

BTS

CONCEPTION ET RÉALISATION DE SYSTÈMES AUTOMATIQUES

**U32 – SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES
APPLIQUÉES**

2021

SUJET

**Durée : 2 h 00 - Coefficient : 2
Barème sur 20 points**

**L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.**

**La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront
dans l'appréciation des copies.**

IMPORTANT

**Ce sujet comporte 15 pages.
Les documents-réponses pages 14/15 et 15/15 sont à rendre avec la copie.**

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	1/15

Choix des équipements d'une voiture électrique

Introduction :

Le réchauffement climatique et la raréfaction des énergies fossiles ont fait de la voiture électrique l'une des priorités des constructeurs automobiles qui proposent régulièrement des modèles de plus en plus fiables et performants.

En tant que technicien supérieur, vous travaillez dans un laboratoire de recherche et développement pour le compte d'un grand groupe automobile. Vous êtes chargé de choisir les équipements d'un nouveau modèle de voiture électrique qui sera destiné à la commercialisation. Vous devrez également choisir la solution à mettre en œuvre afin de protéger les pièces métalliques du véhicule contre la corrosion.



Le sujet comporte trois parties indépendantes.

- Partie A : Validation du choix des éléments de la chaîne de traction du véhicule (10 points)
- Partie B : Recharge de la batterie (7 points)
- Partie C : Protection des pièces métalliques contre la corrosion (3 points)

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	2/15

Partie A : Validation du choix des éléments de la chaîne de traction du véhicule (10 points)

Le schéma fonctionnel de la chaîne de traction de la voiture est représenté ci-dessous :

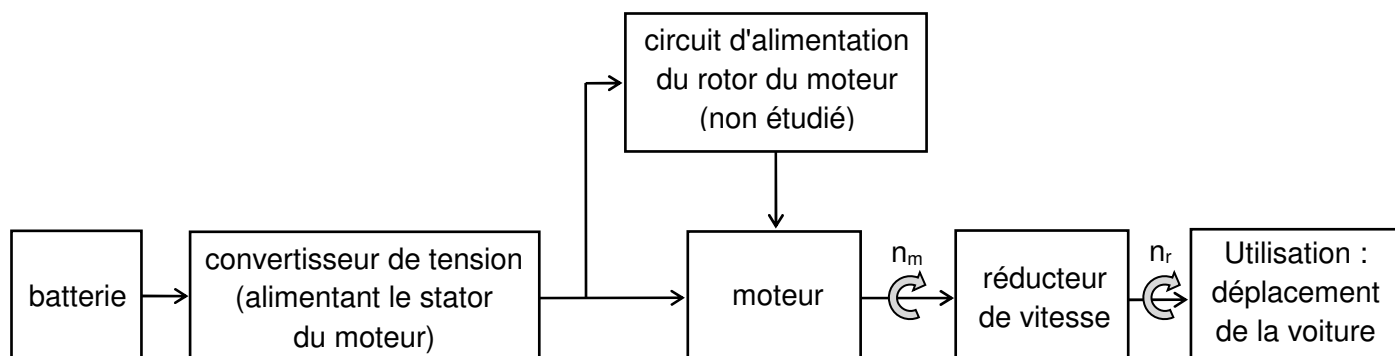


Figure 1 : Schéma fonctionnel de la chaîne de traction de la voiture

On supposera que tous les éléments de la chaîne de traction du véhicule, à l'exception du moteur, ont un rendement égal à 100 %.

A.1. Validation du choix du moteur :

Les caractéristiques du moteur choisi pour équiper la voiture sont présentées dans l'annexe A1.

A.1.1. Indiquer quel type de moteur a été choisi pour équiper la voiture, et justifier ce choix en utilisant l'annexe A2. Vous donnerez deux avantages de ce type de moteur.

On envisage le cas où la voiture accélère uniformément sur une route rectiligne et horizontale.

A.1.2. On modélise la voiture par un point G situé en son centre de gravité.

On note :

- $\vec{F}_{rés}$ la résultante des forces de frottement s'opposant au déplacement du véhicule en mouvement,
- $\vec{F}_p$ le poids du véhicule,
- $\vec{F}_s$ la réaction normale du sol,
- $\vec{F}_t$ la résultante des forces motrices.

Sur le DOCUMENT RÉPONSE N°1, on a représenté les forces $\vec{F}_{rés}$ et $\vec{F}_p$ à un instant quelconque du mouvement de la voiture.

Compléter le DOCUMENT RÉPONSE N°1 en représentant, sans souci d'échelle, les forces $\vec{F}_t$ et $\vec{F}_s$.

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	3/15

A.1.3. On suppose que la masse totale du véhicule (incluant le conducteur) vaut $M = 1572 \text{ kg}$. En utilisant l'annexe A3, vérifier que lorsque le véhicule atteint sa vitesse maximale 130 km.h^{-1} , $F_{rés}$ vaut 741 N .

On souhaite que la voiture mette 40 s pour passer de 0 km.h^{-1} à 130 km.h^{-1} .

