

Micro-330 CAPTEURS (Examen du 1 Juillet 2023)**Chapitres 1, 2, 3, 4, et 5****Nom:** **N. Sciper** **N. Place :****LIVRET 1**

	# points max	# points obtenus
Q1	4	
Q2	3	
Q3	3	
Q4	3	
Q5	4	
Q6	3	
total	20	

(tableau réservé à la correction)

Question 1 [4 Points]

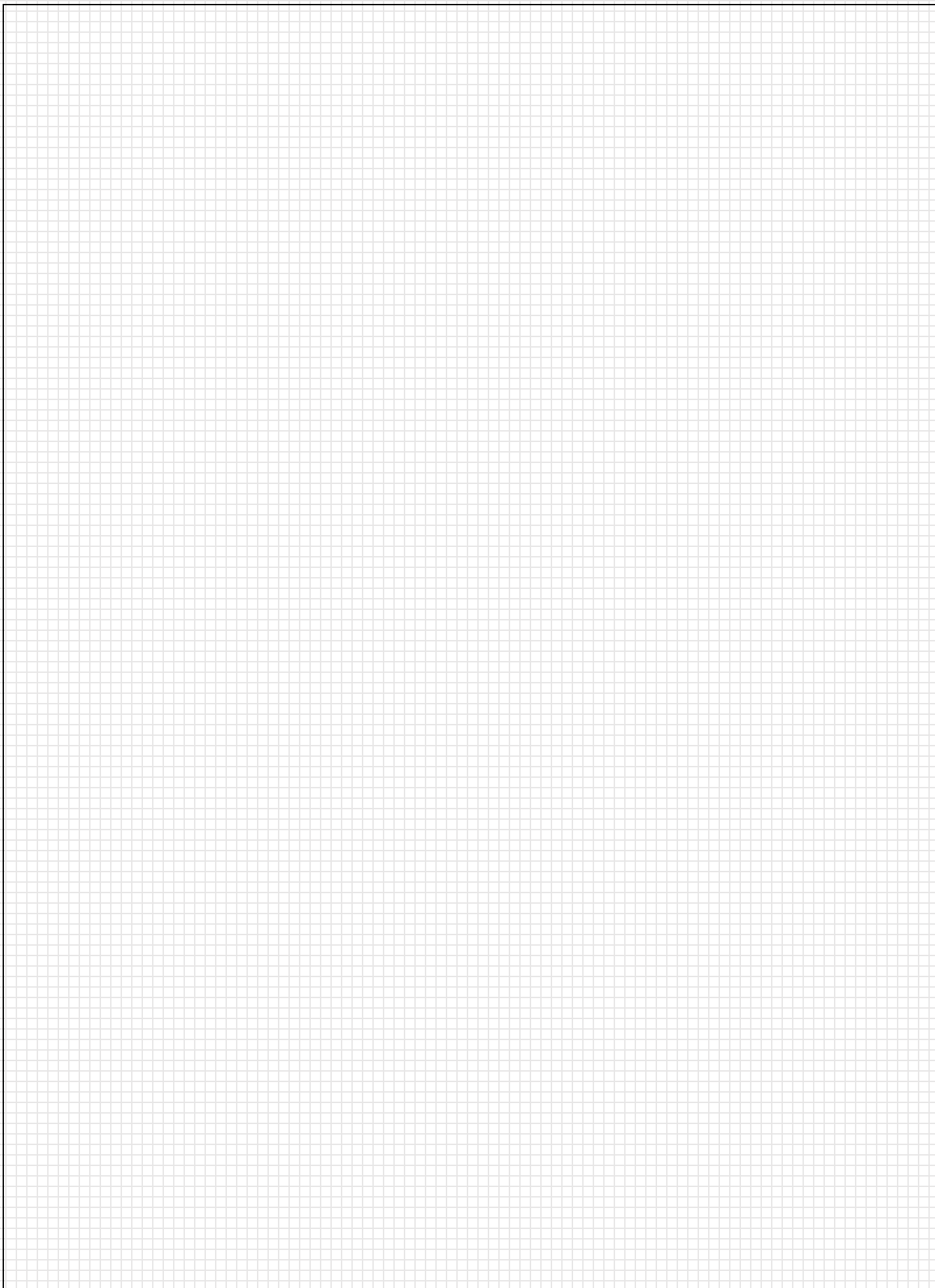
Modulation/démodulation synchrone.

a) Décrire en détails (but, composants essentiels,...) un exemple d'application de la modulation/démodulation synchrone vue pendant le cours.

Répondez à ces questions dans le cas de l'exemple que vous avez choisi:

b) Quels critères utilisez-vous pour choisir la fréquence de modulation ?

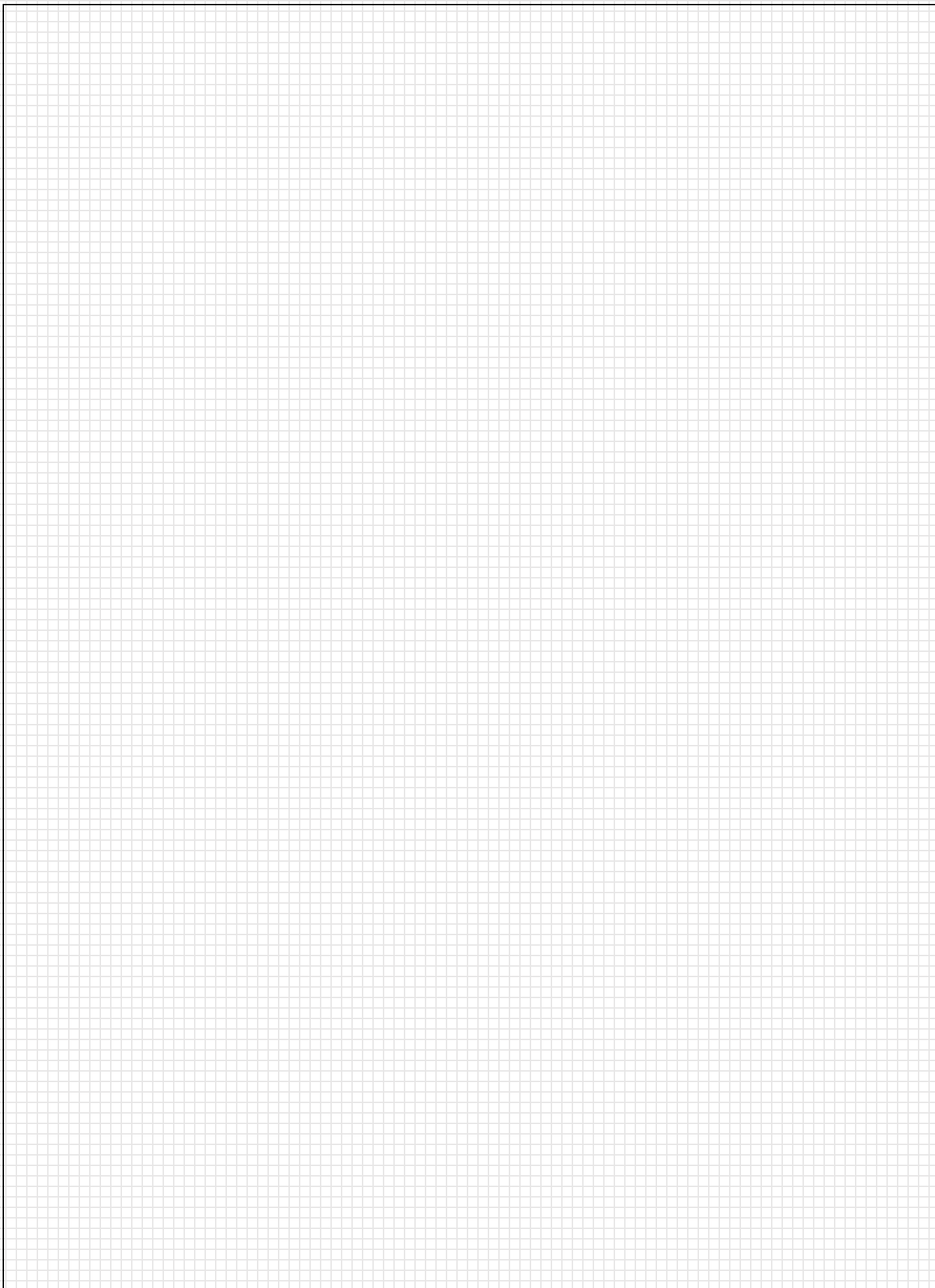
c) Quels critères utilisez-vous pour choisir la fréquence de coupure du filtre passe-bas de sortie ?



Question 2[3 Points]

Capteurs d'humidité (hygromètre).

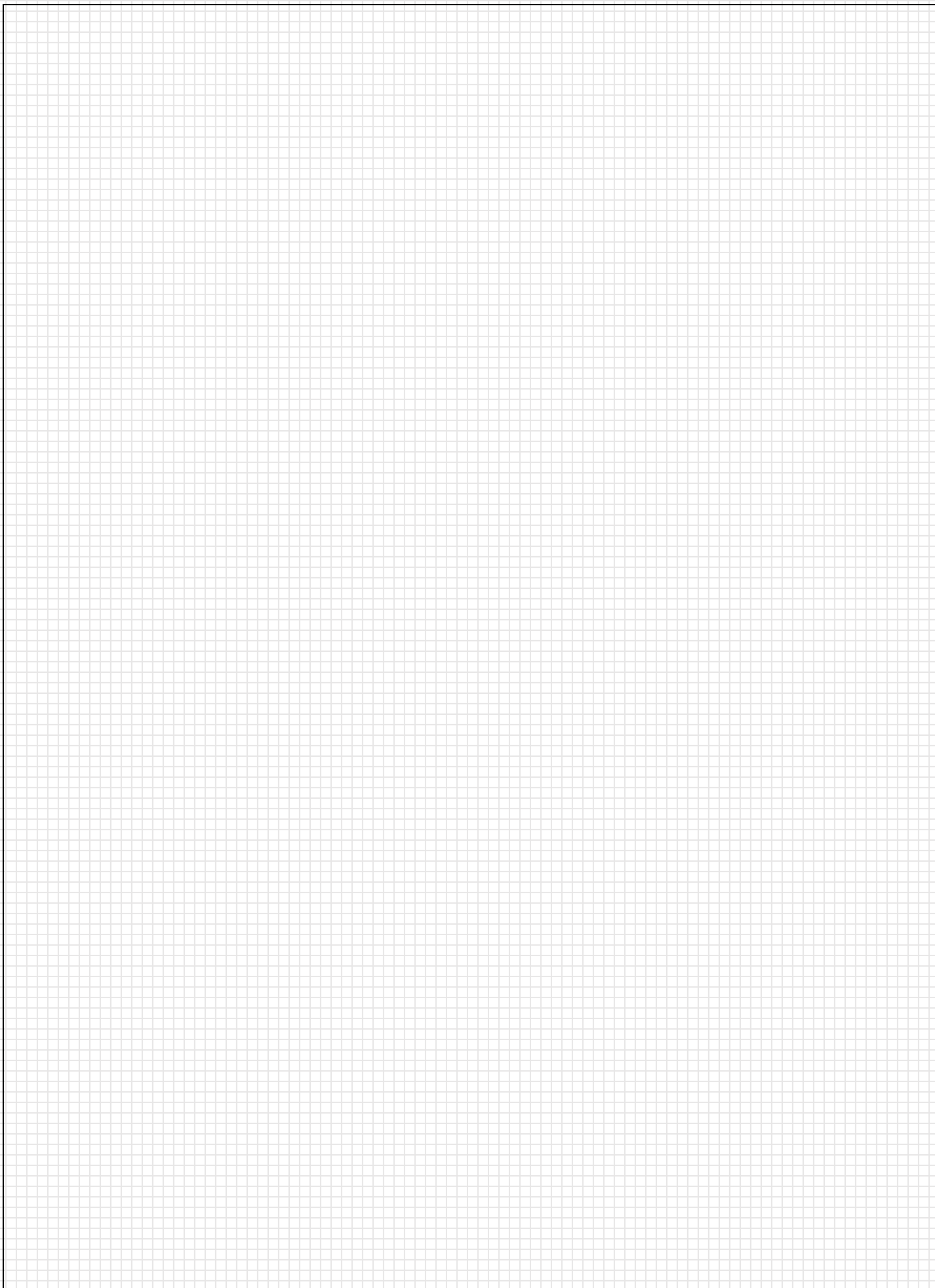
- a) Capteur d'humidité capacitif. Dessiner la structure et décrire le principe de fonctionnement.
 - b) Capteur d'humidité à point de rosée. Dessiner la structure et décrire le principe de fonctionnement.
-



