

## الاختبار التركيبي في الديناميكا الحرارية التطبيقية

### سنة خامسة PEST GP

#### تمرين 1

1- إستخرج علاقة كفاءة دورة الديزل بدلالة معامل الإنضغاط ومعامل الإحتراق  $r_c$  حيث  $r_c = \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2}$

2- ليكن محرك يعمل بالحلقة المزدوجة :

حيث درجة الحرارة الدنيا والضغط الأدنى هما على الترتيب  $T_m=293K$  و  $P_m=1bar$   
و درجة الحرارة القصوى والضغط الأقصى هما على الترتيب  $T_M=2073K$  و  $P_M=60bar$

$$17 = V_M/V_m = \beta$$

$$R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$$

$$\gamma = 1.4$$

$$M=29 \text{ g/mol}; m=1g$$

(1) أحسب درجة الحرارة في كل نقطة من نقاط الحلقة

(2) أحسب كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة و مردود الحلقة

#### تمرين 2

وحدة توربينة غازية تأخذ الهواء عند  $17^\circ C$  و  $1.01bar$  ونسبة ضغط 8. يُدار الضاغط بواسطة

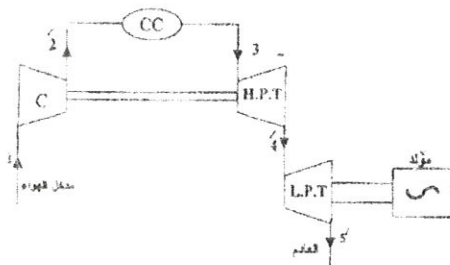
توربينة ضغط عالي وتدير توربينة الضغط المنخفض عمود قدرة منفصل. تكون كفاءات ثابت

القصور الحراري للضاغط، وتوربينة الضغط العالي وتوربينة الضغط المنخفض هي 0.8، 0.85 و

0.83، على الترتيب.

الحرارة القصوى في الدورة هي  $650^\circ C$ . لإجراء الانضغاط خذ  $c_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$

و  $\gamma = 1.4$ . وإجراء الاحتراق، وإجراء التمدد خذ  $c_p = 1.15 \text{ kJ/kgK}$  و  $\gamma = 1.333$ .



(1) أرسم الحلقة في مخطط (T,S)

(2) أحسب درجة الحرارة في كل نقطة من نقاط الحلقة

(3) أحسب شغل الدخل للضاغط وشغل الخرج لتوربين الضغط العالي وتوربين الضغط المنخفض

(4) أحسب مردود الحلقة

## تمرين 1

et  $\Delta U_{2 \rightarrow 3} =_{GP} C_p \Delta T_{2 \rightarrow 3} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_3 - T_2)$

De même, pour 3→4 qui est une isobare, on obtient

et  $\Delta H_{3 \rightarrow 4} = W_{3 \rightarrow 4} + Q_{3 \rightarrow 4} = 0 + Q_{3 \rightarrow 4}$

$\Delta H_{3 \rightarrow 4} =_{GP} C_p \Delta T_{3 \rightarrow 4} = \frac{\gamma nR}{\gamma-1} (T_4 - T_3)$

Finalement, on introduisant la masse m via:  $n = \frac{m}{M}$

$Q_c = Q_{2 \rightarrow 3} + Q_{3 \rightarrow 4} = \Delta U_{2 \rightarrow 3} + \Delta H_{3 \rightarrow 4}$

Soit:  $Q_c = \frac{mR}{M(\gamma-1)} [T_3 - T_2 + \gamma(T_4 - T_3)]$

Et enfin on obtient le transfert thermique massique:  $q_c = \frac{R}{M(\gamma-1)} [T_3 - T_2 + \gamma(T_4 - T_3)] = 1.1 \cdot 10^3 \text{ kJ / Kg}$

$$q_f = \frac{R}{M(\gamma-1)} [T_3 - T_2] = -4.2 \cdot 10^3 \text{ kJ / Kg}$$

4) D'après le premier principe appliqué sur l'ensemble du cycle:

$$Q_f + Q_c + W = 0 \quad \text{donc: } W = -q_f - q_c = -7.1 \cdot 10^3 \text{ kJ / Kg}$$

5) Le rendement du moteur est défini par:  $\eta = \frac{|W|}{|q_c|} = \frac{W}{q_c} = 0.63 = 63\%$

volume,  $TV^{\gamma-1} = C^{\text{ste}}, (TV_1^{\gamma-1} = TV_2^{\gamma-1} = C_1)$

d'où  $T_2 = T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = \beta^{\gamma-1} \times T_1 = (1.7)^{1.4-1} \times 293 = 9.1 \times 10^2 \text{ K}$

La transformation 2→3 est isochore:

Sachant que: (1)  $P_2 V_2 = nRT_2$  et (2)  $P_3 V_3 = nRT_3$

Alors:

(2)  $\frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{nRT_3}{nRT_2} \Rightarrow \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow T_3 = \frac{P_3}{P_2} T_2$

(1)  $\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = \frac{nRT_2}{nRT_1} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$

$P_2 = P_1$

$P_2 = \left(\frac{P_1}{V_2}\right)^{\gamma} \times P_1 = \beta^{\gamma} \times P_1$

donc:  $T_3 = \frac{P_3}{\beta^{\gamma} \times P_1} \times \beta^{\gamma-1} T_1 = \frac{P_3}{\beta \times P_1} \times T_1 = \frac{60}{17 \times 1} \times 293 = 1.034 \times 10^3 \text{ K}$

Enfin, la loi de Laplace appliquée sur 4→5 qui est adiabatique réversible:

On a:  $T_4 V_4^{\gamma-1} = T_5 V_5^{\gamma-1} = C_1$  alors:  $T_4 = T_5 \times \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{\gamma-1}$

Il faut trouver  $V_4$ : la transformation 3→4 est une transformation isobare:  $P = C^{\text{ste}}$

(1)  $P_3 V_3 = nRT_3$  et (2)  $P_4 V_4 = nRT_4$

Donc: (2)  $\frac{P_4 V_4}{P_3 V_3} = \frac{nRT_4}{nRT_3} \Rightarrow \frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow V_4 = \frac{T_4}{T_3} V_3$  avec:  $V_3 = V_m$

D'après les questions précédentes:

$$\begin{cases} T_1 = \frac{P_1}{\beta P_2} T_2 \\ T_4 = T_5 \\ V_4 = V_5 \\ \beta = \frac{V_2}{V_1} \end{cases} \quad \text{et} \quad T_1 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \times T_2$$

Alors:  $T_5 = \left(\frac{V_2}{V_4}\right)^{\gamma-1} \times T_4 = \left(\frac{1}{\beta} \frac{T_4}{T_3} \frac{\beta P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1} \times T_4 = 2073 \times \left(\frac{2073 \times 1}{60 \times 293}\right)^{\gamma-1} = 8.8 \cdot 10^2 \text{ K}$

## تمرين 3

للإجراء ثابت القصور الحراري في توربينة الضغط العالي:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$\text{أو } \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{T_3}{T_4}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} = \left(\frac{923}{620.5}\right)^{1.333/0.333} = 1.488^4 = 4.9$$

$$P_4 = \frac{P_3}{4.9} = \frac{8 \times 1.01}{4.9} = 1.651 \text{ bar}$$

نسبة الضغط  $P_4 / P_5$  يمكن إيجادها كالآتي،

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{P_4}{P_3} \times \frac{P_3}{P_5}$$

بما أن:

$$P_3 = P_2$$

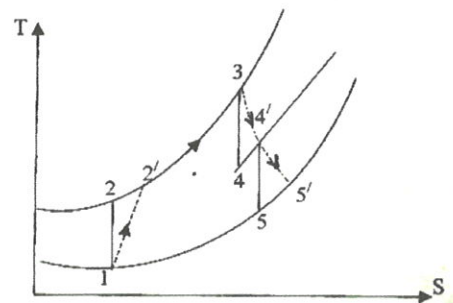
$$P_5 = P_1$$

و

فإن المعادلة عاليه يمكن كتابتها كالآتي،

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{P_4}{P_3} \times \frac{P_3}{P_1}$$

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{1}{4.9} \times 8 = \frac{8}{4.9} = 1.63$$



$$\frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$\text{i.e. } T_2 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad T_1 = 8^{0.4/1.4} \times 290 = 525 \text{ K}$$

$$\text{كفاءة ثابت القصور الحراري للضاغط } \eta_{ism}, C = \frac{T_2 - T_1}{T'_2 - T_1} = \frac{525 - 290}{T'_2 - 290} = 0.8$$

$$\therefore T'_2 - 290 = \frac{235}{0.8}$$

$$\text{i.e. } T'_2 = 290 + 494 = 584 \text{ K}$$

$$\text{شغل الدخل للضاغط} = C_{p_s} (T'_2 - T_1) = 1.005(584 - 290)$$

$$= 1.005 \times 294 = 295.5 \text{ kJ / kg}$$

الحراري في توربينة الضغط المنخفض،

$$\frac{T'_4}{T_5} = \left( \frac{P_4}{P_5} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} = 1.63^{0.333/1.333} = 1.131,$$

$$\therefore \frac{T'_4}{T_5} = 1.131, \therefore T_5 = \frac{T'_4}{1.131} = \frac{666}{1.131} = 588K$$

$$\eta_{isen, LPT} = \frac{T'_4 - T'_5}{T'_4 - T_5} = 0.83$$

$$T'_4 - T'_5 = 0.83(666 - 588) = 0.83 \times 78 = 64.8K$$

$$\therefore T_3 - T'_4 = \frac{295.5}{1.15} = 257K$$

$$\therefore T'_4 = T_3 - 257 = 923 - 257 = 666K$$

$$\eta_{H.P.T} = \frac{T_3 - T'_4}{T_3 - T_4} = \frac{923 - 666}{923 - T_4} = 0.85$$

$$923 - T_4 = \frac{257}{0.85} = 302.5K$$

$$\therefore T_4 = 923 - 302.5 = 620.5K$$

$$\text{شغل الدخل للضاغط} = C_{P_s} (T'_2 - T_1) = 1.005(584 - 290)$$

$$= 1.005 \times 294 = 295.5 \text{ kJ/kg}$$

شغل الخرج من توربينة الضغط العالي (H.P.T)

$$= C_{P_g} (T_3 - T'_4) = 295.5 \text{ kJ/kg}$$

شغل الخرج من توربينة الضغط المنخفض،

$$W_{o/p, LPT} = C_{P_g} (T'_4 - T'_5) = 1.15 \times 64.8 = 74.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{صافي قدرة الخرج} = 74.5 \times 1 = 74.5 \text{ kw}$$

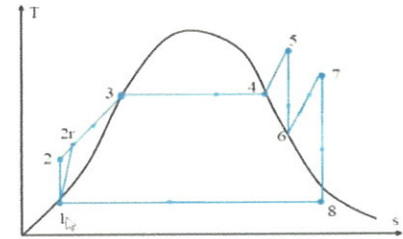
$$\text{الحرارة المكتسبة}, Q_{sup} = C_{P_g} (T_3 - T'_2) = 1.15(923 - 584)$$

$$= 1.15 \times 339 = 390 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{الكفاءة الحرارية}, \eta_{th} = \frac{W_{net o/p}}{Q_{sup}} = \frac{74.5}{390} = 0.191 \text{ / } 19.1\%$$

