

SUJET DE BAC STI2D : L'ORAL DE CONTRÔLE

La navette fluviale

DIDIER BROLLES ^[1], PIERRE SAINT-LEBES ^[2]

L'épreuve orale de contrôle du bac STI2D s'appuie sur une étude de cas issue d'un dossier présentant un système. Il s'agit pour le candidat de résoudre un problème technique sans grands développements calculatoires. Nous proposons ici trois études qui s'appuient sur un système pluritechnologique : une navette fluviale.

L'agglomération de Vichy et son partenaire, le golf du Sporting Club, ont mis en place une navette fluviale gratuite, « La Mouette II », pour traverser la rivière Allier ¹.

Ce bateau écologique de type catamaran (deux coques) assure les liaisons avec le golf depuis le ponton situé sur la Rotonde à 5 minutes à pied du centre-ville. Ce service fonctionne 6 jours sur 7, de 14 h à 18 h, de juin à septembre, soit 4 h par jour durant 4 mois.

Il peut accueillir jusqu'à 11 passagers avec deux à trois vélos, ainsi que des poussettes. Des travaux d'aménagement permettent aux personnes à mobilité réduite d'embarquer et de rejoindre les trois places à bord spécialement adaptées.



Dimensions : 8,60 m de long, 2,50 m de large
Masse à vide : 1250 kg (avec batteries d'accumulateurs)
Construction : polyester, alliage d'aluminium
Moteur électrique : puissance utile 2,2 kW ; rendement 88 %
Batteries d'accumulateurs : tension : 24 V
Autonomie : 4 h ; type de plomb ; chargeur : 24 V / 60 A
Vitesse maximale : 10 km h⁻¹

1 Caractéristiques principales de La Mouette II

La ville de Vichy incite le public à privilégier le transfert par navette, afin de fluidifier le trafic routier. Pour valoriser ce mode de transport, la ville communique autour du bilan environnemental auprès des usagers. Il

[1] Enseignant SII, lycée Paul-Constans, Montluçon, option information et numérique.

[2] Enseignant SII, lycée Paul-Constans, Montluçon, option ingénierie mécanique.

mots-clés

lycée technologique, prébac

lui est donc nécessaire d'établir une comparaison avec les transports urbains, les bus fonctionnant au diesel.

Dans la perspective d'une évolution du nombre d'utilisateurs, les services d'urbanisme souhaitent augmenter le temps d'utilisation de la navette à 7 h. La contrainte est d'améliorer l'autonomie de la navette en réduisant la masse de la structure du bateau et en augmentant les performances des batteries d'accumulateurs.

Première étude : l'analyse fonctionnelle du point de vue énergétique

On demande à l'élève d'identifier, à partir de l'extrait du diagramme d'exigences ², l'élément assurant la fonction « Autonomie », la réponse attendue étant la batterie.

Accumulateurs au lithium polymère (Li-po)

Dans les accumulateurs Li-po électrochimiques, le lithium est à l'état de polymère (l'électrolyte est sous forme de gel). N'ayant pas d'effet mémoire*, avec une très bonne énergie massique**, ils présentent une autodécharge presque négligeable.

La tension nominale est de 3,7 V par élément.

Ces accumulateurs présentent certaines limites.

Lors du rechargement, tous les éléments d'un pack doivent recevoir la même tension, il faut donc utiliser des chargeurs spécifiques.

Si une batterie Li-po subit un court-circuit ou une surcharge importante, les éléments internes peuvent être endommagés.

Le lithium étant très réactif au contact de l'eau ou de l'humidité, si l'emballage du pack est défectueux, il peut se produire une émission de gaz toxique, voire un incendie.

