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 :
formav.co/explorer

BAC STI2D • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Bac STI2D

Sciences et technologies de l’industrie et du développement durable, Innovation technologique et éco-conception

Session 2021 • Code sujet : **21-2D2IDITECME3** • Durée : **4 heures**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Émissions de gaz à effet de serre des chauffages domestiques** (4 questions) — **Page 3**
2. **Émissions de particules fines liées au chauffage au bois** (4 questions) — **Page 5**
3. **Consommation annuelle de granulés et choix du silo** (7 questions) — **Page 7**
4. **Optimisation et régulation de la combustion** (11 questions) — **Page 10**
5. **Dimensionnement et résistance de la structure de stockage** (8 questions) — **Page 14**
6. **Cinématique et sécurité de l’alimentation en granulés** (8 questions) — **Page 17**
7. **Installation d’un convoyeur flexible d’alimentation** (4 questions) — **Page 21**
8. **Synthèse de la validité des solutions techniques** (1 question) — **Page 23**
9. **Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 24**

Sujet officiel (PDF) : https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2021/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2021 - 3-Sujet.pdf

1. Émissions de gaz à effet de serre des chauffages domestiques

La partie compare l'impact environnemental des différentes énergies utilisées pour le chauffage des foyers français, à partir de données d'émissions de gaz à effet de serre et de répartition des sources d'énergie. Il s'agit d'identifier les combustibles les plus émetteurs et de déduire quelle énergie peut remplacer le fioul pour limiter ces émissions.

Question 1.1. Indiquer quel combustible émet le plus de gaz à effet de serre, en kg équivalent CO_2 par MWh utile.

Le graphique du document DT1 compare les émissions de gaz à effet de serre par MWh utile pour les combustibles de chauffage. Il faut relever la barre la plus élevée, sans confondre son résultat avec la répartition des énergies utilisées dans les foyers. La barre du fioul atteint 466 kg équivalent CO_2 par MWh utile, devant le gaz à 222. Le fioul est donc le combustible qui présente les émissions les plus importantes parmi ceux comparés.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le fioul : 466 kg équivalent CO_2/MWh utile.

Question 1.2. Indiquer quelle énergie est la plus utilisée pour le chauffage des foyers français.

Le tableau du document DT1 indique la part de chaque énergie dans le chauffage des foyers français. Il faut comparer ces pourcentages, et non les valeurs d'émissions du graphique voisin. L'électricité représente 35,1 % des énergies utilisées, contre 28,6 % pour le gaz, 17,3 % pour le bois et 15,4 % pour le fioul. C'est la part la plus élevée : l'électricité est donc l'énergie la plus utilisée pour le chauffage des foyers français.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'électricité, avec 35,1 %.

Question 1.3. Recopier et compléter le tableau des émissions de gaz à effet de serre pour le gaz, l'électricité, le fioul et le bois, en kg équivalent CO_2 par MWh utile. Indiquer ensuite quelle énergie émet le plus de gaz à effet de serre pour le chauffage des foyers français.

Pour chaque énergie, on multiplie sa part d'utilisation par ses émissions par MWh utile. Le graphique donne 222 pour le gaz et 180 pour l'électricité ; le fioul vaut 466 et le bois, en moyenne, 37. Les résultats arrondis au dixième sont présentés ci-dessous. Le fioul reste l'énergie contribuant le plus aux émissions de gaz à effet de serre du chauffage résidentiel.

Énergie	Gaz	Électricité	Fioul	Bois
Part des émissions (kg équivalent CO_2/MWh utile)	0,286 × 222 = 63,5	0,351 × 180 = 63,2	0,154 × 466 = 71,8	0,173 × 37 = 6,4

Tableau des émissions complété

	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 63,5	Tableau à recopier sur la copie 63,2	71,8	6,4

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le fioul contribue le plus : 71,8 kg équivalent CO_2/MWh utile.

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

Pour choisir une énergie de remplacement, on compare les émissions par MWh utile, car elles mesurent l'impact associé à une même quantité de chaleur fournie. Le fioul atteint 466 kg équivalent CO_2/MWh utile, alors que la filière bois affiche une moyenne de 37. Le document précise que la biomasse peut être considérée comme neutre en CO_2 sur son cycle de croissance, même si sa production et son transport génèrent des émissions. Le bois est donc le choix le moins émetteur parmi les énergies comparées.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Remplacer le fioul par le bois, notamment par des granulés.

2. Émissions de particules fines liées au chauffage au bois

L'étude porte sur les émissions de particules PM10 en Île-de-France en 2010 et compare les effets du chauffage au bois, des cheminées à foyer ouvert et du trafic routier. Les documents précisent la répartition des émissions et l'écart entre les rejets des foyers ouverts et ceux d'un foyer fermé avec insert à granulés.

Question 2.1. Expliquer pourquoi les particules PM10 sont dangereuses pour les humains.

Les PM10 ont un diamètre inférieur à 10 micromètres. Leur petite taille leur permet de pénétrer profondément dans le système respiratoire. Elles peuvent contenir des métaux lourds et des hydrocarbures cancérigènes. Leur inhalation augmente notamment les risques d'accidents cardiaques, de cancers du poumon et des sinus, ainsi que d'accidents vasculaires cérébraux.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Les PM10 pénètrent dans le système respiratoire et peuvent provoquer des cancers et des maladies cardiovasculaires.

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

Le graphique donne 29 % des émissions totales pour le secteur résidentiel, dont 80 % sont liées aux ménages utilisant du bois. La part du chauffage au bois dans le total vaut donc :

29 × 80 / 100 = 23,2 %.

