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

Énergies et environnement

Session 2022 • Code sujet : **22-2D2IDEEME3** • 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. **Bilan carbone et rendement énergétique des combustibles** (2 questions) — **Page 5**
3. **Autonomie énergétique et capacité de stockage d'hydrogène** (12 questions) — **Page 6**
4. **Stockage de l'hydrogène et choix des réservoirs** (4 questions) — **Page 11**
5. **Maintien du cap et influence des éléments extérieurs** (4 questions) — **Page 13**
6. **Stockage de l'énergie électrique dans les batteries** (4 questions) — **Page 15**
7. **Production photovoltaïque et distribution de l'énergie électrique** (5 questions) — **Page 17**
8. **Choix et rendement des moteurs de propulsion** (4 questions) — **Page 19**
9. **Bilan de la performance de la chaîne de puissance** (1 question) — **Page 21**
10. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 22**

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 - 2-Sujet.pdf

1. Intérêt environnemental d’un navire à hydrogène

Energy Observer est un navire électrique qui utilise des énergies renouvelables et produit de l’hydrogène à bord à partir d’eau de mer. L’étude porte sur les avantages environnementaux du navire, ses équipements de production d’électricité et la chaîne de production d’hydrogène.

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

Le projet est intéressant pour l’environnement car Energy Observer ne rejette ni gaz à effet de serre ni particules fines pendant ses trajets. Il utilise des énergies renouvelables, notamment le soleil et le vent, et produit de l’hydrogène décarboné à partir d’eau de mer. Ces choix réduisent les pollutions atmosphériques liées à la propulsion maritime et permettent de tester des technologies moins polluantes.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pas de rejet de gaz à effet de serre ni de particules fines pendant les trajets, grâce aux énergies renouvelables.

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

Produit par électrolyse avec de l’électricité renouvelable, l’hydrogène vert peut remplacer les combustibles fossiles, dont les émissions contribuent au réchauffement climatique. À l’usage, la pile à combustible fournit de l’électricité sans rejet de CO_2. L’hydrogène permet aussi de stocker les surplus d’énergies renouvelables pour les utiliser plus tard. Son emploi peut donc réduire les émissions et les polluants atmosphériques, tout en diminuant le bruit des navires.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L’hydrogène vert stocke les surplus renouvelables et permet une propulsion sans rejet de CO_2 à l’usage, avec moins de polluants et de bruit.

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

Le DT1 décrit quatre équipements capables de fournir de l’énergie électrique. Les panneaux photovoltaïques utilisent le rayonnement solaire et les éoliennes exploitent le vent. La pile à combustible produit de l’électricité à partir de l’hydrogène stocké. Enfin, les propulseurs électriques peuvent fonctionner en hydrogénérateurs lors des navigations sous kite : ils récupèrent alors de l’énergie pour produire de l’électricité.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Panneaux photovoltaïques, éoliennes, pile à combustible et propulseurs réversibles utilisés en hydrogénérateurs.

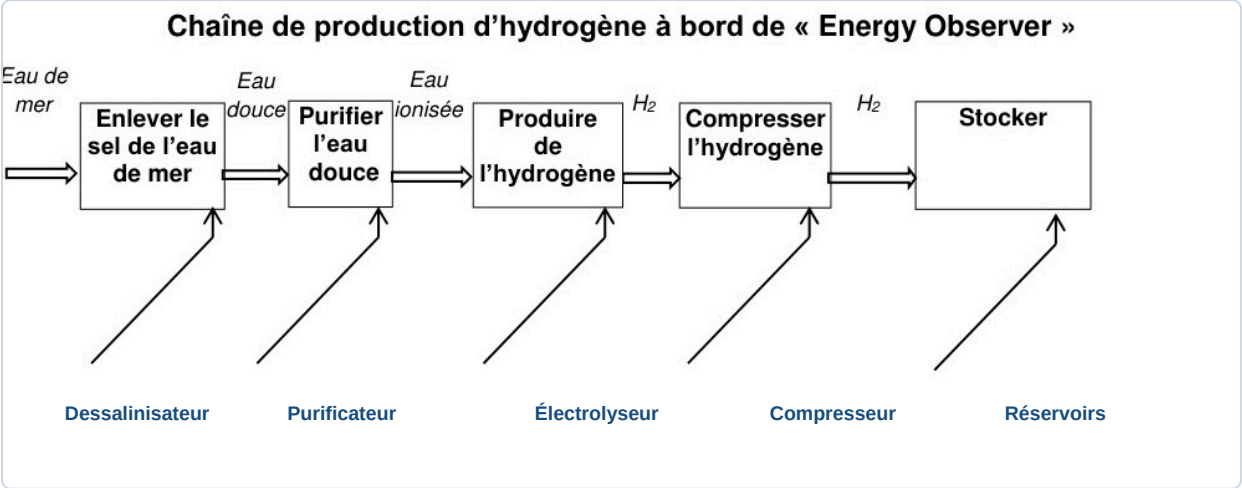
Question 1.4. À partir des DT1 et DT2, compléter le DR1 en associant les éléments proposés à leur rôle dans la chaîne de production d'hydrogène : purificateur, électrolyseur, dessalinisateur, réservoirs et compresseur.

