

## BTS AVA 2017

(envoyé par Frédéric SCOTTI - Professeur d'Electrotechnique au Lycée Régional La Floride –Marseille)

Ce problème propose d'étudier différents aspects d'un véhicule, aux niveaux énergétique et environnemental. **Les parties 1, 2, 3 et 4 peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.**

### Partie 1 : Comparaison énergétique et environnementale de différents carburants.

Le carburant GPL (gaz de pétrole liquéfié) est un mélange à 50% en volume de deux hydrocarbures de la famille des alcanes : le propane ( $C_3H_8$ ) et le butane ( $C_4H_{10}$ ). Il est utilisé en bicarburant avec l'essence ou le diesel. Le réservoir contenant le GPL est le plus souvent sous forme torique et logé dans l'emplacement initialement prévu pour la roue de secours.



Les dimensions du réservoir étudié sont : diamètre 700 mm , hauteur 250 mm . Il peut contenir 80 L de GPL liquide à la température de 15 °C . La phase gazeuse occupe le reste du réservoir. La pression de celle-ci est de 5 bar . Une soupape de sécurité permet d'évacuer le gaz avec un débit de  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  si la pression dans le réservoir atteint 27 bar .

#### Quelques propriétés des gaz butane, propane et du GPL :

Gaz/GPL	Température d'ébullition (°C) sous la pression atmosphérique	Masse volumique des gaz liquéfiés en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ à 15 °C
Butane	0	0,585
Propane	- 44	0,515
GPL	- 25	0,550

#### Tableau comparatif : essence, diesel, GPL.

	Essence	Diesel	GPL
Masse volumique $\rho$ en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	0,740	0,850	0,550
Rejet $\text{CO}_2$ : en kg par litre de combustible brûlé	2,28	2,67	1,66
Rejet $\text{CO}_2$ : en kg par kg de combustible brûlé	3,08	3,14	3,01
Pouvoir calorifique inférieur (PCI) en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	47,3	44,8	46,0
Prix moyen du litre en euro au 9/10/2016	1,35	1,14	0,76

Le PCI est la quantité d'énergie libérée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible.

Le GPL est puisé dans le réservoir à l'état liquide avec un débit moyen de  $0,15 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ . Il est ensuite vaporisé en recevant l'énergie fournie par le liquide de refroidissement du moteur.

#### Données :

- Masses molaires atomiques en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  :  $M(\text{H}) = 1$  ;  $M(\text{C}) = 12$  ;  $M(\text{O}) = 16$ .
- Enthalpie de vaporisation massique du GPL liquide :  $L_v = 370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

### 1.1 Calcul de la masse volumique moyenne du GPL dans le réservoir.

1.1.1 Quels sont les volumes occupés par le butane ( $V_B$ ) et le propane ( $V_P$ ) liquéfiés dans le réservoir quand celui-ci contient 80 L de GPL ?

1.1.2 Calculer la masse volumique du GPL en  $\text{kg.L}^{-1}$  notée  $\rho_{\text{GPL}}$  en supposant que la masse de GPL en phase liquide  $m_{\text{GPL}}$  dans le réservoir est de 44,0 kg . La comparer à celle proposée dans le tableau comparatif (page 2 sur 9).

### 1.2 La puissance thermique nécessaire pour vaporiser le GPL

1.2.1 Calculer l'énergie  $Q$  nécessaire pour vaporiser le GPL liquéfié contenu dans le réservoir.

1.2.2 En déduire la puissance thermique  $P$  que le liquide de refroidissement doit fournir au GPL pour le vaporiser.

Rappel :  $P = Q \times \frac{q_m}{m}$  avec  $q_m$  : débit massique du GPL et  $m$  la masse du GPL consommée.

### 1.3 La combustion du GPL.

1.3.1 Ecrire les deux équations des réactions chimiques qui correspondent aux combustions totales du butane et du propane dans le dioxygène.

