



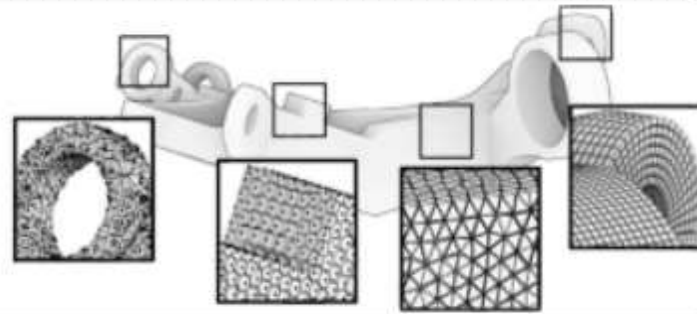


## COMMUNICATION ORALE *En Ingénierie aérospatiale*

GTMG : Journées  
du Groupe de Travail  
en Modélisation Géométrique

LORIA Nancy

2 et 3 juillet 2020



## Thermal attitude of a Cubesat by geometric modeling « Attitude Thermique d'un Cubesat par modélisation géométrique »

Présentée par :

**AKKA Amine**

Sous la direction du :

**Dr. BENABDELOUAHAB Farid**

le 03/07/2020



# Attitude Thermique d'un Cubesat par modélisation géométrique

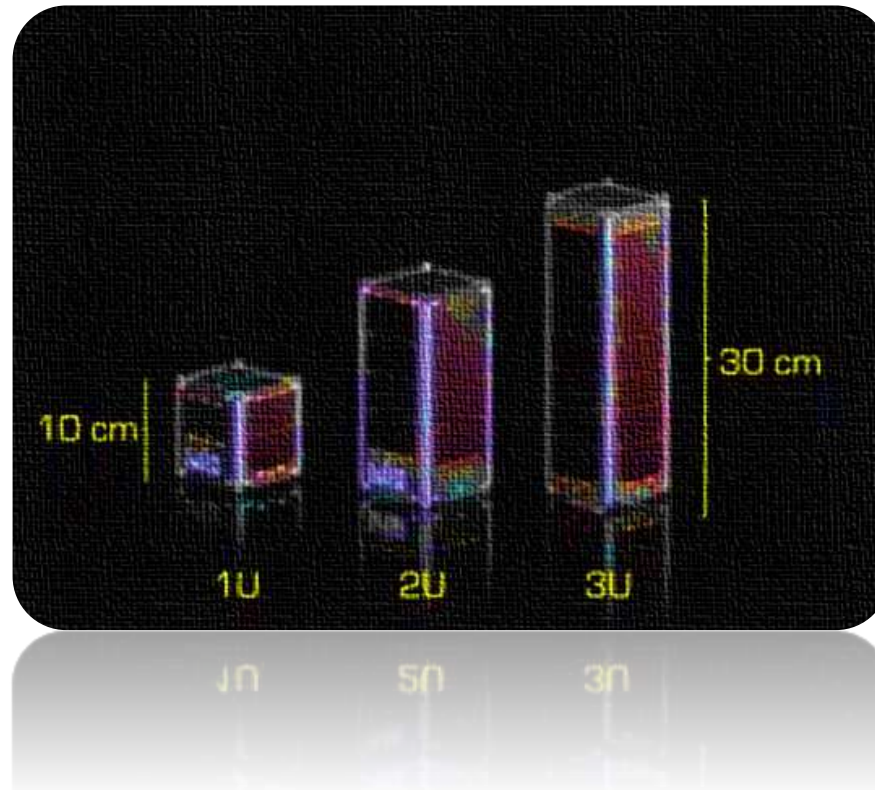
## PLAN

---

- **Introduction**
- **Contexte et objectifs**
- **Méthodologie**
- **Résultats**
- **Conclusion**