A.1.4. Montrer que son accélération a (supposée constante) doit être égale à $0,903 \text{ m.s}^{-2}$.

A.1.5. En exploitant le principe fondamental de la dynamique, montrer que la résultante des forces motrices nécessaire pour entraîner le véhicule vaut $F_t = 2161 \text{ N}$ à l'instant où la vitesse v du véhicule est de 130 km.h^{-1} .

A.1.6. Calculer alors la puissance maximale P_r qu'il faut transmettre aux roues motrices du véhicule lors de son mouvement.

On rappelle que $P_r = F_t \times v$.

A.1.7. A partir du résultat précédent, indiquer si le moteur sélectionné pour équiper la voiture a été bien choisi.

A.2. Choix et réglage du convertisseur de tension - Couplage du moteur :

A.2.1. Quel convertisseur de tension faut-il intercaler entre la batterie et le stator du moteur ? Préciser son nom et la conversion qu'il réalise.

A.2.2. Le convertisseur impose des tensions entre phases de valeur efficace $U = 230 \text{ V}$. Doit-on coupler les enroulements du stator du moteur en étoile ou en triangle ? Justifier la réponse.

A.2.3. La fréquence de rotation n_m du moteur, exprimée en tr/s, est donnée par la formule :

$$n_m = \frac{f}{p}$$

où f est la fréquence des tensions délivrées par le convertisseur, exprimée en Hz, et p le nombre de paires de pôles du moteur.

A quelle valeur faut-il régler la fréquence f pour que le moteur fonctionne à sa fréquence de rotation nominale ?

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	4/15

Ci-dessous, on donne le spectre d'amplitude de l'intensité i d'un courant de ligne absorbé par le stator moteur.

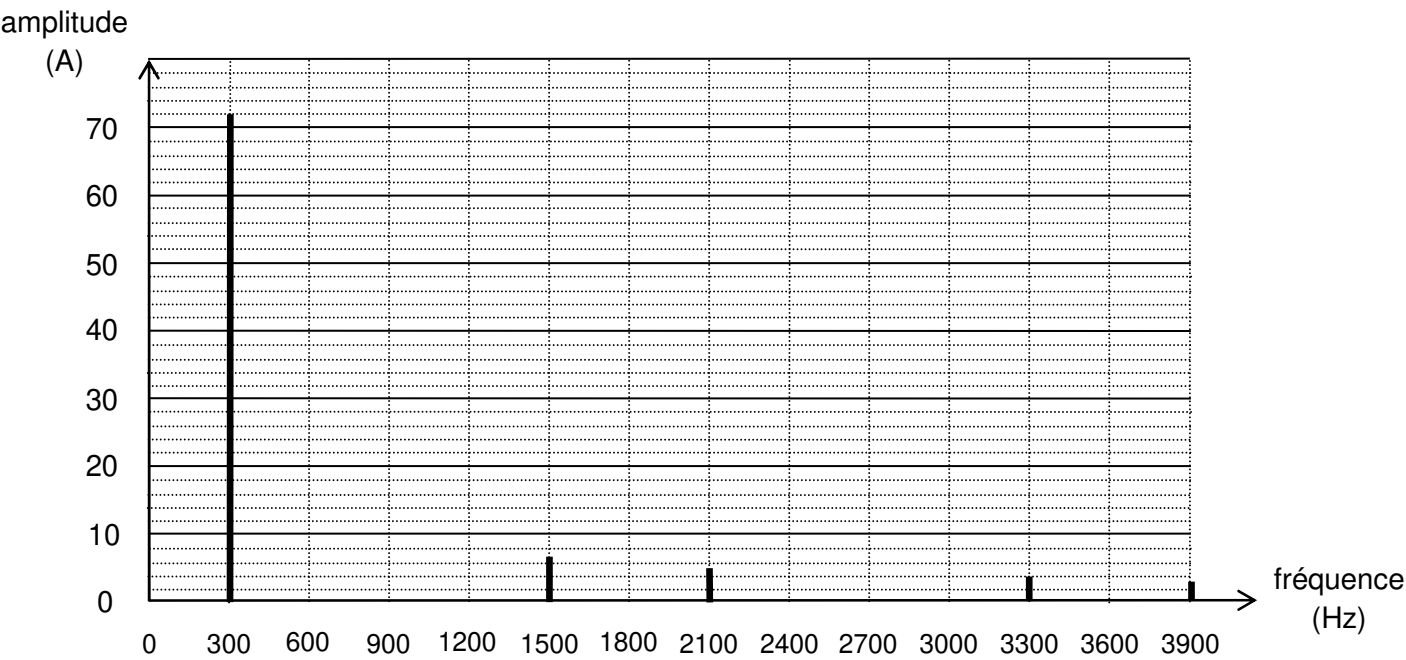


Figure 2 : Spectre d'amplitude de l'intensité i d'un courant de ligne absorbé par le stator moteur

- A.2.4. Donner la fréquence de l'harmonique de rang 5 de i . Justifier la réponse.
- A.2.5. Indiquer une conséquence de la présence des harmoniques de courant sur le fonctionnement du moteur.
- A.2.6. Quel type de commande du convertisseur est-il préférable d'utiliser si l'on souhaite obtenir une intensité i quasi-sinusoïdale de fréquence $f = 300$ Hz ?

