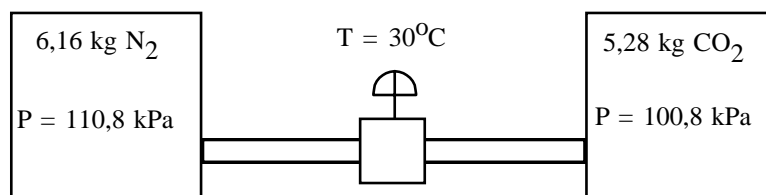


## 2.11 Exercices synthèse du module 2

---

1. (2.1) Un réservoir rigide contient 150 mol d'argon à 25,0°C et 7,50 MPa (absolus). Après avoir utilisé une certaine quantité de ce gaz, la pression est réduite à 2,00 MPa et la température est de 19,0°C. Quelle masse d'argon a été utilisée?
2. (2.1) A cause d'une erreur de raccordement, un réservoir contenant de l'hélium sous pression (18,25 MPa) a été relié à un réservoir non-prévu pour les hautes pressions (maximum = 400 kPa) et contenant de l'azote sous une pression de 167,5 kPa. Le volume intérieur du réservoir d'hélium est de 86,37 L et celui de l'azote est de 6,0456 m<sup>3</sup>. Le volume de la tuyauterie est négligeable. Est-ce que le réservoir d'azote résistera à l'augmentation de pression due à l'arrivée de l'hélium si la température est de 27,0°C?
3. (2.1) Un réservoir rigide contient un mélange de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>2</sub> à 1,10 MPa et 40,0 °C. On connaît la pression partielle du dioxyde d'azote soit, 418 kPa, et le nombre de moles de dioxyde de carbone soit, 310 moles.
  - a. Calculez le volume du réservoir.
  - b. Combien de moles d'hélium doit-on ajouter pour que la pression augmente de 40% (la température demeure constante)?
  - c. Après l'ajout de l'hélium, quelle est la pression partielle du dioxyde d'azote?
4. (2.1) Un réservoir d'acier de 20,0 m<sup>3</sup> contient du CO<sub>2</sub> à une pression de 160 kPa et une température de 30,0°C. Par la suite, un gaz rare est injecté dans ce réservoir, on augmente la température à 60,0°C et on constate que la pression atteint maintenant 194 kPa, Sachant que la masse volumique du mélange gazeux final est de 3,342 kg/m<sup>3</sup>, identifiez le gaz rare injecté dans le réservoir.
5. (2.1) On injecte du CO<sub>2</sub> gazeux dans un réservoir rigide initialement sous vide poussé. La masse du réservoir, initialement de 125,0 kg, passe à 175,2 kg lorsque la pression atteint 550,0 kPa. À ce moment, la masse volumique du gaz est de 10,04 kg/m<sup>3</sup>.
  - a. Quelle est la température du gaz ?
  - b. Quel est le volume du réservoir ?
6. (2.1) Un réservoir d'acier de 5,00 m<sup>3</sup> a une masse de 125,0 kg lorsque mis sous vide poussé. On y injecte un gaz pur jusqu'à ce que la pression soit 550,0 kPa ; la température reste stable à 17°C. Après injection du gaz, la masse du réservoir est de 175,2 kg.
  - c. Combien de moles de gaz a-t-on injectées ?
  - d. Quelle est la masse molaire du gaz injecté ?
  - e. On injecte un deuxième gaz jusqu'à ce que la pression soit 825 kPa ; quelle est la fraction molaire du premier gaz dans le mélange ?

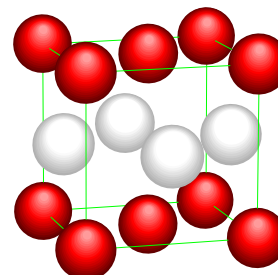
7. (2.1) On décide de raccorder deux réservoirs rigides qui contiennent respectivement 6,16 kg de  $N_2$  à une pression de 110,8 kPa et 5,28 kg de  $CO_2$  à une pression de 100,8 kPa. La température des deux réservoirs est de 30,0°C. (Voir figure ci-dessous). Calculez la masse volumique du mélange gazeux final après l'ouverture de la vanne (la température est constante).  
(N.B. : négligez le volume du tuyau entre les deux réservoirs)



8. (2.1) Un dirigeable doit être rempli d'un gaz dont la masse volumique à 1,25 atm et 15,0°C est de 0,300 kg/m<sup>3</sup>. Pour ce faire, on mélange deux gaz soit, de l'hélium et du néon. Quelle proportion massique de chacun doit-on utiliser ?

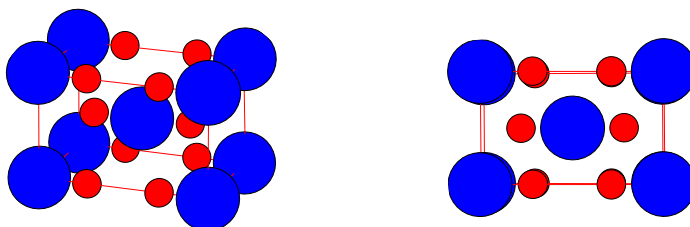
*Note : 1 atm (atmosphère) vaut 101,325 kPa*

9. (2.3) Certains matériaux à mémoire de forme utilisent un alliage constitué de fer et de palladium. Les atomes de fer et de palladium sont disposés en couches formant une structure cristalline compacte cubique, telle qu'illustrée ci-contre. Les sphères rouges foncées sont les atomes de fer et les sphères blanches sont les atomes de palladium.



- Calculez la fraction molaire de palladium dans cet alliage
- Calculez la masse volumique de cet alliage, en considérant que les rayons de l'atome de fer et du palladium sont très près l'un de l'autre, environ 175 pm.

10.

