

le DS comporte 3 sujets différents, que vous rédigerez sur des feuilles différentes svp.

Premier sujet: Etude simplifiée d'un synthétiseur

On se propose dans ce sujet d'étudier les grandes lignes de la synthèse d'un son avec timbre.

Les sons musicaux sont des "sons complexes", mélanges de sons graves et aigus. Le son musical est la superposition d'un son fondamental et d'harmoniques dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale (double, triple, etc.). On dit qu'un son est riche, agréable à entendre, lorsqu'il contient de nombreuses harmoniques. Un son pauvre en harmoniques paraîtra terne à notre oreille. Par opposition au son complexe, le son pur comprend exclusivement la fréquence fondamentale. Les harmoniques composant un son riche peuvent avoir des amplitudes et des déphasages quelconques par rapport au fondamental.

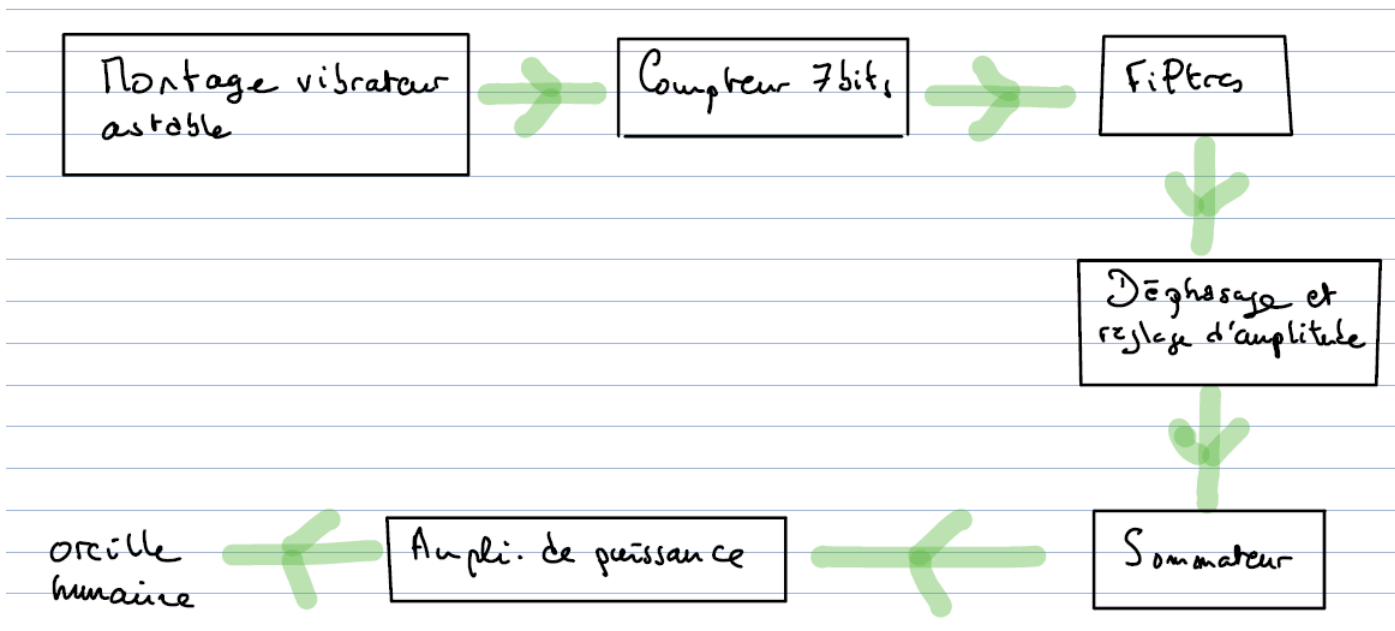
La technique présentée est celle de la synthèse additive, on utilise aujourd'hui plutôt la synthèse soustractive. Les plus intéressés pourront visionner la vidéo de l'excellente chaîne Youtube ScienceEtonnante.

Dans tout le sujet les ALI sont supposés idéaux.

