

Titration des ions hypochlorite dans l'Eau de Javel

Dans les TP de Chimie 05, 06 et 07, nous avons mis en œuvre des **titrages DIRECTS** d'espèces chimiques : une seule réaction chimique rapide et totale était mise en jeu, une détermination aisée de l'équivalence était possible et l'exploitation de celle-ci permettait de déterminer la concentration ou la quantité de matière de l'espèce titrée.

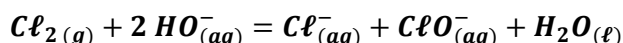
Mais pour certaines espèces chimiques, la réaction qu'on pourrait envisager pour réaliser le titrage ne coche pas toutes les cases : elle est parfois lente, ou limitée, ou son équivalence est difficilement repérable. Dans ce cas, on procède en mettant en œuvre au moins deux réactions successives pour doser ces espèces : on parle de **titrages INDIRECTS**. Deux méthodes de titrage sont alors possibles et sont décrites ci-dessous :

Méthode 1	Méthode 2
<p>1^{ère} réaction : L'espèce A qu'on souhaite doser est détruite <u>totalem</u>ent par un EXCES d'une espèce B (quantité de matière $n(B)_0$). Il se forme alors les espèces C et D selon l'équation :</p> $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D \quad (R1)$	<p>2^{ème} réaction : On dose l'excès d'espèce B qui n'a pas réagi lors de (R1) par un réactif titrant T selon une réaction rapide et totale de titrage :</p> $\varepsilon B + \lambda T \rightarrow \text{produits} \quad (R2)$
<p style="text-align: center;">Exploitation</p> <p># On réalise d'abord un <u>raisonnement classique d'équivalence</u> pour déterminer la quantité de matière de l'espèce C dosée lors de (R2) :</p> $\text{A l'équivalence} : \frac{n(C, \text{dosé})}{\varepsilon} = \frac{n(T, \text{versé})}{\lambda}$ <p># La quantité de C dosée lors de (R2) s'identifiant à la quantité de matière de C formée lors de (R1), on peut dans un second temps déterminer la quantité de A qui a réagi lors de (R1) par la relation :</p> $\frac{n(A, \text{réagi})}{\alpha} = \frac{n(C, \text{formé})}{\gamma}$ <p>Attention, ce n'est pas une relation à l'équivalence !!!</p>	<p style="text-align: center;">Exploitation</p> <p># On réalise d'abord un <u>raisonnement classique d'équivalence</u> pour déterminer la quantité de matière de l'espèce B dosée lors de (R2) :</p> $\text{A l'équivalence} : \frac{n(B, \text{dosé})}{\varepsilon} = \frac{n(T, \text{versé})}{\lambda}$ <p># La quantité de B dosée lors de (R2) s'identifiant à la quantité de B qui n'a pas réagi lors de (R1), on peut donc en déduire la quantité de B qui a réagi lors de (R1) par la relation : $n(B, \text{réagi}) = n(B)_0 - n(B, \text{dosé})$</p> <p># Enfin, on peut remonter à la quantité de A qui a réagi lors de (R1) par la relation :</p> $\frac{n(A, \text{réagi})}{\alpha} = \frac{n(B, \text{réagi})}{\beta}$ <p>Attention, ce n'est pas une relation à l'équivalence !!!</p>

I- PRESENTATION DE L'EAU DE JAVEL

L'eau de Javel est une solution basique, mélange équimolaire de chlorure de sodium ($Na^+_{(aq)} ; Cl^-_{(aq)}$) et d'hypochlorite de sodium ($Na^+_{(aq)} ; ClO^-_{(aq)}$). Elle est utilisée comme détersif, décolorant et antiseptique. Elle tient son nom d'un ancien village d'Ile-de-France, aujourd'hui un quartier de Paris, situé dans le 15^e arrondissement, où se trouvait une usine de produits chimiques.

