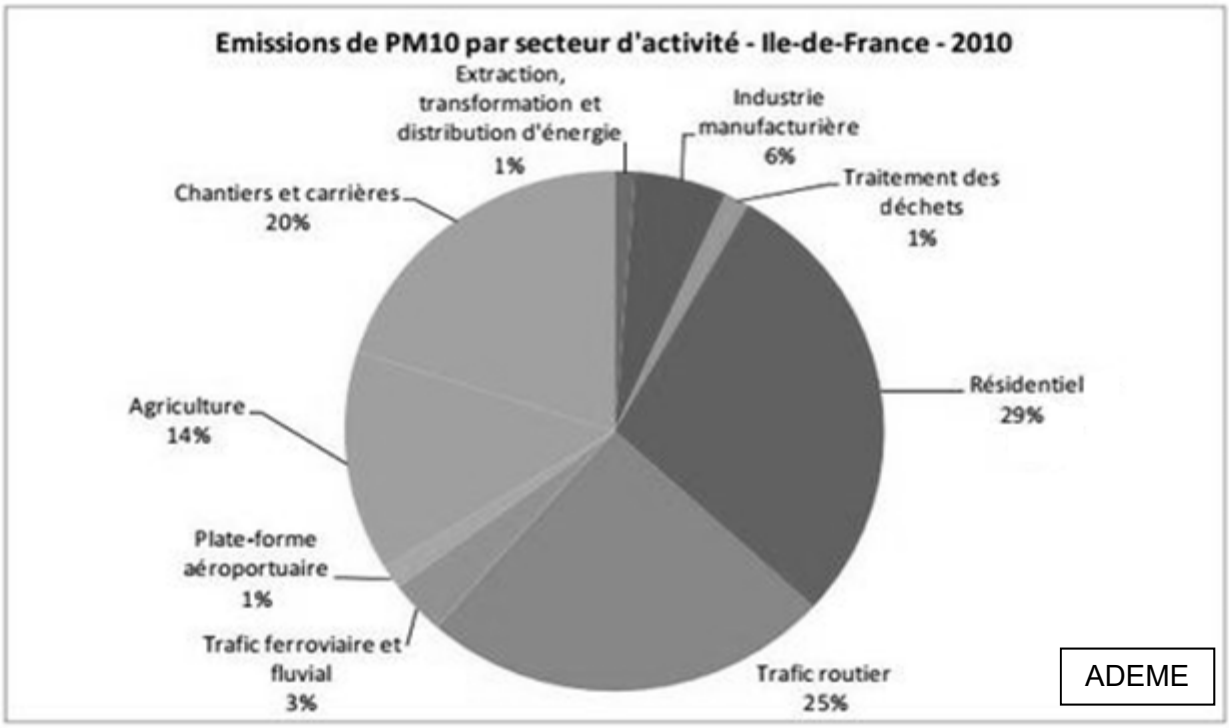
	Gaz	Électricité	Fioul	Bois	Autres	GPL bouteilles
Répartition en %	28,6	35,1	15,4	17,3	2,5	1,1

Émissions des particules fines PM10

La combustion du bois provoque l'émanation dans l'air de particules polluantes, comme pour les véhicules diesel.
Le danger vient de leur finesse : plus elles sont fines, plus elles pénètrent dans le système respiratoire.
Ces particules dites « fines » de type PM10 (particules de diamètre inférieur à 10 micromètres) sont considérées comme dangereuses avec des répercussions néfastes sur la santé, puisqu'elles comportent des métaux lourds et des hydrocarbures cancérigènes, équivalent à un tabagisme passif. Sur les humains, les risques sont augmentés pour les :

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

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



<u>Pour le secteur résidentiel</u> (Île de France en 2010)

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

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

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



DT2 : comparatif des types d'énergie

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

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

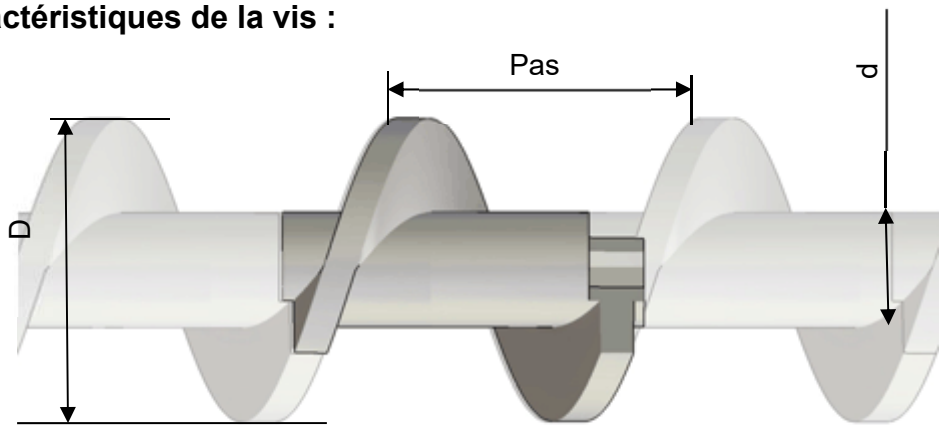
DT3 : caractéristiques de la chaudière Euroclima 32

Chaudière Euroclima 32		
Puissance nominale	kW	32
Puissance à charge partielle	kW	9
Hauteur	mm	1 850
Largeur	mm	806
Profondeur	mm	1 452
Masse	kg	515
Diamètre sortie de fumée	mm	153
Contenance en eau	L	90
Raccordement électrique	V	230
Température des fumées	C°	130
Rendement à puissance nominale selon EN 303. 5	%	93
Rendement à charge partielle	%	91
CO à puissance nominale (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	74
CO à charge partielle (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	88
Poussières à puissance nominale (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	18
Poussières à charge partielle (10% de O_2)	$mg \cdot m^{-3}$	14
Qualité des granulés		DIN+
Débit d'air maximum	$m3 \cdot h^{-1}$	290
Température d'utilisation	°C	60-85
Pression maxi	bars	3

