

# 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**

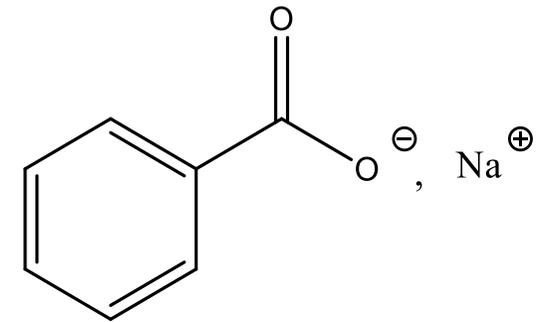


## Analyser un système par des méthodes chimiques

### 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

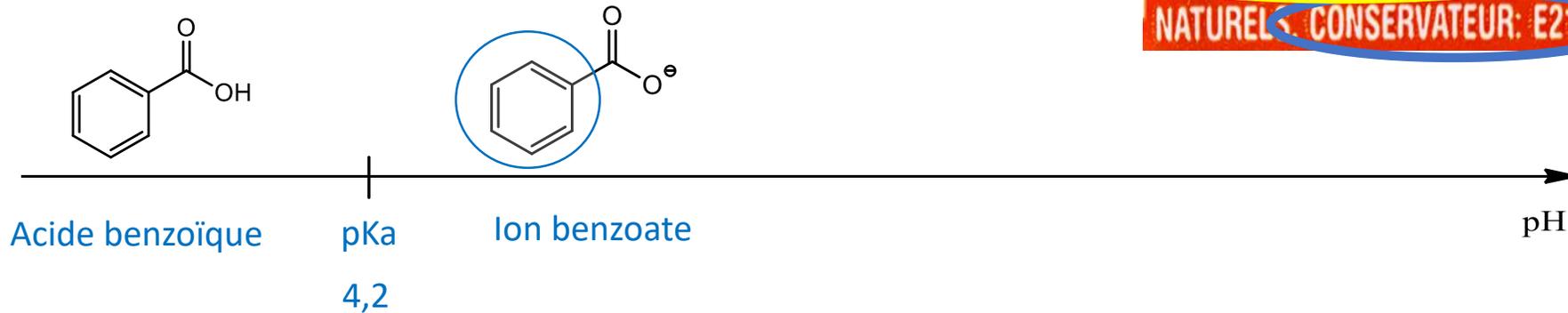
- Le **benzoate de sodium E211** est un conservateur encore présent dans certains aliments et boissons. La dose journalière admissible **DJA d'ions benzoate est de 5,0 mg / kg de masse corporelle**.
  - **Quelle quantité de boisson peut-on boire sans dépasser la DJA ?**
- L'ion benzoate a des propriétés 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 ?**



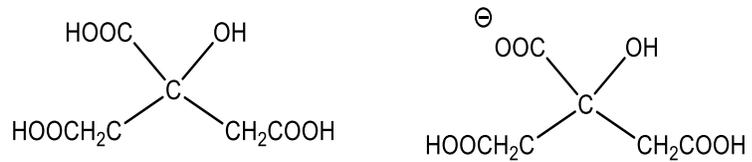
# Analyser un système par des méthodes chimiques

## 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



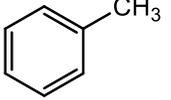
# C.1 Extraction de l'acide benzoïque



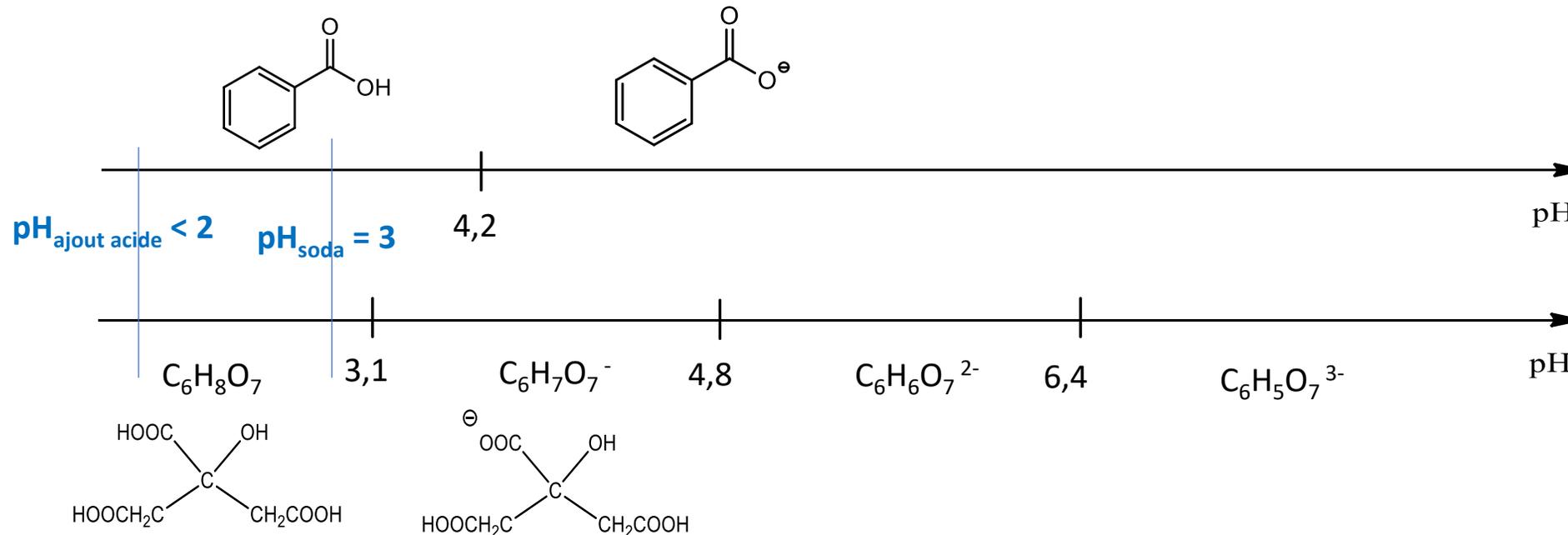
# Analyser un système par des méthodes chimiques

