

# Corrigé – Physique-Chimie 2026 Amérique du Nord Jour 1

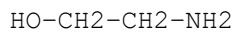
Le sujet comporte 3 exercices : chimie acido-basique et titrage, effet photoélectrique et photovoltaïque, puis mouvement d'un projectile appliqué à un lancer franc.

Il mobilise bien les compétences attendues : exploiter une courbe, mener un calcul scientifique, justifier une démarche, utiliser les lois de Newton et les modèles acido-basiques.

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

### Q1. Groupes caractéristiques de l'éthanolamine

L'éthanolamine a pour formule semi-développée :



On repère deux groupes caractéristiques :

-OH : groupe hydroxyle → famille des alcools

-NH<sub>2</sub> : groupe amino → famille des amines

Donc l'éthanolamine appartient à deux familles fonctionnelles :

alcool

amine

### Q2. Vérification de la concentration C

On considère :

$$V = 1,0 \text{ L}$$

$$d = 1,0$$

$$\rho \approx 1,00 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

Donc la masse de solution vaut :

$$m_{\text{solution}} = 1000 \text{ g}$$

La solution contient 20 % en masse d'éthanolamine :

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

Quantité de matière :

$$n = m / M$$

$$n = 200 / 61,0$$

$$n = 3,28 \text{ mol}$$

Concentration :

$$C = n / V$$

$$C = 3,28 / 1,0$$

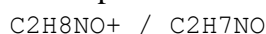
$$C \approx 3,3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

On retrouve bien :

$$C = 3,3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

### Q3. Diagramme de prédominance

Le couple est :



avec :

$$pK_A = 9,5$$

Diagramme :

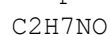
$$pH < 9,5$$

$$pH = 9,5$$

$$pH > 9,5$$



|



forme acide

forme basique

### Q4. Forme prédominante dans la solution

La solution a :

$$pH = 11$$

Or :

$$11 > 9,5$$

Donc la forme basique prédomine :

C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO

L'éthanolamine est donc majoritairement présente sous sa forme basique.

## Q5. Expression du taux d'avancement

Par définition :

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

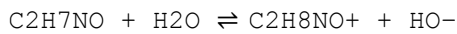
avec :

$x_f$  : avancement final

$x_{\max}$  : avancement maximal

## Q6. Expression de $x_{\max}$

La réaction est :



L'eau est en large excès. Le réactif limitant est donc l'éthanolamine.

Quantité initiale d'éthanolamine :

$$n_0 = C \times V$$

Donc :

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

## Q7. Démonstration de l'expression de $\tau$

À l'équilibre, d'après l'équation :

$$x_f = n(\text{HO}^-)$$

Or :

$$[\text{HO}^-] = x_f / V$$

Donc :

$$x_f = [\text{HO}^-] \times V$$

Le taux d'avancement vaut :

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

$$\tau = ([\text{HO}^-] \times V) / (C \times V)$$

$$\tau = [\text{HO}^-] / C$$

Avec le produit ionique de l'eau :

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{HO}^-] / (c^\circ)^2$$

Donc :

$$[\text{HO}^-] = K_e \times (c^\circ)^2 / [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Comme :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c^\circ \times 10^{(-\text{pH})}$$

on obtient :

$$[\text{HO}^-] = K_e \times c^\circ / 10^{(-\text{pH})}$$

Donc :

$$\tau = K_e \times c^\circ / (C \times 10^{(-\text{pH})})$$

## Q8. Calcul de $\tau$

Données :

$$K_e = 1,0 \times 10^{-14}$$

$$C = 3,3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{pH} = 11$$

$$c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Donc :

$$\tau = (1,0 \times 10^{-14}) / (3,3 \times 10^{-11})$$

$$\tau \approx 3,0 \times 10^{-4}$$

Le taux d'avancement est très faible :

$$\tau \approx 0,00030$$

Cela signifie que la réaction de l'éthanolamine avec l'eau est très limitée. L'éthanolamine est donc une base faible, ce qui est cohérent avec l'énoncé.

## Q9. Intermédiaire réactionnel

Un intermédiaire réactionnel est une espèce :

formée dans une étape

puis consommée dans une étape suivante

Ici, l'espèce chargée formée à l'étape 1, puis consommée à l'étape 2, est un intermédiaire réactionnel.

