

CONTRÔLE QUALITÉ DU DESTOP[©]

TITRAGE ACIDO-BASIQUE : UTILISATION D'UN INDICATEUR COLORÉ ET SUIVI PAR PH-MÉTRIE

- Préparation d'une solution diluée de DesTop[©].
- Mesure du pH avec du papier-pH.
- Titration acido-basique avec utilisation d'un indicateur coloré pour visualiser l'équivalence.
- Titration acido-basique avec suivi pH-métrique.
- Mesure du titre massique en hydroxyde de sodium du DesTop[©] et évaluation de son incertitude-type.

Pré requis / repères de progressivité

Les élèves ont travaillé en classe de seconde sur les notions de : solution aqueuse, solvant, soluté, concentration en masse, réaction chimique, stœchiométrie, réactif limitant. L'action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium en solution a été modélisée par l'écriture d'une équation de réaction.

Les notions de masse molaire d'une espèce chimique et de concentration en quantité de matière ont été présentées en classe de première. Le tableau d'avancement d'une transformation chimique a été établi à partir de l'équation de la réaction et des quantités de matière initiales des espèces chimiques. La composition du système dans l'état final a été déterminée en fonction de sa composition initiale pour une transformation considérée comme totale. Un titrage avec repérage colorimétrique de l'équivalence a été réalisé en classe de première, avec une réaction d'oxydo-réduction comme support du titrage.

En classe de Terminale, les élèves modélisent les transformations acide-base par un transfert d'ions hydrogène H⁺. La notion de titre massique est présentée. Les élèves réalisent un titrage ayant pour support une réaction acide-base avec suivi pH-métrique.

Références à la partie « Mesure et incertitudes » du programme

| Notions et contenus | Capacités exigibles |
|---|--|
| Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. | Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : [...] moyenne, écart-type. |
| Incertitude-type | Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Evaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes. [...] Définir qualitativement une incertitude-type. |
| Ecriture du résultat. Valeur de référence. | Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Ecrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer, le cas échéant, le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} en utilisant le quotient $\frac{ m_{mes}-m_{ref} }{u(m)}$ où $u(m)$ est l'incertitude-type associée au résultat. |

Éléments pour construire l'activité des élèves

Objectif

Réaliser un contrôle qualité du DesTop®.

Techniques expérimentales utilisées

Titration avec indicateur coloré, titrage avec suivi pH-métrique.



Produits à disposition

DesTop® ; acide chlorhydrique 0,1000 mol.L⁻¹ ; bleu de bromothymol ; eau distillée.

Mode opératoire

Diluer une masse connue avec précision d'environ $m_0 = 4$ g de DesTop© dans une fiole jaugée de $V_f = 100,00$ mL. Mesurer le pH de cette solution avec du papier-pH.

Titre $V_p = 10,00$ mL de la solution préparée avec de l'acide chlorhydrique de concentration $c_1 = 0,1000$ mol.L⁻¹. Utiliser le bleu de bromothymol (BBT) comme indicateur coloré pour repérer l'équivalence du titrage. Prendre soin de préparer des tubes témoins des couleurs en début de titrage et en fin de titrage.

Pour confirmer le résultat de ce premier titrage, on se propose de titrer $V_p = 10,00$ mL de la solution préparée avec de l'acide chlorhydrique de concentration $c_1 = 0,1000$ mol.L⁻¹ en réalisant un suivi pH-métrique.

Exemples de questions

Q1. Introduction

- Faire une présentation du DesTop© (composition, utilisation, consignes de sécurité de manipulation).
- Présenter l'objectif de la séance de TP.
- Écrire la réaction de titrage.
- Exposer les risques que présentent les produits du TP ainsi que les mesures de sécurité à adopter.

Q2. Protocole

- Décrire votre protocole de préparation de la solution à titrer.
- Décrire votre protocole de prise de pH avec du papier-pH.
- Décrire votre protocole de préparation des tubes témoins.
- Faire un schéma du montage de titrage légendé.
- Décrire votre protocole de titrage colorimétrique.
- Décrire votre protocole de titrage pH-métrique.

