

PHYSIQUE-CHIMIE

Terminale

Enseignement de spécialité de la voie générale

Enseignement SPCL de la filière STL de la voie
technologique

**Analyser un système par
des méthodes chimiques**

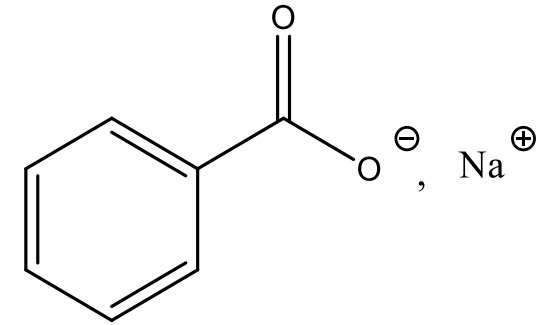


Analyser un système par des méthodes chimiques

A. Problématique



BOISSON GAZEUSE AUX ARÔMES NATURELS
A VALEUR ÉNERGÉTIQUE RÉDUITE. INGREDIENTS: EAU GA
ACIDIFIANTS: E330, E331; ÉMULSIFIANTS: E1450, E445,
NATURELS; CONSERVATEUR: E211; ÉDULCORANTS: E950, E955; C



E 211 Benzoate de sodium

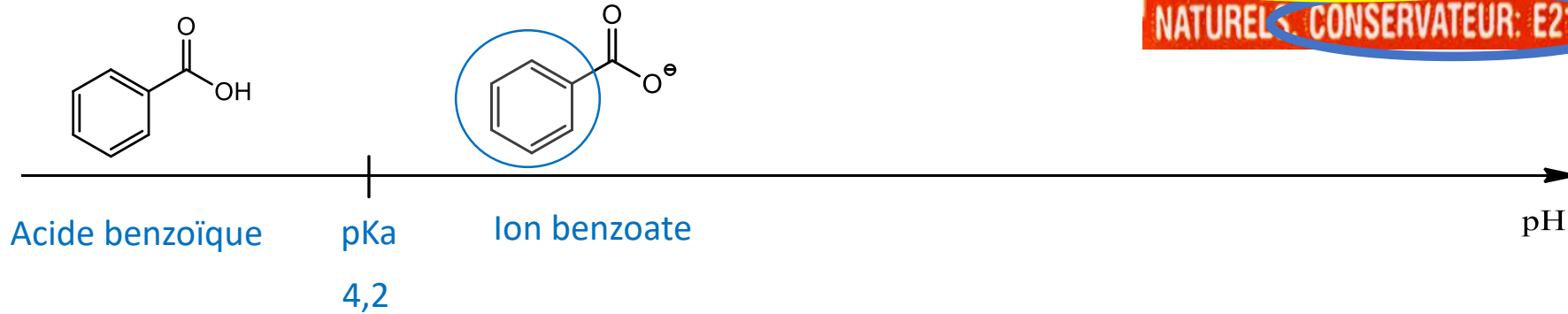
- Le **benzoate de sodium E211** est un conservateur encore présent dans certains aliments et boissons. La dose journalière admissible **DJA d'ions benzoate est de 5,0 mg / kg de masse corporelle**.
 - **Quelle quantité de boisson peut-on boire sans dépasser la DJA ?**
- L'ion benzoate a des propriétés acido-basiques. Mais d'autres espèces chimiques dans la boisson ont également des propriétés acido-basiques : « acidifiants E330 et E331 » acide citrique et citrate de sodium.
 - **Comment déterminer la quantité d'ions benzoate présent dans le soda ?**



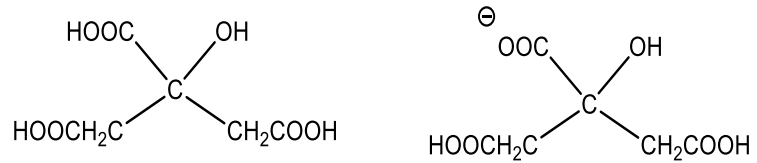
Analyser un système par des méthodes chimiques

A. Problématique

Le conservateur E211 : ion benzoate et ion sodium



Les acidifiants E330 (acide citrique) et E331 (ion citrate et ion sodium)



E330

Acide citrique

E331

Ion citrate

Le pH du soda est égal 3.

- Le conservateur E211 est majoritairement sous forme d'acide benzoïque
- Dans la boisson, il y a un mélange de 3 acides : **acide benzoïque, acide citrique et ion citrate**

Comment sélectivement déterminer la quantité d'acide benzoïque puis en déduire la quantité d'ions benzoate ?



Analyser un système par des méthodes chimiques

B. Différentes méthodes d'analyse d'un système

▫ Classe de première :

- dosage par étalonnage
- titrages avec des réactions d'oxydoréduction comme réaction support des titrages

▫ Classe de terminale :

- analyse d'un système par méthodes physiques
- **titrages** avec des réactions **acide-base** comme réaction support des **titrages**

- La réaction support du titrage doit ne faire intervenir qu'**une seule espèce** que l'on cherche à titrer.

Or dans la boisson, il y a **3 acides** (acide benzoïque, acide citrique et ion citrate) qui peuvent tous les trois réagir avec une base (ion hydroxyde de la soude)

- Pour doser **sélectivement** l'acide benzoïque, il faut pouvoir le **séparer** des autres acides.