# Introduction

## Définition

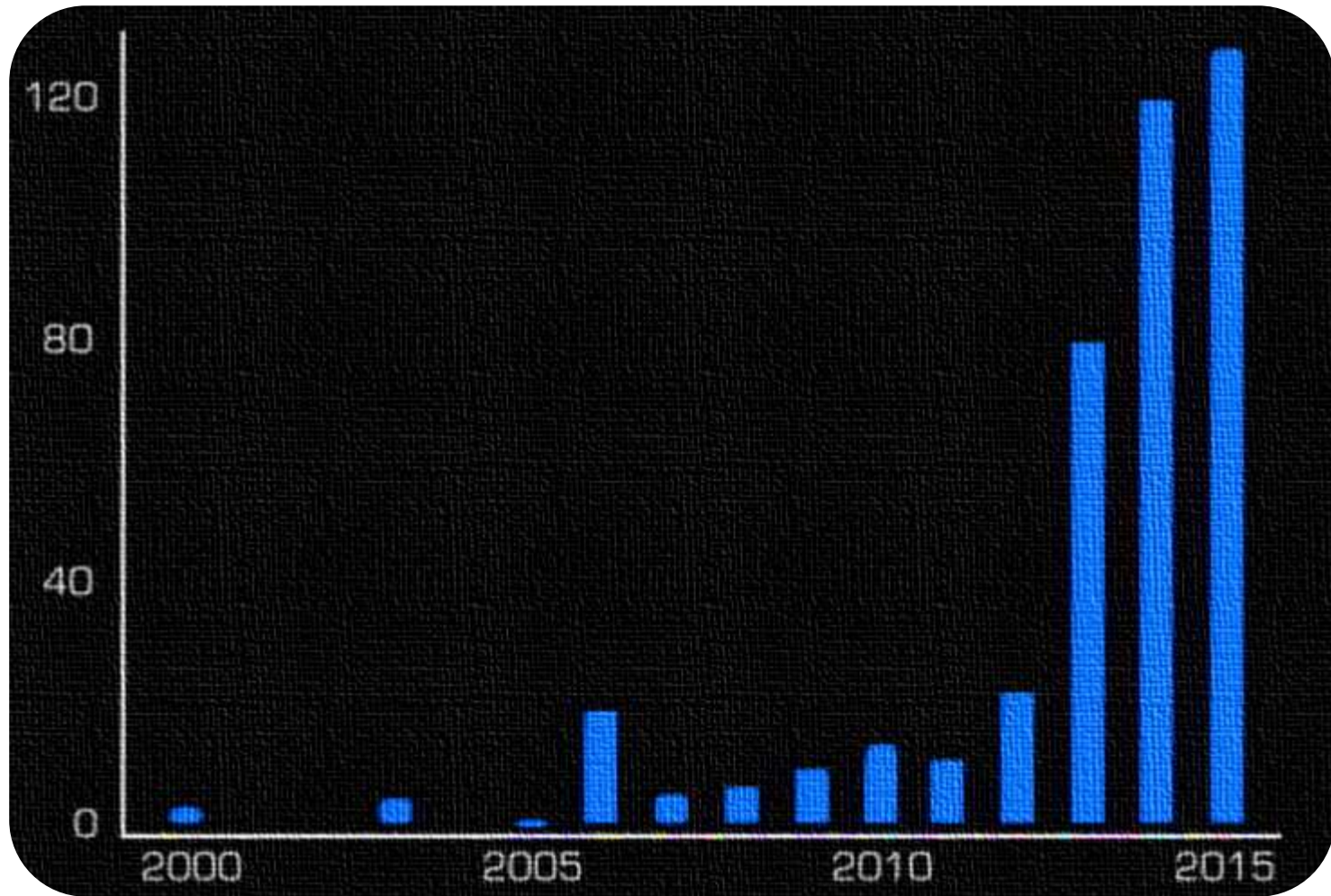


Lorsqu'on s'intéresse à la nomenclature des CubeSats, on les définit en termes d'unité 1U.

À première vue, ces CubeSats apparaissent inutiles, mais ceci a rapidement changé grâce à la miniaturisation de l'électronique..

