

**EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES GÉNÉRALES**  
**Sessions 2023 – QUESTIONNAIRE ÉCRIT**

|              |          |              |               |                   |  |
|--------------|----------|--------------|---------------|-------------------|--|
| Date :       | 08.06.23 | Durée :      | 08:15 - 10:45 | Numéro candidat : |  |
| Discipline : | Chimie   | Section(s) : | GIG           |                   |  |

**Équilibres chimiques et indication de la teneur de solutions (15 P.)**

**1. Équilibre chimique (1+1+4=6 P.)**

Le dihydrogène et le dioxyde de carbone réagissent dans une réaction d'équilibre pour former de la vapeur d'eau et du monoxyde de carbone. La réaction en phase gazeuse est réalisée à 700 °C dans un ballon avec un volume de 1 L.

- 1.1. Formulez l'équation de la réaction et déduisez-en la loi d'action de masse.
- 1.2. Dans quelle direction est-ce que l'équilibre est déplacé lorsque du monoxyde de carbone est enlevé du mélange réactionnel ? Justifiez votre réponse.
- 1.3. 0,75 mol de dihydrogène sont laissés réagir initialement avec 0,75 mol de dioxyde de carbone. Une fois l'équilibre établi, le mélange réactionnel contient 0,43 mol de dioxyde de carbone. Déterminez les concentrations molaires à l'équilibre de toutes les substances du mélange gazeux et calculez la valeur de la constante d'équilibre  $K_c$  à 700 °C.

**2. Décomposition du phosgène (4+1,5+1,5=7 P.)**

Le phosgène est un gaz incolore toxique de formule moléculaire  $\text{COCl}_2$ . Lors de la décomposition de ce composé un équilibre est établi avec du monoxyde de carbone et du dichlore comme produits. La réaction a lieu à 527 °C dans un récipient avec un volume de 0,5 L.

La constante d'équilibre  $K_c$  de cette **décomposition** vaut  $4,63 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$  à 527 °C.

- 2.1. Calculez la concentration molaire du phosgène à l'équilibre si 0,15 mol de dichlore et 0,15 mol de monoxyde de carbone sont laissés réagir dans le récipient à 527 °C.
- 2.2. Quelle influence a une réduction du volume sur l'équilibre et sur la valeur de la constante d'équilibre  $K_c$  ? Justifiez votre réponse.
- 2.3. Formulez la loi d'action des masses pour la **production** du phosgène à 527 °C et calculez la constante d'équilibre  $K'_c$  correspondante à cet équilibre.

**3. Teneur d'une solution d'hydroxyde de potassium (2 P.)**

100 g d'une solution concentrée d'hydroxyde de potassium contiennent 16,8 g d'hydroxyde de potassium pur. La masse volumique de cette solution vaut  $1,155 \text{ g/cm}^3$ .

Calculez les concentrations massique et molaire de cette solution.

**Réactions acide-base (20 P.)****4. Calculs de pH (3+3=6 P.)**

- 4.1.** On ajoute 30 mL d'une solution ( $c = 0,01 \text{ mol/L}$ ) d'hydroxyde de potassium à 5 mL d'une solution ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ ) d'hydroxyde de calcium. Calculez le pH de la solution finale.
- 4.2.** Dans un ballon jaugé de 100 mL, un morceau d'hydroxyde de sodium solide est dissout dans un peu d'eau distillée. Après la dissolution, le ballon est rempli jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.
- 20 mL de cette solution sont **titrés** avec de l'acide chlorhydrique ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ ) en présence d'un indicateur coloré. Le point d'équivalence est atteint après avoir ajouté 16,5 mL d'acide chlorhydrique. Calculez la concentration molaire initiale de la solution d'hydroxyde de sodium et le pH de la même solution. Déterminez la masse du morceau d'hydroxyde de sodium de départ.

