
Session de 2007

CAPLP

Concours externe. Troisième concours

Section : MATHÉMATIQUES-SCIENCES PHYSIQUES

<i>Composition de PHYSIQUE-CHIMIE</i>

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999).

Il est recommandé aux candidats de partager également le temps entre la physique et le chimie.

La composition comporte deux exercices de chimie et trois exercices de physique que les candidats peuvent résoudre dans l'ordre qui leur convient, tout en respectant la numérotation de l'énoncé.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les correcteurs tiennent le plus grand compte des qualités de soin et de présentation.

Plan du sujet :

EXERCICE 1 : Degré d'acidité d'un vinaigre.

EXERCICE 2 : Synthèses organiques.

EXERCICE 3 : Repérage de températures.

EXERCICE 4 : Lentilles.

La page 10/10 est une annexe à rendre avec la copie.

Exercice I : degré d'acidité d'un vinaigre

Données à 298 K :

Constante d'acidité de l'acide éthanoïque : $pK_a = 4,8$

Produit ionique de l'eau : $pK_e = 14$

Masse molaire de l'acide éthanoïque : $M = 60,1 \text{ g.mol}^{-1}$

I.A. Etude de solutions acides

Les pH de solutions d'acide chlorhydrique et d'acide éthanoïque de même concentration $C = 0,0100 \text{ mol.L}^{-1}$ valent respectivement 2,0 et 3,4.

I.A.1. Préciser le nom usuel de l'acide éthanoïque.

I.A.2. Nommer la fonction organique présente dans l'acide éthanoïque.

I.A.3. Ecrire l'équation associée à la dissociation de l'acide éthanoïque dans l'eau. Nommer la base conjuguée de l'acide éthanoïque.

I.A.4. Définir et calculer la valeur du coefficient de dissociation α de l'acide éthanoïque.

I.A.5. Retrouver alors, à partir des valeurs de α et du pH de la solution de concentration C , la valeur du pK_a de l'acide éthanoïque.

I.A.6. Comparer les forces de l'acide éthanoïque et de l'acide chlorhydrique en justifiant votre réponse.

I.A.7. Etablir sur une échelle de pH le diagramme de prédominance relatif à l'acide éthanoïque et à sa base conjuguée. *On admettra que la concentration d'une espèce X est négligeable devant celle d'une espèce Y si $[X] \leq [Y]/10$.*

I.B. Dosage de l'acide éthanoïque dans du vinaigre

Le but de cette partie est de déterminer le degré d'acidité d'un vinaigre, c'est à dire la masse d'acide éthanoïque, exprimée en gramme, présente dans 100 g de vinaigre.

On admet que le seul acide présent dans le vinaigre est l'acide éthanoïque et que la densité du vinaigre vaut 1,00 à 298 K.

Le vinaigre est dilué dix fois pour préparer 100,0 mL d'une solution S de vinaigre dilué. Le protocole opératoire suivant est proposé pour doser l'acide éthanoïque dans le vinaigre :

- *Introduire dans un becher de 100 mL, $V_1 = 20,0 \text{ mL}$ de la solution S .*
- *Ajouter 20 mL d'eau distillée.*

- Placer dans la solution la sonde pH-métrique et la relier à un pH-mètre.
- Doser à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire volumique $C = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$.

La valeur du volume équivalent $V_e = 19,80 \text{ mL}$ est alors déterminée graphiquement.

