

# Ballon sonde



Nicolas MEDYK  
Thomas GONON  
Francis GRANGER



# Sommaire :

## I/ Présentation du projet

- Cahier des charges
- Problématique
- Répartition des tâches
- Solution au problème

## II/ Réalisation du projet

- Simulation
- Expérimentations
  - Expériences réalisées
  - Interprétation des résultats

## III/ Conclusion



# I/ Présentation du projet

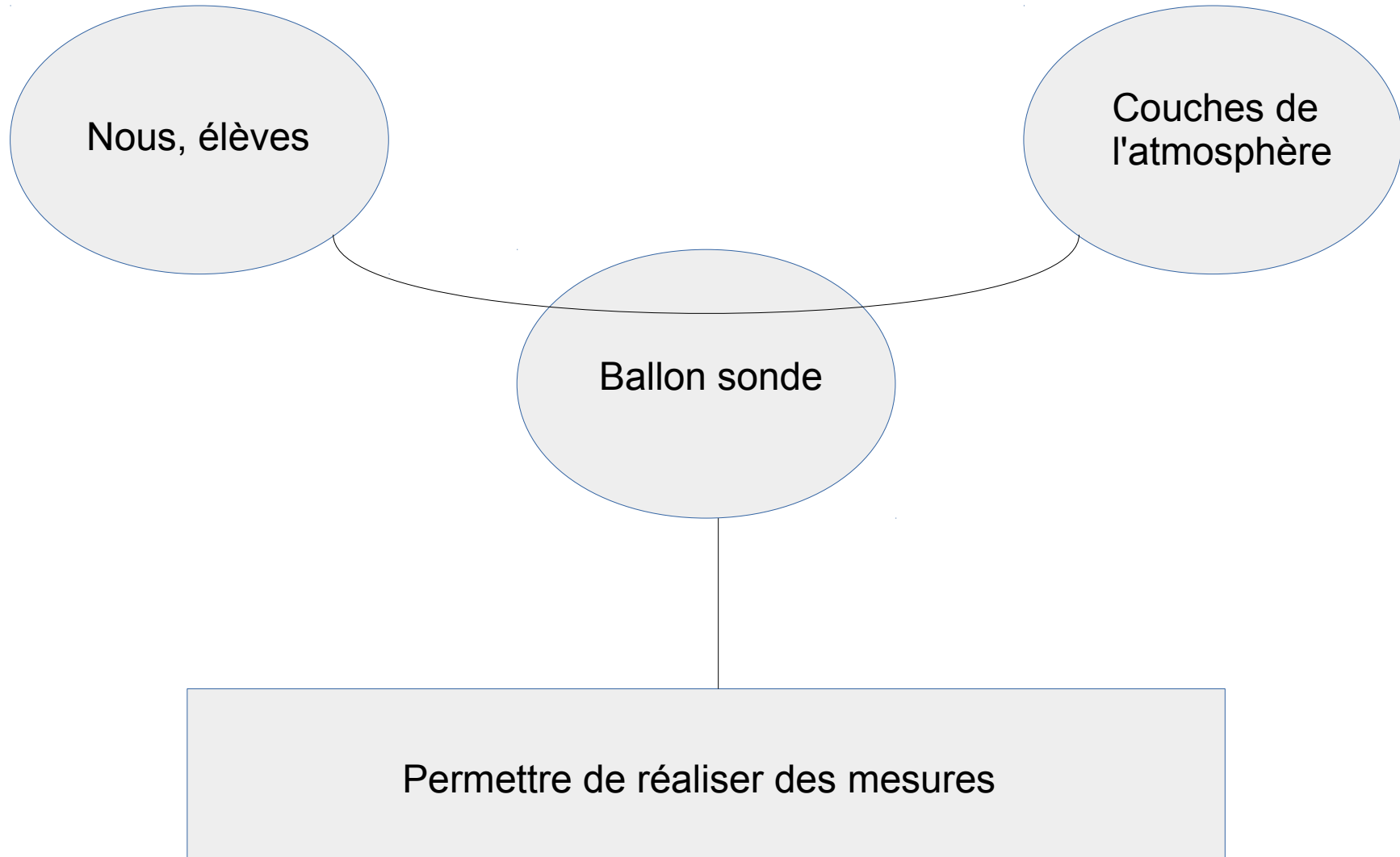
Besoin: Mieux appréhender les différentes couches de l'atmosphère ainsi que l'évolution des grandeurs physiques qui les caractérisent.

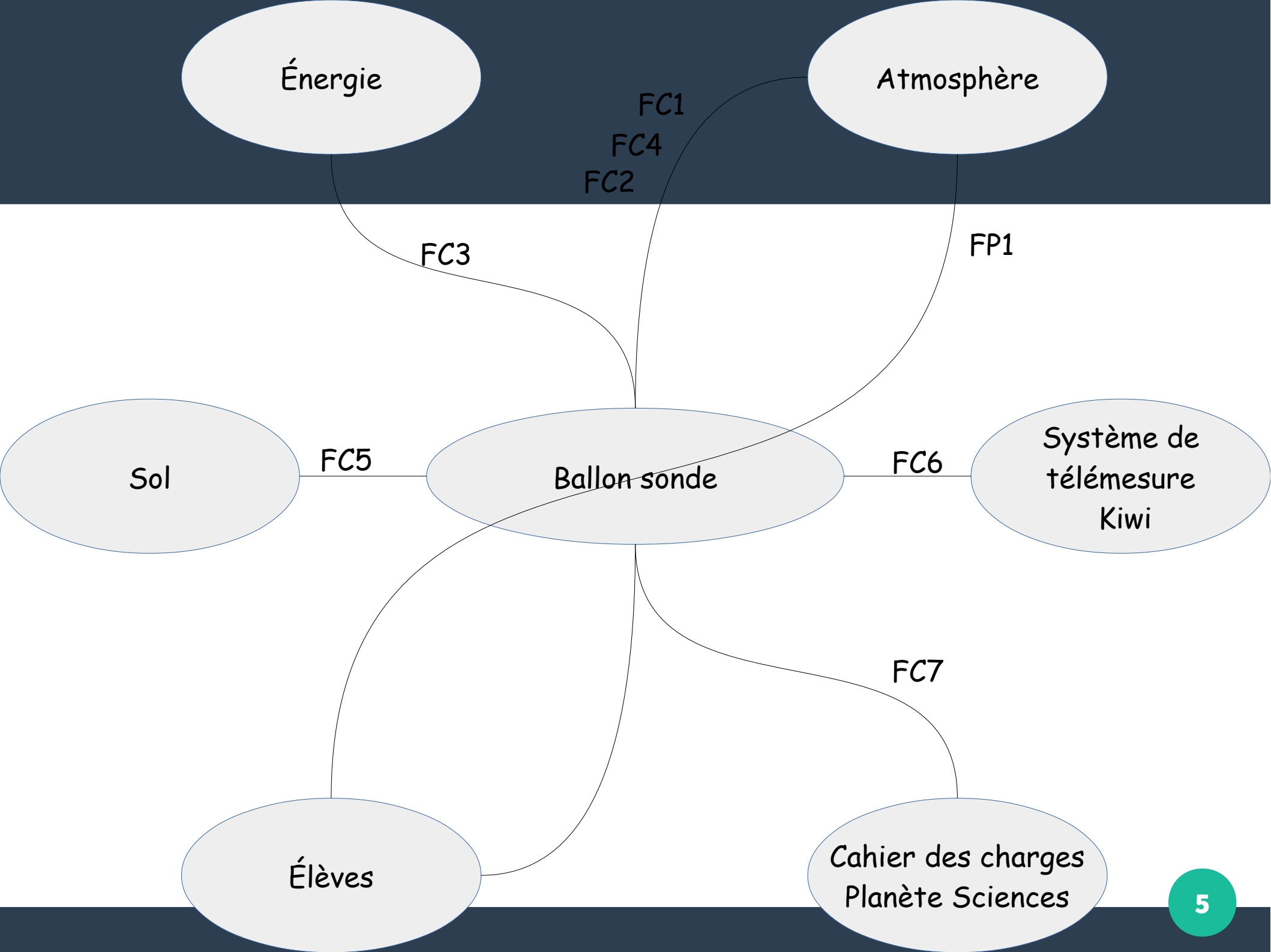


**Comment l'envoi d'un ballon sonde dans la stratosphère peut-il permettre de caractériser les différents phénomènes et conditions extrêmes de notre atmosphère ?**

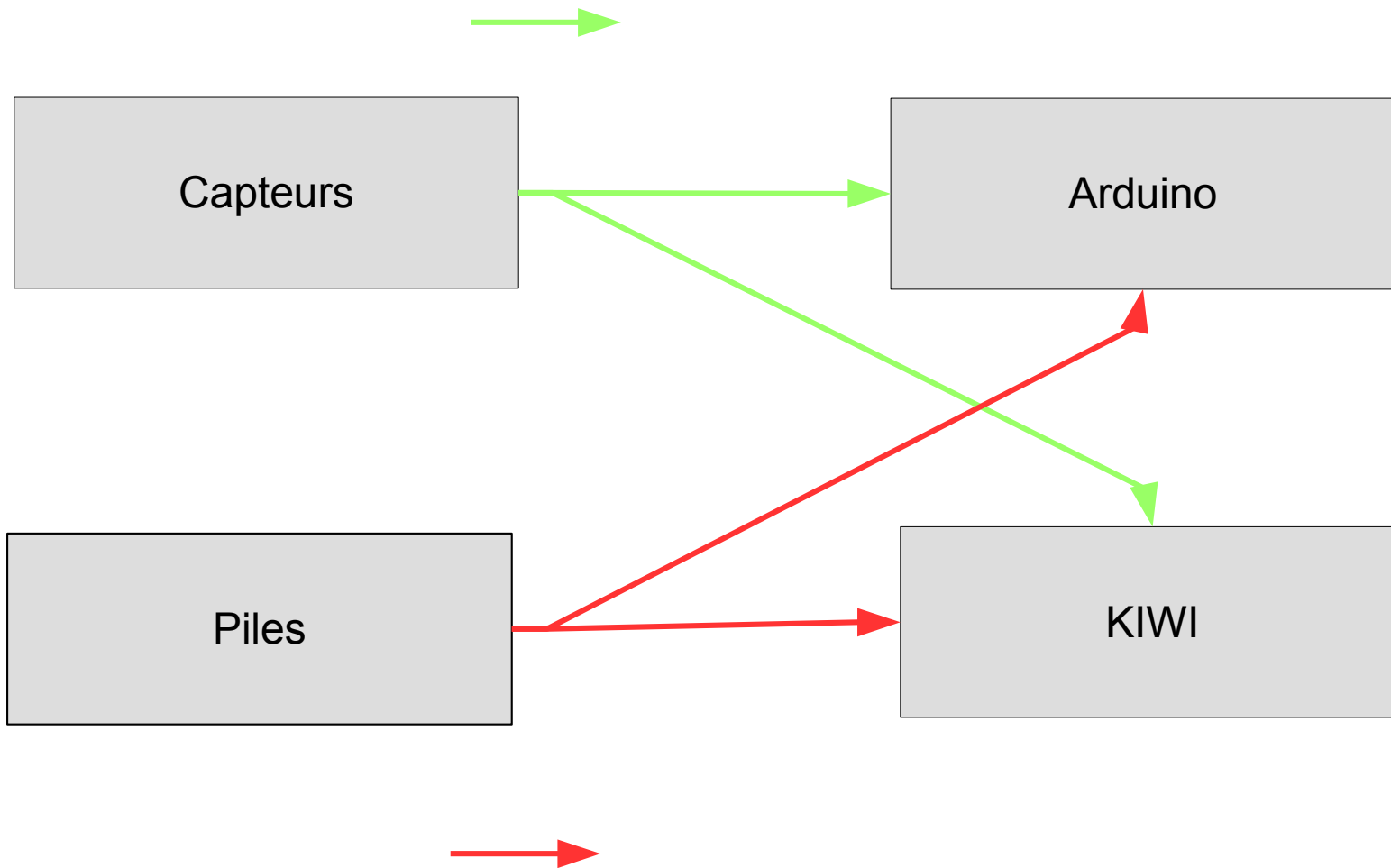


# Diagramme « Bête à cornes »





# Chaîne d'information et d'énergie



## Tâches principales attribuées :

Thomas GONON : Alimenter et protéger la nacelle des conditions extrêmes

Nicolas MEDYK : Mesurer la température et stocker les données (température et pression)

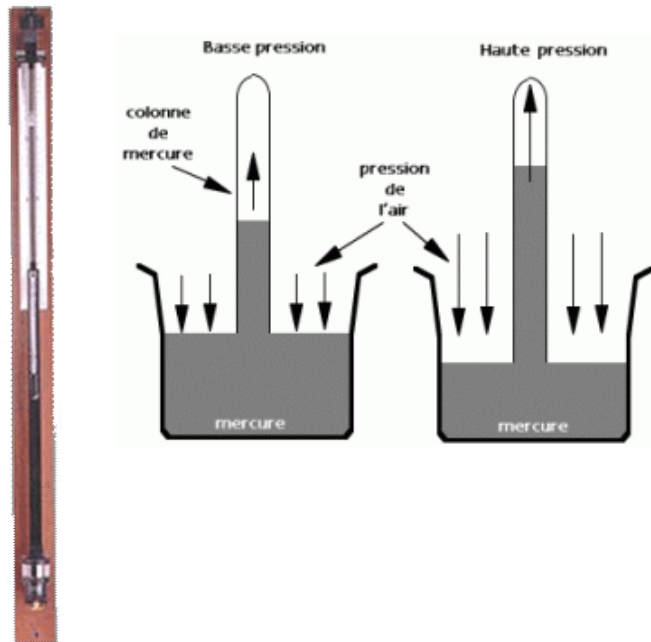
Francis GRANGER : Mesurer la pression en réalisant un capteur de pression



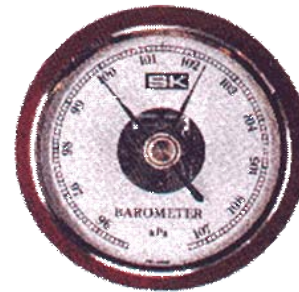
# Solution au problème

Comment mesurer la pression ?

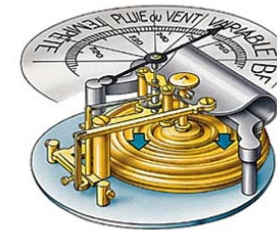
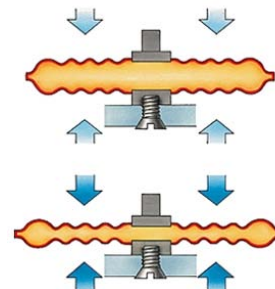
## BAROMÈTRE À MERCURE



## BAROMÈTRE ANEROÏDE



Barographe





# Principe de fonctionnement

$$PV = nRT$$

P = pression du gaz en Pa

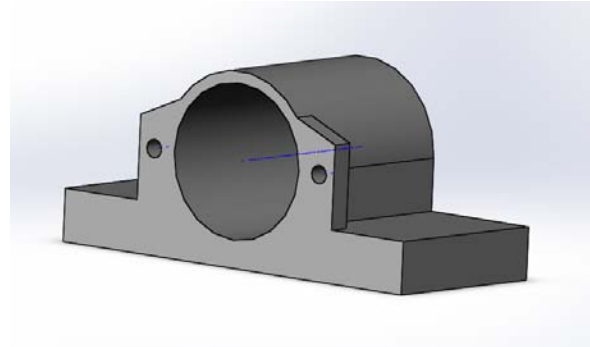
V = volume en m<sup>3</sup>

n = quantité de matière en mol

T = température absolue en Kelvins

R = 8.314 SI

## II/ Réalisation du projet



$$V1 = 1,4 \text{ mL}$$

$$V2 = 5,5L + 1,4 \quad \text{avec } L : \text{longueur en cm}$$

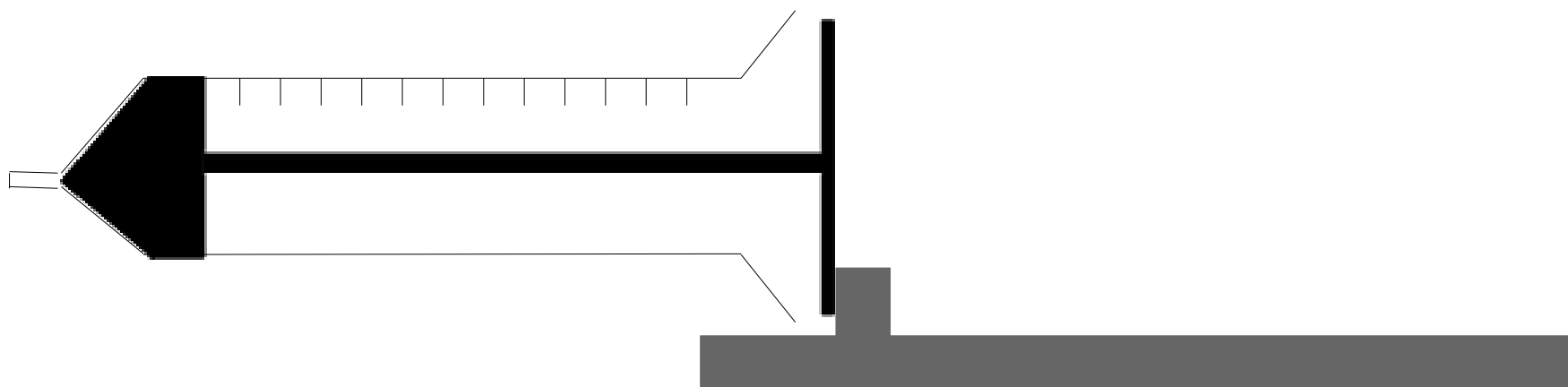
$$\text{Soit } V_{\text{max}} = 56,4 \text{ mL}$$



$$\text{Force de frottement} : 3,6 \text{ N}$$

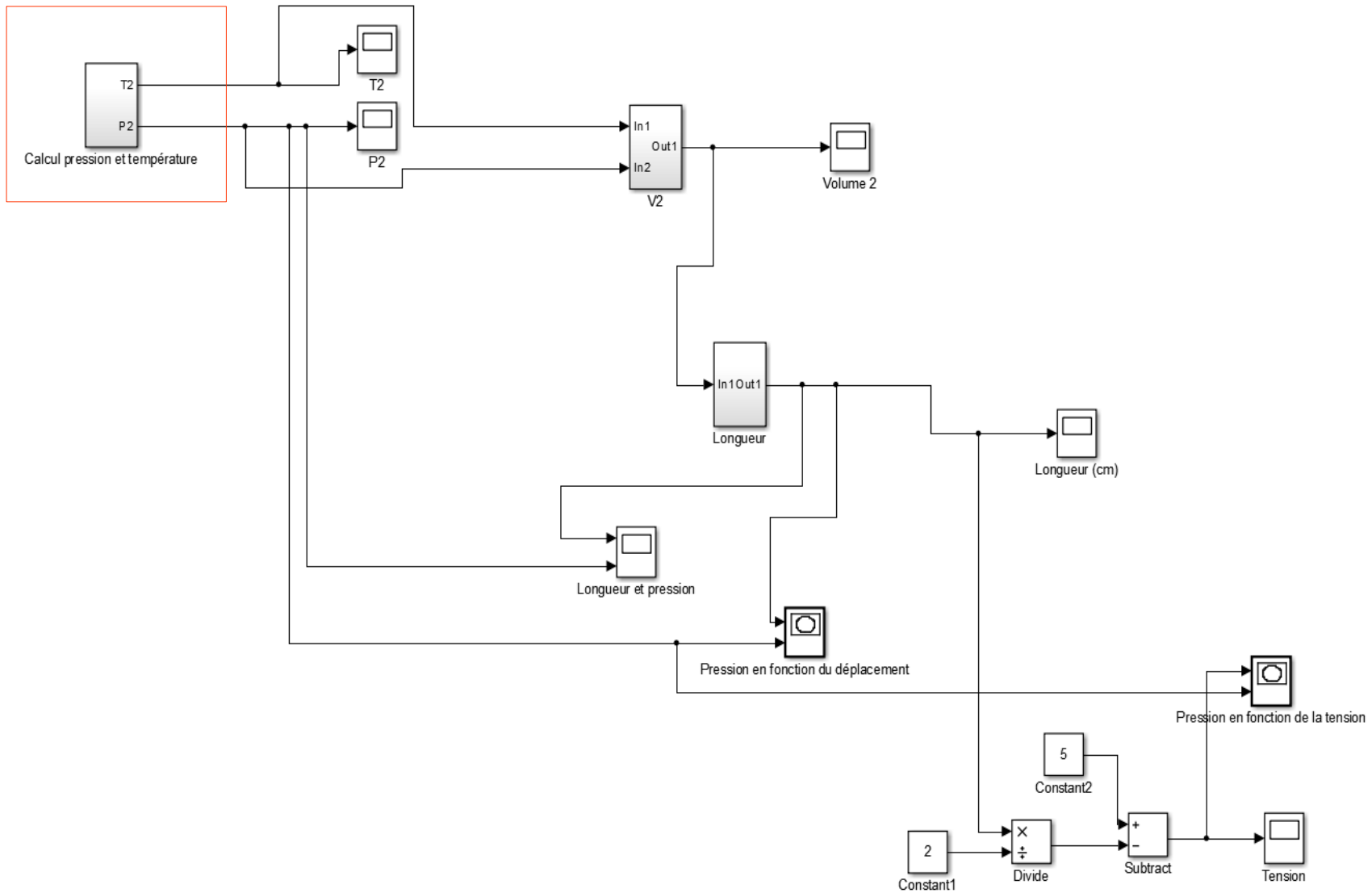
$$P = F/S \text{ soit } P = 5500 \text{ Pa}$$