1.3.2 Calculer les quantités de matière de butane ( $n_B$ ) et de propane ( $n_P$ ) dans le réservoir plein.

1.3.3 En déduire les quantités de matière de  $\text{CO}_2$  rejetées par la combustion du butane ( $n_{\text{BCO}_2}$ ) et du propane ( $n_{\text{PCO}_2}$ ) contenus dans le réservoir. Vérifier alors que la quantité de matière totale de  $\text{CO}_2$  émise par la combustion du GPL est proche de  $n_{\text{CO}_2} = 3000 \text{ mol}$  .

1.3.4 Calculer la masse de  $\text{CO}_2$  totale rejetée par la combustion du GPL contenu dans le réservoir. En déduire la masse  $m_{\text{CO}_2}$  en kilogramme par litre de combustible brûlé et la comparer à celle indiquée dans le tableau comparatif (page 1 sur 7).

1.3.5 Quel problème écologique est posé par l'accumulation de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère ? Sur ce plan, le GPL est-il plus écologique que l'essence et le diesel ?

### 1.4 Comparaison des différentes motorisations

Consommation moyenne en L / 100 km parcourus pour les différentes motorisations

Essence	Diesel	GPL
6	4	7

En utilisant les résultats précédents, vos connaissances et le calcul de la consommation en litre et du prix de revient pour un kilométrage annuel de 15000 km pour les trois carburants, faites une étude comparative en citant un avantage et un inconvénient pour chaque type de carburant.

## Partie 2 : Etude du système de régulation de la température

Seul un tiers de l'énergie libérée par la combustion du carburant est transformé en énergie mécanique. Le reste est transféré thermiquement au milieu extérieur.

Une mauvaise régulation de la température du moteur entraîne, entre autres, une dégradation de ses performances résultant d'une combustion lente et incomplète. Cela entraîne une surconsommation de carburant et une pollution supplémentaire.

Le liquide de refroidissement récupère l'énergie des pièces soumises à de hautes températures pour l'évacuer dans l'atmosphère.

**Dans cette partie, on se propose d'étudier le système de refroidissement par le radiateur et d'estimer le débit d'une pompe de liquide de refroidissement d'une automobile moyenne.**

## Données concernant le véhicule

Caractéristiques du moteur

Carburant : essence

Cylindrée : 1,8 L

Puissance maximale : 70 kW

Volume de liquide de refroidissement : 6,5 L .

Le liquide de refroidissement utilisé dans le véhicule peut être assimilé à un mélange de 50 % de glycol et de 50 % d'eau.

Caractéristiques (source [http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d\\_146.html](http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html))

- Température de fusion :  $-37^{\circ}\text{C}$
- Température d'ébullition :  $107^{\circ}\text{C}$
- Masse volumique à  $70^{\circ}\text{C}$  :  $1,05 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  ; à  $90^{\circ}\text{C}$  :  $1,04 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

On supposera que la température du liquide de refroidissement à l'entrée du radiateur est de  $90^{\circ}\text{C}$  et celle à la sortie de  $70^{\circ}\text{C}$ .

