Baccalauréat 2021
Spécialité sciences de l'ingénieur
Bus Némo - Corrigé

Question 1.1

Une charge lente de 4 H la nuit au centre d'exploitation et de maintenance sur secteur.
Une charge rapide de 5 min à chaque terminus sur borne.
Récupération d'énergie lors des phases de freinage/décélération.

Question 1.2

2 batteries une de 525 kWh et une de 150 kWh : 525+150=675 kWh

Question 1.3

Voir DR1

Question 1.4

$P_{absorbée} = P_{moteur} / (\eta_{ondul} \times \eta_{moteur}) = 235/(0{,}98 \times 0{,}9) = 266{,}44$ kW

Question 1.5

Voir DR2

Question 1.6

$E_{moy850m} = (10/3600 \times 0)+(10/3600 \times 213{,}2)+(65/3600 \times 106{,}6)+(10/3600 \times (-79{,}9))+(5/3600 \times 0)$
$E_{moy850m} = 0{,}59+1{,}92-0{,}22 = 2{,}29$ kWh pour 100 secondes

Question 1.7

$E = P_{équipements} \times t + E_{moy850m} \times$ nombre trajets $= 65 \times (24/60)+(24 \times 60/100) \times 2{,}29 = 58{,}98$ kWh

Question 1.8

Energie totale consommée en une journée : $E_{total\ journée} = 40 \times 58{,}98 = 2359{,}2$ kWh
Energie provenant des recharges rapides : $E_{charge\ rapide\ journée} = 39 \times (650 \times 5 / 60) = 2112{,}5$ kWh
Energie restant en fin de journée : $E_{restant} = 525 + 150 + 2112{,}5 - 2359{,}2 = 428{,}3$ kWh

Conclusion : les charges rapides aux terminus permettent au bus d'assurer son service puisqu'il lui reste de l'énergie lorsqu'il arrive au dépôt le soir pour sa charge lente.

Question 1.9

Lorsqu'un solide dans un repère galiléen est en équilibre sous l'action de plusieurs forces, la somme des forces et la somme des moments sont nulles.

On isole l'ensemble du bus au point B :

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F} = \vec{0} \quad \text{et} \quad \sum_{i=1}^{n} \vec{M} = \vec{0}$$

$\vec{A}_{(sol/tram)} + \vec{B}_{(sol/tram)} + \vec{C}_{(sol/tram)} + \overrightarrow{P1} + \overrightarrow{P2} = \vec{0}$
$\vec{M}_B(\vec{A}) + \vec{M}_B(\vec{C}) + \vec{M}_B(\overrightarrow{P1}) + \vec{M}_B(\overrightarrow{P2}) = \vec{0}$

Question 1.10

Il y a trop d'inconnus pour résoudre le problème, il faut décomposer l'ie.tram en plusieurs éléments.

Question 1.11

L'arrière de l'ie.tram est soumis à l'action de 3 forces, en P2, C et R
$\vec{C}(sol/ar) + \vec{R}(av/ar) + \overrightarrow{P2} = \vec{0}$
$\vec{M}_R(\vec{C}) + \vec{M}_R(\overrightarrow{P2}) = \vec{0}$ avec $\vec{M}_R(\vec{R}) = \vec{0}$

P2 = m x g = 14 000 x 10 = 140 000 N
4.5 x $\vec{C}_{(sol/ar)}$ + 4 x (-140 000) = 0
$\vec{C}_{(sol/ar)}$ = 4 x 140 000 / 4,5 = 124 444,44 N

$\vec{R}_{(av/ar)}$ = -$\vec{C}_{(sol/ar)}$ - $\overrightarrow{P2}$ = -12 444,44 + 140 000 = 15 555,56 N

Question 1.12

L'avant de l'ie.tram est soumis à l'action de 4 forces, en P1, A, B et R

$\vec{A}_{(sol/av)} + \vec{B}_{(sol/av)} + \vec{R}_{(ar/av)} + \overrightarrow{P1} = \vec{0}$
$\vec{M}_B(\vec{R}) + \vec{M}_B(\vec{A}) + \vec{M}_B(\overrightarrow{P1}) = \vec{0}$ avec $\vec{M}_B(\vec{B}) = \vec{0}$

P1 = m x g = 16 000 x 10 = 160 000N
$\vec{R}_{(ar/av)}$ = - $\vec{R}_{(av/ar)}$ = -15 556 N

2 x (-15 556) + 6 x $\vec{A}_{(sol/av)}$ + 3 x (-160 000) = 0
$\vec{A}_{(sol/av)}$ = (3 x 160 000 + 2 x 15 556) / 6 = 85 185 N

$\vec{B}_{(sol/av)}$ = - $\vec{R}_{(ar/av)}$ - $\overrightarrow{P1}$ - $\vec{A}_{(sol/av)}$ = 15 556 + 160 000 – 85 185 = 90 371 N

Question 1.13

Le poids à l'essieu A est de 8,52 T, celui à l'essieu B est de 9,04 T et celui à l'essieu C de 12,44 T, ils sont tous inferieurs à 13 T donc le bus peut emprunter le pont.

