Corrigé complet — Bac S 2010 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Une astuce culinaire** Titrage conductimétrique · Équivalence et dilution · pH et produit ionique de l'eau · Tableau et taux d'avancement · Constante d'acidité · Espèce prédominante	4 pts	52 min	13 questions	p. 2
Ex 2	**Spécialité : Titrage des ions nitrate dans un engrais** Titrage indirect (en retour) · Réaction d'oxydoréduction · Équivalence d'un titrage · Tableau d'avancement · Quantité de matière et dilution · Pourcentage massique	4 pts	52 min	12 questions	p. 6
Ex 3	**Condensateur et éclairage d'un train miniature** Charge et décharge d'un condensateur · Constante de temps d'un dipôle RC · Loi des mailles et loi d'Ohm · Équation différentielle du premier ordre · Puissance électrique · Analyse dimensionnelle	5,5 pts	1 h 05	10 questions	p. 10
Ex 4	**Des avions pas comme les autres** Principe d'inertie · Deuxième loi de Newton · Chute libre parabolique · Équations horaires et trajectoire · Pile à combustible · Catalyse	6,5 pts	1 h 18	13 questions	p. 14

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Une astuce culinaire

Bac S 2010 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Écrire l'équation de la réaction support du dosage.

L'acide éthanoïque (acide du couple CH_3COOH/CH_3COO^-) réagit avec l'ion hydroxyde (base du couple H_2O/HO^-) :

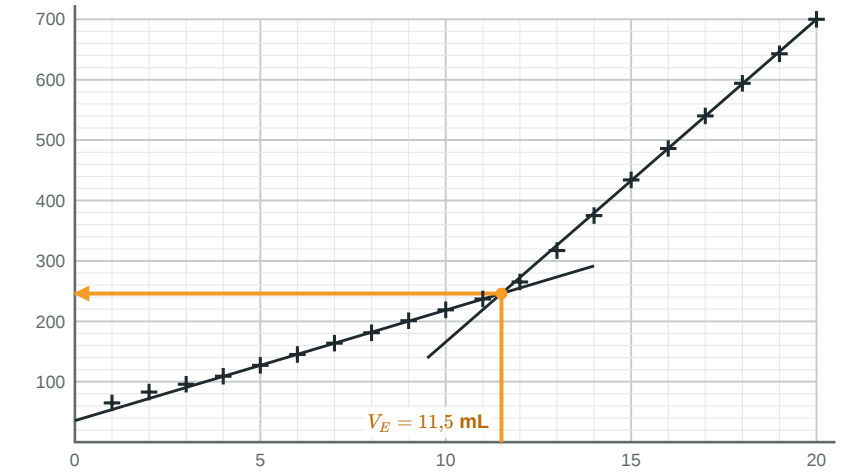
$$CH_3COOH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow CH_3COO^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage doit être totale, rapide et unique : on l'écrit avec une flèche simple. L'ion Na^+ est spectateur, il n'apparaît pas dans l'équation.

1.2 Déterminer graphiquement le volume V_E de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

Les points s'alignent sur deux portions de droite de pentes différentes. On trace ces deux droites : l'abscisse de leur point d'intersection est le volume à l'équivalence.

$$V_E = 11{,}5\ \text{mL}$$



1.2 · Figure 2 du sujet : les deux droites se coupent à l'équivalence

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, Na^+ et CH_3COO^- s'accumulent : σ augmente lentement. Après, HO^-, très conducteur, n'est plus consommé : la pente est plus forte.

MÉTHODE
Tracer chaque droite avec les points éloignés de la rupture de pente : les premiers points et ceux tout proches de l'équivalence s'écartent un peu de l'alignement. Une lecture entre 11,5 et 12 mL est acceptable.

1.3 Définir l'équivalence. En déduire la concentration molaire C_1 en acide éthanoïque dans la solution S_1.

Données utiles $V_1 = 10{,}0$ mL ; $C_b = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $V_E = 11{,}5$ mL (1.2)

À l'équivalence, le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de dosage : ils sont tous deux entièrement consommés.

Ici, une mole d'acide réagit avec une mole d'ions hydroxyde : $n(CH_3COOH)_{\text{initial}} = n(HO^-)_{\text{versé à l'éq.}}$, soit $C_1V_1 = C_bV_E$.

$$C_1 = \frac{C_b\,V_E}{V_1} = \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times 11{,}5}{10{,}0}$$

$$C_1 = 5{,}8 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

PIÈGE
Définir l'équivalence par « le pH vaut 7 » ou « les concentrations sont égales ». La définition porte sur les quantités de matière et la stœchiométrie.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C_b, la donnée la moins précise. Les deux volumes sont dans la même unité : leur rapport ne demande aucune conversion.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{5.0 \times 10^{-2} \times 11.5}{10.0} \approx 0.0575$$

1.4 En déduire la concentration molaire C_0 en acide éthanoïque dans la solution commerciale S_0.

Données utiles S_0 diluée 20 fois ; C_1 (1.3)

La solution commerciale a été diluée 20 fois : $C_0 = 20\,C_1$.

$C_0 = 20 \times 5{,}75 \times 10^{-2} = 1{,}15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$\boxed{C_0 \approx 1{,}2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$

MÉTHODE
On reprend la valeur non arrondie de C_1 pour le calcul, puis on arrondit seulement le résultat final.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{20 \times 5.0 \times 10^{-2} \times 11.5}{10.0} \approx 1.15$$

2.1 Déterminer, à l'équilibre, la concentration $[H_3O^+]_{éq}$ à 25 °C. En déduire $[HO^-]_{éq}$ et la quantité de matière $n(HO^-)_{éq}$ dans la solution.

Données utiles pH = 10,9 ; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$; $V = 50$ mL

$[H_3O^+]_{éq} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-10{,}9} = 1{,}3 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Produit ionique de l'eau : $K_e = [H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}$, donc

$$[HO^-]_{éq} = \frac{K_e}{[H_3O^+]_{éq}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-14}}{10^{-10{,}9}} = 7{,}9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$n(HO^-)_{éq} = [HO^-]_{éq} \times V = 7{,}94 \times 10^{-4} \times 50 \times 10^{-3}$

$\boxed{[H_3O^+]_{éq} = 1{,}3 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ ; } [HO^-]_{éq} = 7{,}9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ ; } n(HO^-)_{éq} = 4{,}0 \times 10^{-5} \text{ mol}}$

PIÈGE
Laisser le volume en millilitres : $V = 50 \times 10^{-3}$ L.
Autre erreur fréquente : diviser par la valeur arrondie $1{,}3 \times 10^{-11}$, ce qui fausse le deuxième chiffre du résultat.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$10^{-10.9} \approx 1.258925 \times 10^{-11}$$

$$\frac{1.0 \times 10^{-14}}{10^{-10.9}} \approx 7.943282 \times 10^{-4}$$

$$\frac{1.0 \times 10^{-14}}{10^{-10.9}} \times 50 \times 10^{-3} \approx 3.971641 \times 10^{-5}$$

2.2 Calculer la quantité de matière n_0 apportée en triméthylamine.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 50$ mL

$n_0 = C \times V = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 50 \times 10^{-3}$

$\boxed{n_0 = 5{,}0 \times 10^{-4} \text{ mol}}$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 10^{-2} \times 50 \times 10^{-3}$

$\approx 5 \times 10^{-4}$

2.3 Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système donné sur la figure 3 de l'annexe.

