

Exercices sur les combustions et les combustibles

Énoncés

Exercice n° 1 : (revoir la nomenclature des alcanes)

1° question :

a) Écrire les formules semi-développées des alcanes suivants :

- le n-hexane
- le 2-méthylpentane
- le 2,2-diméthylbutane

b) Sont-ils des isomères ? Justifier la réponse.

2° question : On admet, pour simplifier, qu'une essence est constituée d'un mélange de plusieurs alcanes ayant chacun pour formule : C_6H_{14} .

Écrire l'équation bilan de combustion complète de cette essence.

3° question : L'essence précédente a un pouvoir calorifique de $4200 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ et une masse volumique de $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Une voiture consomme en moyenne 8 litres de cette essence pour rouler 100 km.

a) Calculer la chaleur fournie par la combustion de l'essence lors d'un parcours de 100 km.

b) En supposant la combustion complète, calculer le volume de dioxyde de carbone rejeté lors du parcours de 100 km.

c) Commenter.

Données :

- Volume molaire des gaz, à la température de fonctionnement du moteur : $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

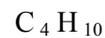
Réponses partielles : 3°) a) $Q \cong 2,9 \times 10^5 \text{ kJ}$; b) $V_{\text{CO}_2} \cong 10^4 \text{ L}$

Exercice n° 2 :

Les données nécessaires à la résolution de l'exercice sont données en fin d'énoncé.

Le brûleur d'un appareil de chauffage utilise un mélange {air + butane}.

1° question : Parmi les formules chimiques ci-dessous, choisir celle correspondant au butane.



2° question :

a) Écrire l'équation-bilan de la combustion complète du butane.

b) Calculer le volume V_{O_2} de dioxygène nécessaire à la combustion complète de $V_b = 1 \text{ m}^3$ de butane.

c) En déduire le volume d'air V_{air} correspondant (« air stœchiométrique »)

3° question :

Le débit volumique du mélange stœchiométrique {air + butane} de ce brûleur est $d = 25 \text{ m}^3 / \text{h}$.

- a) Quel est le consommation horaire de butane ?
b) Quelle est la puissance thermique théorique P_{th} de ce brûleur ?

Remarque : L'eau formée n'est pas condensée ; elle est à l'état vapeur.

- c) Quel volume V_f de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau doit-on extraire de la chaufferie par heure de fonctionnement ?
d) Quelle puissance théorique P_{max} obtiendrait-on si l'eau était entièrement condensée au niveau de la chaudière ?
e) Quelle masse d'eau m_{eau} devrait-on recueillir en une heure ?

Données :

Tous les volumes sont mesurés dans les conditions normales de température et de pression.

Le brûleur est supposé être parfaitement réglé.

Volume molaire, dans les conditions normales de température et de pression : $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'air contient, en volume, 21 % de dioxygène environ.

Pouvoir calorifique inférieur du butane commercial : $PCI \cong 2659 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (l'eau n'étant pas condensée).

Pouvoir calorifique supérieur du butane commercial : $PCS \cong 2876 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse molaire de l'eau : $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Réponses partielles :

2°) b) $V_{O_2} = 6,5 \text{ m}^3$; 3°) a) $0,78 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3°) b) $P_{th} \cong 25,8 \text{ kW}$; 3°) c) $V_f \cong 7,04 \text{ m}^3$

3°) d) $P_{max} \cong 27,9 \text{ kW}$; 3°) e) $m_{eau} \cong 3,14 \text{ kg}$

Exercice n° 3 : Étude de risques liés à l'utilisation de l'oxyde, d'éthylène

L'oxyde d'éthylène est utilisé dans de nombreuses industries chimiques comme matière première pour la fabrication de produits d'entretien, de peintures, de lubrifiants... C'est un gaz incolore, neurotoxique et irritant.

L'oxyde d'éthylène a pour formule brute $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$.

1° question : Ce gaz, comprimé sous $P_1 = 1,25 \times 10^5 \text{ Pa}$ est stocké à 15°C dans une cuve cylindrique située dans un atelier de fabrication d'une usine de peinture.

Données :

Dimensions de la cuve de stockage : Hauteur : $H_1 = 3 \text{ m}$; diamètre : $D_1 = 1,5 \text{ m}$

Dimensions de l'atelier de fabrication : Longueur : $L_2 = 10 \text{ m}$; Largeur : $\ell_2 = 6 \text{ m}$; Hauteur : $H_2 = 5 \text{ m}$.

