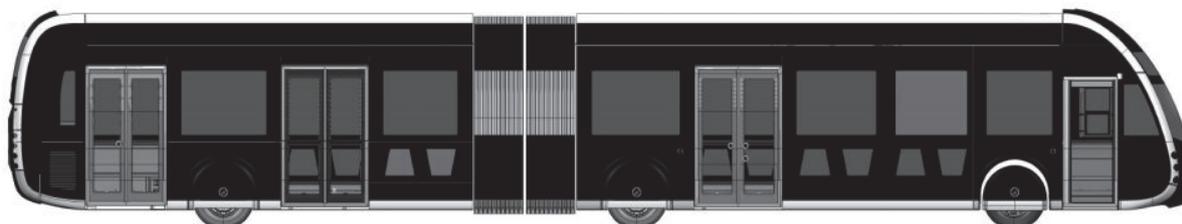


Partie 1-Science de l'ingénieur

BUS NEMO



Constitution du sujet

- sujet pages 3 à 14
- documents-réponses pages 15 à 16

**La sous-partie 1 est à traiter obligatoirement par tous les candidats.
Les candidats devront choisir de traiter seulement l'une des 2 sous-parties suivantes :**

- la sous-partie 2 (choix 1), pages 9 à 11
- la sous-partie 3 (choix 2), pages 12 à 14

Les documents-réponses DR1 à DR4 (pages 15 à 16) sont à rendre avec la copie.

Partie 1- Sciences de l'ingénieur

Mise en situation

Baptisés NEMO en l'honneur de Jules Verne, illustre habitant d'Amiens, les nouveaux bus connecteront efficacement le centre-ville, les pôles d'emploi, les lieux de loisirs et les grands équipements métropolitains.

Ces bus circuleront de 5 h du matin à 1 h le soir avec une fréquence de 8 à 10 minutes.

Les 43 bus électriques représentent la plus importante acquisition de matériel de ce type en Europe. N'émettant aucun polluant atmosphérique et permettant de réduire le bruit et les vibrations, NEMO améliorera la qualité de vie des voyageurs et des riverains.

Les nouveaux véhicules, fournis par la société Irizar (de modèle ie-tram), confortables et esthétiques, offriront de nouvelles possibilités aux usagers.

Par ailleurs, les services innovants en station feront de ce « Bus à Haut Niveau de Service » (BHNS) une vitrine des ambitions d'Amiens, en matière de transports en commun, de développement durable et culturel.

L'objectif de l'étude est de valider la faisabilité de la création d'une ligne de bus électrique qui respecte les ouvrages existants et protège les usagers et habitants d'Amiens.