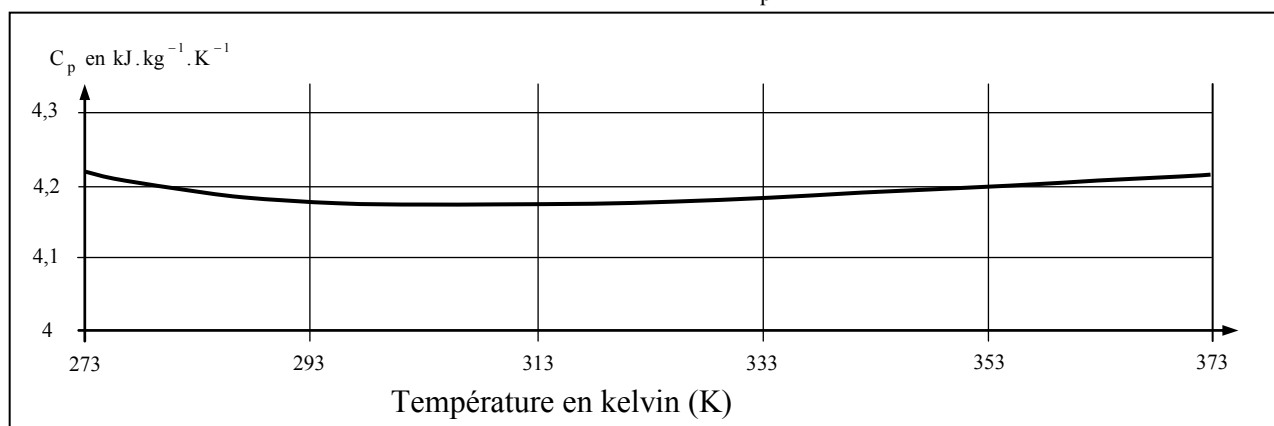
## Documents

### Document 2-1

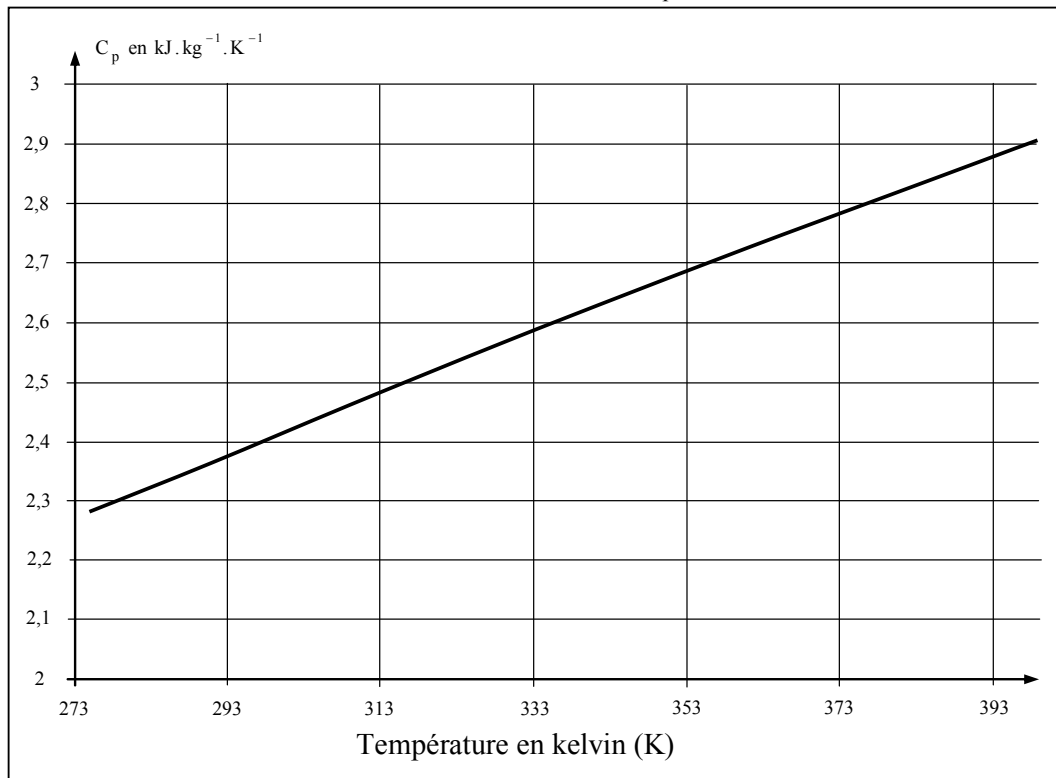
Le liquide de refroidissement est constitué d'un mélange d'eau et d'éthylène glycol (éthane-1,2-diol) ou EGW (Ethylene glycol-water mixture) et des inhibiteurs de rouille à base de silicates. L'éthylène-glycol a des propriétés thermiques attractives, notamment un point d'ébullition élevé, un faible point de congélation, une stabilité sur une large plage de température, ainsi qu'une chaleur spécifique et une conductivité thermique relativement élevées. Il possède également une faible viscosité et, par conséquent, des exigences réduites pour le pompage.

Même si la conductivité thermique et la capacité thermique massique de l'EGW ne sont pas aussi élevées que celle de l'eau, l'EGW permet une protection contre le gel. Au fur et à mesure que la concentration de glycol dans la solution augmente, les performances thermiques du fluide caloporteur diminuent. Par conséquent, il vaut mieux utiliser la concentration la plus faible possible de glycol nécessaire pour satisfaire les besoins de protection contre la corrosion et le gel.

