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 - Ingénierie, innovation et développement durable

Session 2022 • Code sujet : **22-2D2IDITECME3** • Durée : **4 heures**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Intérêt environnemental d’un navire à hydrogène** (5 questions) — **Page 3**
2. **Comparaison des combustibles et des bilans carbone et énergétique** (2 questions) — **Page 5**
3. **Autonomie énergétique et capacité de stockage d’hydrogène** (12 questions) — **Page 7**
4. **Stockage de l’hydrogène et choix des réservoirs** (4 questions) — **Page 12**
5. **Maintien du cap face au vent et aux courants** (4 questions) — **Page 14**
6. **Efforts engendrés par le vent sur un propulseur éolien OceanWings** (2 questions) — **Page 16**
7. **Efforts supportés par la liaison entre un propulseur éolien et un flotteur** (4 questions) — **Page 17**
8. **Solution constructive pour la liaison entre le support supérieur et le mât** (4 questions) — **Page 20**
9. **Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 23**

Sujet officiel (PDF) : https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2022/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2022 - 3-Sujet.pdf

1. Intérêt environnemental d’un navire à hydrogène

Energy Observer est un navire expérimental à propulsion électrique qui combine énergies renouvelables, batteries et hydrogène produit à bord. Les documents présentent ses équipements et la chaîne de traitement de l’eau, de production, de compression et de stockage de l’hydrogène.

Question 1.1. Indiquer au moins deux raisons qui justifient l’intérêt environnemental du projet Energy Observer.

Le projet limite les émissions de gaz à effet de serre et de particules fines pendant la navigation, car le bateau utilise une propulsion électrique alimentée par des énergies renouvelables. Il contribue aussi à réduire les nuisances sonores par rapport aux navires conventionnels. Enfin, produire et stocker de l’hydrogène à partir des surplus d’énergie renouvelable permet de mieux exploiter ces ressources.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> La propulsion renouvelable limite les émissions de gaz à effet de serre, les particules fines et le bruit en navigation.

Question 1.2. Expliquer en quoi l’hydrogène vert pourrait être une solution d’avenir pour réduire l’impact environnemental du transport maritime.

L’hydrogène vert est produit par électrolyse à partir d’électricité renouvelable. Il permet de stocker les surplus d’énergie et de les utiliser plus tard, notamment dans une pile à combustible qui alimente la propulsion électrique.

- À l’usage, cette propulsion n’émet pas de gaz à effet de serre ni de particules fines.
- Elle réduit aussi le bruit des navires.

Son bénéfice environnemental dépend donc de l’origine renouvelable de l’électricité utilisée pour le produire.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> L’hydrogène vert stocke les surplus renouvelables et permet une propulsion électrique moins polluante et moins bruyante.

Question 1.3. À partir du document technique DT1, indiquer les quatre éléments techniques à bord du bateau qui permettent de produire de l’énergie électrique.

Le DT1 distingue quatre équipements capables de fournir de l’électricité au bateau. Les panneaux photovoltaïques et les éoliennes convertissent respectivement l’énergie solaire et celle du vent. La pile à combustible transforme l’hydrogène stocké en électricité. Enfin, les moteurs électriques réversibles peuvent fonctionner en hydrogénérateurs et produire de l’électricité lors des navigations sous kite.

1. Panneaux photovoltaïques
2. Éoliennes
3. Pile à combustible
4. Moteurs électriques réversibles en hydrogénérateurs

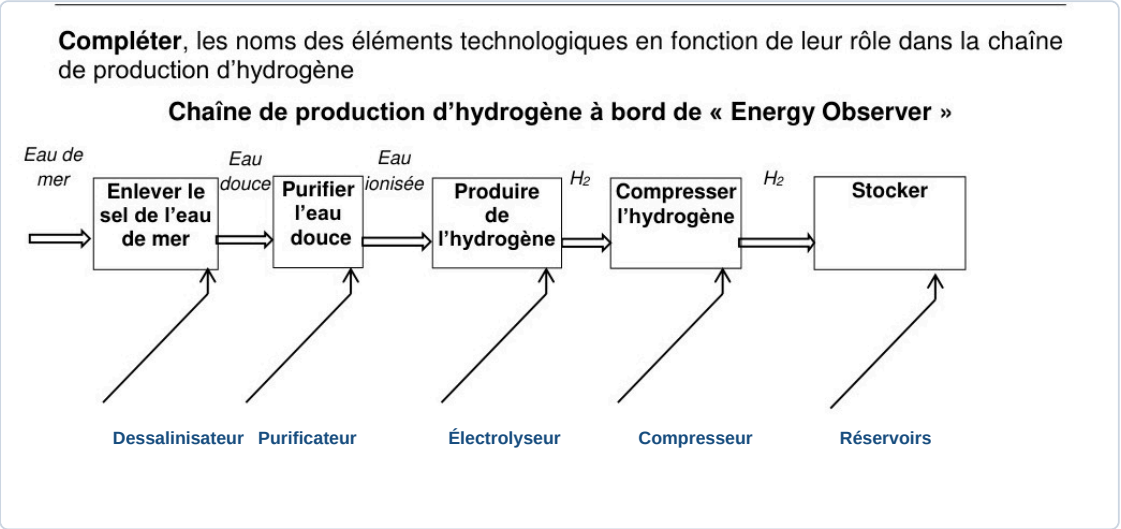
✓ RÉPONSE À RETENIR

Panneaux photovoltaïques, éoliennes, pile à combustible et moteurs électriques réversibles en hydrogénérateurs.

Question 1.4. À partir des documents DT1 et DT2 et de la liste proposée, compléter le document réponse DR1 en associant les éléments technologiques à leur rôle dans la chaîne de production d'hydrogène.

La chaîne commence par le dessalement de l'eau de mer, puis la filtration de l'eau douce. L'électrolyseur produit ensuite l'hydrogène. Le compresseur le porte à la pression nécessaire au stockage dans les réservoirs. Le document réponse DR1 doit donc être complété dans cet ordre : dessalinisateur, purificateur, électrolyseur, compresseur, réservoirs. Le visuel indique chaque nom à la place prévue sur le document.

DR1 complété : chaîne de production d'hydrogène



✓ RÉPONSE À RETENIR

Dessalinisateur, purificateur, électrolyseur, compresseur, puis réservoirs.

