

TERMINALE SPÉCIALITÉ • PHYSIQUE-CHIMIE • CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE • CHAPITRE 9



R. RINGUET • 2026 – 2027

Sujet type bac Force des acides et des bases

Deux exercices indépendants : l'acide benzoïque, conservateur des boissons ; l'acide phosphorique d'un cola

Durée : 1 h 30 • calculatrice autorisée • 2 exercices indépendants • barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : / 20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies ; toute démarche, même partielle, est valorisée. *Formulaire* : $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ • $[\text{H}_3\text{O}^+] = c^\circ \times 10^{-\text{pH}}$ • $\text{pH} =$

$$\text{p}K_A + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]} \text{ • incertitude composée : si } y = \frac{a \cdot b}{d}, \text{ alors } \frac{u(y)}{y} = \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(d)}{d}\right)^2}$$

- écart normalisé $z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{u(x)}$, compatibilité admise si $z < 2$.

Exercice 1 L'acide benzoïque, conservateur des boissons

12 pts ●●●

L'acide benzoïque et son sel de sodium empêchent le développement des levures dans les boissons. Cet exercice contrôle une solution étalon, détermine la constante d'acidité du couple, puis discute l'efficacité réelle du conservateur dans trois aliments.

■ **DONNÉES** indicateurs (zone de virage / teintes) : hélianthine 3,1–4,4 rouge-jaune • rouge de méthyle 4,2–6,2 rouge-jaune • b. de bromothymol 6,0–7,6 jaune-bleu • rouge de crésol 7,2–8,8 jaune-rouge • phénolphtaléine 8,2–10,0 incolore-rose

■ DOCUMENT 1 — Le conservateur E210

L'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, noté AH, est le conservateur E210 ; son sel de sodium $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$, beaucoup plus soluble dans l'eau, est le conservateur E211. Le couple $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ a pour $\text{p}K_A$ 4,2 à 25 °C.

Seule la forme moléculaire AH traverse la membrane des levures : c'est elle, et elle seule, qui assure la conservation. La réglementation européenne limite la teneur des boissons non alcoolisées à 150 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, exprimée en acide benzoïque.

Données : $M(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 122,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $M(\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}) = 144,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ • solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau à 25 °C : 3,4 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; celle du benzoate de sodium : 630 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

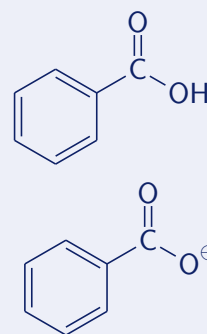


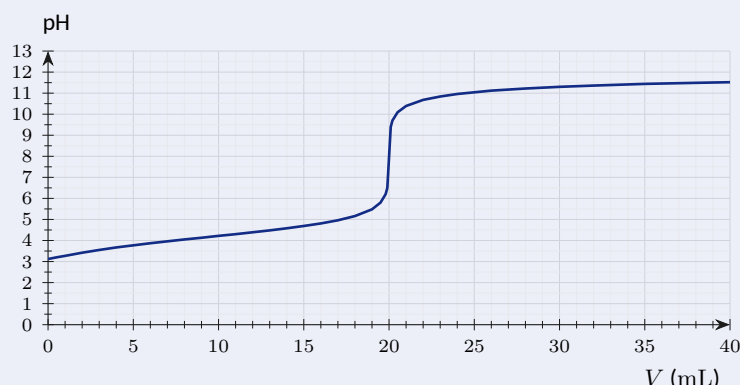
Figure 1 — $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (haut) et $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ (bas)

Partie A — Préparation et contrôle de la solution étalon

- Vérifier que la concentration attendue de la solution S , préparée comme l'indique le document 2, vaut $c_{\text{att}} = 1,019 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et justifier que la masse pesée peut effectivement être dissoute dans 1,00 L d'eau.
- Décrire le protocole de préparation de la solution S en nommant la verrerie utilisée, puis expliquer pourquoi l'industrie agroalimentaire emploie le benzoate de sodium plutôt que l'acide benzoïque lui-même.