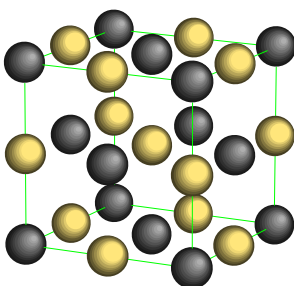


(2.3) Les figures ci-dessus montrent la structure d'une maille cristalline d'un rare composé de xénon (gros atomes) et de fluor (petits atomes) -cette structure n'est pas cubique, mais quadratique. La figure de droite est une vue de face. Trouvez la formule chimique de ce composé.

11. (2.3) Le carbure de zirconium(IV) est un solide très dur et réfractaire utilisé pour fabriquer des outils de coupe du métal ou des boucliers thermiques. Sa structure est semblable à celle du NaCl, tel qu'illustré. La masse volumique de ce solide est  $6,73 \text{ g/cm}^3$ .



- Calculez le paramètre de réseau « a » de cette maille cristalline
- En supposant des rayons du Zr et du C égaux, calculez le facteur de compacité de cette structure.
- Il arrive souvent que la structure cristalline du ZrC présente des défauts : des atomes de carbone sont manquants. Calculez la masse volumique du solide si 2% des atomes de carbone sont manquants.

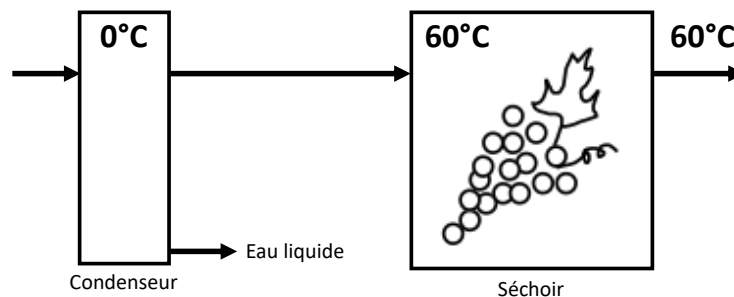


12. (2.1 ; 2.4) Un réservoir rigide contient de l'air sec à  $10,0^\circ\text{C}$ . On ajoute  $20,0 \text{ L}$  d'eau à la même température. On chauffe ensuite le tout à  $80,0^\circ\text{C}$  et, après atteinte de l'équilibre, on s'aperçoit que 10% de la masse totale de l'eau s'est évaporée. Quel est le volume du réservoir?
13. (2.1 ; 2.4) <sup>1</sup>Un réservoir de 150 litres, fermé, contient  $1,00 \text{ kg}$  d'air sec. On ajoute  $20,0 \text{ mL}$  d'eau à  $10^\circ\text{C}$ . À quelle température doit-on chauffer le réservoir pour qu'il ne reste que la moitié de la masse d'eau en phase liquide à l'équilibre?
14. (2.1, 2.4) Un cylindre fermé par un piston contient de l'heptane liquide. Au-dessus du liquide, il y a un espace qui ne contient que de la vapeur d'heptane. Le volume de l'espace vapeur est  $2,00 \text{ L}$ . Le système est en équilibre à  $40,0^\circ\text{C}$ . Le piston est ensuite abaissé, à température constante, jusqu'à ce que le volume de l'espace vapeur soit  $1,50 \text{ L}$ . Calculez la quantité, en moles, d'heptane qui s'est condensée.
15. (2.1, 2.4) Un réservoir rigide et hermétique contient de l'eau liquide et un mélange gazeux d'air sec et de vapeur d'eau. Le système est en équilibre à  $10,0^\circ\text{C}$ . On chauffe le réservoir jusqu'à  $70,0^\circ\text{C}$  et, après atteinte de l'équilibre, on constate que la pression totale a augmenté de 40,0%. En considérant que le volume de liquide ne change pas, calculez la pression totale initiale du système en équilibre à  $10,0^\circ\text{C}$ .

---

<sup>1</sup> Cet exercice exige une méthode de calcul numérique (utilisez la fonction *solve* de votre calculatrice TI).

16. (2.5) Une masse d'air a une température de  $35,0^{\circ}\text{C}$  et un point de rosée de  $18,0^{\circ}\text{C}$ . À quelle température faudrait-il chauffer cette masse d'air, à pression totale constante, pour que l'humidité relative devienne 10,0% ?
17. (2.1 ; 2.4 ; 2.5) On circule l'air d'un bâtiment dans un humidificateur afin d'en augmenter l'humidité. Le débit d'air à l'entrée est  $12,5 \text{ m}^3/\text{min}$ . L'air entre dans l'humidificateur à  $25,0^{\circ}\text{C}$  et 15,0 % HR et en ressort à la même température. L'humidificateur fournit 3,15 kg d'eau par heure à l'air. Quelle est l'humidité relative à la sortie ? La pression totale est partout 101,3 kPa.
18. (2.1 ; 2.4 ; 2.5) Un déshumidificateur traite  $500 \text{ m}^3$  d'air par heure. A l'entrée de l'appareil, l'air est à  $30,0^{\circ}\text{C}$  et 85,0% HR. L'appareil refroidit l'air à  $10,0^{\circ}\text{C}$  dans un condenseur, puis la réchauffe à  $23,0^{\circ}\text{C}$  avant de la retourner dans le bâtiment. La pression totale est partout 101,3 kPa.
- Quel est le point de rosée de l'air à l'entrée de l'appareil (avant le procédé) ?
  - Quel est le débit d'eau liquide soutiré à l'air ?
19. (2.1 ; 2.4 ; 2.5) Un débit de  $1,133 \text{ m}^3/\text{min}$  entre dans un humidificateur à  $20,0^{\circ}\text{C}$ . L'air sort de l'appareil à la même température et avec une humidité relative de 40,0%. La pression totale est partout 101,3 kPa. Si l'appareil fournit 200 g d'eau par heure, calculez:
- le point de rosée à la sortie de l'appareil
  - l'humidité relative à l'entrée de l'appareil.
20. (2.1 ; 2.4 ; 2.5) À la sortie du condenseur, le débit d'air est de  $16,0 \text{ L/s}$  et la température  $0,0^{\circ}\text{C}$ . La pression totale de l'air est partout de 101,3 kPa. Quelle quantité d'eau peut être extraite des raisins en une heure de fonctionnement de ce séchoir si l'humidité relative à la sortie du séchoir est de 70,0 % ?