Question 1.5. Conclure sur la capacité de ce bateau à naviguer sans émission de gaz à effet de serre.

Le bateau peut naviguer sans émission directe de gaz à effet de serre si son énergie provient de sources renouvelables et si l'hydrogène est produit par électrolyse avec cette électricité. La pile à combustible fournit alors l'électricité sans combustion d'un combustible carboné. Cette conclusion concerne les émissions pendant la navigation, et non l'ensemble du cycle de vie du navire ou de ses équipements.

- Émissions directes en navigation : nulles, selon le sujet.
- Bilan global : dépend aussi de la fabrication et de la production d'énergie.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Oui, sans émissions directes en navigation ; le bilan de tout le cycle de vie peut toutefois comporter des émissions.

2. Comparaison des combustibles et des bilans carbone et énergétique

Le sujet compare plusieurs combustibles sur leur cycle de vie, de la production à l'utilisation, notamment selon leur bilan carbone. Les rendements des phases de production et d'utilisation sont fournis pour évaluer l'hydrogène obtenu par électrolyse.

Question 2.1. Calculer dans le document réponse DR2 le rendement global, correspondant à la production et à l'utilisation, de l'hydrogène obtenu par électrolyse.

Le rendement global est le produit des rendements de production et d'utilisation : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$. Pour l'hydrogène électrolytique, $\eta_1 = 65\,\%$ et $\eta_2 = 44\,\%$. Donc $\eta = 65 \times 44/100 = 28{,}6\,\%$, à inscrire dans la colonne « Global » du DR2.

DR2 complété

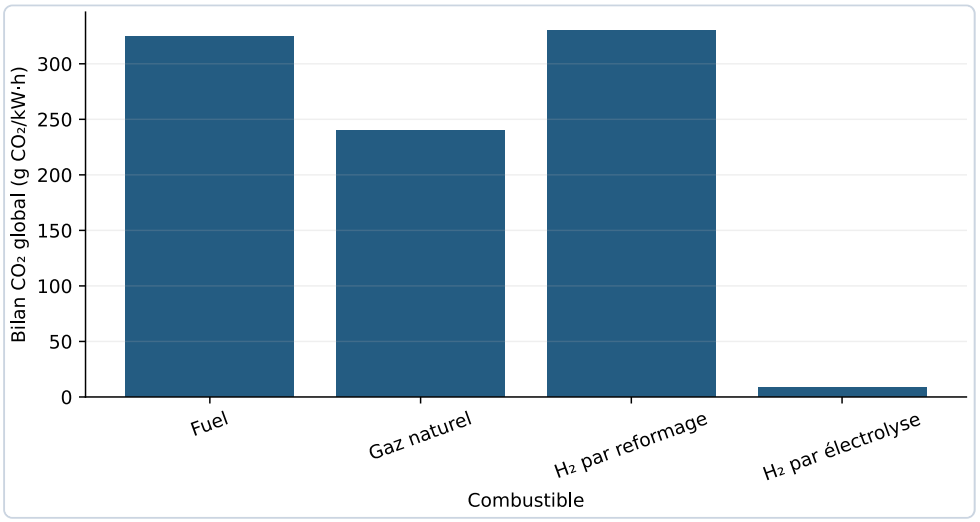
			Global
			28,6 %

✓ RÉPONSE À RETENIR

28,6 %

Question 2.2. À partir du document DT3 et du calcul précédent, montrer en quoi l'hydrogène obtenu par électrolyse est actuellement une solution d'avenir.

L'hydrogène électrolytique produit avec une électricité renouvelable émet 9 g CO_2/kW·h sur l'ensemble du cycle, contre 330 g pour l'hydrogène produit par reformage, 325 g pour le fuel et 240 g pour le gaz naturel. Son utilisation n'émet pas de CO_2 dans le bilan fourni. Son rendement global de 28,6 % est modeste, mais son très faible bilan carbone en fait une solution d'avenir si la production repose sur des énergies renouvelables.



✓ RÉPONSE À RETENIR

L’hydrogène électrolytique renouvelable combine un bilan carbone de 9 g CO_2/kW·h et un rendement global de 28,6 %.

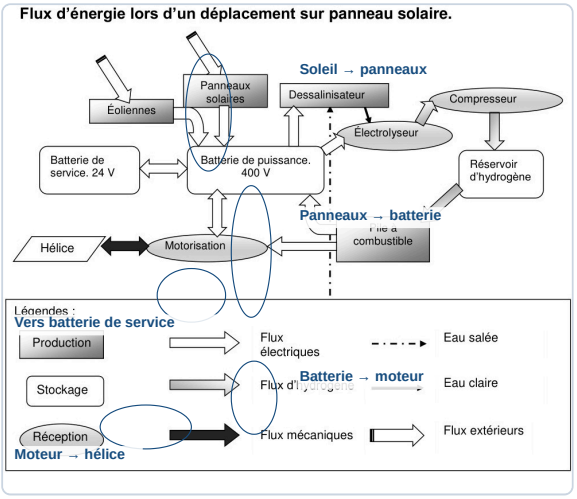
3. Autonomie énergétique et capacité de stockage d’hydrogène

L’étude porte sur le trajet d’essai entre Saint-Tropez et Minorque et sur les phases de fonctionnement d’Energy Observer avec batteries, énergie solaire et pile à combustible. Les documents présentent les flux d’énergie, les données de navigation et les capacités de stockage utiles pour évaluer l’autonomie sur deux jours.

Question 3.1. Sur le document réponse DR3, repérer en entourant les flèches correspondantes les flux d’énergie en jeu pendant la phase de jour en mode éco, durant laquelle le bateau fonctionne sur ses batteries avec un apport d’énergie solaire.

En journée, le rayonnement solaire est reçu par les panneaux photovoltaïques, qui fournissent de l’électricité à la batterie de puissance 400 V. Celle-ci alimente la motorisation pour entraîner l’hélice et fournit aussi l’électricité nécessaire à la batterie de service. Le vent étant nul, l’éolienne ne contribue pas. En mode éco, le bateau ne produit pas d’hydrogène : les flux de la chaîne d’électrolyse, du compresseur et des réservoirs ne sont donc pas à retenir.

