

Sujet de bac SSI : le scooter Matra e-Mo

ANDRÉ GUEDE, PHILIPPE PELLOUIN *

L'épreuve orale de contrôle du bac SSI, qui permet d'évaluer les principales compétences du programme de sciences de l'ingénieur, s'appuie sur une étude de cas issue d'un dossier présentant un système pluritechnique. Nous vous proposons ici l'étude du scooter électrique e-Mo.

La société Matra, un des leaders du marché français du scooter électrique, propose à son catalogue la version e-Mo, qui possède les mêmes performances qu'un scooter thermique de moins de 50 cm³ et qui remplit donc toutes les missions classiquement effectuées par son homologue thermique **1**.

Il bénéficie en plus de tous les avantages de la propulsion électrique; en l'occurrence, il est :

- propre, il contribue à la diminution de la pollution atmosphérique;
- silencieux, il inspire instinctivement une conduite plus sereine et conviviale;
- performant, il s'intègre facilement dans le trafic, la puissance progressive du moteur permet une conduite plus souple, plus fluide et sans à-coups;
- économique, son entretien est simplifié;
- économe, il consomme en moyenne 20 Wh au kilomètre.

Le constructeur, dans sa documentation technique **2**, annonce une autonomie minimale des batteries pour 28 km de déplacement (à vitesse maximum, avec dénivelé). La notion de dénivelé annoncée étant très vague, l'étude proposée tend à définir les limites du scooter en condition d'utilisation intense au travers du cas suivant.

Étude de cas

« Monsieur X, étudiant en région parisienne, se déplace quotidiennement avec son scooter électrique e-Mo. Comme beaucoup d'étudiants, les emplois estivaux lui assurent une source de revenus non négligeables. Il vient donc de décrocher un travail d'été à l'observatoire astronomique du pic du Midi dans les Pyrénées et a trouvé un hébergement à Sainte-Marie-de-Campan **4**.

Son trajet quotidien sera de :

MOTS-CLÉS

lycée technologique,
prébac,
sujet d'examen



1 Scooter électrique e-Mo

- 13,5 km en scooter de Sainte-Marie-de-Campan à La Mongie;
- 15 minutes de téléphérique pour rejoindre l'observatoire. »

Le candidat doit répondre à la problématique suivante : les performances annoncées du scooter permettent-elles à M. X un transport quotidien sur son lieu de travail ?

Étude 1 : Analyse du système

L'élève effectue l'analyse fonctionnelle du scooter en s'appuyant sur les documents techniques proposés. Il doit préciser la fonction globale du système étudié, en l'occurrence pouvoir transporter une personne. Puis, il doit déterminer les arguments qui permettent de justifier le choix du véhicule électrique, comme la contribution à la diminution de la pollution atmosphérique par l'absence de rejet de CO₂ ou bien la faible consommation énergétique du moteur au regard de la masse embarquée.

Ensuite, il doit analyser la situation géographique du lieu de travail de M. X **3** et identifier que le dénivelé du parcours est la contrainte prépondérante à prendre en compte dans l'étude.

Enfin, en s'appuyant sur le document listant des principaux éléments qui composent le scooter (voir encadré « Présentation des éléments du scooter »),

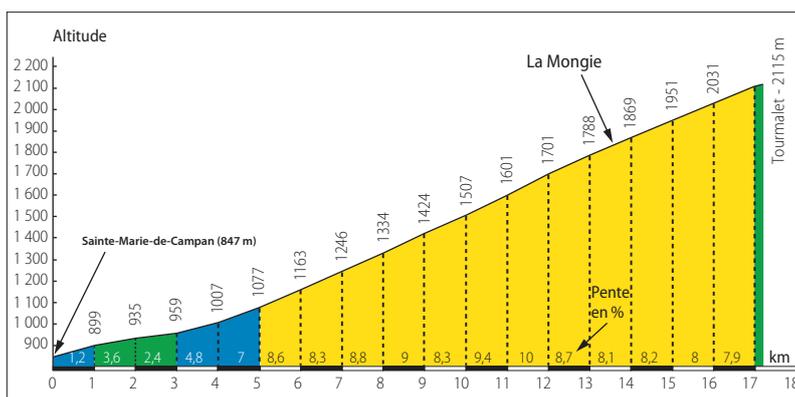
* Professeurs
au lycée Joliot-Curie
de Rennes (35).