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

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

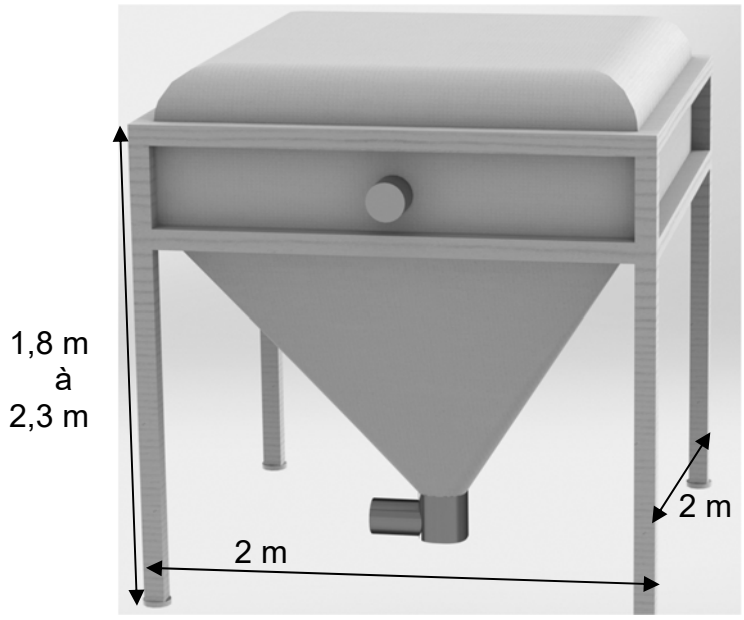
- **Caractéristiques de la vis :**



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

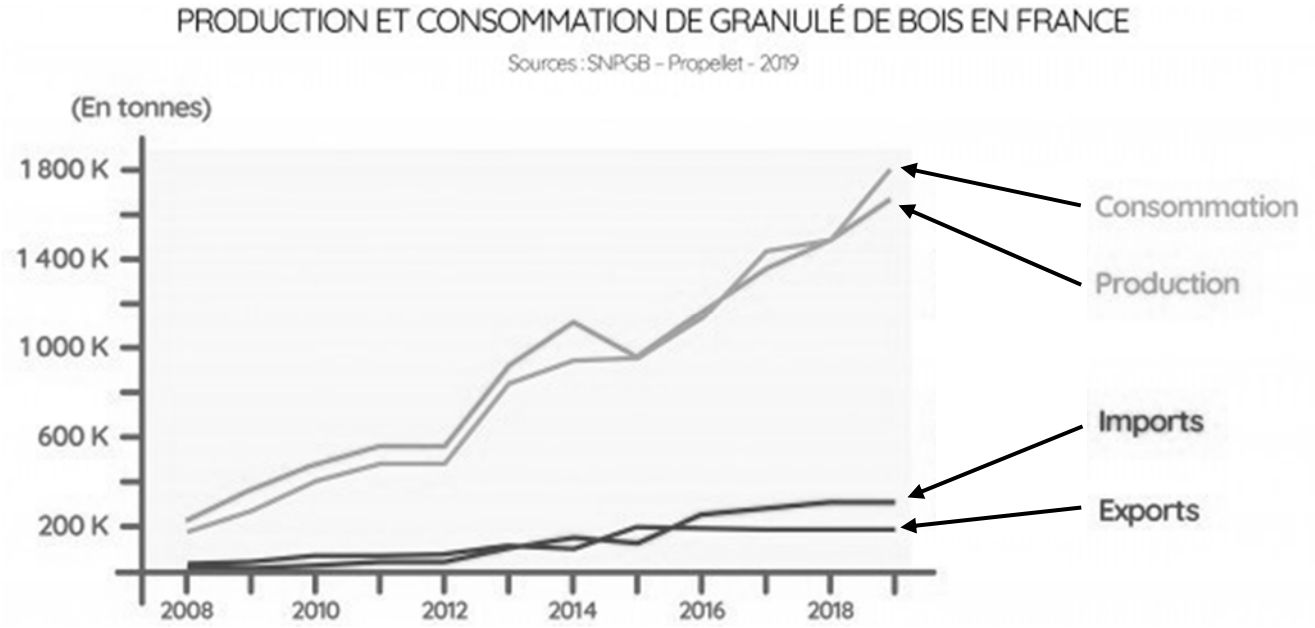
- **Masse volumique des granulés :** 600 $kg \cdot m^{-3}$

DT5 : silo ECO200P

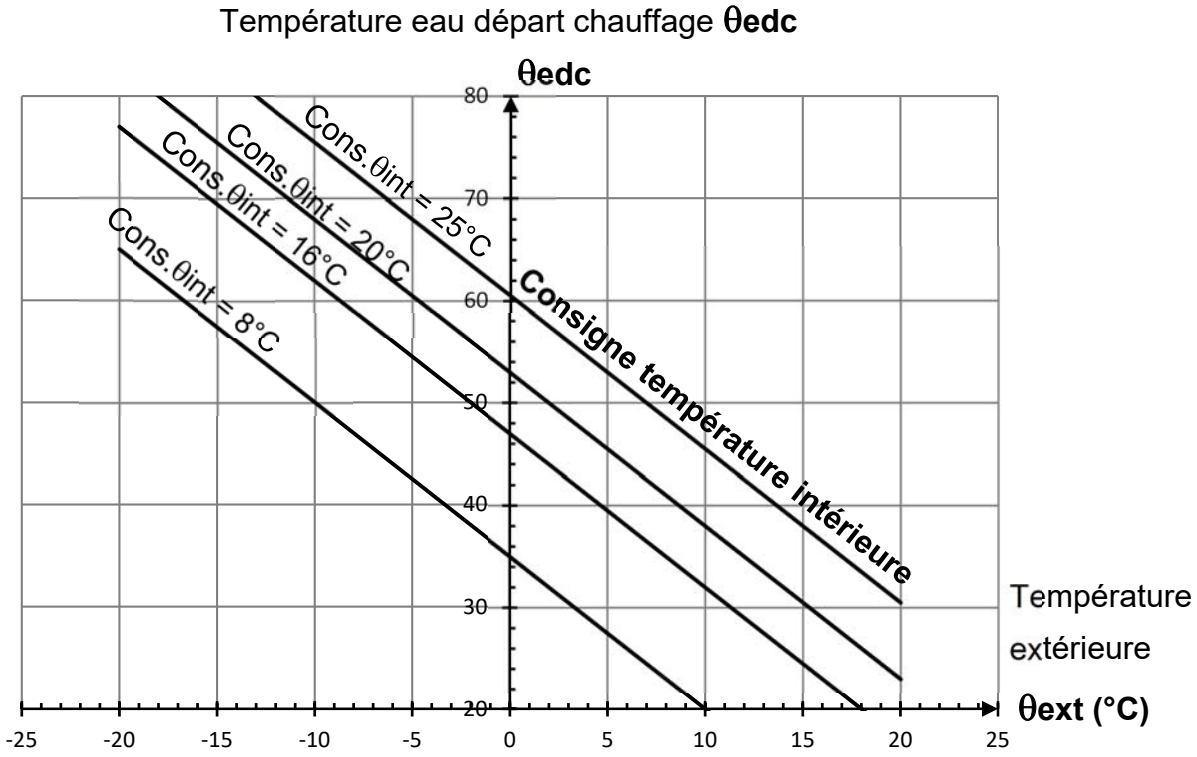


Article	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)	Volume (m^3)	Tonnage (t)
ECO200P	200	200	180-230	3,2-4,6	2,1-3,1

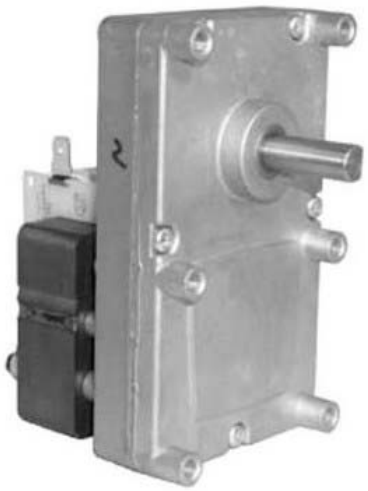
DT6 : production et consommation de granulés de bois en France