■ DOCUMENT 2 — Titrage pH-métrique de la solution étalon

On dissout $m = 1,244$ g d'acide benzoïque dans de l'eau distillée et on complète à 1,00 L : on obtient la solution S .
 On titre $V_A = 20,0$ mL de S par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, en suivant le pH (figure 2).
 Incertitudes-types : $u(V_E) = 0,2$ mL, $u(V_A) = 0,05$ mL, et 1,0 % en valeur relative sur c_B .

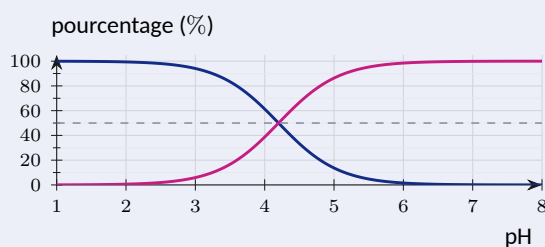
Figure 2 — Titrage de 20,0 mL de la solution S

- 1.3** Écrire l'équation de la réaction support du titrage, puis rappeler les trois propriétés que doit posséder une réaction pour servir de réaction de titrage.
- 1.4** Déterminer le volume équivalent V_E par la méthode des tangentes et relever le pH à l'équivalence. En déduire la concentration mesurée c_{mes} de la solution S .
- 1.5** Calculer l'incertitude-type relative sur c_{mes} , puis $u(c_{\text{mes}})$. Écrire le résultat de la mesure, calculer l'écart normalisé avec c_{att} et conclure.
- 1.6** Choisir, parmi les indicateurs de l'encadré, celui qui permettrait de repérer l'équivalence sans pH-mètre, préciser le changement de couleur et expliquer pourquoi l'hélianthine serait ici un très mauvais choix.

Partie B — Constante d'acidité et taux d'avancement

- 1.7** Écrire l'équation de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau et l'expression de sa constante d'acidité K_A .
- 1.8** Montrer qu'à la demi-équivalence $[\text{AH}] = [\text{A}^-]$, donc que le pH y est égal au $\text{p}K_A$ du couple. Relever le pH pour $V = 10,0$ mL et en déduire $\text{p}K_A$ puis K_A ; comparer à la valeur du document 1.
- 1.9** Relever le pH de la solution S avant tout ajout de soude. En notant $h = [\text{H}_3\text{O}^+]$ et en négligeant l'autoprotolyse de l'eau, montrer que $h^2 + K_A h - K_A c = 0$, résoudre cette équation avec $c = c_{\text{mes}}$ et comparer au pH lu sur la figure 2.
- 1.10** Pour $V = 5,0$ mL de soude versée, déterminer les quantités d'acide benzoïque et d'ions benzoate dans le bécher, en déduire le rapport $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]}$ puis le pH; comparer à la figure 2 et justifier le léger écart.
- 1.11** Calculer le taux d'avancement final de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau dans la solution S . Reprendre le calcul pour une solution 100 fois plus diluée et conclure sur l'effet de la dilution.

■ DOCUMENT 3 — Distribution des deux formes et exploitation informatique

Figure 3 — Distribution du couple (bleu : AH; magenta : A^-)

Un soda porte sur son étiquette : « conservateur : benzoate de sodium, $120 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ » ; son pH vaut 3,0. Un jus de fruit peu acide a un pH de 5,0, le lait un pH de 6,7.

```
1 pKA, C = 4.2, 8.33e-4
2 for pH in [3.0, 4.2, 5.0, 6.7]:
3     pourcent = 100 / (1 + 10 ** (pH - pKA))
4     print(pH, round(pourcent, 1))
```

Partie C — Le conservateur dans les aliments

- 1.12** Calculer la concentration totale en espèces du couple apportée par le benzoate de sodium du soda, en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; vérifier la valeur utilisée à la ligne 1 du programme. Exprimer ensuite cette teneur en acide ben-

zoïque, en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, et vérifier qu'elle respecte la réglementation.