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Pressure Table

| Press.<br>bar | Temp.<br>°C | Specific Volume<br>m³/kg            |                        | Internal Energy<br>kJ/kg |                        | Enthalpy<br>kJ/kg       |                   |                        | Entropy<br>kJ/kg · K    |                        |
|---------------|-------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
|               |             | Sat.<br>Liquid<br>$v_f \times 10^3$ | Sat.<br>Vapor<br>$v_g$ | Sat.<br>Liquid<br>$u_f$  | Sat.<br>Vapor<br>$u_g$ | Sat.<br>Liquid<br>$h_f$ | Evap.<br>$h_{fg}$ | Sat.<br>Vapor<br>$h_g$ | Sat.<br>Liquid<br>$s_f$ | Sat.<br>Vapor<br>$s_g$ |
| 0.04          | 28.96       | 1.0040                              | 34.800                 | 121.45                   | 2415.2                 | 121.46                  | 2432.9            | 2554.4                 | 0.4226                  | 8.4746                 |
| 0.06          | 36.16       | 1.0064                              | 23.739                 | 151.53                   | 2425.0                 | 151.53                  | 2415.9            | 2567.4                 | 0.5210                  | 8.3304                 |
| 0.08          | 41.51       | 1.0084                              | 18.103                 | 173.87                   | 2432.2                 | 173.88                  | 2403.1            | 2577.0                 | 0.5926                  | 8.2287                 |
| 0.10          | 45.81       | 1.0102                              | 14.674                 | 191.82                   | 2437.9                 | 191.83                  | 2392.8            | 2584.7                 | 0.6493                  | 8.1502                 |
| 2.50          | 127.4       | 1.0672                              | 0.7187                 | 535.10                   | 2537.2                 | 535.37                  | 2181.5            | 2716.9                 | 1.6072                  | 7.0527                 |
| 3.00          | 133.6       | 1.0732                              | 0.6058                 | 561.15                   | 2543.6                 | 561.47                  | 2163.8            | 2725.3                 | 1.6718                  | 6.9919                 |
| 3.50          | 138.9       | 1.0786                              | 0.5243                 | 583.95                   | 2546.9                 | 584.33                  | 2148.1            | 2732.4                 | 1.7275                  | 6.9405                 |
| 4.00          | 143.6       | 1.0836                              | 0.4625                 | 604.31                   | 2553.6                 | 604.74                  | 2133.8            | 2738.6                 | 1.7766                  | 6.8959                 |
| 45.0          | 257.5       | 1.2692                              | 0.04406                | 1116.2                   | 2600.1                 | 1121.9                  | 1676.4            | 2798.3                 | 2.8610                  | 6.0199                 |
| 50.0          | 264.0       | 1.2859                              | 0.03944                | 1147.8                   | 2597.1                 | 1154.2                  | 1640.1            | 2794.3                 | 2.9202                  | 5.9734                 |
| 60.0          | 275.6       | 1.3187                              | 0.03244                | 1205.4                   | 2589.7                 | 1213.4                  | 1571.0            | 2784.3                 | 3.0267                  | 5.8892                 |



• Point 1 (liquide saturé à  $P_1 = 0,04 \text{ bar}$ ):

$$h_1 = 121,46 \text{ kJ/kg};$$

$$v_1 = 1,0040 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

• Point 2 (liquide):  $P_2 = P_3 = 50 \text{ bar}$

$$h_2 = h_1 + 100v_1(P_2 - P_1)$$

$$h_2 = 121,46 + 100 \times 1,0040 \times 10^{-3}(50 - 0,04) = 126,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{is(p)} = \frac{W_p(rev)}{W_p(irrev)} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2r} - h_1} \Rightarrow h_{2r} = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_{isent}} = 121,46 + \frac{126,47 - 121,46}{0,87} = 127,22 \text{ kJ/kg}$$

**TABLE A-3** Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Pressure Table

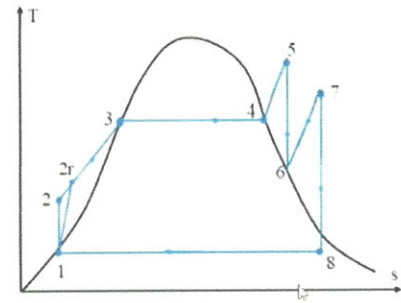
| Press.<br>bar | Temp.<br>°C | Specific Volume<br>m <sup>3</sup> /kg |                       | Internal Energy<br>kJ/kg |                       | Enthalpy<br>kJ/kg      |                   |                       | Entropy<br>kJ/kg · K   |                       |
|---------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|               |             | Sat<br>Liquid<br>$v_f \times 10^3$    | Sat<br>Vapor<br>$v_g$ | Sat<br>Liquid<br>$u_f$   | Sat<br>Vapor<br>$u_g$ | Sat<br>Liquid<br>$h_f$ | Evap.<br>$h_{fg}$ | Sat<br>Vapor<br>$h_g$ | Sat<br>Liquid<br>$s_f$ | Sat<br>Vapor<br>$s_g$ |
| 0.04          | 28.96       | 1.0040                                | 34.800                | 121.45                   | 2415.2                | 121.46                 | 2432.9            | 2554.4                | 0.4226                 | 8.4746                |
| 0.06          | 36.16       | 1.0064                                | 23.739                | 151.53                   | 2425.0                | 151.53                 | 2415.9            | 2567.4                | 0.5210                 | 8.3304                |
| 0.08          | 41.51       | 1.0084                                | 18.103                | 173.87                   | 2432.2                | 173.88                 | 2403.1            | 2577.0                | 0.5926                 | 8.2287                |

- Point 8 (mélange vapeur-liquide à la température  $P_8 = 0,04 \text{ bar}$ )  
A travers la table thermodynamique de l'eau, on trouve :  
 $h_{8f} = 121,46 \text{ kJ/kg}$  ;  $h_{8g} = 2554,4 \text{ kJ/kg}$  ;  $s_{8f} = 0,4226 \text{ kJ/kg} \cdot K$  ;  
 $s_{8g} = 8,4746 \text{ kJ/kg} \cdot K$  ;  $s_8 = s_7 = 8,0330 \text{ kJ/kg} \cdot K$

**Titre de vapeur à la sortie du deuxième corps de la turbine**

$$x_8 = \frac{h_8 - h_{8f}}{h_{8g} - h_{8f}} = \frac{s_8 - s_{8f}}{s_{8g} - s_{8f}} = \frac{s_7 - s_{8f}}{s_{8g} - s_{8f}} \quad \text{Soit } x_8 = \frac{s_7 - s_{8f}}{s_{8g} - s_{8f}} = \frac{8,0330 - 0,4226}{8,4746 - 0,4226} = 0,945$$

$$h_8 = h_{8f} + x_8(h_{8g} - h_{8f}) = 121,46 + 0,945(2554,4 - 121,46) = 2420,59 \text{ kJ/kg}$$



**Spécialité : Génie des procédés**

**Niveau : 5<sup>ème</sup> année PEST**

**Durée 2h**

**Correction examen : Génie des polymers**

**Exercice 1:**

**Réponse 1 :**

**Les définitions des termes suivants :**

**1) Polymère**

Une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes.

**2) Monomère**

Un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire .

**3) Degré de polymérisation et masse moléculaire :**

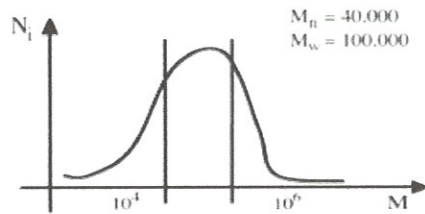
Un polymère peut être caractérisé par son degré de polymérisation ou sa masse moléculaire. **Le degré de polymérisation** est le nombre total de monomères contenus dans une macromolécule.

Lorsque ce degré de polymérisation (DP) est inférieur à 30, on parle d'oligomère et lorsqu'il est supérieur à 30, c'est un polymère.

**La masse moléculaire M** d'un matériau polymère est calculée de deux façons :

M<sub>w</sub> : est la masse moléculaire moyenne de toutes les macromolécules présentes dans le matériau,

M<sub>n</sub> : est la masse moléculaire majoritaire dans le mélange.



$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

( $N_i$  est le nombre de chaînes et  $M$  la masse moléculaire)

**Figure I.4. Distribution des masses moléculaires d'un polymère poly-dispersé[16].**

## Réponse 2 :

La classification des polymères selon leur comportement thermique :

Les propriétés des polymères permettent des usages très variés. On peut ainsi les regrouper dans quatre familles

- Les thermoplastiques
- Les thermodurcissables
- Les élastomères
- Les élastomères thermoplastiques

### 1) Les thermoplastiques

Un thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié pouvant être ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique.

Exemple :

le polyéthylène(PE), le poly (chlorure vinyle) (PVC) ou polystyrène

Dans la majorité des cas, les polymères ayant la forme désirée récupère son état partiellement cristallin ou amorphe après refroidissement [12].

### 2) Les thermodurcissables

Un thermodurcissable est un produit (poudre à mouler solide ou résine liquide) transforme irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble.

Le réactif initial peut être composé d'un monomère ou d'un mélange de monomères ou plus fréquemment d'un mélange de polymère linéaire de faible masse molaire et de monomère (résine époxy, résine polyesters insaturés,...)

La mise en œuvre du thermodurcissable est donc moins aisée que celle des thermoplastiques car il faut impérativement effectuer la mise en forme en même temps que la réaction chimique

de réticulation. Cependant, les thermodurcissables présentent une résistance mécanique, chimique et thermique plus élevées que les thermoplastiques.

### 3) Les élastomères

Un élastomère est un polymère linéaire ou ramifié transformé par vulcanisation en un réseau tridimensionnel faiblement réticulé infusible et insoluble.

Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété élastique caoutchouteuse, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contrainte mécanique.

### 4) les élastomères thermoplastiques :

Un élastomère thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié présentant les propriétés élastiques caoutchouteuses d'un élastomère et de mise en œuvre d'un thermoplastique.

Les élastomères thermoplastiques sont souvent des copolymères à blocs (ou des mélanges homopolymères et/ ou copolymère) dont la structure à l'état solide résulte toujours de l'association d'au moins deux phases distinctes non miscibles :

C'est donc un matériau multi phase où la phase rigide est dispersée dans la phase souple .

### Réponse 3 :

1- La **configuration** est la manière dont les atomes et groupements latéraux sont disposés le long d'une chaîne. Elle est fixée au moment de la synthèse (grâce à des techniques appropriées) et ne peut être modifiée par la suite que par réaction chimique. La configuration des molécules a une influence déterminante sur le comportement du polymère .

2- La **figure I.1** présente trois stéréo-isomères :

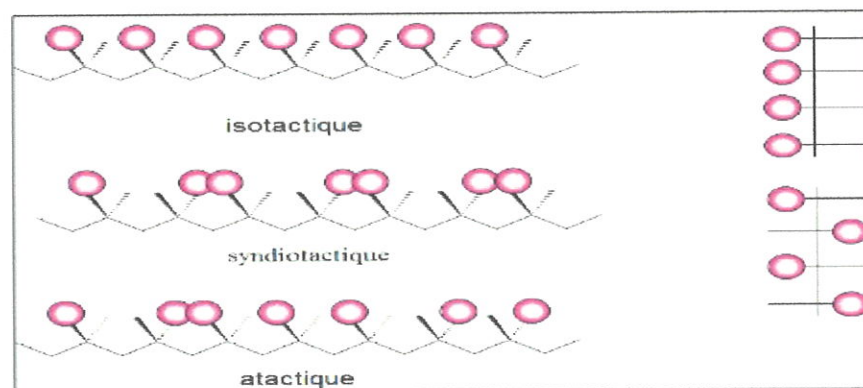


**Figure I.1. Tacticité, configurations stéréochimiques.**

**a- un polymère isotactique** : tous les groupes méthyles sont situés du même côté du plan formé par la chaîne.

**b- un polymère syndiotactique :** les substituants alternent de part et d'autre de ce plan.

**c- un polymère atactique:** les groupements sont répartis de manière aléatoire.

**Spécialité : Génie des procédés**

**Niveau : 5<sup>ème</sup> année PEST**

**Durée 2h**

**Examen : Génie des polymers**

**Exercice 1:**

**Question 1 :** (6)

Définir les termes suivants :

Polymères, monomère, degré de polymérisation et masse moléculaire ?

(1,5) (1,5) (1,5) (1,5)

**Question 2 :** (7)

Donner la classification des polymères selon leur comportement thermique ?

**Question 3 :** (7)

Définir la configuration et citer les trois stéréo-isomères de cette dernière avec un schéma (avec explication) ?