Elle n'apparaît pas dans le bilan global de la transformation.

## Q10. Flèches courbes de l'étape 1

Dans l'étape 1 :

- le doublet non liant de l'atome d'azote de l'éthanolamine attaque le carbone du CO<sub>2</sub> ;
- le carbone du CO<sub>2</sub> est électrophile car il est lié à deux oxygènes très électronégatifs ;
- une liaison N-C se forme ;
- un doublet de la liaison C=O se déplace vers l'oxygène.

Sens des flèches :

doublet libre de N → carbone du CO<sub>2</sub>

liaison π C=O → oxygène

Une flèche courbe part toujours d'une zone riche en électrons vers une zone pauvre en électrons.

## 2. Contrôle qualité de la solution d'éthanolamine

### Q11. Préparation de 250,0 mL de solution S50

La solution est diluée 50 fois.

On veut préparer :

$$V_f = 250,0 \text{ mL}$$

Volume de solution mère à prélever :

$$V_m = V_f / 50$$

$$V_m = 250,0 / 50$$

$$V_m = 5,0 \text{ mL}$$

Matériel à choisir :

pipette jaugée de 5,0 mL

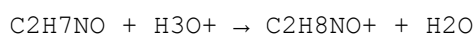
fiole jaugée de 250,0 mL

Justification : la pipette jaugée permet de prélever précisément 5,0 mL et la fiole jaugée permet d'obtenir précisément 250,0 mL après dilution.

### Q12. Définition de l'équivalence

À l'équivalence d'un titrage, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.

Ici :



Les coefficients sont 1 et 1.

Donc à l'équivalence :

$$n(\text{C}_2\text{H}_7\text{NO})_{\text{initial}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versé}}$$

### Q13. Volume à l'équivalence

Sur la courbe pH-métrique, l'équivalence correspond au point d'inflexion de la courbe  $\text{pH} = f(V)$ .

On peut aussi utiliser la courbe dérivée : l'équivalence correspond à l'extrémum de  $d(\text{pH})/dV$ .

Lecture graphique :

$$V_E \approx 14,3 \text{ mL}$$

Une valeur entre 14,0 mL et 14,5 mL est acceptable selon la lecture graphique.

### Q14. Titre massique de la solution S

À l'équivalence :

$$n_B = n_A$$

Donc :

$$C_B \times V_B = C_A \times V_E$$

Données :

$$C_A = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$V_E = 14,3 \text{ mL} = 14,3 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$V_B = 25,0 \text{ mL} = 25,0 \times 10^{-3} \text{ L}$$

Donc :

$$C_B = C_A \times V_E / V_B$$

$$C_B = 0,10 \times 14,3 / 25,0$$

$$C_B \approx 5,72 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La solution S50 a donc :

$$C_B \approx 0,057 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Comme S50 est une dilution 50 fois de S :

$$C_S = 50 \times C_B$$

$$C_S = 50 \times 0,0572$$

$$C_S \approx 2,86 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Concentration massique :

$$C_m = C_S \times M$$

$$C_m = 2,86 \times 61,0$$

$$C_m \approx 174 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

La masse d'un litre de solution vaut environ :

$$1000 \text{ g}$$

Donc le titre massique vaut :

$$w = 174 / 1000 \times 100$$

$$w \approx 17,4 \%$$

Réponse :

$$\text{Titre massique} \approx 17 \%$$

## Q15. Commentaire sur l'utilisation de la solution

D'après le tableau, une solution à 15 % a une efficacité faible mais une très bonne tolérance à la corrosion, tandis qu'une solution à 20 % a une efficacité bonne et une corrosion acceptable.

La solution trouvée est d'environ :

$$17 \%$$

Elle est donc entre 15 % et 20 %.

Conclusion :

La solution peut encore être utilisée, mais son efficacité de captage est inférieure à celle d'une solution à 20 %.

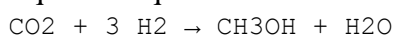
Elle est moins corrosive qu'une solution plus concentrée, mais elle n'est pas optimale pour capter le CO<sub>2</sub>.

## 3. Production de méthanol

### Q16. Équation de réaction

Le méthanol est formé à partir de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>, avec production d'eau.