Question 1.14

Voir DR3

Question 1.15

Pour une consigne de 50 $km \cdot h^{-1}$, l'erreur statique est nulle.

Question 1.16

Voir DR4

Il faut 2 x 2 sec pour le changement d'état des feux soit 4 secondes.

Question 1.17

La trame est transmise en 300 µs (6 divisions de 50 µs)

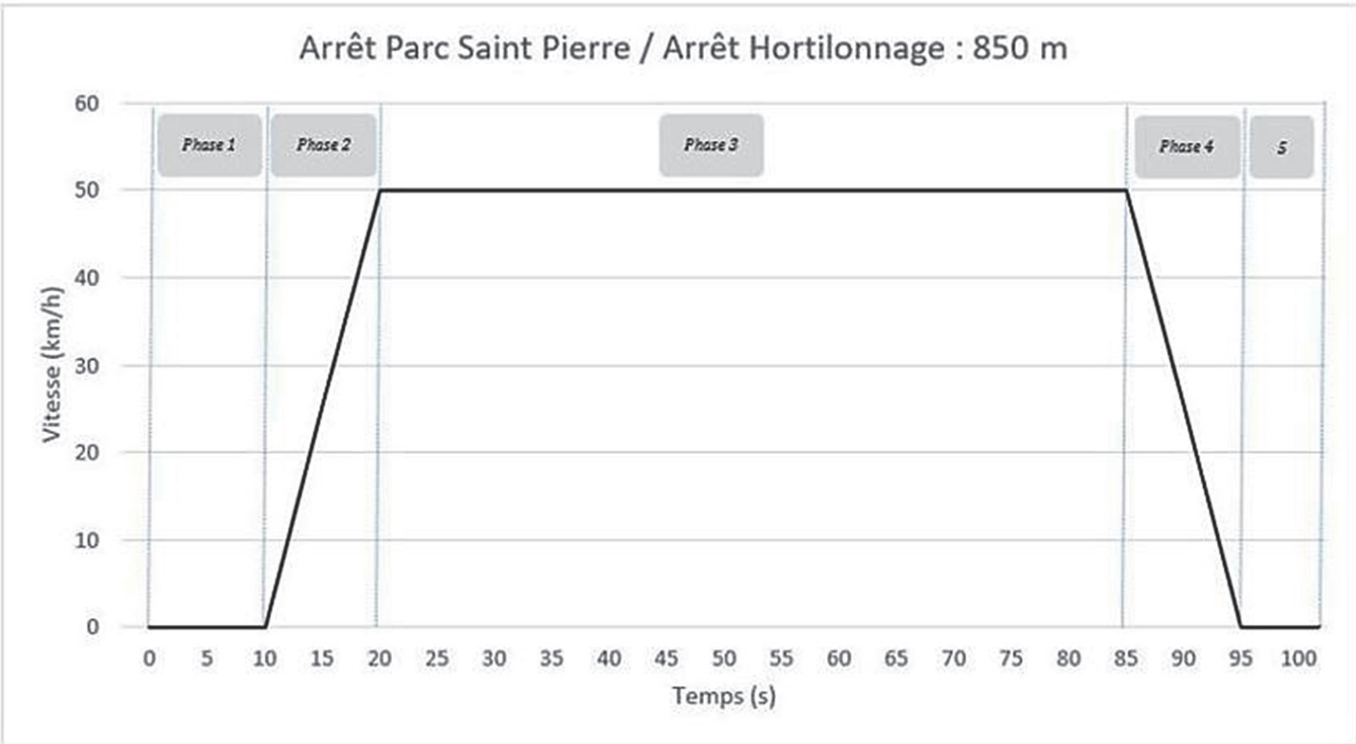
Question 1.18

100 m à 50 $km \cdot h^{-1}$ (ou 13,88 $m \cdot s^{-1}$) donc il faut 100 / 13,88 = 7,25 s pour parcourir 100 m.
Il faut 4 sec et 300 µs pour que les feux autorisent le passage du bus.
7,25 s > 4,0003 s donc suffisant pour permettre le passage du bus en toute sécurité.