Éléments indispensables à la bonne gestion d'une batterie Li-po

Hormis le chargeur dédié, un système d'accumulateurs Li-po industriel doit impérativement comporter les composants suivants :

– le BMS (*battery management system*), dont la qualité est essentielle à la durée de vie de ces accumulateurs. Son rôle est de limiter la charge à 4,2 V maximum et la décharge à 2,5 V minimum ;

– le PCM (*protection circuit module*), module lié à chaque cellule qui contrôle en permanence leur tension. En cas de dépassement des seuils haut (4,2 V) ou bas (2,5 V), le PCM envoie un signal au BMS ;

– l'équilibreur. En cas de déséquilibre de tension entre les éléments d'une même batterie, c'est l'élément de tension la plus basse qui déclenche l'arrêt de la décharge, même si les autres éléments contiennent encore suffisamment d'énergie. Plus ce déséquilibre s'accroît, plus l'énergie disponible diminue. Le remède consiste à ramener tous les éléments à la même tension.

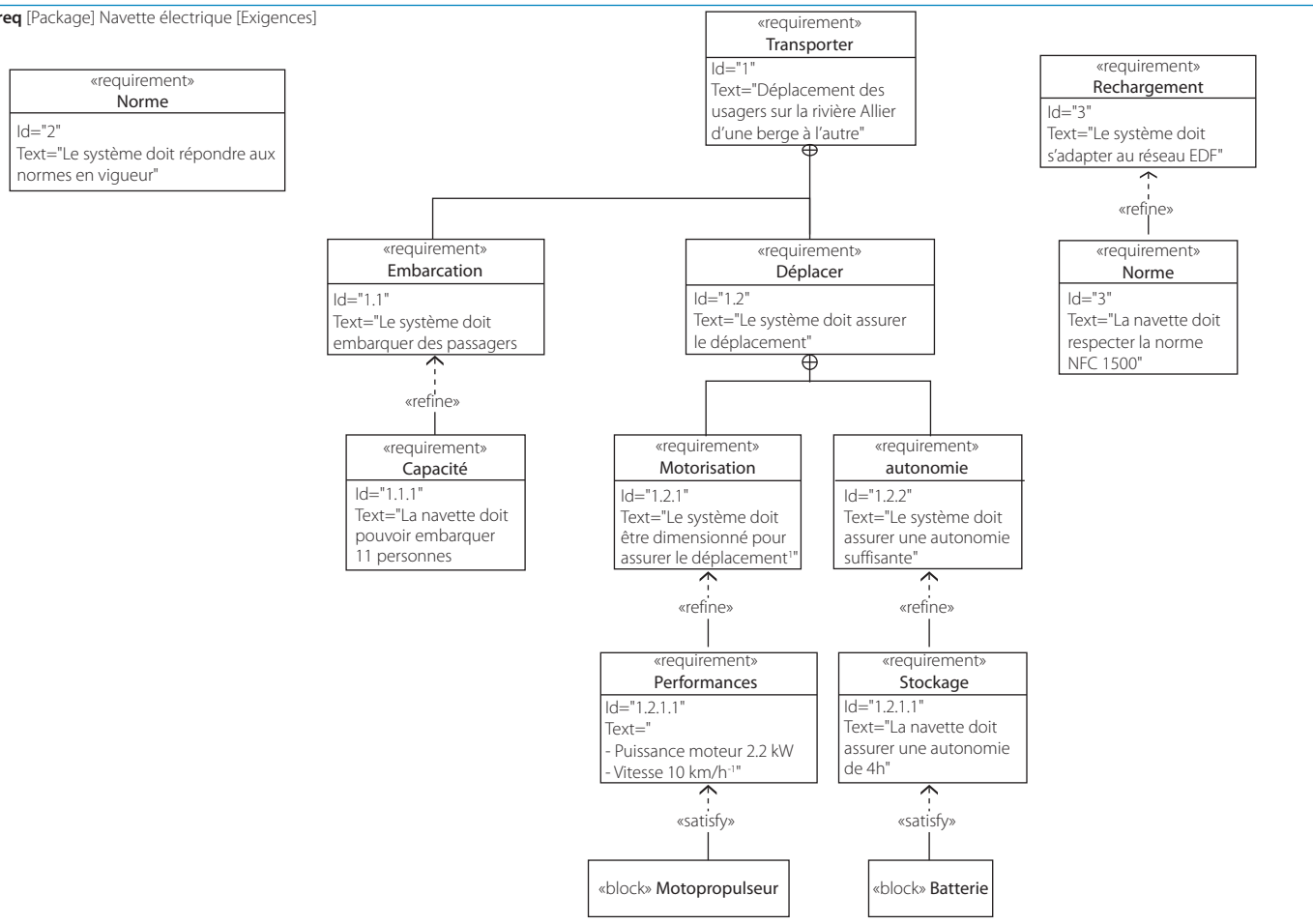
En ligne

<http://seme.cer.free.fr/plaisance/batteries-marines.php>

