Corrigé complet — Bac S 2004 Amérique du Nord (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**A propos de l'acide formique** Tableau d'avancement · Taux d'avancement final · Quotient de réaction à l'équilibre · Constante d'acidité · Conductivité d'une solution (loi de Kohlrausch)	4 pts	52 min	4 questions	p. 2
Ex 2	**Communication entre les insectes: les phéromones** Groupes caractéristiques · Estérification · Catalyseur · Anhydride d'acide · Hydrolyse basique d'un ester · Concentration molaire	3 pts	39 min	4 questions	p. 4
Ex 3	**Spécialité : Ions chlorure dans l'eau de mer** Titrage par précipitation · Réactif limitant et réactif en excès · Équivalence d'un titrage · Dilution · Concentration en masse · Titrage conductimétrique	4 pts	52 min	7 questions	p. 6
Ex 4	**La physique sur un plan d'eau** Onde mécanique progressive · Célérité et retard · Longueur d'onde · Diffraction · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme	9 pts	1 h 57	10 questions	p. 10

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.

A propos de l'acide formique

Bac S 2004 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 a) Calculer la masse m d'acide formique. b) Écrire l'équation de sa réaction avec l'eau. c) Compléter le tableau 1. d) Exprimer τ en fonction de $[H_3O^+]_{éq}$ et C_0. e) Exprimer $Q_{r,éq}$ et établir la forme proposée.

Données utiles $V_0 = 100$ mL ; $C_0 = 0{,}010$ mol · L^{-1} ; $M(C) = 12$, $M(H) = 1$, $M(O) = 16$ g · mol^{-1}

a) $M(HCOOH) = 12 + 2 \times 1 + 2 \times 16 = 46$ g · mol^{-1}.

$n = C_0 V_0 = \dfrac{m}{M}$, donc $m = C_0 V_0 M = 0{,}010 \times 0{,}100 \times 46 = 4{,}6 \times 10^{-2}$ g.

b) $HCOOH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCOO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$

c) Voir le tableau 1 complété ci-dessous.

d) Par définition, $\tau = \dfrac{x_{éq}}{x_{max}}$.

Si la transformation était totale, l'acide serait entièrement consommé : $C_0 V_0 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = C_0 V_0$.

À l'équilibre, $n(H_3O^+)_{éq} = x_{éq}$, soit $x_{éq} = [H_3O^+]_{éq} V_0$. Donc $\tau = \dfrac{[H_3O^+]_{éq} V_0}{C_0 V_0} = \dfrac{[H_3O^+]_{éq}}{C_0}$.

e) L'eau est le solvant, elle n'apparaît pas : $Q_{r,éq} = \dfrac{[HCOO^-]_{éq}\,[H_3O^+]_{éq}}{[HCOOH]_{éq}}$.

D'après le tableau : $[HCOO^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = \dfrac{x_{éq}}{V_0}$ et $[HCOOH]_{éq} = \dfrac{C_0 V_0 - x_{éq}}{V_0} = C_0 - [H_3O^+]_{éq}$.

$$m = 4{,}6 \times 10^{-2}\text{ g} \;;\; \tau = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{C_0} \;;\; Q_{r,éq} = \frac{[H_3O^+]_{éq}^2}{C_0 - [H_3O^+]_{éq}}$$

Équation de la réaction		HCOOH(aq)	+ H₂O(l)	⇌ HCOO⁻(aq)	+ H₃O⁺(aq)
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	$C_0 \cdot V_0$	excès	0	0
État final (si totale)	x_{max}	$C_0 \cdot V_0 - x_{max} = 0$	excès	x_{max}	x_{max}
État d'équilibre (non totale)	$x_{éq}$	$C_0 \cdot V_0 - x_{éq}$	excès	$x_{éq}$	$x_{éq}$

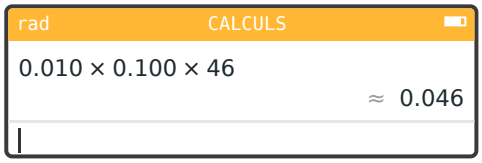
1 · Tableau 1 de l'annexe complété (en orange : ce que l'élève écrit)

PIÈGE
Laisser V_0 en mL dans le calcul de m : il faut $V_0 = 0{,}100$ L, puisque C_0 est en mol · L^{-1}.

COMPRENDRE
Le texte écrit $C_0 = 0{,}01$ mol · L^{-1}, le tableau 2 donne $0{,}010$: on garde deux chiffres significatifs, d'où $m = 4{,}6 \times 10^{-2}$ g. Avec un seul chiffre, on écrirait 5×10^{-2} g.

MÉTHODE
Pour x_{max}, annuler la quantité du réactif limitant (ici l'acide, l'eau étant en excès). Pour $x_{éq}$, lire dans le tableau la quantité d'un produit, reliée à une grandeur mesurable.

À LA CALCULATRICE



2 Exprimer la conductivité σ de la solution à l'équilibre en fonction des conductivités molaires ioniques et de $[H_3O^+]_{éq}$.

Les ions présents sont H_3O^+ et $HCOO^-$ (les ions HO^- sont en quantité négligeable en milieu acide) :

$\sigma = \lambda(H_3O^+)\,[H_3O^+]_{éq} + \lambda(HCOO^-)\,[HCOO^-]_{éq}$

Or $[HCOO^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq}$ (question 1), donc :

$$\sigma = \left(\lambda(H_3O^+) + \lambda(HCOO^-)\right)[H_3O^+]_{éq}$$

COMPRENDRE
L'acide $HCOOH$ et l'eau sont des molécules, électriquement neutres : ils ne participent pas à la conductivité. Seuls les ions comptent.

3 a) À partir de la conductivité mesurée pour S_0, compléter le tableau 2. b) Comparer la valeur expérimentale de $Q_{r,éq}$ à la constante K_A du couple.