1 présentation globale du montage

1.1 schéma général du circuit

Le schéma synopsis du montage est le suivant :



1.2 principe

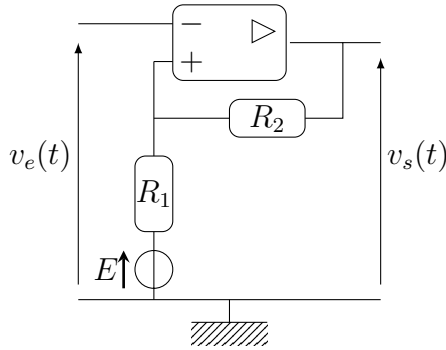
Le montage vibrateur astable ou oscillateur de relaxation délivre un signal créneaux positif, de fréquence 12kHz. Le compteur 7 bits est un diviseur de fréquence, donnant en sortie 7 signaux créneaux de fréquences {6kHz ; 3kHz ; 1.5kHz ; 750Hz ; 375Hz ; 188Hz ; 94Hz}.

1- En quelle année a été créé le premier synthétiseur ?

2- Expliquer en quelques lignes le principe de fonctionnement du montage (la partie amplificateur de puissance n'est pas étudiée).

2 Étude du multivibrateur astable

2.1 Étude du comparateur à hystérésis inverseur décalé



On étudie le montage ci-contre :

3- Énoncer les hypothèses du modèle idéal de l'ALI.

4- Quel est le régime de fonctionnement de l'ALI ?

5- exprimer $\epsilon \hat{=} V^+ - V^-$ en fonction de v_s, E et v_e sans préjuger de l'état de saturation de l'ALI.

6- On suppose l'ALI en saturation haute. Établir la condition de bascule (on notera V_H la valeur). Reprendre la question en supposant l'ALI en saturation basse (V_B).

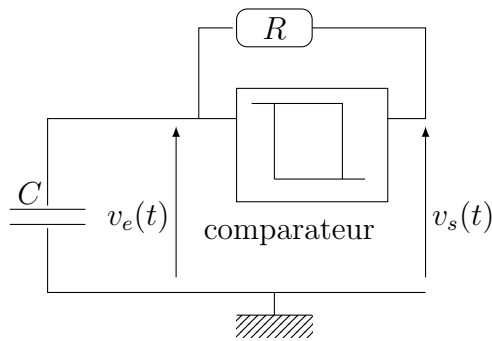
7- Proposez pour R_1, R_2 et E un jeu de valeurs possibles, sachant que $V_B = 3,2V$ et $V_H = 6.8V$. $v_e(t)$ est un signal harmonique d'amplitude $10V$. Représenter graphiquement $v_e(t)$ et $v_s(t)$.

8- Représenter la relation entrée-sortie du montage en indiquant le sens de parcours du cycle.

Dans la réalité on utilise un circuit logique CMOS délivrant un signal à $+V_{sat} = 10V$ et $-V_{sat} = 0V$. On prendra ces valeurs dans la suite.

2.2 Étude du signal de sortie

Le comparateur précédent est inséré dans un montage multivibrateur astable (ou trigger de Schmidt) selon le schéma suivant :



On posera $\tau = RC$

9- Exprimer l'équation différentielle reliant $v_e(t)$ et $v_s(t)$.

10- En supposant que le condensateur est initialement déchargé, établir la loi horaire $v_e(t)$.

11- Déterminer l'instant t_0 auquel l'ALI change d'état de saturation.

12- Établir l'équation différentielle reliant $v_e(t)$ et $v_s(t)$ dans cette condition, puis la loi horaire $v_e(t > t_0)$. Déterminer enfin l'instant t_1 auquel l'ALI change à nouveau d'état de saturation.

13- Tracer sur un même schéma l'allure de $v_s(t)$ et $v_e(t)$. En montrant que le temps de montée T_M (pour aller de V_B à V_H) vaut T_D (le temps de descente), en déduire la période des oscillations en fonction de t_0 et t_1 .