**Spécialité : Génie des procédés**

**Niveau : 5<sup>ème</sup> année PEST**

**Durée 2h**

**Examen : Génie des polymères**

**Question 1 :**

En fonction de leurs propriétés, les polymères sont divisés en trois classes : citer ces trois classes avec explication et avec des exemples ?

**Question 2 :**

Définir les polymères à liaison transversale et les polymères réticulés avec des schémas ?

**Question 3 :**

Définir la conformation, la configuration et citer les trois stéréo-isomères de cette dernière avec un schéma ?

**Question 4 :**

Définir la réaction de polymérisation en chaîne avec des schémas et donner leurs types ?

**Spécialité : Génie des procédés**

**Niveau : 5<sup>ème</sup> année PEST**

**Durée 2h**

**Correction examen : Génie des polymers**

**Réponse 1 :** (5)

En fonction de leurs propriétés, les polymères sont divisés en trois classes :

- les élastomères ;
- les thermodurcissables ;
- les thermoplastiques (qui peuvent être partiellement cristallisés).

**.1. Les élastomères** (2)

Un élastomère est un polymère constitué de chaînes longues et flexibles qui possède l'impressionnante faculté de pouvoir supporter de très grandes déformations. Il se caractérise aussi par le quasi recouvrement de ses propriétés initiales quand la sollicitation cesse. La recouvrement est rendue possible par la vulcanisation qui est un processus de création de liaisons chimiques entre les chaînes macromoléculaires, celles-ci formant alors un réseau tridimensionnel stable [23].

**.2. Les thermodurcissables** (1,5)

Les résines thermodurcissables sont des matières plastiques qui, au cours de leur mise en œuvre, subissent une transformation irréversible : d'un état généralement liquide ou pâteux, elles passent, par un traitement approprié (action de chaleur, ou d'un agent chimique durcisseur) à un état solide permanent. Ce traitement s'appelle polymérisation ou réticulation (durcissement) [23].

Exemple : résines phénol/formol ; bakélite, galalithe..

**.3. Les thermoplastiques** (1,5)

Dérivés des polymères linéaire ou légèrement ramifiés se ramollissent lorsqu'on les chauffe au-dessus d'une certaine température, mais qui redeviennent solide en dessous. Cette matière

conserve de façon réversible sa thermo plasticité initiale. Exemple : PE, PVC, PP, PC, PMMA.... .

Réponse 2 : 5

Polymères à liaison transversale 2.5

Dans les polymères à liaison transversale (Figure II.4). Des liaisons covalentes joignent en divers points des chaînes linéaires adjacentes.



*Figure. Polymères à liaison transversale*

Ces liaisons transversales apparaissent lors de la synthèse d'un polymère ou à la suite d'une réaction chimique irréversible, habituellement effectuée à haute température, et résultent souvent de l'ajout d'atomes ou de molécules à la chaîne. De nombreux matériaux élastiques en caoutchouc comportent des liaisons transversales, qui apparaissent lors de la vulcanisation (curage) est le procédé chimique consistant à incorporer un agent vulcanisant (soufre, le plus souvent) à un élastomère brut pour former après cuisson des ponts entre les macromolécules. Cette opération rend le matériau moins plastique mais plus élastique).

Polymères réticulés 2.5

Les monomères trifonctionnels, à trois liaisons covalentes actives, forment des réseaux tridimensionnels appelés polymères réticulés.

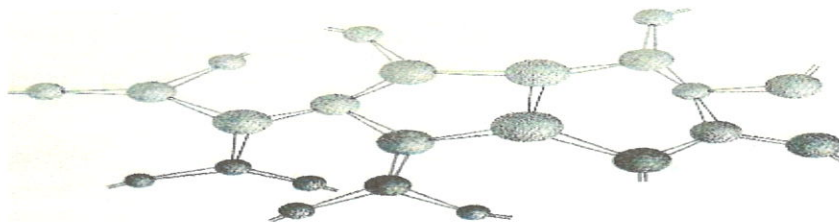


*Figure .Polymère réticulé .*

Par ailleurs, les polymères comportant de très nombreuses liaisons transversales (Figure II.5) sont aussi des polymères réticulés. De tels matériaux possèdent des propriétés mécaniques et thermiques distinctives ; les époxydes et les phénol- formaldéhydes appartiennent à ce groupe.

Soulignons qu'un polymère présente généralement plus d'un type de structure. Ainsi, un polymère essentiellement linéaire peut également avoir un certain nombre de ramifications et de liaisons transversales.

La plupart des polymères doivent être réticulés avant leur utilisation. En effet, un polymère est un liquide et pour le maintenir en place, il faut le réticuler.

Réponse 03 : 5

1- La **configuration** est la manière dont les atomes et groupements latéraux sont disposés le long d'une chaîne. Elle est fixée au moment de la synthèse (grâce à des techniques appropriées) et ne peut être modifiée par la suite que par réaction chimiques. La configuration des molécules a une influence déterminante sur le comportement du polymère.

2- les types de cette dernière selon l'arrangement des motifs structuraux d'un monomère :

Dans un **homopolymère**, par exemple, le polypropylène, l'enchaînement des unités constitutives peut se faire, localement et de différentes façons (voir Figure I.2) :

- Les enchaînements **tête à queue** assurent la régularité de la chaîne.
- A l'opposé, les séquences **tête à tête** ou **queue à queue** sont des défauts dans la chaîne.

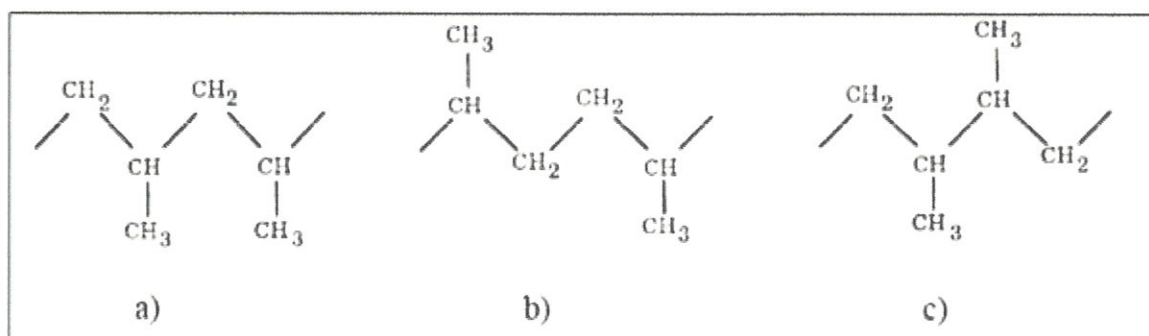


**Figure I.2.** Enchaînement des unités constitutives dans un polypropylène homopolymère :

a) tête à queue ; b) tête à tête ; c) queue à queue .

**Définition de la conformation :**

La conformation exprime l'arrangement spatial momentané des atomes d'une molécule. La conformation d'une chaîne change facilement et rapidement par rotation autour des liaisons simples. Les isomères de conformation (isomères de rotation) qui en résultent sont identiques chimiquement et se distinguent seulement par la séquence majoritaire, trans (anti) ou gauche, de leurs liaisons.

La conformation d'une molécule peut se définir sur le plan local et sur le plan global :

- La structure conformationnelle locale désigne l'orientation relative des segments de chaîne et des groupes latéraux. Elle dépend de la structure covalente locale et des interactions entre atomes et groupes « non liés ».
- La structure conformationnelle globale est, à l'échelle de la chaîne, la disposition relative des atomes de carbone (ou d'oxygène, d'azote, etc.) constituant l'ossature de la chaîne. Elle dépend des interactions intra et intermoléculaires.

Pour des raisons de répulsion/attraction électrostatique entre les groupements portés par les différents segments élémentaires C-C et/ou à cause de leur encombrement, certaines positions angulaires sont énergétiquement favorisées (Figure I.3). Il s'agit de la position anti (appelée aussi trans) et des deux positions gauche. Le passage d'une position à une autre est possible, dès lors que l'énergie apportée par l'agitation thermique est supérieure à la plus grande énergie potentielle  $E_t$ . A l'équilibre thermodynamique, la proportion relative de conformations anti et gauche est conditionnée par la valeur  $E$ . La conformation globale de la chaîne apparaît donc comme une succession de conformations locales anti et gauche appelées conformères [68].

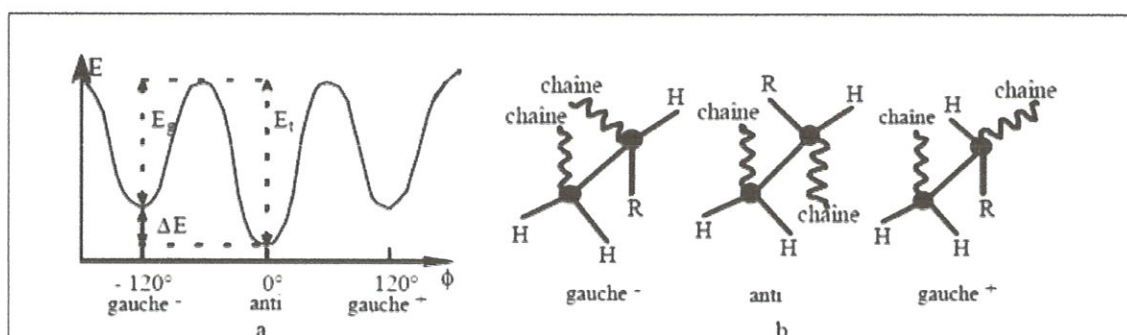
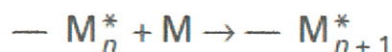


**Figure IV.3.** Conformations anti et gauche : a) énergie potentielle associée à la rotation autour d'une liaison C-C en fonction de l'angle de rotation  $\Phi$ . b) représentation décalée (perspective) des conformations anti et gauche.

Réponse 4 :

5

Une réaction de polymérisation en chaîne est une réaction au cours de laquelle une molécule M est additionnée sur un centre actif porté par la chaîne macromoléculaire en cours de croissance. Si l'on appelle  $-M_n^*$  une chaîne active (macro radical) pour laquelle le degré de polymérisation (DP),  $DP=n$ , la polymérisation peut être schématisée par :



M<sup>•</sup> Désigne un centre actif radicalaire, cationique, anionique ou organométallique.

- ✓ **Amorçage** : ce terme désigne la réaction au cours de laquelle une molécule monomère M est transformée en centre actif M<sup>•</sup><sub>1</sub>



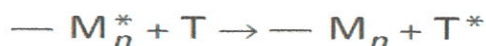
- ✓ **Propagation (ou croissance)** : il s'agit de l'étape au cours de laquelle se répètent un grand nombre d'additions successives de molécules monomères sur le centre actif formé :



- ✓ **Terminaison** : cette étape peut donner lieu : soit la disparition du centre actif (terminaison de chaîne cinétique),



- ✓ Soit à son transfert sur une autre molécule du milieu, laquelle, à son tour, génère une nouvelle chaîne.



Selon la nature du centre actif qui provoque l'addition des motifs successifs, on peut classer toute polymérisation en chaîne dans l'un des sous-groupes suivants :

-Polymérisation radicalaire

-polymérisation anionique

-Polymérisation cationique

-Polymérisation par coordination (amorcée par des complexes des métaux de transition).

Nom et prénom

**Partie 2 : Questions à choix multiples**

1. Quel est le principal gaz responsable du réchauffement climatique parmi les suivants ?
  - a) Oxygène ( $O_2$ )
  - b) Dioxyde de carbone ( $CO_2$ )
  - c) Ozone ( $O_3$ )
  - d) Méthane ( $CH_4$ )
2. La pollution de l'air peut causer lequel des problèmes suivants ?
  - a) Changement climatique uniquement
  - b) Asthme et autres maladies respiratoires
  - c) Augmentation des rendements agricoles
  - d) Réduction de la biodiversité marine
3. Le terme « smog » fait référence à un phénomène de pollution de l'air qui est une combinaison de :
  - a) Ozone et dioxyde de soufre
  - b) Ozone et particules fines
  - c) Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone
  - d) Monoxyde de carbone et métaux lourds
4. Lequel des éléments suivants n'est PAS un contaminant de l'eau courante ?
  - a) Nitrates
  - b) Plomb
  - c) Phosphates
  - d) Ozone

**Partie 3 : Questions à développement**

1. Analysez l'impact des activités industrielles sur la pollution de l'eau. Comment les contaminants industriels affectent-ils les écosystèmes aquatiques et les ressources en eau potable ?