Document Réponse DR1

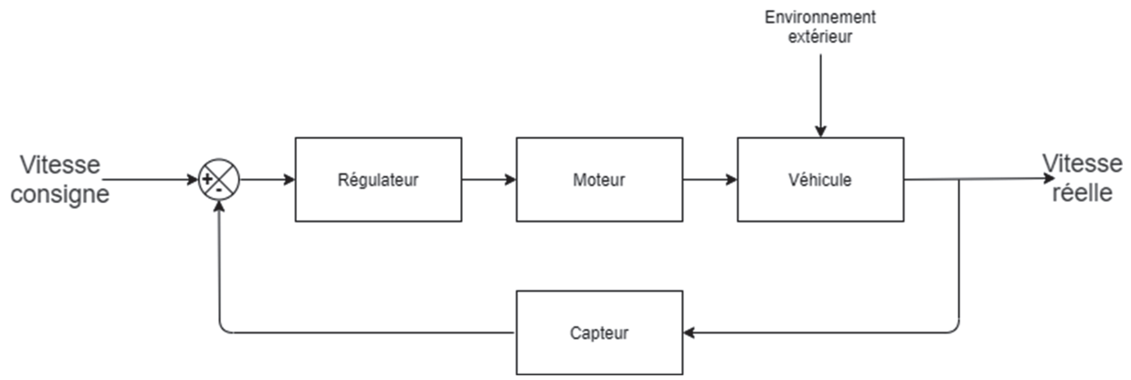
Stocker/ Alimenter	Flux / Effort	Distribuer	Flux / Effort	Convertir	Flux / Effort	Transmettre	Flux / Effort	
Batteries lithium-ion	Flux : I (A)	Onduleur DC/AC	Flux : I (A)	Moteur synchrone	Flux : ω ($rad \cdot s^{-1}$)	Boîte de vitesse et différentiel	Flux : ω ($rad \cdot s^{-1}$)	Bus en mouvement
η = 90 %	Effort : U (V)	η = 98 %	Effort : U (V)	η = 90 %	Effort : C (N·m)	η = 93 % (98% × 95%)	Effort : C (N·m)	

Document Réponse DR2

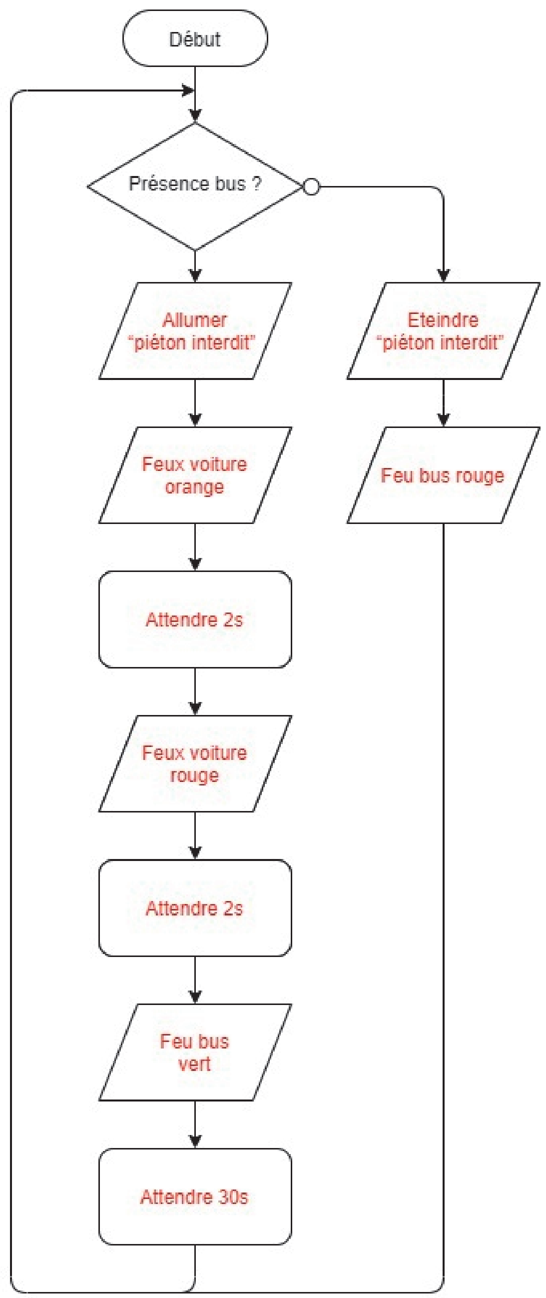


Numéro de phase	Identification de la phase	% de la puissance nominale installée	Puissance (W)
1	Arrêt	0	0
2	Accélération	80	266.44×0.8=213.2
3	Vitesse constante	40	266.44×0.4=106.6
4	Freinage / Décélération	- 30	266.44×-0.3=-79.9
5	Arrêt	0	0