A.3. Choix de la batterie :

On souhaite que l'autonomie du véhicule à 110 km.h⁻¹ sur le plat soit d'au moins 300 km.

- A.3.1. Calculer la puissance P_{bat} délivrée par la batterie lorsque la puissance fournies aux roues du véhicule est de $P_r = 17,5$ kW (cas où la voiture roule à $v = 110$ km.h⁻¹ sur une route droite et horizontale).
- A.3.2. En déduire si la batterie sélectionnée pour équiper la voiture a été bien choisie. Justifier la réponse.

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	5/15

Partie B : Recharge de la batterie (7 points)

La batterie du véhicule pourra être rechargée à domicile à partir d'une borne monophasée 230 V / 50 Hz.

Le niveau de charge de la batterie est affiché sur le tableau de bord de la voiture et peut également être contrôlé à l'aide de deux LED rouge et verte.

Le schéma fonctionnel du chargeur intégré à la voiture électrique et du circuit de surveillance du niveau de charge de la batterie est représenté ci-dessous :

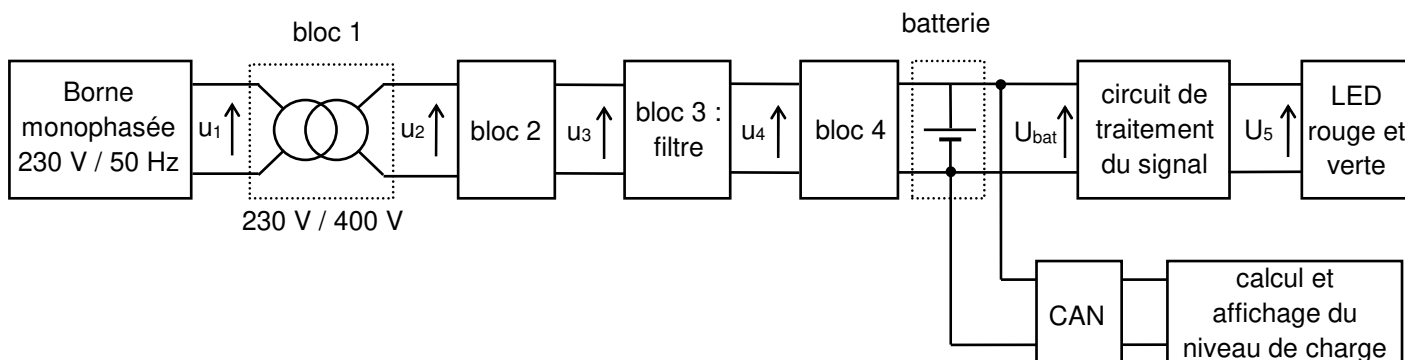


Figure 3 : Schéma fonctionnel du chargeur intégré à la voiture électrique et du circuit de surveillance du niveau de charge de la batterie

B.1. Le bloc 1 est un transformateur parfait dont le secondaire comporte $N_2 = 1000$ spires et le primaire comporte $N_1 = 575$ spires.

Montrer que ces nombres de spires sont compatibles avec les valeurs de tensions mentionnées sur le schéma fonctionnel.

B.2. Etude du bloc 2 :

Le schéma structurel du bloc 2 est le suivant :

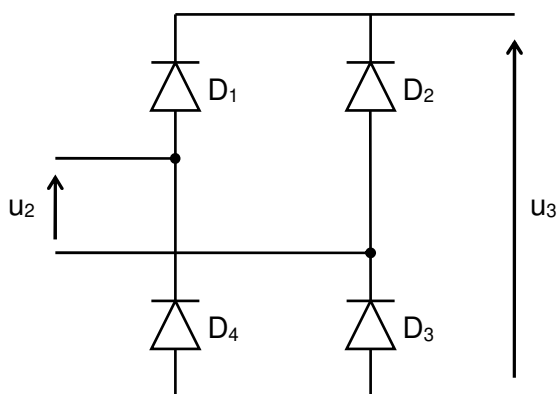


Figure 4 : Schéma structurel du bloc 2

Les diodes sont supposées parfaites : lorsqu'elles sont passantes, la tension à leurs bornes est nulle.

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	6/15

B.2.1. Quel est le nom de ce montage ? Quelle conversion réalise-t-il ?

B.2.2. Sur le DOCUMENT RÉPONSE N°2, tracer le chronogramme de la tension u_3 .

B.2.3. La valeur moyenne de u_3 est donnée par la formule :

$$\langle u_3 \rangle = \frac{2 \times \hat{U}_2}{\pi}$$

où $\hat{U}_2$ est l'amplitude de la tension u_2 .

Calculer $\langle u_3 \rangle$.