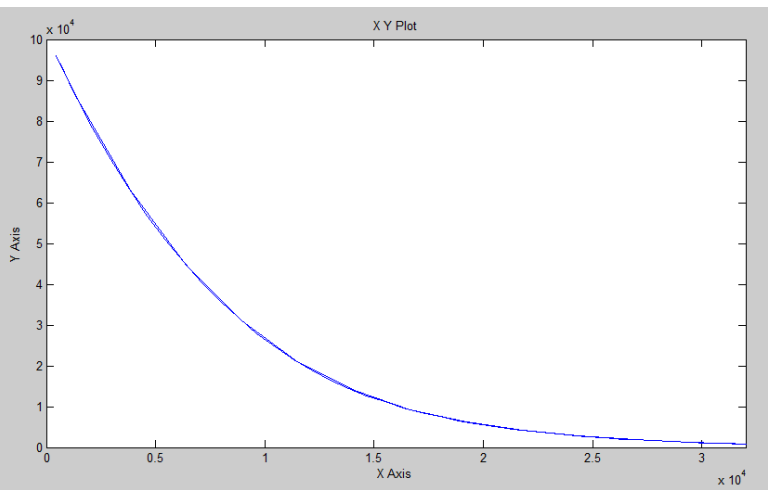
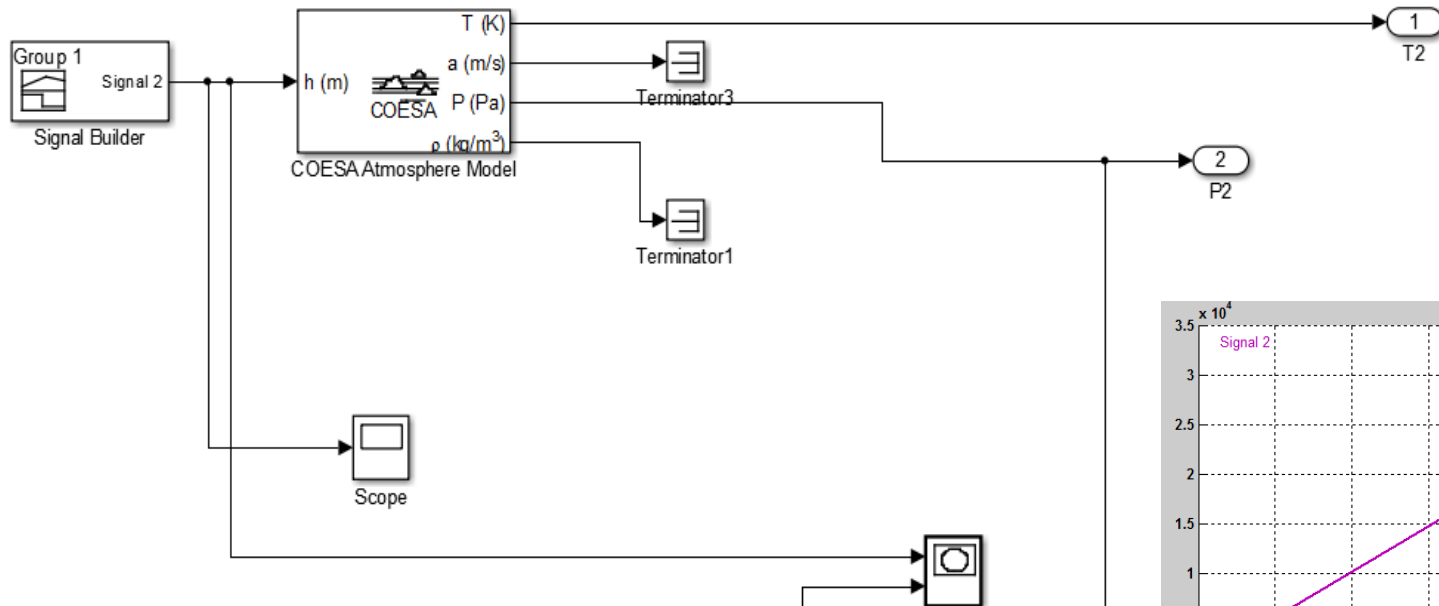
# Capteur de pression



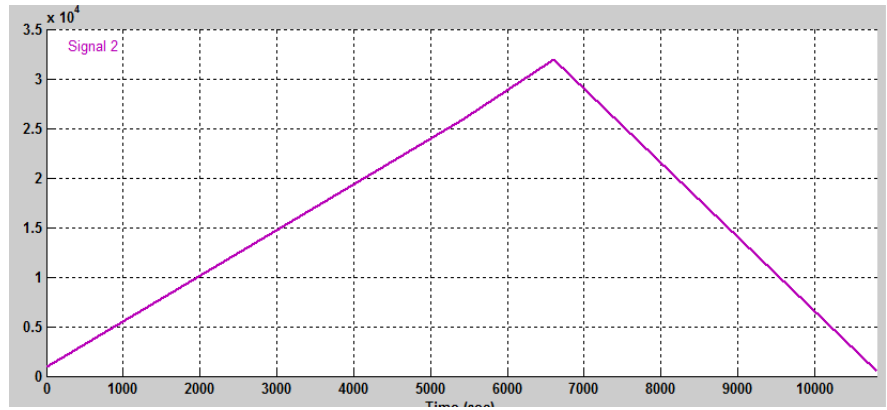
La pression agit sur le

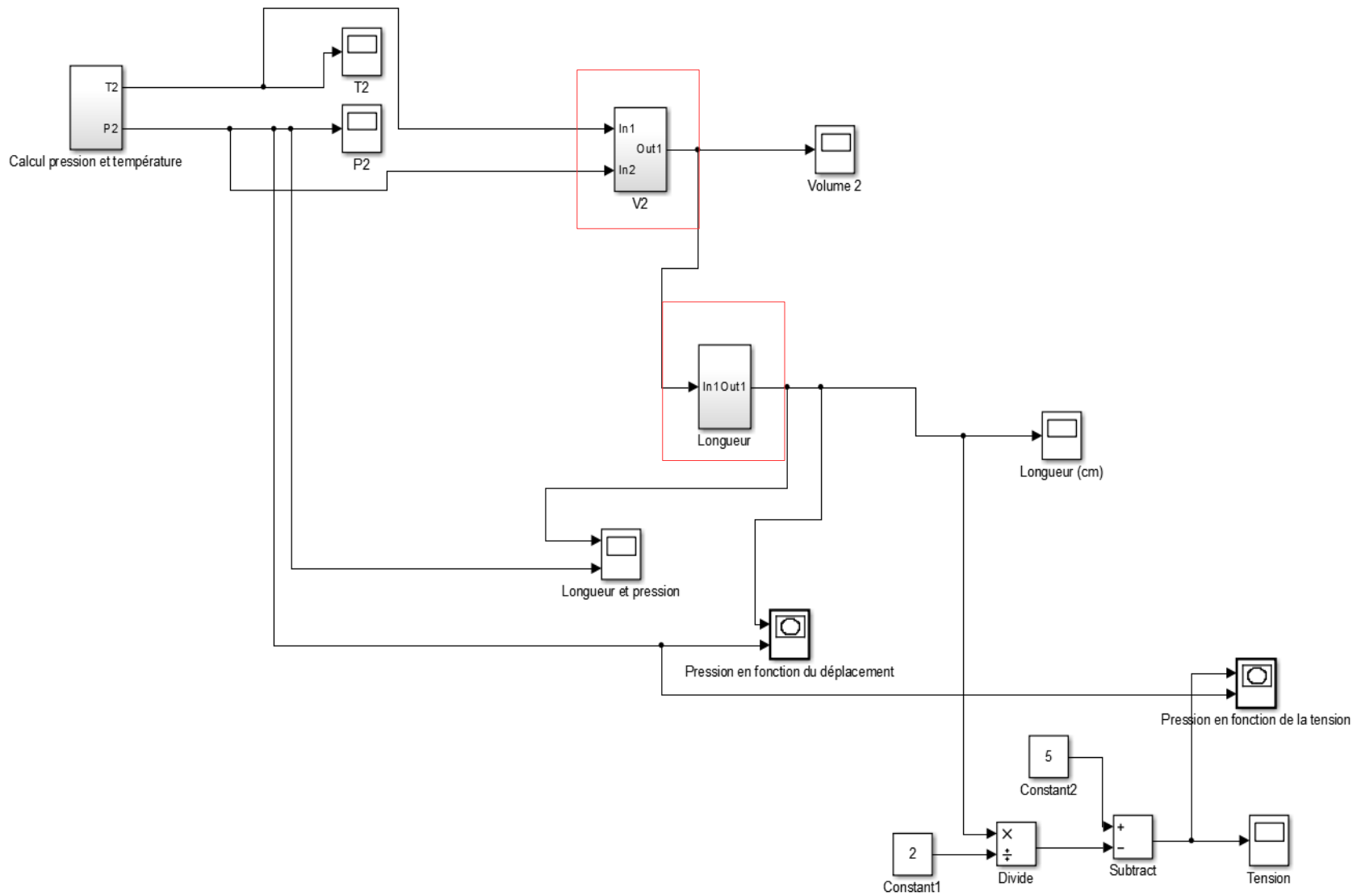
# Simulation

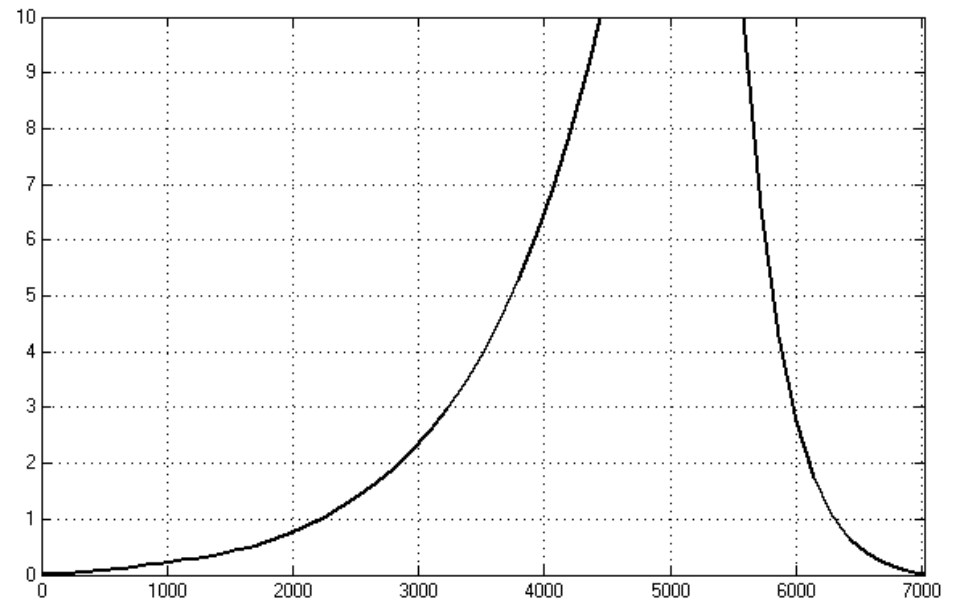
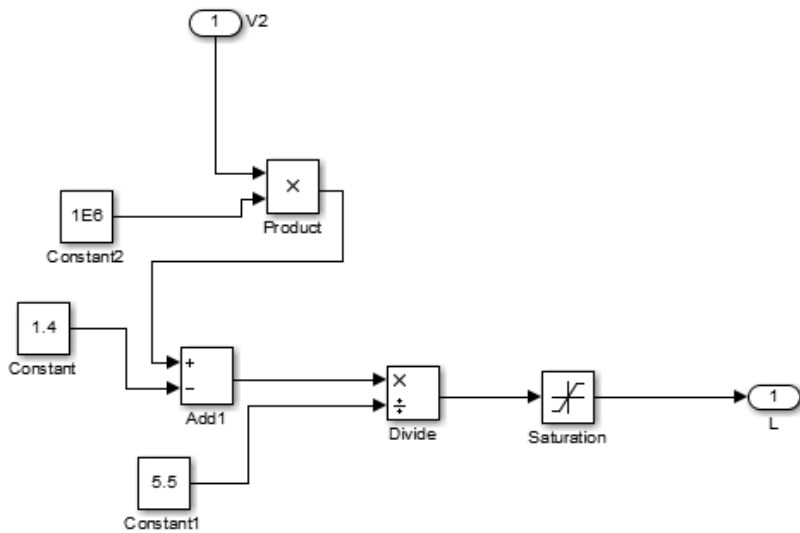
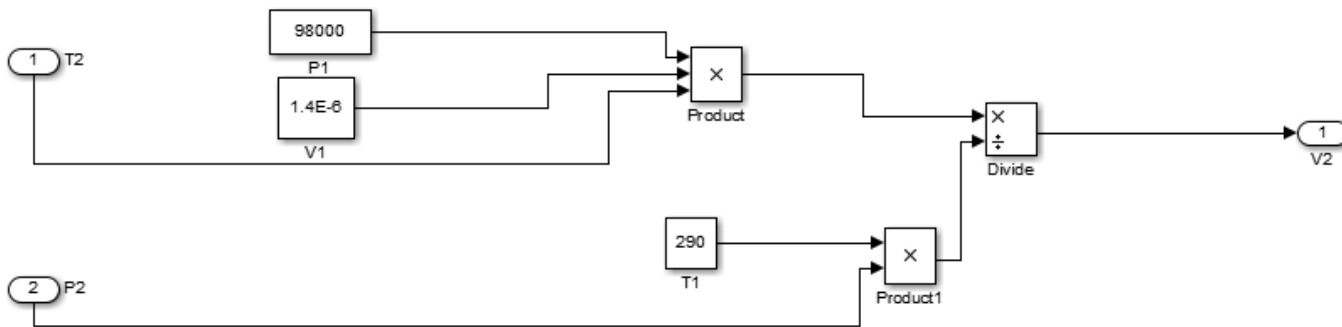




Pression en fonction de l'altitude







Déplacement théorique du piston de la seringue en fonction du temps

# Programme Arduino

PROGRAMME\_FINAL

```
long pinPot = A0;
float valPot;
float tension;
float longueurPot;
float V1 = 1.4e-6;
float V2;
float P2;

float P1 = 94763.0; // Entrer la pression initiale
float T1= 290.0; // Entrer la température initiale

// PROGRAMME POUR LA TEMPERATURE EN TEMPS REEL

float T2 = 290.0; // ---> NICO

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
```

1

PROGRAMME\_FINAL

```
void loop() {

  valPot = analogRead(pinPot);
  longueurPot = valPot/102.3;
  V2 = 5.5*longueurPot +1.4;
  V2 = V2*1e-6; // passage des ml en m^3
  tension = 5-((valPot *5)/ 1023);

  P2 = (P1*V1*T2)/(T1*V2);

  // PROGRAMME NICO

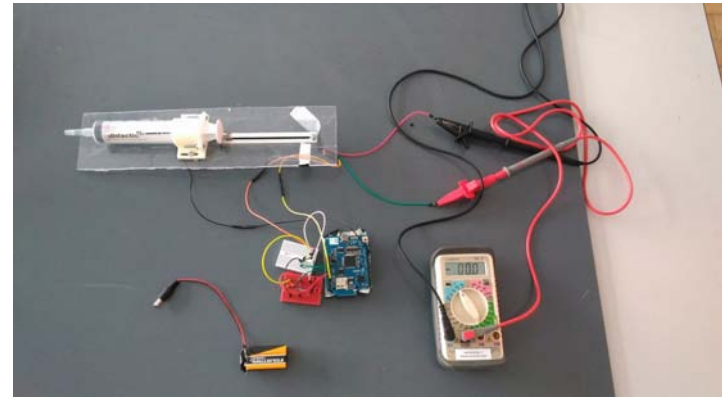
  Serial.print(" Valeur = ");
  Serial.print(valPot);
  Serial.print(" L = ");
  Serial.print(longueurPot);
  Serial.print(" V2 (m^3) = ");
  Serial.print(V2, 10);
  Serial.print(" P2 = ");
  Serial.print(P2);
  Serial.print(" Tension :");
  Serial.println(tension);

  delay(500);
```