## C.1 Extraction de l'acide benzoïque

### a. Réflexion sur une extraction par solvant

Toluène: PhCH<sub>3</sub> 

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

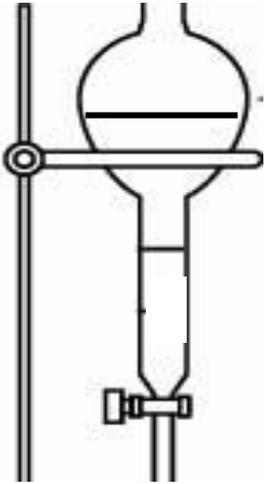
▫ A **pH < 2**, on a très majoritairement dans le mélange :

- 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

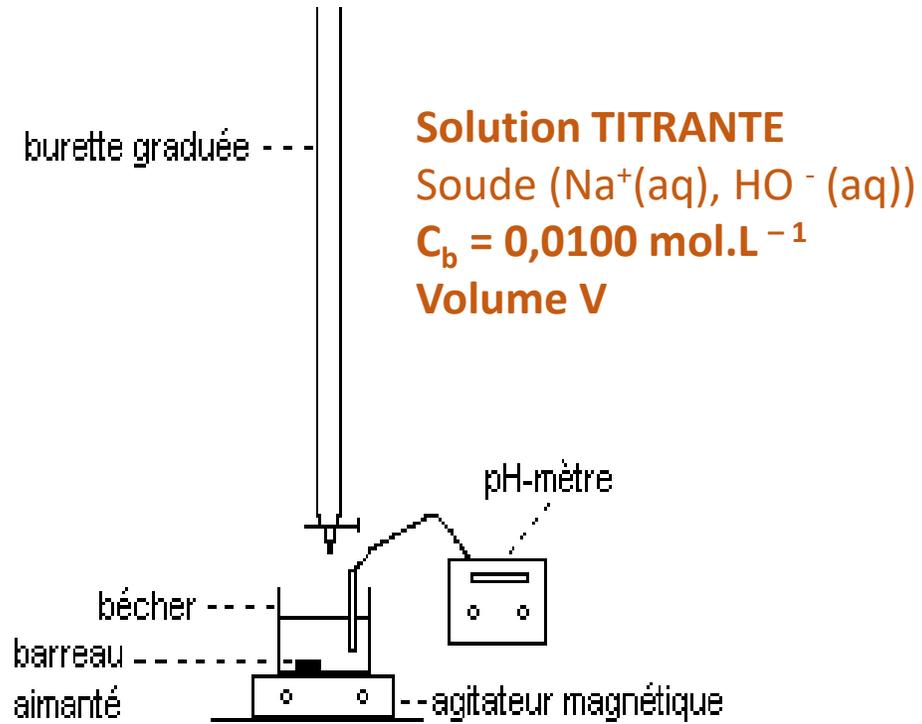




# Analyser un système par des méthodes chimiques

## 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 :

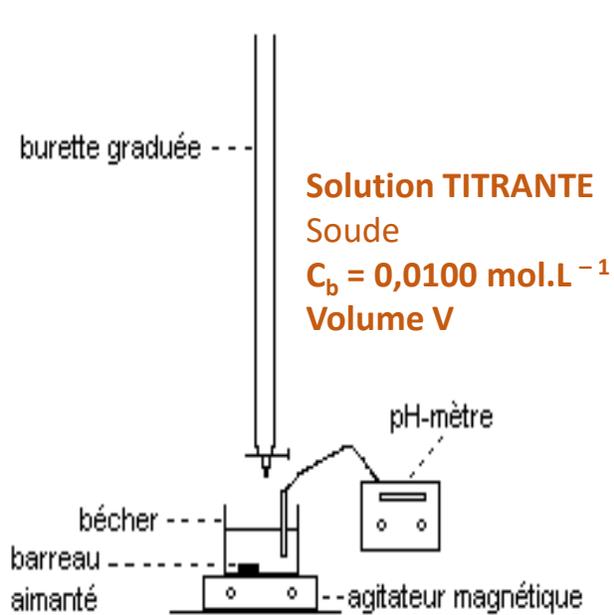




# Analyser un système par des méthodes chimiques

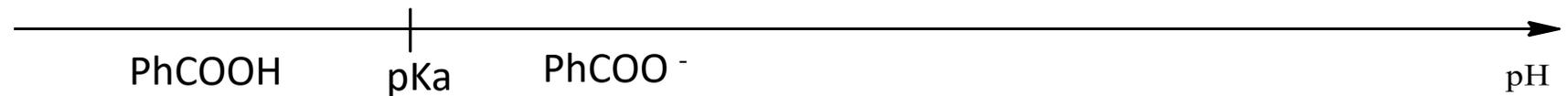
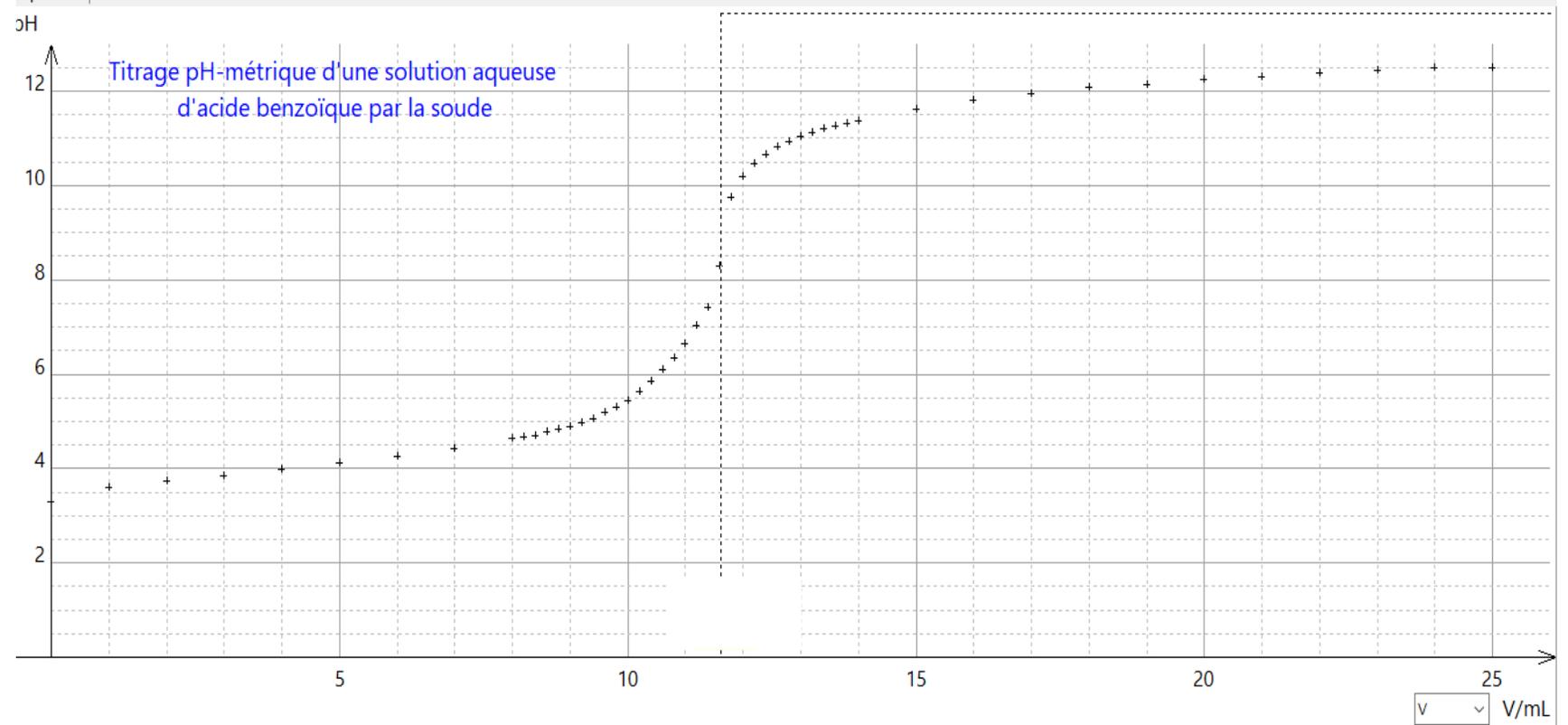
## C.2 Titrage de l'acide benzoïque