B.2.4. Indiquer le réglage du voltmètre à effectuer pour mesurer cette valeur moyenne.

B.3. Etude du bloc 4 :

La tension délivrée par le filtre (bloc 3) est supposée constante et égale à $u_4 = U_4 = 360 \text{ V}$.

Le bloc 4 est un hacheur dont le schéma structurel est le suivant :

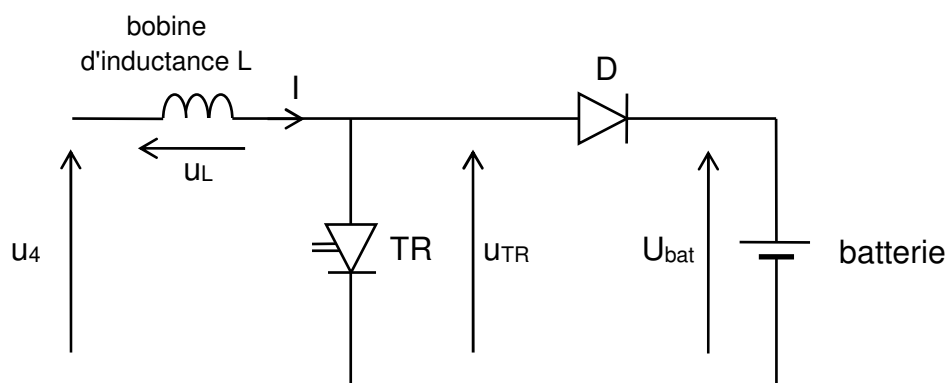


Figure 5 : Schéma structurel du hacheur

Le chronogramme de la tension U_{TR} aux bornes du transistor TR est représentée ci-dessous :

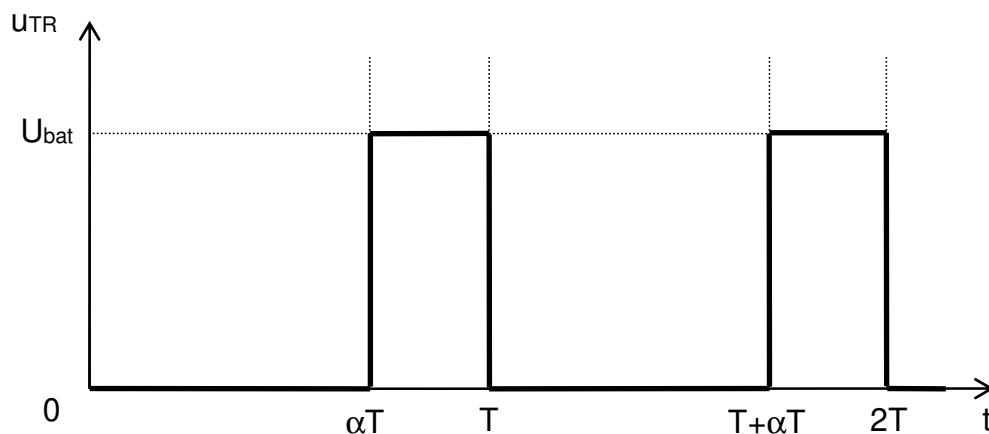


Figure 6 : Chronogramme de la tension U_{TR} aux bornes du transistor TR

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	7/15

T est la période de commande du transistor TR , et α le rapport cyclique du hacheur, réglable entre 0 et 1.

B.3.1. Etablir l'expression de $\langle u_{TR} \rangle$ (valeur moyenne de u_{TR}) en fonction de α et U_{bat} .

B.3.2. Sachant que $\langle u_{TR} \rangle = U_4$, à quelle valeur faut-il régler le rapport cyclique α du hacheur pour obtenir $U_{bat} = 400$ V ?

B.4. Surveillance du niveau de charge de la batterie :

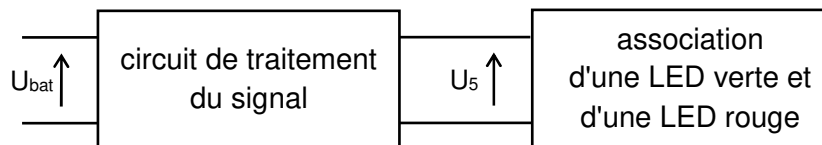


Figure 7 : Circuit de surveillance du niveau de charge de la batterie

Le circuit de traitement du signal doit permettre d'allumer une LED verte lorsque le niveau de charge dépasse 80%, c'est-à-dire lorsque U_{bat} dépasse 390 V, et une LED rouge lorsque le niveau de charge devient inférieur à 20%, c'est-à-dire lorsque U_{bat} devient inférieure à 350 V.

