# Bac Physique Chimie - Amérique du Nord 2026 - Jour 1

## Exercice 1 : Valorisation du dioxyde de carbone dans les cimenteries

## 1. Captage de la molécule de dioxyde de carbone par la molécule d'éthanolamine

### Q.1

Sur la molécule d'éthanolamine, on identifie deux groupes caractéristiques :

Le groupe hydroxyle ($-OH$), correspondant à la famille des alcools.

Le groupe amino ($-NH_2$), correspondant à la famille des amines.

### Q.2

Considérons un volume $V = 1,0$ L de la solution. Sa densité étant de $1,0$, sa masse est de $m_{sol} = d \times \rho_{eau} \times V = 1,0 \times 1000 \times 1,0 = 1000$ g. Comme la solution est à $20$ % en masse, la masse d'éthanolamine est :

$m_{MEA} = 0,20 \times 1000 = 200 \text{ g}$

La quantité de matière d'éthanolamine correspondante est :

$n = \frac{m_{MEA}}{M} = \frac{200}{61,0} \approx 3,28 \text{ mol}$

La concentration en quantité de matière de la solution est donc bien :

$C = \frac{n}{V} = \frac{3,28}{1,0} \approx 3,3 \text{ mol\textbackslash cdot L}^{-1}$

## Q.3

Sur un axe de $pH$ allant de $0$ à $14$, la séparation des domaines s'opère à $pH = pK_A = 9,5$. Pour $pH < 9,5$, la forme acide $C_2H_8NO^+$ prédomine. Pour $pH > 9,5$, c'est la forme basique (l'éthanolamine $C_2H_7NO$) qui prédomine.

## Q.4

La mesure indique $pH = 11$. Puisque $pH > pK_A$, l'éthanolamine est majoritairement présente sous sa forme basique en solution.

## Q.5

Par définition, le taux d'avancement final $\tau$ est le rapport entre l'avancement final et l'avancement maximal :

$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$

## Q.6

L'eau étant en large excès, l'éthanolamine est le réactif limitant. L'avancement maximal est atteint si la totalité de l'éthanolamine est consommée :

$$x_{max} = C \cdot V$$

## Q.7

L'avancement final correspond à la quantité d'ions hydroxyde formés : $x_f = [HO^-]_f \cdot V$. Le taux d'avancement s'écrit donc :

$$\tau = \frac{[HO^-]_f \cdot V}{C \cdot V} = \frac{[HO^-]_f}{C}$$

En utilisant l'expression du produit ionique de l'eau, on a $K_e = \frac{[H_3O^+]_f \cdot [HO^-]_f}{(c^\circ)^2}$, d'où on tire :

$$[HO^-]_f = \frac{K_e \cdot (c^\circ)^2}{[H_3O^+]_f} = \frac{K_e \cdot (c^\circ)^2}{c^\circ \cdot 10^{-pH}} = \frac{K_e \cdot c^\circ}{10^{-pH}}$$

En injectant cette relation dans l'expression de $\tau$, on trouve bien :

$$\tau = \frac{K_e \cdot c^\circ}{C \cdot 10^{-pH}}$$

## Q.8

En effectuant l'application numérique avec $C = 3,3$ mol/L et $pH = 11$ :

$$\tau = \frac{1,0 \times 10^{-14} \times 1}{3,3 \times 10^{-11}} \approx 3,0 \times 10^{-4}$$

On constate que $\tau \ll 1$. La transformation est très limitée, ce qui confirme que l'éthanolamine est une base faible dans l'eau.

## Q.9

Le zwitterion (la molécule présentant à la fois une charge positive sur l'atome d'azote et une charge négative sur l'atome d'oxygène, située à la fin de l'étape 1) est l'intermédiaire réactionnel. Il est justifié par le fait qu'il est produit lors de la première étape et consommé lors de la seconde.

## Q.10

Lors de l'étape 1, on représente une première flèche courbe partant du doublet non liant de l'atome d'azote (site donneur) et pointant vers l'atome de carbone du dioxyde de carbone (site accepteur, du fait de la différence d'électronégativité). Une seconde flèche courbe part d'une des doubles liaisons $C=O$ et se rabat sur l'atome d'oxygène adjacent pour former un doublet non liant supplémentaire. Ces flèches justifient le transfert de paires d'électrons d'un site riche en électrons vers un site déficitaire.