### b. Titrage avec suivi pH-métrique



#### Solution à TITRER

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

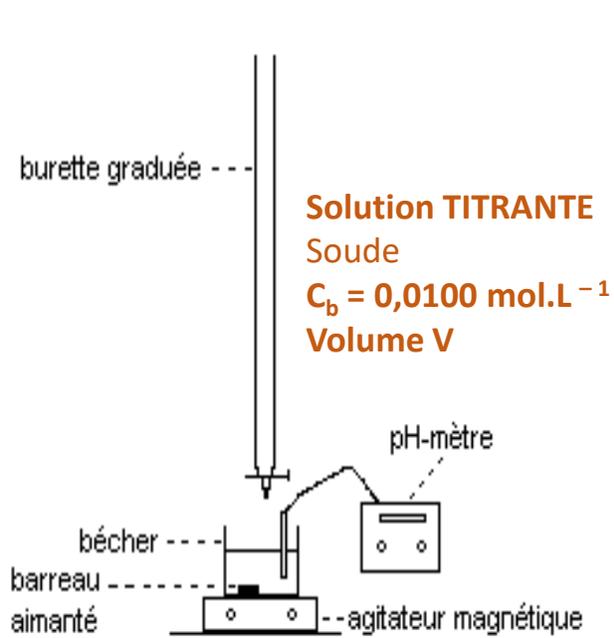




# Analyser un système par des méthodes chimiques

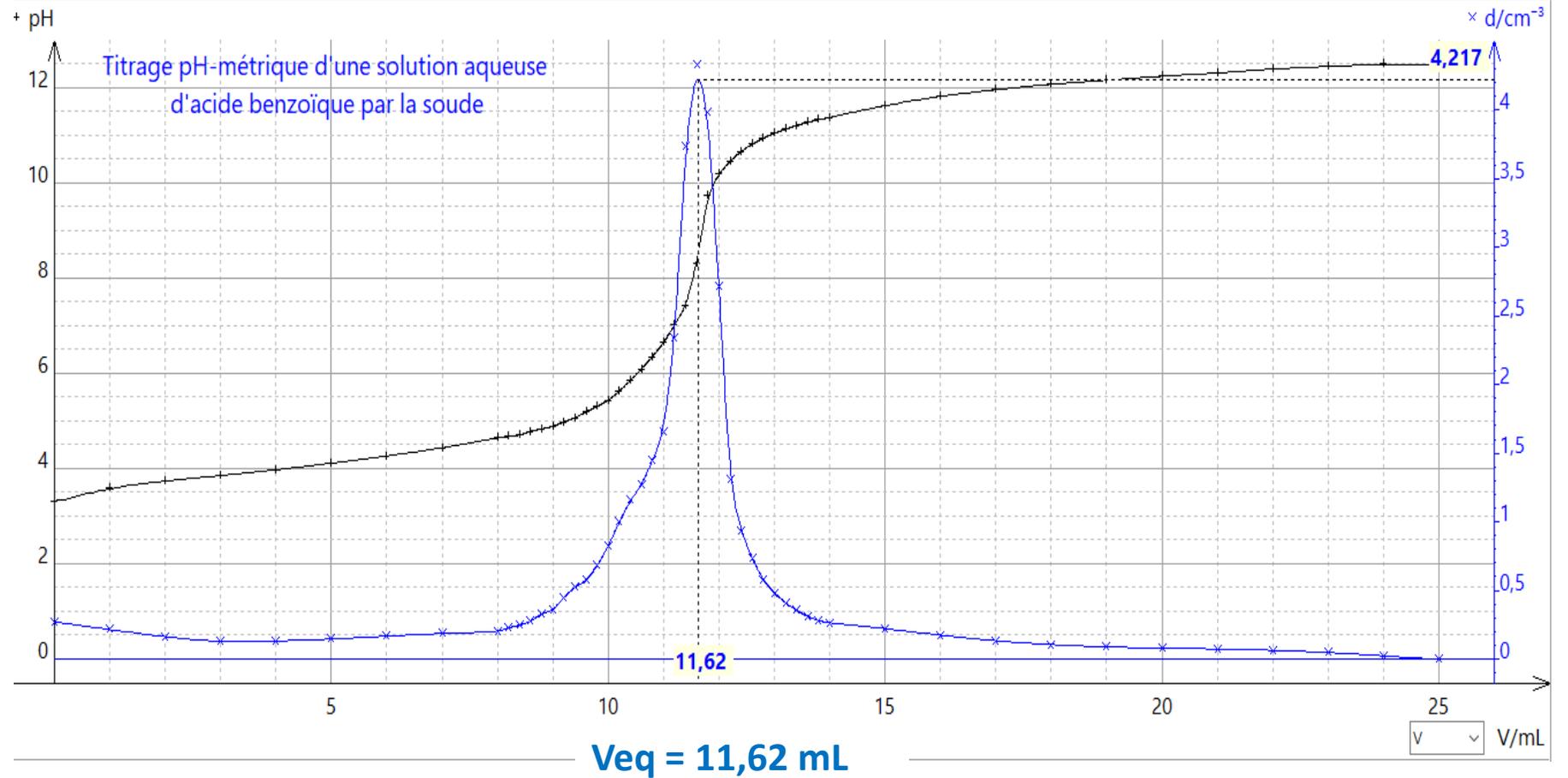
