

Projet dirigé par Mr Degobert.

Flying Frog

Groupe C3

Sommaire:

Introduction.....	p3
I - Présentation générale.....	p4
1 - Structure du ballon.....	p4
2 - Liste du matériel embarqué	p4
3 - Caractéristiques globales de la nacelle.....	p5
II - Expériences réalisées.....	p6
1 – Mesure de pression.....	p6
2 - Mesure de température.....	p8
3 - Mesure de la luminosité.....	p9
4 - Photographies aériennes.....	p10
5 - Propagation du son.....	p10
III – Démarches administratives.....	p14
1 - Demande d'autorisation à la mairie de Lille.	p15
2 - Deuxième demande d'autorisation à l'aviation civile.....	p16
Conclusion.....	p16
Annexes.....	p17

I - Introduction

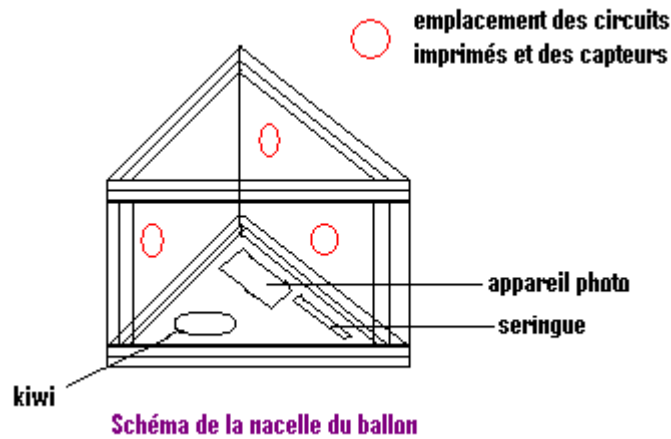
L'utilisation d'un ballon sonde permet de réaliser des mesures et expériences diverses en haute atmosphère.

L'objectif de ce PIT est de réaliser la nacelle d'un ballon sonde ainsi que l'organisation du lancement. Les expériences choisies sont l'étude de la température, de la pression, de la luminosité, du son et la prise de photos exceptionnelles. Dans ce projet, nous disposons d'un budget de 200 euros qu'il faut optimiser au maximum. Pour cela, il convient de choisir au mieux les composants avec le meilleur rapport qualité prix possible.

Le principe de la conception du ballon est simple : le ballon est rempli d'hélium, une nacelle est attachée en dessous et est alors emportée dans l'atmosphère avec le ballon. La pression extérieure diminuant avec l'altitude, le volume du ballon augmente jusqu'à l'explosion à environ 25 km d'altitude. Alors la nacelle chute de quelques mètres dans le vide, puis le parachute s'ouvre et le reste de la chute se fait plus doucement grâce à ce parachute. Toute la manipulation dure environ trois ou quatre heures. Par la suite, on essayera de récupérer la nacelle et d'exploiter les résultats obtenus.

II - Présentation générale

1 - Structure du ballon



Pour optimiser au maximum l'espace dans la nacelle et le coût global de celle-ci, on choisit une structure triangulaire en plaçant l'appareil photo, la seringue, le kiwi ainsi que les piles nécessaires à l'alimentation dans le fond de la boîte. Le reste se trouve sur les côtés et à l'extérieur de la nacelle.

Les dimensions de la nacelle sont de 48x59x30 cm

2 - Liste du matériel embarqué

Nacelle :

- plaques de polystyrène collées

Température :

- capteur LM 335Z
- résistances (4,7 k Ω , 2 x 1 k Ω , 2 k Ω , 10 k Ω)
- deux potentiomètres 10 k Ω
- condensateurs 100 μ F et 10 μ F
- diode Zener 5,6 V
- AO (composant 14 broches composé de 4 AO) : CI = TL 084

Pression 1 :

- capteur de pression 24 PCC FA2G (pression relative)

Pression 2 (seringue) : (50g)

- seringue
- potentiomètre linéaire 10 cm de course : STRSA0N08

Luminosité :

- Photo-générateur Solems 05/048/016

Son :

- micro : Capsule MCE-2000
- Buzzer PIEZO :

Photos :

- Appareil photo (200g)
- pellicule XXX ASA
- temporisation
- Buzzer 12 V
- Convertisseur fréquence tension LM2917
- résistances : 91 k Ω , 100 k Ω , 10 k Ω
- condensateurs 1000 pF et 0,47 μ F

3 - Caractéristiques globales de la nacelle

Plaques :

6 plaques de polystyrène extrudé gaufré Wallmate MB5LA :

- épaisseur : 40 mm (2 plaques collées de 20 mm)
- dimensions : 1250 600mm
- prix unitaire : 7.45euros

Les rebus servent à fixer à l'intérieur des nacelles les différents éléments.

Assemblage :

Au moyen de colle pour polystyrène extrudé et de cordelettes de 230 N pour fermer la nacelle

- prix de la colle : 5.81euros pour 500ml de colle
- prix de la boule de cordelette : 2euros

Répartition du poids :

Cette répartition doit être homogène pour équilibrer au mieux la nacelle lors de son ascension. La répartition des piles se fera donc de manière précise pour une optimisation maximale du poids de la nacelle. Celle-ci étant en effet assez turbulente, il faut tenter de stabiliser l'ensemble surtout pour la prise des photos.

II – EXPERIENCES REALISEES

Après avoir choisi les expériences à réaliser, nous nous sommes donc focalisés sur la recherche de solutions pour les mesures suivantes :

- La température permet d'évaluer l'altitude jusqu'à 10000 m.
- La pression évalue l'altitude tout au long du vol grâce aux tables de références.
- L'intensité lumineuse placée latéralement augmentant devant le soleil, donnera un facteur de fréquence de rotation de la nacelle sur elle-même.
- L'appareil photo prendra des vues du sol très régulièrement au décollage puis de façon moins régulière en cours de vol.

La mesure de l'altitude n'est pas directe. Elle est donnée par une table ou courbe donnant des altitudes approximatives correspondant aux valeurs de température, pression et densité de l'air constatées.

Des études en laboratoire ont été réalisées sur les différents capteurs.

1 - Mesure de pression

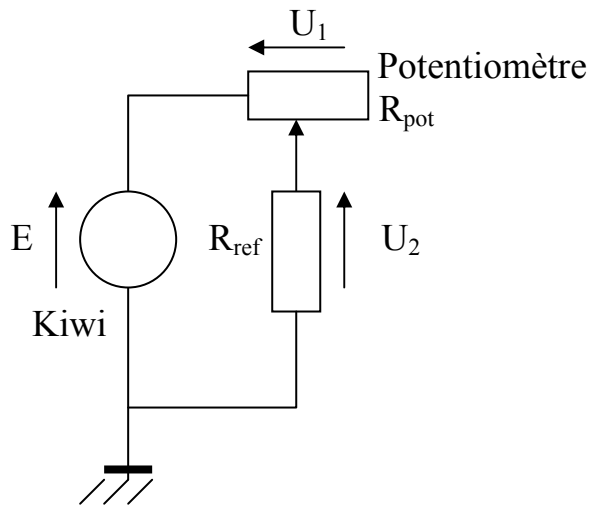
– Nous utilisons deux systèmes pour mesurer la pression afin de les comparer.