Moteur	Électrique, 1 200 W maxi – 50 Nm, <i>brushless</i> (sans entretien) Rendement du moteur : $\eta_{\text{moteur}} = 0,75$
Batterie	Amovible, lithium-ion 48 V – 15 Ah
Temps de recharge batterie	2 h 15 (80 %) – 3 h (100 %)
Pneumatiques	Diamètre extérieur : 47 cm
Équipements	Feu AV 35 W – Clignotants AV/AR – Feu AR 5 W – Feu stop 10 W Avertisseur électrique
Sécurité véhicule	Antidémarrage à code PIN – Blocage de direction avec la clé de contact Compartiment batterie fermé à clé
Tableau de bord	Vitesse instantanée, kilométrage journalier / total, jauge batterie Témoin de clignotant, témoin de phare
Nombre de places Poids à vide/en ordre de marche Charge utile (scooter + conducteur)	1 45 kg / 52,5 kg 125 kg
Autonomie minimum ¹ /nominale ² / maximum ³	28 km / 35 km / 50 km
Vitesse	45 km/h

1. Pour une vitesse maximale avec dénivelé ou basse température (ambiante entre 0 et 10 °C), en mode *power*, avec un conducteur et une charge maximale autorisée.
2. Pour une vitesse maximale stabilisée à 45 km/h, à plat, température ambiante comprise entre 10 et 25 °C, en mode *standard*, avec conducteur (75 kg).
3. Pour une vitesse stabilisée 30 km/h, à plat, en mode *standard* avec un conducteur (75 kg).

Nota : L'autonomie varie selon le mode d'utilisation, le parcours, les conditions météorologiques, la charge embarquée, l'entretien du véhicule et le vieillissement des batteries.

2 Caractéristiques techniques du scooter Matra e-Mo



3a Situation géographique du lieu de travail et dénivelés des parcours

l'élève doit préciser les éléments manquants de la structure fonctionnelle du scooter 4. Les réponses attendues étant : la poignée d'accélérateur, la clé et le capteur vitesse pour la fonction « Acquérir » ; l'afficheur à cristaux liquides et les feux clignotants pour la fonction « Communiquer » ; la batterie pour la fonction « Alimenter » et le moteur *brushless* pour la fonction « Convertir ».

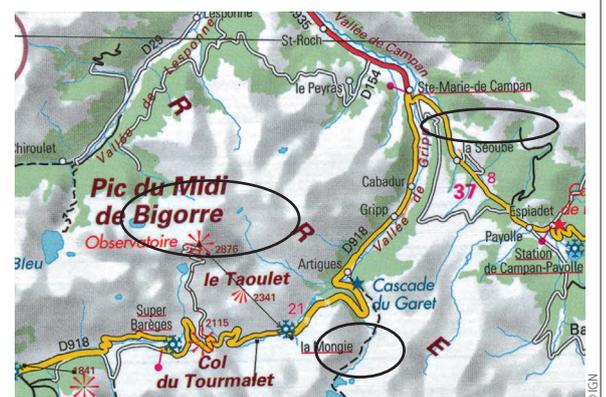
Étude 2 : Autonomie du véhicule

L'objectif de cette étude est de vérifier si l'autonomie minimum annoncée par le constructeur est respectée dans le cas d'une utilisation intense du scooter par M. X, en déterminant l'écart d'énergie entre celle qui est stockée dans les batteries et celle qui est consommée.

Afin d'estimer l'énergie nécessaire pour effectuer le parcours de 13,5 km entre Sainte-Marie-de-Campan et la Mongie 3, on donne le rendement du moteur $\eta_{\text{moteur}} = 0,75$.

À cela, des essais préalables ont permis de mesurer l'énergie mécanique E_m consommée par le scooter : elle est de 378 Wh. Par ailleurs, la consommation énergétique des clignotants, des feux et des feux stop de ce scooter E_{af} est estimée à 27 Wh sur le parcours.