14- AN : en supposant que $C = 100nF$, déterminer la valeur de R pour que la fréquence du signal créneau $v_s(t)$ soit de 12 kHz.

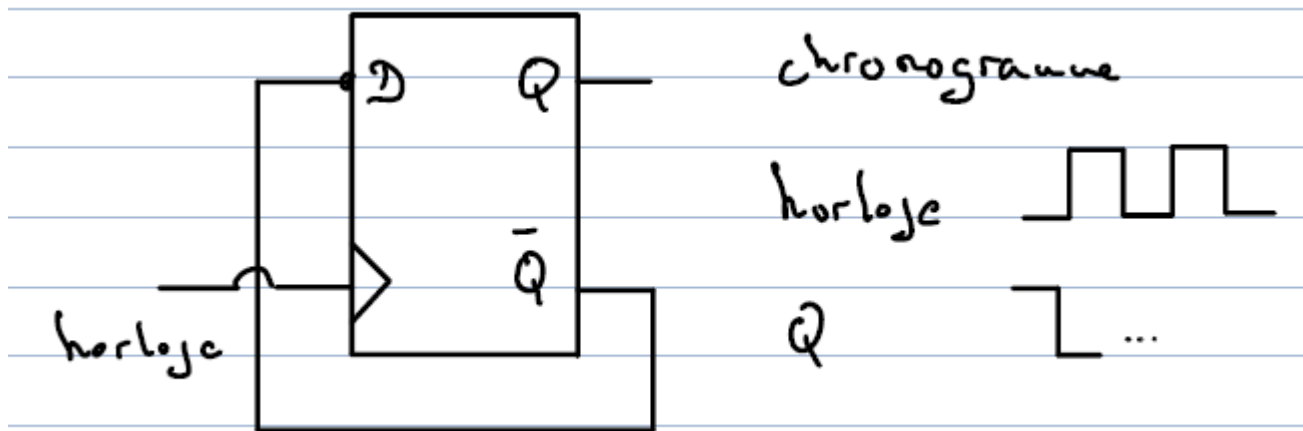
3 Étude d'un diviseur de fréquence

Cette partie ne nécessite aucune connaissance sur le fonctionnement des circuits logiques.

Un compteur 7 bits est essentiellement constitué d'un ensemble de bascules D.

Une bascule est un circuit logique capable, dans certaines circonstances, de maintenir les valeurs de ses sorties malgré les changements de valeurs d'entrées, c'est-à-dire comportant un état "mémoire" (Wikipédia).

La bascule D comporte une entrée, le signal d'horloge sous forme d'un signal créneau et une sortie notée Q. L'entrée D est reliée à la seconde sortie \bar{Q} donnant une valeur opposée à celle de Q.



La sortie Q prend l'information présente en D au moment de l'apparition d'un front montant sur l'entrée d'horloge (elle passe de 0 à 1) et seulement à cet instant. Le reste du temps Q garde l'information en mémoire jusqu'au prochain front montant sur l'horloge. D prend la valeur opposée à Q.

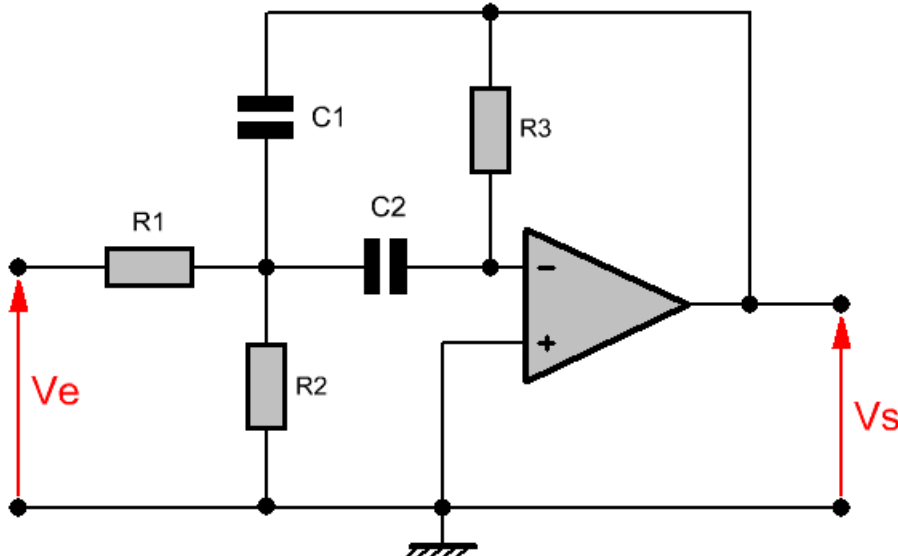
15- A partir du chronogramme ci-dessus, représenter l'évolution de Q au cours du temps et justifier le nom donnée à ce montage.