Pour répondre à cet objectif, on envisage d'utiliser le montage dont la caractéristique de transfert est représenté ci-dessous :

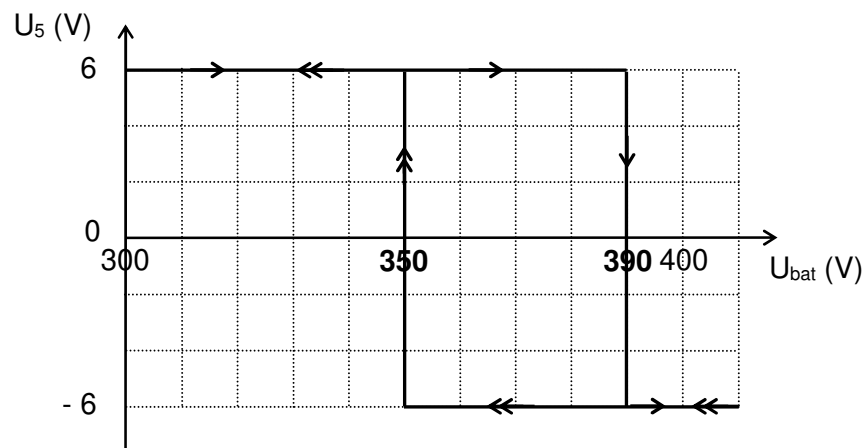


Figure 8 : Caractéristique de transfert du circuit de traitement du signal

B.4.1. Quel est le nom complet de ce montage ?

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	8/15

B.4.2. Chaque LED utilisée pour surveiller le niveau de charge de la batterie est associée à une résistance de protection R_P contre les surintensités.

Lorsque $U_{LED} < 2 \text{ V}$: $I_{LED} = 0$ et la LED est éteinte.

Lorsque $U_{LED} > 2 \text{ V}$: $I_{LED} > 0$ et la LED est allumée.

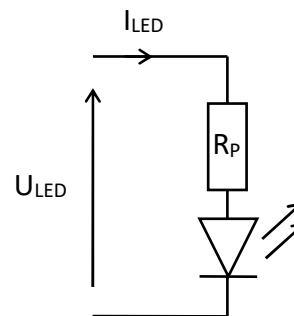
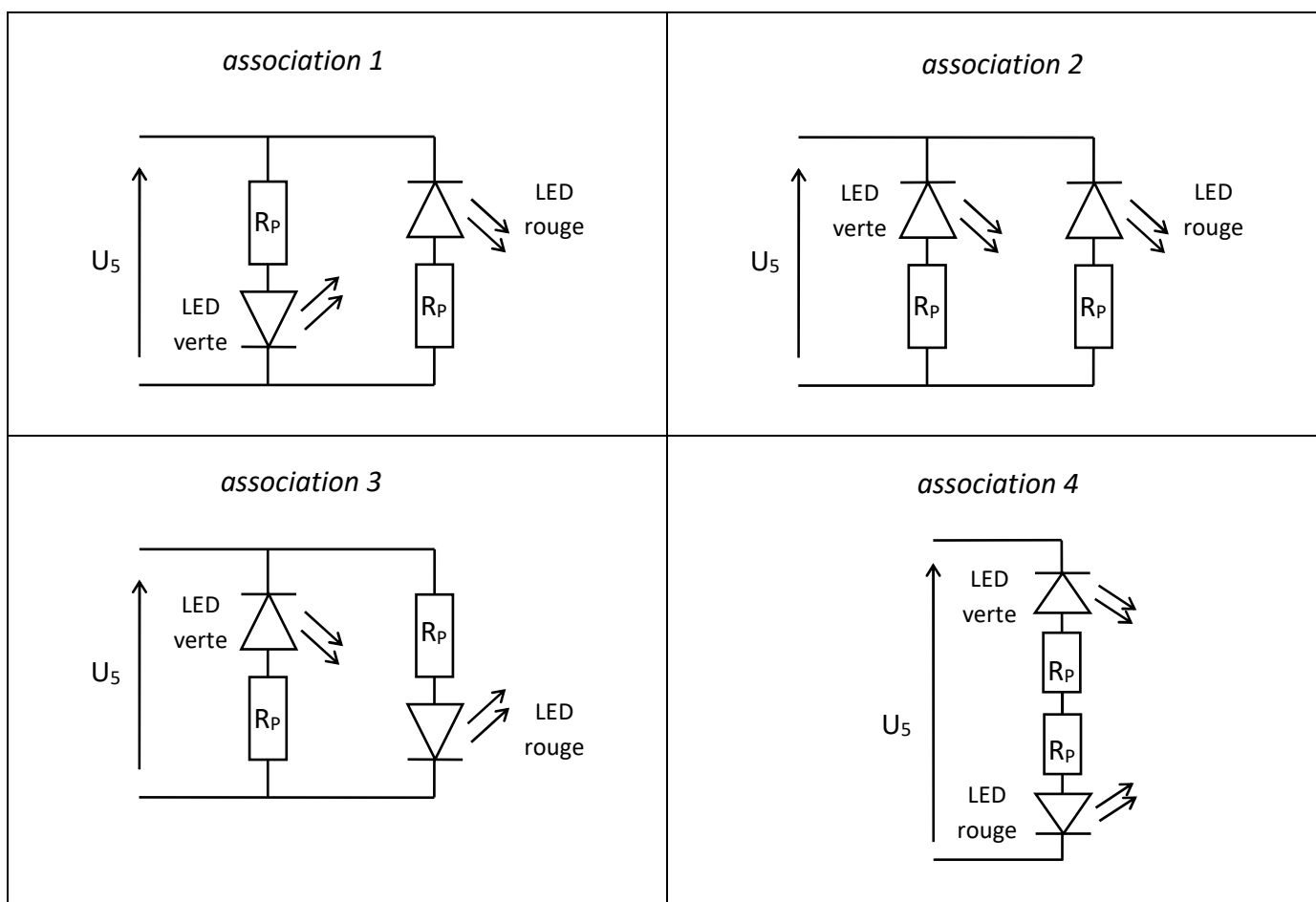