Équation équilibrée :



Vérification :

- carbone : 1 de chaque côté ;
- hydrogène : 6 à gauche, 4 + 2 = 6 à droite ;
- oxygène : 2 de chaque côté.

### Q17. Durée nécessaire pour produire le dihydrogène

Masse de dihydrogène :

$$m = 37\,500 \text{ tonnes}$$

$$m = 37\,500\,000 \text{ kg}$$

Énergie nécessaire :

55 kW·h par kg

Donc :

$$E = 37\,500\,000 \times 55$$

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

Puissance des électrolyseurs :

$$P = 330 \text{ MW} = 330\,000 \text{ kW}$$

Durée :

$$t = E / P$$

$$t = 2,0625 \times 10^9 / 330\,000$$

$$t \approx 6250 \text{ h}$$

En jours :

$$6250 / 24 \approx 260 \text{ jours}$$

## Q18. Puissance suffisante ?

Une année contient :

$$365 \times 24 = 8760 \text{ h}$$

La durée nécessaire est :

$$6250 \text{ h}$$

Or :

$$6250 \text{ h} < 8760 \text{ h}$$

Donc la puissance installée est suffisante pour produire la quantité annuelle de dihydrogène prévue, à condition que les électrolyseurs fonctionnent suffisamment longtemps sur l'année.

## Exercice 2 — Effet photoélectrique et applications

### Q1. Décrire l'effet photoélectrique

L'effet photoélectrique correspond à l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est éclairé par une radiation de fréquence suffisamment grande.

Il existe une fréquence seuil :

si  $\nu < \nu_s$  : pas d'émission

si  $\nu \geq \nu_s$  : émission d'électrons

L'énergie lumineuse est apportée par des photons.

### Q2. Fréquence seuil du zinc

Données :

$$W_{\text{ext}} = 4,3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Conversion :

$$W_{\text{ext}} = 4,3 \times 1,60 \times 10^{-19}$$

$$W_{\text{ext}} = 6,88 \times 10^{-19} \text{ J}$$

À la fréquence seuil :

$$h\nu_s = W_{\text{ext}}$$

Donc :

$$\nu_s = W_{\text{ext}} / h$$

$$\nu_s = 6,88 \times 10^{-19} / 6,63 \times 10^{-34}$$

$$\nu_s \approx 1,04 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Réponse :

$$\nu_s \approx 1,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

### Q3. Longueur d'onde seuil

$$\lambda_s = c / \nu_s$$

Avec :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\nu_s = 1,04 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Donc :

$$\lambda_s = 3,00 \times 10^8 / 1,04 \times 10^{15}$$

$$\lambda_s \approx 2,9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Soit :

$$\lambda_s \approx 290 \text{ nm}$$

Cette longueur d'onde appartient au domaine ultraviolet.

## Q4. Effet photoélectrique pour $\lambda = 250 \text{ nm}$

La radiation utilisée a :

$$\lambda = 250 \text{ nm}$$

Or :

$$250 \text{ nm} < 290 \text{ nm}$$

Donc sa fréquence est plus grande que la fréquence seuil.

Conclusion :

l'effet photoélectrique se produit.

## Q5. Expression de la vitesse d'éjection

Bilan énergétique :

énergie du photon = travail d'extraction + énergie cinétique de l'électron

Donc :

$$h\nu = h\nu_s + 1/2 m_e v^2$$

Ainsi :

$$1/2 m_e v^2 = h(\nu - \nu_s)$$

Donc :

$$v^2 = 2h(\nu - \nu_s) / m_e$$

Finalement :

$$v = \sqrt{[2h(\nu - \nu_s) / m_e]}$$

## Q6. Calcul de la vitesse

Pour :

$$\lambda = 250 \text{ nm}$$

on a :

$$\nu = c / \lambda$$

$$\nu = 3,00 \times 10^8 / 250 \times 10^{-9}$$

$$\nu = 1,20 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

On sait :

$$\nu_s = 1,04 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Donc :

$$\nu - \nu_s \approx 1,6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Calcul :

$$v = \sqrt{[2 \times 6,63 \times 10^{-34} \times 1,6 \times 10^{14} / 9,11 \times 10^{-31}]}$$

$$v \approx 4,9 \times 10^5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Réponse :

$$v \approx 4,9 \times 10^5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

## Q7. Paramètre influençant la vitesse

La vitesse dépend de :

$$v - \nu_s$$

Donc elle dépend de la fréquence de la radiation.

