

Problème 1 : CCINP PSI**Partie V - Turbine à gaz**

Le biogaz provient principalement de la fermentation anaérobie, c'est-à-dire sans oxygène, des déchets de l'agriculture, de l'industrie alimentaire et des ordures ménagères. À l'état brut, sa teneur en méthane est un peu supérieure à 50 %. Après une épuration poussée, il atteint le même niveau de qualité que le gaz naturel et porte alors le nom de bio-méthane (CH_4). Il peut être valorisé par la production d'énergie électrique. Il est considéré comme une énergie renouvelable à part entière depuis plus de dix ans et sa combustion libère moins de CO_2 que celle du fuel ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$).

Q28. Justifier, à l'aide des données thermodynamiques fournies en fin d'énoncé, que pour une même production d'énergie, la combustion du méthane libère moins de CO_2 que celle du fuel.

Étude d'une installation motrice avec turbine à gaz

On étudie ici une installation motrice dont le principe de fonctionnement est décrit sur la **figure 6**.

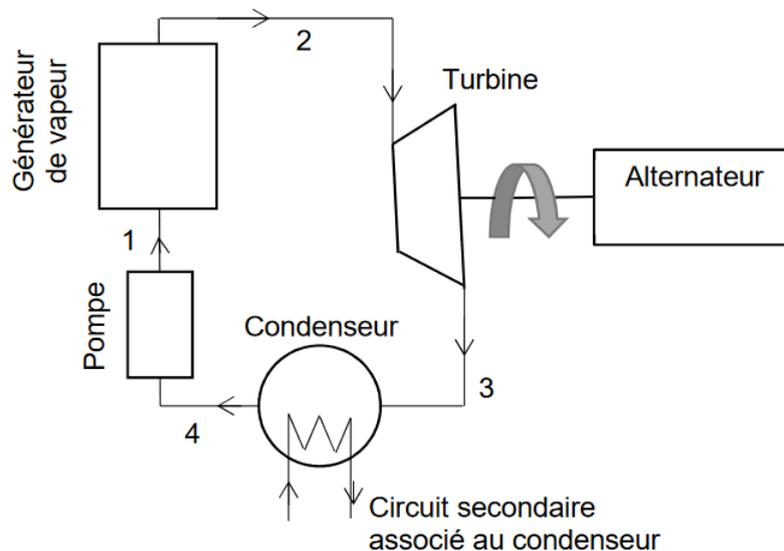


Figure 6 - Installation motrice

Elle fonctionne en régime permanent suivant un cycle de Hirn. Le fluide utilisé est de l'eau. La pompe alimente le générateur de vapeur en liquide haute pression (point 1), on a $P_1 = 10$ bars. Le liquide est porté à ébullition, puis totalement vaporisé, et enfin surchauffé de façon isobare par le brûleur au bio-méthane (point 2). La vapeur surchauffée se détend ensuite dans la turbine accouplée à un alternateur électrique (point 3). Au point 3, on a $P_3 = 1$ bar, la vapeur est sous forme de vapeur saturante de titre massique en vapeur $x_v = 1$. La vapeur humide basse pression est totalement condensée, puis le liquide (point 4) est réintroduit dans la pompe. Un circuit secondaire, associé au condenseur et relié à une tour de refroidissement ou autre, permet d'extraire l'énergie issue du condenseur par transfert thermique.

Hypothèses :

- l'évolution dans la turbine est adiabatique et réversible ;
- l'évolution dans la pompe est supposée isenthalpique ;
- dans les bilans énergétiques, les variations d'énergie cinétique et potentielle du fluide seront négligées par rapport aux termes enthalpiques ;
- on néglige les pertes mécaniques de la turbine et le rendement de l'alternateur est considéré égal à 100 % ;
- l'état du fluide reste inchangé dans les canalisations de liaison entre les différents éléments.

