



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

SESSION 2015

U22 - SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures - Coefficient : 2

SUJET

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet est composé de **9** pages numérotées de **1/9** à **9/9**.

Dont trois annexes 1,2 et 3 à rendre avec la copie.

Matériel autorisé

Une calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans moyen de transmission, à l'exclusion de tout autre élément matériel ou documentaire. (Circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999 ; BOEN n°42).

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

| | | | |
|-------------------------------------|--|--|-------------------|
| CODE EPREUVE : 1506MOE2SC | EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR | SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE | |
| SESSION : 2015 | SUJET | ÉPREUVE : U22 - SCIENCES PHYSIQUES | |
| Durée : 2 h | Coefficient : 2 | SUJET N° : 09ED13 | Page : 1/9 |

1 - THERMODYNAMIQUE : étude d'un moteur automobile (10 pts)

Partie A : Étude du cycle thermodynamique

Le système fermé constitué du fluide gazeux décrit indéfiniment le cycle ABCD appelé cycle de Beau de Rochas (brevet d'invention déposé en 1862, première mise en application sur un moteur monocylindre en 1876 par Otto).

Dans cette approche idéalisée, le mélange initial « air/essence » et les gaz brûlés d'échappement sont assimilés à un gaz parfait. La masse m du gaz enfermé dans le cylindre reste constante lors du cycle.

Le fonctionnement du moteur thermique à essence est schématisé sur le diagramme de Clapeyron (P, V) où P est la pression du gaz contenu dans le volume V de la chambre du cylindre.

Les étapes successives du cycle sont décrites comme suit (voir figure de l'ANNEXE 1 page 7/9) :

I \Rightarrow A : Admission du mélange « air/essence » dans la chambre de combustion dans les conditions suivantes:

$$V_A = 200 \text{ cm}^3; P_A = 1,0 \text{ bar et } T_A = 300 \text{ K}$$

A \Rightarrow B : Compression adiabatique et réversible du mélange (les frottements du piston sur le cylindre sont négligeables).

B \Rightarrow C : En B, l'étincelle provoque l'explosion du mélange suivie d'une compression isochore.

C \Rightarrow D : En C, fin de la combustion suivie d'une détente adiabatique réversible du gaz brûlé.

D \Rightarrow A : L'ouverture de la soupape d'échappement ramène le gaz brûlé à la pression atmosphérique.

A \Rightarrow I : La remontée du piston évacue le gaz brûlé vers l'extérieur.

On donne :

- Constante des gaz parfaits : $r = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
- Coefficient isentropique : $\gamma = 1,4$.
- Le rapport volumétrique (ou taux de compression) : $\varepsilon = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = 10$.
- Capacité thermique massique à volume constant : $c_v = 717 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. On admettra que c_v est indépendante de la température.

Questions :

A1 - Exprimer puis calculer la masse m du mélange gazeux enfermé dans le cylindre en fonction de P_A, V_A, T_A et r .

A2 - Au point B du cycle, exprimer la pression P_B en fonction de P_A, ε et γ puis la température T_B en fonction de T_A, ε et γ . Effectuer les applications numériques.

A3 - Q_{BC} est le transfert thermique (ou la quantité de chaleur échangée), mis en jeu dans l'étape [BC].

a - Exprimer Q_{BC} en fonction de m , c_v , T_B et T_C .

b - Préciser le signe de cette grandeur. En déduire dans quel sens le transfert thermique Q_{BC} s'effectue.

A4 - Q_{DA} est le transfert thermique mis en jeu dans l'étape [DA].

a - Exprimer Q_{DA} en fonction de m , c_v , T_D et T_A .

b - Préciser le signe de cette grandeur. En déduire dans quel sens le transfert thermique Q_{DA} s'effectue.

A5 - Sur la figure de l'annexe 1 page 7/9 (à rendre avec la copie), hachurer l'aire représentant le travail W_{cycle} reçu par le fluide décrivant un cycle.