Elle est fabriquée par réaction entre le dichlore et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (soude) selon l'équation de réaction suivante :

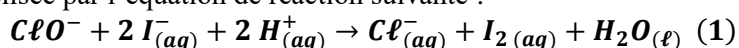


Dans le commerce, l'eau de Javel se présente sous une forme concentrée (berlingots), ou sous une forme plus diluée (en bouteilles).

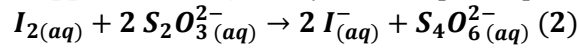
II- TITRAGE DE L'EAU DE JAVEL

Il n'existe pas de réaction courante avec les ions ClO^- qui soit totale, rapide et unique et dont on peut facilement repérer l'équivalence. On réalise alors un titrage en deux temps :

Premier temps : on transforme totalement les ions ClO^- en une espèce chimique facile à titrer, à savoir le diiode I_2 . Cette transformation est modélisée par l'équation de réaction suivante :



Deuxième temps : on titre le diiode formé lors de (1) par une solution de thiosulfate de sodium ($2 Na_{(aq)}^+, S_2O_3^{2-}_{(aq)}$) de concentration C_2 connue. La **réaction support du titrage** est symbolisée par l'équation de réaction suivante :



La réaction (2) est quasi-totale, rapide, unique, et l'équivalence se repère facilement car le diiode en solution aqueuse est orange-brun. La couleur orange-brun disparaît donc lorsque l'équivalence est atteinte, car alors tout le diiode est consommé. On note V_E , le volume versé de la solution titrante à l'équivalence.

Document 1 : Matériel à votre disposition

- Verrerie ordinaire du laboratoire
- Solution d'**eau de Javel** S_A fabriquée en diluant 4 fois un concentré commercial à 18° (berlingot) : on note C_A la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite ClO^- dans la solution S_A .
- Solution d'**iodure de potassium** (K^+, I^-) de concentration $C_1 = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.
- Solution de **thiosulfate de sodium** ($2 Na^+, S_2O_3^{2-}$) de concentration $C_2 = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.
- Acide éthanoïque glacial (= acide éthanoïque pur).
- Solution d'empois d'amidon à 3%.

Document 2 : Protocole expérimental

Étape 1 : Préparer une **solution** S_B de volume $V_B = 50,00 \text{ mL}$ en diluant 5 fois la solution S_A d'eau de Javel. On note C_B sa concentration en quantité de matière en ions hypochlorite ClO^- .

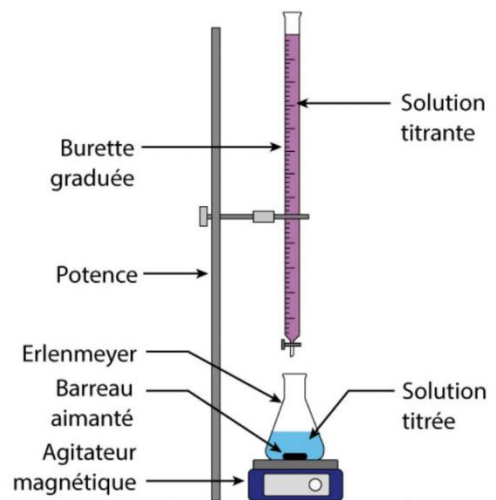
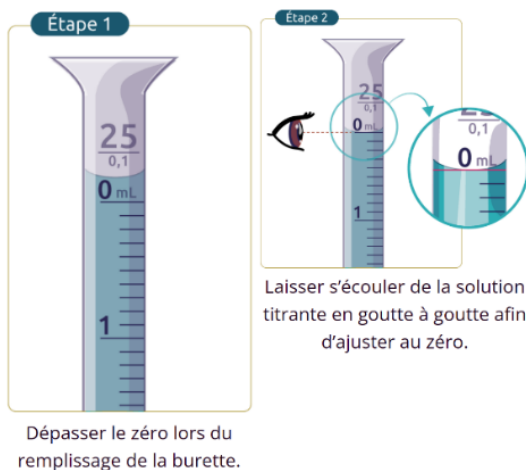
Étape 2 : Dans un erlenmeyer de 150 mL, préparer le **mélange réactionnel** en introduisant dans cet ordre :

- $V'_B = 20,00 \text{ mL}$ de la **solution** S_B ;
- $V_1 = 15 \text{ mL}$ de la solution d'**iodure de potassium** (K^+, I^-).
- Sous la hotte, **1 mL d'acide éthanoïque pur**.

