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 :
HO-CH2-CH2-NH2
On repère deux groupes caractéristiques :
-OH : groupe hydroxyle → famille des alcools
-NH2 : groupe amino → famille des amines
Donc l'éthanolamine appartient à deux familles fonctionnelles :
alcool
amine

Q2. Vérification de la concentration C

On considère :
$V = 1{,}0\ L$
$d = 1{,}0$
$\rho \approx 1{,}00\ g\cdot mL^{-1}$
Donc la masse de solution vaut :
m_solution = 1000 g
La solution contient 20 % en masse d'éthanolamine :
m_ethanolamine = 0,20 × 1000 = 200 g
Quantité de matière :
n = m / M
n = 200 / 61,0
n = 3,28 mol
Concentration :
C = n / V
C = 3,28 / 1,0
$C \approx 3{,}3\ mol\cdot L^{-1}$
On retrouve bien :
$C = 3{,}3\ mol\cdot L^{-1}$

Q3. Diagramme de prédominance

Le couple est :
C2H8NO+ / C2H7NO
avec :
pKA = 9,5
Diagramme :

```
pH < 9,5          pH = 9,5          pH > 9,5
C2H8NO+      |                   C2H7NO
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_2H_7NO
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 xmax

La réaction est :

$C_2H_7NO + H_2O \rightleftharpoons C_2H_8NO^+ + HO^-$

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 τ

À l'équilibre, d'après l'équation :

$x_f = n(HO^-)$

Or :

$[HO^-] = x_f / V$

Donc :

$x_f = [HO^-] \times V$

Le taux d'avancement vaut :

$\tau = x_f / x_{max}$

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

$\tau = [HO^-] / C$

Avec le produit ionique de l'eau :

$K_e = [H_3O^+] \times [HO^-] / (c°)^2$

Donc :

$[HO^-] = K_e \times (c°)^2 / [H_3O^+]$

Comme :

$[H_3O^+] = c° \times 10^{-pH}$

on obtient :

$[HO^-] = K_e \times c° / 10^{-pH}$

Donc :

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

Q8. Calcul de τ

Données :

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

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

$pH = 11$

$c° = 1\ mol \cdot L^{-1}$

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 CO2 ;
- le carbone du CO2 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 CO2
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 :

```
Vf = 250,0 mL
```

Volume de solution mère à prélever :

```
Vm = Vf / 50
Vm = 250,0 / 50
Vm = 5,0 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 :

```
C2H7NO + H3O+ → C2H8NO+ + H2O
```

Les coefficients sont 1 et 1.

Donc à l'équivalence :

```
n(C2H7NO) initial = n(H3O+) versé
```

Q13. Volume à l'équivalence

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

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

Lecture graphique :

```
VE ≈ 14,3 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 :

