

# TIPE : Le Ballon Solaire

Etude du ballon solaire en vol captif,  
dans le but de modéliser  
la capacité de levage du ballon.

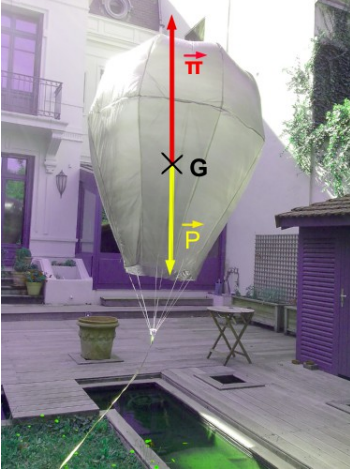
**Pourquoi les montgolfières ne sont-elles pas noires ?**

**Plan de l'exposé :**

- I. Étude mécanique à l'aide d'un modèle de connaissance
- II. Modèle de comportement pour une étude énergétique
- III. Validation et analyse des performances



# I. Étude mécanique à l'aide d'un modèle de connaissance



Etude mécanique :

Système : ballon solaire

Référentiel : terrestre (galiléen)

BAM : poids  $\vec{P}$  et poussée d'Archimède  $\vec{\Pi}$

On applique le Principe Fondamental de la Dynamique :

$$\vec{P} + \vec{\Pi} = m \vec{a}_G$$

$$\sum \vec{F} = \left[ \left( \frac{\rho_{air\ ext}}{\rho_{air\ int}} - 1 \right) m_{air} - m_{enveloppe} \right] \cdot g \cdot \vec{z}$$

D'où l'expression de la masse limite :

$$m_{lim} = \left( \frac{T_{int}}{T_{ext}} - 1 \right) \cdot n(z) \cdot M_{air}$$

avec  $n$  le nb de moles d'air dans le ballon  
 $M_{air}$  la masse molaire de l'air  
 $\rho$  la masse volumique  
 $T$  la température

# Calcul des grandeurs mécaniques nécessaires

## Expression de la quantité d'air présente dans le ballon

$$n(z) = \frac{P(z) \cdot V}{RT_{int}}$$

## Expression de la pression (modèle du gradient de température uniforme)

$$P(z) = P_0 \cdot \left( 1 - \frac{\alpha}{T_0} (z - z_1) \right)^{\frac{Mg}{\alpha R}}$$

avec  $\alpha = 0,0065 \text{ K/m}$  le gradient vertical de température

$P_0 = 1015,25 \text{ hPa}$  la pression au niveau de la mer

$T_0 = 288,15 \text{ K}$  la température de l'atmosphère normalisée

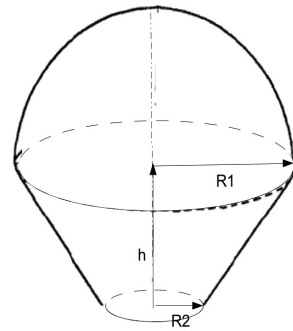
Incertitude sur les grandeurs : négligeable

