Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Durée de l'épreuve : **4 heures**
Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**
Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 26 pages numérotées de 1/26 à 26/26.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences Physiques	20 points

Partie 1 : le document réponse DR1 (pages 18)
est à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot du port à sec de Lorient



Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 3 à 17
- Document réponse ..... page 18

Le document réponse DR1 (page 18) est à rendre avec la copie.

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.

Puis, il devra choisir et traiter l'un des deux choix suivants :

- la sous-partie 2 (choix A), questions Q1.13 à Q1.18
- la sous-partie 2 (choix B), questions Q1.19 à Q1.24

Partie 1 - sciences de l'ingénieur

Robot du port à sec de Lorient

Le pays de Lorient en Bretagne sud dispose de nombreux atouts en matière de nautisme avec son bassin de navigation attractif toujours accessible, une concentration de compétences avec de nombreux professionnels reconnus de la filière aussi bien dans le domaine de la voile sportive que de la plaisance.

Pour accompagner le fort développement de la pratique du nautisme sur des bateaux à moteur sur le bassin Lorientais, l'organisme de gestion des ports de Lorient a ouvert en 2014 le premier port à sec couvert et semi automatisé de France sur le site de l'ancienne base de sous-marins construite pendant la seconde guerre mondiale (figure 1).



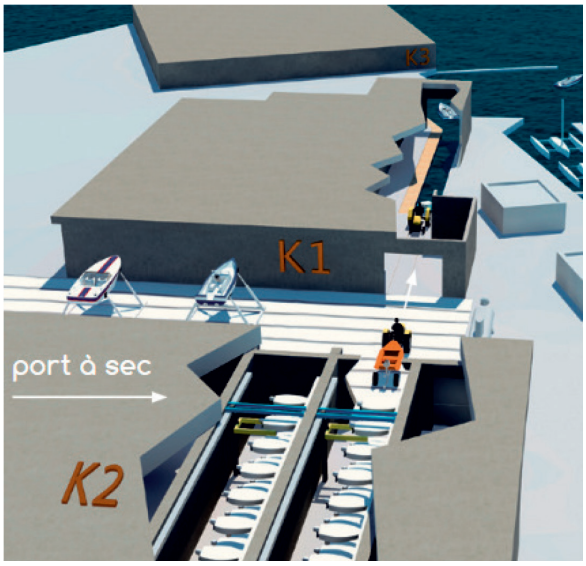


Figure 1 : mise en situation du port à sec.

L'enjeu pour l'agglomération de Lorient était double : donner une nouvelle vie à ces énormes bunkers de béton indestructibles et augmenter la capacité d'accueil des ports de plaisance actuellement saturés.

Pour ce projet, deux alvéoles (figure 2) qui servaient de zones de maintenance pour les sous-marins allemands sont réinvesties.



Figure 2 : entrées alvéoles.

280 bateaux à moteur (longueur maximale de 7,50 m et masse maximale de 2 tonnes) y sont stockés sur 4 niveaux sur des racks.

À l'intérieur de chaque alvéole, la gestion de la mise en place des bateaux sur leurs emplacements de stockage est confiée à un robot, conçu et réalisé par une société Normande ACG (figure 3).

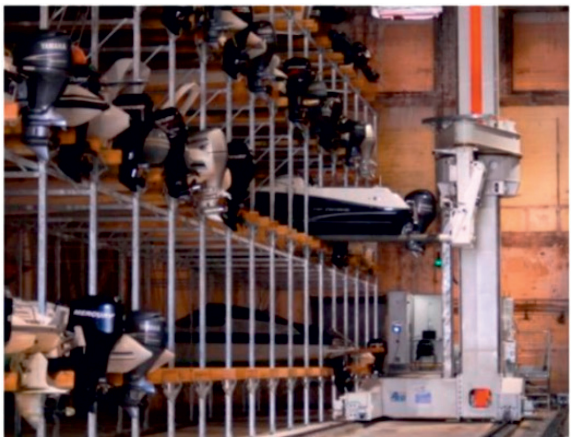


Figure 3 : structure du robot.



Figure 4 : phase de transition.

Les bateaux sont pris en charge ou déposés sur un ber de transition à l'entrée de l'alvéole (figure 4). C'est un opérateur portuaire qui fait transiter le bateau jusqu'aux pontons via une cale de mise à l'eau protégée offrant 120 m de linéaire de ponton qui permet aux bateaux qui sont sortis du port à sec d'être stockés à l'abri.

Sous-partie 1 – obligatoire
Contexte d'utilisation et de communication

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser la nécessité d'utiliser un robot pour la mise en place des bateaux et de vérifier que celui-ci communique de façon adaptée avec son environnement.

Nécessité d'utiliser un robot

Question 1.1	Dans le diagramme des exigences de la figure 5 (ci-après), **identifier** le critère qui justifie l'emploi d'un robot avec une cinématique complexe (mouvements combinés).

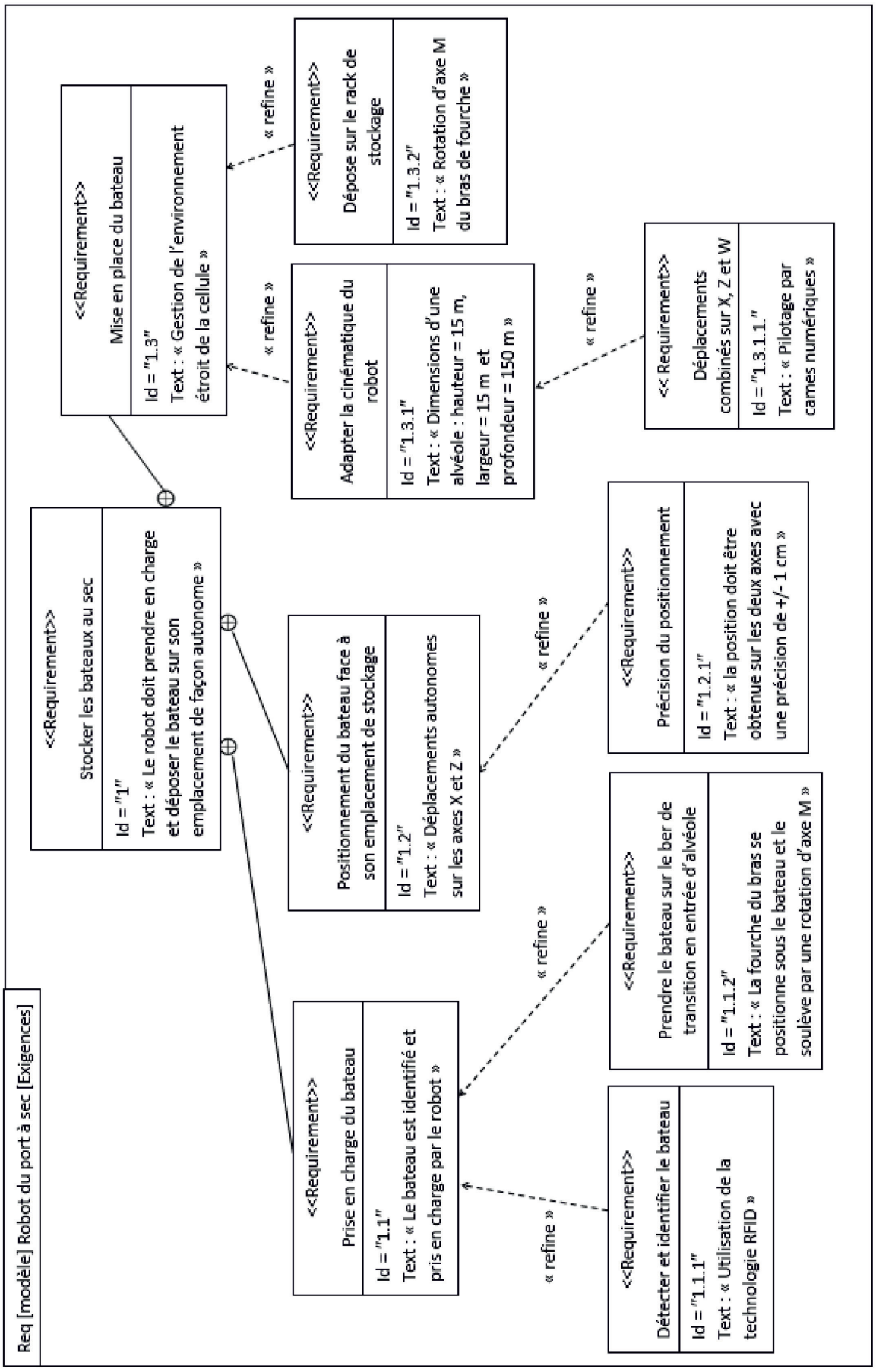
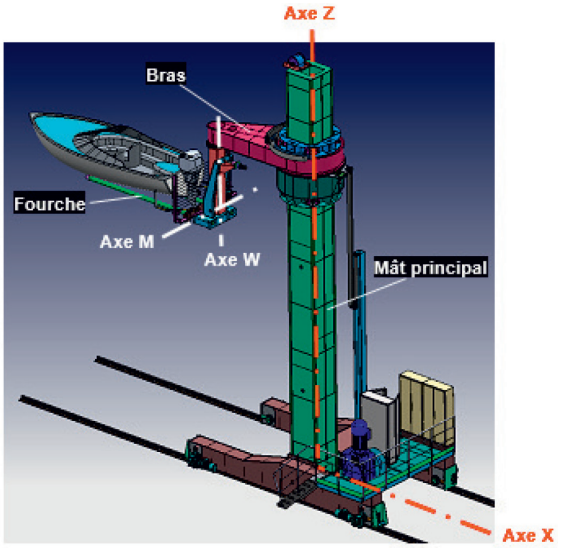


Figure 5 : diagramme des exigences (modélisation fonctionnelle).

La figure 6 détaille les mouvements mis en œuvre par le robot pour préparer la mise à l'eau d'un bateau stocké dans un rack.