Flux actifs en journée, mode éco



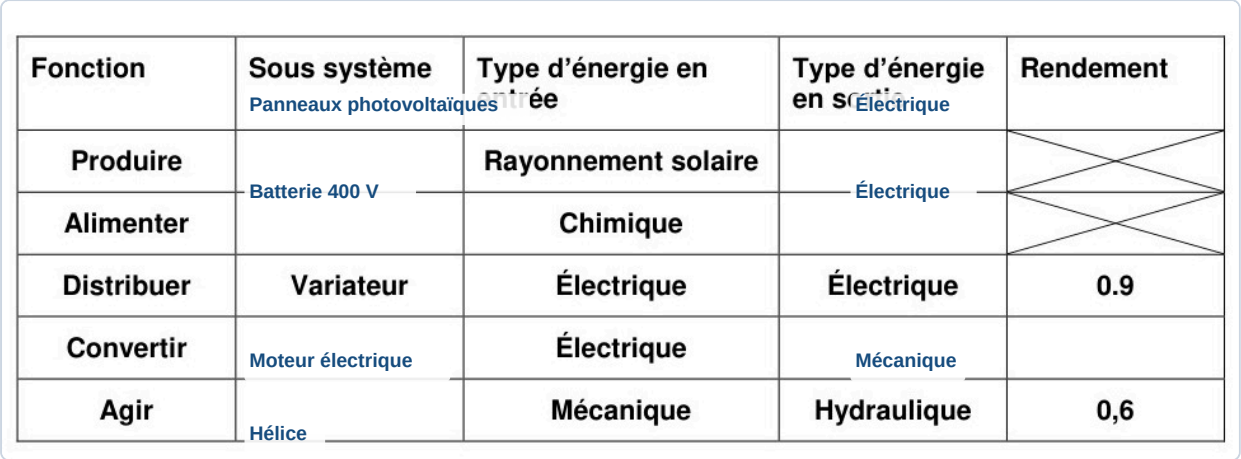
> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Flux actifs : soleil → panneaux → batterie 400 V → motorisation → hélice, et batterie 400 V → batterie de service.

Question 3.2. À l’aide des éléments retenus à la question précédente et du document DT2, compléter sur DR4 le tableau descriptif de la chaîne de puissance.

La chaîne de puissance de cette phase commence par la conversion du rayonnement solaire en électricité, puis son stockage dans la batterie de puissance. L’électricité est distribuée par le variateur, convertie par le moteur en énergie mécanique, puis transmise à l’eau par l’hélice. Le tableau reprend les sous-systèmes et rendements indiqués dans le DR4 et les documents techniques.

Fonction	Sous-système	Énergie en entrée	Énergie en sortie	Rendement
Produire	Panneaux photovoltaïques	Rayonnement solaire	Électrique	-
Alimenter	Batterie de puissance 400 V	Chimique	Électrique	-
Distribuer	Variateur	Électrique	Électrique	0,9
Convertir	Moteur électrique	Électrique	Mécanique	0,97
Agir	Hélice	Mécanique	Hydraulique	0,6

DR4 complété, cases à renseigner



✓ RÉPONSE À RETENIR

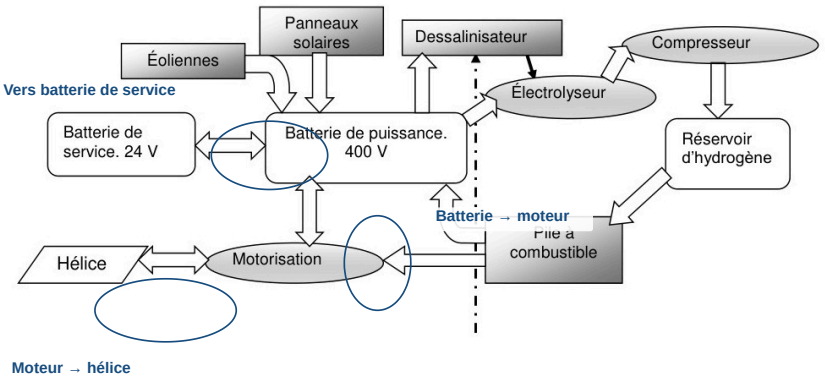
Panneaux photovoltaïques → batterie 400 V → variateur → moteur électrique → hélice.

Question 3.3. Sur le document réponse DR5, repérer en entourant les flèches correspondantes les flux d'énergie de la deuxième phase, durant laquelle le bateau est propulsé uniquement par les batteries après le coucher du soleil.

Après le coucher du soleil, les panneaux photovoltaïques ne fournissent plus d'énergie et la pile à combustible n'est pas mobilisée dans cette phase. La batterie de puissance 400 V fournit l'électricité à la motorisation et à la batterie de service pour les besoins électriques du bord. Le moteur transmet une énergie mécanique à l'hélice. Il faut donc repérer ces flux électriques et mécaniques, sans retenir les flux liés à la production ou au stockage d'hydrogène.

Flux actifs après le coucher du soleil

Flux d’énergie lors d’un déplacement sur batterie (fonctionnement normal).



✓ RÉPONSE À RETENIR

Flux actifs : batterie 400 V → motorisation et batterie de service ; motorisation → hélice.

Question 3.4. Sachant que la capacité de la batterie est de 112 kW·h, calculer en kW·h la quantité d’énergie cédée par les batteries durant la deuxième phase, en utilisant le document DT5.

Sur le graphique DT5, la charge passe d’environ 90 % au coucher du soleil, à 21 h 15, à 30 % à 3 h. La baisse est donc de 60 % de la capacité de 112 kW·h. L’énergie cédée par les batteries est : $E = 112 \times (0{,}90 - 0{,}30) = 67{,}2\ \mathrm{kW\cdot h}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Énergie cédée : 67,2 kW·h.

Question 3.5. À partir du diagramme de répartition des besoins énergétiques, calculer l’énergie effectivement utilisée par la motorisation pour la propulsion.

Le diagramme indique que 20 % de l’énergie fournie par les batteries est consacrée aux besoins du bord. Il reste donc 80 % pour la motorisation. Le variateur occasionne ensuite 10 % de pertes : 90 % de cette énergie est effectivement utilisée pour la propulsion. Ainsi, $E_{\text{propulsion}} = 67{,}2 \times 0{,}80 \times 0{,}90 = 48{,}384\ \mathrm{kW\cdot h}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Énergie utilisée pour la propulsion : 48,384 kW·h, soit environ 48,4 kW·h.