## C.2 Titrage de l'acide benzoïque

### b. Titrage avec suivi pH-métrique



#### Solution à TITRER

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



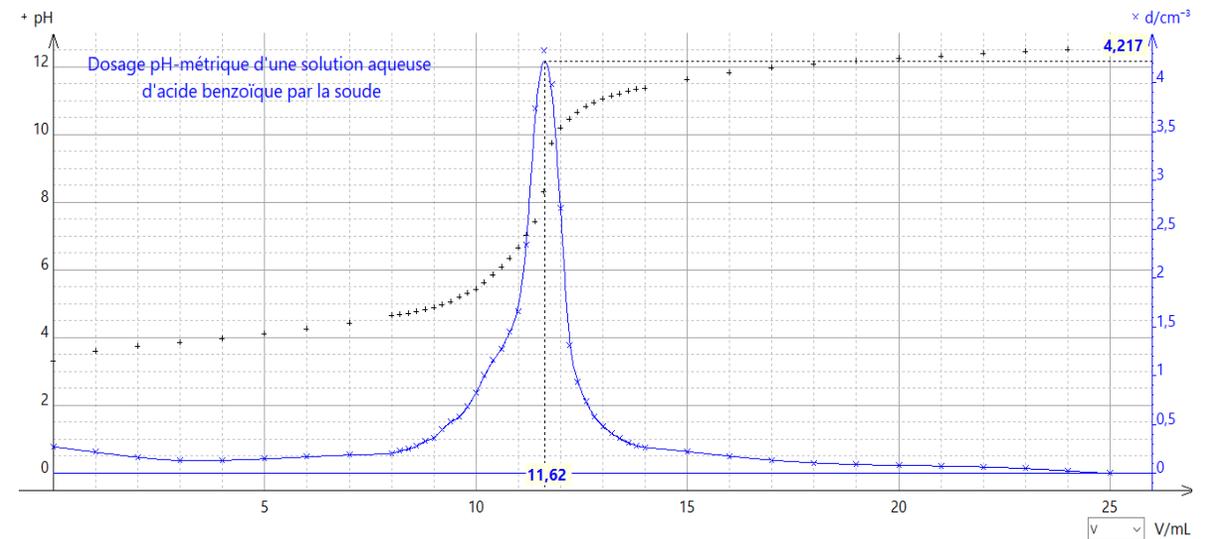
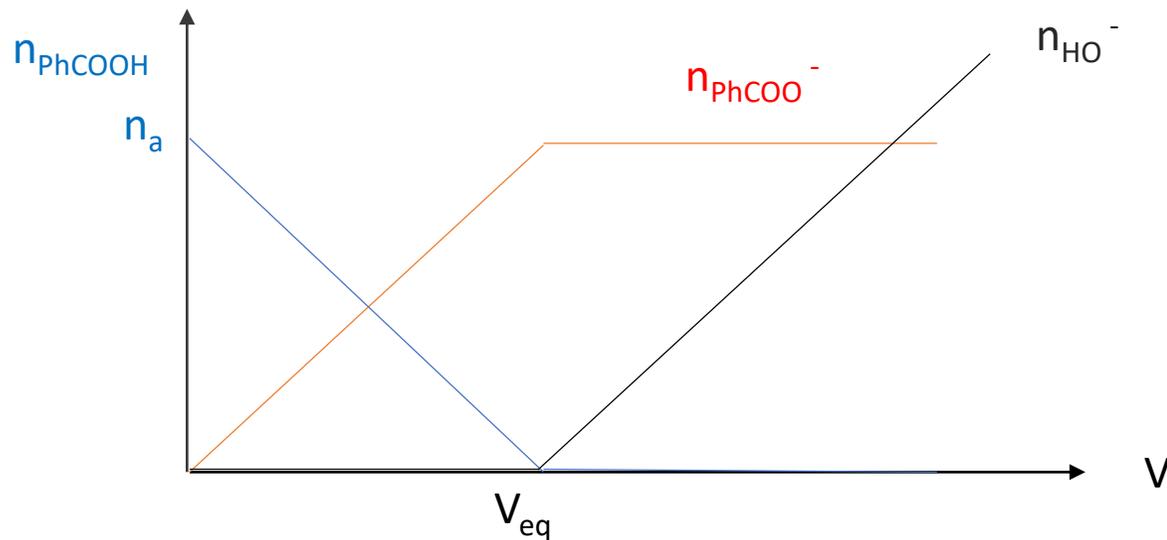