Figure 9 : Association d'une LED et de sa résistance de protection

Choisir, parmi les associations suivantes, celle qui permet d'assurer le bon fonctionnement du circuit de surveillance du niveau de charge de la batterie.



B.4.3. Sur le DOCUMENT RÉPONSE N°3, on donne l'évolution de la tension U_{bat} aux bornes de la batterie au cours d'une journée.

Tracer le chronogramme de U_5 en concordance de temps avec celui de U_{bat} , et indiquer par la lettre E ou la lettre A si les LED sont éteintes ou allumées sur les différents intervalles de temps.

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	9/15

Partie C : Protection des pièces métalliques contre la corrosion (3 points)

L'activité industrielle, les centrales thermiques et les véhicules thermiques (qui utilisent la combustion des énergies fossiles) rejettent dans l'atmosphère des gaz carbonés, azotés et soufrés (parmi lesquels du dioxyde de carbone CO_2 , du dioxyde de soufre SO_2 et du dioxyde d'azote NO_2). Au contact de l'eau située dans l'atmosphère, ces gaz polluants produisent en quantité importante des ions hydronium H_3O^+ qui acidifient les eaux de pluie.

Ces pluies acides ont des conséquences néfastes sur la faune et la flore, et provoquent également la corrosion des structures métalliques.

C.1. Que peut-on dire de la valeur du pH des pluies acides ?

On donne ci-contre les potentiels d'oxydo-réduction E^0 de différents couples rédox.

C.2. Les ions H_3O^+ contenus dans les pluies acides peuvent-ils entraîner la corrosion du fer ? Justifier.

C.3. Ecrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction qui a lieu lorsque l'on met en présence les deux couples $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2$ et $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$. On utilisera l'eau pour équilibrer cette équation.

C.4. Citer une méthode permettant de protéger les pièces en fer du véhicule électrique contre la corrosion ?

	E^0 (V)
$\text{ClO}^- / \text{Cl}_2$	1,72
$\text{Au}^{3+} / \text{Au}$	1,50
Ag^+ / Ag	0,80
$\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$	0,34
$\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2$	0
$\text{Pb}^{2+} / \text{Pb}$	- 0,13
$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$	- 0,44
$\text{Cr}^{3+} / \text{Cr}$	- 0,74
$\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$	- 0,76
$\text{Al}^{3+} / \text{Al}$	- 1,66

Figure 10 : Potentiels d'oxydo-réduction de différents couples rédox

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	10/15

ANNEXES

A1 : Caractéristiques de la voiture électrique, du moteur et de la batterie choisis pour l'équiper
(d'après le site internet www.renault.fr et différents sites internet spécialisés)

Nombre de places	5
Dimensions	
Diamètre extérieur des pneus	103 cm
Nombre de places	5
Moteur	
Technologie	synchrone à rotor bobiné
Nombre de pôles	4
Tensions d'alimentation nominales du stator	230 V / 400 V
Puissance utile nominale (en kW)	17,5
Fréquence de rotation nominale (en tr.min ⁻¹)	9000
Puissance utile maximale (en kW)	80
Couple maximal (en N.m)	225
Fréquence de rotation maximale (en en tr.min ⁻¹)	10 650
Rendement	$\eta = 94 \%$
Batterie	
Technologie	Lithium-ion
Tension totale (Volts)	400
Nombre de modules	12
Nombre de cellules	192
Energie embarquée (kWh)	52
Masse (kg)	326
Performances souhaitées	
Vitesse maxi (km.h ⁻¹)	130
0 à 80 km.h ⁻¹ (s)	11,4
80 à 120 km.h ⁻¹ (s)	9,3
0 à 130 km.h ⁻¹ (s)	40,0
Autonomie sur le plat (km)	De 200 à 400 selon le type de parcours effectué (sur autoroute, sur route, en ville, ou mixte)
Emission de CO ₂ à l'usage (g.km ⁻¹)	0
Aérodynamique	
Coefficient de pénétration dans l'air SC _x	0,75

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	11/15

A2 : Historique des différents types de moteurs électriques utilisés pour la traction automobile
(d'après le site internet www.expert-ve.fr)

- Les premiers moteurs électriques à être utilisés sur les véhicules électriques furent les **moteurs à courant continu (DC motors)**. Ce choix était logique il y a 30 ans, car c'était le moteur le plus facile à piloter en vitesse.