Question 3.6. À l'aide du document DT5, calculer en heures la durée de la deuxième phase de navigation, puis en déduire la puissance moyenne dissipée utilisée par le moteur pour maintenir cette allure.

La phase commence à 21 h 15 et se termine à 3 h, soit $5\ \text{h}\ 45\ \text{min} = 5{,}75\ \text{h}$. L'énergie effectivement utilisée pour la propulsion est de 48,384 kW·h. La puissance moyenne correspondante est donc $P = E/t = 48{,}384/5{,}75 \approx 8{,}41\ \text{kW}$.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Durée : 5,75 h. Puissance moyenne de propulsion : environ 8,41 kW.

Question 3.7. À partir des documents DT2 et DT4, justifier l'exigence associée au mode éco.

DT4 définit le mode éco par l'équilibre entre la production et la consommation d'énergie. Il précise aussi qu'en conditions favorables le navire doit conserver une vitesse minimale de 5 nœuds en mode éco. DT2 décrit une propulsion électrique avec moteur de 41 kW, variateur de rendement 0,9 et transmission directe. Le variateur permet de régler la puissance transmise afin d'adapter la propulsion à l'énergie disponible et de respecter cet équilibre.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le mode éco équilibre production et consommation tout en maintenant au moins 5 nœuds en conditions favorables.

Question 3.8. Sachant que la puissance moyenne dissipée en mode éco est de 10,8 kW, calculer l'énergie totale consommée par le bateau sur une durée de deux jours.

Deux jours représentent $2 \times 24 = 48$ heures. Avec une puissance moyenne consommée de 10,8 kW, l'énergie totale est $E = P \times t = 10{,}8 \times 48 = 518{,}4\ \text{kW}\cdot\text{h}$. Ce calcul correspond à une puissance moyenne maintenue pendant toute la durée des deux jours.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Énergie consommée en deux jours : 518,4 kW·h.

Question 3.9. Relever dans le document DT5 l'énergie totale consommée lors de la navigation de Saint-Tropez à Minorque, puis commenter le résultat.

Le bilan énergétique DT5 indique une consommation totale de 519,28 kW·h entre Saint-Tropez et Minorque. Cette valeur est très proche des 518,4 kW·h calculés pour deux jours à 10,8 kW en moyenne. La consommation relevée sur le trajet est donc cohérente avec une navigation d'environ deux jours à cette puissance moyenne.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Consommation du trajet : 519,28 kW·h, proche des 518,4 kW·h estimés pour deux jours.

Question 3.10. Sachant que 1 kg d'hydrogène stocke 33 kW·h, calculer la masse d'hydrogène nécessaire pour alimenter le bateau pendant deux jours sans vent ni ensoleillement, uniquement par propulsion à l'hydrogène.

Il faut fournir 518,4 kW·h d'énergie électrique au bateau. D'après DT6, le groupe propulsion et les appareils ont un rendement de 54 %, puis la pile à combustible un rendement de 48 %. L'énergie chimique nécessaire est donc $518{,}4/(0{,}54 \times 0{,}48) = 2\,000\ \mathrm{kW\cdot h}$. À raison de 33 kW·h par kilogramme d'hydrogène, la masse requise est $2\,000/33 \approx 60{,}6\ \mathrm{kg}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Masse d'hydrogène nécessaire : environ 60,6 kg.

Question 3.11. Lire dans le diagramme de définition des blocs DT2 la capacité et le nombre de réservoirs d'hydrogène embarqués, puis en déduire la masse totale d'hydrogène stockée.

Le diagramme DT2 indique une capacité de 7,75 kg d'hydrogène par réservoir et une quantité de 8 réservoirs. La masse totale embarquée est donc le produit de ces deux valeurs : $7{,}75 \times 8 = 62\ \mathrm{kg}$. Cette capacité correspond à la masse nominale totale, avant prise en compte d'une éventuelle réserve d'exploitation.

✓ RÉPONSE À RETENIR

8 réservoirs de 7,75 kg, soit 62 kg d'hydrogène au total.

Question 3.12. Conclure sur la faisabilité d'un trajet de deux jours effectué uniquement avec un apport d'hydrogène.

La masse embarquée est de 62 kg, tandis que le calcul de la question 3.10 donne environ 60,6 kg nécessaires pour deux jours. La capacité nominale est donc supérieure au besoin calculé, avec une marge d'environ 1,4 kg. Le trajet est faisable sur le plan énergétique, mais cette marge reste faible et suppose que la quantité nominale soit effectivement disponible.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Faisable en théorie : 62 kg embarqués pour environ 60,6 kg nécessaires, soit une marge d'environ 1,4 kg.

4. Stockage de l’hydrogène et choix des réservoirs

Cette partie est proposée au choix avec la partie 5 et étudie le stockage de l’hydrogène sous haute pression à bord du navire. Les documents sur la densité du gaz, le détendeur et les simulations de réservoirs permettent de comparer les solutions selon leur aptitude et leur masse.

Question 4.1. À l’aide du document DT7, indiquer la raison pratique qui justifie le stockage de l’hydrogène sous haute pression.

À pression atmosphérique, il faut environ 11 m³ pour stocker seulement 1 kg d’hydrogène. Ce volume est trop important pour un stockage pratique à bord. Augmenter la pression accroît la masse volumique du gaz et réduit le volume nécessaire pour une même quantité. Le stockage haute pression permet donc d’emporter une réserve d’hydrogène utile dans des réservoirs de dimensions compatibles avec le bateau.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> La haute pression réduit le volume nécessaire au stockage de l’hydrogène à bord.

Question 4.2. À l’aide des documents DT6 et DT8, justifier le choix du détendeur en module inox, sachant que la pression d’utilisation est de 2 bars.

Le réservoir contient l’hydrogène à 350 bar, alors que la pile l’utilise à 2 bar. Le détendeur inox accepte une pression d’entrée maximale de 415 bar et sa plage de réglage de sortie comprend 2 bar (plage 0 à 3,5 bar). Il peut ainsi abaisser la pression jusqu’à la valeur nécessaire à la pile. Les versions en laiton ou aluminium, limitées à 345 bar en entrée, ne conviennent pas à la pression du réservoir.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Le détendeur inox convient : entrée jusqu’à 415 bar et sortie réglable à 2 bar.

Question 4.3. À partir des résultats du document DT9, indiquer et justifier lesquels des trois réservoirs simulés peuvent convenir.