Analyser un système par des méthodes chimiques

C. Réponse à la problématique

C.1. Extraction de l'acide benzoïque

C.2. Titrage de l'acide benzoïque par de la soude



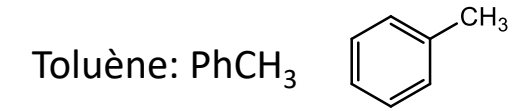
C.1 Extraction de l'acide benzoïque



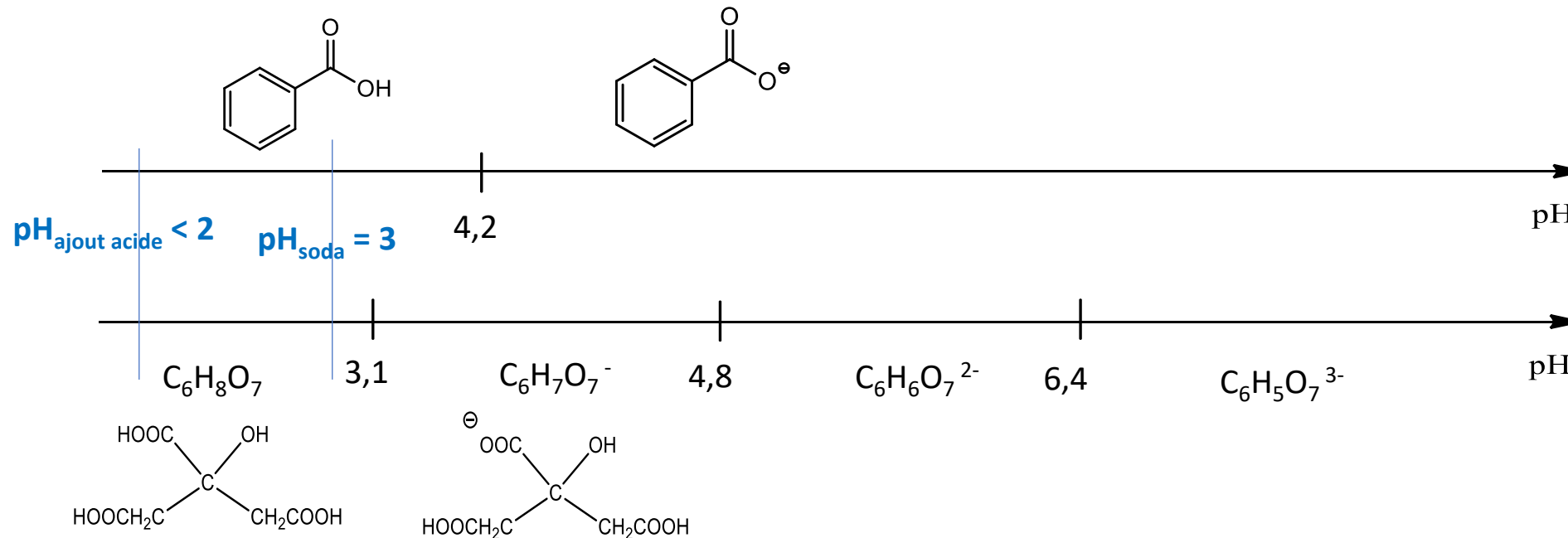
Analyser un système par des méthodes chimiques

C.1 Extraction de l'acide benzoïque

a. Réflexion sur une extraction par solvant



Espèce chimique	Solubilité dans l'eau (g/L) à 25 °C	Solubilité dans le toluène (g/L) à 25°C
acide benzoïque PhCOOH	3,40	110
ion benzoate PhCOO ⁻	400	très faible
acide citrique et ions (C ₆ H ₈ O ₇ , C ₆ H ₇ O ₇ ⁻ , C ₆ H ₆ O ₇ ²⁻ , C ₆ H ₅ O ₇ ³⁻)	très grande	très faible





Analyser un système par des méthodes chimiques

C.1 Extraction de l'acide benzoïque

b. Protocole d'extraction par solvant de l'acide benzoïque

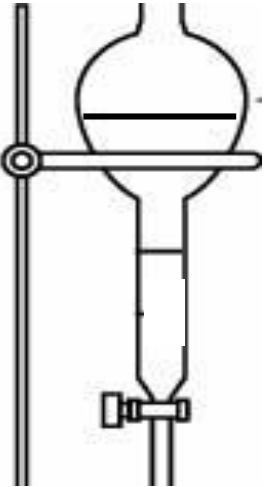
▫ A **pH < 2**, on a très majoritairement dans le mélange :

- Acide benzoïque C_6H_5COOH
- Acide citrique $C_6H_8O_7$

▫ **L'acide benzoïque** est très peu soluble dans l'eau et **très soluble dans le toluène** ($d < 1$) à 25°C.

▫ L'acide citrique est **très soluble dans l'eau** et très peu soluble dans le toluène à 25°C.

L'acide benzoïque est **extrait** du mélange par le **toluène non miscible à l'eau** (donc à la boisson).





Analyser un système par des méthodes chimiques

C.1 Extraction de l'acide benzoïque

c. Elimination du solvant par vaporisation

On **isole** l'acide benzoïque en éliminant le toluène par **vaporisation** (ou ébullition).



- Séchage à l'étuve : température = 115 °C
- Pour 1,5 L de soda : $m_{\text{extrait sec}} = \mathbf{0,130 \text{ g}}$



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.1 Extraction de l'acide benzoïque

d. Caractérisation du solide obtenu (acide benzoïque) par détermination de sa température de fusion

- Analyse à l'aide d'un Banc Köfler



	Acide benzoïque
T fusion (°C) (tables de données) sous P = 1 bar	122
T fusion (°C) (expérimentale) sous P = 1 bar	120 ± 2





Analyser un système par des méthodes chimiques

C.1 Extraction de l'acide benzoïque

e. Bilan

- Après acidification à **pH < 2**, l'acide benzoïque est **extrait** du mélange par le toluène puis **isolé** en éliminant le toluène par **vaporisation**.
- L'acide benzoïque est **séché** puis identifié par sa **température de fusion**.
- La masse d'extrait sec pour **1,5 L de soda** est $m_{\text{extrait sec}} = 0,130 \text{ g}$

L'extrait sec est-il de l'acide benzoïque pur ?