A6 - Expression du travail mis en jeu lors d'un cycle.

a - Énoncer le premier principe de la thermodynamique appliqué à un cycle.

b - Rappeler l'expression de la variation de l'énergie interne ΔU d'un gaz parfait en fonction de la variation de température.

A7 - Exprimer le travail W_{cycle} lors d'un cycle en fonction de Q_{BC} et Q_{DA} en précisant son signe.

Partie B : Rendement du moteur

B1 - Rendement thermique du moteur η_{th} :

a - Exprimer le rendement thermique η_{th} en fonction de Q_{BC} et Q_{DA} puis en fonction des températures T_A , T_B , T_C et T_D .

b - On admet que le rendement thermique η_{th} s'exprime par la relation : $\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$

Calculer η_{th} pour $\varepsilon = 10$. Comment évolue η_{th} si ε augmente ?

B2 - Rendement global du moteur η_g :

Le rendement global η_g du moteur dépend du rendement thermique η_{th} mais aussi du rendement mécanique η_m , caractérisant le transfert d'énergie du piston vers le vilebrequin. Le rendement η_m n'excède pas 85% et peut descendre en dessous de 60% pour un moteur usagé.

➤ Calculer le rendement global η_g du moteur pour un rendement mécanique de 75%.

Partie C : Étude de la combustion

La réaction qui a lieu au sein de la chambre est une réaction de combustion entre le carburant, l'octane de formule brute C_8H_{18} , et le comburant, l'air.

C1 - Combustion complète :

On admet que l'air et l'octane sont injectés dans des proportions stœchiométriques. L'air est assimilé à un gaz parfait dont la composition est la suivante : une mole de dioxygène pour 3,76 moles de diazote.

On donne les masses atomiques :

$$M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1} \quad M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1} \quad M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1} \quad M(N) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$$

- a - Écrire l'équation de la combustion complète de l'octane dans l'air.
- b - Calculer la quantité de matière en moles contenue dans un gramme d'octane.
- c - En déduire la masse d'air juste nécessaire à la combustion complète d'un gramme d'octane.

C2 - Combustion incomplète :

Écrire l'équation bilan de la combustion incomplète de l'octane dans l'air dont on suppose qu'elle ne produit que du monoxyde de carbone CO et de l'eau.

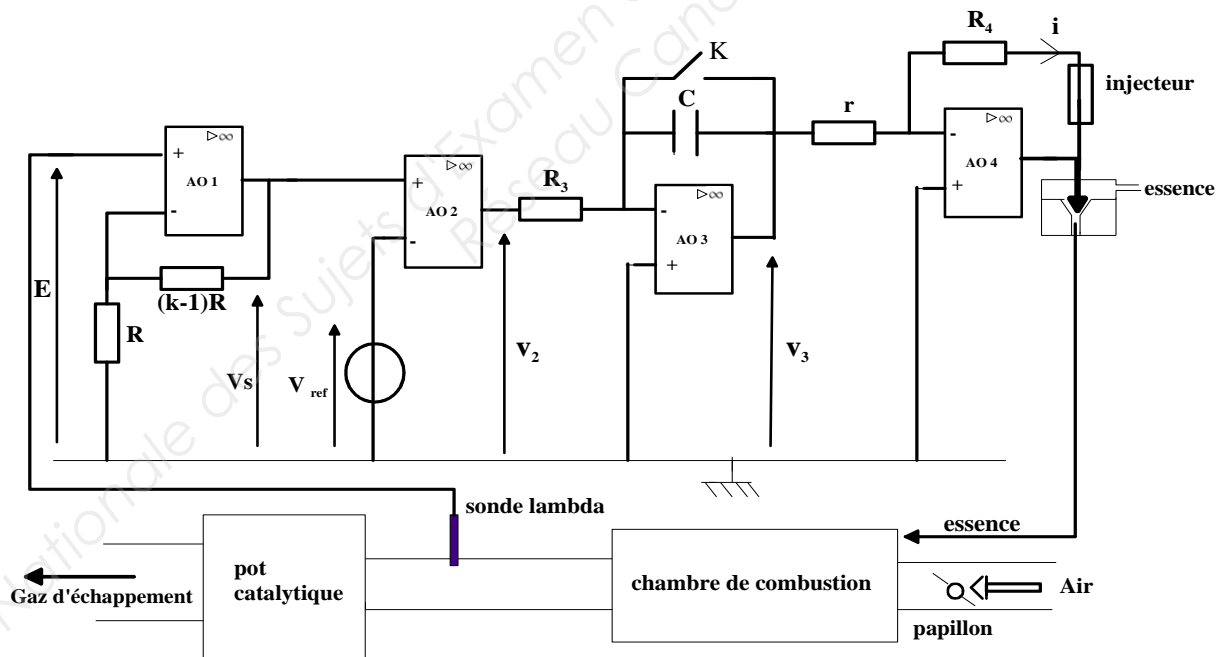
2 - ÉLECTRICITÉ : Chaine électronique d'une sonde lambda. (10 points)