Suivre le trajet de l'eau, puis celui de l'hydrogène, permet de compléter les cinq étapes dans l'ordre :

1. Enlever le sel de l'eau de mer : dessalinisateur.
2. Filtrer l'eau douce : purificateur.
3. Produire l'hydrogène : électrolyseur.
4. Comprimer l'hydrogène : compresseur.
5. Stocker l'hydrogène : réservoirs.

Ces associations correspondent aux fonctions du DR1 et aux équipements décrits dans les DT1 et DT2.

DR1 complété : chaîne de production d'hydrogène



✓ RÉPONSE À RETENIR

Dessalinisateur, purificateur, électrolyseur, compresseur, réservoirs.

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

Oui, le bateau peut naviguer sans émettre de gaz à effet de serre lors de ses trajets : sa propulsion est électrique et son fonctionnement utilise des énergies renouvelables ainsi que de l'hydrogène. Pour que l'hydrogène contribue aussi à réduire les émissions sur l'ensemble de son cycle de vie, il doit être produit par électrolyse à partir d'électricité renouvelable. Le sujet décrit cette production comme décarbonée.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Oui, en navigation, avec une production d'hydrogène par électrolyse alimentée par des énergies renouvelables.

2. Bilan carbone et rendement énergétique des combustibles

L'étude compare plusieurs combustibles du point de vue de leur bilan carbone et de leur rendement sur le cycle allant de la production à l'utilisation. Les données portent notamment sur l'hydrogène produit par électrolyse avec une électricité renouvelable.

Question 2.1. Calculer dans le DR2 le rendement global de production et d'utilisation de l'hydrogène obtenu par électrolyse.

Pour deux étapes énergétiques successives, le rendement global est le produit de leurs rendements : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$. Le DR2 donne $\eta_1 = 65\,\%$ pour la production et $\eta_2 = 44\,\%$ pour l'utilisation. On calcule donc $0{,}65 \times 0{,}44 = 0{,}286$, soit $28{,}6\,\%$. C'est la valeur à inscrire dans la case « Global » de la ligne consacrée à l'hydrogène produit par électrolyse.

DR2 complété

	28,6 %

✓ RÉPONSE À RETENIR

Après production et utilisation, le rendement global de la chaîne hydrogène électrolytique est de 28,6 %.

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

Les données du DT3 et le calcul de la question précédente font ressortir deux atouts :

- Avec une électricité renouvelable, l'électrolyse produit un hydrogène dont le bilan carbone est de 9 g CO_2/kW·h, très inférieur aux 240 à 330 g CO_2/kW·h des autres combustibles comparés.
- Son rendement global de 28,6 % dépasse les rendements indiqués pour le fuel, le gaz naturel et l'hydrogène issu du reformage.

La production renouvelable reste essentielle pour que cet avantage carbone soit conservé.

✓ RÉPONSE À RETENIR

L'hydrogène électrolytique renouvelable associe le meilleur rendement comparé, 28,6 %, à un bilan carbone très faible de 9 g CO_2/kW·h.

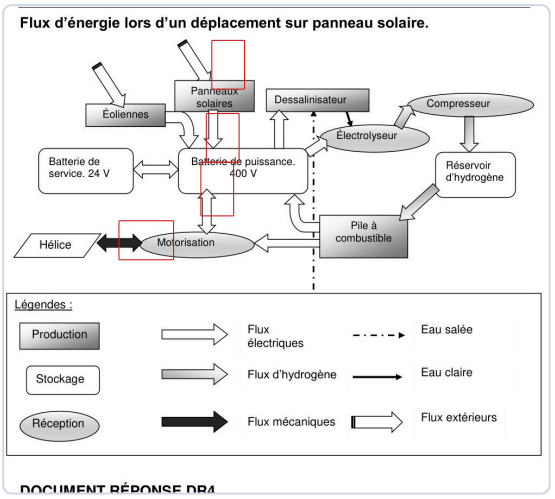
3. Autonomie énergétique et capacité de stockage d’hydrogène

Le sujet étudie le trajet d’essais entre Saint-Tropez et Minorque et les flux d’énergie utilisés selon les phases de navigation. Les calculs mobilisent le chronogramme, le bilan énergétique, les exigences d’autonomie et la capacité des réservoirs pour évaluer un trajet de deux jours.

Question 3.1. Sur le DR3, repérer en entourant les flèches les flux d’énergie en jeu pendant la première phase, de jour, sur batteries avec un apport d’énergie solaire et sans production d’hydrogène.

