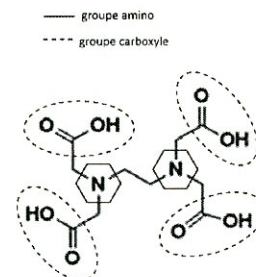
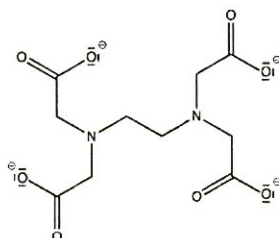


1. A quel pilier de la chimie verte correspond la gestion de la dureté de l'eau ?

La gestion de la dureté de l'eau permet la limitation des dépenses énergétiques : le tartre qui « encrasse » les canalisations nécessite des dépenses d'énergie supplémentaires lors du chauffage en chimie.

I. Comprendre le titrage de la dureté totale

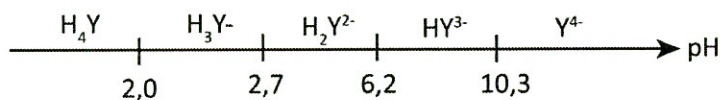
2. Entourer et nommer les groupes caractéristiques présents dans la molécule d'EDTA.

3. Donner la forme topologique de la base Y^{4-} .

4. Justifier la charge de l'ion complexe.

Il y a conservation de la charge, les ions $Ca_{(aq)}^{2+}$ ou $Mg_{(aq)}^{2+}$ possèdent deux charges positives et réagissent avec la forme $Y_{(aq)}^{4-}$ de l'EDTA qui porte 4 charges négatives. Le complexe obtenu porte donc 2 charges négatives.

5. Etablir le diagramme de prédominance de l'EDTA.

6. Préciser à partir de quel pH la base Y^{4-} est majoritaire.

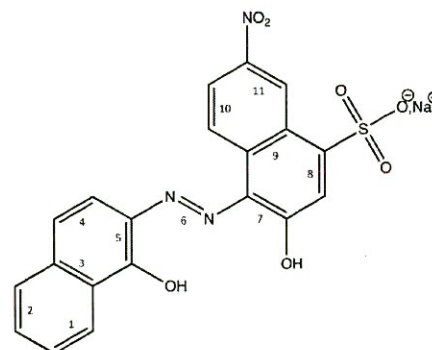
D'après le diagramme de prédominance, la forme Y^{4-} de l'EDTA est majoritaire pour $pH > 10,3$.

7. Justifier que les deux réactions de complexation puissent être utilisées pour le titrage.

Pour le titrage, on se place à un $pH=10$ (constant), les ions Y^{4-} y sont donc très abondants, et les réactions de complexation $M_{(aq)}^{2+} + Y_{(aq)}^{4-} = [MY]_{(aq)}^{2-}$ peuvent donc se produire.

8. Justifier que le NET soit une espèce colorée en solution.

Le NET est une espèce contenant plus de 7 liaisons conjuguées (alternance liaison double-liaison simple-liaison double).



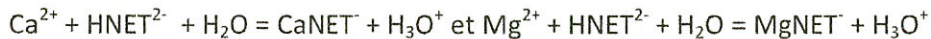
■ **Couleur du NET et pH :** Effectuez les tests ci-dessous et noter les couleurs obtenues sous le diagramme de prédominance du document 3.

- Tube 1 : 3 mL d'acide chlorhydrique à $pH = 2$ + 1 grain de NET → Couleur : ROUGE
- Tube 2 : 3 mL de tampon $pH = 10$ + 1 grain de NET → Couleur : BLEU
- Tube 3 : 3 mL d'hydroxyde de sodium à $pH = 12$ + 1 grain de NET → Couleur : ORANGE

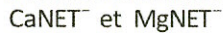
▪ **Complexation des ions calcium et magnésium par le NET à pH = 10 :**

- Tube 2 : Ajouter 3 mL d'eau minérale → Couleur : ROUGE

9. Ecrire les équations ajustées des réactions de complexation.



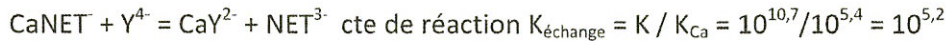
10. Donner la formule des ions complexes colorés formés.



▪ **Compétition entre réactions de complexation à pH = 10 :**

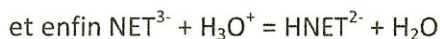
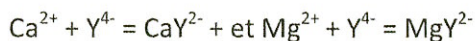
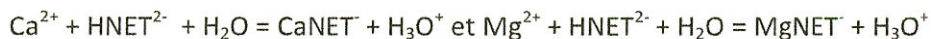
- Tube 2 : Ajouter 1 mL d'EDTA → Couleur : BLEU

11. Expliquer le changement de couleur en vous appuyant sur les constantes de complexation.



Il se forme donc le complexe CaY^{2-} plus stable et incolore et l'indicateur est libéré et se retrouve à pH 10 sous forme HNET^{2-} bleu

12. Ecrire les équations ajustées des réactions successives décrites dans la conclusion.



II. Dureté totale **Eau étudiée :**

Volume équivalent :

$$V_E = \dots\dots\dots$$

13. Définir l'équivalence.

A l'équivalence, les réactifs titrant et titré ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support du titrage.