Il y a un système mécanique composé d'une seringue et d'un potentiomètre rectiligne et un autre système utilisant un capteur électronique

a) systeme mecanique

- composants :
 - seringue standard
1€
 - potentiometre rectiligne à glissière de course 10 cm
(RADIOSPARES STRSA0N08)
6.02 €

- montage et fonctionnement :



$$U_1 = \frac{R_{pot}}{R_{ref} + R_{pot}} E$$

$$U_2 = \frac{R_{ref}}{R_{ref} + R_{pot}} E$$

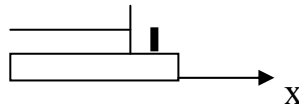
$$R_{pot} = k \cdot x$$

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{Sx} = \frac{knRT}{SR_{pot}}$$

$$P = \frac{C}{R_{pot}}$$

$$P = \frac{C}{R_{ref} \left(\frac{1}{U_2} - \frac{1}{U_1} \right)}$$



b) système électronique

- composants :
 - capteur de pression relative (SELECTRONIC 24 PCC FA2G)
25.71 €
- fonctionnement :

On mesure aux bornes du capteur une tension comprise entre 0 et 5 V proportionnelle à la pression.

- Etalonnage des capteurs de pressions :

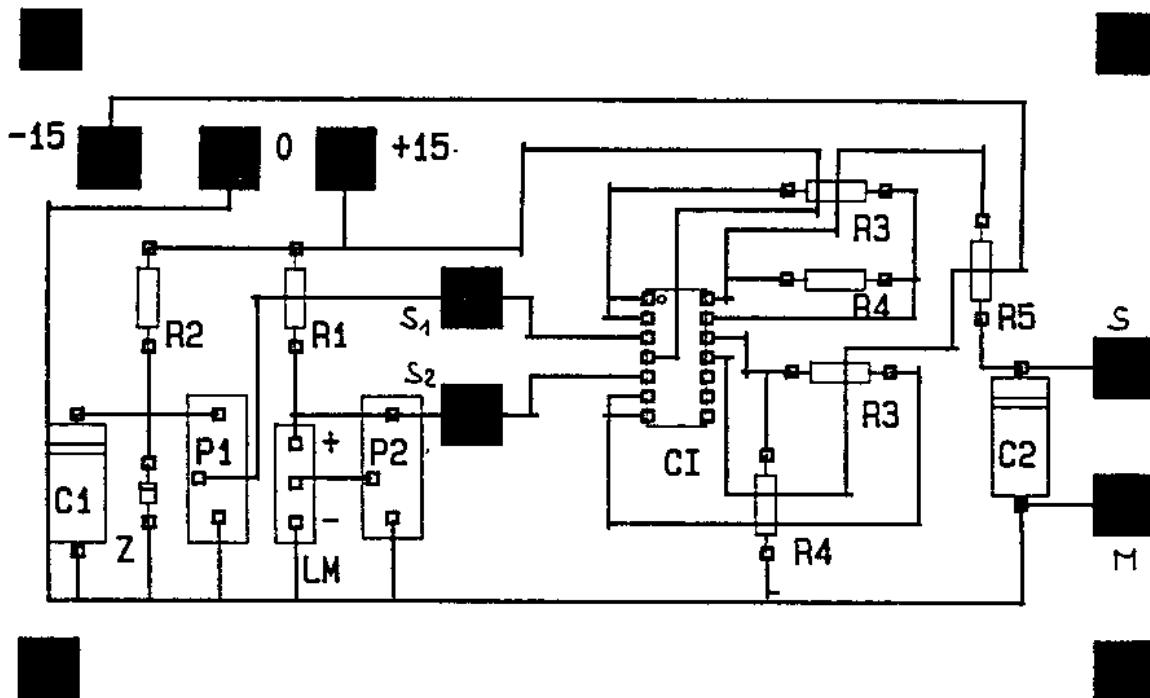
On utilise une cloche à vide qui permet d'abaisser la pression jusqu'à 0.4 Bar. On relie un voltmètre au capteur et on relève les tensions ainsi on détermine le coefficient reliant les pressions aux tensions relevées.

2 - Mesure de température

Les très faibles températures (environs -40 °C) rencontrées par le Ballon lors de son voyage à haute altitude nous imposent de choisir des composants très résistants thermiquement et de sélectionner un capteur précis dans ces conditions extrêmes.

- composants :
 - capteur (SELECTRONIC LM 335Z)
il peut capter des températures jusqu'à -60 °C
 - résistances (4.7 kΩ, 2 x 1 kΩ, 10 kΩ)
 - 2 potentiomètres (10 kΩ)
 - condensateurs (100 μF, 10 μF)
 - diode Zener 5.6 V
 - AO (composant 14 broches composé de 4 AO) : (TL 084)

- Montage et fonctionnement :



Montage d'analyse de la température

Ce montage donne en sortie au niveau du Kiwi une tension proportionnelle à la température en degrés Celsius.

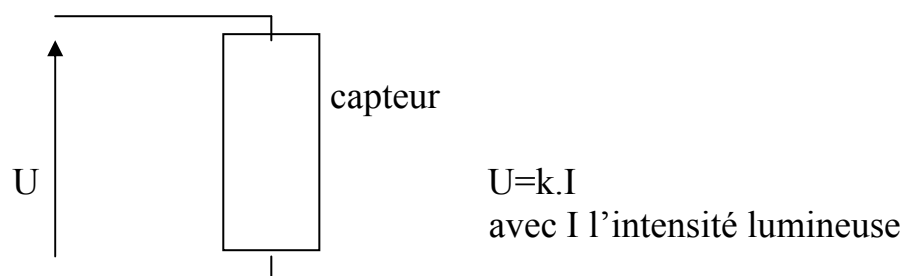
- étalonnage :

On utilise une bombe à froid. Elle atteint la température très basse de -40°C . Grâce à un multimètre, on note les tensions correspondant aux températures relevées.

3 - Mesure de luminosité

- composant :
 - Photo-générateur (SOLEMS 05/048/016) 3.90 €

- Montage et fonctionnement



La cellule photovoltaïque est placée à l'extérieur de la nacelle. Elle produit une tension U comprise entre 0 et 4 V proportionnelle à l'intensité lumineuse I qu'elle capte. Ainsi on pourra relever les variations de luminosité en fonction de l'altitude que l'on détermine à partir d'une table donnant les pressions et température en fonction de l'altitude.

4 - Photographies aériennes

Nous allons photographier la Terre vue du ciel. Les photos prises à moyenne et grande altitude nous donneront un aperçu de la courbure de la Terre.