Le trafic routier représente 25 % des émissions totales. Le chauffage au bois en représente donc une part légèrement inférieure.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Chauffage au bois : 23,2 % des émissions totales. Trafic routier : 25 %.

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.

Les foyers ouverts représentent 50 % des émissions de particules dues au chauffage au bois. On applique donc successivement les proportions du secteur résidentiel, du chauffage au bois, puis des foyers ouverts :

Étape	Calcul	Part du total
Chauffage au bois résidentiel	29 × 80 / 100	23,2 %
Foyers ouverts	23,2 × 50 / 100	11,6 %

La part recherchée est calculée par rapport à l'ensemble des émissions de PM10.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Les foyers ouverts représentent 11,6 % des émissions totales de PM10.

Question 2.4. Évaluer les conséquences du remplacement des appareils à foyer ouvert par un chauffage aux granulés sur le pourcentage des émissions totales de PM10, puis conclure sur l'intérêt d'un chauffage au bois aux granulés.

Selon le document, un foyer ouvert émet huit fois plus de particules qu'un foyer fermé avec insert à granulés. Si tous les foyers ouverts sont remplacés, leur contribution passe de 11,6 % à 11,6 / 8 = 1,45 % du total initial. La baisse correspond à 11,6 - 1,45 = 10,15 points de pourcentage du total initial, en supposant les autres émissions inchangées. Le remplacement réduit donc fortement les rejets de PM10.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Après remplacement, les émissions liées à ces appareils équivalent à 1,45 % du total initial, soit une baisse de 10,15 points.

3. Consommation annuelle de granulés et choix du silo

Une habitation chauffée au fioul par une chaudière ancienne doit être équipée d'une chaudière à granulés et d'un stockage adapté à une saison de chauffe. Les questions mobilisent les pouvoirs calorifiques, les rendements, les données de dimensionnement du silo et les statistiques françaises de production et de consommation de granulés.

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

Le PCi donne l'énergie thermique dégagée par la combustion d'une unité de produit. Le tableau DT2 exprime donc le fioul par litre et les granulés par tonne. Il faut conserver ces unités pour les calculs suivants : la consommation de fioul est donnée en litres, tandis que la masse de granulés sera calculée en kilogrammes. Les valeurs relevées sont directement celles du tableau.

Combustible	PCi
Fioul domestique	9,97 kWh/L
Granulés de bois	4 600 kWh/t

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Fioul : 9,97 kWh/L. Granulés de bois : 4 600 kWh/t.

Question 3.2. À partir d'une consommation annuelle de 1 380 L de fioul et d'un rendement de 75 %, calculer la quantité d'énergie thermique ET, en kWh, produite par l'ancienne chaudière.

La chaudière ne restitue que 75 % de l'énergie contenue dans le fioul. L'énergie thermique utile produite est donc le produit de la consommation annuelle par le PCi et par le rendement :

$$E_T = 1380 \times 9{,}97 \times 0{,}75 = 10\,318{,}95 \text{ kWh}.$$

Cette valeur correspond au besoin annuel que la nouvelle chaudière devra couvrir. Le rendement est appliqué à l'énergie fournie par la combustion, et non à la consommation de fioul seule.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Énergie thermique annuelle produite : 10 318,95 kWh.

Question 3.3. Relever le rendement à charge partielle de la nouvelle chaudière à granulés, puis calculer la masse de granulés à stocker pour une saison de chauffe afin de produire la même quantité d'énergie thermique ET.

Le rendement à charge partielle indiqué dans le DT3 est de 91 %. Pour fournir la même énergie utile, les granulés doivent libérer une énergie de $E_T / 0{,}91$. Leur PCi vaut 4 600 kWh/t, soit 4,6 kWh/kg. La masse à stocker est donc $10\,318{,}95 / (0{,}91 \times 4{,}6)$. On obtient environ 2 465 kg de granulés pour une saison de chauffe.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Rendement à charge partielle : 91 %. Masse nécessaire : environ 2 465 kg.

Question 3.4. Calculer le volume de granulés à stocker pour une saison de chauffe et justifier le choix du silo proposé dans le document DT5.

Donnée	Valeur
Masse annuelle	2 465 kg
Masse volumique	600 kg/m³
Volume nécessaire	4,11 m³
Silo ECO200P	3,2 à 4,6 m³ ; 2,1 à 3,1 t

Le volume s'obtient par $V = m/\rho$, soit environ 4,11 m³. Le silo ECO200P convient en choisissant une configuration offrant au moins ce volume et une capacité massique supérieure à 2 465 kg. Il faut donc retenir une hauteur adaptée dans la plage de 1,8 à 2,3 m, vers la capacité maximale indiquée de 4,6 m³ et 3,1 t.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Volume à stocker : environ 4,11 m³. Le silo ECO200P convient dans une configuration de capacité suffisante.

Question 3.5. Déterminer graphiquement la production et la consommation de granulés de bois en France pour l'année 2019, puis expliquer l'écart entre ces deux valeurs.

La lecture du graphique DT6 pour 2019 donne environ 1,6 million de tonnes produites en France et 1,8 million de tonnes consommées. La consommation dépasse donc la production nationale d'environ 200 000 tonnes. Cet écart est compensé par les importations, également représentées sur le graphique. Comme ces valeurs sont relevées graphiquement, elles restent approximatives et ne doivent pas être interprétées comme des mesures exactes.

✓ RÉPONSE À RETENIR

En 2019 : production ≈ 1,6 million de tonnes ; consommation ≈ 1,8 million de tonnes. Le déficit est compensé par les importations.

