

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION DE 2012

Série Sciences et Technologie de Laboratoire

PHYSIQUE DE LABORATOIRE ET DE PROCÉDÉS INDUSTRIELS

ÉPREUVE THÉORIQUE

DURÉE : 6 heures

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2012

PHYSIQUE DE LABORATOIRE ET DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS

Classe de Terminales STL

ÉPREUVE ÉCRITE

Durée : 6 heures

THÈME

L'AUTOMOBILE

L'automobile, née vers la fin du XVIIIe siècle, est devenue au cours du XXe siècle, avec un parc de plus de 700 millions de véhicules, un phénomène social mondial. En un siècle, l'automobile a révolutionné la vie quotidienne de plus d'un milliard de personnes et l'économie mondiale.

Une automobile est un véhicule terrestre léger, à roues, propulsé par un moteur embarqué dans le véhicule. Ce type de véhicule est conçu pour le transport sur route de personnes, mais sa définition peut s'étendre jusqu'au transport de marchandises ainsi que jusqu'à des véhicules pouvant fonctionner sur tous terrains.

L'automobile est un moyen de transport personnel parmi les plus répandus actuellement sur la planète.

Confrontée à de nombreuses problématiques liées à la consommation d'espace et de ressources, l'automobile devra, dans les années à venir, évoluer pour être plus respectueuse à la fois des sociétés humaines et de leur environnement. Ce véhicule restera cependant indispensable pour bon nombre d'usages et continuera à véhiculer une grande part de rêve.

D'après le site « Portail de l'automobile » (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Portail:Automobile>)

Le but de ce problème est d'étudier différents dispositifs présents dans une automobile.

Les cinq parties de ce sujet sont indépendantes et elles devront être traitées sur des copies séparées.

Sommaire

1. Étude de la motorisation et de la consommation du véhicule :.....	3
1.1. <i>L'admission – compression</i> :	3
1.2. <i>La combustion complète</i> :.....	4
1.3. <i>La pile à combustible</i> :.....	4
1.4. <i>Consommation d'un véhicule</i> :	6
2. Étude du freinage du véhicule :	6
2.1. <i>Étude de la distance d'arrêt sur route horizontale</i> :.....	6
2.2. <i>Influence de la valeur de l'énergie cinétique sur le freinage</i> :.....	9
2.3. <i>Étude d'un choc frontal</i> :.....	10
3. Étude du confort thermique dans le véhicule :	11
3.1. <i>Étude du principe de fonctionnement d'une climatisation</i> :	11
3.2. <i>Estimation de la consommation supplémentaire en carburant engendrée par l'utilisation d'une climatisation</i> :.....	12
3.3. <i>Étude du système de régulation de la température</i> :.....	13
3.3.1. <i>Mesure de température</i> :	14
3.3.2. <i>Régulation de température de l'air soufflé</i> :.....	15
4. Étude de la communication inter-systèmes du véhicule :.....	17
4.1. <i>Caractéristiques fondamentales du protocole CAN</i> :.....	17
4.1.1. <i>Arbitrage</i>	17
4.1.2. <i>Codage et méthode de bit stuffing (remplissage)</i> :.....	19
4.2. <i>Support physique et signaux</i> :	19
4.3. <i>Analyse d'une trame</i> :.....	21
4.4. <i>Relation entre débit et longueur maximale du bus</i> :	21
5. Étude des dispositifs d'assistance du véhicule :	22
5.1. <i>Étude du capteur de pluie et de neige</i> :.....	22
5.2. <i>Étude simplifiée de l'accéléromètre déclenchant l'air bag</i> :.....	23

1. Étude de la motorisation et de la consommation du véhicule :

Dans les véhicules usuels, l'énergie mécanique nécessaire à la production d'une force motrice est obtenue par explosion (combustion soudaine) d'un mélange air+carburant. On parle alors de moteur à explosion. La quasi-totalité des automobiles sont équipées d'un moteur dit "à quatre temps" dont le principe de fonctionnement simplifié est illustré dans la figure 1.1

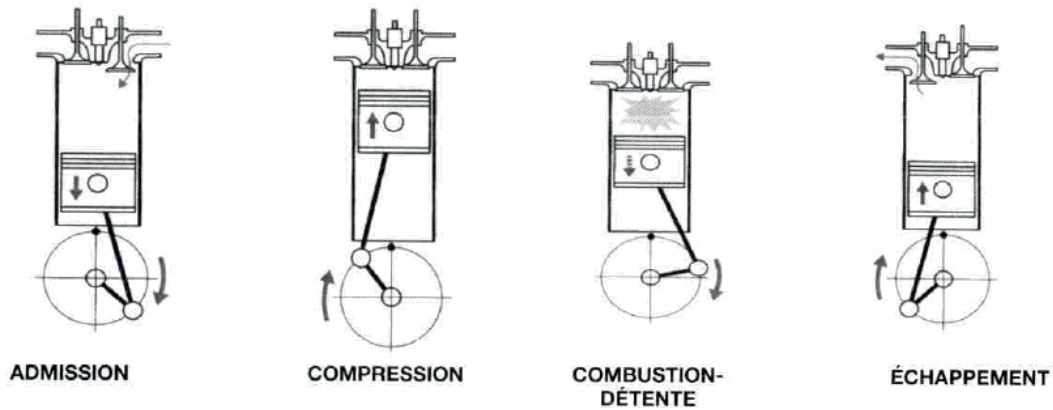


Figure 1.1 schéma de principe d'un cylindre de moteur diesel 4 temps.

A la fin de l'admission (PMB) le volume du cylindre est V_{\max} et à la fin de la compression (PMH) le volume du cylindre est V_{\min} .

1.1. L'admission – compression :

On suppose que le mélange air + carburant qui entre dans le cylindre au cours de l'admission se comporte comme un gaz parfait dont la température T , la pression P et le volume V sont reliés par l'équation :

$$P V = n R T \quad \text{avec } P \text{ exprimée en pascals (Pa), } n \text{ le nombre de moles}$$

et R la constante des gaz parfait valant $8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

- 1.1.1. Donner la valeur de T_0 , la température en kelvins, correspondant à une température $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$.
- 1.1.2. Montrer que le volume molaire V_{CNTP} occupé par une mole de ce mélange dans les conditions normales de température et de pression (CNTP) c'est-à-dire pour $P = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ et $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ est de $22,4 \text{ L.mol}^{-1}$.
- 1.1.3. On définit plus pratiquement les conditions habituelles de température et de pression (CHTP) pour lesquelles la température est de 20°C et la pression de $1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$.
On appelle V_{CHTP} le volume occupé par une mole de mélange dans ces conditions. Calculer sa valeur.
- 1.1.4. On considère un véhicule de cylindrée totale 1600 cm^3 comportant 4 cylindres.
Donner la valeur de la cylindrée unitaire C_u correspondant au volume d'un cylindre. On supposera que ce volume est le volume du cylindre lorsque le piston est au point mort bas (PMB). On notera V_{\max} ce volume.
- 1.1.5. Calculer le nombre de moles de mélange n_{tot} introduites dans chaque cylindre à la fin de l'admission en supposant que l'admission se fait dans les conditions CHTP.

- 1.1.6.** On définit de façon simplifiée le taux de compression du moteur de la manière suivante : $\tau = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$
où V_{\min} est le volume de mélange enfermé dans le cylindre lorsque le piston au point mort haut (PMH).
Sachant que la température atteinte au cours de la compression est $T_a = 570 \text{ K}$, calculer la pression maximum P_{\max} atteinte par le mélange dans le cylindre, pour un moteur ayant un taux de compression $\tau = 20$.

1.2. La combustion complète :

Le mélange comprimé est alors dans des conditions thermodynamiques lui permettant de s'enflammer. Dans une première approximation, on considérera la combustion du mélange constitué d'air et d'un hydrocarbure de formule brute C_8H_{18} .

Données : $M_H = 1 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_O = 16 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M_C = 12 \text{ g.mol}^{-1}$.

Densité du carburant C_8H_{18} à l'état liquide : 0,775

- 1.2.1.** Écrire l'équation bilan de la combustion complète de C_8H_{18} liquide, en présence de dioxygène gazeux.
- 1.2.2.** Déterminer la masse d'un litre de carburant liquide pur.
- 1.2.3.** Déterminer la masse molaire moléculaire de C_8H_{18} et montrer qu'un litre de ce carburant contient 6,8 moles de C_8H_{18} .
- 1.2.4.** Déterminer le nombre de moles n_{O_2} et le volume V_{O_2} , dans les conditions CHTP, de dioxygène nécessaires pour brûler, dans les conditions stœchiométriques, un litre de cet hydrocarbure.
- 1.2.5.** Rappeler la proportion (valeur arrondie) de dioxygène contenue dans l'air. En déduire le volume d'air, dans les conditions CHTP, nécessaire pour la combustion d'un litre de C_8H_{18} .
- 1.2.6.** L'un des produits de la réaction de la combustion complète est CO_2 . Quel est le nom de ce composé ?
- 1.2.7.** Calculer la masse de CO_2 rejetée au cours de la combustion complète d'un litre de carburant. En déduire la masse annuelle de CO_2 rejetée par un véhicule qui consomme en moyenne 5 L de carburant pour 100 km et qui parcourt 15 000 kilomètres par an.
- 1.2.8.** Quels sont les effets du CO_2 sur l'environnement ?

1.3. La pile à combustible :

L'industrie automobile travaille actuellement à développer des technologies alternatives au moteur à explosion. L'une d'entre elles est le moteur électrique. Cette technologie se heurte au problème du stockage de l'énergie électrique à bord du véhicule rendant aujourd'hui l'autonomie des véhicules électriques trop limitée pour répondre à certains types de besoins. Une solution envisagée consiste à produire l'électricité à bord du véhicule par l'intermédiaire d'un dispositif appelé "pile à combustible".

Ce dispositif consiste à produire de l'électricité à partir d'un mélange de dioxygène et de dihydrogène (voir figure 1.2). La pile à combustible transforme l'énergie chimique en énergie électrique par oxydo réduction. Le combustible est ici le dihydrogène. Par oxydation du dihydrogène grâce à un catalyseur (le platine) des ions H^+ sont produits et permettent de réduire un agent oxydant composé simplement du dioxygène de l'air.

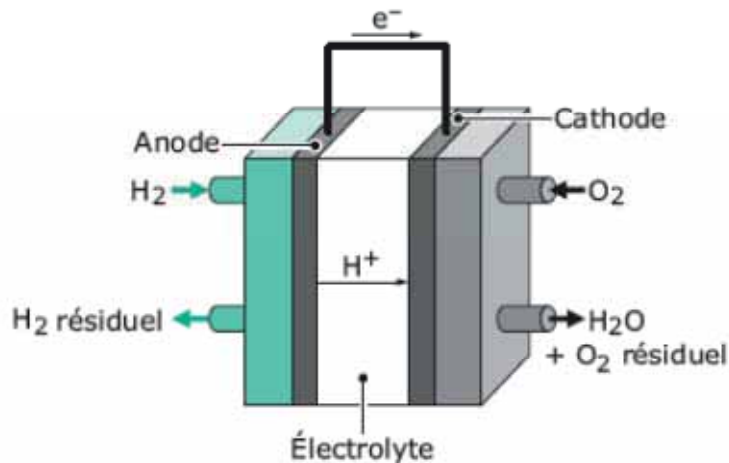


Figure 1.2 schéma de principe d'une pile à combustible

Les réactions mises en jeu sont les suivantes :

- à l'anode, le dihydrogène est oxydé selon la réaction : $\text{H}_2 = 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$
- à la cathode, le dioxygène est réduit selon la réaction : $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- = 2 \text{H}_2\text{O}$

Le bilan global est donc $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

Le seul produit rejeté est donc de l'eau.

Dans les véhicules électriques équipés, les piles à combustibles sont constituées d'un empilement de cellules électrochimiques élémentaires branchées en série les unes aux autres (leur nombre est de l'ordre de 100).

- 1.3.1. On rappelle qu'un courant de 1 ampère correspond à la circulation d'une charge de 1 coulomb (C) par seconde. Déterminer la charge totale en coulomb correspondant à 1 Ah, c'est-à-dire à la circulation d'un courant de 1 ampère durant 1 h.
- 1.3.2. En vous basant sur les équation-bilans, déterminer combien d'électrons sont produits pour chaque mole de dihydrogène consommée.
- 1.3.3. En déduire qu'une pile à combustible peut produire $2,7 \times 10^4$ Ah par kilogramme de dihydrogène consommé.
On rappelle que le nombre d'Avogadro (nombre d'entités dans une mole) vaut $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ et que chaque électron transporte une charge électrique $|q| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- 1.3.4. On définit l'énergie électrique de la façon suivante $W_E = Q \cdot V$ avec Q (exprimée en coulomb) la charge qui s'écoule sous une tension V (exprimée en volts).
Calculer l'énergie électrique produite par une pile à combustible, fonctionnant sous 0,7 V, pour 1 kg de dihydrogène consommé.
- 1.3.5. Le pouvoir énergétique d'une pile à combustible est évalué à $W = 142 \text{ MJ}$ par kg de dihydrogène consommé. Toute l'énergie produite par l'oxydoréduction est-elle disponible sous forme d'énergie électrique ? Justifier votre réponse. Sous quelle forme peut également se retrouver une partie de l'énergie produite ?
- 1.3.6. En supposant un rendement électrique de la pile de 50% et un rendement de 90% pour les moteurs électriques, calculer le rendement global d'un véhicule électrique équipé d'une pile à combustible. Ce rendement est-il meilleur ou moins bon que celui d'un moteur thermique ?
- 1.3.7. Quels sont, selon vous, les avantages et les inconvénients de cette technologie alternative ?