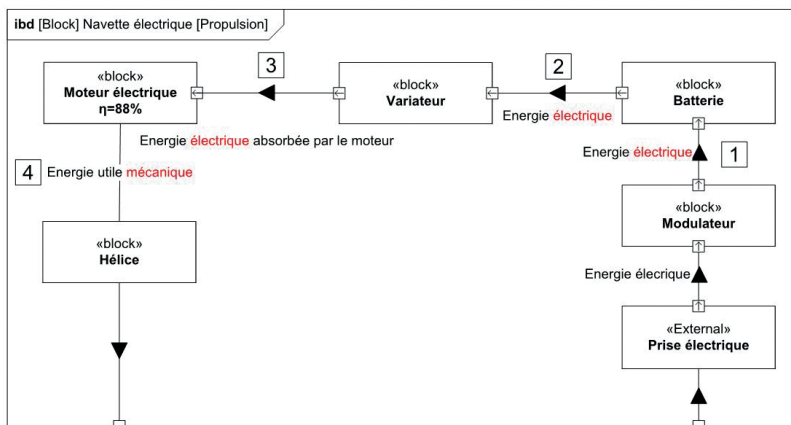
* Effet mémoire : détérioration de la capacité propre de l'accumulateur provoquée par des charges/décharges répétées et « mal » gérées.

** Énergie massique : rapport de l'énergie restituable à un régime donné sur la masse de l'accumulateur (Wh/kg), notion particulièrement utile pour le dimensionnement d'une batterie dans les systèmes embarqués

req [Package] Navette électrique [Exigences]



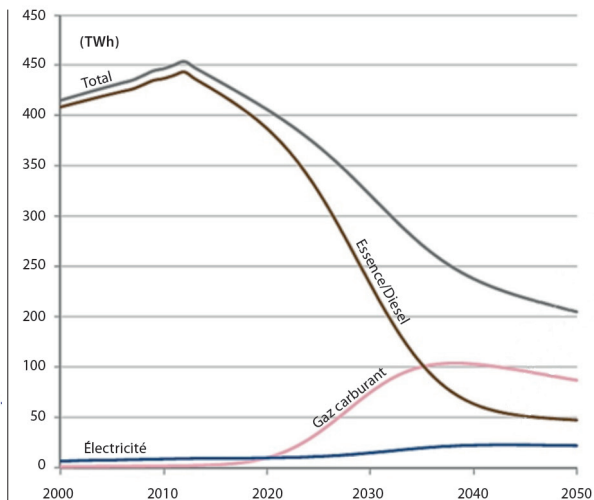
2 Diagramme d'exigences



3 Diagramme de blocs internes

Il lui est demandé de nommer les différents types d'énergies repérés sur le diagramme de blocs internes partiel 3 : 1, 2 et 3 sont des énergies électrique, 4 est une énergie mécanique.

Enfin, il doit observer que le marché des véhicules électriques va augmenter à partir de 2025 en étudiant la figure 4. Nous pouvons pousser le raisonnement en donnant quelques causes à cet effet : diminution des énergies fossiles, utilisation d'énergies plus « propres », développement durable...