```
nB = nA
```

Donc :

$CB \times VB = CA \times VE$

Données :

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

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

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

Donc :

$CB = CA \times VE / VB$

$CB = 0{,}10 \times 14{,}3 / 25{,}0$

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

La solution S50 a donc :

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

Comme S50 est une dilution 50 fois de S :

$CS = 50 \times CB$

$CS = 50 \times 0{,}0572$

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

Concentration massique :

$Cm = CS \times M$

$Cm = 2{,}86 \times 61{,}0$

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

La masse d'un litre de solution vaut environ :

`1000 g`

Donc le titre massique vaut :

$w = 174 / 1000 \times 100$

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

Réponse :

`Titre massique ≈ 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_2.

3. Production de méthanol

Q16. Équation de réaction

Le méthanol est formé à partir de CO_2 et H_2, avec production d'eau.

Équation équilibrée :

$CO_2 + 3\ H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$

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 :

$m = 37\ 500$ tonnes

$m = 37\ 500\ 000$ kg

Énergie nécessaire :

$55\ kW \cdot h$ par kg

Donc :

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

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

Puissance des électrolyseurs :

$P = 330\ MW = 330\ 000\ kW$

Durée :

$t = E / P$

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

$t \approx 6250\ h$

En jours :

$6250 / 24 \approx 260$ jours

Q18. Puissance suffisante ?

Une année contient :

$365 \times 24 = 8760\ h$

La durée nécessaire est :

$6250\ h$

Or :

$6250\ h < 8760\ h$

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 :

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

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

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

Conversion :

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

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

À la fréquence seuil :

$h\nu_s = W_{ext}$

Donc :

$\nu_s = W_{ext} / h$

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

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

Réponse :

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

Q3. Longueur d'onde seuil

$\lambda_s = c / \nu_s$

Avec :

$c = 3{,}00 \times 10^{8}\ m \cdot s^{-1}$
$\nu s = 1{,}04 \times 10^{15}\ Hz$
Donc :
$\lambda s = 3{,}00 \times 10^{8} / 1{,}04 \times 10^{15}$
$\lambda s \approx 2{,}9 \times 10^{-7}\ m$
Soit :
$\lambda s \approx 290\ nm$
Cette longueur d'onde appartient au domaine ultraviolet.

Q4. Effet photoélectrique pour λ = 250 nm

La radiation utilisée a :
$\lambda = 250\ nm$
Or :
$250\ nm < 290\ nm$
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 :
$h\nu = h\nu s + 1/2\ me\ v^2$
Ainsi :
$1/2\ me\ v^2 = h(\nu - \nu s)$
Donc :
$v^2 = 2h(\nu - \nu s) / me$
Finalement :
$v = \sqrt{[2h(\nu - \nu s) / me]}$

Q6. Calcul de la vitesse

Pour :
$\lambda = 250\ nm$
on a :
$\nu = c / \lambda$
$\nu = 3{,}00 \times 10^{8} / 250 \times 10^{-9}$
$\nu = 1{,}20 \times 10^{15}\ Hz$
On sait :
$\nu s = 1{,}04 \times 10^{15}\ Hz$
Donc :
$\nu - \nu s \approx 1{,}6 \times 10^{14}\ Hz$
Calcul :
$v = \sqrt{[2 \times 6{,}63 \times 10^{-34} \times 1{,}6 \times 10^{14} / 9{,}11 \times 10^{-31}]}$
$v \approx 4{,}9 \times 10^{5}\ m \cdot s^{-1}$
Réponse :
$v \approx 4{,}9 \times 10^{5}\ m \cdot s^{-1}$

Q7. Paramètre influençant la vitesse

La vitesse dépend de :
$\nu - \nu s$
Donc elle dépend de la fréquence de la radiation.
Pour augmenter la vitesse des électrons, il faut :
augmenter la fréquence ν
ou, ce qui revient au même :
diminuer la longueur d'onde λ

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 :

$P_{lum} = E \times S$

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

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

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

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

Rendement :

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

$\eta = 135 / 1200$

$\eta \approx 0{,}113$

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 :

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

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 :

$E_{reçue} = 4{,}1 \times 1{,}50$

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

Rendement moyen annuel :

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

Énergie électrique produite par jour par un panneau :

$E_{élec} = 0{,}10 \times 6{,}15$

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

Sur un an :

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

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

Nombre de panneaux :

$N = 3750 / 224$

$N \approx 16{,}7$

Il faut donc installer :

17 panneaux

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

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

Il faudra donc environ 25 m² 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 :

$v_x = dx/dt$

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

Q3. Valeur de vy0

La figure 3 donne :

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

À t = 0 :

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

Q4. Vitesse initiale et angle α

On a :

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

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

Vitesse initiale :

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

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

$v_0 = \sqrt{41}$

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

Angle avec l'horizontale :

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

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

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

Donc :

$\alpha \approx 51°$

Réponse :

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

$\alpha \approx 51°$

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 :

$a_x(t) = 0$

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

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

Q6. Équations horaires

Selon Ox :

$a_x = 0$

Donc :

$v_x = constante = 4{,}0$

et comme :

$x_0 = 0$

on obtient :

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

Selon Oy :

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

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 :

$y_0 = 3{,}05\ m$

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 :

$x = 4,2$ m
Le cerceau est à la hauteur :
$h = 3,05$ m
On utilise l'équation de trajectoire donnée :
$y = -0,31x^2 + 1,3x + 3,05$
Pour x = 4,2 m :
$y(4,2) = -0,31 \times 4,2^2 + 1,3 \times 4,2 + 3,05$
$4,2^2 = 17,64$
Donc :
$y(4,2) = -0,31 \times 17,64 + 5,46 + 3,05$
$y(4,2) \approx -5,47 + 8,51$
$y(4,2) \approx 3,04$ m
Le centre du ballon passe donc à une hauteur d'environ :
3,04 m
Le cerceau est à :
3,05 m
L'écart est :
$|3,05 - 3,04| = 0,01$ m
soit environ 1 cm.
Le diamètre du panier est :
$D = 0,45$ m
Le diamètre du ballon est :
$d = 0,25$ m
La marge totale disponible est :
$D - d = 0,20$ m
Donc la marge de chaque côté vaut :
$0,20 / 2 = 0,10$ 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.