1.4. Consommation d'un véhicule :

On considèrera le cas d'un véhicule de masse totale $M = 1300$ kg ayant un mouvement rectiligne et uniforme à la vitesse $v_0 = 90$ km.h⁻¹.

On désigne par G le centre de gravité de ce véhicule et on prendra comme valeur pour l'intensité de la pesanteur $g = 9,81$ m.s⁻².

Pour simplifier l'étude, on suppose que l'ensemble des frottements aérodynamiques et la résistance au roulement sont modélisables par une force résistante \vec{F}_R de sens opposé au déplacement, d'intensité constante $F_R = 900$ N.

Le moteur quant à lui exerce une force motrice \vec{F}_M que l'on supposera d'intensité constante.

- 1.4.1. Dresser l'inventaire des forces extérieures exercées sur le véhicule montant le long d'une route en pente. Les représenter sur le schéma de la **figure 1 de l'ANNEXE I à rendre avec la copie.**
- 1.4.2. Déterminer la valeur de l'angle α de la pente à l'aide des données figurant sur le schéma.
- 1.4.3. En utilisant la relation fondamentale de la dynamique, donner l'expression de l'intensité de la force motrice F_M nécessaire pour compenser l'effet de la pente et des frottements. Calculer sa valeur.
- 1.4.4. Exprimer et calculer le travail W_M de cette force pour un trajet dont la durée est une heure.
- 1.4.5. Sachant que le rendement du moteur thermique est de 30 %, calculer l'énergie thermique Q qui a été nécessaire pour produire ce travail moteur.
- 1.4.6. Le pouvoir calorifique du gazole est de 35 MJ.L⁻¹ en déduire la consommation du véhicule C_{pente} en L.h⁻¹ sur route pentue.
- 1.4.7. Comparer à la consommation du véhicule $C_{\text{horizontal}}$ sur route horizontale.

2. Étude du freinage du véhicule :

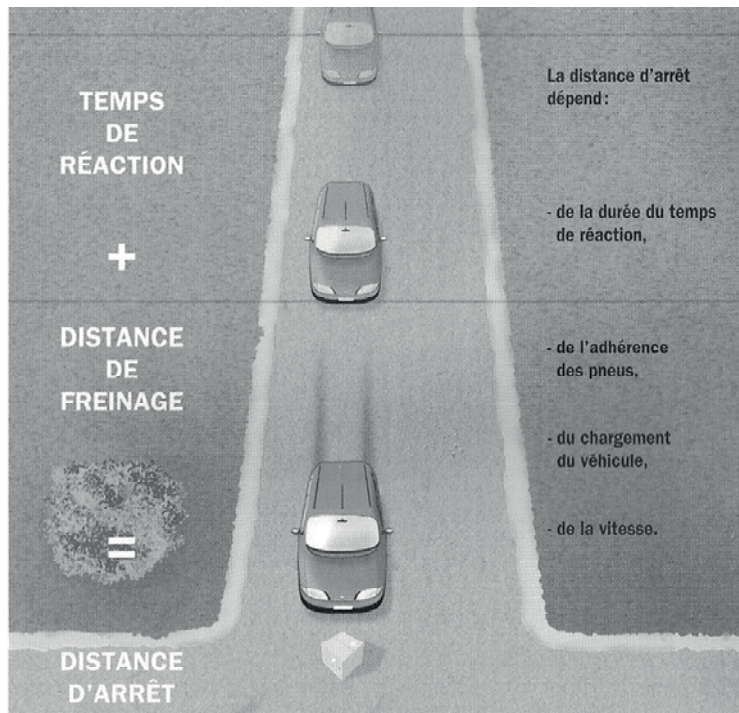
2.1. Étude de la distance d'arrêt sur route horizontale :

Voici un extrait d'un livre utilisé pour préparer l'examen du code de la route :

DISTANCE D'ARRÊT

La distance d'arrêt est la distance totale parcourue pendant le temps de réaction du conducteur et le freinage du véhicule jusqu'à l'arrêt complet.

On peut calculer approximativement la distance d'arrêt par une opération simple.



Ce calcul rapide permet d'obtenir une approximation de la distance d'arrêt souvent, largement supérieure à la réalité. Cela permet d'avoir une marge de sécurité intéressante quelles que soient les circonstances.

Calcul approximatif des distances		
Vitesse km/h	Arrêt sur sol sec	Arrêt sur sol mouillé
	Multiplier le chiffre des dizaines par lui-même	Multiplier la distance d'arrêt sur sol sec par 1,5
50	5 x 5 = 25 m	25 x 1,5 = 38 m
90	9 x 9 = 81 m	81 x 1,5 = 122 m
130	13 x 13 = 169 m	169 x 1,5 = 254 m

Code de la route 2011 - Michelin

Lors d'un freinage d'urgence, le temps que met un véhicule pour s'arrêter se décompose en deux parties :

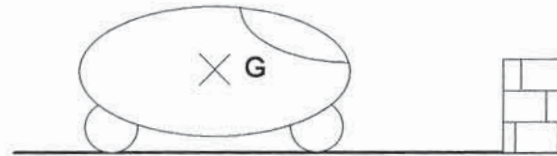
- Le temps de réaction du conducteur noté t_R (il correspond au temps nécessaire au conducteur pour prendre conscience de la situation et commencer à appuyer sur le frein). Ce temps est estimé à une seconde. Le véhicule parcourt pendant ce temps la **distance D_R** .
- Le temps de freinage noté t_F lui-même pendant lequel le véhicule parcourt la **distance de freinage D_F** .

Pour calculer la **distance d'arrêt D_A** d'un véhicule il faut donc additionner la distance parcourue pendant le temps de réaction **D_R** et la distance de freinage **D_F** .

Le but de cette partie est de comprendre d'où viennent les formules simples de calcul des distances d'arrêt sur route sèche et sur route mouillée présentées dans ce livre.

On considèrera le cas d'un véhicule de masse totale $M=1\ 300\text{ kg}$ se déplaçant sur route nationale horizontale à la vitesse initiale $v_0=90\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

On désigne par G le centre de gravité de ce véhicule.



2.1.1. Rappeler le calcul permettant de convertir une vitesse en km.h^{-1} en m.s^{-1} . Application numérique dans le cas : $v_0 = 50 \text{ km.h}^{-1}$.

2.1.2. En supposant que pendant le temps de réaction t_R le véhicule continue à avoir un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v_0 , exprimer la distance D_R parcourue pendant le temps de réaction en fonction de v_0 et t_R .

On suppose que pendant le temps de freinage t_F le véhicule a un mouvement rectiligne uniformément varié, sa vitesse passant de la valeur v_0 à une valeur nulle. On désigne par a la valeur absolue de l'accélération supposée constante pendant le freinage.

2.1.3. Donner l'expression de la vitesse v du véhicule à un instant t pendant la phase de freinage en fonction de a , v_0 et t .

2.1.4. En déduire l'expression de la distance parcourue D par le véhicule à un instant t pendant la phase de freinage en fonction de a , v_0 et t .

2.1.5. Que vaut la vitesse à la fin de la phase de freinage ? En déduire l'expression du temps de freinage t_F en fonction de a et v_0 .

2.1.6. En utilisant les différents résultats trouvés aux questions précédentes, montrer que l'expression de la distance de freinage D_F en fonction de a , v_0 est :

$$D_F = \frac{v_0^2}{2a}$$

Pour simplifier l'étude, on suppose que pendant la phase de freinage, l'ensemble des frottements est modélisable par une force résistante \vec{F}_R horizontale de sens opposé au déplacement, d'intensité constante. De plus, le conducteur ayant cessé d'accélérer, on admettra que la force motrice est nulle pendant cette phase.

2.1.7. Dresser l'inventaire des forces extérieures exercées sur le véhicule pendant la phase de freinage. Les représenter sur le schéma de la **figure 2 de l'ANNEXE I à rendre avec la copie**.

2.1.8. En utilisant la relation fondamentale de la dynamique, donner l'expression de la force résistante F_R pendant la phase de freinage en fonction de a et de M .

2.1.9. Le coefficient f d'adhérence des pneus sur la route est donné par la formule :

$$f = \frac{F_R}{P}, \text{ P étant le poids du véhicule}$$

En déduire l'expression de f en fonction de a et de g , l'accélération de la pesanteur.

2.1.10. En vous aidant des résultats des questions précédentes, montrer que l'expression de la distance de freinage D_F en fonction de f , g et v_0 est :

$$D_F = \frac{v_0^2}{2fg}$$

2.1.11. Écrire l'expression finale de la distance d'arrêt D_A du véhicule en fonction de sa vitesse initiale v_0 , du temps de réaction du conducteur t_R , du coefficient d'adhérence des pneumatiques f et de l'accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Utiliser cette expression pour compléter le tableau de l'**ANNEXE I à rendre avec la copie.**

2.1.12. En comparant vos résultats pour les différentes vitesses à ceux trouvés dans le tableau du calcul approximatif des distances, commenter le texte : « Ce calcul rapide permet d'obtenir une approximation de la distance d'arrêt souvent, largement supérieure à la réalité. Cela permet d'avoir une marge de sécurité intéressante quelles que soient les circonstances. »

2.1.13. On peut montrer que l'expression de la distance de freinage D_F dans le cas d'une route pentue est :

$$D_F = \frac{v_0^2}{2g(f+p)}$$

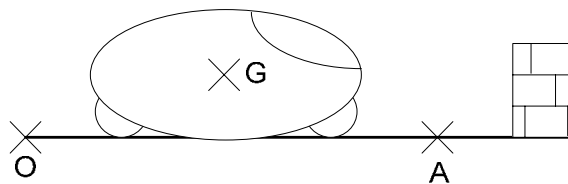
où p est la déclivité de la pente (valeur algébrique).

En faisant une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de p .

2.1.14. Dans le cas d'un véhicule descendant une pente, quel est le signe de la valeur algébrique de la déclivité p ?

2.2. Influence de la valeur de l'énergie cinétique sur le freinage :

On considèrera le cas d'un véhicule de masse totale $M = 1\,300 \text{ kg}$ se déplaçant sur route horizontale. Voyant un obstacle, le conducteur freine et la vitesse du véhicule passe de v_0 au point O à la valeur $v_A = 0 \text{ km.h}^{-1}$ au point A.



2.2.1. Rappeler l'expression de l'énergie cinétique E du véhicule en fonction de sa vitesse v et de sa masse totale M .

2.2.2. Calculer la variation ΔE_{OA} d'énergie cinétique entre les points O et A dans deux cas :

- $v_{01} = 150 \text{ km.h}^{-1}$
- $v_{02} = 130 \text{ km.h}^{-1}$

2.2.3. Sous quelle forme d'énergie est transformée l'énergie cinétique lors de la phase de freinage ?

- 2.2.4. On suppose que 70 % de cette variation ΔE_{OA} d'énergie cinétique contribue à l'élévation de la température des freins. Calculer l'énergie échangée sous forme thermique Q dans les deux cas précédents.
- 2.2.5. La masse totale des disques de frein est $m_D = 9$ kg, la capacité thermique du matériau constituant les disques vaut $c_D = 460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et la température des disques avant freinage est $T_0 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Calculer la température T_D des disques à la fin de la phase de freinage dans les deux cas précédents.
- 2.2.6. On suppose que, les pneus, proches des disques de frein, acquièrent une température proche de T_D peu de temps après la fin de la phase de freinage.

Illustration du phénomène d'éclatement ou d'explosion d'un pneu en 4 étapes :

- Échauffement de l'air dans le pneu qui se dilate et provoque une augmentation de la pression.
- Lorsqu'il est chauffé autour de $185 \text{ }^\circ\text{C}$ le caoutchouc commence à se dégrader, produisant des gaz et des matières inflammables, ce qui augmente encore la pression dans le pneu.
- Si l'apport de chaleur continue, l'accumulation de gaz et de matières inflammables due à la dégradation du caoutchouc continue.
- Lorsque la concentration critique des gaz et des matières inflammables est atteinte en présence d'oxygène à la température et pression d'auto allumage, il y a explosion.

En vous référant au texte ci-dessus, conclure sur les différences de risques encourus lors d'un freinage d'urgence à 150 km.h^{-1} et à 130 km.h^{-1} .

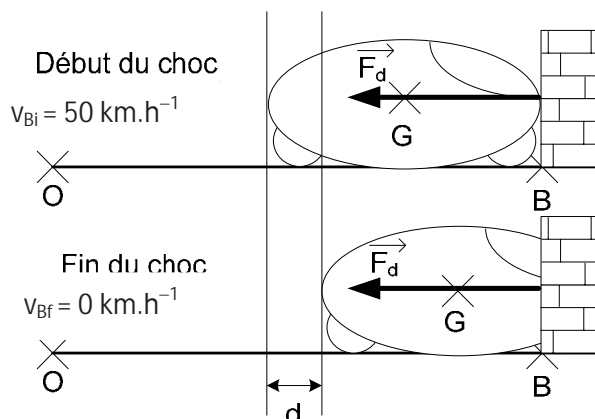
2.3. Étude d'un choc frontal :

On considèrera le cas d'un véhicule de masse totale $M = 1\,300$ kg se déplaçant sur route horizontale. Voyant un obstacle, le conducteur freine mais n'arrive pas à éviter le choc. Lorsqu'il percute l'obstacle, la vitesse du véhicule au point B vaut $v_B = 50 \text{ km.h}^{-1}$

La diminution de longueur de l'avant du véhicule par déformation des éléments mécaniques est de $0,60$ m (à l'arrêt total).