DT7 : courbes de chauffe pour une régulation climatique



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



Description | Information compléme

Description

Motoréducteur pour Poêle à Granulés – ref FB1249

Alimentation 220VCA

Vitesse: 3 rpm

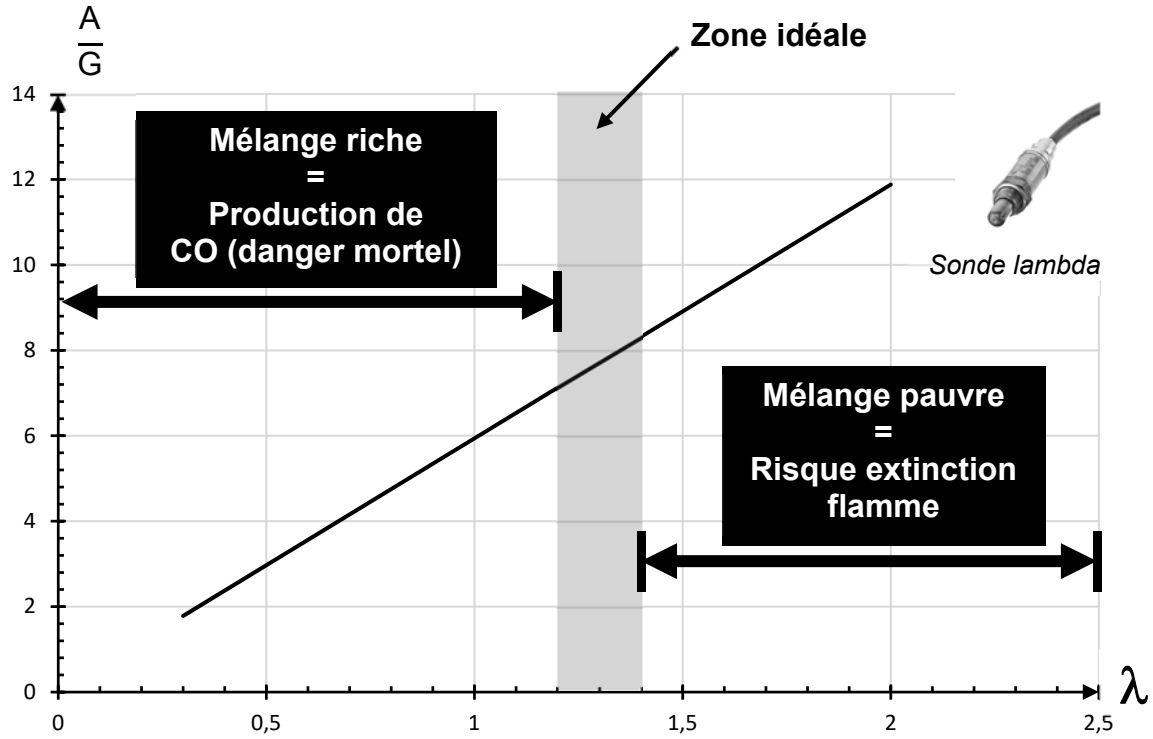
Tôles feuilletées: 32 mm

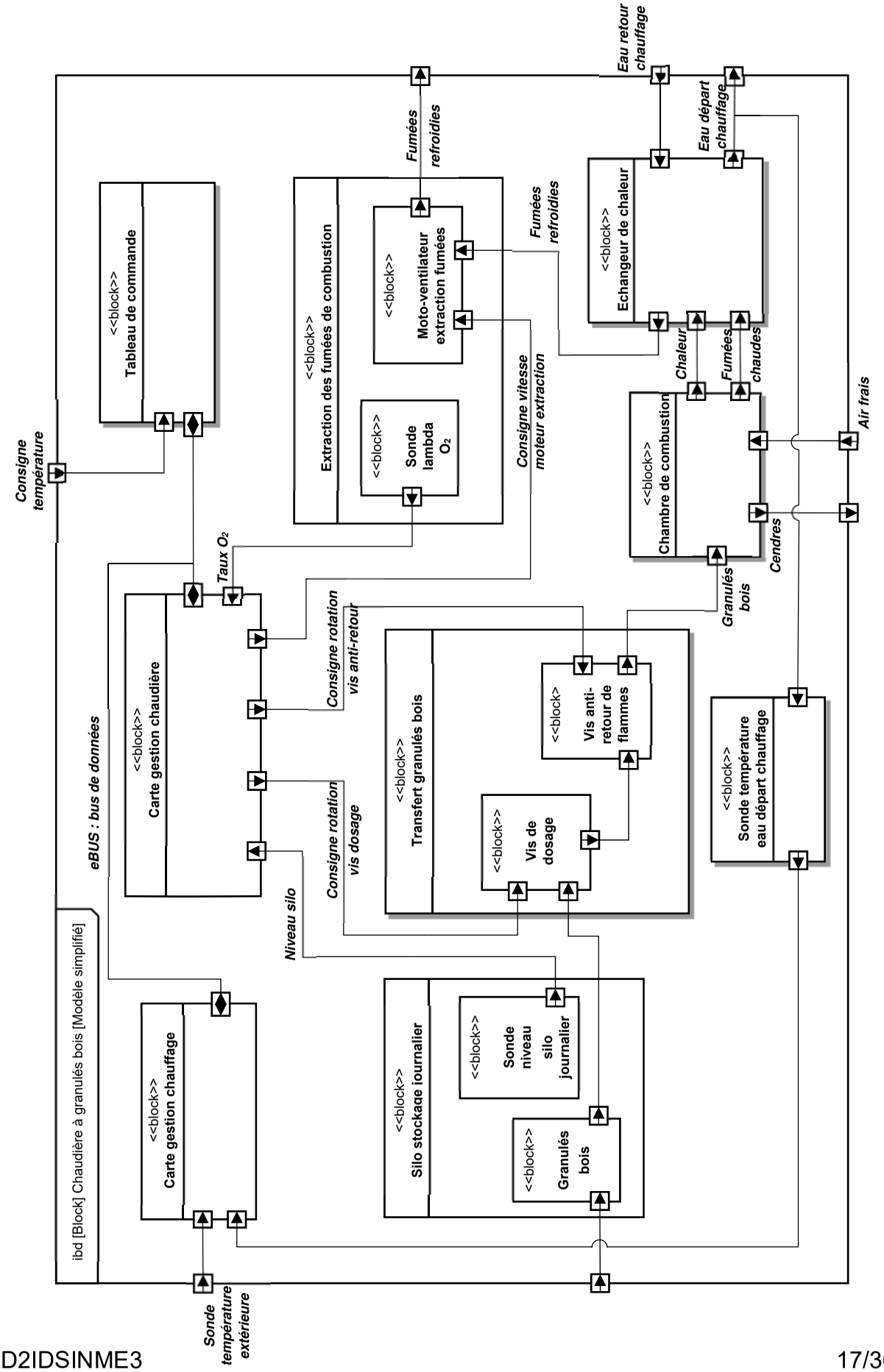
Diamètre arbre: 8,5 mm

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

DT9 : richesse d'un mélange combustible-comburant

Rapport masse Air / masse Granulés en fonction de lambda




ibd [Block] Chaudière à granulés bois [Modèle simplifié]
eBUS : bus de données
<<block>> Tableau de commande
<<block>> Carte gestion chaudière
<<block>> Carte gestion chauffage
<<block>> Extraction des fumées de combustion
<<block>> Moto-ventilateur extraction fumées
<<block>> Sonde lambda O_2
<<block>> Echangeur de chaleur
<<block>> Chambre de combustion
<<block>> Transfert granulés bois
<<block>> Vis anti-retour de flammes
<<block>> Vis de dosage
<<block>> Silo stockage journalier
<<block>> Sonde niveau silo journalier
<<block>> Granulés bois
<<block>> Sonde température eau départ chauffage
Consigne température
Taux O_2
Consigne rotation vis anti-retour
Consigne rotation vis dosage
Niveau silo
Consigne vitesse moteur extraction
Fumées refroidies
Fumées refroidies
Eau retour chauffage
Eau départ chauffage
Chaleur
Fumées chaudes
Air frais
Cendres
Granulés bois
Sonde température extérieure