À l'aide de ces données et d'un questionnaire, l'élève identifie les éléments à prendre en compte pour valider l'usage du scooter dans cette situation, c'est-à-dire l'usage fait du véhicule, la capacité de la batterie et la consommation des accessoires.



3b Carte régionale IGN 1 : 250 000 MIDI-PYRÉNÉES

Il calcule alors l'énergie électrique absorbée par le moteur $E_{am} = E_m / \eta_{moteur} = 378 / 0,75 = 504 \text{ Wh}$. Puis, il détermine l'énergie consommée sur le parcours en ajoutant à l'énergie absorbée par le moteur la consommation énergétique des accessoires, soit $E_{consommée} = E_{am} + E_{af} = 504 + 27 = 531 \text{ Wh}$.

Ensuite, l'élève calcule l'énergie disponible dans la batterie ($E_{batterie} = 48 \times 15 = 720 \text{ Wh}$) et il détermine l'écart avec l'énergie consommée. Il constate que l'énergie embarquée est suffisante pour effectuer le trajet « aller » ($720 \text{ Wh} > 531 \text{ Wh}$).

Au regard du résultat, on demande au candidat si l'autonomie minimum annoncée par le constructeur est respectée en prenant en compte la situation géographique de l'étude. On peut répondre en soulignant que, sur un parcours réel, la vitesse n'est pas constante. Les phases d'accélération répétées tendent à réduire l'autonomie de la batterie. La température extérieure et le vieillissement sont aussi des sources de consommation d'énergie. On peut donc penser que la distance de 13,5 km est assez proche de l'autonomie du scooter dans ces conditions d'utilisation. Les 28 km d'autonomie minimale annoncés par le constructeur ne sont pas atteints, ces moyens de transport étant plutôt développés pour un usage urbain à dénivelés modérés.

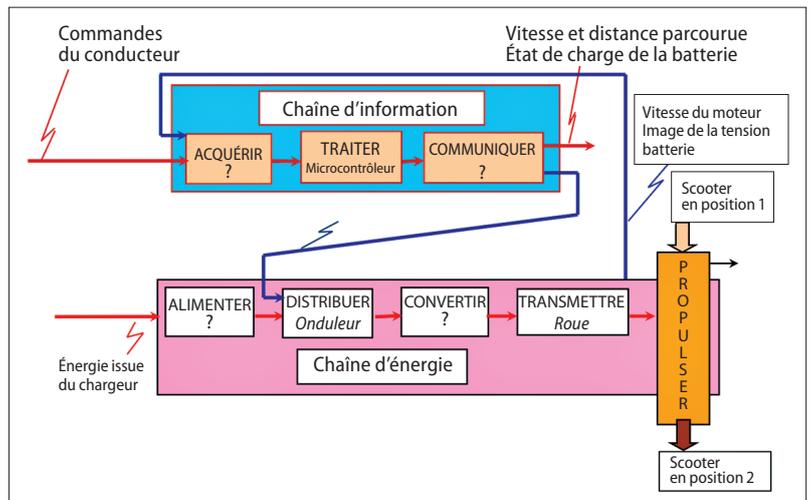
M. X pourra cependant réaliser le trajet « aller » et mettre son scooter à recharger durant la journée pour assurer son autonomie lors du trajet « retour » (qui est en descente et consomme donc peu d'énergie).

Étude 3 : Affichage du niveau de charge batterie

L'objectif de cette étude est d'établir la courbe de décharge de la batterie afin de déterminer quelle indication donnera le bargraphe à partir de la documentation constructeur (voir encadré « Affichage du niveau de charge de la batterie »).

L'élève commence par proposer un protocole permettant de mesurer la décharge de la batterie (U_{bat}) et de la tension U_a qui est envoyée au microcontrôleur en précisant le ou les appareils de mesure utilisés et le calibre approprié. La réponse attendue est de brancher un voltmètre sur la batterie au calibre 100 V et un autre sur l'entrée du microcontrôleur en parallèle au calibre 10 V.