On suppose que la force de déformation \vec{F}_d exercée par l'obstacle est constante. On considèrera que cette force sera la seule à prendre en compte durant le choc.

On désigne par a_c la valeur absolue de la décélération supposée constante pendant le choc.



2.3.1. En cas de choc frontal, l'énergie cinétique d'un véhicule est dissipée par le travail de déformation de sa partie avant. Exprimer et calculer l'intensité F_d de la force de déformation.

2.3.2. En utilisant la relation fondamentale de la dynamique, en déduire la valeur de la décélération a_c .

Le prétensionneur de ceintures de sécurité est un dispositif de sécurité qui s'active en cas de choc pour réduire le jeu entre la ceinture et coupler le conducteur au véhicule. Il se déclenche si la vitesse du véhicule est supérieure à 24 km.h^{-1} lors d'un choc frontal et si la décélération est supérieure à $2,5 \text{ g}$.

2.3.3. En prenant pour l'accélération de la pesanteur g , la valeur $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$, déterminer si le prétensionneur se déclenche lors du choc.

2.3.4. Existe-t-il d'autres dispositifs de sécurité passive permettant d'éviter au conducteur des lésions trop graves ? Préciser pour chacun de ces dispositifs leur intérêt.

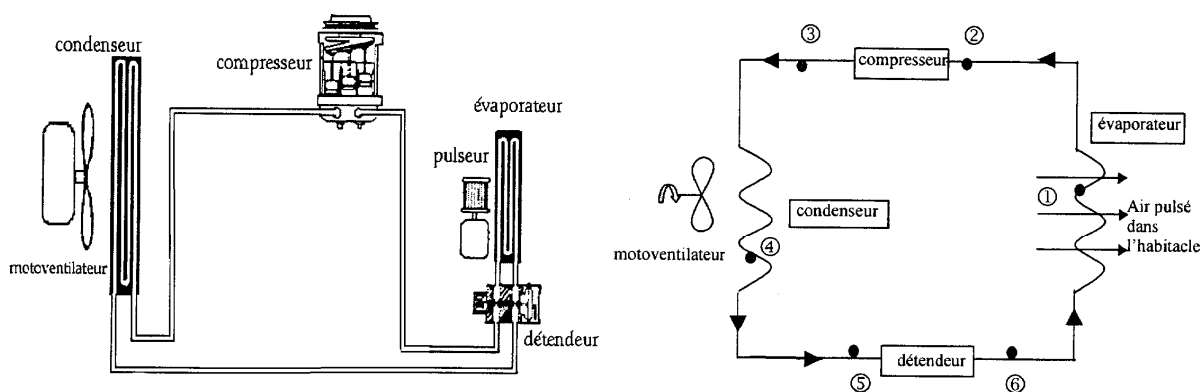
3. Étude du confort thermique dans le véhicule :

Depuis dix ans, la climatisation est devenue un élément de confort très courant dans les automobiles. En effet, à l'heure actuelle, 90% des véhicules neufs sont livrés avec ce système. Dans les parties 3.1 et 3.2 seront étudiées la production de froid et son influence sur la consommation du véhicule.

De nombreux véhicules voient leur système de climatisation complètement automatisé. Avec un tel système, le chauffeur du véhicule définit une valeur de consigne pour la température de l'habitacle. Cette régulation ainsi que la mesure de température qui l'accompagne seront traitées dans la partie 3.3.

3.1. Étude du principe de fonctionnement d'une climatisation :

Le schéma du climatiseur et son principe de fonctionnement sont schématisés ci-dessous:



Le fluide circulant dans le circuit fermé est un fluide frigorigène R134a.

Ce fluide, à l'état liquide, passe dans le détendeur et voit sa pression diminuer. Il se vaporise (passage de l'état liquide à l'état gazeux) lors de son passage dans l'évaporateur. L'évaporateur est un échangeur thermique permettant le transfert d'énergie, sous forme de chaleur, entre le fluide frigorigène R134a et l'air pulsé dans l'habitacle. Son fonctionnement est similaire à celui d'un radiateur où on a un échange d'énergie thermique entre l'air ambiant et le fluide circulant à l'intérieur, ce dernier dans le cas d'un évaporateur se transformant en gaz. Ensuite, il est comprimé puis passe au travers d'un condenseur où il passe de l'état gazeux à l'état liquide. Il retourne à son point de départ et termine un cycle.

3.1.1. Quel dispositif de la climatisation va, au contact de l'air, permettre de refroidir ce dernier ? Justifier votre réponse de manière synthétique.

3.1.2. Au sein du dispositif cité précédemment, préciser le sens du transfert thermique.

3.1.3. Lorsqu'un fluide change d'état (par exemple passage de l'état liquide à l'état gazeux), sous une pression donnée, la température du fluide reste constante pendant toute la transformation. On appelle chaleur latente de changement d'état d'un corps pur à la température T l'énergie thermique échangée sous forme de chaleur par ce corps passant d'un état (solide, liquide ou gazeux) à un autre état.

On donne ci-dessous, pour le fluide frigorigène R134a, les valeurs de température pour lesquelles s'effectuent les transformations liquide → gaz (vaporisation) et gaz → liquide (condensation) pour différentes valeurs de pression :

Température (°C)	Pression (bar)
-10	2,00
-5	2,50
0	3,00
5	3,55
10	4,10
15	4,95
20	5,80
25	6,75
30	7,70
35	8,85
40	10,0
45	12,5
50	15,0
55	16,5

On considèrera que l'air à refroidir (habitacle du véhicule) est à une température de 25°C avant d'entrer dans le système de climatisation.

À quelle pression maximum doit être le fluide R134a avant d'entrer dans l'évaporateur ? Justifier votre réponse ?

3.1.4. On considèrera que l'air extérieur échangeant de l'énergie avec le fluide R134a au niveau du condenseur, est à une température de 35°C.

À quelle pression minimum doit être le fluide R134a avant d'entrer dans le condenseur ? Justifier votre réponse ?

3.1.5. En vous aidant des questions précédentes, conclure quant à l'intérêt de comprimer et de détendre le fluide frigorigène pour échanger de l'énergie sous forme de chaleur.

3.2. Estimation de la consommation supplémentaire en carburant engendrée par l'utilisation d'une climatisation :

L'échauffement de l'habitacle d'une voiture est principalement dû au soleil. Ce dernier peut chauffer l'habitacle avec une densité de puissance de 1000 W.m^{-2} . La surface d'habitacle exposée à l'ensoleillement peut être estimée à 10 m^2 .

3.2.1. Déterminer la puissance thermique reçue par l'habitacle de la voiture.

3.2.2. Déduire de la question précédente la puissance thermique minimale que doit pouvoir dissiper la climatisation du véhicule en considérant que les autres sources d'échauffement de l'habitacle peuvent être négligées par rapport à l'échauffement solaire.

Pour la suite, on considèrera que la climatisation peut refroidir l'air de l'habitacle avec une puissance frigorifique de 20 kW (puissance nécessaire pour un confort obtenu rapidement).

La chaleur latente de vaporisation du fluide R134a sous une pression de 3,5 bars est de 170 kJ.kg^{-1} .

3.2.3. Déterminer le débit massique en kg.s^{-1} de fluide R134a nécessaire dans l'évaporateur de la climatisation pour absorber une puissance frigorifique de 20 kW.

3.2.4. Le travail nécessaire pour transvaser et comprimer 1 kg de gaz R134a de 3,5 bars à 10 bars est de 22 kJ. Déterminer la puissance que doit fournir le compresseur de la climatisation au fluide R134a.

Le compresseur de la climatisation est entraîné mécaniquement par le moteur de la voiture. Le rendement de ce compresseur (rapport de la puissance fournie au fluide sur la puissance mécanique reçue de la part du moteur) peut être estimé à 0,9.

Les moteurs diesel les plus modernes, pour des conditions optimales de fonctionnement, ont une consommation spécifique de gasoil de 200 g.kWh^{-1} : c'est-à-dire qu'ils consomment 200 g de gasoil pour fournir une énergie mécanique de 1 kWh.

3.2.5. Calculer la consommation supplémentaire de gasoil engendrée par le fonctionnement de la climatisation pour un véhicule équipé d'un tel moteur diesel (donner cette consommation en g.h^{-1}).

3.2.6. La masse volumique du gasoil est de 830 g.L^{-1} . La consommation du véhicule pour une vitesse de 90 km.h^{-1} sans utiliser la climatisation est de 4,5 litres pour 100 kilomètres.

Pour une conduite en condition extra-urbaine à une vitesse de 90 km.h^{-1} , calculer l'augmentation relative de consommation (en pourcentage) due à l'utilisation de la climatisation par rapport au cas sans climatisation.

3.2.7. La consommation du véhicule pour une vitesse de 50 km.h^{-1} sans utiliser la climatisation est de 6 litres pour 100 kilomètres.

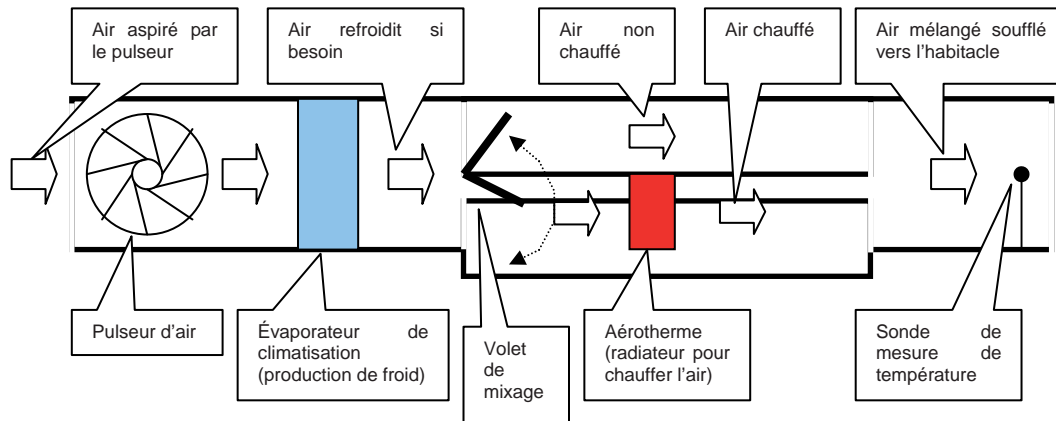
Pour une conduite en condition urbaine à une vitesse de 50 km.h^{-1} , calculer l'augmentation relative de consommation (en pourcentage) due à l'utilisation de la climatisation par rapport au cas sans climatisation.

3.2.8. En vous aidant des questions précédentes, conclure quant à la consommation d'une climatisation en fonction du type d'utilisation du véhicule.

3.3. Étude du système de régulation de la température :

De nombreux véhicules voient leur système de climatisation complètement automatisé. Avec un tel système, le chauffeur du véhicule définit une valeur de consigne pour la température de l'habitacle. Cette régulation ainsi que la mesure de température qui l'accompagne seront étudiées dans cette partie.

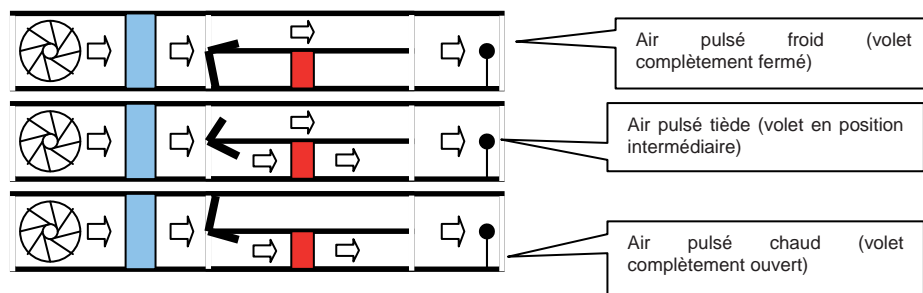
L'air soufflé par le pulseur dans l'habitacle suit le parcours suivant :



Lorsque le système de régulation est en mode automatique, un calculateur définit une consigne de température pour l'air soufflé dans l'habitacle à partir de la température mesurée dans l'habitacle, de la température mesurée à l'extérieur et de l'ensoleillement du véhicule.

La température de l'air soufflé est modulée par un volet de mixage. Ce dernier permet un mélange d'air passant au travers de l'aérotherme (radiateur, alimenté par le liquide de refroidissement du moteur de la voiture, permettant de chauffer l'air) et d'air provenant directement de la turbine (pulseur).

La température de l'air ainsi pulsé dépend de la position du volet de mixage :



La température de l'air soufflé est mesurée par une sonde de type CTN avant d'arriver dans l'habitacle.

L'étude portera dans un premier temps sur la mesure de température effectuée par une CTN et dans un second temps sur le programme permettant de réguler la température de l'air soufflé à la valeur de consigne calculée par un programme de l'automate.

3.3.1. Mesure de température :

La température de l'air soufflé est mesurée à l'aide d'une CTN.

3.3.1.1. Que signifie CTN ?

3.3.1.2. Quel paramètre électrique d'une CTN varie avec la température ?

3.3.1.3. La chaîne de traitement du signal permettant à l'automate de connaître la température de l'air soufflé utilise-t-elle un convertisseur analogique numérique ou un convertisseur numérique analogique ?