### Document 2-2 : Evolution de la capacité thermique massique $C_p$ de l'eau en fonction de la température.



Document 2-3 : Evolution de la capacité thermique massique  $C_p$  du glycol en fonction de la température.



**2.1** Pour chacun des paramètres ci-dessous, indiquer s'ils ont une influence importante sur la mise en route du ventilateur lors de l'utilisation d'un véhicule au cours d'une montée à vitesse constante. Préciser dans quel sens ces facteurs influent en supposant que tous les autres paramètres restent constants et donner une brève explication physique qui justifie cette influence.

- Vitesse de la montée
- Température extérieure
- Propreté du radiateur
- Masse transportée par le véhicule
- Usure des pneumatiques
- Chauffage de l'habitacle en fonctionnement.

**2.2** On souhaite estimer le débit du fluide de refroidissement dans le radiateur.

**2.2.1** Evaluation de la capacité thermique massique du liquide de refroidissement

A l'aide des courbes des capacités thermiques massiques (documents 2-2 et 2-3), proposer une valeur cohérente de la capacité thermique massique moyenne que l'on peut utiliser pour ce liquide de refroidissement.

**2.2.2** On supposera ensuite que la capacité thermique massique moyenne du liquide de refroidissement dans les conditions de fonctionnement est égale à  $3,4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Calculer la quantité d'énergie qui doit être cédée par un litre de liquide de refroidissement pour abaisser sa température de  $90^\circ\text{C}$  à  $70^\circ\text{C}$ .

**2.2.3** En supposant que le radiateur doit être en mesure d'évacuer environ 20 % de la puissance du moteur, évaluer le débit nécessaire de la pompe de refroidissement.

### Partie 3 : Rendement et pertes d'un moteur « à explosion » à carburateur

Le diagramme de flux d'énergie d'un moteur à essence ancien (équipé d'un carburateur) est présenté sur le document 3 (page 7 sur 9).

Ce type de diagramme peut être utilisé pour mesurer des proportions entre les diverses énergies mises en jeu au cours du fonctionnement normal du moteur.

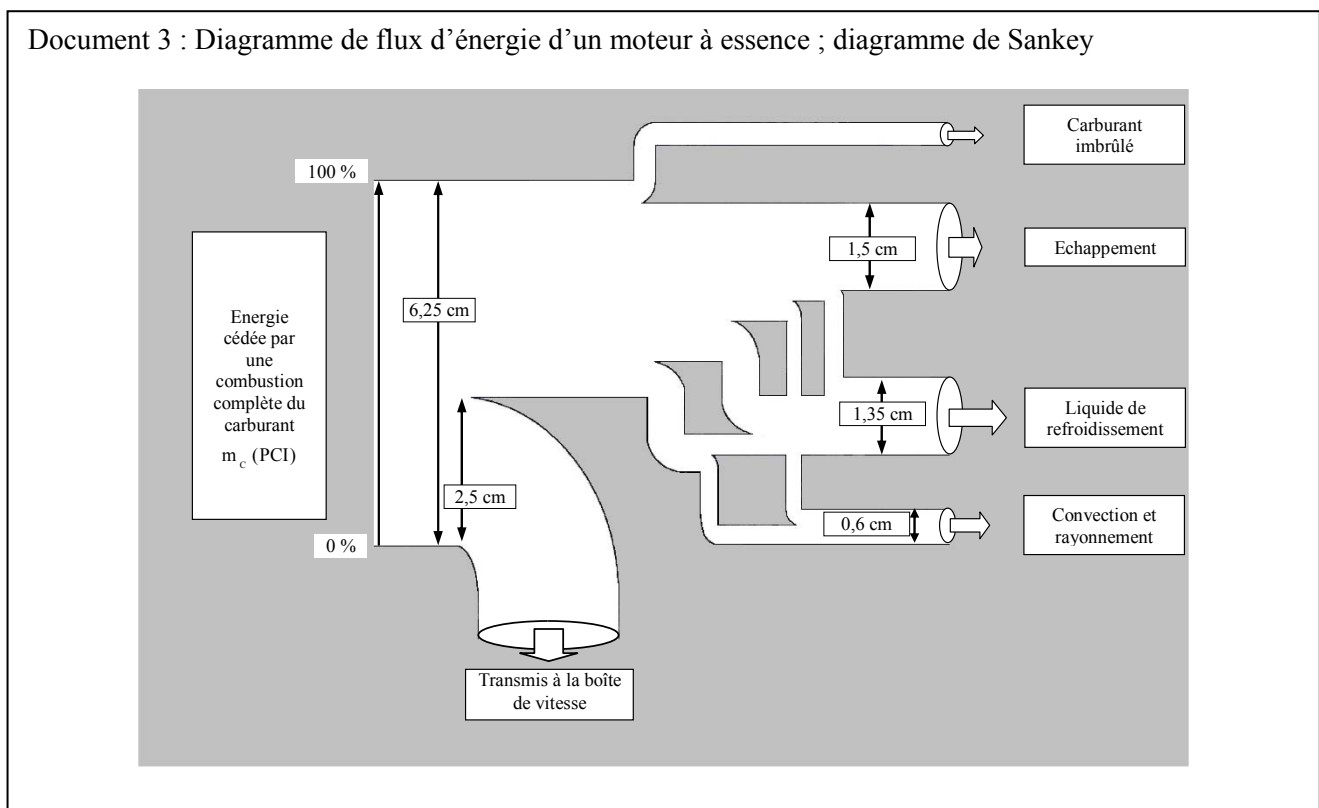
**3.1** Quelle est la nature de l'énergie contenue dans les hydrocarbures ?