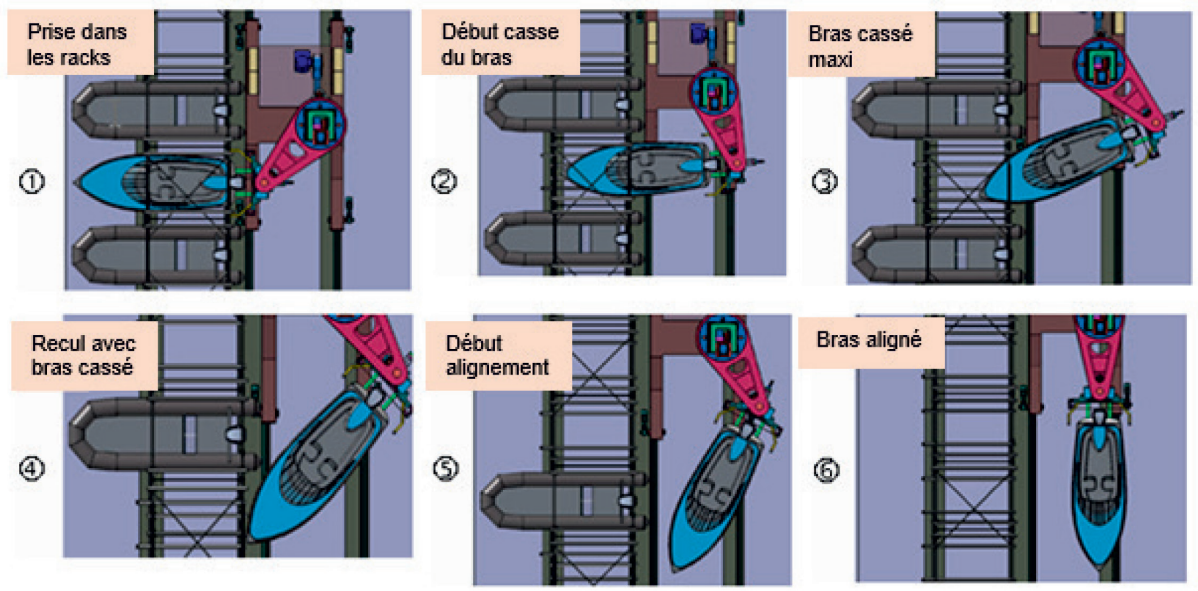


Figure 6 : mouvements pilotés par la came numérique lors d'une prise de bateau.

Question 1.2 À partir de la figure 6 et du diagramme des exigences (figure 5), **nommer** les différents mouvements (translation/rotation en précisant l'axe du mouvement) nécessaires à la pose, ou la dépose, d'un bateau sur son rack.

Question 1.3 **Conclure** en expliquant l'intérêt d'un port à sec et la nécessité de l'utilisation d'un robot dans le cadre particulier du site de Lorient.

Communication entre le bureau du port à sec et les deux alvéoles.

Les alvéoles de la base des sous-marins sont nommées NEF. Deux NEF sont utilisées par le port à sec : NEF 7 et NEF 8.
Le plan d'dressage IP partiel entre le bureau du port et une des deux NEF est illustré figure 7.

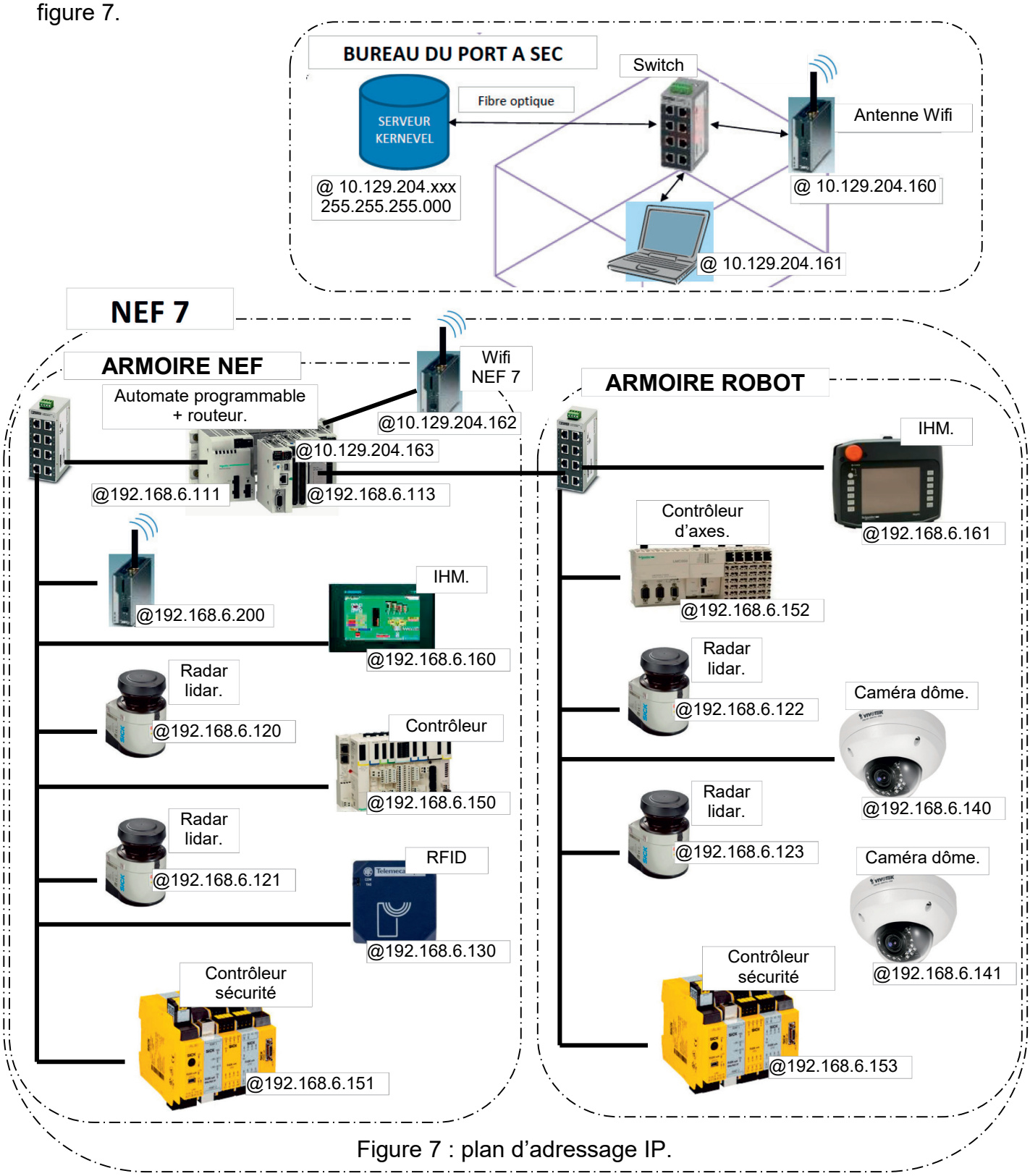


Figure 7 : plan d'adressage IP.

Dans le sous-réseau NEF 7, les trois premiers octets de l'adresse IP constituent l'adresse du réseau (Net ID). Le dernier octet permet d'adresser les hôtes. Il est rappellé que, pour ce type de réseau, deux adresses d'hôtes sont réservées.

Question 1.4 **Vérifier** par le calcul que ce type de réseau est compatible avec le nombre d'équipements de la NEF 7.

Le plan d'adressage de la seconde alvéole, NEF 8, reprend globalement le plan d'adressage de la NEF 7. Seules deux adresses sont à changer.

Question 1.5 **Indiquer** les deux seules adresses IP à changer pour le plan d'adressage de la NEF 8 et **proposer** une solution.

Identification d'un bateau par RFID.

RFID (Radio Frequency IDentification) est une technologie de communication M2M (Machine to Machine). Elle permet, grâce à un lecteur distant émettant des ondes radio, d'identifier chaque bateau sur lequel est disposé un « tag RFID ». Ce tag contient l'immatriculation du bateau qui ensuite, grâce à une base de données, donne les informations utiles au robot pour ses déplacements.

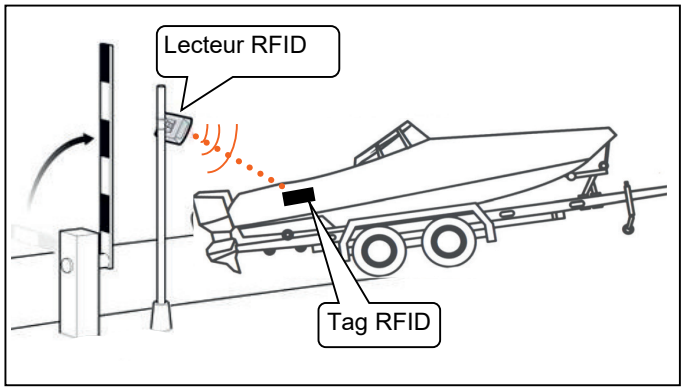


Figure 8 : implantation du lecteur RFID.

La trame complète comporte 10 caractères de données encadrés d'un octet de « start » et d'un octet de « stop ».

Octet start **$0A**	Caract **1**	Caract **2**	Caract **3**	Caract **4**	Caract **5**	Caract **6**	Caract **7**	Caract **8**	Caract **9**	Caract **10**	Octet stop **$0D**

- Les caractères 1 à 8 : immatriculation du bateau codée en hexadécimal.
  (une immatriculation de bateau est composée 8 caractères alphanumériques dont les 2 premiers sont les initiales du quartier d'immatriculation).
- Le caractère 9 : type de bateau (1 pour rigide, 2 pour semi-rigide).
- Le caractère 10 : masse du bateau en dizaines de kg.

La figure 9 représente l'acquisition avec un oscilloscope des 3 premiers octets :

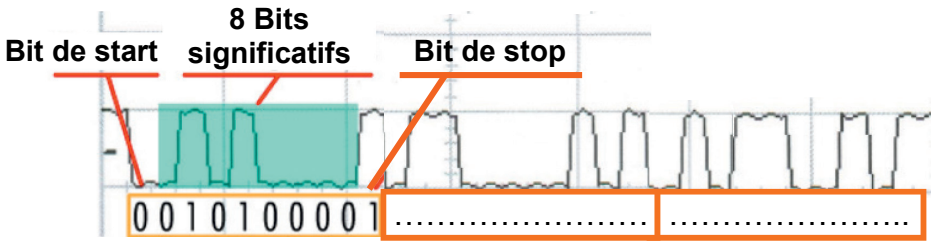


Figure 9 : acquisition des 3 premiers octets.