2

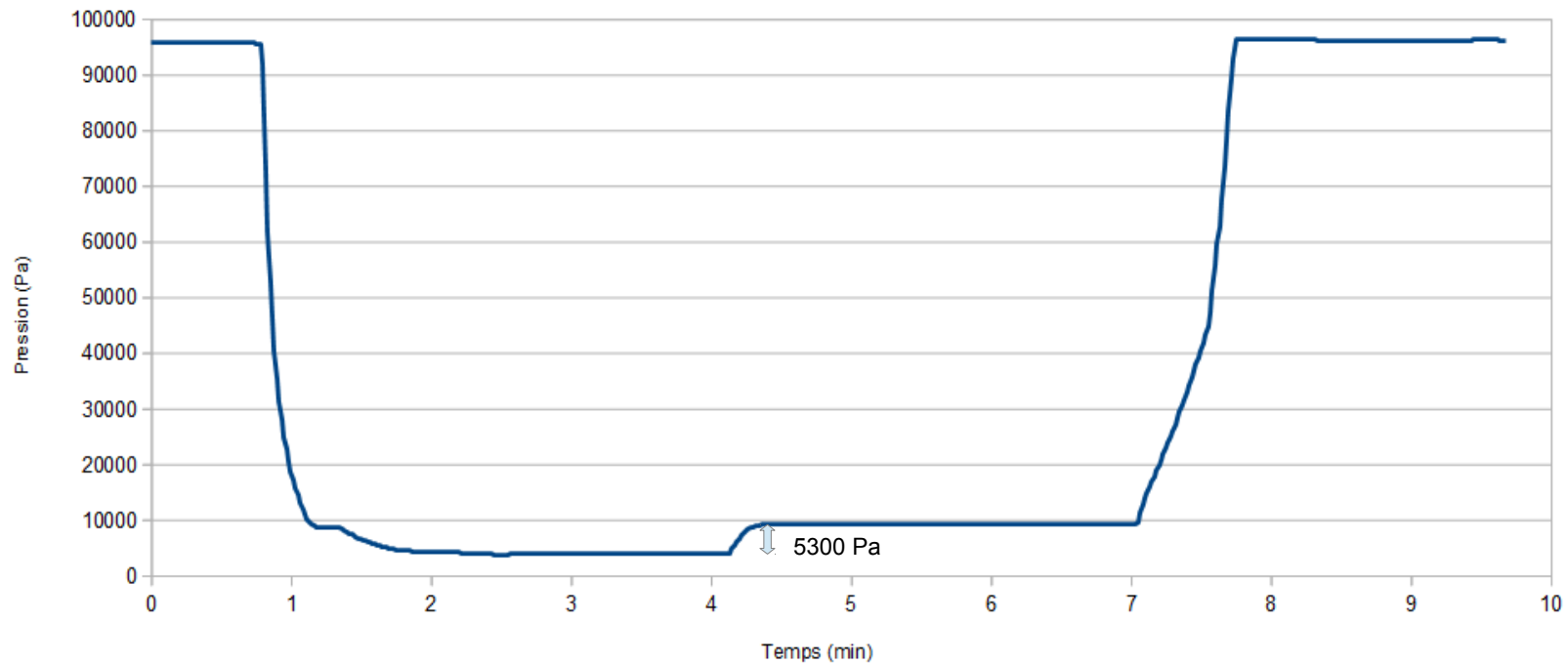


# Expérimentations



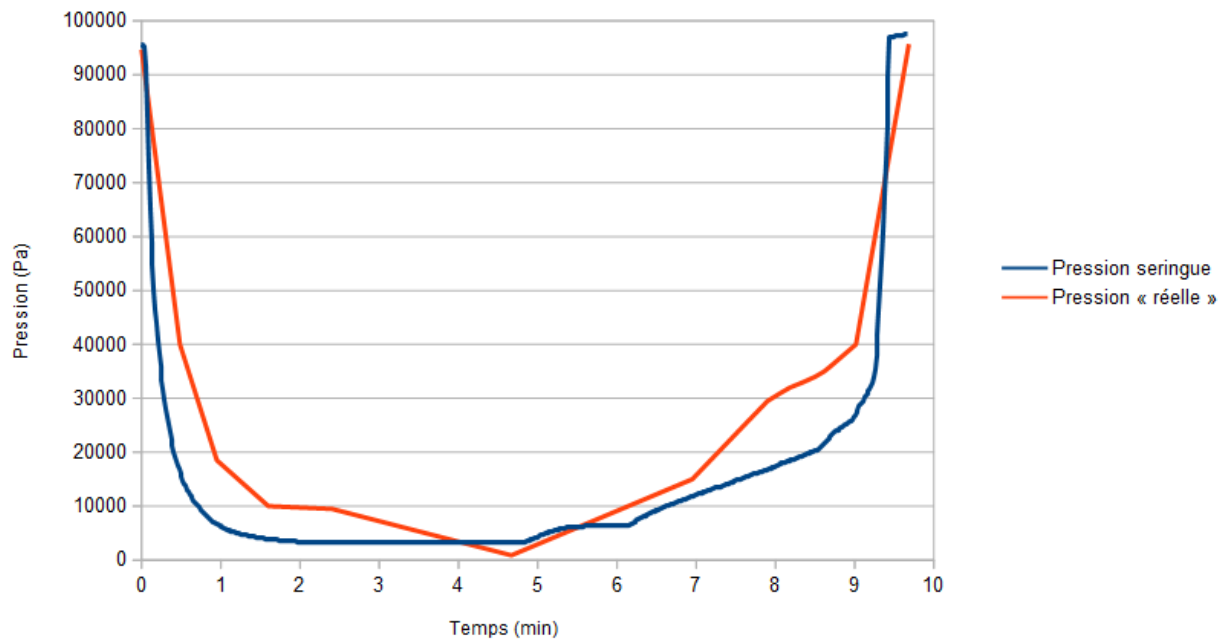
Capteur de pression en fonctionnement

### Pression mesurée en fonction du temps



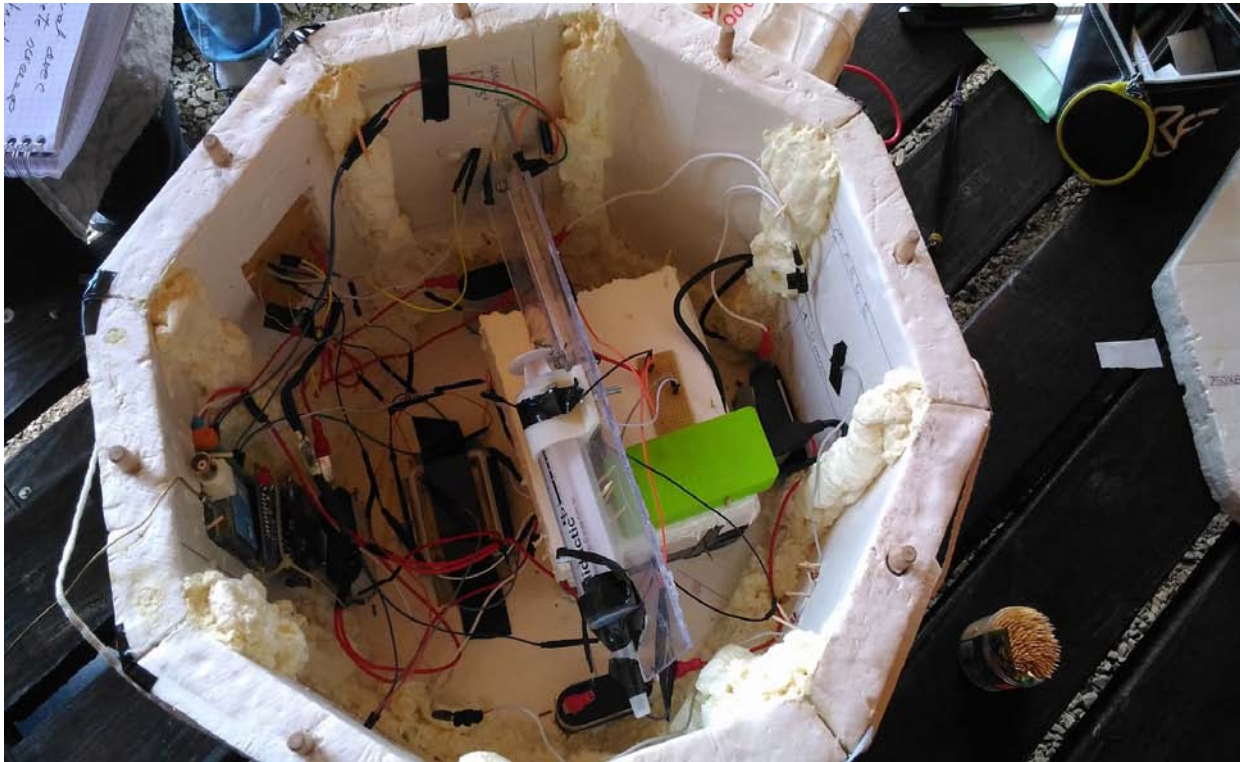
Expérimentation n°1

### Comparaison des pressions en fonction du temps



Expérimentation n°2

## Expérimentation dans la nacelle :

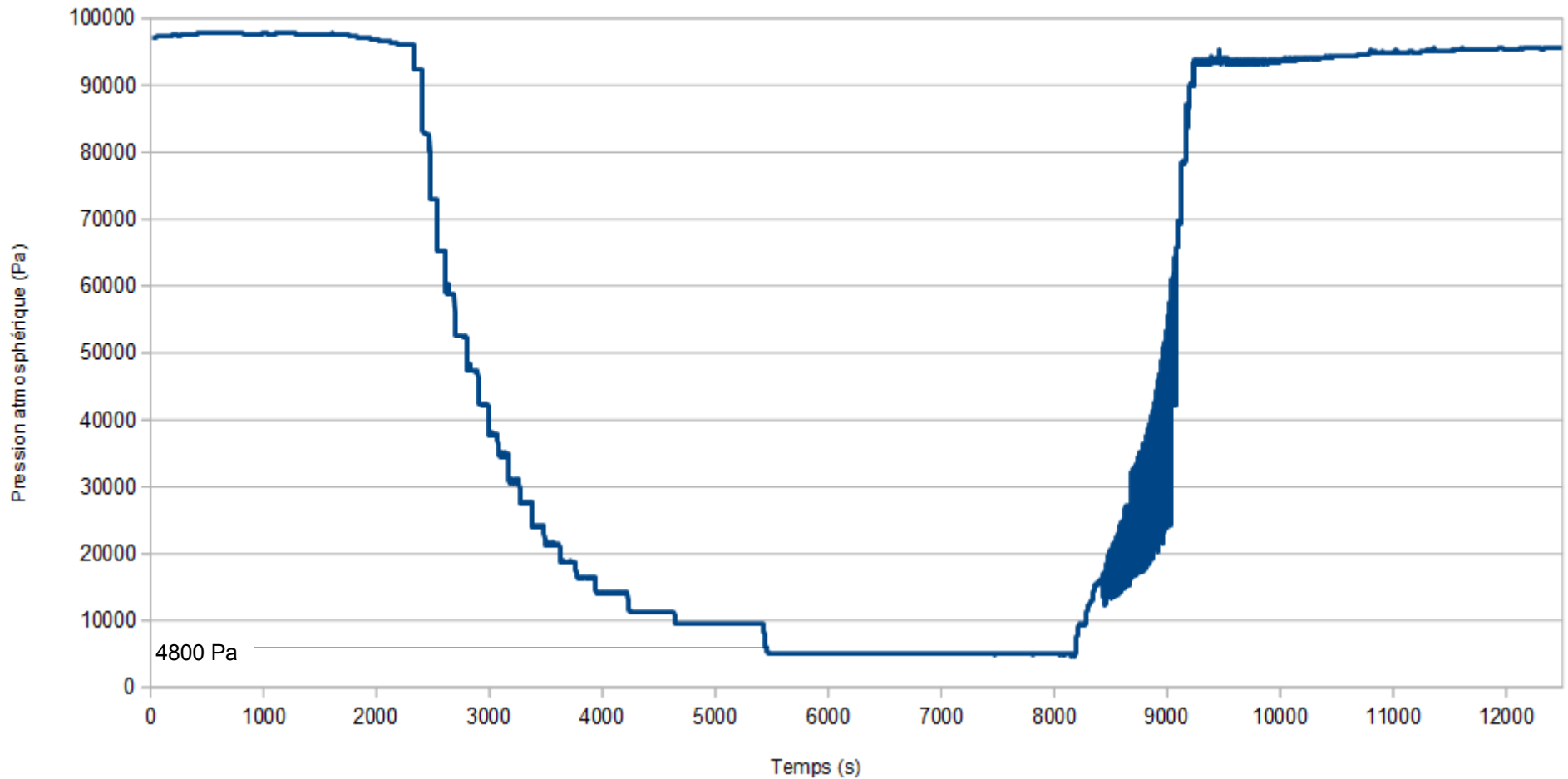


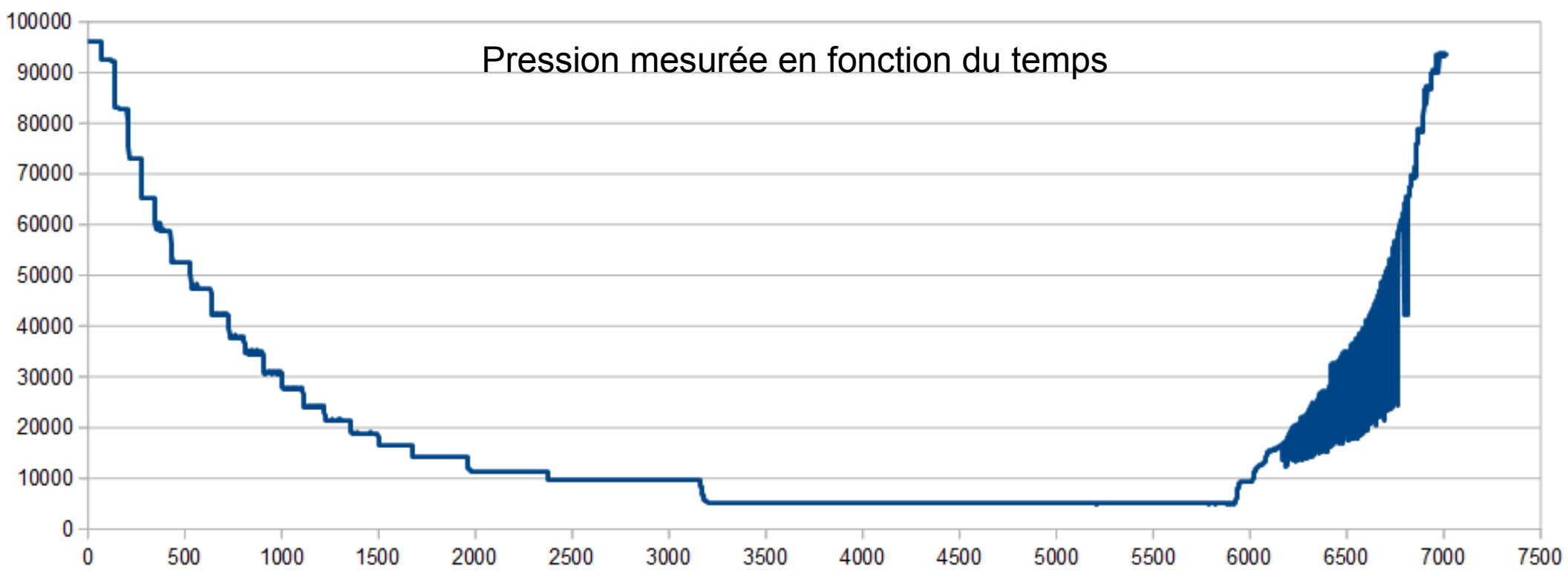
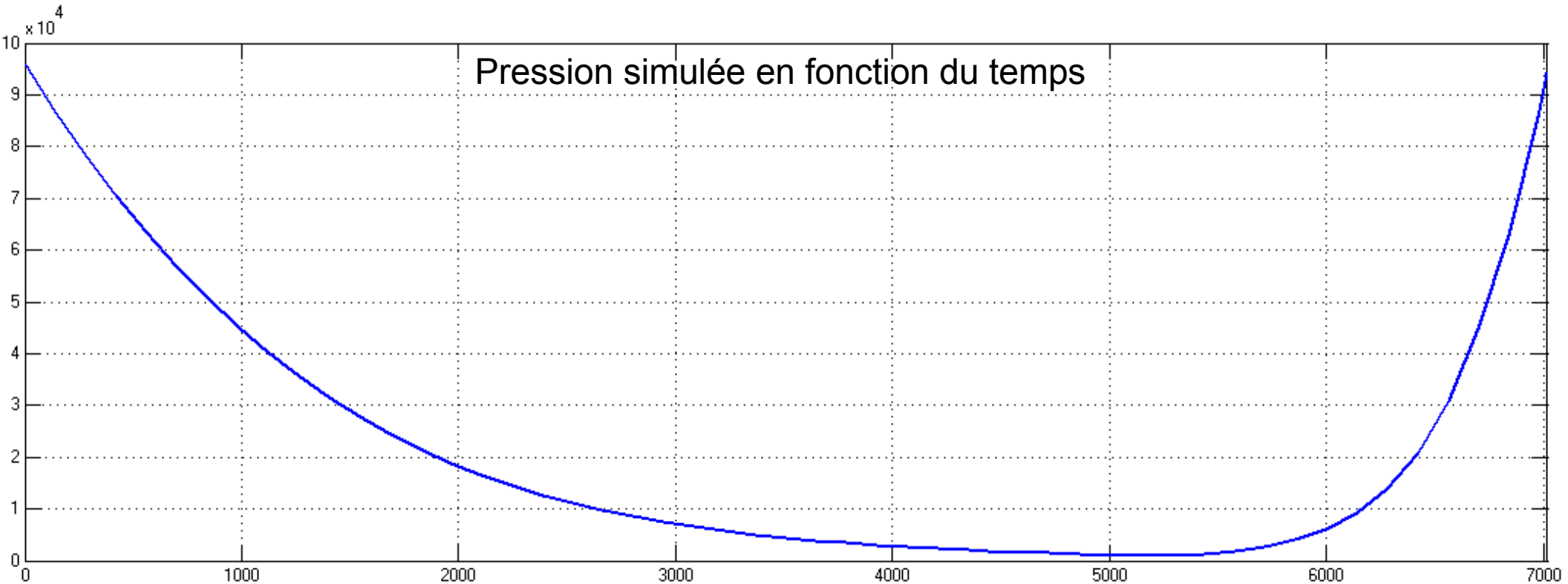
Durée totale du vol : 7020s  
Durée jusqu'à l'éclatement : 5300s

Mesure de la pression P1 et de la température T1

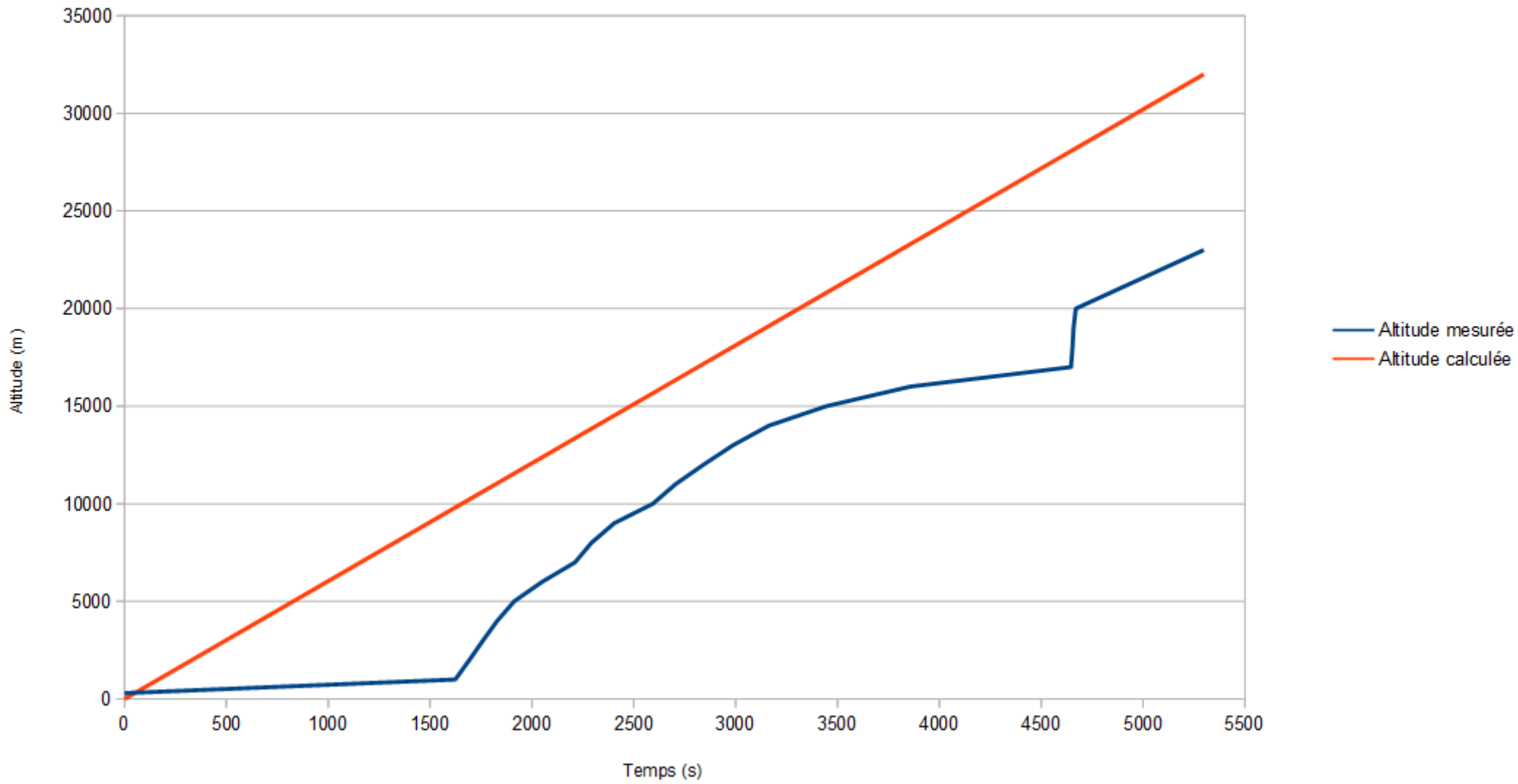
# Données de pression récupérées le jour du lâcher

Pression atmosphérique en fonction du temps

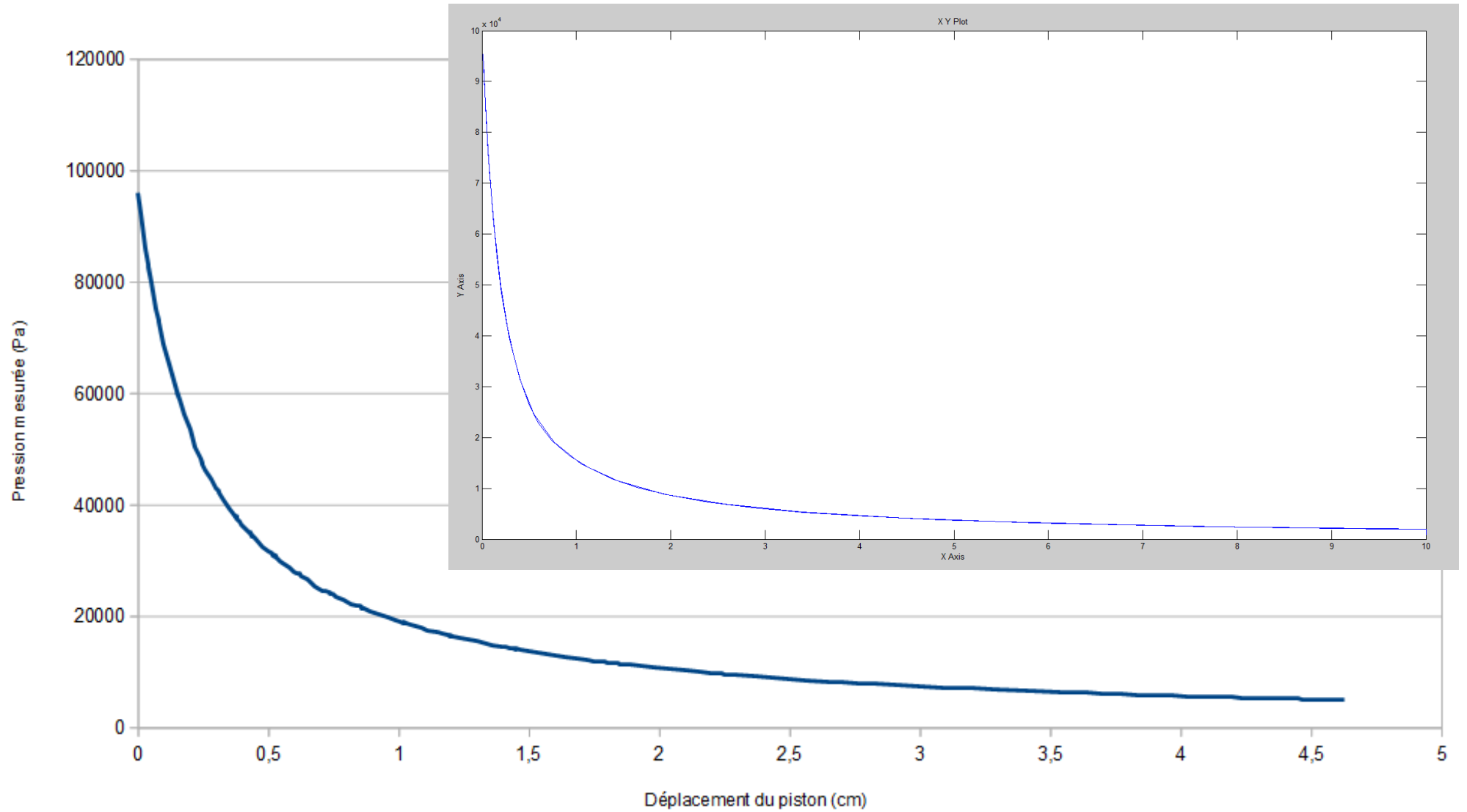




Altitude en fonction du temps



### Pression atmosphérique en fonction du déplacement du piston



# III/ Conclusion

Objectif atteint ?

Comment améliorer le capteur ?



Montage ballon sonde

Olympiades des Sciences de l'ingénieur : 3ème place.

Réalisation d'un montage vidéo.

Présence de différents journaux lors du lâcher.

Relations avec le CNES, Planètes Sciences, l'IUT Mesures Physiques de Saint-Étienne.

Lieux de départ et d'arrivée : Bas-en-Basset (43210) → Mont Lozère (150km en voiture)



# Ballon sonde



*Thomas Gonon, Francis Granger, Nicolas Medyk*

# Sommaire

- Généralités du projet
- Solutions envisagées pour répondre au besoin
- Température
  - Modèle
  - Expérimentation
- Stockage des données
  - Fonctionnement
  - Programme Arduino
- Conclusion



# Projet en général

Envoyer une nacelle reliée à un ballon à environ 30km d'altitude.  
Réaliser des mesures de pression et de température, et les stocker.  
Réaliser aussi des prises de vues avec des caméras dans la nacelle.

Problématique: Comment ce système nous permet-il de mieux connaître les différentes couches de l'atmosphère ?