3.3.1.4. La sonde CTN peut mesurer une température allant de 0°C à 40°C. On utilise un convertisseur 8 bits. Déterminer le quantum en °C de cette chaîne de mesure (augmentation de température détectable par la chaîne de mesure).

3.3.1.5. De façon générale, l'être humain n'est pas capable de ressentir une différence de température inférieure à 0,2 °C ? Conclure sur l'intérêt d'utiliser une chaîne de mesure utilisant un convertisseur à 8 bits.

3.3.2. Régulation de température de l'air soufflé :

La climatisation de l'habitacle est gérée par un automate. Dans cette partie, seule la régulation de la température d'air soufflé sera étudiée. Le programme gérant cette tâche peut se modéliser par un grafset.

Tables des variables associées au programme de régulation de température de l'air soufflé :

Détecteurs	Variables d'entrée
Bouton bistable « Auto »	Auto
Bouton poussoir « Plus »	Plus
Bouton poussoir « Moins »	Moins
Détecteur fin de course volet fermé	VF
Détecteur fin de course volet ouvert	VO

Actionneurs	Variables de sortie
Relais pilotant l'ouverture du volet	K+
Relais pilotant la fermeture du volet	K-

Test	Bit interne
Température T inférieure à $T_c - 0,5$ (en °C)	Tinf
Température T supérieure à $T_c + 0,5$ (en °C)	Tsup

Le chauffeur dispose de deux boutons poussoirs (monostable) : « Plus » et « Moins » et d'un bouton bistable (bouton à bascule) : « Auto ».

Cahier des charges :

Lorsque le bouton « Auto » est enfoncé (Auto = 1), l'automate gère le volet de mixage de manière à maintenir la température T de l'air soufflé proche d'une valeur de consigne T_c .

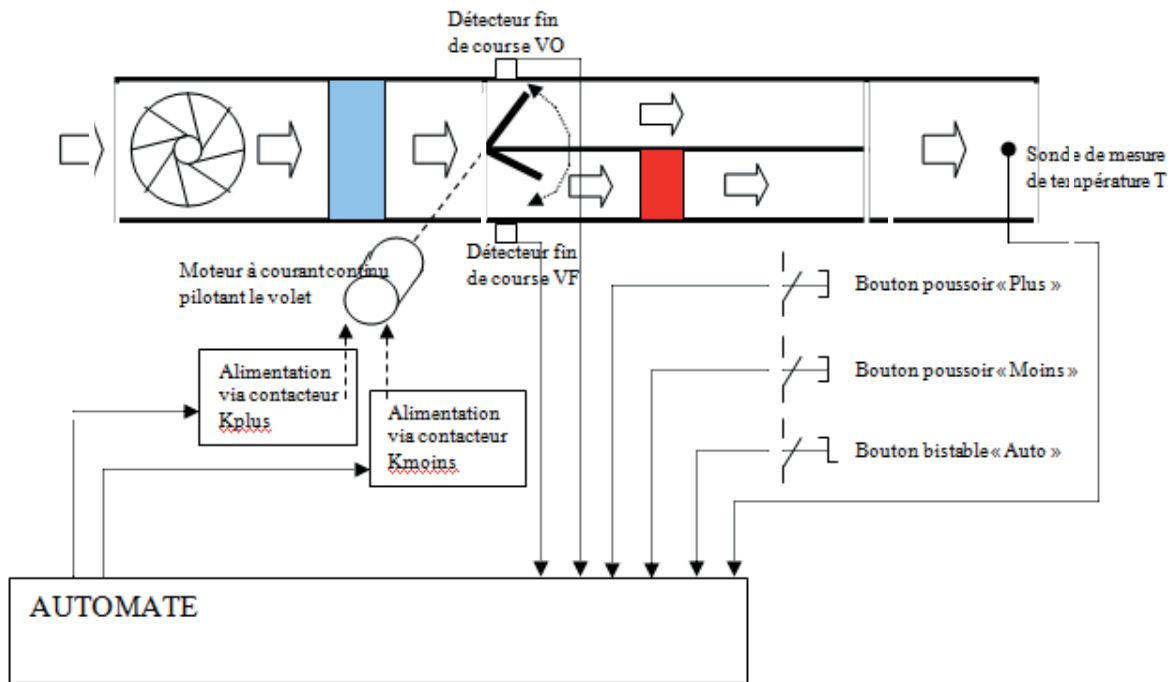
Lorsque le bouton « Auto » n'est pas enfoncé (Auto = 0), le chauffeur ouvre le volet de mixage en appuyant sur « Plus » et le ferme en appuyant sur « Moins ». Appuyer simultanément sur « Plus » et « Moins » est sans effet.

La mesure de température T de l'air soufflé est réalisée avec une sonde de type CTN. Soit T_c la valeur de consigne de température de l'air soufflé calculée par un programme de l'automate. Ce dernier effectue les comparaisons suivantes :

- Si la température T est inférieure à $T_c - 0,5$ (T et T_c sont exprimées en °C), l'automate affecte au bit interne Tinf la valeur de 1 et en conséquence, ouvre le volet de mixage. Dans le cas contraire il affecte la valeur de 0 à Tinf.
- Si la température T est supérieure à $T_c + 0,5$ (T et T_c sont exprimées en °C), l'automate affecte au bit interne Tsup la valeur de 1 et en conséquence, ferme le volet de mixage. Dans le cas contraire il affecte la valeur de 0 à Tsup.

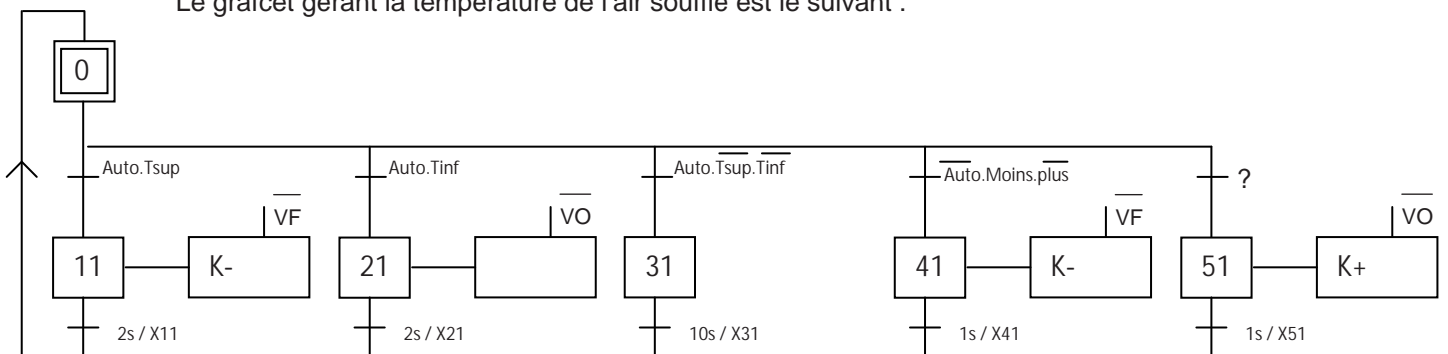
Le volet de mixage est actionné par un moteur à courant continu alimenté via deux contacteurs K+ et K- permettant d'inverser le sens de marche : si $K+ = 1$, le volet de mixage s'ouvre, si $K- = 1$ le volet de mixage se ferme, si $K+ = 0$ et $K- = 0$ le volet se maintient dans sa position. Il est interdit d'avoir $K+ = 1$ et $K- = 1$ simultanément.

Deux détecteurs de fin de course VF et VO permettent l'arrêt du moteur à courant continu si le volet est en fin de course : VF = 1 si le volet est complètement fermé et VO = 1 si il est complètement ouvert. Pour une position intermédiaire, VO et VF valent 0.



3.3.2.1. Sachant que la valeur calculée de consigne T_c est de 23°C , compléter sur le chronogramme de l'ANNEXE II à rendre avec la copie les bits internes T_{inf} et T_{sup} .

Le grafcet gérant la température de l'air soufflé est le suivant :



3.3.2.2. Compléter sur le grafcet de l'ANNEXE III à rendre avec la copie l'action associée à l'étape 21 pour répondre au cahier des charges.

3.3.2.3. Compléter la réceptivité précédant l'étape 51 sachant que cette branche correspond au cas où l'installation n'est pas en auto et où le chauffeur appuie sur le bouton poussoir « Plus ».

3.3.2.4. Soit r_{31} la réceptivité précédant l'action 31. On a donc $r_{31} = \text{Auto} \cdot \overline{T_{sup}} \cdot \overline{T_{inf}}$.

Dans le cas où $\text{Auto} = 1$, compléter la table de vérité suivante :

Auto	T_{sup}	T_{inf}	r_{31}
1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	

3.3.2.5. Le cas où $T_{sup} = 1$ et $T_{inf} = 1$ simultanément est-il possible physiquement ? Justifier votre réponse de manière synthétique.

3.3.2.6. Que peut-on dire de la température T si $T_{sup} = 0$ et $T_{inf} = 0$ (prendre $T_c = 23^\circ\text{C}$) ?

3.3.2.7. Expliquer brièvement le rôle de l'étape 31.

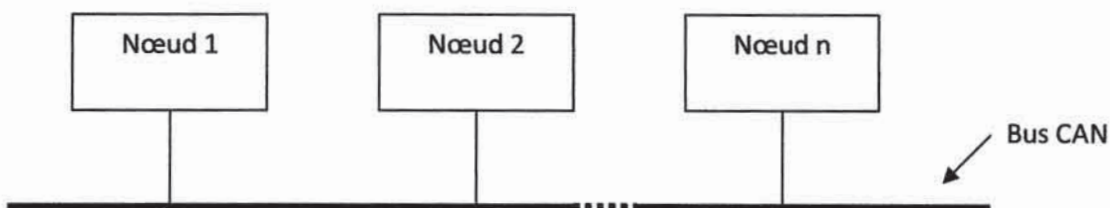
4. Étude de la communication inter-systèmes du véhicule :

L'objectif de cette partie est d'approcher quelques principes de fonctionnement du bus CAN (Controller Area Network) et d'étudier les caractéristiques de son support physique.

Ce bus trouve son origine dans l'amélioration de la fiabilité des applications toujours plus nombreuses (motorisation, confort, sécurité), embarquées dans l'automobile. Actuellement dans les voitures modernes, en fonction des équipements et accessoires, on dispose de plusieurs bus utilisant le protocole CAN, chacun comportant plusieurs calculateurs. Un intérêt supplémentaire, non négligeable, réside dans le fait que la constitution d'un tel réseau permet des économies de câbles électriques et allège ainsi la masse des véhicules.

Le bus CAN est également très présent dans de multiples applications industrielles dès qu'il s'avère nécessaire de faire communiquer différents systèmes en temps réel.

Topologie d'un bus CAN :



Tous les nœuds ou stations fonctionnent avec le même débit (nombre de bits par unité de temps), peuvent échanger (émettre et/ou recevoir) des données avec les autres et ont tous une interface CAN de liaison au support physique. Certains nœuds sont constitués d'un microcontrôleur avec un gestionnaire de protocole CAN, d'autres plus simples ont un fonctionnement plus passif sur ordre du réseau en supportant ce protocole.

4.1. Caractéristiques fondamentales du protocole CAN :

4.1.1. Arbitrage

Règle d'accès au bus : Un nœud ne peut commencer à émettre que si le bus est libre (depuis une durée ΔT définie) mais du fait du temps de propagation dans les câbles un ou plusieurs nœuds peuvent commencer leur transmission quasiment simultanément et créent alors un conflit sur le bus. Le protocole CAN est tel que le bus sera attribué au nœud dont le message est jugé prioritaire par rapport aux autres messages. Les nœuds qui perdent la priorité doivent alors cesser d'émettre et leurs messages seront réémis un peu plus tard.

Pour gérer ce mécanisme de priorité (on parle de phase d'arbitrage) :

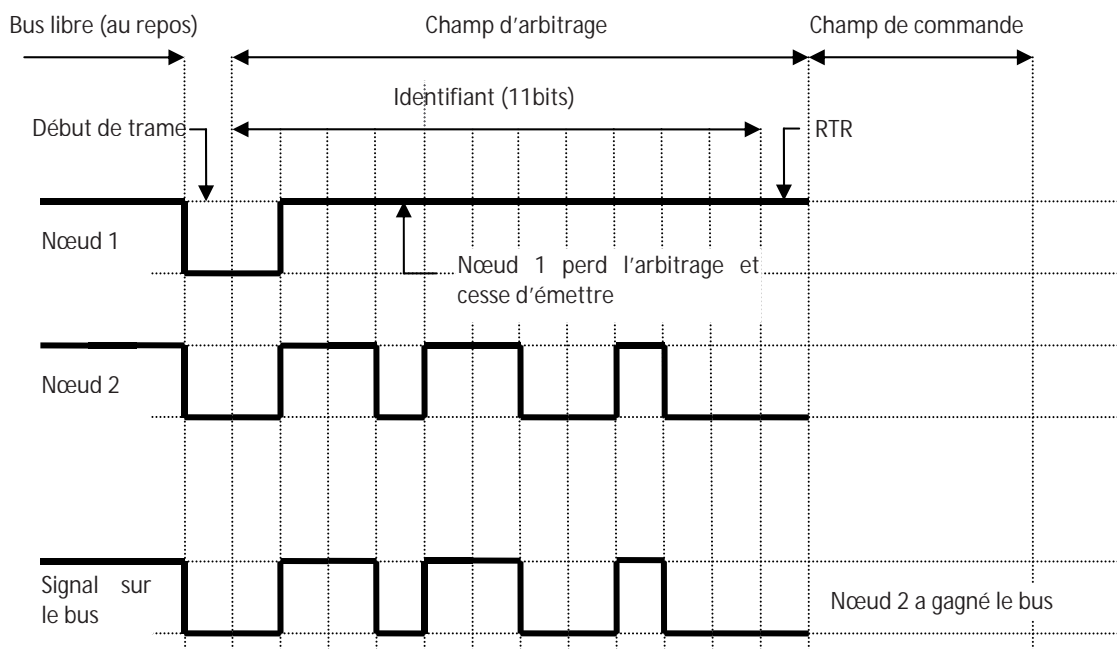
- On utilise la notion de bit dominant (état logique 0) et de bit récessif (état logique 1). Si 2 nœuds émettent 2 bits différents simultanément sur le bus, le bit dominant l'emporte et est présent sur le bus. S'ils émettent le même bit, il est bien sûr placé sur le bus.
- Pendant cette phase chaque émetteur compare le bit présent sur le bus avec le bit qu'il est censé transmettre, ce qui lui permet de savoir s'il a perdu la priorité.