En journée, l’énergie extérieure due au soleil est convertie en électricité par les panneaux photovoltaïques et alimente la batterie de puissance. Celle-ci fournit ensuite l’énergie électrique à la motorisation, qui transmet un flux mécanique à l’hélice. Le bateau étant en mode éco sans production d’hydrogène, les flux vers l’électrolyseur, le compresseur et la pile à combustible ne sont pas à entourer.

DR3 : flux utilisés en phase de jour



✓ RÉPONSE À RETENIR

Entourer : soleil vers panneaux, panneaux vers batterie 400 V, batterie vers motorisation et motorisation vers hélice.

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

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

Le DT2 donne un rendement de 0,97 pour le moteur électrique et de 0,90 pour le variateur. Les rendements des panneaux et de la batterie ne sont pas renseignés dans le tableau.

DR4 : tableau complété

Fonction	Sous système	Type d'énergie en entrée	Type d'énergie en sortie	Rendement
Produire		Rayonnement solaire		
Alimenter		Chimique		
Distribuer	Variateur	Électrique	Électrique	0.9
Convertir		Électrique		
Agir		Mécanique	Hydraulique	0,6

Panneaux photovoltaïques
Batterie 400 V
Électrique
Électrique
Motorisation
Mécanique
0,97
Hélice

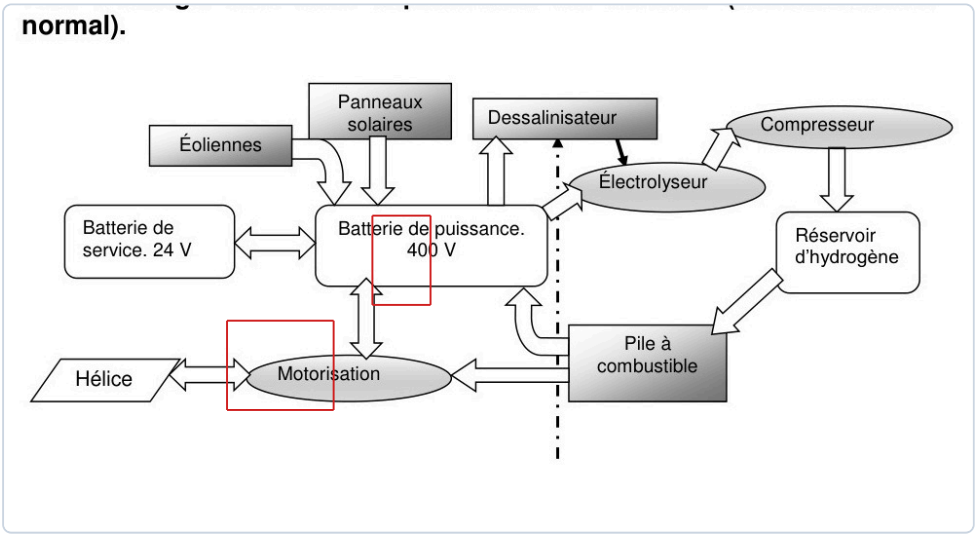
✓ RÉPONSE À RETENIR

Chaîne : panneaux photovoltaïques, batterie 400 V, variateur, motorisation, hélice.

Question 3.3. Sur le DR5, repérer en entourant les flèches les flux d'énergie en jeu après le coucher du soleil, lorsque le bateau est propulsé uniquement par les batteries.

Après le coucher du soleil, les panneaux ne fournissent plus d'énergie. Selon l'énoncé, le bateau est propulsé uniquement par les batteries : l'énergie électrique de la batterie 400 V alimente donc la motorisation, puis l'énergie mécanique est transmise à l'hélice. Il ne faut pas entourer les flux liés aux panneaux, aux éoliennes ni à la chaîne hydrogène.

DR5 : flux en phase de propulsion sur batterie



✓ RÉPONSE À RETENIR

Entourer : batterie 400 V vers motorisation, puis motorisation vers hélice.

Question 3.4. Sachant que la capacité de la batterie est de 112 kW·h, calculer la quantité d'énergie cédée par les batteries pendant la deuxième phase de navigation.

Le chronogramme donne environ 90 % de charge au coucher du soleil et 30 % à 3 h. La batterie cède donc 60 % de sa capacité de 112 kW·h. Le calcul est :

1. Énergie cédée : $112 \times (90 - 30)/100 = 67{,}2\ \mathrm{kW\cdot h}$.

Il s'agit de l'énergie électrique fournie par les batteries durant cette deuxième phase.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Énergie cédée par les batteries : 67,2 kW·h.

Question 3.5. À partir du diagramme fourni, calculer l'énergie effectivement utilisée par la motorisation pour la propulsion.