Données utiles $n_0 = 5{,}0 \times 10^{-4}$ mol (2.2)

L'eau est le solvant : elle est en excès. Initialement, on néglige les ions hydroxyde déjà présents dans l'eau. Les nombres stœchiométriques valent tous 1 : la triméthylamine perd x, chaque produit gagne x.

Tableau complété ci-dessous : à l'état final, $n((CH_3)_3N) = n_0 - x_f$ et $n((CH_3)_3NH^+) = n(HO^-) = x_f$.

Équation de la réaction		$(CH_3)_3N$ (aq) +	H_2O (ℓ) =	$(CH_3)_3NH^+$ (aq) +	HO^- (aq)
État initial	0	$n_0 = 5{,}0 \times 10^{-4}$	excès	0	0
Au cours de la transformation	x	$n_0 - x$	excès	x	x
État final	x_f	$n_0 - x_f$	excès	x_f	x_f
État final si la transformation est totale	x_{max}	$n_0 - x_{max} = 0$	excès	x_{max}	x_{max}

2.3 · Figure 3 de l'annexe complétée (quantités de matière en mol)

2.4 En déduire l'avancement final x_f et l'avancement maximal x_{max} de la réaction.

Données utiles $n(HO^-)_{éq} = 4{,}0 \times 10^{-5}$ mol (2.1) ; $n_0 = 5{,}0 \times 10^{-4}$ mol (2.2)

D'après la dernière colonne du tableau, à l'état final : $x_f = n(HO^-)_{éq}$.

Si la transformation était totale, la triméthylamine (seul réactif limitant possible, l'eau étant en excès) serait entièrement consommée : $n_0 - x_{max} = 0$.

$x_f = 4{,}0 \times 10^{-5}$ mol ; $x_{max} = n_0 = 5{,}0 \times 10^{-4}$ mol

COMPRENDRE

x_f vient d'une mesure (le pH), x_{max} d'une hypothèse (réaction totale). Ce sont deux grandeurs différentes : les comparer est l'objet de la question suivante.

2.5 Calculer le taux d'avancement final τ de la réaction. La transformation est-elle totale ?

Données utiles x_f et x_{max} (2.4)

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{3{,}97 \times 10^{-5}}{5{,}0 \times 10^{-4}} = 7{,}9 \times 10^{-2}$$

$\tau = 7{,}9\,\%$: $\tau < 1$, la transformation n'est pas totale, elle est limitée.

COMPRENDRE

Seuls 8 % environ des molécules de triméthylamine ont réagi avec l'eau : c'est une base faible. L'essentiel reste sous la forme $(CH_3)_3N$, celle qui sent mauvais.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.97 \times 10^{-5}}{5.0 \times 10^{-4}}$

≈ 0.0794

2.6 Montrer que le rapport $\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}}$ est égal à $\frac{x_f}{n_0 - x_f}$ et le calculer.

Données utiles x_f (2.4) ; $n_0 = 5{,}0 \times 10^{-4}$ mol (2.2)

D'après le tableau, à l'état final, dans le même volume V de solution :

$[(CH_3)_3NH^+]_{éq} = \frac{x_f}{V}$ et $[(CH_3)_3N]_{éq} = \frac{n_0 - x_f}{V}$.

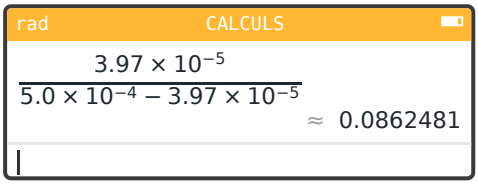
En faisant le quotient, V se simplifie :

$$\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}} = \frac{x_f}{n_0 - x_f} = \frac{3{,}97 \times 10^{-5}}{5{,}0 \times 10^{-4} - 3{,}97 \times 10^{-5}}$$

$$\boxed{\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}} = \frac{x_f}{n_0 - x_f} = 8{,}6 \times 10^{-2}}$$

COMPRENDRE
Avec la valeur arrondie $x_f = 4{,}0 \times 10^{-5}$ mol, on trouve $8{,}7 \times 10^{-2}$: les deux résultats sont acceptés. Le rapport est inférieur à 1 : la triméthylamine prédomine, ce qui est cohérent avec $\text{pH} > \text{p}K_{a2}$.

À LA CALCULATRICE



3.1 Donner l'expression littérale de la constante d'acidité K_{a2} du couple $(CH_3)_3NH^+/(CH_3)_3N$. En déduire l'expression du rapport $\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}}$ en fonction de $\text{p}K_{a2}$ et de pH.

K_{a2} est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide du couple avec l'eau, $(CH_3)_3NH^+\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons (CH_3)_3N\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$:

$$K_{a2} = \frac{[(CH_3)_3N]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}$$

On isole le rapport demandé : $\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}} = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{K_{a2}}$.

Or $[H_3O^+]_{éq} = 10^{-\text{pH}}$ et $K_{a2} = 10^{-\text{p}K_{a2}}$, donc :

$$\boxed{\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}} = \frac{10^{-\text{pH}}}{10^{-\text{p}K_{a2}}} = 10^{\text{p}K_{a2} - \text{pH}}}$$

PIÈGE
Inverser le rapport : dans K_a, la base est au numérateur avec H_3O^+, l'acide au dénominateur. Ici on demande acide sur base, d'où l'exposant $\text{p}K_{a2} - \text{pH}$ et non l'inverse.

MÉTHODE
On peut aussi partir de $\text{pH} = \text{p}K_a + \log\frac{[\text{base}]}{[\text{acide}]}$, mais passer par les puissances de dix évite toute manipulation de logarithmes.

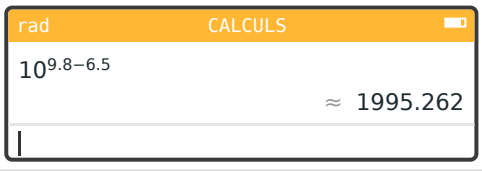
3.2 Calculer la valeur de ce rapport.

Données utiles $\text{pH} = 6{,}5$; $\text{p}K_{a2} = 9{,}8$

$$\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}} = 10^{9{,}8 - 6{,}5} = 10^{3{,}3}$$

$$\boxed{\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}} = 2{,}0 \times 10^{3}}$$

À LA CALCULATRICE



3.3 Quel intérêt présente l'ajout de vinaigre à l'eau de cuisson d'un poisson ?

Le vinaigre apporte de l'acide éthanoïque, qui abaisse le pH à 6,5, valeur très inférieure à $\text{p}K_{a2} = 9{,}8$. L'ion triméthylammonium est alors environ 2000 fois plus concentré que la triméthylamine : l'espèce malodorante $(CH_3)_3N$ est devenue ultra-minoritaire.

Le vinaigre transforme presque toute la triméthylamine en ion triméthylammonium : l'odeur de poisson est fortement atténuée.