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

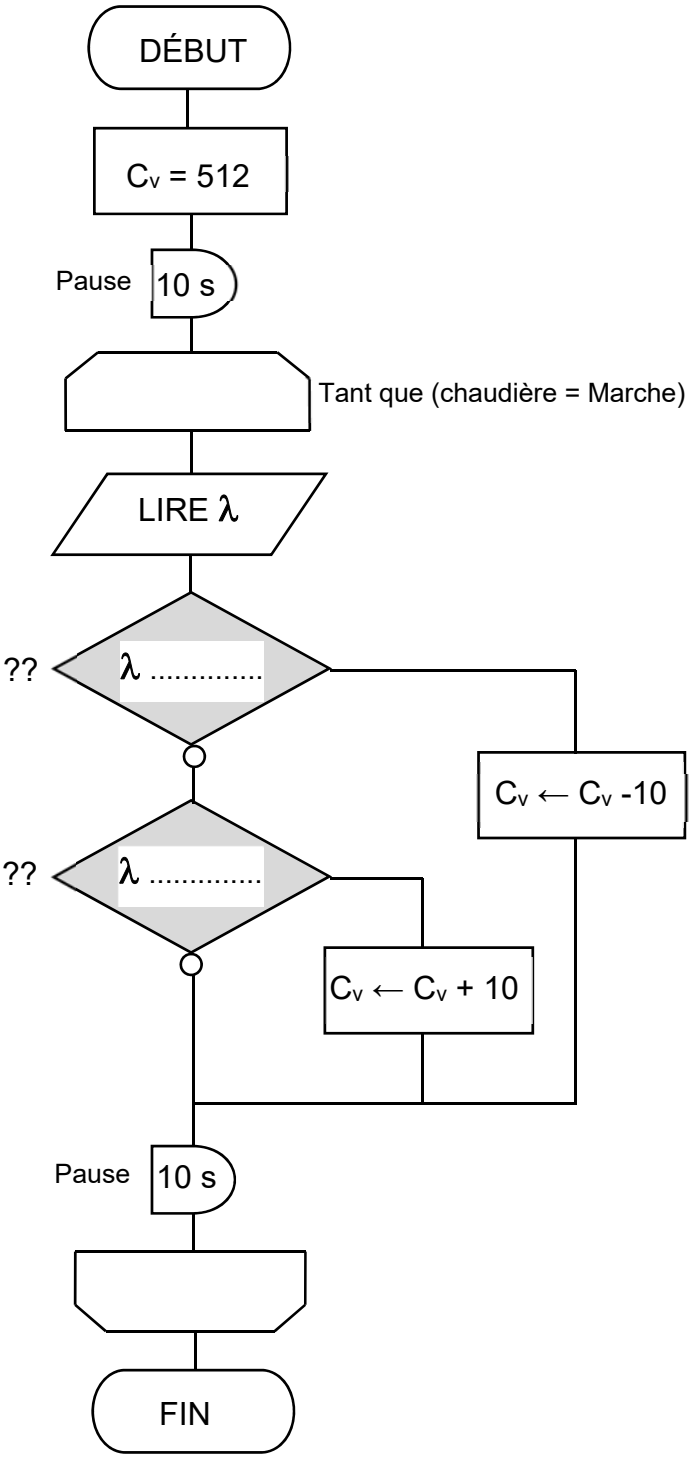
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

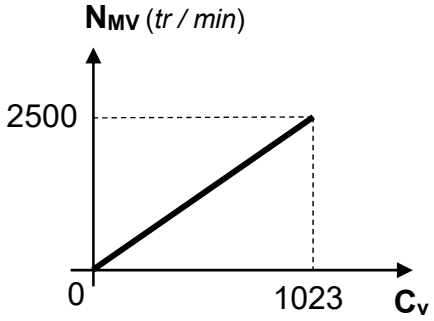
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES DR2

Algorigramme de régulation du volume d'air





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

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

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Chaudière à granulés



Constitution du sujet :

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

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

Mise en situation

Afin de pouvoir gérer plus facilement la consommation de granulés et donc l'énergie consommée par l'habitation en chauffage, il est décidé de mettre en place un dispositif de mesure de la masse de granulés ainsi qu'un enregistrement de cette donnée sur une base de données hébergée localement.
Les données enregistrées permettront de comparer la consommation de cette habitation avec la consommation moyenne d'une habitation comparable et d'archiver plusieurs années de consommation.
On s'intéressera également à l'échange interne d'informations au sein de la chaudière.

Travail demandé

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

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

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

DTS2

Hypothèses :

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

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

Réaliser l'application numérique.

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

Question A.4

DRS1

Le DRS1 présente la chaîne d'information de la mesure de la masse de granulés. **Compléter** les rectangles vides en utilisant les termes ci-dessous :

"Information numérique" - "Tension analogique" - "poids de l'ensemble" - "Tension analogique amplifiée"

Question A.5

DTS3

La tension V_{IN+} - V_{IN-} délivrée par un capteur de pesage dépend de sa tension d'alimentation. Le DTS3 indique la caractéristique V_{IN+} - V_{IN-} en fonction de la masse mesurée et pour différentes tensions d'alimentation du capteur. **Indiquer** la tension $(V_{IN+} - V_{IN-})_{nominal}$ délivrée par le capteur pour sa capacité nominale de 2000kg si la tension d'alimentation est U_{alim} = 10V. On donnera cette valeur en mV.

Question A.6

DRS1

Les Convertisseurs Analogiques Numériques (CAN) sont intégrés à une carte Arduino. Les entrées analogiques de l'Arduino acceptant des tensions comprises entre 0 et 5V, **justifier** l'utilisation d'un amplificateur en sortie de chaque capteur de pesage.

La tension en sortie de chaque amplificateur est donnée par :
$U_0 = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times G$ G étant le gain de l'amplificateur.

Calculer le gain G des amplificateurs pour obtenir une tension de 5V sur une entrée analogique de l'Arduino pour la tension nominale $(V_{IN+} - V_{IN-})_{nominal}$ délivrée par un capteur.

Question A.7

DTS4

A l'aide du document technique DTS4, **calculer** le quantum (résolution) du CAN. Le quantum est la tension minimale détectable par le CAN (correspondant à N = 1). On choisira une tension pleine échelle de 5V et on précise que n = 10 bits pour une entrée analogique d'un Arduino Uno.

Question A.8

Quels que soient les résultats précédents, on considèrera que la valeur de masse de granulés est donnée par :

$m_{granulés} = 400 \times U_0$ *(avec U_0 = tension en sortie d'un amplificateur en V)*

A partir du quantum déterminé précédemment, **calculer** la masse minimale m_{mini} détectée par le CAN pour un capteur puis pour 4 capteurs m_{4mini}.

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

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

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

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

Choix 1 :

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

Les CAN sont intégrés à une carte Arduino, les tensions analogiques U_{o1} à U_{04} en sortie des amplificateurs sont présentées aux entrées analogiques A1 à A4 de la carte Arduino (cf. DRS1).
La masse nette de granulés s'obtient à partir de l'addition des indications des 4 capteurs de pesage en n'oubliant pas de soustraire la masse propre du silo et de sa structure (tare).

Question B.1

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

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

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

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

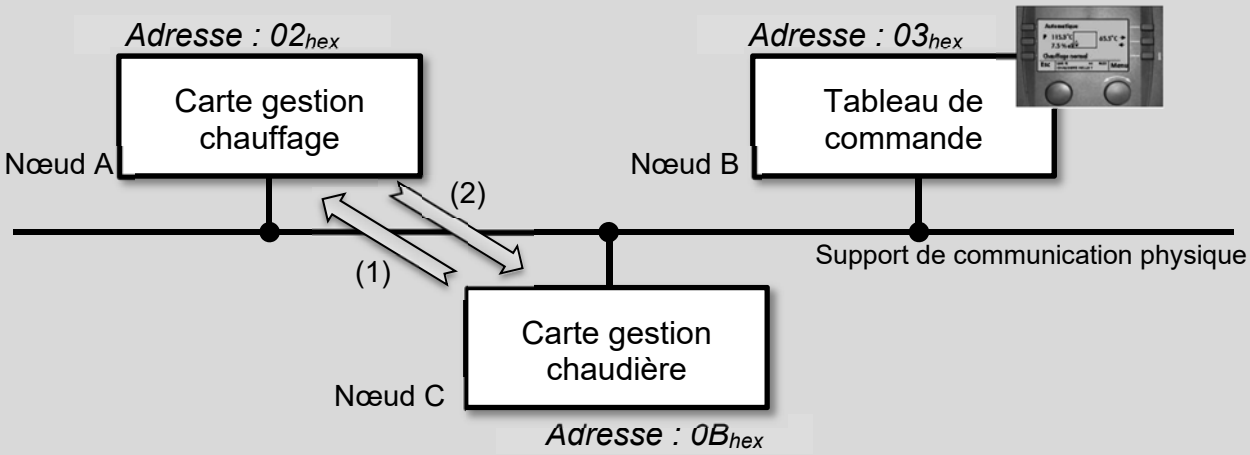
Un shield Ethernet est associé à la carte Arduino lui permettant de communiquer sur le réseau. Un serveur web et une base de données sont hébergés sur un Raspberry Pi. Le shield Ethernet de l'Arduino se comporte en client du serveur web et lui communique toutes les quatre heures la valeur *masseGranulesInt*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

Question B.3 DTS5 DTS7 DTS8	Sur le DTS7, la requête HTTP avec la méthode GET a été capturée (trame n°310). La partie basse de la capture donne cette trame en hexadécimal et en ASCII. Le code ASCII de la valeur du paramètre *masse* a été masquée par 4 points d'interrogations correspondants aux 4 codes hexadécimaux encadrés. A l'aide de la table ASCII donnée en DTS8, **déterminer** les 4 caractères du paramètre *masse* et donc la valeur transmise.
Question B.4 DTS7	La trame n°312 sur le DTS7 correspond à la réponse à cette requête. **Conclure** sur la bonne transmission de la masse de granulés vers le serveur.