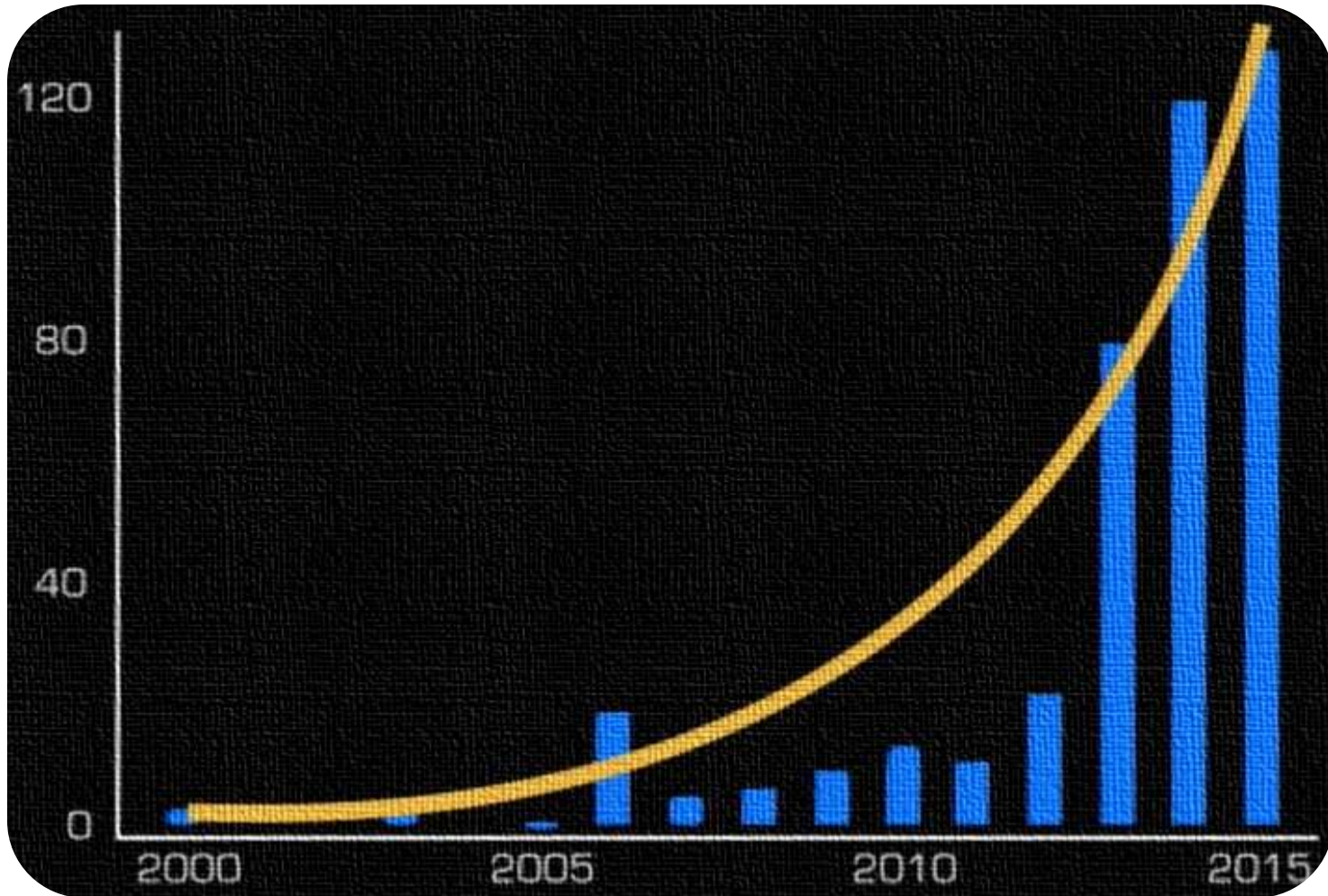
# Introduction

## Cubesats lancés depuis les années 2000



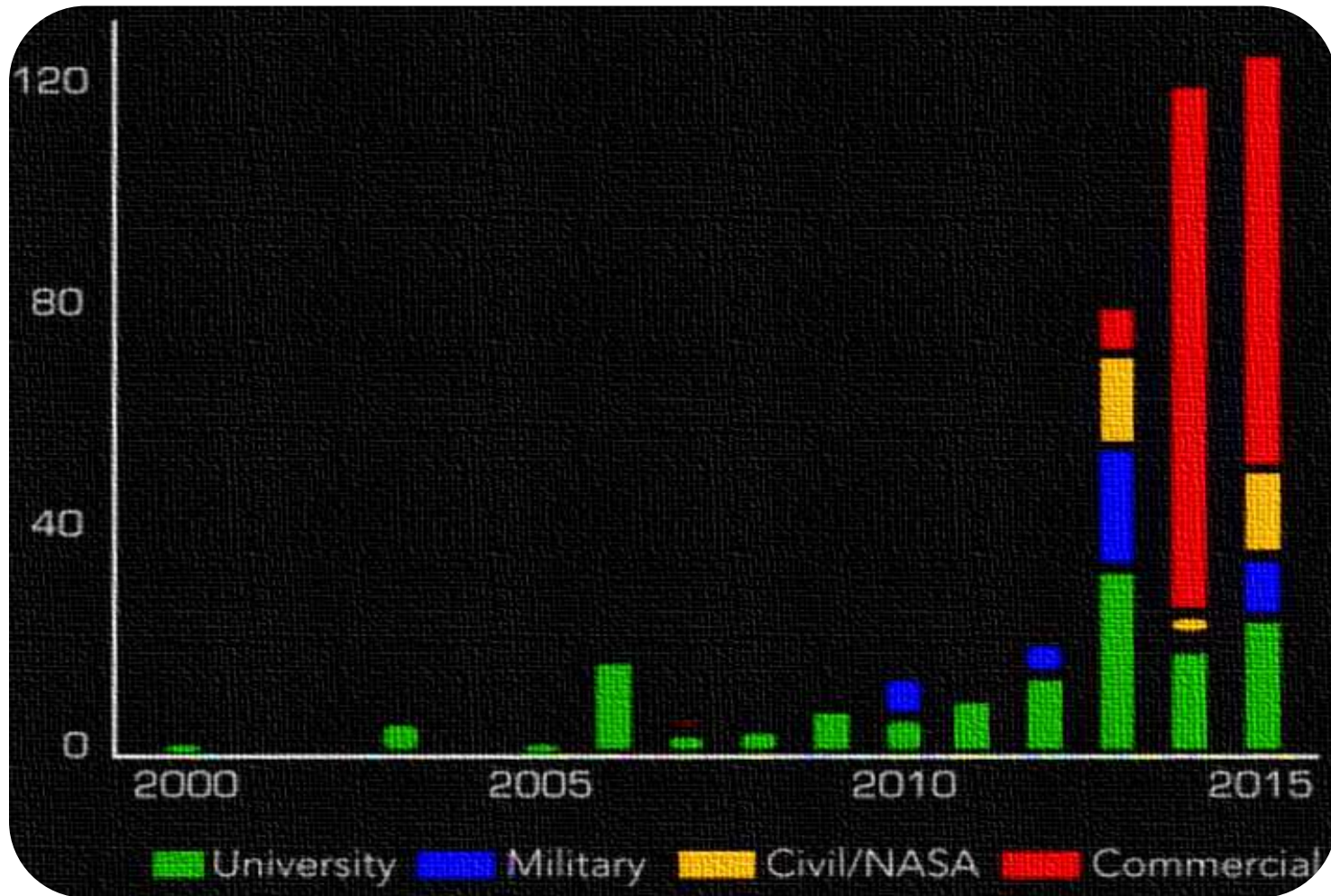
# Introduction

## Cubesats lancés depuis