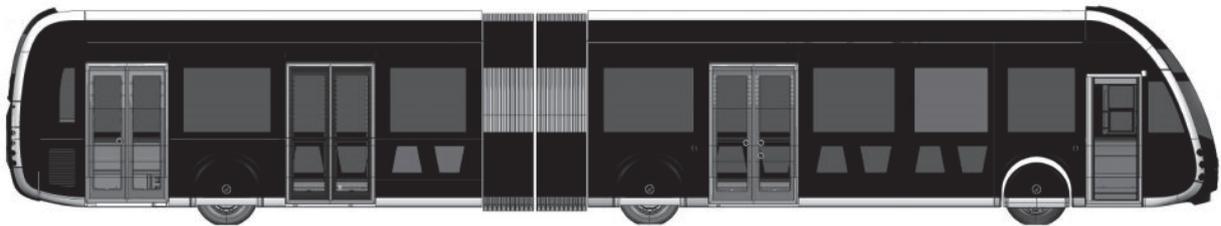


Figure 1 : bus NEMO du fabricant Irizar de 18 mètres de long



Figure 2 : bus NEMO avec le pantographe déployé

Distribution et données techniques Irizar ie tram 18m

Dimensions	
Longueur (essieux)	18.730 mm (3 essieux)
Hauteur maximale	3.400 mm
Largeur	2.550 mm
Empattement 1	5.980 mm
Empattement 2	6.540 mm
Porte-à-faux (avant arrière)	2.805 mm / 3.405 mm
Hauteur intérieur	2.400 mm
Hauteur du sol	350 mm
Angle attaque	7,5°
Angle de sortie	7,5°
Hauteur marche :	
• Porte 1, 2 et 3	250 mm (320 mm sans agenouillement)
• Portes 4, 5	270 mm (340 mm sans agenouillement)
Largeur portes ie tram :	
• Porte 1	800 mm
• Portes 2, 3 et 5	1.200 mm
• Porte 4	1.000 mm
Propulsion	
Fabricant	Irizar Group
Type	Synchrone
Puissance nominale	235 kW
Couple nominal	2.300 Nm
Capacité de traction y compris avec des pentes maximales de 18%	
Système de stockage d'énergie*	
Technologie des batteries :	Lithium ion
Charge lente :	
• Énergie installée	525 kWh
• Puissance de charge	150 kW
• Temps de charge	4 h
Charge rapide :	
• Énergie installée	150 kWh
• Puissance de charge	650 kW
• Temps de charge	5 minutes (pantographe)
Système de climatisation	
Conducteur - Système de climatisation Hispacold zéro émission	(froid : 3,5 kW, chaleur : 13 kW)
Passagers - Système de climatisation Hispacold zéro émission	(froid : 49 kW, chaleur : 55 kW)
Zone passagers et accessibilité	
Nombre maximal de passagers**	155
Low - floor	
Une ou deux zones fauteuils roulants/poussettes	
Quatre sièges PMR	
Jusqu'à huit portes disponibles (simples ou doubles)	
Rampe électrique pour personnes à mobilité réduite	
Possibilité de monter des sièges cantilever dans la zone avant et après l'articulation	
Sécurité et Règlement	
Zone conducteur selon ISO16121, VDV234 et EBSF	
Creepage function : aide à la sortie	
Hillholder function : maintient le bus arrêté lorsqu'il est en pente pendant quelques secondes pour éviter qu'il ne se déplace en arrière	
Compatibilité électromagnétique norme 10R	
EcoAssist : aide à la conduite efficace	
Eco-mode : gestion intelligente du climat une fois le véhicule éteint	
Poids	
Poids maximum en charge	30.500 Kg
Poids maximum avant	16.000 Kg
Poids maximum arrière	14.000 Kg
Autres	
Structure latérale et toit en aluminium	
Grillage / sol : Acier inoxydable	
Partie frontale divisée en cinq parties pour un échange simple et économique des peaux extérieures	
Isolation acoustique du toit et des côtés	
Diamètre de rotation	23.700 mm
Éclairage LED intérieur et extérieur	
Vitres simples	
Matériaux anti-graffiti	



	A	B
Nbre de portes	4	4
Zone fauteuil roulant	3	2
Nbre de sièges	32	39
Nbre de personnes debout*	119	116

Figure 4 : spécifications techniques du BUS NEMO 18 m

Sous-partie 1

À traiter obligatoirement

L'objectif de cette sous-partie est de valider le critère de l'exigence 1.2.1 « Assurer un niveau d'énergie suffisant dans les batteries ».

Une charge lente de la batterie principale de 4 heures est organisée en dépôt durant la nuit et repose sur des chargeurs externes. Des charges rapides de la batterie additionnelle sont assurées en 5 minutes à chaque terminus grâce à un système de pantographe.

L'autonomie du bus NEMO annoncée par le constructeur est de 60 km. Cette autonomie est évaluée sur un cycle normalisé *NORME EURO 4 Cycle ECE 47 ; Réglementation 168/2013/UE*.

Question 1.1 À l'aide de la présentation du bus NEMO et des figures 3 et 4, **citer** les caractéristiques des différents types de charges : lieu, moment, durée et moyen utilisé.

Question 1.2 À partir de la figure 4, **calculer** en Wh l'énergie électrique maximale que le bus peut stocker dans ses batteries.

Dans la suite de l'étude, toutes les pertes dues au milieu extérieur sont négligées.