**3.2** Quelle est la nature de l'énergie libérée par la combustion du mélange air-carburant ?

**3.3** Donner la définition du rendement  $\eta$  de ce moteur à essence. Puis, en utilisant le diagramme du document 3 (page 5 sur 7), donner une valeur approchée de ce rendement  $\eta$ .

**3.4** En vous aidant du document 3, calculer approximativement le pourcentage d'énergie perdue à cause du carburant imbrûlé.

Les moteurs modernes ont fortement réduit cette part d'hydrocarbures imbrûlés grâce à un contrôle de l'injection de carburant.



La taille du dessin a pu être modifiée lors des opérations de reproduction ; c'est pourquoi les longueurs des segments du dessin original ont été ajoutées.

### Partie 4 : Optimiser la combustion grâce à la sonde lambda.

**Rôle de la sonde lambda :**

La proportion du mélange air/essence a une grande influence sur la formation des trois composants nocifs principaux dégagés lors du fonctionnement d'un moteur à essence sans plomb : le monoxyde de carbone CO, les hydrocarbures imbrûlés HC, et les oxydes d'azote  $\text{NO}_x$ .

Pour lutter contre l'émission d'hydrocarbures imbrûlés, les moteurs à essence sont maintenant pourvus d'une injection de carburant pilotée par l'ordinateur de bord.

Lorsque le mélange air/essence est idéal (mélange stœchiométrique), la « proportion d'air », notée  $\lambda$  (lambda), est égale à 1.

Un capteur, la sonde lambda, mesure la teneur en oxygène des gaz d'échappement. Associée à un système de régulation et à un catalyseur trifonctionnel, cette sonde participe à la décomposition optimale des trois polluants principaux.

Lorsque  $\lambda$  est égal à 1, la tension aux bornes de la sonde est égale à 0,45 V .

Le document 4 représente l'enregistrement de la tension  $u_M$ , mesurée aux bornes d'une sonde lambda par un garagiste.

**4.1** Déterminer les valeurs entre lesquelles cette tension oscille et donner une valeur approchée de l'amplitude crête à crête.

**4.2** Déterminer la fréquence moyenne de l'oscillation de la tension aux bornes de cette sonde lambda.

Cette tension est mise en forme puis analysée par le boîtier électronique qui pilote le temps d'injection afin de maintenir constante la composition des gaz d'échappement, condition indispensable à leur traitement par le pot catalytique.