COMPRENDRE
Sans vinaigre (2.6), le rapport valait $8{,}6 \times 10^{-2}$: la triméthylamine prédominait. Il est multiplié par plus de 20 000. L'ion formé reste dissous dans l'eau au lieu de s'évaporer vers le nez.

Spécialité : Titrage des ions nitrate dans un engrais

Bac S 2010 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 La méthode met en jeu deux réactions successives. Comment appelle-t-on ce type de titrage ?

On fait réagir les ions nitrate avec un excès connu d'ions fer (II), puis on titre l'excès restant.

C'est un **titrage indirect**, ici un titrage en retour (ou titrage par différence).

COMPRENDRE
Dans un titrage direct, l'espèce cherchée réagit elle-même avec le réactif versé à la burette. Ici, les ions nitrate ne rencontrent jamais la solution titrante : on les dose par l'intermédiaire des ions Fe^{2+}.

1.2 D'après les conditions expérimentales, justifier que la réaction 1 ne peut pas servir directement de réaction de titrage.

Une réaction support de titrage doit être totale, rapide et unique.

Le protocole précise que la réaction 1 est lente : il faut porter le mélange à ébullition douce pour qu'elle se termine.

La réaction 1 est totale mais **lente** : elle ne peut pas servir de réaction de titrage.

PIÈGE
Répondre « elle n'est pas totale » : l'énoncé dit le contraire. Le seul critère en défaut est la rapidité, sans laquelle on ne peut pas repérer l'équivalence au fur et à mesure des ajouts.

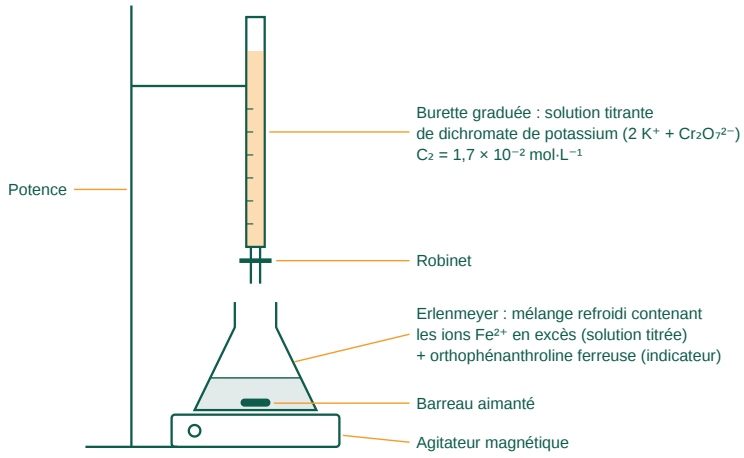
1.3 Faire le schéma annoté du dispositif de titrage.

Le titrage réalisé est celui des ions fer (II) en excès par les ions dichromate (réaction 2).

- Burette graduée : solution titrante de dichromate de potassium, $C_2 = 1{,}7 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.
- Erlenmeyer : mélange réactionnel refroidi contenant les ions Fe^{2+} en excès (espèce titrée) et quelques gouttes d'orthophénanthroline ferreuse.
- Agitateur magnétique et barreau aimanté.

Schéma ci-dessous : burette (solution titrante), erlenmeyer (solution titrée et indicateur), agitation magnétique.

PIÈGE
Placer les ions nitrate ou la solution (S) seule dans l'erlenmeyer, ou le sel de Mohr dans la burette. Un schéma sans légende ni nom des solutions ne rapporte pas tous les points.



1.3 · Dispositif du titrage des ions fer (II) en excès

2.1 Exprimer $n_R(\mathrm{Fe^{2+}})$ en fonction de $n_i(\mathrm{Fe^{2+}})$ et $n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}})$.

Les ions fer (II) introduits ont soit réagi avec les ions nitrate, soit sont restés en excès :

$$n_i(\mathrm{Fe^{2+}}) = n_R(\mathrm{Fe^{2+}}) + n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}})$$

$$\boxed{n_R(\mathrm{Fe^{2+}}) = n_i(\mathrm{Fe^{2+}}) - n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}})}$$

2.2 Calculer la quantité de matière initiale en ions fer (II), $n_i(\mathrm{Fe^{2+}})$.

Données utiles $[\mathrm{Fe^{2+}}] = 0{,}20\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_1 = 20{,}0\ \mathrm{mL}$

Les ions fer (II) sont apportés par le volume V_1 de solution de sel de Mohr :

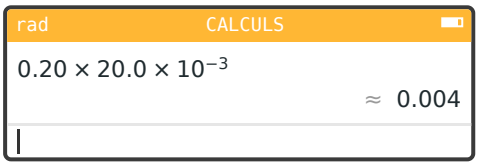
$$n_i(\mathrm{Fe^{2+}}) = [\mathrm{Fe^{2+}}] \times V_1 = 0{,}20 \times 20{,}0 \times 10^{-3}$$

$$\boxed{n_i(\mathrm{Fe^{2+}}) = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$$

PIÈGE
Laisser V_1 en millilitres, ou utiliser le volume total du mélange. Seul le volume de la solution qui apporte les ions $\mathrm{Fe^{2+}}$ compte.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs : le résultat a la précision de la donnée la moins précise, ici $0{,}20\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$. La même règle s'applique à tous les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Définir l'équivalence d'un titrage.

À l'équivalence, le réactif titrant et le réactif titré ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage : ils sont tous deux entièrement consommés.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, le réactif limitant est le réactif titrant ; après, c'est le réactif titré. L'équivalence est le moment du changement de réactif limitant.

2.3.2 Compléter le tableau d'avancement de la réaction 2 (figure 1 de l'annexe), montrer que $n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}}) = 6\,C_2\,V_E$, puis calculer $n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}})$.

Données utiles $C_2 = 1{,}7 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_E = 10{,}0\ \mathrm{mL}$

Tableau complété : voir la figure ci-dessous.

À l'équivalence, les deux réactifs sont totalement consommés :

$n_E(\mathrm{Cr_2O_7^{2-}}) - x_E = 0$ et $n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}}) - 6\,x_E = 0$

donc $x_E = n_E(\mathrm{Cr_2O_7^{2-}})$ et $n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}}) = 6\,x_E = 6\,n_E(\mathrm{Cr_2O_7^{2-}})$.

Or $n_E(\mathrm{Cr_2O_7^{2-}}) = C_2\,V_E$, d'où $n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}}) = 6\,C_2\,V_E$.

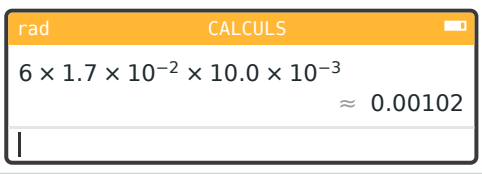
$$n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}}) = 6 \times 1{,}7 \times 10^{-2} \times 10{,}0 \times 10^{-3}$$

$$\boxed{n_{ex}(\mathrm{Fe^{2+}}) = 6\,C_2\,V_E = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$$

PIÈGE
Placer le coefficient 6 du mauvais côté et écrire $n_{ex} = C_2V_E/6$. Un ion dichromate consomme six ions $\mathrm{Fe^{2+}}$: il y a six fois plus d'ions fer (II) que d'ions dichromate versés.