les années 2000



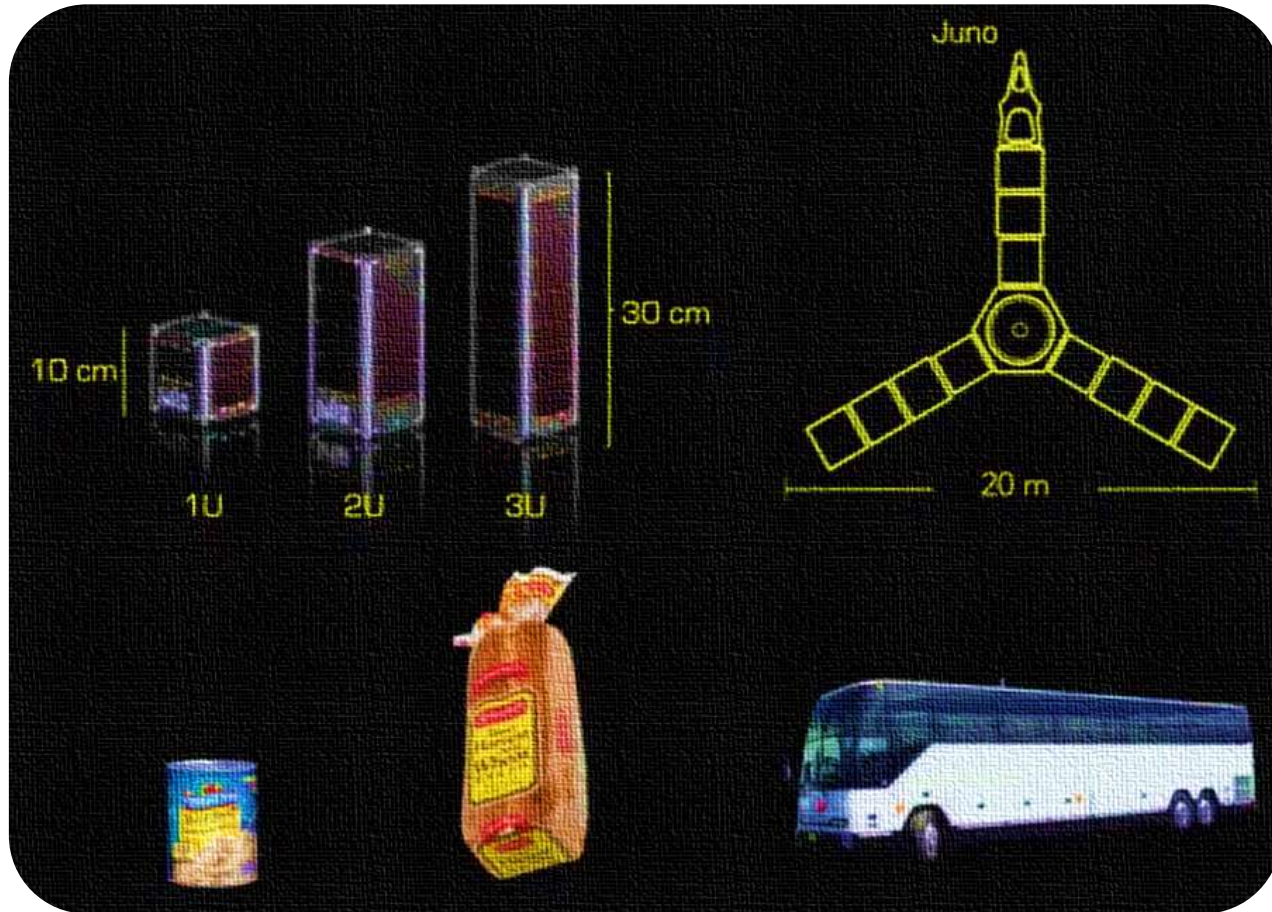
# Introduction

## Cubesats lancés depuis les années 2000



# Introduction

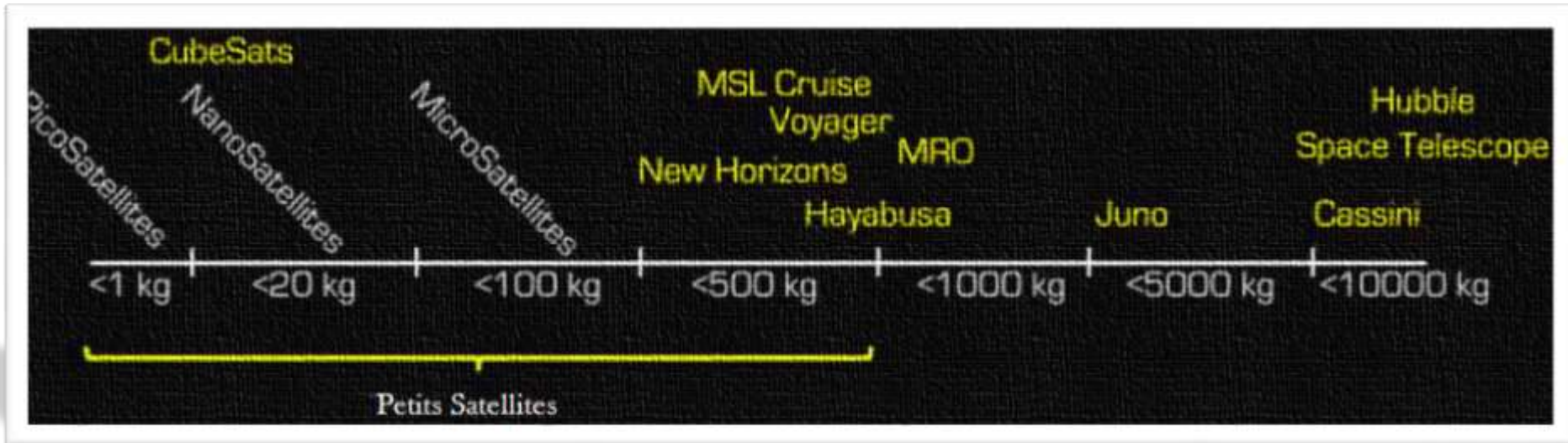
**Pour donner une idée...**





# Introduction

## Poids des Cubesats



Plusieurs satellites qui ont été envoyés pour l'exploration du système solaire pesaient entre 500Kg jusqu'à 10000Kg .