Question 3 [3 Points]

Matériau magnétostrictif. Capteur de force magnétostrictif. Tag magnétostrictif.

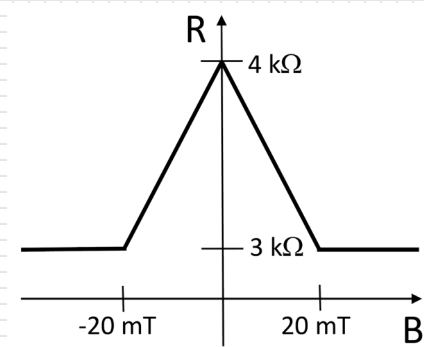
- a) Décrire les propriétés les plus importantes d'un matériau magnétostrictif.
 - b) Décrire la structure et le principe de fonctionnement d'un capteur de force basé sur un matériau magnétostrictif.
 - c) Pourquoi, en principe, pourrions-nous détecter la présence d'une tag magnétostrictif en utilisant un microphone plutôt qu'une bobine de réception?
-

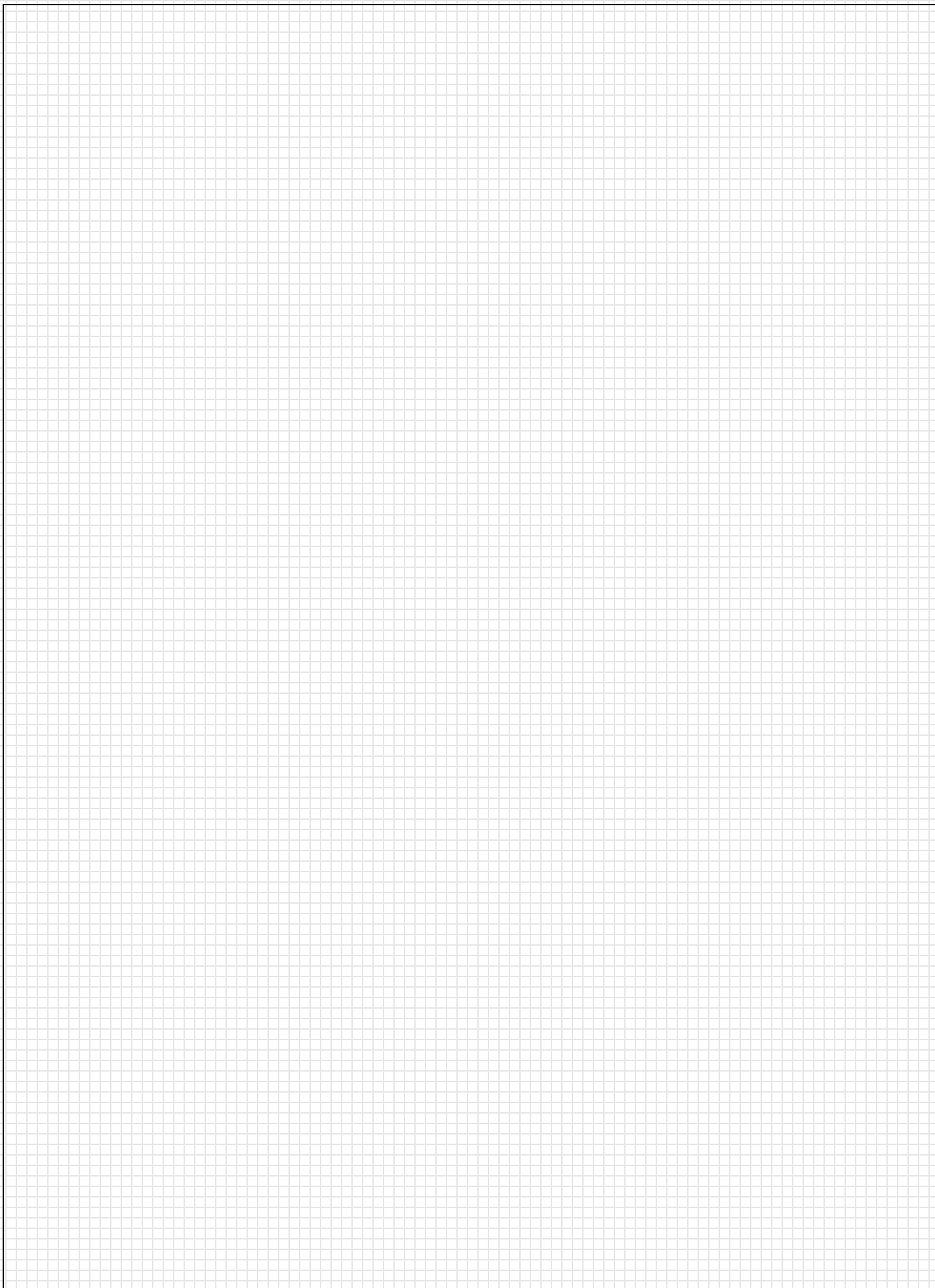


Question 4[3 Points]

Capteur magnétique GMR (GMR=Giant Magneto Resistance).

- a) Pourquoi la couche non magnétique entre les deux couches ferromagnétiques doit-elle être mince?
- b) La résistance du capteur est décrite par le graphique ci-dessous. En supposant que la source principale de bruit est le bruit thermique de la résistance, déterminer la résolution en champ magnétique (en $\text{T/Hz}^{1/2}$) à 300 K pour un champ magnétique $B=10 \text{ mT}$ si le courant de polarisation est $I=2 \text{ mA}$.

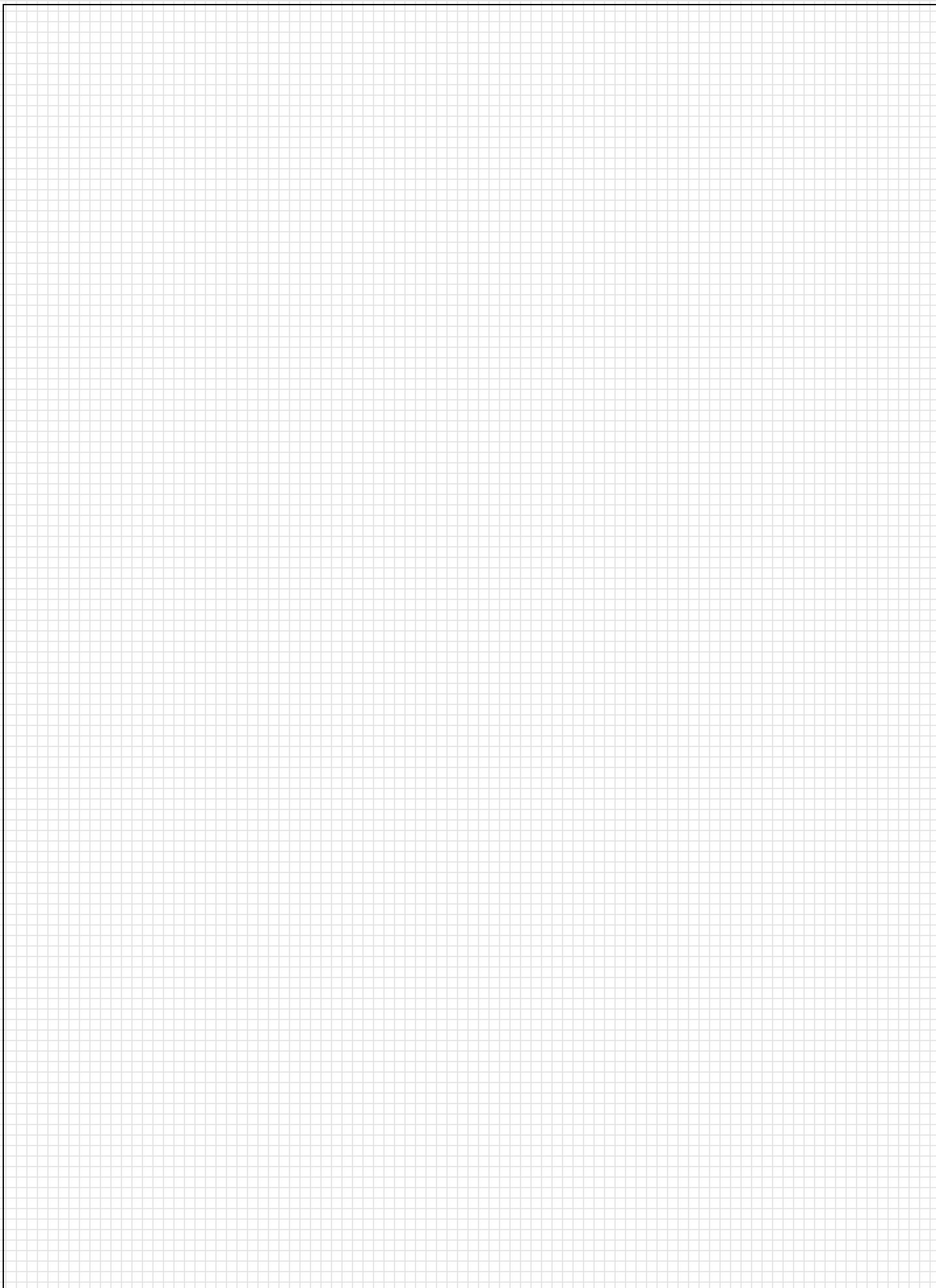




Question 5 [4 Points]

Photodiodes.