16- Comment doit on disposer les diverses bascules les unes par rapport aux autres pour réaliser le compteur 7 bits ?

4 Étude du filtre sélectif à structure de Rauch

Les filtres utilisés sur les 7 sorties du compteur 7bits (cf figure 1.1) sont constitués du montage ci-dessous avec $R_3 = 2R_1$ et $C_1 = C_2$.

Chacun possède des valeurs de résistances et de capacité différentes. On étudie un seul exemple de ces filtres. Leur but est d'extraire des signaux créneaux délivrés par le compteur 7 bits le fondamental correspondant.



17- Justifier que l'ALI puisse fonctionner en régime linéaire.

18- Justifier sans longs calculs la nature du filtre.

19- Déterminer la fonction de transfert $\underline{H} = \frac{V_s}{e}$. La mettre sous la forme canonique

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ(x - 1/x)}$$

avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ et déterminer H_0 , Q et ω_0 en fonction des données.

20- Votre résultat est-il cohérent avec Q.18?

21- On prend $R_1 = 48k\Omega$, $R_2 = 60\Omega$ et $C = 22nF$. Calculer Q et f_0 . Qualifieriez-vous le filtre de sélectif? Était-ce prévisible?

22- Tracer le diagramme de Bode asymptotique puis réel du filtre (uniquement pour le gain).

On construit les mêmes filtres de Rauch adaptés aux fréquences du spectre de sortie du compteur, dont les tensions de sortie sont donc les tensions d'entrée des divers filtres.

23- Un signal créneau impair d'amplitude A , de valeur moyenne a_0 et de fréquence f se développe en série de Fourier selon

$$v(t) = a_0 + \frac{4A}{\pi} \left[\sin(2\pi ft) + \frac{1}{3} \sin(2\pi \times 3ft) + \frac{1}{5} \sin(2\pi \times 5ft) + \dots \right]$$

↔ Donner l'expression approchée du signal de sortie du filtre.

rem même si l'on a pas trouvé la valeur de f_0 on peut répondre, de façon partielle, à cette question.