Étape 3 : Titrer le mélange réactionnel ainsi obtenu avec la solution de **thiosulfate de sodium** ($2 Na^+, S_2O_3^{2-}$)
Lorsque la solution devient jaune pâle, ajouter quelques gouttes d'empois d'amidon. À l'équivalence, la solution passe du bleu foncé à l'incolore. On note V_E , le volume versé de la solution titrante à l'équivalence.

Document 3 : Préparation du dispositif de titrage

- **Vider** la burette, la **rincer** à l'eau distillée, puis effectuer un rinçage final avec une petite quantité de solution titrante. Les récupérer dans une « bécasse ». Les verser dans une « bécasse ».
- **Remplir** la burette avec la solution titrante de **thiosulfate de sodium** ($2 Na^+, S_2O_3^{2-}$) et **chasser les bulles** d'air à proximité du robinet. Pour cela, **ouvrir et fermer brusquement** le robinet.
- Terminer par ajuster le **niveau zéro** de la burette.
- Vérifier que la burette est bien verticale.
- Placer l'agitateur magnétique en dessous de la burette.



⊗ **1-** Quelle méthode de titrage INDIRECT est utilisée ici : la **méthode 1** ou la **méthode 2** ?

⊗ **2-** Proposer un protocole pour effectuer la dilution lors de l'**Etape 1**. On précisera en particulier le volume V_A d'eau de Javel à diluer et le matériel à utiliser.

⊗ **3-** Préciser le matériel le plus adapté pour prélever le volume $V_1 = 15 \text{ mL}$ de solution d'iodure de potassium, puis pour prélever le volume $V_B' = 20,00 \text{ mL}$ de solution S_B . Justifier le choix.

⊗ **4-** Après avoir rappelé la définition de l'équivalence, déterminer l'expression de la quantité de matière de diiode formé dans le milieu lors de la réaction (1) en fonction de C_2 et V_E . On notera $n_{I_2,formé}$ cette quantité.

⊗ **5-** A l'aide de la réaction (1), établir la relation entre la quantité de matière de diiode $n_{I_2,formé}$ et la quantité de matière $n_{ClO^-}_i$ des ions hypochlorite initialement présents le mélange réactionnel.

⊗ **6-** En déduire l'expression de la concentration en quantité de matière des ions hypochlorite C_B dans la solution S_B en fonction de C_2 , V_E et V_B' .

7- En déduire l'expression de la concentration en quantité de matière des ions hypochlorite C_A dans la solution S_A en fonction de C_2 , V_E , V_B' , V_A et V_B (on rappelle que le rapport de dilution « 5 » est lié aux volumes V_A et V_B).

8- En déduire l'expression de la concentration en quantité de matière des ions hypochlorite C_0 contenus dans le berlingot commercial en fonction de C_2 , V_E , V_B' , V_A et V_B .

9- Quel est rôle de l'empois d'amidon ? Justifier son ajout en fin de titrage.

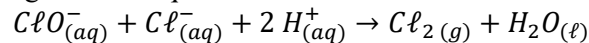
- Mettre en place le dispositif du titrage.
- Mettre en œuvre le protocole expérimental.

10- Déterminer la valeur C_0 de la concentration en quantité de matière des ions hypochlorite contenus dans le berlingot.

On veut comparer la valeur obtenue à celle donnée par le fabricant.