Choix 2 :

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

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

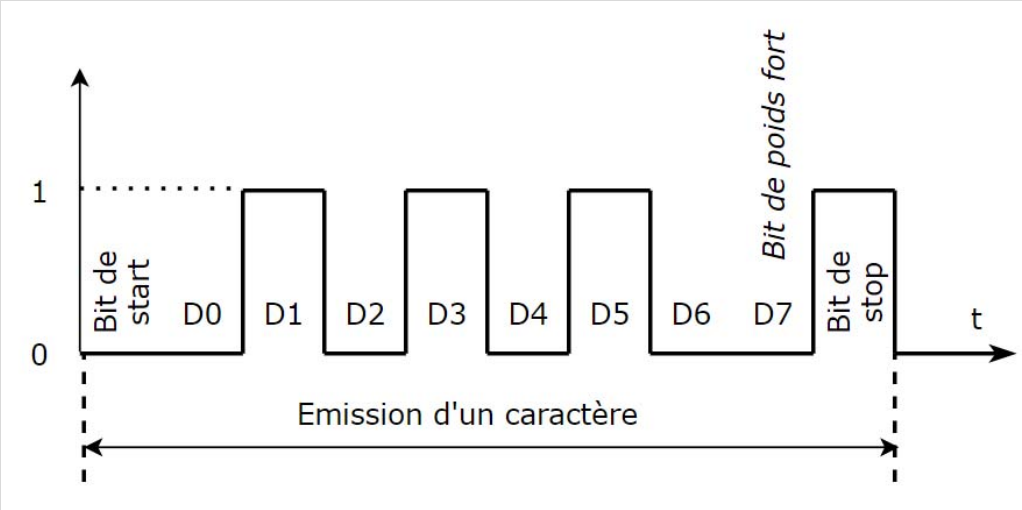


À intervalles de temps réguliers, la carte gestion chaudière interroge la carte gestion chauffage grâce à une trame de requête (1), celle-ci lui répond par une trame de réponse (2) en lui fournissant les informations manquantes : température eau départ chauffage θedc et température extérieure θext = 7°C.

Question C1 DRS3	**Compléter,** sur le document réponse DRS3, les trames de requête (1) et de réponse (2) qu'échangeront les deux cartes électroniques. La valeur de la consigne de température eau départ chauffage θedc sera complétée lors de la question C2.

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

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



Question C.2 DRS3	Le chronogramme ci-dessus est un enregistrement de l'émission de la valeur de la température eau de départ chauffage (θedc). **Donner** la valeur binaire de cette température. **Convertir** cette valeur en hexadécimal et en décimal puis **compléter** alors le DRS3.

La vitesse de transmission de cette communication est de 2400 bits/s.
La trame de *fin de transmission* (3) sur le DRS3 comporte 11 octets.

Question C3 DRS3	En examinant le chronogramme ci-dessus, **indiquer** le nombre de bits nécessaires à l'émission d'un caractère (dont la longueur utile est de un octet). **En déduire** le nombre de bits nécessaires à l'émission des 3 trames (*1 : Demande d'informations, 2 : Envoi d'informations et 3 : Fin de transmission* du DRS3). **Calculer** la durée totale de la communication depuis l'émission de la requête (1) jusqu'à la fin de l'émission de la trame de fin de transmission (3).
Question C4	En examinant le nombre de paramètres transmis par la trame de réponse et au regard de la question précédente, **conclure** sur le choix de cette technologie de transmission pour gérer les échanges d'informations au sein de la chaudière.

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

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

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

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

Question D.1

DRS4

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

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

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

Question D.2

DTS5

DTS6

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

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

Question D.3

DRS5

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

Question D.4

DRS6

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

PARTIE E : Conclusion

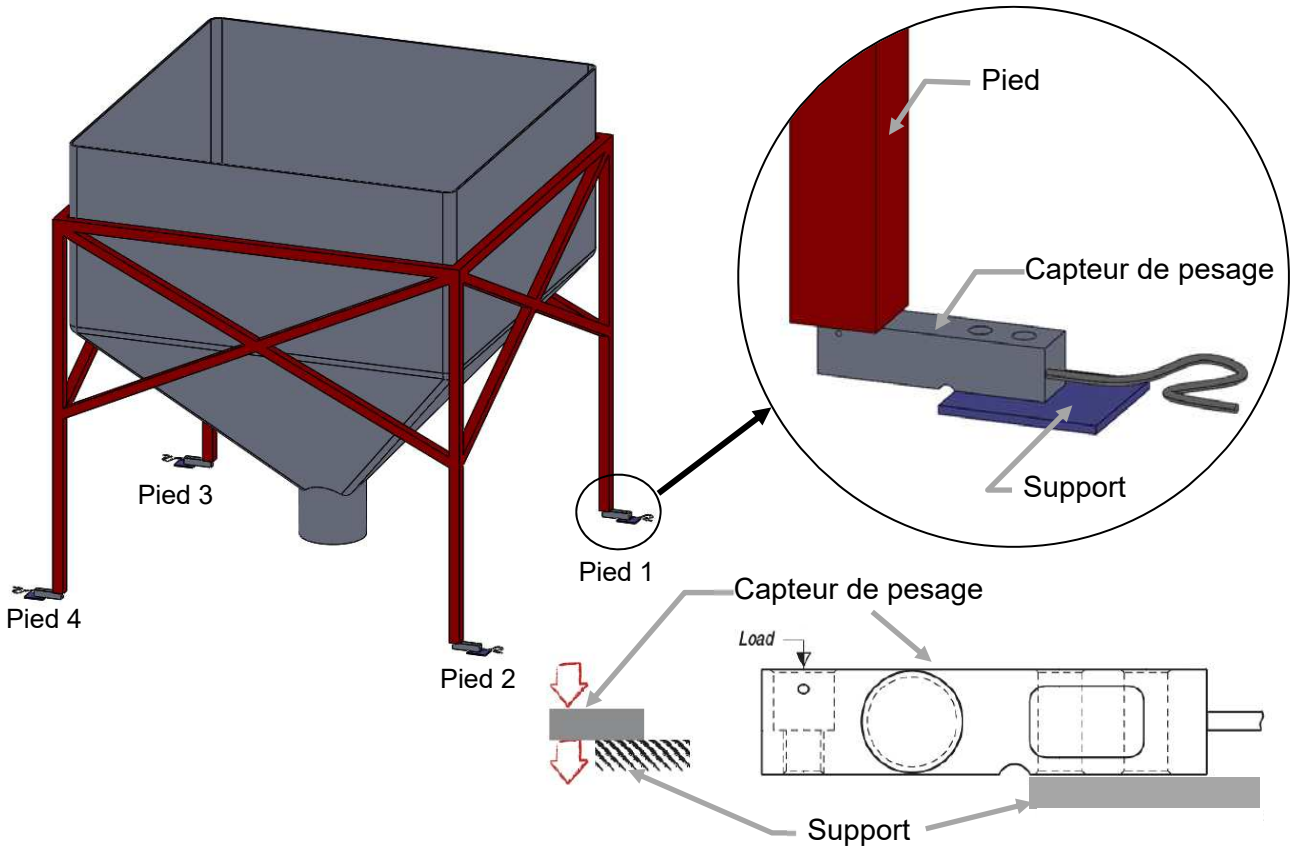
La base de données stocke à chaque relevé :

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

Question E.1 | Sachant que l'on stocke dans la base de données un relevé toutes les 4 heures, **calculer** la taille minimale (en octets puis en ko) de la mémoire nécessaire si l'on veut archiver 10 ans de consommation. On considèrera que l'installation fonctionne 245 jours par an.

