

BACCALAURÉAT SÉRIE S
Épreuve de PHYSIQUE CHIMIE
Évaluation des compétences expérimentales

Sommaire

I. DESCRIPTIF DU SUJET DESTINÉ AUX PROFESSEURS	2
1. Détermination du type de titrage le plus approprié (20 min maximum) ;	2
2. Réalisation du protocole (30 min maximum) ;	2
3. Exploitation des résultats (10 min maximum).....	2
II. LISTE DE MATÉRIEL DESTINÉE AUX PROFESSEURS ET AU PERSONNEL DE LABORATOIRE.....	4
1. Pour chaque poste	4
2. Particularités du sujet, conseils de mise en œuvre.....	4
III. ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT.....	5
1. Détermination du type de titrage le plus approprié (20 min maximum).....	10
2. Réalisation du protocole (30 min maximum)	11
3. Exploitation des résultats (10 min maximum).....	11
IV. REPÈRES POUR L'ÉVALUATION	13
1. Détermination du type de titrage le plus approprié	13
2. Réalisation du protocole	14
3. Exploitation des résultats	14
V. GRILLE D'ÉVALUATION	16

I. DESCRIPTIF DU SUJET DESTINÉ AUX PROFESSEURS

Tâches à réaliser par le candidat	<p>Dans ce sujet on demande au candidat de :</p> <ul style="list-style-type: none"> déterminer, à partir de graphiques et d'une liste de matériel, la méthode de titrage la plus appropriée pour répondre au problème posé ; suivre un protocole en accord avec le choix précédent et exploiter les résultats obtenus.
Compétences évaluées Coefficients respectifs	<p>Cette épreuve permet d'évaluer les compétences :</p> <ul style="list-style-type: none"> S'Approprier (APP) ; coefficient 2 ; Réaliser (RÉA) ; coefficient 3 ; Valider (VAL) ; coefficient 1.
Préparation du poste de travail	<ul style="list-style-type: none"> Précaution de sécurité : tous les appareils qui doivent être connectés au secteur le sont avant l'arrivée du candidat. Prévoir de bien étiqueter les flacons pour éviter toute confusion. Le candidat doit effectuer un choix entre un titrage dont l'équivalence est repérée par du BBT, et un titrage par conductimétrie. Afin de ne pas influencer ce choix, il serait donc judicieux de placer le candidat dans l'environnement qui au cours de l'année lui a été présenté pour réaliser un titrage par conductimétrie et qui diffère selon les établissements (titrage avec conductimètre et tracé sur papier millimétré, titrage à l'aide d'une console d'acquisition et tracé automatisé par exemple).
Déroulement de l'épreuve. Gestion des différents appels.	<p>Minutage des différentes parties de l'épreuve :</p> <ol style="list-style-type: none"> Détermination du type de titrage le plus approprié (20 min maximum) ; Réalisation du protocole (30 min maximum) ; Exploitation des résultats (10 min maximum). <p>Il est prévu deux appels de la part du candidat.</p> <ul style="list-style-type: none"> Avant le premier appel et lors de ce dernier (évaluation du domaine de compétences S'Approprier), le professeur vérifie en continu, et assez rapidement, les réponses aux questions de cette première partie (identification des deux méthodes de titrage, et détermination de l'équivalence sur chaque graphique, en tenant compte des barres d'incertitude). Le professeur ne doit pas laisser un candidat bloquer trop longtemps. Si au bout de 10 min le candidat ne démarre pas, le professeur doit intervenir pour vérifier que le candidat a compris ce qui lui est demandé, en lui posant des questions ouvertes adaptées et en lui donnant des réponses partielles le cas échéant. Si après 30 min, malgré les interventions du professeur et les réponses partielles, le candidat ne parvient toujours pas à déterminer la méthode la plus précise et son incertitude sur la détermination du volume versé à l'équivalence, le professeur lui donne la solution totale. Avant le deuxième appel, le professeur observe le candidat manipuler en continu pour évaluer le domaine de compétence Réaliser. Le professeur peut intervenir à tout instant pour aider le candidat, ou en cas de problème lié à la sécurité. Lors du deuxième appel (évaluation du domaine de compétences Valider), le professeur vérifie que le candidat réussit à exploiter son expérience, et parvient à calculer l'incertitude relative sur la grandeur recherchée. De la même façon, le professeur ne doit pas laisser un candidat bloquer, et doit intervenir assez rapidement avant la fin de l'épreuve.