- I.B.1. Décrire le protocole opératoire pour réaliser la dilution.
- I.B.2. Proposer un schéma annoté du montage utilisé pour réaliser ce dosage et décrire de façon sommaire la sonde pH-métrique.
- I.B.3. Ecrire l'équation de la réaction de dosage.
- I.B.4. Calculer la valeur de sa constante d'équilibre K_e . Conclure.
- I.B.5. Calculer la valeur de la concentration C_1 en acide éthanóïque de la solution S puis celle de la concentration C_0 du vinaigre en acide éthanóïque.
- I.B.6. En déduire la valeur du degré d'acidité du vinaigre.
- I.B.7. Calculer la valeur du pH initial avant tout ajout de solution d'hydroxyde de sodium. Justifier les approximations éventuelles.
- I.B.8. Quelles sont les espèces chimiques majoritaires présentes à l'équivalence ?
- I.B.9. La valeur du pH à l'équivalence est-elle supérieure, inférieure ou égale à 7 ? Justifier votre réponse.
- I.B.10. Calculer la valeur du pH à la demi-équivalence. Justifier les approximations éventuelles.
- I.B.11. Calculer la valeur du pH de la solution pour un volume versé V_2 d'hydroxyde de sodium de 25,00 mL. Les approximations éventuelles ne seront pas justifiées.
- I.B.12. Dessiner l'allure de la courbe de dosage pH-métrique obtenue.
- I.B.13. Citer deux méthodes permettant de repérer l'équivalence sur cette courbe.
- I.B.14. Pourquoi ajoute-t-on de l'eau distillée ? Quel est l'effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage ? (préciser notamment qualitativement l'influence de la dilution sur la valeur du pH initial, du pH à la demi équivalence et à l'équivalence)
- I.B.15. Est-il nécessaire de connaître avec précision la quantité d'eau introduite pour réaliser ce dosage ? Justifier votre réponse.

Exercice II : synthèses organiques

Un groupe d'élèves d'une classe de lycée professionnel décide dans le cadre des PPCP (Projet Pluridisciplinaire à Caractère Professionnel) de réaliser et suivre des synthèses organiques, celles d'un ester E de formule $\text{HCOO-C}_2\text{H}_5$ et d'un ester M.

Données à 298 K :

Masses molaires :

Atome	H	C	N	O
M en g.mol^{-1}	1	12	14	16

Propriétés :

	Masse volumique (g.cm^{-3})	Température d'ébullition ($^{\circ}\text{C}$)	Solubilité dans l'eau
Acide éthanoïque	1,05	117,9	Totale
Acide méthanoïque	1,22	100,7	Totale
Ethanol	0,79	78,5	Totale
Méthanol	0,79	65,0	Totale
Ester E	0,91	54,3	Faible
Ester M	0,97	31,5	Moyenne

Extrait d'un catalogue de produits chimiques :

METHANOL	
Autre nom : alcool méthylique, carbinol.	
M= 32,04	
d= 0,79	
E= 65 $^{\circ}\text{C}$	
F= - 98 $^{\circ}\text{C}$	
R : 11-23/24/25-39/23/24/25	
S : 2-7-16-36/37-45	
CAS : 67-56-1	

II.A. L'ester E

- II.A.1. Ecrire la formule développée de l'ester E.
- II.A.2. Donner son nom en nomenclature systématique.
- II.A.3. Calculer la masse molaire de cet ester.
- II.A.4. Dans le commerce spécialisé, on trouve des flacons de 50 mL d'ester E.
Quelle quantité de matière contient le flacon ?

II.B. Synthèse de l'ester E

Les élèves trouvent au cours de leurs recherches que la synthèse nécessite un alcool A et un réactif B. Le protocole opératoire suggère de réaliser un montage à reflux puis d'introduire dans le ballon 31 mL d'alcool A, 20 mL du produit B ainsi que quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce. Dans les livres, il est stipulé que le rendement de cette synthèse est de 67% d'ester obtenu après relargage.

- II.B.1. Nommer l'alcool A.
- II.B.2. Ecrire la formule développée du réactif B.
- II.B.3. Ecrire l'équation associée à la réaction d'estérification.
- II.B.4. Quelles sont les propriétés caractéristiques de cette réaction d'estérification ?
- II.B.5. Faire un schéma annoté du montage à réaliser.
- II.B.6. Pourquoi ajoute-t-on de l'acide sulfurique ?
- II.B.7. Pourquoi ajoute-t-on de la pierre ponce ?
- II.B.8. Dresser un tableau d'avancement pour cette réaction.
- II.B.9. Quelle masse d'ester E peut-on espérer obtenir ?
- II.B.10. Proposer une technique pour extraire l'ester E en fin de réaction.
- II.B.11. En modifiant les quantités initiales de réactifs, comment peut-on améliorer le rendement ?
- II.B.12. Quel est l'intérêt de chauffer pour réaliser cette transformation chimique ?
- II.B.13. Ecrire l'équation associée à une autre réaction permettant d'obtenir un rendement de 100% lors de la synthèse de E.