4 Évolution des consommations d'énergie pour les transports (source : Ademe, « Comptes des transports en 2013 »)

Deuxième étude : les émissions de gaz à effet de serre lors de la phase d'utilisation

On amène l'élève à comparer le bilan carbone de la navette électrique et du bus fonctionnant au diesel. Il doit déterminer la distance parcourue par la navette électrique (en km), ainsi que le temps de transport pour une traversée avec la navette (en heures et en minutes) à une vitesse moyenne de 8 km·h⁻¹. La longueur mesu-

rée sur la figure 5 est de 30 mm. Prenant en compte l'échelle, cela correspond à 0,450 km, d'où un temps de transport de $0,45 / 8 = 0,056$ h, soit 3,37 min, c'est-à-dire 3 minutes et 22 secondes.

En fonctionnement normal, le moteur est utilisé à 80 % de sa puissance. Le nombre de passagers moyen est de huit personnes, pilote compris. L'élève doit déterminer l'énergie nécessaire, par passager, pour effectuer ce transfert, en joules puis en Wh. Le candidat doit alors partir de la puissance absorbée à plein régime ($P_{\text{utile}} / \text{rendement}$) pour calculer celle-ci au régime normal, donc à 80 % : $P_{\text{abs}} = 2\,200 \times 0,8 / 0,88 = 2\,000$ W.

Il peut en déduire l'énergie :

$$E = P_{\text{abs}} \times \text{temps} = 2\,000 \times 3,37 \times 60 = 404\,400 \text{ J.}$$

Le calcul global donne $2\,000 \times 0,056 = 112$ Wh, soit, pour un passager, $112 / 8 = 14$ Wh.

Quant au transport par bus, la distance parcourue étant de 3,6 km, l'élève doit calculer l'émission de CO₂

(en g) pour un passager en s'aidant de la figure 6, ce qui donne : $129,7 \text{ gCO}_2/\text{passager-km} \times 3,6 \text{ km} = 467 \text{ gCO}_2$ pour un passager.

Pour le bateau, en phase d'utilisation sur ce trajet, l'émission de CO₂ est de 15 g par passager. Ce résultat correspond à la production d'électricité nécessaire pour assurer ce déplacement. On demande à l'élève de comparer les émissions de CO₂ pour ces deux moyens de transport, puis de conclure sur l'efficacité du choix de la motorisation électrique : les 15 g de CO₂ de la navette sont beaucoup moins impactants pour l'environnement que les 467 g de CO₂ du bus. La motorisation électrique est donc plus efficace.

Troisième étude : l'amélioration de l'autonomie après modification du cahier des charges

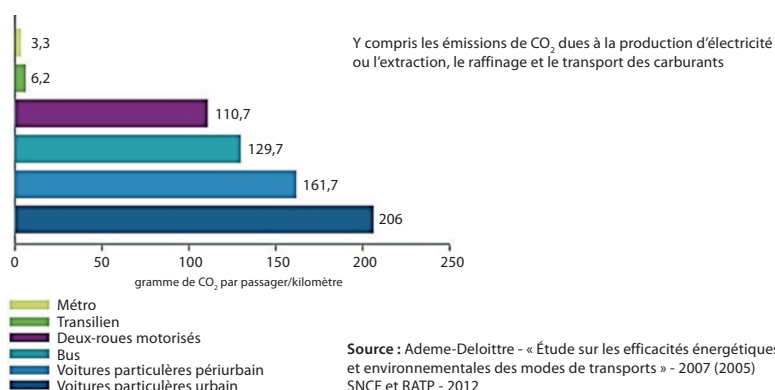
La ville de Vichy souhaitant augmenter le temps d'utilisation de la navette à 7 h par jour, il est nécessaire d'améliorer l'autonomie de celle-ci. Pour cela, plusieurs solutions peuvent être envisagées, comme la diminution de la masse de la navette ou l'amélioration des performances des batteries d'accumulateurs.

Dans un premier temps, il est envisagé de diminuer la masse des coques. À partir du modèle de simulation de la navette donné par le constructeur 7, l'élève doit pouvoir identifier que la masse des coques est bien une variable interne et non externe de ce modèle. Le choix du matériau est donc un paramètre sur lequel le constructeur peut jouer pour faire évoluer le modèle.