Néanmoins, l'utilisation de ce type de moteur électrique pose plusieurs problèmes :

- rendement limité (90%).
- vitesse de rotation élevée.
- pertes thermiques situées au rotor, donc difficiles à évacuer (l'échauffement fait encore plus diminuer le rendement).
- usure des balais.

Ce fut pourtant le moteur qui était utilisé sur les modèles de PSA des années 90.

- La seconde génération de motorisation des automobiles électriques utilisa des **moteurs à induction ou asynchrones**. La sophistication croissante des onduleurs a permis d'utiliser ces moteurs très robustes, compacts et fiables (aucun entretien). Néanmoins, par principe, le moteur asynchrone induit par définition un glissement magnétique (friction) pour qu'il y ait création de couple. Ce glissement implique des pertes obligatoires au niveau du rotor. Le rendement de ce type de moteur plafonne à 82%, et chute même rapidement à 75% sur une plage de fonctionnement étendue. La robustesse et l'optimisation du rotor conduisent pourtant certains constructeurs à l'utiliser. Son faible coût et sa fiabilité en font un candidat idéal pour le véhicule hybride.

- Bien que plus délicat à piloter et potentiellement moins robuste, le **moteur synchrone** s'impose aujourd'hui dans la plupart des cas. Historiquement cantonné à la fonction d'alternateur, le moteur synchrone est celui qui offre le meilleur rendement.

Deux familles de moteurs synchrones sont en compétition :

- **les moteurs synchrones à rotor bobiné**. Ils utilisent des bobinages pour créer le champ rotorique. Le champ rotorique peut être modulé électroniquement, ce qui permet un pilotage facilité à haute vitesse. Ce type de moteur nécessite un contact électrique avec le rotor (avec une pièce tournante). C'est la solution adoptée par la plupart des grands constructeurs automobiles.

- **les moteurs synchrones à aimants permanents** : aucune alimentation électrique n'est nécessaire pour le rotor. Il y a donc gain de maintenance, compensé par un risque potentiel de désaimantation. Par ailleurs, ces moteurs utilisent en général des aimants à terres rares, qui font l'objet de toutes les convoitises sur le marché des matières premières. Ils sont utilisés sur les véhicules électriques premium ainsi que sur certains modèles hybrides (les prochaines générations d'hybrides devraient revenir à l'asynchrone).

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	12/15

A3 : Les forces de frottement appliquées à un véhicule en mouvement

Un véhicule en mouvement est soumis à deux types de forces de frottement :

- la force de frottement aérodynamique due à l'air :

$$F_{\text{aéro}} = \frac{1}{2} \rho \times S C_x \times v^2 \text{ en Newtons,}$$

où ρ est la masse volumique de l'air : $\rho = 1,20 \text{ kg.m}^{-3}$ à 20°C

S est la section frontale du véhicule en m^2

C_x est le coefficient de frottement aérodynamique, sans unité

$S C_x$ est le coefficient de pénétration dans l'air du véhicule

v est la vitesse du véhicule en m.s^{-1} .

- la force de résistance au roulement des pneus (due à la déformation des pneus) :

$$F_{rr} = C_{rr} \times m g \times \cos \alpha \text{ en Newtons,}$$

où C_{rr} est le coefficient de résistance au roulement des pneus : $C_{rr} = 0,010$

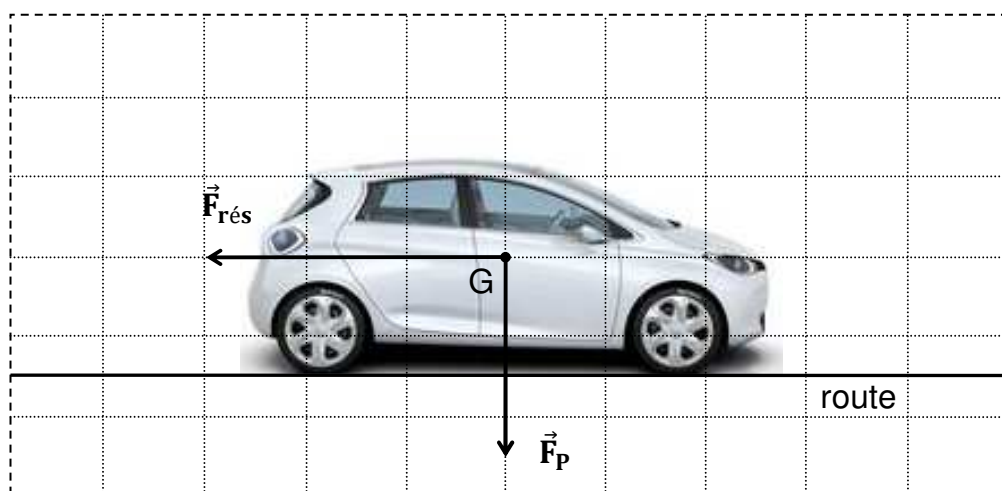
m est la masse totale du véhicule et de ses passagers en kg

g est l'accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

α est l'angle de la pente gravie par le véhicule par rapport à l'horizontale ($\alpha = 0$ sur le plat).