5 Étude du traitement final

On utilise le circuit de la **figure 12**

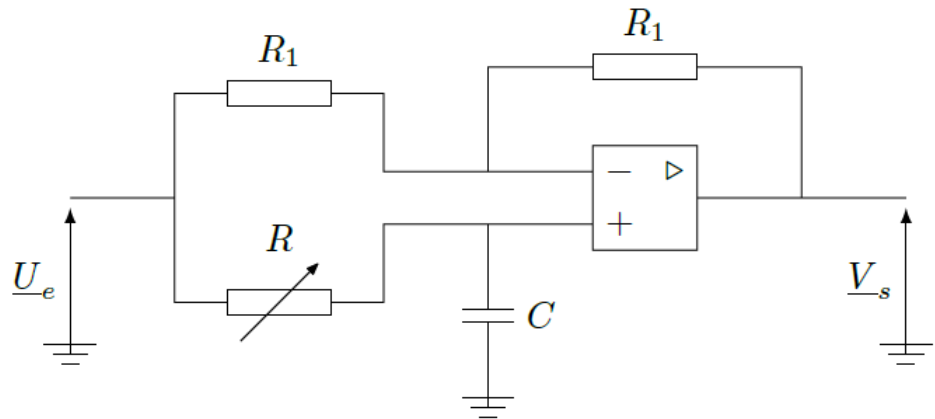


Figure 12

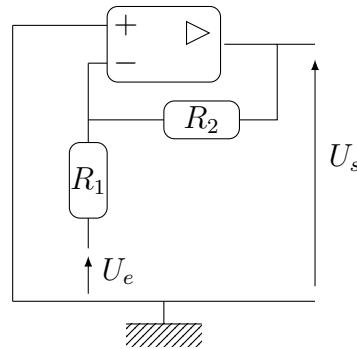
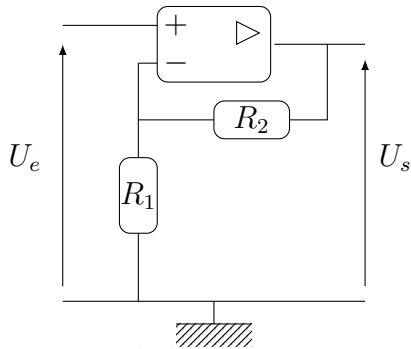
Q.24

Dans quelle mesure ce montage répond-il au cahier des charges?

Ainsi, chaque harmonique du son synthétisé peut être déphasé par rapport au signal de sortie du filtre étudié au paragraphe 3.

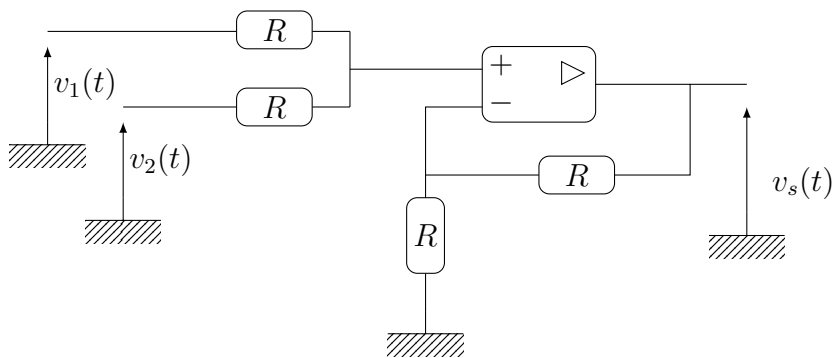
Un montage amplificateur à ALI permet alors de régler l'amplitude du signal de sortie.

25- On dispose des deux circuits suivants (1) et (2)



Lequel choisissez vous et pourquoi ?

Soit le circuit suivant :



26- Calculer $v_s(t)$ en fonction de $v_1(t)$ et $v_2(t)$. Justifier le nom donné au montage.

On peut utiliser un sommateur à 7 entrées pour 7 harmoniques dont on aura ajusté la phase et l'amplitude en fonction de l'analyse spectrale du son d'un instrument. Le circuit permet alors la synthèse avec 7 harmoniques.