Pour décoder un octet, les 8 bits significatifs sont extraits (pour l'octet 1 : 0101 0000), puis, comme ici c'est le LSB qui arrive en premier, l'ordre est inversé (pour l'octet , cela donne : 0000 1010) ensuite vient la conversion en hexadécimal (pour l'octet 1 : 0A) et avec la table ASCII, le caractère transmis peut être obtenu (pour l'octet 1 : LF).

Code ASCII

Poids faible de l'octet

Poids fort de l'octet	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	TAB	LF	VT	FF	CR	SO	SI
1	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
2		!	"	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	

Exemple d'utilisation du code ASCII :
un octet de valeur hexadécimale 62 correspond au caractère « b »

Figure 10 : table ASCII.

- BI : Bastia
- BL : Boulogne-sur-Mer
- BR : Brest
- BX : Bordeaux
- CC : Concarneau
- CH : Cherbourg
- CM : Camaret
- CN : Caen
- CY : Cayenne
- DP : Dieppe

Figure 11 : extrait de la table des initiales des quartiers d'immatriculation.

Question 1.6 **Décoder** les octets 2 et 3 de la trame illustrée figure 9. **En déduire,** d'après la figure 11, le quartier d'immatriculation du bateau.

Il existe trois technologies de RFID telles qu'illustrées figure 12.



Tag RFID

Antenne RFID





Basse fréquence (LF)

- fréquence : 125 – 134 kHz
- distance de lecture : contact.
- usage : lecture seule.
- identifiant unique (UID) : de 7 à 14 caractères.

Haute fréquence (HF)

- fréquence : 13.5 MHz
- distance de lecture : 10 cm à 1 m
- usage : lecture et écriture 1 à 4 k.
- identifiant unique (UID) : de 7 à 14 caractères.

Ultra haute fréquence (UHF)

- fréquence : 868 MHz
- distance de lecture : jusqu'à 10 m.
- usage : lecture et écriture (code).
- identifiant unique (EPC) : 9 à 128 caractères.

Figure 12 : les différentes technologies RFID.

Question 1.7 **Choisir** la technologie adaptée pour le robot du port à sec. **Justifier** la réponse.

Le programme de réception de la trame scrute en permanence la liaison série à la recherche de l'octet de début de trame ($0A). Quand il le trouve, il lit et enregistre les

dix octets suivants dans un tableau de données. Puis il vérifie que le 11ème octet lu est bien l'octet de "stop".

Question 1.8 DR1	**Compléter** l'algorithme de réception et de test d'une trame sur le document réponse DR1 (zones à remplir repérées en pointillés). La lecture et la mémorisation des octets doivent être deux instructions distinctes.

Pilotage automatisé du robot.

Le codeur absolu multitours permet d'acquérir la position du robot sur l'axe X. Il est entraîné par une poulie et une courroie crantée fixée à chaque extrémité (figure 13).

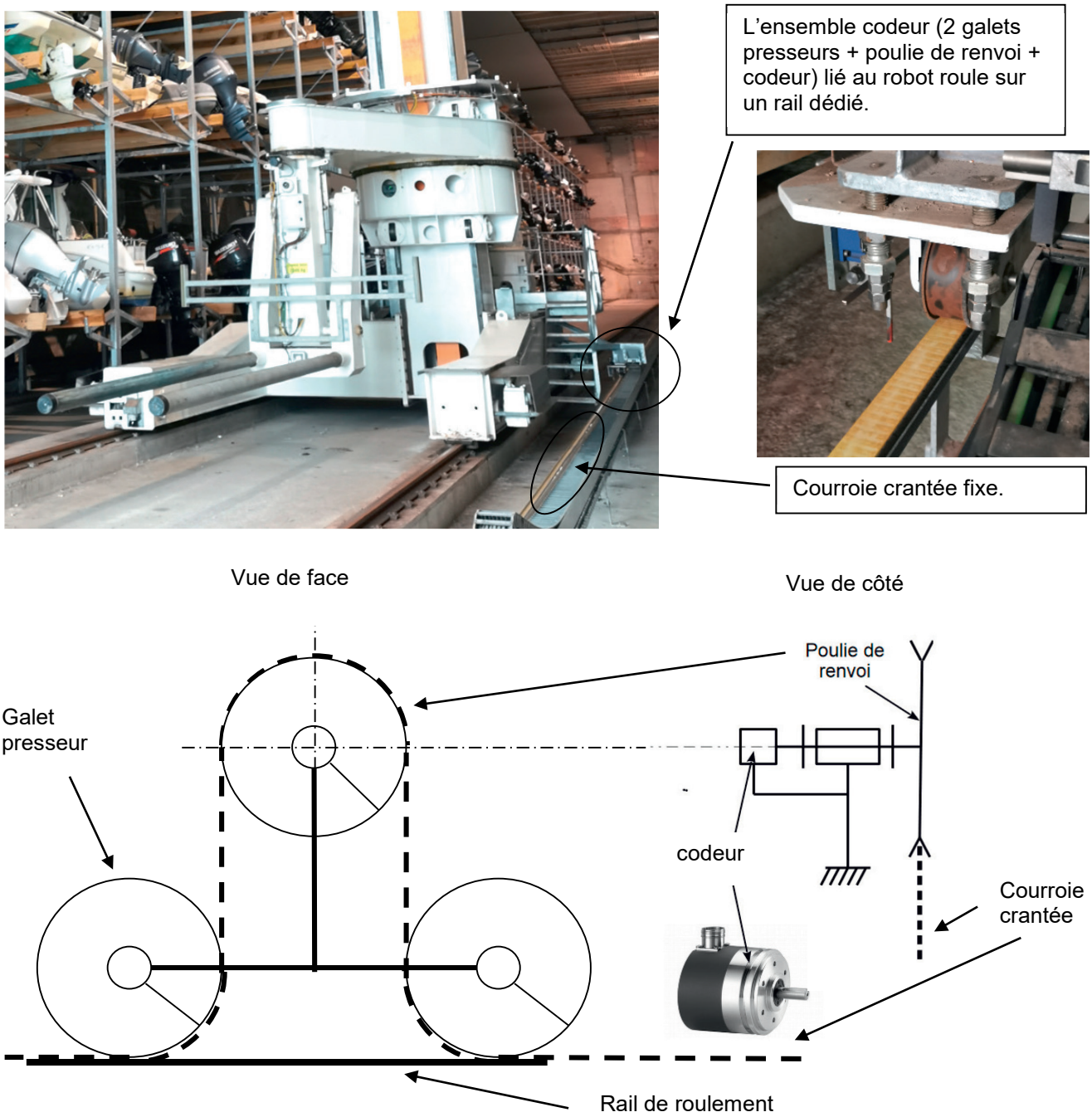


Figure 13 : implantation du codeur absolu multi-tours.

Les données de l'étude sont :

- le diamètre primitif de la poulie de renvoi est D = 10 cm ;
- la course totale du robot est de 110 m ;
- le cahier des charges impose une précision de positionnement à + ou - 1 cm ;
- dans l'automatisme, tous les calculs de position se font en millimètres ;
- le codeur absolu multitours renvoie un nombre Na, image de la position angulaire de son axe sur un format de 14 bits ;
- le nombre de tours effectués par le codeur absolu autour de son axe est noté Nt, il est exprimé sur 12 bits.

Question 1.9 **Calculer** en centimètres la distance parcourue par le robot lorsque le codeur tourne d'un tour. **Vérifier** que la résolution (plus petit déplacement mesurable) du codeur est très largement suffisante.

Question 1.10 **Calculer** le nombre de tours effectués par l'axe du codeur lors d'un trajet complet du robot. **Vérifier** que l'étendue de mesure du codeur est suffisante.

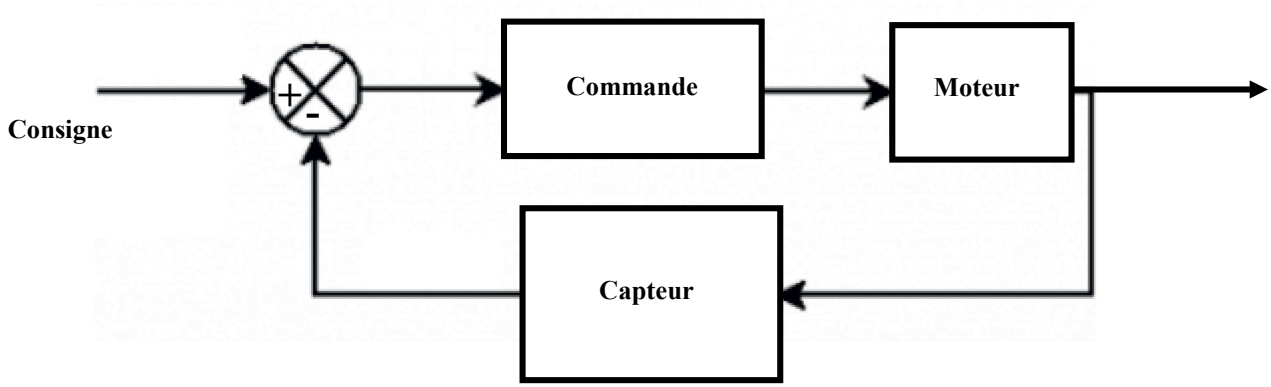


Figure 14 : schéma de la commande de l'axe X.

Question 1.11 À partir de la figure 14, **préciser** la nature de la consigne (position, vitesse ou accélération) et du capteur associé à la boucle d'asservissement. **Justifier** la nécessité ici d'un asservissement.

Question 1.12 **Conclure** en résumant en quoi les solutions d'acquisition et de communication du robot sont adaptées au besoin.

Sous-partie 2 – choix A
Une cinématique adaptée et contrôlée

L'objectif de cette sous-partie est de préciser pourquoi et comment optimiser la loi de vitesse de l'axe de translation horizontal $\vec{X}$.