Pour réaliser cette mise en forme, on a le choix entre deux montages :

Un comparateur à un seuil qui compare la tension  $u_M$  à une tension fixe de 0,45 V . A sa sortie, il délivre une tension  $V_H$  lorsque  $u_M$  est supérieure à 0,45 V et une tension  $V_B$  lorsque  $u_M$  est inférieure à 0,45 V .

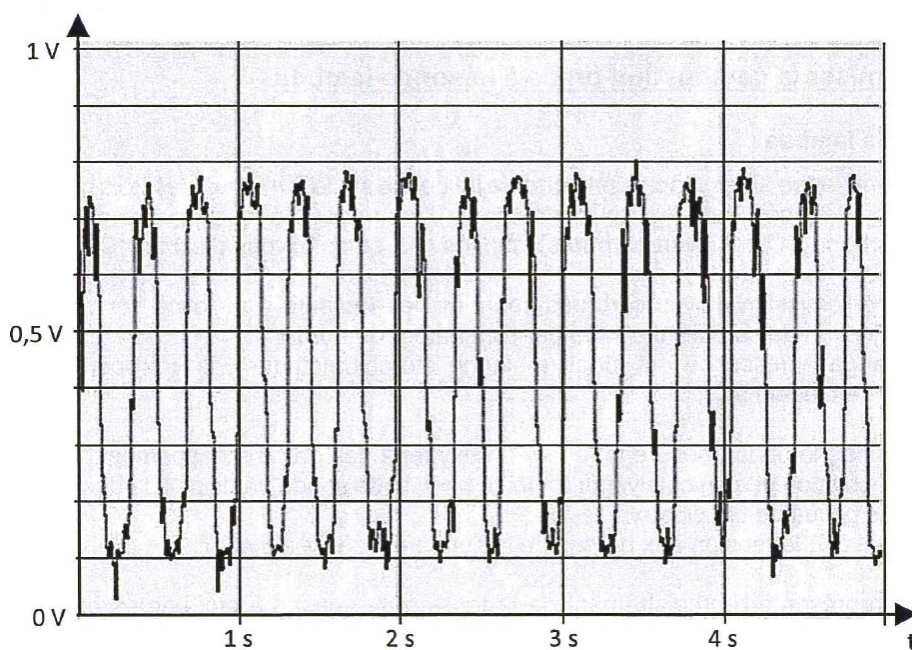
Un comparateur à deux seuils (ou à hystérésis). La tension de sortie de ce dernier bascule à la tension  $V_H$  lorsque  $u_M$  devient supérieure à 0,50 V et bascule à la tension  $V_B$  lorsque  $u_M$  devient inférieure à 0,40 V .

On se propose de comparer la tension de sortie de ces deux montages lorsqu'ils sont soumis en entrée à la tension  $u_M$  représentée sur le document réponse (page 9 sur 9) qui correspond à une seconde d'enregistrement de la tension aux bornes de la sonde lambda.

**4.3** Sur le document réponse à rendre avec la copie, représenter la tension de sortie  $V_{S1}$  du comparateur à un seuil et la tension de sortie  $V_{S2}$  du comparateur à hystérésis en concordance avec la tension  $u_M$  aux bornes de la sonde qui est représentée au-dessus. Les instants de basculement devront être repérés graphiquement et visibles sur la construction.