# Analyser un système par des méthodes chimiques

## C.2 Titrage de l'acide benzoïque

### b. Titrage avec suivi pH-métrique

	Avancement	Volume de soude V	PhCOOH (aq)	HO <sup>-</sup> (aq)	PhCOO <sup>-</sup> (aq)	H <sub>2</sub> 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 :  $n \text{ PhCOOH}_{\text{(initial)}} = n \text{ HO}^- \text{ (ajouté)} \Leftrightarrow n_a = C_b \times V_{\text{eq}} \Leftrightarrow \frac{m}{M} = C_b \times V_{\text{eq}}$

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

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

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



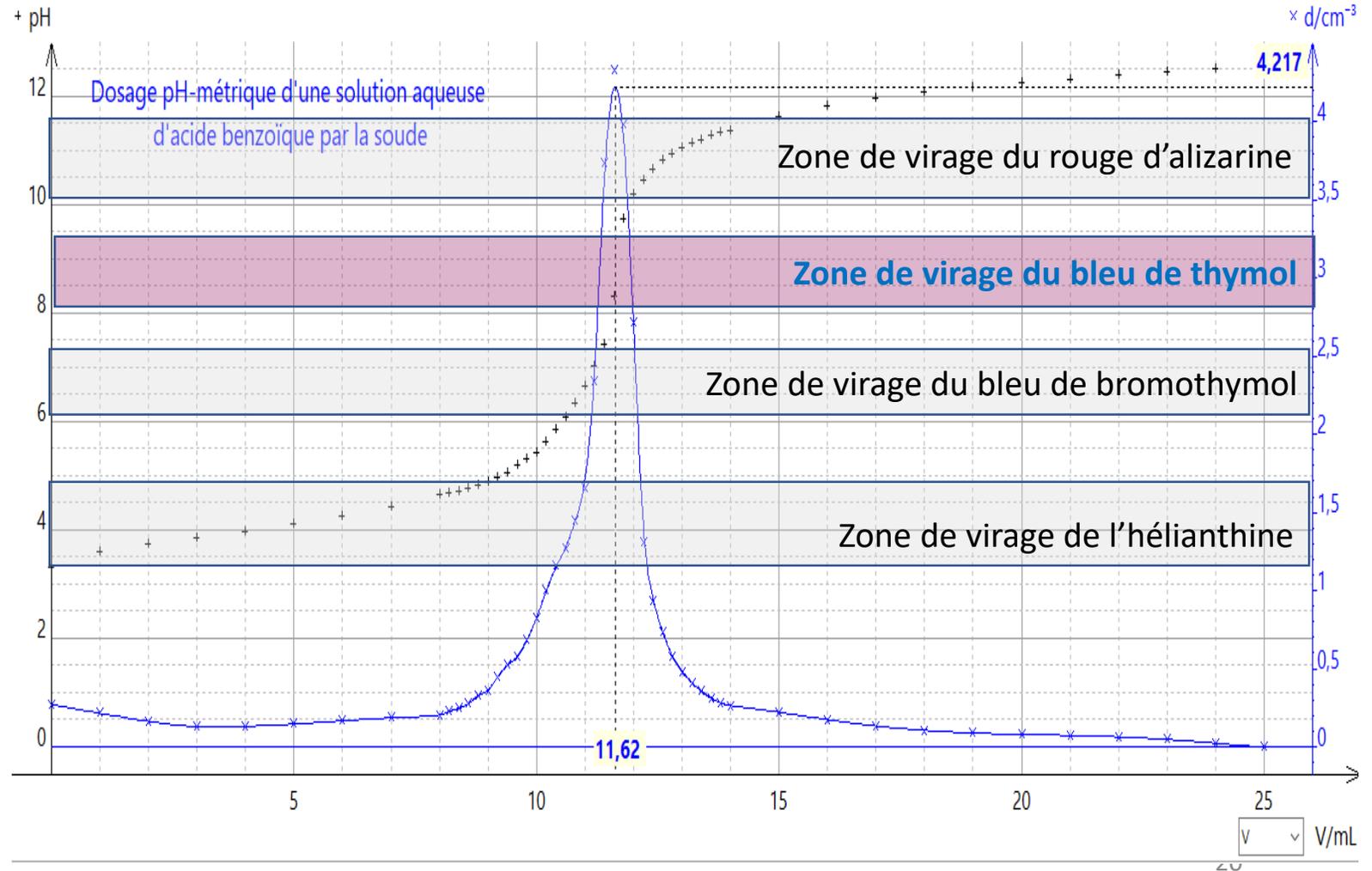


# Analyser un système par des méthodes chimiques

## 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



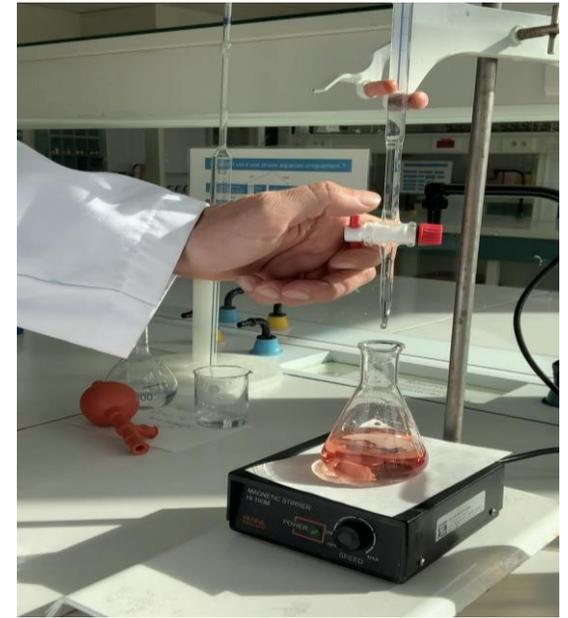
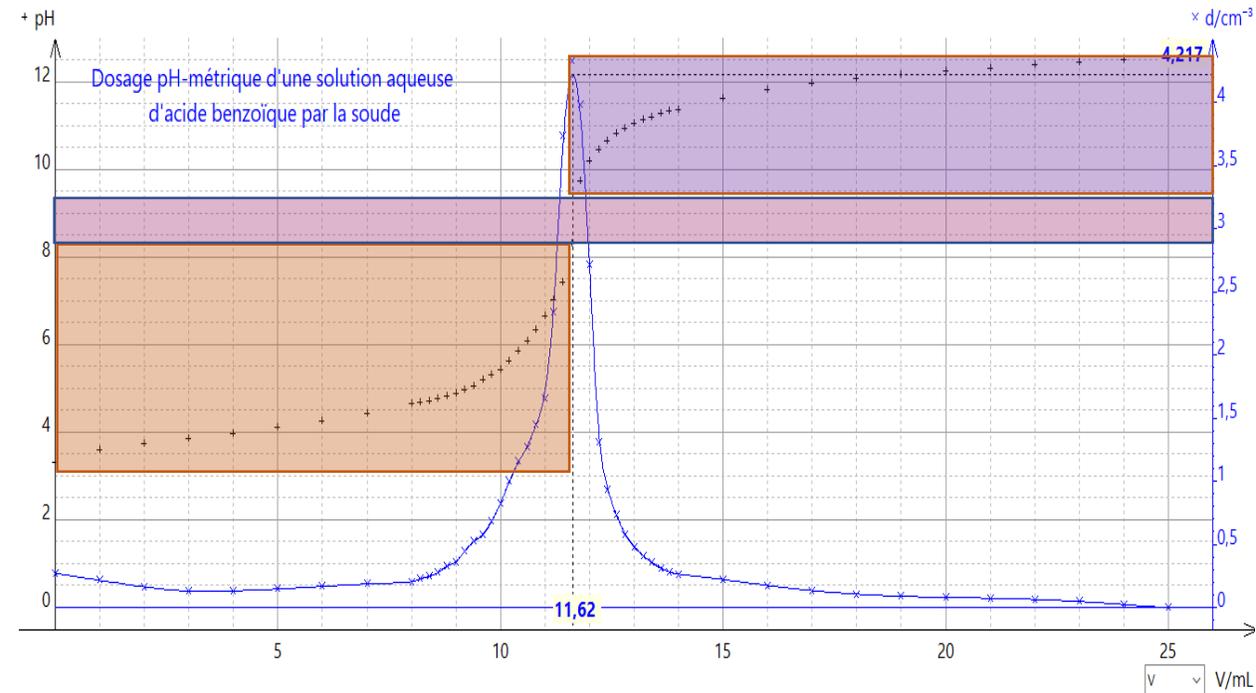
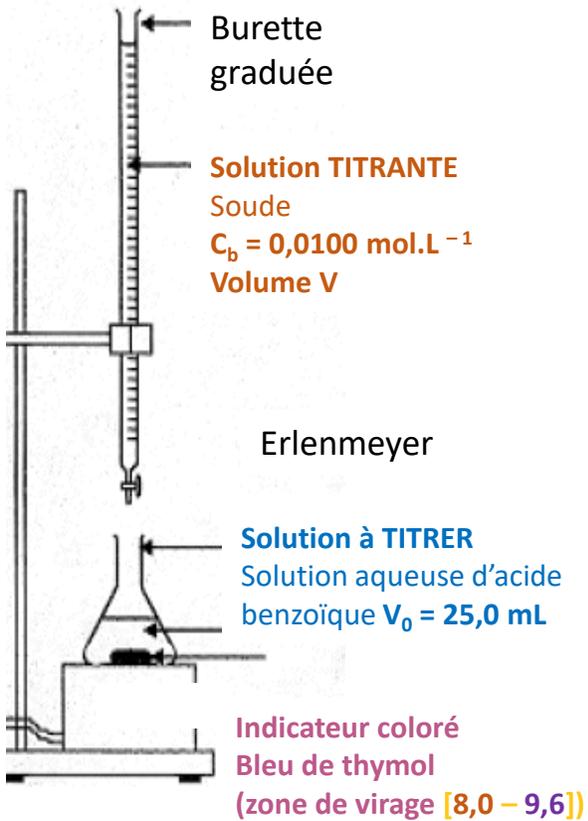
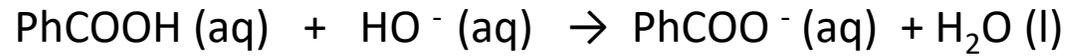


# Analyser un système par des méthodes chimiques

## C.2 Titrage de l'acide benzoïque

### c. Titrage avec suivi colorimétrique

Equation de la réaction support du titrage :