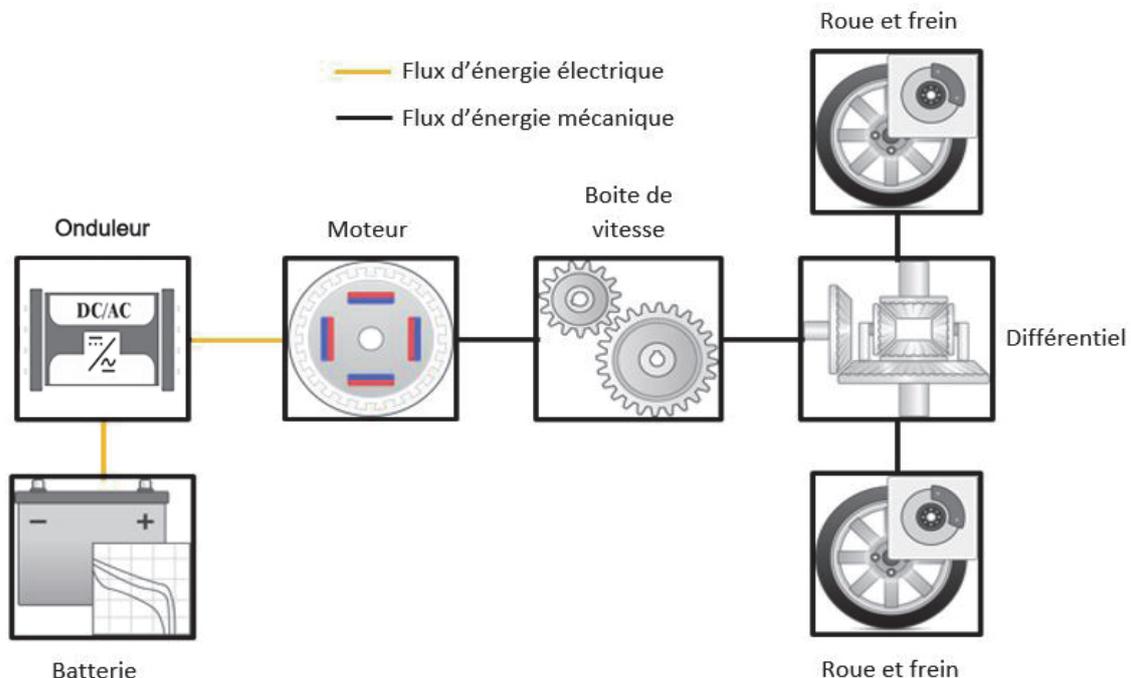


Figure 5 : schéma fonctionnel du bus (issu du modèle autoblkEvStart de Matlab)

Énergie entrante	Convertisseur	Énergie sortante	Rendement
Mécanique	Boîte de vitesse	Mécanique	95 %
	Différentiel		98 %
	Alternateur	Électrique	95%
	Dynamo		90%
Chimique	Batterie nickel-hydrure de métal (NiMH)	Électrique	85 %
	Batterie lithium ion		90 %
	Batterie plomb		70 %
Thermique	Moteur à explosion (essence)	Mécanique	35 %
	Moteur à explosion (Diesel)		40 %
Électrique	Machine asynchrone	Mécanique	85 %
	Machine synchrone		90 %
	Machine à courant continu		85 %
	Onduleur DC/AC	Électrique	98 %

Figure 6 : rendements de constituants de chaîne de puissance

Question 1.3 À l'aide des figures 4, 5 et 6, sur le document réponse DR1, **compléter**
DR1 la chaîne de puissance du bus, en indiquant les éléments qui remplissent chaque fonction, les grandeurs d'efforts, de flux et les différents rendements correspondants.

Question 1.4 À partir de la puissance nominale du moteur donnée en figure 4, **calculer**
la puissance électrique fournie par la batterie en régime nominal.

Le tracé sur le document réponse DR2 représente la vitesse du bus NEMO en fonction du temps sur un trajet type de 850 m.

Question 1.5 Dans le tableau du document réponse DR2, **identifier** les différentes
DR2 phases du mouvement du trajet type.

Question 1.6 Dans le tableau du document réponse DR2, pour chaque phase,
DR2 **compléter** la colonne « Puissance » en calculant la puissance consommée par le moteur de propulsion pour chaque phase et **en déduire** l'énergie consommée par le moteur pour ce trajet de 850 m.