Le diagramme répartit les 67,2 kW·h cédés par la batterie : 20 % couvrent les besoins de bord, puis 10 % de l'énergie restante sont perdus dans le variateur. La motorisation reçoit donc :

$67{,}2 \times 0{,}80 \times 0{,}90 = 48{,}384\ \mathrm{kW\cdot h}$.

Cette valeur correspond à l'énergie utilisée par la motorisation pour la propulsion.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Énergie de propulsion : 48,384 kW·h, soit environ 48,4 kW·h.

Question 3.6. À partir du 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 considérée va du coucher du soleil à 3 h du matin. Le coucher a lieu à 21 h 15 :

1. Durée : $3 + 24 - 21{,}25 = 5{,}75\ \mathrm{h}$.
2. Puissance moyenne : $48{,}384 / 5{,}75 \approx 8{,}41\ \mathrm{kW}$.

Le second calcul utilise l'énergie effectivement reçue par la motorisation, établie à la question précédente.

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

Question 3.7. À partir des DT2 et DT4, justifier l'exigence « Mode Eco ».

Le DT4 définit le mode éco comme un fonctionnement où la production et la consommation d'énergie sont équilibrées. Le DT2 montre que les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité et que la batterie 400 V peut la stocker puis la restituer à la propulsion. Ce dispositif permet d'utiliser l'apport solaire pour couvrir la

consommation, sans lancer la production d'hydrogène pendant cette phase.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le mode éco équilibre l'énergie produite par les panneaux et l'énergie consommée, avec stockage temporaire dans la batterie.

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 correspondent à $2 \times 24 = 48$ heures. Avec une puissance moyenne dissipée de 10,8 kW, l'énergie totale consommée s'obtient par $E = P \times t$:

$E = 10{,}8 \times 48 = 518{,}4 \text{ kW}\cdot\text{h}$.

Cette estimation suppose que la puissance moyenne reste constante durant toute la période.

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

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

Le bilan énergétique du DT5 indique une consommation totale de 519,28 kW·h pour le trajet Saint-Tropez vers Minorque. À comparer aux 518,4 kW·h calculés pour deux jours à 10,8 kW :

- Écart : $519{,}28 - 518{,}4 = 0{,}88 \text{ kW}\cdot\text{h}$.
- Les deux valeurs sont très proches : la traversée correspond donc à peu près à l'énergie consommée en deux jours dans le mode étudié.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Trajet : 519,28 kW·h, soit 0,88 kW·h de plus que l'estimation sur 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 hydrogène.

Pour fournir 518,4 kW·h électriques, il faut tenir compte des rendements du DT6 : 54 % pour le groupe propulsion et 48 % pour la pile à combustible. L'énergie chimique nécessaire vaut donc $518{,}4 / (0{,}54 \times 0{,}48)$. Avec 33 kW·h stockés par kilogramme d'hydrogène, la masse requise est $518{,}4 / (0{,}54 \times 0{,}48 \times 33) \approx 60{,}6 \text{ kg}$.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Masse nécessaire : environ 60,6 kg d'hydrogène.

Question 3.11. Lire sur le BDD du DT2 la capacité et le nombre de réservoirs à hydrogène du bateau, puis en déduire la masse totale d'hydrogène embarquée.

Donnée du BDD	Valeur
Nombre de réservoirs	8
Capacité unitaire	7,75 kg
Masse totale	62 kg

Le BDD indique une capacité de 7,75 kg par réservoir et la quantité 8 sur la liaison des réservoirs. La masse totale embarquée est donc $8 \times 7{,}75 = 62\ \text{kg}$.

> ✓ **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 uniquement avec un apport d'hydrogène.

La capacité totale des réservoirs est de 62 kg, tandis que le besoin calculé pour deux jours est d'environ 60,6 kg. La comparaison donne :

- Réserve disponible : $62 - 60{,}6 \approx 1{,}4\ \text{kg}$.
- Le trajet est donc faisable sur le plan énergétique dans les conditions étudiées, mais la marge de stockage reste faible.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Oui : 62 kg disponibles pour environ 60,6 kg nécessaires, soit une marge d'environ 1,4 kg.

4. Stockage de l’hydrogène et choix des réservoirs

L’hydrogène est stocké sous haute pression pour limiter le volume nécessaire à bord, puis détendu avant son utilisation. Des simulations de contraintes et les masses volumiques de l’acier et du composite servent à comparer trois réservoirs de même volume extérieur.

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

À pression atmosphérique, il faut environ 11 m^3 pour stocker 1 kg d’hydrogène : un volume trop important à bord. La haute pression augmente sa masse volumique et réduit le volume nécessaire. Le stockage à 35 MPa, soit 350 bar, permet ainsi d’emporter une quantité utile d’hydrogène dans des réservoirs de taille compatible avec le bateau.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La haute pression réduit le volume d’hydrogène à stocker et rend son embarquement pratique.