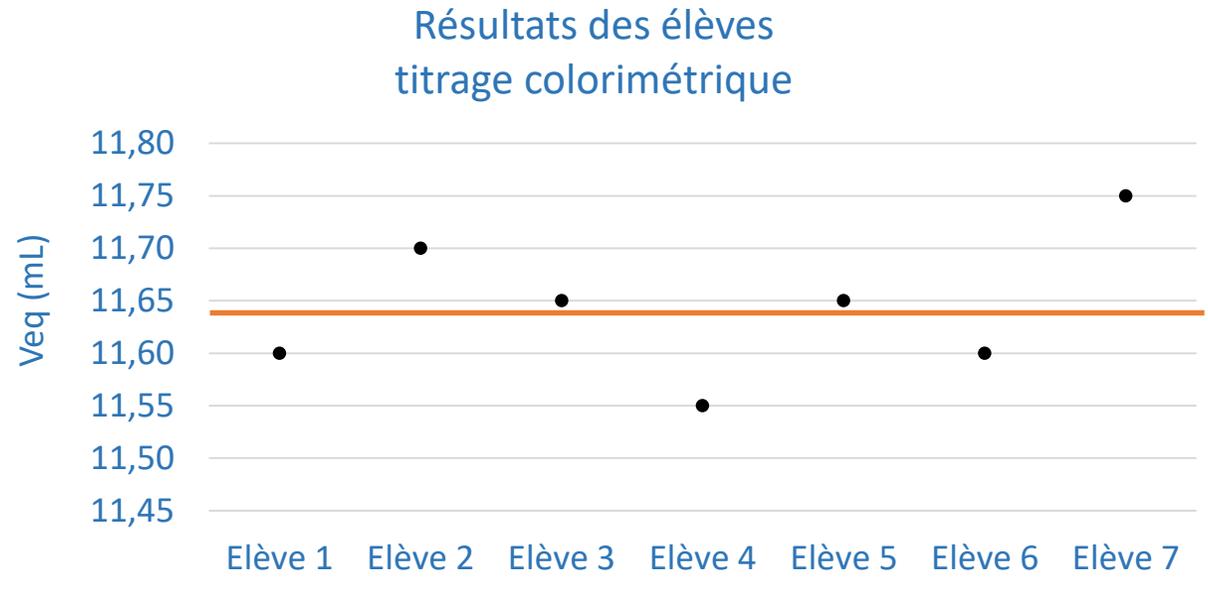


## Analyser un système par des méthodes chimiques

### 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
<b>Moyenne</b>	<b>11,64286</b>



<b>Écart-type</b>	0,06726 mL	Incertitude-type associée à la mesure d'un unique élève
<b>Écart-type / <math>\sqrt{7}</math></b>	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
$V_{\text{eq}}$ (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

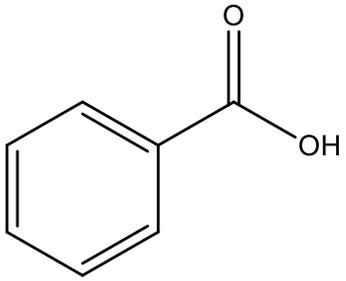
D. Nouveaux conservateurs

# D. Nouveaux conservateurs

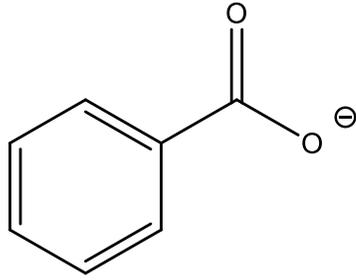


# Analyser un système par des méthodes chimiques

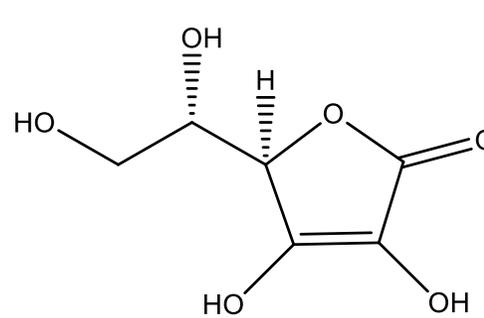
## D. Nouveaux conservateurs alimentaires