MÉTHODE
À l'équivalence, diviser chaque quantité de réactif par son nombre stœchiométrique : $\frac{n(\mathrm{Fe^{2+}})}{6} = \frac{n(\mathrm{Cr_2O_7^{2-}})}{1}$. Le tableau d'avancement redonne cette égalité.

À LA CALCULATRICE



Équation de la réaction de titrage	Avancement (mol)	$Cr_2O_7^{2-}$(aq)	+ 6 Fe^{2+}(aq)	+ 14 H_3O^+	= 2 Cr^{3+}(aq)	+ 6 Fe^{3+}(aq)	+ 21 H_2O(ℓ)
État initial (mol)	0	$n_E(Cr_2O_7^{2-})$	$n_{ex}(Fe^{2+})$	Excès	0	0	Excès
État final (E) (mol)	x_E	$n_E(Cr_2O_7^{2-}) - x_E = 0$	$n_{ex}(Fe^{2+}) - 6\,x_E = 0$	Excès	$2\,x_E$	$6\,x_E$	Excès

2.3.2 · Figure 1 de l'annexe complétée (en orange : ce que l'on écrit)

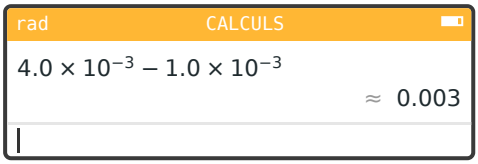
2.4 À l'aide de la question 2.1, en déduire la valeur de $n_R(Fe^{2+})$.

Données utiles $n_i(Fe^{2+}) = 4{,}0 \times 10^{-3}$ mol (2.2) ; $n_{ex}(Fe^{2+}) = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol (2.3.2)

$$n_R(Fe^{2+}) = n_i(Fe^{2+}) - n_{ex}(Fe^{2+}) = 4{,}0 \times 10^{-3} - 1{,}0 \times 10^{-3}$$

$$\boxed{n_R(Fe^{2+}) = 3{,}0 \times 10^{-3} \text{ mol}}$$

À LA CALCULATRICE



2.5.1 À partir du tableau d'avancement de la réaction 1, exprimer $n_R(Fe^{2+})$ en fonction de l'avancement final x_f.

Dans l'état final de la réaction 1, il reste $n_i(Fe^{2+}) - 3\,x_f$ d'ions fer (II) : c'est la quantité en excès $n_{ex}(Fe^{2+})$.

La quantité qui a réagi est donc $n_R(Fe^{2+}) = n_i(Fe^{2+}) - n_{ex}(Fe^{2+}) = 3\,x_f$.

$$\boxed{n_R(Fe^{2+}) = 3\,x_f}$$

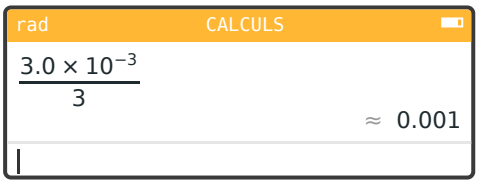
2.5.2 Montrer que $x_f = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles $n_R(Fe^{2+}) = 3{,}0 \times 10^{-3}$ mol (2.4)

$$x_f = \frac{n_R(Fe^{2+})}{3} = \frac{3{,}0 \times 10^{-3}}{3}$$

$\boxed{x_f = 1{,}0 \times 10^{-3} \text{ mol}}$: c'est bien la valeur attendue.

À LA CALCULATRICE



2.5.3 Les ions nitrate étant limitants, en déduire $n_i(NO_3^-)$ dans l'erlenmeyer, puis la quantité $n(NO_3^-)$ dans la solution (S), donc dans 2,5 g d'engrais.

Données utiles $x_f = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol (2.5.2) ; $V_0 = 25{,}0$ mL ; volume de (S) : 250 mL

Les ions nitrate sont limitants et la réaction 1 est totale : $n_i(NO_3^-) - x_f = 0$, donc

$n_i(NO_3^-) = x_f = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol dans l'erlenmeyer, c'est-à-dire dans $V_0 = 25{,}0$ mL de (S).

La fiole contient 250 mL de solution (S), soit $\frac{250}{25{,}0} = 10$ fois le volume prélevé :

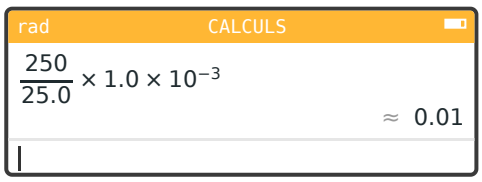
$$n(NO_3^-) = 10 \times n_i(NO_3^-) = 10 \times 1{,}0 \times 10^{-3}$$

$\boxed{n_i(NO_3^-) = 1{,}0 \times 10^{-3} \text{ mol et } n(NO_3^-) = 1{,}0 \times 10^{-2} \text{ mol dans 2,5 g d'engrais.}}$

PIÈGE

S'arrêter à $1{,}0 \times 10^{-3}$ mol : seul un dixième de la solution (S) a été titré. Toute la masse d'engrais se trouve dans les 250 mL de la fiole.

À LA CALCULATRICE



2.6 Calculer le pourcentage massique P_m en azote nitrique de l'engrais titré. Obtient-on le même ordre de grandeur que sur l'étiquette ?

Données utiles $n(NO_3^-) = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol (2.5.3) ; $M(N) = 14$ g · mol^{-1} ; $m = 2{,}5$ g ; étiquette : 6 % d'azote nitrique

$$P_m = \frac{n(NO_3^-) \times M(N)}{m} \times 100 = \frac{1{,}0 \times 10^{-2} \times 14}{2{,}5} \times 100 = 5{,}6\ \%$$

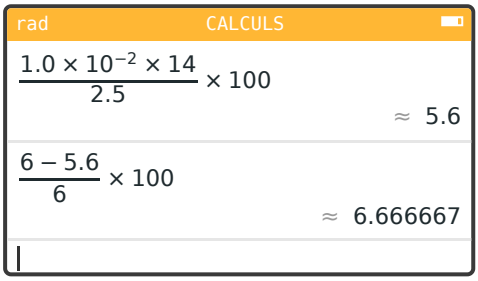
L'étiquette annonce 6 % d'azote nitrique. L'écart relatif vaut $\frac{6 - 5{,}6}{6} \approx 7\ \%$.

$P_m = 5{,}6\ \%$: même ordre de grandeur que les 6 % de l'étiquette, le titrage confirme l'indication du fabricant.

COMPRENDRE

On multiplie par $M(N)$ et non par $M(NO_3^-)$: l'étiquette exprime la masse de l'élément azote. Chaque ion nitrate contient un seul atome d'azote, donc $n(N) = n(NO_3^-)$.