Un relevé des mesures aux bornes de la batterie et du microcontrôleur étant fourni 5, le candidat doit déterminer quelles indications donnent le bargraphe à 20, puis 60 minutes. La documentation technique sur l'affichage précise que le microcontrôleur élabore la fonction bargraphe à partir de la tension U_a et présente la relation sous forme de tableau. L'élève, à partir de ces informations et du relevé de mesures, trace la courbe de la tension U_a en fonction du temps 6; il en déduit $U_a = -0,00625 t + 4,8$, et, par application,



4 Structure fonctionnelle globale du scooter

U_{bat} (V)	48	47,5	47	46,5	46	45,5	45	44,5	44
U_a (V)	4,8	4,75	4,7	4,65	4,60	4,55	4,50	4,45	4,40
Temps (min)	0	8	16	24	32	40	48	56	64

5 Relevés des mesures aux bornes de la batterie et du microcontrôleur

à $t = 20 \text{ min}$, $U_a = 4,675$, le bargraphe indiquera neuf barres; à $t = 60 \text{ min}$, $U_a = 4,41$, le bargraphe indiquera quatre barres.

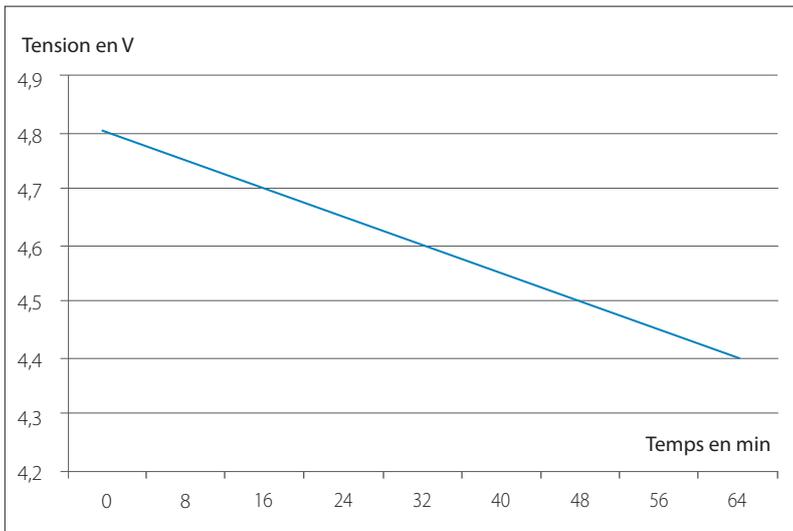
Étude 4 : Capacité de la motorisation

Dans cette dernière étude, l'objectif est de vérifier les caractéristiques de couple et de puissance du moteur dans le cas de figure le plus défavorable, comme à la sortie d'un virage en épingle où, pour diverses raisons, il se peut que le scooter soit arrêté durant son ascension.

Il faut commencer par définir les paramètres à prendre en compte lors de la phase de démarrage, comme l'accélération du scooter et l'angle d'inclinaison maximal de la route dans le cas le plus défavorable. On précise que la vitesse moyenne de montée est estimée à $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et que l'on souhaite atteindre cette vitesse au bout de 36 secondes, ce qui équivaut à une distance parcourue de 100 m. L'élève calcule alors l'accélération durant la phase de démarrage : $a = dv / dt = 5,55 / 36 = 0,154 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Puis, il définit et justifie l'endroit sur le parcours où le démarrage du scooter est le plus difficile. À l'aide du graphique des dénivelés 3, il constate que l'endroit où la pente est la plus forte (10 %) est située entre le 11^e et le 12^e kilomètre. On demande à l'élève de convertir cette pente en angle d'inclinaison α (route par rapport à l'horizontale), soit un angle α de 5,71 degrés pour une pente de 10 %.

Pour finir, il faut déterminer l'effort de propulsion dans le cas le plus défavorable et le couple



6 Courbe de la tension U_a en fonction du temps

Organisation de l'épreuve orale de contrôle

La note de service n° 2014-131 du 09/10/2014 définit l'épreuve obligatoire et de spécialité de sciences de l'ingénieur, à compter de la session de la session 2015.