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

Le graphique DT6 indique une production française d'environ 1 600 000 tonnes en 2019. Un foyer consomme en moyenne 2,5 tonnes par an. Le nombre de foyers pouvant être approvisionnés est donc $1\,600\,000/2{,}5 = 640\,000$. Cette estimation suppose que toute la production française est disponible pour les foyers. Elle dépend aussi de la

lecture approximative de la production sur le graphique.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Environ 640 000 foyers auraient pu être chauffés avec la production française de 2019.

Question 3.7. À partir des résultats des parties 1 à 3, expliquer pourquoi la chaudière à granulés est une solution d'avenir dans le cadre du développement durable, en considérant les aspects économique, social et environnemental.

La chaudière à granulés est une solution d'avenir si ses émissions de particules sont maîtrisées. La filière bois émet en moyenne 37 kg éq. CO_2/MWh utile, contre 466 pour le fioul, et valorise une ressource renouvelable issue notamment de résidus de bois. Le stockage saisonnier et l'alimentation automatisée améliorent le confort. La production française contribue à l'approvisionnement et à l'activité de la filière, même si les importations complètent l'offre. Enfin, les particules fines restent nocives : un appareil performant et bien réglé est indispensable.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les granulés valorisent une ressource renouvelable et réduisent les émissions de gaz à effet de serre par rapport au fioul. Ils soutiennent une filière d'approvisionnement et offrent un chauffage pratique, à condition de limiter les émissions de particules.

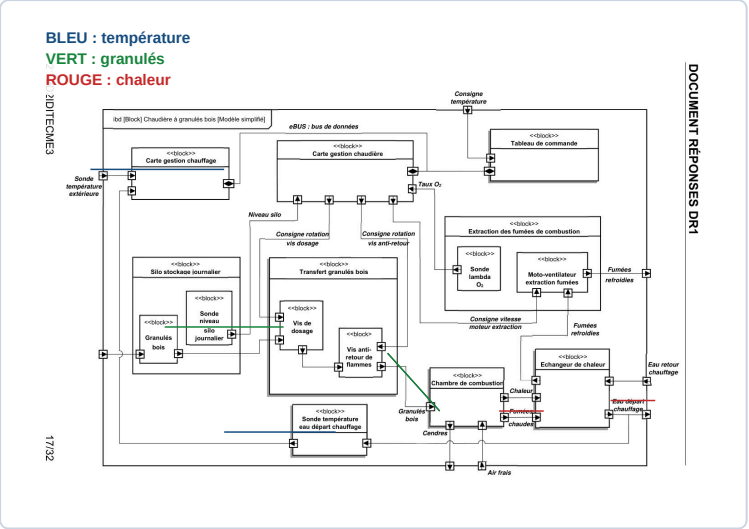
4. Optimisation et régulation de la combustion

Cette partie étudie les réglages nécessaires pour obtenir une combustion complète, limiter la consommation de granulés et réduire les émissions polluantes. Le candidat exploite les documents de la chaudière, les courbes de chauffe, les données du motoréducteur et la sonde lambda, puis complète un algorigramme de régulation.

Question 4.1. Sur le diagramme de blocs internes du DR1, repasser sur les traits les flux suivants avec les couleurs demandées : flux d'information concernant la température en bleu, flux de matière concernant les granulés en vert et flux d'énergie en rouge.

Les flux d'information de température sont en bleu : sonde extérieure vers carte de gestion du chauffage, et sonde d'eau de départ vers cette carte. En vert, les granulés circulent du silo journalier vers le transfert, puis vers la chambre de combustion. En rouge, la chaleur passe de la chambre de combustion à l'échangeur, puis l'eau chauffée part vers le circuit de chauffage. Les traits colorés du DR1 représentent les liaisons correspondantes, et non les blocs eux-mêmes.

DR1 : flux à repérer



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Températures : bleu ; granulés : vert ; chaleur vers l'échangeur et le départ chauffage : rouge.

Question 4.2. À l'aide des courbes de chauffe du DT7, déterminer graphiquement la température d'eau de départ chauffage θedc qui permettra d'obtenir la température de confort dans l'habitation après 5 heures du matin, pour une température extérieure de 7 °C. Arrondir à la valeur entière supérieure.

Après 5 h, le programme passe en température confort, soit une consigne intérieure de 20 °C. Sur le DT7, on utilise donc la courbe « Cons. θint = 20 °C ». À la température extérieure θext = 7 °C, la lecture graphique donne environ 42,5 °C pour l'eau de départ. L'énoncé demande l'arrondi à la valeur entière supérieure : la consigne à retenir est donc 43 °C. Cette valeur sera utilisée pour calculer la chaleur en 4.3.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> θedc = 43 °C.

Question 4.3. Calculer la quantité de chaleur QE, en joules, que devra fournir la chaudière pour atteindre la température d'eau de départ chauffage désirée, sachant que l'eau de retour chauffage est à 23 °C.

La chaudière contient 90 L d'eau selon le DT3. Avec ρ = 1000 kg·m⁻³, cela correspond à 90 kg. L'eau passe de 23 °C au retour à 43 °C au départ, soit une élévation de 20 °C. En appliquant la relation fournie, QE = m·C·(θf − θi) = 90 × 4185 × (43 − 23). La chaleur nécessaire est donc de 7 533 000 J.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> QE = 7 533 000 J.

Question 4.4. Calculer la puissance de chauffe nécessaire Pc, en watts, pour porter la chaudière à la température θedc en 10 minutes.