On compare la contrainte maximale de von Mises lue sur les simulations à la limite d’élasticité indiquée pour chaque matériau. L’acier de 6 mm atteint 1 221 MPa, au-dessus de sa limite de 620 MPa : il ne convient pas. L’acier de 11 mm atteint 613 MPa, inférieur à 620 MPa. Le composite de 8 mm atteint 878 MPa, inférieur à sa limite de 1 050 MPa. Ces deux derniers réservoirs satisfont donc le critère de résistance.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Conviennent : acier de 11 mm et composite époxy/fibre de carbone de 8 mm. L’acier de 6 mm est écarté.

Question 4.4. Parmi les réservoirs qui conviennent et dont les volumes extérieurs sont identiques, choisir et justifier le réservoir le mieux adapté en retenant le plus léger.

Les deux réservoirs retenus ont le même volume extérieur et une forme comparable. Pour comparer la masse de leurs parois, on peut rapprocher le produit masse volumique × épaisseur : composite, 1 600 × 8 = 12 800 ; acier, 7 800 × 11 = 85 800. La paroi composite est donc beaucoup plus légère, compte tenu de sa densité bien plus faible et de son épaisseur moindre. C’est le meilleur choix parmi les réservoirs admissibles.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Choisir le réservoir en composite époxy/fibre de carbone de 8 mm : il résiste et c’est le plus léger.

5. Maintien du cap face au vent et aux courants

Cette partie est proposée au choix avec la partie 4 et étudie l'influence du vent et du courant sur la navigation entre Saint-Tropez et Minorque. Elle mobilise une relation de résistance hydrodynamique, des représentations vectorielles et l'algorigramme du pilote automatique.

Question 5.1. À partir du texte de mise en situation, identifier les deux paramètres extérieurs au bateau qui peuvent modifier sa position en navigation.

Les éléments extérieurs qui influencent la position du bateau appartiennent aux deux environnements cités dans le sujet :

- l'environnement météorologique, avec le vent ;
- l'environnement océanographique, avec les courants marins.

Ils peuvent dévier le navire de sa route prévue.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le vent et les courants marins.

Question 5.2. À partir de la relation $F = k \cdot v^2$ donnée dans le sujet, expliquer l'intérêt pour Energy Observer de naviguer à faible vitesse, soit 10 km·h⁻¹.

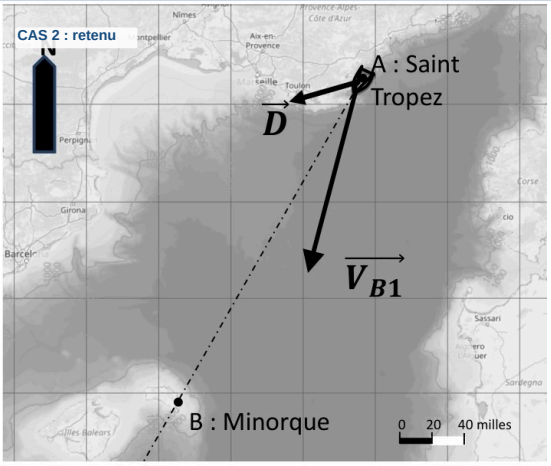
La relation donnée est **$F = k \cdot v^2$**, où *k* dépend du bateau. À caractéristiques identiques, la force de résistance de l'eau augmente avec le carré de la vitesse. Naviguer à 10 km·h⁻¹ limite donc cette résistance : le moteur doit fournir moins de puissance pour la vaincre, ce qui réduit la dépense énergétique et favorise l'autonomie du navire.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> À 10 km·h⁻¹, la résistance de l'eau est réduite, ce qui limite l'énergie nécessaire à la propulsion.

Question 5.3. À partir des deux cas du document DT10, justifier lequel permettrait au bateau d'atteindre Minorque en tenant compte des vecteurs dérive et cap du bateau.

Le cas de figure 2 est celui qui permet d'atteindre Minorque. En additionnant vectoriellement le cap du bateau et la dérive, la direction résultante est orientée vers B, Minorque. Dans le cas 1, la dérive écarte davantage la trajectoire de la route reliant Saint-Tropez à Minorque.

Cas de figure permettant d'atteindre Minorque



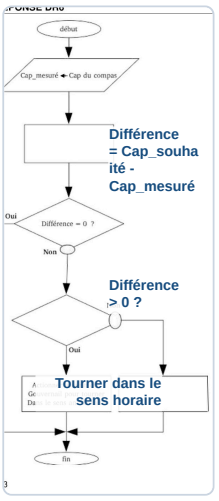
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Cas de figure 2 : la résultante du cap et de la dérive mène vers Minorque.

Question 5.4. Compléter l'algorigramme DR6 avec les trois fonctions proposées : calculer Cap_souhaité moins Cap_mesuré, tester si la différence est supérieure à zéro et actionner le vérin du gouvernail pour tourner dans le sens horaire.

1. Dans le bloc de calcul, inscrire : « Différence = Cap_souhaité - Cap_mesuré ».
2. Dans le second losange, inscrire : « Différence > 0 ? ».
3. La branche Oui mène à l'action déjà indiquée, rotation antihoraire. Sur la branche Non, inscrire l'actionnement du vérin pour tourner dans le sens horaire.

Algorigramme DR6 complété



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Calculer Cap_souhaité - Cap_mesuré, tester si la différence est positive, puis tourner dans le sens horaire si elle est négative.

6. Efforts engendrés par le vent sur un propulseur éolien OceanWings

La partie spécifique étudie les ailes rigides OceanWings installées sur les flotteurs d'Energy Observer et les efforts aérodynamiques qu'elles génèrent. Les documents donnent les caractéristiques de la voile et une simulation de la résultante selon la vitesse du vent et l'incidence.

Question A.1. À partir des documents DT.S1 et DT.S2, relever la hauteur et la surface de la voile, puis en déduire sa largeur en l'assimilant à un rectangle.

Caractéristique	Valeur relevée
Hauteur	12 m
Surface	31,5 m²
Largeur	2,625 m

Le DT.S1 indique une surface de 31,5 m² par voile et le plan DT.S2 donne une hauteur de 12 m. En assimilant la voile à un rectangle, largeur = surface ÷ hauteur = 31,5 ÷ 12 = 2,625 m. La largeur calculée est donc 2,625 m.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Hauteur : 12 m ; surface : 31,5 m² ; largeur : 2,625 m.