Trames CAN standard de type 2.0A : Plusieurs types de trames circulent sur le bus mais seules les trames de données sont explicitées. Ces trames transportent les données des émetteurs vers les récepteurs dans un format constitué de différents champs définis ci-dessous.

Début de trame	Champ d'arbitrage	Champ de commande	Champ de données	Champ de CRC	Champ d'acquiescement	Fin de trame
1 bit dominant	12 bits	6 bits	0 à 8 octets	16 bits	2 bits	7 bits récessifs

- Le *début de trame* est constitué d'un bit dominant signalant à tous les nœuds le début d'un échange (qui n'est possible que si le bus était au repos précédemment).
- Le *champ d'arbitrage* est composé de 11 bits pour l'identifiant suivis d'un bit (RTR) dominant quand il s'agit d'une trame de données. C'est grâce à cet identifiant (valeur binaire attribuée à la conception du réseau), désignant la nature des données à transmettre que la notion de priorité évoquée précédemment peut s'appliquer. Ceci implique que chaque nœud est capable de décider si le contenu de la trame l'intéresse ou non grâce à un filtrage sur identifiant.
- Le *champ de commande* est formé de 2 bits dominants (pour une trame standard) suivis de 4 bits indiquant le nombre d'octets (entre 0 et 8) qui seront transmis dans le champ de données.
- Le *champ de données* est l'endroit où se trouvent les données utiles transmises.
- Le *champ de CRC* (cyclic redundancy code) permet au récepteur de vérifier la validité de la transmission.
- Le *champ d'acquiescement* constitué de 2 bits, le premier dominant émis par un récepteur signifiant qu'il a reçu correctement le message, le second toujours récessif émis par l'émetteur du message.

On illustre la phase d'arbitrage avec l'exemple ci-dessous dans lequel on suppose que 2 nœuds se mettent à émettre simultanément. Le message 1 dont l'identifiant est 01110101000 concerne la vitesse de rotation du moteur, le message 2 dont l'identifiant est 01101100100 concerne la température du circuit de refroidissement du moteur. On peut comprendre que la priorité soit accordée au message 2 (surtout si la température atteint une certaine valeur) et le nœud 1 perd l'arbitrage à l'émission du 4^{ème} bit de l'identifiant.

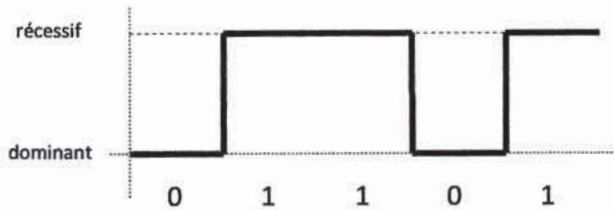


On suppose qu'un 3^{ème} nœud veuille également émettre simultanément avec les 2 précédents. Le message émis par ce nœud a pour identifiant 01101010010.

Compléter le diagramme figure 1 de l'ANNEXE IV à rendre avec la copie et préciser quel nœud gagne l'accès au bus.

4.1.2. Codage et méthode de bit stuffing (remplissage) :

Le codage des bits des trames CAN est de type Non Retour à Zéro ce qui signifie que le niveau du bit reste le même pendant toute sa durée, selon l'exemple ci-dessous.



La méthode de bit stuffing consiste à ajouter, après une suite de 5 bits consécutifs de même valeur, un bit supplémentaire de valeur opposée. Ceci dans le but de faciliter la synchronisation de l'horloge du nœud récepteur en créant des transitions sur le signal et d'effectuer la lecture des bits sur le bus aux bons instants. Le récepteur devant alors retirer ces bits supplémentaires (destuffing) à la réception, n'ayant servi qu'à fiabiliser la transmission.

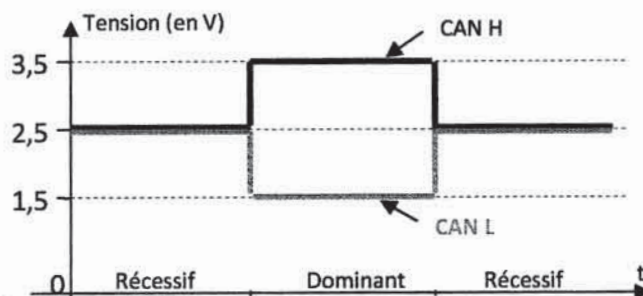
4.1.2.1. Compléter le diagramme figure 2 de l'ANNEXE IV à rendre avec la copie en respectant la méthode de bit stuffing.

4.1.2.2. Compléter le diagramme figure 3 de l'ANNEXE IV à rendre avec la copie pour retrouver l'originale d'une trame stuffée.

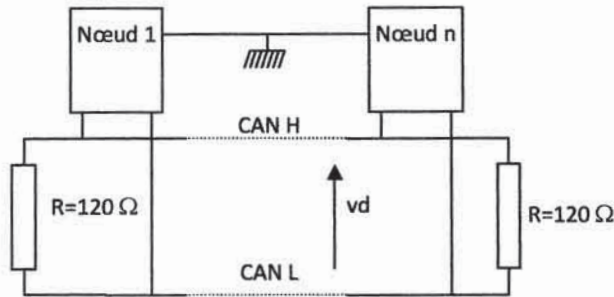
4.2. Support physique et signaux :

Dans l'industrie automobile le support physique pour la communication le plus utilisé est une paire différentielle (torsadée) constituée de 2 fils désignés par CAN H et CAN L. Seule la norme CAN high speed est exposée succinctement et présente les caractéristiques suivantes :

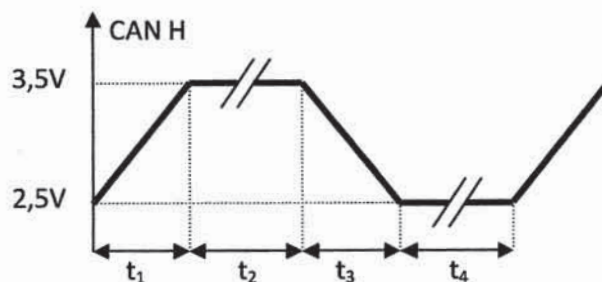
- Débit compris entre 125 kbit.s^{-1} et 1 Mbit.s^{-1} .
- De 2 à 30 nœuds connectés sur le bus.
- Présence à chaque extrémité du bus d'une résistance de 120Ω assurant l'adaptation de la ligne constituée.
- Niveaux électriques spécifiques sur le bus donnés ci-dessous référencés par rapport à la masse commune.



Soit le schéma ci-dessous.



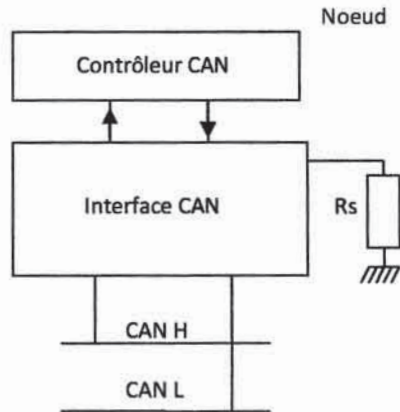
- 4.2.1. On considère la suite binaire 10010 (extraite du message émis par l'un des nœuds), tracer **figure 4 de l'ANNEXE IV à rendre avec la copie** les signaux sur les lignes CAN H et CAN L puis le signal différentiel $v_d = \text{CAN H} - \text{CAN L}$.
- 4.2.2. Déterminer le courant que doit fournir l'interface CAN quand un nœud émet un bit récessif puis quand il émet un bit dominant (on supposera que la résistance d'entrée des interfaces des autres nœuds est infinie).
- 4.2.3. Que peut-on dire de v_d si un même signal perturbateur (parasite) apparaît simultanément sur les 2 fils ? Quel est l'intérêt de la paire différentielle ?
- 4.2.4. Citer 2 sources susceptibles de générer un signal perturbateur dans l'environnement de l'automobile.
- 4.2.5. Il est important de chercher à réduire les émissions électromagnétiques, susceptibles de perturber le fonctionnement de systèmes situés au voisinage du bus, que peut engendrer le passage des trames sur ce bus. D'une façon générale le niveau de ces émissions est proportionnel à la valeur absolue de la dérivée des signaux. On donne ci-dessous la représentation de 2 bits complémentaires du signal sur la ligne CAN H comme on pourrait l'observer à l'oscilloscope avec une base de temps très rapide.



Préciser pendant quelle(s) durée(s) ces émissions sont les plus importantes.

- 4.2.6. On donne $t_2 = t_4 = 3,93 \mu\text{s}$ et $t_1 = t_3 = 0,07 \mu\text{s}$. Déterminer la valeur absolue du coefficient directeur noté s du signal CAN H puis du signal v_d noté s' pendant les durées t_1 et t_3 .

Un dispositif électronique de l'interface de liaison au support physique permet de contrôler les coefficients directeurs des signaux appliqués sur le bus selon le schéma ci-dessous.



Il est tel que le courant qui circule dans la résistance R_s est proportionnel à ce coefficient directeur soit d'équation $i = k.s$ avec $k = 3,723.10^{-3} \mu s.k\Omega^{-1}$.

Sachant que la tension aux bornes de R_s est maintenue constante à 2,5 V, déterminer la valeur de R_s qui a permis d'obtenir les durées précédentes.

4.3. Analyse d'une trame :

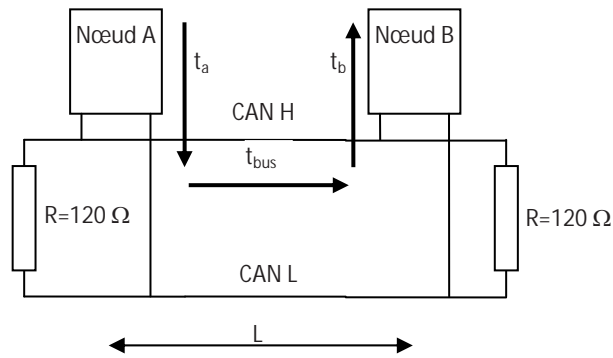
On considère un réseau dont le débit binaire d_B est de 250 kbit/s.

- 4.3.1. Déterminer la durée T_B d'un bit.
- 4.3.2. Déterminer la durée D_T d'une trame de données standard de type 2,0 A comportant 8 octets de données et en supposant qu'aucun bit de remplissage n'ait été émis. Combien peut-on émettre de trames de ce type par seconde ?
- 4.3.3. Déterminer dans ces conditions le débit net d_{Bn} défini par la quantité de bit utiles (de données) transportés par seconde, puis en % de d_B .
- 4.3.4. Comment évolue d_{Bn} quand on tient compte d'éventuels bits de remplissage ?
- 4.3.5. On a relevé à l'oscilloscope une trame des signaux sur CAN H (voie 1) et CAN L (voie 2) émise sur le bus CAN qui lie le calculateur moteur au calculateur central. Cette trame contient 1 seul octet de données qui vaut :
 - 00000000 si le moteur tourne.
 - 00000001 si il y a une demande de démarrage moteur.
 - 00000011 si le moteur est à l'arrêt.

Décoder cette trame, **figure 5 de l'ANNEXE IV à rendre avec la copie**, pour retrouver l'information transmise. Attention il faut commencer à repérer les bits de stuffing, puis matérialiser les différents champs à partir du début de trame. Il est inutile d'aller au-delà du champ de données.

4.4. Relation entre débit et longueur maximale du bus :

Pour chaque nœud placé sur le bus, la durée d'un bit, donc le débit binaire, doit être la même pour pouvoir émettre et recevoir les données qui y circulent. Pour assurer un bon fonctionnement du protocole CAN pendant les phases d'arbitrage et d'acquiescement, il est nécessaire que cette durée soit supérieure à 2 fois le temps de parcours du signal pour se propager entre deux nœuds placés aux extrémités du bus. Ceci correspond en fait au temps mis par l'information (donc le niveau du bit) pour effectuer un aller et retour avant l'émission d'un nouveau bit.