21. (2.1 ; 2.4 ; 2.5) Un séchoir fonctionne en continu pour assécher des grains. Son rendement est constant à 42,3 kg d'eau éliminés par heure. A l'entrée du séchoir le débit d'air à  $40,0^{\circ}\text{C}$  est de  $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ . A la sortie du séchoir l'air est à  $20,0^{\circ}\text{C}$  et 90,0% HR. Quelle est l'humidité relative de l'air à l'entrée du séchoir? La pression totale est partout 101,3 kPa.

22. (2.6) Un radiateur a une puissance de 1,50 kW. Quel débit massique d'eau (en kg/h) y circule
- si l'eau entre à 90 °C et sort à 60°C ?
  - si l'eau entre sous forme de vapeur à 110°C et sort à l'état liquide à 90 °C?
23. (2.6) Un récipient parfaitement isolé contient 60,0 g d'eau à 30°C. On y ajoute 300 g de manganèse solide à 400°C et on constate à l'équilibre qu'il y a évaporation partielle de l'eau et que la température est 100°C. Calculez la proportion d'eau liquide dans le récipient.

*Note : le  $c_p$  du manganèse est  $0,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$ .*

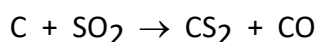
24. (2.6) Un bloc de cuivre à 750 °C est plongé dans un réservoir isolé contenant 20,0 L d'eau à 10°C. Quelle sera la température finale de l'ensemble si la masse de cuivre est 2,00 kg ?

*Note : le  $c_p$  du cuivre est  $0,385 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$ .*

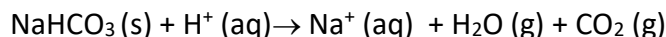
25. (2.7) Calculez la masse de chaux vive CaO que l'on peut préparer par chauffage de 200,0 kg de pierre à chaux contenant 95,0 %mas de CaCO<sub>3</sub>.



26. (2.7 ; 2.8) Le sulfure de carbone peut être obtenu comme sous-produit du dioxyde de soufre. Quelle masse de CS<sub>2</sub> obtient-on par la combustion de 450,0 kg de SO<sub>2</sub> avec du carbone en excès si le taux de conversion du dioxyde de soufre est de 82,0 %?



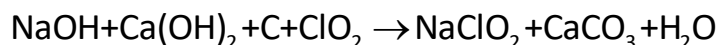
27. (2.7 ; 2.8) Une recette de gâteau utilise du lait sûr (additionné de vinaigre) et du « bicarbonate de soude ». La réaction qui se produit alors (ci-dessous – non-équilibrée) permet la formation de « bulles » de CO<sub>2</sub> qui font lever le gâteau.



On met 4,00 g d'hydrogénocarbonate de sodium et 0,0800 mol d'ions H<sup>+</sup> dans la recette.

- quel est le réactif limitant?
- quel est le % d'excès de l'autre réactif?
- Si la conversion du limitant est 90% et le rendement 85%, quel volume de CO<sub>2</sub> sera produit à 101,3 kPa et 150°C?

28. (2.7 ; 2.8) Le chlorite de sodium ( $\text{NaClO}_2$ ), un agent de blanchiment utilisé dans l'industrie des pâtes et papiers, est préparé selon la réaction suivante :

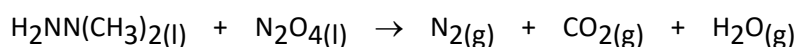


- Équilibrez l'équation.
  - L'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) est le réactif limitant et sa conversion est de 87,0 %. 22,23 kg d'hydroxyde de calcium ont donné 84,98 kg de  $\text{NaClO}_2$ . Quel est le rendement en chlorite de sodium pour cette réaction ?
29. (2.7 ; 2.8) Pour traiter les eaux contaminées aux cyanures (bains de procédés de traitement de surface), on utilise un procédé appelé « chloration alcaline ». Ce procédé réalise la réaction globale suivante (non-équilibrée):



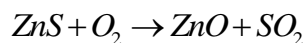
Pour traiter 1,00 kg de cyanures, on utilise 8,15 kg d'hypochlorite de sodium. À la fin du traitement, on retrouve 0,50 g de cyanures.

- équilibrez l'équation
  - quel est le réactif limitant ? (ce n'est pas l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), qui est présente en très grande quantité)
  - quel est le % d'excès de l'autre réactif ?
  - quelle est la conversion du réactif limitant?
  - quel est le rendement en  $\text{HCO}_3^-$  si on retrouve 2,32 kg de  $\text{HCO}_3^-$  à la fin?
30. (2.7 ; 2.10) Le module lunaire a utilisé un mélange d'hydrazine ( $\text{H}_2\text{NN}(\text{CH}_3)_2$ ) et de  $\text{N}_2\text{O}_4$  comme carburant et comburant.



- Équilibrez l'équation.
- Sachant que la chaleur de réaction est de - 29,0 kJ par gramme d'hydrazine, quelle est la chaleur de formation de cette substance?