Nous utilisons pour cela, un appareil photo à viseur extra large et autofocus pour obtenir des images les plus nettes possible. Cet appareil est muni d'un déclencheur électronique relativement léger. Les photos seront prises toutes les 15 secondes c'est-à-dire pendant les 9 premières minutes du vol.

- matériels :
 - appareil photo CANON Prima AF-9S
bon rapport qualité-prix (50.11 €) et poids de 210g
 - temporisateur cadenceur (kit K2599,22.5538)
20.58 €
 - pellicule 400 ASA 36 poses
4€

prix total : 74.69 €

poids total : 248 g + les piles

5 - Propagation du son

Nous souhaitons mesurer une différence de propagation du son au cours de l'ascension du ballon.

Nous avons donc choisi de capter la fréquence d'un signal émis en mono fréquence par un buzzer. Nous pensons que cette fréquence, va, comme dans le modèle permettre d'accéder à la vitesse du son dans l'air. Le buzzer est accroché à un mètre sous la nacelle et envoie un signal au microphone placé dans la plaque inférieure de la nacelle.

a) Equations générales

Équation de conservation de la matière :
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$$

Équation d'Euler :
$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \text{grad}(\vec{v}) = \vec{f}_m - \frac{\text{grad}(p)}{\rho}$$

Coefficient de compressibilité :
$$\chi_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s$$

b) Hypothèses de linéarisation des équations :

- Fluide non visqueux
- Pesanteur négligée
- Approximation de l'acoustique linéaire :
 - $\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$
 - $P(M,t) = P_0 + p(M,t)$

Avec :

- $\rho_0 \gg \mu$
- $P_0 \gg p$
- $\mu p v$ infiniment petit d'ordre 1

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$$

$$\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$$

$$\boxed{\frac{\partial \mu}{\partial t} + \rho_0 \text{div}(\vec{v}) = 0}$$

c) Linéarisation de l'équation d'Euler

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \text{grad}(\vec{v}) = \vec{f}_m - \frac{\text{grad}(p)}{\rho}$$

$$\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$$

$$P(M,t) = P_0 + p(M,t)$$

$$\boxed{\rho_0 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\text{grad}(p)}$$

d) Linéarisation du coefficient de compressibilité

$$\chi_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s$$

$$\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$$

$$P(M,t) = P_0 + p(M,t)$$

$$\boxed{\mu = \rho_0 \chi_s p}$$

e) Équations linéarisées

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial \mu}{\partial t} + \rho_0 \text{div}(\vec{v}) = 0 \\ \rho_0 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\text{grad}(p) \\ \mu = \rho_0 \chi_s p \end{array} \right\} \Delta v(M,t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}(M,t) = 0$$

$$\boxed{c = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \chi_s}}}$$

Équation de d'Alembert de propagation

f) Comment mesurer la vitesse du son dans l'air ?

Pour toute onde on a : $\lambda = \frac{c \cdot 2\pi}{w}$

Avec :

λ période spatiale de l'onde imposé par le haut-parleur
 w pulsation de l'onde
 c vitesse du son

Il nous suffit de mesurer w .

g) Mesure de w

$$u(t) = A \cdot \cos(\omega t) \xrightarrow{\text{A.O.dérivateur}} \frac{\partial u}{\partial t}(t) = A\omega \cdot \sin(\omega t)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(t) = A\omega \cdot \sin(\omega t) \xrightarrow{\text{Multiplieur}} (A\omega \cdot \sin(\omega t))^2$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(t) = A\omega \cdot \sin(\omega t) \xrightarrow{\text{A.O.Déphaseur}} A\omega \cdot \cos(\omega t)$$

$$A\omega \cdot \cos(\omega t) \xrightarrow{\text{Multiplieur}} (A\omega \cdot \cos(\omega t))^2$$

Puis en sommant on obtient : $(A\omega)^2$

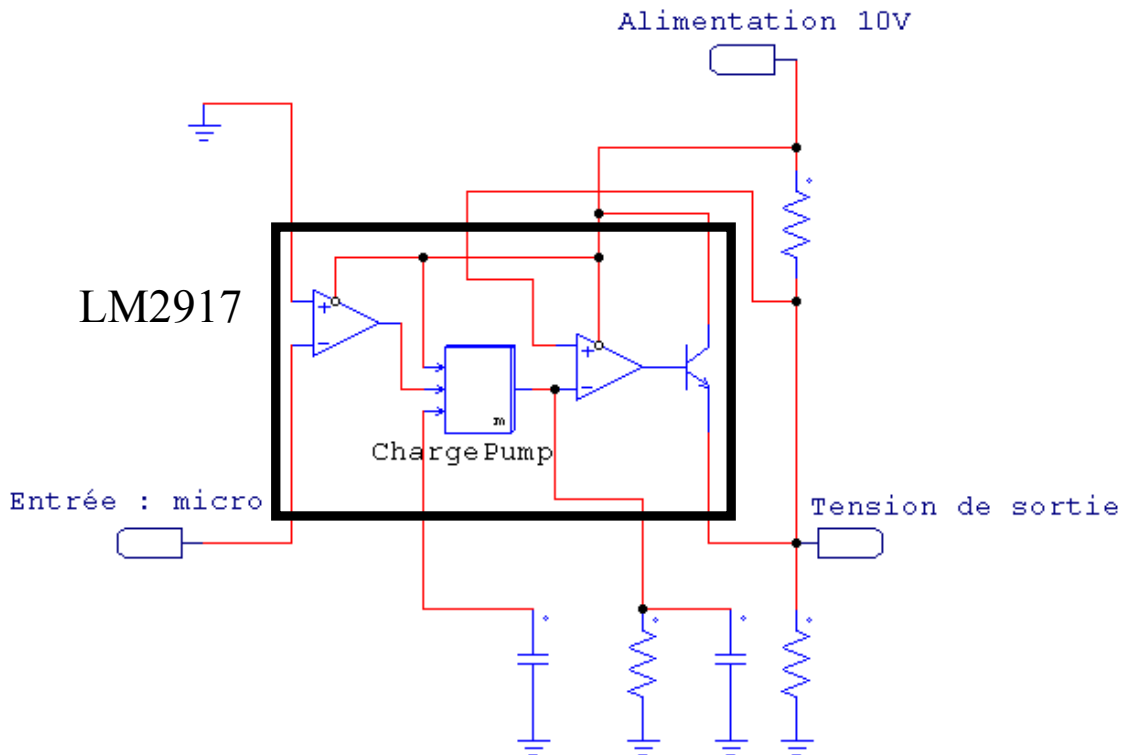
h) Résultats attendus :

On va supposer l'air comme étant un gaz parfait isentropique, on obtient :

$$\chi_s = \frac{1}{\gamma P}$$

Puis : $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

i) Schéma d'utilisation du signal délivré par le micro



Convertisseur fréquence tension

III – DEMARCHES ADMINISTRATIVES

Cet aspect du projet représente une part importante de notre démarche : il nous permet de prendre contact avec les administrations et de gérer des questions administratives, avec notamment la demande de diverses autorisations. Les démarches administratives nécessaires au lâcher de notre ballon se déroulent en deux phases :

- Après avoir fait le choix d'une date de lancer, nous devons demander à la mairie de nous attribuer une aire de lancement pour notre ballon.
- Nous devons contacter l'aviation civile qui doit nous fournir son autorisation pour effectuer notre lâcher.