La puissance moyenne est l'énergie fournie divisée par la durée. Le temps de chauffe indiqué, 10 minutes, correspond à 600 s. Avec la chaleur calculée en 4.3, Pc = QE/Δt = 7 533 000/600. La chaudière doit donc fournir une puissance moyenne de 12 555 W pendant cette montée en température, soit environ 12,6 kW.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pc = 12 555 W, soit environ 12,6 kW.

Question 4.5. Convertir la masse volumique des granulés en g·mm⁻³ et en déduire la masse maximale de granulés, en grammes, pouvant être amenée pour un tour de la vis de dosage.

La masse volumique de 600 kg·m⁻³ équivaut à 600 000 g pour 1 000 000 000 mm³, soit 0,0006 g·mm⁻³. Le DT4 donne un volume utile de 125 000 mm³ par tour de vis. La masse maximale transportée en un tour est donc le produit de cette masse volumique par le volume utile : 0,0006 × 125 000 = 75 g.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Masse volumique : 0,0006 g·mm⁻³ ; masse maximale par tour : 75 g.

Question 4.6. À l'aide de la documentation technique du motoréducteur, calculer le nombre de tours effectués par la vis pour un cycle d'alimentation de 20 secondes.

Le DT8 indique une vitesse de rotation du motoréducteur de 3 tr·min⁻¹. Un cycle d'alimentation dure 20 s, soit un tiers de minute. La vis effectue donc 3 × 20/60 = 1 tour pendant un cycle. Ce résultat relie directement la durée de commande à la quantité maximale calculée en 4.5 : un cycle correspond à un tour de vis.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> 1 tour par cycle de 20 s.

Question 4.7. Pour un temps de chauffe de 10 minutes et un débit moyen de granulés de 0,7 g·s⁻¹, calculer la masse totale de granulés consommée, puis en déduire le nombre de cycles d'alimentation électrique du moteur.

Pour 10 minutes, soit 600 s, la masse consommée au débit moyen de 0,7 g·s⁻¹ vaut 0,7 × 600 = 420 g. Un cycle de 20 s correspond à un tour de vis, et la masse maximale amenée par tour est de 75 g. Le nombre théorique de cycles est donc 420/75 = 5,6. Il faut prévoir 6 cycles complets pour couvrir cette consommation.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Masse consommée : 420 g ; nombre de cycles complets : 6.

Question 4.8. Relever sur le DT9 le rapport masse d'air sur masse de granulés pour λréf = 1,3. Calculer la masse puis le volume d'air nécessaires à une combustion complète par cycle de 20 secondes, avec une masse volumique de l'air de 1,204 kg·m⁻³ et 75 g de granulés par cycle.

Pour λréf = 1,3, la lecture du DT9 donne un rapport A/G d'environ 8. Avec 75 g de granulés par cycle, la masse d'air nécessaire est 75 × 8 = 600 g, soit 0,600 kg. Le volume d'air correspondant se calcule avec la masse volumique donnée : V = m/ρ = 0,600/1,204. Il faut environ 0,498 m³ d'air par cycle de 20 s.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> A/G ≈ 8 ; masse d'air ≈ 0,600 kg ; volume ≈ 0,498 m³ par cycle.

Question 4.9. Déduire le débit d'air correspondant, en m³·h⁻¹, et vérifier que le moto-ventilateur de la chaudière peut fournir ce débit.

Le volume d'air d'un cycle de 20 s est d'environ 0,498 m³. Pour obtenir le débit horaire, on multiplie ce volume par 3600/20 : le débit demandé est d'environ 89,7 m³·h⁻¹. Le DT3 indique un débit d'air maximal de 290 m³·h⁻¹ pour la chaudière. Cette capacité étant supérieure au débit calculé, le moto-ventilateur peut fournir l'air nécessaire.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Débit d'air ≈ 89,7 m³·h⁻¹ ; capacité suffisante, car 89,7 < 290 m³·h⁻¹.

Question 4.10. Relever les valeurs limites λmini et λmaxi qui délimitent la zone idéale de fonctionnement sur le DT9.

Sur le DT9, la zone idéale est la bande grisée du diagramme. Elle s'étend de λ = 1,3 à λ = 1,5. Ces deux bornes délimitent le fonctionnement à maintenir par la régulation. En dessous de la borne inférieure, le mélange est trop riche et peut produire du CO ; au-dessus de la borne supérieure, le mélange est trop pauvre et la flamme risque de s'éteindre.

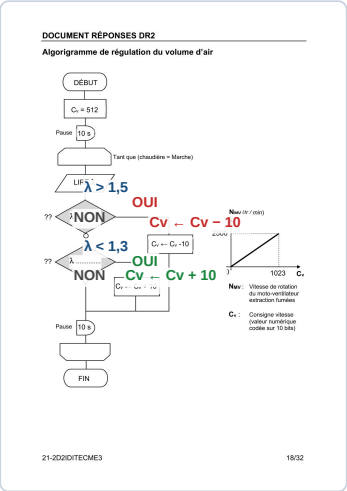
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

λmini = 1,3 ; λmaxi = 1,5.

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

La sonde transmet λ au microcontrôleur, qui ajuste Cv par pas de 10. Si λ > 1,5, le mélange est trop pauvre : il faut diminuer l'air et donc Cv. Si λ < 1,3, le mélange est trop riche : il faut augmenter l'air et Cv. Entre les deux seuils, la consigne reste inchangée. Après chaque régulation, la pause de 10 s précède une nouvelle mesure tant que la chaudière fonctionne.

DR2 : seuils et branches de régulation



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Si λ > 1,5 : Cv ← Cv − 10 ; si λ < 1,3 : Cv ← Cv + 10 ; sinon, Cv inchangée.