- a) Quel est le volume de la cuve de stockage ?
b) En considérant que l'oxyde d'éthylène est un gaz parfait, calculer le nombre de moles contenu dans la cuve de stockage.

On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- c) Quel volume l'oxyde d'éthylène occuperait-il dans les conditions de température et de pression suivantes : 20°C et $P_2 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$?
d) Quel pourcentage (exprimé en ppm) représente ce volume par rapport au volume de l'atelier ?

2° question : Mal refermée, la cuve laisse entièrement échapper l'oxyde d'éthylène dans l'atelier de fabrication. L'atelier se trouve à 20 °C sous la pression $P_2 = 1,0 \times 10^5$ Pa .

On donne pour l'oxyde d'éthylène :

- ◆ sa limite inférieure d'explosivité avec l'air : L.I.E. = 3 %
- ◆ sa limite supérieure d'explosivité avec l'air : L.I.S. = 100 %

Y a-t-il explosion ? Commenter.

3° question : Des employés doivent intervenir pour une réparation dans cet atelier. On appelle VLE (Valeur Limite d'Exposition) la concentration d'une substance toxique au delà de laquelle des problèmes de santé peuvent survenir. Pour l'oxyde d'éthylène : $V.L.E. = 10 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

En considérant que le mélange est homogène, calculer la concentration molaire d'oxyde d'éthylène dans l'atelier. Conclure.

Réponses partielles :

1°) a) $V_1 \cong 5,3 \text{ m}^3$; 1°) b) $n \cong 277 \text{ mol}$; $V_2 \cong 6,7 \text{ m}^3$; 3°) a) non

Exercice n°4 :

Un brûleur à gaz réalise un mélange de trois volumes d'air avec deux volumes de gaz de ville.

1° question : Déterminer les proportions en volume des constituants puis les proportions en moles.

2° question :

- a) Exprimer la masse molaire apparente du mélange en fonction des proportions en masse et des masses molaires des constituants.
- b) Exprimer la masse molaire apparente du mélange en fonction des proportions en volume et des masses molaires des constituants.
- c) En déduire la constante r_m du mélange.

3° question : Quelles sont les proportions en masse du mélange ?

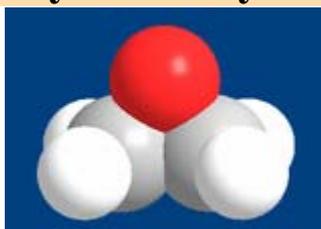
4° question : Quelle est la masse volumique du mélange, à 20 °C et sous la pression de 990 mbar ?

Données : * $r_{\text{gaz}} = 615 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $r_{\text{air}} = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Réponses :

2°) c) $r_m = 365 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; 3°) 23,7 % de gaz de ville et 76,3 % d'air ; 4°) $\mu \cong 0,93 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Oxyde d'éthylène



Structure de l'oxyde d'éthylène

Général

Nom IUPAC	oxirane
N° CAS	75-21-8
Apparence	gaz incolore

Propriétés chimiques

Formule brute	C₂H₄O [Isomères]
Masse molaire	44,052641 g·mol⁻¹

Propriétés physiques

T° fusion	161 K (-112,1 °C)
T° vaporisation	283,5 K (10,4 °C)
Solubilité	Miscible avec l'eau
Masse volumique	0,899 g/cm³
T° d'auto-inflammation	429 °C
Point d'éclair	-55 °C
Limites d'explosivité dans l'air	3-100%

Thermochimie

S⁰_{gaz, 1 bar}	243 J/mol·K
S⁰_{liquide, 1 bar}	149,45 J/mol·K
Δ_fH⁰_{gaz}	-52.6 kJ/mol
Δ_fH⁰_{liquide}	-96 kJ/mol
C_p	86.9 J/mole·K (liquide)

Précautions

Signalisation CE

cancérogène

Transport

263
1040

Inhalation

irritation des poumons, convulsions

Yeux

dangereux

Unités du [SI](#) & [CNTP](#), sauf indication contraire

Exercice n° 5 : Combustion d'un alcane

On étudie la combustion complète de l'octane de formule brute C₈H₁₈, constituant essentiel du carburant des moteurs à essence.

Données :

- ♦ Masses molaires atomiques : M(C) = 12,0 g·mol⁻¹ M(H) = 1,0 g·mol⁻¹ M(O) = 16,0 g·mol⁻¹

◆ Masse volumique de l'octane liquide : $\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$

1° question : Ecrire l'équation de la combustion complète de l'octane et donner le nom des produits de la réaction.