## Expression du volume :

$$V_{haut} = \frac{2\pi}{3} R_1^3$$

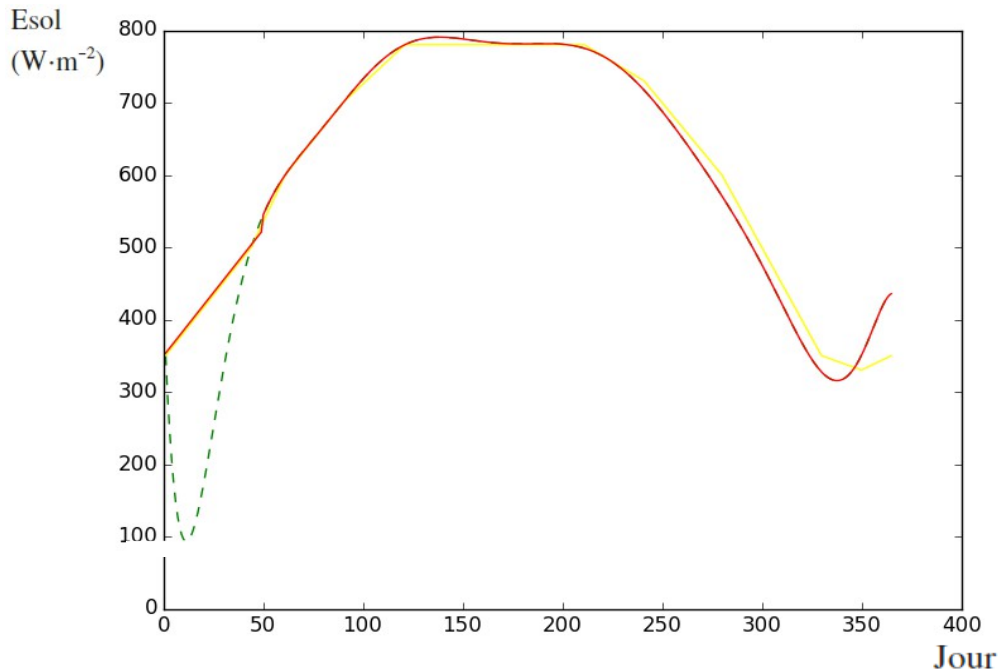
$$V_{c\hat{o}ne} = \frac{\pi R_1^2 h}{3} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2^2}{R_1^2} \right]$$

$$V_{tot} = 3,54 \text{ m}^3$$



## II. Modèle de comportement des échanges énergétiques

### Modélisation de l'énergie solaire apportée :



*Energie solaire surfacique rayonnée sur la surface de la Terre en fonction du jour de l'année*

### Modélisation des pertes thermiques :

- pertes convectives (loi de Mac Adams) :

$$R = \frac{I}{hS} \quad \text{avec } h=14,5 \text{ si la surface chaude est horizontale et dirigée vers le haut}$$

$$h=11,75 \text{ si la surface chaude est verticale et de plus de 30cm de haut}$$

- pertes par rayonnement (loi de Stefan) :

$$\varphi_{\text{ray}} = \sigma(T_{\text{int}}^4 - T_{\text{ext}}^4) \cdot S_{\text{tot}} \quad \text{avec } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$$

D'où les pertes totales :

$$\varphi_{\text{pertes}} = 2(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})(h_{v+}S_{\text{lat}} + h_{h+}S_{\text{haut}}) + \sigma(T_{\text{int}}^4 - T_{\text{ext}}^4) \cdot S_{\text{tot}}$$

## Modélisation complète des échanges énergétiques en vol stationnaire :

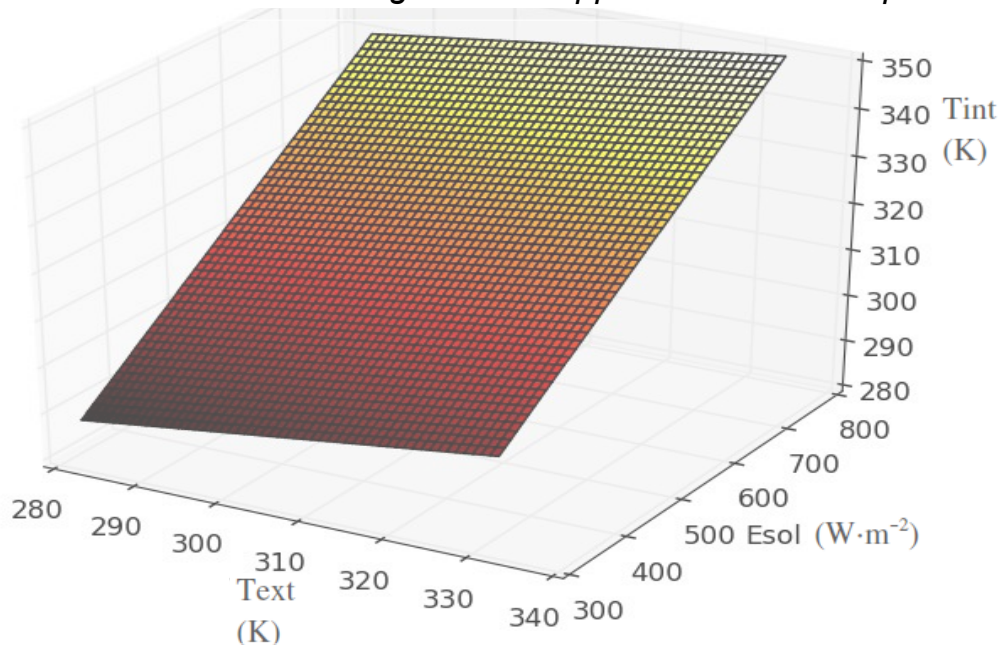
$$\varphi_{\text{soleil}} = E_{\text{sol}} \cdot S_{\text{éclairée}}$$