- 4.4.1. Soient L la longueur du bus (distance entre les 2 nœuds A et B) et v la vitesse de propagation du signal sur le bus. Déterminer t_{bus} le temps nécessaire à la propagation du signal sur le bus.
- 4.4.2. Soient t_a le temps de retard dû à l'interface et au contrôleur du nœud A pour émettre un bit sur le bus et t_b le temps de retard dû à l'interface et au contrôleur du nœud B pour lire un bit sur le bus. Ces 2 durées sont essentiellement dues aux retards engendrés par l'électronique. Exprimer la durée minimale d_{min} d'un bit en fonction de L , v , t_a et t_b .
- 4.4.3. En pratique pour s'affranchir de la déformation des signaux par le support physique ainsi que de la dérive des horloges des nœuds on choisit T_B la durée d'un bit égale à $1,5 d_{min}$.

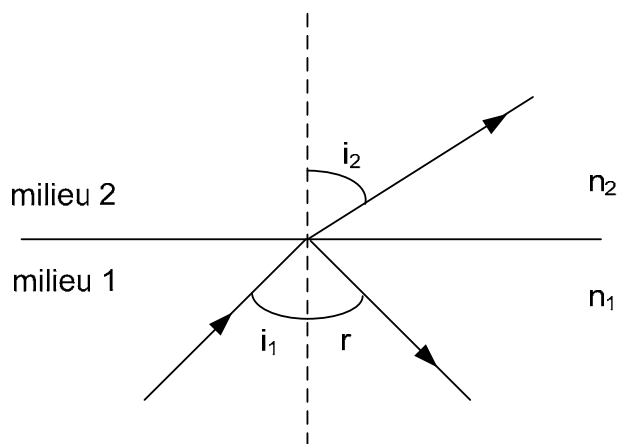
On donne $v = 2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ et $t_a = t_b = 100 \text{ ns}$. Déterminer L pour un débit binaire $d_B = 250 \text{ kbit.s}^{-1}$ puis pour 1 Mbit.s^{-1} . Conclure quant à l'évolution du débit binaire en fonction de la longueur du bus.

5. Étude des dispositifs d'assistance du véhicule :

5.1. Étude du capteur de pluie et de neige :

Dans cette partie du problème, les angles seront exprimés en degrés.

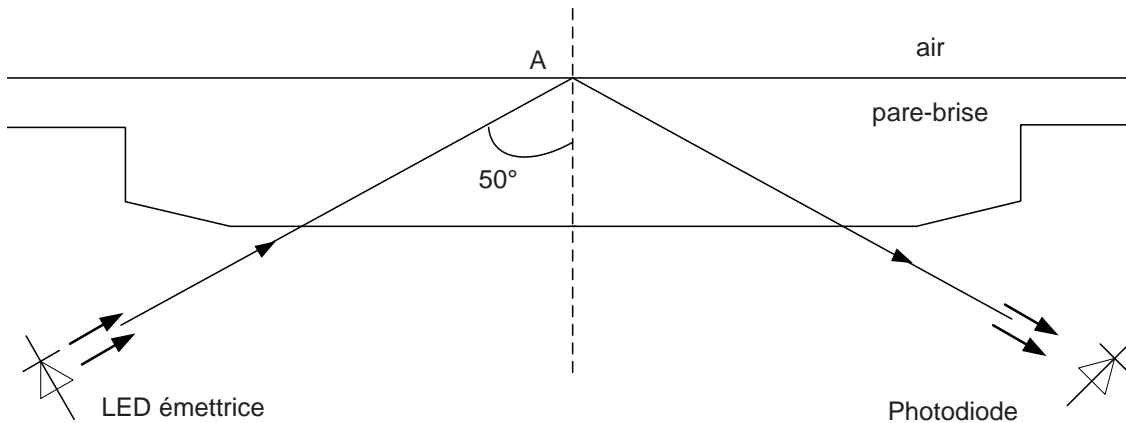
Soient deux milieux transparents et homogènes caractérisés par les indices de réfraction n_1 et n_2 .



- 5.1.1. Rappeler les deux lois de Snell – Descartes, l'une reliant les angles d'incidence et de réflexion et l'autre reliant les angles d'incidence et de réfraction en utilisant les notations du schéma précédent.

- 5.1.2. On appelle **angle d'incidence limite** i_{1lim} la valeur que prend i_1 quand $i_2 = 90^\circ$, dans le cas $n_2 < n_1$. Calculer la valeur de i_{1lim} dans le cas d'un rayon de lumière passant du verre d'indice $n_1 = 1,56$ à l'air d'indice $n_2 = 1,00$.
- 5.1.3. L'angle d'incidence i_1 peut prendre des valeurs supérieures à la valeur i_{1lim} que l'on vient de définir, que se passe-t-il alors pour le rayon réfracté ? Quel est alors le phénomène qui se produit sur la surface du dioptre séparant les 2 milieux ?

Pour déclencher automatiquement les essuie-glaces d'une automobile nous avons un système que nous pouvons schématiser comme suit : un faisceau de lumière infra-rouge arrive sur le dioptre séparant le pare-brise et l'air avec un angle d'incidence de 50° . Le pare-brise est constitué d'un verre d'indice de réfraction $n = 1,56$ et l'air possède un indice de $1,00$.



- 5.1.4. Que se passe-t-il au point A lorsque l'air est sec ? Justifier votre réponse.
- 5.1.5. Une goutte d'eau d'indice $n = 1,33$ se pose au point A. Que se passe-t-il alors ? Justifier votre réponse.
- 5.1.6. Comparer les signaux reçus par la photodiode quand l'air est sec et quand une goutte d'eau se pose au point A. Conclure quant à l'utilisation de ce dispositif comme capteur de pluie.

5.2. Étude simplifiée de l'accéléromètre déclenchant l'air bag :

Le système étudié dans cette partie est l'accéléromètre qui permet de déclencher les airbags (sacs gonflables). En effet ceux-ci doivent se déclencher si la décélération du véhicule est supérieure à un certain seuil, établi lors de « crashes-tests ».

« Quelques millisecondes suffisent aux airbags pour se déclencher. Une prouesse due à un microsystème intégré, l'accéléromètre, de 2 mm^2 très sensible aux accélérations... »

L'accéléromètre est composé de deux peignes complémentaires conducteurs électriques en silicium. L'un est fixe. L'autre est mobile, suspendu par une lamelle flexible, et constitue une masse sensible à l'accélération. Le peigne mobile peut se déplacer d'une vingtaine de nanomètres par inertie lorsque le véhicule change de vitesse. »

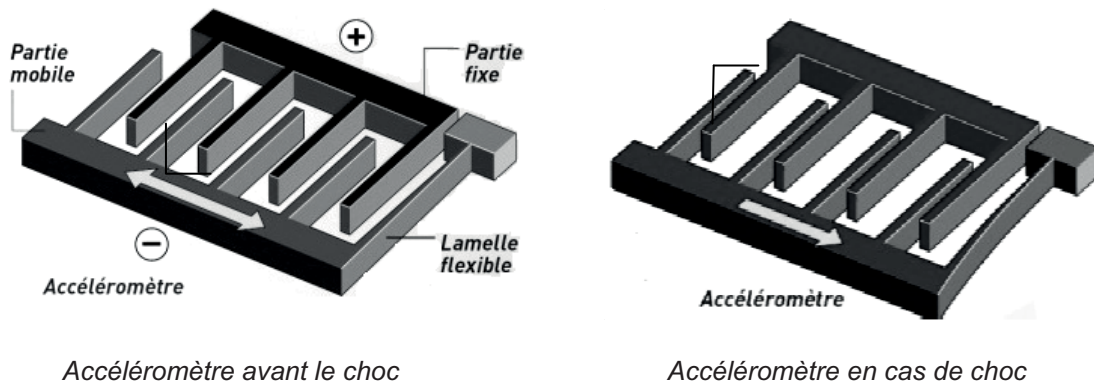


Figure 1

D'après CEA – Défis 118

Ce type d'accéléromètre est un capteur capacitif, constitué de séries de lamelles en regard, solidaires pour moitié de la partie fixe et pour moitié de la partie mobile. Son principe de fonctionnement repose sur la mesure d'une variation de capacité entre les deux peignes. En effet cette capacité dépend de la distance entre les dents des peignes et de la surface en regard des lamelles de ces deux peignes.

Pour simplifier l'étude, on assimilera l'ensemble constitué des deux peignes complémentaires à un condensateur de capacité C branché aux bornes d'une pile de résistance interne R et de force électromotrice E .

Données : $C = 64 \text{ pF}$; $E = 5,0 \text{ V}$.

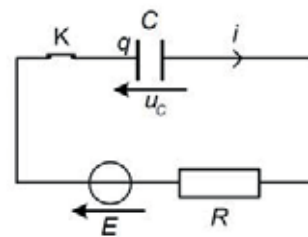


figure 2

- 5.2.1. **Avant le choc**, le condensateur est chargé et le circuit est en régime permanent, que vaut la tension u_C aux bornes du condensateur ? Quelle est l'expression de la charge q du condensateur en fonction de E et C ?
- 5.2.2. Déterminer la valeur que doit avoir la résistance interne R de la pile pour que la constante de temps $\tau = RC$ du circuit soit égale à 1 ns .
- 5.2.3. **Un choc se produit.**
Le déplacement du peigne mobile provoqué par le choc entraîne une variation de la capacité du condensateur.
En tenant compte du fait que la constante de temps est très faible, on considérera que la valeur de la résistance est nulle.

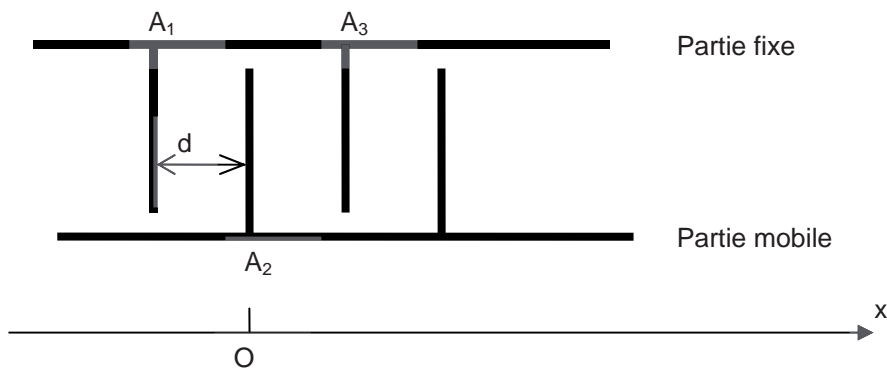
La tension aux bornes du condensateur est-elle modifiée par le choc ? Justifier la réponse.

- 5.2.4. Sachant que la capacité d'un condensateur plan, en fonction de la distance d entre ses armatures, de la surface S des armatures en regard et de la permittivité du vide ϵ_0 est donnée par l'expression :

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

En déduire qu'un choc brutal induit une variation de capacité du condensateur.

5.2.5. Le capteur peut être assimilé à un condensateur double différentiel.
 Pour chaque paire de faces en regard (la surface en regard notée S est supposée constante), on définit deux condensateurs composés d'une armature mobile (A_2), placée entre deux armatures immobiles (A_1 et A_3).



On a donc deux capacités : C_{12} , capacité entre A_1 et A_2 ; et C_{23} , capacité entre A_2 et A_3 .
 Dans la position initiale (sans accélération), A_2 se trouve à la même distance d de chacune des deux armatures A_1 et A_3 .

5.2.5.1. Donner l'expression des capacités C_{12} et C_{23} dans la position initiale. Que peut – on dire de ces deux capacités ?

5.2.5.2. Soit x le déplacement de l'armature mobile A_2 entre les deux armatures fixes A_1 et A_3 , par rapport à sa position d'origine et perpendiculairement à son plan.
 En supposant $x > 0$, établir l'expression des capacités C_{12} et C_{23} en fonction de d et de x .

5.2.5.3. Le capteur est conditionné dans un montage en pont permettant d'obtenir une tension proportionnelle à $\frac{C_{23} - C_{12}}{C_{23} + C_{12}}$.

À l'aide des résultats obtenus à la question précédente, établir la relation $\frac{C_{23} - C_{12}}{C_{23} + C_{12}} = \frac{x}{d}$.

DANS CE CADRE <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> NE RIEN ÉCRIRE	Académie :	Session :
	Examen ou Concours :	Série* :
	Spécialité/option :	Repère de l'épreuve :
	Épreuve/sous-épreuve :	
	NOM : <small>(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</small>	
	Prénoms :	N° du candidat <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
	Né(e) le	<small>(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)</small>
	Examen ou Concours :	Série* :
	Spécialité/option :	
	Repère de l'épreuve :	
Épreuve/sous-épreuve : <small>(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)</small>		
Note : 20	Appréciation du correcteur (uniquement s'il s'agit d'un examen) :	
* Uniquement s'il s'agit d'un examen.		