À LA CALCULATRICE



Condensateur et éclairage d'un train miniature

Bac S 2010 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Répondre qualitativement : a. pendant la charge du condensateur, les lampes sont-elles parcourues par un courant ? b. une fois le condensateur totalement chargé, un courant circule-t-il dans la branche AB qui le contient ?

a. La branche des lampes est reliée directement aux points P et N, donc aux bornes de l'alimentation : elle forme avec elle un circuit fermé. Les lampes sont traversées par un courant dès que le contact roues/rails est établi, que le condensateur soit chargé ou non.

b. Dans la branche AB, $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. Condensateur chargé : u_C ne varie plus, donc $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$.

a. Oui, les lampes sont parcourues par un courant. b. Non, l'intensité est nulle dans la branche AB.

COMPRENDRE
Les trois branches (lampes, condensateur et R_0, alimentation) sont en dérivation entre les mêmes points. La tension aux bornes des lampes vaut E en permanence : la charge du condensateur ne modifie pas leur éclat.

1.1.2 Déterminer, en justifiant, la tension aux bornes du condensateur lorsqu'il est complètement chargé.

Données utiles $E = 12$ V

Loi des mailles dans la maille formée par l'alimentation et la branche AB : $E = u_{R_0} + u_C$.

Loi d'Ohm : $u_{R_0} = R_0\, i$. Condensateur chargé : $i = 0$ (question 1.1.1), donc $u_{R_0} = 0$.

$u_C = E = 12$ V

PIÈGE
Affirmer « $u_C = E$ » sans justification ne rapporte pas tous les points : il faut la loi des mailles et l'argument $i = 0$, qui annule la tension aux bornes de R_0.

1.1.3 Estimer l'ordre de grandeur du temps de charge du condensateur à l'aide de la constante de temps τ du dipôle (R_0, C).

Données utiles $R_0 = 10\ \Omega$; $C = 1000\ \mu$F

$\tau = R_0\, C = 10 \times 1000 \times 10^{-6} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ s

Le condensateur est chargé à plus de 99 % au bout d'une durée 5τ :

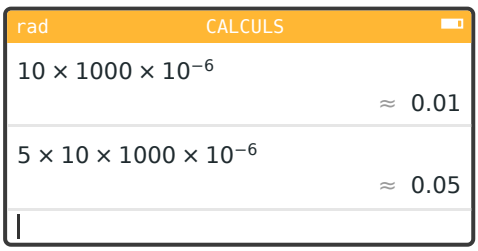
$5\tau = 5 \times 1{,}0 \times 10^{-2} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ s

$\tau = 1{,}0 \times 10^{-2}$ s ; la charge dure environ $5\tau = 5{,}0 \times 10^{-2}$ s, soit quelques centièmes de seconde.

PIÈGE
La capacité est donnée en microfarads : $1000\ \mu\text{F} = 1{,}000 \times 10^{-3}$ F. Seule la résistance R_0 intervient dans la charge : les lampes sont dans une autre branche.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme R_0 et E. La charge est plus brève que la durée d'un soubresaut (0,10 s) : entre deux pertes de contact, le condensateur a le temps de se recharger.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Montrer que, pendant le soubresaut, la tension u_C vérifie l'équation différentielle $u_C + (2R + R_0)\,C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$.

Le circuit de la figure 4 est une seule maille. Loi des mailles : $u_C + u_{R_0} + u_1 + u_2 = 0$.

Les flèches des tensions u_{R_0}, u_1 et u_2 sont opposées au sens choisi pour i (convention récepteur). Loi d'Ohm : $u_{R_0} = R_0\,i$ et $u_1 = u_2 = R\,i$.

Donc $u_C + (2R + R_0)\,i = 0$.

Le courant i arrive sur l'armature qui porte la charge q : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ avec $q = C\,u_C$ et C constante, soit $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

$$u_C + (2R + R_0)\,C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$$

PIÈGE
Oublier une des deux lampes (le coefficient est $2R$), ou écrire la loi d'Ohm sans regarder le sens des flèches : un signe faux donne une équation sans solution décroissante.

MÉTHODE
Circuit RC : 1) loi des mailles avec les flèches du schéma ; 2) loi d'Ohm pour chaque conducteur ohmique ; 3) $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$; 4) tout exprimer en fonction de u_C.

1.2.2 Vérifier que $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-\frac{t}{(2R+R_0)C}}$ est solution de l'équation différentielle précédente et déterminer la valeur de A.

Données utiles $u_C(t=0) = E = 12$ V

On pose $\tau' = (2R + R_0)\,C$, d'où $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau'}$.

Dérivée : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{A}{\tau'}\,\mathrm{e}^{-t/\tau'}$

On remplace dans le premier membre de l'équation :

$$A\,\mathrm{e}^{-t/\tau'} + \tau' \times \left(-\frac{A}{\tau'}\right)\mathrm{e}^{-t/\tau'} = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau'} - A\,\mathrm{e}^{-t/\tau'} = 0$$

L'égalité est vérifiée à tout instant : la fonction proposée est solution.

Condition initiale : $u_C(0) = A\,\mathrm{e}^0 = A$ et $u_C(0) = E$.

$A = E = 12$ V, soit $u_C(t) = E\,\mathrm{e}^{-\frac{t}{(2R+R_0)C}}$

COMPRENDRE
La constante de temps de la décharge vaut $\tau' = 210 \times 1{,}000 \times 10^{-3} = 0{,}21$ s, vingt et une fois celle de la charge : le condensateur se charge vite à travers R_0 seule et se décharge lentement dans les lampes.

1.2.3 Donner l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant. En déduire le signe de $i(t)$.

$$i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = C \times \left(-\frac{E}{(2R + R_0)\,C}\right)\mathrm{e}^{-\frac{t}{(2R+R_0)C}}$$

E, R et R_0 sont positifs et une exponentielle est toujours positive.

$i(t) = -\dfrac{E}{2R + R_0}\,\mathrm{e}^{-\frac{t}{(2R+R_0)C}}$: l'intensité est négative à tout instant.

COMPRENDRE
Un signe négatif signifie que le courant circule réellement dans le sens opposé à la flèche de la figure 4 : la charge q diminue, le condensateur se décharge et joue le rôle de générateur pour les lampes.

1.2.4 Sachant que $p(t) = R\,i^2(t)$, choisir en justifiant, parmi les figures 5, 6 et 7 de l'annexe, la seule qui peut représenter l'évolution de la puissance consommée par chaque lampe pendant la décharge.

Données utiles $E = 12$ V ; $R = 100\ \Omega$; $R_0 = 10\ \Omega$; $i(t)$ (1.2.3)

$$p(t) = R\,i^2(t) = R\left(\frac{E}{2R+R_0}\right)^2 \mathrm{e}^{-\frac{2t}{(2R+R_0)C}}$$

La puissance est une fonction exponentielle décroissante du temps, qui tend vers 0 :

- la figure 7 est écartée : la courbe est croissante ;
- la figure 5 est écartée : la décroissance est linéaire, et non exponentielle.

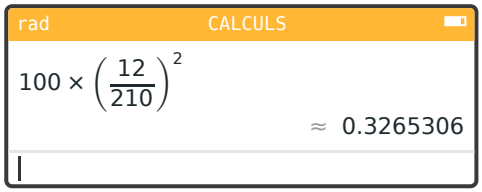
Vérification à $t = 0$: $p(0) = R\left(\frac{E}{2R+R_0}\right)^2 = 100 \times \left(\frac{12}{210}\right)^2 = 0{,}33$ W, valeur lue à l'origine sur la figure 6.