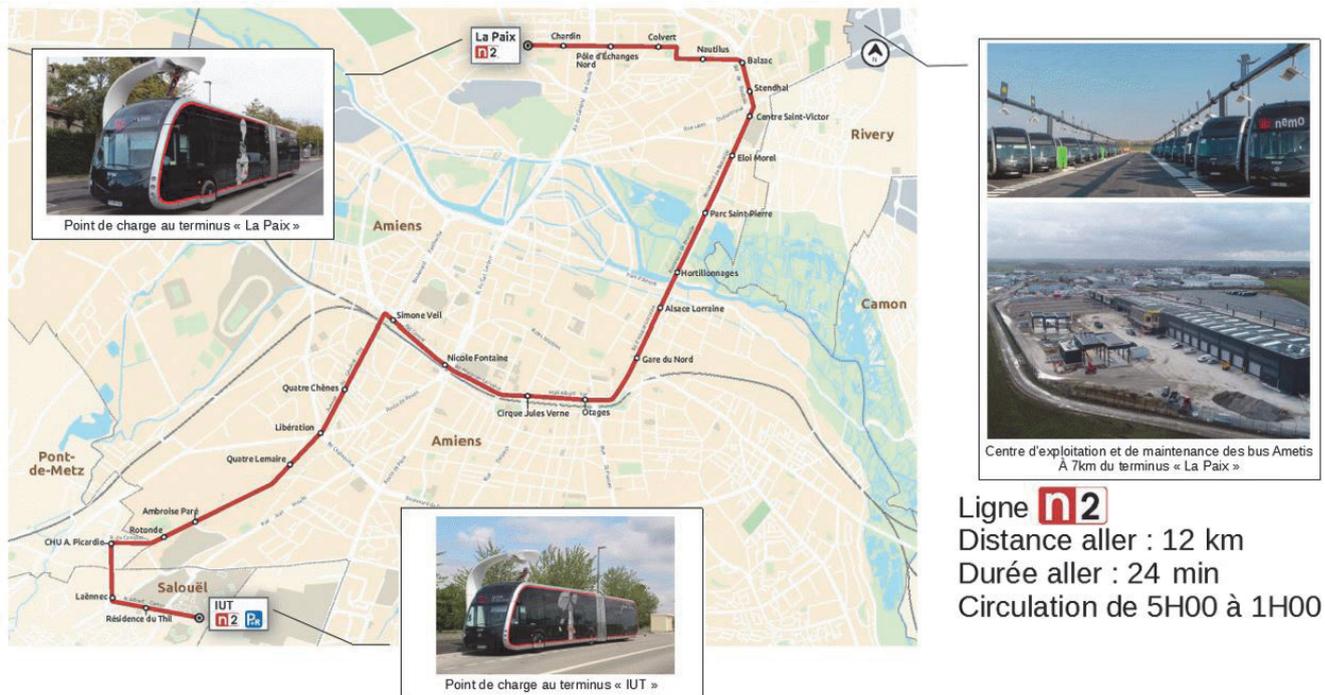


Figure 7 : trajet de la ligne N2

Les hypothèses de l'étude sont :

- les équipements internes du bus consomment une puissance constante $P_{\text{équipements}} = 65 \text{ kW}$ sur l'ensemble du trajet ;
- le trajet complet est composé de tronçons successifs de 850 m et d'une durée de 100s identiques au trajet type ;
- sur la ligne N2, un aller de « la Paix » au terminus « IUT » dure 24 min.

Question 1.7 **Calculer** l'énergie consommée pour le trajet complet de la ligne N2.

Chaque matin, le bus part avec les batteries chargées à 100 %.

Durant la journée, le bus NEMO effectue 20 trajets aller/retour soit 39 charges rapides aux terminus et une charge lente en fin de journée.

Comme précisé figure 4, chaque charge rapide dure 5 minutes avec une puissance de 650 kW.

Question 1.8 **Déterminer** l'énergie restante dans les batteries en fin de journée avant la charge lente.

Valider les solutions choisies pour le critère 1.2 du diagramme des exigences figure 3 « Assurer une autonomie en énergie ».

Sous-Partie 2

Choix 1

L'objectif de cette sous-partie est de valider la possibilité de franchir un pont ferroviaire sans risque conformément au critère de l'exigence 1.3.3.

Les bus NEMO doivent traverser le pont ferroviaire de la commune de Longueau, celui-ci ayant une limite de charge de 13 tonnes par essieu.

Nous allons vérifier s'il est possible de le franchir sans danger pour la structure et ainsi d'assurer la sécurité des passagers.



Figure 8 : pont ferroviaire de Longueau

Le schéma figure 9 représente le bus NEMO avec les positions des différents essieux A, B et C, des centres de gravité P1 pour la partie avant et P2 pour la partie arrière et de la rotule d'articulation R.