Données utiles $\sigma = 0{,}050\ \text{S}\cdot\text{m}^{-1}$; $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0\times10^{-3}\ \text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $\lambda(HCOO^-) = 5{,}46\times10^{-3}\ \text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$; $C_0 = 0{,}010\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $K_A = 1{,}8\times10^{-4}$

a) D'après la question 2 : $[H_3O^+]_{éq} = \dfrac{\sigma}{\lambda(H_3O^+)+\lambda(HCOO^-)}$

$$[H_3O^+]_{éq} = \frac{0{,}050}{35{,}0\times10^{-3}+5{,}46\times10^{-3}} = 1{,}236\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$$

soit $[H_3O^+]_{éq} = 1{,}2\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-3} = 1{,}2\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

$$\tau = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{C_0} = \frac{1{,}236\times10^{-3}}{0{,}010} = 0{,}12, \text{ soit } 12\ \%.$$

$$Q_{r,éq} = \frac{[H_3O^+]_{éq}^2}{C_0 - [H_3O^+]_{éq}} = \frac{(1{,}236\times10^{-3})^2}{0{,}010 - 1{,}236\times10^{-3}} = 1{,}7\times10^{-4},$$

concentrations en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, sans arrondir $[H_3O^+]_{éq}$ à deux chiffres.

b) $Q_{r,éq} = 1{,}7\times10^{-4}$ et $K_A = 1{,}8\times10^{-4}$: les deux valeurs sont très proches. L'écart, de quelques pour cent, s'explique par la précision limitée de la mesure de σ (deux chiffres significatifs).

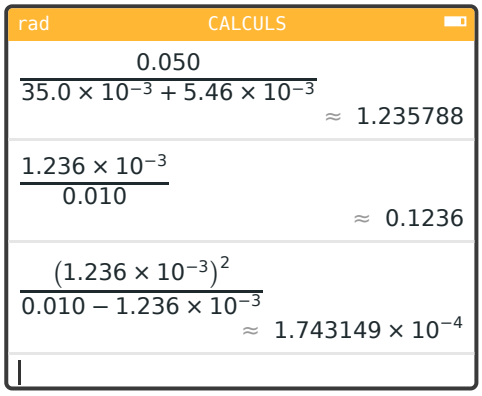
$[H_3O^+]_{éq} = 1{,}2\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $\tau = 12\ \%$; $Q_{r,éq} = 1{,}7\times10^{-4} \approx K_A$

PIÈGE
Avec σ en $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ et λ en $\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$, la concentration sort en $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$. Or $1\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-3} = 10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: oublier cette conversion fausse τ et $Q_{r,éq}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme σ et C_0. À l'équilibre, le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre, ici K_A : l'expérience le confirme.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie en mémoire de la calculatrice pour les calculs suivants, et n'arrondir qu'au moment d'écrire chaque résultat.

À LA CALCULATRICE



Solution	S_0	S_1
C_i ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,010	0,10
σ ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$)	0,050	0,17
$[H_3O^+]_{éq}$ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$)	1,2	4,2
$[H_3O^+]_{éq}$ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	$1{,}2\times10^{-3}$	$4{,}2\times10^{-3}$
τ (%)	12	4,2
$Q_{r,éq}$	$1{,}7\times10^{-4}$	$1{,}8\times10^{-4}$

3 · Tableau 2 de l'annexe complété (en orange : les valeurs calculées pour S_0)

4 À partir des résultats obtenus pour la solution S_1, dix fois plus concentrée, déduire l'influence de la concentration sur : a) le taux d'avancement ; b) le quotient de réaction à l'équilibre.

Données utiles S_0 : $C_0 = 0{,}010\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\tau = 12\ \%$, $Q_{r,éq} = 1{,}7\times10^{-4}$ (Q3) ; S_1 : $C_1 = 0{,}10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\tau = 4{,}2\ \%$, $Q_{r,éq} = 1{,}8\times10^{-4}$

a) Pour S_1, dix fois plus concentrée que S_0, τ vaut 4,2 % contre 12 % : le taux d'avancement final diminue quand la concentration augmente. Autrement dit, plus la solution est diluée, plus l'acide est dissocié.

b) $Q_{r,éq}$ vaut $1{,}7\times10^{-4}$ pour S_0 et $1{,}8\times10^{-4}$ pour S_1 : aux incertitudes de mesure près, c'est la même valeur, égale à K_A.

τ dépend de la concentration (il augmente avec la dilution) ; $Q_{r,éq} = K_A$ n'en dépend pas.

COMPRENDRE
La constante d'acidité K_A ne dépend que de la température. Le taux d'avancement, lui, dépend aussi de l'état initial : un acide faible n'a pas un « taux de dissociation » fixe.

Communication entre les insectes: les phéromones

Bac S 2004 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **3 points** **Durée conseillée 39 min**

1 Reproduire les molécules A et C, entourer et nommer les groupes caractéristiques présents.

Molécule A : enchaînement $-CO-O^-$ entre deux carbones, groupe **ester**.

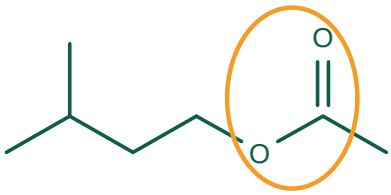
Molécule C : groupe $-OH$, groupe **hydroxyle** (alcool).

A : groupe ester ; C : groupe hydroxyle.

PIÈGE
Dans A, entourer seulement $C{=}O$ et répondre « carbonyle », ou confondre avec un acide carboxylique : il n'y a pas de $-OH$, l'oxygène est lié à deux carbones.

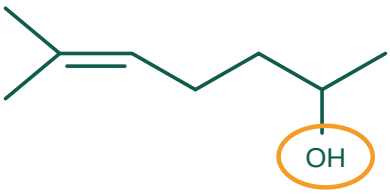
COMPRENDRE
La molécule C possède aussi une double liaison $C{=}C$ (famille des alcènes) : on peut la signaler en plus du groupe hydroxyle.

Molécule A



groupe ester

Molécule C



groupe hydroxyle

1 · Molécules A et C : groupes caractéristiques entourés

2 La phéromone A (éthanoate de 3-méthylbutyle) est synthétisée à partir de l'acide éthanoïque et d'un alcool D. a) Formule semi-développée et nom de D. b) Équation, nom et caractéristiques de la réaction. c) Rôle de l'acide sulfurique : trois affirmations, vraies ou fausses.

a) Dans l'ester, le groupe 3-méthylbutyle lié à l'oxygène vient de l'alcool.

D : $CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH_2-OH$, le 3-méthylbutan-1-ol.

b) Équation de la réaction :

$$CH_3-COOH + HO-CH_2-CH_2-CH(CH_3)_2 \rightleftharpoons CH_3-COO-CH_2-CH_2-CH(CH_3)_2 + H_2O$$

C'est une **estérification**, limitée par la réaction inverse (hydrolyse de l'ester).

Estérification : réaction lente, limitée (équilibre, $\tau < 1$) et athermique.

c) L'acide sulfurique est un catalyseur.