Question A.2. Convertir en m·s⁻¹ la vitesse maximale d'utilisation de 61 km·h⁻¹, déterminer l'incidence qui donne la résultante aérodynamique la plus élevée, puis relever sur le graphique DT.S3 l'intensité maximale de cet effort.

La conversion s'effectue en divisant les kilomètres par heure par 3,6 : 61 ÷ 3,6 ≈ 16,94 m·s⁻¹. À cette vitesse, la courbe d'incidence 10° est la plus élevée du graphique DT.S3. La lecture de cette courbe donne une résultante d'environ 7 000 N. Cette intensité est une estimation graphique, et non une valeur exacte calculée à partir d'une formule.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesse : 16,94 m·s⁻¹ ; incidence : 10° ; résultante : environ 7 000 N.

7. Efforts supportés par la liaison entre un propulseur éolien et un flotteur

La liaison du mât au flotteur est étudiée à l'aide d'une modélisation comprenant un guidage en A et une liaison en B. Le document réponse fournit les dimensions et le bilan des actions extérieures à compléter, tandis que des résultats de simulation sont utilisés pour évaluer les efforts.

Question B.1. À partir du document DT.S2, justifier la modélisation de chacune des deux parties de la liaison représentées dans DR.S1. Compléter ensuite le bilan des actions mécaniques extérieures de DR.S1 pour l'action du support 3 sur le mât 4.

En A, le support supérieur guide le mât par un guidage court : la liaison linéaire annulaire transmet les efforts radiaux Y et Z, sans moment. En B, l'appui inférieur autorise les rotations : la rotule transmet les trois composantes de force, sans moment.

Action du support 3 sur le mât 4	X_B	Y_B	Z_B	Moments en B
Composantes	2 000 N	31 000 N	−1 137 N	0 N·m

DR.S1 : action du support 3 en B

Bilan des actions mécaniques extérieures								
Nom	Point	Résultante			Moment			
		x	y	z	x	y	z	
Action de la pièce 2 sur 4	A	0	Y_A	Z_A	0	0	0	
Action de la pièce 3 sur 4	B	2 000	31 000	−1 137	0	0	0	
Air sur aile	P	0	8000 N	0	0	0	0	
Motorisation sur 4	I	0	0	0	Cm	0	0	
Pesanteur	G							

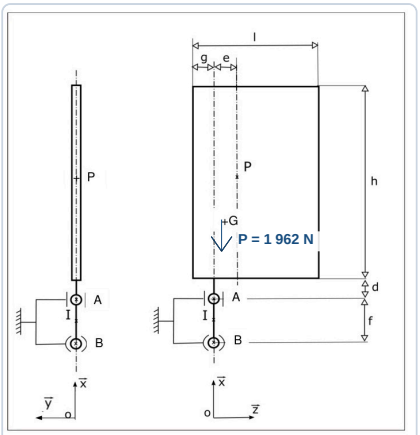
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

En B : (X_B, Y_B, Z_B) = (2 000, 31 000, −1 137) N ; moments nuls.

Question B.2. Calculer le poids de l'ensemble voile et mât, de masse 200 kg, avec une accélération de la pesanteur de 9,81 m·s⁻². Compléter le bilan des actions dans DR.S1 et tracer le vecteur correspondant.

Le poids vaut P = m × g = 200 × 9,81 = 1 962 N. Il s'applique en G, verticalement vers le bas. L'axe x du DR.S1 étant orienté vers le haut, la composante selon x est négative ; les autres composantes et les moments sont nuls.

DR.S1 : vecteur poids en G



es inconnues statiques sont données sous la forme X, Y ou Z avec application de l'action mécanique (exemple : Y_A et Z_A pour l'action en

DR.S1 : bilan de la pesanteur

Bilan des actions mécaniques extérieures								
Nom	Point	Résultante			Moment			
		x	y	z	x	y	z	
Action de la pièce 2 sur 4	A	0	Y_A	Z_A	0	0	0	
Action de la pièce 3 sur 4	B							
Air sur aile	P	0	8000 N	0	0	0	0	
Motorisation sur 4	I	0	0	0	Cm	0	0	
Pesanteur	G		−1 962	0	0	0	0	0

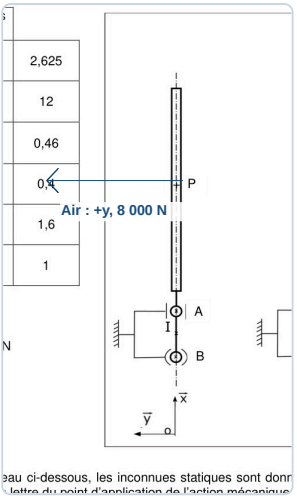
✓ RÉPONSE À RETENIR

En G : (X, Y, Z) = (−1 962, 0, 0) N ; moments nuls. Vecteur poids vers le bas.

Question B.3. À partir des données du bilan des actions mécaniques dans DR.S1, tracer dans la vue du plan Oxy le vecteur représentant l'action mécanique de l'air sur l'aile.

Au point P, le bilan donne une composante de 8 000 N selon +y, avec des composantes nulles selon x et z. Dans la vue du plan Oxy, +y est orienté vers la gauche. Avec l'échelle de 1 cm pour 2 000 N, la longueur du vecteur est de 4 cm.

DR.S1 : action de l'air en P, vue Oxy



✓ RÉPONSE À RETENIR

Depuis P, vecteur de 8 000 N vers la gauche selon +y, longueur 4 cm.

Question B.4. À l'aide des résultats de simulation fournis, calculer l'intensité de la résultante de l'action entre le support supérieur 2 et le mât 4. Préciser si le poids de l'ensemble ou l'action de l'air sur l'aile a le plus d'incidence sur cette intensité et justifier la réponse.

Au point A, $X_A = 0$, $Y_A = -39\,000$ N et $Z_A = 1\,137$ N. La résultante vaut donc $R_A = \sqrt{39000^2 + 1137^2} \approx 39\,017$ N. L'action de l'air vaut 8 000 N, contre 1 962 N pour le poids : elle est donc la plus importante et contribue davantage à l'effort transmis au support supérieur.