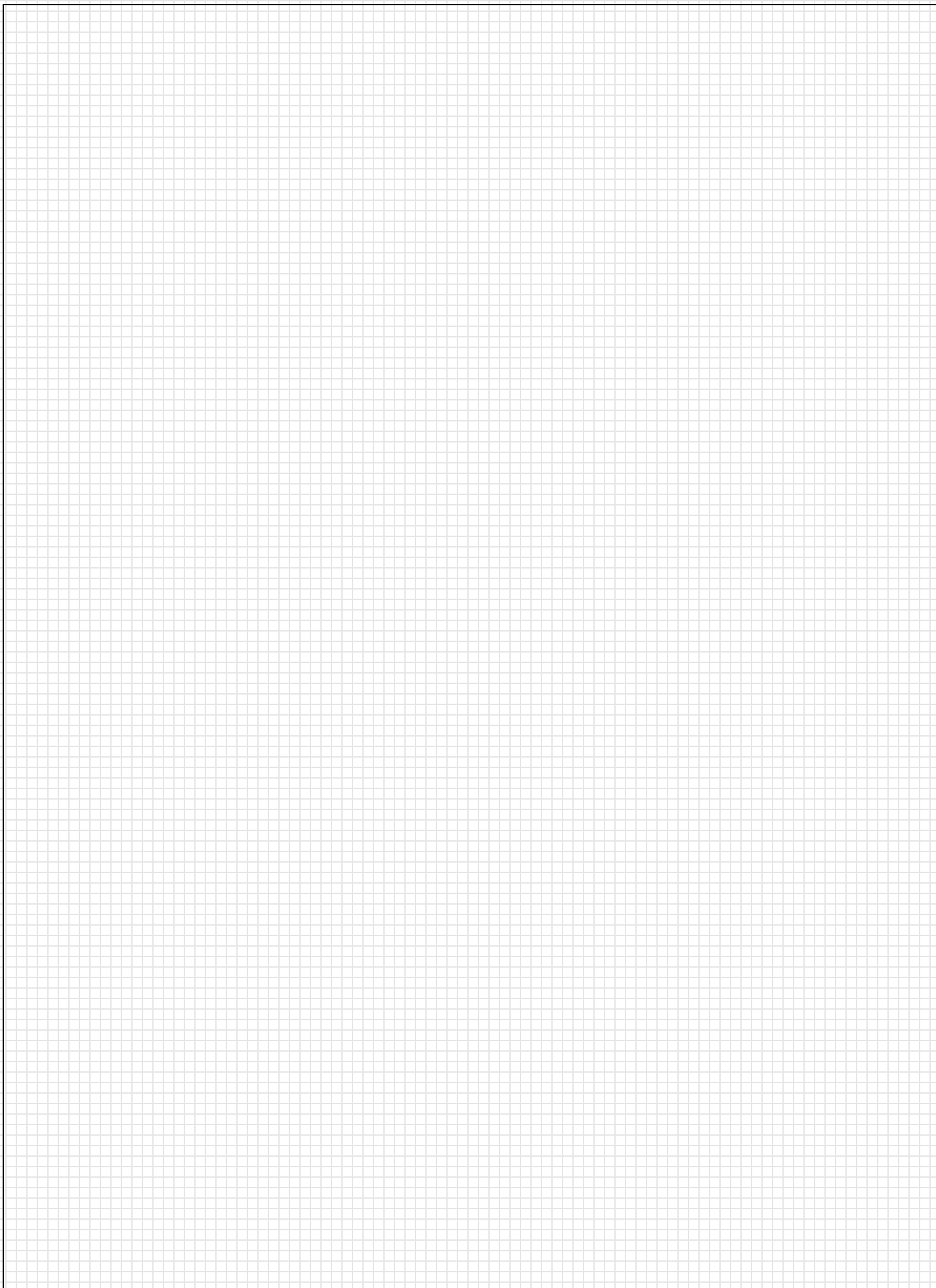
- a) Pourquoi une photodiode est-elle beaucoup plus efficace pour convertir l'énergie de la lumière solaire en énergie électrique par rapport à un photoconducteur ?
 - b) Dessiner la courbe tension-courant sans et avec illumination d'une photodiode.
 - c) Pourquoi la polarisation inverse réduit-elle le temps de réponse d'une photodiode?
 - d) Nous utilisons une photodiode avec polarisation nulle pour mesurer les petites variations d'intensité d'un laser émettant à 532 nm avec une puissance de 0.1 mW et focalisé sur la zone active de la photodiode. En supposant que la photodiode est idéale (pas de réflexions, efficacité quantique de 100%, pas d'atténuation, pas de bruit thermique dans la diode ni dans l'électronique de détection), quelle est la variation minimale de la puissance du laser qui peut être détectée si la bande passante de détection est de 100 Hz ?
-