Q3. Résultats

- Quelle est la valeur du pH de la solution mesuré avec le papier-pH ?
- Donner les couleurs des tubes témoins. Relater vos observations lors du titrage colorimétrique.
- Donner le volume équivalent V_{E1} déterminé par colorimétrie.
- Tracer la courbe de titrage pH-métrique. Analyser cette courbe.
- Donner le volume équivalent V_{E2} déterminé par pH-métrie.

Q4. Discussion

- Pourquoi avoir choisi le bleu de bromothymol (BBT) comme indicateur coloré ?
- Calculer le titre massique d'hydroxyde de sodium ($M_{\text{NaOH}} = 39,9971$ g.mol⁻¹) du DesTop© w_{NaOH} (présenter le calcul littéral puis l'application numérique dans le cas du titrage colorimétrique, puis dans le cas du titrage pH-métrique).
- Étudier la variabilité de la mesure de w_{NaOH} par colorimétrie (moyenne, écart-type, incertitude-type) en utilisant les résultats de la classe (annexe n°1).
- Étudier la variabilité de la mesure de w_{NaOH} par pH-métrie (moyenne, écart-type, incertitude-type) en utilisant les résultats de la classe (annexe n°2).
- Discuter de l'influence du protocole choisi sur la valeur de l'incertitude-type.

Q5. Conclusion

- Comparer votre résultat à l'étiquette sur la bouteille afin de conclure à la compatibilité ou à la non-compatibilité entre ces deux valeurs.
- Proposer une technique expérimentale pour doser les autres constituants du DesTop©.

Annexes

Annexe n°1

Titration avec utilisation d'un indicateur coloré, résultats de la classe :

| | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| groupe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| w_{NaOH} | ? | 10,7 % | 10,0 % | 9,6 % | 9,1 % | 10,9 % |
| groupe | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| w_{NaOH} | 11,1 % | 10,3 % | 8,9 % | 9,4 % | 10,7 % | 9,5 % |

Annexe n°2

Titration suivi par pH-métrie, résultats de la classe :

| | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| groupe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| w_{NaOH} | ? | 10,1 % | 10,2 % | 10,6 % | 9,8 % | 10,0 % |
| Groupe | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| w_{NaOH} | 9,5 % | 10,2 % | 9,9 % | 10,0 % | 10,1 % | 10,3 % |

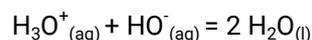
Éléments de correction pour le professeur

Q1. Introduction

Le DesTop® est un déboucheur liquide de canalisation. Ce produit ménager est corrosif. Il s'agit d'une solution concentrée d'hydroxyde de sodium à laquelle ont été ajoutés un colorant et de l'ammoniaque (pour l'odeur), afin de bien l'identifier comme un produit dangereux.

Nous souhaitons réaliser un contrôle qualité de ce produit commercial. Nous nous proposons de titrer l'hydroxyde de sodium en utilisant un indicateur coloré, puis en réalisant un suivi pH-métrique.

Nous effectuons ici le titrage d'une base forte par un acide fort. La réaction de titrage est :



Le DesTop® sera prélevé avec des gants (produit corrosif). L'acide chlorhydrique décimolaire sera manipulée avec précaution sans gants.

Q2. Protocole

On pèse $m_0 = 4,12$ g de DesTop® dans une fiole jaugée de $V_f = 100,00$ mL. On ajoute de l'eau distillée QSP 100 mL.

Le pH de cette solution est mesuré avec un morceau de papier pH : à l'aide d'une baguette de verre, on dépose quelques gouttes de solution sur le papier pH. On ne peut pas déterminer une concentration à partir d'une simple mesure de pH, il faut réaliser un titrage (Schéma du montage Figure n°1).

Un premier tube témoin est préparé en introduisant 1 mL de solution à titrer et quelques gouttes de BBT. Le second tube témoin est préparé en introduisant 1 mL d'acide chlorhydrique décimolaire et quelques gouttes de BBT.

