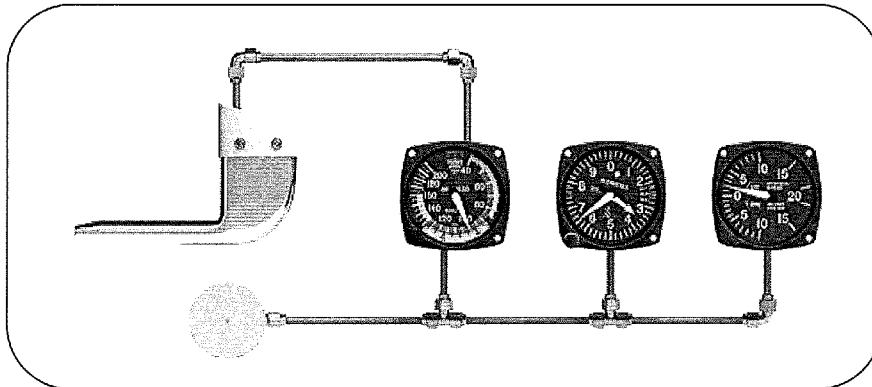
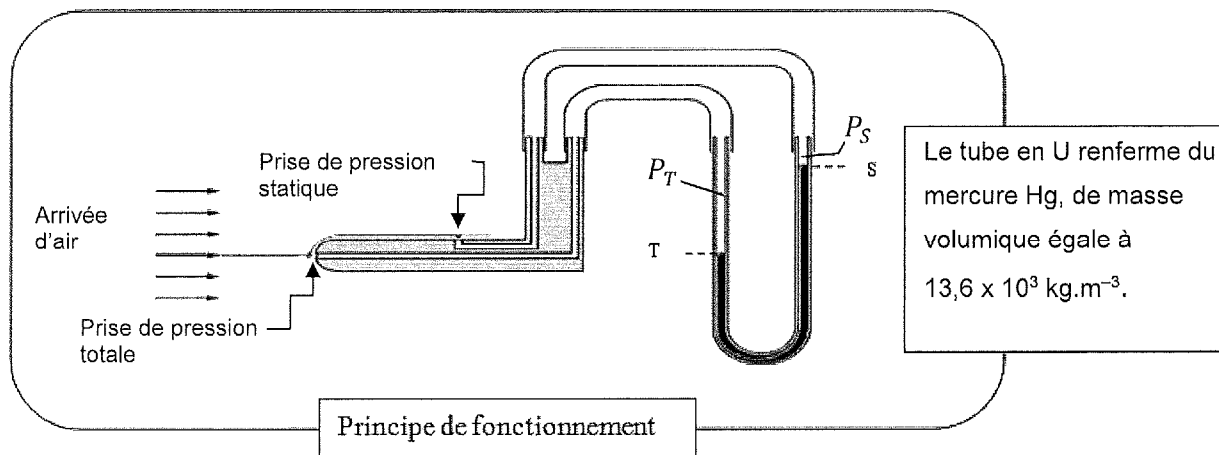


## Exercice 1 : Les instruments de bord d'un avion

La pression est une grandeur physique d'une très grande importance dans le milieu aéronautique. En effet, sa mesure permet de déterminer soit des altitudes, soit des vitesses.



- En aéronautique, on utilise pour unité **d'altitude** et de **vitesse** respectivement le pied et le nœud. Donner le nom des unités dans le système international des grandeurs : altitude, vitesse et pression.
- Pour mesurer la vitesse, on place une prise d'air nommée « tube de Pitot » orientée vers l'avant de l'avion. Cette prise d'air mesure la pression de l'air  $P_T$  (pression totale) qui augmente avec la vitesse de déplacement et par différence avec la pression atmosphérique (pression statique)  $P_S$ , on déduit la vitesse. Son fonctionnement peut être modélisé par le schéma ci-dessous :