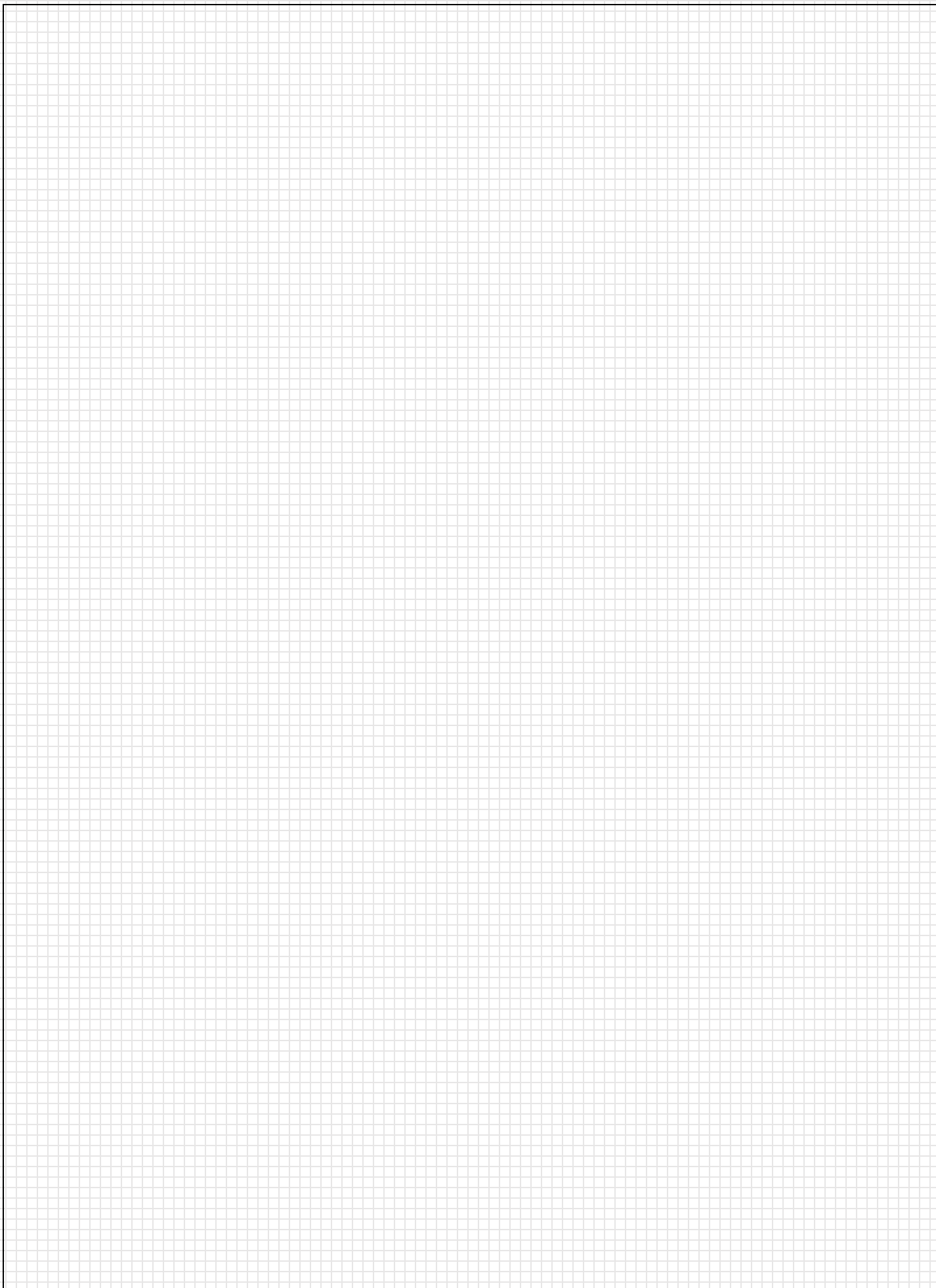


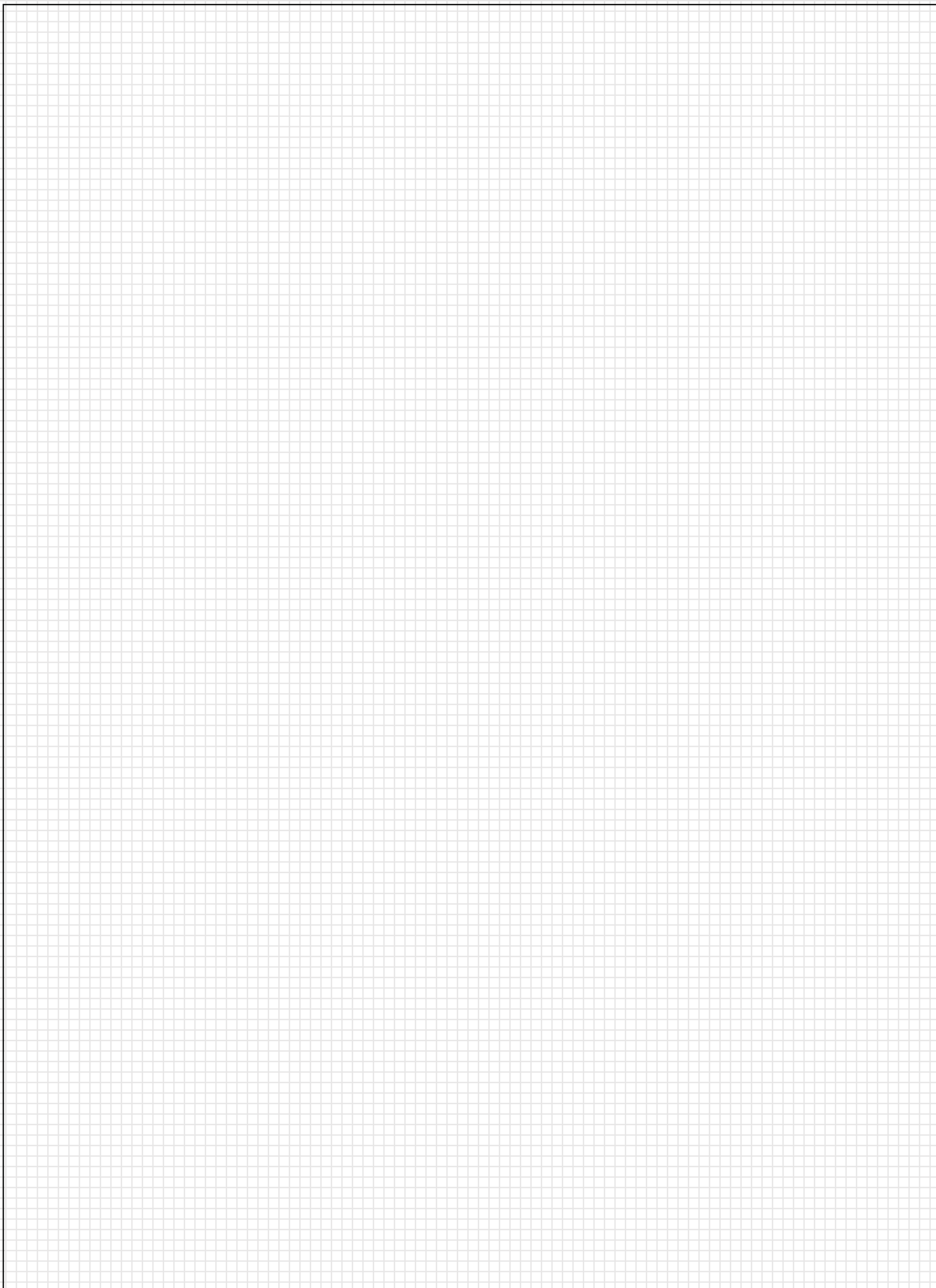
Question 6 [3 Points]

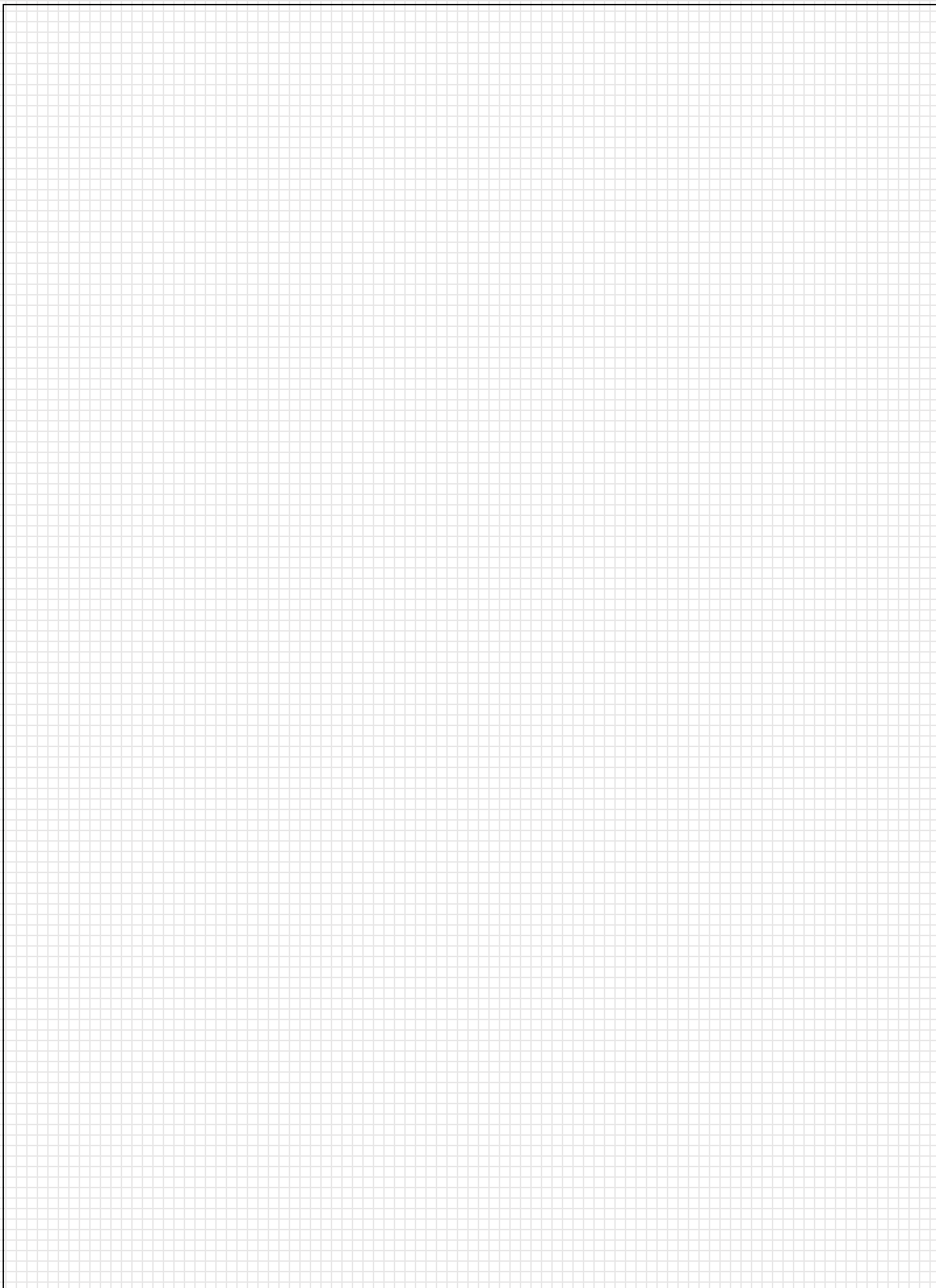
Capteur de photons uniques avec photodiode avalanche (single photon avalanche photodiode (SPAD)).

- a) Décrire le principe de fonctionnement.
 - b) Quel phénomène physique est à l'origine des impulsions de sortie du SPAD en l'absence de lumière ?
 - c) Une source lumineuse émet une puissance de 1 pW à une longueur d'onde de 500 nm. La lumière émise est focalisée sur le capteur. En supposant que le capteur SPAD soit idéal (efficacité quantique de 100%, pas de réflexion, pas d'impulsions parasites), combien d'impulsions par seconde devrions-nous mesurer à sa sortie ?
-









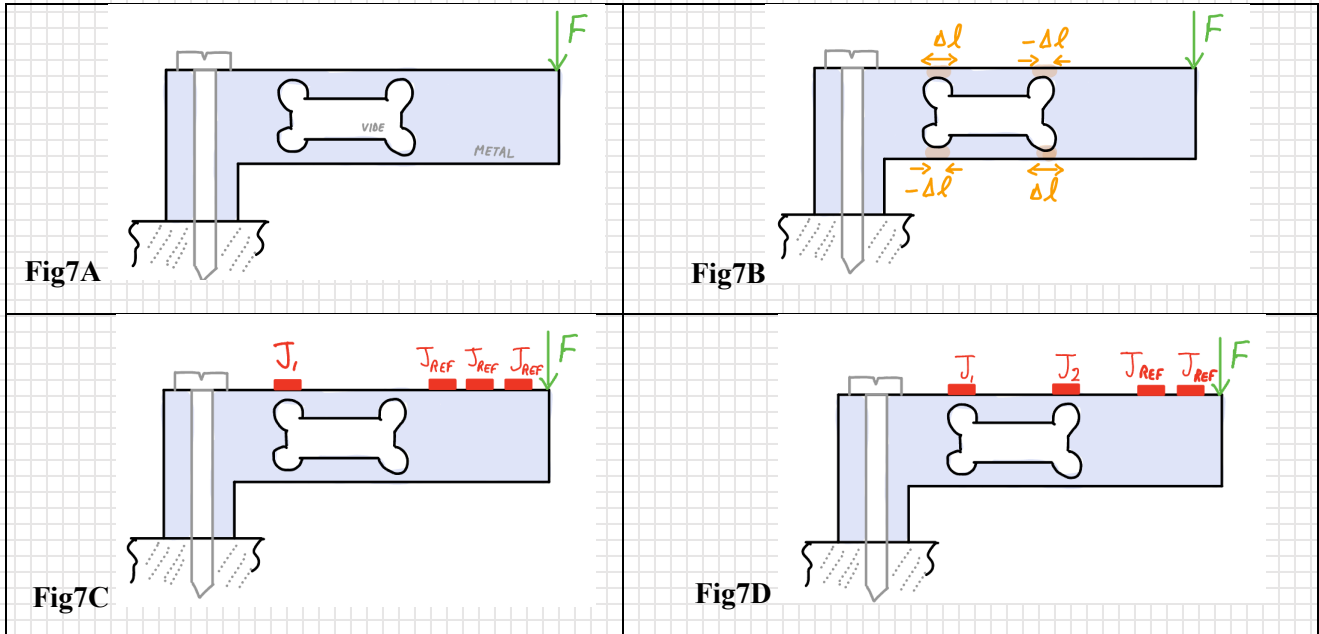
Micro-330 CAPTEURS (Examen du 1 Juillet 2023)**Chapitres 6, 7, 8, 9, et 10****Nom:****N. Sciper:**.....**N. Place :**.....**LIVRET 2**

	# points max	# points obtenus
Q7	6	
Q8	2	
Q9	3	
Q10	5	
Q11	4	
total	20	

(Tableau réservé à la correction)

Question 7 [6 Points]

Jauge de déformation piézorésistif.



Une force F est appliquée sur une cellule de force type Roberval, comme illustrée en Figure 7A, donnant lieu à une petite déflexion de la poutre. Sur la figure 7B, on a identifié les 4 endroits où les déformations relatives $\frac{\Delta l}{l}$ sont maximales (en valeur absolue). Δl correspond à une déformation en traction, et $-\Delta l$ à une déformation en compression.