## 2. Contrôle qualité d'une solution d'éthanolamine

## Q.11

Pour préparer un volume $V = 250,0$ mL d'une solution diluée $50$ fois, il faut prélever un volume de solution mère $V_0 = \frac{250,0}{50} = 5,0$ mL. Afin de garantir la précision de la dilution, la verrerie choisie est :

Une pipette jaugée de $5,0$ mL (pour le prélèvement précis).

Une fiole jaugée de $250,0$ mL (pour la préparation de la solution diluée).

## Q.12

L'équivalence d'un titrage correspond au moment où les réactifs titrant et titré ont été introduits puis consommés dans les proportions stœchiométriques de l'équation de la réaction de titrage. Il y a alors changement de réactif limitant.

## Q.13

En utilisant la méthode de la dérivée (courbe en pointillés représentant $\frac{dpH}{dV}$), le volume à l'équivalence $V_E$ est repéré par l'extremum (le minimum très marqué sur le graphe). La lecture graphique donne un volume :

$$V_E = 14,0 \text{ mL}$$

## Q.14

A l'équivalence, la relation de stœchiométrie donne $C_{S50} \cdot V_B = C_A \cdot V_E$. La concentration de la solution diluée est :

$$C_{S50} = \frac{C_A \cdot V_E}{V_B} = \frac{0{,}10 \times 14{,}0}{25{,}0} = 0,056 \text{ mol\cdot L}^{-1}$$

La solution S étant $50$ fois plus concentrée :

$$C_S = 50 \times 0,056 = 2,8 \text{ mol\cdot L}^{-1}$$

Pour déterminer le titre massique de la solution S, évaluons la masse d'éthanolamine $m_{MEA}$ contenue dans $1,0$ L de solution :

$m_{MEA} = C_S \times M = 2,8 \times 61,0 = 170,8 \text{ g}$

La masse de $1,0$ L de solution S est $m_{sol} = 1000$ g (puisque $d = 1,0$). Le titre massique vaut donc :

$t = \frac{m_{MEA}}{m_{sol}} = \frac{170,8}{1000} \approx 0,17$

Le titre massique de la solution S est d'environ $17$ %.

## Q.15

Le titre de $17$ % se situe entre les repères du tableau ($15$ % et $20$ %). L'efficacité de captation sera qualifiée de moyenne (entre faible et bonne) tandis que la tolérance à la corrosion restera très satisfaisante. La solution peut toujours être utilisée pour capter le $CO_2$, bien que ses performances optimales aient légèrement diminué par rapport à une solution titrée initialement à $20$ %.

## 3. Production de méthanol à partir du dioxyde de carbone capté

## Q.16

La réaction de synthèse du méthanol à partir de dioxyde de carbone et de dihydrogène, formant également de l'eau, a pour équation :

$CO_2 + 3H_2 \longrightarrow CH_3OH + H_2O$

## Q.17

La masse de dihydrogène nécessaire est de $37\,500$ tonnes, soit $3,75 \times 10^7$ kg. L'énergie requise est donc :

$$E = 3,75 \times 10^7 \times 55 = 2,0625 \times 10^9 \text{ kW\cdot h}$$

La puissance totale des électrolyseurs étant $P = 330 \text{ MW} = 3,30 \times 10^5$ kW, la durée de production s'exprime par :

$$\Delta t = \frac{E}{P} = \frac{2,0625 \times 10^9}{3,30 \times 10^5} = 6250 \text{ h}$$

## Q.18

En convertissant cette durée en jours :

$$\Delta t = \frac{6250}{24} \approx 260 \text{ jours}$$

Cette durée est inférieure aux $365$ jours de l'année. La puissance des électrolyseurs est donc parfaitement suffisante pour assurer la production attendue.

## Exercice 2 : L'effet photoélectrique et ses applications

## 1. Une approche historique de l'effet photoélectrique

## Q.1

L'effet photoélectrique correspond à l'émission d'électrons par un matériau (généralement un métal) lorsqu'il est éclairé par un rayonnement électromagnétique de fréquence suffisamment élevée (c'est-à-dire une énergie des photons supérieure au travail d'extraction du matériau).