II.C. Amélioration du rendement

Les élèves souhaitent améliorer le rendement de la réaction d'estérification. Dans un manuel, on leur propose la synthèse de l'ester M en utilisant un montage de distillation fractionnée. De l'acide méthanoïque, du méthanol et toujours quelques gouttes d'acide sulfurique concentré sont introduits dans le réacteur. Ce dispositif permet d'espérer un rendement proche de 100%.

Le livre insistant sur la nécessité de connaître la température en tête de colonne à distiller, les élèves décident de fabriquer un thermomètre électronique qui sera étudié dans un autre exercice.

- II.C.1. Que signifient les lettres « R » et « S » dans la fiche extraite du catalogue ?
- II.C.2. Faire un schéma annoté du montage.
- II.C.3. Quelle est la composition des premières gouttes récupérées au cours de la distillation ?
- II.C.4. Quelle est alors la température en tête de colonne ? Justifier.
- II.C.5. Comment évolue cette température tant que la nature du produit qui s'écoule ne change pas ?
- II.C.6. Comment déterminer expérimentalement la fin de la réaction ?
- II.C.7. A quelle condition un tel dispositif expérimental permet-il d'améliorer le rendement d'une réaction d'estérification ?

Exercice III : repérage de températures

Pour faire des relevés de température, des élèves effectuent des recherches sur le repérage de la température.

III.A. Le thermomètre à liquide

Il est constitué d'une réserve à liquide surmontée d'un long tube fin. Historiquement, le liquide était de l'alcool, mais on peut aussi utiliser du mercure.

La construction de ce genre de tube a été réalisée au début du XVIII^{ème} siècle, mais encore fallait-il graduer le tube.

III.A.1. L'échelle Celsius utilise pour sa définition deux phénomènes physiques auxquels on attribue les températures 0°C et 100°C. Quels sont ces deux phénomènes physiques ?

III.A.2. L'échelle Celsius est qualifiée de « centésimale » : quelle est la signification de ce terme ?

III.A.3. Citer une des propriétés physiques remarquables du mercure.

III.A.4. Les thermomètres médicaux à mercure sont interdits à la vente depuis 1998. Quel argument a motivé ce retrait ?

III.B. Etalonnage d'une sonde de platine (Pt100)

La résistance électrique d'un conducteur métallique croît avec la température. Cette variation de résistance est réversible. Comme métal, on peut utiliser l'or, le cuivre, le nickel ou le platine.

Un protocole expérimental propose de plonger une sonde de platine et un thermomètre à alcool (supposé correctement étalonné) dans un ballon contenant de l'eau. Un chauffe ballon permet d'élever progressivement la température de l'eau et un ohmmètre est utilisé pour mesurer la résistance de la sonde de platine. On obtient le tableau de mesures ci-dessous.

θ (°C)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,
R (en Ω)	100,	103,	108,	111,	115,	118,	123,	127,	130.	135.	139.
	1	9	2	4	2	7	8	2	2	8	9

Extrait de la notice technique d'une sonde Pt100

La résistance de la sonde à fil de platine est donnée par la relation :

$$R(\theta) = R_0 \cdot [1 + A \cdot \theta + B \cdot \theta^2 + C \cdot \theta^3 \cdot (\theta - 100)], \text{ où } \theta \text{ est la température en } ^\circ\text{C},$$

avec $R_0 = 100 \, \Omega$; $A = 3,9083 \cdot 10^{-3}$ unité S.I. ; $B = -5,775 \cdot 10^{-7}$ unité S.I. ; $C = -4,183 \cdot 10^{-12}$ unité S.I.

Les sondes Pt100 présentent l'avantage de posséder une bonne linéarité, c'est-à-dire que le modèle linéaire $R(\theta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \theta)$ (avec θ en $^{\circ}\text{C}$) est une très bonne approximation de la relation complète.