31. (2.1 ; 2.6 ; 2.7 ; 2.8 ; 2.10) Afin de traiter le minerai de zinc qu'est le sulfure de zinc, on le transforme d'abord en oxyde de zinc selon la réaction non-balançée suivante :

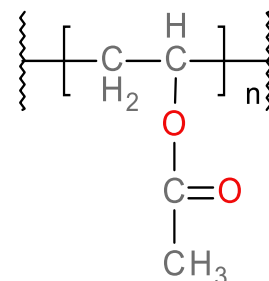


On injecte, dans le réacteur, 38,98 kg/min de ZnS solide et un débit de 14,64 m<sup>3</sup>/min de O<sub>2</sub> pur à 25,0°C et 110,0 kPa absolus. À la sortie du réacteur, on recueille 26,04 kg/min de ZnO solide, 4,873 kg/min de ZnS solide, du SO<sub>2</sub> gazeux et des sous-produits.

- Déterminez le réactif en excès et calculez le % d'excès de ce dernier.
  - Quelle est la conversion du ZnS ?
  - Quel est le rendement en ZnO ?
  - Supposez des rendements de 100 %. Compte tenu de la conversion, quelle quantité d'énergie est produite en une heure d'opération du réacteur ?
  - Cette énergie est utilisée pour produire de la vapeur. L'eau entre dans la bouilloire à 60,0°C et ressort complètement en vapeur surchauffée à 130,0°C (à 101,3 kPa). Si l'on récupère 80,0 % de l'énergie libérée, quelle masse de vapeur produit-on par jour ?
32. (2.1 ; 2.5 ; 2.6 ; 2.7 ; 2.8 ; 2.10) Une fournaise est alimentée par 15,0 L/s de propane gazeux à 115 kPa et 25°C. L'excès d'air est 10%. Après la combustion, les gaz sont refroidis à 40°C. La conversion est 97% et le rendement 100%.
- Écrivez l'équation de combustion.
  - Calculez le débit d'air sec à l'entrée m<sup>3</sup>/s si la pression dans la conduite d'air est 130 kPa et la température 25°C.
  - Calculez le débit molaire de chaque gaz sortant de la chambre de combustion.
  - Calculez le débit molaire d'eau condensée lors du refroidissement si la pression totale est alors 101,3 kPa.
  - Calculez la puissance standard (à 25°C) de l'installation en kW
  - Calculez la puissance en kW en tenant compte de la correction pour les températures.
33. (2.1 ; 2.5 ; 2.7 ; 2.8 ; 2.10) On brûle un mélange de méthane et d'éthane à 75,0% mol de méthane en présence d'air sec à 5,00% d'excès. On recueille, dans les gaz de combustion, 10,0 mol de CO<sub>2</sub> par minute. La pression totale dans la cheminée est 101,3 kPa.
- Donnez les débits molaires des autres gaz dans la cheminée.
  - Quelle est la température de rosée du gaz dans la cheminée ?

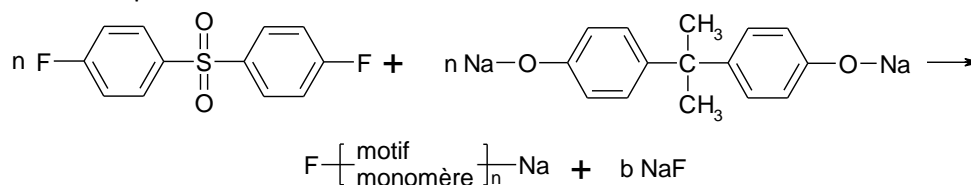
34. (2.1 ; 2.7 ; 2.8 ; 2.10) Une fournaise brûle un mélange de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et d'éthane ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ). Le comburant est de l'air sec avec un excès de 15,0 %. Dans la chambre de combustion, la conversion du méthane est de 95,0 % et la conversion de l'éthane est de 89,5 %. Parmi les gaz chauds à la sortie de la chambre de combustion, on connaît le débit molaire de  $\text{CH}_4$  (2,50 mol/min) et de  $\text{C}_2\text{H}_6$  (3,15 mol/min). Calculez :
- le débit molaire de méthane, d'éthane et d'air sec à l'entrée.
  - le débit molaire des gaz chauds à la sortie de la chambre de combustion.
  - la puissance moyenne (kW) de cette fournaise. Considérez que les produits et réactifs sont à 25,0°C et que 80,0%mol de la vapeur d'eau est condensée.

35. (2.9) Le polyacétate de vinyle est un polymère amorphe utilisé dans la composition des adhésifs, des colles et des peintures. Sa température de transition vitreuse est 30°C. Il est obtenu par addition. La formule de ce polymère est montrée ci-contre :



- Quel est le degré de polymérisation de ce polymère si sa masse molaire moyenne est 688,7 kg/mol ?
  - Quelle masse d'oxygène est contenue dans 0,500 mol de ce polymère ?
  - Ce polymère est-il transparent à 20°C ?
  - Ce polymère est-il ductile et tenace à 20°C ?
36. (2.9) Au laboratoire, on a accidentellement fondu ensemble et mêlé des échantillons de PVC et de PVdC. On brûle 100,0 g du mélange jusqu'à ce qu'il se dégrade entièrement. Lors de la dégradation, le chlore s'échappe sous forme de chlorure d'hydrogène. On mesure alors qu'il y a 67,7 g de chlorure d'hydrogène. Quelle proportion massique de PVC et de PVdC y avait-il dans le mélange de départ ?

37. Le polyéthersulfone (PES) est un thermoplastique de haute technologie résistant à la chaleur utilisé, entre autres, pour la fabrication de membrane de nanofiltration. Il est produit par condensation à partir des monomères suivants :



- calculez la masse molaire moyenne du polymère si le degré de polymérisation est 1000.
- Exprimez le coefficient « b » en fonction du degré de polymérisation « n ».
- Calculez la masse de NaF produite lors de la formation de 25 mol de ce polymère.