Introduction : Le but de cet exercice est l'étude de la chaine d'asservissement d'une sonde lambda qui joue un rôle essentiel sur le contrôle de la richesse : elle optimise la quantité d'essence à injecter en fonction de la quantité d'air admise dans le moteur.

L'injecteur utilisé est de type électromagnétique : lorsqu'un courant d'intensité i parcourt l'enroulement, l'aiguille magnétique décolle de son siège et libère le carburant par une fente calibrée. **Le débit d'essence est donc proportionnel à l'intensité du courant circulant dans l'enroulement.**

La quantité d'air, contrôlée par le papillon, est supposée constante.

Montage de la chaine d'asservissement :



L'amplitude du signal fourni par la sonde Lambda ne joue aucun rôle. Seules les durées des périodes « riche » et « pauvre » sont porteuses d'information, elles doivent contrôler la durée de l'injection.

Tous les amplificateurs opérationnels (notés AO dans le sujet) sont supposés parfaits. Les tensions de saturation des amplificateurs seront prises égales à $\pm V_{sat} = \pm 15 \text{ V}$.

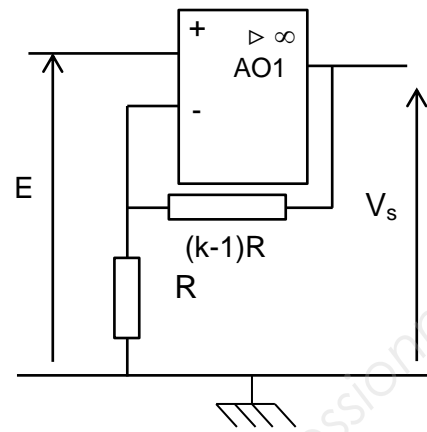
1 - ÉTUDE DE L'ÉTAGE 1 :

1.1 - Quel est le régime de fonctionnement de l'AO1 ? Justifier.

1.2 - Pourquoi peut-on affirmer que les résistances R et (k-1)R sont en série ?

1.3 - Montrer que $V_S = k.E$.

1.4 - Quel est le nom de ce montage ?



2 - ÉTUDE DE L'ÉTAGE 2 :

On admettra dans cette partie que V_S est une tension périodique de période $T = 1\text{ s}$, représentée sur le **document 1 de l'annexe 2**.

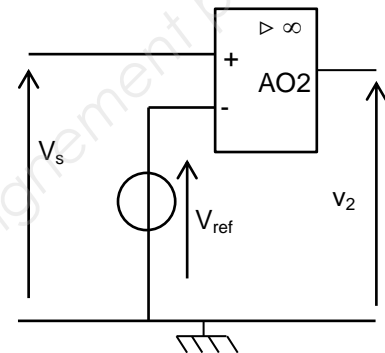
2.1 - Justifier le régime de fonctionnement de l'AO 2.

2.2 - Quel est le nom de ce montage ?

2.3 - Quelles sont les valeurs possibles pour v_2 ?

2.4 - On prend $V_{\text{ref}} = + 0,5\text{ V}$.

Représenter sur le **document 2 de l'annexe 2 page 8/9**, la tension v_2 en concordance de temps avec V_S .