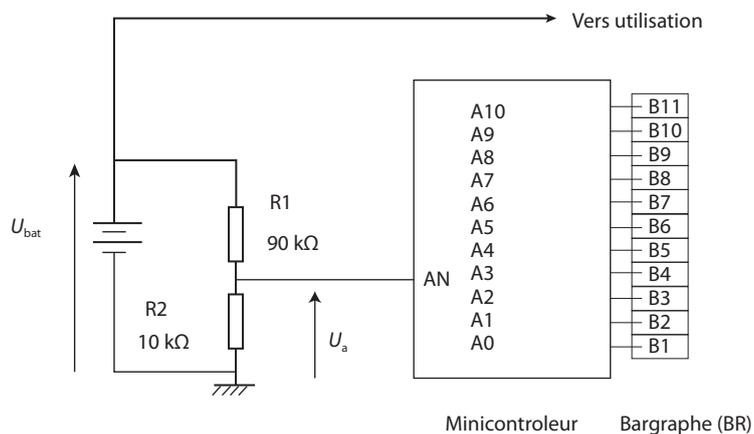
L'épreuve orale de contrôle, qui permet d'évaluer des compétences, et les connaissances associées, déclinées dans le programme de sciences de l'ingénieur de la série S du cycle terminal du lycée, s'appuie sur une étude de cas issue d'un dossier papier fourni au candidat par l'examineur et présentant un système. Il s'agit de résoudre un problème technique précis (sans calculs mathématiques importants).

Cette épreuve est de coefficient 6 (8 pour ceux qui ont pris les sciences de l'ingénieur en spécialité) au baccalauréat. Sa durée est de 20 minutes, avec une préparation préalable d'une heure.

Il s'agit d'une épreuve orale, donc aucun document écrit ou document réponse n'est exigible pour l'évaluation.

Affichage du niveau de charge de la batterie

La fonction réalisée consiste à allumer un nombre de barres en fonction de l'énergie restante. L'ensemble peut être schématisé ainsi :



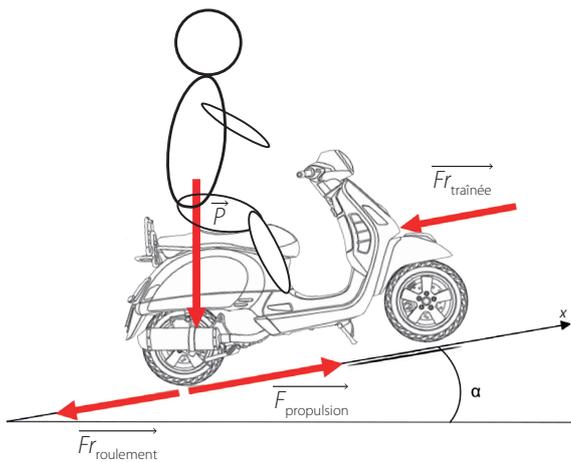
Afin de réaliser l'affichage du niveau de décharge de la batterie, il est nécessaire d'adapter la tension batterie (U_{bat}) en une entrée analogique (U_a) compatible avec une entrée du microcontrôleur. Ensuite, le microcontrôleur élabore la commande du bargraphe (BR) en fonction de la tension d'entrée (U_a) conformément au tableau suivant :

U_a	4,8	4,75	4,7	4,65	4,60	4,55	4,50	4,45	4,40	4,35	4,3	4,25
BR	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Ainsi, pour $U_a = 4,7$ V, les barres B1 à B9 seront allumées et le microcontrôleur devra émettre sur son port de sortie en binaire 0011111111, avec A0 comme poids faible et A10 comme poids fort.

Lorsque les 11 niveaux sont « éclairés », la batterie est complètement chargée.

Toutes les barres éteintes signifient que la batterie nécessite une recharge, car elle ne peut plus assurer le bon fonctionnement du scooter.



7 Validation de la motorisation

nécessaire que devra délivrer le moteur afin que la puissance moteur soit suffisante au regard de la situation d'étude.

Pour déterminer l'effort de propulsion, le candidat dispose du schéma qui représente les forces extérieures agissant sur l'ensemble isolé $\{S\} = \{\text{scooter} + \text{conducteur}\}$ et des données suivantes :

- $F_{r_{trainée}}$: effort résistant à l'avancement (résistance aérodynamique) = 10 N;
- $F_{r_{roulement}}$: effort résistant au roulement = 6 N;
- charge utile (scooter + conducteur) : 125 kg.