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

Le détendeur doit réduire la pression des réservoirs, 350 bar, à la pression d’utilisation indiquée par le DT6, 2 bar. Le DT8 précise que :

- la version inox accepte jusqu’à 415 bar en entrée ;
- les versions laiton ou aluminium sont limitées à 345 bar ;
- la plage de réglage de sortie comprend 2 bar.

Le module inox est donc adapté à la pression d’entrée élevée et permet d’obtenir la pression requise par la pile.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Choisir le module inox : il accepte 350 bar en entrée et se règle à 2 bar en sortie.

Question 4.3. À partir des résultats des simulations du DT9, indiquer en les justifiant les réservoirs qui peuvent convenir.

Réservoir	Contrainte simulée	Limite d’élasticité	Conclusion
Acier, 6 mm	1 221 MPa	620 MPa	Ne convient pas
Acier, 11 mm	613 MPa	620 MPa	Convient
Composite, 8 mm	878 MPa	1 050 MPa	Convient

Un réservoir convient si sa contrainte maximale simulée reste inférieure à la limite d’élasticité de son matériau. Les résultats du DT9 conduisent donc à retenir les deux derniers modèles.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Les réservoirs en acier de 11 mm et en composite de 8 mm conviennent. Celui en acier de 6 mm est à écarter.

Question 4.4. Parmi les réservoirs qui conviennent, choisir et justifier le mieux adapté, en tenant compte de leur volume extérieur identique et du critère de masse.

Les deux réservoirs retenus ont le même volume extérieur. À géométrie comparable, la masse de l'enveloppe est proportionnelle à la masse volumique du matériau et à son épaisseur. Le rapport des masses acier/composite est donc $\frac{7800 \times 11}{1600 \times 8} = 6{,}70\u0000$. L'enveloppe composite est ainsi nettement plus légère, tout en respectant la limite d'élasticité donnée par le DT9.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le réservoir composite époxy/fibre de carbone de 8 mm est le mieux adapté : il résiste et son enveloppe est la plus légère.

5. Maintien du cap et influence des éléments extérieurs

L'étude porte sur l'effet du vent et des courants sur le trajet d'Energy Observer entre Saint-Tropez et Minorque. Elle examine aussi le pilote automatique, qui compare le cap souhaité au cap mesuré et commande le vérin du gouvernail.

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

Le texte distingue deux facteurs extérieurs qui influencent la position du bateau : l'environnement météorologique agit par le vent, et l'environnement océanographique agit par les courants. Ces deux paramètres peuvent dévier le navire de la route prévue. Le navigateur doit donc en tenir compte pour déterminer sa trajectoire et maintenir le cap vers Minorque.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les deux paramètres extérieurs sont le vent et les courants marins.

Question 5.2. À partir de la formule $F = k \cdot v^2$, expliquer l'intérêt pour Energy Observer de naviguer à faible vitesse, soit 10 $km \cdot h^{-1}$.

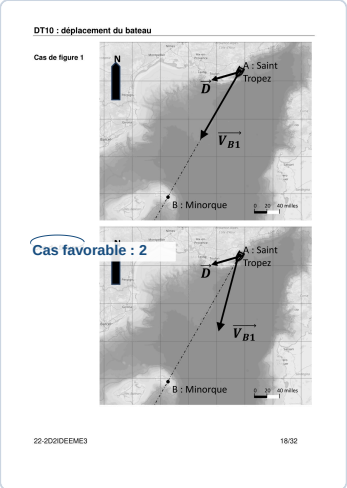
La force de résistance varie comme le carré de la vitesse : si la vitesse est divisée par deux, cette force est divisée par quatre. Naviguer à 10 $km \cdot h^{-1}$ limite donc la résistance de l'eau, par rapport à une allure plus élevée. Le bateau a besoin de moins d'énergie pour avancer, ce qui préserve son autonomie énergétique.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> À 10 $km \cdot h^{-1}$, la résistance hydrodynamique est limitée et le bateau consomme moins d'énergie pour avancer.

Question 5.3. À partir du DT10, justifier dans quel cas le bateau pourrait atteindre Minorque, en tenant compte des vecteurs de dérive D et de cap V_B1.

Il faut additionner vectoriellement le cap du bateau et la dérive pour déterminer le déplacement réel. Sur le schéma du cas 2, le vecteur résultant de ces deux influences est orienté vers Minorque. Le cas 1 ne convient pas : la combinaison du cap et de la dérive écarte davantage la trajectoire de l'île. Le cas 2 permet donc d'atteindre la destination.