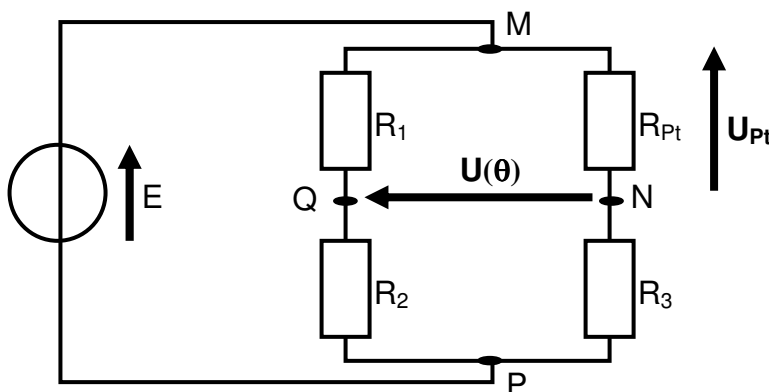
- III.B.1. Quelle est l'unité de A ?
- III.B.2. Quelle est l'unité de B ?
- III.B.3. Faire un schéma annoté du dispositif expérimental qui a permis de dresser le tableau.
- III.B.4. Rappeler comment on sélectionne le bon calibre d'un ohmmètre.
- III.B.5. En considérant le modèle linéaire comme satisfaisant, trouver la valeur expérimentale A_{exp} du coefficient A par une méthode que vous décrirez.
- III.B.6. Comparer A (théorique) et A_{exp} . Ce résultat confirme-t-il que le modèle linéaire constitue une très bonne approximation de la relation complète ?

III.C. Mesure de température à l'aide de la sonde de platine (Pt100)

On supposera acquise pour la sonde de platine la relation suivante :

$$R(\theta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \theta), \text{ avec } \theta \text{ en } ^{\circ}\text{C}, A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ unité S.I. et } R_0 = 100 \, \Omega.$$

La sonde Pt100 (symbolisée par le conducteur ohmique de résistance R_{pt} , résistance qui dépend de θ) est insérée dans le montage suivant :



L'intérêt de ce circuit est de convertir une information « résistance » en information « tension ».

La notice précise qu'il faut éviter les intensités supérieures à 3 mA, car un risque d'auto-échauffement excessif de la sonde préjudiciable à la mesure existe alors (élévation de température de 0,5 K quand l'intensité traversant la sonde est de 3 mA).

- III.C.1 Que signifie le « K » dans « 0,5 K » qui apparaît dans la notice ? Quelle relation relie une température exprimée en K et la même exprimée en $^{\circ}\text{C}$?

Soient $U(\theta)$ la tension entre Q et N quand la température de la sonde est θ et U_{Pt} la tension aux bornes de la sonde Pt100 à cette même température.

On prendra pour les applications numériques $R_1 = R_2 = R_3 = 100 \, \Omega$ et $E = 10V$.

III.C.2 Comment appelle-t-on la partie du circuit, située entre M et P et constituée de conducteurs ohmiques ?

III.C.3 Exprimer U_{Pt} en fonction de E et de certaines résistances constituant le circuit.

III.C.4 En déduire l'expression de l'intensité I_{Pt} circulant dans la sonde de platine en fonction de E et de certaines résistances constituant le circuit.

III.C.5 Exprimer $U_1 = U_{MQ}$ (tension aux bornes de R_1) en fonction de E et de certaines résistances constituant le circuit.

III.C.6 Déduire des questions précédentes l'expression de $U(\theta)$ en fonction de E, R_0 , R_1 , R_2 , R_3 , A et θ .

III.C.7 Application numérique : Calculer $U(\theta)$ et I_{Pt} quand :

- III.C.6.a la sonde est en contact avec un thermostat dont la température est de 0°C ?
- III.C.6.b. la sonde est en contact avec un thermostat dont la température est de 100°C ?

III.C.8 La sonde est-elle utilisée dans de bonnes conditions ? justifier.