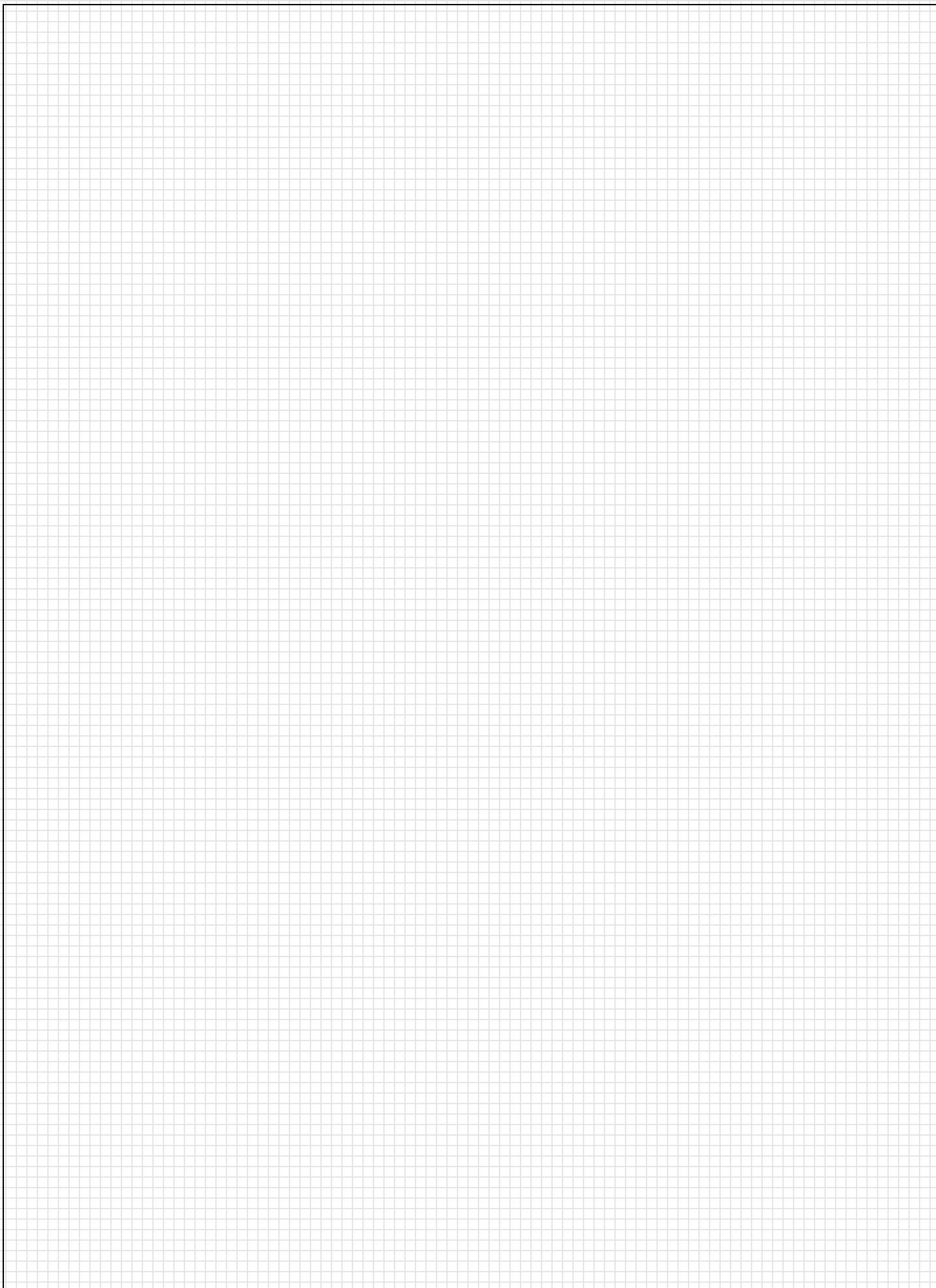
Q7a. Voir Figure 7C. Une jauge de contrainte J_1 et trois jauges de contrainte J_{ref} sont placées comme illustré. Les jauges ont une résistance initiale R et un facteur de jauge K .

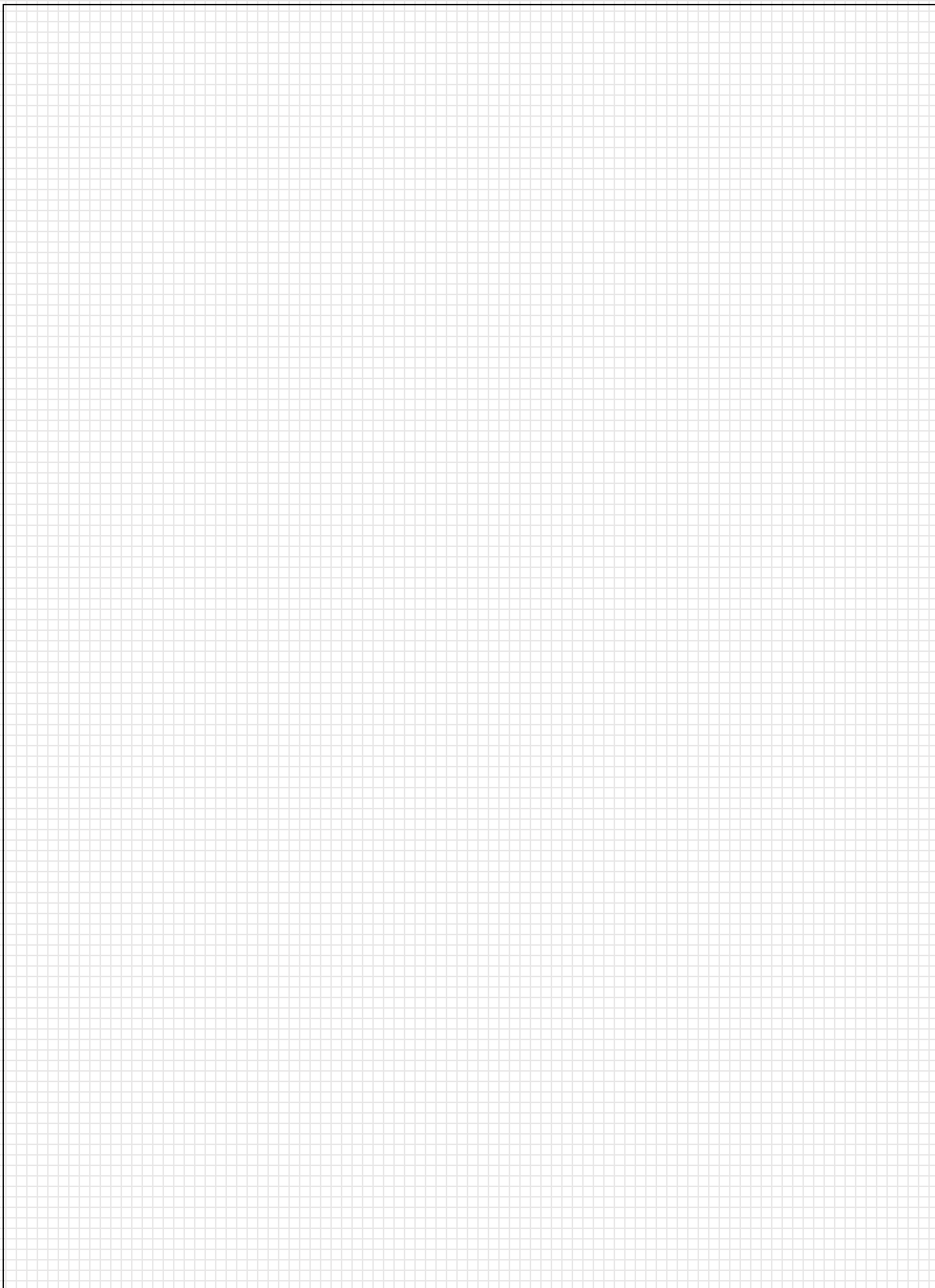
- Exprimez la résistance R_1 de J_1 en fonction de R , K et $\frac{\Delta l}{l}$.
- Dessinez le schéma électrique d'un pont de Wheatstone utilisant ces 4 résistances pour mesurer un changement de résistance ΔR_1 proportionnel à $\frac{\Delta l}{l}$.
- Une tension V_0 est appliquée à l'entrée du pont de Wheatstone. Exprimez la tension de sortie V_m en fonction de V_0 , K et $\frac{\Delta l}{l}$, en ignorant les termes en $\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^n$ pour $n > 1$.
- Quel est l'intérêt d'utiliser ici des jauges de contraintes J_{ref} plutôt que des résistances « conventionnelles » comme on trouve sur un PCB ?

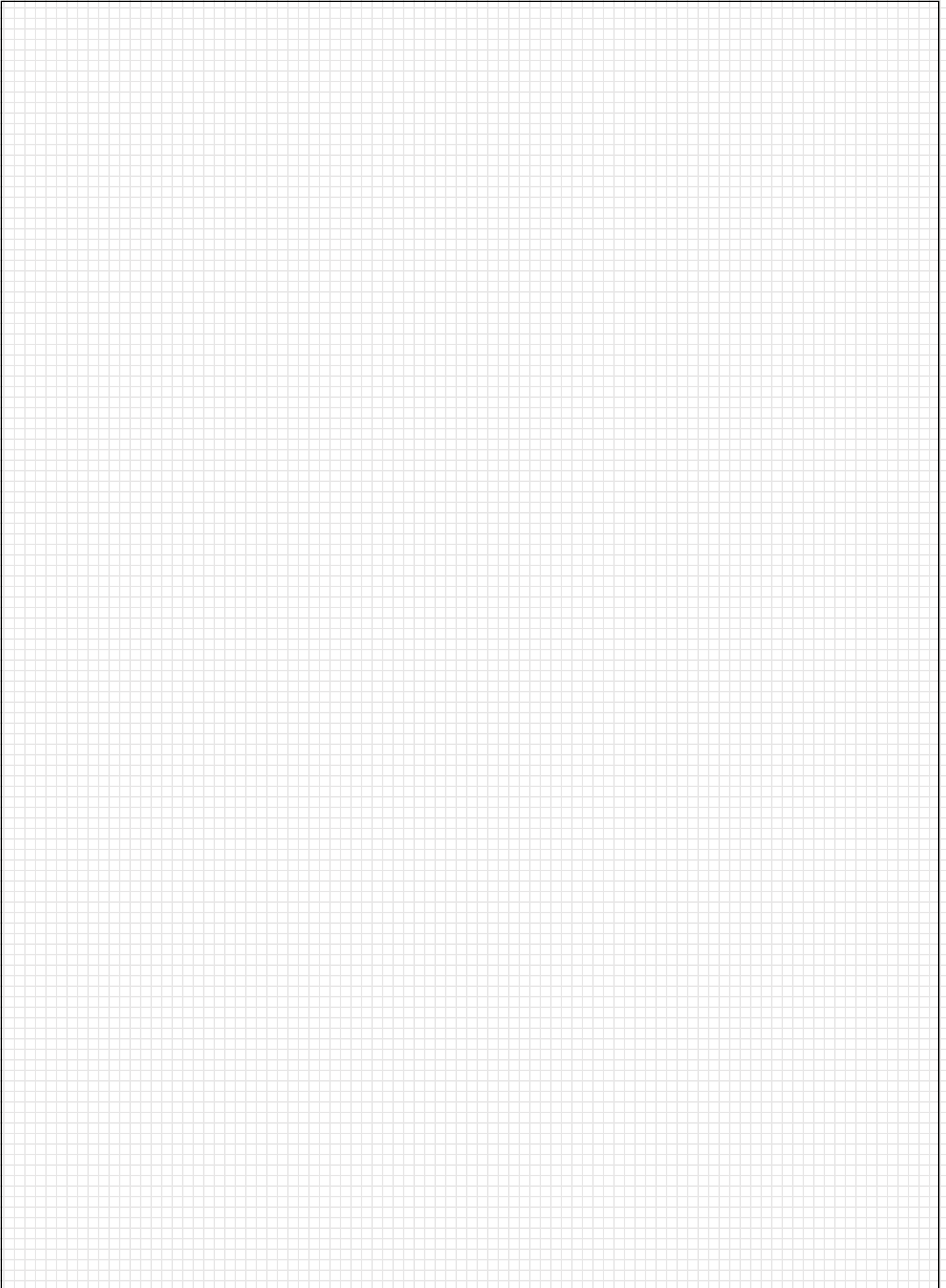
Q7b. Voir Figure 7D. Deux jauges de contrainte J_1 et J_2 et deux jauges de contrainte J_{ref} , toutes quatre de résistance initiale R et de facteur de jauge K , sont placées comme illustré.