Cas de figure permettant d'atteindre Minorque

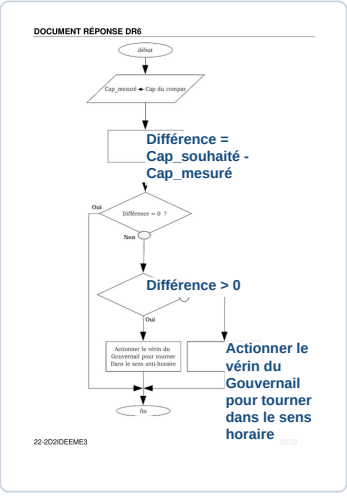


> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Cas de figure 2 : la résultante du cap et de la dérive est orientée vers Minorque.

Question 5.4. Compléter l'algorigramme du DR6 avec les trois fonctions suivantes : calculer « Cap_souhaité - Cap_mesuré », tester « Différence > 0 » et actionner le vérin du gouvernail pour tourner dans le sens horaire.

1. Après la lecture du compas, calculer `Différence = Cap_souhaité - Cap_mesuré`.
2. Si la différence est nulle, aucune correction n'est nécessaire. Sinon, tester `Différence > 0`.
3. La réponse Oui commande le virage anti-horaire déjà indiqué. La réponse Non commande le virage horaire à inscrire dans la case vide.

Algorigramme DR6 complété



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Inscrire le calcul de l'écart, tester s'il est positif, puis associer la branche Non au virage horaire.

6. Stockage de l’énergie électrique dans les batteries

Le catamaran stocke l’énergie nécessaire à la propulsion dans des modules lithium-ion répartis entre ses deux flotteurs. Le raccordement des modules et leurs caractéristiques nominales sont comparés aux données du diagramme de définition des blocs.

Partie A

Question A.1. À partir des DTS1 et DTS2, justifier la mise en série des neuf modules de chaque branche.

Chaque module fournit 46,2 V. En série, les tensions s’additionnent : **9 × 46,2 = 415,8 V**. Cette tension est proche des 400 V du bus, ce qui justifie les neuf modules en série. Les deux branches en parallèle augmentent la capacité énergétique sans modifier la tension fournie.

Réponse A.1

Justifier la mise en série des 9 modules.

9 × 46,2 = 415,8 V

✓ RÉPONSE À RETENIR

Neuf modules en série fournissent 415,8 V, proche des 400 V du bus.

Question A.2. À partir des DTS1 et DTS2, calculer l’énergie nominale stockée dans un flotteur.

Donnée	Valeur
Modules par flotteur	18
Énergie nominale par module	3 800 Wh
Énergie du flotteur	18 × 3 800 = 68 400 Wh

Les montages en série et en parallèle ne changent pas la somme des énergies nominales des modules. Un flotteur stocke donc **68,4 kWh**.

Réponse A.2

Calculer l’énergie nominale stockée dans un flotteur.

18 × 3 800 = 68 400 Wh = 68,4 kWh

En déduire l’énergie totale stockée dans les 2 flotteurs.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Énergie nominale d’un flotteur : 68,4 kWh.

Question A.3. En déduire l’énergie électrique totale stockée dans les deux flotteurs.

Les deux flotteurs contiennent chacun 18 modules de 3 800 Wh. L’énergie totale vaut donc **2 × 18 × 3 800 = 136 800 Wh**, soit **136,8 kWh**.

Réponse A.3

2 × 18 × 3 800 = 136 800 Wh

Conclure sur l’énergie électrique stockée prévue en se référant au diagramme de définition des blocs (BDD).

✓ RÉPONSE À RETENIR

Énergie totale stockée dans les deux flotteurs : 136,8 kWh.

Question A.4. Conclure sur l’énergie électrique stockée prévue en vous référant au BDD du DTS3.

Référence	Énergie
Calcul à partir des modules	136,8 kWh
Capacité de la batterie 400 V indiquée au BDD	130 kWh
Écart	6,8 kWh, soit environ 5,2 %

La valeur calculée est légèrement supérieure à celle du BDD : les capacités sont proches, mais ne coïncident pas exactement.

Réponse A.4

Modules : 136,8 kWh ; BDD : 130 kWh

✓ RÉPONSE À RETENIR

136,8 kWh calculés contre 130 kWh au BDD, soit un écart de 6,8 kWh (environ 5,2 %).

7. Production photovoltaïque et distribution de l’énergie électrique

Les champs photovoltaïques travaillent à très basse tension et sont raccordés aux bus 400 V par des câbles dimensionnés pour limiter les chutes de tension. Les documents présentent les câbles, les technologies de panneaux et l’irradiance utilisées pour estimer la production électrique et le temps de recharge des batteries.

Partie B

Question B.1. À partir des DTS4 et DTS5, justifier la section de 68 mm² des conducteurs pour une chute de tension maximale autorisée de 3 %, en utilisant les données de courant, de tension et de longueur maximale fournies.