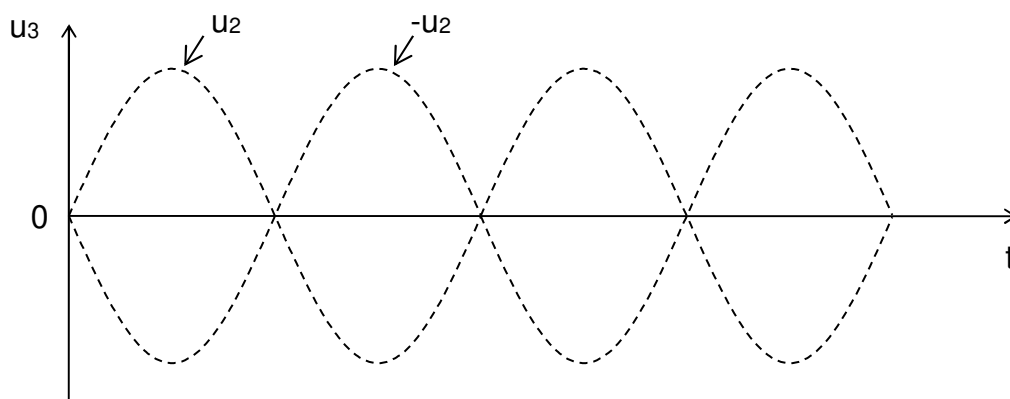
2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	13/15

DOCUMENT RÉPONSE N°1 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

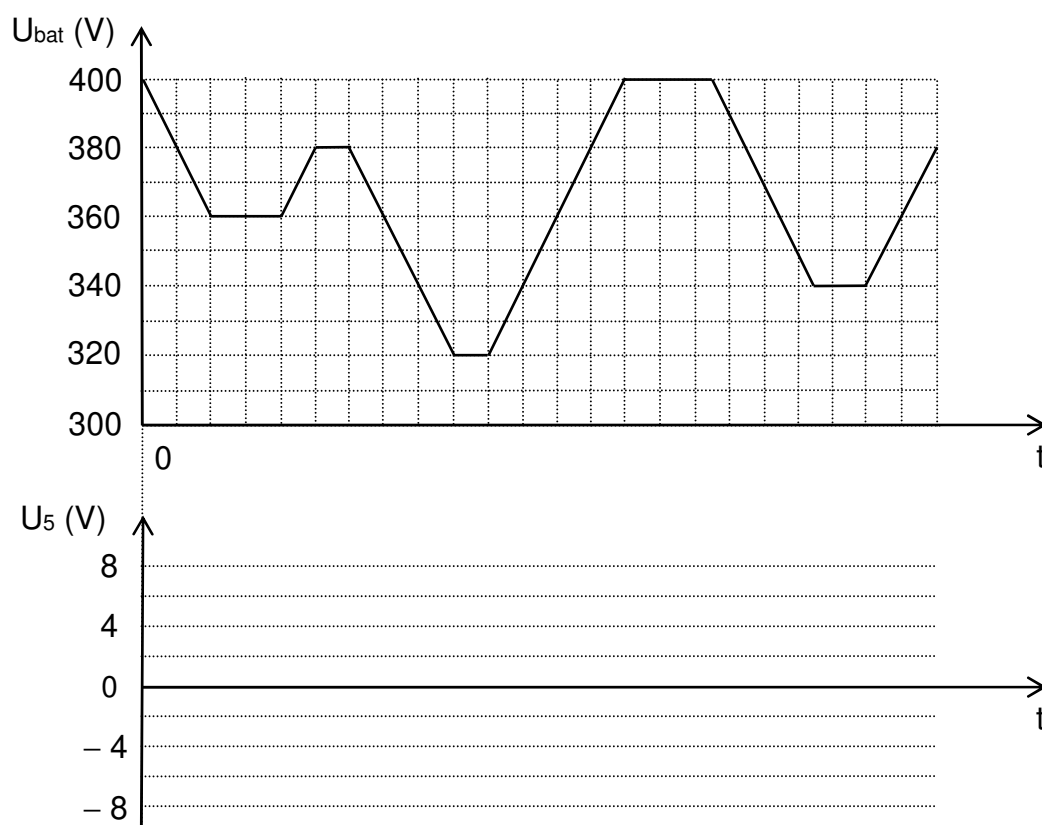


2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	14/15

DOCUMENT RÉPONSE N°2 (À RENDRE AVEC LA COPIE)



DOCUMENT RÉPONSE N°3 (À RENDRE AVEC LA COPIE)



état de la LED rouge

état de la LED verte

2021	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
21-CSE3SPC-1 Id 21A	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	15/15