Un tableau présentant les caractéristiques des matériaux et structures de coques 8 doit permettre au candidat de calculer, puis comparer la masse des coques pour une structure en alliage d'aluminium et pour une autre en sandwich carbone/nid d'abeilles/carbone, sachant que la surface développée des deux coques du catamaran est égale à 48 m². Il doit alors conclure sur le matériau le plus adapté pour diminuer la masse de la navette (hors du coût du matériau).



5 Trajets du bus et de la navette



6 Efficacité environnementale des transports de passagers urbains et périurbains

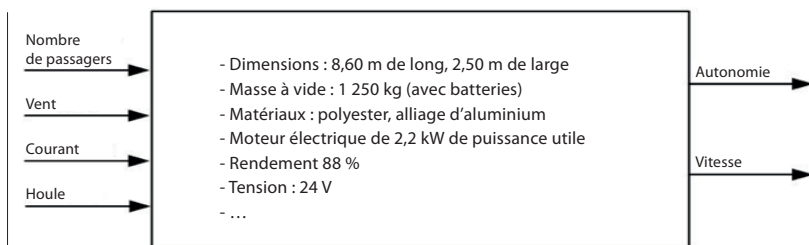
L'organisation de l'épreuve de contrôle

La note de service n° 2012-037 du 5 mars 2012 définit l'épreuve relative aux enseignements technologiques transversaux, l'épreuve de projet en enseignement spécifique à la spécialité et l'épreuve d'enseignement technologique en langue vivante 1 dans la série STI2D à compter de la session 2013.

L'épreuve orale de contrôle, qui permet d'évaluer des compétences, et les connaissances associées, de la partie relative aux enseignements technologiques communs, s'appuie sur une étude de cas issue d'un dossier fourni au candidat par l'examinateur et présentant un système.

Il s'agit de résoudre un problème technique précis (sans calculs mathématiques importants). Cette épreuve a un coefficient 8 au baccalauréat. Sa durée est de 20 minutes, avec une préparation préalable d'une heure.

C'est une épreuve présentée sur un support papier, mais le questionnement peut être complété par des vidéos ou des maquettes numériques si nécessaire. Il s'agit d'une épreuve orale, donc aucun document écrit ou document réponse n'est exigible pour l'évaluation.



7 Modèle constructeur de simulation de la navette

Matériaux	Structure	Masse surfacique (kg.m ²)	Masse pour les deux coques (kg)	Prix (€.kg ⁻¹)	Recyclage
Polyester (coques d'origine)	alternance mat et roving épaisseur 6 mm renfort tous les 500 mm	11,5	552	3,1	non
Composite Sandwich verre/mousse/verre	mousse épaisseur 15 mm tissu de verre épaisseur 2 mm	9,1	437	14,85	non
Composite Sandwich carbone/nid d'abeilles/carbone	nid d'abeilles épaisseur 15 mm carbone pré-imprégné, épaisseur 0,75 mm	3,6	à déterminer	30,6	non
Bois	stratifié épaisseur 15 mm renfort tous les 500 mm	11,8	566	0,49	oui
Alliage d'aluminium	tôle de 4 mm renfort tous les 450 mm	12,7	à déterminer	1,82	oui
Acier	tôle de 3 mm renfort tous les 350 mm	28,9	1387	0,6	oui

8 Caractéristiques des matériaux et structures de coques (source : groupe Bénéteau)

	Plomb (1)	Ni-Cd	Li-ion	Li-Po
Énergie massique en Wh.kg ⁻¹ (2)	50	60	150	190
Durée de vie (nombre de recharges)	400	2000	1000	2000
Recyclage	entièrement recyclable (3)	compliqué à cause du cadmium (métal lourd, polluant)	compliqué et coûteux	compliqué et coûteux
Prix	faible	faible	élevé	élevé
Autre	sensible aux températures négatives (perte d'autonomie jusqu'à -25 % à -10° C)	supporte de grands courants de charge et décharge grâce à leurs faibles résistances internes	risque d'explosion si toutes les conditions de sécurité ne sont pas remplies	peut prendre des formes fines et variées
Masse pour la navette en kg (7 h d'autonomie)	à déterminer	à déterminer	à déterminer	à déterminer