Question E.2 | A l'aide de études réalisées dans les parties A, D et E, **conclure** sur la viabilité de la solution retenue pour suivre la consommation de granulés.

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



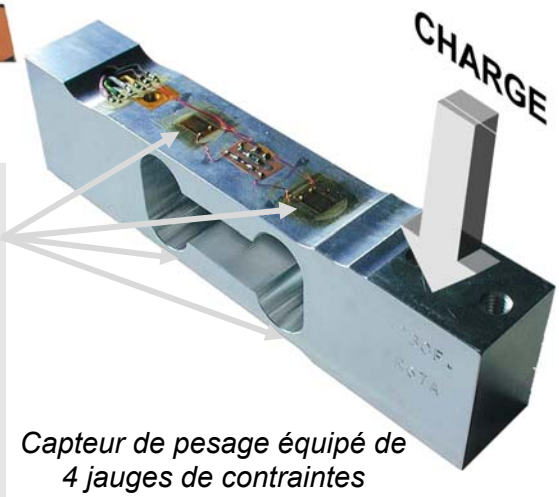
DTS2 : Fonctionnement d'un capteur de pesage à jauges de contrainte

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



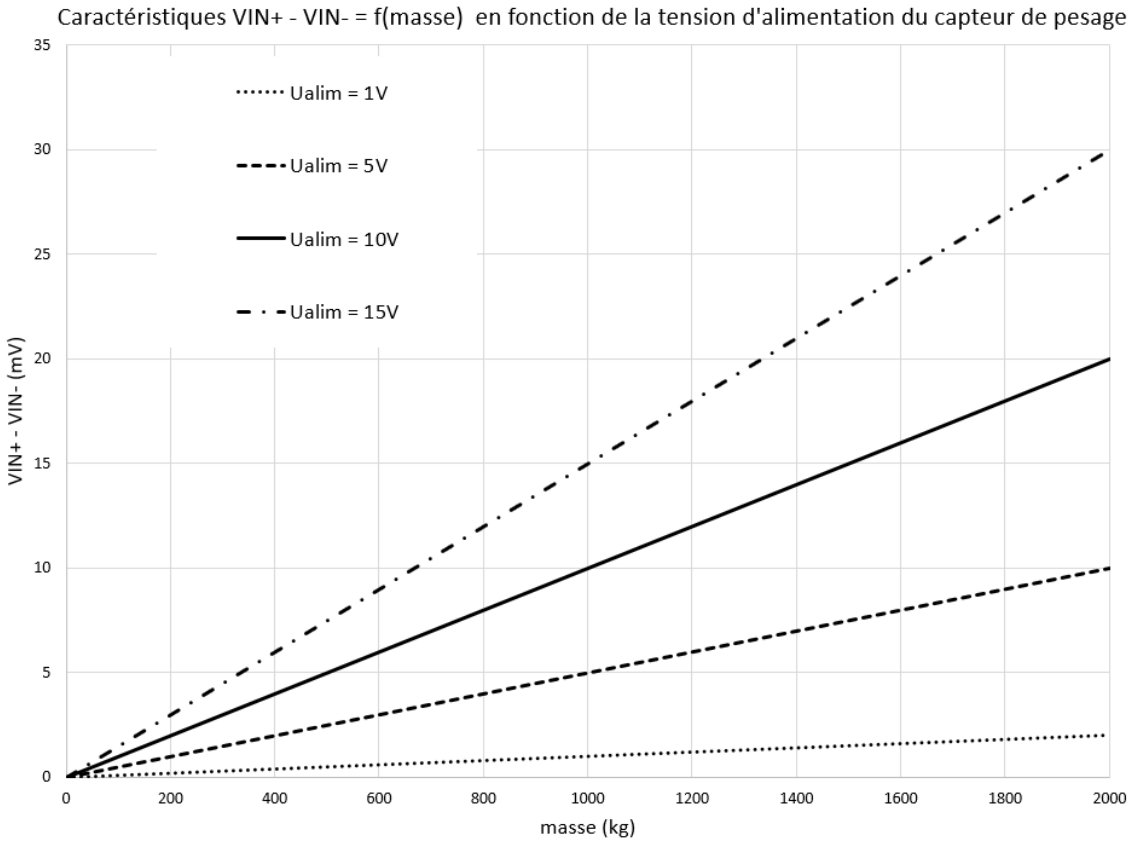
Source : https://fr.scaime.com/

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

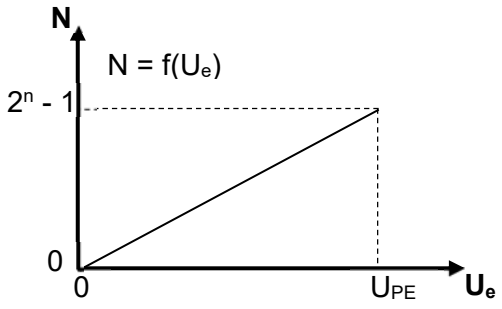


Capteur de pesage équipé de 4 jauges de contraintes (2 au-dessus, 2 au-dessous)

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



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



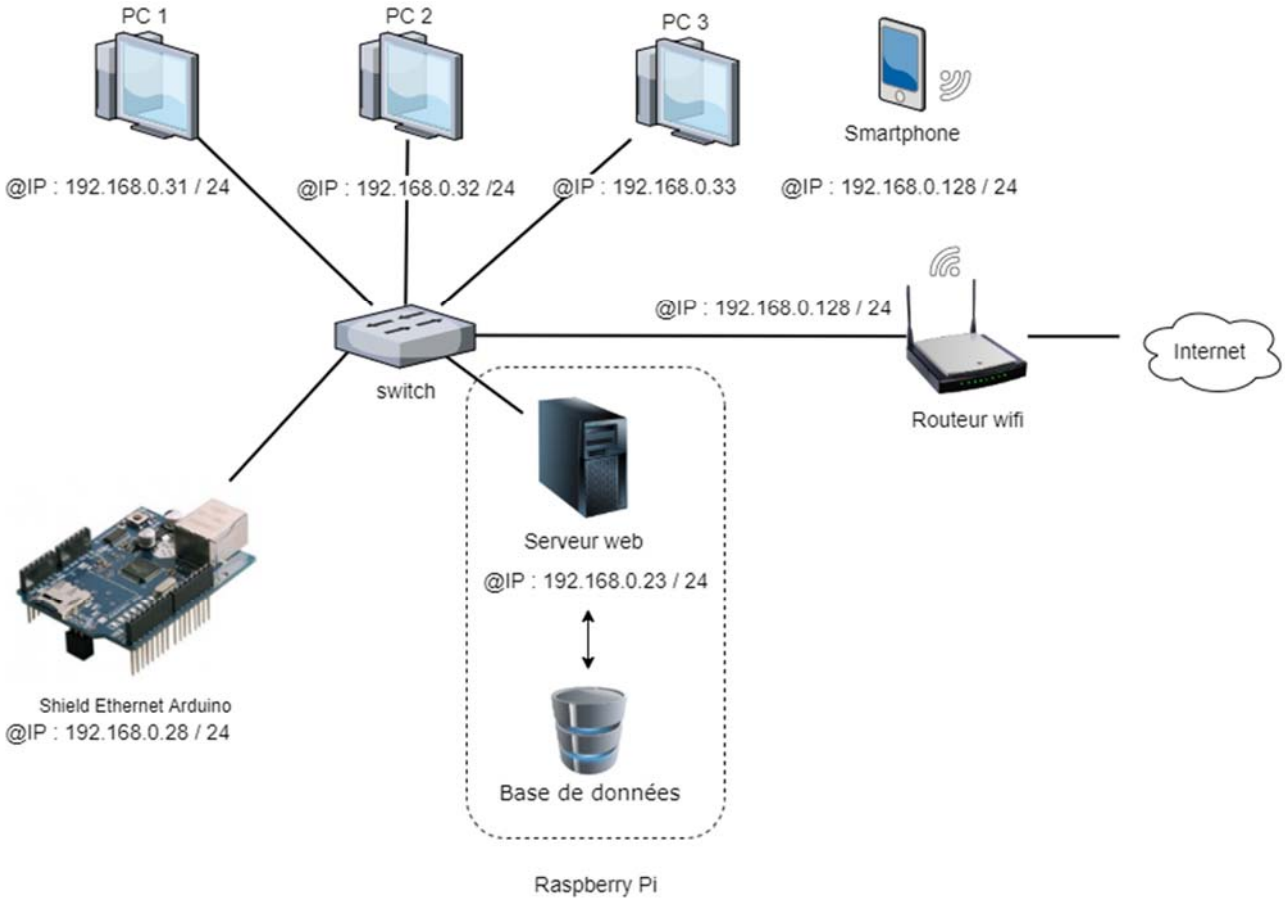
U_{PE} : Tension pleine échelle, tension d'entrée maximale du convertisseur