**5. Mise en solution (3 P.)**

Quelle masse en acétate de sodium doit être ajoutée à 500 mL d'une solution d'acide acétique de concentration molaire  $c = 0,5 \text{ mol/L}$  pour atteindre un pH de 5,0 ? (La variation du volume est négligée.)

**6. Réactions acide-base des solutions de sels (4+2=6 P.)**

Dressez les équations pour la dissolution des sels suivants dans l'eau. Les solutions respectives sont-elles acides, neutres ou basiques ? Justifiez la réponse par le caractère acido-basique des ions et les équations de protolyse correspondantes.

- 6.1.** hydrogénosulfate d'ammonium
- 6.2.** nitrate de zinc (II)

**7. Titrage acido-basique (1+2+2=5 P.)**

25 mL d'une solution d'ammoniaque ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ ) sont titrés avec une solution d'acide chlorhydrique ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ ).

- 7.1.** Calculez le pH de la solution d'ammoniaque avant le titrage.
- 7.2.** Établissez l'équation chimique du titrage et calculez la valeur du pH au point de demi-équivalence après avoir ajouté 12,5 mL de la solution titrante.
- 7.3.** Calculez la valeur du pH au point d'équivalence et justifiez votre réponse en indiquant les ions. Formulez l'équation de protolyse correspondante.

## **Chimie organique (25 P.)**

### **8. Formules, forces intermoléculaires, alcanes et chloroalcanes (1,5+2,5+1+3=8 P.)**

- 8.1.** Définissez le terme « isomères ». Donnez un exemple en utilisant à chaque fois une formule brute et une formule semi-développée.
- 8.2.** Dessinez les formules semi-développées des trois composés suivants. Lequel de ces trois composés possède la température d'ébullition la plus basse ? Justifiez votre choix.
- 2-méthylhexane
  - 3,3-diméthylpentane
  - *n*-heptane
- 8.3.** Laquelle des trois substances ci-dessus (question 8.2.) possède la viscosité la plus élevée ? Justifiez votre choix.
- 8.4.** À l'aide des formules semi-développées, formulez l'équation chimique (sans mécanisme) pour la réaction sous l'influence de la lumière du chlorométhane avec le dichlore. Nommez le mécanisme et tous les produits de la réaction.

### **9. Alcools (4+3+3=10 P.)**

Trois alcanols de formule brute  $C_4H_{10}O$  sont étudiés et désignés dans un premier temps par les lettres A, B et C. Les trois alcools réagissent tous avec de l'oxyde de cuivre (II) chaud. Avec A et C, on obtient deux aldéhydes différents. À partir de B, on obtient une cétone. L'alcool A possède un point d'ébullition de 118 °C, l'alcool B un point d'ébullition de 100 °C et l'alcool C un point d'ébullition de 108 °C.

- 9.1.** Attribuez aux lettres A, B et C les formules semi-développées correctes des alcanols et donnez-en le nom systématique. Justifiez la classification effectuée.
- 9.2.** Expliquez comment et pourquoi le point d'ébullition de l'alcool A diffère de celui de l'acide propanoïque et du *n*-butanal. (Ces substances ont des masses molaires comparables.)
- 9.3.** Formulez une équation chimique avec des formules semi-développées pour la réaction de l'alcool B avec l'oxyde de cuivre (II) et montrez à l'aide des nombres d'oxydation qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction.

### **10. Réaction du 2-méthylbut-1-ène avec le bromure d'hydrogène (5+2=7 P.)**

- 10.1.** Formulez le mécanisme de la réaction à l'aide des formules semi-développées et nommez les deux produits de la réaction. Nommez également le type de cette réaction.
- 10.2.** Lequel des deux produits possibles est formé majoritairement ? Justifiez votre affirmation à l'aide des produits intermédiaires du mécanisme de réaction