Le déplacement du robot selon l'axe horizontal $\vec{X}$ est assuré par quatre roues. Chaque roue est commandée indépendamment par une chaîne de puissance. La figure 15 illustre une de ces chaînes de puissance.

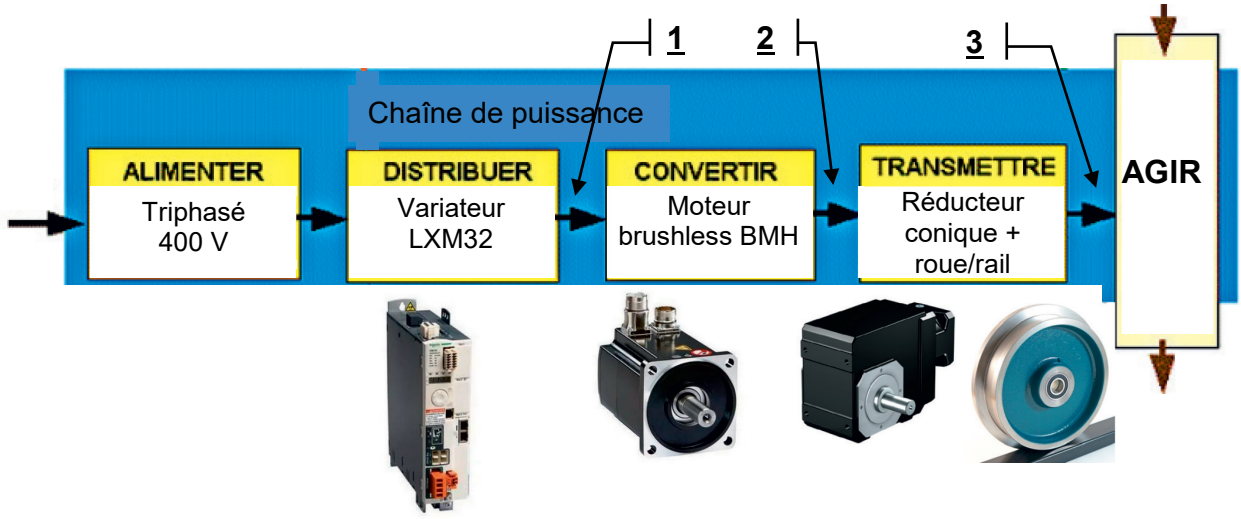


Figure 15 : chaîne de puissance axe $\vec{X}$.

Les données des constituants de la chaîne de puissance sont :

- les grandeurs nominales du moteur brushless BMH sont N_{mot} = 1500 tr·min^{-1}, C_{mot} = 36 N·m et P_{mot} = 5,7 kW ;
- les caractéristiques électriques du variateur LXM32 sont 400V, 10 A ;
- le réducteur conique a un rapport de réduction r = 1/89 et un rendement η = 92% ;
- le diamètre des roues est D_{roue} = 60 cm ;
- le coefficient d'adhérence roue / rail est f = 0,15.

Question 1.13	**Préciser** les grandeurs de flux et d'effort aux points 1, 2 et 3 (précisés sur la chaîne de puissance figure 15) avec leurs unités.

La loi de vitesse programmée par le constructeur est représentée sur le document réponse DR1.

Question 1.14 DR1	Sur le document réponse DR1, **compléter** la nature du mouvement dans chacune des trois phases.

Question 1.15 DR1 **Tracer** sur DR1 à main levée l'allure des graphes de position et d'accélération.
En déduire la valeur de l'accélération sur la phase 1.

Un modèle multiphysique simplifié réalisé sur un moteur équivalent permet de visualiser la variation de vitesse en fonction de la tension d'alimentation. La figure 16 illustre le modèle utilisé et la figure 17 les résultats de simulation obtenus.

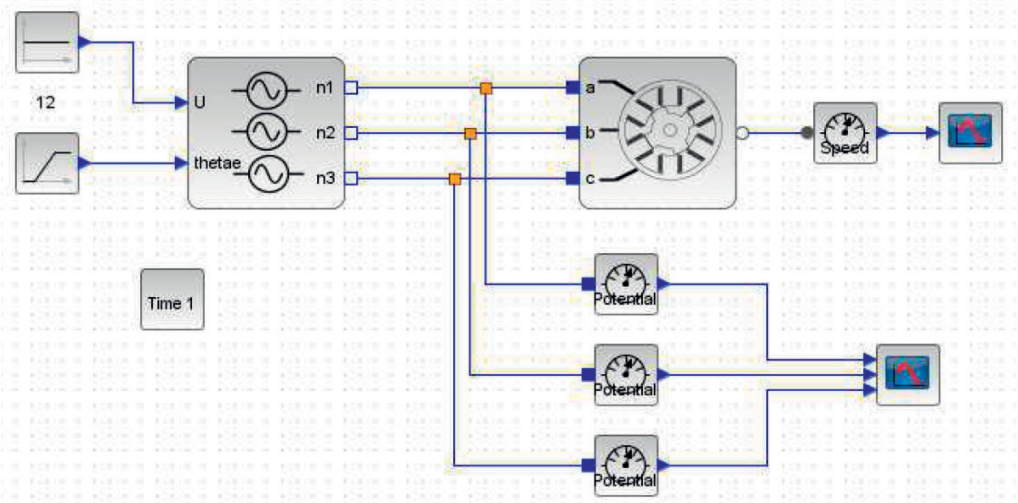


Figure 16 : modèle du moteur brushless.

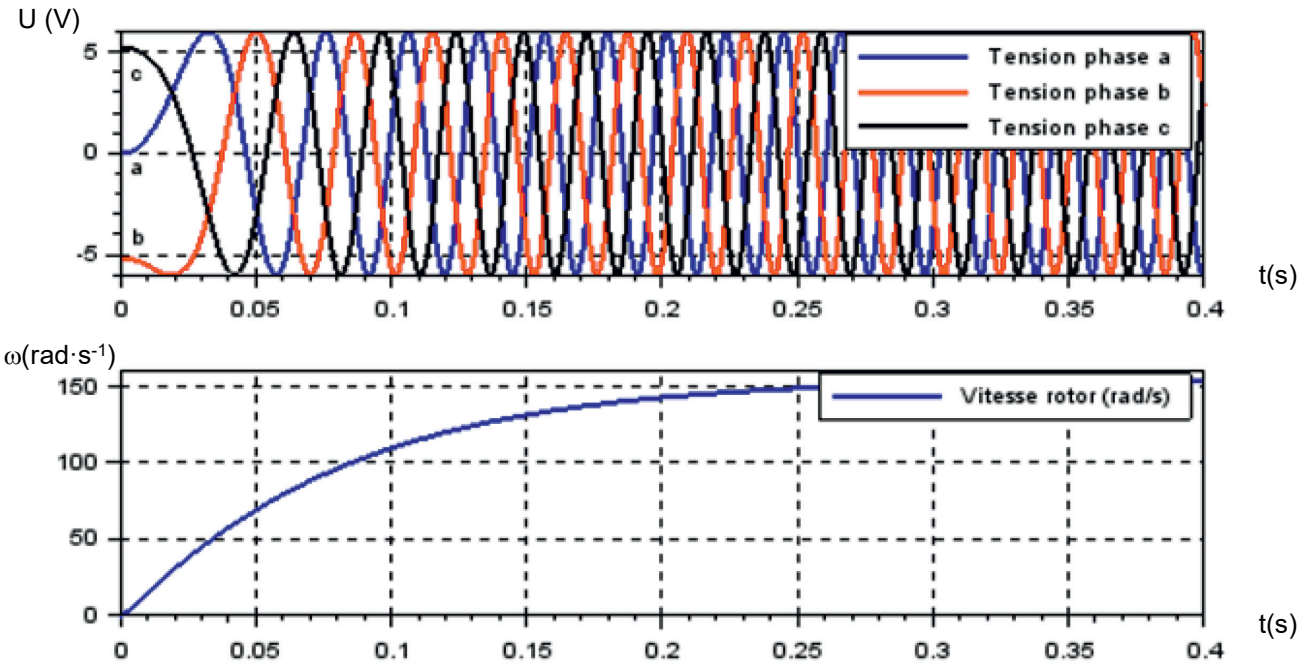


Figure 17 : résultats de la simulation.

Question 1.16 D'après les résultats de simulation (figure 17), **expliquer** sur quel paramètre de la tension d'alimentation il faut agir pour contrôler la vitesse de rotation du moteur.

On cherche maintenant à valider l'accélération choisie par le constructeur au regard du risque de patinage. Pour cela, il faut appliquer le principe fondamental de la dynamique au robot en phase d'accélération. L'étude est menée en utilisant la modélisation illustrée figure 18.

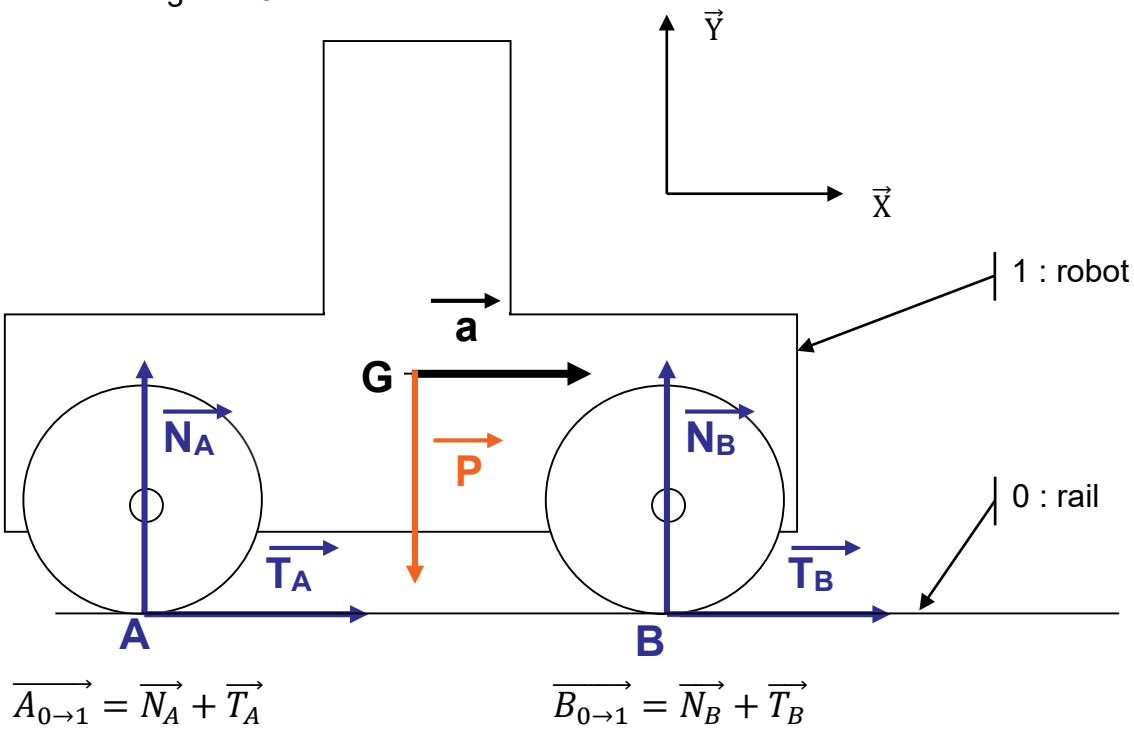


Figure 18 : modélisation du robot en phase d'accélération.