5. Dimensionnement et résistance de la structure de stockage

La société Euroclima étudie une solution de stockage saisonnier de granulés constituée d'une poche textile et d'une structure porteuse démontable en profilés carrés creux. Deux modèles de structure sont comparés pour répondre à la charge des granulés et aux sollicitations accidentelles.

Question A.1. À l'aide du DTS2, relever les dimensions minimales de la zone d'installation du silo complet avec sa structure, en indiquant la surface au sol et la hauteur.

La consommation annoncée est de 5 000 L, soit 5 m³. Dans le tableau du DTS2, le plus petit silo dont le volume dépasse ce besoin est le silo 5,5 m³. Il mesure 220 × 220 cm au sol et 250 cm de hauteur. La structure porteuse fait 2,20 m de côté et 2 m de haut : la zone doit donc accueillir l'ensemble silo-structure sans réduire l'encombrement minimal indiqué par le silo.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Prévoir au minimum 2,20 × 2,20 m au sol, soit 4,84 m², et 2,50 m de hauteur.

Question A.2. Justifier le paramétrage de la charge uniformément répartie par la charge linéique q représentée sur la structure, puis déterminer q en N·m⁻¹.

Le silo transmet le poids des granulés au cadre supérieur. Le schéma représente cette charge répartie le long des quatre côtés du cadre carré de 2,20 m : sa longueur totale est donc 4 × 2,20 = 8,80 m. Avec une masse de granulés de 3 000 kg et l'approximation usuelle g = 10 N·kg⁻¹, le poids vaut 30 000 N. La charge linéique est le poids total divisé par la longueur chargée.

✓ RÉPONSE À RETENIR

La charge linéique uniformément répartie vaut environ 3 409 N·m⁻¹.

Modèle 1

Question A.3. En supposant que la charge totale est répartie également sur les quatre pieds, déterminer l'effort appliqué sur chacun d'eux et préciser la sollicitation subie par chaque pied.

La charge totale est le poids des 3 000 kg de granulés. En prenant g = 10 N·kg⁻¹, on obtient 3 000 × 10 = 30 000 N. L'énoncé suppose une répartition égale entre les quatre pieds : chaque pied reprend donc un quart de cette charge. L'effort est appliqué suivant l'axe du pied et le sollicite principalement en compression.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Chaque pied supporte 7 500 N en compression axiale.

Question A.4. Calculer la contrainte dans un pied de la structure, dont le profilé creux a une section de 80 × 80 mm et une épaisseur de 4 mm.

La section de matière du profilé creux est la section extérieure moins la section vide. Avec une épaisseur de 4 mm, le côté intérieur vaut 80 − 2 × 4 = 72 mm. La section résistante est donc $80^2 - 72^2 = 1\,216$ mm². En reprenant l'effort de 7 500 N sur un pied, la contrainte moyenne en compression se calcule par $\sigma = F/S$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La contrainte moyenne dans un pied est d'environ 6,17 MPa en compression.

Question A.5. À partir des liaisons encastrées rigides entre le cadre et les pieds et de la simulation du DTS4, expliquer pourquoi une flexion des pieds apparaît.

Un encastrement rigide empêche la rotation du cadre par rapport au pied. Il transmet donc au pied les efforts verticaux, mais aussi des moments de flexion. Sous le poids réparti des granulés, les barres du cadre se déforment et leurs liaisons sollicitent les pieds en flexion. Les pieds ne travaillent donc pas uniquement en compression axiale. La déformation observée sur la simulation du DTS4 est cohérente avec ces liaisons rigides.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les encastrements transmettent des moments de flexion au pied, qui se déforme sous la charge.

Modèles 1 et 2

Question A.6. Expliquer ce qui peut se produire si un effort latéral accidentel est appliqué en haut de la structure du modèle 1, puis expliquer comment le modèle 2 apporte une solution à ce problème.

Dans le modèle 1, sans diagonales, une poussée latérale peut faire se déformer le cadre en parallélogramme et entraîner le déversement, voire le basculement de la structure. Le modèle 2 ajoute des diagonales qui triangulent les côtés. Elles reprennent l'effort horizontal principalement en traction ou en compression et limitent le déplacement latéral du cadre. Le contreventement améliore ainsi la stabilité de l'ensemble.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le modèle 2 est contreventé par des diagonales, qui limitent la déformation latérale et stabilisent la structure.

Modèle 2

Question A.7. À l'aide des valeurs de contraintes indiquées par la simulation du DTS5, vérifier la résistance de la structure constituée de profilés S235 dont la limite élastique est Re = 235 MPa.

La légende du DTS5 donne une contrainte de von Mises maximale de 103,108 MPa pour le modèle 2. La limite élastique du S235 est de 235 MPa. Comme la contrainte maximale calculée reste inférieure à cette limite, le matériau ne plastifie pas sous la charge simulée. Le rapport entre la limite élastique et la contrainte maximale est d'environ 2,28.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Résistance vérifiée : 103,108 MPa < 235 MPa, soit un facteur de sécurité d'environ 2,28.

Question A.8. Conclure sur l'intérêt du modèle 2.

Le modèle 2 répond au problème de stabilité latérale grâce à ses diagonales de contreventement. La simulation du DTS5 montre aussi que la contrainte maximale reste sous la limite élastique du S235 pour la charge étudiée. Il combine donc une meilleure résistance au déversement avec une résistance mécanique vérifiée. C'est le modèle à privilégier pour supporter le silo chargé dans les conditions considérées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le modèle 2 est à retenir : il stabilise la structure et sa résistance à la charge est vérifiée.