Affirmation 1 : fausse ; affirmation 2 : fausse ; affirmation 3 : vraie.

COMPRENDRE
Un catalyseur accélère autant l'estérification que l'hydrolyse inverse : l'équilibre est atteint plus vite, mais c'est le même. Pour augmenter le taux d'avancement, il faut un réactif en excès ou éliminer un produit.

MÉTHODE
Pour retrouver les réactifs d'un ester, couper la liaison $C-O$ simple du groupe ester : le côté $C{=}O$ donne l'acide, le côté $O-R'$ donne l'alcool $R'-OH$.

3 Quels sont les effets du remplacement de l'acide éthanoïque par l'anhydride d'acide sur la transformation ?

Avec l'anhydride éthanoïque, il se forme de l'acide éthanoïque à la place de l'eau : l'hydrolyse de l'ester n'a plus lieu.

$$(CH_3CO)_2O + C_5H_{11}-OH \longrightarrow CH_3-COO-C_5H_{11} + CH_3-COOH$$

La transformation devient totale ($\tau = 1$) et elle est rapide.

4 Écrire l'équation de l'hydrolyse basique de la phéromone B, notée $R-COOCH_3$, et préciser ses caractéristiques. Puis question 5 : a) concentration molaire de la solution de molécule C (sulcatol) ; b) deux avantages des phéromones sur les insecticides classiques.

Données utiles concentration massique $t = 10^{-15}\ g \cdot L^{-1}$; C : $C_8H_{16}O$; $M(C) = 12\ g \cdot mol^{-1}$; $M(H) = 1\ g \cdot mol^{-1}$; $M(O) = 16\ g \cdot mol^{-1}$

Question 4. Équation de la réaction :

$$R-COOCH_3 + HO^- \longrightarrow R-COO^- + CH_3OH$$

Cette hydrolyse basique (saponification) est totale, et rapide à chaud.

Question 5. a) Masse molaire de C : $M = 8 \times 12 + 16 \times 1 + 16 = 128\ g \cdot mol^{-1}$.

Concentration molaire : $c = \dfrac{t}{M}$

$$c = \frac{10^{-15}}{128} = 7{,}8 \times 10^{-18}\ mol \cdot L^{-1}$$

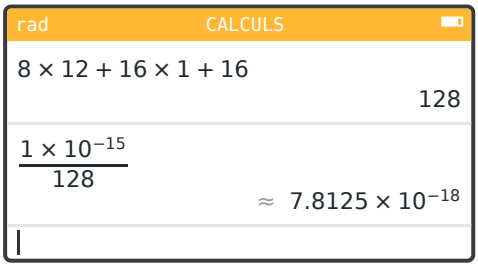
$c \approx 8 \times 10^{-18}\ mol \cdot L^{-1}$

Question 5. b) Les phéromones agissent en quantité extrêmement faible : très peu de produit est répandu.

Elles sont propres à une espèce : seul l'insecte nuisible visé est attiré, loin des cultures ou vers un piège.

Deux avantages : quantités infimes (peu de pollution) et action sélective sur une seule espèce.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Écrire l'acide $R-COOH$ parmi les produits : en milieu basique, il se forme sa base conjuguée $R-COO^-$. C'est pour cela que la réaction inverse est impossible.

COMPRENDRE
La donnée $10^{-15}\ g \cdot L^{-1}$ est un ordre de grandeur : un seul chiffre significatif suffit au résultat. La concentration obtenue est infime : l'insecte détecte la phéromone à l'état de traces.

MÉTHODE
Question 5. b) : chaque avantage doit s'appuyer sur une phrase du texte (« quantité très faible », « même espèce », « pièges très sélectifs », « loin des cultures »).

Spécialité : Ions chlorure dans l'eau de mer

Bac S 2004 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Partie A. a) Quel est le réactif en excès dans chacun des deux tubes ? Justifier. b) Quels sont l'aspect et la coloration du contenu de chaque tube ?

Données utiles chaque tube : 2,0 mL de solution $(Na^+ + Cl^-)$ à $0{,}10\ mol \cdot L^{-1}$; nitrate d'argent à $0{,}10\ mol \cdot L^{-1}$: 0,5 mL (tube 1), 2,2 mL (tube 2)

a) Réaction : $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$. Les ions réagissent mole à mole : on compare les quantités apportées, $n = C \times V$.

Dans les deux tubes : $n(Cl^-) = 0{,}10 \times 2{,}0 \times 10^{-3} = 2{,}0 \times 10^{-4}$ mol.

Tube 1 : $n(Ag^+) = 0{,}10 \times 0{,}5 \times 10^{-3} = 0{,}5 \times 10^{-4}$ mol $< n(Cl^-)$. Les ions Ag^+ sont limitants, les ions chlorure sont en excès.

Tube 2 : $n(Ag^+) = 0{,}10 \times 2{,}2 \times 10^{-3} = 2{,}2 \times 10^{-4}$ mol $> n(Cl^-)$. Les ions chlorure sont limitants, les ions argent sont en excès.

b) Dans les deux tubes, un précipité blanc de chlorure d'argent se forme.

Tube 1 : il ne reste pas d'ions Ag^+ en solution, l'indicateur garde sa teinte jaune.

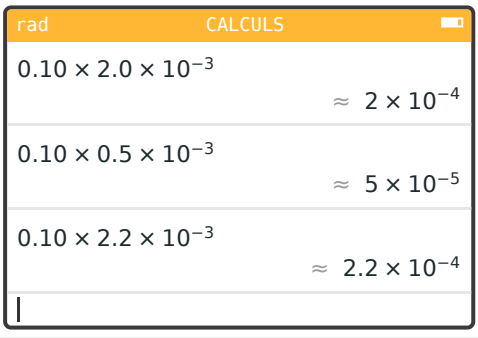
Tube 2 : il reste des ions Ag^+, l'indicateur prend la teinte rose-rouge.

> Tube 1 : Cl^- en excès, précipité blanc et solution jaune. Tube 2 : Ag^+ en excès, précipité blanc et solution rose-rouge.

PIÈGE
Comparer seulement les volumes sans le justifier : cela ne vaut que parce que les deux concentrations sont égales et que la réaction se fait mole à mole. Écrire les quantités de matière.

COMPRENDRE
Les deux tubes montrent ce qui se passe avant et après l'équivalence d'un titrage : la teinte de l'indicateur bascule dès que les ions argent ne sont plus consommés.