Remarques	<ul style="list-style-type: none">• Si l'incertitude de la pipette jaugée ne correspond pas à celle du tableau du document 2, entrer la valeur inscrite sur la pipette dans le tableau, et corriger les solutions partielle 2 et totale du 2^{ème} appel.• Le protocole de titrage, présent en page 11, est fourni au candidat seulement après le 1^{er} appel, sinon le choix entre les deux méthodes de titrage risque d'être influencé.
-----------	--

II. LISTE DE MATÉRIEL DESTINÉE AUX PROFESSEURS ET AU PERSONNEL DE LABORATOIRE

La version .rtf de l'ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT jointe à la version .pdf vous permet d'adapter le sujet à votre matériel.

Cette adaptation ne doit entraîner EN AUCUN CAS de modifications dans le déroulement de l'évaluation.

1. Pour chaque poste

- Une feuille de papier millimétré
- Une burette graduée de 25 mL
- Une potence pour maintenir la burette et éventuellement la sonde conductimétrique
- Une pipette jaugée de 10 mL de classe A
- Une propipette
- Un agitateur magnétique avec turbulent
- Un conductimètre déjà étalonné et sa sonde
- 100 mL de soude à $c_b = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- 50 mL d'une solution d'acide chlorhydrique à environ $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ que les élèves doivent titrer
- Un flacon compte-gouttes de bleu de bromothymol
- Un becher de 50 mL
- Un becher de 200 mL
- Un becher pour transvasement (pipetage de la solution titrée)
- Pissette d'eau distillée
- Chiffon et éponge
- Gants et lunette de sécurité

2. Particularités du sujet, conseils de mise en œuvre

- Bien étiqueter les flacons.
- Seul le dispositif de titrage avec repérage de l'équivalence grâce au BBT est utilisé, cependant le nécessaire au titrage par conductimétrie doit être présent pour être envisagé par le candidat.

III. ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT

NOM :	Prénom :
Centre d'examen :	N° d'inscription :

Ce sujet comporte **7** feuilles individuelles sur lesquelles le candidat doit consigner ses réponses.
Le candidat doit restituer ce document avant de sortir de la salle d'examen.

Le candidat doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'épreuve.
En cas de difficulté, le candidat peut solliciter l'examineur afin de lui permettre de continuer la tâche.
L'examineur peut intervenir à tout moment sur le montage, s'il le juge utile.

CONTEXTE DU SUJET

Une entreprise demande à un laboratoire d'analyses de contrôler le plus précisément possible la concentration d'une solution d'acide chlorhydrique qu'elle utilise. Elle vaut environ $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le but de l'épreuve est comparer la précision des deux possibilités offertes pour réaliser ce titrage, et de le mettre en œuvre afin de déterminer la concentration c_a recherchée **le plus précisément possible**.

DOCUMENTS MIS À DISPOSITION DU CANDIDAT**Document 1 : matériel et solutions à disposition**

- un conductimètre et sa sonde, étalonné en deux points ($1413 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et $12,9 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), dont la notice indique une précision de $\pm (1,5 \% + 1 \text{ digit})$;
- une solution d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration $c_b = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ préparée à 0,5 % près ;
- une solution de bleu de bromothymol (BBT) dont la zone de virage est comprise entre $\text{pH} = 6,0$ et $\text{pH} = 7,6$;
- une burette graduée de 25 mL de classe A ;
- une pipette jaugée de 10 mL de classe A ;
- un agitateur magnétique avec turbulent ;
- divers bechers.

Document 2 : précision du matériel à disposition

Pour la verrerie, la classe correspond à l'incertitude absolue sur le volume lu.

pipette	jaugée 10 mL	graduée 10 mL
classe A	0,02 mL	0,04 mL
classe B	0,04 mL	0,06 mL

Pour une burette de 25 mL de classe A, l'incertitude absolue vaut 0,03 mL. Ainsi pour un volume lu $V = 12,0 \text{ mL}$, on a en fait $V = 12,00 \text{ mL} \pm 0,03 \text{ mL}$.