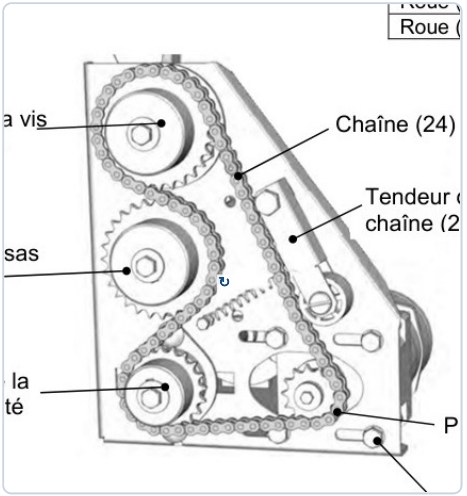
6. Cinématique et sécurité de l’alimentation en granulés

L’alimentation de la chaudière associe une vis de dosage, un sas rotatif et une vis de sécurité, entraînés par un motoréducteur et une chaîne. L’étude porte sur les sens et vitesses de rotation, les débits de transport, la prévention des bourrages et du retour de flamme, ainsi que le choix d’un matériau adapté à la température et au soudage.

Question B.1. À partir du DTS6, justifier le sens de rotation indiqué pour la roue 23 de la vis de dosage, puis reporter ce sens de rotation sur le DRS1.

Le DTS6 indique le sens de rotation de la vis de dosage et de sa roue 23. Ce sens doit entraîner les granulés depuis le stockage vers le sas rotatif, sans les renvoyer vers le silo. Reporté sur la vue de face du DRS1, le mouvement de la roue 23 est horaire. La flèche est placée sur son centre pour compléter le document réponse.

Sens de rotation de la roue 23



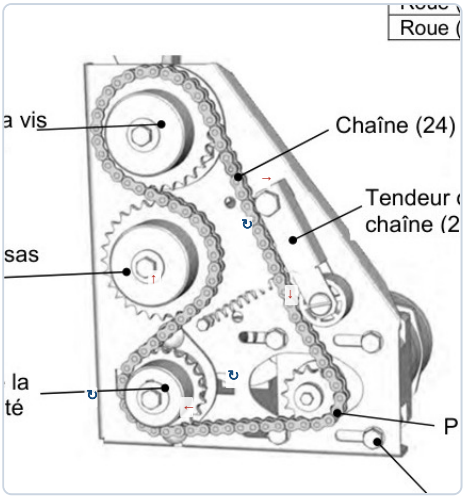
✓ RÉPONSE À RETENIR

Roue 23 : sens horaire, pour acheminer les granulés vers le sas rotatif.

Question B.2. Sur le DRS1, représenter par des flèches les sens de rotation des roues 20, 21 et 22, ainsi que le sens de déplacement de la chaîne.

La chaîne entraîne les roues sans croisement : elles tournent donc dans le même sens que la roue 23 indiqué au DTS6. Sur le DRS1, les roues 20, 21 et 22 tournent ainsi dans le sens horaire. Pour une circulation horaire de la chaîne, elle se déplace vers la droite sur les brins supérieurs et vers la gauche sur les brins inférieurs, en suivant le tracé autour des pignons.

Sens des roues et de la chaîne sur le DRS1



✓ RÉPONSE À RETENIR

Roues 20, 21 et 22 : sens horaire. La chaîne circule dans le sens horaire autour des pignons.

Question B.3. À partir des documents DTS6 et DTS7, justifier le choix d'une chaîne plutôt que d'une courroie pour cette transmission.

Le DTS7 indique que les chaînes transmettent des couples importants et supportent des températures de fonctionnement importantes. Elles conviennent donc à l'entraînement des organes de l'alimentation. Les courroies sont moins adaptées : elles peuvent glisser, transmettent des couples plus faibles et sont prévues pour des températures moyennes. La chaîne est bruyante et nécessite un tendeur, mais ces inconvénients sont acceptables pour cette application.

✓ RÉPONSE À RETENIR

La chaîne est retenue pour les couples importants et les températures élevées.

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 à partir de la vitesse du pignon moteur et des nombres de dents indiqués.

Pour une transmission par chaîne, la vitesse de rotation réceptrice vaut la vitesse motrice multipliée par le rapport du nombre de dents moteur sur récepteur. Avec le pignon 20 à 1,5 $tr \cdot min^{-1}$: roue 23 et roue 22, chacune de 28 dents, tournent à la même vitesse. La roue 21, de 20 dents, tourne plus vite.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Vis 3 : 0,696 $tr \cdot min^{-1}$; sas 13 : 0,696 $tr \cdot min^{-1}$; vis 4 : 0,975 $tr \cdot min^{-1}$.

Question B.5. Calculer les débits de granulés, en $mm^3 \cdot min^{-1}$, transportés par la vis 3, la vis 4 et le sas 13. Justifier le principe de transport retenu au regard des risques de bourrage.

Le débit maximal est le volume transporté par tour multiplié par la vitesse de rotation. Ainsi, pour la vis 3 : 125 000 × 0,6964 ; pour le sas : 150 000 × 0,6964 ; pour la vis 4 : 250 000 × 0,975. Les capacités augmentent dans le sens du transport : le sas peut recevoir le débit de la vis 3, et la vis 4 peut évacuer celui du sas, ce qui limite l'accumulation et les bourrages.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Débits maximaux : vis 3, 87 054 $mm^3 \cdot min^{-1}$; sas 13, 104 464 $mm^3 \cdot min^{-1}$; vis 4, 243 750 $mm^3 \cdot min^{-1}$.

Question B.6. À l'aide du DTS6, expliquer en quoi le sas rotatif limite le risque de retour de flamme.