## Réponses et solutions

$$1. \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad n_2 = \frac{P_2 n_1 T_1}{P_1 T_2}$$
$$n_2 = \frac{2,0 \text{ MPa} \times 150 \text{ mol} \times (25 + 273) \text{ K}}{7,5 \text{ MPa} \times (19 + 273) \text{ K}} = 40,8 \text{ mol}$$

$$\text{masse utilisée : } (150 - 40,8) \text{ mol Ar} \times 39,95 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} = 4,36 \text{ kg}$$

$$2. \quad \text{À la fin : } n = n(\text{He}) + n(\text{N}_2) \quad V = V_{\text{He}} + V_{\text{N}_2} \quad (\text{réservoirs})$$

$$n_{\text{He}} = \frac{18,25 \times 10^3 \times 86,37}{8,314 \times (27 + 273,15)} = 632 \text{ mol} \quad n_{\text{N}_2} = \frac{167,5 \times 10^3 \times 6,0456}{8,314 \times (27 + 273,15)} = 406 \text{ mol}$$

$$P_{\text{finale}} = \frac{(632 + 406) \times 8,314 \times 300,15}{(86,37 \times 10^{-3} + 6,0456)} = 422 \text{ kPa}$$

La pression étant plus grande que la pression maximale, le réservoir ne résistera pas.

$$3. \quad P_{\text{CO}_2} = P_{\text{tot}} - P_{\text{NO}_2} = 1100 - 418 = 682 \text{ kPa}$$

$$a. \quad V = \frac{n(\text{CO}_2)RT}{P_{\text{CO}_2}} = \frac{310 \times 8,314 \times 313}{682000} = 1,182 \text{ m}^3$$

b. Puisque T et V sont constants, les pressions partielles du CO<sub>2</sub> et du NO<sub>2</sub> sont constantes.  
La pression partielle de l'hélium est donc :

$$P_{\text{He}} = 1,4 \times (P_{\text{totale}}^{\text{initiale}}) - P_{\text{totale}}^{\text{initiale}} = 0,4 \times 1100 = 440 \text{ kPa}$$

$$n_{\text{He}} = \frac{440 \times 10^3 \times 1,182}{8,314 \times (40 + 273,15)} = 200 \text{ mol}$$

c. La même (418 kPa)

4. En calculant la masse molaire (83,4 g/mol), on détermine qu'il s'agit du Krypton.

5. a. 290 K    b. 5,00 m<sup>3</sup>

6. a. 1141 mol    b. 44,0 g/mol    c. 0,667

7. N<sub>2</sub> :

$$V_{N_2} = \frac{\frac{6,16}{28,01} \times 8,314 \times 303,15}{110,8} = 5,003 \text{ m}^3 \quad V_{CO_2} = \frac{\frac{5,28}{44,01} \times 8,314 \times 303,15}{100,8} = 3,000 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{\text{masse}}{\text{volume}} = \frac{6,16 + 5,28}{5,002 + 3,000} = 1,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

8.

$$\rho_{\text{mél}} = \frac{PM_{\text{mél}}}{RT} \Rightarrow M_{\text{mél}} = \frac{0,30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 8,314 \times (15 + 273) \text{K}}{1,25 \text{ atm} \times 101,3 \frac{\text{kPa}}{\text{atm}}} = 5,673 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M_{\text{mél}} = \sum y_i M_i = y_{\text{He}} \times 4,0026 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + (1 - y_{\text{He}}) \times 20,1797 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 5,673 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$y_{\text{He}} = 0,897 \Rightarrow$$

$$\% \text{mas} = \frac{0,897 \times 4,0026}{0,897 \times 4,0026 + 0,103 \times 20,1797} = 0,633 \text{ en He}$$

9. a) Fer :

$$8 \text{ sommets} \times \frac{1}{8} \text{ d'atome par sommet} + 2 \text{ faces} \times \frac{1}{2} \text{ atome par face} = 2 \text{ atomes par maille}$$

Palladium :

$$4 \text{ faces} \times \frac{1}{2} \text{ atome par face} = 2 \text{ atomes par maille}$$

$$\text{Fraction molaire : } \frac{n_{\text{Pd}}}{n_{\text{total}}} = \frac{2}{2 + 2} = 0,500$$

b) Les atomes ayant le même rayon, on obtient une structure cubique à faces centrées.

$$\frac{\frac{2 \times 55,845 + 2 \times 106,42}{6,022 \times 10^{23}}}{\left( \frac{4 \times 175 \times 10^{-10}}{\sqrt{2}} \right)^3} = 4,44 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

10. nombre d'atomes de fluor :

$$8 \text{ arêtes} \times \frac{1}{4} \text{ d'atome par arête} + 2 \text{ centres} = 4 \text{ atomes de F par maille}$$

nombre d'atomes de xénon :

$$8 \text{ sommets} \times \frac{1}{8} \text{ d'atome par sommet} + 1 \text{ centre} = 2 \text{ atomes de Xe par maille}$$

Le composé est le  $\text{XeF}_2$ , ou difluorure de xénon.