À LA CALCULATRICE



2 Partie A. a) Faire un schéma annoté du dispositif de titrage. b) Définir l'équivalence et expliquer brièvement comment la déterminer.

a) Voir le schéma : la solution titrante S_2 est dans la burette, la solution titrée S_1 dans le bécher, avec quelques gouttes d'indicateur.

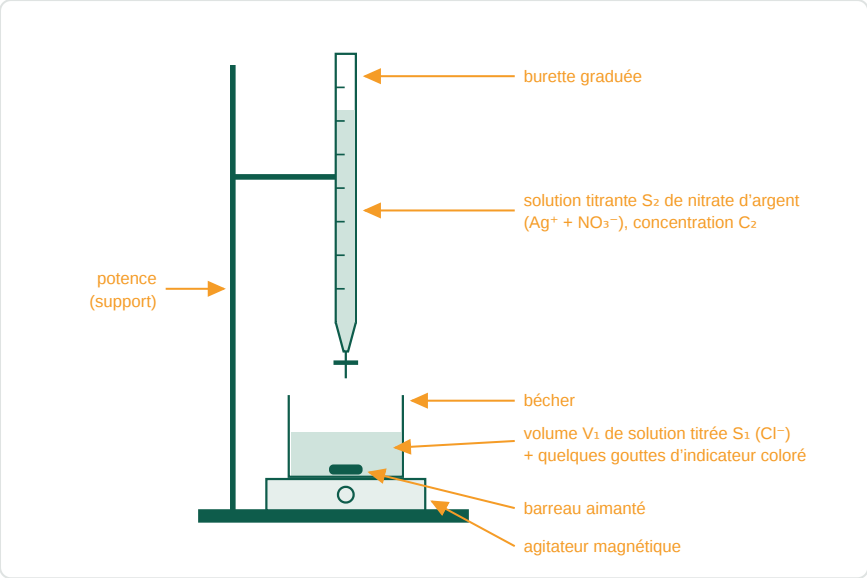
b) À l'équivalence, les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage : la quantité d'ions Ag^+ versée est égale à la quantité d'ions Cl^- présente au départ dans le bécher.

Avant l'équivalence, les ions Ag^+ versés sont tous consommés : la solution reste jaune. Juste après, ils ne réagissent plus et restent en solution : la solution devient rose-rouge.

> L'équivalence est repérée par le passage du jaune au rose-rouge, persistant, à la goutte près ; on lit alors V_E sur la burette.

PIÈGE
Définir l'équivalence par « le changement de couleur » : c'est seulement la façon de la repérer. La définition porte sur les quantités de matière des deux réactifs.

COMPRENDRE
Le titrage par précipitation ne figure plus au programme actuel de spécialité. La définition de l'équivalence, le montage et la relation entre quantités de matière restent exactement ceux des titrages étudiés aujourd'hui.



2 · Dispositif de titrage des ions chlorure par les ions argent

3 Partie A. L'eau du marais est diluée 10 fois pour obtenir S_1. a) Quel volume d'eau faut-il prélever pour obtenir 50 mL de S_1 ? b) Nommer la verrerie utilisée et expliquer brièvement le mode opératoire.

Données utiles facteur de dilution $F = 10$; volume de solution fille $V_{S_1} = 50$ mL

a) Lors d'une dilution, la quantité de soluté prélevée se conserve : $C_0 \times V_0 = C_1 \times V_{S_1}$, avec $C_1 = \dfrac{C_0}{10}$. Donc

$$V_0 = \frac{V_{S_1}}{10} = \frac{50}{10} = 5{,}0 \text{ mL}$$

b) Verrerie : pipette jaugée de $5{,}0$ mL (avec sa propipette), fiole jaugée de $50{,}0$ mL, bécher.

- Verser un peu d'eau du marais dans un bécher et y prélever $5{,}0$ mL à la pipette jaugée.
- Introduire ce prélèvement dans la fiole jaugée de $50{,}0$ mL.
- Ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher, agiter pour homogénéiser.

$V_0 = 5{,}0$ mL d'eau du marais, prélevés à la pipette jaugée et dilués dans une fiole jaugée de $50{,}0$ mL.

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes : seule la verrerie jaugée donne la précision attendue. Ne jamais pipeter directement dans le flacon d'origine.

MÉTHODE
Diluer F fois : volume à prélever = volume de la fiole divisé par F. Vérifier ensuite que la pipette et la fiole correspondantes existent (5 ; 10 ; 20 ; 25 mL et 50 ; 100 ; 200 mL).

4 Partie A. a) Déterminer la concentration molaire des ions chlorure dans S_1. b) En déduire leur concentration molaire dans l'eau du marais. c) Cette eau est-elle favorable au développement des Artémia ?

Données utiles $V_1 = 10{,}0$ mL ; $C_2 = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $V_E = 15{,}2$ mL ; $M(\mathrm{Cl}) = 35{,}5$ g · mol^{-1} ; seuil : 30 g · L^{-1}

a) À l'équivalence, $n(\mathrm{Ag^+})_{\text{versé}} = n(\mathrm{Cl^-})_{\text{initial}}$, soit $C_2 \times V_E = C_1 \times V_1$.

$$C_1 = \frac{C_2 \times V_E}{V_1} = \frac{1{,}00 \times 10^{-1} \times 15{,}2}{10{,}0} = 1{,}52 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

b) L'eau du marais a été diluée 10 fois : $C_0 = 10 \times C_1 = 1{,}52$ mol · L^{-1} .

c) Concentration en masse des ions chlorure : $t_0 = C_0 \times M(\mathrm{Cl}) = 1{,}52 \times 35{,}5 = 54{,}0$ g · L^{-1}.

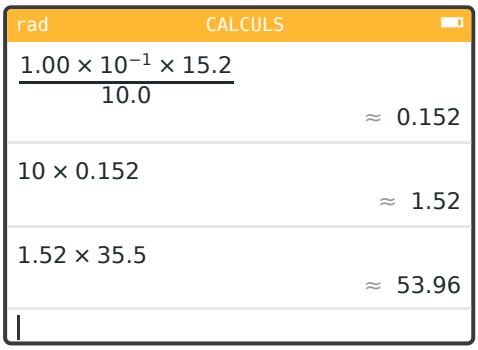
$54{,}0$ g · L^{-1} > 30 g · L^{-1} : la teneur dépasse le seuil nécessaire.