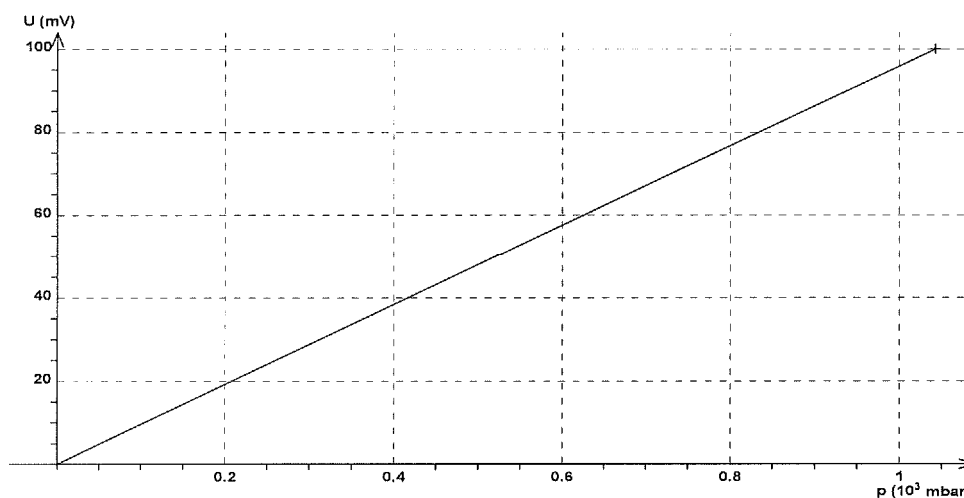


- Donner la relation fondamentale de l'hydrostatique entre les points S et T du tube en U en précisant les notations utilisées.
  - La différence de pression entre T et S est égale 342,5 hPa. Déterminer la hauteur (en cm) de mercure correspondante.
  - Le dispositif « tube en U » est-il adapté à l'utilisation dans un avion ? Justifier.
3. Dans un manuel aéronautique, on peut lire l'information : « *par un calcul rapide et simple, on considère que la vitesse augmente de 10 % par rapport à la vitesse indiquée au niveau de la mer, tous les 1800 m.* »

La variation de pression ( $P_T - P_S$ ) enregistrée est constante et égale à 342,5 hPa.

- Justifier le fait que ( $P_T - P_S$ ) soit une pression relative.

- 3.2. À l'aide du **document 1**, montrer que la vitesse  $v_0$  de l'avion au niveau de la mer (altitude nulle) vaut  $236 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- 3.3. La vitesse de l'avion à l'altitude de 1800 m, notée  $v_{1800}$ , est égale à  $258 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . L'information du manuel d'aéronautique est-elle correcte ? Justifier votre réponse.
4. Étude d'un capteur de pression (modèle 26 PCC de Honeywell) dont les caractéristiques figurent dans le **document 2**.
- 4.1. Dans les caractéristiques, il est indiqué qu'il s'agit d'un modèle à pression relative. Cette dénomination est-elle correcte ? Sinon la corriger.
- 4.2. Préciser le nom des grandeurs d'entrée et de sortie.
- 4.3. Indiquer l'étendue de mesure.
- 4.4. La sensibilité  $S$  d'un capteur est donnée par la relation :  $S = \frac{\Delta U}{\Delta p}$ . Calculer la sensibilité  $S$  de ce capteur en précisant son unité.
- 4.5. Un altimètre est un instrument barométrique. Il indique une altitude, ou une hauteur. Cette distance affichée dans le cockpit est déterminée par une chaîne de mesures dont le premier élément est le capteur. Le **document 3** représente l'évolution de l'altitude en fonction de la pression.
- a. Les avions volent à des altitudes comprises entre 0 et 12000 m (altitude de croisière). À l'aide des **documents 2 et 3**, indiquer sur le **document ci-dessous** le domaine utilisable de la grandeur de sortie du capteur. (La valeur des limites est à préciser).



- b. Justifier le choix du capteur « 26PCC » comme altimètre.