Pour augmenter la vitesse des électrons, il faut :

augmenter la fréquence  $\nu$

ou, ce qui revient au même :

diminuer la longueur d'onde  $\lambda$

Attention : augmenter l'intensité lumineuse augmente le nombre d'électrons émis, mais pas leur vitesse maximale.

## 2. Panneau photovoltaïque

### Q8. Rendement du panneau

Dimensions :

$$L = 1346 \text{ mm} = 1,346 \text{ m}$$

$$l = 1112 \text{ mm} = 1,112 \text{ m}$$

Surface :

$$S = L \times l$$

$$S = 1,346 \times 1,112$$

$$S \approx 1,50 \text{ m}^2$$

Éclairement :

$$E = 800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Puissance lumineuse reçue :

$$P_{\text{lum}} = E \times S$$

$$P_{\text{lum}} = 800 \times 1,50$$

$$P_{\text{lum}} \approx 1,20 \times 10^3 \text{ W}$$

Sur le graphique, pour  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , la puissance maximale vaut environ :

$$P_{\text{max}} \approx 135 \text{ W}$$

Rendement :

$$\eta = P_{\text{max}} / P_{\text{lum}}$$

$$\eta = 135 / 1200$$

$$\eta \approx 0,113$$

Donc :

$$\eta \approx 11 \%$$

### Q9. Nombre de panneaux nécessaires

Le particulier consomme :

$$7500 \text{ kW} \cdot \text{h par an}$$

Il souhaite couvrir la moitié :

$$E_{\text{utile}} = 3750 \text{ kW} \cdot \text{h par an}$$

Énergie surfacique reçue chaque jour :

$$4,1 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$$

Surface d'un panneau :

$$S \approx 1,50 \text{ m}^2$$

Énergie lumineuse reçue par un panneau chaque jour :

$$E_{\text{reçue}} = 4,1 \times 1,50$$

$$E_{\text{reçue}} \approx 6,15 \text{ kW} \cdot \text{h par jour}$$

Rendement moyen annuel :

$$\eta = 10 \% = 0,10$$

Énergie électrique produite par jour par un panneau :

$$E_{\text{élec}} = 0,10 \times 6,15$$

$$E_{\text{élec}} \approx 0,615 \text{ kW} \cdot \text{h par jour}$$

Sur un an :

$$E_{\text{an}} = 0,615 \times 365$$

$$E_{\text{an}} \approx 224 \text{ kW} \cdot \text{h par an}$$

Nombre de panneaux :

$$N = 3750 / 224$$

$$N \approx 16,7$$

Il faut donc installer :

$$17 \text{ panneaux}$$

Commentaire : c'est un nombre plausible, mais il faut disposer d'une surface suffisante :

$$17 \times 1,50 \approx 25,5 \text{ m}^2$$

Il faudra donc environ 25 m<sup>2</sup> de toiture bien exposée.

### Exercice 3 — La Wemba-mania

Le sujet étudie le lancer franc comme un mouvement de projectile dans le champ de pesanteur. Le référentiel terrestre est supposé galiléen et le ballon est uniquement soumis à son poids.

#### Q1. Nature du mouvement selon Ox

La figure 2 donne :

$$x = 4,0 \times t$$

La coordonnée x est une fonction affine du temps.

Donc :

$$v_x = \text{constante}$$

Le mouvement selon l'axe Ox est donc :

rectiligne uniforme

#### Q2. Valeur de vx

Comme :

$$x(t) = 4,0 \times t$$

alors :

$$v_x = dx/dt$$

$$v_x = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

#### Q3. Valeur de vy0

La figure 3 donne :

$$v_y = -9,7 \times t + 5,0$$

À t = 0 :

$$v_{y0} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

#### Q4. Vitesse initiale et angle $\alpha$

On a :

$$v_{x0} = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{y0} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vitesse initiale :

$$v_0 = \sqrt{(v_{x0})^2 + (v_{y0})^2}$$

$$v_0 = \sqrt{(4,0)^2 + (5,0)^2}$$

$$v_0 = \sqrt{41}$$

$$v_0 \approx 6,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Angle avec l'horizontale :

$$\tan \alpha = v_{y0} / v_{x0}$$

$$\tan \alpha = 5,0 / 4,0$$

$$\tan \alpha = 1,25$$

Donc :

$$\alpha \approx 51^\circ$$

Réponse :

$$v_0 \approx 6,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\alpha \approx 51^\circ$$