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.1 Extraction de l'acide benzoïque

f. Notions et capacités exigibles du programme

- Couples acide-base et pKa
- Représenter le diagramme de prédominance d'un couple acide-base
- Exploiter un diagramme de prédominance ou de distribution



C.2 Titrage de l'acide benzoïque



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

a. Préparation de la solution à titrer

▫ Préparation d'une solution aqueuse S_0 d'extrait d'acide benzoïque

- Dissolution à chaud de l'extrait sec dans 150 mL d'eau déminéralisée
- Refroidissement puis introduction de la solution dans une **fiolle jaugée de 200,0 mL** ; complétée avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.
- Prélèvement d'un volume $V_0 = 25,0$ mL de la solution S_0 avec une **pipette jaugée** pour chaque titrage

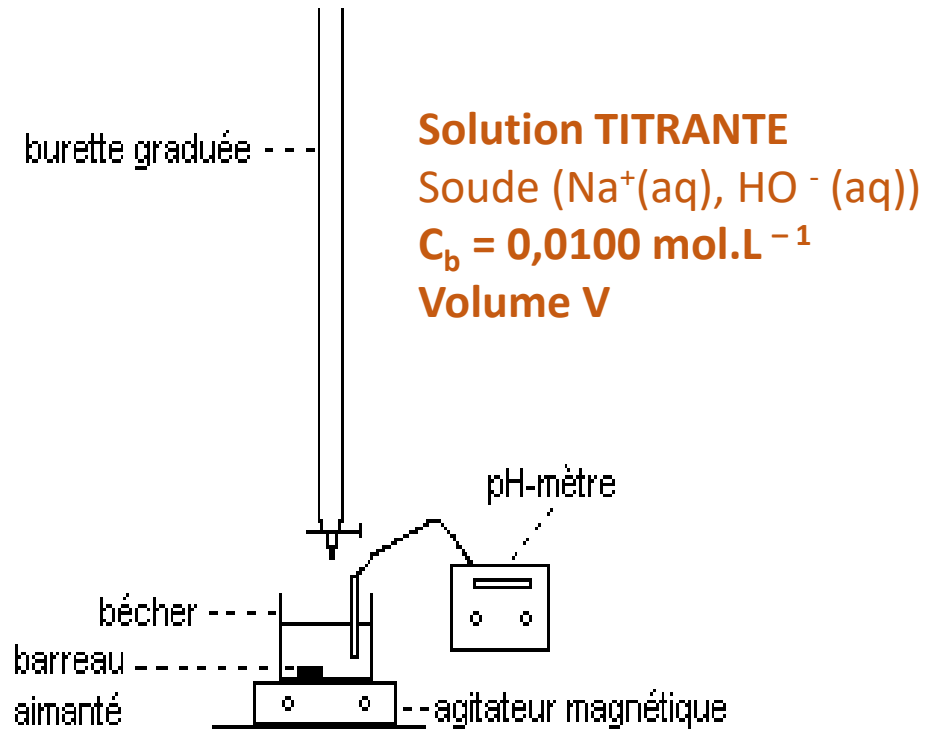




Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

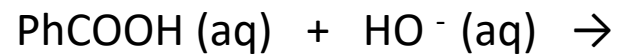
b. Titrage avec suivi pH-métrique



Solution à TITRER

Solution aqueuse
d'acide benzoïque
 $V_0 = 25,0 \text{ mL}$

Equation de la réaction support du titrage :

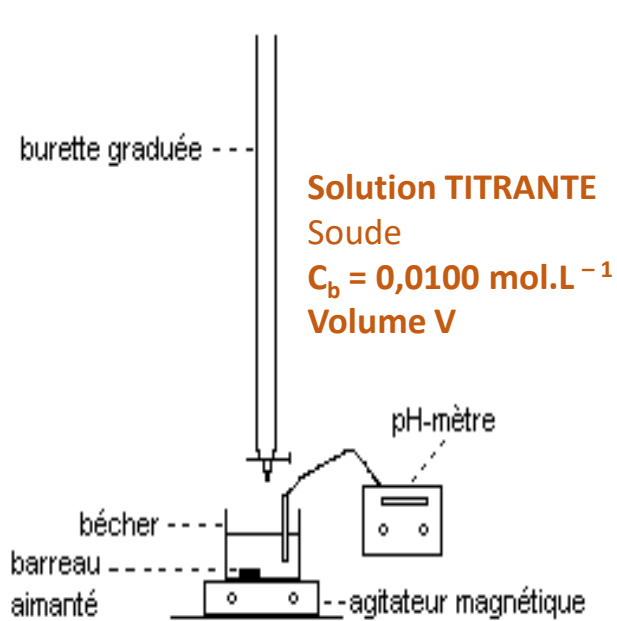




Analyser un système par des méthodes chimiques

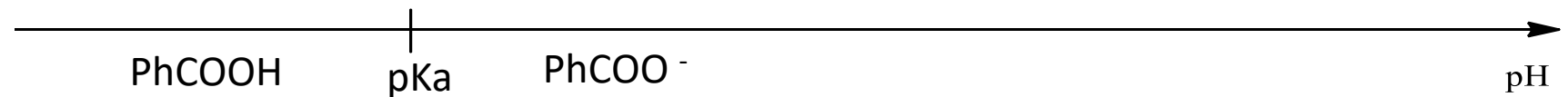
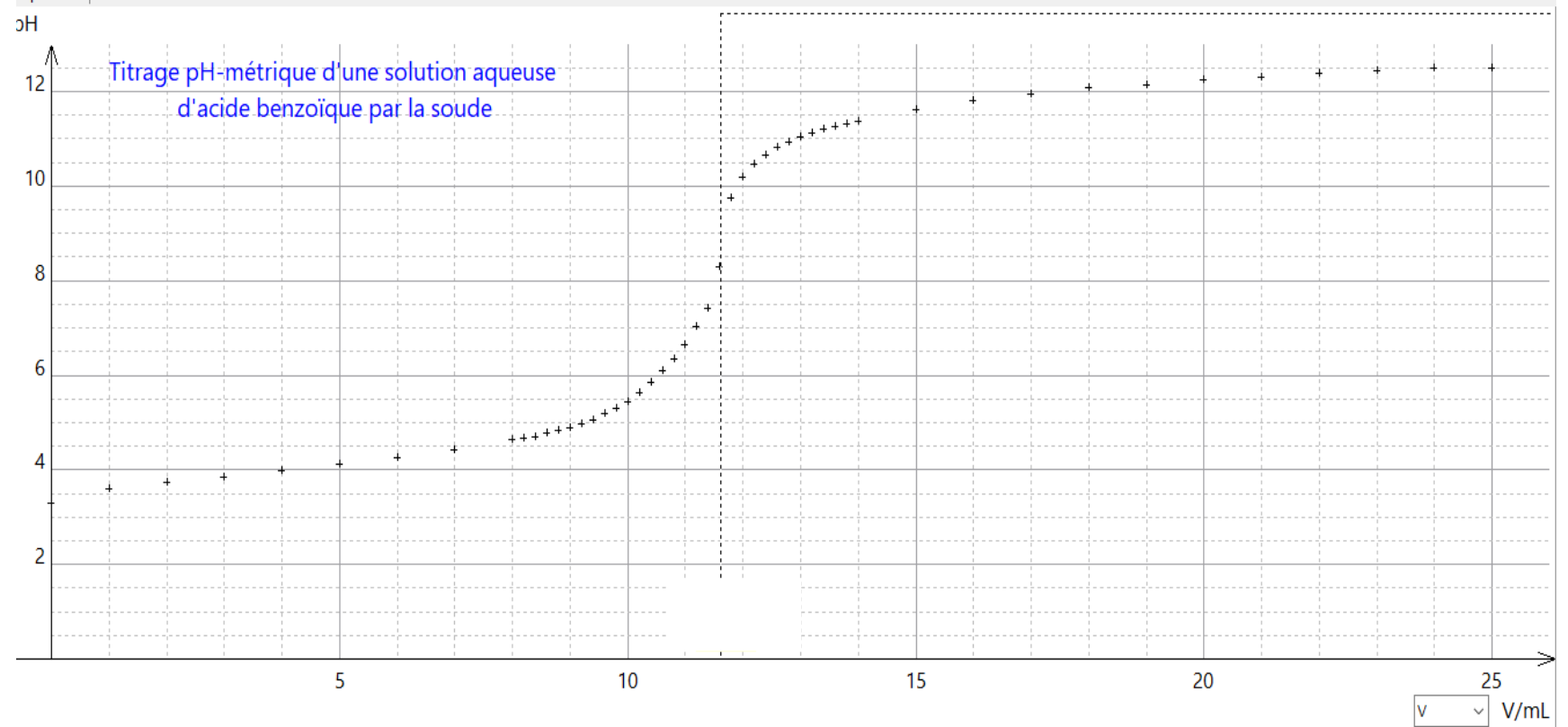
C.2 Titrage de l'acide benzoïque