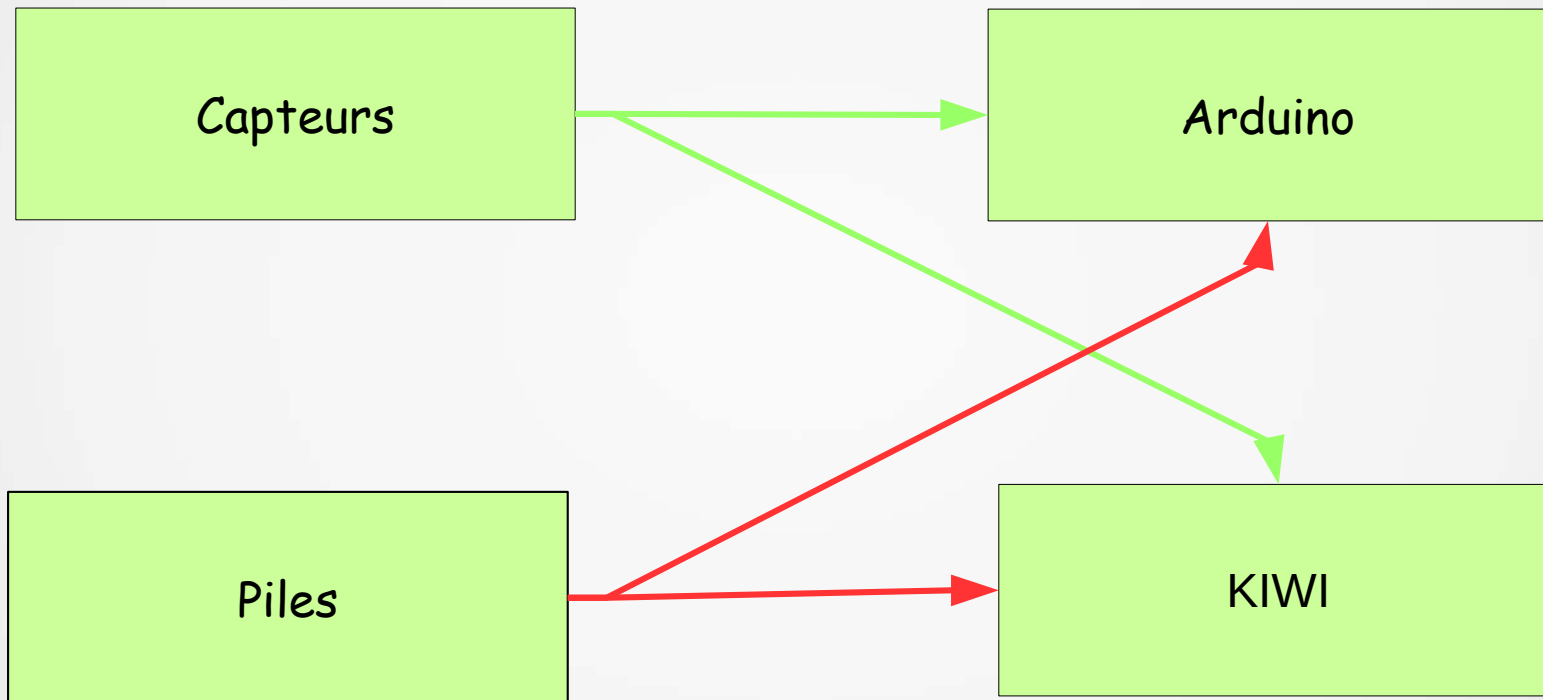
Conditions extrêmes :  $-55^{\circ}\text{C}$ , 25hPa, 28km d'altitude.

Mon rôle :

1. Relever la température intérieure et extérieure.
2. Stocker toutes les données sur une carte SD.

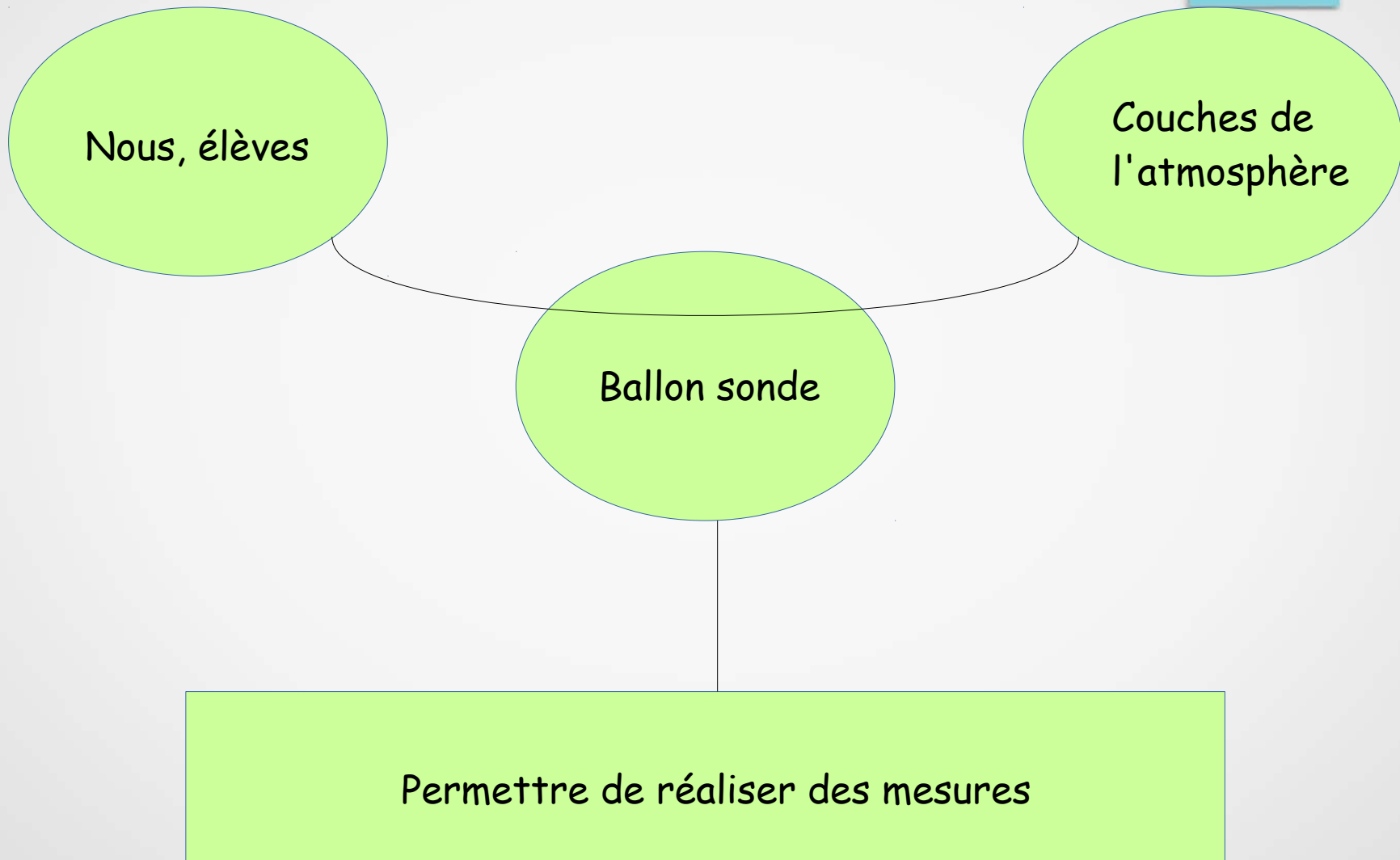
# Chaîne d'information et d'énergie

- Chaîne d'information →



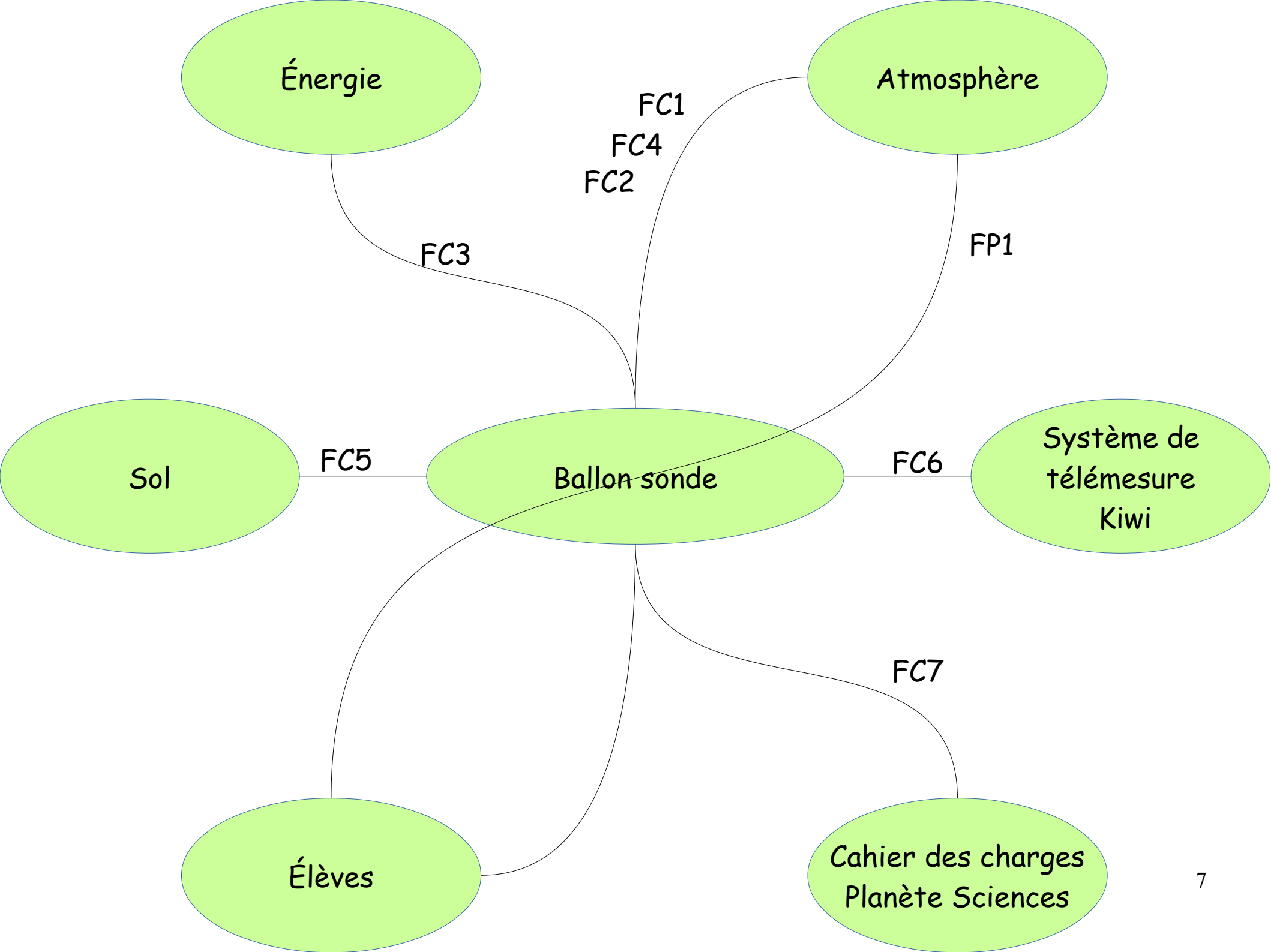
- Chaîne d'énergie →

# Diagramme « Bête à cornes »



# Diagramme des interacteurs

	Fonction	Niveau	Flexibilité
FP1	Recueillir des informations sur l'atmosphère	Température, pression, gaz, Photo...	
FC1	Mesurer la température	Jusqu'à -55°C mini Chronologiquement et sauvegarde sur carte SD	
FC2	Mesurer la pression atmosphérique	26 HPa	
FC3	Alimenter la nacelle	Autonome pour la durée de vol (3 heures)	mini
FC4	Prise de vue aérienne	Chronologiquement et sauvegarde sur carte SD	
FC5	Protéger	Résister milieu extérieur (température, pression choc...)	
FC6	Transmettre les données au sol		
FC7	Respecter le Cahier des charges de Planète Sciences	Poids de la nacelle 2,5 kg	maxi



# Solutions envisagées

	Thermocouple	Thermistance CTN/CTP	Capteur électronique (LM35,TMP36...)	Sonde RTD	Thermomètre mercure
Intérêt disciplinaire	+	+	-	+	+
Coût	= (±10€)	+ (1 à 3€)	+ (±3€)	- (+50€)	- (15/20€)
Stockage des données	-	+	+	+	-
Mise en place	-	+	-	-	-
Respect de l'environnement	+	+	+	+	-
Bilan	-	+	-	-	-

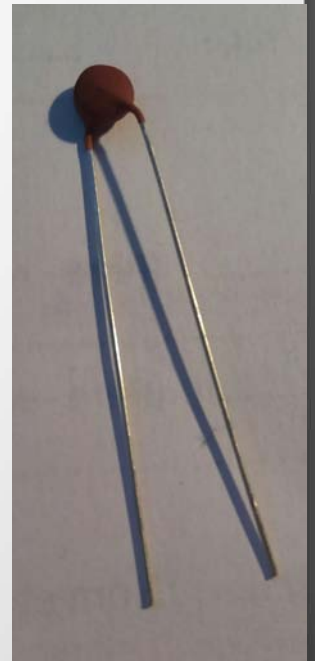
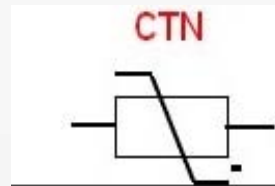
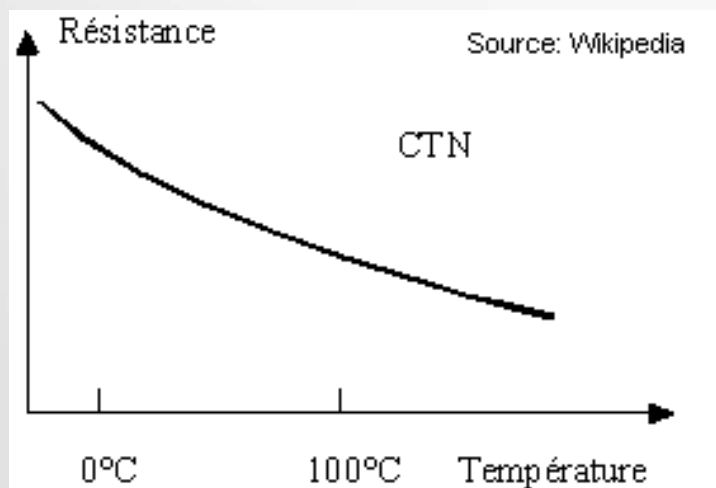


# La thermistance CTN

Résistance qui varie en fonction de la température.

Quand celle-ci augmente, la résistance diminue.

Pour relever les valeurs, il a été nécessaire de faire un pont diviseur.



# Température

Relation de Steinhart-Hart :

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R_T) + C(\ln(R_T))^3$$

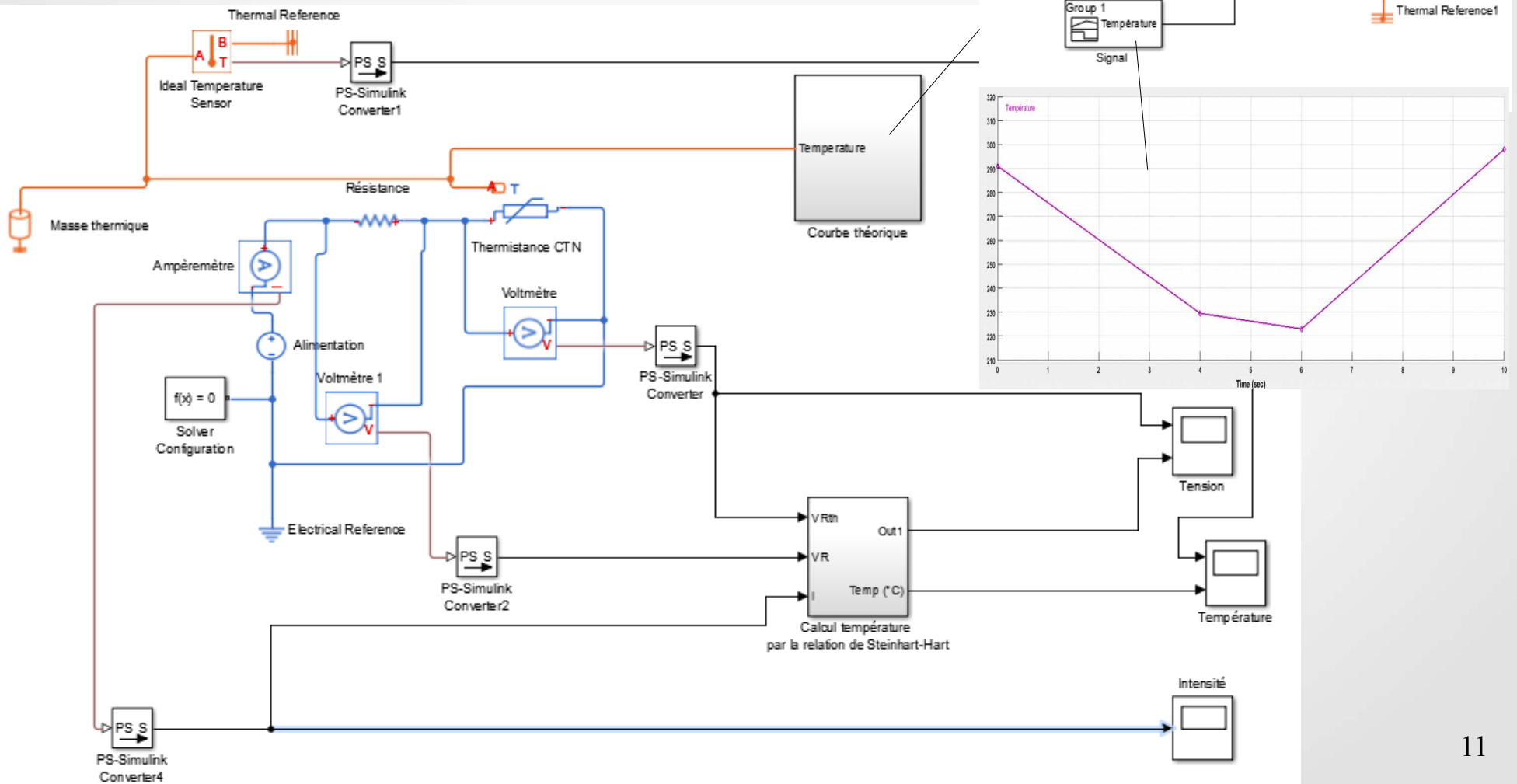
Qui devient :

$$\frac{R_T}{R_0} = \exp\left(\beta \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

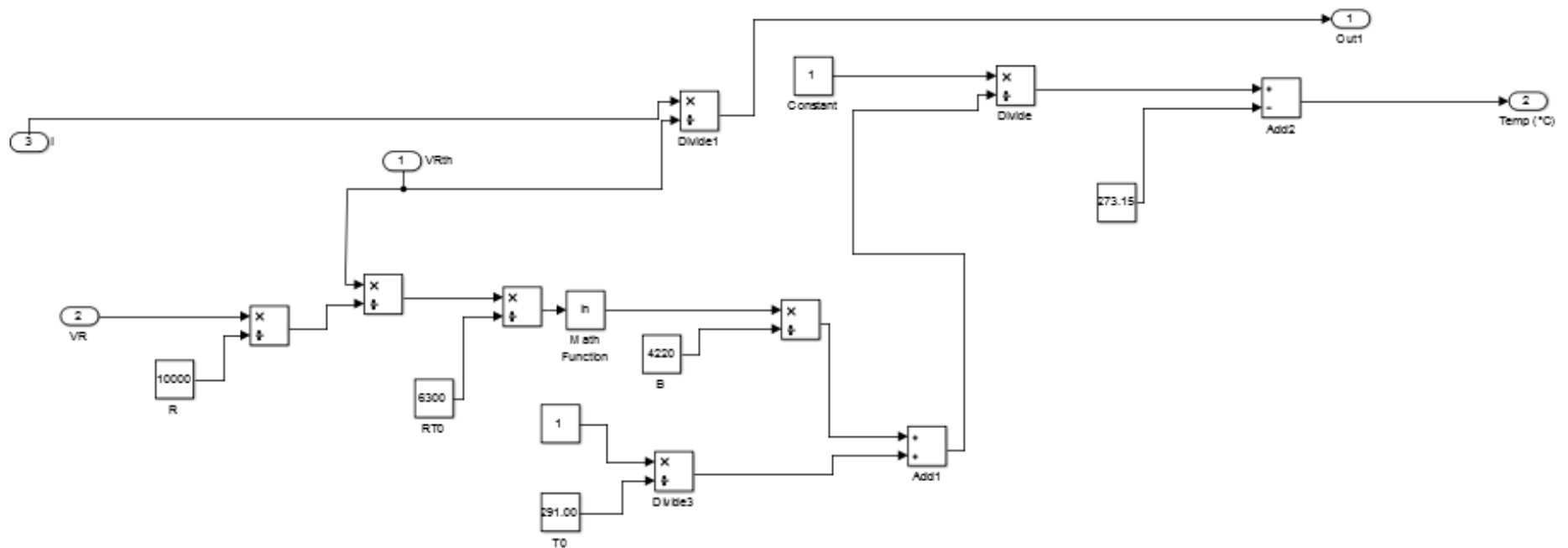
D'où :

$$T = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{RT}{R0}\right)}{B} + \frac{1}{T0}}$$