## DOCUMENTS ANNEXES

### Annexe 1

La relation mathématique reliant la vitesse à la variation de pression est donnée par :

$$v^2 = \frac{2(P_T - P_S)}{\rho} \quad \text{avec :}$$

$v$  vitesse de l'avion  
 $P_T$  pression totale  
 $P_S$  pression statique  
 $\rho$  masse volumique de l'air en  $\text{kg.m}^{-3}$

} unités du système international

#### Variation de la masse volumique de l'air en fonction de l'altitude

|  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Altitude (en km)   | 0     | 0,10  | 0,50  | 1,00  | 1,50  | 1,80  | 2,00  | 2,50  | 3,00  | 3,60  | 4,00  |
| Masse volumique $\rho$ de l'air (en $\text{kg.m}^{-3}$ ) | 1,225 | 1,213 | 1,167 | 1,112 | 1,057 | 1,027 | 1,017 | 0,957 | 0,909 | 0,846 | 0,819 |

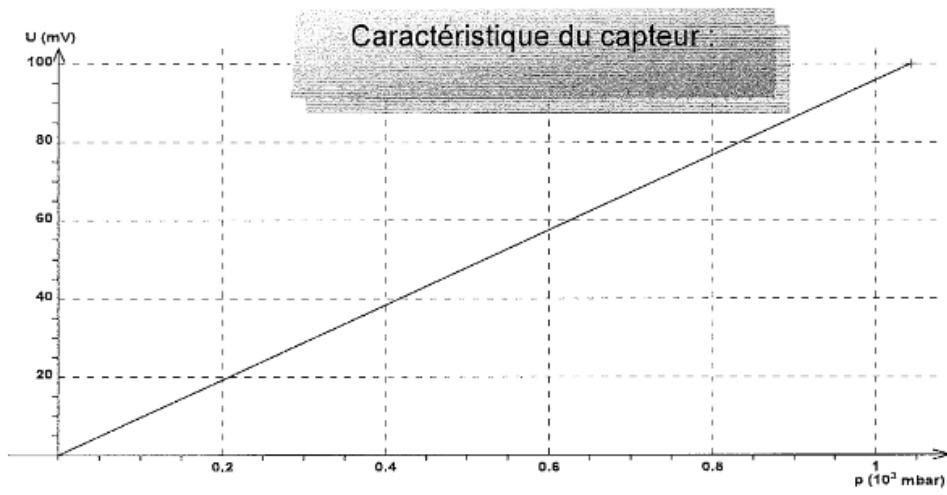
|  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Altitude (en km)   | 4,50  | 5,00  | 5,40  | 6,00  | 6,50  | 7,00  | 8,00  | 9,00  | 10,0  | 11,0  | 12,0  |
| Masse volumique $\rho$ de l'air (en $\text{kg.m}^{-3}$ ) | 0,770 | 0,736 | 0,705 | 0,660 | 0,624 | 0,590 | 0,526 | 0,467 | 0,414 | 0,365 | 0,312 |

### Annexe 2

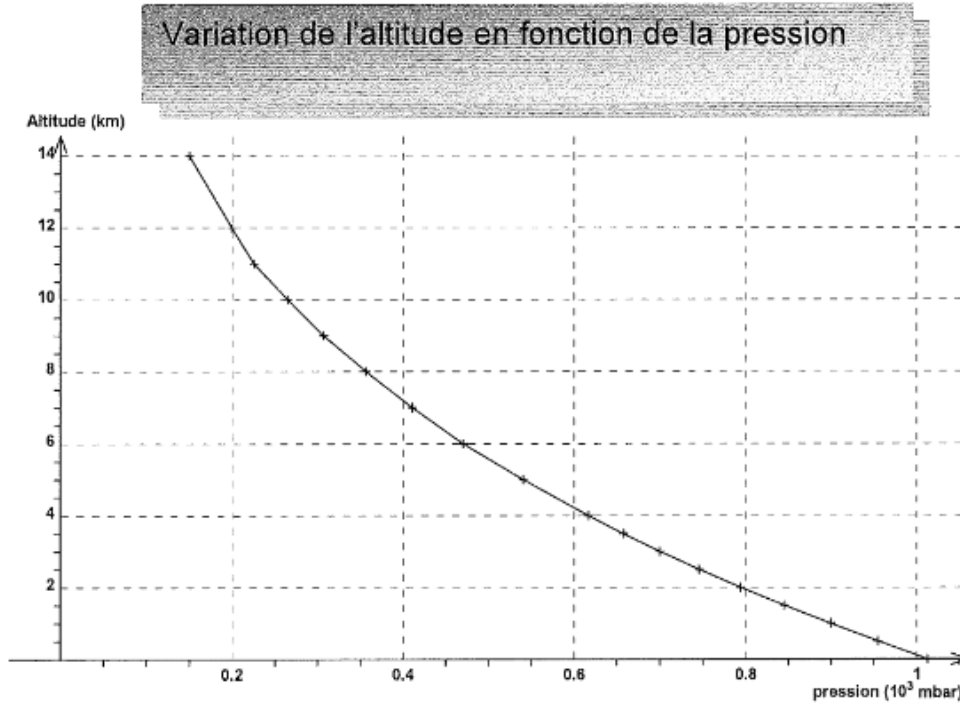
#### Capteur de pression 26 PCC de Honeywell