3 - ÉTUDE DE L'ÉTAGE 3 :

On prendra $R_3 = 100\text{ k}\Omega$ et $C = 10\text{ }\mu\text{F}$. On suppose que l'interrupteur K est fermé depuis longtemps. À $t = 0$, on ouvre K.

3.1 - Quelle est la valeur de $v_3(0)$, tension de sortie de l'étage 3 à $t = 0$?

3.2 - Rappeler la relation liant i_C , intensité du courant circulant dans le condensateur de capacité C, et u_C la tension à ses bornes.

3.3 - Établir la relation liant i_C , v_2 et R_3 .

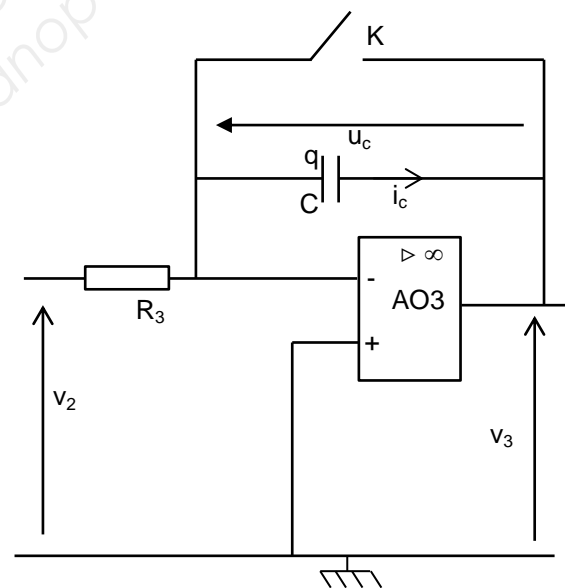
3.4 - Montrer en vous aidant des questions 3.2 et 3.3 que la relation liant v_2 et v_3 est :

$$v_2 = -R_3 C \frac{dv_3}{dt}$$

3.5 - En exploitant le résultat de la question 3.4, expliquer pourquoi ce montage est appelé « montage intégrateur ».

3.6 - On admettra que sur l'intervalle de temps $[0 ; \frac{T}{2} = 0,5\text{ s}]$ l'expression de $v_3(t)$ en fonction de $v_2(t)$ peut se mettre sous la forme $v_3(t) = a \times t$ où a est une constante.

a - Calculer la valeur de la constante de temps $\tau_3 = R_3 C$. Justifier alors en exploitant les questions 2.3 et 3.4 que la valeur de a est $15\text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$. Préciser la valeur de $v_3(t)$ à l'instant $t_1 = 0,5\text{ s}$.



b - Quel composant du montage permet de dire qu'il y a continuité de la tension à cet instant t_1 ?

3.7 - Justifier brièvement que sur l'intervalle $[0,5 \text{ s} ; 1 \text{ s}]$, $v_3(t)$ est une droite dont le coefficient directeur est $a' = -15 \text{ V.s}^{-1}$. Représenter $v_3(t)$ sur cet intervalle.

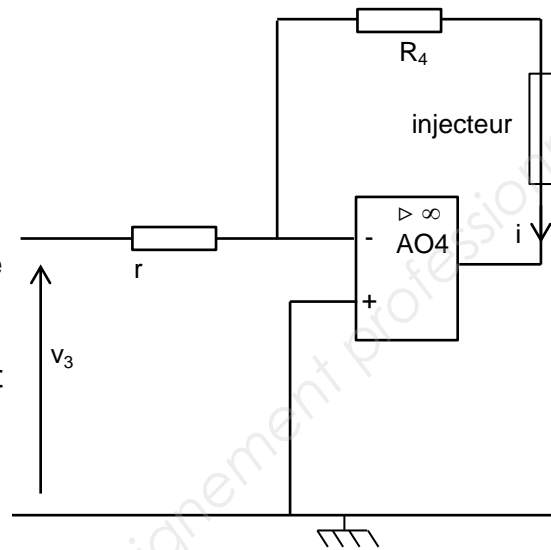
4 - ÉTUDE DE L'ÉTAGE 4 :

On admet la relation $i = \frac{v_3}{r}$.