III.C.9 Quel phénomène physique permet d'expliquer l'auto-échauffement ?

III.C.10 Pour minimiser le problème d'auto-échauffement aperçu précédemment, un professeur conseille de diminuer E et d'augmenter R_2 et R_3 . Ces choix ne sont pas sans conséquences sur $U(\theta)$: pour certaines valeurs de E, R_2 et R_3 (différentes de celles utilisées dans l'énoncé), cette tension varie alors seulement de 0 mV à 32mV. Proposer un schéma de montage permettant d'amplifier cette tension.

Exercice IV : lentilles

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes :

Un élève se propose de faire quelques manipulations d'optique utilisant des lentilles. Pour cela il dispose :

- d'un banc d'optique horizontal ;
- d'un objet réel AB tel que A appartient à l'axe optique de la lentille utilisée et AB perpendiculaire à cet axe ;
- de deux supports de lentilles ;
- de trois lentilles minces :

L_1 , convergente, de distance focale image $f'_1 = \frac{100}{3}$ cm ;

L_2 , convergente, de distance focale image f'_2 inconnue ;

L_3 , divergente, de distance focale image $f'_3 = 20$ cm ;

- d'un écran opaque perpendiculaire au banc d'optique et à l'axe optique de la lentille utilisée.

IV.A. L'élève utilise la lentille L_1 , convergente, de distance focale image $f'_1 = \frac{100}{3}$ cm.

IV.A.1. Calculer la vergence de L_1 .

IV.A.2. Tracer le rayon émergent de la lentille correspondant à un rayon incident :

IV.A.2.a. passant par le centre optique ;

IV.A.2.b. passant par le foyer principal objet de la lentille ;

IV.A.2.c. parallèle à l'axe optique de la lentille.

IV.A. 3. La lentille L_1 est placée à 50 cm de l'objet AB de hauteur $h = 1$ cm.

IV.A. 3.a. Déterminer la position, la nature et la taille de l'image $A'B'$ de l'objet AB dans la lentille L_1 .

IV.A. 3.b. Faire la construction de l'image $A'B'$ sur la figure 1 de l'annexe. Retrouver les résultats de la question précédente.

IV.A. 3.c. Si l'objet AB est la lettre "d", que voit-on sur l'écran ? Justifier.

IV.A. 4. Sans rien modifier des positions précédentes, l'élève fait tourner la lentille et son support autour d'un axe vertical passant par le centre optique de la lentille ; il constate que l'image $A'B'$ devient floue :

IV.A. 4. a. Quelle première condition d'obtention de bonnes images n'est pas alors respectée ?

IV.A. 4. b. Quelle est l'autre condition d'obtention de bonnes images ?
Comment pourrait on vérifier expérimentalement cette condition ?

IV.A. 4. c. Comment sont appelées ces deux conditions ?

IV.B. *L'élève utilise maintenant la lentille L_2 , convergente, de distance focale image f'_2 inconnue. L'écran étant placé à la distance $D = 1,60\text{ m}$ de l'objet AB , il déplace la lentille L_2 jusqu'à obtenir une image réelle $A'B'$ sur l'écran ; il constate que l'image est renversée et trois fois plus grande que l'objet. Le but est de déterminer la distance focale image f'_2 de L_2 .*

IV.B.1. Détermination graphique :

IV.B.1.1. Pourquoi peut on affirmer que le centre optique O_2 de la lentille appartient au segment AA' ?

IV.B.1.2. En utilisant la figure 2 de l'annexe :

IV.B.1.2.a trouver la position du centre optique de la lentille ;

IV.B.1.2.b trouver la position du foyer principal image F'_2 de la lentille ;

IV.B.1.2.c en déduire la distance focale image f'_2 de la lentille.

IV.B.2. Détermination par le calcul :

IV.B.2.1. à partir de la formule de grandissement, de la formule de conjugaison de Descartes et de la distance $AA' = D$, trouver 3 équations vérifiées par $\overline{O_2A}$ et $\overline{O_2A'}$;

IV.B.2.2. en déduire la distance focale image f'_2 de la lentille.