11. a)

$$\rho = 6,73 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{4 \times 91,22 + 4 \times 12,0107}{\frac{6,022 \times 10^{23}}{a^3}} \rightarrow a = 4,67 \times 10^{-8} \text{ cm ou } 467 \text{ pm}$$

b) Si les atomes sont de même taille, la compacité est la même que pour une structure cubique simple et est indépendante du rayon des atomes : 0,524.

$$\text{c) } \rho = \frac{4 \times 91,22 + 4 \times 0,98 \times 12,0107}{\frac{6,022 \times 10^{23}}{(467 \times 10^{-10})^3}} = 6,71 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

12. L'air sec ne joue aucun rôle dans le calcul.

$$V_{\text{gaz}} = 6,878 \text{ m}^3, V_{\text{liquide}} = 0,0185 \text{ m}^3 : V_{\text{réservoir}} = 6,90 \text{ m}^3$$

13. La masse d'eau dans le réservoir est 20,0 g. La moitié s'évapore, donc 10 g, ce qui donne  $n=0,5551$  mol.

$$P_{\text{eau}}^0 \times V = nRT, \text{ on considère l'espace occupé par l'eau liquide négligeable.}$$

$$P_{\text{eau}}^0 \times 0,150 = 0,5551 \times 8,314 \times (T^{\circ}\text{C} + 273,5)$$

On remplace la pression de vapeur de l'eau par l'expression d'Antoine :

$$10^{10,23 - \frac{1750}{T+235}} \times 0,150 = 0,5551 \times 8,314 \times (T + 273,15)$$

Une solution numérique (par exemple la fonction *solve* de la calculatrice TI) on trouve  $T = 45,5^{\circ}\text{C}$ .

14.

État 1 :

$$V = 2L \quad T = 40^{\circ}C \quad P = P_{\text{heptane}}^0 = 12,330kPa$$

$$n_1 = \frac{12,330 \times 2}{8,314 \times 313,15} = 0,009472mol$$

État 2 :

$$V = 1,5L \quad T = 40^{\circ}C \quad P = P_{\text{heptane}}^0 = 12,330kPa$$

$$n_2 = \frac{12,330 \times 1,5}{8,314 \times 313,15} = 0,007104mol$$

$$n_{\text{cond.}} = n_2 - n_1 = 0,00237mol$$

15.

$$P_1 = P_{AS_1} + P_{\text{eau}}^0 = P_{AS_1} + 1,228$$

$$P_2 = P_{AS_2} + P_{\text{eau}}^0 = P_{AS_2} + 31,19$$

$$\text{et } P_2 = 1,4 \times P_1$$

donc

$$(1) P_{AS_2} + 31,19 = 1,4 \times (P_{AS_1} + 1,228)$$

$$\text{puisque } n_{AS_1} = n_{AS_2} \text{ et } V_1 = V_2$$

$$(2) P_{AS_2} = \frac{P_{AS_1} \times T_2}{T_1} = \frac{P_{AS_1} \times (70 + 273,15)}{10 + 273,15}$$

En résolvant les équations (1) et (2)

$$P_{AS_1} = 156,7kPa \quad P_1 = 157,9kPa$$

16. Réponse :  $T = 60,8^{\circ}C$

17. 33,0%

18. a.  $27,3^{\circ}C$       b. 8,62 kg/h

$$19. \text{ a. } P_{\text{eau sortie}}^0 = 0,40 \times 2,339 ; \text{ selon Antoine } \log(0,40 \times 2,339) = 10,23 - \frac{1750}{T + 235} : T = 6,08^{\circ}C$$

b. puisque le débit volumique et la pression partielle de l'air sec ne sont pas connus au même point, il est plus simple d'utiliser la méthode du bilan molaire.

sur la vapeur d'eau :  $\dot{n}_{\text{eau}}^{\text{entrée}} + \dot{n}_{\text{eau}}^{\text{procédé}} = \dot{n}_{\text{eau}}^{\text{sortie}}$

sur l'air humide (total) :  $\dot{n}_{\text{total}}^{\text{entrée}} + \dot{n}_{\text{eau}}^{\text{procédé}} = \dot{n}_{\text{total}}^{\text{sortie}}$

$$\dot{n}_{\text{total}}^{\text{entrée}} = \frac{101300 \text{ Pa} \times 1,133 \text{ m}^3 / \text{min}}{8,314 \times (20 + 273,15) \text{ K}} = 47,10 \text{ mol} / \text{min}$$

$$\dot{n}_{\text{eau}}^{\text{procédé}} = \frac{200 \text{ g} / \text{h}}{18,02 \text{ g} / \text{mol}} = 11,11 \text{ mol} / \text{h}$$

$$\dot{n}_{\text{total}}^{\text{entrée}} + \dot{n}_{\text{eau}}^{\text{fourni}} = \dot{n}_{\text{total}}^{\text{sortie}}$$

$$47,10 \text{ mol} / \text{h} + \frac{11,11 \text{ mol} / \text{h}}{60 \text{ min} / \text{h}} = 47,29 \text{ mol} / \text{min}$$

$$\dot{n}_{\text{eau}}^{\text{sortie}} = \frac{P_{\text{eau}}}{P_{\text{totale}}} \times \dot{n}_{\text{total}}^{\text{sortie}} = \frac{0,40 \times 2,339 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \times 47,29 = 0,437 \text{ mol} / \text{min}$$

$$\dot{n}_{\text{eau}}^{\text{entrée}} + \frac{11,11 \text{ mol} / \text{h}}{60 \text{ min} / \text{h}} = 0,437 \text{ mol} / \text{min}$$

$$\dot{n}_{\text{eau}}^{\text{entrée}} = 0,2516 \text{ mol} / \text{min}$$

une fois le bilan complété, on peut répondre :

$$P_{\text{eau}}^{\text{entrée}} = \frac{\dot{n}_{\text{eau}}^{\text{entrée}}}{\dot{n}_{\text{total}}^{\text{entrée}}} \times P_{\text{totale}} = \frac{0,2516}{47,10} \times 101,3 \text{ kPa} = 0,541 \text{ kPa}$$

$$\% \text{ HR} = \frac{0,541 \text{ kPa}}{2,339 \text{ kPa}} = 23,1\%$$

20. 7,08 kg/h

21. Comme pour le numéro 13, il est plus simple d'utiliser la méthode du bilan molaire. Réponse : 6,01%

22. a.  $1,5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = \dot{m} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 30 \text{ K} ; \quad \dot{m} = 43,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

b. La vapeur est refroidie de 110 à 100°C :  $\dot{m} \times 1,87 \times (100 - 110)$