4.1 - Quel est l'intérêt de cet étage ?

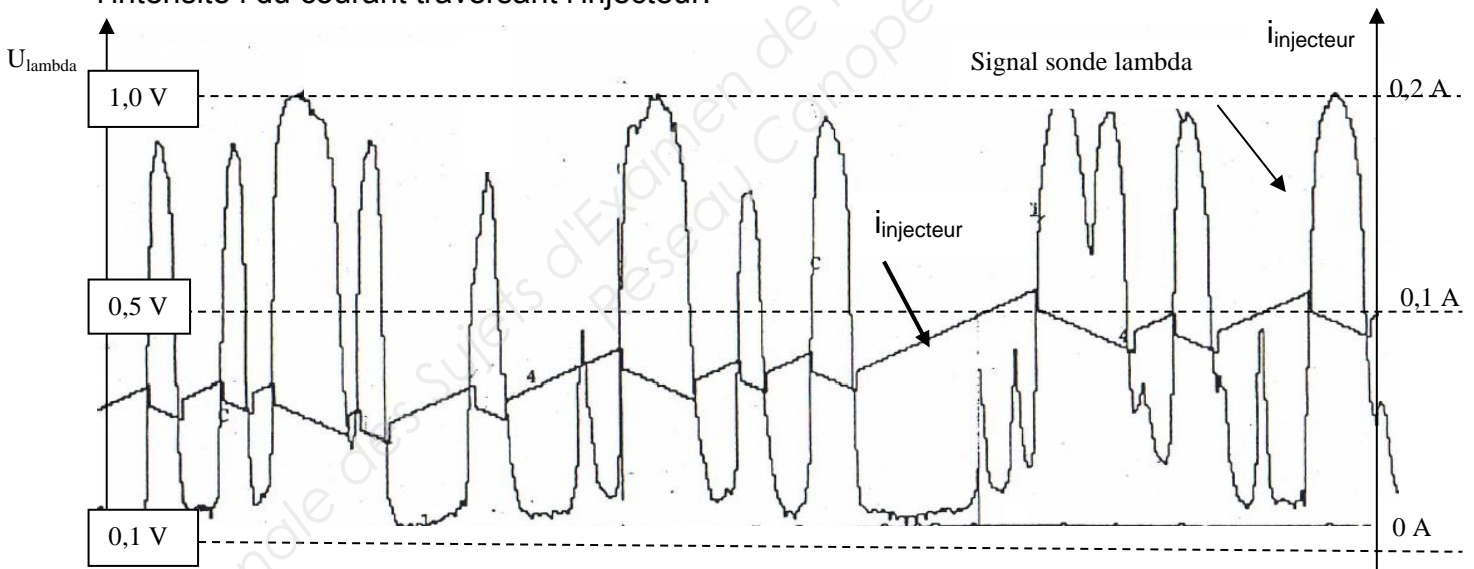
4.2 - On obtient pour $i(t)$ la courbe représentée sur le document 4 de l'annexe 2 page 9/9.

Quelle est la valeur de la résistance r qu'il faut placer dans le circuit pour obtenir cette courbe ?



5 - ÉTUDE GLOBALE :

Le relevé suivant est le relevé réel de la tension aux bornes d'une sonde lambda et de l'intensité i du courant traversant l'injecteur.