- Dessinez le schéma électrique d'un pont de Wheatstone utilisant ces 4 résistances pour mesurer une tension de sortie proportionnelle à $\frac{\Delta l}{l}$.
- Une tension V_0 est appliquée à l'entrée du pont. Exprimez la tension de sortie V_m en fonction de V_0 , K et $\frac{\Delta l}{l}$.
- Quel est l'avantage de cette configuration comparée au cas de Q7a?

Q7c Dessinez sur la figure 7A les emplacements des 4 jauges de contrainte afin d'obtenir une meilleure sensibilité que la configuration de Fig 7D, quand utilisé aussi dans un pont de Wheatstone.







Question 8 [2 Points]**PTAT**

Un PTAT (« Proportional To Absolute Temperature ») est un capteur de température constitué de diodes (ou de transistors montés en diode). Le courant « forward » dans une diode est donné par:

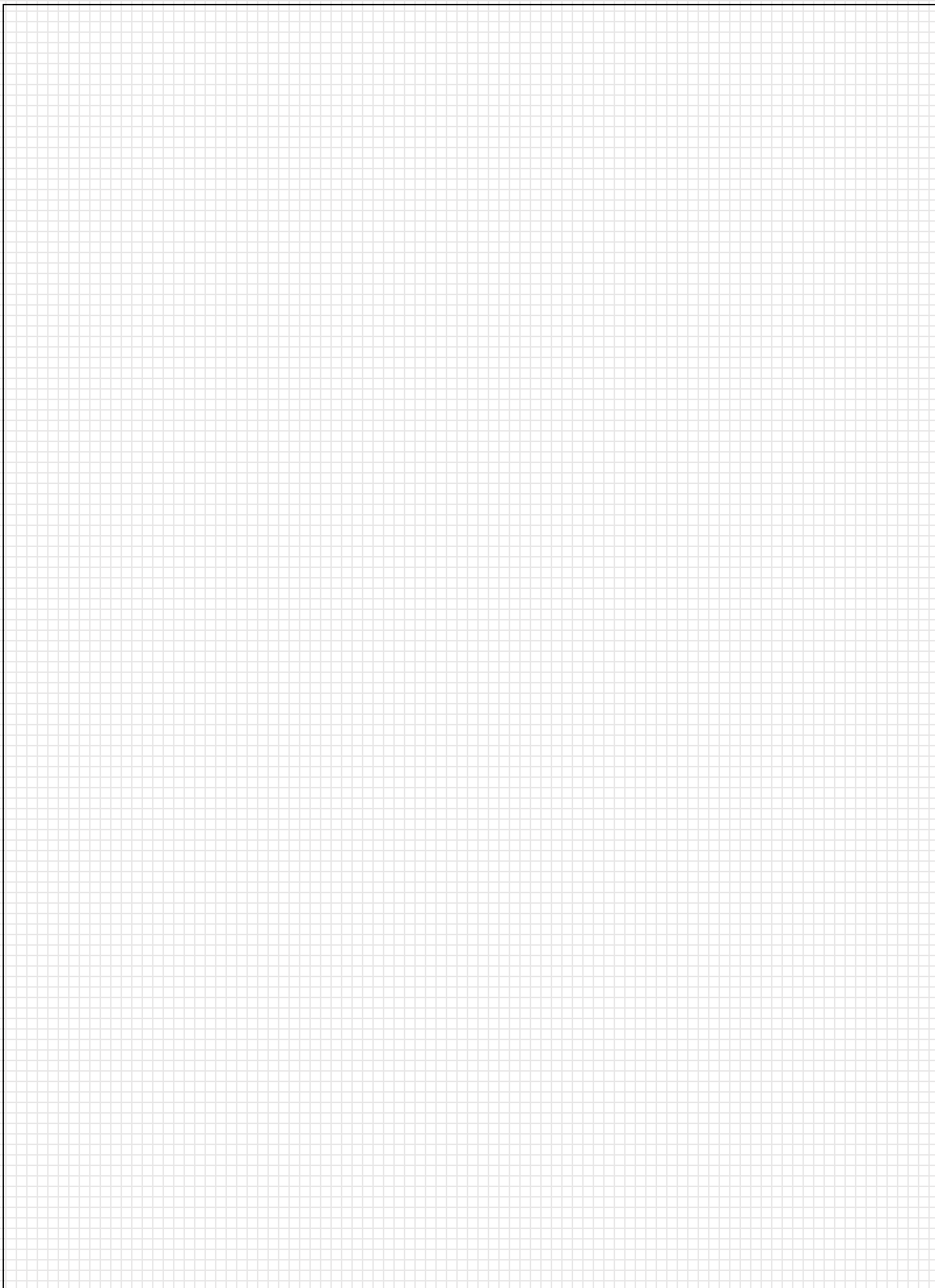
$$I_{diode} = I_0 \exp(qV/k_B T)$$

Comme I_0 dépend fortement de la température, il est nécessaire de monter un circuit avec plusieurs diodes afin d'obtenir une différence de tension $V_1 - V_N$ qui ne dépend pas de I_0 .

- **Q8a** Dessinez et expliquez le circuit qui est utilisé pour obtenir :

$$V_1 - V_N = \frac{k_B T}{q} \ln(N)$$

- **Q8b** : Dans quels cas et pourquoi serait-il préférable d'utiliser un thermocouple plutôt qu'un PTAT?
-



Question 9 [3 Points]**Bolomètre**

Un modèle simplifié d'un bolomètre est montré en Figure 9. Un capteur est suspendu à une distance d au-dessus d'un substrat, qui est maintenu à une température T_0 . Un flux de radiation Φ_0 est absorbé par le capteur, de surface A , masse m , chaleur spécifique c_v . Le capteur atteint une température T_1 .

La conductance thermique entre le capteur et le substrat est G_{th} . Le système est dans l'air, de conductivité thermique λ_{air} . Le transfert de chaleur entre le capteur et le substrat est dominé par la conduction dans l'air, et ainsi $G_{th} = \lambda_{air} \frac{A}{d}$.

- **Q9a.** Quelle est la constante de temps thermique du capteur en fonction de m , c_v , A , d , et λ_{air} ?
- **Q9b.** Le capteur est piézorésistif, avec $\frac{\Delta R}{R} = \alpha_R \Delta T$. Exprimez $\frac{\Delta R}{R}$ en fonction de Φ_0 , α_R , A , d , et λ_{air} .
- **Q9c.** Y-a-t-il un compromis entre sensibilité élevée et temps de réponse court ? que peut-on changer pour minimiser le temps de réponse ? pour maximiser la sensibilité ? sur quels critères choisir d ?
- **Q9d.** Pour une surface A fixe et pour une distance d fixe, vaut-il mieux avoir un capteur épais ou mince ? Pourquoi ?