$C_1 = 1{,}52 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $C_0 = 1{,}52$ mol · L^{-1} ; $t_0 = 54{,}0$ g · L^{-1} : l'eau du marais est favorable aux Artémia.

PIÈGE
Comparer directement $1{,}52$ mol · L^{-1} au seuil de 30 g · L^{-1}, ou oublier la dilution et conclure avec C_1 ($5{,}40$ g · L^{-1}, conclusion inversée).

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C_2, V_E, V_1 et $M(\mathrm{Cl})$. Dans le rapport V_E/V_1, les deux volumes peuvent rester en mL : les unités se simplifient.

À LA CALCULATRICE



1 Partie B. Déterminer graphiquement, sur l'annexe, le point d'équivalence E du dosage conductimétrique.

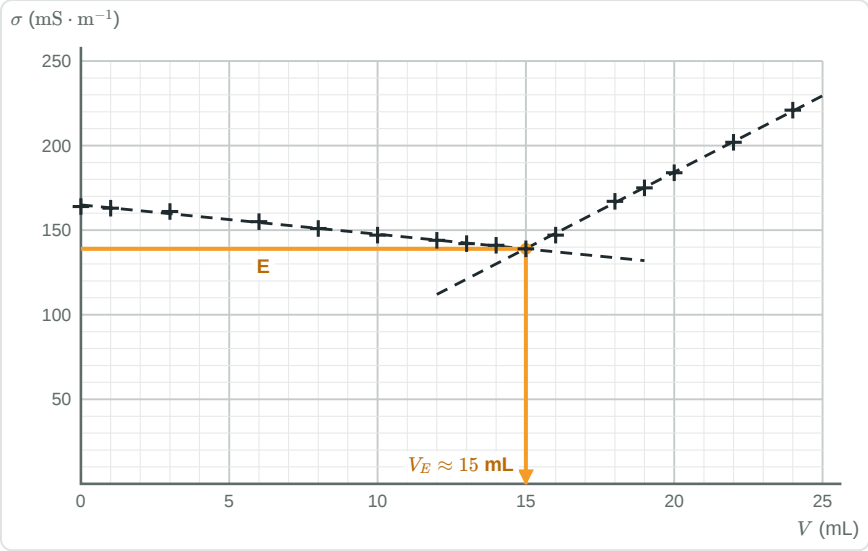
Les points de mesure s'alignent sur deux portions de droite : l'une décroissante, pour les faibles volumes versés, l'autre croissante, pour les grands volumes.

On trace ces deux droites, sans tenir compte des points voisins de la rupture de pente. Leur point d'intersection est le point d'équivalence E ; son abscisse est le volume à l'équivalence.

Point E : $V_E \approx 15$ mL (et $\sigma_E \approx 139$ mS · m^{-1}), en accord avec $V_E = 15{,}2$ mL du dosage colorimétrique.

PIÈGE
Prendre pour E le point de mesure le plus bas. L'équivalence est l'intersection des deux droites, qui tombe en général entre deux mesures.

MÉTHODE
Titrage conductimétrique : tracer les deux droites en s'appuyant sur les points éloignés de l'équivalence, les prolonger jusqu'à leur croisement, puis lire l'abscisse du point d'intersection.



1 · Annexe complétée : les deux droites se coupent au point d'équivalence E

2 Partie B. Justifier, sans calculs, la diminution de la conductivité avant l'équivalence.

Données utiles en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$: $\lambda(Cl^-) = 7{,}63 \times 10^{-3}$; $\lambda(NO_3^-) = 7{,}14 \times 10^{-3}$; $\lambda(Ag^+) = 6{,}19 \times 10^{-3}$; $\lambda(Na^+) = 5{,}01 \times 10^{-3}$

La conductivité dépend des ions présents, de leur concentration et de leur conductivité molaire ionique λ.

Avant l'équivalence, chaque ion Ag^+ versé est consommé en faisant disparaître un ion Cl^- ; il est accompagné d'un ion NO_3^- qui reste en solution. Les ions Na^+ ne réagissent pas.

Tout se passe donc comme si chaque ion Cl^- était remplacé par un ion NO_3^-. Or $\lambda(NO_3^-) < \lambda(Cl^-)$. De plus, le volume du mélange augmente, ce qui dilue tous les ions.

Des ions Cl^- sont remplacés par des ions NO_3^- un peu moins conducteurs, dans un volume croissant : la conductivité diminue lentement.

PIÈGE
Dire que la conductivité baisse « parce que les ions chlorure disparaissent » sans parler des ions nitrate apportés : le nombre d'ions en solution ne change pas avant l'équivalence.

COMPRENDRE
La pente est faible parce que les deux conductivités molaires sont proches (7,14 contre 7,63). La dilution par la solution versée accentue la baisse ; on la limite en ajoutant beaucoup d'eau distillée dans le bécher au départ.

3 Partie B. Justifier, sans calculs, l'augmentation de la conductivité après l'équivalence.

Après l'équivalence, il n'y a plus d'ions Cl^- dans le bécher : les ions Ag^+ versés ne réagissent plus.

Chaque ajout de solution titrante apporte alors des ions Ag^+ et NO_3^- qui s'accumulent tous les deux en solution, sans qu'aucun ion ne soit consommé. La quantité totale d'ions augmente ; la solution versée est en outre plus concentrée en ions que le mélange.

Les ions Ag^+ et NO_3^- ajoutés en excès s'accumulent : la conductivité augmente, plus rapidement qu'elle ne diminuait.

MÉTHODE
Pour justifier une pente en conductimétrie, faire le bilan ion par ion : consommé, apporté ou spectateur. Comparer ensuite les λ des ions qui disparaissent et de ceux qui apparaissent.

La physique sur un plan d'eau

Bac S 2004 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **9 points** **Durée conseillée 1 h 57**

1 Partie A. Quel dispositif de classe, servant à étudier les ondes à la surface de l'eau, repose aussi sur la projection d'ombres ?

Il s'agit de la **cuve à ondes**.

COMPRENDRE
La cuve est éclairée par-dessus. Les crêtes et les creux dévient la lumière comme de petites lentilles : on voit sur l'écran des zones claires et sombres qui reproduisent la forme de la surface.

2 L'onde générée par le déplacement du gerris est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.

Sur la figure 3, la surface se déforme verticalement, alors que l'onde se propage horizontalement, le long de la surface, en s'éloignant de O.

La déformation (verticale) se fait perpendiculairement à la propagation (horizontale) : l'onde est **transversale**.