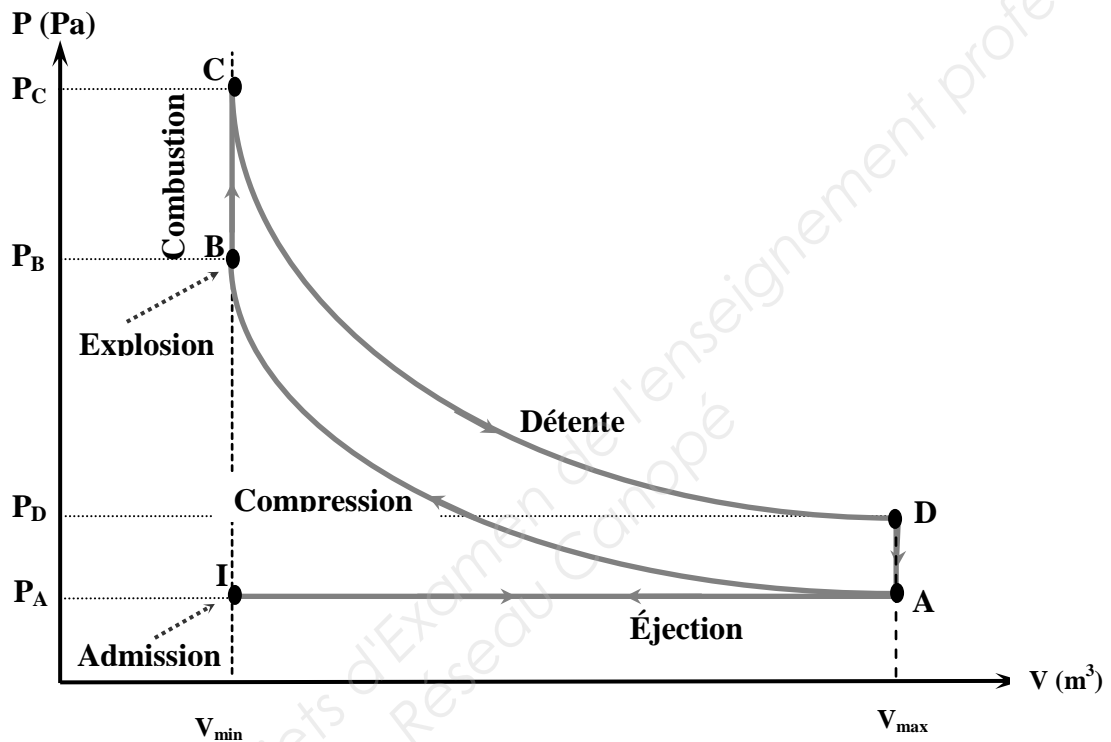


Une sonde lambda est un capteur de richesse. Si le mélange est trop riche, la tension aux bornes de la sonde est haute. **En vous aidant des documents 1 et 4 des annexes 2 et 3**, exploiter les courbes du graphe ci-dessus pour vérifier que la régulation de la richesse fonctionne correctement.

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)

Problème 1 : Thermodynamique d'un moteur d'automobile

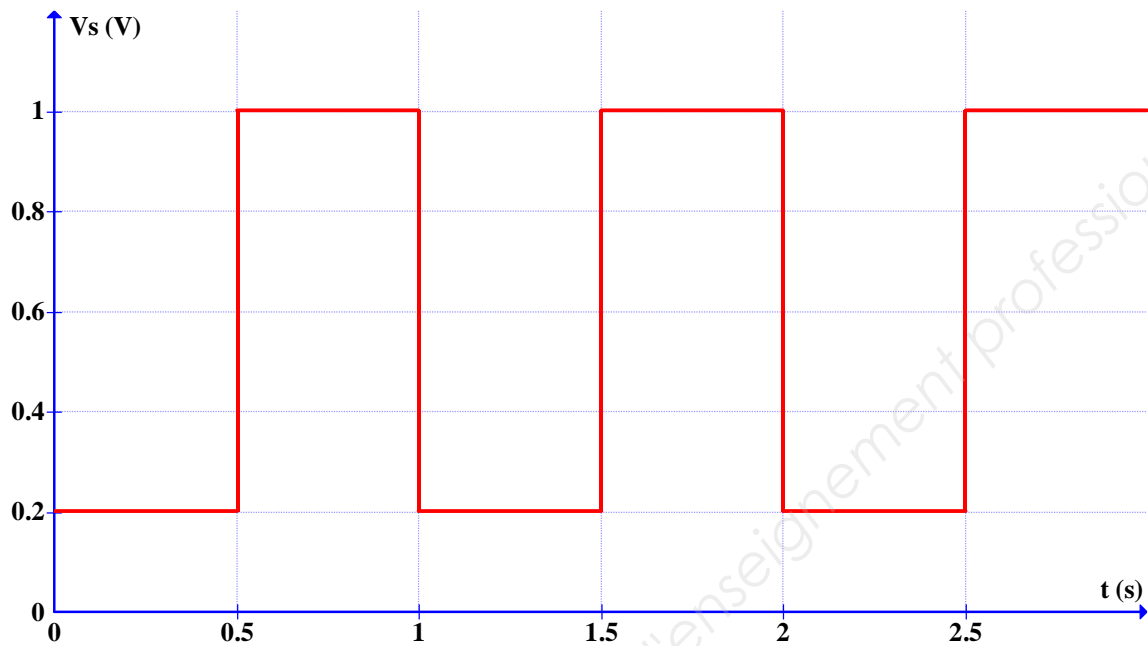
Partie A : Cycle thermodynamique de **Beau de Rochas** dans le diagramme de Clapeyron.