Document Réponse DR3



Document Réponse DR4



Matrice - partie 1

	Compétence attendue		Analyser l'organisation fonctionnelle et matérielle d'un produit	Analyser les échanges d'énergie, les transmissions de puissance, les échanges et le traitement des informations				Analyser les écarts entre les performances attendues, simulées ou mesurées
	Compétences développées		- Analyser le besoin, l'organisation matérielle et fonctionnelle d'un produit par une démarche d'ingénierie système	- Caractériser la puissance et l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un produit ou d'un système - Repérer les échanges d'énergie sur un diagramme structurel - Analyser la réversibilité d'un élément de la chaîne de puissance	- Analyser le traitement de l'information - Analyser le comportement d'un objet à partir d'une description à événements discrets	- Analyser et caractériser les échanges d'information d'un système avec un réseau de communication - Analyser les principes de modulation et démodulation numériques - Analyser les principaux protocoles pour un réseau de communication et les supports matériels	- Analyser le comportement d'un système asservi - Analyser les charges appliquées à un ouvrage ou une structure - Analyser des résultats d'expérimentation et de simulation	- Quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues, les valeurs mesurées et les valeurs obtenues par simulation - Rechercher et proposer des causes aux écarts de performances constatés - Valider les modèles établis pour décrire le comportement d'un objet
	Activation	Points	A1	A21	A22	A23	A24	A3
Q1	Q1.1	1,5	1					
Q2	Q1.2	1		1				
Q3	Q1.3	2		1				
Q4	Q1.4	1,5						
Q5	Q1.5	1						
Q6	Q1.6	2		1				
Q7	Q1.7	1,5		1				
Q8	Q1.8	1,5						1
Q9	Q1.9	2						
Q10	Q1.10	1						
Q11	Q1.11	2						
Q12	Q1.12	2						
Q13	Q1.13	1						
Q14	Q1.14	1					1	
Q15	Q1.15	1,5					1	
Q16	Q1.16	3			1			
Q17	Q1.17	1				1		
Q18	Q1.18	1,5						1
Q19								
Q20								
Q21								
Q22								
Q23								
Q24								
Q25								
Q26								
Q27								
Q28								
Q29								
Q30								
		28	**1**	**4**	**1**	**1**	**2**	**2**