Q29. Reproduire sommairement sur votre copie l'allure du diagramme $\log(P)$ - h de l'eau fourni en fin de sujet, en veillant à retranscrire au mieux la courbe de saturation et y superposer l'allure du cycle étudié. Reproduire et compléter le **tableau 1** sur votre copie.

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
T (°C)	≈ 100			100
P (bar)	10	10	1	1
h (kJ·kg ⁻¹)				
État	Liquide	Vapeur sèche	Vapeur saturante ($x_v = 1$)	Liquide saturé ($x_v = 0$)

Tableau 1 - Grandeurs thermodynamiques de l'eau dans le cycle de la **figure 6**

Q30. Exprimer en fonction des enthalpies massiques aux points 1, 2, 3 et 4 :

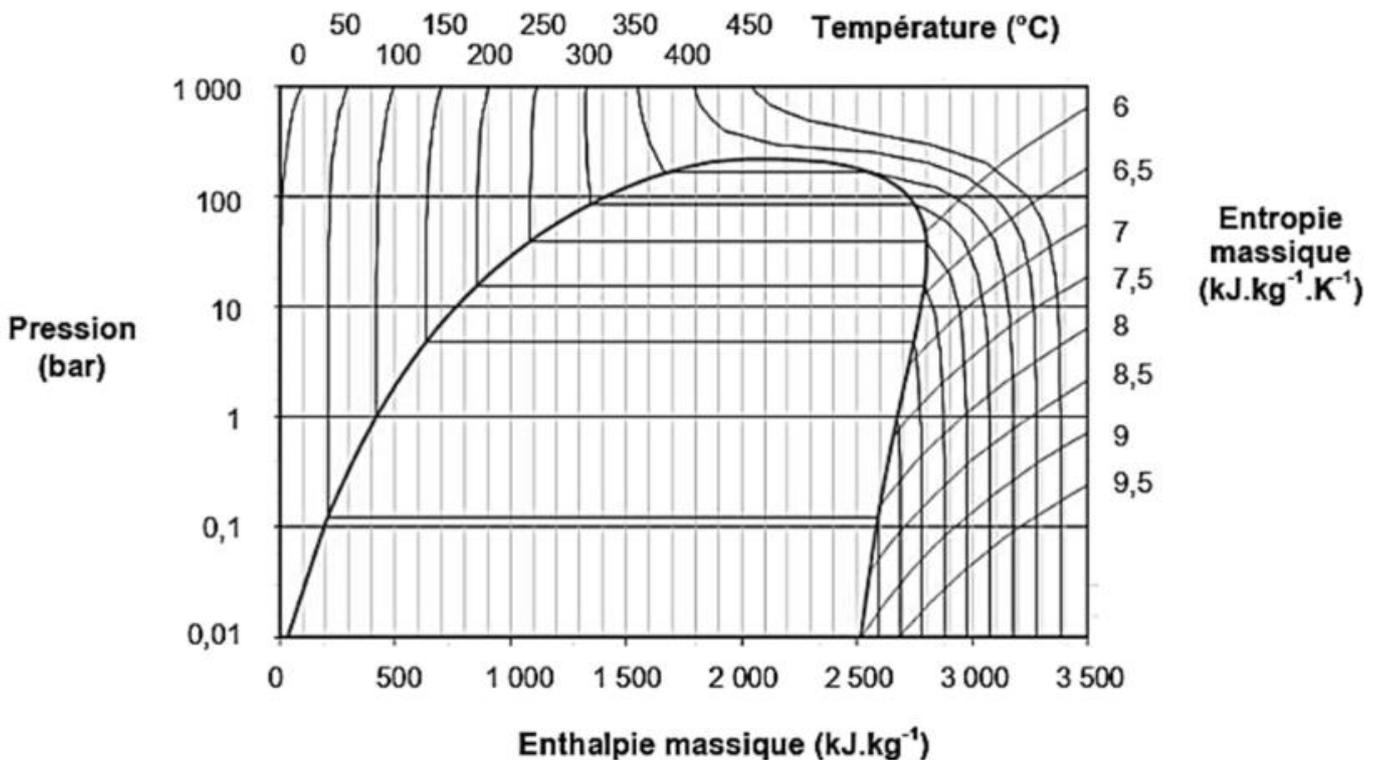
- le travail utile massique de la turbine (w_{iT}). Ce travail est parfois dénommé travail indiqué massique ;
- le transfert thermique massique (q_{GV}) fourni par le générateur de vapeur ;
- le transfert thermique massique (q_{Cond}) récupéré par le circuit secondaire associé au condenseur.