Les hypothèses et données de l'étude sont :

- le problème est ramené dans le plan $(\vec{X},\vec{Y})$;
- m est la masse totale du robot en charge, m = 32 tonnes ;
- N_i est l'effort normal du rail exercé au point i sur la roue ;
- T_i est effort tangentiel du rail exercé au point i sur la roue ;
- il y a équiadhérence des roues avec le rail ;
- chaque roue est en limite d'adhérence avec le rail, on a donc $T_i = f \times N_i$;
- la résistance au roulement est négligée ;
- a est l'accélération du robot.

Question 1.17 **Écrire** les équations sur les axes $\vec{X}$ et $\vec{Y}$ issues du théorème de la résultante dynamique pour l'ensemble du robot isolé. **En déduire** l'accélération maximale avant patinage et **comparer** cette valeur à celle choisie par le constructeur calculée à la question 1.15.

Question 1.18 En conclusion, **résumer** pourquoi et comment le constructeur doit optimiser la loi de vitesse à programmer sur ce robot.

Sous-partie 2 – choix B
Prise en charge du bateau par le robot

L'objectif de cette sous-partie est de valider le choix de la motorisation pour le matage (rotation de la fourche du robot qui permet de décoller le bateau de la remorque de transport).

Une glissière motorisée par un système {moteur + vis/écrou} supporte deux blocs constitués de deux pentes à 20° (cames). Son déplacement en translation par rapport au mât de fourche pousse les deux galets de la fourche ce qui entraîne sa rotation autour de l'axe M (figure 20).

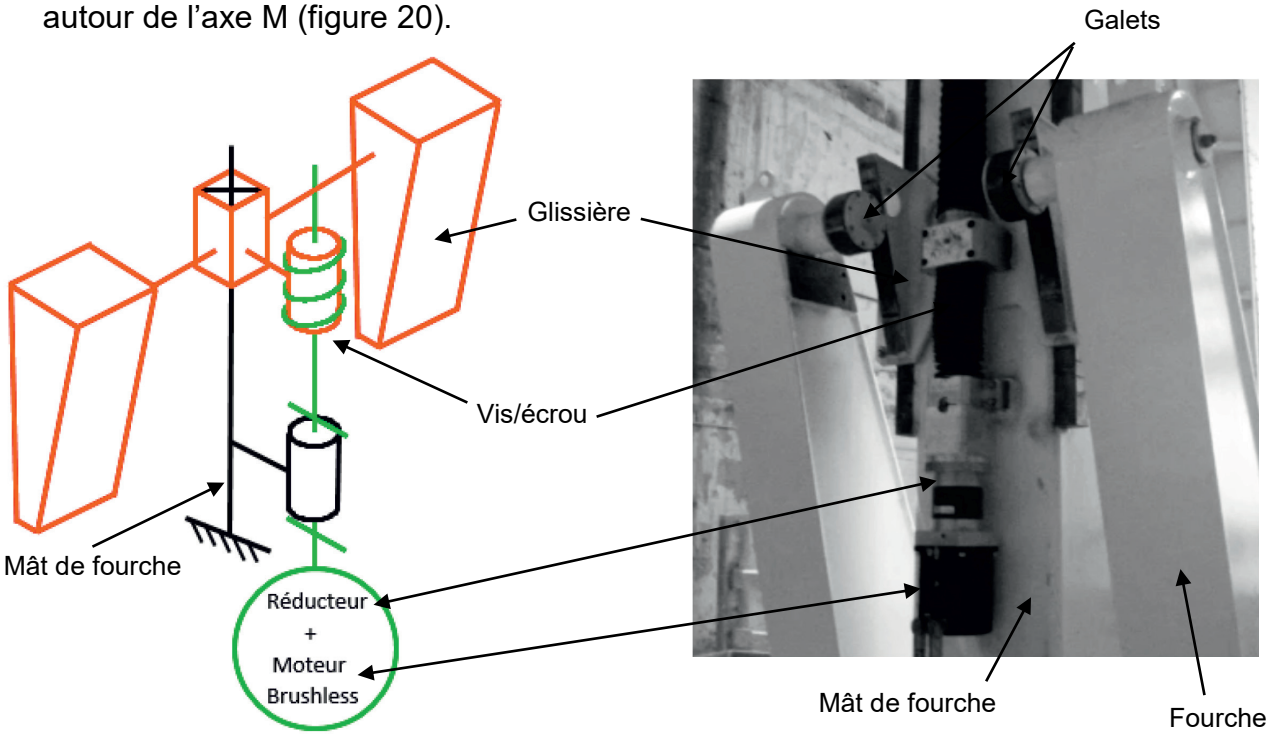


Figure 19 : schématisation de la chaîne d'énergie du matage.

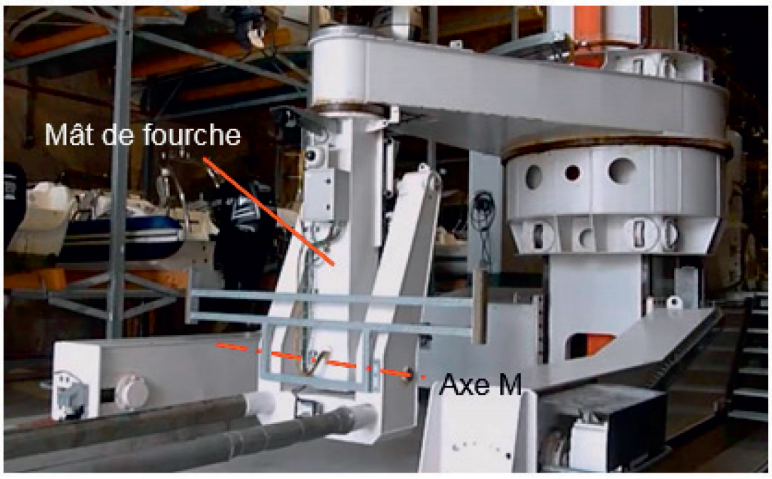


Figure 20 : structure de la fourche.

Les constituants de la chaîne de puissance de la fourche sont :

- un moteur brushless BMH dont les grandeurs nominales sont N = 3000 tr·min^{-1}, P = 3500 W ;
- un variateur LXM32 dont les caractéristiques électriques sont 400V, 10 A ;
- un réducteur planétaire GBX 120 dont le rapport de réduction est 1/12 et le rendement η_{red} = 0,92 ;
- un système vis-écrou à filet trapézoïdal dont le pas réel est p = 20 mm et le rendement $\eta_{vis/écrou}$ = 0,4.

Calcul du déplacement de la glissière

La vitesse V de déplacement de la glissière par rapport au mât de fourche est définie par la loi trapézoïdale illustrée figure 21 :

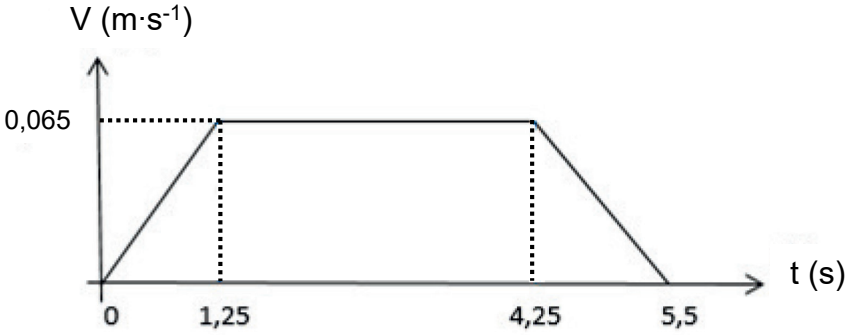


Figure 21 : évolution temporelle de la vitesse de déplacement de la glissière.

L'étude du mécanisme permet d'aboutir à la relation suivante :

$$N_{vis} = \frac{V}{p} \text{ avec}$$

N_{vis} : fréquence de rotation de la vis en tr·min^{-1}
V : vitesse de déplacement de la glissière en mm·min^{-1}
p : pas réel du système vis-écrou en mm

Question 1.19 **Déterminer** la fréquence de rotation de la vis correspondant à la vitesse de translation maximale de la glissière.

En déduire la fréquence de rotation du moteur en régime établi.

Question 1.20 **Comparer** ce résultat avec la caractéristique du moteur utilisé et **conclure** quant à la validité du choix effectué.

Les déplacements de la glissière sur les phases transitoires d'accélération et de décélération sont donnés : $\Delta z_{accél.} = \Delta z_{décél.}$ = 41 mm.

Le déplacement vertical de la glissière souhaité est d'au moins 25 cm pour permettre le décollement du bateau de la remorque de transport.

Question 1.21 **Déterminer**, à l'aide de la figure 21, le déplacement $\Delta z_{Vconst.}$ de la glissière pendant la phase de déplacement à vitesse constante.

Déduire des résultats précédents le déplacement total de la glissière.

Question 1.22 **Conclure** quant à la capacité du mécanisme à assurer une élévation suffisante du bateau.