DR.S1 : résultante de l'action en A

Bilan des actions mécaniques extérieures								
Nom	Point	Résultante			Moment			
		x	y	z	x	y	z	
Action de la pièce 2 sur 4	A	0 0	Y_A	−39 000	1 137	0 0	0 0 0	
Action de la pièce 3 sur 4	B							
Air sur aile	P	0	8000 N	0	0	0	0	
Motorisation sur 4	I	0	0	0	Cm	0	0	
Pesanteur	G							

R_A ≈ 39 017 N

22-2D2IDITECME3 32/34

✓ RÉPONSE À RETENIR

Résultante en A : environ 39 017 N. L'action de l'air a la plus forte incidence.

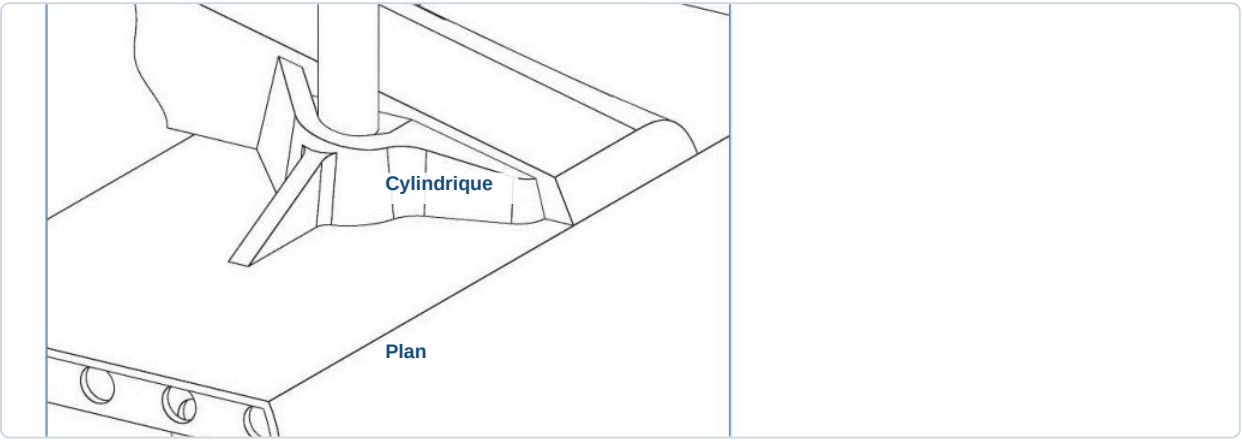
8. Solution constructive pour la liaison entre le support supérieur et le mât

Cette partie vérifie la tenue mécanique du support supérieur et étudie l'ajout d'un coussinet à collerette pour limiter l'usure du composite au contact du mât. Les documents comprennent les conditions aux limites, les résultats de simulation, un catalogue et une vue en coupe à compléter.

Question C.1. Compléter le tableau du document DR.S2 en indiquant la nature des surfaces S2 et S3. Justifier les conditions aux limites appliquées aux surfaces S1, S2 et S3.

S1 et S3 sont des surfaces planes fixées : elles représentent les zones où le support est immobilisé dans le flotteur. S2 est la surface cylindrique du logement autour du mât. La simulation applique sur cette surface l'effort radial transmis par le mât, de 39 016 N. Ces conditions aux limites reproduisent ainsi le maintien du support et la charge exercée à l'interface avec le mât.

DR.S2 complété



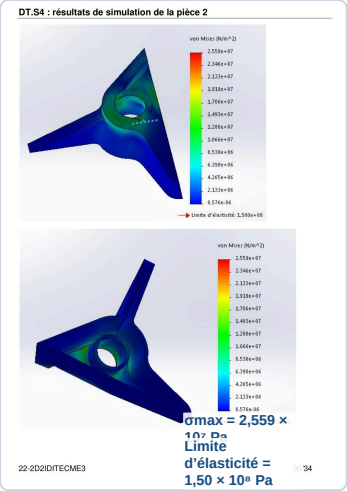
✓ RÉPONSE À RETENIR

S1 : plan, fixe. S2 : cylindrique, effort de 39 016 N. S3 : plan, fixe.

Question C.2. À partir des résultats de simulation du document DT.S4 et de la limite d'élasticité indiquée, calculer le coefficient de sécurité du support supérieur 2, puis conclure sur la validation de la pièce en le comparant au coefficient requis.

DT.S4 indique une contrainte maximale de von Mises de $2{,}559 \times 10^7$ Pa et une limite d'élasticité de $1{,}50 \times 10^8$ Pa. Le coefficient de sécurité est le rapport de la limite d'élasticité à la contrainte maximale : $1{,}50 \times 10^8 / 2{,}559 \times 10^7 = 5{,}86$. Il dépasse la valeur requise de 4. La pièce support supérieure est donc validée selon le critère de résistance retenu.

Valeurs de simulation relevées



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Coefficient de sécurité : 5,86. Pièce validée, car 5,86 > 4.

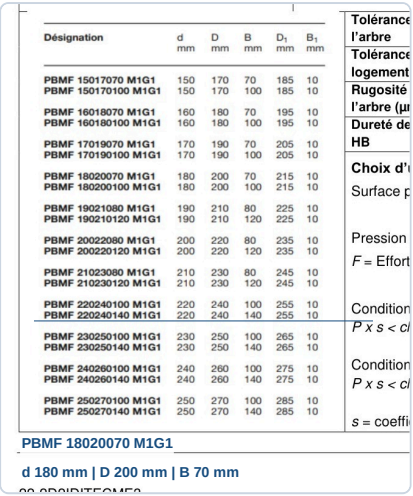
Question C.3. À partir du plan d'ensemble DT.S2 et du catalogue de coussinets à collerette, choisir la référence adaptée à l'effort radial de 40 000 N, au cas de charge dynamique et au coefficient de sécurité de 4. Expliquer la démarche de sélection.

Le plan d'ensemble donne un mât de diamètre 180 mm. Il faut donc un coussinet d'alésage d = 180 mm. Pour une charge dynamique, le catalogue impose $P \times s < 25$ N/mm², avec $P = F/(B \times d)$ et $s = 4$.

Dimension ou critère	Choix
d, alésage	180 mm
D, diamètre extérieur	200 mm
B, longueur	70 mm
P × s	12,70 N/mm² < 25 N/mm²

La longueur catalogue de 70 mm convient et permet de retenir la version la plus courte proposée pour cet alésage.