- 1.13 Relever sur la figure 3 le pourcentage de forme active dans le soda, le retrouver par le calcul, puis en déduire la concentration en forme active, en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- 1.14 Indiquer, en justifiant, les quatre lignes affichées par le programme. Écrire la ligne à ajouter pour qu'il affiche également la concentration en forme active.
- 1.15 À l'aide des résultats précédents, expliquer pourquoi le benzoate de sodium est un conservateur efficace dans un soda, médiocre dans un jus de fruit peu acide, et pratiquement inutile dans le lait.
- 1.16 Une analyse de ce soda, réalisée par un laboratoire indépendant, donne une teneur en acide benzoïque de $113\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, avec une incertitude-type de $6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Calculer l'écart normalisé avec la valeur déduite de l'étiquette et conclure sur la conformité. Proposer deux explications possibles de l'écart observé.
- 1.17 Dans les sodas, le benzoate de sodium est presque toujours associé à un acidifiant, l'acide citrique : expliquer l'intérêt de cette association. Quel serait l'effet d'une baisse du pH du soda de 3,0 à 2,5 ?

Exercice 2 L'acide phosphorique d'un cola

8 pts ●●●

■ DOCUMENT 4 — L'acidifiant des boissons au cola

L'acide phosphorique H_3PO_4 (E338) donne au cola son goût acidulé. C'est un triacide de $\text{p}K_A$ successifs 2,1 ; 7,2 ; 12,3 à 25°C , et de masse molaire $M = 98,0\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. L'étiquette d'une canette annonce $550\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide phosphorique.

Un échantillon de cola est d'abord dégazé par agitation prolongée, puis $V_A = 20,0\text{ mL}$ sont titrés par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 1,00 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Un premier saut de pH, net, est observé pour $V_E = 11,5\text{ mL}$: il correspond à la seule première acidité. Le pH du cola dégazé, mesuré au pH-mètre, vaut 2,4. Incertitudes-types : $u(V_E) = 0,2\text{ mL}$, $u(V_A) = 0,05\text{ mL}$, et 1,0 % en valeur relative sur c_B .

■ DOCUMENT 5 — Le couple $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$, second tampon du sang

Dans le plasma sanguin, dont le pH vaut 7,4, la somme des concentrations $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}]$ vaut $1,0 \times 10^{-3}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Ce couple n'assure qu'environ 5 % du pouvoir tampon du sang (le couple $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-$ et les protéines assurent le reste), mais c'est le tampon principal de l'urine, où il est bien plus concentré.

- 2.1 Écrire les trois couples acide-base de l'acide phosphorique, puis l'équation de la réaction de H_3PO_4 avec l'eau et l'expression de la constante d'acidité K_{A1} correspondante.
- 2.2 Écrire l'équation de la réaction support du titrage jusqu'à la première équivalence, puis calculer la concentration en acide phosphorique du cola et la teneur correspondante, en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Calculer l'écart relatif avec l'indication de l'étiquette.
- 2.3 Déterminer l'incertitude-type relative sur cette teneur, puis u ; écrire le résultat de la mesure, calculer l'écart normalisé avec l'étiquette et conclure sur la conformité du produit.
- 2.4 À partir du pH mesuré, déterminer K_{A1} puis $\text{p}K_{A1}$ et comparer à la valeur du document 4. Calculer le taux d'avancement final de la réaction de H_3PO_4 avec l'eau : cet acide est-il plus ou moins dissocié que l'acide benzoïque de l'exercice 1 ? Justifier à l'aide des $\text{p}K_A$.
- 2.5 Tracer le diagramme de prédominance des quatre espèces du phosphore et indiquer l'espèce majoritaire dans le cola, puis dans le sang de pH 7,4.
- 2.6 Écrire l'équation de la réaction support du titrage correspondant à la deuxième acidité, puis calculer le volume total de soude qu'il faudrait verser pour atteindre la deuxième équivalence.
- 2.7 À l'aide du document 5, calculer le rapport $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$ dans le plasma, puis chacune des deux concentrations. Un apport de $1,0 \times 10^{-5}\text{ mol}$ d'ions oxonium par litre de plasma étant entièrement consommé par l'ion HPO_4^{2-} , calculer le nouveau pH et commenter l'effet tampon de ce couple.
- 2.8 Le cola contient aussi de l'acide citrique et, avant dégazage, du dioxyde de carbone dissous. La teneur trouvée en 2.2 est-elle surestimée ou sous-estimée ? Justifier le dégazage préalable et proposer une méthode de dosage spécifique de l'acide phosphorique.