# Simulation sur Matlab

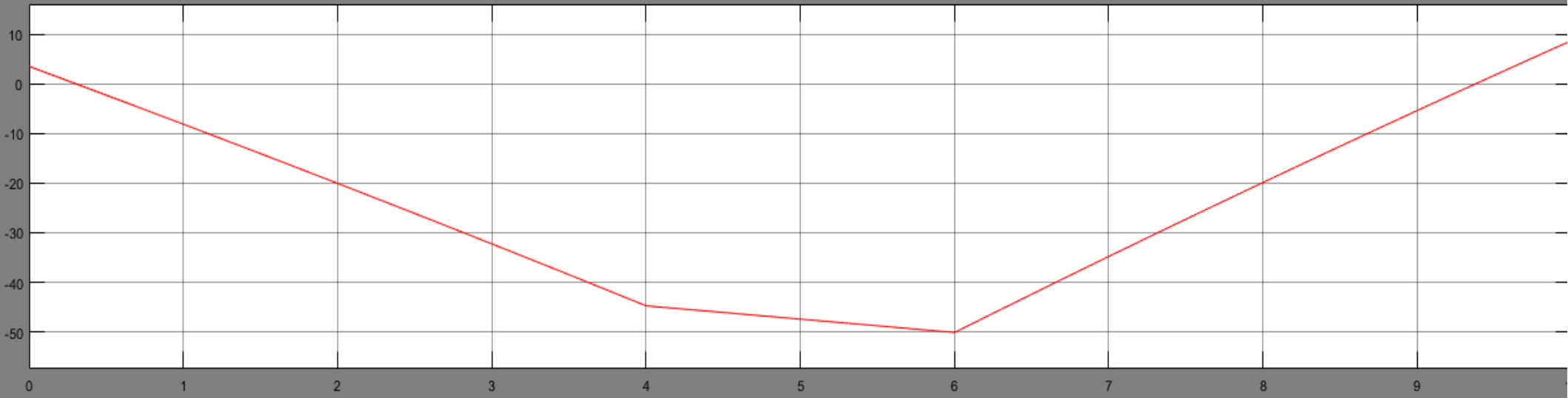
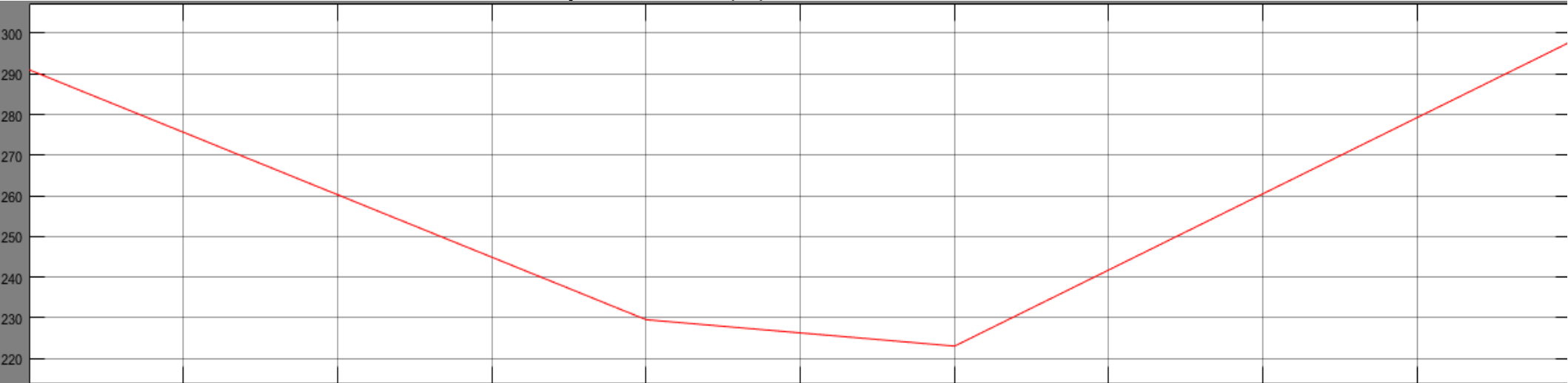


# Bloc de calcul



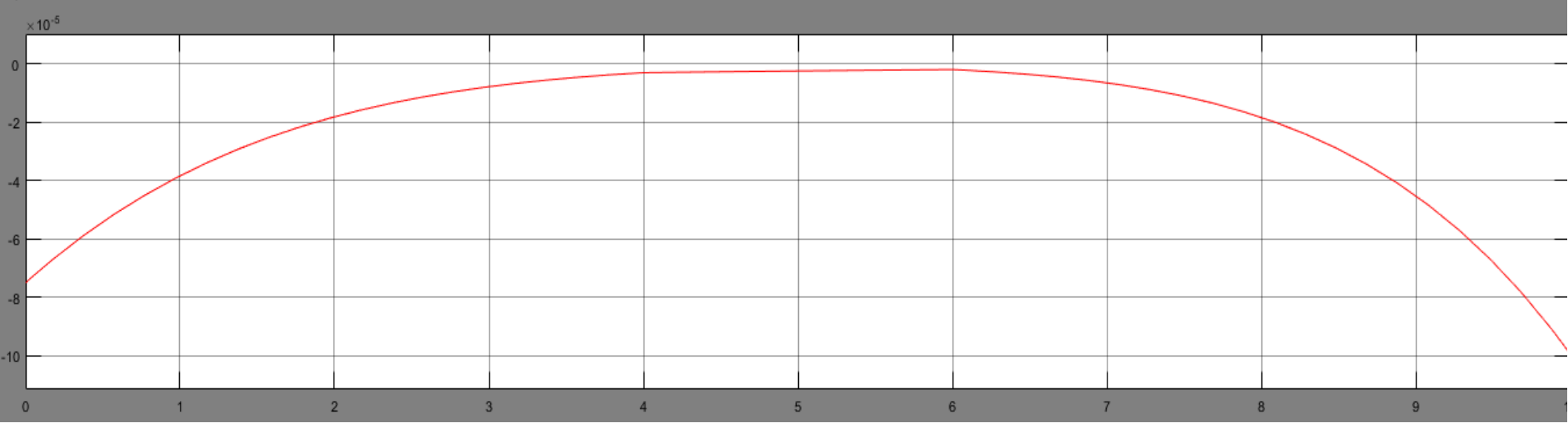
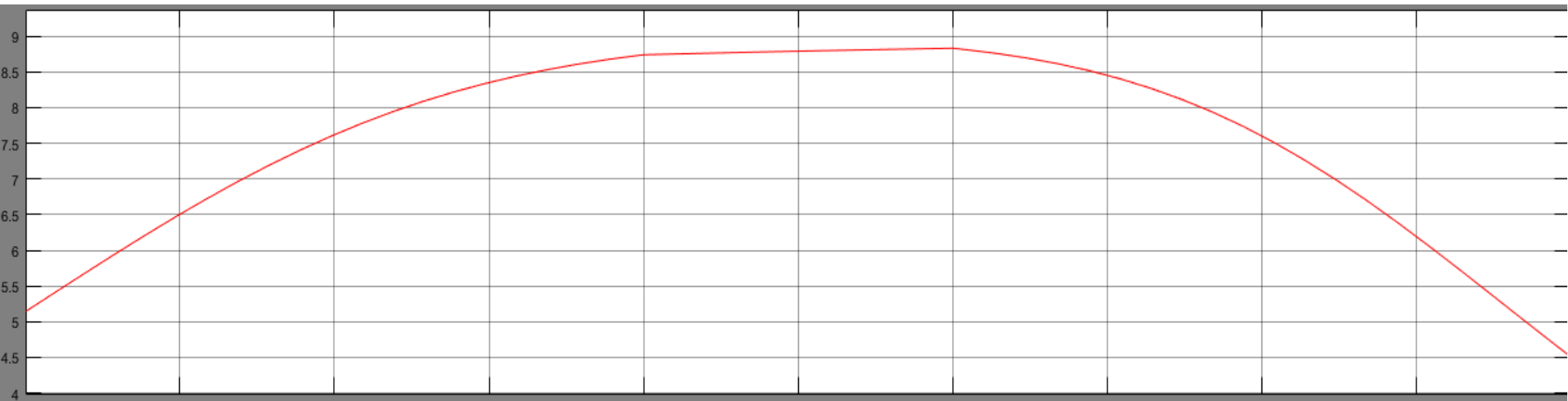
$$T = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{RT}{R0}\right)}{B} + \frac{1}{T0}}$$

Température (K)



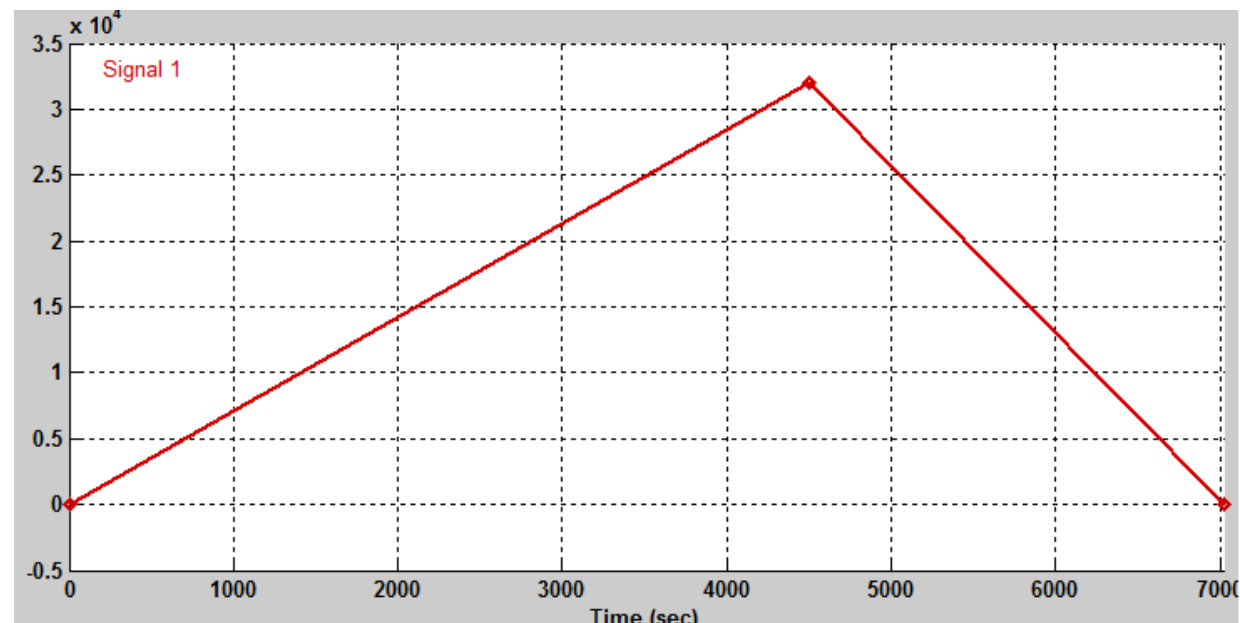
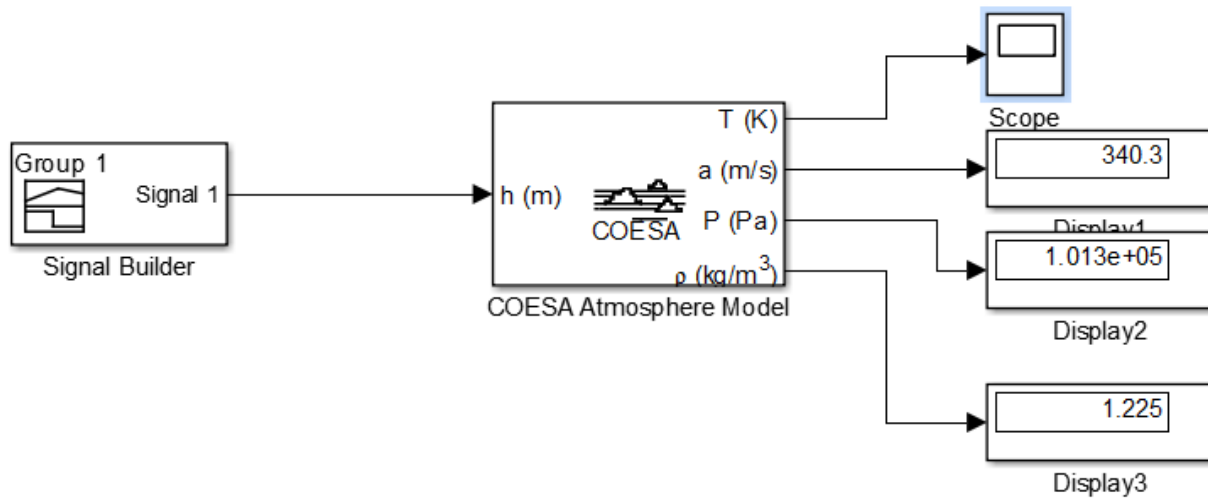
Température (°C)

Tension aux bornes de la CTN

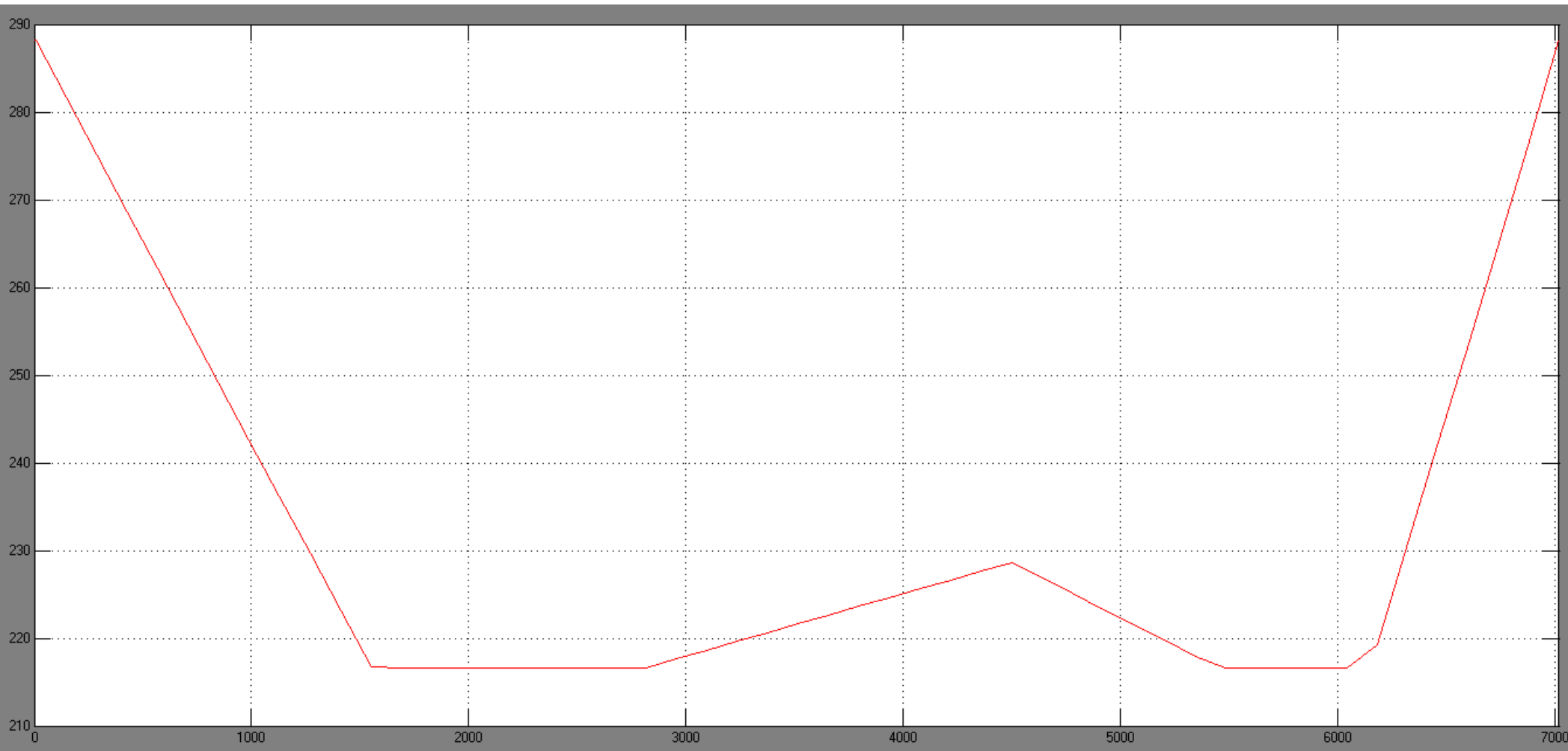


Tension aux bornes de la résistance

# Modèle matlab pour la montée du ballon



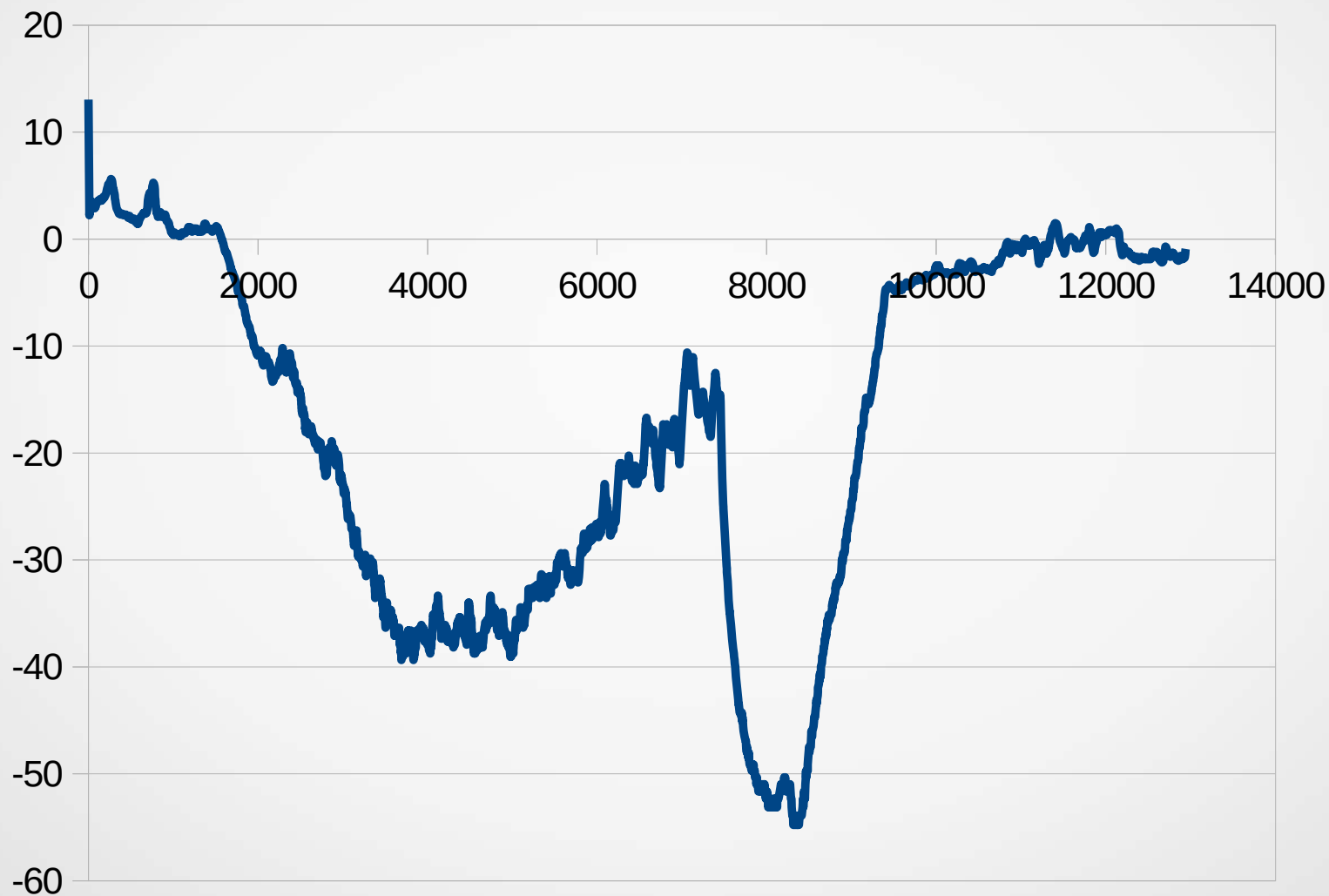
# Température théorique sur matlab





# Température extérieure (°C)

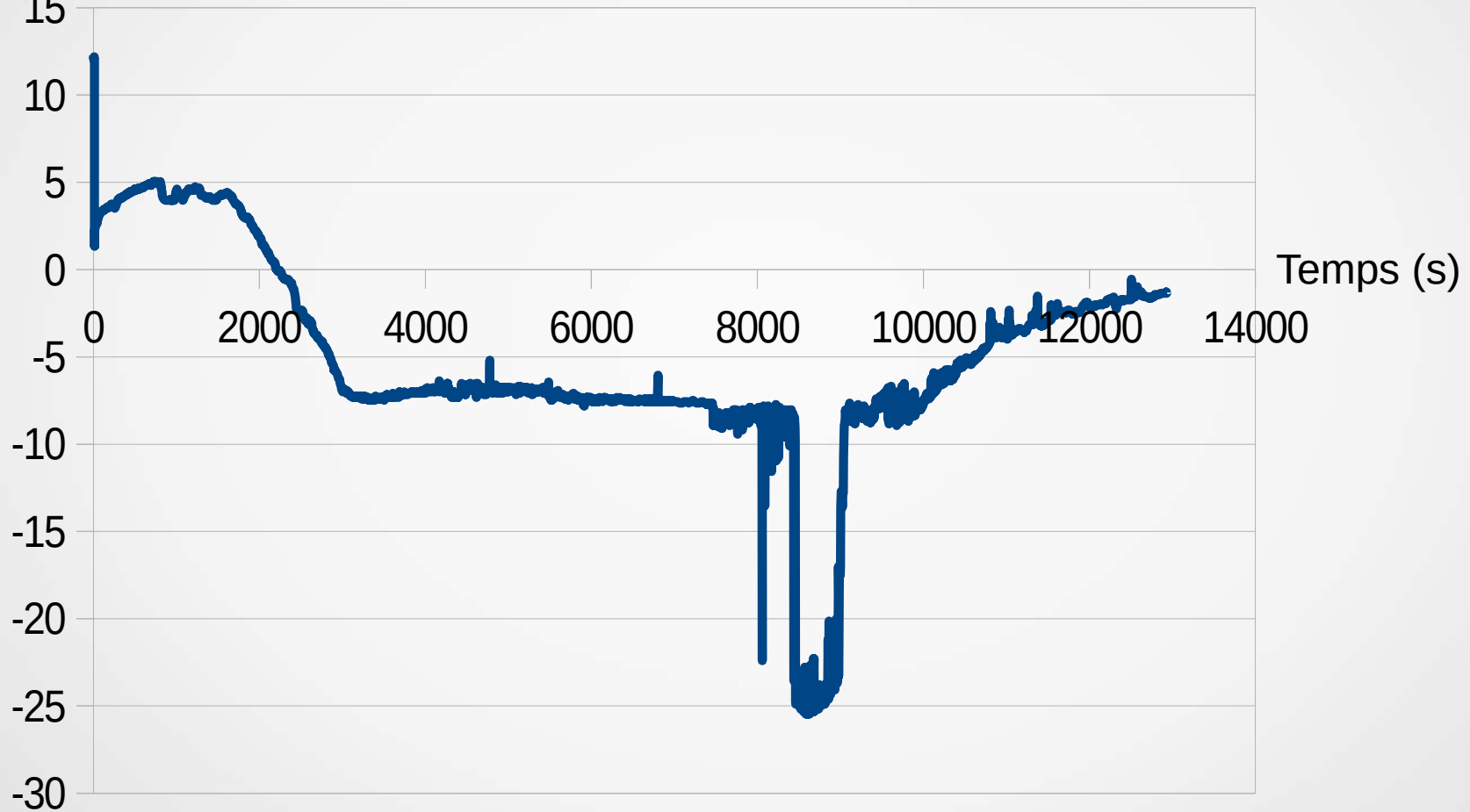
Température  
(°C)



