

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 $\text{Na}^+$	Potassium $\text{K}^+$	Calcium $\text{Ca}^{2+}$	Magnésium $\text{Mg}^{2+}$
Concentration massique en $\text{mg.L}^{-1}$	1708	132	?	11
Anion	Hydrogénocarbonate $\text{HCO}_3^-$	Chlorure $\text{Cl}^-$	Sulfate $\text{SO}_4^{2-}$	Fluorure $\text{F}^-$
Concentration massique en $\text{mg.L}^{-1}$	4368	?	174	1

Cet exercice propose, en deux parties, deux méthodes de titrage pour retrouver les valeurs manquantes

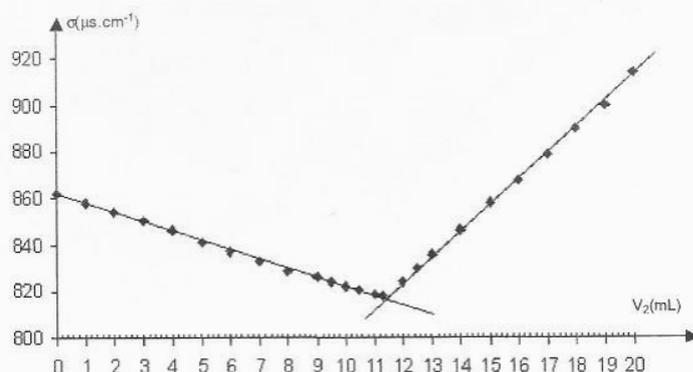
- un titrage par précipitation pour déterminer la concentration massique en ions chlorure  $\text{Cl}^-$ ,
- un titrage complexométrique pour déterminer la concentration massique en ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$ .

### 1) Titrage par précipitation des ions chlorure

On dégaze l'eau minérale par agitation et on prélève un volume  $V_1 = 20,0 \text{ mL}$  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 ( $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$ ) de concentration molaire  $c_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

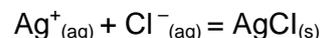
Le mélange obtenu dans le becher est maintenu sous une agitation régulière

La figure ci-contre donne la courbe d'évolution de la conductivité  $\sigma$  du mélange en fonction du volume  $V_2$  versé de la solution de nitrate d'argent.

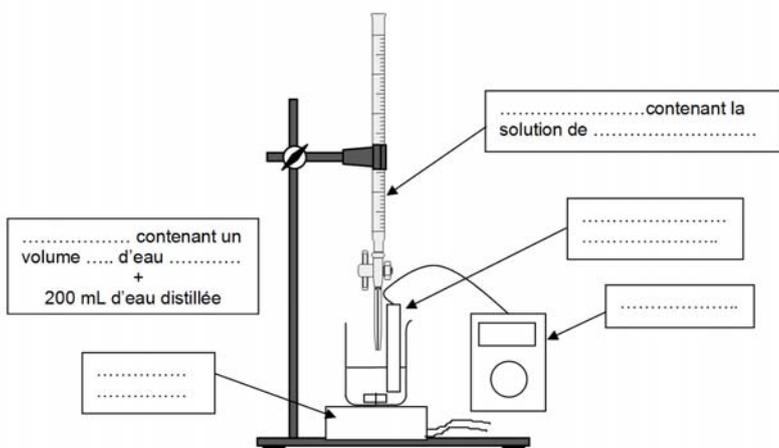


1.1. Compléter le schéma du dispositif utilisé lors de ce titrage.

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



a) Compléter le tableau décrivant l'évolution du système à l'équivalence. On note  $n_{2\text{éq}}$  la quantité de matière (en mol) d'ions argent versée à l'équivalence.



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

**b)** En déduire la relation entre la quantité initiale  $n_1$  en mol des ions chlorure et la quantité de matière  $n_{2\text{Éq}}$  (en mol) d'ions argent versée à l'équivalence.

**1.3.** Déterminer la valeur du volume  $V_{2\text{Éq}}$  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  $C_m$  (exprimée en  $\text{g.L}^{-1}$ ) d'une espèce chimique X en solution est le produit de sa concentration molaire (exprimée en  $\text{mol.L}^{-1}$ ) par sa masse molaire moléculaire (exprimée en  $\text{g.mol}^{-1}$ ).

- Calculer la concentration massique notée  $C_m$  des ions chlorure dans cette eau minérale. On donnera le résultat en  $\text{mg.L}^{-1}$ .

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

## **2) 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  $V'_1 = 20,0 \text{ mL}$  d'eau minérale par la solution d'EDTA de concentration molaire  $c'_2 = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ . À l'équivalence, le volume versé d'EDTA est  $V'_{2\text{Éq}} = 10,8 \text{ mL}$ .

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



Soient  $n_i(\text{Ca}^{2+})$  et  $n_i(\text{Mg}^{2+})$  les quantités de matière initiales d'ions calcium et magnésium présents dans le volume  $V_1$  d'eau minérale,  $n'_{2\text{Éq}}$  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

$$\text{la relation : } [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] = \frac{c'_2 \cdot V'_{2\text{Éq}}}{V'_1}$$

**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  $\text{mg.L}^{-1}$ ) des ions calcium dans cette eau.

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