La figure 6 est la seule qui convient.

PIÈGE

Le carré s'applique aussi à l'exponentielle : $\left(\mathrm{e}^{-t/\tau'}\right)^2 = \mathrm{e}^{-2t/\tau'}$. La puissance décroît donc deux fois plus vite que l'intensité.

À LA CALCULATRICE



1.2.5 L'éclairement est satisfaisant si la puissance consommée est au moins égale à 75 % de P_0. a. Déterminer graphiquement la durée d'éclairement satisfaisant de chaque lampe. b. Les lampes éclairent-elles de façon satisfaisante pendant toute la durée du soubresaut ?

Données utiles $P_0 = 0{,}36$ W ; $\Delta t_{\text{soubresaut}} = 0{,}10$ s ; figure 6 (1.2.4)

a. Puissance minimale pour un éclairement satisfaisant : $0{,}75 \times P_0 = 0{,}75 \times 0{,}36 = 0{,}27$ W.

Sur la figure 6, on trace la droite horizontale d'ordonnée $p = 0{,}27$ W ; elle coupe la courbe en un point dont on lit l'abscisse : $t \approx 0{,}02$ s.
Avant cet instant, $p \geqslant 0{,}27$ W.

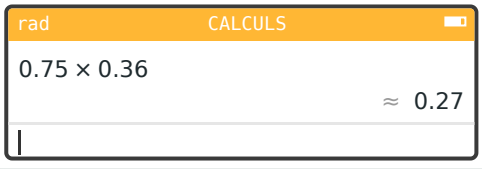
b. $0{,}02$ s $< 0{,}10$ s : la durée d'éclairement satisfaisant est environ cinq fois plus courte que le soubresaut.

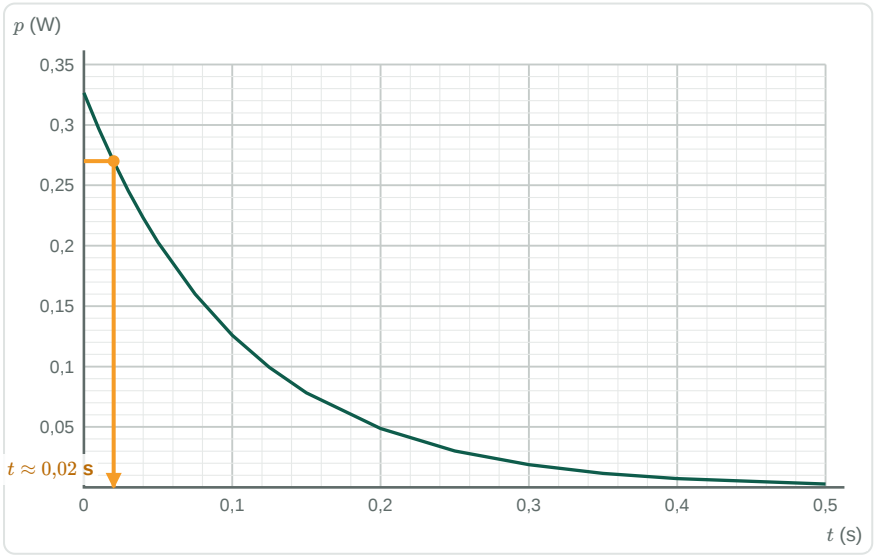
a. Durée d'éclairement satisfaisant : environ $0{,}02$ s. b. Non, les lampes n'éclairent pas correctement pendant tout le soubresaut.

COMPRENDRE

La courbe part de 0,33 W, sous la puissance optimale P_0 : l'éclairement n'est jamais optimal pendant le soubresaut. La pente étant forte au début, la lecture est peu précise : une valeur comprise entre 0,02 s et 0,03 s est acceptable.

À LA CALCULATRICE





1.2.5 · Figure 6 de l'annexe, avec la lecture de la durée d'éclairement satisfaisant (droite $p = 0{,}27$ W)

2.1 Montrer par une analyse dimensionnelle que $\Delta t = (R_3 + R_0)\,C\,\ln\left(\dfrac{I_{\max}}{I_{\text{seuil}}}\right)$ a bien la dimension d'un temps.

Le rapport $\dfrac{I_{\max}}{I_{\text{seuil}}}$ de deux intensités est sans dimension, son logarithme aussi. Donc $[\Delta t] = [R]\,[C]$.

Loi d'Ohm $u = R\,i$: $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$. Relation $q = C\,u_C$: $[C] = \dfrac{[Q]}{[U]}$.

$$[\Delta t] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[Q]}{[U]} = \frac{[Q]}{[I]}$$

Or $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$, donc $[Q] = [I]\,\mathrm{T}$.

$[\Delta t] = \dfrac{[I]\,\mathrm{T}}{[I]} = \mathrm{T}$: Δt a la dimension d'un temps.

MÉTHODE
Pour la dimension d'un produit RC : remplacer chaque grandeur à l'aide d'une relation connue ($u = R\,i$, $q = C\,u$, $i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$) jusqu'à ne garder que des tensions, des intensités et des temps, puis simplifier.

2.2 Calculer Δt et indiquer si les diodes électroluminescentes éclairent pendant toute la durée du soubresaut.

Données utiles $R_3 = 1{,}5\ \text{k}\Omega$; $R_0 = 10\ \Omega$; $C = 1000\ \mu\text{F}$; $I_{\max} = 6{,}0\ \text{mA}$; $I_{\text{seuil}} = 2{,}0\ \text{mA}$; $\Delta t_{\text{soubresaut}} = 0{,}10\ \text{s}$

$$\Delta t = (R_3 + R_0)\,C\,\ln\left(\frac{I_{\max}}{I_{\text{seuil}}}\right)$$

$$\Delta t = (1{,}5 \times 10^3 + 10) \times 1000 \times 10^{-6} \times \ln\left(\frac{6{,}0}{2{,}0}\right) = 1{,}7\ \text{s}$$

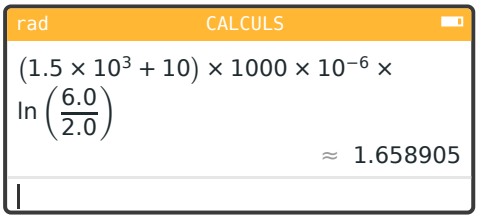
$1{,}7\ \text{s} > 0{,}10\ \text{s}$: l'intensité reste supérieure à I_{seuil} pendant tout le soubresaut.

$\Delta t = 1{,}7\ \text{s}$: les diodes éclairent pendant toute la durée du soubresaut.

PIÈGE
Convertir R_3 en ohms et C en farads. Les intensités peuvent rester en milliampères : seul leur rapport intervient.

COMPRENDRE
La durée d'éclairement est dix-sept fois plus longue que le soubresaut : avec une résistance de 1,5 kΩ, le condensateur se décharge beaucoup plus lentement que dans les lampes.