Référence de coussinet retenue



Désignation	d mm	D mm	B mm	D_1 mm	B_1 mm
PBMF 15017070 M1G1	150	170	70	185	10
PBMF 15017070 M1G1	150	170	100	185	10
PBMF 16018070 M1G1	160	180	70	195	10
PBMF 16018070 M1G1	160	180	100	195	10
PBMF 17019070 M1G1	170	190	70	205	10
PBMF 17019070 M1G1	170	190	100	205	10
PBMF 18020070 M1G1	180	200	70	215	10
PBMF 18020070 M1G1	180	200	100	215	10
PBMF 19021080 M1G1	190	210	80	225	10
PBMF 19021080 M1G1	190	210	120	225	10
PBMF 20022080 M1G1	200	220	80	235	10
PBMF 20022080 M1G1	200	220	120	235	10
PBMF 21023080 M1G1	210	230	80	245	10
PBMF 21023080 M1G1	210	230	120	245	10
PBMF 22024080 M1G1	220	240	100	255	10
PBMF 22024080 M1G1	220	240	140	255	10
PBMF 23025080 M1G1	230	250	100	265	10
PBMF 23025080 M1G1	230	250	140	265	10
PBMF 24026080 M1G1	240	260	100	275	10
PBMF 24026080 M1G1	240	260	140	275	10
PBMF 25027080 M1G1	250	270	100	285	10
PBMF 25027080 M1G1	250	270	140	285	10

Tolérance l'arbre
Tolérance logement
Rugosité l'arbre (µ
Dureté de HB
Choix d'
Surface p
Pression
F = Effort
Condition
$P \times s < c$
Condition
$P \times s < c$
s = coeffi

PBMF 18020070 M1G1

d 180 mm | D 200 mm | B 70 mm

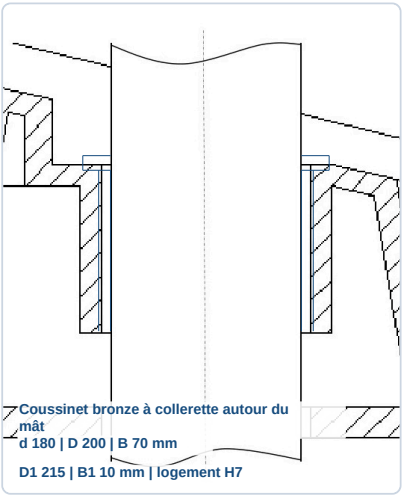
> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Référence retenue : PBMF 18020070 M1G1, d = 180 mm, D = 200 mm, B = 70 mm.

Question C.4. Sur le document réponse DR.S3, dessiner à main levée le coussinet tel qu'il doit être assemblé entre le support 2 et le mât 4, puis indiquer les cotes manquantes pour définir complètement le coussinet.

Le coussinet en bronze se place entre le mât 4 et le logement du support 2 : son fût protège le composite du frottement direct. La collerette repose sur la face supérieure du support pour retenir le coussinet axialement. Dessiner le fût autour du mât dans l'alésage, puis représenter la collerette à son extrémité supérieure.

Reporter les dimensions de la référence choisie : alésage d = 180 mm, diamètre extérieur D = 200 mm, longueur B = 70 mm, diamètre de collerette D1 = 215 mm et épaisseur B1 = 10 mm. Le catalogue indique un logement H7 et un arbre e7-e8.

DR.S3 complété avec le coussinet



Coussinet bronze à collerette autour du mât
d 180 | D 200 | B 70 mm
D1 215 | B1 10 mm | logement H7

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Coussinet à collerette : d = 180 mm, D = 200 mm, B = 70 mm, D1 = 215 mm, B1 = 10 mm.

SYNTHÈSE DE L'ÉPREUVE & RÉFÉRENTIEL • BAC STI2D

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2022)

Bilan de l'épreuve : Épreuve de spécialité Innovation technologique et éco-conception du baccalauréat technologique STI2D, session 2022, code 22-2D2IDITECME3, d'une durée de 4 heures et sans coefficient imprimé. Elle étudie Energy Observer et les ailes OceanWings. Les candidats analysent les chaînes énergétiques, les bilans carbone, l'autonomie, la navigation, les efforts mécaniques, les simulations et le choix de composants.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Pour deux étapes énergétiques successives, le rendement global est le produit des rendements : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$.
- L'énergie consommée se calcule par $E = P \times t$, avec P en kW et t en heures pour obtenir E en kW·h.
- La masse d'hydrogène se calcule à partir de l'énergie demandée et de l'énergie stockée par kilogramme, en vérifiant les unités et les rendements applicables.
- Pour un coussinet, la pression diamétrale vaut $P = F / (B \times d)$; vérifier la condition de résistance correspondant au chargement.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer l'hydrogène issu du reformage de celui produit par électrolyse avec une électricité d'origine renouvelable.
- Lire précisément les axes, les unités et les valeurs des tableaux et graphiques avant de calculer ou de comparer.
- Dans les bilans énergétiques et mécaniques, respecter les sens des flux, les points d'application et les axes indiqués.
- Pour valider une pièce ou un coussinet, comparer les valeurs calculées aux limites admissibles et appliquer le coefficient de sécurité demandé.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer le rendement global de deux étapes successives ?

Convertir chaque rendement en valeur décimale, puis les multiplier : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$. Pour exprimer le résultat en pourcentage, multiplier la valeur obtenue par 100. Le rendement global est inférieur à celui de chacune des étapes.

Q : Comment déterminer la masse d'hydrogène nécessaire pour un trajet ?

Calculer d'abord l'énergie nécessaire, par exemple avec $E = P \times t$. Diviser ensuite cette énergie par l'énergie stockée par kilogramme d'hydrogène. Vérifier si le rendement de conversion fourni doit être appliqué et conserver des unités cohérentes.

Q : Comment organiser le choix des parties et le temps de l'épreuve ?

La partie commune vaut 12 points : les parties 1, 2 et 3 sont obligatoires, puis il faut traiter soit la partie 4, soit la partie 5. La partie spécifique vaut 8 points et ses trois parties sont obligatoires.

Q : Quels éléments de méthode sont importants pour les calculs mécaniques ?

Identifier l'effort, sa direction, son point d'application et la surface concernée. Respecter les axes et les unités du document. Pour un coussinet, appliquer la condition correspondant au chargement dynamique ou statique avec le coefficient de sécurité demandé.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2022/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2022 - 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.