$$\varphi_{\text{soleil}} - \varphi_{\text{pertes}} = 0$$

On obtient l'équation :

$$S_{\text{éclairée}} \cdot E_{\text{sol}} - 2(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})(h_{\text{v}} + S_{\text{lat}} + h_{\text{h}} + S_{\text{haut}}) - \sigma(T_{\text{int}}^4 - T_{\text{ext}}^4) \cdot S_{\text{tot}} = 0$$

Température interne en fonction de l'énergie solaire apportée et de la température extérieure



## Validation expérimentale :

Date	Text (K)	Tint (K)	Esol (calcul)	Tint (calcul)	ΔT (K)
16/07/15	306	339	781	323	18
12/08/15	301	331	758	317	14
20/08/15	294	330	741	310	20
23/10/15	283	304	496	294	10
01/11/15	282	305	516	293	12
08/11/15	292	310	481	302	8
15/11/15	289	309	444	299	10
15/03/16	285	309	649	299	10
27/05/16	292	312	789	309	3

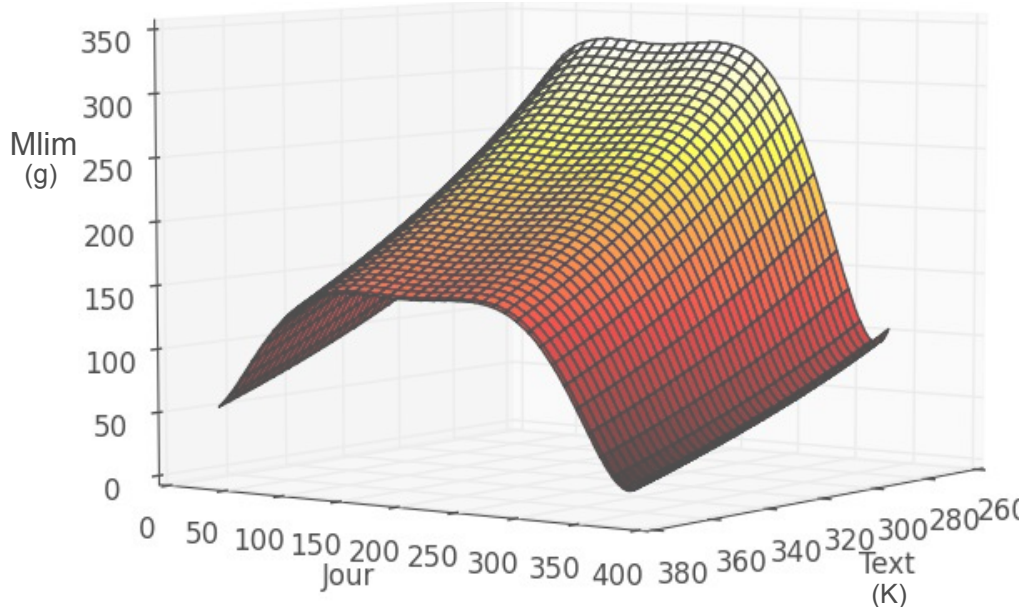
Erreur relative : **6 %**

### III. Validation et analyse des performances

On avait l'expression de la masse limite :

$$m_{lim} = \left( \frac{T_{int}}{T_{ext}} - 1 \right) \cdot \frac{P_0 \cdot \left( 1 - \frac{\alpha z}{T_0} \right)^{5,25} \cdot V \cdot M_{air}}{RT_{int}}$$