Entrée : 0 - 1043 mbar  
Température d'utilisation : - 40°C , 85°C  
Temps de réaction : 1 ms  
Volume : 2,18  $\text{cm}^3$   
Sortie : 0 ; 100 mV  
Sensibilité S : ?  
Modèle : pression relative (par rapport au vide)  
Raccord tuyau :  $\Phi = 6,35 \text{ mm}$



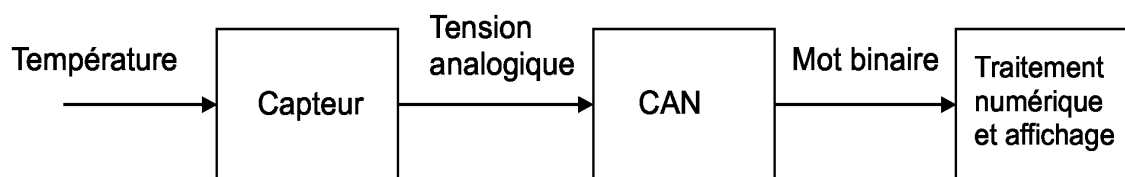


## Annexe 3



## Exercice 2 : thermomètre numérique

Le schéma ci-dessous résume la façon dont est traitée l'information pour afficher la température d'une pièce sur l'écran de contrôle :



CAN : convertisseur Analogique – Numérique

Une documentation du capteur de température est donnée sur l'**annexe 1**.

1. Calculer la sensibilité du capteur, notée « s », définie par la relation ci-dessous et préciser son unité :  $s = \frac{\Delta U}{\Delta \theta}$

$\theta$  : température en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U$  : tension analogique en volts (V)

2. On donne la relation entre la tension  $U$  (en V) et la température  $\theta$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ) :

$$U = 1,25 + 0,25 \times \theta$$

Pour une tension  $U = 6,25 \text{ V}$  en sortie du capteur, déterminer la température  $\theta_{\text{mesure}}$  correspondante.

3. En tenant compte de la précision du capteur, déterminer un encadrement de la température réelle  $\theta_{\text{réelle}}$  dans la pièce à l'aide des indications ci-dessous :

$$\theta_{\text{réelle}} = \theta_{\text{mesure}} \pm \Delta \theta$$

$$\Delta \theta = 0,5\% \text{ de la plage de mesure}$$

(La plage de mesure est la différence entre la température maximale et la température minimale pouvant être mesurée par le capteur)

On suppose que la tension de sortie du capteur est numérisée à l'aide d'un convertisseur analogique – numérique 4 bits.