IV.B.3. Montrer qu'il existe une autre position de la lentille qui donne de l'objet AB une image $A'B'$ sur l'écran situé à $1,6\text{ m}$ de AB . Donner alors la distance de l'objet à la lentille ainsi que le grandissement transversal (on peut résoudre cette question sans aucun calcul).

IV.C. *Pour terminer, l'élève utilise les lentilles L_1 et L_3 pour réaliser un système afocal. Pour cela, il place les deux lentilles de façon que leurs axes optiques soient confondus, la lumière traversant d'abord la lentille L_3 puis la lentille L_1 .*

IV.C.1.

IV.C.1.1. Qu'est-ce qu'un système afocal ?

IV.C.1.2. Soit un rayon incident sur L_3 parallèle à l'axe optique ; quelle est la direction du rayon émergent de L_3 ?

IV.C.1.3. Le rayon émergent de L_1 étant parallèle à l'axe optique, quelle est la direction du rayon incident sur L_1 ?

IV.C.1.4. Rassembler ces résultats en traçant sur la figure 3 de l'annexe (qu'il faudra compléter), la marche d'un faisceau cylindrique de rayon R et dont l'axe est l'axe optique du système afocal.

IV.C.1.5. En déduire la distance séparant les deux lentilles.

IV.C.1.6. Calculer le rayon R' du faisceau cylindrique émergent. Faire l'application numérique avec $R = 1\text{cm}$. Quel intérêt peut présenter un tel montage ?

IV.C.2. Montrer que ce système afocal donne d'un objet AB une image dont la taille ne dépend pas de la position de l'objet (la réponse à cette question ne nécessite pas obligatoirement des calculs). Calculer alors le grandissement transversal γ .

ANNEXE à rendre obligatoirement avec la copie :