2° question : Le carburant, à l'état liquide dans le réservoir, est vaporisé et mélangé avec l'air avant d'être introduit dans les quatre cylindres d'un moteur à essence quatre temps.

Au cours d'un essai à vitesse de rotation constante, la puissance mécanique utile de ce moteur est égale à $P_u = 16 \text{ kW}$. Son rendement η est de 30 %.

- Calculer la puissance P_a fournie par la combustion dans le moteur.
- En déduire l'énergie, exprimée en joules, consommée en une heure de fonctionnement.
- Le pouvoir calorifique de l'octane vaut $P_c = 5,0 \times 10^3 \text{ kJ.mol}^{-1}$. Vérifier que la consommation horaire de carburant vaut 38 mol.h^{-1} .

3° question : On place le moteur sur un banc d'essais, afin de déterminer la masse de dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère au cours de la combustion. L'essai dure 2 min.

- Calculer la quantité de matière d'octane (en mol) consommé au cours de cet essai.
- En déduire la quantité de matière de dioxyde de carbone émis.
- Les mesures réalisées aboutissent à une masse de 450 g de dioxyde de carbone émis. Montrer que cette valeur est conforme au résultat obtenu à la question 3 b).

Exercice n° 6 : Combustion complète d'un mélange d'hydrocarbures

On étudie la combustion complète d'un gaz dont la composition, en volume, figure ci-dessous :

- 80 % de méthane (CH_4)
- 20 % d'acétylène (C_2H_2)

1° question :

- Écrire les équations-bilans des combustions complètes du méthane et de l'acétylène.
- Expliquer ce que l'on pourrait obtenir si la combustion de ce gaz était incomplète.

2° question : Calculer le volume de dioxygène nécessaire à la combustion complète d'une mole de ce gaz ? En déduire le volume d'air « stœchiométrique ».

3° question : Un gaz contenant plusieurs hydrocarbures peut se ramener, du point de vue de la combustion, à un composé gazeux de formule C_xH_y avec :

$$x = \sum_i \varphi_i \times \text{nombre d'atomes de carbone de chaque constituant}$$

$$y = \sum_i \varphi_i \times \text{nombre d'atomes d'hydrogène de chaque constituant}$$

φ_i : fraction molaire (ou volumique) du constituant « i » dans le mélange.

- Calculer x et y.
- Écrire l'équation-bilan de la combustion complète du composé de formule C_xH_y et retrouver les résultats de la 2° question.

4° question : Ce gaz combustible est brûlé avec un excès d'air de 20 %.

- Calculer le volume d'air employé, dans ces conditions, pour la combustion complète d'une mole de ce gaz.

- b) Quel est le volume gazeux obtenu en fin de réaction (l'eau est sous forme de vapeur) ?
 c) Quelle est la composition, en volume, de ces « fumées » ?
 d) En déduire la densité d de ces « fumées » par rapport à l'air.

Données :

On considère les gaz comme parfaits.

L'air contient, en volume : 20,8 % de dioxygène ; 78,2 % de diazote ; 1,0 % d'argon

Les volumes seront toujours rapportés aux conditions normales.

Réponses :

$$3^\circ) \text{ a) } x = 1,2 \text{ et } y = 3,6 \quad 4^\circ) \text{ a) } V_{\text{air}} \cong 271 \text{ L} \quad 4^\circ) \text{ b) } V_f \cong 292 \text{ L}$$

c)

Constituant	CO ₂	N ₂	Ar	H ₂ O	O ₂
	9,2 %	72,8 %	0,9 %	13,8 %	3,2 %

d) $d \cong 0,97$

Exercice n° 7 : Le bec Bunsen (modèle courant) peut fournir une énergie calorifique de 4500 kJ par heure. Calculer, en m³ / h, le débit volumique du gaz et le volume d'air admis par la virole, suivant que l'appareil est alimenté

- en gaz naturel (méthane)
- en butane
- en propane

Données : La formule générale des alcanes est C_nH_{2n+2}

L'énergie calorifique fournie par la combustion complète d'une mole d'hydrocarbure est de la forme : Q(en kJ) = 210 + 664 n

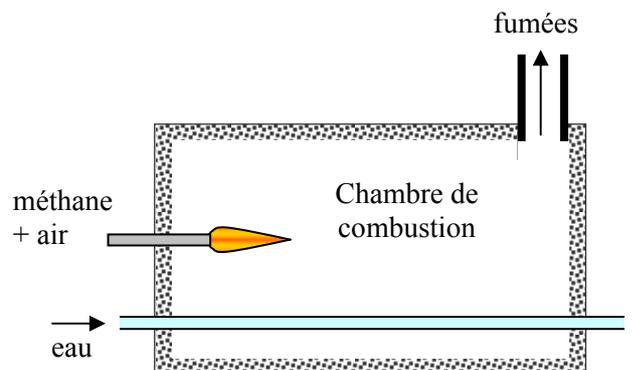
Volume molaire : V_m = 25 L . mol⁻¹

On admet que la puissance du bec reste constante quelle que soit la nature du gaz alimentant le brûleur.