Annexe 2 à rendre avec votre copie
Chaîne électronique d'une sonde lambda

Question 2 :

Document 1



Document 2

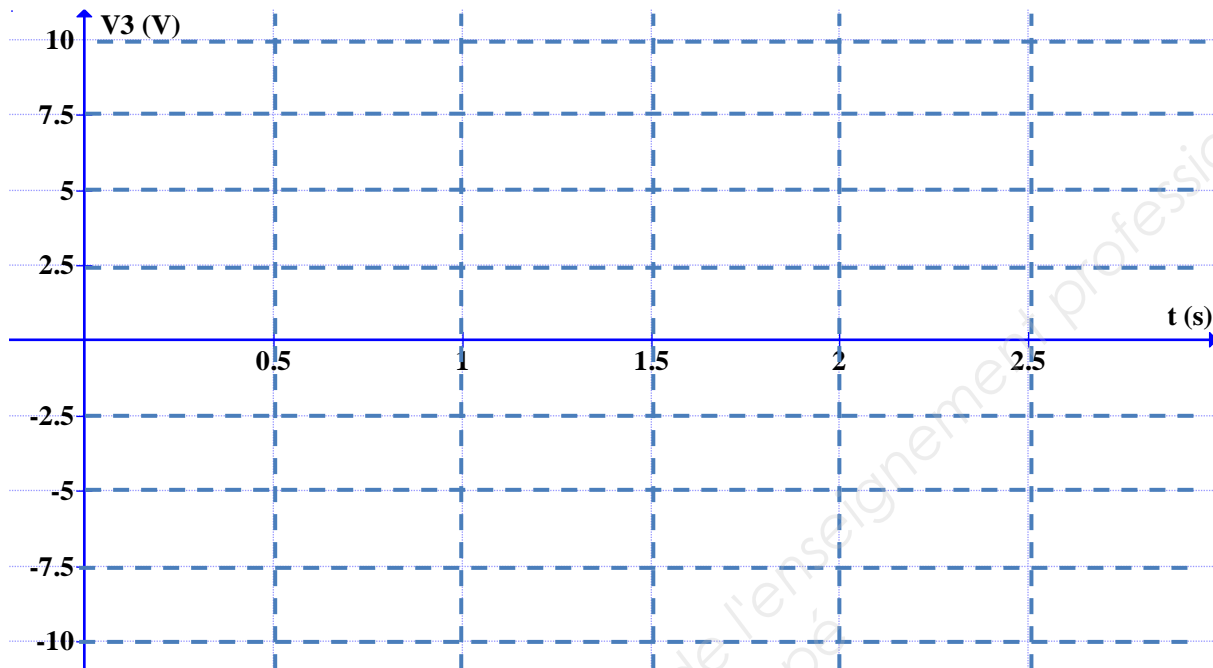
Question 2.4 - tracé de v_2 en concordance avec v_s (courbe ci-dessus) à compléter.



Annexe 3 à rendre avec votre copie
Chaîne électronique d'une sonde lambda

Document 3

Question 3.7 : tracé de $v_3(t)$ à compléter.



Document 4

Question 4.2 : exploitation du tracé de $i(t)$.