L'aspect le plus important consiste en cette deuxième étape car si nous ne disposons pas de cette autorisation de l'aviation civile, nous ne pouvons en aucun cas procéder au lâcher.

1 - Demande d'autorisation à la mairie de Lille

Nous fixons alors la date de lancer au mercredi 26 mai. C'est la deuxième fois que nous faisons les démarches administratives : une première date (le 5 mai) avait été convenue mais des intervenants essentiels se sont désistés. Nous avons donc déjà contacté la mairie de Lille pour l'obtention d'une aire de lancer aux environs du mois de novembre: nous avons adressés une lettre à monsieur Pierre-Marie Lebrun, directeur adjoint de l'hôtel de ville de Lille dans laquelle nous lui exposons notre projet : nous travaillons sur un projet qui consiste à équiper de capteurs et matériel d'étude la nacelle d'un ballon donné par l'A.N.S.T.J-CNES. Nous lui envoyions également un descriptif complet de notre ballon (cahier des charges imposé par l'A.N.S.T.J-CNES) expliquant les caractéristiques du projet : le matériel utilisé est un ballon en élastomère qui une fois gonflé sera d'environ deux mètres de diamètre, une petite nacelle en polystyrène contenant des systèmes électroniques, le tout pesant moins de 2.5 kilo et étant sans danger (aucune antenne ou pointe qui dépasse, pas de constituants chimiques) afin de garantir une sécurité optimale au point d'atterrissage de la nacelle.

Nous ne pouvons procéder au lâcher à cette date que si les conditions météorologiques nous le permettent, et ce dans une zone assez dégagée, le ballon étant assez fragile. L'endroit retenu doit de plus posséder une alimentation électrique à proximité afin de pouvoir brancher les ordinateurs. Nous proposons donc une aire telle un stade, une place voire, en dernier recours la cours de l'ENSAM à Lille bien que cette dernière nous semble peut-être défavorable au projet dans la mesure où cette cours est dominée par une cheminée qui pourrait endommager prématurément le ballon et ainsi clore le projet.

Suite à cette lettre, nous obtenons une première réponse le 15 janvier 2004 nous proposant pour aire de lâcher la place de la République à Lille, sous réserve que nous disposions de l'accord du district aéronautique. Cette proposition nous étonne un peu car cette place, bien qu'étendue, se trouve en plein coeur de la ville.

Lors de notre deuxième demande à la mairie pour le lâcher définitif (26 mai), la mairie nous redonne son accord, toujours sous réserve d'accord de l'aviation civile, sans pour autant nous proposer un lieu précis : nous constatons donc que

cet accord de la mairie est surtout un accord de principe, visant à informer la mairie de notre projet et que nous pouvons, en définitive, « choisir » l'aire de lancer.

Finalement on opte pour un stade de foot situé dans le nord de Lille.

2 - Deuxième demande d'autorisation à l'aviation civile

La deuxième autorisation, sans laquelle nous ne pourrions pas procéder au lancer, est celle de l'aviation civile. Lors de notre première tentative, la mairie nous avait transmis avec sa réponse un imprimé à transmettre au plus vite à l'aviation civile afin d'obtenir leur autorisation. Nous n'avons jamais eu de réponse de leur part ce qui s'explique peut-être par le fait que cette démarche n'était pas de notre ressort mais bien plutôt de celui d'un des membre de l'organisme Planète Sciences.

Nous contactons donc Monsieur RICHE qui occupe cette fonction et l'informons de la date de notre projet : il s'occupe de faire cette demande à l'aviation civile. Celle-ci doit être faite environ 45 jours avant le lancer du ballon.

Cet accord obtenu, toutes les conditions (administratives du moins) sont réunies pour un lancer réussi.

IV - CONCLUSION

Etant donné que l'on n'a pas pu lancer le ballon avant la présentation orale, nous espérons que nos théories sur les différentes expériences envisagées seront vérifiées. Elles pourront être remises en cause par la suite en récupérant le ballon grâce aux mesures qui auront été effectuées en vol. On comparera les résultats obtenus par radio amateur et télémétrie. Pour récupérer le ballon, nous utiliserons le Kiwi.

ANNEXES

Dossiers PIT réalisé par les élèves du groupe C31 de Lille suivant :

Abrouk Carim
Baisle Emilie
Cariven Charlotte
Chassagne Véronique
Chevalier Alain
Chouklati Othmane
Godin Pierre-David
Gueret Cyril

Godin Pierre-David
Chevalier Alain
Abrouk Carim
Carriven Charlotte
Chassagne Véronique
Chouklati Othmane
Guêret Cyril

PIT Ballon Lille

« Flying Frog »

Plan

Introduction

Présentation des expériences réalisées

Expérience de propagation du son

- Théorie de propagation du son dans l'air

- Solution imaginée avec AO

- Solution retenue

- Résultats attendus

Mesure de la température

Conclusion

Introduction

Objectif : concevoir une nacelle
permettant d'étudier l'atmosphère

Lancer : CER ENSAM Lille

Date : le 26 mai

Expériences réalisées

Mesure de
température

Mesure de variation
de la vitesse de
propagation du son

Mesure de pression
effectuée de deux
manières
différentes

Mesure de
luminosité

Prise de
photos

Hypothèses de linéarisation des équations :

- Fluide non visqueux
- Pesanteur négligée
- Approximation de l'acoustique linéaire :

1. $\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$

2. $P(M,t) = P_0 + p(M,t)$

Avec :

- $\rho_0 \gg \mu$
- $P_0 \gg p$
- $\mu p v$ infiniment petit d'ordre 1

Propagation du son dans l'air.

Mise en équation :

Équation de conservation de la matière : $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} (\rho \vec{v}) = 0$

Équation d'Euler : $\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \text{grad} (\vec{v}) = \vec{f}_m - \frac{\text{grad} (p)}{\rho}$

Coefficient de compressibilité : $\chi_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s$

Linéarisation de l'équation de la conservation de matière

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0$$

$$\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \rho_0 \operatorname{div}(\mathbf{v}) = 0$$

Linéarisation de l'équation d'Euler

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \text{grad}(\vec{v}) = \vec{f}_m - \frac{\text{grad}(p)}{\rho}$$

$$\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$$

$$P(M,t) = P_0 + p(M,t)$$

$$\rho_0 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = - \text{grad}(p)$$

Linéarisation du coefficient de compressibilité

$$\chi_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s$$

$$\rho(M,t) = \rho_0 + \mu(M,t)$$

$$P(M,t) = P_0 + p(M,t)$$

$$\mu = \rho_0 \chi_s p$$

Équations linéarisées

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \rho_0 \operatorname{div}(\mathbf{v}) = 0$$
$$\rho_0 \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\operatorname{grad}(p)$$

$$\mu = \rho_0 \chi_s p$$

$$\Delta v(M, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}(M, t) = 0$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \chi_s}}$$

Équation de d'Alembert de propagation

Comment mesurer la vitesse du son dans l'air ?

