Corrigé du : devoir de physique chimie n°3

EXERCICE 1

Q1. L'effet Doppler consiste en une modification de la fréquence reçue par un récepteur quand la distance entre l'émetteur d'une onde et le récepteur varie au cours du temps (comme le NIIIIIAAAOOOW d'un bruit d'une formule 1 qui passe devant un micro).

Q2. Dans le cas où la source d'une onde lumineuse de fréquence $f_{émise}$ se rapproche d'un récepteur fixe à une vitesse v, la fréquence $f_{reçue}$ de l'onde de célérité c mesurée par le récepteur s'écrit sous la forme suivante : $\frac{f_{emise}}{1-\frac{v}{c}}$

Expliquez pourquoi les formules suivantes ne sont pas cohérentes

a : $\frac{f_{emise}}{1+\frac{v}{c}}$ b: $\frac{f_{emise}}{-1+\frac{v}{c}}$ c: $\frac{1-\frac{v}{c}}{f_{emise}}$

a : la fréquence perçue est inférieure à la fréquence émise car le dénominateur est supérieur à 1.or la source se rapproche du récepteur et la fréquence perçue doit être supérieure.

b : si v=0 (source immobile) on obtient une fréquence négative !

c : La formule n'est pas homogène. Le numérateur n'a pas d'unité et le dénominateur est en Hz. On obtient donc l'inverse d'une fréquence c'est-à-dire un temps

Q3. Le sujet indique qu'Andromède a une vitesse radiale de 300 km.s^{-1} ainsi $x = \frac{v}{c}$ devient

$x = \frac{300 \times 10^3}{3{,}0 \times 10^8} = 1{,}0 \times 10^{-3}$, on vérifie que x est très petit devant 1.

Malgré une valeur très élevée, la vitesse de la galaxie d'Andromède est négligeable devant celle de la lumière.

Q4. Par définition du décalage Doppler et l'utilisation de la relation de Q2 :

$$\delta f = f_{reçue} - f_{émise} = \frac{f_{émise}}{1-\frac{v}{c}} - f_{émise}.$$

En utilisant l'approximation mathématique donnée : $\frac{1}{1-\frac{v}{c}} \approx 1 + \frac{v}{c}$

On obtient $\delta f \approx f_{émise} \times \left(1 + \frac{v}{c}\right) - f_{émise} = f_{émise} \times \frac{v}{c}$.

Q5. Il nous manque la valeur de $f_{émise}$ pour calculer $\delta f \approx f_{émise} \times \frac{v}{c}$

Par définition de la longueur d'onde : $\lambda = v_{onde} \times T = \frac{v_{onde}}{f}$.

Ici, on peut écrire $\lambda_0 = \frac{c}{f_{émise}} \Leftrightarrow f_{émise} = \frac{c}{\lambda_0}$.

Ainsi $\delta f \approx \frac{c}{\lambda_0} \times \frac{v}{c} = \frac{v}{\lambda_0}$

Donc $\delta f \approx \frac{300 \times 10^3}{656{,}3 \times 10^{-9}} = 4{,}57 \times 10^{11}\text{Hz}$.

Q6. Pour l'onde reçue sur Terre, $\lambda = \frac{c}{f_{reçue}} = \frac{c}{f_{émise} + \delta f}$ par définition du décalage Doppler.

Ainsi $\lambda = \frac{c}{\frac{c}{\lambda_0} + \delta f}$ donc $\lambda = \frac{3{,}0 \times 10^8}{\frac{3{,}0 \times 10^8}{656{,}3 \times 10^{-9}} + 4{,}57 \times 10^{11}} = 6{,}556 \times 10^{-7}\,\text{m}$ soit 655,6 nm (en gardant la même précision que λ_0).

La longueur d'onde reçue λ est donc inférieure à la longueur d'onde émise λ_0 .

Q7. Dans le cas d'une source qui s'éloigne du récepteur, le décalage Doppler $\delta f = f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}}$ devient négatif ($f_{\text{reçue}} < f_{\text{émise}}$ d'où le son plus grave lorsque la formule 1 s'éloigne).