Les activités industrielles peuvent libérer dans l'eau des produits chimiques tels que des métaux lourds (plomb, mercure), des produits organiques toxiques (pesticides, solvants), et des déchets industriels. Ces contaminants affectent directement les écosystèmes aquatiques, en tuant la faune et la flore aquatique, et perturbent les chaînes alimentaires. De plus, les polluants rendent l'eau potable impropre à la consommation humaine, entraînant des problèmes de santé comme des intoxications et des maladies gastro-intestinales.

2. Le réchauffement climatique est souvent lié à la pollution de l'air. Discutez des mécanismes par lesquels les émissions de gaz à effet de serre contribuent au réchauffement global et des mesures qui peuvent être prises pour atténuer cet effet.

Les gaz à effet de serre (GES) comme le  $CO_2$ , le méthane et le  $N_2O$  piègent la chaleur dans l'atmosphère, empêchant la chaleur terrestre de s'échapper, ce qui conduit à une augmentation des températures globales, connue sous le nom de réchauffement climatique. Cette élévation de la température perturbe les écosystèmes, modifie les régimes climatiques et entraîne des phénomènes extrêmes tels que les vagues de chaleur et les tempêtes. Pour atténuer cet effet, des politiques comme la réduction des émissions de GES (via des énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, et la capture du carbone) et la promotion de pratiques durables sont nécessaires.

# Corrigé type examen

المدرسة العليا لاساتذة التعليم التكنولوجي سكيكدة

Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique Skikda

Examen de Pollution ENSET 2025

Nom et prénom

Partie 1 : Expliquez les concepts suivants :

(07 point)

a. Polluant organiques persistants (POPS)

Composés chimiques organiques très stables, Toxiques, Persistants dans l'environnement, Capables de bioaccumulation (ex: dioxine, PCB)

①

b. Lessivage

Transport des substances dissoutes (Polluants, nutriments) vers les horizons profonds du sol ou vers la nappe phréatique, sous l'action de l'eau

①

c. Smog photochimique

Brouillard brunâtre, formé par l'action du soleil sur les polluants (NOx, COV), notamment dans les villes au été

①

d. PM10

Particules inférieures à 10 µm, Issues de la combustion (véhicules, chauffage), elles pénétrant profondément, dans les voies respiratoires

e. Inventaire d'émissions atmosphériques et décrivez les principales étapes pour en réaliser un ?

Une évaluation quantitative des émissions de polluants dans l'air (ex NOx, PM10, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>...) provenant de différentes sources (transport, industrie, agriculture...). sur un territoire donné et pendant une période définie.

①

les étapes pour en faire un :

1. Identifier les sources (émetteurs), en correspondances avec les substances dans la zone, et de temps considérés.

Nom et prénom

2- Pour chaque source déterminer son activité, 3- son facteur unitaire d'émission, déterminer son émission, 4- sommer sur l'ensemble des sources.

f. Eutrophisation

Enrichissement excessif en nutriments (azote, phosphore) provoquant une prolifération d'algues et la désoxygénation de l'eau. (ex. : marée verte)

g. Source ponctuelle et diffuse de pollution

↳ pollution issue d'un lieu précis et identifiable. ex. rejet d'une station d'épuration, effluent industriel).

↳ les sources diffuses se caractérisent par des apports de substance émis par des sources mobiles difficiles à référencer, à mesurer et à contrôler.

Partie 2 : Questions à choix multiples

(04 points)

1. Quel est le principal gaz responsable du réchauffement climatique parmi les suivants ?

- a) Oxygène ( $O_2$ )
- ☒ b) Dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) (effet de serre majeur, en raison de leur abondance dans l'atm)
- c) Ozone ( $O_3$ )
- d) Méthane ( $CH_4$ )

2. La pollution de l'air peut causer lequel des problèmes suivants ?

- a) Changement climatique uniquement
- ☒ b) Asthme et autres maladies respiratoires (bronchites chroniques et d'autres phn pulmonaires)
- c) Augmentation des rendements agricoles
- d) Réduction de la biodiversité marine

3. Le terme « smog » fait référence à un phénomène de pollution de l'air qui est une combinaison de :

- a) Ozone et dioxyde de soufre
- ☒ b) Ozone et particules fines
- c) Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone
- d) Monoxyde de carbone et métaux lourds

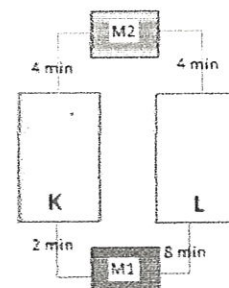
4. Lequel des éléments suivants n'est PAS un contaminant de l'eau courante ?

- a) Nitrates
- b) Plomb
- c) Phosphates
- ☒ d) Ozone (car c'est un gaz, présent dans l'atmosphère)

**Exercice N° 1 (8 points)**

Supposer que pour produire 2 types de fûts K et L, on utilise la machine M1 et M2. La production d'un fût K nécessite l'utilisation de la machine M1 pour 2 minutes et la machine M2 pour 4 minutes. Similairement la production d'un fût L nécessite l'utilisation de la machine M1 pour 8 minutes et la machine M2 pour 4 minutes. Les gains nets pour K et L sont respectivement 2900 DA et 4500 DA.

Déterminer le plan qui maximise les gains nets de l'entreprise pour une heure. En utilisant la méthode graphique.



$$\text{Max } Z = 2900x + 4500y, \text{ sous : } \begin{cases} 2x + 8y \leq 60 & (1) \\ 4x + 4y \leq 60 & (2) \\ x, y \geq 0 \end{cases}$$

**Exercice N° 2 (6 points)**

On a des machines et des produits, les nombres sont les productions de chaque machine en produits différents par jour. Par exemple la machine M1 peut produire les produits : 1, 2, 3 et 4 en quantité de 130, 170, 330 et 100 unités respectivement. La même chose pour la machine 2, 3 et 4 (voir le tableau ci—contre)

Quelle répartition de Machine-produit doit faire l'usine pour maximiser la production à condition que chaque machine produise un seul produit.

|          | M1  | M2  | M3  | M4  |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| Produit1 | 130 | 650 | 165 | 330 |
| Produit2 | 170 | 250 | 90  | 250 |
| Produit3 | 330 | 320 | 335 | 330 |
| Produit4 | 100 | 400 | 230 | 400 |

**Exercice N° 3 (6 points)**

Calculer le volume de 2 moles de gaz de néon sous pression de 250 atm et une température de 280 °K, Utiliser le volume estimé par la loi des gaz parfaits comme volume préliminaire  $V_0$  pour calculer le volume du gaz réel par la méthode des itérations successives. La marge d'erreur admissible  $\epsilon \leq 0,00001$

On donne les constantes de Van Der Waals  $a=0,211 \text{ L}^2.\text{atm}/\text{mol}^2$  et  $b=0,0171 \text{ L}/\text{mol}$ ,  $R=0,08206 \text{ atm.L}/\text{mol K}$

*Bonne chance*

# Solution de l'examen de Optimisation et Modélisation des procédés

8/8

## Exercice N° 1

La fonction objective :

$$\text{Max } Z = 2900x + 4500y \text{ sous}$$

$$\begin{cases} 2x + 8y \leq 60 & \text{--- (1)} \\ 4x + 4y \leq 60 & \text{--- (2)} \\ x, y \geq 0 \end{cases}$$

La résolution de l'équation (1)

$$2x + 8y \leq 60 \quad \text{--- pour } x = 0 \Rightarrow y = 7,5 \text{ (le point } (0, 7,5) \text{)} \quad (1)_p$$

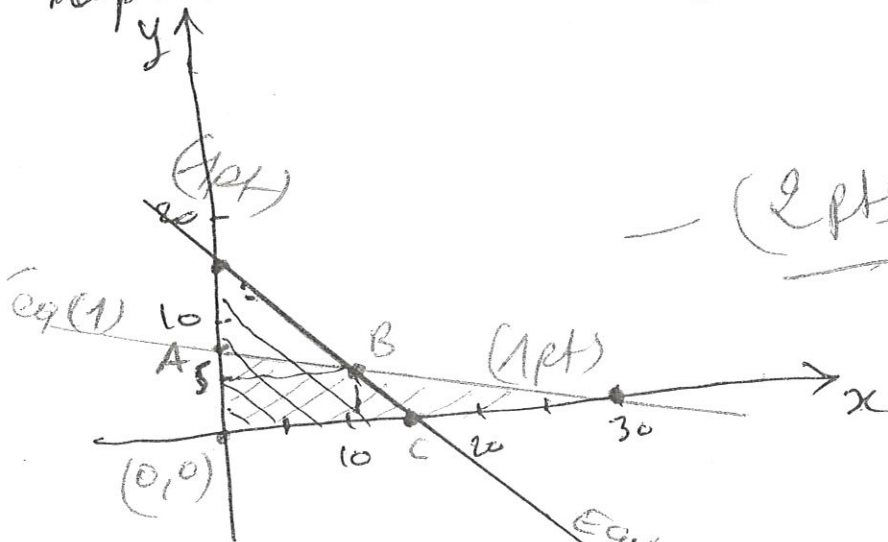
$$\text{--- pour } y = 0 \Rightarrow x = 30 \text{ le point } (30, 0).$$

La résolution de l'équation (2)

$$4x + 4y \leq 60 \quad \text{--- pour } x = 0 \Rightarrow y = 15 \text{ point } (0, 15) \quad (1)_p$$

$$\text{--- " } y = 0 \Rightarrow x = 15 \text{ point } (15, 0).$$

Représentation de  $x$  et  $y$  sur le plan  $(x, y)$ .



La région des solutions admissibles se situe entre les pts  $(0,0)$ ,  $A(0, 7,5)$ ,  $B(10, 5)$ ,  $C(15, 0)$ . (1pt)

Calcul de  $Z$  dans ces points.