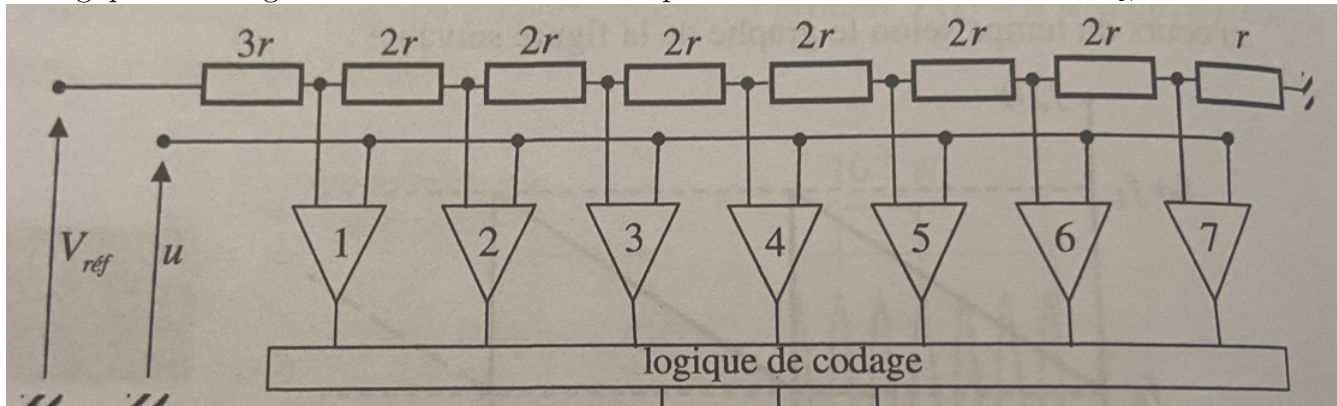
6 numérisation éventuelle

Le signal $u(t)$ ainsi créé, au lieu d'être joué sur une enceinte (avec le traitement adéquat), peut être numérisé puis stocké (par exemple) à l'aide d'un CAN : Convertisseur Analogique Numérique.

Le convertisseur flash est un convertisseur parallèle, l'entrée analogique à convertir est comparée simultanément aux $2^N - 1$ tensions de seuils (pour un CAN N bit).

Un CAN flash à N bits comporte donc $2^N - 1$ comparateurs (un pour chaque seuil à comparer), $2^N - 1$ bascules d'échantillonnage (non représentée sur le schéma ci-dessous) et une logique de conversion. Chacun des comparateurs possède une résistance d'entrée infinie et fonctionne comme un comparateur simple. Il délivre un signal logique qui vaut 1 lorsque la borne reliée au potentiel u présente un potentiel supérieur à celui de la borne reliée à V_{ref} par l'intermédiaire des résistances. Le signal logique est à 0 sinon.

La logique de codage convertit la sortie des comparateurs en un nombre binaire s_N



27- Quelle valeur minimale de la fréquence d'échantillonnage f_e proposez vous ? Sur combien de bits la valeur est-elle stockée ?

28- Si $V_{ref} = 2V$, quelle est la valeur numérisée s_N de $u=1.32V$?

29- Quels sont les avantages et les inconvénients de ce convertisseur ?

II. — La propulsion des avions contemporains

Mines/Ponts PC 2011

L'une des prouesses techniques du 20^e siècle a été la mise au point du turbo-réacteur qui permet aux avions d'être propulsés à des vitesses considérables (soniques ou même supersoniques) ; le turbo-réacteur est utilisé par l'aviation civile (A380, B757) ainsi que par l'aviation militaire (Rafale, F16). Bien qu'il existe plusieurs types de turbo-réacteur, le principe général de ceux-ci est le même ; ils sont notamment composés de plusieurs parties :

- une entrée d'air (air inlet) ;
- une zone de compression comprenant une première roue, de grande taille appelée soufflante (fan) puis de plusieurs étages de compresseurs axiaux (compressors) ;
- une chambre de combustion (combustion chamber) où air et carburant sont mélangés en présence d'une flamme permanente dont le rôle est d'augmenter la température des gaz ;
- une zone de détente des gaz, composée d'une turbine montée sur l'arbre tournant de la zone de compression ; son rôle est de récupérer une partie du travail des gaz après la combustion pour faire tourner les roues du compresseur situé à l'avant du turbo-réacteur ;
- une tuyère d'éjection qui par sa forme continue la détente et transforme l'énergie de pression en énergie cinétique avant d'éjecter le flux d'air .

Des précisions IMPORTANTES ont été rajoutées à la fin du sujet, A LIRE!!!!

L'ensemble du système est représenté sur la figure 3.

Dans toute cette partie, on assimile l'air à un gaz parfait diatomique de capacité thermique massique à pression constante $c_p = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et d'exposant adiabatique $\gamma = 1,4$. Toutes les transformations subies par les gaz sont supposées quasi-statiques et réversibles. Enfin, dans toute cette partie la température est représentée par la lettre θ quand sa valeur est exprimée en $^{\circ}\text{C}$ et par la lettre T quand sa valeur est exprimée en K.