Pour le conductimètre, l'indication $\pm (1,5 \% + 1 \text{ digit})$ signifie que pour une valeur lue $\sigma = 12,50 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, l'incertitude $\Delta\sigma$ est donnée par $\Delta\sigma = 12,50 \times 0,015 + 0,01 = 0,20 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Ainsi, $\sigma = 12,50 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1} \pm 0,20 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Notes à propos des documents 3, 4 et 5

1- Ces trois graphiques représentent les résultats de titrages de solution d'acide chlorhydrique par de la soude réalisés avec le matériel à disposition, dans les conditions expérimentales suivantes :

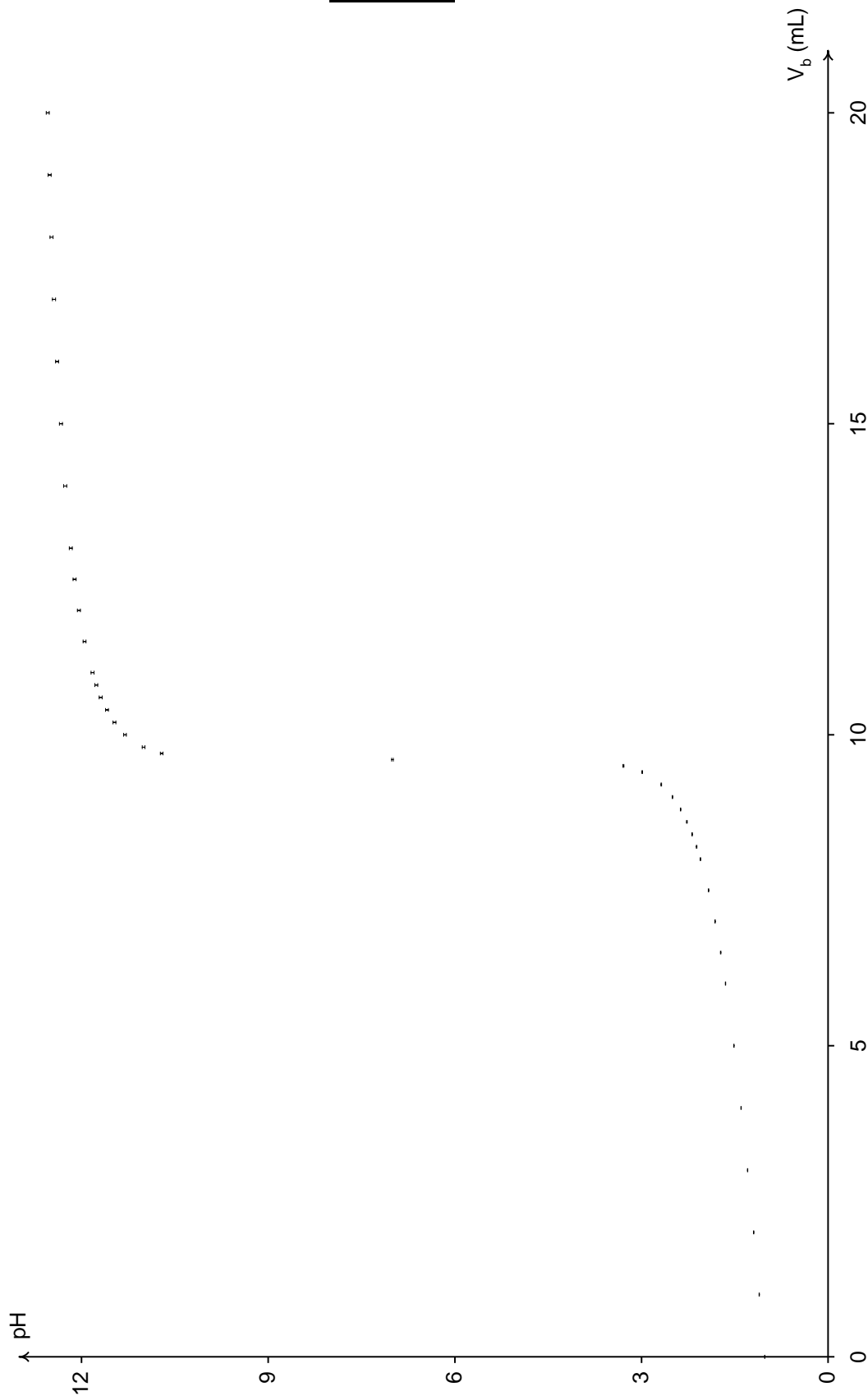
- volume de solution titrée : $V_a = 10,0 \text{ mL}$;
- concentration de la solution titrée : environ $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- concentration de la solution titrante : $c_b = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ à 0,5 % près ;
- pour le titrage conductimétrique, un volume d'eau $V_{eau} = 20,0 \text{ mL}$ a été ajouté au réactif titré ;
- le pH-mètre utilisé, non fourni ici, a été étalonné en trois points (4,01, 7,00 et 10,01), sa notice indique une précision de 0,2 %.