Calcul de la puissance utile en sortie du moteur

La masse maximale autorisée pour un bateau est de 2 tonnes. La masse de la fourche est négligée. L'accélération de la pesanteur vaut g = 9,81 $m \cdot s^{-2}$.

Question 1.23 À l'aide de la figure 21, **déterminer** la puissance maximale, notée $P_{élévation}$, nécessaire pour l'élévation d'un bateau ayant une masse de 2 tonnes.

En déduire la puissance maximale requise en sortie du moteur, notée P_{moteur}, en considérant les différents rendements de la chaîne de puissance.

Question 1.24 **Comparer** ces résultats avec les caractéristiques du moteur utilisé et **conclure** quant à la validité du choix du moteur d'élévation effectué.

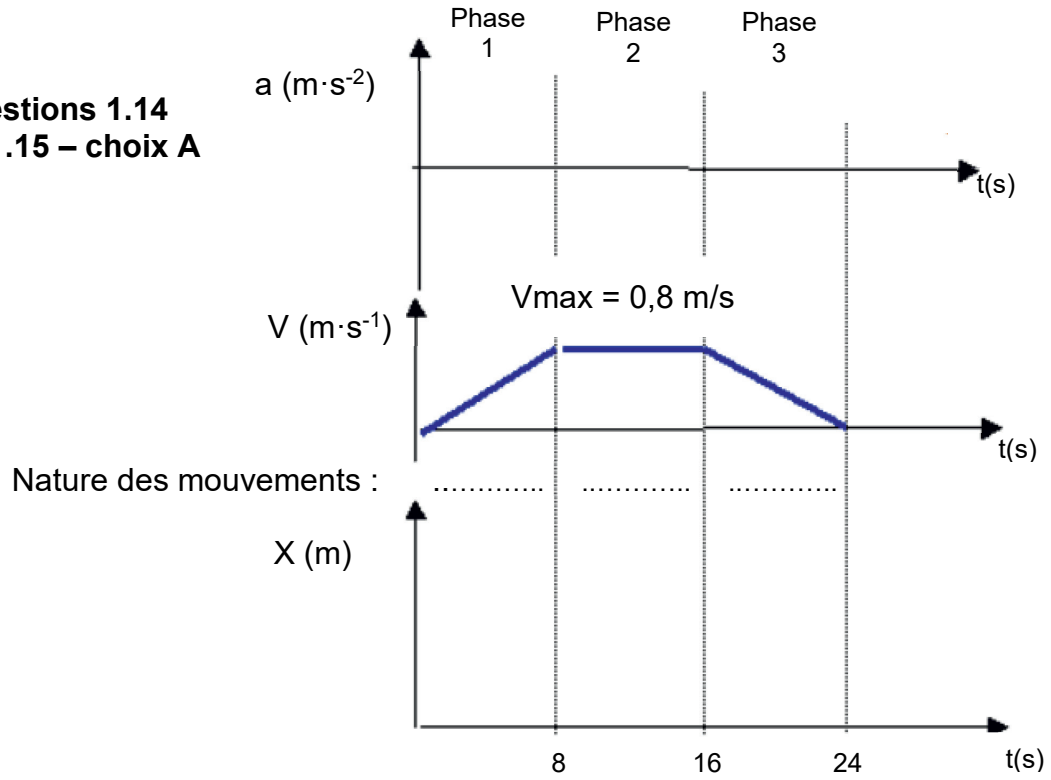
Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

Question 1.8 – obligatoire

Début
Valider le lecteur de badge ;
Mettre la variable TEST à Faux ;
TANT QUE variable TEST = Faux :
Lire l'octet présent sur la liaison série ;
TANT QUE l'octet est ……. :
Lire l'octet présent sur la liaison série ;
FIN de TANT QUE
Initialiser un tableau tableau_de_donnees ;
POUR i = 0 à ……. par pas de 1 :
FAIRE
……..
……..
FIN de POUR
Lire l'octet présent sur la liaison série ;
SI l'octet est …….. :
ALORS
Mettre la variable TEST à Vrai ;
FIN de SI
FIN de TANT QUE
Dévalider le lecteur de badge ;
Retourner le tableau de données ;
Fin

Questions 1.14 et 1.15 – choix A



Modèle CMEN-DOC v3 A4 ©NEOPTEC

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Partie 2 : Sciences physiques

Vous traiterez deux exercices au choix parmi les trois proposés.

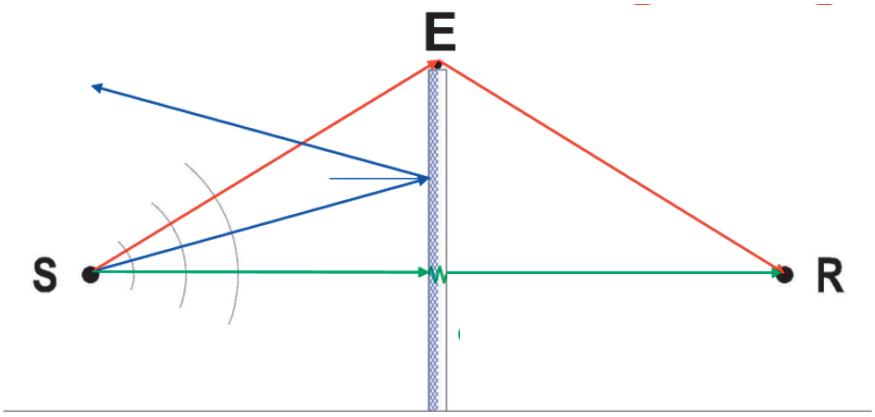
Vous indiquerez sur votre copie **les deux exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C.

EXERCICE A – Installation d'un mur anti-bruit (10 points)

Mots-clés : intensité sonore ; niveau d'intensité sonore ; phénomènes ondulatoires.

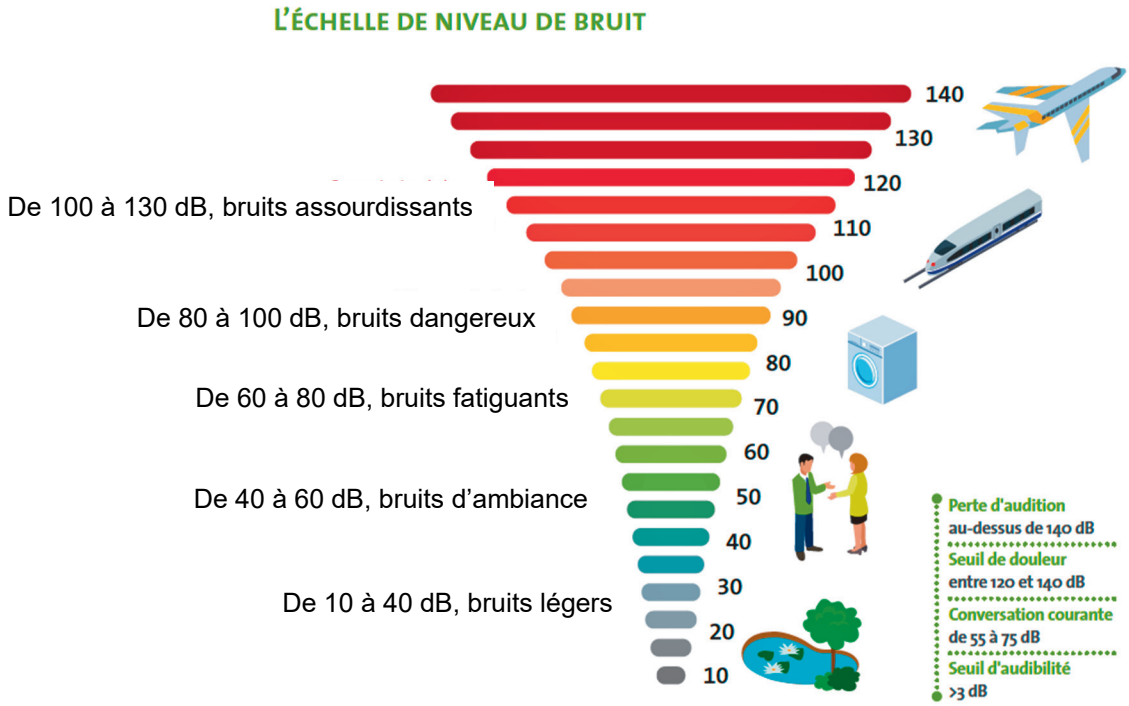
Une route très passante vient d'être construite en bordure du terrain d'un particulier. Pour se prémunir des nuisances sonores, celui-ci, fait installer un mur anti-bruit le long de son terrain. Le mur anti-bruit limite la propagation des bruits en réfléchissant une partie de l'onde sonore émise par la source. Cependant, une partie de l'onde sonore atteint le récepteur, soit en passant au dessus du mur anti-bruit, soit en passant à travers le mur.