L'air se trouve initialement à la pression atmosphérique $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$ et à température ambiante $\theta = 20^{\circ} \text{ C}$. Il entre, avec un débit massique $D_m = 65 \text{ kg.s}^{-1}$, dans le compresseur qui le porte à la pression $P_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Une fois dans la chambre de combustion, l'air comprimé est mélangé au carburant, ce mélange est alors brûlé sous pression constante ; cette combustion s'effectue avec un excès d'air suffisant qui permet d'admettre qu'il n'y a pas de modification de la nature et du nombre de moles de gaz (hypothèse de conservation). Les gaz se détendent ensuite dans la turbine puis dans la tuyère jusqu'à la pression atmosphérique P_0 . On notera respectivement T_2 et T_3 les températures en entrée et en sortie de la turbine et T_4 la température en sortie de la tuyère. On fera l'hypothèse que chaque section de l'écoulement est homogène (« hypothèse des tranches »).

□ 12 — Représenter les diagrammes pression–volume, puis température–entropie de l'ensemble des transformations subies par le gaz lors de son passage dans le turbo-réacteur.

□ 13 — Déterminer la valeur de la température T_1 de l'air au niveau de la sortie du compresseur ainsi que la puissance \mathcal{P}_c absorbée par celui-ci.

Pour sa bonne tenue aux basses températures, le carburant utilisé est à base de kérosène, son pouvoir calorifique moyen est $q = 43,1 \text{ MJ.kg}^{-1}$. En régime permanent, un système de contrôle permet de fixer la température en entrée de la turbine à la valeur $\theta_2 = 860^{\circ}\text{C}$.

□ 14 — Déterminer l'expression et la valeur numérique de la quantité de carburant injectée par seconde en régime permanent. On vérifiera que ce débit est bien compatible avec l'hypothèse de conservation.

La turbine et le compresseur sont mécaniquement reliés au même arbre. On peut donc supposer que la turbine fournit exactement la puissance nécessaire au fonctionnement du compresseur.

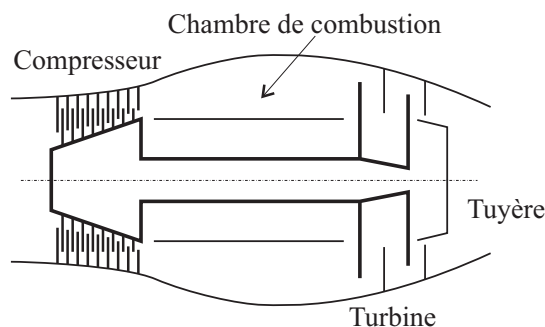


FIG. 3 – Schéma de principe d'un turbo-réacteur

□ **15** — Déterminer l'expression et la valeur numérique de la température T_3 de l'air à la sortie de la turbine. En déduire la pression P_3 correspondante.

□ **16** — Déterminer l'expression et la valeur numérique de la température T_4 de l'air à la sortie de la tuyère.

On note respectivement $v_{e,t}$ et $v_{s,t}$ le module de la vitesse des gaz en entrée et en sortie de la tuyère dans le référentiel du turbo-réacteur. On admettra que $v_{s,t} \gg v_{e,t}$.

□ **17** — Déterminer l'expression de $v_{s,t}$ en fonction de c_p , T_3 et T_4 puis la valeur numérique de la poussée Π du turbo-réacteur.