MÉTHODE
Comparer deux directions : celle du déplacement des points du milieu et celle de la propagation. Perpendiculaires : onde transversale. Parallèles : onde longitudinale (le son dans l'air, par exemple).

3 Un brin d'herbe flotte à la surface de l'eau. Décrire son mouvement au passage de l'onde.

Le brin d'herbe reste immobile tant que l'onde ne l'a pas atteint. À son passage, il se déplace verticalement en suivant la forme de la figure 3 : il s'abaisse très légèrement, monte sur la crête, redescend dans le creux qui suit, puis remonte.

Mouvement **vertical**, puis retour à la position initiale : le brin d'herbe n'est pas emporté par l'onde.

COMPRENDRE
Une onde mécanique transporte de l'énergie sans transporter de matière. La partie de la perturbation la plus éloignée de O arrive la première sur le brin d'herbe.

4 La surface est photographiée à deux instants (figure 4, échelle 1/100). Calculer la célérité de l'onde.

Données utiles $t_2 - t_1 = 10$ s ; échelle 1/100 : 1 cm sur le document représente 1 m

On mesure le rayon du front d'onde circulaire sur chaque photographie : $r_1 = 1{,}0$ cm à t_1 et $r_2 = 2{,}0$ cm à t_2.

Distance réelle parcourue par l'onde entre les deux instants : $d = (r_2 - r_1) \times 100 = 1{,}0 \times 100 = 1{,}0 \times 10^2$ cm $= 1{,}0$ m.

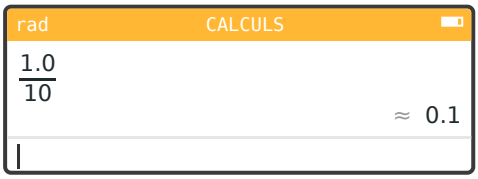
$$v = \frac{d}{t_2 - t_1} = \frac{1{,}0}{10} = 0{,}10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 0{,}10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Diviser le rayon r_2 par 10 s : l'onde n'a pas été émise à t_1. Seule la distance parcourue entre les deux clichés, $r_2 - r_1$, correspond à la durée de 10 s.

COMPRENDRE
Une mesure à la règle se lit au millimètre : $1{,}0$ cm, soit deux chiffres significatifs. Le résultat en garde deux.

À LA CALCULATRICE



5 Déterminer la longueur d'onde de l'onde émise par le papillon à l'aide de la figure 6 (agrandissement à l'échelle 2).

Données utiles échelle 2 : les longueurs du document sont deux fois plus grandes que dans la réalité

Sur la figure 6, entre le premier et le quatrième creux, on mesure trois longueurs d'onde : $3\lambda_{\text{doc}} = 5{,}3$ cm.

En tenant compte de l'échelle :

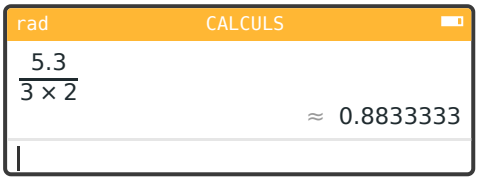
$$\lambda = \frac{5{,}3}{3 \times 2} = 0{,}88 \text{ cm}$$

$\lambda = 0{,}88 \text{ cm} = 8{,}8 \times 10^{-3} \text{ m}$

PIÈGE
Échelle 2 signifie agrandissement : on divise par 2 la longueur mesurée. À la question 4, l'échelle 1/100 était une réduction : on multipliait par 100.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs longueurs d'onde d'un coup puis diviser : l'incertitude de lecture (environ 1 mm) se répartit sur trois périodes au lieu d'une.

À LA CALCULATRICE



6 Montrer que la célérité de cette onde est de $4{,}4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $f = 5$ Hz ; $\lambda = 0{,}88$ cm (Q5)

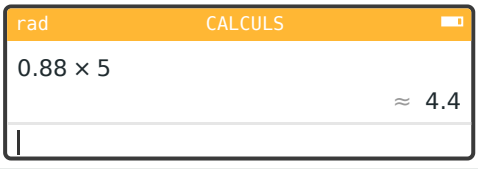
La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période $T = \frac{1}{f}$: $\lambda = v\,T = \frac{v}{f}$, donc $v = \lambda\, f$.

$$v = 0{,}88 \times 5 = 4{,}4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 4{,}4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

COMPRENDRE
Cette célérité diffère de celle de la question 4 ($10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) : à la surface de l'eau, la célérité dépend de la fréquence de l'onde. Le milieu est dit dispersif.

À LA CALCULATRICE



7 Le train d'ondes arrive sur deux galets (figure 7). a) Quel ordre de grandeur pour la distance entre les galets afin que le gerris puisse détecter le signal ? b) Nom du phénomène ? c) Compléter la figure 7.

Données utiles $\lambda = 0{,}88$ cm (Q5)

a) Le gerris n'est pas en face de l'ouverture : il ne reçoit l'onde que si elle s'étale largement après les galets. Il faut pour cela une ouverture de largeur a du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, ou plus petite : $a \approx \lambda \approx 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$.

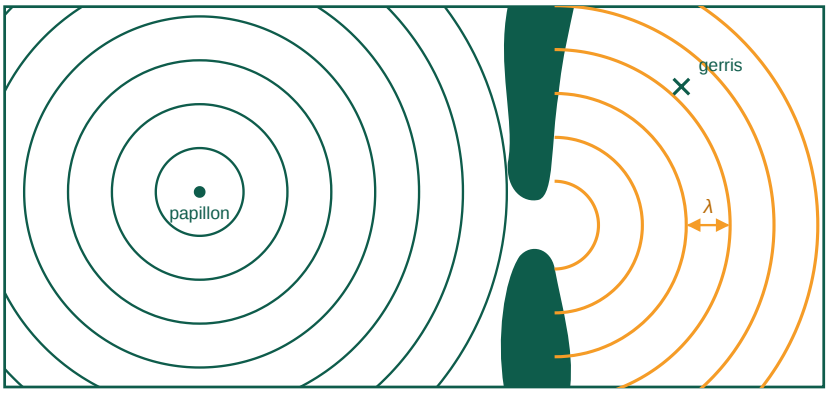
b) Ce phénomène est la **diffraction**.

c) Voir la figure : après l'ouverture, les fronts d'onde sont des arcs de cercle centrés sur l'ouverture, qui se comporte comme une source ponctuelle. La fréquence et la célérité sont inchangées, donc la longueur d'onde aussi : l'écart entre deux arcs est le même qu'avant les galets.

