EXERCICE III. TITRAGE DES IONS DANS UNE EAU MINÉRALE (4 points)

Les eaux minérales contiennent des espèces dissoutes. La législation impose un étiquetage précisant les quantités contenues dans un litre d'eau.
Sur l'étiquette endommagée d'une bouteille d'eau minérale gazeuse, on peut lire les valeurs des concentrations massiques en ions données dans le tableau ci-dessous.
Les valeurs concernant les ions chlorure et calcium ne sont plus lisibles.

Cation	*Sodium* Na^+	*Potassium* K^+	*Calcium* Ca^{2+}	*Magnésium* Mg^{2+}
Concentration massique en mg.L^{-1}	*1708*	*132*	*?*	*11*
Anion	*Hydrogénocarbonate* HCO_3^-	*Chlorure* Cl^-	*Sulfate* SO_4^{2-}	*Fluorure* F^-
Concentration massique en mg.L^{-1}	*4368*	*?*	*174*	*1*

Cet exercice propose, en deux parties, deux méthodes de titrage pour retrouver les valeurs manquantes :
- un titrage par précipitation pour déterminer la concentration massique en ions chlorure Cl^-,
- un titrage complexométrique pour déterminer la concentration massique en ions calcium Ca^{2+}.

1. Première partie : titrage par précipitation des ions chlorure

On dégaze l'eau minérale par agitation et on prélève un volume V_1 = 20,0 mL que l'on introduit dans un grand becher. On rajoute un volume d'environ 200 mL d'eau distillée. On plonge dans le milieu une cellule de conductimétrie. À l'aide d'une burette graduée, on ajoute progressivement une solution aqueuse de nitrate d'argent (Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)) de concentration molaire $c_2 = 2{,}00\times10^{-2}$ mol.L^{-1}.
Le mélange obtenu dans le becher est maintenu sous une agitation régulière **La figure 1 de l'annexe (à rendre avec la copie)** donne la courbe d'évolution de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V_2 versé de la solution de nitrate d'argent.

1.1. Compléter le schéma de la **figure 2 de l'annexe (à rendre avec la copie)** du dispositif utilisé lors de ce titrage.

1.2. Lors de ce titrage, les ions chlorure Cl^-(aq) réagissent avec les ions argent Ag^+(aq) pour former un précipité blanc de chlorure d'argent AgCl(s). La transformation associée à la réaction est totale. L'équation de la réaction de précipitation est la suivante :

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) = AgCl(s)$$

1.2.1. Ce titrage est-il direct ou indirect ?
1.2.2. Compléter le tableau décrivant l'évolution du système à l'équivalence donné par la **figure 3 de l'annexe (à rendre avec la copie**). On note $n_{2éq}$ la quantité de matière (en mol) d'ions argent versée à l'équivalence.
1.2.3. En déduire !a relation entre la quantité initiale n_1 en mol des ions chlorure et la quantité de matière $n_{2éq}$ (en mol) d'ions argent versée à l'équivalence.

1.3. Quel événement correspond au point d'intersection des deux segments de droite de la courbe de la **figure 2 de l'annexe** ? En déduire la valeur du volume $V_{2éq}$ de la solution de nitrate d'argent versé à l'équivalence.

1.4. En utilisant les questions précédentes, calculer la concentration molaire c_1 des ions chlorure dans l'eau minérale étudiée.

1.5. *La concentration massique t (exprimée en $g.L^{-1}$) d'une espèce chimique X en solution est le produit de sa concentration molaire (exprimée en $mol.L^{-1}$) par sa masse molaire moléculaire (exprimée en $g.mol^{-1}$).*
Calculer la concentration massique notée t_1 des ions chlorure dans cette eau minérale. On donnera le résultat en $mg.L^{-1}$.

Donnée : *masse molaire atomique du chlore M(Cl) = 35,5 $g.mol^{-1}$.*

2. Deuxième partie : titrage complexométrique des ions calcium

On utilise comme solution titrante, une solution d'acide ÉthylèneDiamineTétraAcétique connue aussi sous le nom d'EDTA. Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré de fin de réaction et d'une solution tampon permettant de maintenir le pH de la solution entre 9 et 10.

On réalise le titrage d'un volume V'_1 = 20,0 mL d'eau minérale par la solution d'EDTA de concentration molaire c'_2 = $5{,}0\times10^{-3}$ $mol.L^{-1}$. À l'équivalence, le volume versé d'EDTA est $V'_{2éq}$ = 10,8 mL.

2.1. *En milieu basique, l'EDTA contient des ions notés Y^{4-} qui réagissent avec les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) contenus dans l'eau minérale pour former des complexes très stables selon les équations :*

$$Ca^{2+}(aq) + Y^{4-}(aq) = [CaY]^{2-}(aq)$$
$$Mg^{2+}(aq) + Y^{4-}(aq) = [MgY]^{2-}(aq)$$

Soient $n_i(Ca^{2+})$ et $n_i(Mg^{2+})$ les quantités de matière initiales d'ions calcium et magnésium présents dans le volume V_1 d'eau minérale, $n'_{2Éq}$ désigne la quantité de matière d'ions Y^{4-} versée pour atteindre l'équivalence.
Quelle relation lie ces trois quantités de matière ?

2.2. Montrer que la somme des concentrations molaires des ions calcium et magnésium est donnée par la relation : $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] = \dfrac{c'_2 . V'_{2Eq}}{V'_1}$

2.3. À l'aide de la valeur (donnée dans le tableau de l'introduction) de la concentration massique des ions magnésium contenus dans l'eau minérale étudiée, en déduire la valeur de la concentration massique (en $mg.L^{-1}$) des ions calcium dans cette eau.