La vapeur est condensée :  $-\dot{m} \times 2259$

L'eau liquide est refroidie de 100 à 90°C :  $\dot{m} \times 4,18 \times (90 - 100)$

$$-1,5 \times 3600 = \dot{m}(1,87 \times -10 - 2259 + 4,18 \times -10) \quad \dot{m} = 2,33 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

23. S'il y a évaporation partielle de l'eau, on se trouve donc en équilibre liquide vapeur à 100°C.

Soit  $x$  la fraction massique l'eau évaporée. La chaleur perdue par le manganèse est gagnée par l'eau :

$$-\Delta H_{Mn} = \Delta H_{eau}$$

$$-[0,300 \times 0,48 \times (100 - 400)] = 0,060 \times 4,18 \times (100 - 30) + x \times 0,060 \times 2259$$

$x = 0,189$  La fraction d'eau liquide est donc  $1 - x = 0,811$ .

24. Hypothèse : la température finale est inférieure à 100°C.

$$-\Delta H_{Cu} = \Delta H_{eau}$$

$$-[2 \times 0,385 \times (T_{finale} - 750)] = 20 \times 4,18 \times (T_{finale} - 10)$$

$T = 16,8^\circ\text{C}$  (hypothèse correcte)

25.  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  L'équation est balancée.

$$200,0 \text{ kg} \times 0,95 = 190,0 \text{ kg CaCO}_3$$

$$M \text{ CaCO}_3 = 0,1 \text{ kg/mol} \quad M \text{ CaO} = 0,056 \text{ kg/mol}$$

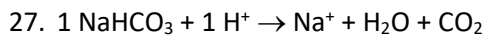
$$190,1 \text{ kg CaCO}_3 \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{0,1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CaO}}{1 \text{ mol CaCO}_3} \times \frac{0,056 \text{ kg}}{1 \text{ mol CaO}} = 107 \text{ kg CaO}$$

26.

$$5 \text{ C} + 2 \text{ SO}_2 \rightarrow \text{CS}_2 + 4 \text{ CO}$$

$$M \text{ SO}_2 = 0,06406 \text{ kg/mol} \quad M \text{ CS}_2 = 0,07613 \text{ kg/mol}$$

$$450,0 \text{ kg SO}_2 \times \frac{1 \text{ mol SO}_2}{0,06406 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CS}_2}{2 \text{ mol SO}_2} \times \frac{0,07613 \text{ kg}}{1 \text{ mol CS}_2} = 219 \text{ kg CS}_2$$



a) MM du  $\text{NaHCO}_3 = 84,007 \text{ g/mol}$

pour 4,0 g de  $\text{NaHCO}_3$  on forme :

$$\frac{4,0 \text{ g NaHCO}_3}{84,007 \text{ g/mol}} \times \left[ \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol NaHCO}_3} \right] = 0,0476 \text{ mol CO}_2$$

$$0,080 \text{ mol H}^+ \times \left[ \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol H}^+} \right] = 0,080 \text{ mol CO}_2$$

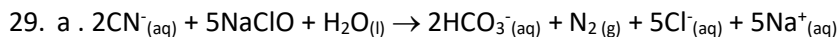
le  $\text{NaHCO}_3$  est limitant

$$\text{b) } n \text{ H}^+ \text{ requis} = \frac{4,0 \text{ g NaHCO}_3}{84,007 \text{ g/mol}} \times \left[ \frac{1 \text{ mol H}^+}{1 \text{ mol NaHCO}_3} \right] = 0,0476 \text{ mol H}^+$$

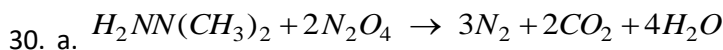
$$\frac{0,080 - 0,0476}{0,0476} = 68,0\%$$

$$\text{c) } \frac{4,0 \text{ g NaHCO}_3}{84,007 \text{ g/mol}} \times 0,90 \times \left[ \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol NaHCO}_3} \right] \times 0,85 = 0,0364 \text{ mol CO}_2$$

$$V = \frac{0,0364 \text{ mol} \times 8,314 \times (150 + 273) \text{ K}}{101,3 \text{ kPa}} = 1,26 \text{ L}$$



b.  $\text{CN}^-$  c. 13,9% d. 99,95% e. 98,9%



b.  $\Delta H_f^\circ$  :      x                      -19,5              0              -393,5              -241,8

$M_{\text{H}_2\text{NN(CH}_3)_2} = 60,1 \text{ g/mol}$

$$1 \text{ g (H}_2\text{NN(CH}_3)_2) \times \frac{1 \text{ mol}}{60,1 \text{ g}} = 0,01664 \text{ mol}$$

$$\Delta H_R = -29 = 0,03328 (-393,5) + 0,06655 (-241,8) - 0,03328 (-19,5) - 0,01664x$$

$$x = 27,67 \text{ kJ/mol} \quad \text{chaleur de formation de l'hydrazine}$$

31. a. ZnS limitant 8,33 % d'O<sub>2</sub> en excès

b. 87, 5 %

c. 91, 4 %

d. - 9, 22 x 10<sup>6</sup> kJ/h

e. 71,3 tonnes

32. Solution détaillée :

a.  $1 \text{ C}_3\text{H}_8 + 5 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO}_2 + 4 \text{ H}_2\text{O}$

b.