U_e : Tension d'entrée du CAN

N : Valeur numérique, image de U_e

n : nombre de bits du CAN

DTS5 : Schéma du réseau domestique



DTS6 : Trame Ethernet

Non enregistré dans la capture de trame

En octets

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

En bits

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

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

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

```
0000  47 45 54 20 2f 65 6e 72  65 67 69 73 74 72 65 6d   GET /enr egistrem
0010  65 6e 74 2e 70 68 70 2f  3f 6d 61 73 73 65 3d 31   ent.php/ ?masse=1
0020  39 39 38 20 48 54 54 50  2f 31 2e 31 0d 0a 48 6f   998 HTTP /1.1··Ho
0030  73 74 3a 31 39 32 2e 31  36 38 2e 30 2e 32 33 0d   st:192.1 68.0.23·
0040  0a 43 6f 6e 6e 65 63 74  69 6f 6e 3a 20 63 6c 6f   ·Connect ion: clo
0050  73 65 0d 0a 0d 0a                                 se····
```

Trame codée en hexadécimal

Trame codée en ASCII

DTS8 : Table ASCII

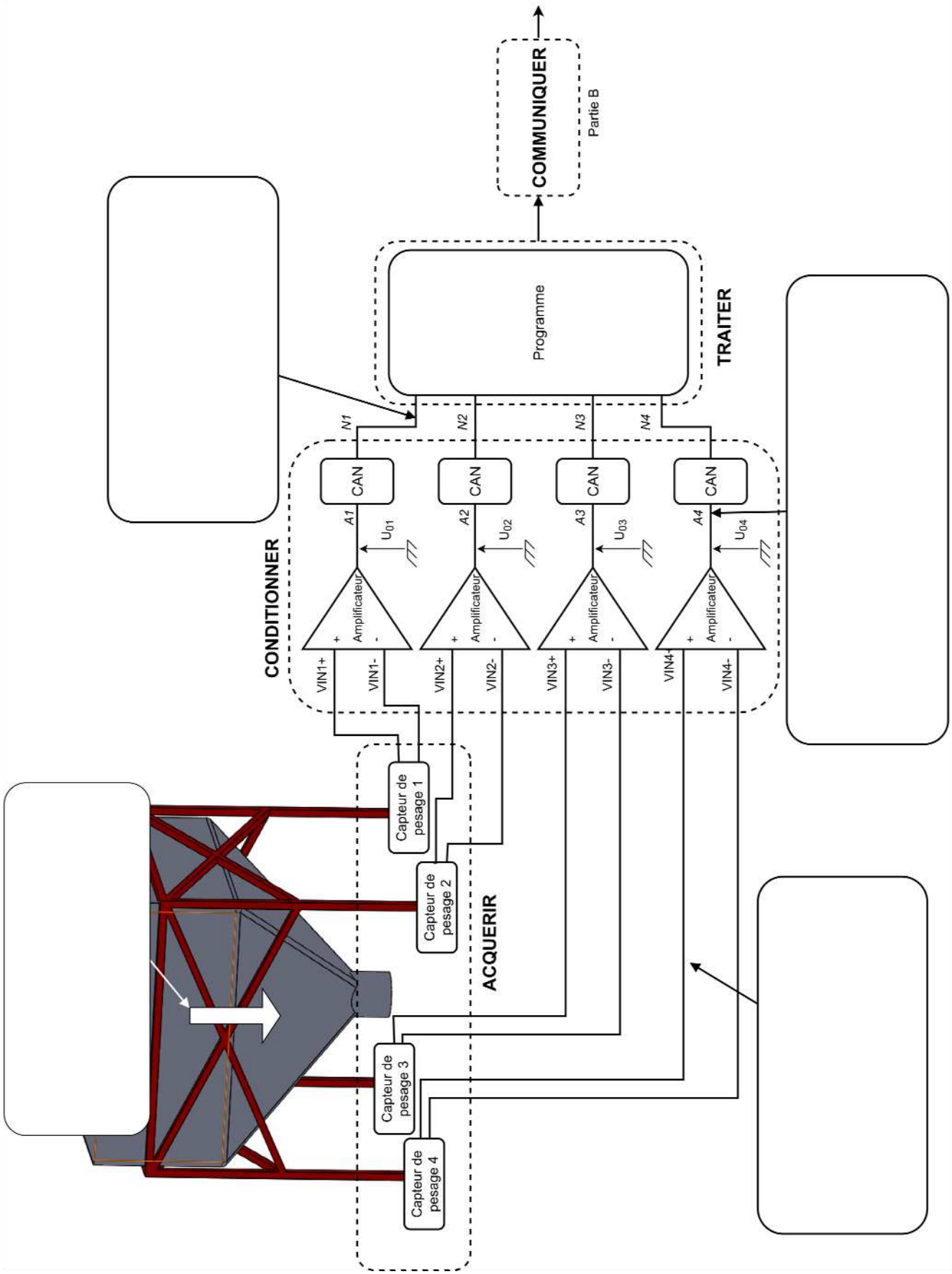
ASCII TABLE

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

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

DRS1 : Chaîne d'information " pesage granulés"

Question A.4



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DRS2 : Calcul de la masse de granulés