Le sas rotatif comporte des logements qui recueillent les granulés venant de la vis de dosage et les déposent ensuite sur la vis de sécurité. En tournant, ses parois séparent successivement l'entrée et la sortie. Elles interrompent ainsi le passage direct entre la chambre de combustion et l'alimentation en granulés, ce qui limite la propagation d'une flamme vers le stockage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les logements du sas transfèrent les granulés tout en interrompant le passage direct de la flamme vers le stockage.

Question B.7. À l'aide du diagramme DTS8, choisir un type de matériau pour fabriquer la vis de sécurité et justifier ce choix en tenant compte de la température de fonctionnement et de l'assemblage par soudage.

La vis de sécurité peut atteindre environ 600 °C à son extrémité, et son hélice doit être soudée sur un axe pré-usiné. Sur le DTS8, les superalliages à base de nickel présentent une température maximale d'utilisation supérieure à 600 °C et une aptitude au soudage compatible avec l'assemblage. Ils répondent donc simultanément aux contraintes de température et de fabrication.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Choisir un superalliage à base de nickel : il résiste à plus de 600 °C et permet le soudage de l'hélice sur l'axe.

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

Les solutions retenues répondent aux principales contraintes de l'alimentation. La chaîne transmet les couples requis et fonctionne à température importante. Les capacités calculées augmentent d'un organe au suivant, ce qui limite le risque de bourrage. Le sas rotatif sépare l'entrée de la sortie et réduit le risque de retour de flamme.

Enfin, le matériau choisi supporte la température en bout de vis et peut être soudé.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Les choix répondent aux contraintes de transmission, de débit, de prévention des bourrages et de sécurité thermique.

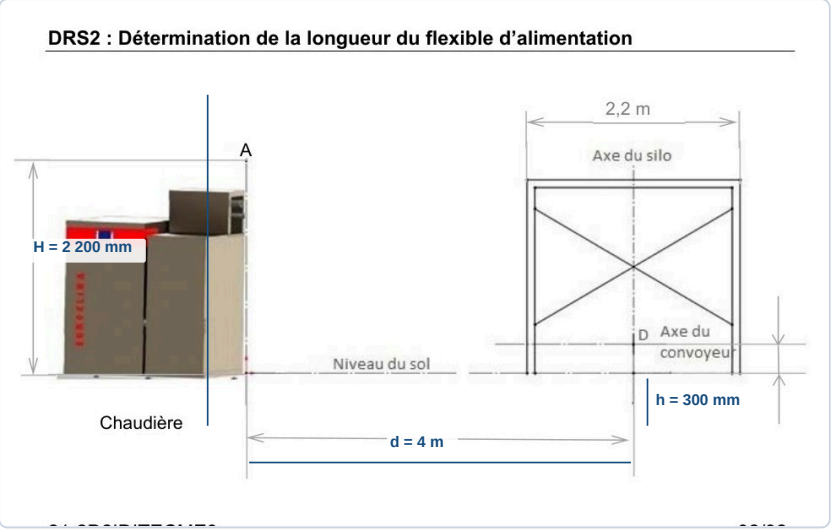
7. Installation d’un convoyeur flexible d’alimentation

Un convoyeur à vis sans fin flexible doit acheminer automatiquement les granulés du silo à la chaudière afin de réduire les manutentions. Son implantation est définie par la distance et les hauteurs disponibles, puis vérifiée à partir des limites de rayon de courbure, d’angle et de densité des granulés.

Question C.1. À partir des contraintes géométriques données, reporter sur le DRS2 la distance chaudière-axe du silo d = 4 m, la hauteur h = 300 mm de l’axe du tube sous le silo et la hauteur H = 2 200 mm de la sortie au-dessus de la chaudière.

Sur le DRS2, reporter **d** horizontalement entre la verticale passant par A et l’axe du silo. Coter **H** depuis le sol jusqu’à A, puis **h** depuis le sol jusqu’à l’axe D du convoyeur. Conserver les unités indiquées dans le sujet.

DRS2 complété : cotes d’implantation



✓ RÉPONSE À RETENIR

d = 4 m ; h = 300 mm ; H = 2 200 mm.

Question C.2. À l’aide des documents DTS1 et DTS9, vérifier que la densité des granulés est compatible avec les caractéristiques du convoyeur MA40.

Le DTS1 donne une masse volumique apparente supérieure ou égale à 600 kg/m³. Le DTS9 limite la densité transportée à 0,7, soit 700 kg/m³. La valeur de référence de 600 kg/m³ est inférieure à la limite : elle est compatible avec le MA40. La seule borne minimale du DTS1 ne permet toutefois pas de garantir que toute valeur possible respecte cette limite.

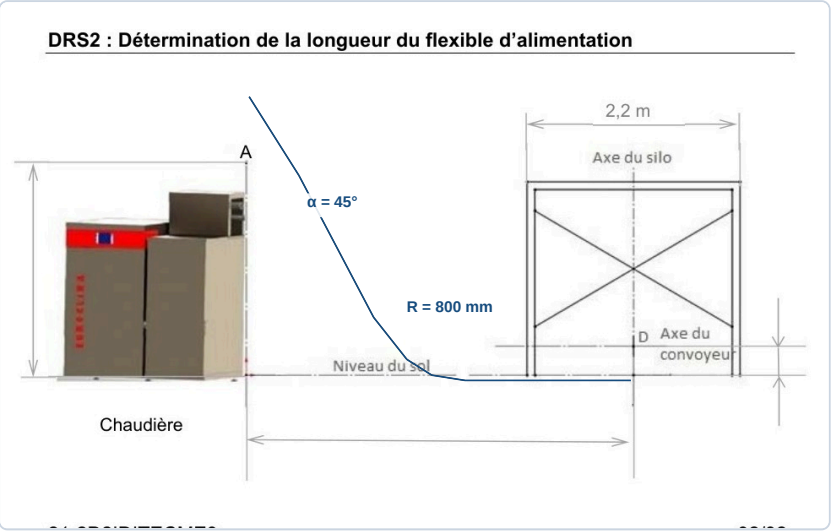
✓ RÉPONSE À RETENIR

À 600 kg/m³, les granulés sont compatibles avec la limite de 700 kg/m³ du MA40.