b. Titrage avec suivi pH-métrique



Solution à TITRER

Solution aqueuse d'acide benzoïque $V_0 = 25,0 \text{ mL}$

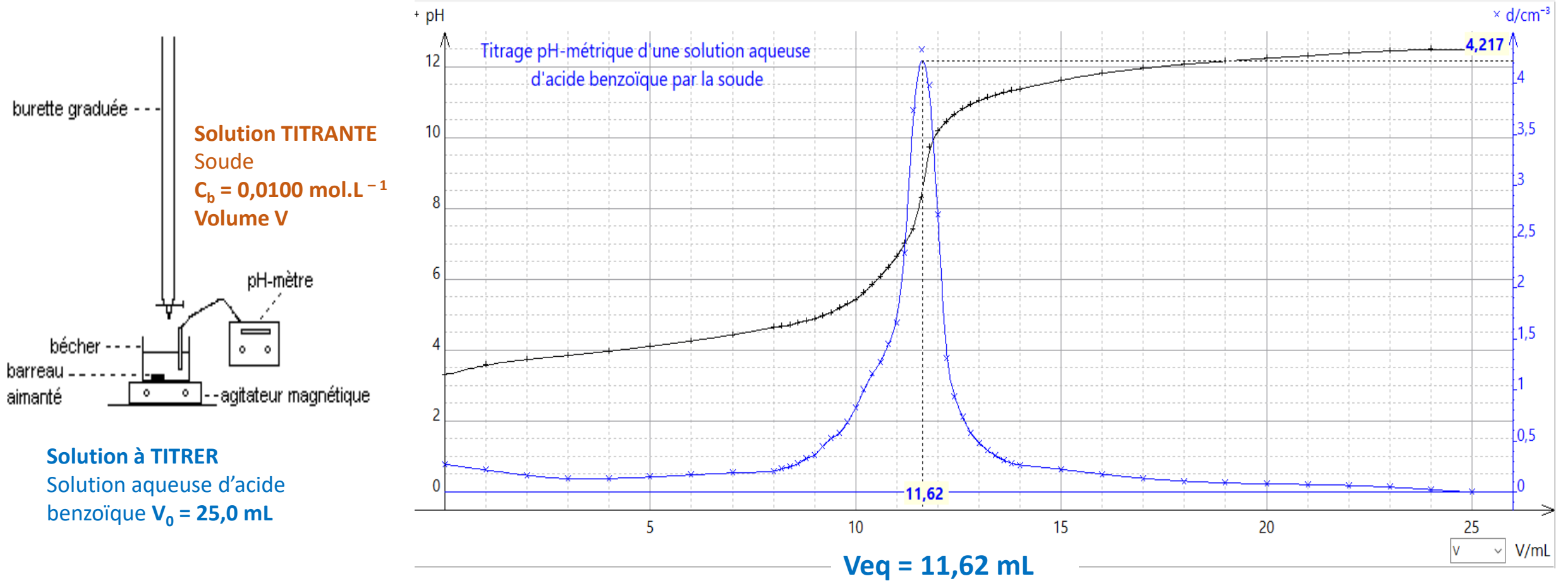




Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

b. Titrage avec suivi pH-métrique



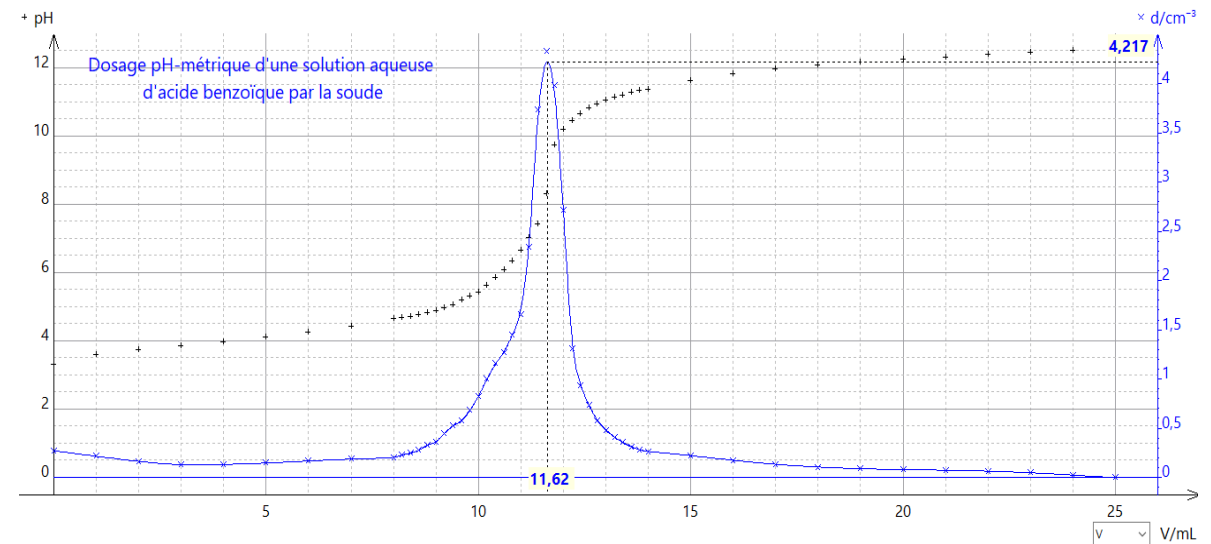
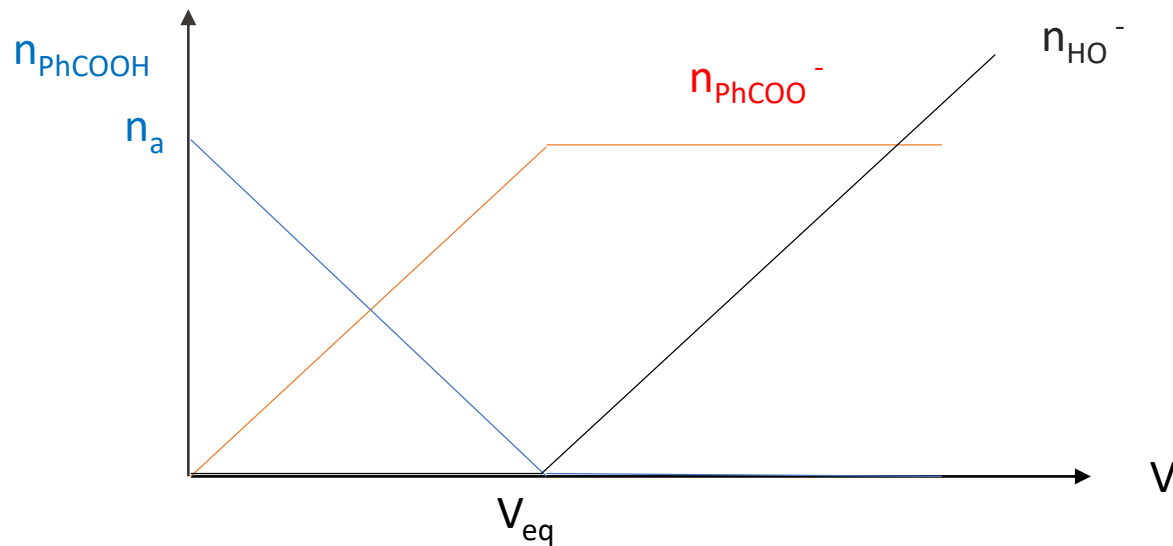


Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

b. Titrage avec suivi pH-métrique

	Avancement	Volume de soude V	PhCOOH (aq)	HO ⁻ (aq)	PhCOO ⁻ (aq)	H ₂ O (l)
Etat initial	$x = 0$	$V = 0$ mL				-
Etat final	$x < x_f$	$V < V_{eq}$				-
A l'équivalence	x_f	V_{eq}				-
Après l'équivalence	$x > x_f$	$V > V_{eq}$	0	$C_b V - C_b V_{eq}$	$x_f = n_a = C_b V_{eq}$	-





Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

b. Titrage avec suivi pH-métrique

▫ Equation de la réaction support du titrage : $\text{PhCOOH (aq)} + \text{HO}^- \text{ (aq)} \rightarrow \text{PhCOO}^- \text{ (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)}$

▫ Equivalence repérée avec le saut de pH et le maximum de la dérivée : $V_{\text{équivalence}} = 11,62 \text{ mL}$

▫ Relation à l'équivalence : $n \text{ PhCOOH}_{\text{(initial)}} = n \text{ HO}^- \text{ (ajouté)} \Leftrightarrow n_a = C_b \times V_{\text{eq}} \Leftrightarrow \frac{m}{M} = C_b \times V_{\text{eq}}$

▫ $m_{\text{PhCOOH (prise d'essai)}} = C_b \times V_{\text{eq}} \times M = 0,0100 \times 11,62 \cdot 10^{-3} \times 122,12 = 0,0142 \text{ g}$

▫ $m_{\text{PhCOOH (soda)}} = m_{\text{PhCOOH (prise d'essai)}} \times \frac{200}{25} = 0,114 \text{ g}$

▫ $\% \text{ Pureté} = \frac{m_{\text{PhCOOH (soda)}}}{m_{\text{extrait (soda)}}} \times 100 = 87,7 \%$