À LA CALCULATRICE



Des avions pas comme les autres

Bac S 2010 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Quelle est la nature du mouvement du centre d'inertie G de l'avion lors du vol en palier ? Qu'en déduit-on pour la somme des forces exercées sur l'avion ?

Dans le référentiel terrestre, la trajectoire de G est une droite et la valeur de sa vitesse ne change pas : le mouvement de G est **rectiligne uniforme**.

Le référentiel terrestre étant galiléen, le principe d'inertie (première loi de Newton) impose alors que les forces se compensent :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} + \vec{\pi} = \vec{0}$$

COMPRENDRE
Le « centre d'inertie » de l'ancien programme s'appelle aujourd'hui centre de masse. Des forces qui se compensent ne signifient pas l'immobilité : la vitesse reste simplement constante en direction et en valeur.

1.1.2 Représenter en G, sans souci d'échelle, les forces s'exerçant sur l'avion. En remarquant qu'elles s'opposent deux à deux, déterminer leurs valeurs.

Données utiles $m = 1{,}5 \times 10^5$ kg ; $g = 9{,}78\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $\pi = 5{,}0 \times 10^2$ kN

Voir le schéma : $\vec{P}$ vertical vers le bas, $\vec{R}$ vertical vers le haut, $\vec{\pi}$ horizontal vers l'avant, $\vec{T}$ horizontal vers l'arrière.

Verticalement, $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$, donc $R = P = m\,g$:

$$R = P = 1{,}5 \times 10^5 \times 9{,}78 = 1{,}5 \times 10^6\ \text{N}$$

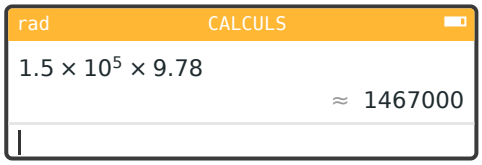
Horizontalement, $\vec{T} + \vec{\pi} = \vec{0}$, donc $T = \pi = 5{,}0 \times 10^2$ kN.

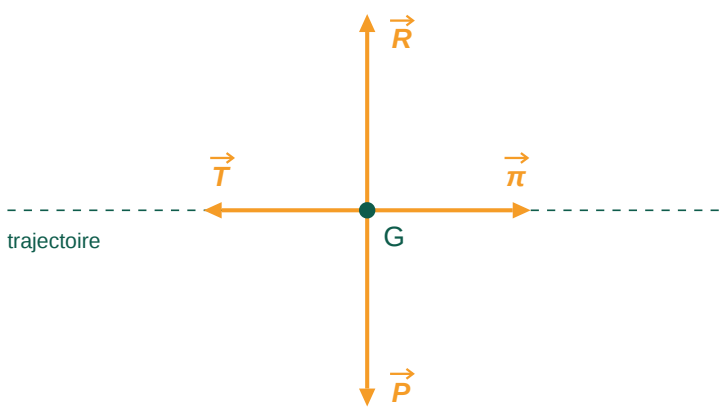
$$P = R = 1{,}5 \times 10^3\ \text{kN} \text{ et } T = \pi = 5{,}0 \times 10^2\ \text{kN}$$

PIÈGE
La masse doit être en kilogrammes : avec $1{,}5 \times 10^2$ tonnes, le poids serait mille fois trop petit. Sur le schéma, deux forces opposées se dessinent avec la même longueur.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse m, qui est la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE





1.1.2 · Vol en palier : les quatre forces appliquées en G se compensent deux à deux

1.2.1 Énoncer la seconde loi de Newton, puis déterminer le vecteur accélération $\vec{a}$ du centre d'inertie G de l'avion pendant le vol parabolique.

Seconde loi de Newton : dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par l'accélération de son centre d'inertie : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$.

Pour l'avion : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} + \vec{\pi} = m\,\vec{a}$.

D'après le texte, la portance est nulle ($\vec{R} = \vec{0}$) et la poussée compense la traînée ($\vec{T} + \vec{\pi} = \vec{0}$). Il reste $\vec{P} = m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$.

$\vec{a} = \vec{g}$: accélération verticale, vers le bas, de valeur $g = 9{,}78\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

COMPRENDRE
L'avion se comporte comme s'il n'était soumis qu'à son poids : c'est la définition de la chute libre. Les passagers ont la même accélération que la cabine, d'où l'impesanteur.

1.2.2 a. Donner les expressions de a_x et a_z dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{k})$. b. En déduire les coordonnées v_x et v_z du vecteur vitesse de G.

Données utiles $\vec{a} = \vec{g}$ (1.2.1) ; à $t = 0$, vitesse $\vec{v}_A$ inclinée de α au-dessus de l'horizontale

a. L'axe Oz est vertical vers le haut et $\vec{g}$ est vertical vers le bas : $a_x = 0$ et $a_z = -g$.

b. Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x = K_1$ et $v_z = -g\,t + K_2$.

Condition initiale : à $t = 0$, $\vec{v} = \vec{v}_A$, soit $v_x(0) = v_A\cos\alpha$ et $v_z(0) = v_A\sin\alpha$. Donc $K_1 = v_A\cos\alpha$ et $K_2 = v_A\sin\alpha$.

$v_x = v_A\cos\alpha$ et $v_z = -g\,t + v_A\sin\alpha$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration, ou échanger sinus et cosinus. L'angle α est mesuré depuis l'horizontale : le cosinus va avec x, le sinus avec z.

MÉTHODE
Chute libre : 1) coordonnées de $\vec{a}$; 2) primitives pour obtenir $\vec{v}$; 3) constantes fixées par la vitesse initiale. On recommence ensuite pour la position.

1.2.3 Montrer que l'équation horaire selon Oz s'écrit $z(t) = C_1\,t^2 + C_2\,t + C_3$ et exprimer les constantes en fonction de v_A, α, g et z_A.

Données utiles $v_z = -g\,t + v_A\sin\alpha$ (1.2.2)

Comme $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$, $z(t)$ est une primitive de v_z :

$$z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + (v_A\sin\alpha)\,t + K_3$$

À $t = 0$, G est au point A d'altitude z_A : $z(0) = K_3 = z_A$. Donc

$$z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + (v_A\sin\alpha)\,t + z_A$$

Cette expression est bien de la forme demandée.

$C_1 = -\dfrac{g}{2}$; $C_2 = v_A\sin\alpha$; $C_3 = z_A$

PIÈGE
Écrire $C_3 = 0$ par habitude : l'origine du repère est au sol, alors que l'avion part de l'altitude z_A.

1.2.4 Sachant que $x(t) = v_A(\cos\alpha)\,t$, montrer que l'équation de la trajectoire est $z(x) = -\dfrac{g}{2\,v_A^2\cos^2\alpha}\,x^2 + (\tan\alpha)\,x + z_A$.

Données utiles $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + (v_A\sin\alpha)\,t + z_A$ (1.2.3)

On élimine le temps : $x = v_A(\cos\alpha)\,t$ donne $t = \dfrac{x}{v_A\cos\alpha}$.

On reporte dans $z(t)$:

$$z = -\frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{v_A\cos\alpha}\right)^2 + v_A\sin\alpha\times\frac{x}{v_A\cos\alpha} + z_A$$

Dans le deuxième terme, v_A se simplifie et $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$.