- Au point  $(0,0) \Rightarrow Z = 0$  DA 0,5pt
- Au point  $(0, 7,5) \Rightarrow Z = 33750$  DA 0,5pt
- Au point  $(10, 5) \Rightarrow Z = 51500$  DA 0,5pt
- Au point  $(15, 0) \Rightarrow Z = 43500$  DA 0,5pt

Le gain est  
maximale  
pour  
 $Z = 51500$  DA  
avec  $x = 10, y = 5$

1pt

$$\frac{6}{6}$$
 $x$  an

$$\begin{aligned} \lambda &= 1, 4 \\ \delta &= 1, 4. \end{aligned}$$

i) ligne 5. colonne

avec  $i = 1, 4$   
 $j = 1, 4$ .

$$x_i = 0, 1$$

1.5

La matrice des variables contraintes

$\Sigma \leq 1$   
 $\Sigma \leq 1$   
 $\Sigma \leq 1$   
 $\Sigma \leq 1$

$M$   $M$   $M$   $M$

$\wedge$   $\wedge$   $\wedge$   $\wedge$

$\vee$   $\vee$   $\vee$   $\vee$

avec  $x_i = 0, 1$

avec  $x_i = 0, 1$

15

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |

$1 - 1 = 1$

$$= 1$$

$$= \wedge$$

$$= 1$$

$$\begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array}$$

Calcul de  $z = 650 \times 1 + 170 \times 1 + 335 \times 1 + 460 \times 1$

Calcul de  $z = 610 \times 10^3$   
 $z = 155$  unités. (1)  
 Donc on doit fabriquer le produit 1 par  $M_2$ , le produit 2 par  $M_1$ , le produit 3 par  $M_3$  et le produit 4 par  $M_4$ .  
 0,1

0.1

### Exercice n°3

(6/6)

Ne:  $p = 250 \text{ atm}$      $T = 280 \text{ K}$      $n = 2 \text{ mols}$

$$R = 0,08206 \text{ atm L/mole K}$$

$$a = 0,211 \text{ L}^2 \cdot \text{atm/mole}^2, \quad b = 0,0171 \text{ L/mole}$$

Si le gaz est parfait :

$$pV = nRT \Rightarrow V_0 = \frac{nRT}{p} = 0,18381 \text{ L}$$

Si le gaz est réel :

calcul de  $V_{Ne}$  par la méthode des itérations successives :

initialisation :  $V_0 = 0,18381 \text{ L}$

$$V_1 = \frac{nRT}{\left(p + \frac{an^2}{V_0^2}\right)} - nb = 0,20132 \text{ L}$$

$$V_1 - V_0 > \epsilon, \text{ on calcule } V_2$$

$$V_2 = 0,20388 \text{ L}$$

$$V_2 - V_1 > \epsilon, \text{ on calcule } V_3$$

$$V_3 = 0,20421 \text{ L}$$

$$V_3 - V_2 > \epsilon, \text{ on calcule } V_4$$

$$V_4 = 0,20425 \text{ L}$$

$$V_4 - V_3 > \epsilon, \text{ on calcule } V_5$$

$$V_5 = 0,20425 \text{ L}$$

$$V_5 - V_4 \leq \epsilon$$

Donc le volume  $V_5$  est le volume du gaz

Examen de Traitement des Eaux 2025

Exercice 01

Un bassin de floculation est de forme carrée de côté  $l=4.5$  m et de profondeur  $h=5$  m, il est muni d'un agitateur vertical dont les pales sont planes (15% de la surface). La vitesse de rotation est  $N=3$  tr/min et la distance à l'axe des pales est  $d=1.80$  m. l'écoulement de l'eau est horizontale et  $Q=400$  m<sup>3</sup>/h.

- 1- Calculer le temps séjour du bassin
- 2- déterminer le gradient de vitesse  $G$

Exercice N° 02 :

La réaction chimique d'hydrolyse du sulfate d'aluminium est la suivante :



Le taux de traitement choisi est de 35 mg.L<sup>-1</sup>

1. Calculer la perte d'alcalinité en mg.L<sup>-1</sup> et en °F.
2. Calculer la production de CO<sub>2</sub> en mg dans les conditions normales.

Données :

- Chaque gramme de CaO = 0,179°F
- Chaque milligramme de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0,082°F
- 1°F de Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> = 16,2 g/m<sup>3</sup>

Exercice 3

Les mesures et analyses d'une eau de rivière ont donné les résultats en (mg/L) suivants :

$\text{Ca}^{2+} = 52.6$  ;  $\text{Na}^+ = 20.9$  ;  $\text{SO}_4^{2-} = 41.2$  ;  $\text{Cl}^- = 28.7$  ;  $\text{HCO}_3^- = 96.7$  ;  $\text{K}^+ = 1.9$  ;  $\text{Mg}^{2+} = 12$  ;  $\text{NO}_3^- = 0.8$  ;  
 $\text{CO}_3^{2-} = 11.5$

On donne les poids atomiques en (g/mole) suivants :

$\text{Ca} = 40$ ,  $\text{Na} = 23$ ,  $\text{S} = 32$ ,  $\text{Cl} = 35$ ,  $\text{K} = 39$ ,  $\text{Mg} = 24$ ,  $\text{C} = 12$ ,  $\text{N} = 14$ ,  $\text{O} = 16$ ,  $\text{H} = 1$

Déterminer

- a) La dureté totale (TH) en mg/L, meq/L, °F et mg/L<sub>CaCO3</sub>
- b) La dureté carbonatée (TAC) en mg/L et en meq/L
- c) La minéralisation (Min) en g/L, et dire si elle est dans la norme de l'eau potable ou non.

## Corrigé type examen traitement des eaux ENSET 2025

### Exercice 1

#### Solution :

1- Temps de séjour du bassin de floculation

$$ts = \frac{V}{Q} = \frac{l^2 * h}{Q}$$

$$v = l^2 * h = (4.5)^2 * 5 = 101.25 m^3$$

$$ts = \frac{101.25}{400} * 3600 = 911.25 s = 15.2 min$$

2- le gradient de vitesse G

$$G = \left( \frac{P}{\eta v} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$v: 101.25 m^3, \eta: 10^{-3} kg/ms$$

Il faut calculer la puissance P

$$P = \frac{1}{2} C_D \rho A V_r^3$$

A : surface totale des pales = 15% de surface du bassin

$$A = 0.15 * l^2 = 0.15 * (4.5)^2 = 3.04 m^2$$

$$V_r = \frac{3}{4} V_p, \quad V_p = 2\pi \frac{N}{60} d = 2\pi \frac{3}{60} 1.8$$

$$V_p = 0.56 m/s, \text{ donc } V_r = \frac{3}{4} * 0.56 = 0.42 m/s$$

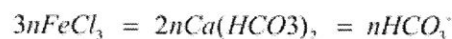
$$P = \frac{1}{2} * 1.8 * 10^3 * 3.04 * (0.42)^3 = 202.7 \text{ watt}$$

$$G = \left( \frac{P}{\eta v} \right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{202.7}{1.2 * 10^{-3} * 101.25}} = 40.48 s^{-1}$$

### Exercice N°02

1. Calcul de perte de l'alcalinité

1<sup>ère</sup> solution :



$$mHCO_3^- = 3 \frac{mFeCl_3}{MFeCl_3} \cdot MHCO_3^-$$

$$mHCO_3^- = 3 \cdot \frac{35 \cdot 10^{-3}}{162.5} \cdot 61 = 39.4 \cdot 10^{-3} g = 39.4 mg$$

**Chaque milligramme de  $HCO_3^-$  = 0,082°F**

$$mHCO_3^- = 39;41 \text{ mg} = 3,23^\circ F$$

2<sup>ème</sup> solution :

Le rapport massique  $\frac{3Ca(HCO_3)_2}{2FeCl_3} = \frac{486}{325} = 1,49$

Donc 1g de  $FeCl_3$  consomme  $\frac{1,49}{16,2} = 0,092^\circ F$

Soit une perte de TAC =  $35 \times 0,092 = 3,23^\circ F$

3<sup>ème</sup> solution :

On a l'équation chimique suivante :



Donc 3 moles de  $Ca(HCO_3)_2$  équivalent à 3 moles de  $CaO$

2 moles de  $FeCl_3$  consomment 3 moles de  $Ca(HCO_3)_2$  soit 3 moles de  $CaO$

$2 \times 162,5 = 325 \text{ g de } FeCl_3 \text{ consomment } 3 \times 56 = 168 \text{ g de } CaO = 30^\circ F$ , car  $1 \text{ g de } CaO = 0,179^\circ F$ .

Donc chaque g de  $FeCl_3$  consomme  $\frac{30}{325} = 0,092^\circ F$ , or le taux de traitement est de  $35 \text{ g/m}^3$  et

donc la perte de TAC =  $0,092 \times 35 = 3,22^\circ F$ .

## 2. Production de $CO_2$

$$nCO_2 = 6nFeCl_3, \text{ donc } mCO_2 = 6 \frac{mFeCl_3}{MFeCl_3} \cdot MCO_2 = 6 \cdot \frac{35 \cdot 10^{-3}}{162,5} \cdot 44 = 56,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{Quantité de } CO_2 \text{ produite} = 56,8 \text{ mg/L}$$

solution exercice 3

a)  $TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \rightarrow TH = 64,6 \text{ mg/L}$

$TH = \frac{N_{Ca} \times V_{Ca}}{P_{Ca}} + \frac{N_{Mg} \times V_{Mg}}{P_{Mg}} \text{ en meq/L}$

$TH = 3,63 \text{ meq/L}$

$TH = 18,15^\circ F$

$TH = 181,5 \text{ mg/L}_{CaCO_3}$

b)  $TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$

$TAC = 108,2 \text{ mg/L}$

$TAC = \frac{N_{CO_3} \times V_{CO_3}}{P_{CO_3}} + \frac{N_{HCO_3} \times V_{HCO_3}}{P_{HCO_3}} \text{ en meq/L}$

$TAC = 1,97 \text{ meq/L}$

c)  $Min = \sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}$

$Min = 266,3 \text{ mg/L} = 0,2663 \text{ g/L}$

La norme d'eau potable est  $Min \leq 2 \text{ g/L}$  elle est dans la norme.

### تمرين 1

I- إستخرج علاقة كفاءة دورة الديزل بدلالة معامل الإنضغاط ومعامل الإحتراق  $r_c$  حيث  $r_c = \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2}$

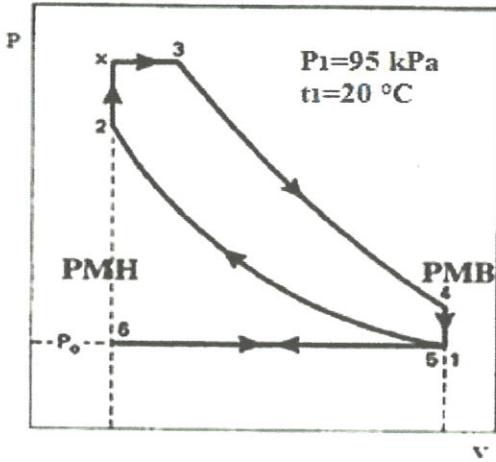
### (II)

ليكن محرك يعمل بالحلقة المزدوجة حيث :

$S = 14 \text{ cm}$  (الإزاحة) ,  $D = 12 \text{ cm}$  (القطر)

$V_3/V_2 = V_3/V_x = 1,15$  ;  $P_3/P_2 = P_x/P_2 = 2,2$  ;

$\varepsilon = V_1/V_2 = 16$ .  $\gamma = 1,4$ .



(1) أحسب الحجم والضغط و درجة الحرارة في كل نقطة من نقاط الحلقة

(2) أحسب كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة إذا كان

$r = 0,287 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{K}$ ,  $m = 2,05 \text{ g}$

(3) أحسب مردود الحلقة وقارنه بأقصى مردود

### التمرين 02:

محطة بخارية تعمل بالحلقة المقابلة حيث درجة الحرارة وضغط الدخول للتوربين C 500 و BAR 80 على التوالي

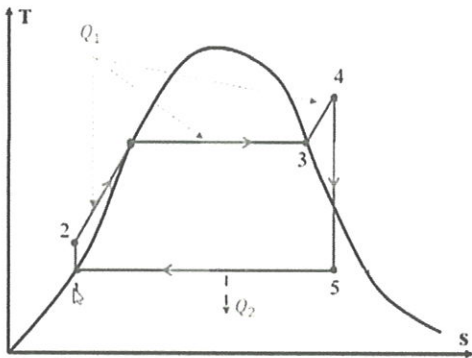
Point 1 (liquide saturé à  $T_1 = 30^\circ\text{C}$ ) :

$h_1 = 125,79 \text{ kJ/kg}$  ;  $v_1 = 1,0043 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$  ;  $P_1 = 0,04246 \text{ bar}$

Point 4  $P_4 = 80 \text{ BAR}$  et  $T_4 = 500^\circ\text{C}$

$h_4 = 3398,05 \text{ KJ/KG}$

$s_4 = 6,7228 \text{ KJ/KG.K}$



$s_{sf} = 0,4369 \text{ kJ/kg.K}$  ;  $s_{sg} = 8,4533 \text{ kJ/kg.K}$  ;  $h_{sf} = 125,79 \text{ kJ/kg}$  ;  $h_{sg} = 2556,3 \text{ kJ/kg}$

1/ أحسب مردود الحلقة ثم أحسبه في حالة إهمال عمل المضخة

2/ أحسب العمل الفعلي للتوربين إذا كان المردود الفعلي

للتوربين  $\eta = 0,9$

3/ إستنتج الإستطاعة والإستطاعة الفعلية للتوربين إذا كان تدفق البخار

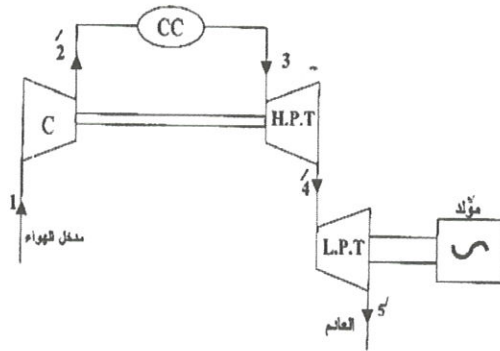
$60 \text{ Kg/s}$

تمرين 3

وحدة توربينية غازية تأخذ الهواء عند  $17^{\circ}\text{C}$  و  $1.01\text{bar}$  ونسبة ضغط 8. يُدار الضاغط بواسطة توربينية ضغط عالي وتدير توربينية الضغط المنخفض عمود قدرة منفصل. تكون كفاءات ثابت القصور الحراري للضاغط، وتوربينية الضغط العالي وتوربينية الضغط المنخفض هي 0.8، 0.85 و 0.83، علي الترتيب.