Figure 1 : Échelle longitudinale : 1 cm représente 10 cm

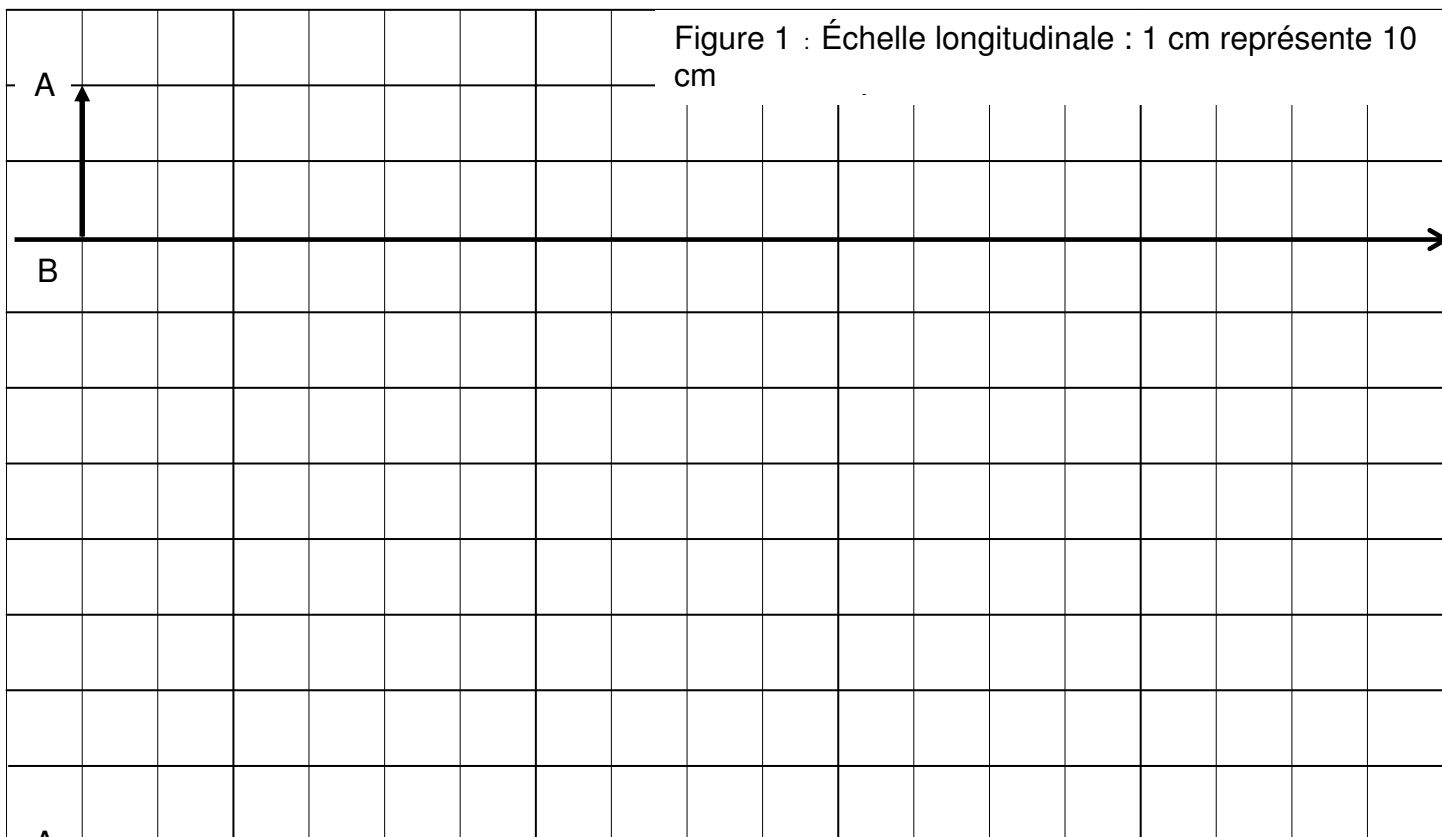


Figure 2 : Échelles inchangées

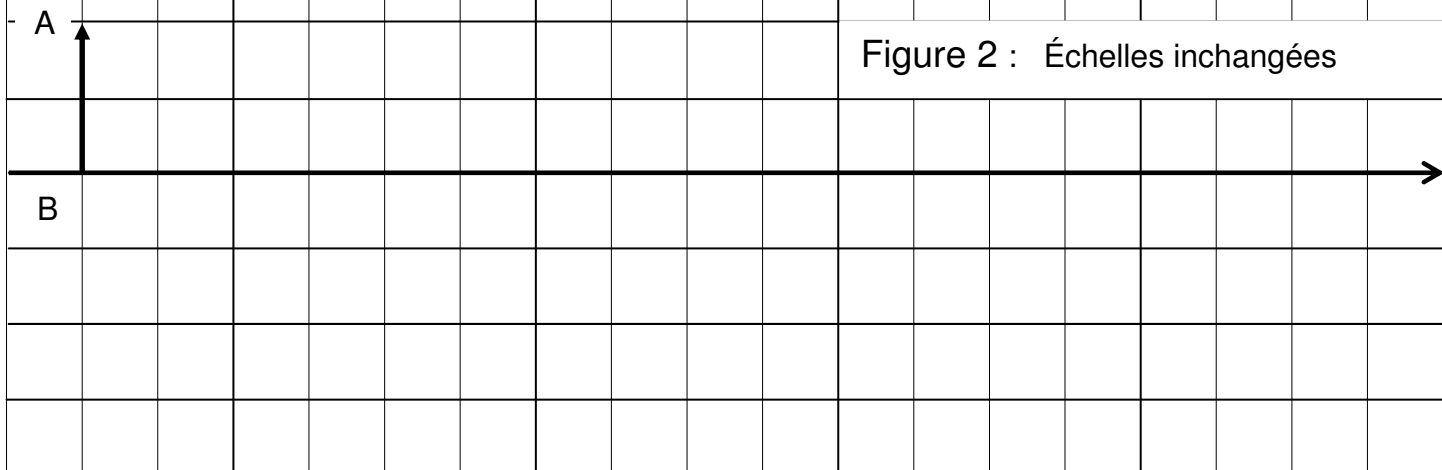


Figure 3 Échelle longitudinale : 1 cm représente 2,5 cm