Précisions:

- l'énergie cinétique massique des gaz est négligeable en tout point sauf à la sortie de la tuyère
- Le régime est stationnaire, la compression et la détente sont supposées adiabatiques.
- Q12 on démontrera l'expression d'une évolution isobare d'un gaz parfait sous la forme:
$$T = T_0 \exp((S - S_0)/C_p)$$
 expression dans laquelle l'indice 0 est un état de référence, supposé connu
- Q14 le pouvoir calorifique moyen est l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de l'espèce considérée.
- Q17 la poussée du réacteur est donnée par $\Pi = Dm \cdot v$, cf le cours de méca flu

Partie Chimie : Courbes $i(E)$ d'un système du fer (Mines-Ponts – extrait)

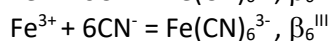
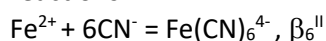
Potentiels standard (volt) à pH = 0

$$\begin{aligned} \text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+} &= 0,77 \\ \text{Fe}^{2+} / \text{Fe} &= -0,44 \\ \text{O}_2 / \text{H}_2\text{O} &= 1,23 \\ \text{Cl}_2 / \text{Cl}^- &= 1,36 \end{aligned}$$

Constantes globales de formation

$$\begin{aligned} \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} : \log \beta_6^{\text{II}} &= 24 \\ \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} : \log \beta_6^{\text{III}} &= 31 \end{aligned}$$

Les ions fer (II) et fer (III) forment avec les ions cyanures des complexes hexacoordinés, selon les réactions :



dont les constantes sont données ci-dessus.

Le dichlore (Cl_2) est un gaz jaune-vert dans les conditions normales de température et de pression (*chloros* signifie « vert » en grec). Il a une odeur piquante et suffocante et est extrêmement toxique. Il a été utilisé lors de la Première Guerre mondiale en tant que gaz de combat.

1- On prépare une solution contenant $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ de Fe^{2+} et $0,7 \text{ mol.L}^{-1}$ de CN^- .

Quelle est la forme prédominante du fer dans cette solution ?

2- Calculer le potentiel standard du couple $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$.

3- On réalise le tracé expérimental de la courbe courant-tension relative au couple $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$.

La solution électrolytique contient :

KCl à 1 mol/L ;

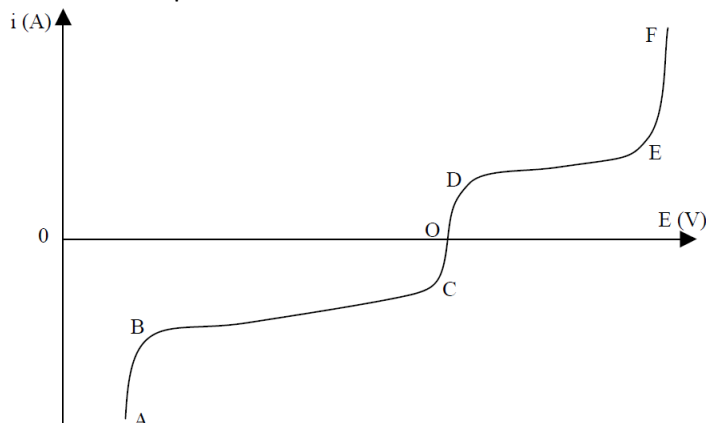
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ à $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ et $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$.

L'électrode de travail et la contre-électrode sont des électrodes de platine.

Le pH est proche de 5.

Lorsque la ddp appliquée est suffisamment importante entre l'ET et la CE, on observe un dégagement gazeux à chacune de ces électrodes, dont l'un est associé à une odeur piquante.

La figure suivante représente la courbe obtenue :



i représente l'intensité entre les deux électrodes de platine.

E représente le potentiel par rapport à l'ESH d'une des électrodes de platine, déterminé à l'aide d'une électrode de référence.

Les graduations sur les axes ne sont pas indiquées. Seule l'origine de l'axe des ordonnées est donnée.

Rappeler le schéma correspondant à cette manipulation en justifiant rapidement sa mise en œuvre.

- 4- Indiquer la signification des six parties de cette courbe (AB, BC, CO, OD, DE et EF) en commençant par la partie AB. On justifiera soigneusement les réponses données.
- 5- En déduire approximativement le potentiel correspondant aux trois parties à peu près verticales de la courbe (AB, CD et EF). Certaines de ces valeurs ne peuvent pas être prévues précisément ; lesquelles et pourquoi ?
- 6- En utilisant des électrodes de platine platiné, l'odeur piquante n'est plus observée. Expliquer.