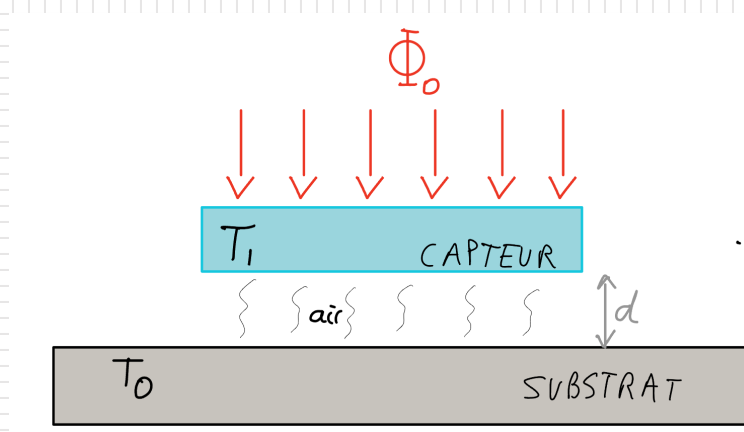
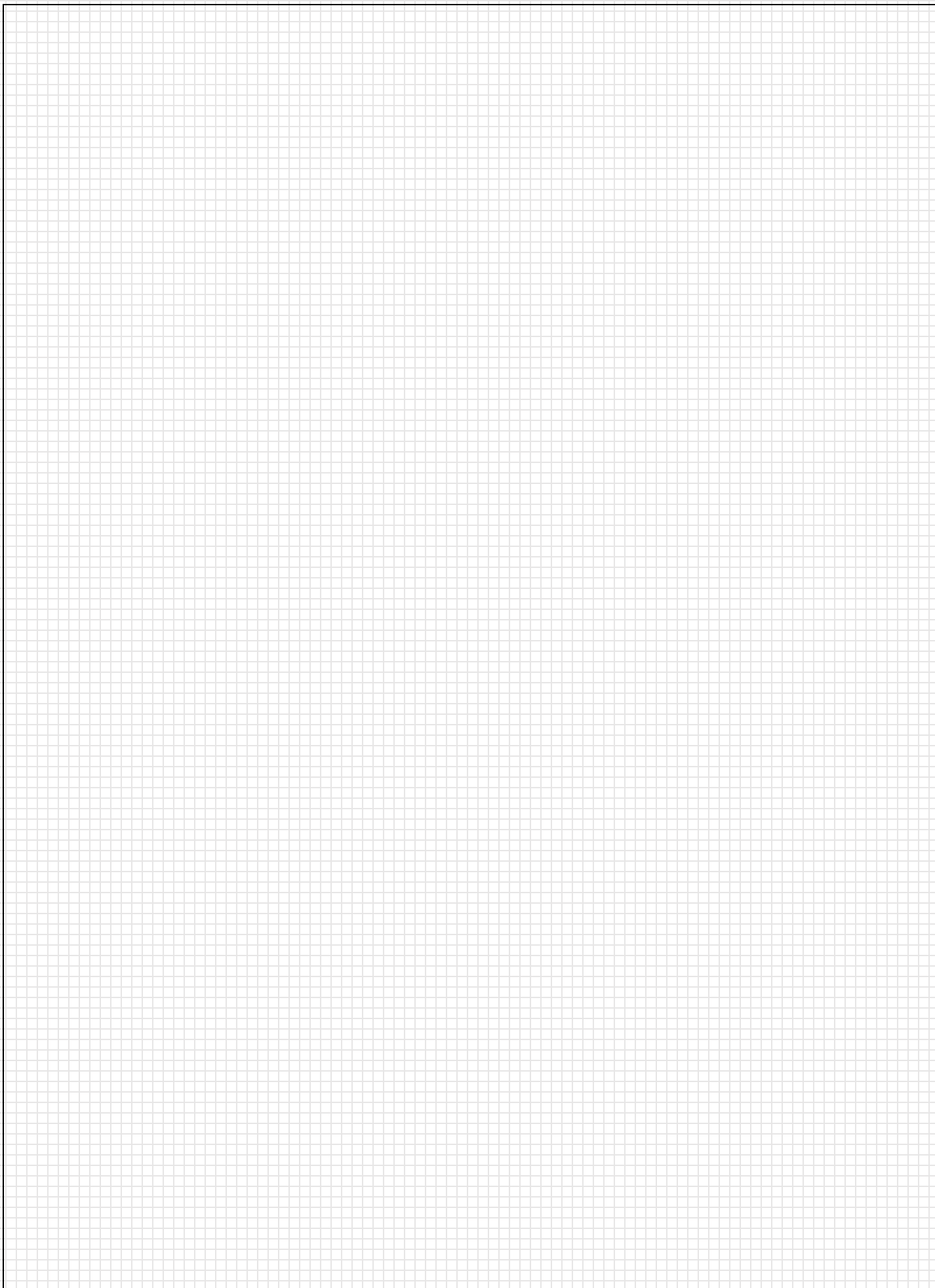


Figure 9



Question 10 [5 Points]

Capteur piézoélectrique

Une masse m_1 est placée sur un capteur piézoélectrique en PZT. Les dimensions du capteur sont : w , d et t . Voir Figure 10.

Le capteur piézoélectrique est polarisé dans la direction indiquée par la flèche rouge P en figure 10 (axe z). La permittivité relative du piézo est ϵ . Deux électrodes (en bleu) permettent de lire soit la tension V , soit la charge Q générée par le piézo.

- **Q10a.** Dessinez un circuit électrique équivalent pour un capteur piézoélectrique, incluant une résistance d'auto-décharge R_0 .
- **Q10b.** La masse m_1 est soudainement soumise à une accélération constante a , dans le sens indiqué dans la figure 10.
 - Exprimez la tension V en fonction de a , m_1 , d , t , w , des constantes piézoélectriques et de la permittivité.
 - Exprimez la charge Q aux électrodes en fonction de a , m_1 , d , t , w , des constantes piézoélectriques et de la permittivité.
- **Q10c.** Quel type de circuit de mesure serait adapté pour lire la tension sur un capteur piezoélectrique ? pourquoi ?
- **Q10d.** Avec un voltmètre idéal, et en négligeant les capacités parasites des câbles, quel est l'évolution dans le temps de la tension V suite à l'application soudaine d'une force F sur la masse selon l'axe x ?
- **Q10e.** Calculez la constante de temps pour $R_0=1\text{ G}\Omega$, $w = 10\text{ mm}$, $d = 1\text{ mm}$, $t = 10\text{ mm}$, $\epsilon = 1200$, $a = 500\text{ ms}^{-2}$. $\epsilon_0 = 9.10^{-12}\text{ m}^{-3}\text{ kg}^{-1}\text{ s}^4\text{ A}^2$