Évaluer numériquement w_{iT} , q_{GV} et q_{Cond} .

Exprimer le rendement de l'installation en fonction des différentes enthalpies massiques.

Q31. Évaluer le débit massique en eau du circuit primaire, noté D_{m1} , pour une production d'électricité d'une puissance $P_{elec} \approx 250$ kW.

Document - Diagramme $\log(P)$ - h de l'eau



Données :

Le pouvoir calorifique (énergie thermique libérée lors de la combustion d'une mole de carburant) est de :

803 kJ · mol⁻¹ pour le méthane ;

7 600 kJ · mol⁻¹ pour le fuel.

Problème 2 : POUVOIR CALORIFIQUE DE L'ETHANOLDonnées :

$$T \text{ (K)} = \theta \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,15$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa.}$$

- Composition molaire de l'air : 21 % de dioxygène et 79 % de diazote.
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau à 40°C : $L_{v(40^\circ\text{C})} = 43\,340 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masse molaire de l'éthanol : $46,07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Composé	Enthalpie standard de formation $\Delta_f H_{25^\circ\text{C}}^0 \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	Capacité calorifique molaire isobare $C_p \text{ (J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)}$
Ethanol liquide	- 276,52	110,5
Dioxygène gaz	0	29,5
Diazote gaz	0	29,1
Dioxyde de carbone gaz	- 393,50	38,7
Eau vapeur	- 241,81	37,7

- 1) Ecrire l'équation bilan de la réaction [1] de combustion, en présence de dioxygène, d'une mole d'éthanol liquide ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) en dioxyde de carbone gazeux et en vapeur d'eau.
- 2) Calculer l'enthalpie standard à 25°C de la réaction [1] : $\Delta_{r,1} H_{25^\circ\text{C}}^0$
- 3) On appelle pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un combustible, la chaleur libérée, à 25°C et 1 bar, lors de la réaction de combustion d'un kg de ce combustible, quand l'eau est formée à l'état vapeur. Calculer le PCI de l'éthanol exprimé en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- 4) Un brûleur est alimenté à pression constante ($P^0 = 1 \text{ bar}$) et à 25°C par 4 moles d'éthanol liquide et par 100 moles d'air. La réaction de combustion est totale et conduit à la formation de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau.
 - 4-1. Calculer le nombre de moles de chaque composé dans le mélange sortant du brûleur.
 - 4-2. En considérant que l'intégralité de la chaleur de combustion est reçue par les gaz de combustion, déterminer la température T_1 des gaz sortant du brûleur.

Problème n°3 Modulation et démodulation**PARTIE 1. FABRICATION D'UN SIGNAL MODULÉ EN AMPLITUDE**

La modulation d'amplitude est une technique intervenant dans la transmission, via une onde électromagnétique (voie hertzienne), d'un signal informatif (téléphonie, radio, télévision...).

Généralités sur la modulation d'amplitude

Pour transmettre une onde sonore (un signal informatif supposé sinusoïdal de pulsation ω), on module l'amplitude d'une porteuse de pulsation Ω très supérieure à ω .