الحرارة القصوى في الدورة هي  $650^{\circ}\text{C}$ . لإجراء الانضغاط خذ  $c_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$

و  $\gamma = 1.4$ . وإجراء الاحتراق، وإجراء التمدد خذ  $c_p = 1.15 \text{ kJ/kgK}$  و  $\gamma = 1.333$ .



- (1) أرسم الحلقة في مخطط (T,S)
- (2) أحسب درجة الحرارة في كل نقطة من نقاط الحلقة
- (3) أحسب شغل الدخل للضاغط وشغل الخرج لتوربين الضغط العالي وتوربين الضغط المنخفض
- (4) أحسب المردود

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(r_c - 1)}$ <p><b>La transformation 4-1</b></p> $\frac{P_4 V_4}{T_4} = \frac{P_1 V_1}{T_1}; V_4 = V_1$ $\frac{T_4}{T_1} = \frac{P_4}{P_1}$ $\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(P_4/P_1 - 1)}{kT_2(r_c - 1)}$ <p><b>La transformation 3-4</b></p> $P_1(V_1)^k = P_2(V_2)^k \text{ et } P_4(V_4)^k = P_3(V_3)^k$ $\frac{P_4(V_4)^k}{P_1(V_1)^k} = \frac{P_3(V_3)^k}{P_2(V_2)^k} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^k = r_c^k$ $\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(r_c^k - 1)}{kT_2(r_c - 1)}$ <p><b>La transformation 1-2</b></p> $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1}$ $\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[ \frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$ | <p>▪ Rendement théorique</p> <p><b>La transformation 2-3</b></p> $\Delta U = u_3 - u_2 = q_{in,23} - w_{b,out}$ $q_{in,23} = \Delta U + P\Delta V = \Delta h = C_p(T_3 - T_2)$ <p><b>La transformation 4-1</b></p> $q_{41} - w_{41} = \Delta U$ $q_{41} = -q_{out} = \Delta u = C_v(T_1 - T_4)$ $q_{out} = C_v(T_4 - T_1)$ $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{Q_{net}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$ $q_{out} = C_v(T_4 - T_1)$ <p>ET</p> $q_{in} = C_p(T_3 - T_2)$ $\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k(T_3 - T_2)}$ $\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(T_3/T_2 - 1)}$ <p><b>La transformation 2-3</b></p> $\frac{P_3 V_3}{T_3} = \frac{P_2 V_2}{T_2}; P_2 = P_3$ $\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = r_c$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

تمرين 1

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma, \quad P_3 V_3^\gamma = P_4 V_4^\gamma$$

Le fluide moteur est un gas parfait :

$$P_1 V_1 = nRT_1, \quad P_2 V_2 = nRT_2,$$

$$P_3 V_3 = nRT_3, \quad P_x V_x = nRT_x,$$

$$P_4 V_4 = nRT_4$$

Le volume de la cylindrée:

$$V_{cyl} = \frac{\pi D^2 S}{4} = 1583,36 \text{ cm}^3$$

$$V_{cc} = \frac{V_{cyl}}{(\epsilon - 1)} = 105,55 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = V_{cyl} + V_{cc}, \quad V_2 = V_x = V_{cc}, \quad V_3 = 1,15 \cdot V_{cc}, \quad V_4 = V_1 = V_{cyl} + V_{cc}$$

$$P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = P_1 \epsilon^\gamma, \quad P_3 = P_x = 2,2 P_2 = 2,2 P_1 \epsilon^\gamma, \quad P_4 = P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^\gamma = P_3 \left( \frac{1,15 V_2}{V_4} \right)^\gamma = \frac{P_3 (1,15)^\gamma}{\epsilon^\gamma}$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = T_1 \epsilon^{\gamma-1}, \quad T_x = T_2 \left( \frac{P_x}{P_2} \right) = 2,2 T_2, \quad T_3 = T_x \left( \frac{V_3}{V_4} \right), \quad T_4 = T_1 \left( \frac{P_4}{P_1} \right)$$

| Etat | P [bar]   | V [cm <sup>3</sup> ] | T [°K]  |
|------|-----------|----------------------|---------|
| 1    | 0,95      | 1688,91              | 293,15  |
| 2    | 46,077784 | 105,55               | 888,66  |
| x    | 101,37112 | 105,55               | 1955,06 |
| 3    | 101,37112 | 121,38               | 2248,32 |
| 4    | 2,541694  | 1688,91              | 797,69  |

Combustion à volume constant :

$$Q_{c1} = m C_v (T_x - T_2) = \frac{m \gamma r_{air}}{(\gamma - 1)} (T_x - T_2)$$

Combustion à pression constante :

$$Q_{c2} = m C_p (T_3 - T_x) = \frac{m \gamma r_{air}}{(\gamma - 1)} (T_3 - T_x)$$

Dégagement de chaleur à volume constant :

$$Q_f = m C_v (T_4 - T_1) = \frac{m \gamma r_{air}}{(\gamma - 1)} (T_4 - T_1)$$

Combustion à volume constant :

$$Q_{c1} = \frac{m \gamma r_{air}}{(\gamma - 1)} (T_x - T_2) = \frac{2,05 \cdot 287 \cdot 10^{-3}}{0,4} (1955,06 - 888,66) = 4182,756 \text{ J}$$

Combustion à pression constante :

$$Q_{c2} = \frac{m \gamma r_{air}}{(\gamma - 1)} (T_3 - T_x) = \frac{2,05 \cdot 1,4 \cdot 287 \cdot 10^{-3}}{0,4} (2248,32 - 1955,06) = 603,888 \text{ J}$$

Dégagement de chaleur à volume constant :

$$Q_f = \frac{m \gamma r_{air}}{(\gamma - 1)} (T_4 - T_1) = \frac{2,05 \cdot 287 \cdot 10^{-3}}{0,4} (797,69 - 293,15) = 734,761 \text{ J}$$

Le travail net du cycle :

$$W_{net} = Q_{23} - Q_{14} = Q_{2x} + Q_{x3} - Q_{14}$$

$$W_{net} = Q_{c1} + Q_{c2} - Q_f = 4126,928 \text{ J}$$

Le rendement thermique du cycle :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{23}} = 1 - \frac{Q_{14}}{Q_{23}} = 0,8464$$

Le rendement maximal du cycle :

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 0,8696$$

Le titre de vapeur sortant de la turbine

$$x_5 = \frac{h_5 - h_{5f}}{h_{5g} - h_{5f}} = \frac{s_5 - s_{5f}}{s_{5g} - s_{5f}} = \frac{s_4 - s_{5f}}{s_{5g} - s_{5f}}$$

- Point 1 (liquide saturé à  $T_1 = 30^\circ\text{C}$ ):

$$h_1 = 125,79 \text{ kJ/kg}; v_1 = 1,0043 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}; P_1 = 0,04246 \text{ bar}$$

- Point 2 (liquide):  $P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 80 \text{ bar}$

$$h_2 = h_1 + 100v_1(P_2 - P_1) = 125,79 + 100 \times 1,0043 \times 10^{-3}(80 - 0,04246) = 133,82 \text{ kJ/kg}$$

$$x_5 = \frac{s_4 - s_{5f}}{s_{5g} - s_{5f}} = \frac{6,7228 - 0,4369}{8,4533 - 0,4369} = 0,784$$

$$h_5 = h_{5f} + x_5(h_{5g} - h_{5f})$$

$$= 125,79 + 0,784(2556,3 - 125,79) = 2031,31 \text{ kJ/kg}$$

Rendement thermique du cycle réversible :

$$\eta_{th} = \frac{|W_{cycle}|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

- Chaleur fournie par la source chaude au fluide moteur à pression constante :

$$Q_1 = h_4 - h_2 = 3398,05 - 133,82 = 3264,23 \text{ kJ/kg}$$

- Chaleur cédée par le fluide moteur à la source froide :

$$|Q_2| = h_5 - h_1 = 2031,31 - 125,79 = 1905,52 \text{ kJ/kg}$$

- Travail de la pompe :  $W_P = h_2 - h_1 = 133,82 - 125,79 = 8,03 \text{ kJ/kg}$

- Travail de détente :  $W_T = h_5 - h_4 = 2031,31 - 3398,05 = -1366,74 \text{ kJ/kg}$

- Travail du cycle :  $W_{cycle} = |W_T| - |W_P| = 1366,74 - 8,03 = 1358,71 \text{ kJ/kg}$

$$\eta_{th} = \frac{|W_{cycle}|}{Q_1} = \frac{1358,71}{3264,23} = 0,4162 = 41,62 \%$$

2. Le rendement thermique du cycle réversible (théorique) si le travail de la pompe est négligé

$$\eta_{th} = \frac{|W_T|}{Q_1} = \frac{1366,74}{3264,23} = 0,4187 = 41,87 \%$$

3. La puissance théorique (détente réversible) produite par la turbine si le débit de la vapeur est

$$P_{th}(turbine) = q_{mV} \times W_T = -60 \times 1366,74 = -82 \times 10^3 \text{ kW} = -82 \text{ MW}$$

4. La puissance effective (réelle pour la détente irréversible) produite par la turbine.

$$\eta_{isent} = \frac{W_{irr\acute{e}v}}{W_{rev}} = \frac{h_{5r} - h_4}{h_5 - h_4} \Rightarrow h_{5r} = h_4 + \eta_{isent}(h_5 - h_4)$$

$$h_{5r} = 3398,05 - 0,9 \times 1366,74 = 2167,98 \text{ kJ/kg}$$

$$W_t(irr\acute{e}v) = \eta_{isent} \times W_t(rev) = 0,9 \times (-1366,74) = -1230,07 \text{ kJ/kg}$$

$$P_u^{réelle}(turbine) = Q_m \times W_t(irr\acute{e}v) = P_{th}(turbine) \times \eta_{isent}$$

$$P_u^{réelle}(turbine) = -82 \times 0,9 = -73,8 \text{ MW}$$

للإجراء ثابت القصور الحراري في توربينة الضغط العالي:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$\text{أو } \frac{P_3}{P_4} = \left( \frac{T_3}{T_4} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} = \left( \frac{923}{620.5} \right)^{1.333/0.333} = 1.488^4 = 4.9$$

$$P_4 = \frac{P_3}{4.9} = \frac{8 \times 1.01}{4.9} = 1.651 \text{ bar}$$

نسبة الضغط  $P_4 / P_5$  يمكن إيجادها كالآتي،

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{P_4}{P_3} \times \frac{P_3}{P_5}$$

بما أن:

$$P_3 = P_2$$

$$P_5 = P_1$$

و

فإن المعادلة عاليه يمكن كتابتها كالآتي،

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{P_4}{P_3} \times \frac{P_3}{P_1}$$

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{1}{4.9} \times 8 = \frac{8}{4.9} = 1.63$$