14. Déterminer la valeur de la concentration molaire en ions M^{2+} dans l'eau minérale étudiée.

L'EDTA réagit avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} : $\begin{cases} \text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Y}_{(\text{aq})}^{4-} = \text{CaY}_{(\text{aq})}^{2-} \\ \text{Mg}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Y}_{(\text{aq})}^{4-} = \text{MgY}_{(\text{aq})}^{2-} \end{cases}$. A l'équivalence, les réactifs ont été introduits

dans les proportions stœchiométriques : l'EDTA a réagi avec tous les ions Ca^{2+} et tous les ions Mg^{2+} :

$$n(\text{Y}^{4-})_{\text{apporté}} = n(\text{Ca}^{2+})_{\text{apporté}} + n(\text{Mg}^{2+})_{\text{apporté}} \text{ soit } n(\text{Y}^{4-})_{\text{apporté}} = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}} + [\text{Mg}^{2+}]_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}}$$

$$cV_{\text{eq}} = ([\text{Ca}^{2+}]_{\text{eau}} + [\text{Mg}^{2+}]_{\text{eau}}) \times V_{\text{eau}}$$

$$\Rightarrow [\text{M}^{2+}]_{\text{eau}} = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{eau}} + [\text{Mg}^{2+}]_{\text{eau}} = \frac{c \times V_{\text{eq}}}{V_{\text{eau}}} \text{ A.N: } [\text{M}^{2+}]_{\text{eau}} = \dots\dots\dots$$

15. En déduire la dureté totale de l'eau analysée.

$$\text{D'après le document 1 : } ^\circ\text{TH}(\text{eau}) = \frac{[\text{M}^{2+}]}{1 \times 10^{-4}} \Rightarrow ^\circ\text{TH}(\text{eau}) = \dots\dots\dots$$

16. A partir des données de l'étiquette, calculer la dureté totale de l'eau analysée et comparer au résultat expérimental.

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

III. Comment adoucir l'eau

Valeur du volume équivalent :

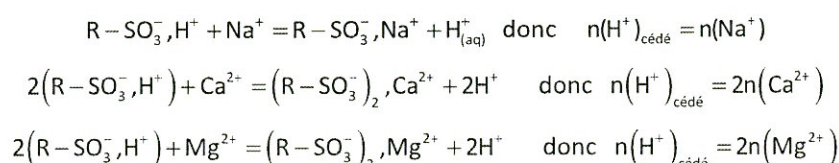
$$V_E = \dots\dots\dots$$

17. Quel est le rôle des rinçages successifs à l'eau distillée lors de la préparation de la résine ?

Les rinçages successifs permettent d'éliminer les ions H_3O^+ apportés par la solution d'acide chlorhydrique et qui n'ont pas été fixés par la résine.

18. Écrire les équations des réactions d'échange ayant lieu entre les cations de l'eau et les protons initialement fixés sur la résine. En déduire le nombre de protons cédés par la résine pour chaque type de cation fixé.

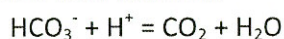
D'après le document 5 :



19. Quelle est la valeur du pH mesuré au cours de l'élution ? Cela confirme-t-il les prévisions théoriques ?

Tant que l'échange des cations a lieu, il y a libération de H^+ par la résine donc l'éluat est acide.

20. Lors de l'élution, une réaction acido-basique a lieu entre les protons cédés par la résine et des ions de l'eau minérale. Quels sont ces ions ? Écrire l'équation de la réaction.



21. Pourquoi porter l'éluat à ébullition avant d'effectuer le dosage des ions $\text{H}^+_{(\text{aq})}$?

On porte l'éluat à ébullition avant le dosage pour dégazer : on supprime ainsi le dioxyde de carbone dissous $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ formé, car c'est un acide qui serait aussi dosé si on ne l'éliminait pas.

22. De la valeur V_E du volume à l'équivalence, déduire la concentration en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ de l'éluat.

L'équation de la réaction support du titrage est : $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$. D'après la définition de l'équivalence :

$$n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éluat}} \quad \text{On en déduit } c_B V_{\text{eq}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éluat}} \quad \text{soit } n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éluat}} = \dots\dots\dots \quad \text{et } [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éluat}} = \dots\dots\dots$$

23. Vérifier la relation donnant la « somme des cations » à partir des indications fournies par le fabricant sur l'étiquette de l'eau minérale :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2[\text{Ca}^{2+}] + 2[\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] - [\text{HCO}_3^-]$$

Les ions $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ de l'éluat correspondent à tous les cations échangés au niveau de la résine par les 10 mL d'eau **Hépar** moins ceux qui ont réagi avec HCO_3^- : $n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éluat}} = 2n(\text{Ca}^{2+}) + 2n(\text{Mg}^{2+}) + n(\text{Na}^+) - n(\text{HCO}_3^-)$

$$\frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éluat}}}{V_{\text{eau}}} = [\text{H}_3\text{O}^+] = 2[\text{Ca}^{2+}] + 2[\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] - [\text{HCO}_3^-]$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éluat}} = \dots\dots\dots$$