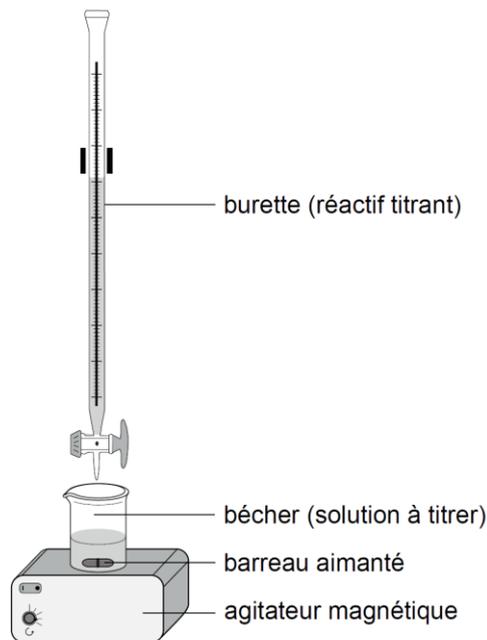


Figure n°1 : montage de titrage de $V_p = 10,00$ mL de solution diluée ($m_0 = 4,12$ g de DesTop© dans $V_f = 100,00$ mL) par de l'acide chlorhydrique $c_1 = 0,1000$ mol.L⁻¹ après ajout de quelques gouttes de BBT ou avec suivi pH-métrique.

Un premier titrage colorimétrique grossier est réalisé : prise d'essai de $V_p = 10,00$ mL à la pipette jaugée, ajout progressif à la burette graduée d'acide chlorhydrique décimolaire $c_1 = 0,1000$ mol.L⁻¹, utilisation du bleu de bromothymol (BBT) pour repérer l'équivalence.

On peut maintenant réaliser le titrage pH-métrique précis. On relève le pH mesuré avec une électrode de verre par rapport à une référence ECS (électrode au calomel, saturée en KCl) après étalonnage avec deux solutions tampon. On titre une prise d'essai de $V_p = 10,00$ mL (prélèvement à la pipette jaugée) de solution par de l'acide chlorhydrique à $c_1 = 0,1000$ mol.L⁻¹ (introduction à la burette graduée).

Q3. Résultats

Le pH, mesuré avec du papier-pH, de la solution préparée dans la fiole jaugée est 12.

La solution passe du bleu au jaune lors du titrage colorimétrique. La teinte sensible qui permet la détermination de l'équivalence est verte.

On mesure un volume équivalent $V_{E1} = 10,9$ mL.

Le titrage pH-métrique permet le tracé de la courbe Figure n°2. Le pH diminue au cours de l'addition d'acide chlorhydrique. La courbe obtenue est caractéristique du titrage d'une base forte par un acide fort (début de courbe "droit", pH neutre à l'équivalence).

On détermine alors un volume équivalent $V_{E2} = 10,7$ mL.