# Introduction

## L'idée du Cubesat

Prof Bob Twiggs  
Stanford University



Prof Jordi Puig-Suari  
CalPoly - San Luis Obispo



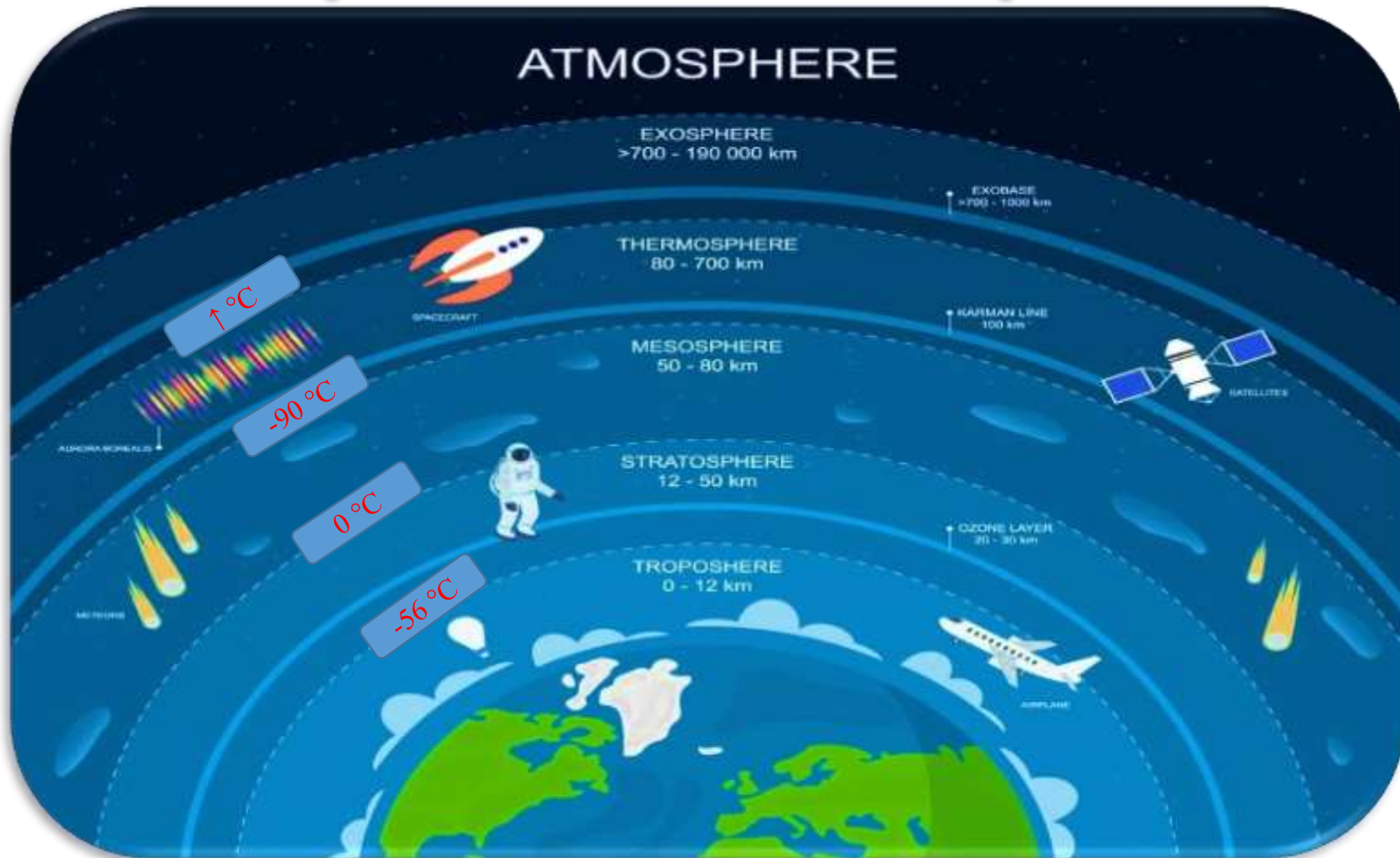
# Introduction

## L'idée du Cubesat



# Introduction

## A quoi sert le contrôle thermique?



Un contrôle thermique a donc pour objectifs de :

- Adapter les échanges avec l'environnement de façon à assurer une température moyenne convenable.
- Jouer sur les échanges internes de façon à faciliter l'évacuation des puissances dissipées en interne.