Données : Masses molaires atomiques $M(Ca) = 40{,}1\ g.mol^{-1}$ $M(Mg) = 24{,}3\ g.mol^{-1}$

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 1.3.

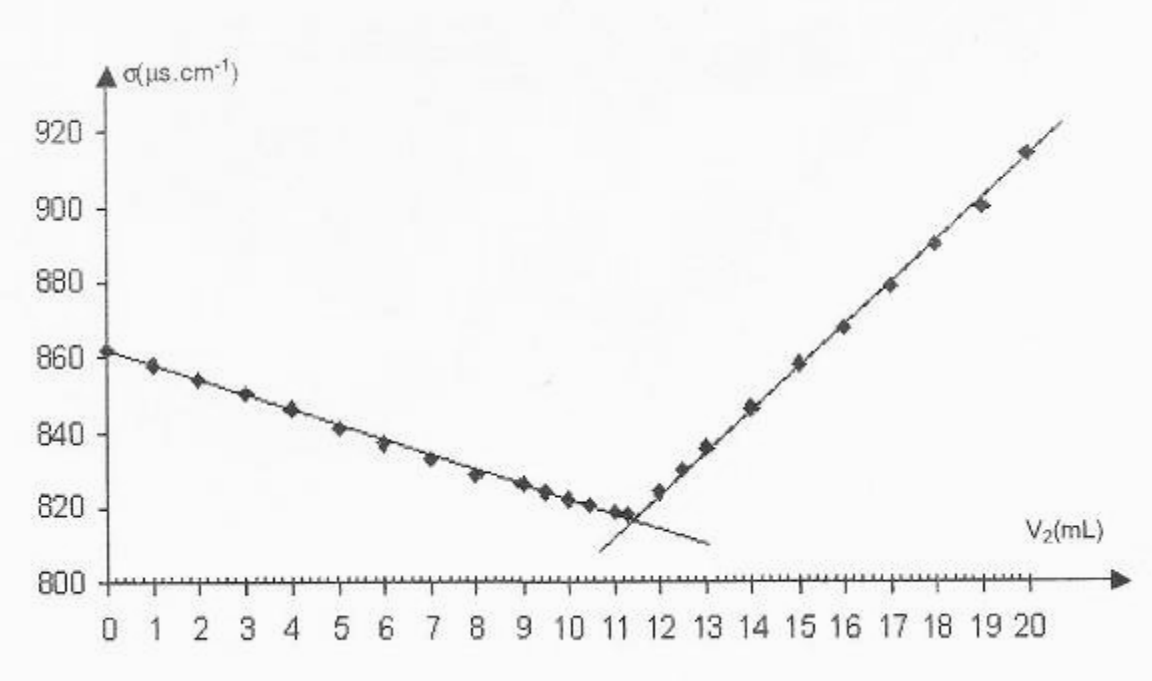


Figure 1

ANNEXE (SUITE) À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 1.1.

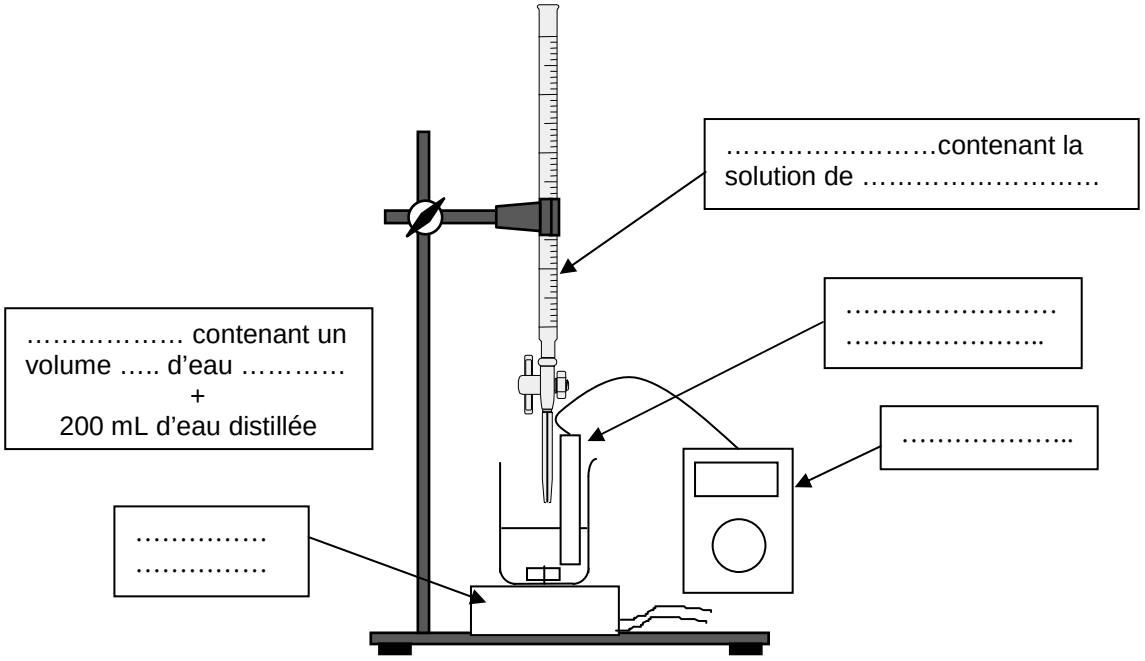


Figure 2

Question 1.2.2.

équation chimique		$Ag^+(aq)$ + $Cl^-(aq)$ = $AgCl(s)$		
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (en mol)		
État initial	0	$n_{2Éq}$	n_1	
En cours de transformation	x			
À l'équivalence	$x_{Éq}$			

Figure 3