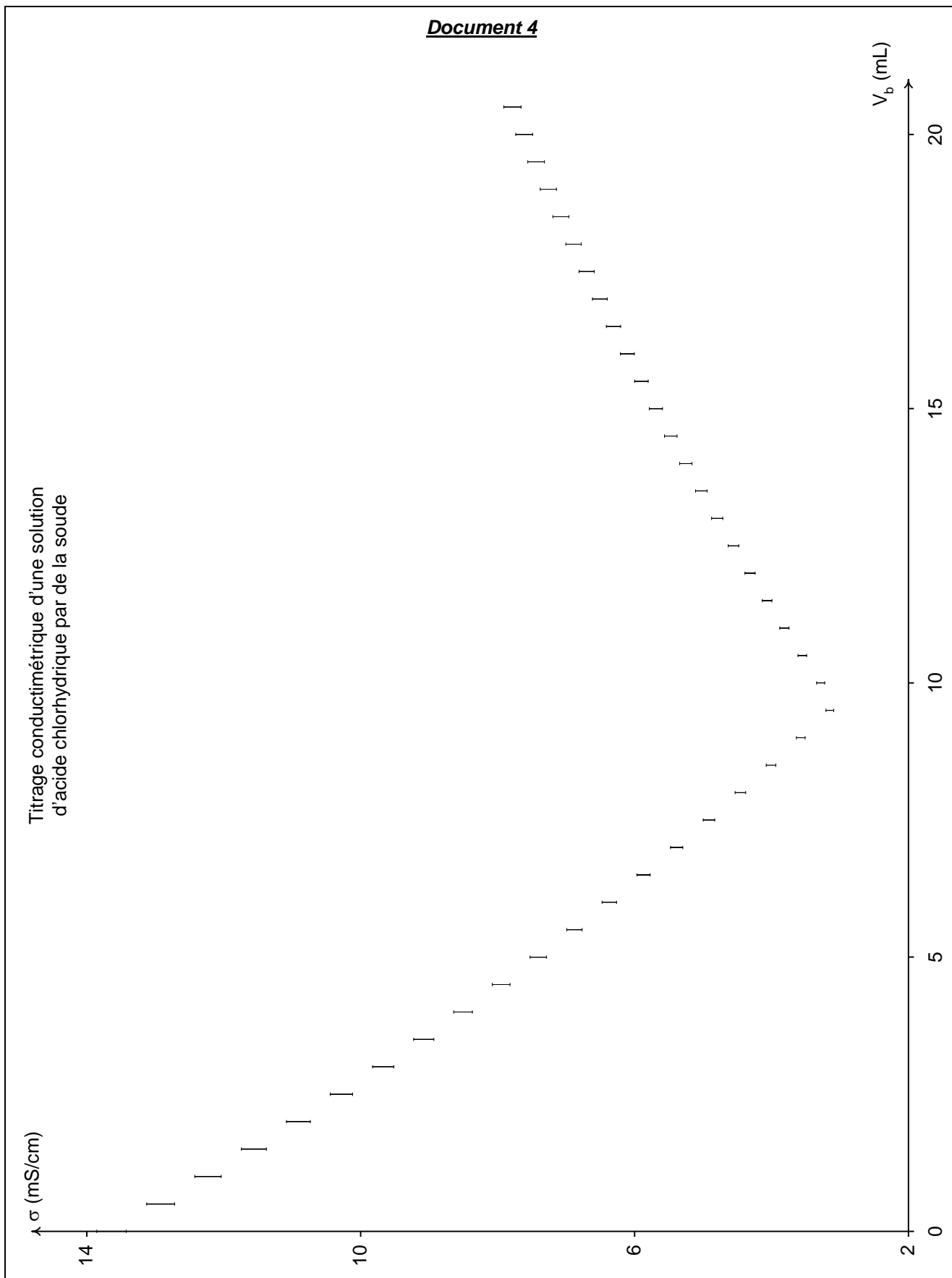
2- Signification des barres (appelées barres d'incertitude) sur les graphes :