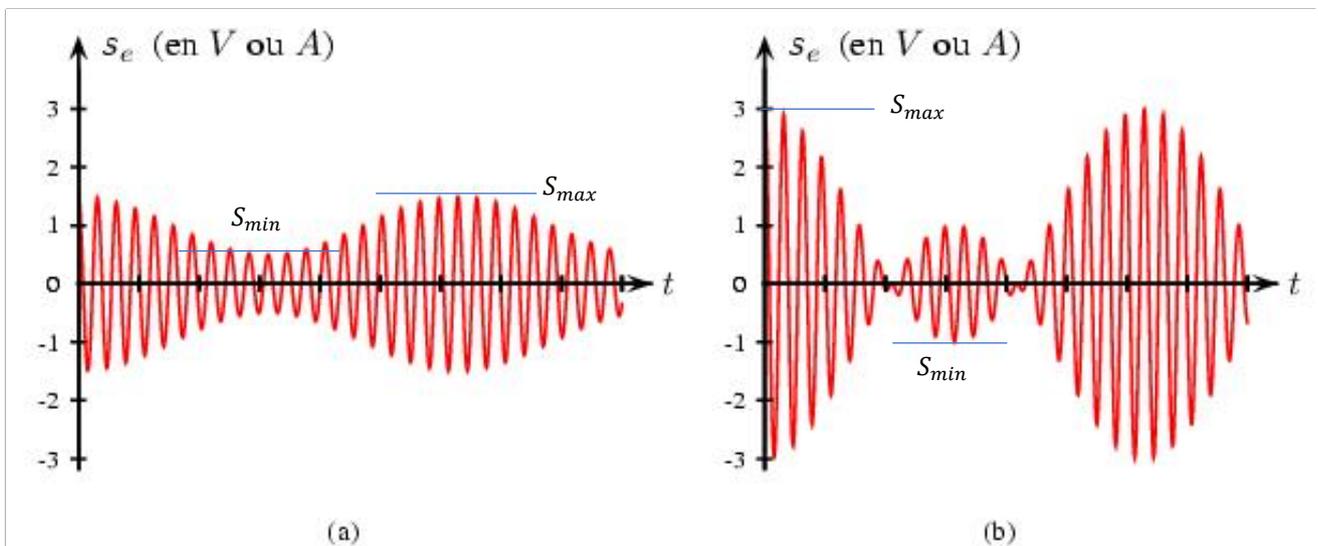


FIG. 1 - Signaux obtenus avec différents taux de modulation

- 1.1) À quel intervalle de fréquences correspond le domaine audible ?
Quelle est à peu près, dans l'air, la célérité de l'onde transmise par voie hertzienne ?
- 1.2) Donner deux raisons essentielles justifiant la nécessité de la modulation (en amplitude ou en fréquence, par exemple) pour transporter un signal par voie hertzienne par l'intermédiaire d'une onde électromagnétique.
- 1.3) Le signal modulé $S(t)$ obtenu est mis sous la forme usuelle
 $S(t) = S_0(1 + m \cos(\omega t)) \cos(\Omega t)$, dans laquelle m est un réel positif, appelé taux de modulation. L'image électrique de ce signal pourra être obtenue sous forme d'une tension (on écrira alors $S(t) = v(t)$ grandeur exprimée en volt) ou sous forme d'une intensité (on écrira alors $S(t) = i(t)$ grandeur exprimée en ampère).
- 1.3.a) Soient S_{max} et S_{min} les « valeurs maximale et minimale de l'amplitude » de $S(t)$ (cf figures). Exprimer le taux de modulation m en fonction de S_{max} et S_{min} .
- 1.3.b) Calculer les taux de modulation correspondant aux deux graphes proposés.
- 1.3.c) Représenter le signal modulé dans le cas $m = 1$.

PARTIE 2. DÉMODULATION D'AMPLITUDE

Pour récupérer l'information contenue dans un signal modulé en amplitude, plusieurs approches sont possibles, dont les deux suivantes. La première exploite les possibilités d'un circuit passif à base de diode, la seconde repose sur l'emploi d'un multiplieur.