PLPI 12

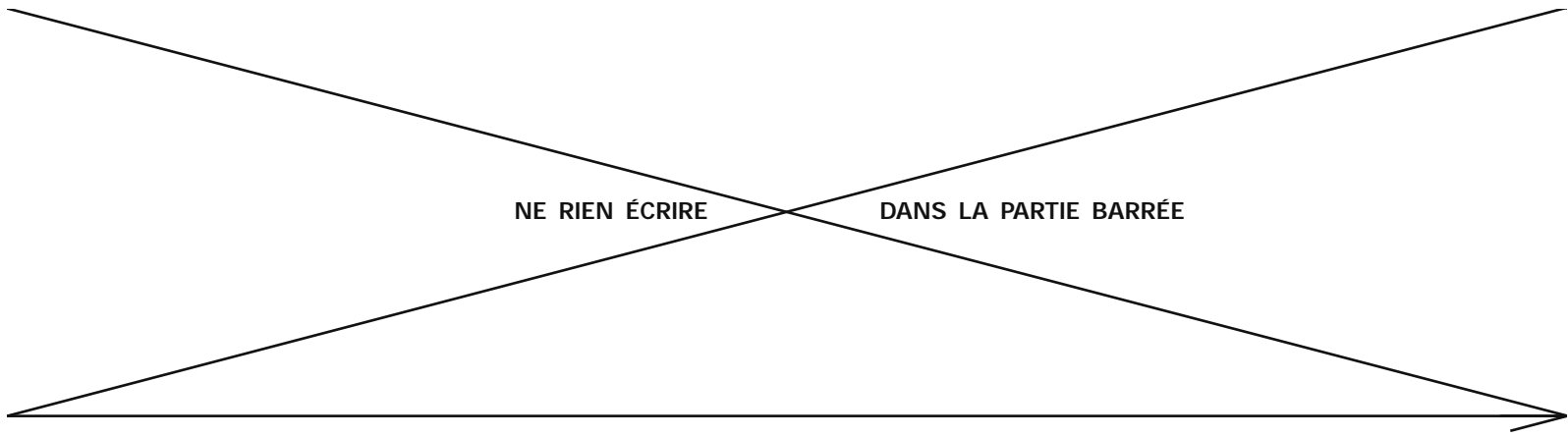
DOCUMENT RÉPONSE

ANNEXE

Tournez la page S.V.P.



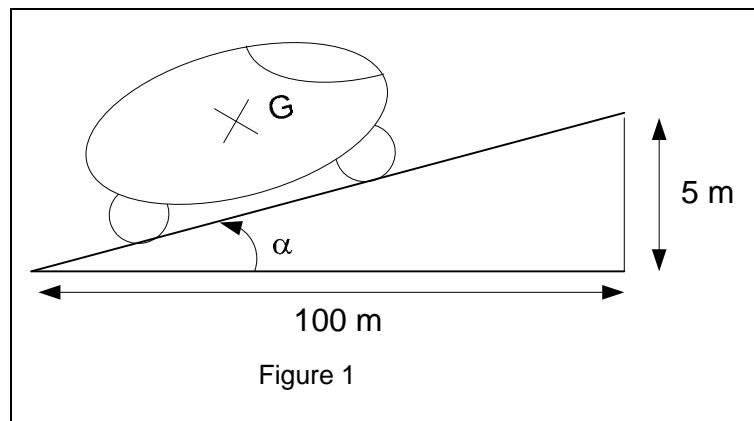
Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.



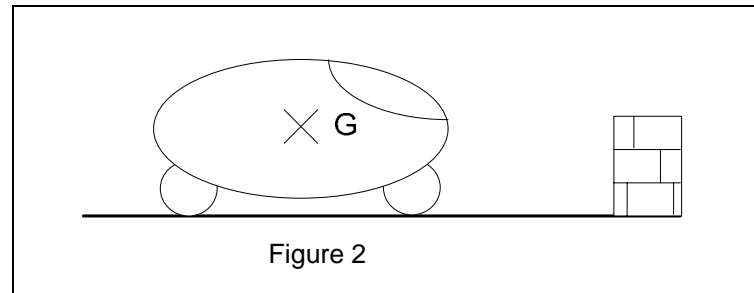
ANNEXE I

À rendre avec la copie

Question 1.4.1.



Question 2.1.7.



Question 2.1.11.

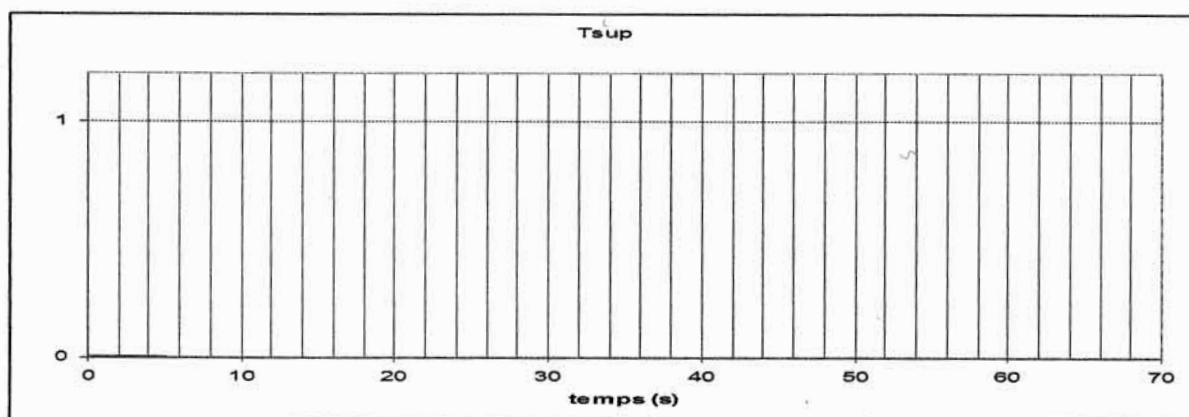
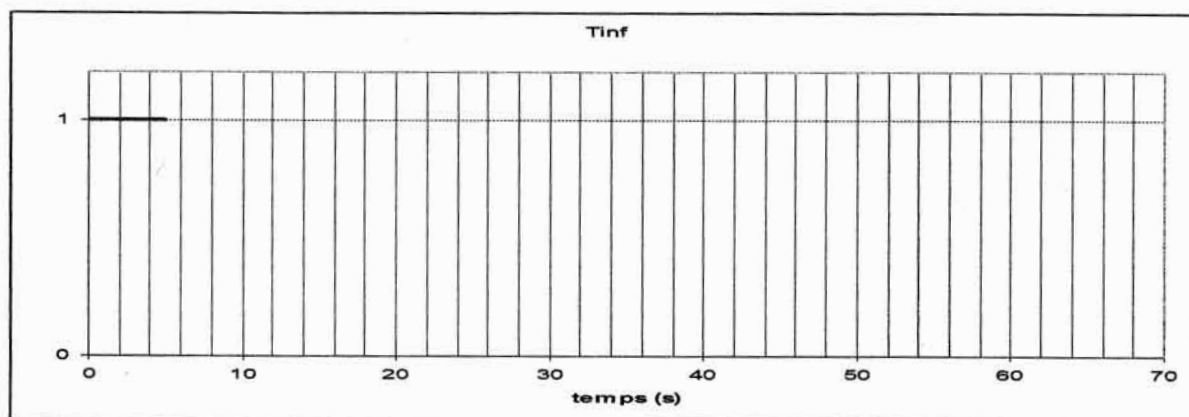
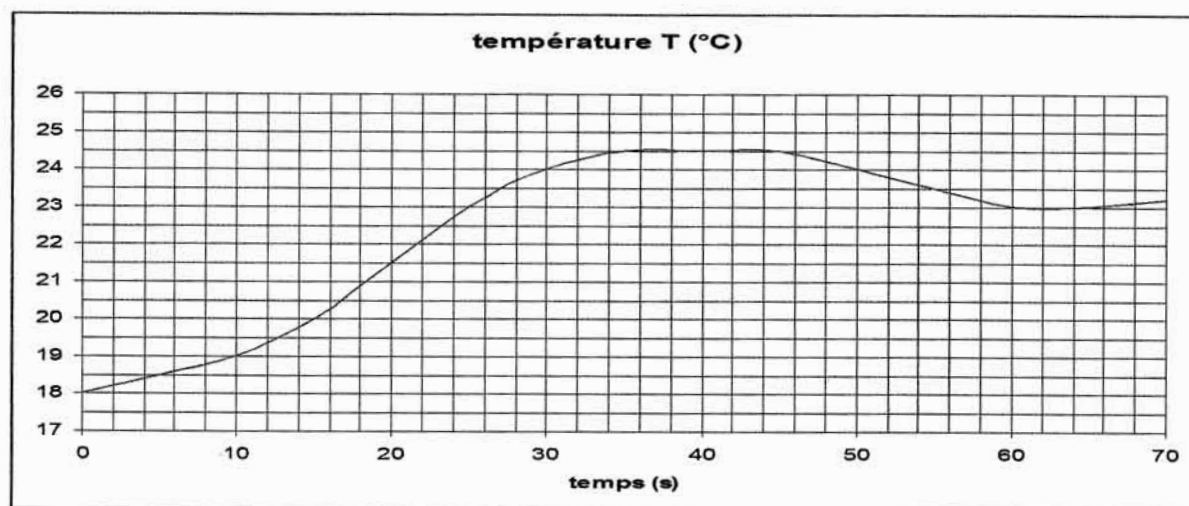
Calcul théorique des distances			
Vitesse (km.h ⁻¹)	Vitesse (m.s ⁻¹)	Distance d'arrêt D_A (m) sur sol sec ($f = 0,8$)	Distance d'arrêt D_A (m) sur sol mouillé ($f = 0,4$)
50			
90	25,0	64,8	104,6
130			

NE RIEN ÉCRIRE

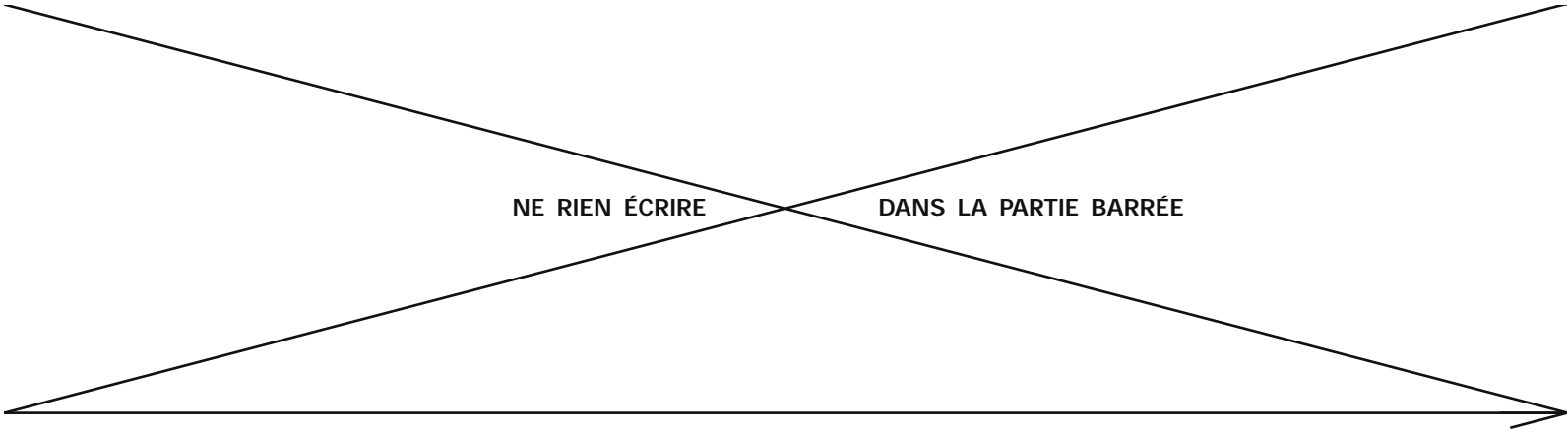
DANS LA PARTIE BARRÉE

ANNEXE II

À rendre avec la copie



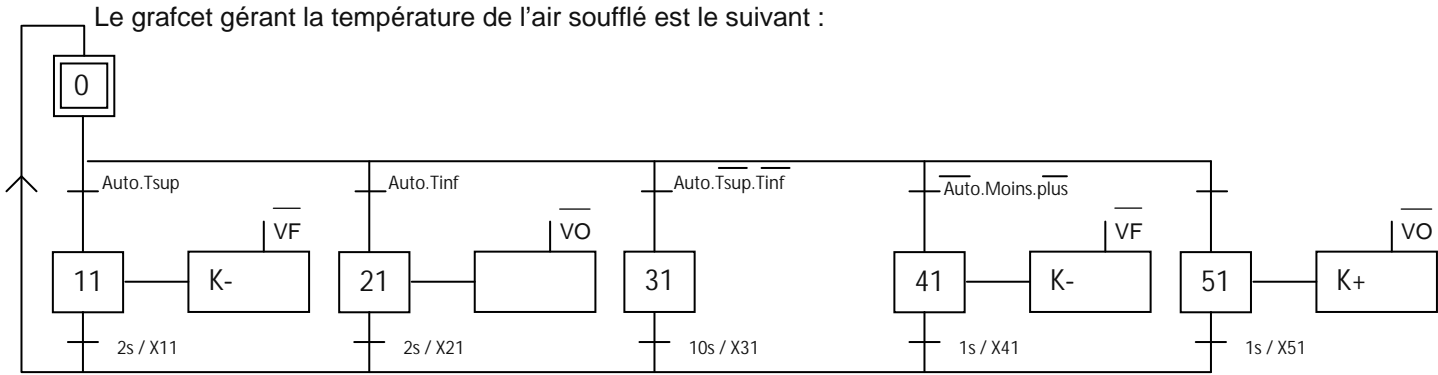
CHRONOGRAMME



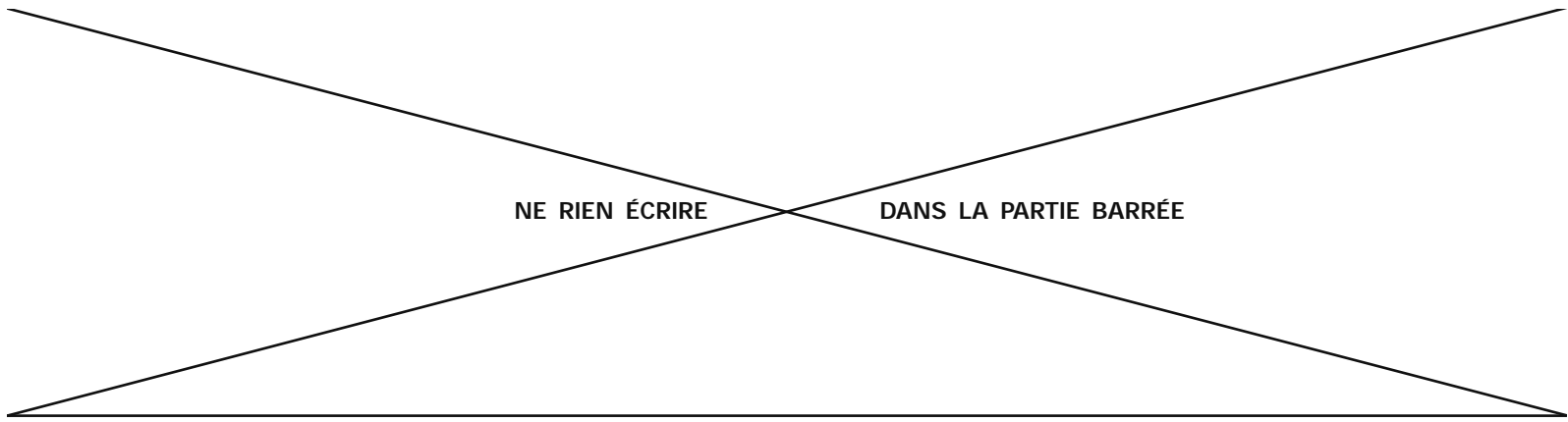
NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