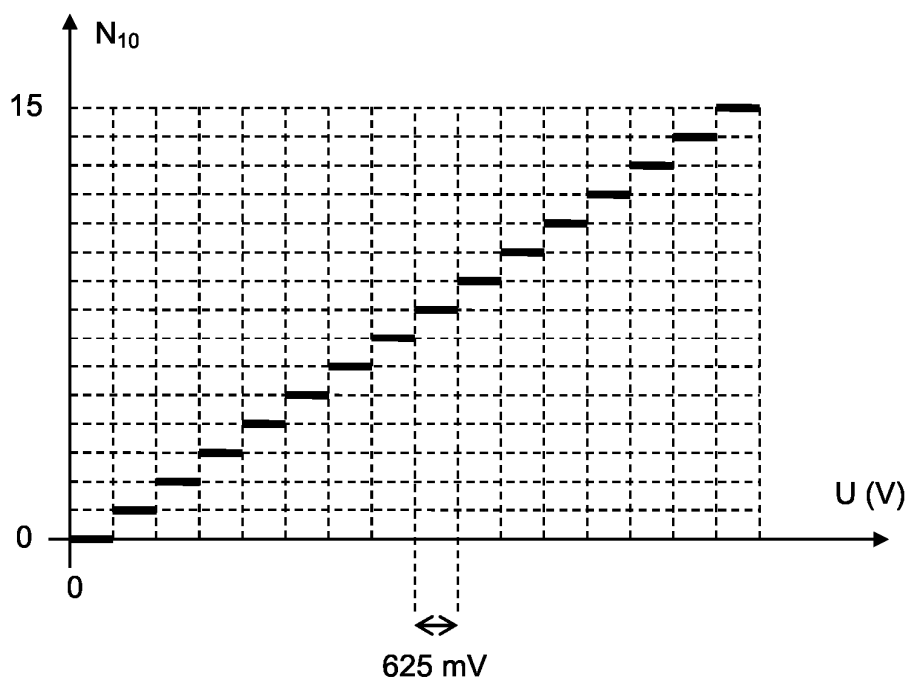
On appelle  $N$  le mot binaire de sortie du convertisseur et  $N_{10}$  sa valeur décimale.

Rappels sur les grandeurs numériques pour 4 bits :

Expression générale :  $N = a_3 a_2 a_1 a_0$        $N_{10} = a_3 \cdot 2^3 + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$

Exemple :  $N = 0 1 0 1$        $N_{10} = 0 + 2^2 + 0 + 2^0 = 5$

La caractéristique de transfert du convertisseur est donnée ci-dessous :



4. Quel est le nombre de valeurs possibles du mot numérique N en sortie du convertisseur ?
5. Donner la valeur  $N_{10}$  et écrire le mot binaire N correspondant si la tension d'entrée du convertisseur est  $U = 4 \text{ V}$ .
6. Le pas de quantification de ce convertisseur, comme indiqué sur la caractéristique, est de 625 mV. Cela signifie que la valeur affichée à l'écran ne sera modifiée que pour une variation de tension au moins égale à  $\Delta U = 625 \text{ mV}$ .

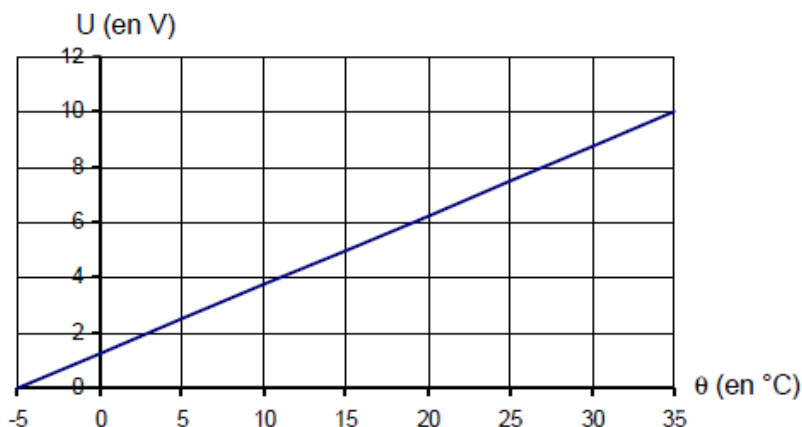
Déterminer la variation de température correspondante  $\Delta\theta$ , et commenter l'influence de cette valeur sur la précision de l'affichage.

7. Avec un convertisseur analogique – numérique fonctionnant sur 8 bits, le nombre de valeurs possibles du mot numérique N est  $2^8 = 256$ . En déduire  $\Delta\theta$ , et justifier que la précision est améliorée.