Si la fréquence est plus basse, et comme $\lambda = \frac{c}{f}$ alors la longueur d'onde augmente.

La longueur d'onde reçue est supérieure à celle émise d'où un décalage vers les grandes longueurs d'onde : on parle de « redshift » car le rouge se situe dans les grandes longueurs d'onde (du visible).

EXERCICE 2

A. L'eau salée de la mer Méditerranée

A.1. Citer la valeur de la concentration minimale en masse c_m en ion chlorure $Cl^-_{(aq)}$ à partir de laquelle on peut considérer que l'eau souterraine est contaminée par une intrusion d'eau de mer la rendant non potable.

Le tableau montre que lorsque la concentration en masse en ions chlorure est comprise entre 200 et 500 mg·L^{-1}, l'eau ne peut plus être utilisée pour la production d'eau potable.
La concentration en masse minimale en ion chlorure à partir de laquelle on peut considérer que l'eau souterraine est contaminée est donc **c_m = 200 mg·L^{-1}**.

A.2.1. Sachant que la concentration en quantité de matière de chlorure de magnésium $MgCl_{2(s)}$ dans l'eau de mer vaut c = 4,0 × 10^{-2} mol.L^{-1} , déterminer la concentration en quantité de matière en ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$ apportés par $MgCl_{2(s)}$, notée [$Cl^-_{(aq)}$].

L'équation $MgC\ell_{2(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2\ C\ell^-_{(aq)}$ montre que 1 mole de $MgC\ell_2$ forme 2 moles d'ions $C\ell^-$

soit $\dfrac{n(MgC\ell_2)}{1} = \dfrac{n(C\ell^-)}{2}$.

Donc $\dfrac{c \times V}{1} = \dfrac{[C\ell^-] \times V}{2}$ en notant V le volume de l'échantillon d'eau de mer.

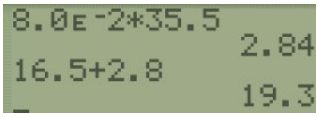
Par conséquent : $[C\ell^-] = 2c$

soit $[C\ell^-] = 2 \times 4{,}0\times10^{-2}$ mol·L^{-1} = **8,0×10^{-2} mol·L^{-1}**.

A.2.2. La concentration en masse en ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$ apportés par le chlorure de sodium $NaCl_{(s)}$ dans l'eau a pour valeur c_m = 16,5 g.L^{-1}. Déterminer alors la concentration totale en masse en ions chlorure dans la mer Méditerranée.

La concentration en masse en ions chlorure apportée par $MgC\ell_{2(s)}$ est :

$c_m(MgC\ell_2) = [C\ell^-] \times M(C\ell^-)$



soit $c_m(MgCl_2)$ = 8,0×10^{-2} × 35,5 g·L^{-1} = **2,8 g·L^{-1}**.

La concentration en masse totale en ions chlorure dans la mer Méditerranée est alors :

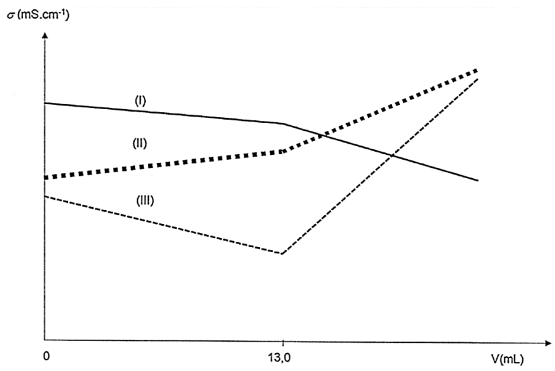
$c_m(MgC\ell_2) + c_m(NaC\ell)$ = 2,8 + 16,5 g·L^{-1} = **19,3 g·L^{-1}**.