Temps (s)

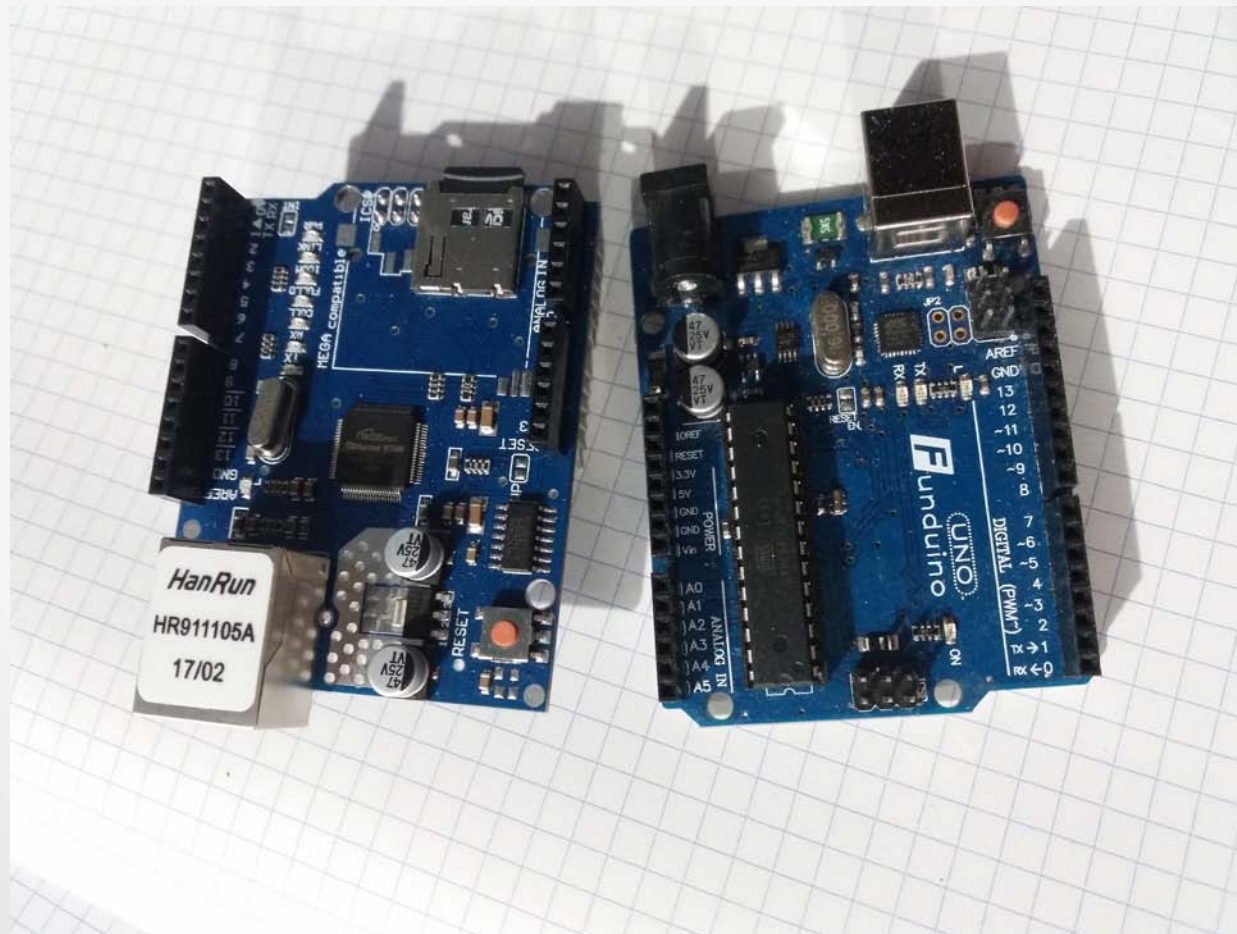
# Température intérieure (°C)

Température  
(°C)



# Stockage des données

Carte Arduino + Shield Port SD



```
// Librairies
```

```
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
```

```
// Thermistances
```

```
#define RTO 6300
#define B 4220
#define VCC 5
#define R 10000
```

```
float ln;
float RTA, VRA, T2, VRTA; // VARIABLES TEMPERATURE INTERIEURE
float RTB, VRB, T3, VRTB; // VARIABLES TEMPERATURE EXTERIEURE
```

```
// Pression
```

```
long pinPot = A2;
float valPot;
float longueurPot;
float V1 = 1.4e-6;
float V2;
float P2;
float P1 = 102300; // Entrer la pression initiale
```

```
//Autre
```

```
//Autre
```

```
float T1= 273.15+17.7; // Entrer la temperature initial
// Variables pour carte SD
```

```
File pression;
File volume;
File longueur;
File tension;
```

```
File ctnext;
File tensext;
```

```
File ctuint;
File tensint;
```

```
void setup() {
```

```
    SD.begin(4); //Initialisation Carte SD
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
// PRESSION
```

```
valPot = analogRead(pinPot);  
longueurPot = valPot/1023;  
V2 = 5.5*longueurPot +1.4;  
V2 = V2*1e-6; // passage des ml en m^3  
P2 = (P1*V1*T2)/(T1*V2);  
float tens = 5-((valPot*5)/1023);
```

```
// Dossiers pour la pression sur la carte
```

```
tension= SD.open("Tension.log", FILE_WRITE);  
tension.println(5-((valPot*5)/1023));  
tension.close();  
  
longueur= SD.open("Longueur.log", FILE_WRITE);  
longueur.println(longueurPot);  
longueur.close();  
  
volume= SD.open("Volume.log", FILE_WRITE);  
volume.println(V2*1e6, 2);  
volume.close();  
  
pression= SD.open("Pression.log", FILE_WRITE);  
pression.println(P2);
```

Stockage données  
relative à la pression sur  
la carte SD

```
pression.println(P2);  
pression.close();
```

```
// TEMPERATURE INTERIEURE
```

```
VRTA = analogRead(A0);  
VRTA = (5.00 / 1023.00) * VRTA;  
VRA = VCC - VRTA;  
RTA = VRTA / (VRA / R);  
ln = log(RTA / RT0);  
T2 = (1 / ((ln / B) + (1 / T1)));
```

```
// Dossier température intérieure
```

```
ctnint= SD.open("Tempint.log", FILE_WRITE);  
ctnint.println(T2-273.15);  
ctnint.close();
```

```
tensint= SD.open ("Tensint.log", FILE_WRITE);  
tensint.println (VRTA);  
tensint.close();
```

```
// TEMPERATURE EXTERIEURE
```









```
VRTB = analogRead(A1);  
VRTB = (5.00 / 1023.00) * VRTB;  
VRB = VCC - VRTB;  
RTB = VRTB / (VRB / R);
```

Calcul température

```
RTB = VRTB / (VRB / R);  
ln = log(RTB / RT0);  
T3 = (1 / ((ln / B) + (1 / T1)));  
  
// Dossier température extérieure  
  
ctnext= SD.open("Tempext.log", FILE_WRITE);  
ctnext.println(T3-273.15);  
ctnext.close();  
  
tensex= SD.open ("Tensex.log", FILE_WRITE);  
tensex.println (VRTB);  
tensex.close();  
  
delay(1000);  
  
}
```

Suite du calcul et enregistrement sur la carte SD

# Résultat sur la carte SD

Nom	Date de modificati...	Type	Taille
 LONGUEUR	01/01/2000 01:00	Document texte	61 Ko
 PRESSION	01/01/2000 01:00	Document texte	98 Ko
 TEMPEXT	01/01/2000 01:00	Document texte	75 Ko
 TEMPINT	01/01/2000 01:00	Document texte	69 Ko
 TENSEXT	01/01/2000 01:00	Document texte	61 Ko
 TENSINT	01/01/2000 01:00	Document texte	61 Ko
 TENSION	01/01/2000 01:00	Document texte	61 Ko
 VOLUME	01/01/2000 01:00	Document texte	64 Ko

# Conclusion

- Objectif atteint : stockage des données et mesure de température réalisés malgré les conditions extrêmes. Pour améliorer le système, il serait judicieux de mettre plusieurs types de capteurs de température différents et les comparer.
- Olympiades des Sciences de l'ingénieur : 3<sup>ème</sup> place.
- Montage en ligne sur YouTube.
- Présence de différents journaux lors du lâcher.
- Relations avec le CNES, Planètes Sciences, l'IUT Mesures Physiques de Saint-Étienne.
- Durée du vol : 1h57min
- Altitude maximale : 32 000m
- Lieux de départ et d'arrivée : Bas-en-Basset (43210) → Mont Lozère



# Ballon Sonde



# Sommaire

## I / Présentation générale du projet :

Problématique et description du besoin

Cahier des charges

Répartition du travail

## II / Réalisation

Choix des solutions

Simulation

Expérimentation



## III / Conclusion

# Présentation

Besoin:

Mieux appréhender les différentes couches de l'atmosphère ainsi que l'évolution des grandeurs physiques qui les caractérisent.



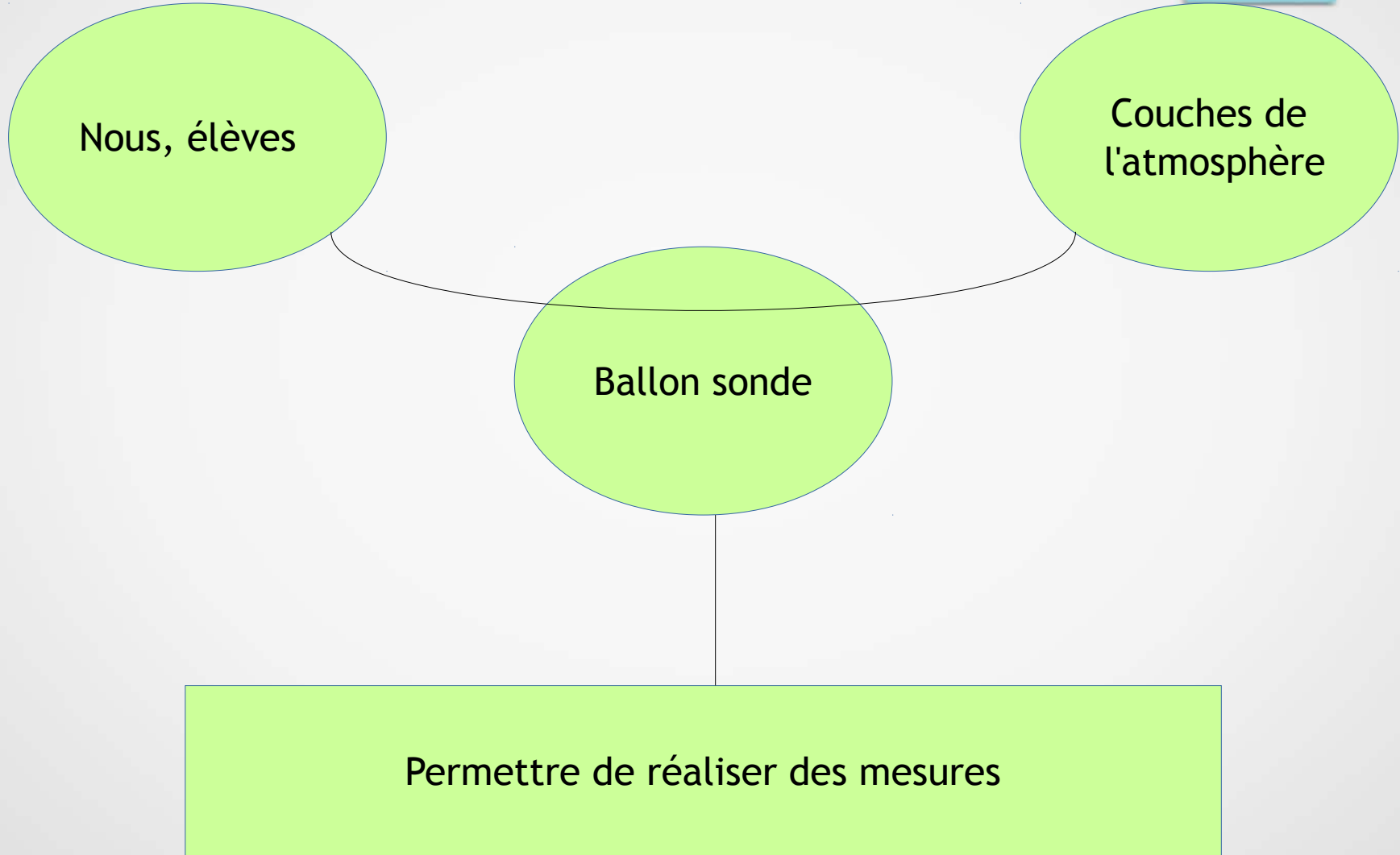
# Présentation

Nous, élèves

Couches de  
l'atmosphère

Ballon sonde

Permettre de réaliser des mesures



# Présentation

**Problématique :**

**Comment l'envoi d'un ballon sonde dans la stratosphère peut-il permettre de caractériser les différents phénomènes et conditions extrêmes de notre atmosphère ?**



# Cahier des charges

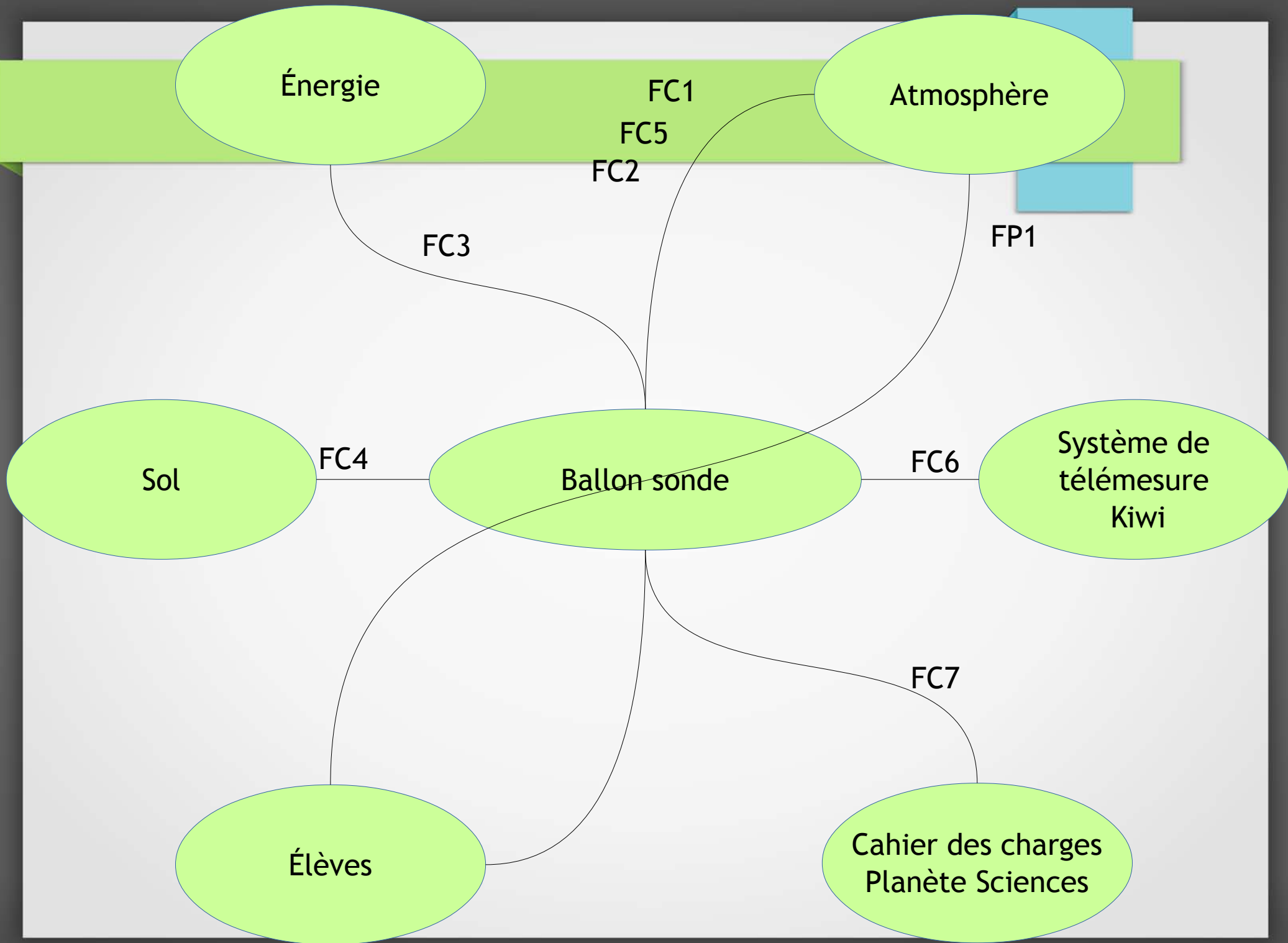
Réaliser des mesures de température

Réaliser un capteur de pression

Enregistrer les mesures en cours de vol

Alimenter la nacelle pendant toute la durée du vol

Maintenir l'intérieur de la nacelle dans des conditions favorables au fonctionnement de l'électronique embarquée



# L'existant

- Les partenariats :



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

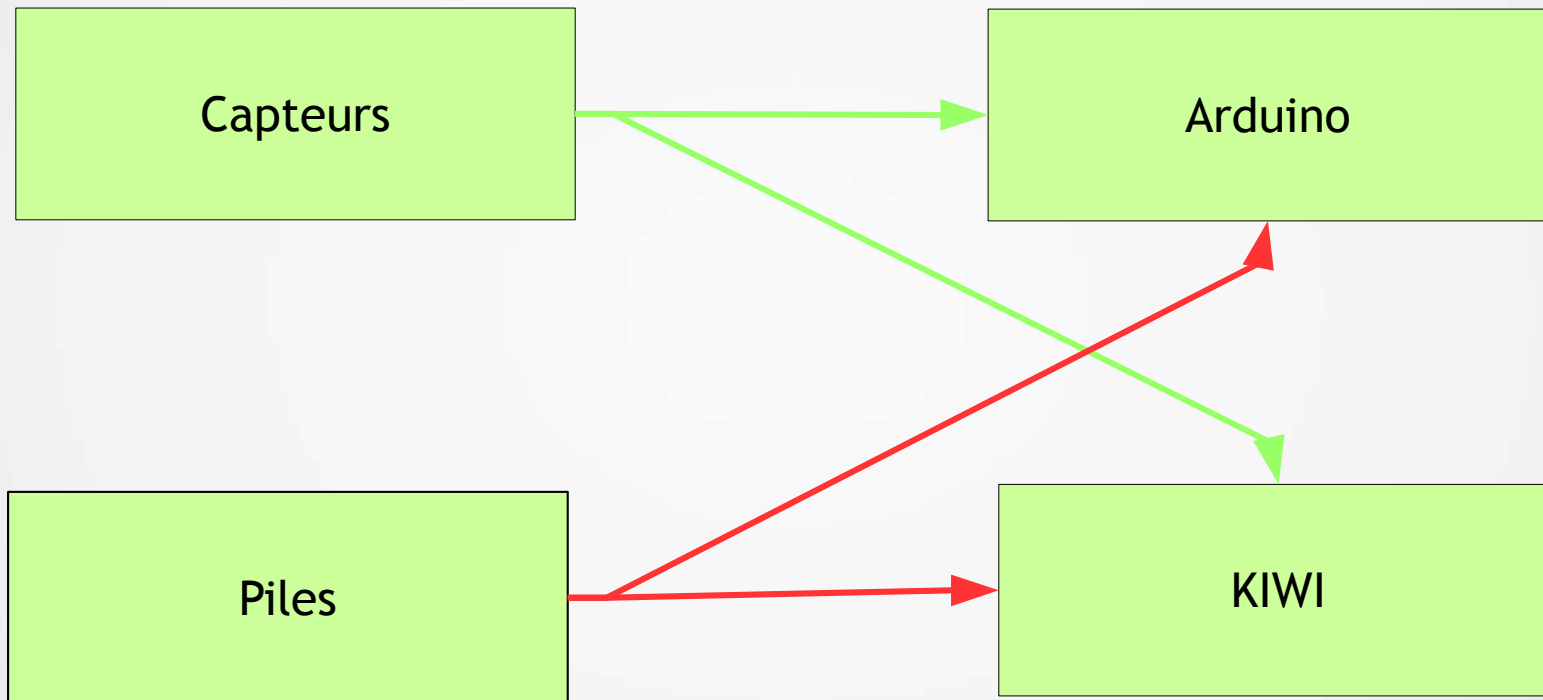
- La chaîne de vol
- La nacelle





# Chaîne d'information et d'énergie

- Chaîne d'information →



- Chaîne d'énergie →

# Répartition des tâches

- Mesurer la température et enregistrer les données : Nicolas Medyk
- Réaliser un capteur de pression : Francis Granger
- Alimentation et protection de la nacelle : Thomas Gonon