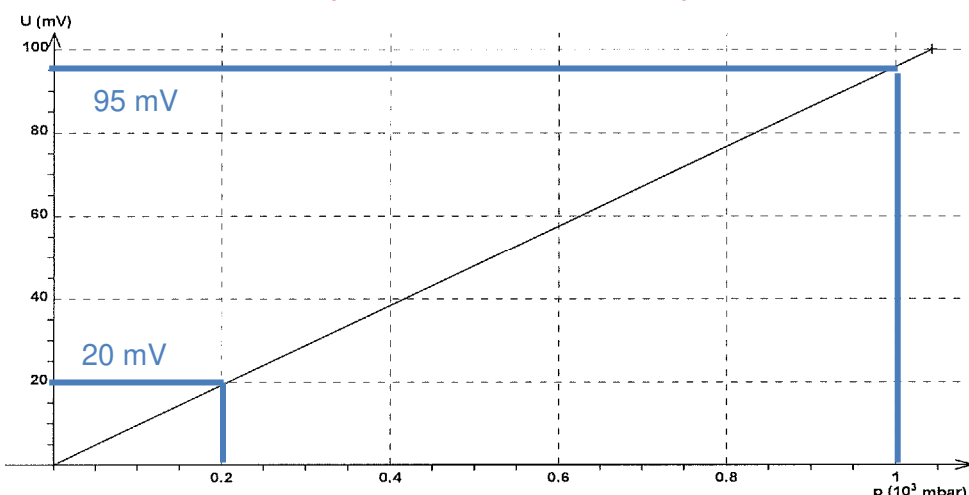
### Annexe 1 : documentation du capteur de température

Caractéristique  $U = f(\theta)$  :

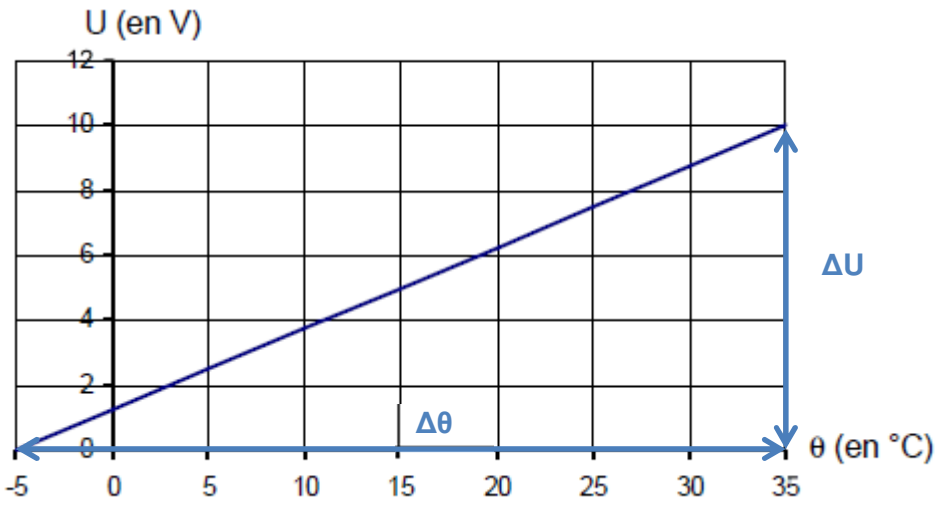
|                   |  |
|-------------------|--|
| Element sensible  | Pt 100                                 |
| Plage de mesure   | $-5^\circ\text{C} ; +35^\circ\text{C}$ |
| Tension de sortie | $0\text{V} ; 10\text{V}$               |