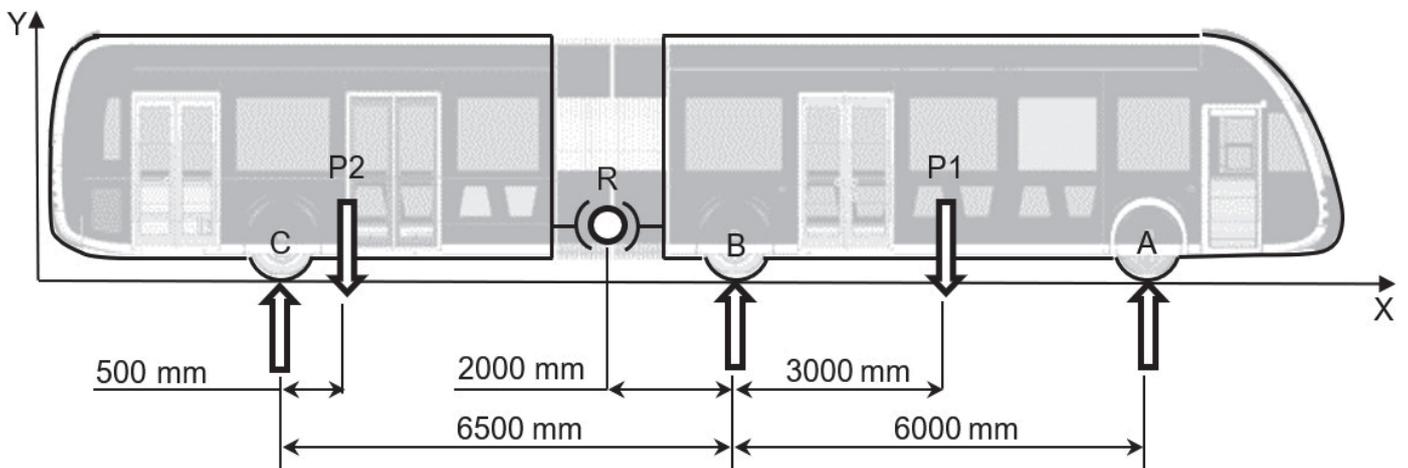


Figure 9 : Schéma statique de répartition des charges

Hypothèses :

- les solides sont supposés indéformables et géométriquement parfaits ;
- la liaison rotule R est supposée bloquée, les deux parties articulées du bus sont donc supposées former une seule classe d'équivalence rigide ;
- le sol est supposé parfaitement plat et suivant l'axe X.

Données :

- le poids total en charge est réparti entre l'avant et l'arrière, on note $M1 = 16\ 000\ \text{kg}$ pour l'avant et $M2 = 14\ 000\ \text{kg}$ pour l'arrière ;
- $\vec{A}_{(\text{sol}/\text{bus})}$, $\vec{B}_{(\text{sol}/\text{bus})}$, $\vec{C}_{(\text{sol}/\text{bus})}$, $\vec{P1}$, $\vec{P2}$ et $\vec{R}_{(\text{av}/\text{ar})}$ sont respectivement les forces appliquées aux points A, B, C, P1, P2 et R ;
- l'accélération de la pesanteur : $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question 1.9 **Énoncer** le principe fondamental de la statique (PFS), et **en déduire** les deux équations vectorielles issues de l'isolement du bus.

Question 1.10 **Justifier** s'il est possible ou non de résoudre le problème.

On isole la partie arrière du bus NEMO

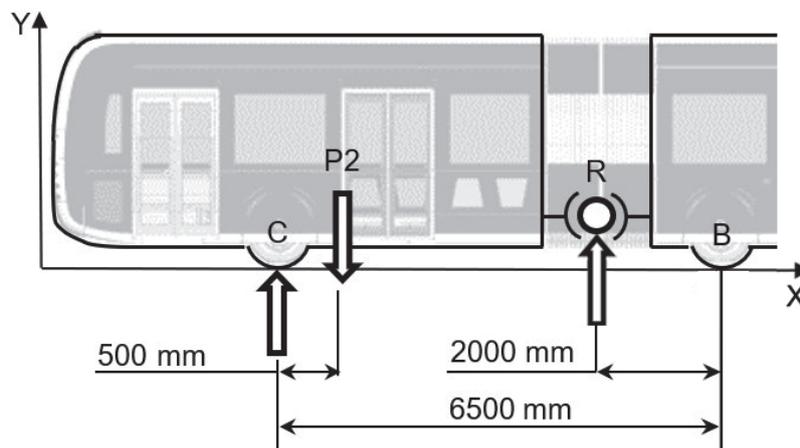


Figure 10 : schéma statique de répartition des charges sur l'arrière

Question 1.11 **Déterminer** par l'application du PFS les deux équations vectorielles exprimées au point R.

En déduire la norme de l'action en C puis la norme de l'action en R.