Tableau avec les valeurs  $pK_A$  et  $pK_B$  en solution aqueuse à 25 °C

| $pK_A$             | acide                              |                                          | base correspondante                                 |                                | $pK_B$             |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Protolyse complète | acide perchlorique                 | $\text{HClO}_4$                          | $\text{ClO}_4^-$                                    | ion perchlorate                | Aucune protolyse   |
|                    | acide hydriodique                  | $\text{HI}$                              | $\text{I}^-$                                        | ion iodure                     |                    |
|                    | acide bromhydrique                 | $\text{HBr}$                             | $\text{Br}^-$                                       | ion bromure                    |                    |
|                    | acide chlorhydrique                | $\text{HCl}$                             | $\text{Cl}^-$                                       | ion chlorure                   |                    |
|                    | acide sulfurique                   | $\text{H}_2\text{SO}_4$                  | $\text{HSO}_4^-$                                    | ion hydrogénosulfate           |                    |
|                    | acide nitrique                     | $\text{HNO}_3$                           | $\text{NO}_3^-$                                     | ion nitrate                    |                    |
|                    | ion oxonium                        | $\text{H}_3\text{O}^+$                   | $\text{H}_2\text{O}$                                | eau                            |                    |
| 1,92               | ion hydrogénosulfate               | $\text{HSO}_4^-$                         | $\text{SO}_4^{2-}$                                  | ion sulfate                    | 12,08              |
| 2,13               | acide phosphorique                 | $\text{H}_3\text{PO}_4$                  | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$                           | ion dihydrogénophosphate       | 11,87              |
| 2,22               | ion hexaqua-fer(III)               | $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ | $[\text{Fe}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ | ion pentaqua-hydroxo-fer(III)  | 11,78              |
| 3,14               | acide fluorhydrique                | $\text{HF}$                              | $\text{F}^-$                                        | ion fluorure                   | 10,86              |
| 3,35               | acide nitreux                      | $\text{HNO}_2$                           | $\text{NO}_2^-$                                     | ion nitrite                    | 10,65              |
| 3,75               | acide formique (acide méthanoïque) | $\text{HCOOH}$                           | $\text{HCOO}^-$                                     | ion formiate (méthanoate)      | 10,25              |
| 4,75               | acide acétique (acide éthanoïque)  | $\text{CH}_3\text{COOH}$                 | $\text{CH}_3\text{COO}^-$                           | ion acétate (éthanoate)        | 9,25               |
| 4,85               | ion hexaqua-aluminium              | $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ | $[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ | ion pentaqua-hydroxo-aluminium | 9,15               |
| 6,52               | acide carbonique                   | $\text{H}_2\text{CO}_3$                  | $\text{HCO}_3^-$                                    | ion hydrogénocarbonate         | 7,48               |
| 6,92               | acide sulfhydrique                 | $\text{H}_2\text{S}$                     | $\text{HS}^-$                                       | ion hydrogénosulfure           | 7,08               |
| 7,00               | ion hydrogénosulfite               | $\text{HSO}_3^-$                         | $\text{SO}_3^{2-}$                                  | ion sulfite                    | 7,00               |
| 7,20               | ion dihydrogénophosphate           | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$                | $\text{HPO}_4^{2-}$                                 | ion hydrogénophosphate         | 6,80               |
| 9,25               | ion ammonium                       | $\text{NH}_4^+$                          | $\text{NH}_3$                                       | ammoniaque                     | 4,75               |
| 9,40               | acide cyanhydrique                 | $\text{HCN}$                             | $\text{CN}^-$                                       | ion cyanure                    | 4,60               |
| 9,60               | ion hexaqua-zinc(II)               | $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ | $[\text{Zn}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{+}$  | ion pentaqua-hydroxo-zinc(II)  |                    |
| 10,40              | ion hydrogénocarbonate             | $\text{HCO}_3^-$                         | $\text{CO}_3^{2-}$                                  | ion carbonate                  | 3,60               |
| 12,36              | ion hydrogénophosphate             | $\text{HPO}_4^{2-}$                      | $\text{PO}_4^{3-}$                                  | ion phosphate                  | 1,64               |
| 13,00              | ion hydrogénosulfure               | $\text{HS}^-$                            | $\text{S}^{2-}$                                     | ion sulfure                    | 1,00               |
|                    | eau                                | $\text{H}_2\text{O}$                     | $\text{OH}^-$                                       | ion hydroxyde                  |                    |
| Aucune protolyse   | éthanol                            | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$        | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-$                  | ion éthanolate                 | Protolyse complète |
|                    | méthanol                           | $\text{CH}_3\text{OH}$                   | $\text{CH}_3\text{O}^-$                             | ion méthanolate                |                    |
|                    | ammoniaque                         | $\text{NH}_3$                            | $\text{NH}_2^-$                                     | ion amide                      |                    |
|                    | ion hydroxyde                      | $\text{OH}^-$                            | $\text{O}^{2-}$                                     | ion oxyde                      |                    |
|                    | hydrogène                          | $\text{H}_2$                             | $\text{H}^-$                                        | ion hydrure                    |                    |

