

# Infos généraux

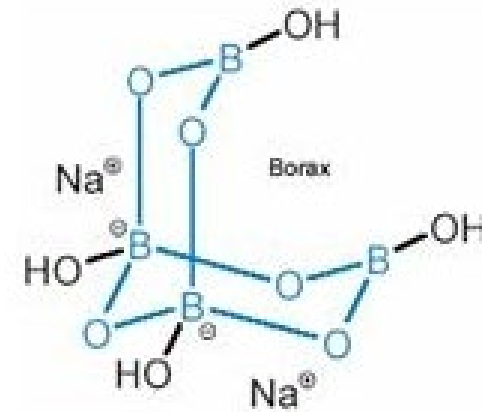
Semaine	Thème	
8	Analyse quantitative par gravimétrie	
9	Equilibre chimique – le principe de LE CHATELIER	
10	Titrages de neutralisation acide-base I	
11	Titrages de neutralisation acide-base II	
12	Titrages complexométriques	Retour-Rapport (semaines 10+11) 18.3.2026 8:00 heures
13	Titrages d'oxydoréduction	
14	Cellules galvaniques	
16	Titrages redox par potentiométrie	
17	Titrages argentimétriques	Retour-Rapport (semaine 13) 22.4.2026 8:00 heures
18	Examen pratique	