Pour toute onde on a :

$$\lambda = \frac{c \cdot 2\pi}{\omega}$$

Avec :

λ période spatiale de l'onde imposé par le haut-parleur

ω pulsation de l'onde

c vitesse du son

Il nous suffit de mesurer ω .

Mesure de w

$$u(t) = A \cdot \cos(\omega t) \xrightarrow{\text{A.O.dérivateur}} \frac{\partial u}{\partial t}(t) = A\omega \cdot \sin(\omega t)$$

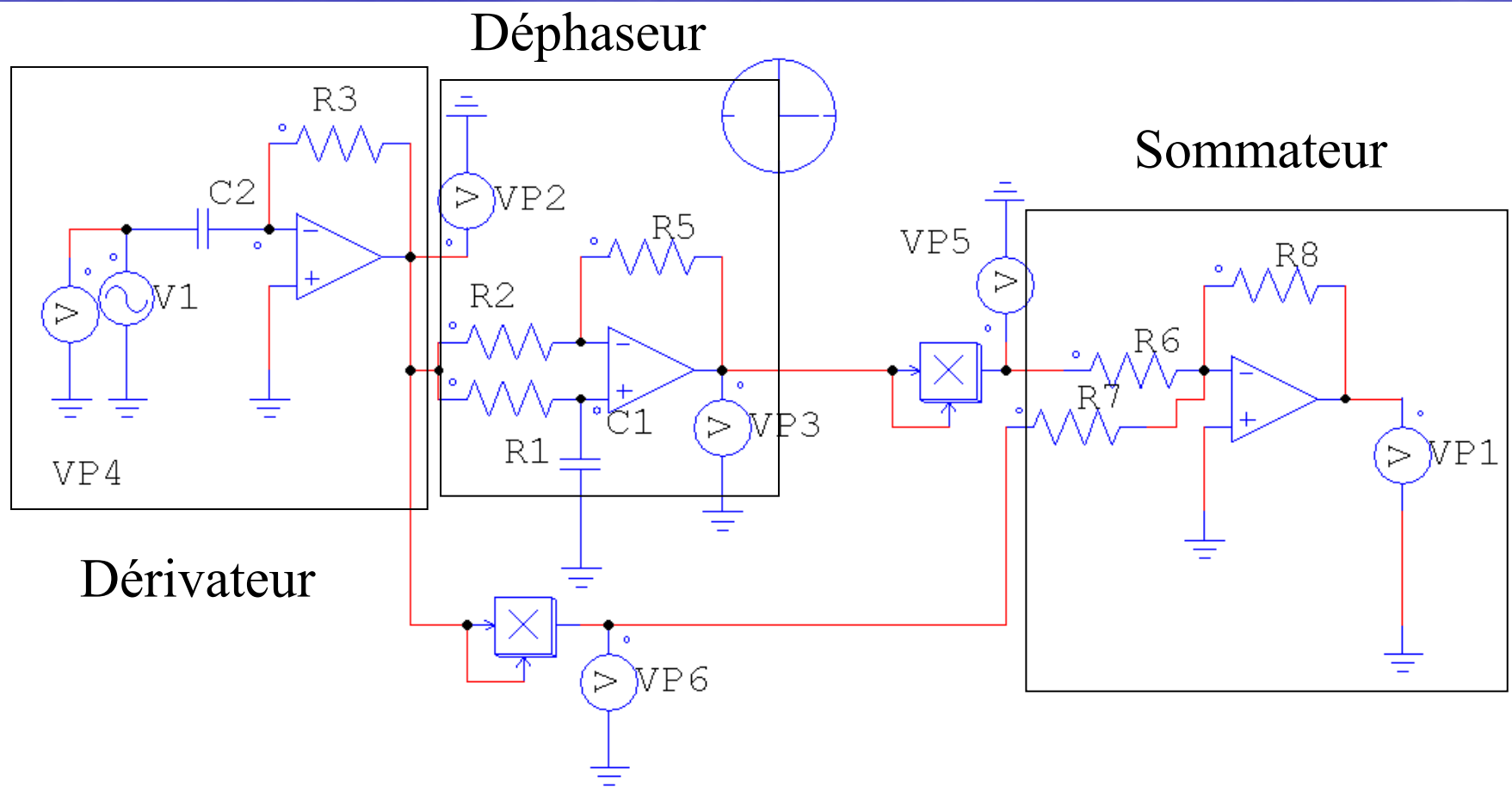
$$\frac{\partial u}{\partial t}(t) = A\omega \cdot \sin(\omega t) \xrightarrow{\text{Multiplieur}} (A\omega \cdot \sin(\omega t))^2$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(t) = A\omega \cdot \sin(\omega t) \xrightarrow{\text{A.O.Déphaseur}} A\omega \cdot \cos(\omega t)$$