On isole la partie avant du bus NEMO :

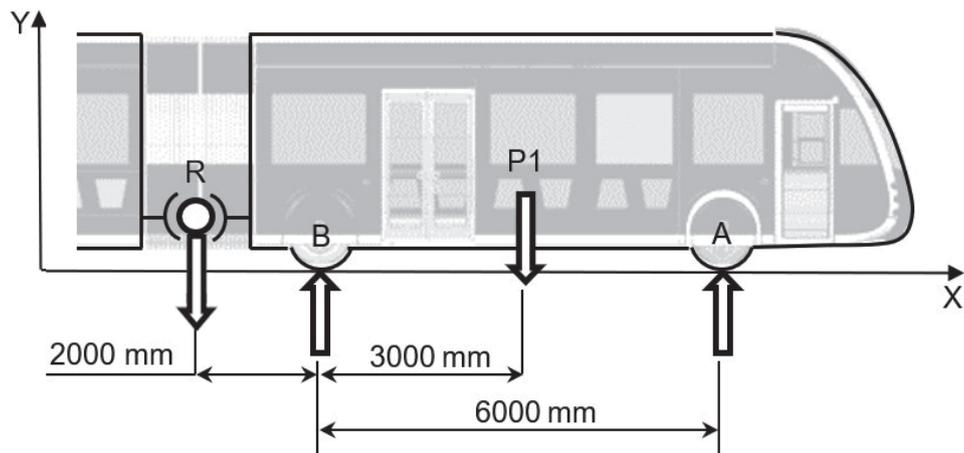


Figure 11 : schéma statique de répartition des charges sur l'avant

Question 1.12 **Déterminer** par l'application du PFS les deux équations vectorielles exprimées au point B.

En déduire la norme de l'action en A puis la norme de l'action en B.

Question 1.13 **En déduire** si le critère 1.3.3 du diagramme des exigences figure 3 est respecté, en fonction du poids supporté par l'essieu le plus chargé.

Conclure sur la possibilité du bus NEMO à traverser le pont.

Sous-partie 3

Choix 2

L'objectif de cette sous-partie est de valider le critère 1.3.1 afin d'assurer la sécurité des piétons traversant les voies de bus.

Par défaut, il est possible d'emprunter à loisir les passages piétons d'une voie réservée au bus, sauf bien sûr, en cas d'approche d'un bus. Cela implique la présence de feux rouges spécifiques « piéton interdit » qui ne s'allument que si un bus va passer et de feux tricolores communicants.



Figure 12 : bus NEMO traversant un carrefour

Question 1.14 DR3 Le bus étant asservi en vitesse, sur le document réponse DR3, **relier** entre elles les fonctions composant la boucle de régulation de vitesse lorsque le chauffeur assigne une vitesse au bus.

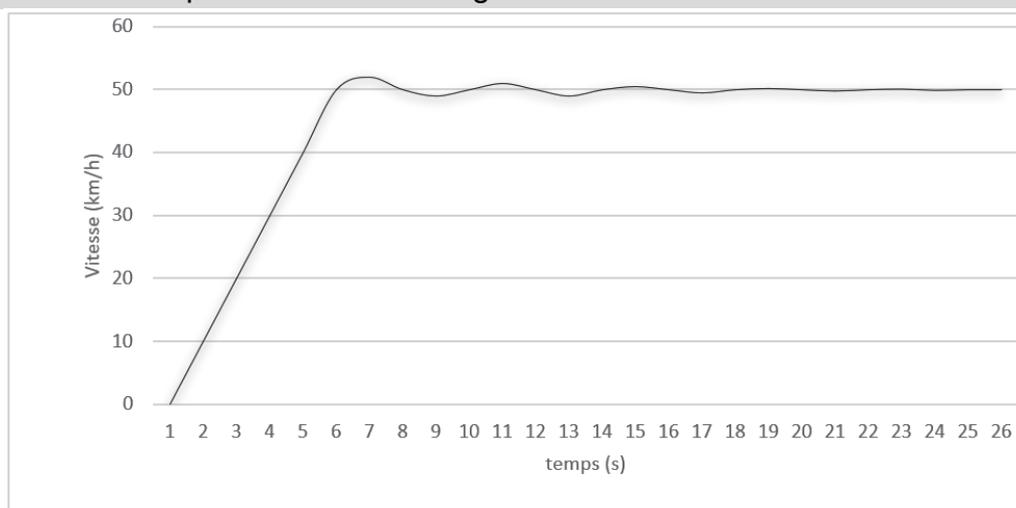


Figure 13 : courbe de régulation de vitesse pour une consigne de $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Question 1.15 À l'aide des résultats issus la simulation figure 13, **estimer** l'erreur statique.

Fonctionnement lors du franchissement d'un carrefour :

Le feu du bus est rouge tant qu'il ne reçoit pas d'information de présence d'un bus à proximité, les feux « piéton interdit » sont éteints et les feux des voitures fonctionnent normalement.