Description du phénomène

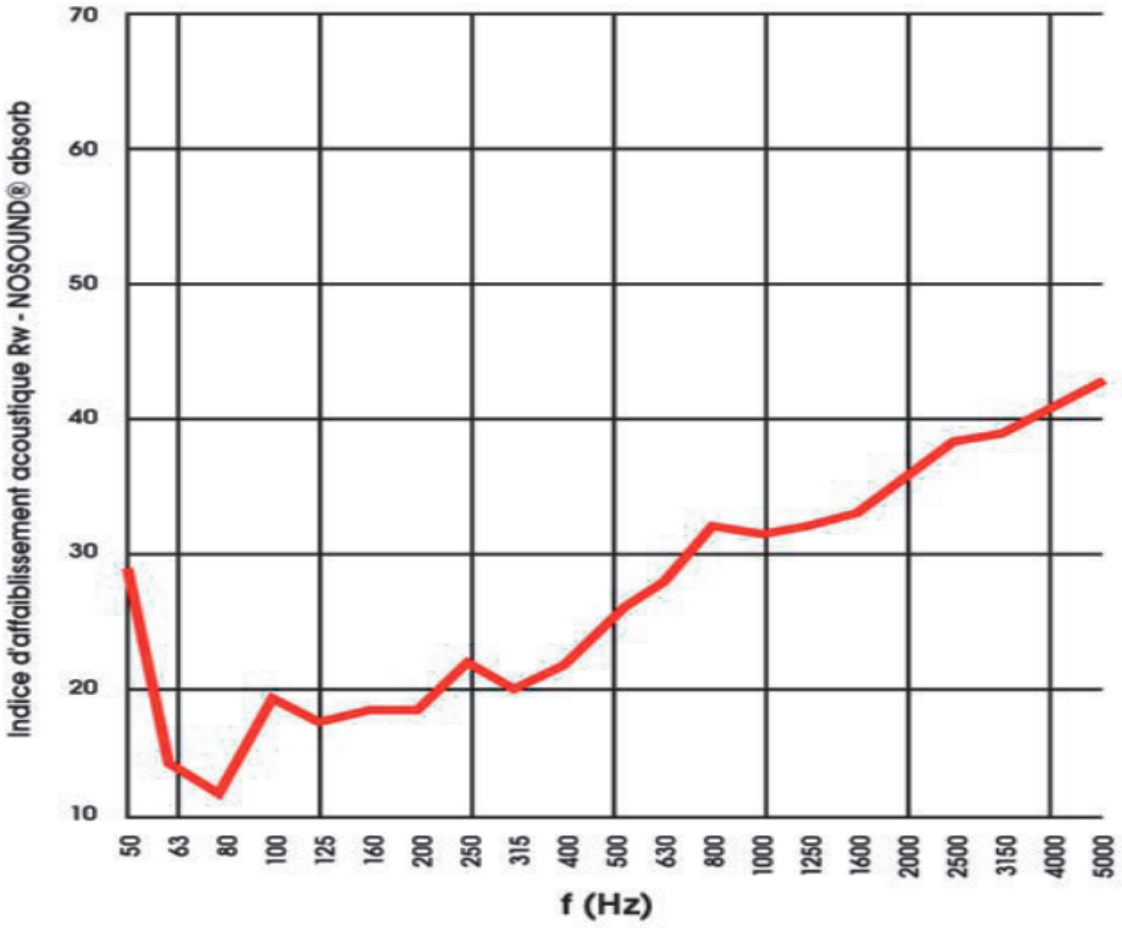


D'après environnement.brussels.

Repères de niveau d'intensité sonore



Indice d'affaiblissement acoustique du mur anti-bruit installé



D'après mur-silenzo.com

Données :

- niveau d'intensité sonore du bruit d'une voiture à 10 m : $L_1 = 57$ dB ;
- l'indice d'affaiblissement acoustique R_W est la différence entre les niveaux d'intensité sonore de part et d'autre d'une paroi.

Q1. En supposant qu'il y en permanence 8 voitures qui passent à chaque instant devant la propriété, montrer qu'en l'absence de mur anti-bruit, la valeur du niveau d'intensité sonore à 10 m de la route, notée L_V, vaut 66 dB.

Q2. Commenter le résultat en termes de nuisances pour le particulier.

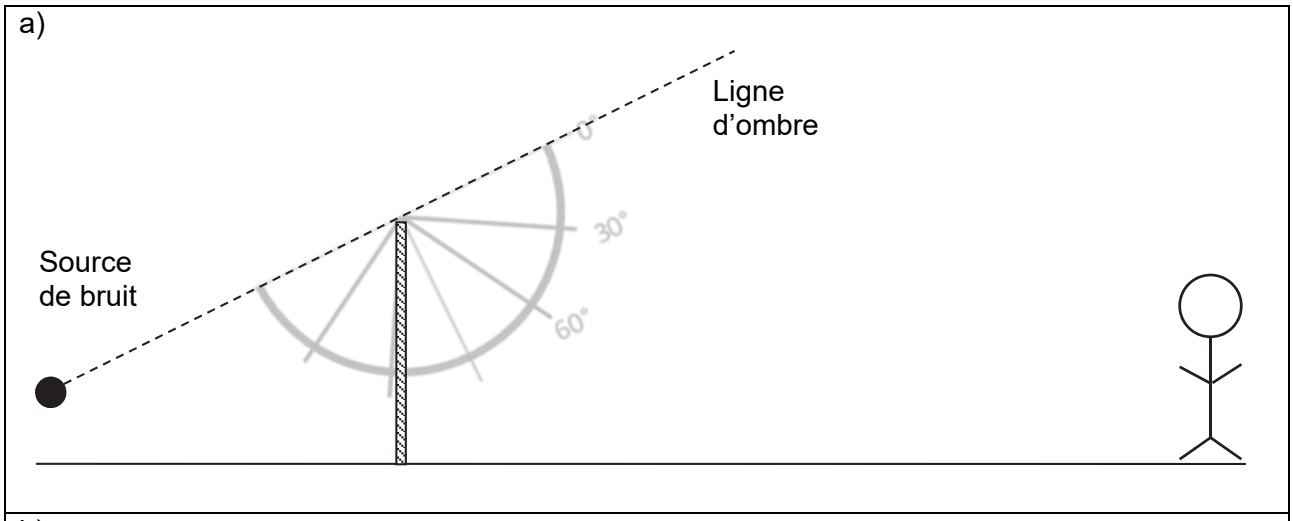
Différents scénarios sont envisagés pour l'installation du mur anti-bruit. Pour une protection efficace, la zone à protéger du bruit de la route doit être dans la zone d'ombre acoustique du mur anti-bruit. La zone d'ombre acoustique se situe sous la ligne joignant la source du bruit avec le sommet du mur anti-bruit et au-delà du mur.

On admet pour simplifier qu'une partie de l'onde sonore est déviée d'environ 30° en dessous de la ligne d'ombre lors de son passage au sommet du mur anti-bruit.

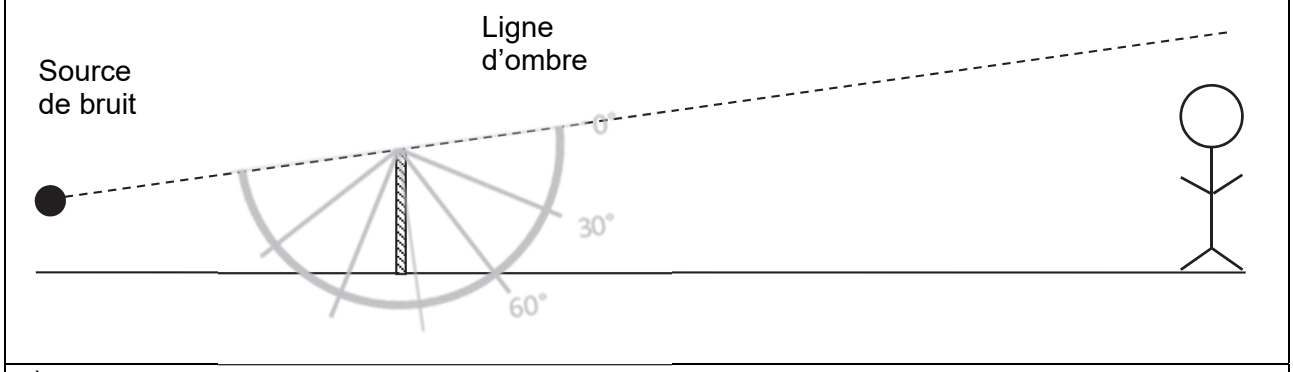
Q3. Expliquer qualitativement pourquoi l'onde sonore produite par la circulation et passant par le sommet du mur peut être perçue par le particulier dans son jardin. Nommer ce phénomène physique.

Q4. Parmi les propositions d'installation ci-dessous, déterminer celle qui permet la meilleure protection pour le particulier. Justifier.

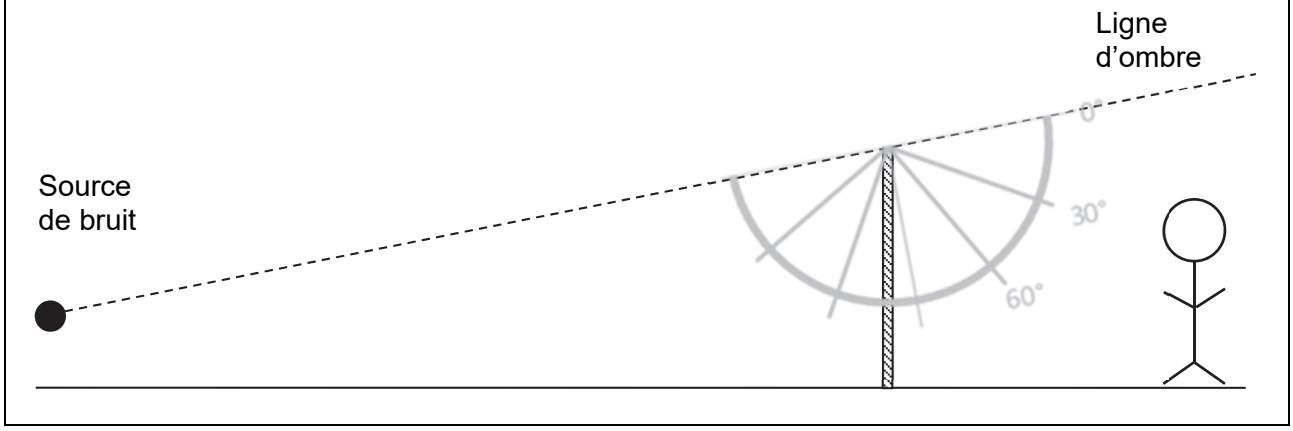
a)



b)



c)



Q5. Le mur anti-bruit est-il plus efficace s'il est proche de la source de bruit ou proche de la zone à protéger ? Justifier.

Le mur anti-bruit est correctement installé. On considère, pour simplifier, que le bruit de la circulation de 66 dB est assimilable à un son de fréquence 1000 Hz. Le particulier est dans son jardin à 10 m de la route. Le bruit qu'il perçoit est composé par l'onde transmise au travers du mur anti-bruit et l'onde passant par dessus le mur. On admet que l'onde passant par dessus le mur contribue pour 41 dB au niveau sonore dans le jardin.

Q6. Calculer la valeur du niveau d'intensité sonore de l'onde transmise L_T à travers le mur anti-bruit.