# Aujourd'hui

DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN ACIDE ACÉTIQUE EQUIVALENT D'UNE BOUTEILLE DE VINAIGRE

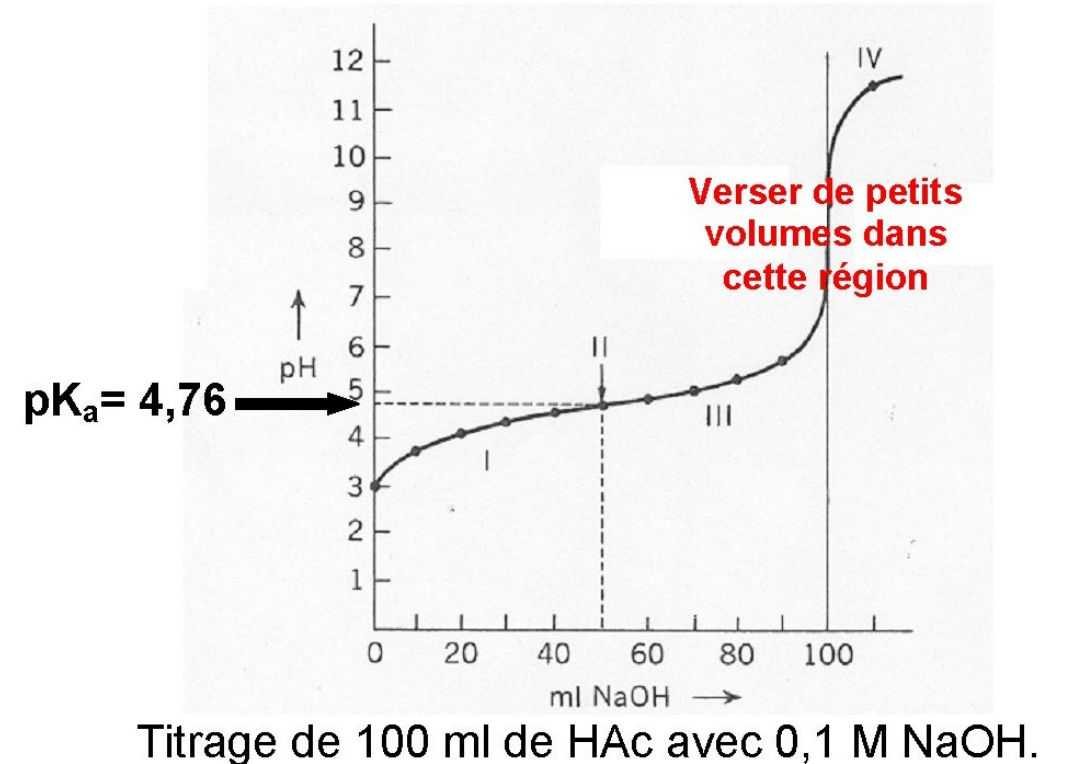


DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU DE BORAX



# Détermination du $pK_a$ d'un acide faible

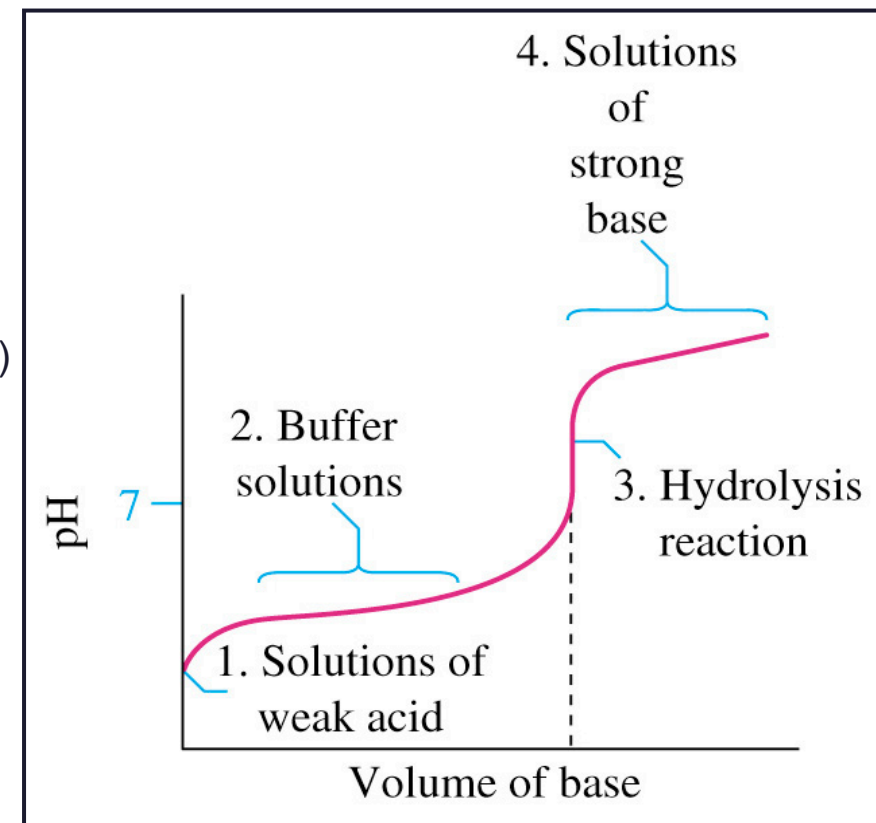
Avant le point d'équivalence, on observe un plateau qui résulte des propriétés tampon du mélange  $\text{CH}_3\text{COOH}$  /  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ . Au point de demi-titrage,  $\text{pH} = pK_a$  de l'acide faible.