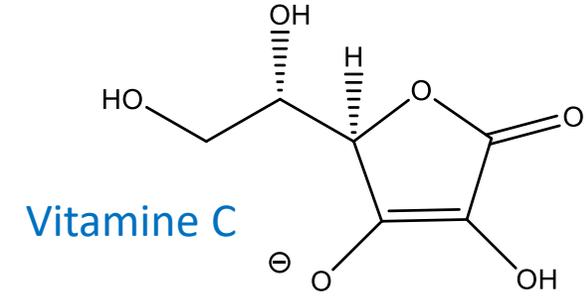
E 210 Acide benzoïque



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 GAZEUSE  
ACIDIFIANTS: E330, E331; ÉMULSIFIANTS: E1450, E445, E446;  
NATURELS, CONSERVATEUR: E211, EDULCORANTS: E950, E955; COLORANTS: E102, E104, E105, E107, E109, E110, E111, E112, E113, E114, E115, E116, E117, E118, E119, E120, E121, E122, E123, E124, E125, E126, E127, E128, E129, E130, E131, E132, E133, E134, E135, E136, E137, E138, E139, E140, E141, E142, E143, E144, E145, E146, E147, E148, E149, E150, E151, E152, E153, E154, E155, E156, E157, E158, E159, E160, E161, E162, E163, E164, E165, E166, E167, E168, E169, E170, E171, E172, E173, E174, E175, E176, E177, E178, E179, E180, E181, E182, E183, E184, E185, E186, E187, E188, E189, E190, E191, E192, E193, E194, E195, E196, E197, E198, E199, E200, E201, E202, E203, E204, E205, E206, E207, E208, E209, E210, E211, E212, E213, E214, E215, E216, E217, E218, E219, E220, E221, E222, E223, E224, E225, E226, E227, E228, E229, E230, E231, E232, E233, E234, E235, E236, E237, E238, E239, E240, E241, E242, E243, E244, E245, E246, E247, E248, E249, E250, E251, E252, E253, E254, E255, E256, E257, E258, E259, E260, E261, E262, E263, E264, E265, E266, E267, E268, E269, E270, E271, E272, E273, E274, E275, E276, E277, E278, E279, E280, E281, E282, E283, E284, E285, E286, E287, E288, E289, E290, E291, E292, E293, E294, E295, E296, E297, E298, E299, E300, E301, E302, E303, E304, E305, E306, E307, E308, E309, E310, E311, E312, E313, E314, E315, E316, E317, E318, E319, E320, E321, E322, E323, E324, E325, E326, E327, E328, E329, E330, E331, E332, E333, E334, E335, E336, E337, E338, E339, E340, E341, E342, E343, E344, E345, E346, E347, E348, E349, E350, E351, E352, E353, E354, E355, E356, E357, E358, E359, E360, E361, E362, E363, E364, E365, E366, E367, E368, E369, E370, E371, E372, E373, E374, E375, E376, E377, E378, E379, E380, E381, E382, E383, E384, E385, E386, E387, E388, E389, E390, E391, E392, E393, E394, E395, E396, E397, E398, E399, E400, E401, E402, E403, E404, E405, E406, E407, E408, E409, E410, E411, E412, E413, E414, E415, E416, E417, E418, E419, E420, E421, E422, E423, E424, E425, E426, E427, E428, E429, E430, E431, E432, E433, E434, E435, E436, E437, E438, E439, E440, E441, E442, E443, E444, E445, E446, E447, E448, E449, E450, E451, E452, E453, E454, E455, E456, E457, E458, E459, E460, E461, E462, E463, E464, E465, E466, E467, E468, E469, E470, E471, E472, E473, E474, E475, E476, E477, E478, E479, E480, E481, E482, E483, E484, E485, E486, E487, E488, E489, E490, E491, E492, E493, E494, E495, E496, E497, E498, E499, E500, E501, E502, E503, E504, E505, E506, E507, E508, E509, E510, E511, E512, E513, E514, E515, E516, E517, E518, E519, E520, E521, E522, E523, E524, E525, E526, E527, E528, E529, E530, E531, E532, E533, E534, E535, E536, E537, E538, E539, E540, E541, E542, E543, E544, E545, E546, E547, E548, E549, E550, E551, E552, E553, E554, E555, E556, E557, E558, E559, E560, E561, E562, E563, E564, E565, E566, E567, E568, E569, E570, E571, E572, E573, E574, E575, E576, E577, E578, E579, E580, E581, E582, E583, E584, E585, E586, E587, E588, E589, E590, E591, E592, E593, E594, E595, E596, E597, E598, E599, E600, E601, E602, E603, E604, E605, E606, E607, E608, E609, E610, E611, E612, E613, E614, E615, E616, E617, E618, E619, E620, E621, E622, E623, E624, E625, E626, E627, E628, E629, E630, E631, E632, E633, E634, E635, E636, E637, E638, E639, E640, E641, E642, E643, E644, E645, E646, E647, E648, E649, E650, E651, E652, E653, E654, E655, E656, E657, E658, E659, E660, E661, E662, E663, E664, E665, E666, E667, E668, E669, E670, E671, E672, E673, E674, E675, E676, E677, E678, E679, E680, E681, E682, E683, E684, E685, E686, E687, E688, E689, E690, E691, E692, E693, E694, E695, E696, E697, E698, E699, E700, E701, E702, E703, E704, E705, E706, E707, E708, E709, E710, E711, E712, E713, E714, E715, E716, E717, E718, E719, E720, E721, E722, E723, E724, E725, E726, E727, E728, E729, E730, E731, E732, E733, E734, E735, E736, E737, E738, E739, E740, E741, E742, E743, E744, E745, E746, E747, E748, E749, E750, E751, E752, E753, E754, E755, E756, E757, E758, E759, E760, E761, E762, E763, E764, E765, E766, E767, E768, E769, E770, E771, E772, E773, E774, E775, E776, E777, E778, E779, E780, E781, E782, E783, E784, E785, E786, E787, E788, E789, E790, E791, E792, E793, E794, E795, E796, E797, E798, E799, E800, E801, E802, E803, E804, E805, E806, E807, E808, E809, E810, E811, E812, E813, E814, E815, E816, E817, E818, E819, E820, E821, E822, E823, E824, E825, E826, E827, E828, E829, E830, E831, E832, E833, E834, E835, E836, E837, E838, E839, E840, E841, E842, E843, E844, E845, E846, E847, E848, E849, E850, E851, E852, E853, E854, E855, E856, E857, E858, E859, E860, E861, E862, E863, E864, E865, E866, E867, E868, E869, E870, E871, E872, E873, E874, E875, E876, E877, E878, E879, E880, E881, E882, E883, E884, E885, E886, E887, E888, E889, E890, E891, E892, E893, E894, E895, E896, E897, E898, E899, E900, E901, E902, E903, E904, E905, E906, E907, E908, E909, E910, E911, E912, E913, E914, E915, E916, E917, E918, E919, E920, E921, E922, E923, E924, E925, E926, E927, E928, E929, E930, E931, E932, E933, E934, E935, E936, E937, E938, E939, E940, E941, E942, E943, E944, E945, E946, E947, E948, E949, E950, E951, E952, E953, E954, E955, E956, E957, E958, E959, E960, E961, E962, E963, E964, E965, E966, E967, E968, E969, E970, E971, E972, E973, E974, E975, E976, E977, E978, E979, E980, E981, E982, E983, E984, E985, E986, E987, E988, E989, E990, E991, E992, E993, E994, E995, E996, E997, E998, E999.



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