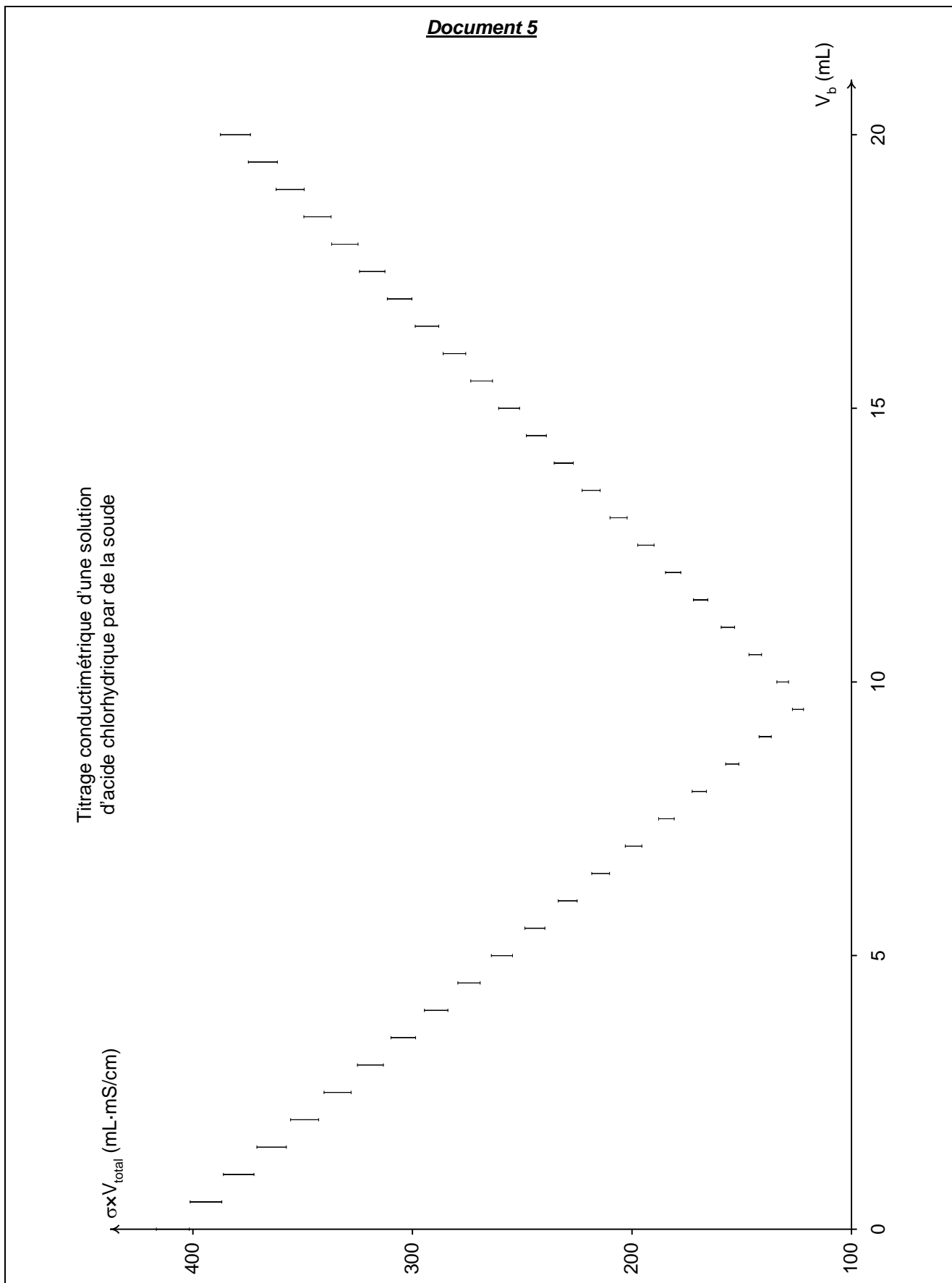
Ces barres sont centrées sur les valeurs expérimentales lues. Leur taille relate l'incertitude liée à la mesure. L'ordonnée d'un point expérimental appartient donc à toute la longueur de la barre dont le centre correspond à la valeur lue. Sur chaque graphe, et pour chaque mesure, l'incertitude liée à la lecture du volume est suffisamment faible (0,03 mL) pour ne pas la représenter.