A l'aide d'un programme Python, on a le graphique suivant :



Masse limite en fonction du jour de l'année et de la température extérieure

#### Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux

Date	Text (K)	Tint (K)	Masse limite (g)	Masse limite, modèle 1 (g)	$\Delta m1$ (g)	Masse limite, modèle 2 (g)	$\Delta m2$ (g)
12/08/15	301	331	460	197	-260	351	-115
23/10/15	283	304	300	142	-160	263	-5
01/11/15	282	305	270	141	-130	287	-60
15/11/15	289	309	280	118	-160	271	15
15/03/16	285	309	480	210	-270	317	-160
27/05/16	292	312	360	228	-130	265	-95

Erreur relative maximale (Tint calculée) : **60 %**

Erreur relative maximale (Tint mesurée) : **30 %**

## Essais avec des ballons de taille plus importante :

- ballon de 124m<sup>3</sup> :

	Température interne (K)	Masse totale (g)
Expérience	303	4100
Modélisation	298	3350
Erreur	2 %	18 %

### Sources d'erreur :

- modèle d'échanges énergétiques imprécis
- modèle de pression
- courants ascendants

Le modèle est beaucoup plus représentatif pour des ballons plus gros !

## **Application à la montgolfière**

### Caractéristiques de l'essai théorique :

- date : 10 mai
- température extérieure : 25 °C

V=8000

Seclairee=700

mballon=2000

m<sub>lim</sub>(298,2000,131)

>> 169.2598885126826

## Sujet : Le Ballon Solaire

**Problème :** Pourquoi les montgolfières ne sont-elles pas noires ?

### Plan de l'exposé :

- I. Étude mécanique à l'aide d'un modèle de connaissance
- II. Modèle de comportement pour une étude énergétique
- III. Validation et analyse des performances

### Conclusion :

- Masse utile apportée négligeable
- Project Loon



*Exemple de vol habité*



```
"""
```

```
TIPE Ballon solaire  
Calcul température interne  
Clarisse DEBALME
```

```
"""
```

```
import matplotlib.pyplot as pl
```

```
def polynome(x,Esol,Text):
```

```
    return Esol * Seclairee-(x-Text)/Res-Stot * sigma * (x**4-Text**4)
```

```
def tempint(Text,Esol):
```

```
    a=200
```

```
    b=400
```

```
    c=(b+a)/2
```

```
    while (b-a)>0.1:
```

```
        f=polynome(c,Esol,Text)
```

```
        g=polynome(a,Esol,Text)
```

```
        if (f*g)<0:
```

```
            b=c
```

```
        if (f*g)>=0:
```

```
            a=c
```

```
            c=(b+a)/2
```

```
    return(c)
```

```
from mpl_toolkits.mplot3d import axes3d
```

```
import numpy as np
```

```
Text=[283+k/2 for k in range (0,101)]
```

```
Esol=[k * 5 for k in range (60,161)]
```

```
def mattint(Text,Esol):
```

```
    mat=[]
```

```
    for i in Text:
```

```
        ligne=[]
```

```
        for j in Esol:
```

```
            ligne.append(tempint(i,j))
```

```
        mat.append(ligne)
```

```
    return mat
```

```
Tint=np.array(mattint(Text,Esol))
```

```
fig=pl.figure()
```

```
X,Y=np.meshgrid(Text,Esol)
```

```
ax=fig.gca(projection='3d')
```

```
ax.plot_surface(X,Y,Tint, color='gray',rstride=15,cstride=15,cmap=cm.hot)
```

```
pl.xlabel("Text")
```

```
pl.ylabel("Esol")
```

```
pl.show()
```

```

#####
TIPE Ballon Solaire
Calcul masse limite
Clarisse DEBALME
#####

PO=101325
alpha=0.0065
TO=288.15
V=2.4
Mair=29
R=8.317
mballon=230
Seclairee=5.2

def ensol(jour):
    return 1.7*10**(-10)*(jour**6/6-jour**5*849/5+252793*jour**4/4-
31031055*jour**3/3+1215085750*jour**2/2+15515346000*jour)+360

def mlim(Text,z,jour):
    Esol=ensol(jour)
    Tint=tempint(Text,Esol)
    return (Tint/Text-1)*P*Mair*V/(R*Tint)-mballon

Text=[k/4 for k in range(1100,1465)]
annee=[k for k in range (1,366)]
z=500

def matmmax(Text,annee,z):
    mat=[]
    for jour in annee:
        ligne=[]
        for T in Text:
            ligne.append(mlim(T,z,jour))
        mat.append(ligne)
    return mat

Masse=np.array(matmmax(Text,annee,z))
fig=plt.figure()
X,Y=np.meshgrid(Text,annee)
ax=fig.gca(projection='3d')
ax.plot_surface(X,Y,Masse, color='gray',rstride=10,cstride=10,cmap=cm.hot)
plt.xlabel("Text")
plt.ylabel("Jour")

plt.show()