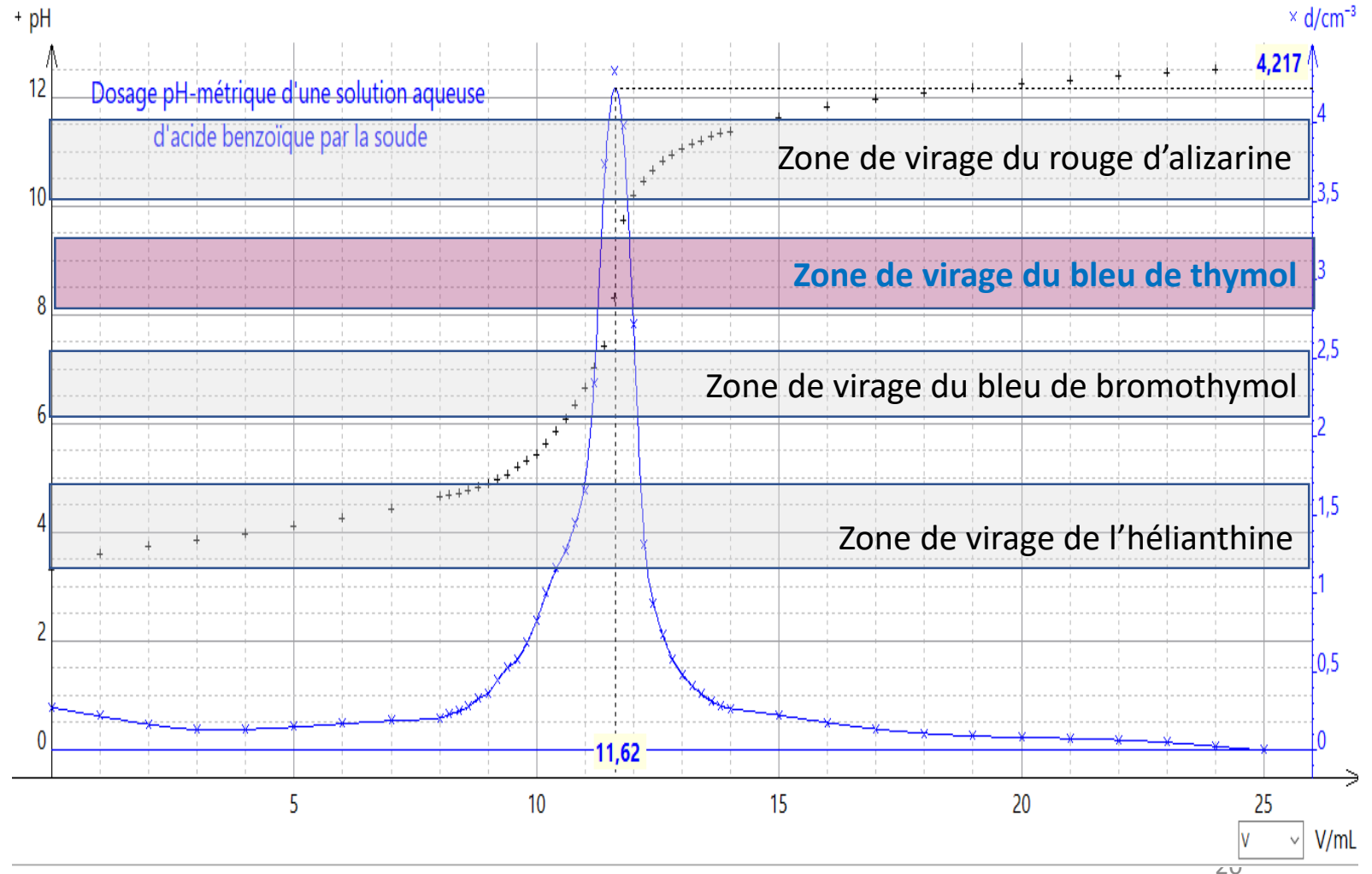


Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

c. Titrage avec suivi colorimétrique

	10,0 – 12,0	
	8,0 – 9,6	
	6,0 – 7,6	
	3,1 – 4,4	