Démodulation par détection d'enveloppe (à l'aide d'une diode)

Un récepteur capte, par voie hertzienne, un signal modulé qu'il traduit sous la forme d'une tension

$$V_e(t) = V_0(1 + m \cos(\omega t)) \cos(\Omega t).$$

Pour en extraire l'information, on utilise le dispositif suivant (voir **figure 3**) appelé détecteur d'enveloppe ou de crête. Il est constitué d'une diode idéale, d'une résistance et d'un condensateur, ces deux derniers formant la cellule RC . La valeur des composants est adaptée au signal à démoduler.

- 2.1) Soient $\tau = RC$ la constante de temps de la cellule RC et $T = \frac{2\pi}{\Omega}$ la période de la porteuse du signal d'entrée.

En raisonnant qualitativement sur le fonctionnement de la cellule RC , selon l'état passant ou bloqué de la diode, établir une inégalité liant τ et T permettant d'obtenir en sortie la tension approchée : $V_s(t) \approx V_0(1 + m \cos(\omega t))$.

Cette expression approchée sera conservée pour les questions suivantes.

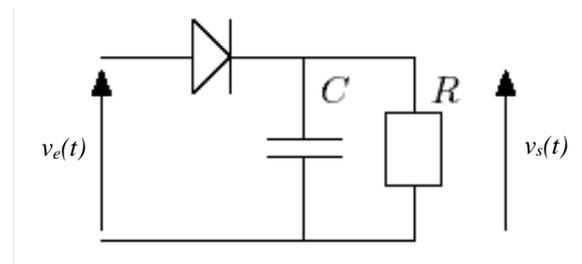


Figure 3

- 2.2) On place tour à tour, en entrée de la cellule RC , les tensions $v_e(t) = s_e(t)$ représentées sur les **figures 1(a)** et **1(b)**, tracées pour des valeurs quelconques de m .
- 2.2.a) Représenter, dans chaque cas, les tensions $v_s(t)$ obtenues en sortie du détecteur d'enveloppe.
- 2.2.b) L'un des deux signaux des **figures 1(a)-1(b)** n'est pas correctement démodulé par ce montage. Identifier le signal dont il s'agit et le représenter correctement démodulé. Préciser la condition portant sur m assurant une démodulation correcte.

Démodulation synchrone (à l'aide d'un multiplieur)

L'utilisation d'un multiplieur va permettre de résoudre quelques-unes des limitations rencontrées par le démodulateur à diode.

Le montage représenté sur la **figure 4** est câblé de façon à ce que $v_m(t) = k \times v_e(t) \times v_d(t)$, où k est une constante positive caractéristique du multiplieur.

On place, sur la première entrée, le signal à démoduler, réceptionné par voie hertzienne, dont l'équation est

$$V_e(t) = V_0(1 + m \cos(\omega t)) \cos(\Omega t)$$

et on impose, sur la seconde entrée, la tension $V_d(t) = V_0 \cos(\Omega t)$.

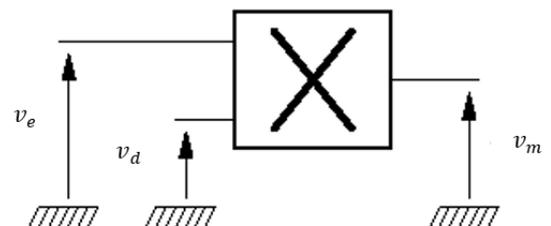


FIG. 4 - Schéma de principe d'un multiplieur

En sortie du multiplieur, le signal traverse un filtre qui peut être de type passe-haut ou passe-bas, selon le traitement souhaité (voir **figure 5**).

Les diverses caractéristiques de chacun des filtres sont fournies en annexe.