$a \approx 10^{-2} \text{ m}$; diffraction ; onde circulaire centrée sur l'ouverture, de même λ

PIÈGE
Sur la figure, resserrer ou écarter les arcs après l'obstacle. La diffraction change la direction de propagation, jamais la longueur d'onde.

COMPRENDRE
Plus l'ouverture est étroite devant λ, plus l'onde s'étale. Avec une ouverture très large, l'onde continuerait presque tout droit et le gerris, sur le côté, ne percevrait rien.



En orange : ondes circulaires centrées sur l'ouverture, même longueur d'onde

7 · Figure 7 complétée : l'onde diffractée par l'ouverture entre les galets atteint le gerris

8 a) Déterminer la distance d_2 entre le papillon et le gerris n°2. b) Déterminer la distance d_3 entre le papillon et le gerris n°3. c) Placer le papillon sur la figure 8 à l'aide d'un compas.

Données utiles $v = 4{,}4\ \text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q6) ; $d_1 = 6$ cm ; durée du trajet jusqu'au gerris n°2 : $\Delta t_2 = 1$ s ; retard du n°3 sur le n°2 : $\tau = 1{,}5$ s

a) L'onde parcourt d_2 en $\Delta t_2 = 1$ s à la célérité v :

$$d_2 = v\,\Delta t_2 = 4{,}4 \times 1 = 4{,}4\ \text{cm}$$

b) L'onde atteint le gerris n°3 à la date $\Delta t_3 = \Delta t_2 + \tau = 2{,}5$ s après son émission :

$$d_3 = v\,(\Delta t_2 + \tau) = 4{,}4 \times 2{,}5 = 11\ \text{cm}$$

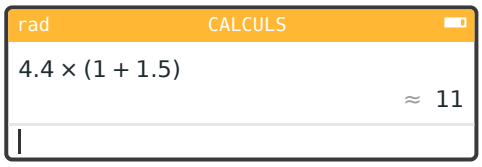
c) Le papillon est à 6 cm du gerris n°1 : il est sur le cercle de centre la croix n°1 et de rayon 6 cm. Il est aussi sur le cercle de centre la croix n°2 et de rayon 4,4 cm. Ces deux cercles se coupent en deux points. Un arc de centre la croix n°3 et de rayon 11 cm ne passe que par l'un d'eux, celui situé à gauche des gerris n°1 et n°2.

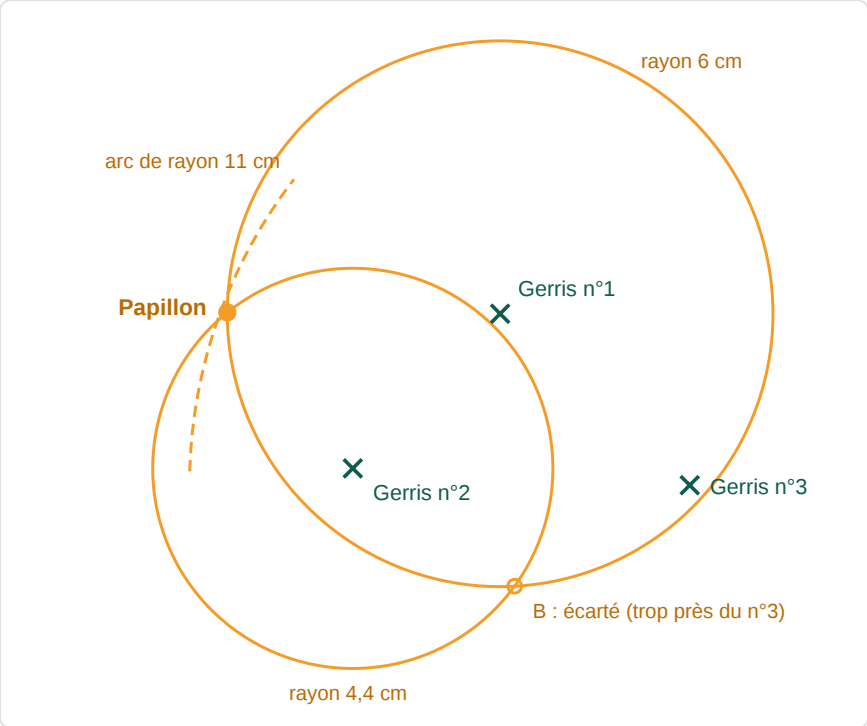
$d_2 = 4{,}4$ cm ; $d_3 = 11$ cm ; le papillon est à l'intersection des trois arcs (figure).

PIÈGE
Calculer $d_3 = v \times 1{,}5 = 6{,}6$ cm. Le retard de 1,5 s est compté par rapport au gerris n°2, pas depuis l'émission : il donne $d_3 - d_2$.

MÉTHODE
Repérer une source par des distances : chaque distance donne un cercle. Deux cercles laissent deux positions possibles, le troisième tranche.

À LA CALCULATRICE





8 · Figure 8 complétée (schéma réduit) : les trois arcs se coupent à la position du papillon

1 Partie B. Exploitation de la figure 9 : a) déterminer v_9 et v_{11} et tracer $\vec{v}_9$, $\vec{v}_{11}$; b) construire $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{11} - \vec{v}_9$ en G_{10} et déterminer sa valeur ; c) en déduire a_{10} et tracer $\vec{a}_{10}$.

Données utiles $\tau = 20$ ms ; document à l'échelle 1/2 ; échelles des tracés : 1 cm pour $0{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et 1 cm pour $5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a) La vitesse en G_9 est assimilée à la vitesse moyenne entre G_8 et G_{10}. On mesure sur le document $G_8G_{10} = 2{,}9$ cm, soit 5,8 cm en réalité :

$$v_9 = \frac{G_8G_{10}}{2\tau} = \frac{2{,}9 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}} \approx 1{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

De même, $G_{10}G_{12} = 3{,}2$ cm sur le document :

$$v_{11} = \frac{G_{10}G_{12}}{2\tau} = \frac{3{,}2 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}} = 1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$\vec{v}_9$ part de G_9, parallèle à (G_8G_{10}), dans le sens du mouvement, de longueur 2,9 cm ; $\vec{v}_{11}$ part de G_{11}, parallèle à $(G_{10}G_{12})$, de longueur 3,2 cm.

b) En G_{10}, on reporte $\vec{v}_{11}$ puis, à son extrémité, $-\vec{v}_9$. Le vecteur $\Delta\vec{v}$ obtenu est vertical, dirigé vers le bas, et mesure environ 0,8 cm : $\Delta v \approx 0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

c) $\vec{a}_{10} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{2\tau}$, donc

$$a_{10} = \frac{\Delta v}{2\tau} = \frac{0{,}4}{2 \times 20 \times 10^{-3}} \approx 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$\vec{a}_{10}$ a la direction et le sens de $\Delta\vec{v}$: vertical, vers le bas, de longueur 2 cm à l'échelle demandée.