الحراري في توربينة الضغط المنخفض،

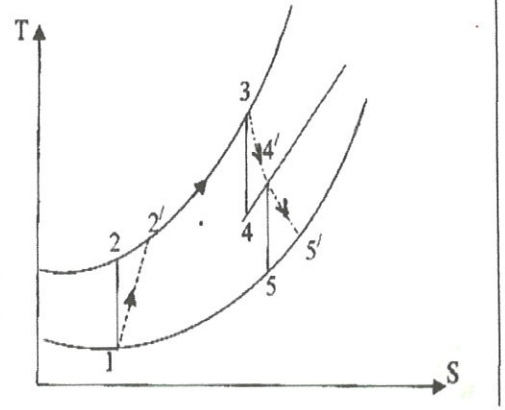
$$\frac{T'_4}{T_5} = \left( \frac{P_4}{P_5} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} = 1.63^{0.333/1.333} = 1.131,$$

$$\therefore \frac{T'_4}{T_5} = 1.131, \therefore T_5 = \frac{T'_4}{1.131} = \frac{666}{1.131} = 588 \text{ K}$$

$$\eta_{isen, LPT} = \frac{T'_4 - T'_5}{T'_4 - T_5} = 0.83$$

$$T'_4 - T'_5 = 0.83(666 - 588) = 0.83 \times 78 = 64.8 \text{ K}$$

$$T'_5 = 602 \text{ K}$$



$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$\text{i.e. } T_2 = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} T_1 = 8^{0.4/1.4} \times 290 = 525 \text{ K}$$

$$\text{كفاءة ثابت القصور الحراري للضاغط } \eta_{isen, C} = \frac{T_2 - T_1}{T'_2 - T_1} = \frac{525 - 290}{T'_2 - 290} = 0.8$$

$$\therefore T'_2 - 290 = \frac{235}{0.8}$$

$$\text{i.e. } T'_2 = 290 + 494 = 584 \text{ K}$$

$$\text{شغل الدخل للضاغط} = C_{p_g} (T'_2 - T_1) = 1.005(584 - 290)$$

$$= 1.005 \times 294 = 295.5 \text{ KJ / kg}$$

$$\therefore T_3 - T'_4 = \frac{295.5}{1.15} = 257 \text{ K}$$

$$\therefore T'_4 = T_3 - 257 = 923 - 257 = 666 \text{ K}$$

$$\eta_{H.P.T} = \frac{T_3 - T'_4}{T_3 - T_4} = \frac{923 - 666}{923 - T_4} = 0.85$$

$$923 - T_4 = \frac{257}{0.85} = 302.5 \text{ K}$$

$$\therefore T_4 = 923 - 302.5 = 620.5 \text{ K}$$

$$\text{الحرارة المكتسبة } Q_{sup p} = C_{p_g} (T_3 - T'_2) = 1.15(923 - 584)$$

$$= 1.15 \times 339 = 390 \text{ kJ / kg}$$

$$\text{الكفاءة الحرارية } \eta_{th} = \frac{W_{net o/p}}{Q_{sup p}} = \frac{74.5}{390} = 0.191 \text{ / } 19.1\%$$

$$\text{شغل الدخل للضاغط} = C_{p_g} (T'_2 - T_1) = 1.005(584 - 290)$$

$$= 1.005 \times 294 = 295.5 \text{ KJ / kg}$$

شغل الخرج من توربينة الضغط العالي (H.P.T)

$$= C_{p_g} (T_3 - T'_4) = 295.5 \text{ kJ / kg}$$

شغل الخرج من توربينة الضغط المنخفض،

$$W_{o/p} (LPT) = C_{p_g} (T'_4 - T'_5) = 1.15 \times 64.8 = 74.5 \text{ kJ / kg}$$

$$\text{صافي قدرة الخرج} = 74.5 \times 1 = 74.5 \text{ kw}$$



امتحان مقياس التشريع المدرسي التعويضي يوم 18 ماي 2025

س 01: أجب بصحيح أو خطأ مع تصحيح الخطأ إن وجد. (07 نقاط)

- (1) المرسوم الرئاسي يوقع من طرف الوزير الأول.
- (2) تجرى المسابقة على أساس الشهادة في شكل اختبارات كتابية.
- (3) التشريع المدرسي هو مجموعة قواميس.
- (4) يصنف حاملي شهادة أ ت ث في الصنف 12.
- (5) يرقى إلى رتبة أستاذ تعليم ثانوي حاملي شهادة الليسانس.
- (6) الانتداب هو نفسه الاستيداع.
- (7) الاجر الاساسي هو نفسه الراتب الرئيسي.
- (8) العطل الاستثنائية المدفوعة الأجر مدتها 10 أيام في السنة.
- (9) مدة التربص لأستاذ التعليم الثانوي 12 أشهر قابلة للتجديد مرتين.
- (10) يخضع أساتذة التعليم الثانوي إلى تنقيط مدير المستخدمين بمديرية التربية.
- (11) من بين أعضاء مجلس التربية والتسيير نجد أساتذة المادة.
- (12) يتكون مجلس القسم من أعضاء دائمين وأعضاء منتخبين.
- (13) يجتمع مجلس التعليم مرة واحدة في السنة فقط.
- (14) يمنح مجلس التأديب المكافآت (لوحة شرف، التشجيعات ... الخ).

س 02: أجب باختصار عما يلي: (05 نقاط)

- (1) الأخطاء المهنية والعقوبات التأديبية.
- (2) أذكر طرق التوظيف وأنماط الترقية في الرتبة لأستاذ التعليم الثانوي؟
- (3) الجماعة التربوية.
- (4) ما هي مراحل الترسيم لأساتذة التعليم الثانوي؟
- (5) تحدث باختصار عن الوضعيات القانونية للموظف؟

س 03: تحدث عما يلي: (08 نقاط)

- المجالس الاستشارية في قطاع التربية الوطنية.
- إنهاء علاقة العمل.

## Examen opération unitaire II 17/05/2025

**Exercice 1**

On désire mettre en œuvre un charbon actif pour dépolluer une solution aqueuse contenant un polluant cancérigène. Une compagne d'expériences a montré que l'équilibre peut être décrit par l'équation suivante :

$$q_e = \frac{C_e}{5.13 \cdot 10^{-3} C_e + 4.06 \cdot 10^{-2}}$$

Avec  $q_e$  la quantité du polluant adsorbé en Kg par Kg de charbon actif frais, et  $C_e$  en Kg de polluant par m<sup>3</sup> d'eau. On désire réduire la concentration en polluant à 20% de sa valeur initiale, et afin de déterminer les conditions optimales de fonctionnement, trois dispositifs de mise en contact sont examinés :

**1<sup>ère</sup> partie : Adsorption mono étagée**

La solution à traiter de 6000 litres contient 0.08 Kg/m<sup>3</sup> du polluant, la dépollution par adsorption est réalisée dans un adsorbent discontinu.

Calculer :

- La capacité d'adsorption ( $m_0^*$ ) en équilibre avec  $C_0$ .
- La masse du charbon à introduire dans l'adsorbent.

**2<sup>ème</sup> partie : adsorption à deux étages à courant croisés**

Calculer la masse totale du charbon ( $W_t = W_1 + W_2$ ) à réduire pour atteindre le même objectif, sachant que les quantités introduites séparément sont en proportions de 1/3 et 2/3 ( $W_1 = 1/3 W_t$  et  $W_2 = 2/3 W_t$ ).

Déterminer la concentration intermédiaire  $C_1^*$ .

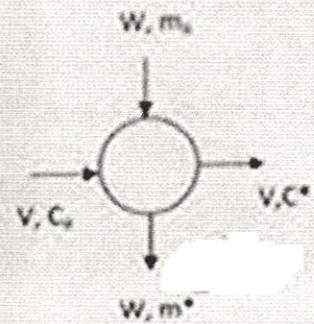
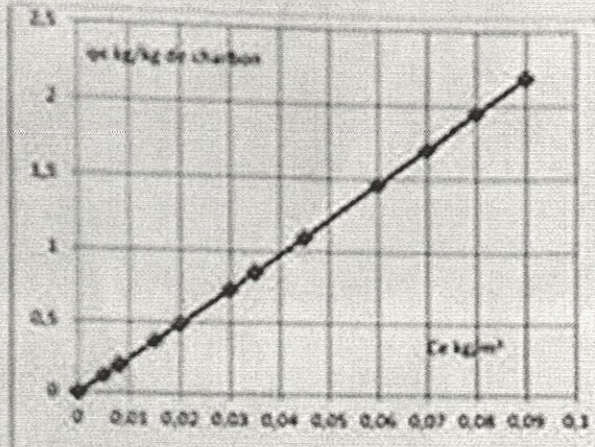
**3<sup>ème</sup> partie/ Adsorption à deux étages à contre courants**

Calculer la masse totale du charbon à introduire pour atteindre le même objectif.

Déterminer la concentration intermédiaire  $C_1^*$ .

Bon courage

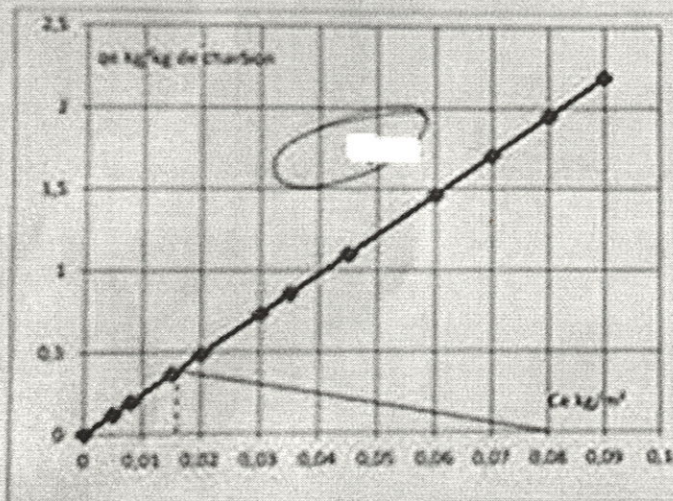
| $C_e$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $q_e$ (kg/kg de charbon) |
|----------------------------|--------------------------|
| 0                          | 0                        |
| 0.005                      | 0.123                    |
| 0.008                      | 0.1968                   |
| 0.015                      | 0.3687                   |
| 0.02                       | 0.4913                   |
| 0.03                       | 0.7361                   |
| 0.035                      | 0.8562                   |
| 0.045                      | 1.1021                   |
| 0.06                       | 1.4667                   |
| 0.07                       | 1.709                    |
| 0.08                       | 1.9507                   |
| 0.09                       | 2.1918                   |



$m_s^* = 1.950$  kg de polluant/kg de charbon

$C^* = 0.2C_0 = 0.016$  kg/m<sup>3</sup>

La masse du charbon à introduire dans l'adsorbent monoétage :



Méthode analytique :

$VC_0 + 0 = VC^* + Wm^*$

$W = \frac{V(C_0 - C^*)}{m^*}$

$m^* = 0.393$  kg/kg de charbon

$W = 0.976$  kg de charbon

Méthode graphique

$m = -\frac{V}{W} C + \frac{V}{W} C_0$

La pente  $-V/W = -6.26$

$W = 0.96$  kg de charbon

2<sup>ème</sup> partie : Adsorption à deux étages à courants croisés

$W_1 = \frac{1}{3}W_t$  et  $W_2 = \frac{2}{3}W_t$  donc  $W_2 = 2W_1$  et  $\tan \alpha_2 = 2 \tan \alpha_1$