On précise que l'ensemble $\{S\}$ est soumis à trois forces s'opposant à son avancement et à une force de propulsion (motrice).

L'élève détermine l'effort de propulsion en appliquant le théorème de la résultante dynamique.

Équation de la résultante dynamique suivant l'axe \vec{x} :

$$F_{propulsion} - F_{r_{trainée}} - F_{r_{roulement}} - P_x = m \cdot a$$

$$F_{propulsion} - F_{r_{trainée}} - F_{r_{roulement}} - \|\vec{P}\| \sin \alpha = m \cdot a$$

$$F_{propulsion} = F_{r_{trainée}} + F_{r_{roulement}} + m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \cdot a$$

$$F_{propulsion} = 10 + 6 + 125 \times 9,81 \times \sin 5,7 + 125 \times 0,154$$

$$F_{propulsion} = 157 \text{ N}$$

Puis, il calcule le couple C_m que devra délivrer le moteur *brushless* dans ces conditions, soit $C_m = R \times F_{propulsion} = 0,47/2 \times 157 = 37 \text{ Nm}$. Il constate que le couple moteur est inférieur au couple maximum du moteur (37 Nm < 50 Nm).

Il définit ensuite la puissance mécanique P_m nécessaire au déplacement de l'ensemble $\{S\}$, soit $P_m = V \times F_{propulsion} = 5,55 \times 157 = 871 \text{ W}$.

Enfin, il détermine la puissance maximale que peut développer le moteur en sachant que le rendement est égal à la puissance nécessaire sur la puissance absorbée; il en déduit que : $P_m = \eta \times P_a = 871/0,75 = 1\,161 \text{ W}$.

En conclusion, au regard des résultats, on constate que le couple de démarrage nécessaire est de 37 Nm (< 50 Nm) et la puissance mécanique de 1 161 W (< 1 200 W), le moteur est donc capable de démarrer le scooter dans les conditions de l'étude. ■

Présentation des éléments du scooter

L'afficheur

L'afficheur numérique à cristaux liquides est positionné sur le guidon. Il inclut l'affichage de la vitesse, un totalisateur kilométrique total et journalier, ainsi qu'une indication de changement de direction synchronisé avec les clignotants. Une information sur l'état de charge de la batterie est donnée par un bargraphe suivant onze niveaux.



La poignée d'accélérateur

La rotation de la poignée de droite commande l'accélération du scooter.



Éclairage et signalisation

Le scooter est équipé à l'avant d'un feu de croisement d'une puissance de 35 W et à l'arrière d'un feu de signalisation de 5 W. Il est pourvu de deux clignotants à l'avant et deux clignotants à l'arrière. Un feu stop de 10 W complète cette signalisation.



La batterie

La batterie rechargeable est de type Li-Mn (lithium-manganèse) d'une capacité de 15 Ah. La tension à ses bornes est de 48 V lorsqu'elle est entièrement chargée.

Cette batterie peut être rechargée sans l'ôter de son logement grâce à une prise positionnée sous la selle.

Le temps nécessaire pour une charge complète est de 3 heures.

Le moteur

Le moteur est situé directement sur le moyeu de la roue arrière. C'est un moteur de type *brushless*.

Il peut délivrer une puissance utile de 1 200 W.



© Sergey Ryzhov/Shutterstock



© Eshma/Shutterstock

Les roues

Les roues sont équipées de pneumatiques de 47 cm de diamètre extérieur. Le scooter est muni à l'avant d'une fourche télescopique.

L'électronique embarquée

L'onduleur permet d'élaborer à partir de la tension batterie et de la consigne vitesse des signaux d'une fréquence image de la vitesse de rotation souhaitée du moteur.

Le programme chargé dans un microcontrôleur élabore les différentes commandes nécessaires aux actionneurs et aux outils de communication en fonction des informations issues des différents capteurs et des consignes reçues.



© Sergey Kuzmin/Shutterstock