$v_9 \approx 1{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{11} = 1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\Delta v \approx 0{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $a_{10} \approx 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, vertical vers le bas

PIÈGE
Oublier l'échelle 1/2 (les distances réelles sont le double des distances mesurées) ou diviser par τ au lieu de 2τ : deux intervalles séparent G_8 de G_{10}.

COMPRENDRE
Δv n'est pas $v_{11} - v_9 = 0{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: on soustrait des vecteurs, pas des valeurs. $\Delta\vec{v}$ est petit et sa mesure peu précise : trouver a_{10} entre 9 et $11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ est acceptable.

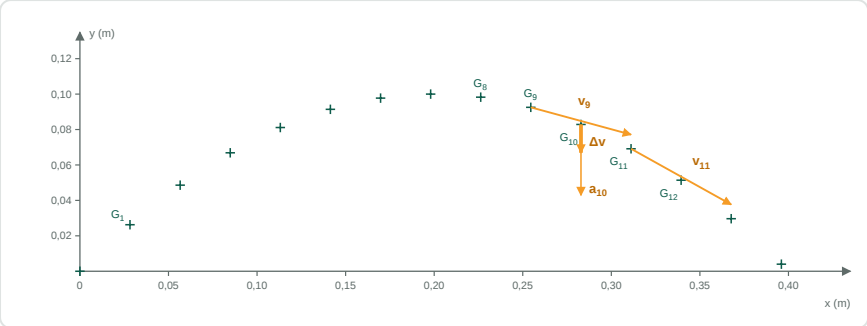
À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.9 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$ ≈ 1.45

$\dfrac{3.2 \times 2 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$ ≈ 1.6

$\dfrac{0.4}{2 \times 20 \times 10^{-3}}$ ≈ 10



1 · Figure 9 complétée : vecteurs vitesse en G_9 et G_{11}, variation $\Delta\vec{v}$ et accélération $\vec{a}_{10}$ en G_{10}

2 Étude dynamique (air négligé). a) Caractéristiques de $\vec{a}$, puis établir $x(t)$ et $y(t)$. b) Équation de la trajectoire ; est-elle conforme à l'enregistrement ? c) Vitesse au sommet S, date t_S, hauteur maximale. d) Vitesse initiale pour atteindre un nénuphar à 60 cm, α_0 inchangé.

Données utiles $v_0 = 2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha_0 = 45^\circ$; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a) Système : la grenouille, de masse m ; référentiel terrestre supposé galiléen. Une seule force s'exerce pendant le saut : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$. L'accélération de G est verticale, dirigée vers le bas, de valeur constante $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Dans le repère $(O;x,y)$, avec y vers le haut : $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

On intègre, avec $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$ de coordonnées $(v_0\cos\alpha_0\ ;\ v_0\sin\alpha_0)$:

$$v_x(t) = v_0\cos\alpha_0 \qquad v_y(t) = -g\,t + v_0\sin\alpha_0$$

On intègre de nouveau, avec G en O à $t = 0$ (constantes nulles) :

$$x(t) = v_0\cos\alpha_0\,t \qquad y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin\alpha_0\,t$$

b) De $x(t)$ on tire $t = \dfrac{x}{v_0\cos\alpha_0}$, que l'on reporte dans $y(t)$:

$$y(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha_0}\,x^2 + \tan\alpha_0\,x$$

Numériquement ($\cos^2 45^\circ = 0{,}5$ et $\tan 45^\circ = 1$) : $y = -2{,}5\,x^2 + x$, avec x et y en mètres.

C'est l'équation d'une parabole tournée vers le bas, comme l'enregistrement. Vérification : pour $x = 0{,}20$ m, $y = 0{,}10$ m, point qui figure bien sur la figure 9 ; $y = 0$ pour $x = 0{,}40$ m, distance du nénuphar.

c) Au sommet S, le vecteur vitesse est horizontal : $v_y(t_S) = 0$ et $v_S = v_x = v_0\cos\alpha_0 = 1{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$-g\,t_S + v_0\sin\alpha_0 = 0$ donne $t_S = \dfrac{v_0\sin\alpha_0}{g}$, soit $t_S = 0{,}14$ s.

On reporte t_S dans $y(t)$: $y_S = -\dfrac{1}{2}\,g\,\dfrac{v_0^2\sin^2\alpha_0}{g^2} + \dfrac{v_0^2\sin^2\alpha_0}{g}$, soit

$$y_S = \frac{v_0^2\sin^2\alpha_0}{2\,g} = \frac{2^2\times\sin^2 45^\circ}{2\times 10} = 0{,}10\ \text{m}$$

d) La grenouille retombe sur l'eau quand $y = 0$ avec $x = x_N \neq 0$:
$-\dfrac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha_0}\,x_N + \tan\alpha_0 = 0$. Avec $\alpha_0 = 45^\circ$: $-\dfrac{g\,x_N}{v_0^2} + 1 = 0$, soit

$$v_0 = \sqrt{g\,x_N} = \sqrt{10\times 0{,}60} = 2{,}45\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Écrire que la vitesse est nulle au sommet. Seule la composante verticale v_y s'annule : la grenouille continue d'avancer à $v_x = v_0\cos\alpha_0$.

COMPRENDRE
Cohérence avec la partie 1 : la mesure graphique donnait $a_{10} \approx 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, vertical vers le bas, comme $\vec{g}$. La masse se simplifie : le saut ne dépend pas de la masse de la grenouille.

MÉTHODE
Pour d), vérifier avec le premier saut : $\sqrt{10\times 0{,}40} = 2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, la valeur de l'énoncé. Arrondir par excès ($2{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) garantit d'atteindre le nénuphar.

$\vec{a} = \vec{g}$; $y = -2{,}5\,x^2 + x$; $t_S = \dfrac{v_0 \sin \alpha_0}{g}$; $y_S = 0{,}10$ m ; $v_0 \approx 2{,}45\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour 60 cm

À LA CALCULATRICE