Réponses : méthane : D \cong 0,13 m³ / h ; butane : D \cong 0,04 m³ / h ; propane : D \cong 0,05 m³ / h

Exercice n° 8 : Combustion et chauffage

On a schématisé sur la figure ci-dessous la chambre de combustion d'une chaudière à gaz destinée à chauffer l'eau circulant avec un débit volumique q constant ($q = 50 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) dans un tuyau qui traverse la chambre considérée comme une enceinte adiabatique. Les produits de la combustion du gaz sont évacués par un conduit supérieur.



A - Combustion

Le gaz utilisé est du méthane, de formule chimique CH_4 . Le réglage du débit d'arrivée d'air est tel qu'il est apporté la quantité juste nécessaire d'air pour assurer la combustion complète du méthane.

L'équation de la réaction de combustion est alors la suivante :



1° question : Comment se nomme l'élément chimique représenté par le symbole N ? Dans quelle proportion N_2 est-il présent dans l'air sec que nous respirons ?

2° question : Dans cette combustion, quel est le combustible, quel est le comburant et à quelle condition la réaction peut-elle démarrer ?

3° question : Déterminer les valeurs numériques des coefficients x, y, z apparaissant dans l'équation de la combustion.

4° question : A quelle famille appartient le méthane CH_4 ? Proposez un autre composé de cette famille, en donnant son nom et son utilisation.

5° question : Pour une mole de méthane (gaz), combien faut-il de moles d'air pour assurer la combustion dans les conditions définies par l'équation ci-dessus ?

Quelle est alors la masse de dioxyde de carbone produite pour une mole de méthane brûlée ?

Données : Masses molaires : C : $12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; O : $16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

On suppose que le méthane utilisé entre dans la chambre de combustion en étant dans les conditions normales de température et de pression ($273,15 \text{ K}$ et $1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$). Dans ces conditions, en l'assimilant à un gaz parfait, son volume molaire vaut : $V_M = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

6° question : Si le volume annuel de gaz utilisé pour cette combustion vaut $V = 10000 \text{ m}^3$, quelle est la masse totale annuelle M de dioxyde de carbone rejetée dans l'atmosphère via le conduit de cheminée ?

Quels problèmes environnementaux particuliers présentent ces rejets de CO_2 ?

7° question : La combustion est une réaction exothermique.

a) Que signifie « exothermique » ?

b) Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du méthane vaut : $9,96 \text{ kWh} \cdot \text{Nm}^{-3}$.

Données :

$1 \text{ Nm}^3 = 1 \text{ normal m}^3$: c'est un volume de 1 m^3 de gaz, volume mesuré dans les conditions normales de température et de pression ($273,15 \text{ K}$ et $1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$).

Vérifier que l'énergie produite par la réaction ci-dessus correspondant à la combustion d'une mole de CH_4 vaut environ $800 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

8° question : Lorsque la combustion se fait avec un défaut d'air donc un défaut de dioxygène, il apparaît dans les produits de la réaction un nouveau composé gazeux. Donner son nom et sa formule chimique. Que dire de ce gaz ?

9° question : Lorsque le défaut d'air est important, il apparaît des suies. Quel élément chimique correspond à ces suies ; donner son symbole chimique.

B - Chauffage

1° question : Le débit en méthane du brûleur à gaz vaut $G = 5 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et le pouvoir calorifique inférieur du méthane vaut : P.C.I. = $9,96 \text{ kWh} \cdot \text{Nm}^{-3}$.

Que vaut le flux thermique Φ , exprimé en watt, apporté par le brûleur ?

2° question : Le flux thermique perdu par les fumées est noté Φ' . Le flux thermique $\Delta\Phi$ transféré à l'eau circulant dans le tuyau vaut 34800 W . Quelle est la valeur du flux Φ' , si l'on néglige toutes les autres pertes ?

3° question : La capacité calorifique massique de l'eau c vaut $4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. On rappelle que le débit volumique dans le tuyau vaut $50 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.

Calculer l'augmentation de température ΔT de l'eau lors de la traversée de la chambre de combustion.

Donnée : masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