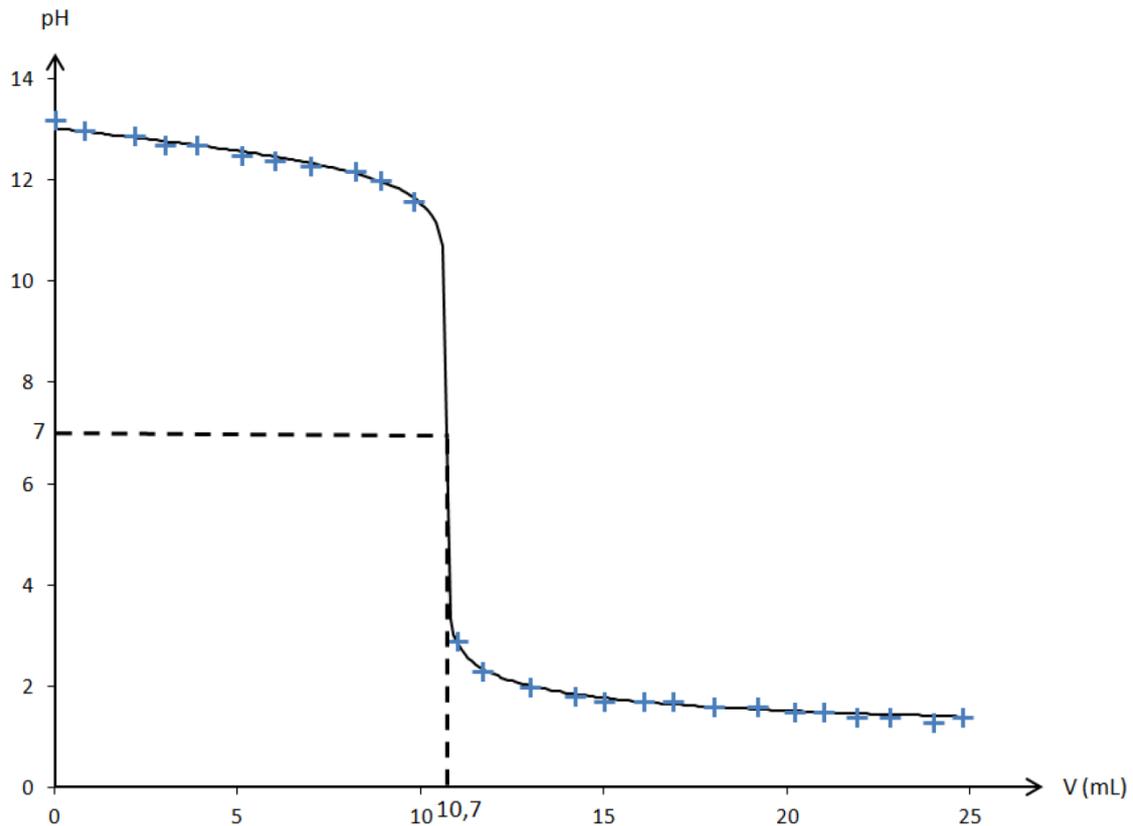


Figure n°2 : Titrage pH-métrique de $V_p = 10,00$ mL de solution diluée ($m_0 = 4,12$ g de DesTop© dans $V_f = 100,00$ mL), par de l'acide chlorhydrique de concentration $c_1 = 0,1000$ mol.L⁻¹. Le pH-mètre a préalablement été étalonné. $T = 23$ °C.

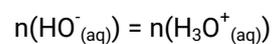
Q4. Discussion

On a choisi le BBT comme indicateur coloré pour repérer l'équivalence car son pKa est 7,1. On a bien :

$$pK_a(\text{BBT}) \approx \text{pH}_{\text{eq}}$$

Le pH à l'équivalence est compris dans la zone de virage de l'indicateur coloré.

L'équivalence est atteinte lorsque les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :



On peut alors calculer le titre massique d'hydroxyde de sodium du DesTop© :

$$w_{\text{NaOH}} = \frac{M_{\text{NaOH}} \times c_1 \times V_E \times V_f}{m_0 \times V_p}$$

Titrage avec indicateur coloré

$$w_{\text{NaOH}} = \frac{39,9971 \times 0,1000 \times 10,9 \cdot 10^{-3} \times 100,00 \cdot 10^{-3}}{4,12 \times 10,00 \cdot 10^{-3}} = 0,10582 = 10,582 \%$$

Titration avec suivi pH-métrique :

$$w_{NaOH} = \frac{39,9971 \times 0,1000 \times 10,7 \cdot 10^{-3} \times 100,00 \cdot 10^{-3}}{4,12 \times 10,00 \cdot 10^{-3}} = 0,10388 = 10,388 \%$$

Variabilité de la mesure de $\overline{w_{NaOH}}$ par colorimétrie

$$\overline{w_{NaOH,1}} = 10,0667 \% \quad s_1 = 0,7499 \% \quad u(w_{NaOH,1}) = 0,2165 \%$$

$$\overline{w_{NaOH,1}} = 10,1 \% \quad u(\overline{w_{NaOH,1}}) = 0,2 \%$$

Variabilité de la mesure de $\overline{w_{NaOH}}$ par pH-métrie

$$\overline{w_{NaOH,2}} = 10,0917 \% \quad s_2 = 0,2875 \% \quad u(w_{NaOH,2}) = 0,0830 \%$$

$$\overline{w_{NaOH,2}} = 10,09 \% \quad u(\overline{w_{NaOH,2}}) = 0,08 \%$$

La variabilité de la mesure du titre massique d'hydroxyde de sodium du DesTop© par pH-métrie est moins importante que la variabilité de sa mesure par colorimétrie.