## Réaction entre l'acide faible et la base forte titrante



## Equilibre entre l'acide faible et sa base faible conjuguée



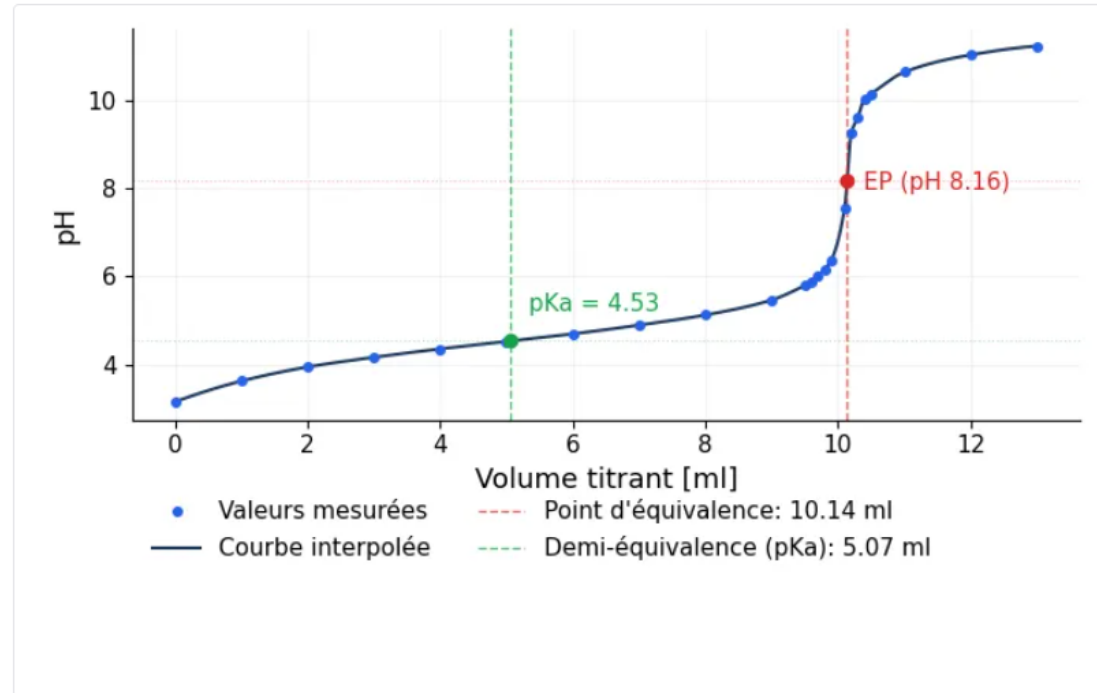
Courbe de titrage – Analyse

Méthode

La courbe de titrage est lissée par **interpolation PCHIP**. La dérivée première  $dpH/dV$  est calculée puis lissée par un **filtre de Savitzky-Golay**. Le **point d'équivalence (PE)** correspond au maximum de la dérivée première. Le **point de demi-équivalence** se situe à  $V(PE)/2$  ; la valeur de pH correspondante est le **pKa** de l'acide titré.

Données de mesure

Volume [ml]	pH
0	3.15
1	3.62
2	3.94
3	4.16
4	4.35
5	4.52
6	4.69
7	4.89
8	5.12
9	5.46
9.5	5.79
9.6	5.87



<https://huggingface.co/spaces/dls-hevs/lana-phcurve>

Résultats

Paramètre	Volume [ml]	pH
Point d'équivalence	10.14	8.16
Demi-équivalence (pKa)	5.07	4.53

Analyser

## Résultats de mesure

- La **forme standard pour un résultat de mesure** est:

$$\text{Résultat} = \bar{x} \pm T(\text{unité}); (\pm s; P\%; N)$$

- En général, on indique  $T$  à un chiffre si il est plus grand que '25' et à deux chiffres si il est plus petit.

## Caractérisation de la précision

- On caractérise la **précision** à l'aide de trois grandeurs:
  - ✓ La **moyenne**  $\bar{x}$  (utile pour distribution symétrique):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

- ✓ La **médiane**  $\tilde{x}$  (utile pour distribution asymétrique):  
Valeur du milieu dans une série de mesures
- ✓ L'**écart-type**  $s$  : mesure de la dispersion

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

## L'intervalle de confiance

- Si l'erreur statistique:
  - est due à de multiples facteurs
  - suit une loi normale.
- Alors, **la moyenne est la meilleure estimation de la vraie valeur** qui se trouvera avec une certaine probabilité  $P$  dans un **intervalle de confiance**  $\pm T$  autour de la moyenne.

$$T = \frac{s \cdot t}{\sqrt{N}}$$

- $t(P\%, \Phi = N-1) = \underline{\text{facteur de Student}}$

## Le facteur de Student

$\phi$	$P = 95\%$	$P = 99\%$	$\phi$	$P = 95\%$	$P = 99\%$
1	12.706	63.657	11	2.201	3.106
2	4.303	9.925	12	2.179	3.055
3	3.182	5.841	13	2.160	3.012
4	2.776	4.604	14	2.145	2.977
5	2.571	4.032	15	2.131	2.947
6	2.447	3.707	16	2.120	2.921
7	2.365	3.499	17	2.110	2.898
8	2.306	3.355	18	2.101	2.878
9	2.262	3.250	19	2.093	2.861
10	2.228	3.169	20	2.086	2.845

## Exemple

### Résultat de la mesure d'une concentration

#### Valeurs mesurées :

$10.3 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  |  $11.4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  |  $9.50 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  |  $8.90 \cdot 10^{-3} \text{ M}$

#### Statistiques :

- Moyenne :  $10.0 \cdot 10^{-3} \text{ M}$
- Écart-type :  $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ M}$
- Facteur de Student : 3.182 ( $\nu = 4 - 1 = 3$ )
- Intervalle de confiance :  $1.7 \cdot 10^{-3} \text{ M}$

#### Résultat :

$$c = (10.0 \pm 1.7) * 10^{-3} \text{ M} \quad (\pm 1.1 * 10^{-3}; 95 \% ; n=4)$$

ou

$$c = (10 \pm 2) * 10^{-3} \text{ M} \quad (\pm 1 * 10^{-3}; 95 \% ; n=4)$$

## Rejet de valeurs aberrantes: Test de Grubbs

- Valeur aberrante si  $G_{calc} > G_{crit}$  avec

$$G_{calc} = \frac{|\text{valeur suspecte} - \bar{x}|}{s}$$

n	gcrit $\alpha=0.05$	gcrit $\alpha=0.01$
3	1.1531	1.1546
4	1.4625	1.4925
5	1.6714	1.7489
6	1.8221	1.9442
7	1.9381	2.0973
8	2.0317	2.2208
9	2.1096	2.3231

