

TP 1.4 : MESURE DE LA DURETÉ DE L'EAU

La dureté de l'eau est liée à sa teneur en ions Mg^{2+} et Ca^{2+} . Une eau dure peut abîmer les appareils électroménager utilisant de l'eau chaude (chauffe-eau, lave-vaisselle, lave-linge, cafetière, etc) car il y a formation de tartre qui obstrue les canalisations. Si l'eau est trop dure, il peut être nécessaire de l'adoucir.

Objectif

Déterminer la dureté d'une eau

Document 1 : Dureté d'une eau

Le titre hydrotimétrique (TH), ou **dureté de l'eau**, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. La dureté s'exprime en degré français (symbole °f ou °fH) en France. 1 degré français correspond à $0,1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, soit 4 mg de calcium ou 2,4 mg de magnésium par litre d'eau.

Dureté (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	> 42
Eau	très douce	douce	moyenne	dure	très dure

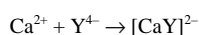
La dureté d'une eau est sans conséquence sur la santé humaine – le calcium et le magnésium sont des constituants majeurs de notre organisme – et une eau demeure potable quel que soit son TH.

Une eau dure présente cependant des inconvénients d'ordre domestique en raison de la précipitation du calcaire (carbonate de calcium). On peut éviter la formation de tartre en éliminant le calcium par adoucissement ou osmose inverse.

En outre, le calcaire diminue l'efficacité des détergents. Les doses conseillées sur le mode d'emploi des lessives sont valables pour une eau moyennement dure (environ 15 degrés français) et doivent être diminuées (ou augmentées) si l'on utilise une eau plus douce (ou dure).

Document 2 : Dosage complexométrique à l'EDTA

L'EDTA ou acide éthylène diamine tétraacétique, est noté H_4Y pour plus de commodité. L'anion Y^{4-} est un ion complexe qui donne, avec de nombreux cations, des composés stables. La réaction de complexation avec l'ion calcium s'écrit :



Il se passe une réaction identique avec l'ion magnésium.

Pour que ces réactions puissent être utilisées pour le dosage de ces ions (on les dosera ensemble), il faut procéder dans des conditions opératoires précises :

- Le pH doit rester très voisin de 10
- L'équivalence n'est pas repérable directement : les réactifs ainsi que les produits formés sont incolores ; le virage d'un indicateur coloré, le noir ériochrome T, ou NET, du rose au bleu indiquera la fin de réaction

Document 3 : le Noir ériochrome T

Le Noir ériochrome T (NET) est un indicateur coloré utilisé lors des titrages d'ions métalliques en solution par complexation, par exemple pour déterminer la dureté de l'eau.

Dans sa forme basique (pH > 7), cet indicateur est bleu. Il passe au rose quand il forme un complexe avec le calcium, le magnésium ou d'autres ions métalliques.

Il peut servir d'indicateur lors d'un dosage par l'EDTA. Le passage à la forme bleue se fait lorsque qu'assez d'EDTA est ajouté et que les ions calcium et magnésium forment des complexes avec l'EDTA plutôt qu'avec le NET.

pKa du noir d'Eriochrome T (NET) triacide noté H_3In :

$$pK_{a1} = 3,9 ; pK_{a2} = 6,4 ; pK_{a3} = 11,5$$

Couleurs :

H_3In : Rouge ; H_2In^- : Rouge ; HIn^{2-} : Bleu ; In^{3-} : Orange

Matériel disponible

- Solution tampon de pH 10
- Solution d'EDTA à $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- Solution de NET
- « Eau du robinet » dont il faudra déterminer la dureté.
- Et bien sûr, toute la verrerie nécessaire

Questions préalables

- À quoi est due la dureté de l'eau

Aux ions magnésium Mg^{2+} et calcium Ca^{2+} _____

- Les ions calcium et magnésium peuvent former des complexes avec le NET et l'EDTA. Avec qui forment-ils préférentiellement un complexe ?

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} forment un complexe préférentiellement avec l'EDTA. _____

Travail demandé

Analyse du problème

- Montrer expérimentalement :

1. La couleur du NET en milieu légèrement acide en l'absence de Ca^{2+} .
2. La couleur du NET en milieu légèrement acide en présence de Ca^{2+} .
3. La couleur du NET à pH 10 en l'absence de Ca^{2+} .
4. La couleur du NET à pH 10 en présence de Ca^{2+} .
5. La couleur du NET à pH 10, en présence d'ions Ca^{2+} et d'une quantité suffisante d'EDTA.

Travailler avec quelques gouttes de NET seulement, et environ 1 mL de solution tampon, dans des tubes à essais. Compléter avec de l'eau distillée si besoin.

- Expliquer les couleurs des tubes n°1, 3, 4 et 5 à l'aide du document 3.

Tube n°1 : Rose car NET sous forme H_3In ou H_2In^- (pH < 6,4). _____

Tube n°2 : Rose. La présence d'ions Ca^{2+} n'est pas détectable. _____

Tube n°3 : Bleu, car le NET est sous la forme HIn^{2-} . _____

Tube n°4 : Rose, car le NET a formé un complexe avec les ions Ca^{2+}

Tube n°5 : Initialement rose (car en présence de calcium), le NET devient bleu lorsqu'on ajoute une quantité suffisante d'EDTA, car l'EDTA forme un complexe avec les ions calcium, qui ne sont plus disponibles pour le NET. _____

- Quel est l'intérêt de tamponner le milieu réactionnel ?

Le NET sera sous la forme HIn^{2-} qui est bleue en l'absence d'ions calcium et rose en présence d'ions calcium. _____

Réalisation du dosage

- Préparer dans un bécher 20,0 mL d'« eau du robinet » mélangée à 10 mL de solution tampon de pH 10. Ajouter quelques gouttes de NET (suffisamment pour que la teinte soit bien visible).

- Préparer une burette de 25 mL contenant la solution d'EDTA (apprêter la burette et de faire le zéro).

- Réaliser le dosage et noter le volume équivalent.

Exploitation du dosage

- Déterminer le TH de cette eau

On trouve une équivalence (passage du rose au bleu) à $\approx 6 \text{ mL}$ _____

$n(\text{EDTA}) = C \cdot V = 1,0 \cdot 10^{-2} \times 6 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = n(Ca^{2+})$ _____

D'où $[Ca^{2+}] = n / V = 6 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ soit 30°f _____

- Commenter.

L'eau dosée est une eau « dure », _____