Question B.1

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

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

Fin algorithme
```

Remarques :

Pour une variable de type liste, on accède à chaque élément de la liste par son indice (qui débute à 0).
Par exemple, si *liste =[10, 21, 54]*, *liste[0] = 10* et *liste[2] = 54*

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

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

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

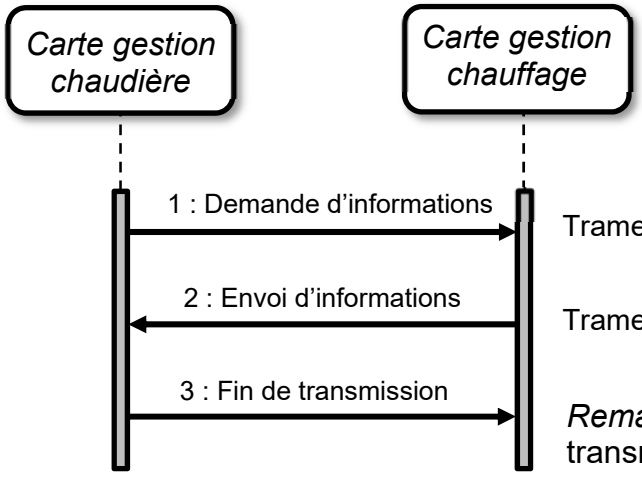
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DRS3 :

Protocole de communication eBUS

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



Trame de requête

Trame de réponse

Remarque : la trame de fin de transmission ne sera pas étudiée.

ATTENTION :

Les trames sont exprimées en hexadécimal

protocole trame de requête (1)

Adresse source *1 octet*	Adresse destination *1 octet*	Contrôle chaudière *1 octet*	Requête *1 octet*	Nbre d'octets données *1 octet*	Etat requête *1 octet*	Contrôle CRC *1 octet*	ACQ *1 octet*	Relâchement du bus *1 octet*
…	…	**05**	**00**	**01**	**AA**	**77**	**00**	**AA**

protocole trame de réponse (2)

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

Question C2

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

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

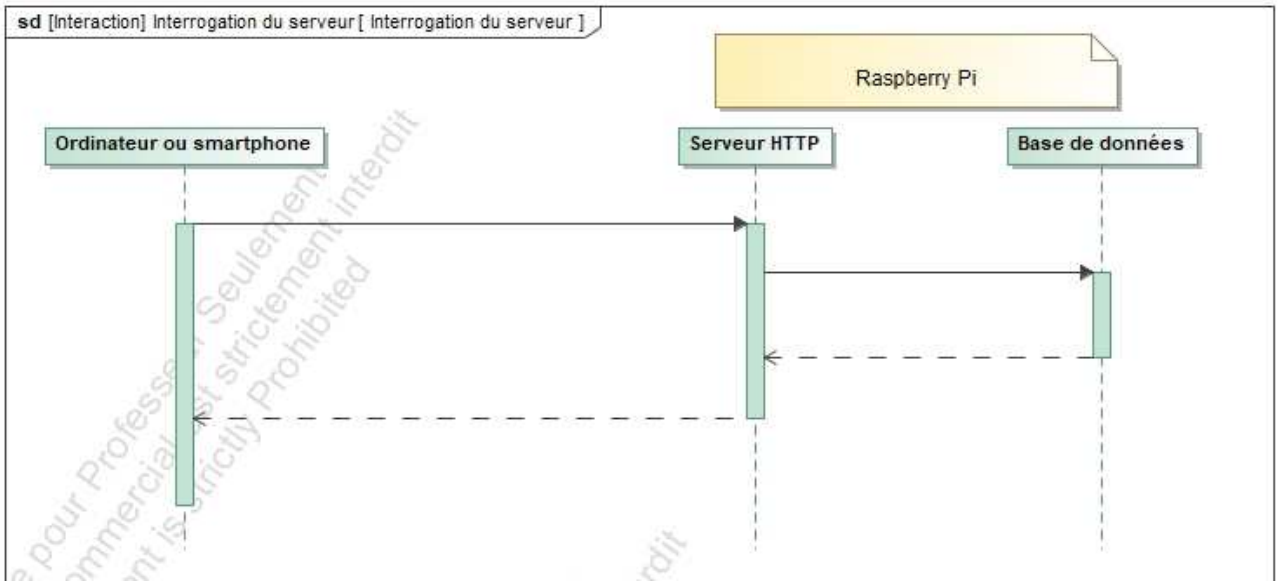
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DRS4 : diagramme de séquence

Question D.1



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

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

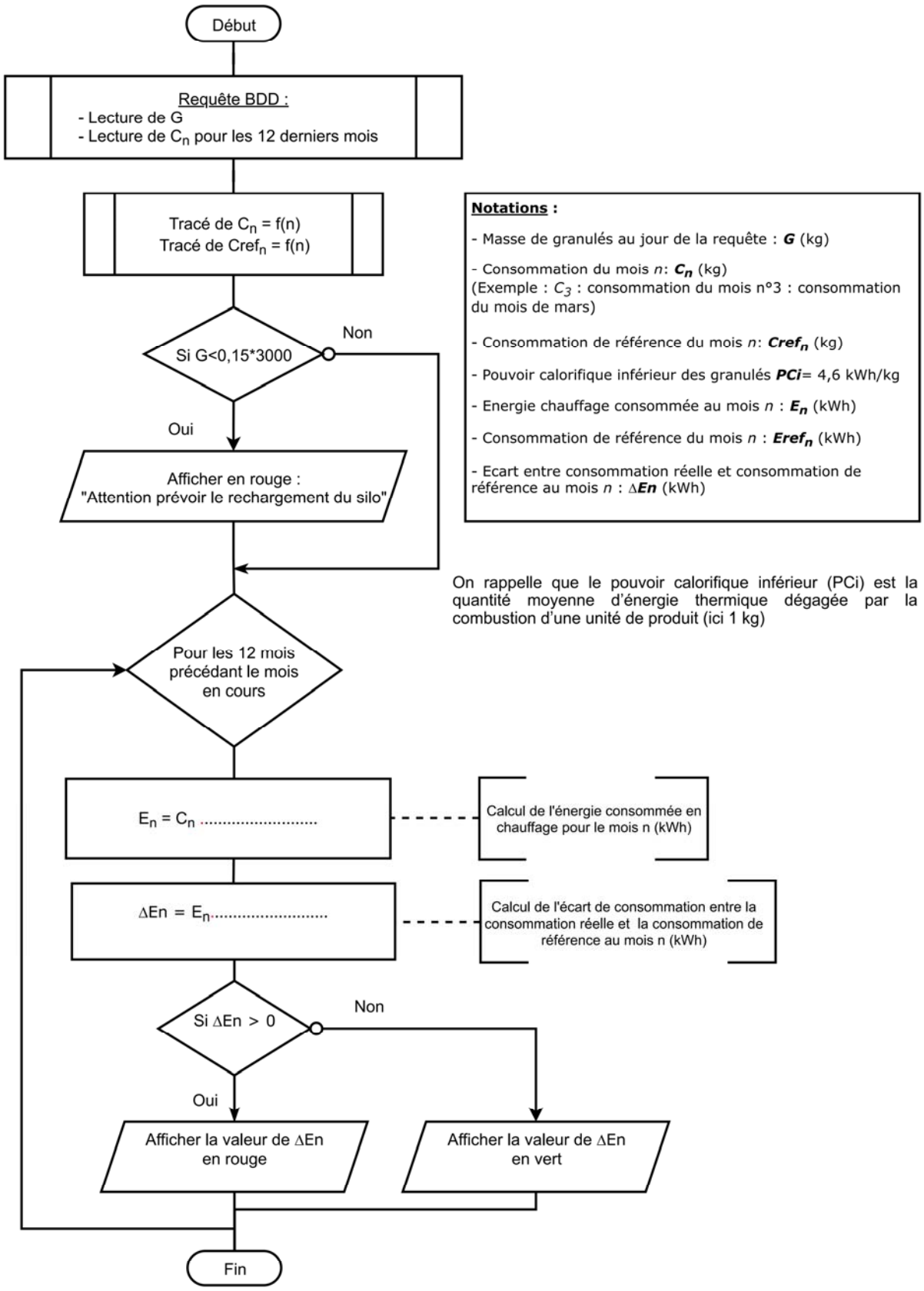
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DRS5 : Etude de la consommation

Question D.3



Notations :

- Masse de granulés au jour de la requête : ***G*** (kg)
- Consommation du mois *n*: ***Cn*** (kg)
(Exemple : C_3 : consommation du mois n°3 : consommation du mois de mars)
- Consommation de référence du mois *n*: ***Crefn*** (kg)
- Pouvoir calorifique inférieur des granulés ***PCi***= 4,6 kWh/kg
- Energie chauffage consommée au mois *n* : ***En*** (kWh)
- Consommation de référence du mois *n* : ***Erefn*** (kWh)
- Ecart entre consommation réelle et consommation de référence au mois *n* : Δ***En*** (kWh)

On rappelle que le pouvoir calorifique inférieur (PCi) est la quantité moyenne d'énergie thermique dégagée par la combustion d'une unité de produit (ici 1 kg)

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DRS6 : Etude de la consommation

Question D.4

Mois	**Mai**	**Décembre**	**Mars**
G (kg)	430	2707	904
Affichage *"Attention prévoir le rechargement du silo"* **(O/N)**			
$\mathbf{E_n}$ (kWh)	197	2487	863
$\mathbf{Eref_n}$ (kWh)	658	1897	1068
ΔE_n (kWh)			
Couleur d'affichage de ΔEn			

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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.