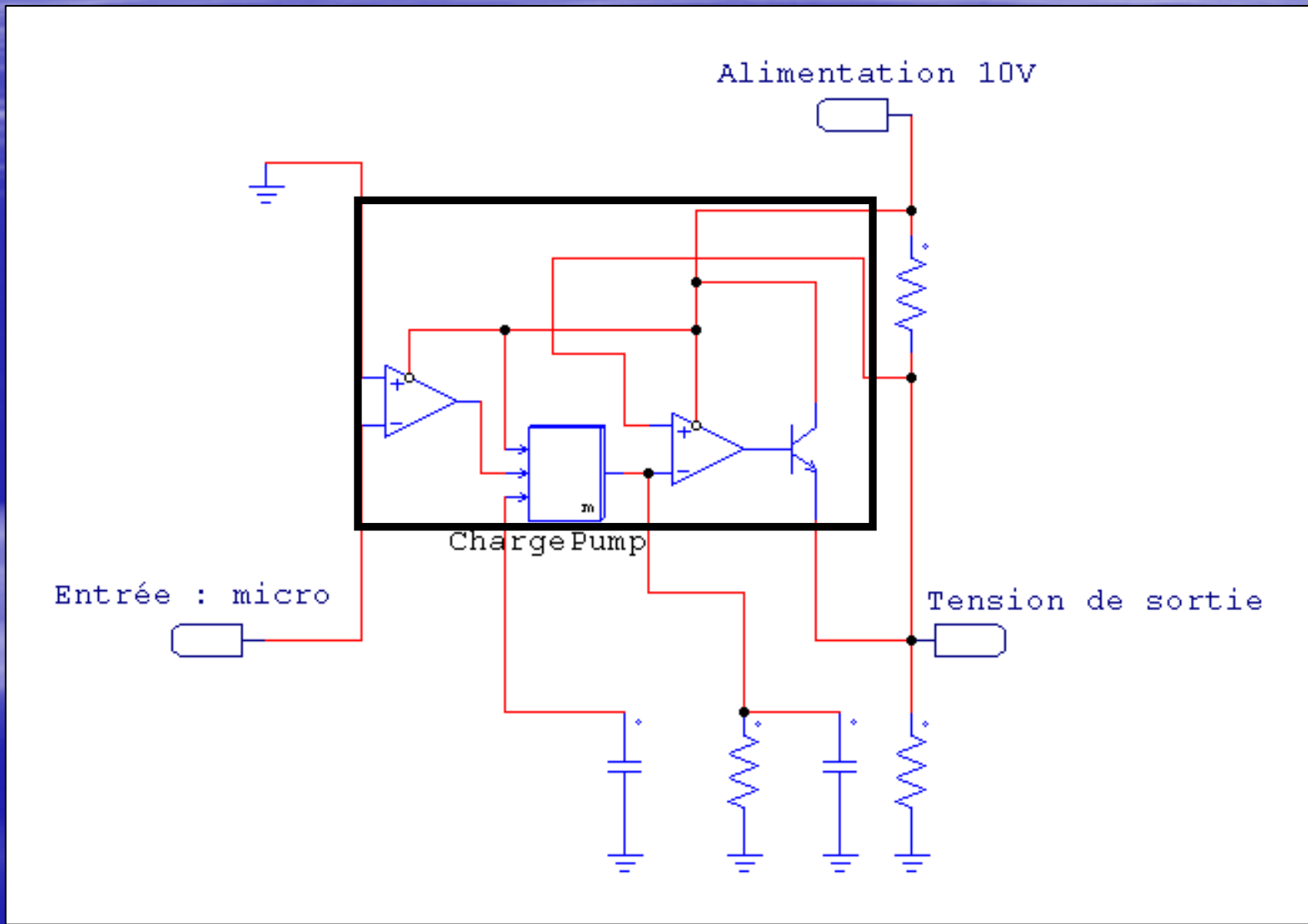
$$A\omega \cdot \cos(\omega t) \xrightarrow{\text{Multiplieur}} (A\omega \cdot \cos(\omega t))^2$$

Puis en sommant on obtient : $(A\omega)^2$

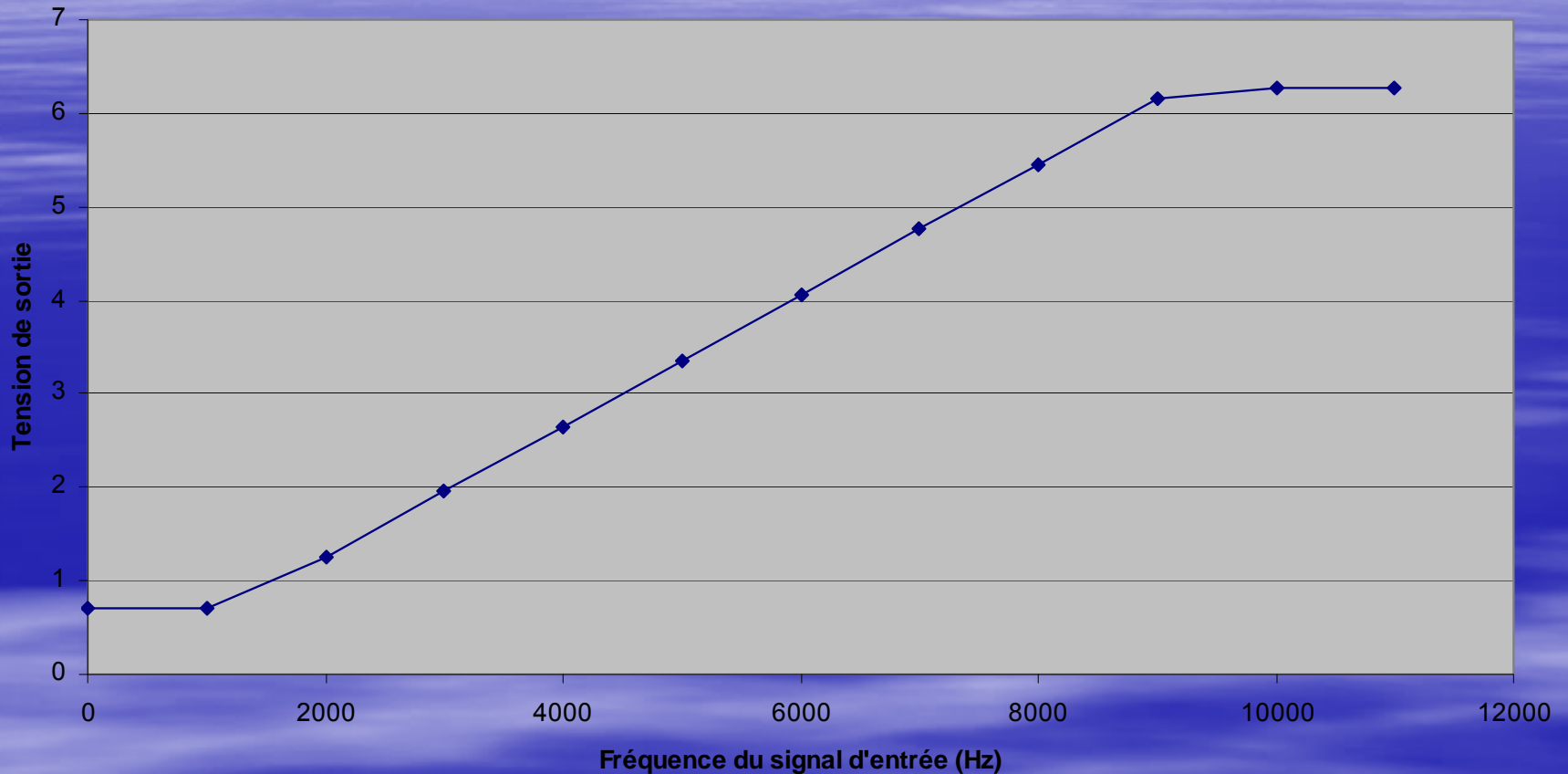
Schéma théorique de la conversion fréquence tension



Convertisseur fréquence tension



Fréquence en fonction de la tension de sortie



La vitesse du son est proportionnelle à w donc à la tension de sortie

Résultats attendus :