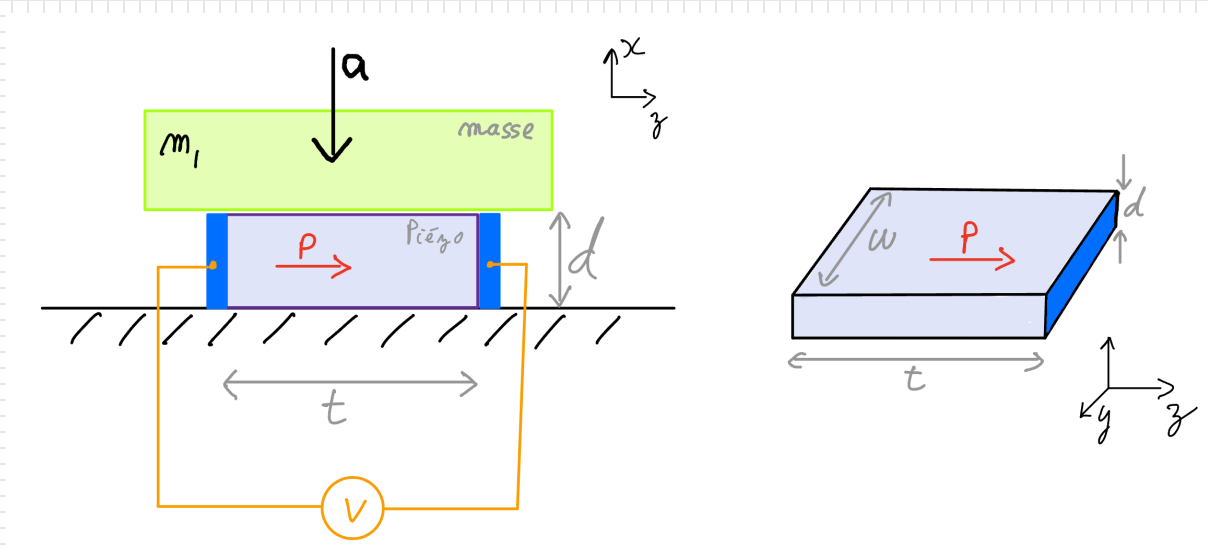
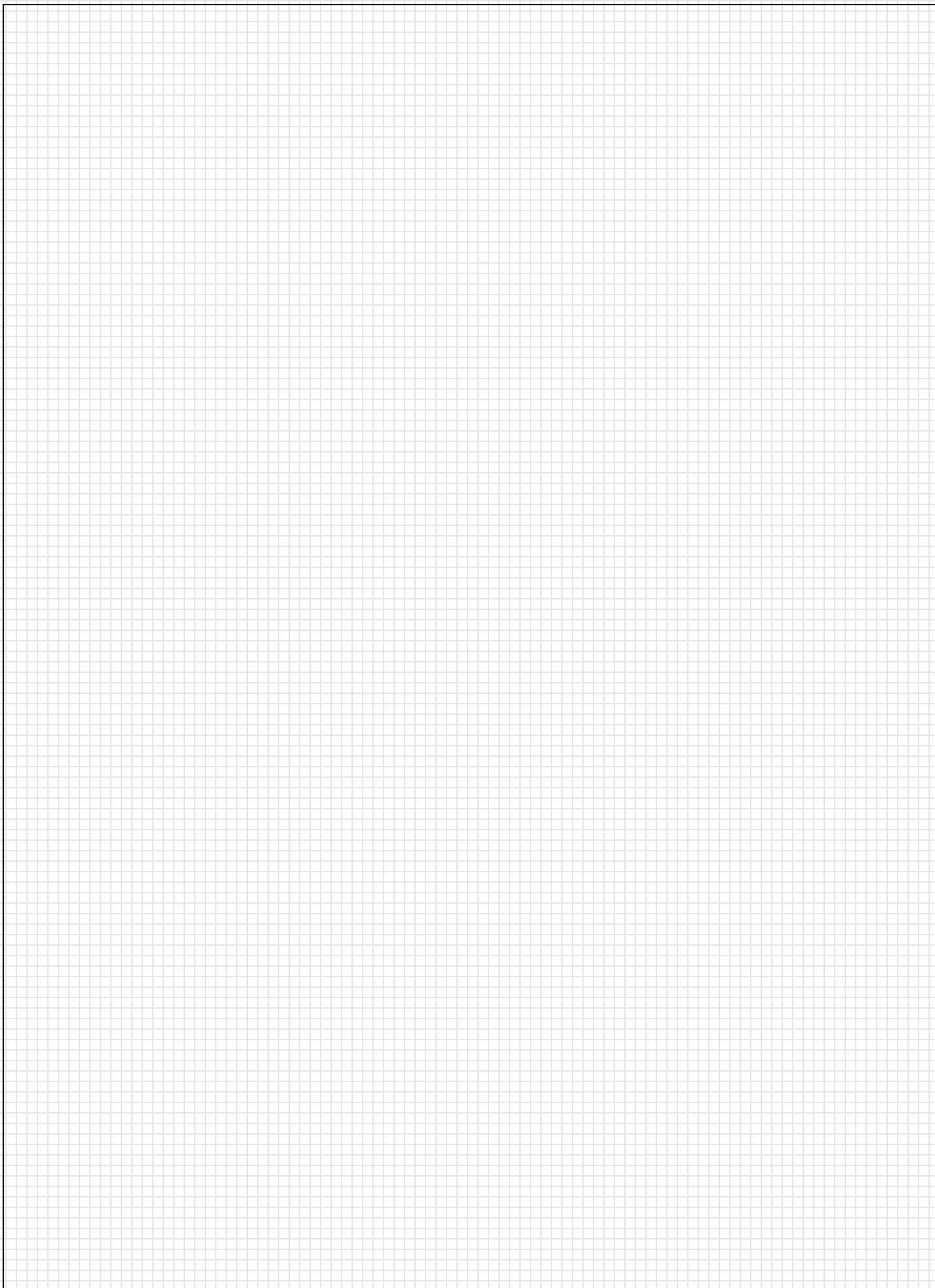
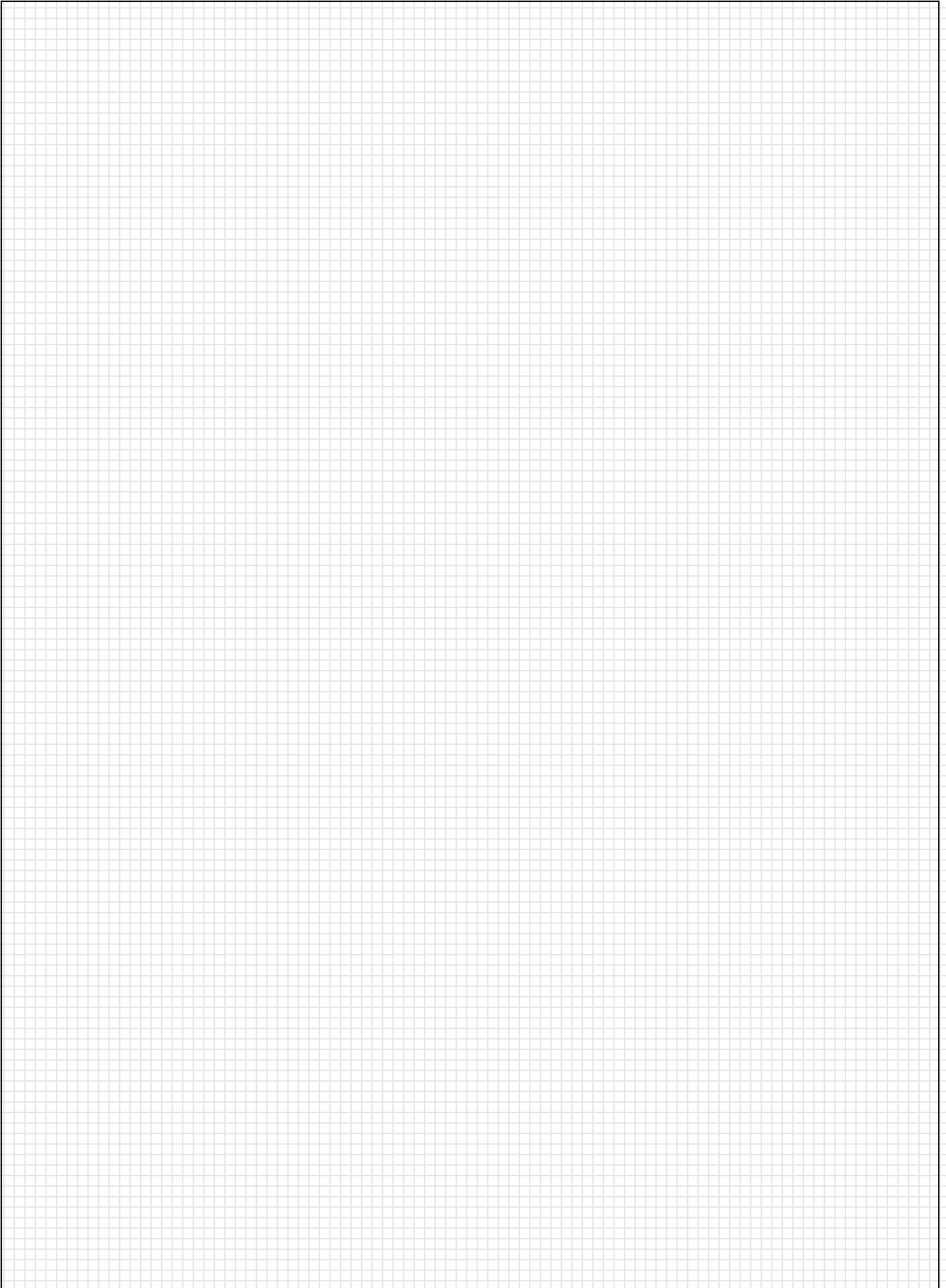
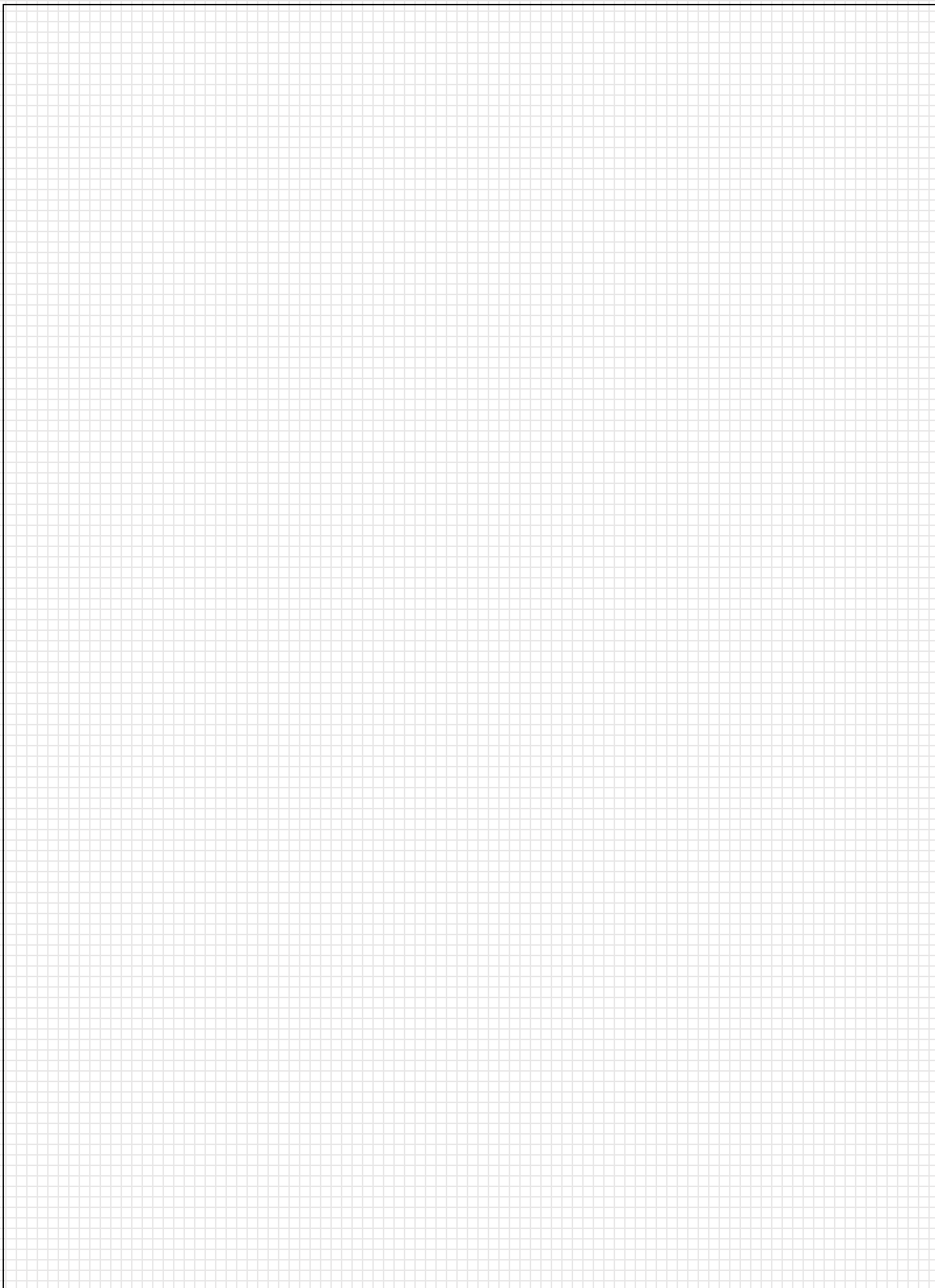


Fig 10







Question 11 [4 Points]

ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor)

La figure 11a montre le schéma d'un MOSFET. Le sujet de cette question est les ISFET.

- **Q11a:** Dessinez le schéma d'un ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor). Comment est-ce différent du MOSFET de la figure 11a ?
- **Q11 b.** Expliquez le principe de fonctionnement de l'ISFET (indications: principe physico-chimique à l'interface de l'oxyde de grille, rôle de l'électrode de référence, et équation de Nernst).
- **Q11c.** Le courant dans la partie linéaire (pré-saturation) de la courbe I_{DS} - V_{GS} est

$$I_{DS} = \beta \left[\underbrace{(V_{GS} + E_0 - 0.059 \cdot pH - V_{seuil_sans_liquide})}_{V_{seuil(pH)}} V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right]$$

- Tracer une courbe du courant drain-source (I_{DS}) en fonction de la tension de grille (V_{GS}) sur les axes ci-dessous (figure 11b), pour une tension de seuil d'environ 0.5 V (que nous définissons comme la courbe à pH=7)
- Tracer une seconde courbe qui correspond à pH=2. Mettre une flèche sur l'axe horizontal qui indique la nouvelle tension de seuil.
- Quelle est la sensibilité de l'ISFET au pH, si on mesure le V_{GS} requis pour travailler à un courant I_{DS} fixe (par exemple à 40 mA)?

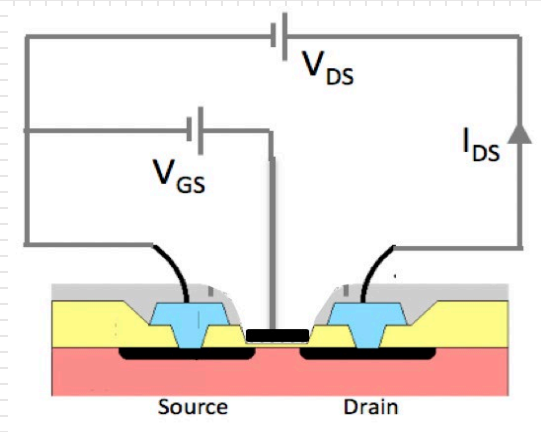


Figure 11a : MOSFET

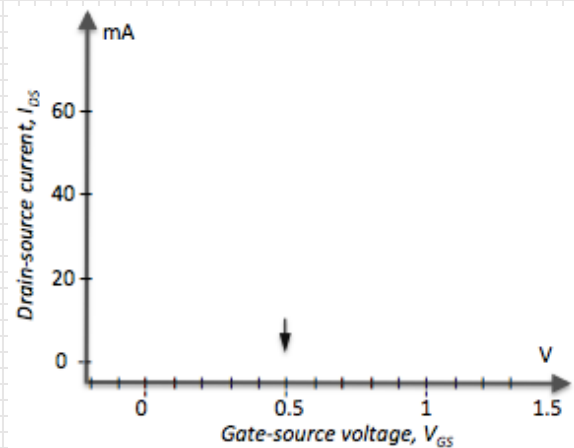


Figure 11b