À l'approche d'un carrefour, le bus signale son arrivée au boîtier de contrôle des feux tricolores afin que ceux du bus passent au vert.

Il faut d'abord allumer les feux « piéton interdit » et passer les feux des voitures à l'orange puis au rouge. Les feux du bus peuvent alors passer au vert.

Une fois que le bus a traversé le carrefour, il faut repasser les feux du bus au rouge, éteindre les feux « piéton interdit » et les feux des voitures reprennent automatiquement leur fonctionnement normal.

Le temps de passage du bus dans le carrefour est de 20 secondes.

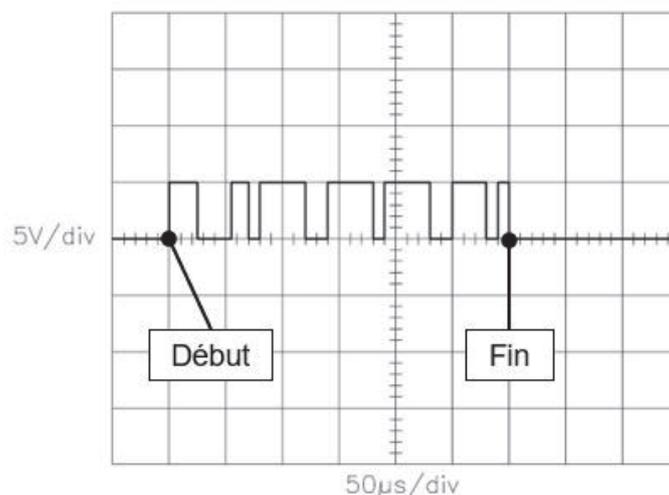
Il faut 2 secondes entre le passage de l'orange au rouge pour les voitures.

Il faut également 2 secondes entre le passage du rouge pour les voitures au vert pour le bus.

Question 1.16 Sur le document réponse DR4, **compléter** l'algorithme du boîtier de contrôle d'informations des feux tricolores pour permettre le passage du bus en sécurité.
DR4
En déduire la durée entre le passage des feux piétons et voitures du vert à l'orange et le passage du feu du bus du rouge au vert

Les informations fournies par le bus sont transmises aux feux par une liaison sans fil d'une portée de 100 m.

L'oscillogramme suivant est une représentation des données utiles envoyées à l'antenne avant transmission.



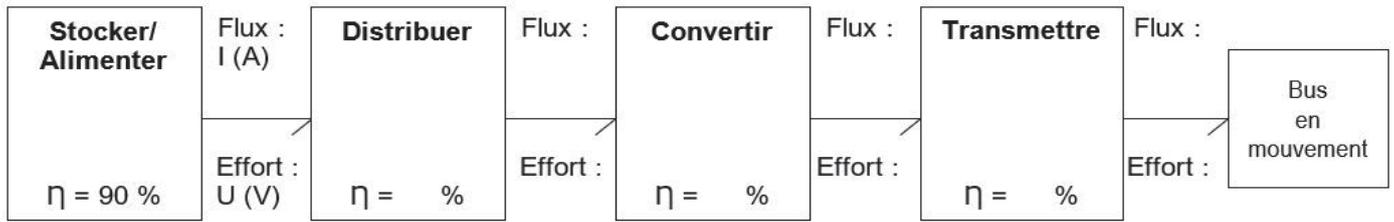
Question 1.17 À partir de la figure 14, **déterminer** le temps nécessaire pour transmettre une trame.

Question 1.18 **Déterminer** le temps total du processus de transmission d'informations et d'application des actions avant le passage du bus au carrefour.