Document 4 : Degré chlorométrique (°chl)

L'eau de Javel est caractérisée par son **degré chlorométrique (°chl)**, noté D, défini comme étant le volume (exprimé en L) de dichlore gazeux libéré (dans les conditions normales de température $T = 0^\circ C$ et de pression $P = 1 atm$) lorsque 1 L d'eau de Javel réagit selon l'équation de réaction suivante :



11- Déterminer le degré chlorométrique de l'eau de Javel du berlingot et comparer à ce qu'annonce le fabricant.

III- CALCULS D'INCERTITUDES

On souhaite évaluer l'incertitude-type $u(C_0)$ associée à la concentration en quantité de matière C_0 des ions hypochlorite. D'après l'expression trouvée à la question 8-, $u(C_0)$ dépend des incertitudes-types $u(C_2)$, $u(V_E)$, $u(V_B)$, $u(V_A)$ et $u(V_B)$.

Déterminons tout d'abord la valeur de chacune de ces incertitudes-types (on donnera 3 chiffres significatifs pour les questions 12- à 17-), puis terminons par l'évaluation de l'incertitude-type de $u(C_0)$.

12- Le volume $V_A = 10,00 \text{ mL}$ qui a été dilué pour préparer la solution S_B a été prélevé à l'aide d'une pipette jaugée de tolérance $t_A = \dots\dots\dots$. En déduire l'expression puis la valeur de l'incertitude-type $u(V_A)$ associée au volume V_A .

13- Le volume $V_B = 50,00 \text{ mL}$ de solution S_B a été préparé dans une fiole jaugée de tolérance $t_B = \dots\dots\dots$. En déduire l'expression puis la valeur de l'incertitude-type $u(V_B)$ associée au volume V_B .

14- Le volume $V'_B = 20,00 \text{ mL}$ de solution S_B étudié pour réaliser le titrage a été prélevé avec une pipette jaugée de tolérance $t'_B = \dots\dots\dots$. En déduire l'expression puis la valeur de l'incertitude-type $u(V'_B)$ associée au volume V'_B .

Le volume équivalent V_E est associé à **trois sources d'incertitude** : la **lecture** du zéro sur la burette, la **lecture** du volume versé à l'équivalence sur la burette et la **tolérance** de la burette elle-même. Nous allons déterminer l'incertitude liée à chacune de ces sources.

Rappel : Pour une échelle graduée, la demi-étendue « a » de la formule « $u = \frac{a}{\sqrt{3}}$ » est égale à la **moitié de la plus petite graduation de l'échelle**.

15- La plus petite graduation de la burette graduée vaut $g = \dots\dots\dots$. En déduire l'expression puis la valeur de l'incertitude-type u_1 associée à la lecture du zéro sur la burette et de l'incertitude-type u_2 associée à la lecture du volume versé à l'équivalence sur la burette.

16- La burette graduée utilisée a une tolérance $t_{BUR} = \dots\dots\dots$. En déduire l'expression puis la valeur de l'incertitude-type u_3 liée à la tolérance de la burette graduée.

17- Les incertitudes u_1 , u_2 et u_3 étant indépendantes, l'incertitude totale sur le volume équivalent $u(V_E)$ se calcule par la relation : $u(V_E) = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2}$. En déduire la valeur de l'incertitude $u(V_E)$ associée au volume équivalent.

18- On a établi à la question 8- que $C_0 = 2 \times C_2 \times \frac{V_E \times V_B}{V'_B \times V_A}$. En déduire l'expression de l'incertitude-type $u(C_0)$ en fonction des incertitudes-types $u(C_2)$, $u(V_E)$, $u(V_B)$, $u(V'_B)$ et $u(V_A)$ puis faire l'application numérique en supposant $u(C_2)$ négligeable.

Rappel : Incertitudes composées

Produit	$G = X \times Y$	$u(G) = G \times \sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2}$
Rapport	$G = \frac{X}{Y}$	