(1) - Plomb-Acide : utilisées surtout sur les automobiles (batteries de démarrage)

- Plomb-Gel : sans entretien, elles sont très utilisées dans le véhicule électrique

- Plomb-Silicone : elles commencent à faire leur apparition sur le marché et offrent plus de résistance que les batteries traditionnelles

(2) Énergie massique appelée aussi densité massique

(3) Ne pollue pas si bien recyclé (seul 1/3 des piles et batteries est mis au recyclage)

9 Les différentes technologies de batteries

Pour ce qui est de la structure en alliage d'aluminium, la masse est de $48 \text{ m}^2 \times 12,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2} = 609,6 \text{ kg}$. Par contre, la structure en sandwich carbone/nid d'abeilles/carbone donne une masse de $48 \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2} = 172,8 \text{ kg}$. La deuxième structure est bien plus légère.

Dans un deuxième temps, afin d'économiser les énergies, il serait souhaitable de diminuer la masse de la batterie d'accumulateurs.

Le candidat est informé que l'énergie nécessaire pour assurer une autonomie de 7 h de la navette est de 28 000 Wh.

Pour chaque type de batterie d'accumulateurs proposé 9, l'élève peut alors déterminer les masses nécessaires pour respecter l'autonomie. Il peut donc choisir le type de batterie d'accumulateurs le plus adapté pour diminuer la masse de la navette.

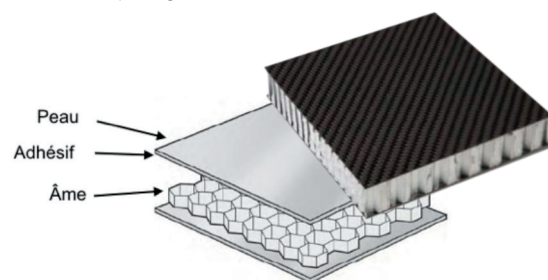
Pour la batterie au plomb, la masse est de $28\ 000 \text{ Wh} / 50 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1} = 560 \text{ kg}$. Par le même calcul, celle au nickel-cadmium (Ni-Cd) nous donne 467 kg, au lithium-ion 187 kg et au lithium-polymère 147 kg. La batterie la plus adaptée est donc celle au lithium-polymère.

Enfin, au regard de la problématique du développement durable, l'élève conclut sur la pertinence des choix sur la structure et la batterie étudiés précédemment. Néanmoins, la solution pose un problème au niveau du recyclage. L'entretien avec le candidat peut alors s'orienter vers la recherche d'un compromis masse en fonction de l'impact environnemental. ■

Structure sandwich

La structure sandwich est composée d'une structure de base en nid d'abeilles ou mousse, appelée âme, sur laquelle on superpose sur chaque face une ou plusieurs couches de carbone pré-imprégné de résine appelées peaux 10. Cette structure apporte une bonne résistance en cisaillement et en compression, tout en conservant une faible densité. Elle est utilisée majoritairement sur les bateaux de performances, les monotypes et les multicoques.

Outre le gain de poids, le niveau de vibration est aussi nettement inférieur et apporte un confort acoustique à l'ensemble de la structure. L'inconvénient de cette fabrication est une faible résistance aux chocs. Lorsque la coque du bateau est percée, suite à une collision avec un rocher, par exemple, l'eau s'infiltre dans le nid d'abeille, peut délaminer la peau (décollage de celle-ci), ce qui fragilise l'ensemble de la structure.



10 Schéma d'une structure sandwich

En ligne : http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/ressources_pedagogiques/materiaux-composites-et-structures-composites