Document 3

Titration pH-métrique d'une solution d'acide chlorhydrique par de la soude







Document 6 : notions sur les calculs d'incertitude

Soient x , y et z trois grandeurs de valeur positive.

Incertitude absolue, incertitude relative et notation

Si $z = 3,20 \text{ m}$ avec une incertitude absolue $\Delta z = 0,08 \text{ m}$, alors on note $z = 3,20 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$.

L'incertitude relative sur z vaut alors $\frac{\Delta z}{z} = \frac{0,08}{3,20} = 2,5 \%$.

Calcul d'incertitude

· Si $z = x + y$ ou $z = x - y$, alors $\Delta z = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$

· Si $z = x \times y$ ou $z = \frac{x}{y}$, alors $\frac{\Delta z}{z} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$

Ainsi, si $u = \frac{a \times b}{c}$, alors $\frac{\Delta u}{u} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2}$

TRAVAIL À EFFECTUER

1. Détermination du type de titrage le plus approprié (20 min maximum)

Quelles sont les deux méthodes permettant de titrer la solution d'acide chlorhydrique avec le matériel à disposition ?

.....

.....

.....

.....

.....

En exploitant les graphes des documents 3, 4 et 5, déterminer la méthode de titrage, parmi les deux citées dans la réponse précédente, qui permet d'obtenir le volume à l'équivalence V_{bE} avec le plus de précision (déterminer graphiquement l'intervalle auquel il appartient).

.....

.....

.....

.....

APPEL N°1



Appeler le professeur afin de lui présenter les résultats de votre étude, ou en cas de difficulté.

2. Réalisation du protocole (30 min maximum)

Mettre en œuvre le protocole expérimental fourni par le professeur.

3. Exploitation des résultats (10 min maximum)

Déduire du titrage réalisé la concentration de la solution tirée, ainsi que l'incertitude relative sur le résultat obtenu.

On pourra considérer que l'incertitude absolue sur le volume à l'équivalence est la même que celle lue sur le graphe du même type parmi les documents 3, 4 et 5.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....


.....

.....

.....

.....

.....

<p>APPEL N°2</p> 	<p>Appeler le professeur afin de lui présenter vos résultats.</p>
---	--

Défaire le montage et ranger la paillasse avant de quitter la salle.

Annexe : protocole de titrage, fourni après le 1^{er} appel uniquement.

Protocole à mettre en œuvre :

- prélever 10 mL de solution à titrer avec la pipette jaugée de 10 mL ;
- les verser dans un becher de 50 mL ;
- y ajouter 5 gouttes de BBT ;
- placer le becher sur agitation magnétique ;
- remplir la burette graduée avec la solution titrante de soude ;
- effectuer un titrage rapide pour repérer l'équivalence (volume versé V_{bE}^1) par changement de couleur du mélange réactionnel ;
- reprendre les étapes précédentes et verser un volume ($V_{bE}^1 - 2 \text{ mL}$) de la solution titrante, puis verser goutte à goutte jusqu'au changement de couleur (volume versé V_{bE}).

IV. REPÈRES POUR L'ÉVALUATION

Le candidat est en situation d'évaluation, l'examineur ne doit pas fournir d'explicitation des erreurs ni de la démarche à conduire. Ses interventions sont précises, elles servent de relance pour faire réagir le candidat ou bien pour lui permettre d'avancer pour être évalué sur d'autres compétences.