Q7. Déterminer la valeur du niveau d'intensité sonore L_{total} perçu par le particulier dans son jardin. Conclure sur l'utilité de ce mur anti-bruit.

Pour tenter d'augmenter les performances du mur, le particulier souhaite doubler l'épaisseur de son mur anti-bruit. Une étude expérimentale montre que, pour un bruit routier, doubler l'épaisseur du mur conduit à augmenter l'indice d'affaiblissement acoustique de +4 dB.

Q8. Déterminer la valeur du niveau d'intensité sonore L'_{total} perçu par le particulier dans son jardin. Commenter.

EXERCICE B – Le télescope spatial James Webb (10 points)

Mots-clés : accélération ; lois de Newton ; lois de Kepler.

Le télescope spatial James Webb, JWST, est un télescope spatial développé par la NASA avec le concours de l'Agence spatiale européenne et de l'Agence spatiale canadienne. Ce projet a différents objectifs, dont l'étude des premières étoiles et galaxies et l'étude de la formation des systèmes planétaires ou des étoiles. En octobre 2021, le JWST est arrivé en Guyane pour être lancé en orbite autour du Soleil par la fusée Ariane 5.

Le but de cet exercice est d'étudier la position du télescope dans le référentiel héliocentrique, référentiel dont l'origine est le centre du Soleil et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines ; il est considéré comme galiléen.

Données :

- constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$;
- masse du Soleil : $M_S = 1{,}99\times10^{30}$ kg ;
- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97\times10^{24}$ kg ;
- distance Terre-Soleil : $R = 150\times10^{6}$ km ;
- Distance Terre-JWST : $d = 1{,}50\times10^{6}$ km.

Orbite du télescope

Le JWST sera en orbite autour du Soleil. En effet, pour que les observations soient les plus précises possible, les appareils doivent être maintenus à une température la plus basse possible ; il faut donc éloigner le télescope de la Terre et éviter l'exposition directe au rayonnement solaire. L'endroit le plus propice pour que cela soit vérifié est ce que les physiciens appellent le "Second Point de Lagrange (L2)" du système Soleil-Terre. Le point L2 reste à l'extérieur de l'orbite de la Terre tandis qu'elle effectue sa révolution autour du Soleil, et **les trois corps Soleil, Terre et télescope JWST sont alignés en permanence**.

D'après https://www.jwst.fr

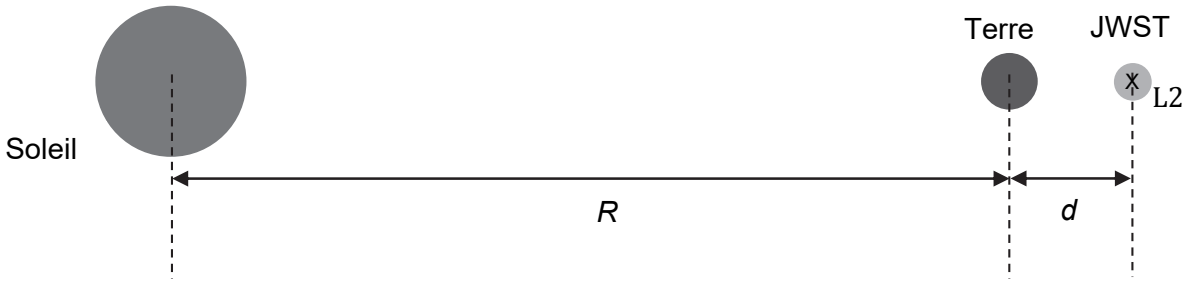


Figure 1. Schéma de la situation

Dans le référentiel héliocentrique, le mouvement du télescope JWST peut être modélisé par un mouvement circulaire, de rayon $R + d$, à la vitesse v.

Q1. Donner l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du télescope par rapport au référentiel héliocentrique dans le repère de Frenet. On rappelle que la Soleil, la Terre et le satellite JWST placé au point L2 sont en permanence alignés.

Q2. On considère les actions qu'exercent à la fois le Soleil et la Terre sur le télescope. Établir, en utilisant la deuxième loi de Newton appliquée au télescope, que le mouvement circulaire du télescope est uniforme dans le référentiel héliocentrique.

Q3. Justifier géométriquement que la Terre et le télescope ont la même période T de révolution autour du Soleil.

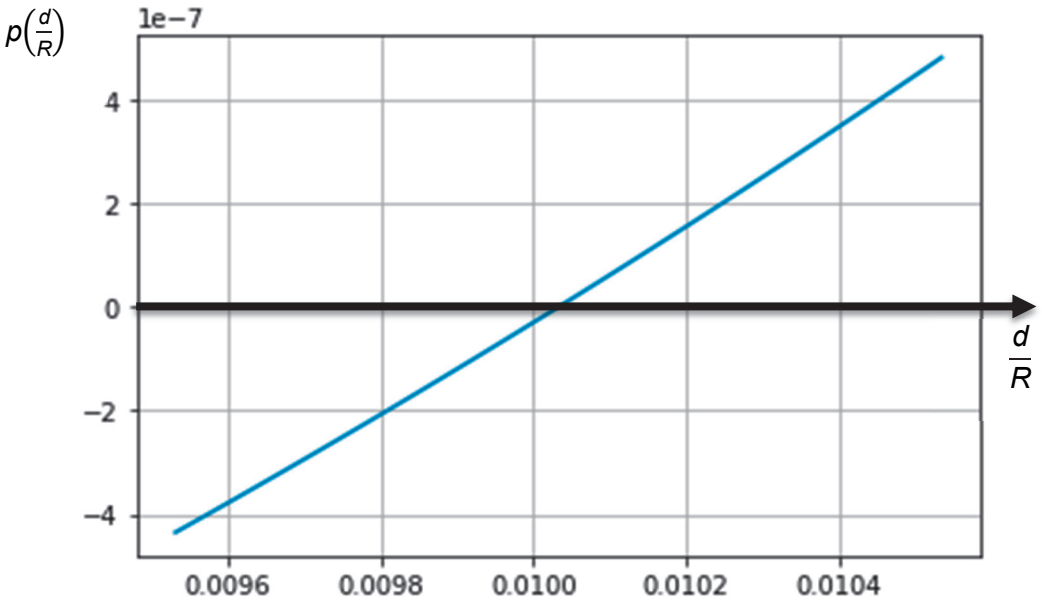
Q4. Donner l'expression de la norme v de la vitesse du télescope par rapport au référentiel héliocentrique en fonction de T, R et d.

Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre vérifie la troisième loi de Kepler :

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{GM_S}{R^3}$$

Q5. En utilisant la troisième loi de Kepler, la deuxième loi de Newton appliquée au télescope et les résultats précédents, en déduire une relation entre d, R, M_T et M_S que l'on ne cherchera pas à simplifier.

Dans la relation établie à la question 5, la distance d qui sépare le télescope JWST de la Terre est l'inconnue. On choisit une méthode de résolution numérique en utilisant un programme Python. Celle-ci permet de tracer la courbe ci-après. La fonction $p\left(\frac{d}{R}\right)$ se déduit de la relation établie à la question 5 et la valeur de d recherchée est celle pour laquelle la fonction s'annule.



Q6. Déterminer graphiquement la valeur de $\frac{d}{R}$ telle que $p\left(\frac{d}{R}\right) = 0$.

Q7. En déduire la distance d à laquelle se trouve le télescope JWST de la Terre. Commenter en comparant cette distance aux données de l'énoncé.

EXERCICE C – Bouteille isotherme pour café chaud

Mots clés : transferts thermiques, énergie interne, loi de Newton

Afin de préparer une journée en plein air, deux randonneurs remplissent une gourde en plastique de café chaud. Pour évaluer les fuites thermiques à travers la surface de la gourde et son bouchon, ils mesurent une baisse de température de 10 °C sur une durée Δt_1 = 8,5 min.



Figure1. Photographie d'une gourde en plastique

Données :

- capacité thermique massique de l'eau c_{eau} = 4,18 kJ·K^{-1}·kg^{-1} ;
- masse volumique de l'eau : ρ_{eau} = 1,00 kg·L^{-1} ;
- le café est introduit dans la gourde à la température T_{ini} de 80,0 °C ;
- volume de la gourde : V = 0,200 L ;
- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique Φ en watt entre un système dont la surface d'échange est à la température T et un fluide extérieur de température $T_{ext} < T$:
  $$\Phi = h \times S \times (T - T_{ext})$$
  avec h le coefficient de transfert thermique surfacique et S l'aire de la surface d'échange ;
- température de l'air extérieur : T_{ext} = 20,0 °C ;
- h = 10 W·K^{-1}·m^{-2} ;
- S = 300 cm^2.

On assimile le café à de l'eau. L'épaisseur de la gourde est assez fine pour considérer qu'elle et le café sont à tout instant à la même température, y compris à l'instant initial.

Q1. En utilisant un schéma, préciser le sens du transfert thermique entre le système {gourde + café} et l'extérieur.

Q2. Expliquer qualitativement pourquoi on ne peut pas affirmer que le café sera à la température idéale de 60 °C au bout de 17 minutes.

Q3. Déterminer la valeur de la capacité thermique du système {gourde + café}, notée C_{TOT} sachant que la capacité thermique de la gourde est supposée négligeable.

Q4. Établir que l'équation différentielle régissant l'évolution de $T(t)$, température du système {gourde + café}, s'écrit :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{hS}{C_{TOT}}(T_{ext} - T)$$

Q5. Montrer que l'expression $T(t) = T_{ext} + (T_{ini} - T_{ext}).\exp\left(-\frac{h.S}{C_{TOT}}t\right)$ est solution de l'équation différentielle et satisfait à la condition initiale. Déterminer la valeur du rapport $\frac{C_{TOT}}{h \times S}$ et rappeler sa signification physique.

Q6. En déduire la durée Δt_2 nécessaire pour que le café soit à la température idéale de 60 °C. Commenter.

Constatant que le café refroidit trop vite, les randonneurs choisissent d'utiliser d'une bouteille isotherme. Cette bouteille possède deux parois de verre argentées séparées par du vide.

Q7. Expliquer qualitativement pourquoi la structure de la bouteille isotherme permet de maintenir la température du café chaud plus longtemps.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.