Le DTS5 indique, pour un câble de section 68 mm², une résistance linéique maximale de 0,43 Ω/km. Le courant emprunte les deux conducteurs de 12 m, donc la résistance totale vaut **R = 2 × 12 × 0,43 / 1 000 = 0,01032 Ω**. Avec 80 A, la chute de tension est **ΔU = R × I = 0,826 V**, soit **0,826 / 30 × 100 = 2,75 %** de la tension du champ. Cette valeur est inférieure à la limite de 3 % : la section choisie convient.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> La section de 68 mm² convient : la chute de tension est de 2,75 %, inférieure à 3 %.

Question B.2. À partir du DTS6, justifier l’utilisation des deux technologies de panneaux photovoltaïques.

Les panneaux conformables épousent les surfaces courbes de la nacelle, où des panneaux rigides couvriraient moins d’espace. Leur revêtement antidérapant permet aussi à l’équipage de marcher sur les panneaux des flotteurs en sécurité, avec un meilleur rendement lorsque le soleil est bas. Les panneaux bifaciaux, installés sur les ailes et la verrière, captent la lumière directe et celle réfléchie par les surfaces blanches du bateau et la mer. Leur refroidissement naturel améliore le rendement.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Les panneaux conformables s’adaptent aux surfaces courbes ; les bifaciaux captent aussi la lumière réfléchie.

Question B.3. À partir du DTS7, indiquer l’irradiance solaire mensuelle reçue au port de Saint-Tropez au mois de mai, puis en déduire l’irradiance reçue par jour durant ce mois.

Sur le DTS7, la valeur de mai se lit à environ **200 kWh/m²** pour le mois. Le graphique présente une irradiation mensuelle, malgré l’emploi du terme « irradiance » dans la question. Pour obtenir la moyenne journalière, on divise cette valeur par les **31 jours** de mai : **200 / 31 ≈ 6,45 kWh/m² par jour**.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> En mai : environ 200 kWh/m², soit 6,45 kWh/m² par jour.

Question B.4. Avec un rendement global de 14,8 % pour les deux technologies de panneaux, calculer la production totale d'énergie électrique durant un jour.

Le BDD indique une surface photovoltaïque totale de **141 m²**. L'irradiation journalière moyenne de mai est d'environ **200 / 31 kWh/m²**. L'énergie électrique produite en un jour s'obtient en multipliant l'irradiation par la surface et par le rendement global : **E = (200 / 31) × 141 × 0,148 ≈ 134,63 kWh**. Ce calcul utilise le rendement de 14,8 % donné dans l'énoncé.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Production électrique : environ 134,6 kWh par jour.

Question B.5. En considérant que les batteries 400 V sont chargées à 20 %, calculer en jours le temps nécessaire pour les recharger à 100 %.

Le BDD donne une capacité de **130 kWh** pour chaque batterie 400 V. Le DTS4 montre une batterie dans chacun des deux flotteurs : la capacité totale est donc **2 × 130 = 260 kWh**. Pour passer de 20 % à 100 %, il faut fournir **260 × (1 − 0,20) = 208 kWh**. En divisant cette énergie par la production journalière d'environ 134,63 kWh, on obtient **208 / 134,63 ≈ 1,55 jour**.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Recharge de 20 % à 100 % : environ 1,55 jour.

8. Choix et rendement des moteurs de propulsion

La propulsion repose sur deux ensembles variateur-moteur à haut rendement équipés de moteurs Brushless, aussi appelés MSAP. Les tableaux comparatifs et les caractéristiques nominales permettent d'évaluer le choix technologique et le rendement des moteurs au regard du BDD.

Partie C

Question C.1. À partir du DTS8, indiquer le critère principal qui justifie le choix des moteurs Brushless ou MSAP.

Le tableau DTS8 compare plusieurs critères pour les moteurs MCC, MAS, MSAP et MRV. Pour le rendement, les MSAP reçoivent la meilleure appréciation, **+++**, alors que les autres technologies sont moins bien classées. Ce critère explique le choix des moteurs Brushless : un rendement élevé réduit les pertes d'énergie dans la chaîne de propulsion et améliore son efficacité.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le rendement énergétique, classé +++ pour les MSAP dans le DTS8, justifie principalement le choix des moteurs Brushless.

Question C.2. À partir du DTS8, citer l'inconvénient majeur de ce type de moteur.

Dans le DTS8, l'appréciation du coût des moteurs MSAP est **--**, la moins favorable du tableau. Leur coût élevé constitue donc leur inconvénient majeur. Le tableau indique aussi une facilité de contrôle défavorable, notée « - », mais l'inconvénient à retenir en priorité est bien le coût. Ce compromis accompagne leur très bonne appréciation en rendement.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'inconvénient majeur des moteurs Brushless ou MSAP est leur coût élevé, noté -- dans le DTS8.