## Q.2

La fréquence seuil $\nu_s$ est atteinte lorsque l'énergie du photon incident correspond exactement au travail d'extraction :

$$\nu_s = \frac{W_{ext}}{h} = \frac{4{,}3 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} \approx 1,04 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

## Q.3

La longueur d'onde seuil correspondante s'obtient avec la célérité de la lumière :

$$\lambda_s = \frac{c}{\nu_s} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{1{,}04 \times 10^{15}} \approx 2,89 \times 10^{-7} \text{ m} = 289 \text{ nm}$$

Puisque $\lambda_s < 400$ nm, cette radiation appartient au domaine des ondes électromagnétiques ultraviolettes (UV).

## Q.4

On éclaire avec une radiation de longueur d'onde $\lambda = 250$ nm. Comme $\lambda < \lambda_s$ (ou de façon équivalente $\nu > \nu_s$), l'énergie du photon incident est supérieure au travail d'extraction du zinc. Par conséquent, l'effet photoélectrique se produit.

## Q.5

Le principe de conservation de l'énergie indique que l'énergie du photon incident se répartit entre le travail d'extraction de l'électron et son énergie cinétique finale :

$$E_{photon} = W_{ext} + E_c$$

En remplaçant les termes par leurs expressions ($E_{photon} = h\nu$, $W_{ext} = h\nu_s$ et $E_c = \frac{1}{2}m_e v^2$), on obtient :

$$\frac{1}{2}m_e v^2 = h\nu - h\nu_s = h(\nu - \nu_s) \implies v = \sqrt{\frac{2h(\nu-\nu_s)}{m_e}}$$

## Q.6

On détermine d'abord la fréquence de la radiation incidente :

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}00\times10^8}{250\times10^{-9}} = 1,20 \times 10^{15}\ \mathrm{Hz}$$

La valeur de la vitesse d'éjection des électrons est alors :

$$v = \sqrt{\frac{2\times6{,}63\times10^{-34}\times(1{,}20\times10^{15}-1{,}04\times10^{15})}{9{,}11\times10^{-31}}} \approx 4,8 \times 10^5\ \mathrm{m/s}$$

## Q.7

Le paramètre influençant la vitesse d'éjection est la fréquence $\nu$ de la radiation incidente (et par extension, sa longueur d'onde $\lambda$). Pour augmenter la vitesse, il faut augmenter la fréquence $\nu$, ce qui correspond à diminuer la longueur d'onde $\lambda$.

# 2. Étude d'un panneau photovoltaïque

## Q.8

Le rendement d'un panneau est donné par le rapport entre la puissance électrique maximale qu'il délivre et la puissance lumineuse qu'il reçoit :

$\eta = \frac{P_{max}}{P_{lum}}$

La surface utile du panneau s'élève à $S = 1,346 \times 1,112 \approx 1,497$ m². La puissance lumineuse reçue pour un éclairement $E = 800$ W/m² est :

$P_{lum} = E \times S = 800 \times 1,497 \approx 1198 \text{ W}$

D'après la figure 2, la courbe de puissance (en rouge) pour $800$ W/m² atteint son maximum pour une valeur d'environ $P_{max} = 145$ W. On en déduit :

$\eta = \frac{145}{1198} \approx 0,121$

Le rendement de ce panneau dans les conditions optimales s'élève à $12,1$ %.

## Q.9

L'énergie surfacique moyenne journalière est de $4,1$ kW.h/m². Sur l'année, chaque panneau reçoit une énergie lumineuse :

$E_{lum} = 4,1 \times 365 \times 1,497 \approx 2240 \text{ kW\cdot h}$

Le rendement moyen annuel étant de $10$ %, un panneau produit en un an :

$E_{elec} = E_{lum} \times 0,10 \approx 224 \text{ kW\cdot h}$

Le particulier souhaite couvrir la moitié de sa consommation annuelle, ce qui représente $E_{besoin} = \frac{7500}{2} = 3750$ kW.h. Le nombre de panneaux $N$ à installer est :

$N = \frac{3750}{224} \approx 16,7$

Il sera donc nécessaire d'installer $17$ panneaux. Cela représentera une surface totale sur la toiture d'environ $25,5$ m², ce qui est un encombrement tout à fait réaliste pour l'installation sur une maison individuelle.

## Exercice 3 : La Wemba-mania

### Q.1

D'après la modélisation de la figure 2, l'équation horaire sur l'axe horizontal est $x = 4,0 \times t$. La coordonnée $x$ étant une fonction linéaire du temps, la vitesse selon cet axe (la dérivée par rapport au temps) est constante. La trajectoire projetée étant une droite, le mouvement selon l'axe $Ox$ est rectiligne uniforme.