## II/ Réalisation

- Contraintes pour l'alimentation :

Alimenter en 9V : Entre 5,6V et 12V pour le KIWI

Durer durant tout le vol : Minimum 3h

Résister aux conditions extrêmes : -55°C, 26 HPa

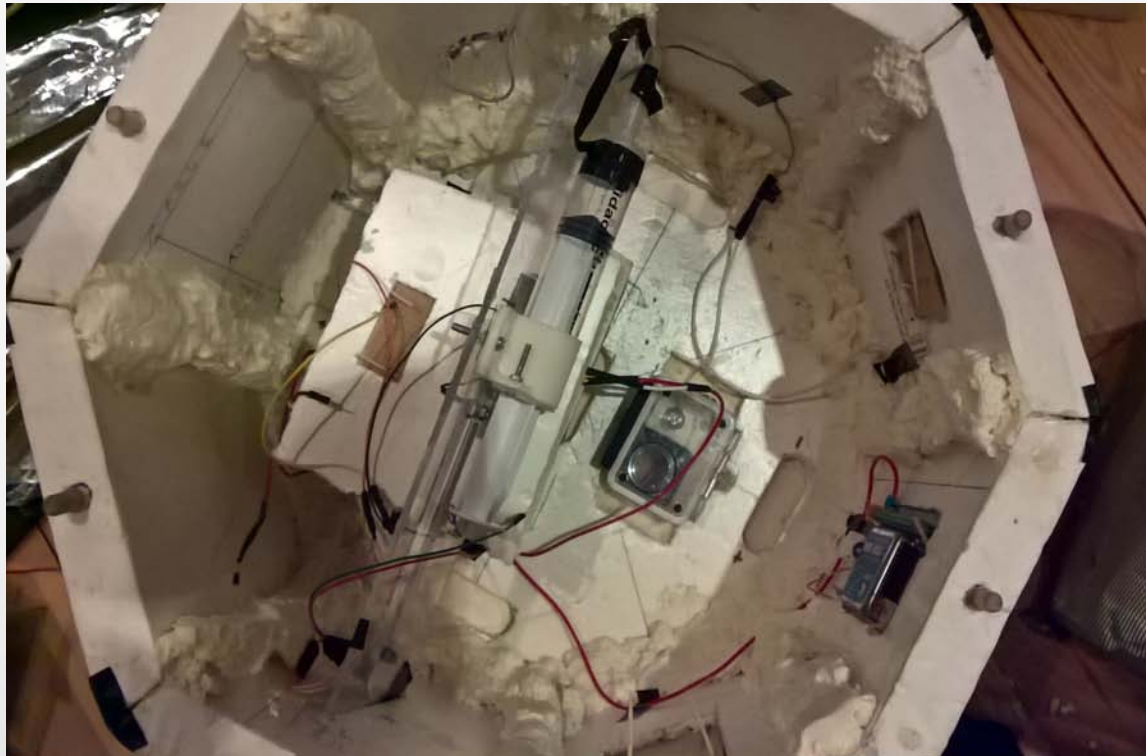


# Choix des solutions pour l'alimentation

Solution / Critère	Coût	Facilité de mise en œuvre	Poids	Respect de l'environnement	Capacité à alimenter pendant tout le vol	Résistance aux conditions
Piles alcalines 4,5 V	+	+	=	=	=	+
Piles AA au lithium	=	=	+	-	+	=
Panneau solaire	-	-	-	=	-	=
Batterie	-	=	-	=	+	-

# Choix de l'alimentation

- Mesures de courant consommé par la carte Arduino
- Dimensionnement du circuit d'alimentation



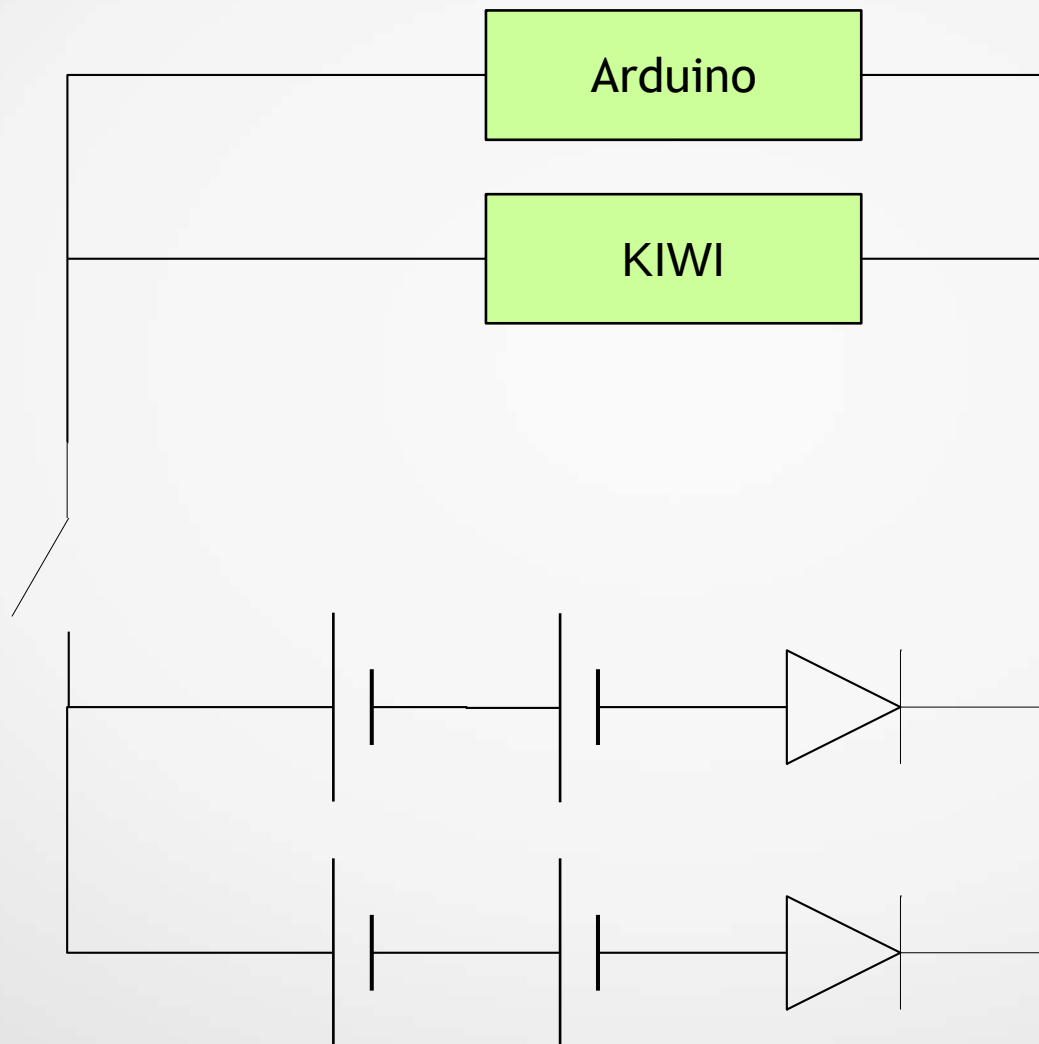
# Solution retenue :

4 piles alcalines 4,5 V

Référence : Pile 3LR12, RS Pro, 4.5V,  
Alcaline, Cosses, 4.4Ah



# Schéma du montage :



## II/ Réalisation

- Contraintes pour la protection de la nacelle :
- Maintenir l'intérieur de la nacelle dans des conditions favorables au fonctionnement de l'électronique embarquée
- Protéger le matériel embarqué des chocs





# Caractérisation de la nacelle

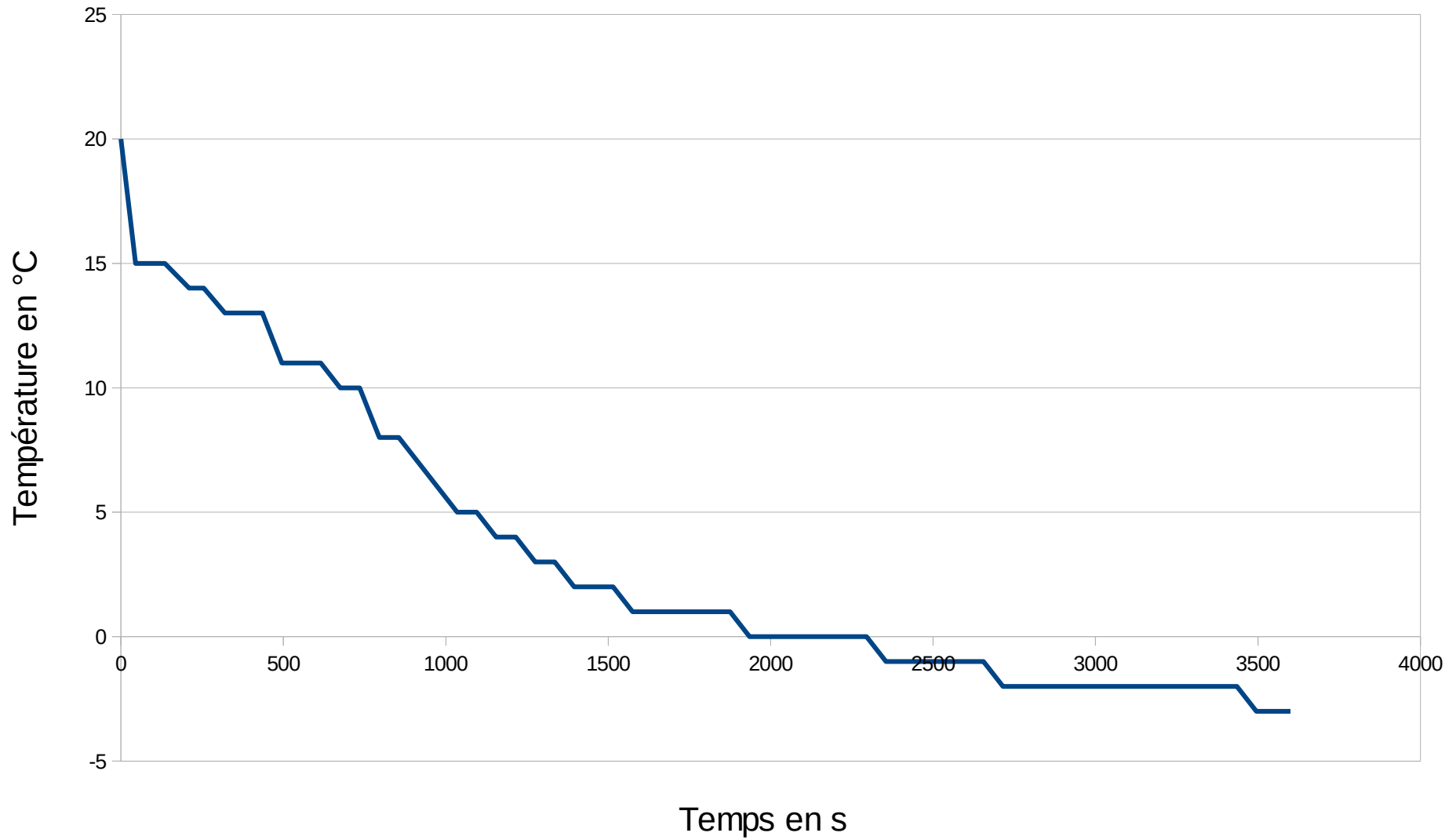
- Nacelle = Boite en polystyrène expansé
- Masse : 0,892 kg
- Épaisseur du polystyrène : 28 mm
- Conductivité thermique : 0,033 W/(m\*K)
- Surface d'échange avec l'extérieur : 0,717 m<sup>2</sup>
- Surface d'échange avec l'intérieur : 0,514 m<sup>2</sup>
- Volume : 0,0277 m<sup>3</sup>  $\Leftrightarrow$  27,7 L
- Masse d'air contenue : 34 g

# Expérimentation thermique

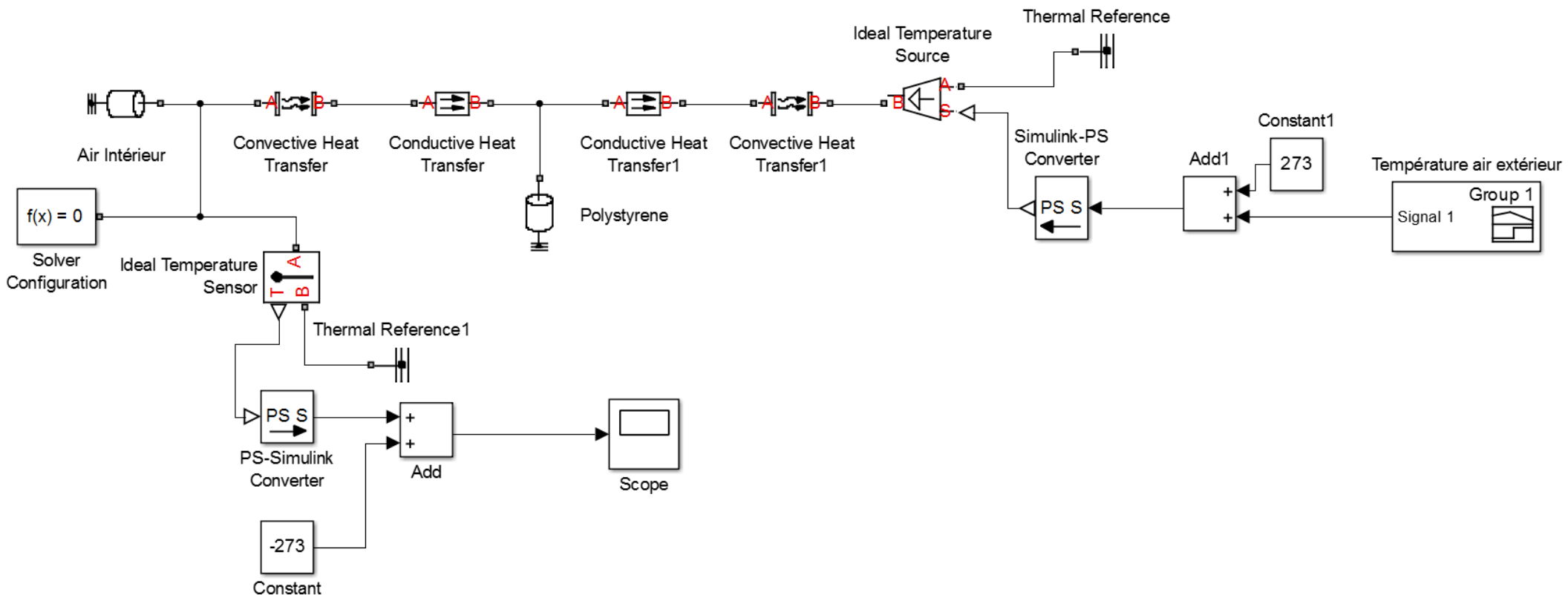
- 1h dehors en hiver
- Jour sans vent ni soleil (nuages)
- Température décroissante entre  $-3^{\circ}\text{C}$  et  $-6^{\circ}\text{C}$
- Température initiale :  $20^{\circ}\text{C}$
- Mesures toutes les minutes



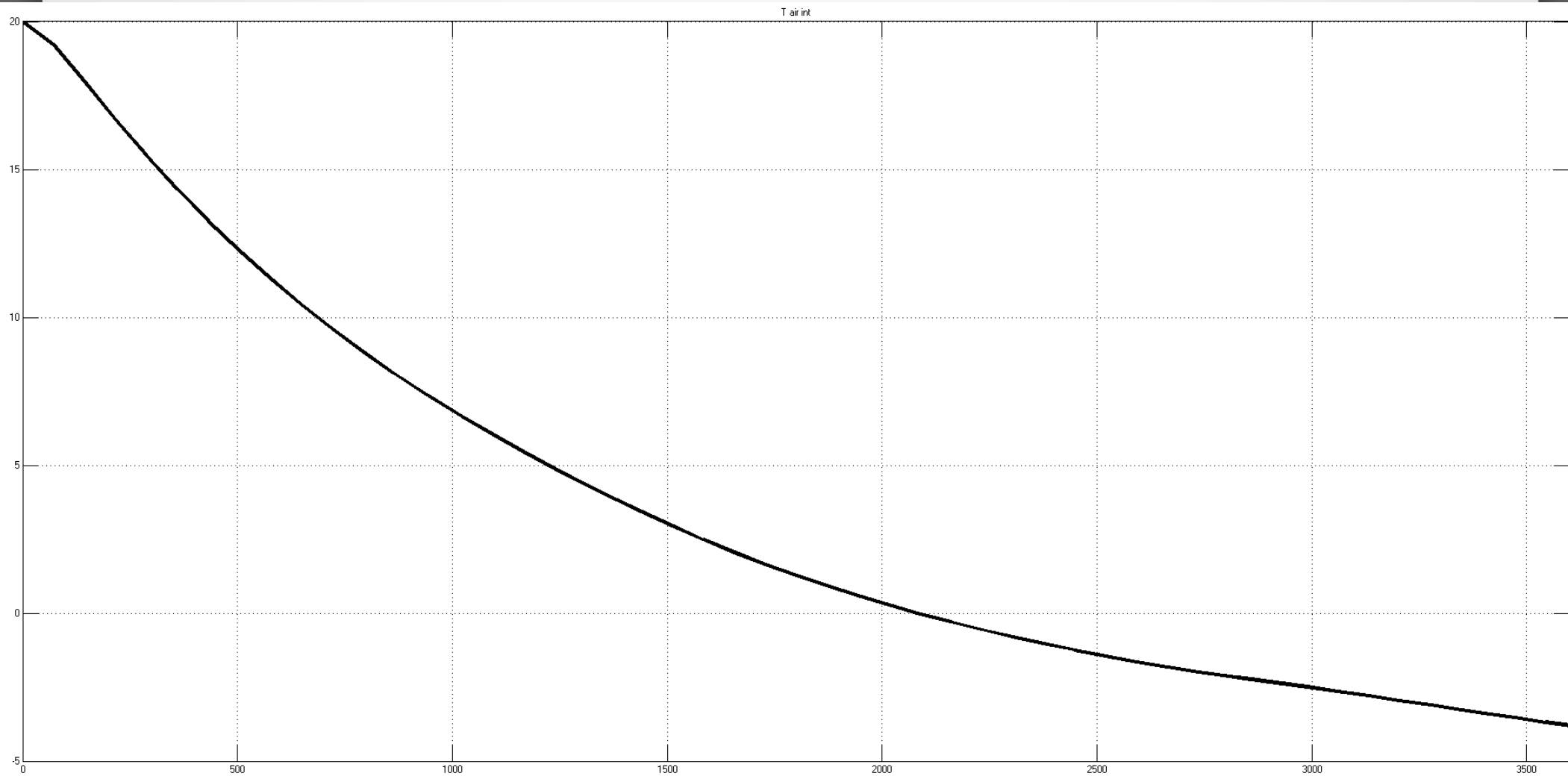
# Résultats de l'expérimentation thermique



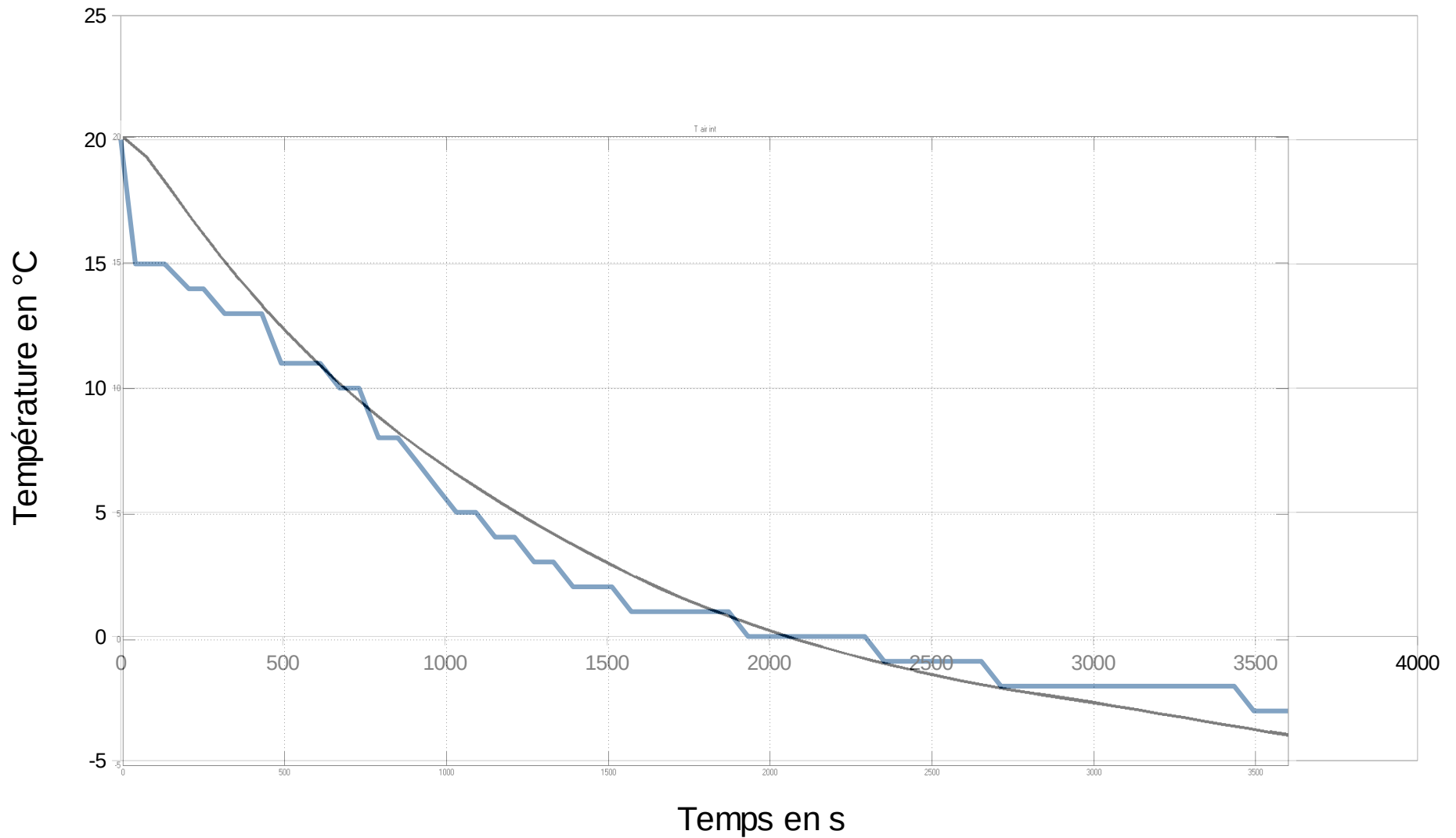
# Validation du modèle thermique de la nacelle