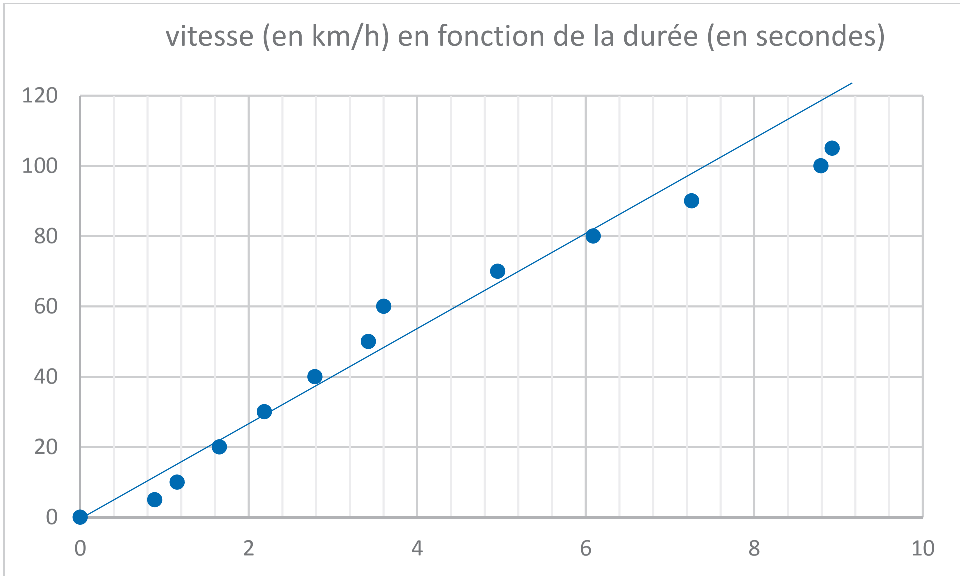
Matrice - partie 2

	Compétence attendue		Construire un modèle multi-physique d'un objet en connaissant la constitution de l'objet matériel ou de sa maquette numérique	Construire un modèle de composant ou d'une association de composants à partir des lois physiques, en établissant les équations analytiques du comportement			Résoudre les équations issues de la modélisation en vue de caractériser les performances d'un objet
	Compétences développées		- Caractériser les grandeurs physiques en entrées/sorties d'un modèle multi-physique traduisant la transmission de puissance - Proposer et justifier des hypothèses ou simplification en vue d'une modélisation	- Associer un modèle aux composants d'une chaîne de puissance - Modéliser sous une forme graphique une structure, un mécanisme ou un circuit - Associer un modèle à un système asservi	- Traduire le comportement attendu ou observé d'un objet - Traduire un algorithme en un programme exécutable - Caractériser les échanges d'informations	- Modéliser les mouvements - Modéliser les actions mécaniques - Utiliser les lois et relations entre les grandeurs effort et flux pour élaborer un modèle de connaissance	- Déterminer les grandeurs flux (courant) et effort (tension) dans un circuit électrique - Déterminer les actions mécaniques (inconnues statiques de liaisons ou action mécanique extérieure) menant à l'équilibre statique d'un mécanisme, d'un ouvrage ou d'une structure - Déterminer les grandeurs géométriques et cinématiques d'un mécanisme - Déterminer la grandeur flux (vitesse linéaire ou angulaire) lorsque les actions mécaniques sont imposées - Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé - Quantifier les performances d'un objet réel ou imaginé en résolvant les équations qui décrivent le fonctionnement théorique
	Activation	Points	MR1	MR21	MR22	MR23	MR3
Q1	Q1.1	1,5					
Q2	Q1.2	1					
Q3	Q1.3	2	1				
Q4	Q1.4	1,5					1
Q5	Q1.5	1				1	
Q6	Q1.6	2					1
Q7	Q1.7	1,5					
Q8	Q1.8	1,5					
Q9	Q1.9	2				1	
Q10	Q1.10	1				1	
Q11	Q1.11	2				1	1
Q12	Q1.12	2				1	1
Q13	Q1.13	1					
Q14	Q1.14	1					
Q15	Q1.15	1,5					
Q16	Q1.16	3			1		
Q17	Q1.17	1					
Q18	Q1.18	1,5					
Q19							
Q20							
Q21							
Q22							
Q23							
Q24							
Q25							
Q26							
Q27							
Q28							
Q29							
Q30							
		28	1	0	1	5	4

Matrice - patrie 3

Compétence attendue		Proposer un protocole expérimental permettant de quantifier les performances de tout ou partie d'un objet matériel	Proposer une simulation numérique permettant de quantifier les performances de tout ou partie d'un jumeau numérique	Mettre en oeuvre un protocole afin de valider les échanges d'informations entre objets à travers un réseau de communication	Simuler le fonctionnement d'un produit à l'aide d'un modèle numérique en vue d'en caractériser les performances	Rechercher, traiter et organiser des informations	Choisir et produire un support de communication via un média adapté
Compétences développées		- Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure - Identifier les erreurs de mesure - Proposer et justifier un protocole expérimental - Instrumenter tout ou partie d'un produit en vue de mesurer les performances	- Proposer et justifier un protocole expérimental - Instrumenter tout ou partie d'un produit en vue de mesurer les performances	- Mettre en oeuvre une communication entre objets dits intelligents - Relever les grandeurs caractéristiques d'un protocole de communication	- Modifier les paramètres influents et le programme de commande en vue d'optimiser les performances du produit - Valider un modèle numérique de l'objet simulé	- Rendre compte de résultats - Collecter et extraire des données - Comparer, traiter, organiser et synthétiser les informations pertinentes	- Présenter un protocole, une démarche, une solution en réponse à un besoin - Présenter et formaliser une idée - Documenter un programme informatique - Adapter sa communication au public visé et sélectionner les informations à transmettre - Scénariser un document suivant le public visé
Activation	Points	ES1	ES2	ES3	ES4	C1	C2
Q1.1	1,5						
Q1.2	1						
Q1.3	2						
Q1.4	1,5						
Q1.5	1						
Q1.6	2						
Q1.7	1,5						
Q1.8	1,5					1	
Q1.9	2						
Q1.10	1						
Q1.11	2						
Q1.12	2						
Q1.13	1					1	
Q1.14	1						
Q1.15	1,5						
Q1.16	3						
Q1.17	1			1			
Q1.18	1,5					1	
	28	**0**	**0**	**1**	**0**	**3**	**0**

Le candidat qui conserve les unités dans les applications numériques ne peut en être pénalisé.