#### Q5. Coordonnées de l'accélération

Le ballon est uniquement soumis à son poids :

$$P = m g$$

D'après la deuxième loi de Newton :

$$\Sigma F = m a$$

Donc :

$$m g = m a$$

Ainsi :

$$a = g$$

Dans le repère choisi :

$$a_x = 0$$

$$a_y = -g$$

Donc :

$$a_x(t) = 0$$

$$a_y(t) = -9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

La valeur expérimentale  $-9,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  est cohérente avec  $-g$ .

## Q6. Équations horaires

Selon  $O_x$  :

$$a_x = 0$$

Donc :

$$v_x = \text{constante} = 4,0$$

et comme :

$$x_0 = 0$$

on obtient :

$$x(t) = 4,0t$$

Selon  $O_y$  :

$$a_y = -g \approx -9,8$$

Donc :

$$v_y(t) = -9,8t + v_{y0}$$

avec :

$$v_{y0} = 5,0$$

Donc :

$$v_y(t) = -9,8t + 5,0$$

En intégrant :

$$y(t) = -1/2 \times 9,8 \times t^2 + 5,0t + y_0$$

avec :

$$y_0 = 3,05 \text{ m}$$

Donc :

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

On retrouve bien :

$$x(t) = 4,0t$$

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

## Q7. Équation de la trajectoire

On a :

$$x = 4,0t$$

Donc :

$$t = x / 4,0$$

On remplace dans  $y(t)$  :

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

Donc :

$$y = -4,9/16 \times x^2 + 5,0/4,0 \times x + 3,05$$

Calculs :

$$-4,9/16 \approx -0,31$$

$$5,0/4,0 = 1,25 \approx 1,3$$

Donc :

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

## Q8. Le lancer franc est-il réussi sans toucher le cercle ?

Le centre du panier est à :

$$x = 4,2 \text{ m}$$

Le cerceau est à la hauteur :

$$h = 3,05 \text{ m}$$

On utilise l'équation de trajectoire donnée :

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

Pour  $x = 4,2 \text{ m}$  :

$$y(4,2) = -0,31 \times 4,2^2 + 1,3 \times 4,2 + 3,05$$

$$4,2^2 = 17,64$$

Donc :

$$y(4,2) = -0,31 \times 17,64 + 5,46 + 3,05$$

$$y(4,2) \approx -5,47 + 8,51$$

$$y(4,2) \approx 3,04 \text{ m}$$

Le centre du ballon passe donc à une hauteur d'environ :

$$3,04 \text{ m}$$

Le cerceau est à :

$$3,05 \text{ m}$$

L'écart est :

$$|3,05 - 3,04| = 0,01 \text{ m}$$

soit environ 1 cm.

Le diamètre du panier est :

$$D = 0,45 \text{ m}$$

Le diamètre du ballon est :

$$d = 0,25 \text{ m}$$

La marge totale disponible est :

$$D - d = 0,20 \text{ m}$$

Donc la marge de chaque côté vaut :

$$0,20 / 2 = 0,10 \text{ m}$$

L'écart de 1 cm est bien inférieur à 10 cm.

Conclusion :

Le lancer franc est réussi sans toucher le cercle métallique.

## Bilan

Une copie excellente devait :

- bien identifier les groupes fonctionnels de l'éthanolamine ;
- utiliser correctement le pH, le pKA et le diagramme de prédominance ;
- maîtriser le taux d'avancement ;
- exploiter proprement une courbe de titrage pH-métrique ;
- rédiger une démarche claire pour le titre massique ;
- utiliser correctement l'énergie du photon et le travail d'extraction ;
- distinguer fréquence, longueur d'onde et intensité lumineuse ;
- calculer un rendement photovoltaïque ;
- appliquer les lois de Newton au lancer franc ;
- vérifier le passage du ballon dans le panier avec un calcul argumenté.