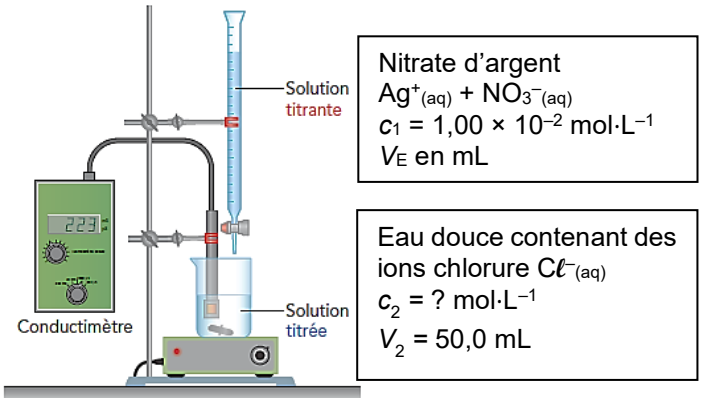
B. Titrage des ions chlorure de l'eau douce des eaux souterraines

B.1. Identifier, parmi les trois courbes I, II et III proposées sur le graphique de la figure 2 suivante, celle qui représente l'évolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé. Justifier votre réponse.

Le réactif titrant est l'ion Ag^+(aq).

Le réactif titré est l'ion $C\ell^-$(aq).





Avant l'équivalence	Après l'équivalence
<u>Ions présents dans le bécher</u> : Ions chlorure $C\ell^-$. Ions nitrate NO_3^- spectateurs. Autres ions dans l'eau douce. <u>Évolution des concentrations</u> : $[C\ell^-]$ diminue car les ions chlorure sont consommés. $[NO_3^-]$ augmente car les ions nitrate sont apportés et spectateurs. [Autres ions] constante. <u>Conductivité</u> : $\sigma = \lambda_{C\ell^-} \times [C\ell^-] + \lambda_{NO_3^-} \times [NO_3^-] + \sigma_{\text{autres ions}}$ ↘ ↘ ↗ = Or NO_3^- est moins conducteur que $C\ell^-$ car $\lambda_{NO_3^-} < \lambda_{Cl^-}$. **La conductivité σ diminue avant l'équivalence.**	<u>Ions présents dans le bécher</u> : Ions argent Ag^+. Ions nitrate NO_3^- spectateurs. Autres ions dans l'eau douce. <u>Évolution des concentrations</u> : $[Ag^+]$ augmente car Ag^+ est en excès et n'est plus consommé $[NO_3^-]$ augmente car les ions nitrate sont encore apportés et spectateurs. [Autres ions] constante. <u>Conductivité</u> : $\sigma = \lambda_{Ag^+} \times [Ag^+] + \lambda_{NO_3^-} \times [NO_3^-] + \sigma_{\text{autres ions}}$ ↗↗ ↗ ↗ = **La conductivité σ augmente fortement après l'équivalence.**

Seule la **courbe III (---)** correspond à l'évolution de la conductivité décrite dans le tableau.

B.2. Le volume versé à l'équivalence est V_E = 13,0 mL. En déduire si l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

L'équation de la réaction support du titrage est : $Ag^+_{(aq)} + C\ell^-_{(aq)} \rightarrow AgC\ell_{(s)}$.

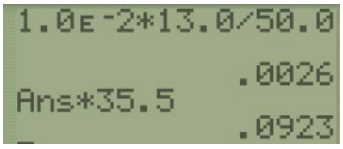
À l'équivalence du titrage, on réalise un mélange stœchiométrique des réactifs titrant et titré soit :

$$\frac{n_2(C\ell^-)}{1} = \frac{n_E(Ag^+)}{1}$$

$$\frac{c_2 \times V_2}{1} = \frac{c_1 \times V_E}{1}$$

$$\text{donc} \quad c_2 = \frac{c_1 \times V_E}{V_2}.$$

$$c_2 = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 13{,}0\ \text{mL}}{50{,}0\ \text{mL}} = \mathbf{2{,}6\times10^{-2}\ mol\cdot L^{-1}}.$$



Concentration en masse en ions chlorure : $c_m = c_2 \times M(C\ell^-)$

Soit $\mathbf{c_m} = 2{,}6\times10^{-2} \times 35{,}5\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1} = \mathbf{9{,}2\times10^{-2}\ g\cdot L^{-1} = 92\ mg\cdot L^{-1}}$

92 mg·L^{-1} < 200 mg·L^{-1} donc l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Seule la **courbe III (---)** correspond à l'évolution de la conductivité décrite dans le tableau.