```

## Sources :

<http://ballonsolaire.pagesperso-orange.fr/>

Site internet expliquant le fonctionnement d'un ballon solaire et permettant d'en fabriquer un.

<http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire>

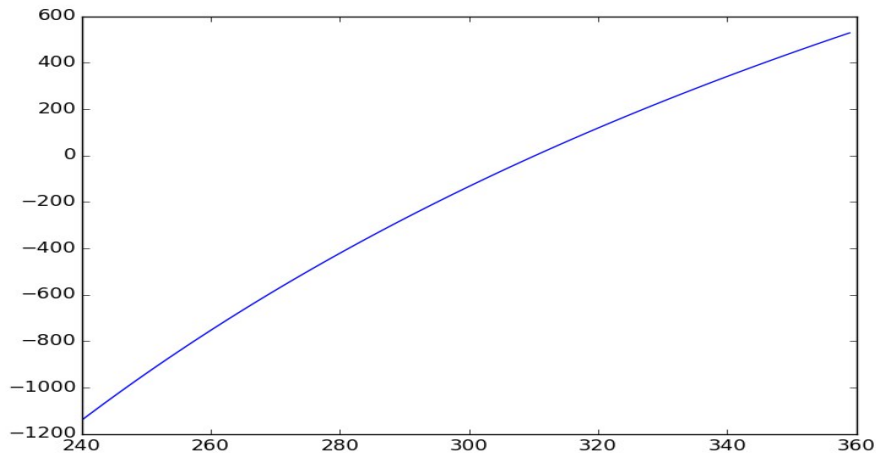
Fonctionnement d'un panneau solaire et apports thermiques du rayonnement solaire

<https://www.google.com/loon/>

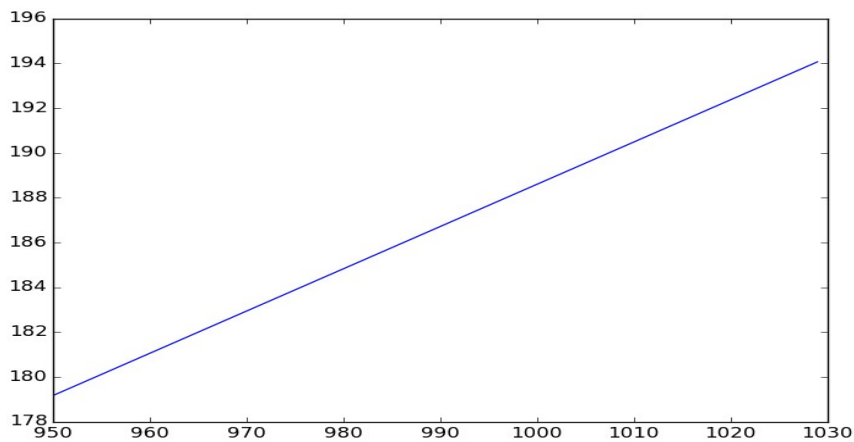
Explique ce qu'est le Project Loon

**Contact :** M. Laurent Besset, fondateur du site internet [ballonsolaire.pagesperso-orange.fr](http://ballonsolaire.pagesperso-orange.fr), qui m'a fourni des résultats expérimentaux portant sur un ballon de 126m<sup>3</sup>, afin de tester la robustesse de ma modélisation