ANNEXE III

À rendre avec la copie



GRAF CET



NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

ANNEXE IV (à rendre avec la copie)

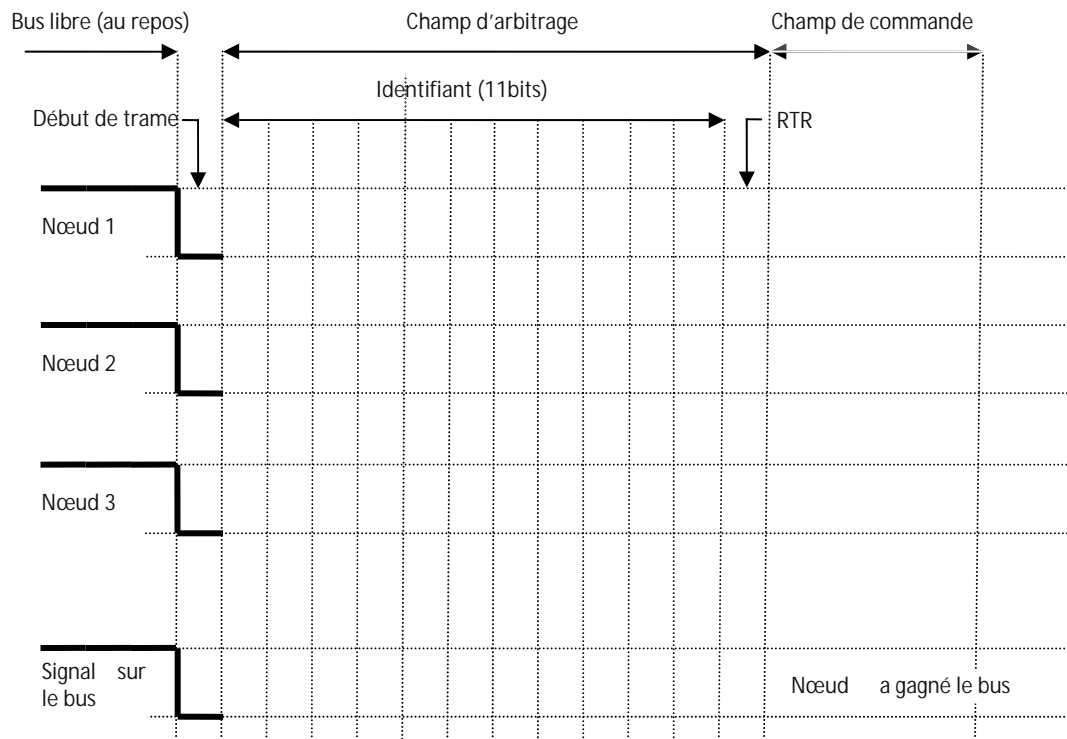
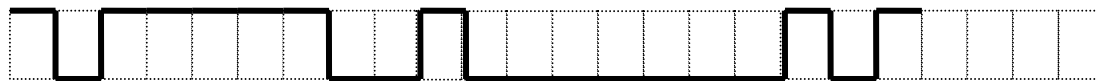


Figure 1

Trame originale

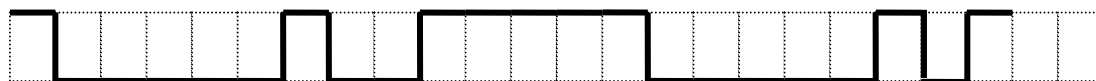


Trame stuffée



Figure 2

Trame stuffée



Trame originale

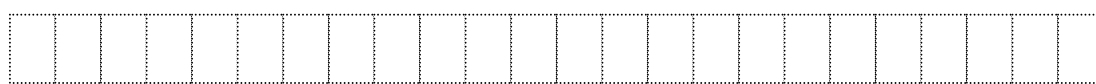


Figure 3

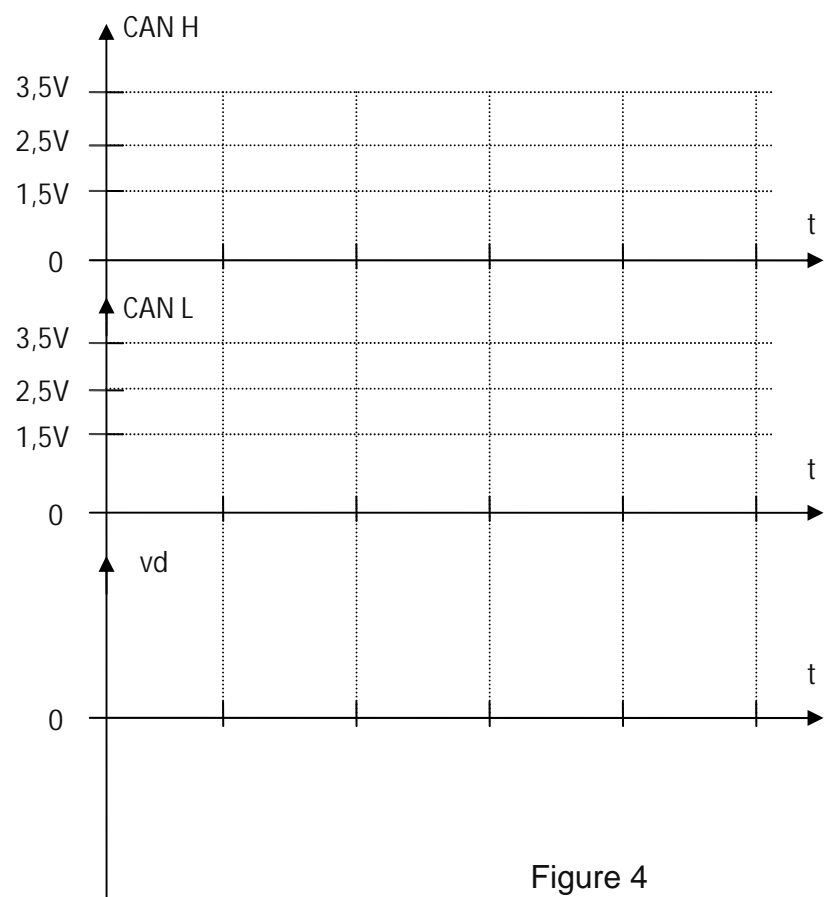
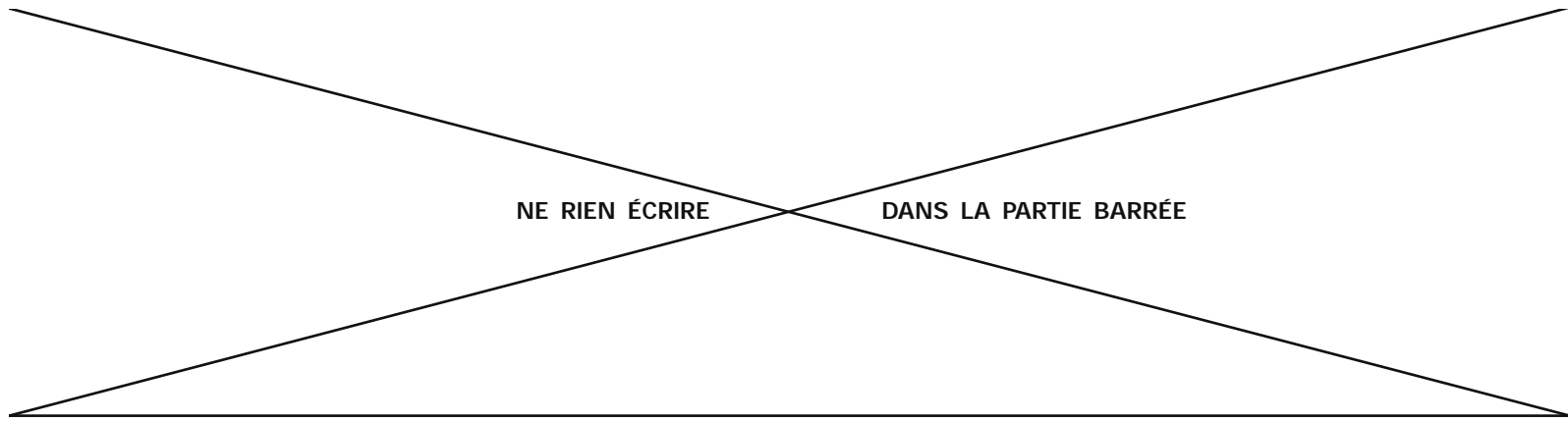


Figure 4

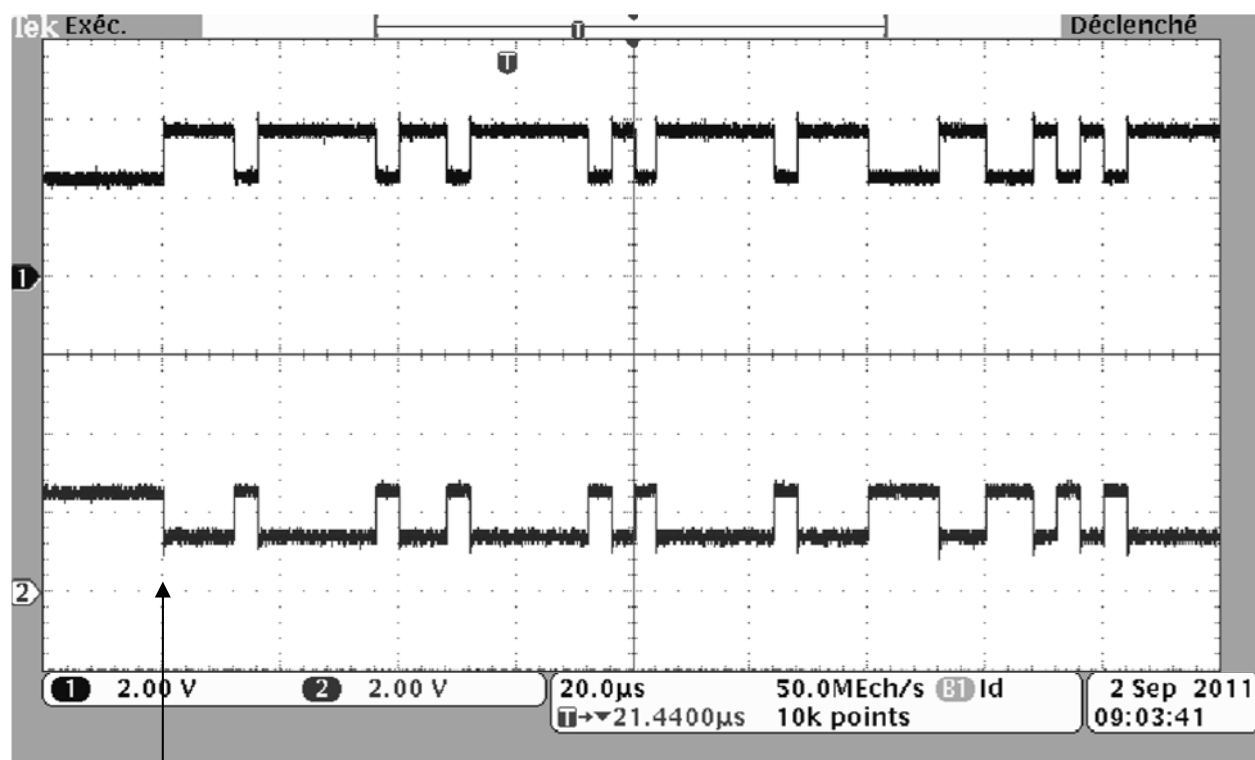


Figure 5