**Liste avec des indicateurs colorés**

| <b>indicateur coloré</b> | <b>forme acide</b> | <b>zone de virage</b> | <b>forme basique</b> | <b>pK<sub>A</sub></b> |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| bleu de thymol           | rouge              | 1,2 – 2,8             | jaune                | 1,7                   |
| orange de méthyle        | orange             | 3,1 – 4,4             | jaune                | 3,4                   |
| vert de bromocrésol      | jaune              | 3,8 – 5,4             | bleu                 | 4,7                   |
| rouge de méthyle         | rouge              | 4,2 – 6,3             | jaune                | 5,0                   |
| lackmus                  | bleu               | 5,0 – 8,0             | rouge                | 6,5                   |
| bleu de bromothymol      | jaune              | 6,0 – 7,7             | bleu                 | 7,1                   |
| bleu de thymol           | jaune              | 8,0 – 9,6             | bleu                 | 8,9                   |
| phénolphtaléine          | incolore           | 8,2 – 10              | rouge                | 9,4                   |
| thymolphtaléine          | incolore           | 9,3 - 10,5            | bleu                 | 10,0                  |
| Jaune d'alizarine R      | jaune              | 10,1 – 12,1           | rouge                | 11,2                  |

Tableau périodique des éléments chimiques

|           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1         | I A       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | VIII A    | 2         |
| <b>H</b>  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | <b>He</b> |
| 1,0079    | II A      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | III A     | IV A      | V A       | VI A      | VII A     | 4,0026    |
| 3         | 4         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
| <b>Li</b> | <b>Be</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | <b>B</b>  | <b>C</b>  | <b>N</b>  | <b>O</b>  | <b>F</b>  | <b>Ne</b> |
| 6,941     | 9,01218   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 10,81     | 12,011    | 14,0067   | 15,9994   | 18,9984   | 20,179    |
| 11        | 12        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        |
| <b>Na</b> | <b>Mg</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | <b>Al</b> | <b>Si</b> | <b>P</b>  | <b>S</b>  | <b>Cl</b> | <b>Ar</b> |
| 22,98977  | 24,305    | III B     | IV B      | V B       | VI B      | VII B     | VIII B    | VIII B    | VIII B    | I B       | II B      | 26,98154  | 28,086    | 30,97376  | 32,06     | 35,453    | 39,948    |
| 19        | 20        | 21        | 22        | 23        | 24        | 25        | 26        | 27        | 28        | 29        | 30        | 31        | 32        | 33        | 34        | 35        | 36        |
| <b>K</b>  | <b>Ca</b> | <b>Sc</b> | <b>Ti</b> | <b>V</b>  | <b>Cr</b> | <b>Mn</b> | <b>Fe</b> | <b>Co</b> | <b>Ni</b> | <b>Cu</b> | <b>Zn</b> | <b>Ga</b> | <b>Ge</b> | <b>As</b> | <b>Se</b> | <b>Br</b> | <b>Kr</b> |