Q5. Conclusion

Le DesTop© est une solution d'hydroxyde de sodium à $\overline{w_{NaOH,2}} = 10,09 \%$, $u(\overline{w_{NaOH,2}}) = 0,08 \%$.

On lit sur l'étiquette de la bouteille de DesTop© : $w_{NaOH,ref} = 10 \%$.

$$\left| \frac{\overline{w_{NaOH,2}} - w_{NaOH,ref}}{u(\overline{w_{NaOH,2}})} \right| = \left| \frac{10,09 - 10}{0,08} \right| = 1$$

Le titre massique d'hydroxyde de sodium du DesTop© trouvé expérimentalement peut être compatible avec sa valeur de référence indiquée sur l'étiquette de la bouteille à $1 u(\overline{w_{NaOH,2}})$ près.

On pourrait titrer l'ammoniaque du DesTop© après distillation, par pH-métrie. On pourrait titrer le colorant du DesTop© par spectrophotométrie.

Annexe : références aux programmes

Programme de seconde

| Notions et contenus | Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i> |
|--|---|
| Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique. Ecriture symbolique d'une réaction chimique. Notion d'espèce spectatrice. Stœchiométrie, réactif limitant. | Modéliser [...] une transformation par une réaction, établir l'équation de réaction associée et l'ajuster. Identifier le réactif limitant à partir des quantités de matière des réactifs et de l'équation de réaction. <i>Déterminer le réactif limitant lors d'une transformation chimique totale, à partir de l'identification des espèces chimiques présentes dans l'état final.</i> Modéliser, par l'écriture d'une équation de réaction, [...] l'action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium en solution. |

Programme de première

| Notions et contenus | Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i> |
|---|--|
| Concentration en quantité de matière | Déterminer la quantité de matière d'un soluté à partir de sa concentration en [...] quantité de matière et du volume de solution. |
| Titration avec suivi colorimétrique. [...] changement de réactif limitant au cours du titrage. Définition et repérage de l'équivalence. | Relier qualitativement l'évolution des quantités de matière de réactifs et de produits à l'état final au volume de solution titrante ajoutée. Relier l'équivalence au changement de réactif limitant et à l'introduction des réactifs en proportions stœchiométriques. Etablir la relation entre les quantités de matière de réactifs introduites pour atteindre l'équivalence. Expliquer ou prévoir le changement de couleur observé à l'équivalence d'un titrage mettant en jeu une espèce colorée. <i>Réaliser un titrage direct avec repérage colorimétrique de l'équivalence pour déterminer la quantité de matière d'une espèce dans un échantillon.</i> |

Programme de terminale

| Notions et contenus | Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i> |
|---------------------|--|
|---------------------|--|

| | |
|--|--|
| Modéliser des transformations acide-base par des transferts d'ions hydrogène H^+ | |
| <p>Transformation modélisée par des transferts d'ion hydrogène H^+ : acide et base de Brønsted, couple acide-base, réaction acide-base.</p> <p>Couples acide-base de l'eau.</p> | <p>Identifier, à partir d'observations ou de données expérimentales, un transfert d'ion hydrogène, les couples acide-base mis en jeu et établir l'équation d'une réaction acide-base.</p> |
| Analyser un système par des méthodes chimiques | |
| <p>Titre massique</p> <p>Titrage avec suivi pH-métrique.</p> | <p>Etablir la composition du système après ajout d'un volume de solution titrante, la transformation étant considérée comme totale.</p> <p>Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse.</p> <p><i>Mettre en œuvre le suivi pH-métrique d'un titrage ayant pour support une réaction acide-base.</i></p> |