$$\begin{aligned}\dot{n}_{prop} &= \frac{15,0 \text{ L/s} \times 115 \text{ kPa}}{8,314 \times 298 \text{ K}} = 0,696 \frac{\text{mol prop}}{\text{s}} \\ \dot{n}_{O_2 \text{ requis}} &= 0,696 \frac{\text{mol prop}}{\text{s}} \times \left[ \frac{5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol prop}} \right] = 3,48 \frac{\text{mol O}_2}{\text{s}} \\ \dot{n}_{O_2 \text{ fourni}} &= 3,48 \frac{\text{mol O}_2}{\text{s}} \times (1 + 0,10) = 3,83 \frac{\text{mol O}_2}{\text{s}} \\ \dot{n}_{AS} &= 3,83 \frac{\text{mol O}_2}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ mol AS}}{0,21 \text{ mol O}_2} = 18,24 \frac{\text{mol AS}}{\text{s}} \\ Q &= \frac{18,24 \times 8,314 \times 298}{130000} = 0,348 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\end{aligned}$$

c.

$$\begin{aligned}\dot{n}_{CO_2} &= 0,696 \frac{\text{mol prop}}{\text{s}} \times 0,97 \times \left[ \frac{3 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol prop}} \right] = 2,03 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ \dot{n}_{H_2O} &= 0,696 \frac{\text{mol prop}}{\text{s}} \times 0,97 \times \left[ \frac{4 \text{ mol H}_2\text{O}}{1 \text{ mol prop}} \right] = 2,70 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ \dot{n}_{N_2} &= 18,24 \frac{\text{mol AS}}{\text{s}} \times \frac{0,79 \text{ mol N}_2}{1 \text{ mol AS}} = 14,4 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ \dot{n}_{O_2 \text{ inutilisé}} &= 3,83 \frac{\text{mol O}_2 \text{ fourni}}{\text{s}} - 0,696 \frac{\text{mol prop}}{\text{s}} \times 0,97 \times \left[ \frac{5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol prop}} \right] = 0,45 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ \dot{n}_{imbr.} &= (1 - 0,97) \times 0,696 \frac{\text{mol prop}}{\text{s}} = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ total &= 19,61 \frac{\text{mol}}{\text{s}}\end{aligned}$$

d.

$$\frac{P_{H_2O}^o}{P_{tot}} = \frac{7,384 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} = \frac{2,70 - \dot{n}_{\text{eau cond}}}{19,61 - \dot{n}_{\text{eau cond}}} \Rightarrow \dot{n}_{\text{eau cond}} = 1,371 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$



$$e. \Delta H_R = \left[ 2,03 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times (-393,5) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 1,372 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times (-285,8) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right. \\ \left. + (2,70 - 1,372) \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times (-241,8) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$- \left[ 0,97 \times 0,696 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times (-103,8) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right] \Rightarrow$$

$$\Delta H_R = -1442 \text{ kW}$$

f. correction :

$$\Delta H_{\text{produits}} = (2,70 - 1,372) \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times 18 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 1,87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (40 - 25) \text{ K}$$

$$+ 1,372 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times 18 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (40 - 25) \text{ K}$$

$$+ 2,03 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times 44 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 0,851 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (40 - 25) \text{ K} = 3,36 \text{ kW}$$

$$\text{puissance totale : } -1436,6 \text{ kW}$$

33.

$$a) \dot{n}(\text{O}_2) = 0,95 \text{ mol/min} \quad \dot{n}(\text{N}_2) = 75,05 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{CO}_2) = 10 \text{ mol/min}$$

$$b) T = 57,1^\circ \text{C}$$

34.

$$a) \dot{n}(\text{CH}_4) = 50 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{C}_2\text{H}_6) = 30 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{air sec}) = 1123 \text{ mol/min}$$

$$b) \dot{n}(\text{N}_2) = 887,2 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{O}_2) = 46,8 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{CO}_2) = 101,2 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{H}_2\text{O}) = 175,6 \text{ mol/min} \quad \dot{n}(\text{CH}_4) = 2,50 \text{ mol/min}$$

$$\dot{n}(\text{C}_2\text{H}_6) = 3,15 \text{ mol/min}$$

$$c) 1377 \text{ kW}$$

35. a)  $M_{\text{mono}} = 86,0892 \text{ g/mol}$  ;  $DP = n = \frac{688,7 \times 10^3}{86,089} = 8\,000$  unités monomères

b)  $0,5 \text{ mol} \times 8000 \times 2 \times 15,9994 = 128 \times 10^3 \text{ g} = 128 \text{ kg}$

c) oui, car ce polymère est amorphe

d) non, le comportement est vitreux lorsque la température d'utilisation est inférieure à la température de transition vitreuse.

36.  $n_{\text{Cl}} = \frac{67,7 \text{ g}}{36,46 \text{ g/mol}} = 1,8568 \text{ mol}$  = nombre de moles de Cl dans le PVC + nombre de moles de Cl dans le PVdC

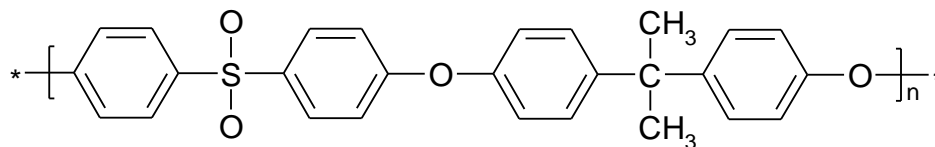
Soit  $x$  la fraction massique de PVC dans le mélange :

$$1,8568 = \frac{x \times 100}{62,4979} + \frac{(1-x) \times 100}{96,9427} \times 2$$

$$x = 0,445$$

Donc il y a 44,5% mas de PVC et 55,5% mas de PVdC dans le mélange.

37 Le motif monomère sera :



Sa masse molaire est 442,5 g/mol.

a) 443 kg/mol

b) En balançant les atomes de Na, on a  $2n = 1 + b$ , donc  $b = 2n - 1 = 1999$ .

c)  $25 \times (1999) \times 41,99 = 2,10 \times 10^3 \text{ kg}$