Forme acide	Zone de virage	Forme basique



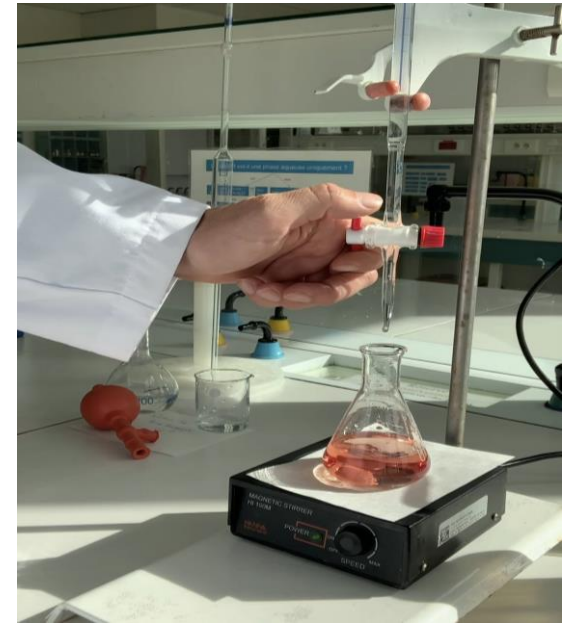
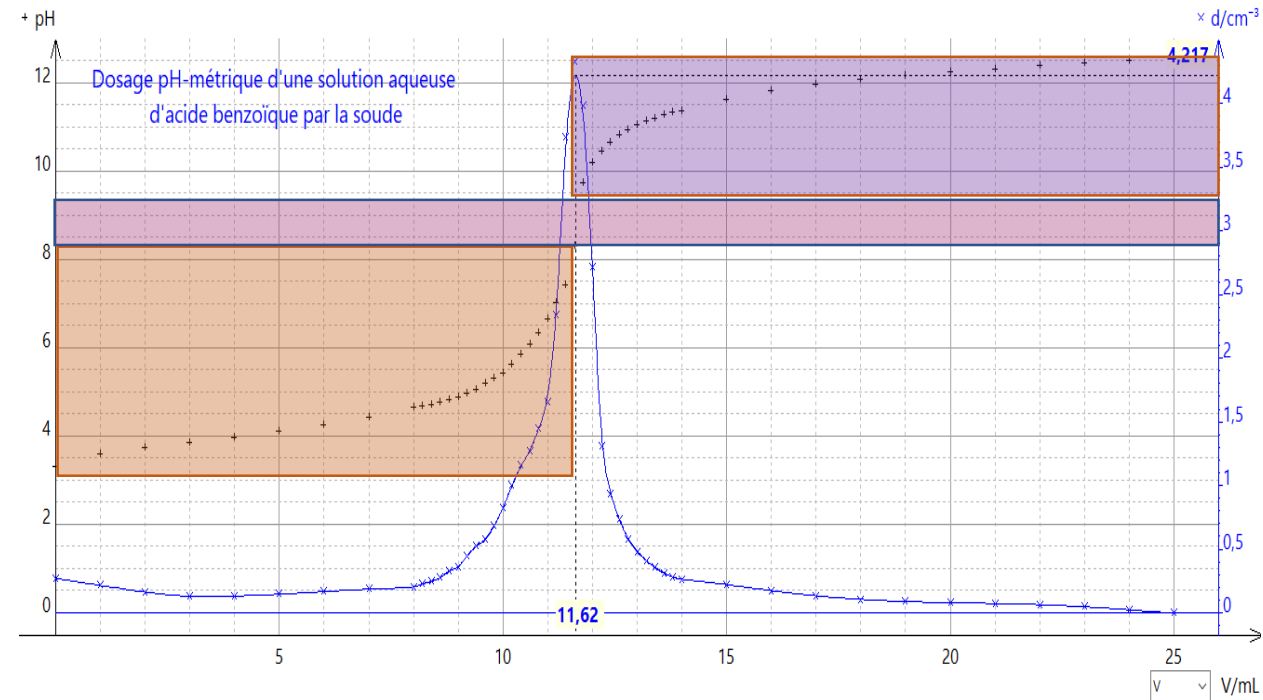
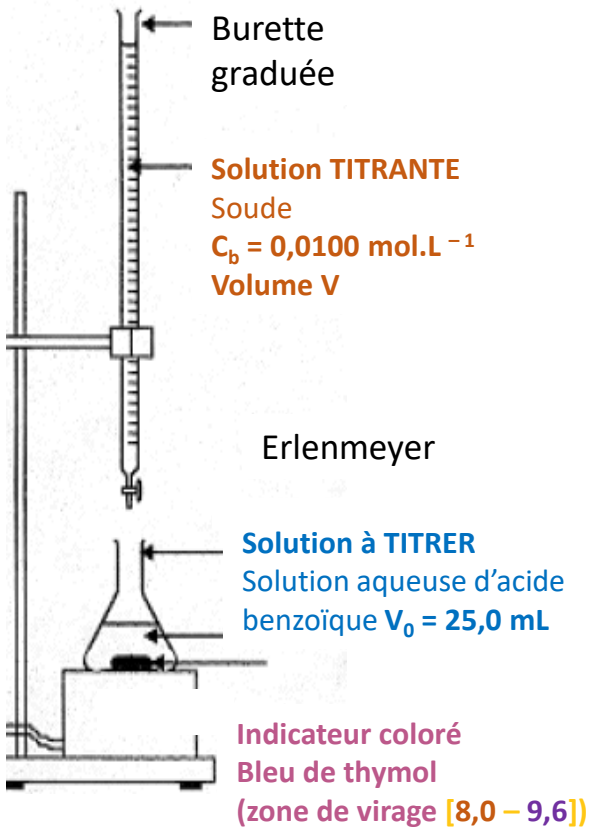
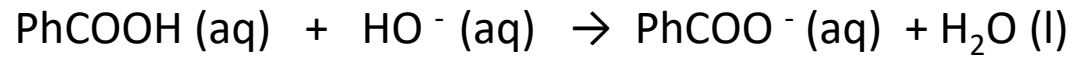


Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

c. Titrage avec suivi colorimétrique

Equation de la réaction support du titrage :



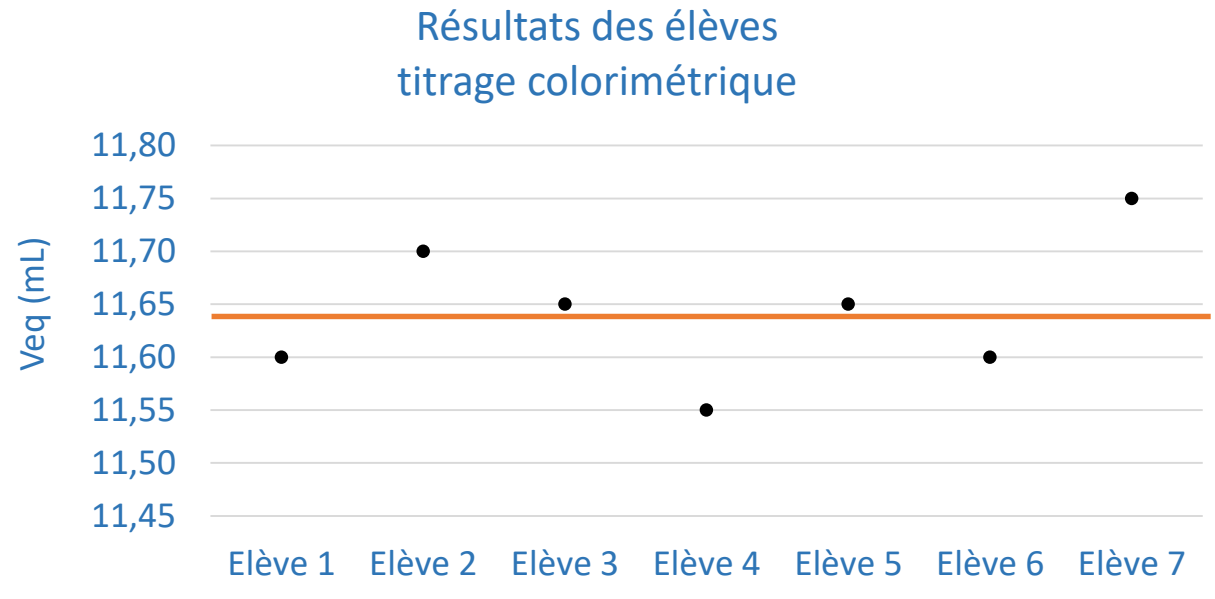


Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

c. Titrage avec suivi colorimétrique

Résultats des élèves	
	V_{eq} (mL)
Elève 1	11,60
Elève 2	11,70
Elève 3	11,65
Elève 4	11,55
Elève 5	11,65
Elève 6	11,60
Elève 7	11,75
Moyenne	11,64286



Écart-type	0,06726 mL	Incertitude-type associée à la mesure d'un unique élève
Écart-type / $\sqrt{7}$	0,02542 mL	Incertitude-type associée à la moyenne de 7 élèves

$$V_{eq} = 11,64 \pm 0,03 \text{ mL}$$



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

d. Analyse des résultats des deux types de suivi et incertitude associée

Equation de la réaction support des deux titrages : $\text{PhCOOH (aq)} + \text{HO}^- \text{ (aq)} \rightarrow \text{PhCOO}^- \text{ (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)}$

	Suivi Colorimétrique	Suivi pH-métrique
V_{eq} (mL)	11,64	11,62
$u(V_{\text{eq}})$ (mL)	0,03	

Confrontation des deux méthodes :

Calcul du quotient :
$$\frac{V_{\text{eq colorimétrique}} - V_{\text{eq pH-métrique}}}{u(V_{\text{eq}})} = 0,7$$

$$V_{\text{eq colorimétrique}} - V_{\text{eq pH-métrique}} < u(V_{\text{eq}})$$

Conclusion :

La méthode de suivi colorimétrique donne un résultat compatible avec celui obtenu par la méthode de suivi pH-métrique, prise comme méthode référente.