B.2. Le volume versé à l'équivalence est V_E = 13,0 mL. En déduire si l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

L'équation de la réaction support du titrage est : $Ag^+_{(aq)} + C\ell^-_{(aq)} \rightarrow AgC\ell_{(s)}$.

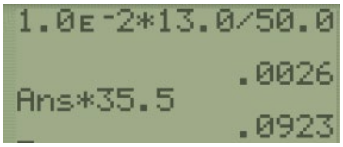
À l'équivalence du titrage, on réalise un mélange stœchiométrique des réactifs titrant et titré soit :

$$\frac{n_2(C\ell^-)}{1} = \frac{n_E(Ag^+)}{1}$$

$$\frac{c_2 \times V_2}{1} = \frac{c_1 \times V_E}{1}$$

donc $c_2 = \frac{c_1 \times V_E}{V_2}$.

$$c_2 = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 13{,}0\ \text{mL}}{50{,}0\ \text{mL}}$$ **= 2,6×10⁻² mol·L⁻¹**.



Concentration en masse en ions chlorure : $c_m = c_2 \times M(C\ell^-)$
Soit $\boldsymbol{c_m}$ = 2,6×10⁻² × 35,5 g·L⁻¹ = **9,2×10⁻² g·L⁻¹ = 92 mg·L⁻¹**
92 mg·L⁻¹ < 200 mg·L⁻¹ donc l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

C. Modélisation d'un titrage

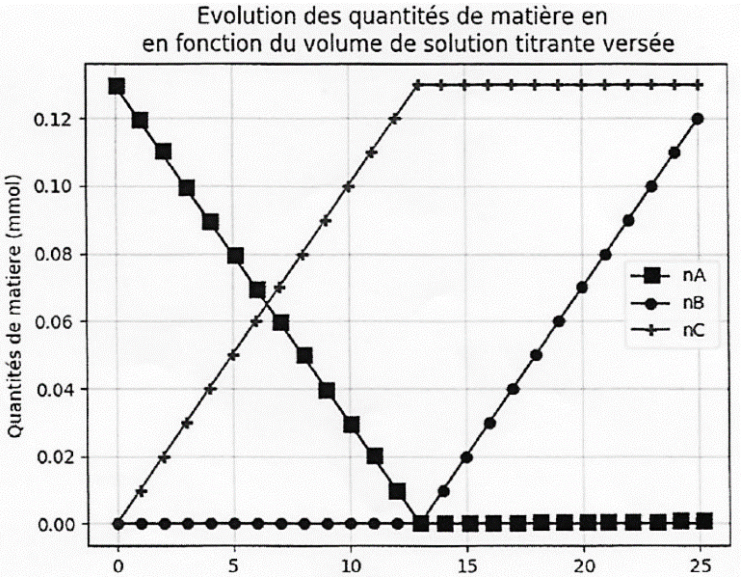
C.1. Les quantités de matière nA, nB et nC, mentionnées et calculées aux lignes 21, 22, 23, 28, 29 et 30 du programme Python (figure 3) sont représentées sur la figure 4.

Grâce à cette dernière et avec justification, identifier les espèces chimiques A, B et C.

La quantité de matière **nA** diminue avant l'équivalence et reste nulle après l'équivalence : **nA** est donc la quantité d'ions chlorure **Cℓ⁻** titrée.

La quantité de matière **nB** est nulle avant l'équivalence et augmente après l'équivalence : **nB** est donc la quantité d'ions argent **Ag⁺**.

La quantité de matière **nC** augmente avant l'équivalence et reste constante après l'équivalence : **nC** est donc la quantité de chlorure d'argent formé **AgCℓ**.



C.2. Compléter la ligne 15 du programme Python de la figure 3 afin qu'il calcule la concentration en quantité de matière en ions chlorure.

La réponse à la question B.2. a montré que $c_2 = \frac{c_1 \times V_E}{V_2}$

soit en adaptant les notations : $C_A = \frac{C_B \times V_E}{V_A}$

Et avec les notations du programme $cA = (cB * VE) / vA$