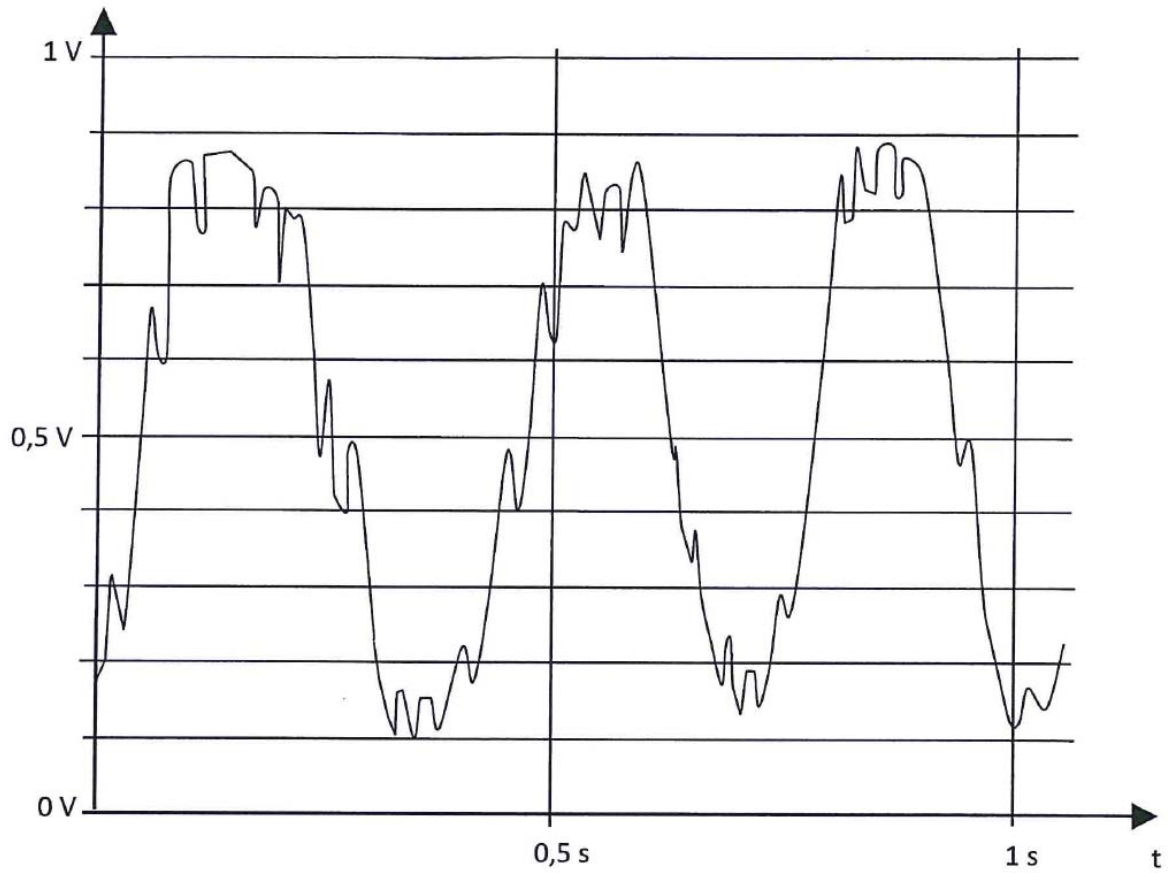
**4.4** Indiquer le montage qui vous semble le plus pertinent en argumentant.

Document 4 : Enregistrement de la tension  $u_M$  aux bornes de la sonde lambda.

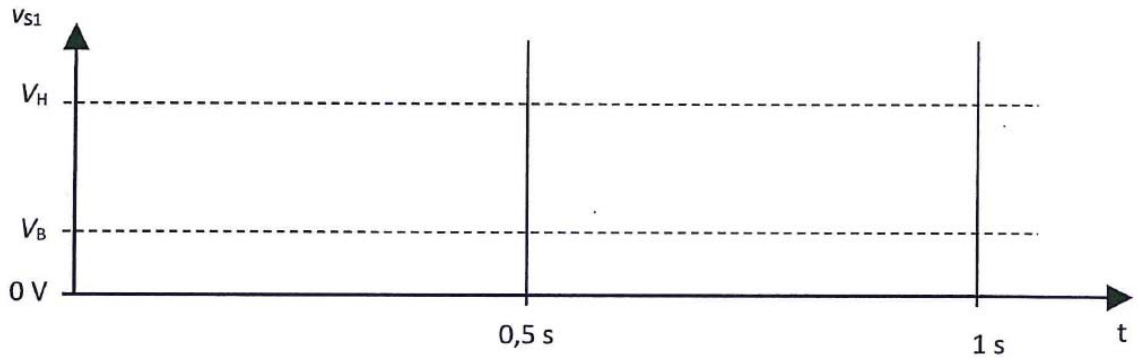


**Document-réponse (à rendre avec la copie)**

**Tension délivrée par la sonde lambda**



**Comparateur à un seuil**



**Comparateur à hystérésis**