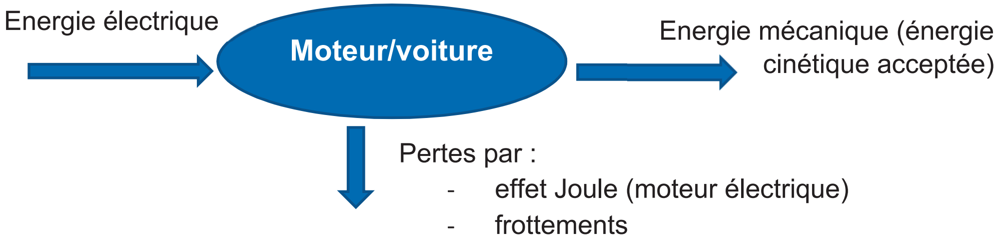
Exercice A – Accélération d'une voiture électrique			**10 points**
Question	Capacité exigible du programme	Éléments de réponse	Barème
1	Référentiel galiléen	Le référentiel utilisé pour réaliser les mesures est le référentiel terrestre, considéré comme galiléen (cette référence au caractère galiléen ne sera pas discriminante dans l'attribution des points alloués à cette question).	0,5
2	Mouvement rectiligne uniformément accéléré	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ $a = \frac{100\ \mathrm{km/h}}{8{,}3\ \mathrm{s}} = \frac{27{,}8\ \mathrm{m/s}}{8{,}3\ \mathrm{s}} = 3{,}3\ \mathrm{m.s^{-2}}$ Une accélération donnée en km/h/s est acceptée.	1,5
3	Mouvement rectiligne uniformément accéléré Analyse d'un graphique		2

<table>
<tr><td></td><td></td><td>Remarque : Une tolérance importante sera admise pour le tracé de la droite moyenne, les points étant très peu alignés l’incertitude sur la pente est très forte.
Proposition : ajouter le graphe à l’annexe pour voir la construction. On peut alors noter :
- La cohérence entre la position de la droite et des points
- La cohérence entre la droite tracée et les valeurs relevées pour le calcul
La droite passe par le point (6 s ; 80 km/h) [et par le point (1,6s ; 20 km/h)]. On peut donc calculer l’accélération :
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{80\ \mathrm{km/h}}{6\ \mathrm{s}} = \frac{22{,}2\ \mathrm{m/s}}{6\ \mathrm{s}} = 3{,}7\ \mathrm{m.s^{-2}}$$
Une accélération donnée en km/h/s est acceptée.

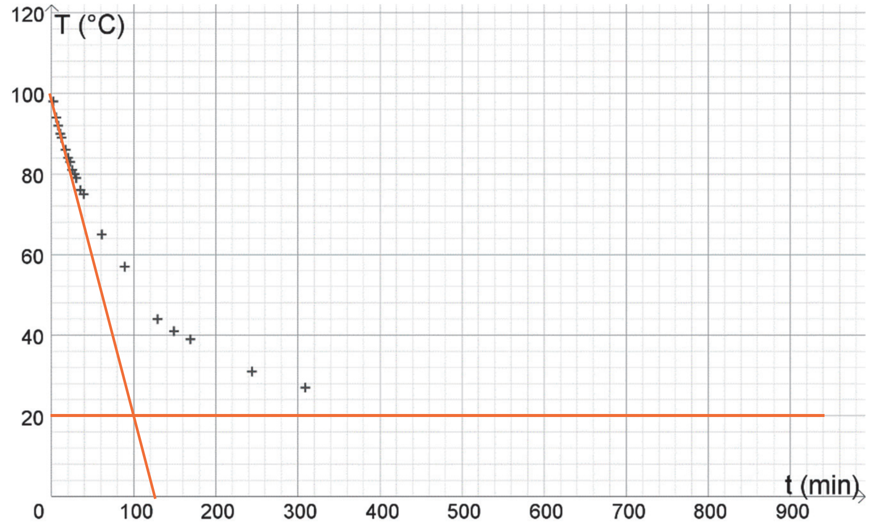
L’accélération obtenue par le test est d’environ 10 % inférieure à celle déterminée graphiquement. L’incertitude sur le tracé de la droite peut expliquer cette différence</td><td></td></tr>
<tr><td>4.</td><td>Etablir et exploiter les équations horaires du mouvement.