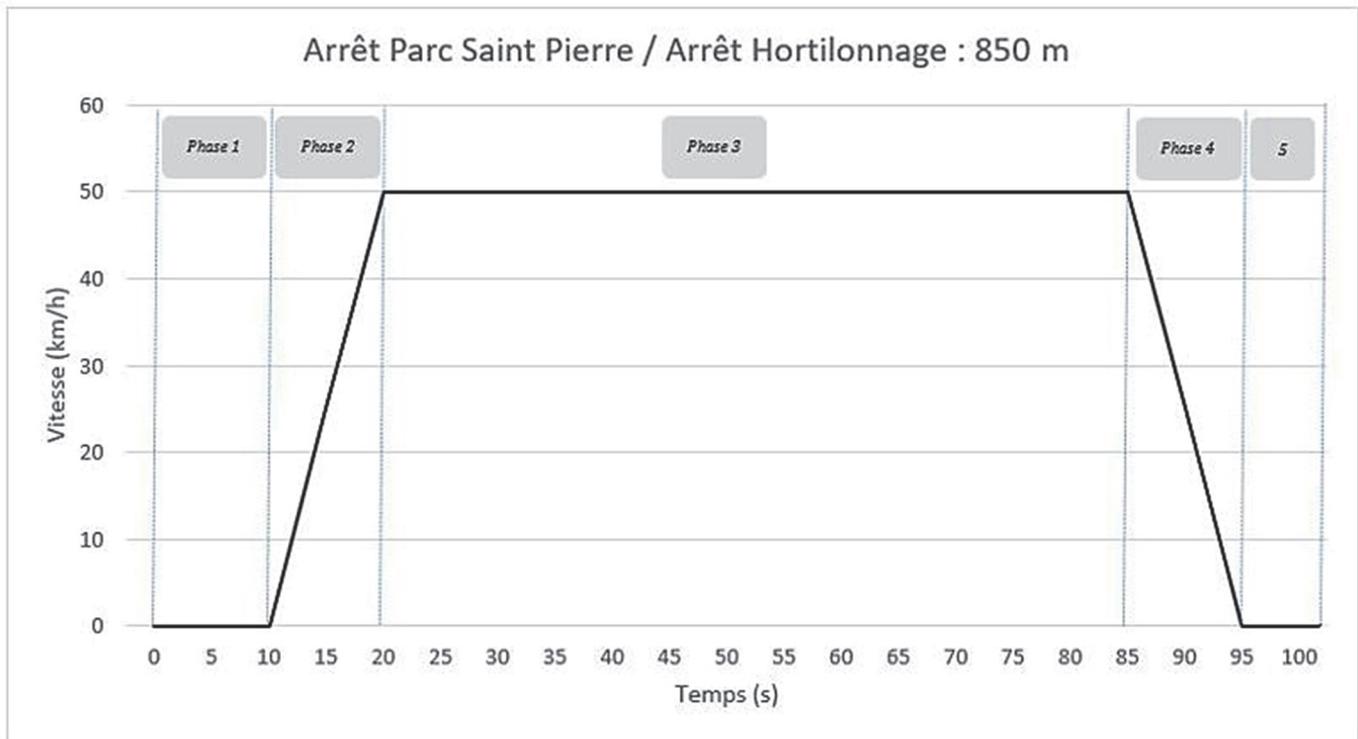
Le bus étant à 100 m du feu piéton à une vitesse de $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ lors de la transmission de la trame,

Conclure quant au respect de l'exigence 1.3.1. du diagramme des exigences figure 3.

Document-réponse DR1

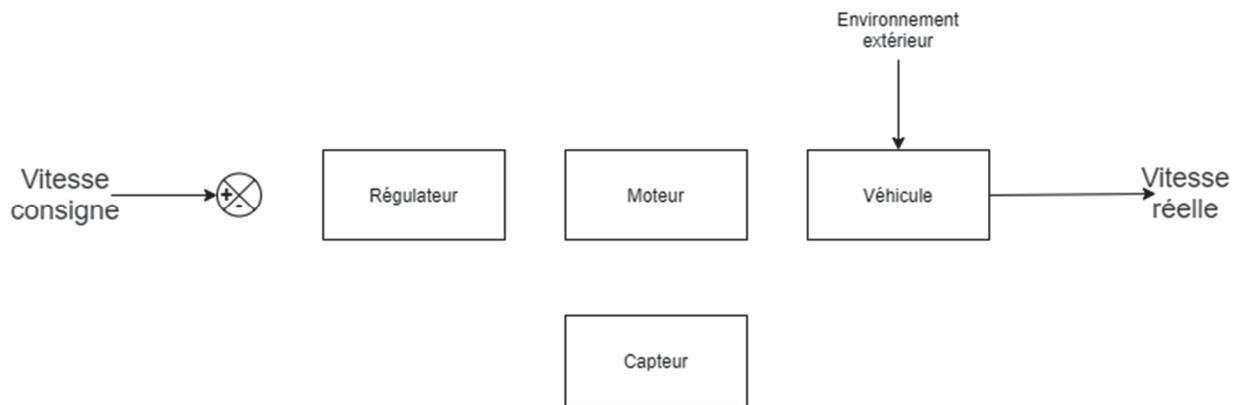


Document-réponse DR2



Numéro de phase	Identification de la phase	% de la puissance nominale installée	Puissance (W)
1		0	
2		80	
3		40	
4		- 30	
5		0	

Document-réponse DR3



Document-réponse DR4