| 39,098    | 40,08     | 44,9559   | 47,9      | 50,9414   | 51,996    | 54,938    | 55,847    | 58,9332   | 58,71     | 63,546    | 65,38     | 69,72     | 72,59     | 74,9216   | 78,96     | 79,904    | 83,8      |
| 37        | 38        | 39        | 40        | 41        | 42        | 43        | 44        | 45        | 46        | 47        | 48        | 49        | 50        | 51        | 52        | 53        | 54        |
| <b>Rb</b> | <b>Sr</b> | <b>Y</b>  | <b>Zr</b> | <b>Nb</b> | <b>Mo</b> | <b>Tc</b> | <b>Ru</b> | <b>Rh</b> | <b>Pd</b> | <b>Ag</b> | <b>Cd</b> | <b>In</b> | <b>Sn</b> | <b>Sb</b> | <b>Te</b> | <b>I</b>  | <b>Xe</b> |
| 85,4578   | 87,62     | 88,9059   | 91,22     | 92,9064   | 95,94     | 98,9062   | 101,07    | 102,9055  | 106,4     | 107,868   | 112,4     | 114,82    | 118,69    | 121,75    | 127,6     | 126,9045  | 131,3     |
| 55        | 56        | 57        | 72        | 73        | 74        | 75        | 76        | 77        | 78        | 79        | 80        | 81        | 82        | 83        | 84        | 85        | 86        |
| <b>Cs</b> | <b>Ba</b> | <b>La</b> | <b>Hf</b> | <b>Ta</b> | <b>W</b>  | <b>Re</b> | <b>Os</b> | <b>Ir</b> | <b>Pt</b> | <b>Au</b> | <b>Hg</b> | <b>Tl</b> | <b>Pb</b> | <b>Bi</b> | <b>Po</b> | <b>At</b> | <b>Rn</b> |
| 132,9054  | 137,34    | 138,9055  | 178,49    | 180,9479  | 183,85    | 186,2     | 190,2     | 192,22    | 195,09    | 196,9665  | 200,59    | 204,37    | 207,2     | 208,9804  | 209       | 210       | 222       |
| 87        | 88        | 89        | 104       | 105       | 106       | 107       | 108       | 109       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Fr</b> | <b>Ra</b> | <b>Ac</b> | §         | §         | §         | §         | §         | §         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| 223       | 226,0254  | 227,03    | 261       | 262       | 263       | 262       | 265       | 267       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|           |           |           |           | 58        | 59        | 60        | 61        | 62        | 63        | 64        | 65        | 66        | 67        | 68        | 69        | 70        | 71        |
|           |           |           |           | <b>Ce</b> | <b>Pr</b> | <b>Nd</b> | <b>Pm</b> | <b>Sm</b> | <b>Eu</b> | <b>Gd</b> | <b>Tb</b> | <b>Dy</b> | <b>Ho</b> | <b>Er</b> | <b>Tm</b> | <b>Yb</b> | <b>Lu</b> |
|           |           |           |           | 140,12    | 140,9077  | 144,24    | 145       | 150,4     | 151,96    | 157,25    | 158,9254  | 162,5     | 164,9304  | 197,26    | 168,9342  | 173,04    | 174,97    |
|           |           |           |           | 90        | 91        | 92        | 93        | 94        | 95        | 96        | 97        | 98        | 99        | 100       | 101       | 102       | 103       |
|           |           |           |           | <b>Th</b> | <b>Pa</b> | <b>U</b>  | <b>Np</b> | <b>Pu</b> | <b>Am</b> | <b>Cm</b> | <b>Bk</b> | <b>Cf</b> | <b>Es</b> | <b>Fm</b> | <b>Md</b> | <b>No</b> | <b>Lr</b> |
|           |           |           |           | 232,0381  | 231,0359  | 238,029   | 237,0482  | 244       | 243       | 247       | 249       | 251       | 254       | 257       | 258       | 259       | 260       |