$-\frac{V}{W_1} = -29.195$

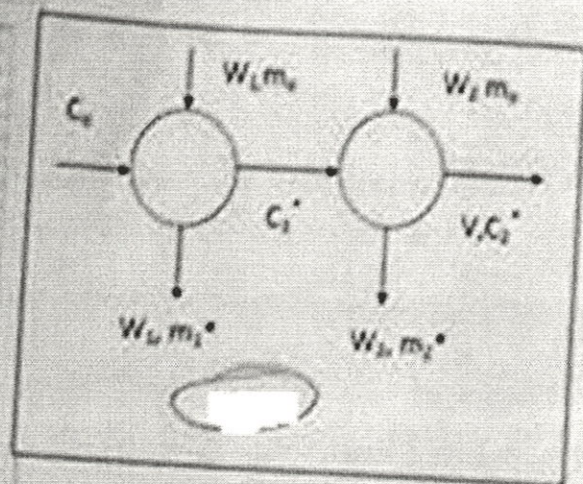
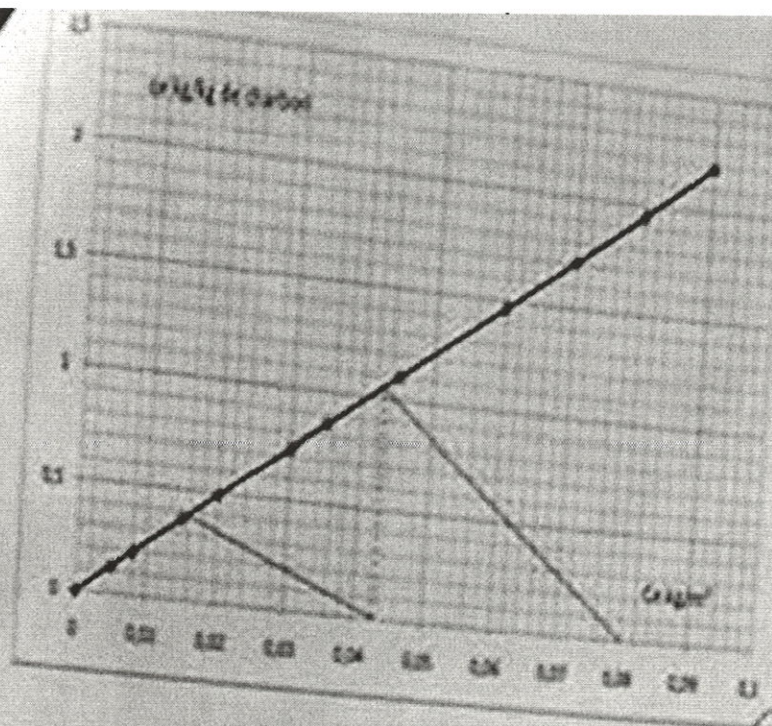
$-\frac{V}{W_2} = \frac{0.4 - 0}{0.016 - 0.0435} = -14.545$

$W_1 = 0.412$  kg de charbon

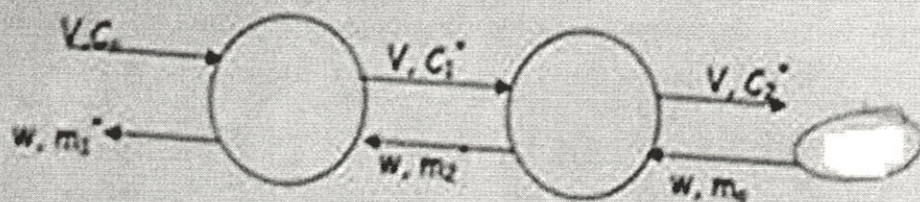
$W_2 = 0.205$  kg de charbon

$W_1 + W_2 = 0.617$  kg de charbon

$C_1^* = 0.0435$  kg/m<sup>3</sup>



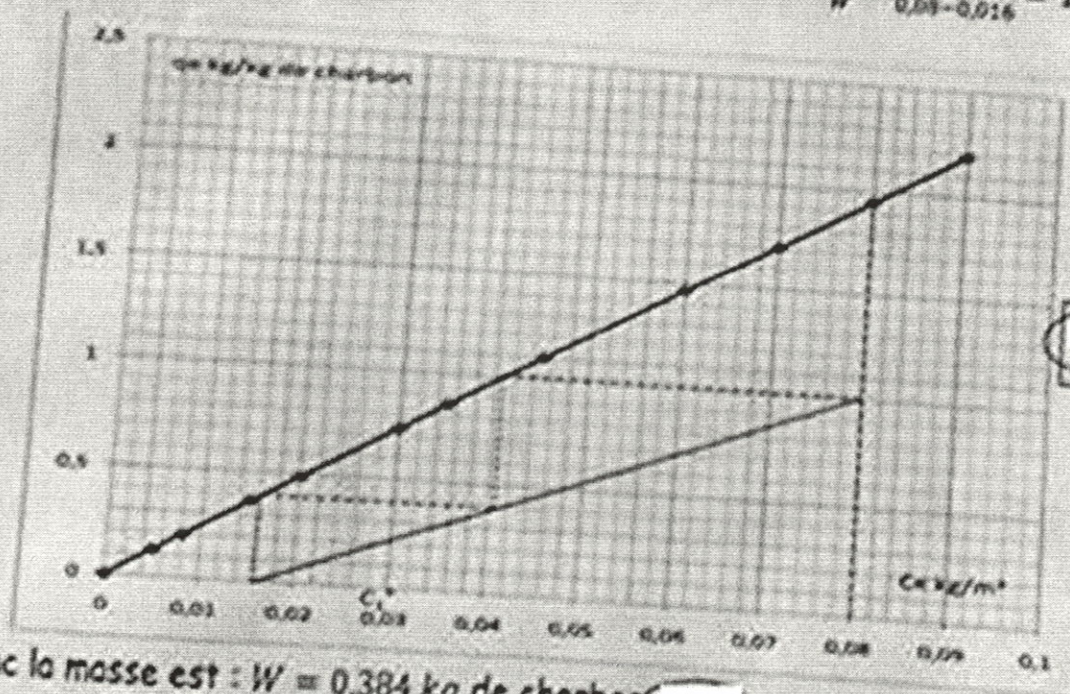
3<sup>ème</sup> partie : Adsorption à deux étages à contre-courants



- la masse du charbon à introduire  
la droite opératoire à partir d'un bilan partiel :

$$m = \frac{V}{W} C + \frac{W m_1^* - C_0 V}{W}$$

la pente =  $\frac{V}{W} = \frac{1-0}{0.09-0.016} = 15,625$



Donc la masse est :  $W = 0,384$  kg de charbon

La concentration intermédiaire  $C_1^* = 0,041$  kg/m³

## المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي - سكيكدة

قسم التكنولوجيا

عزابة في 20 - 05 - 2025

الدحيح المفروض

الإمتحان الأول لطلبة السنة الخامسة تخصص أستاذ تعليم ثانوي - هندسة الطرائق

إليك الأسئلة التالية، وكل سؤال به مجموعة من الخيارات. المطلوب هو وضع علامة X أمام الإجابة الصحيحة إن وجدت.

1. سلم بلوم لتصنيف مهارات التفكير يقوم على الترتيب التالي:

1. التذكر، الفهم، التحليل، التطبيق، التقييم، الإبتكار

2. الحفظ، الفهم، التقييم، التركيب، التحليل، التطبيق

3. الحفظ، الفهم، الإبتكار، التحليل، التقييم

4. الحفظ، التطبيق، الفهم، التحليل، التركيب، الإبتكار

5. إجابة أخرى: ..... الفهم، التطبيق، التحليل، الفهم، الإبتكار

2. حسب تعريف بلوم، مهارة الفهم هي:

1. القدرة على التفسير والإقناع

2. القدرة على إكتشاف الحقيقة

3. مهارة التواصل بسهولة

4. القدرة على تحويل المعلومة إلى معرفة

5. إجابة أخرى: ..... القدرة على شرح مفهوم ما بأسلوب المتعلم

3. يهتم علم تعليمية مادة معينة بالدمج بين:

1. أساسيات علوم التواصل و البيداغوجيا

2. أساسيات علوم التربية و الكيمياء

3. مهارات التواصل و علم النفس و البيداغوجيا

4. التحكم في المفاهيم العلمية و الإنسانية

5. إجابة أخرى: ..... الدمج بين أساسيات علوم التواصل و البيداغوجيا و علوم تلك المادة

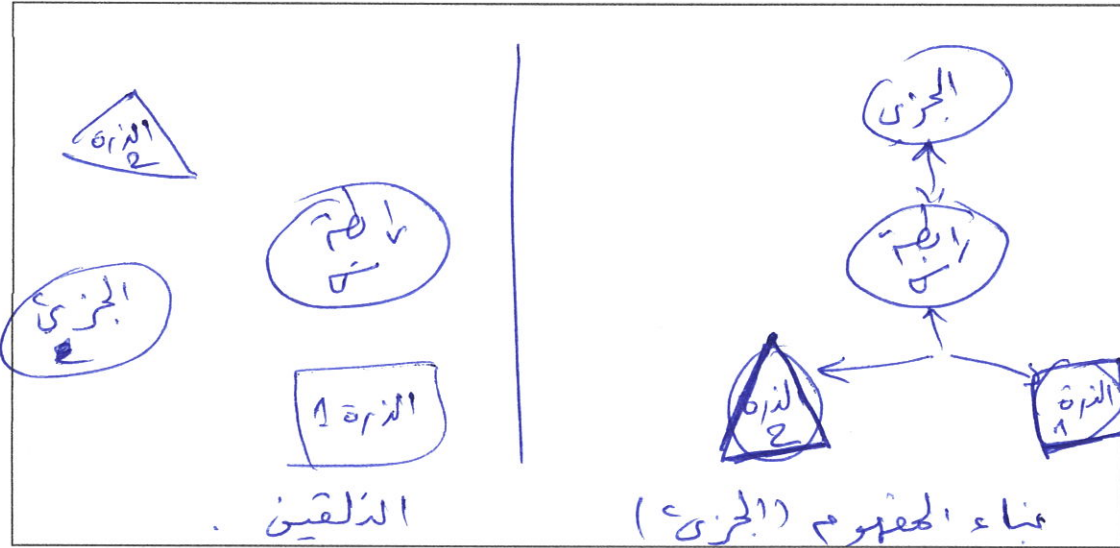
4. مجموع الركائز المدونة في الدائرة القطاعية لتحضير درس / محاضرة في الكيمياء هي:

1. أهداف التعليم، الدافعية للتعلم، التجارب في الكيمياء

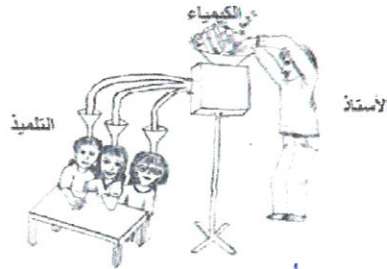
2. البنى العقلية، أفكار المتعلم السابقة و المشوهة، البنى العقلية

3. التجارب، أهداف التعليم، أفكار المتعلم السابقة و المشوهة

- ج. يساعد المتعلم من ربط المعلومات ببعضها البعض
9. من خلال مثال أخذناه في الدرس، قدم مخطط لعملية بناء المفاهيم بشكل سليم وعملية التلقين عند المتعلم.



10. الصورة التالية تحمل معاني مختلفة، حاول ذكر ثلاثة منها:



- \* تحت رايح الليمون عن طريق التلقين
- \* الأستاذ هو محور العملية التعليمية
- \* المعرفة في الليمون مجرد معلومات
- \* الطريقة التي تفسر بها
- \* عدم مراعاة الفروقات الفردية

12. قدم خمس نقاط توضح من خلالها كيف يمكن لأستاذ هندسة الطرائق و عن طريق مادة الاختصاص أن يساهم في تعزيز مفهوم الانتماء للوطن

1. تلويح وتأهيل اللازم لحل مشأل من واقع المصنوع

2. المساهمة في تأهيل اللازم على دور اللها في الحياة الصناعية بجميع أشكالها من الإنتاج الزراعي والحيواني.

3. تدريب اللازم على المفاهيم والشركات الناشئة

4. مساعدة اللازم على استغلال موارفهم ومهاراتهم

المساهمة في الحياة اليومية لهم (الاجتماعية والاقتصادية...)

ك- تعزيز مفهوم حماية البيئة من افكار التلوث

الصناعي

(الممارس حقوق...)



بالتوفيق

أستاذ المادة خ. كرايم