$z(x) = -\dfrac{g}{2\,v_A^2\cos^2\alpha}\,x^2 + (\tan\alpha)\,x + z_A$: c'est l'équation attendue, celle d'une parabole.

MÉTHODE
Équation de trajectoire : isoler t dans l'équation horaire la plus simple (celle de x), puis le remplacer dans l'autre. Le temps ne doit plus apparaître.

1.2.5 a. Exprimer la projection v_{Bz} du vecteur vitesse en B sur l'axe Oz en fonction de v_A et α seulement. b. En déduire la date t_B et la comparer à l'ordre de grandeur donné dans le texte.

Données utiles $v_B = v_A = 145\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 49^\circ$; $g = 9{,}78\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_z(t)$ (1.2.2)

a. En B, le vecteur $\vec{v}_B$ pointe vers le bas, incliné de α sous l'horizontale : $v_{Bz} = -v_B\sin\alpha$. Comme $v_B = v_A$: $v_{Bz} = -v_A\sin\alpha$.

b. D'après 1.2.2, $v_z(t_B) = -g\,t_B + v_A\sin\alpha$. On égale les deux expressions :

$$-g\,t_B + v_A\sin\alpha = -v_A\sin\alpha \quad\text{donc}\quad t_B = \frac{2\,v_A\sin\alpha}{g}$$

$$t_B = \frac{2\times 145\times\sin 49^\circ}{9{,}78} = 22\ \text{s}$$

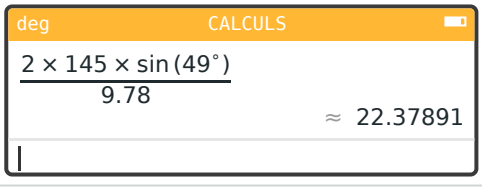
Le texte annonce une chute libre de 20 à 25 secondes : la valeur trouvée est cohérente.

$v_{Bz} = -v_A\sin\alpha$ et $t_B = \dfrac{2\,v_A\sin\alpha}{g} = 22\ \text{s}$

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\sin 49$ devient négatif et la durée aussi. Autre oubli fréquent : le signe « $-$ » de v_{Bz}, sans lequel on trouve $t_B = 0$.

COMPRENDRE
La durée est le double du temps de montée $\dfrac{v_A\sin\alpha}{g}$: la parabole est symétrique par rapport à son sommet.

À LA CALCULATRICE



2.1 Nommer les deux gaz qui alimentent la pile en continu, écrire les équations des réactions aux électrodes, puis l'équation de la réaction modélisant la transformation dans la pile.

Données utiles couples $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$ et $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Les deux gaz sont le **dihydrogène** H_2 et le **dioxygène** O_2.

Électrode 1 (oxydation du dihydrogène) : $\text{H}_2(\text{g}) = 2\,\text{H}^+(\text{aq}) + 2\,\text{e}^-$

Électrode 2 (réduction du dioxygène) :
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\,\text{H}^+(\text{aq}) + 4\,\text{e}^- = 2\,\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

On multiplie la première demi-équation par 2 pour échanger 4 électrons, puis on additionne ; les H^+ se simplifient.

$2\,\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

PIÈGE
Additionner les demi-équations sans égaliser le nombre d'électrons échangés. Aucun électron ne doit rester dans l'équation finale.

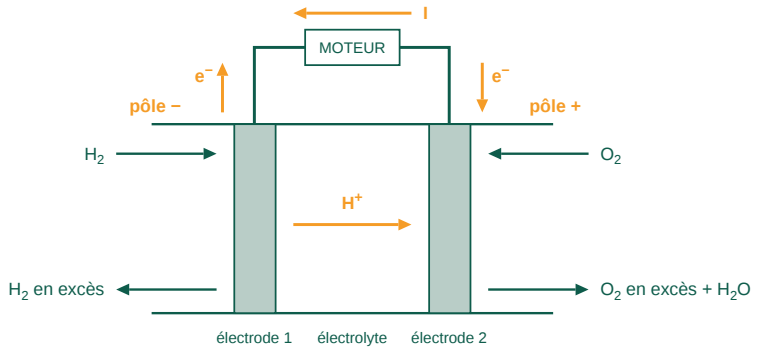
2.2 Indiquer sur la figure 2 de l'annexe le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur et le sens conventionnel du courant. Préciser quelle électrode est le pôle positif.

À l'électrode 1, l'oxydation de H_2 libère des électrons ; à l'électrode 2, la réduction de O_2 en consomme. Dans le circuit extérieur, les électrons vont donc de l'électrode 1 vers l'électrode 2, en traversant le moteur.

Le courant circule par convention en sens inverse des électrons : de l'électrode 2 vers l'électrode 1 à l'extérieur de la pile. Il sort de la pile par son pôle positif.

Le pôle positif est l'**électrode 2**, celle où arrive le dioxygène (voir l'annexe complétée).

MÉTHODE
Dans une pile, les électrons quittent l'électrode où a lieu l'oxydation (anode, pôle $-$) et arrivent à celle où a lieu la réduction (cathode, pôle $+$).



2.2 · Figure 2 de l'annexe complétée (en orange) : électrons, courant, pôles et protons

2.3 Indiquer sur la figure 2 de l'annexe le sens de circulation des protons H^+ dans l'électrolyte.

Les ions H^+ sont produits à l'électrode 1 et consommés à l'électrode 2.

Dans l'électrolyte, les protons vont de l'électrode 1 vers l'électrode 2 (flèche tracée sur l'annexe complétée, question 2.2).

COMPRENDRE
Les charges positives se déplacent dans le sens du courant, qui va de l'électrode 1 à l'électrode 2 à l'intérieur de la pile : le circuit est ainsi fermé.

2.4 Définir un catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui augmente la vitesse d'une réaction sans figurer dans son équation : il est régénéré en fin de transformation.

PIÈGE
Un catalyseur ne change pas l'état final du système : il permet seulement de l'atteindre plus vite.

2.5 Que signifie le terme hydrophile ? Citer une autre espèce chimique usuelle possédant le caractère amphiphile.

Hydrophile : qui a de l'affinité pour l'eau. Un groupe hydrophile, chargé ou polaire, établit facilement des interactions avec les molécules d'eau.

Autre espèce amphiphile usuelle : le **savon**. Un ion carboxylate $R-COO^-$ possède une tête $-COO-$ hydrophile et une longue chaîne carbonée hydrophobe.

2.6 Du point de vue de l'environnement, quel avantage présente une pile à combustible par rapport à un moteur d'avion alimenté au kérosène, au regard des produits formés ?

La pile à combustible ne produit que de l'eau. La combustion du kérosène, mélange d'hydrocarbures, forme en plus du dioxyde de carbone, gaz à effet de serre, ainsi que des polluants comme les oxydes d'azote.

Avantage : la pile ne rejette ni dioxyde de carbone ni polluant en fonctionnement, seulement de l'eau.

COMPRENDRE
Le bilan ne porte ici que sur le fonctionnement. La fabrication du dihydrogène peut, elle, émettre du dioxyde de carbone selon le procédé utilisé.