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

e. Réponse à la problématique : volume quotidien de boisson et DJA

- La dose journalière admissible **DJA** est égale à 5,0 mg / kg de masse corporelle. Pour un adolescent qui pèse 50 kg, la **DJA** en acide benzoïque E210 et en ion benzoate E211 est :

$$\text{DJA} = 5,0 \times 50 = 250 \text{ mg} = 0,25 \text{ g}$$

- Or dans une bouteille de 1,5 L de soda, on a déterminé une masse de 0,11 g d'acide benzoïque. Par conséquent, pour cet adolescent, l'ingestion de 2,3 bouteilles de soda soit 3,4 L par jour conduit à dépasser la **dose journalière admise DJA**.



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

f. Bilan et capacités exigibles du programme

▫ Bilan

- On réalise le titrage de l'acide benzoïque extrait dans le soda avec un suivi **pHmétrique** et un suivi **colorimétrique**.
- L'acide benzoïque est dosé par les ions hydroxyde : la **transformation acido-basique** est **rapide et totale**.
- La détermination de l'**équivalence** permet d'accéder à la quantité d'acide benzoïque dans le soda.
- Ces dosages montrent que la quantité d'ions benzoate E211 et d'acide benzoïque E210 contenus dans 2,3 bouteilles de soda soit 3,4 L par jour conduit à **dépasser la dose journalière admise DJA** pour une personne qui pèse 50 kg.



Analyser un système par des méthodes chimiques

C.2 Titrage de l'acide benzoïque

f. Bilan et capacités exigibles du programme

▫ Capacités liées au titrage

- Représenter le diagramme de prédominance d'un couple acide-base.
- Exploiter un diagramme de prédominance ou de distribution .
- Justifier le choix d'un indicateur coloré lors d'un titrage.
- Établir la composition du système après ajout d'un volume de solution titrante, la transformation étant considérée comme totale.
- Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse.

▫ Capacités concernant mesure et incertitude

- Exploiter une série de mesures (moyenne et écart-type) et évaluer qualitativement sa dispersion.
- Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole.
- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
- Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
- Comparer le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} en utilisant le quotient $|m_{mes} - m_{ref}|/u(m)$ où $u(m)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

▫ Capacités expérimentales

Mettre en œuvre le suivi pH-métrique d'un titrage ayant pour support une réaction acide-base.



Analyser un système par des méthodes chimiques

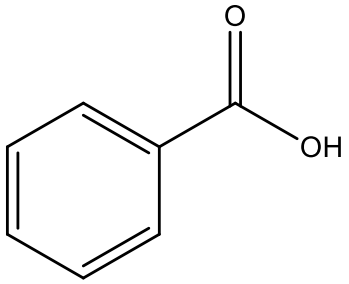
D. Nouveaux conservateurs

D. Nouveaux conservateurs

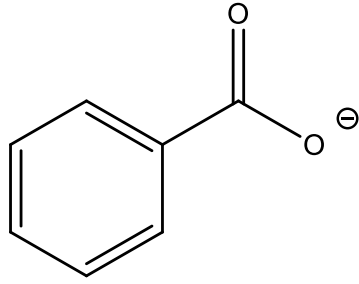


Analyser un système par des méthodes chimiques

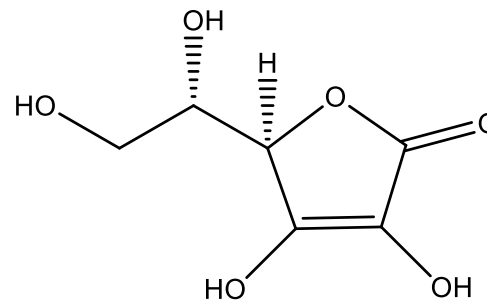
D. Nouveaux conservateurs alimentaires



E 210 Acide benzoïque

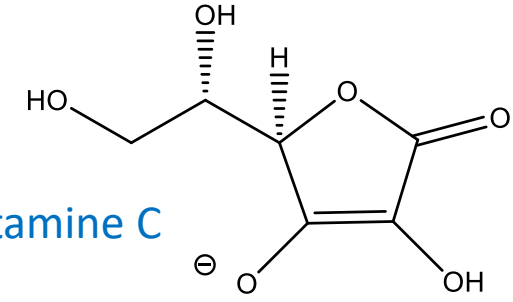


E 211 Ion benzoate



E 300 Acide ascorbique

Vitamine C



E 301 Ion ascorbate

BOISSON GAZEUSE AUX ARÔMES NATURELS
A VALEUR ÉNERGÉTIQUE RÉDUITE. INGREDIENTS: EAU GA
ACIDIFIANTS: E330, E331; ÉMULSIFIANTS: E1450, E445,
NATURELS, CONSERVATEUR: E211, EDULCORANTS: E950, E955; C



BOISSON RAFRAÎCHISSANTE AUX EXTRAITS DE THÉ ET AROMATISÉE À LA PÊCHE
Ingrédients: Eau, Sucre, Jus de Pomme à base de Concentré (1.76%), Acidifiants: Acide Citrique (E330), Citrate de Sodium (E331), Extrait de Thé Noir (1.0 g/l), Arômes, Antioxydants: Acide Ascorbique (E300), Ascorbate de Sodium (E301).

DJA = 5,0 mg/ kg de masse corporelle



Nocif en cas d'ingestion

DJA = 15 mg/ kg de masse corporelle



Analyser un système par des méthodes chimiques