### Q.2

En dérivant l'expression de la modélisation de la figure 2, la vitesse selon $Ox$ est la constante de proportionnalité :

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 4,0 \text{ m/s}$$

### Q.3

D'après la figure 3, la modélisation de la composante verticale s'écrit $v_y = -9,7 \times t + 5,0$. La vitesse initiale correspond à la valeur à l'instant $t = 0$ s :

$$v_{y0} = 5,0 \text{ m/s}$$

# Q.4

La norme du vecteur vitesse initiale $\vec{v_0}$ se calcule à partir de ses composantes :

$$v_0 = \sqrt{v_x^2 + v_{y0}^2} = \sqrt{4,0^2 + 5,0^2} \approx 6,4 \text{ m/s}$$

L'angle $\alpha$ est donné par la trigonométrie, sachant que $\tan(\alpha) = \frac{v_{y0}}{v_x}$ :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{5,0}{4,0}\right) \approx 51^\circ$$

# Q.5

D'après la deuxième loi de Newton, le ballon (de masse $m$) étant uniquement soumis à son poids $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, l'équation de la dynamique s'écrit $m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$, ce qui implique $\vec{a} = \vec{g}$. En projetant sur les axes du repère, sachant que l'axe $Oy$ est orienté vers le haut, on obtient :

$$a_x(t) = 0$$
$$a_y(t) = -g = -9,81 \text{ m/s}^2$$

# Q.6

En intégrant une première fois par rapport au temps et en utilisant les vitesses initiales déterminées ( $v_{x0} = 4,0$ et $v_{y0} = 5,0$), les équations de la vitesse sont :

$$v_x(t) = 4,0$$
$$v_y(t) = -9,81 \times t + 5,0$$

On intègre une seconde fois pour obtenir les équations horaires de position. À l'instant initial $t = 0$, le ballon se trouve en $x_0 = 0$ m et à la hauteur $y_0 = 3,05$ m. En arrondissant $\frac{9,81}{2} \approx 4,9$, on retrouve bien :

$x(t) = 4,0 \times t$
$y(t) = -4,9 \times t^2 + 5,0 \times t + 3,05$

## Q.7

Pour déterminer l'équation de la trajectoire, on isole le temps $t$ à l'aide de la coordonnée $x$ :

$t = \frac{x}{4,0}$

On remplace $t$ par cette expression dans l'équation de $y(t)$ :

$y(x) = -4,9 \times \left(\frac{x}{4,0}\right)^2 + 5,0 \times \left(\frac{x}{4,0}\right) + 3,05$

$y(x) = -\frac{4,9}{16} \times x^2 + \frac{5,0}{4,0} \times x + 3,05$

Ce qui donne, après simplification et en limitant les coefficients à deux chiffres significatifs comme proposé :

$y(x) \approx -0,31x^2 + 1,3x + 3,05$

## Q.8

Pour déterminer si le lancer est réussi sans que le ballon (de rayon $r = \frac{d}{2} = 12,5$ cm) ne touche le cercle, calculons sa position au moment du franchissement de l'altitude du panier ($y = 3,05$ m) :

$-0,31x^2 + 1,3x + 3,05 = 3,05 \implies -0,31x^2 + 1,3x = 0$

La solution non nulle correspond à l'abscisse du centre du ballon lors du franchissement :

$x_{ballon} = \frac{1,3}{0,31} \approx 4,19 \text{ m}$

Le centre du cerceau du panier se situe en $x = 4,20$ m et le rayon du cerceau est de $R = \frac{0,45}{2} = 22,5$ cm. Les bords avant et arrière de l'anneau métallique sont donc positionnés à :

$x_{avant} = 4,20 - 0,225 = 3,975$ m

$x_{arriere} = 4,20 + 0,225 = 4,425$ m

L'encombrement du ballon, repéré par ses extrémités, s'étend de $x_{min} = 4,19 - 0,125 = 4,065$ m à $x_{max} = 4,19 + 0,125 = 4,315$ m. Ces deux valeurs étant strictement comprises entre $3,975$ m et $4,425$ m, le ballon passe largement à l'intérieur des limites de l'arceau. Le lancer est donc réussi sans toucher le cercle métallique du panier.