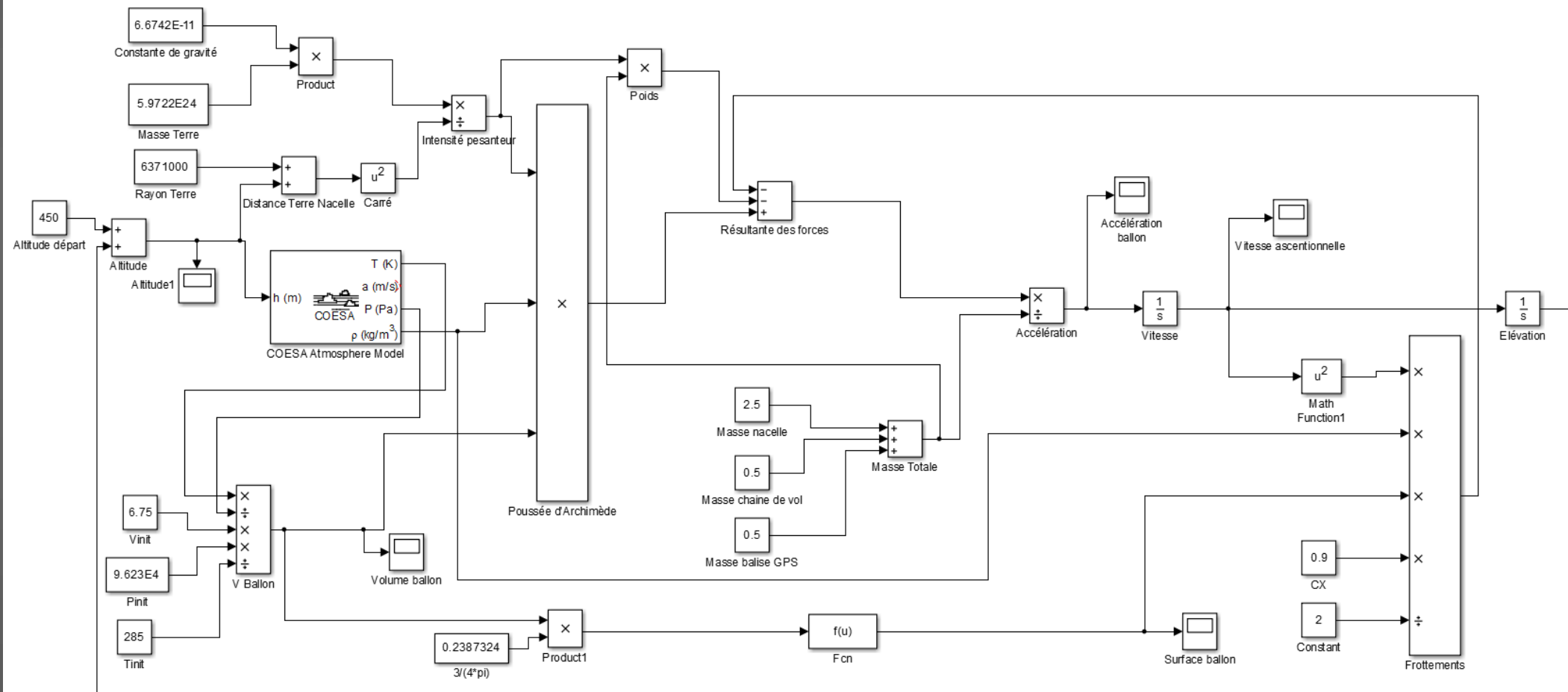
# Résultats de la simulation



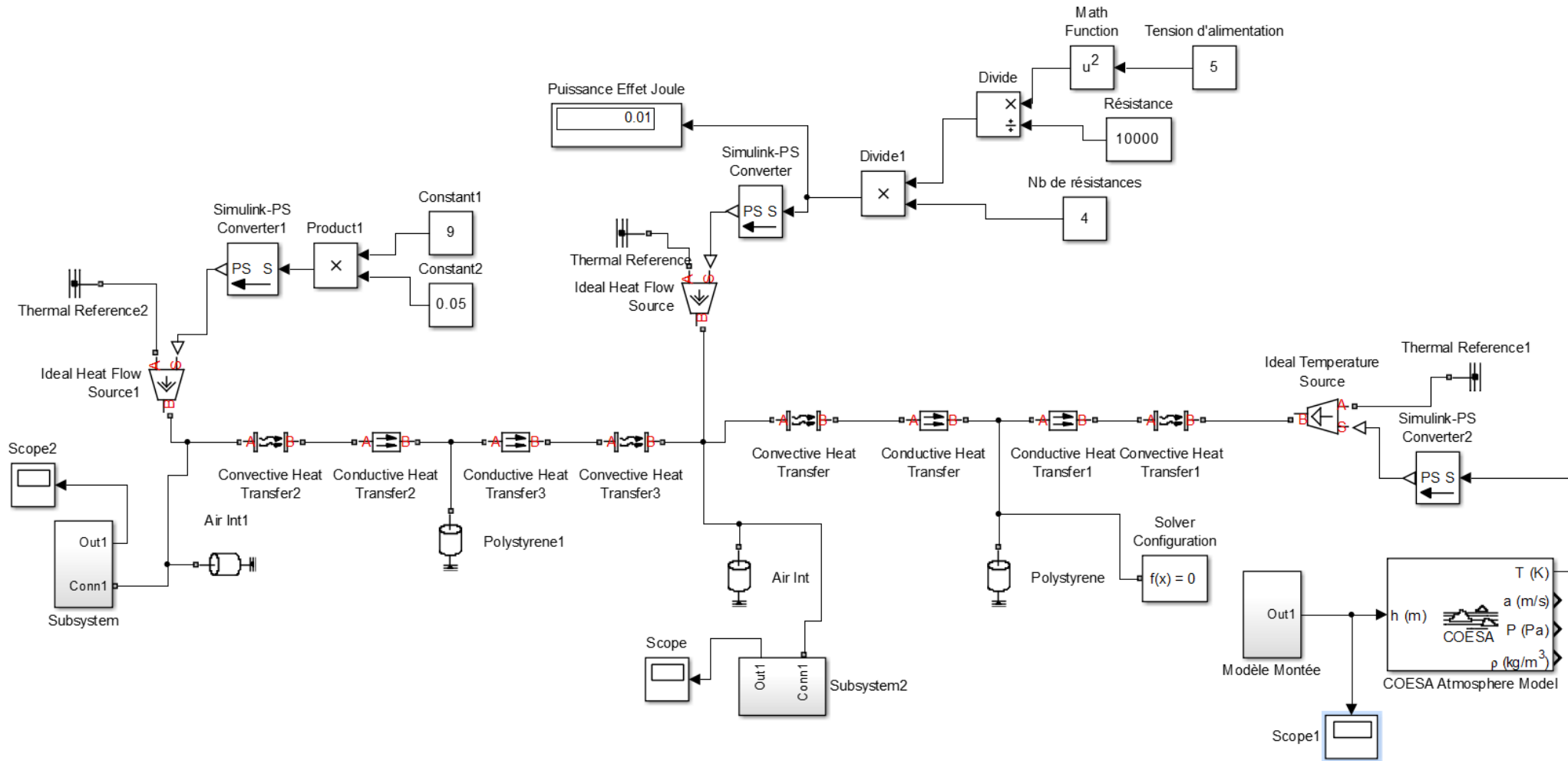
# Validation du modèle thermique de la nacelle



# Simulation de la vitesse de montée du ballon

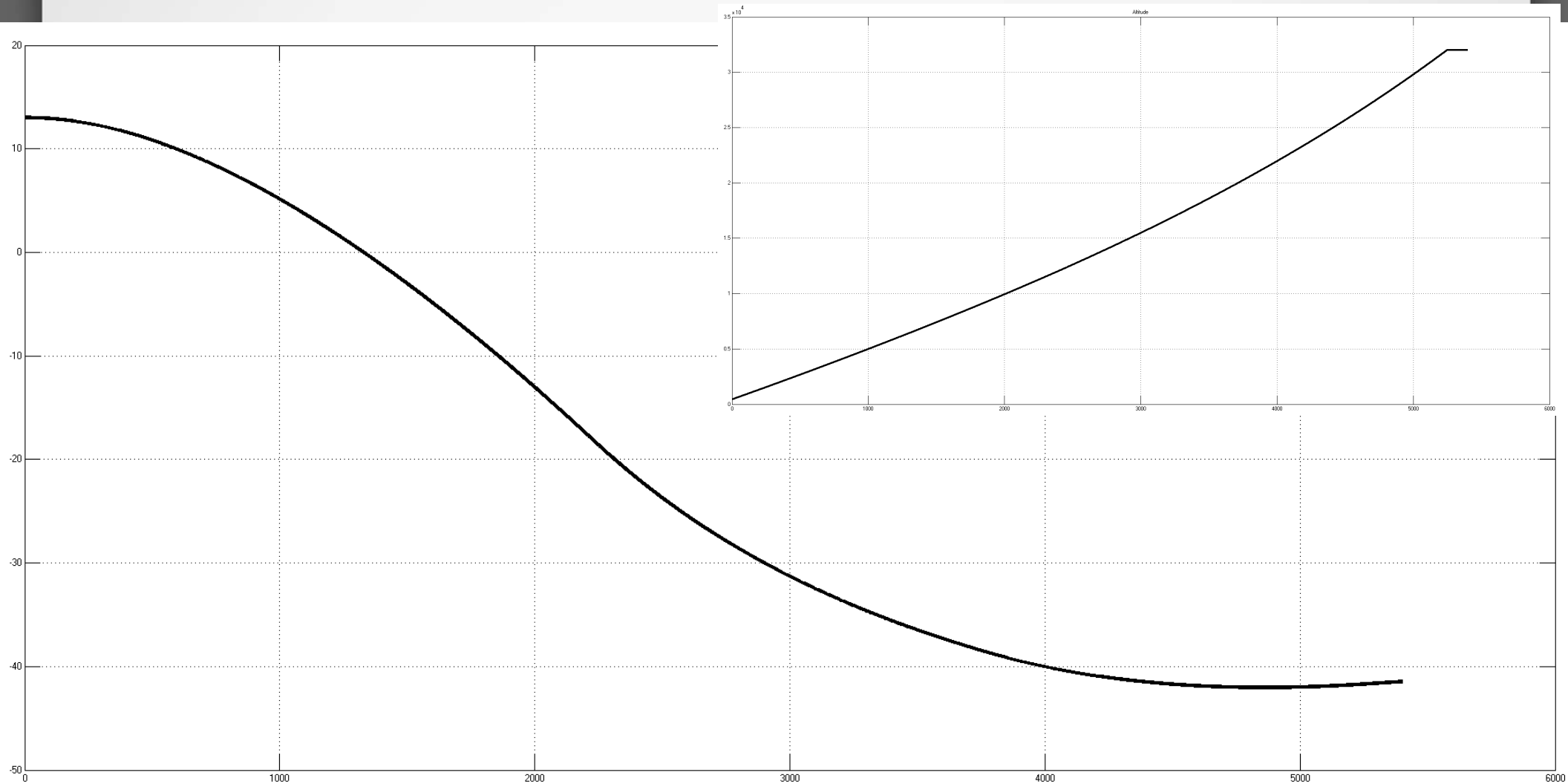


# Modèle thermique de la montée

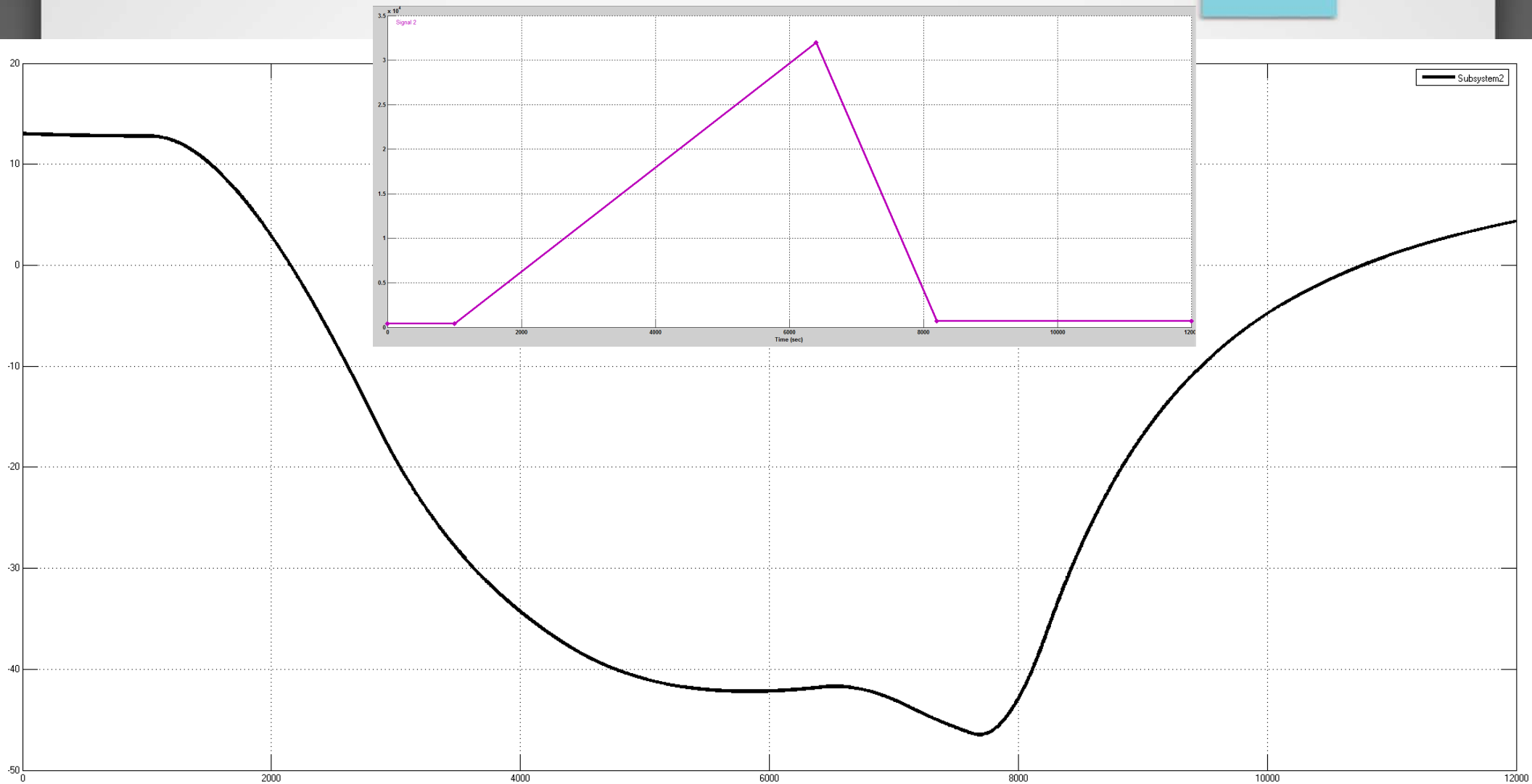




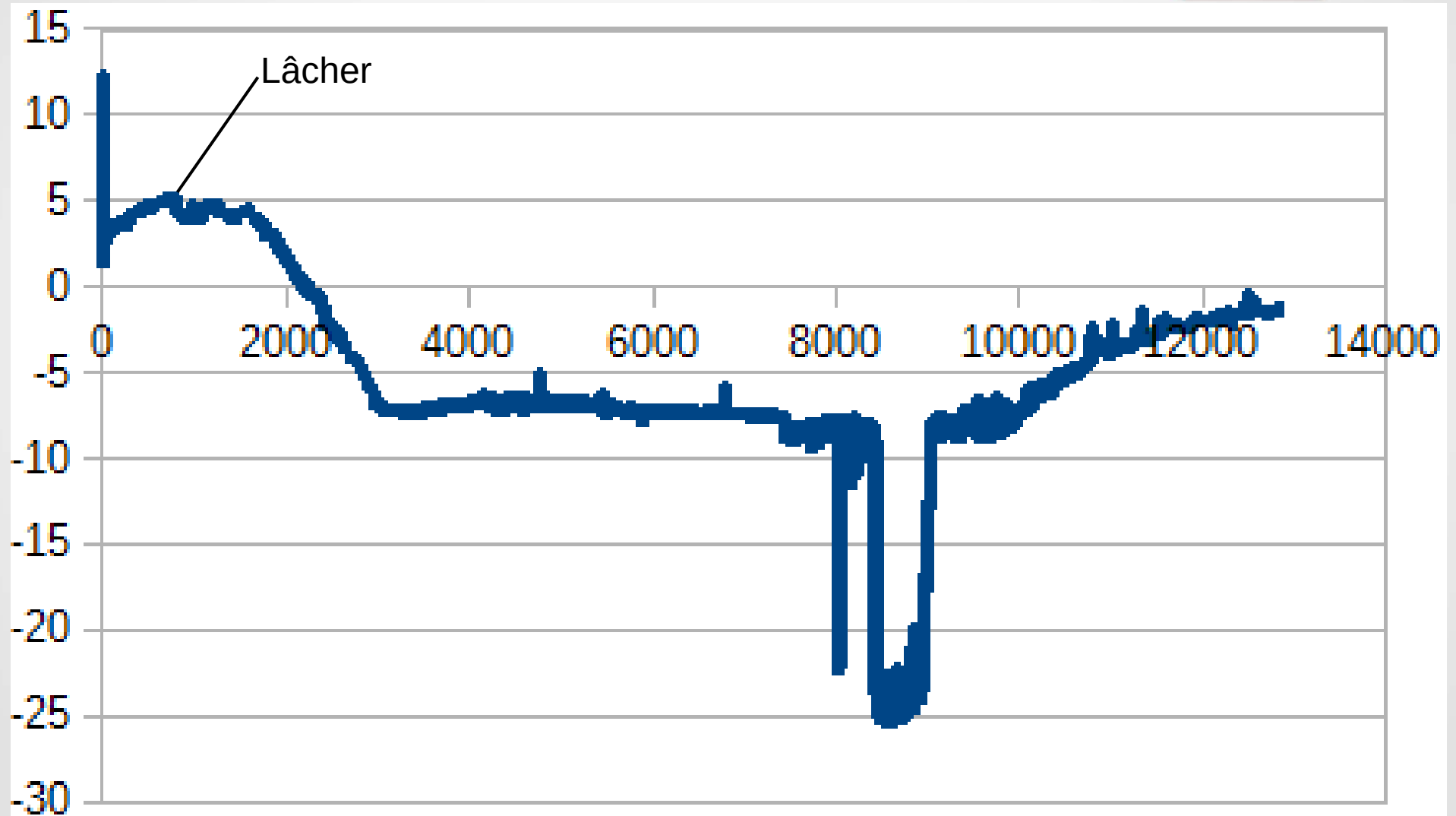
# Résultats simulation



# Résultats simulation

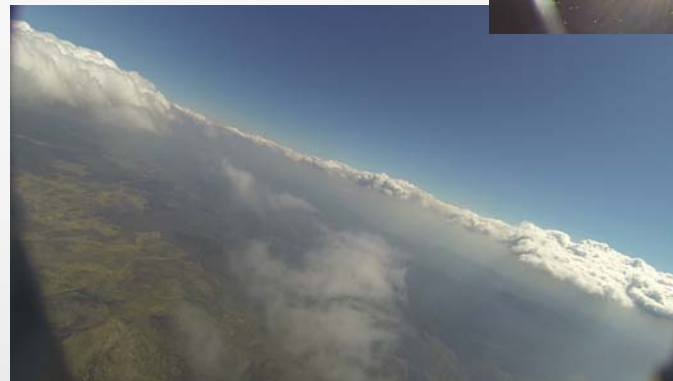


# Courbe de température intérieure



# Conclusion

- Lâcher le 5 avril
- 1h57 de vol dont 1h28 de montée - Altitude maximale = 32 000 m :
  - Modèle de la vitesse de montée validé
- Fonctionnement durant tout le vol :
  - Choix de l'alimentation validé
  - Protection de la nacelle validée



# Conclusion

- 3ème place aux Olympiades des Sciences de l'Ingénieur région Auvergne
- Montage vidéo du projet et du vol mis en ligne :  
<https://www.youtube.com/watch?v=ugB5hG6CZ60>



# Bonus