Exemple: Test des valeurs extrêmes de la série suivante:

15.50 ml | 16.00 ml | 14.50 ml | 15.00 ml; | 10.00 ml  $\bar{x} = 14.20$

Exemple: Test des valeurs extrêmes de la série suivante:

15.50 ml | 16.00 ml | 14.50 ml | 15.00 ml; | 10.00 ml  $\bar{x} = 14.20$

$$G_{calc} = \frac{|10.00 - 14.20|}{2.41} = 1.74 > 1.67$$

Il y a plus de 95% de chance que la valeur soit aberrante:  
**on peut la rejeter.**

Exemple: Test des valeurs extrêmes de la série suivante:

15.50 ml | 16.00 ml | 14.50 ml | 15.00 ml; | 10.00 ml  $\bar{x} = 14.20$

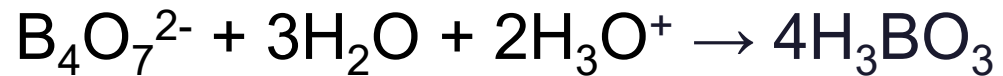
$$G_{calc} = \frac{|10.00 - 14.20|}{2.41} = 1.74 > 1.67$$

Il y a plus de 95% de chance que la valeur soit aberrante:  
**on peut la rejeter.**

$$G_{calc} = \frac{|16.00 - 14.20|}{2.41} = 0.75 > 1.67$$

Il y a moins de 95% de chance que la valeur soit aberrante:  
**on doit la garder.**

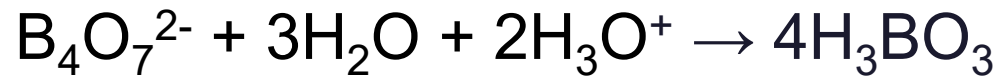
On titre 20,00 ml d'une solution de tétraborate  $B_4O_7^{2-}$  à l'aide d'une solution titrée d'HCl 0,1 M dont le facteur est 1,045 en utilisant l'indicateur mixte Tashiro. L'équation de la réaction de titrage est :



Le virage est observé après ajout de 15,05 ml de la solution titrée. Calculer la concentration en tétraborate.

Type de titration? titrage direct acide-base (neutralisation)

On titre 20,00 ml d'une solution de tétraborate  $B_4O_7^{2-}$  à l'aide d'une solution titrée d'HCl 0,1 M dont le facteur est 1,045 en utilisant l'indicateur mixte Tashiro. L'équation de la réaction de titrage est :



Le virage est observé après ajout de 15,05 ml de la solution titrée. Calculer la concentration en tétraborate.

Type de titration? titrage direct acide-base (neutralisation)

Stœchiométrie de la réaction :  $n(B_4O_7^{2-}) : 2n(H_3O^+)$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t$$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t = 0.1 \text{ mol L}^{-1} \times 0.01505 \text{ L} \times 1.045$$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t = 0.1 \text{ mol L}^{-1} \times 0.01505 \text{ L} \times 1.045 = 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t = 0.1 \text{ mol L}^{-1} \times 0.01505 \text{ L} \times 1.045 = 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(B_4O_7^{2-}) =$$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t = 0.1 \text{ mol L}^{-1} \times 0.01505 \text{ L} \times 1.045 = 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(B_4O_7^{2-}) = \frac{1}{2} \times 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol} = 7.58 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t = 0.1 \text{ mol L}^{-1} \times 0.01505 \text{ L} \times 1.045 = 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(B_4O_7^{2-}) = \frac{1}{2} \times 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol} = 7.58 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$c(B_4O_7^{2-}) =$$

$$n(H_3O^+) = c_{HCl} \times V_{HCl} \times t = 0.1 \text{ mol L}^{-1} \times 0.01505 \text{ L} \times 1.045 = 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(B_4O_7^{2-}) = \frac{1}{2} \times 1.57 \times 10^{-3} \text{ mol} = 7.58 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$c(B_4O_7^{2-}) = \frac{n}{V} = \frac{7.58 \times 10^{-4} \text{ mol}}{0.02 \text{ L}} = 39.3 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 39.3 \text{ mM}$$