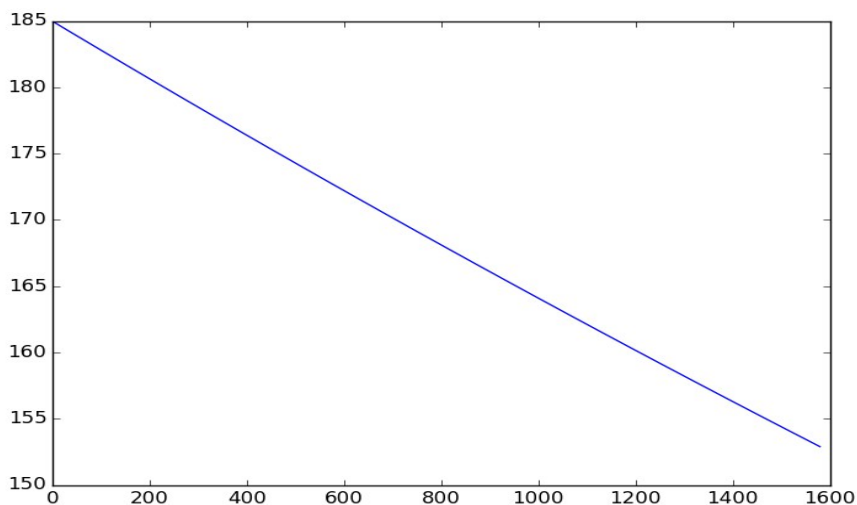
## Graphiques annexes :



**MASSE UTILE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE, AVEC  $z=200$  M, LE 10 AVRIL (PRESSION ET TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE)**

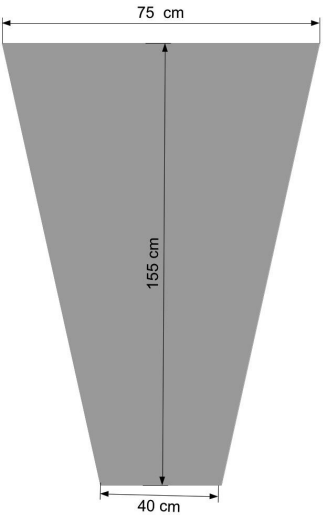
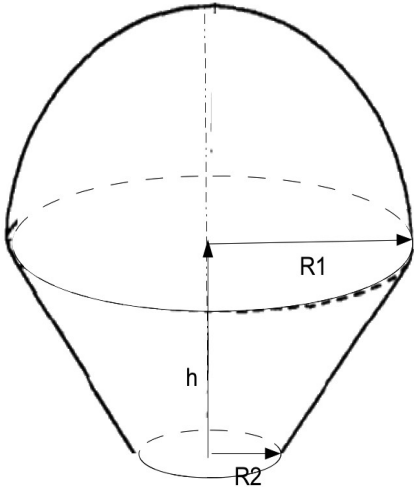


**MASSE LIMITE EN FONCTION DE LA PRESSION, AVEC  $T_{EXT}=293$  K ET  $T_{INT}=313$  K (TEMPÉRATURES FIXÉES)**

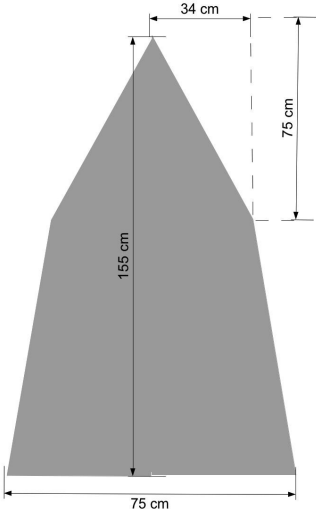


**MASSE LIMITE EN FONCTION DE L'ALTITUDE, AVEC  $T_{EXT}=293$  K ET  $T_{INT}=313$  K (TEMPÉRATURES FIXÉES)**

# La construction du ballon



MORCEAUX DE LA MOITIÉ INFÉRIEURE



MORCEAUX DE LA MOITIÉ SUPÉRIEURE