Capacité mathématique : dériver / trouver des primitives</td><td>Pour la suite des calculs on utilise l’accélération déterminée graphiquement.
• On a $a = \frac{dv}{dt}$, on peut donc trouver $v(t)$ en trouvant une primitive de a :
$$v(t) = a \times t + k$$
Avec k une constante. Sachant que $v(t=0) = 0 = k$, on a
$$v(t) = at$$
• On a $v = \frac{dx}{dt}$, on procède de la même manière :
$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + k'$$
Avec k' une constante. Si on prend la position initiale comme origine, on obtient
$$x(t) = \frac{1}{2}at^2$$
• Le test dure t_t = 9,0 s d’après la courbe (la durée 8,3 s serait acceptée aussi). La distance d parcourue lors du test est donc
$$d = x(t_t) = \frac{1}{2} \times 3{,}5\ \mathrm{m.s^{-2}} \times (9{,}0\ \mathrm{s})^2$$
$$d = 1{,}4 \cdot 10^2\ \mathrm{m}$$</td><td>3</td></tr>
</table>

		Dans un usage quotidien, il est hautement improbable de passer de 0 à 100 km/h en 140 m.	
5	Exploiter les équations horaires du mouvement.	A la moitié du test, le temps vaut $t' = \frac{t_t}{2}$, on a donc : • La distance parcourue d' : $d' = \frac{1}{2}at'^2 = \frac{1}{2}a\left(\frac{t_t}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}at_t^2 \times \frac{1}{4} = \frac{d(t_t)}{4}$ La distance est divisée par quatre. • La vitesse atteinte v' : $v' = v(t') = a \times t' = a \times \frac{t_t}{2} = \frac{v(t_t)}{2}$ La vitesse est divisée par deux.	1
6	Deuxième loi de Newton	On utilise ici la seconde loi de Newton (projection sur l'axe horizontal) : $\sum F_{ext} = m \times a = (1{,}6.10^3) \times 3{,}3 \cong 5{,}3.10^3\ \mathrm{N}$ Une vigilance sera attendue sur le nombre de chiffres significatifs donnés. (Une tolérance de 3 c.s. au lieu de 2 c.s. pourra être accordée)	1
7	Exploiter le théorème de l'énergie cinétique Bilan d'énergie	La variation d'énergie cinétique a pour expression : $\Delta E_C = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}mv_f^2$ (la voiture possède une vitesse initiale nulle – départ arrêté) AN : $\Delta E_C = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2} \times (1{,}6.10^3) \times \left(\frac{100}{3{,}6}\right)^2 = 6{,}2.10^5\ \mathrm{J}$ Toute proposition faisant apparaître des conversions énergétiques cohérentes sera acceptée.	1

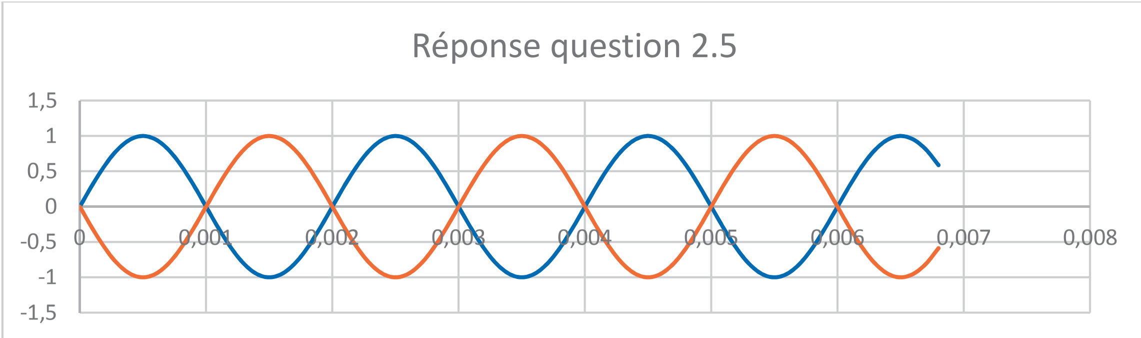
			

Exercice B – Préparer un thé			**10 points**
Question	Capacité exigible du programme	Éléments de réponse	Barème
1.	Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie.	Entre les instants t et $t + \Delta t$, l'application du premier principe donne : $\Delta U = \phi \Delta t$ $C\Delta T = hS\big(T_0 - T(t)\big)\,\Delta t$	2
2.	Établir l'expression de la température du système en fonction du temps.	Passage à la limite : Δt tend vers 0. $C\,dT = hS\big(T_0 - T(t)\big)\,dt$ $\frac{dT}{dt} = \frac{hS}{C}\big(T_0 - T(t)\big)$ On pose : $a = \frac{hS}{C}$ On obtient bien $\frac{dT}{dt} = a\big(T_0 - T(t)\big)$	2