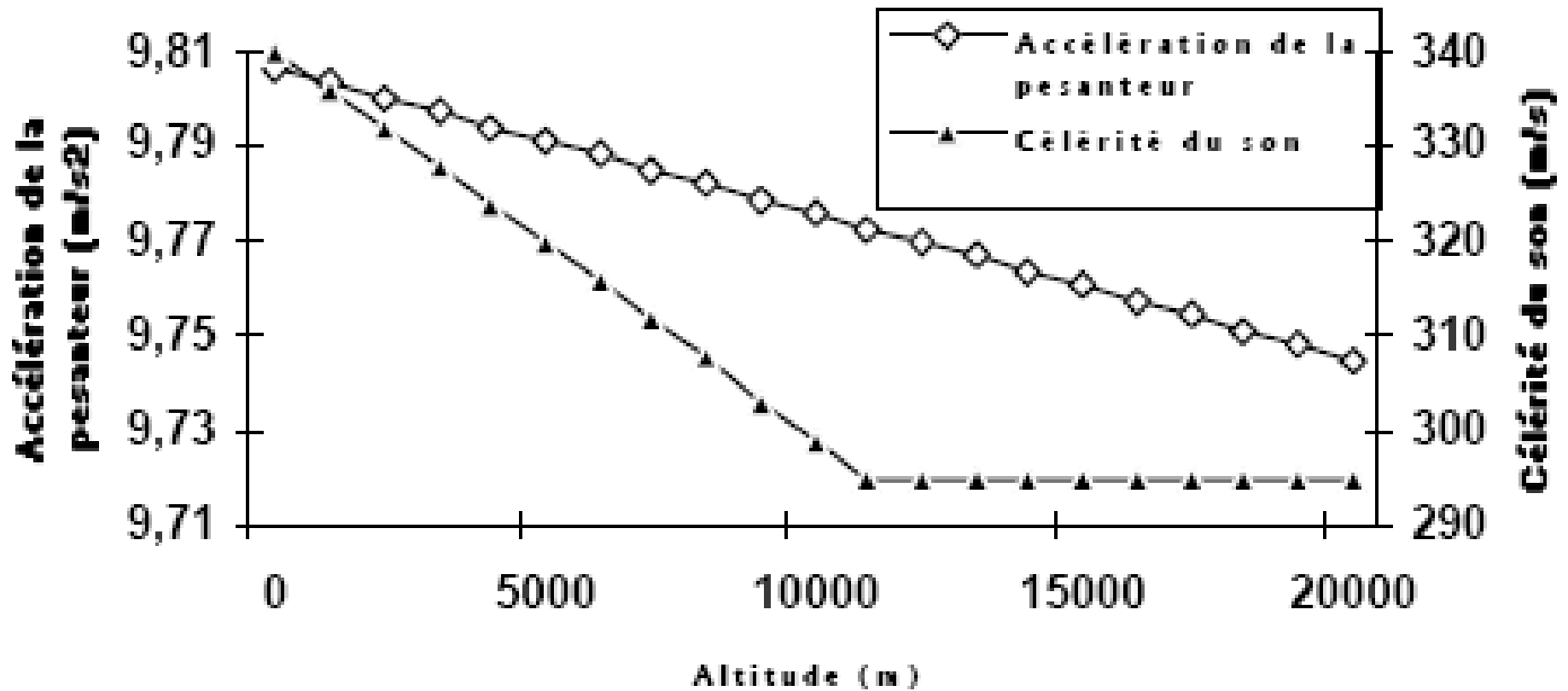
On va supposer l'air comme étant un gaz parfait isentropique, on obtient :

$$\chi_s = \frac{1}{\gamma P}$$

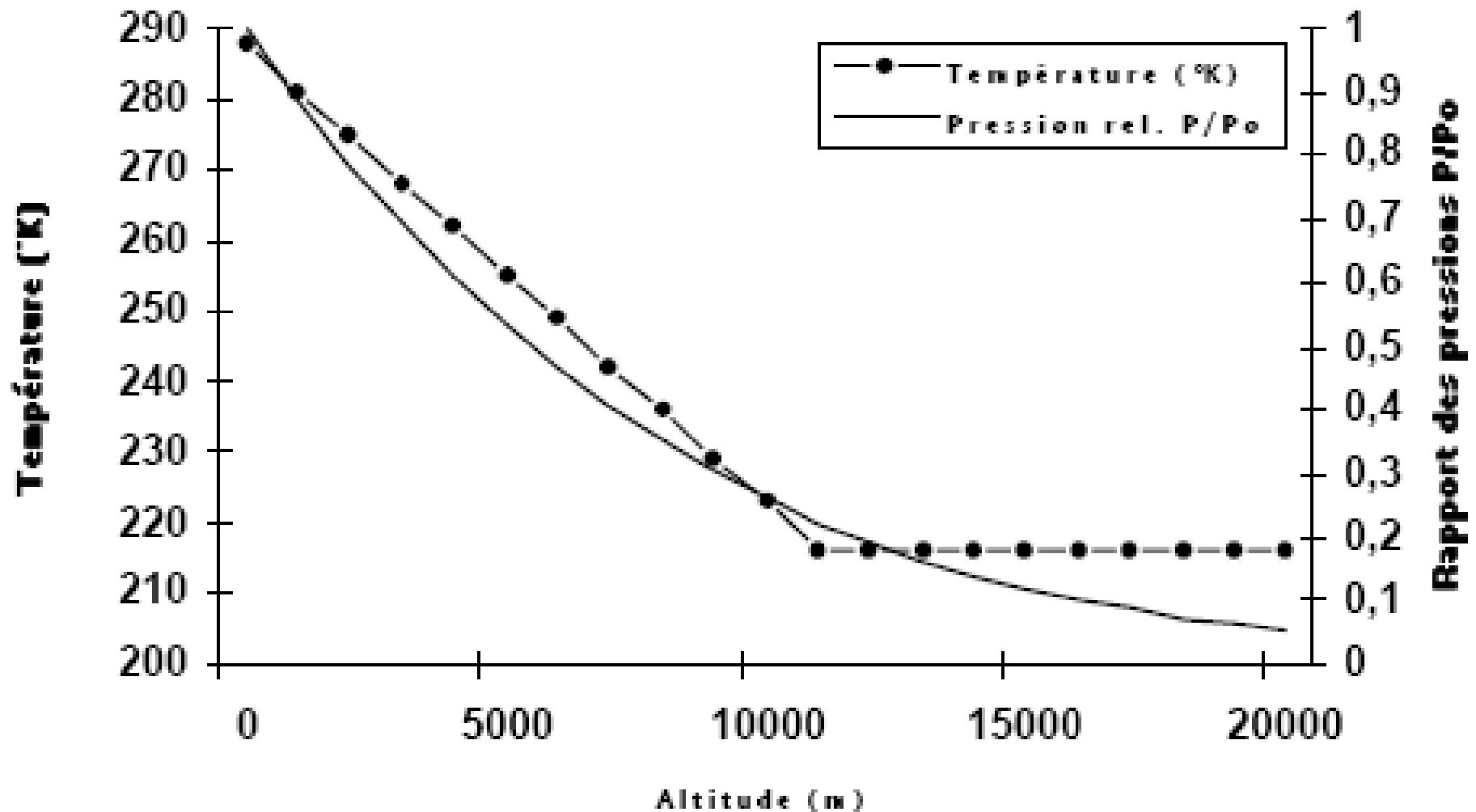
Puis :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Célérité du son