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, puis reporter les valeurs R = 800 mm et α = 45°.

Sur le DRS2, tracer l'axe du tube entre D et A : départ horizontal depuis D, courbure de rayon **R = 800 mm**, puis tronçon incliné à **α = 45°** jusqu'à A. Inscrire les deux valeurs près de la courbure et de l'inclinaison, sans masquer les repères du document.

DRS2 complété : axe du convoyeur



✓ RÉPONSE À RETENIR

Axe D-A : départ horizontal, courbe de rayon 800 mm, puis tronçon incliné à 45°.

Question C.4. À partir des tracés réalisés sur le DRS2, déterminer la longueur approchée du tube du convoyeur à installer.

Le dénivelé vaut 2,2 − 0,3 = 1,9 m. La courbe de rayon 0,8 m apporte une montée de 0,8(1 − cos 45°) et une projection horizontale de 0,8 sin 45°. Le reste de la montée est parcouru sur le tronçon incliné à 45° ; la distance horizontale restante donne le tronçon droit. En ajoutant ces longueurs à l'arc de 45°, on obtient environ 4,75 m.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Longueur approchée du tube : 4,75 m.

8. Synthèse de la validité des solutions techniques

La synthèse porte sur les solutions étudiées pour le stockage, l'alimentation et le transfert automatique des granulés vers la chaudière. Elle demande de mettre en relation les résultats obtenus dans les différentes parties pour juger leur validité au regard des contraintes du système.

Question D.1. En vous appuyant sur les résultats des différentes parties, conclure sur la validité des solutions techniques mises en œuvre.

Le stockage répond au besoin annuel de 5 m³ et 3 t. Le modèle 2, contreventé, résiste : sa contrainte maximale de 103,1 MPa reste sous la limite élastique de 235 MPa. Pour l'alimentation, la chaîne convient aux couples et aux températures importantes ; le sas rotatif limite le retour de flamme et facilite le transfert entre vis. Le convoyeur MA40 est compatible avec les granulés : leur masse volumique est au plus de 700 kg/m³, et ses limites d'installation correspondent à R = 800 mm et α = 45°. Sa capacité à cet angle est de 120 kg/h.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les solutions sont adaptées : stockage dimensionné, structure résistante, alimentation sécurisée et transfert compatible avec les granulés et les contraintes de pose.

SYNTHÈSE DE L'ÉPREUVE & RÉFÉRENTIEL • BAC STI2D

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2021)

Bilan de l'épreuve : Épreuve de spécialité Innovation technologique et éco-conception du baccalauréat technologique STI2D, session 2021, code 21-2D2IDITECME3. D'une durée de 4 heures, elle comprend une partie commune sur 12 points et une partie spécifique sur 8 points, sans coefficient imprimé. Le sujet étudie une chaudière à granulés et évalue l'analyse environnementale, les calculs énergétiques, le dimensionnement mécanique et la régulation.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- L'énergie utile produite tient compte du rendement : énergie utile = énergie du combustible × rendement.
- La chaleur nécessaire s'évalue par Q = m × C × (θf - θi), puis la puissance par P = Q / durée.
- Pour une transmission par chaîne, le rapport des vitesses dépend du rapport des nombres de dents des roues menante et menée.
- Une combustion complète exige un rapport air-granulés adapté à λ ; la sonde lambda permet de réguler le débit d'air.

Points de vigilance & attentes du jury

- Vérifier la cohérence des unités avant chaque calcul et convertir les tonnes, litres, mètres cubes et secondes si nécessaire.
- Lors d'une lecture graphique, repérer les axes, la courbe ou la zone concernée et expliciter l'arrondi demandé.
- Pour vérifier une structure, comparer la contrainte maximale à la limite élastique du matériau.
- Dans la partie spécifique, choisir la partie A ou B ; les parties C et D restent obligatoires.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer l'énergie utile fournie par une chaudière à partir d'un combustible ?

Multipliez la quantité de combustible par son pouvoir calorifique inférieur pour obtenir l'énergie théorique, puis par le rendement de la chaudière. Vérifiez que les unités de quantité, de PCI et d'énergie sont compatibles avant le calcul.

Q : Comment vérifier si une structure métallique résiste à la charge étudiée ?

Relevez la contrainte maximale sur la simulation et comparez-la à la limite élastique du matériau. La structure résiste dans le cadre de l'étude si la contrainte maximale reste inférieure à cette limite.

Q : Doit-on traiter les parties A et B de la partie spécifique ?

Non. Le sujet demande de choisir la partie A ou la partie B. Les parties C et D sont obligatoires. La partie commune est également à traiter, sur une copie séparée de la partie spécifique.

Q : Le sujet donne-t-il un barème détaillé pour chaque question ou un coefficient ?

Le sujet indique 12 points pour la partie commune et 8 points pour la partie spécifique, mais ne donne pas de répartition des points par question. Aucun coefficient n'est imprimé sur le sujet.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2021/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2021 - 3-Sujet.pdf
Ressources Bac STI2D : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

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.