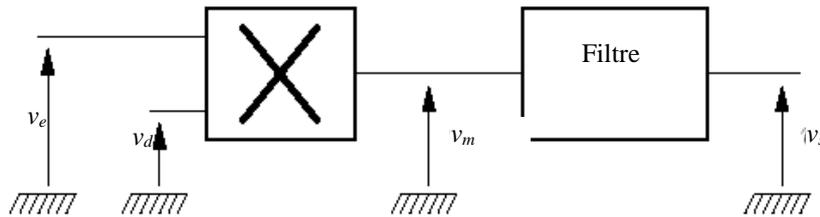


FIG. 5 – Filtrage

- 2.3) Représenter, en le justifiant, le spectre en amplitude du signal $v_m(t)$ en sortie du multiplieur, en indiquant l'amplitude des différentes composantes spectrales.
- 2.4) Une partie du signal v_m représente l'information recherchée.
- 2.4.a) Parmi les filtres 1 et 2 fournis en annexe, justifier quel est celui qui doit être employé pour sélectionner cette information.
Ce choix sera maintenu dans toute la suite du problème.
- 2.4.b) Déduire des documents disponibles la fréquence de coupure du filtre choisi.
- 2.5) Pour tester le montage ainsi réalisé, on place sur son entrée v_e le signal $S_e(t)$ de la **figure 1(b)**.
- 2.5.a) Donner l'expression approchée de la tension $v_s(t)$ en sortie du filtre, en appelant H_0 le gain statique du filtre.
- 2.5.b) Représenter l'allure de $v_s(t)$
- 2.5.c) Citer au moins un avantage de la démodulation synchrone par rapport à celle à diode.
- 2.6) Les paramètres du filtre employé (l'ordre n et le gain statique H_0) étaient inconnus jusqu'à ce que l'on mesure la valeur absolue du gain, à une fréquence donnée. Ainsi, à 100 kHz, on a trouvé pour cette valeur absolue : 50 dB.
- 2.6.a) En exploitant cette mesure et les documents fournis en annexe, déterminer H_0 .
- 2.6.b) Calculer, de la même façon, l'ordre n de ce filtre.
- 2.7) Pour parfaire le filtrage, un condensateur, de capacité C est placé en série en sortie du filtre. Le signal alors démodulé est transformé en onde sonore par l'intermédiaire d'un haut-parleur (voir **figure 6**).

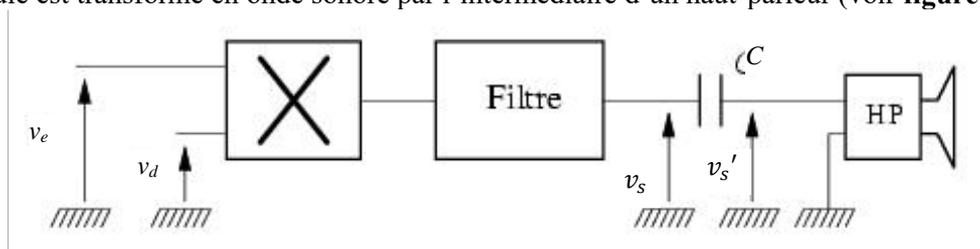


FIG. 6 - Chaîne de réception

- 2.7.a) En assimilant le haut-parleur à une résistance R_0 , préciser le rôle du condensateur.
- 2.7.b) En prenant pour $v_s(t)$ sa représentation déterminée en 2.5.b, représenter l'allure du signal $v_s'(t)$.

ANNEXE

Filtre 1	Filtre 2
Fonctions de transfert	
$\underline{H}_1(j\omega) = \frac{H_0}{1 + \left(j\frac{\omega}{\omega_c}\right)^n}$	$\underline{H}_2(j\omega) = \frac{H_0 \left(j\frac{\omega}{\omega_c}\right)^n}{1 + \left(j\frac{\omega}{\omega_c}\right)^n}$
Courbes de gain <i>(Certaines données sont volontairement absentes des axes des ordonnées)</i>	
Courbes de phase	