Question C.3. À partir du DTS9, calculer le rendement des moteurs utilisés, référence U313 F10, à la vitesse nominale de 3 000 tr/min, avec la relation η = Pu/Pa = Pu/(Pu + pertes).

Pour le moteur U313 F10 à 3 000 tr/min, le DTS9 donne une puissance utile de 41 kW et des pertes de 1,75 kW. La puissance absorbée vaut donc 41 + 1,75 = 42,75 kW. En appliquant la relation demandée, on obtient $\eta = \frac{41}{41+1{,}75} \approx 0{,}959$, soit un rendement d'environ 95,9 %.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le rendement du moteur U313 F10 à 3 000 tr/min est d'environ **95,9 %**.

Question C.4. À l’aide du BDD du DTS3, valider le choix des moteurs au regard de leur rendement.

Le BDD du DTS3 indique un rendement de **0,96** pour le moteur électrique du groupe propulsion, soit 96 %. Le calcul du moteur U313 F10 donne environ 95,9 %. L’écart est de seulement 0,1 point de pourcentage : le rendement calculé est donc cohérent avec la valeur de référence inscrite dans le BDD, ce qui valide le choix du moteur sur cet aspect.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Choix validé : le rendement calculé, environ 95,9 %, est conforme aux 96 % indiqués dans le BDD.

9. Bilan de la performance de la chaîne de puissance

La conclusion s'appuie sur l'étude du stockage électrique, de la production photovoltaïque, de la distribution et de la motorisation. Il faut juger si les choix des ingénieurs assurent la performance de la chaîne de puissance dans le respect des contraintes imposées.

Partie D

Question D.1. À la vue des analyses menées dans cette partie et des choix des ingénieurs, conclure sur la performance de la chaîne de puissance dans le respect des contraintes imposées.

Le stockage est adapté : les 18 modules de 3,8 kW·h donnent 136,8 kW·h, proche des 130 kW·h du BDD. En mai, la production photovoltaïque estimée à environ 135 kW·h par jour permet de recharger le parc. Pour les câbles de 68 mm², la chute calculée est d'environ 2,75 %, sous la limite de 3 % ; le fonctionnement des champs à 30 V contribue à la sécurité. Enfin, le moteur fournit un rendement de 95,9 %, cohérent avec les 96 % du BDD. Les choix assurent donc une chaîne de puissance performante et adaptée aux contraintes annoncées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La chaîne de puissance respecte les contraintes de stockage, de production, de chute de tension et de rendement moteur.

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

Bilan de l'épreuve : Épreuve de spécialité Énergies et environnement du baccalauréat technologique STI2D, session 2022, code 22-2D2IDEEME3, durée 4 heures, sans coefficient imprimé. L'étude d'Energy Observer traite l'hydrogène, l'autonomie, le stockage, la navigation et la chaîne de propulsion. Elle mobilise l'analyse de documents, les calculs énergétiques et les justifications de choix techniques.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Pour des étapes successives, le rendement global est le produit des rendements : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$.
- À température constante, augmenter la pression d'un gaz augmente sa masse volumique et réduit le volume nécessaire à son stockage.
- L'énergie consommée se calcule par $E = P \times t$, avec des unités cohérentes : kW, heures et kW·h.
- Le rendement d'un moteur est $\eta = Pu/Pa = Pu/(Pu + \text{pertes})$.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer l'hydrogène produit par électrolyse avec une électricité renouvelable de celui issu du reformage du gaz naturel.
- Lire soigneusement les horaires et les niveaux de charge du chronogramme avant de calculer une durée ou une énergie.
- Pour un montage en série, les tensions s'additionnent ; pour des branches en parallèle, les capacités s'additionnent.
- Dans chaque justification, relier explicitement les données des documents à l'exigence et accompagner les calculs de leurs unités.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer le rendement global de la chaîne de production et d'utilisation ?

On multiplie les rendements des étapes successives : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$. Il faut convertir les pourcentages en nombres décimaux avant le calcul, puis exprimer le résultat final en pourcentage.

Q : Comment déterminer l'énergie consommée pendant une durée donnée ?

On utilise $E = P \times t$. Avec une puissance en kilowatts et une durée en heures, le résultat est en kilowattheures. Pour deux jours, convertir la durée en 48 heures avant le calcul.

Q : Comment organiser les parties communes au choix et la partie spécifique ?

La partie commune vaut 12 points : les parties 1, 2 et 3 sont obligatoires, puis il faut choisir la partie 4 ou la partie 5. Les quatre parties spécifiques sont obligatoires et valent 8 points au total.

Q : Quel coefficient et quels critères de notation sont indiqués dans le sujet ?

Aucun coefficient ni barème détaillé par question n'est imprimé. Le sujet attribue 12 points à la partie commune et 8 points à la partie spécifique ; les réponses doivent être justifiées et les calculs accompagnés de leurs unités.

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 - 2-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.