Température et pression



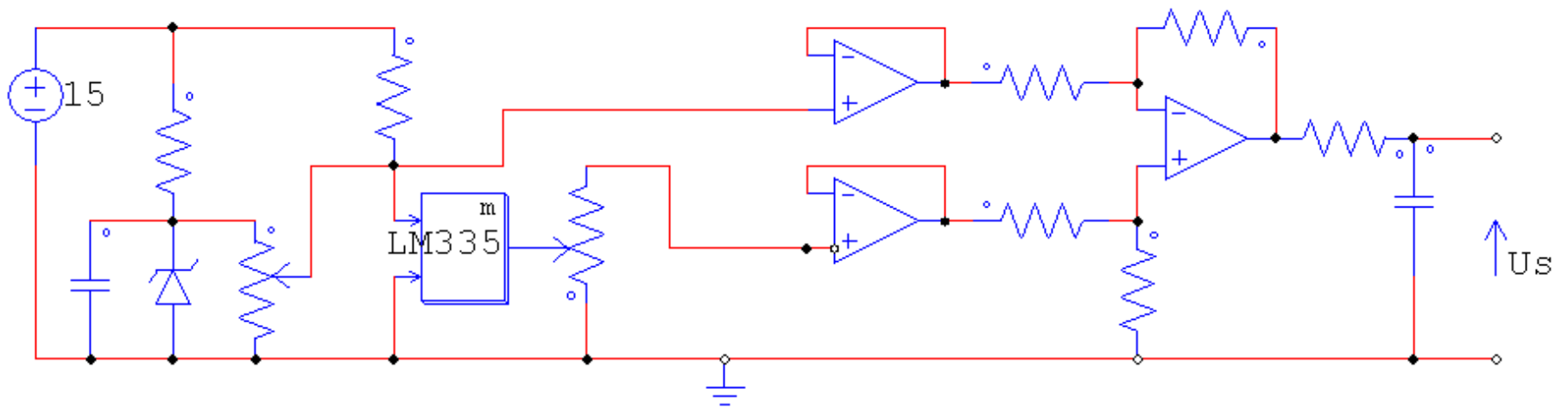
Mesure de température

- Capteur LM 335Z
- Ce capteur délivre une tension de sortie proportionnelle à la température, de 10 mV par degré Kelvin.

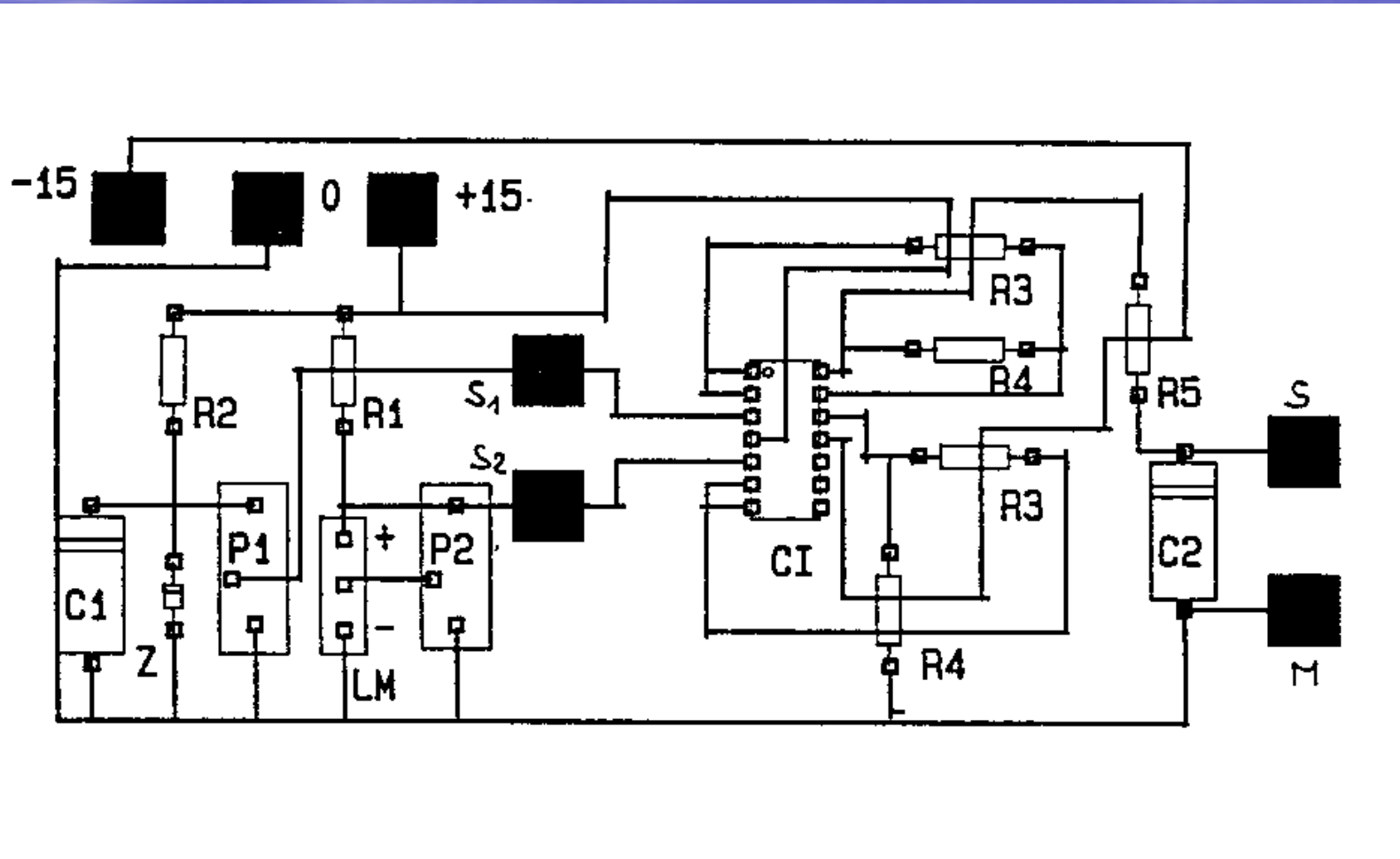
ex : 2,98 V pour 298 K, ou 25°C

Le composant noté C.I. est un quadruple A.O. dont on n'utilise que trois parties.

Mise en œuvre du LM 335Z



Circuit réalisé pour la mesure de la température



Conclusion

Le lancer nous permet de :

Vérifier la modélisation faite de l'atmosphère

- Par la mesure de ω
- Par la mesure de la température
- Par la mesure de la pression

De prendre conscience de la complexité de la mise en œuvre d'une théorie