## Exercice 1 : Les instruments de bord d'un avion

|       |  |
|-------|--|
| 1.    | Dans le système international :<br>L'altitude est en mètre, la vitesse en mètre par seconde et la pression en pascal.  |
| 2.1.  | La relation fondamentale de l'hydrostatique entre S et T donne :<br>$P_T - P_S = \rho \times g \times h$ ou h est la dénivellation entre S et T et $\rho$ la masse volumique du mercure.   |
| 2.2.  | $h = \frac{P_T - P_S}{\rho \times g} = \frac{342,5 \cdot 10^2 \text{ Pa}}{13,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 9,80 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0,26 \text{ m} = 26 \text{ cm}$   |
| 2.3.  | Un tel dispositif n'est pas adapté pour un avion, il faut un capteur qui permette une lecture rapide de la pression.   |
| 3.1.  | $P_T - P_S$ est une pression relative : on ne mesure pas par rapport au vide, mais par rapport à la pression atmosphérique.  |
| 3.2.  | Au niveau de la mer, on a $\rho = 1,225 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$<br>Avec la formule donnée, on a :<br>$v = \sqrt{\frac{2(P_T - P_S)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 342,5 \cdot 10^2 \text{ Pa}}{1,225 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}} = 236 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$   |
| 3.3.  | D'après le manuel, la vitesse devrait augmenter de 10 % et donc atteindre la valeur de $236 \cdot 1,1 = 260 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ donc environ égale à $258 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .<br>On peut considérer que cette information est correcte.  |
| 4.1.  | La mesure de pression est faite par rapport au vide : c'est donc une pression absolue.   |
| 4.2.  | La grandeur d'entrée est une pression<br>La grandeur de sortie est une tension.  |
| 4.3.  | La grandeur d'entrée est entre 0 et 1043 mbar, donc une étendue de 1043 mbar = 1,043 bar.  |
| 4.4.  | On a $\Delta p = 1043 \text{ mbar} = 1,043 \text{ bar}$ et $\Delta U = 100 \text{ mV} = 0,100 \text{ V}$<br>$S = \frac{\Delta U}{\Delta p} = \frac{0,100 - 0}{1,043 - 0} = 9,59 \text{ V} \cdot \text{bar}^{-1}$   |
| 4.5.a | D'après le document 3, entre 0 et 12 km d'altitude, la pression varie entre $0,2 \cdot 10^3 \text{ mbar}$ et $1 \cdot 10^3 \text{ mbar}$ . (entre 200 et 1000 mbar)<br> <p>Pour une altitude qui varie entre 0 et 12 km, la grandeur de sortie du capteur varie entre 20 et 95 mV.</p> |
| 4.5.b | Les valeurs de tension de sortie sont bien comprises entre 0 et 100 mV, ce capteur est donc adapté.  |

## Exercice 2 : thermomètre numérique

|           |   |
|-----------|---|
| <b>1.</b> |   |
|           | $s = \frac{\Delta U}{\Delta \theta} = \frac{10-0}{35-(-5)} = 0,25 \text{ V} \cdot \text{°C}^{-1}$   |
| <b>2.</b> | <p>D'après la relation ci-dessus : <math>\theta_{\text{mesure}} = \frac{U-1,25}{0,25} = \frac{6,25-1,25}{0,25} = 20\text{°C}</math></p>   |
| <b>3.</b> | <p>La plage de mesure va de <math>-5,0\text{°C}</math> à <math>+35\text{°C}</math>, c'est-à-dire qu'elle vaut <math>40\text{°C}</math>.</p> $\Delta \theta = \frac{0,5 \times 40}{100} = 0,2\text{°C}$ <p><math>\theta_{\text{réelle}} = 20,0\text{°C} \pm 0,2\text{°C}</math> ou <math>18,8\text{°C} \leq \theta_{\text{réelle}} \leq 20,2\text{°C}</math></p> |
| <b>4.</b> | <p>Le graphique ci-dessus présente 16 paliers : il y a donc 16 valeurs possibles.</p>   |
| <b>5.</b> | <p>Il faut trouver où se situe 4V sur l'axe des abscisses du graphique ci-dessus :</p> $6 \times 0,625 = 3,75 \text{ V}$ $7 \times 0,625 = 4,375 \text{ V}$ <p>La valeur <math>U=4\text{V}</math> correspond au 6<sup>e</sup> palier, donc <math>N_{10} = 6</math></p> $6 = 0 + 2^2 + 2^1 + 0, \text{ alors } N = 0110$   |
| <b>6.</b> | $\Delta \theta = \frac{\Delta U}{s} = \frac{0,625}{0,25} = 2,50\text{°C}$ <p>La valeur sera affichée avec une précision de <math>2,5\text{°C}</math>, ce qui n'est pas très précis.</p>   |
| <b>7.</b> | <p>Dans ce cas, on aura <math>\Delta U = \frac{10}{256} = 0,04\text{V}</math></p> <p>Donc <math>\Delta \theta = \frac{\Delta U}{s} = \frac{0,04}{0,25} = 0,16\text{°C}</math></p> <p>La valeur est plus faible qu'avec le convertisseur précédent, l'affichage sera donc plus précis.</p>   |