Les erreurs détectées par le professeur en continu ou lors d'un appel sont forcément suivies d'un questionnement ou d'un apport de solution si ces erreurs conduisent l'élève à une impasse.

1. Détermination du type de titrage le plus approprié

Réponses attendues à la 1^{ère} question :

- titrage par de la soude avec le BBT comme indicateur de fin de réaction ;
- titrage conductimétrique par de la soude.

Réponses attendues à la 2^{ème} question :

- courbe 3 : la détermination de la "zone d'équivalence" par tracé de l'intersection de la zone de virage du BBT avec la courbe donne $[V_{bE}^{\min}; V_{bE}^{\max}] = [9,55; 9,65]$, soit $\Delta V_{bE} = 0,05$ mL ;
- courbe 4 : le réactif titrant dilue trop fortement le mélange réactionnel pour permettre une détermination précise de l'équivalence sur cette courbe ;
- courbe 5 : le tracé des asymptotes passant par le "bas" ou le "haut" des barres d'incertitudes, permet de déterminer $[V_{bE}^{\min}; V_{bE}^{\max}] = [9,5; 9,7]$, soit $\Delta V_{bE} = 0,10$ mL.

La méthode la plus précise pour déterminer l'équivalence ici est donc le titrage avec le BBT comme indicateur de fin de réaction.

Évaluation de la compétence S'Approprier

Avant le 1^{er} appel et lors de ce dernier, le professeur évalue la compétence **S'Approprier**. Le critère retenu pour son évaluation est le suivant : *rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation*.

Tout au long de cette phase, le professeur est attentif à l'avancée du candidat. Il veille à ce que celui-ci comprenne bien ce qui lui est demandé. Si le candidat se trouve en difficulté, le professeur doit intervenir en lui posant des questions ouvertes.

Exemples de questions ouvertes

Pour un candidat qui déterminerait l'équivalence avec la méthode des tangentes : *D'après la liste du matériel, on ne dispose pas de pH-mètre. Comment peut-on ici repérer l'équivalence sans avoir à tracer une courbe ?*

Pour l'exploitation du document 5 : *Avant l'équivalence, peut-on placer avec exactitude l'asymptote à la courbe ?*

Exemples de solutions partielles

Solution partielle 1

Sur le document 3, pour déterminer l'incertitude sur le volume à l'équivalence, il faut tracer la zone de virage du B.B.T.

Solution partielle 2

Sur le document 5, la grandeur mesurée appartient à toute la barre d'incertitude. Donc, il est possible de tracer plusieurs asymptotes avant ou après l'équivalence, pour déterminer différentes valeurs du volume à l'équivalence.

Exemple de solution totale

La méthode la plus précise pour déterminer l'équivalence ici est le titrage avec le BBT comme indicateur de fin de réaction. Le volume à l'équivalence est déterminé avec une incertitude absolue $\Delta V_{bE} = 0,05 \text{ mL}$.

Le professeur attend que le candidat sache corriger seul une maladresse, ou apporte seul une réponse à un questionnement ouvert. Si certaines réponses sont floues, le professeur pourra les faire préciser au candidat à l'aide de questions ouvertes. Le candidat n'est alors pas pénalisé.

Si le candidat parvient à déterminer la méthode la plus précise et l'incertitude sur le volume V_{bE} sans solution partielle, le niveau acquis pour APP est le **niveau A**.

Si une solution partielle est nécessaire, le niveau acquis est le **niveau B**.

Si deux solutions partielles sont nécessaires, le niveau acquis est le **niveau C**.

Si malgré les solutions partielles fournies, le candidat est toujours en échec, la solution totale lui est fournie et le niveau atteint est le **niveau D**.

2. Réalisation du protocole

Lors de la mise en œuvre du protocole, le professeur observe le candidat en continu, afin d'évaluer la compétence **Réaliser**. Les critères retenus pour son évaluation sont les suivants :

- *évoluer avec aisance dans l'environnement du laboratoire ;*
- *suivre un protocole ;*
- *respecter les règles de sécurité ;*
- *utiliser le matériel de manière adaptée ;*
- *organiser son poste de travail ;*
- *effectuer des mesures avec précision.*

Le candidat doit être capable de :

- suivre le protocole fourni ;
- rincer la verrerie avec la solution adaptée ;
- utiliser correctement la verrerie de précision (contrôle des traits de jauge ou du "zéro" de la burette) ;
- contrôler l'absence de bulle d'air dans la partie inférieure de la burette ;
- relever précisément le volume versé à l'équivalence (**contrôlé par le professeur**).