3.	Modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.	Lorsque le système se refroidit, l'écart de température $\lvert T_0 - T(t) \rvert$ diminue en valeur absolue. Et la pente $\frac{dT}{dt}$ diminue en valeur absolue également. Cela correspond bien à ce qu'on observe sur la courbe.	1
4.	Exploiter un graphique	 La tangente à la courbe à l'origine intercepte l'asymptote $T = T_0$ à la date : $\tau = 100 \text{ min}$	1
5.	Identifier les paramètres influençant l'évolution de la température dans le temps.	a. FAUX. En effet si la quantité d'eau est moins importante, alors la capacité thermique du système est plus faible et la durée caractéristique est plus petite. b. FAUX. En effet la durée caractéristique ne changera pas. Elle ne dépend que de la capacité thermique du système, du coefficient d'échange convectif et de la surface de ces échanges. c. VRAI. En effet, si le milieu extérieur est fortement ventilé, alors h sera plus grand et donc $\tau = \frac{C}{hS}$ sera plus petit.	3
6.	Exploiter un graphique	Les premières minutes de la relaxation, on peut considérer que la température suit une loi affine. $$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T_0 - T_i}{\tau} = \frac{20°\text{C} - 100°\text{C}}{100 \text{ min}} = -0{,}80\ ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$$	1

		Pour que la température chute de 10°C, une durée : $$\Delta t = \frac{-10\ ^oC}{-0{,}80\ ^o\mathrm{C}\cdot\mathrm{min}^{-1}} = 13\ \mathrm{min}$$ Ou par lecture graphique simplement : on cherche la durée nécessaire pour atteindre T = 90°C. On trouve 10 min.	

Exercice C – De la musique dans le calme			10 points
Questions	**Eléments du programme**	**Eléments de correction**	**Barème**
1.	Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption	Le guitariste peut s'éloigner de la source (le haut-parleur) : atténuation géométrique. Il peut aussi absorber le son avec un écran entre lui et le HP (plus raisonnablement : mettre des bouchons d'oreille) : atténuation par absorption.	1
2.	Utiliser la fonction logarithme décimal et sa réciproque	On a $L = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$ $10^{\frac{L}{10}} = \frac{I_1}{I_0}$ $I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$ Application numérique : $I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W.m^{-2}} \times 10^{\frac{85}{10}} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{W.m^{-2}}$	1,5
3.	Utiliser la fonction logarithme décimal et sa réciproque	La puissance du haut-parleur étant constante, on peut écrire : $$P = I_1 \times S_1 = I_2 \times S_2$$ Avec S = 4πd² et $I = I_0 \times 10^{L/10}$ On cherche la distance d_2 pour avoir $L_2 = 75\ dB$: En remplaçant les grandeurs de la première égalité par leurs expressions, on obtient :	2

		$I_0 \times 10^{L1/10} \times 4\pi d_1^2 = I_0 \times 10^{L2/10} \times 4\pi d_2^2$ En simplifiant : $10^{L1/10} \times d_1^2 = 10^{L2/10} \times d_2^2$ Donc $d_2 = \sqrt{\frac{10^{L1/10} \times d_1^2}{10^{L2/10}}} = \sqrt{\frac{10^{85/10} \times 1^2}{10^{75/10}}} = \sqrt{10} = 3{,}2\ \mathrm{m}$	
4.	RÉALISER : effectuer des calculs	Sur l'annexe, on mesure 3T = 0,003 s donc f = $\frac{3}{0{,}003}$ = 1000 Hz ($1{,}0.10^3$ Hz) La fréquence du son est comprise entre 20 et 20000 Hz : il est audible par l'homme.	1,5
5.	Interférences destructives	 On attend la courbe en orange : pour atténuer complètement le son, il faut des interférences destructives, donc des signaux en opposition de phase, et de même amplitude.	1
6.	Établir les conditions d'interférences constructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.	On peut définir la différence de marche δ comme la différence entre la distance parcourue par le son du HP1 vers la personne, et celle parcourue par le son du HP2 vers la personne. Ces sons de même fréquence vont interférer. Comme les HP émettent en phase, les interférences seront constructives si δ = k × λ avec λ la longueur d'onde des ondes sonores émises. Si la personne est à égale distance des HP, on a bien δ = k × λ avec k = 0 : les interférences seront constructives, l'amplitude du son entendu sera maximale.	1

7.	Établir les conditions d'interférences destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.	Pour avoir des interférences destructives, il faut $\delta = (k+1/2) \times \lambda$. On cherche la distance minimale à parcourir pour avoir ces interférences destructives, donc $k = 0$: on a $\delta = \lambda/2$. Calcul de λ : $\lambda = v/f = 340/1000 = 34$ cm Il faut donc $\delta = \lambda/2 = 17$ cm Le musicien étant initialement à égale distance de S1 et S2, il doit se déplacer de 8,5 cm vers l'un des haut-parleurs pour créer une différence de marche de 17 cm, ce qui lui permettra d'entendre un son très atténué (inaudible si les haut-parleurs émettent la même intensité).	2