Le professeur peut intervenir à tout instant pour "débloquer" le candidat, à l'aide de questions ouvertes (non pénalisantes), ou d'aide plus précise (le niveau acquis pour RÉA est alors le **niveau B, C ou D** suivant le type d'aide donnée).

Si le candidat respecte les points précédents sans intervention du professeur, le niveau acquis pour RÉA est le **niveau A**.

Si un seul des points précédents est mal réalisé, le niveau acquis est le **niveau B**.

Si deux des points précédents sont mal réalisés, le niveau acquis est le **niveau C**.

Si au moins trois des points précédents ne sont pas respectés, le niveau acquis est le **niveau D**. Si le candidat ne parvient pas à déterminer l'équivalence, le professeur lui donne alors le volume recherché.

3. Exploitation des résultats

Lors du 2^{ème} appel, le professeur évalue la compétence **Valider**. Les critères retenus pour son évaluation sont les suivants :

- *exploiter et interpréter des mesures ;*
- *analyser des résultats de façon critique ;*
- *utiliser du vocabulaire de la métrologie.*

Réponse attendue :

Si $V_{bE} = 9,8$ mL, alors on obtient $c_a = \frac{c_b \times V_{bE}}{V_a} = \frac{0,100 \times 9,8}{10,0} = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'incertitude est déterminée par $\frac{\Delta c_a}{c_a} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c_b}{c_b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_{bE}}{V_{bE}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_a}{V_a}\right)^2}$, soit ici

$$\frac{\Delta c_a}{c_a} = \sqrt{(0,5 \cdot 10^{-2})^2 + \left(\frac{0,05}{9,8}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10,0}\right)^2} = 7,4 \cdot 10^{-3}.$$

Ainsi, l'exploitation du titrage donne $c_a = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à 0,7 % près.

Le professeur doit intervenir assez rapidement si le candidat "bloque", de manière à pouvoir l'évaluer correctement.

Exemples de solutions partielles

Solution partielle 1

L'incertitude relative sur c_a se calcule ici par $\frac{\Delta c_a}{c_a} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c_b}{c_b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_{bE}}{V_{bE}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_a}{V_a}\right)^2}$.

Solution partielle 2

L'incertitude **relative** sur la concentration c_b vaut 0,5 % et l'incertitude **absolue** sur le volume titré V_a vaut 0,02 mL.

Exemple de solution totale

L'incertitude relative sur c_a se calcule ici par $\frac{\Delta c_a}{c_a} = \sqrt{(0,5 \cdot 10^{-2})^2 + \left(\frac{0,05}{9,8}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10,0}\right)^2} = 7,4 \cdot 10^{-3}$.

Si le candidat parvient au résultat final (valeur de la concentration et incertitude relative) sans aide, le niveau acquis pour VAL est le **niveau A** (même si le résultat comporte un chiffre significatif en trop).

Si une ou deux solutions partielles sont fournies, ou si le résultat final comporte trop de chiffres significatifs, le niveau acquis est le **niveau B**.

Si malgré les solutions partielles, le candidat reste en échec, le niveau acquis est le **niveau C**, la solution totale lui est alors donnée.

Si malgré la solution totale, le candidat exprime le résultat avec l'incertitude absolue, ou se trompe en effectuant la "conversion" en pourcentage, ou note le résultat final avec trop de chiffres significatifs, le niveau acquis est le **niveau D**.

V. GRILLE D'ÉVALUATION

ECE SUJET N°		TITRE															
		Nom :				Nom :				Nom :				Nom :			
		Prénom :				Prénom :				Prénom :				Prénom :			
compétence	Coefficient	Niveau validé				Niveau validé				Niveau validé				Niveau du domaine de compétences			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
S'approprier	2																
Analyser	0																
Réaliser	3																
Valider	1																
Communiquer	0																
Note	/ 20																
Remarques																	