## A quoi sert le contrôle thermique?

### Maintien dans des intervalles précis:

- Gradient de température
- Stabilité de température
- flux du Rayonnement/ flux par Conduction

### De quoi:

- Composants électroniques
- Instrument à bord ex. banc optique
- Structure
- Les interfaces entre les modules

### Intervalles étroits de températures (Composants électroniques):

Sous-système	Equipement	Température limite (°C)
		Fonctionnement en vol
Communication	Emetteur/Récepteur	-10/+60
	Antenne	-100/+100
Energie de bord	Batterie	-10/+25
	Panneau solaire	-100/+100
	Régulateur	-45/+65
Ordinateur de bord	Calculateur	-20/+50

### Pourquoi est ce que c'est trop important???

- Basses températures
- Intervalles étroits de températures
- Petits gradients de températures

Fiabilité des composants

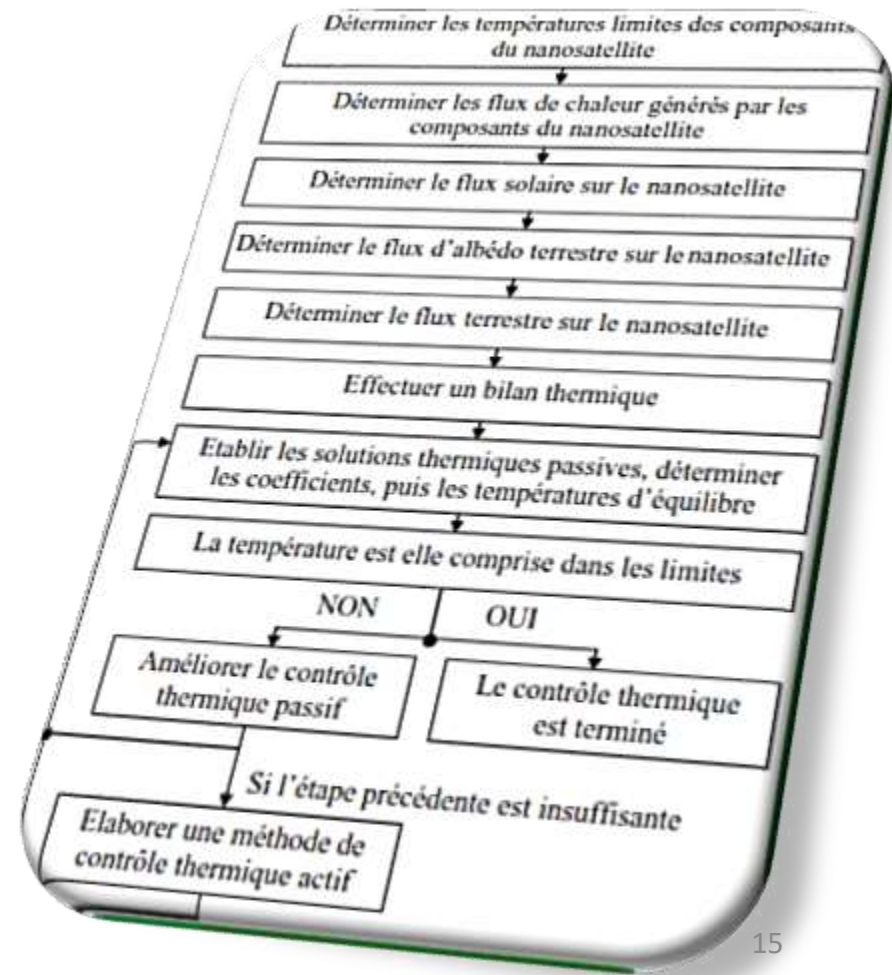
Sensibilité des détecteurs

Soudage des instruments à bord

## Organigramme de conception du contrôle thermique

On distingue deux types de contrôle thermiques :

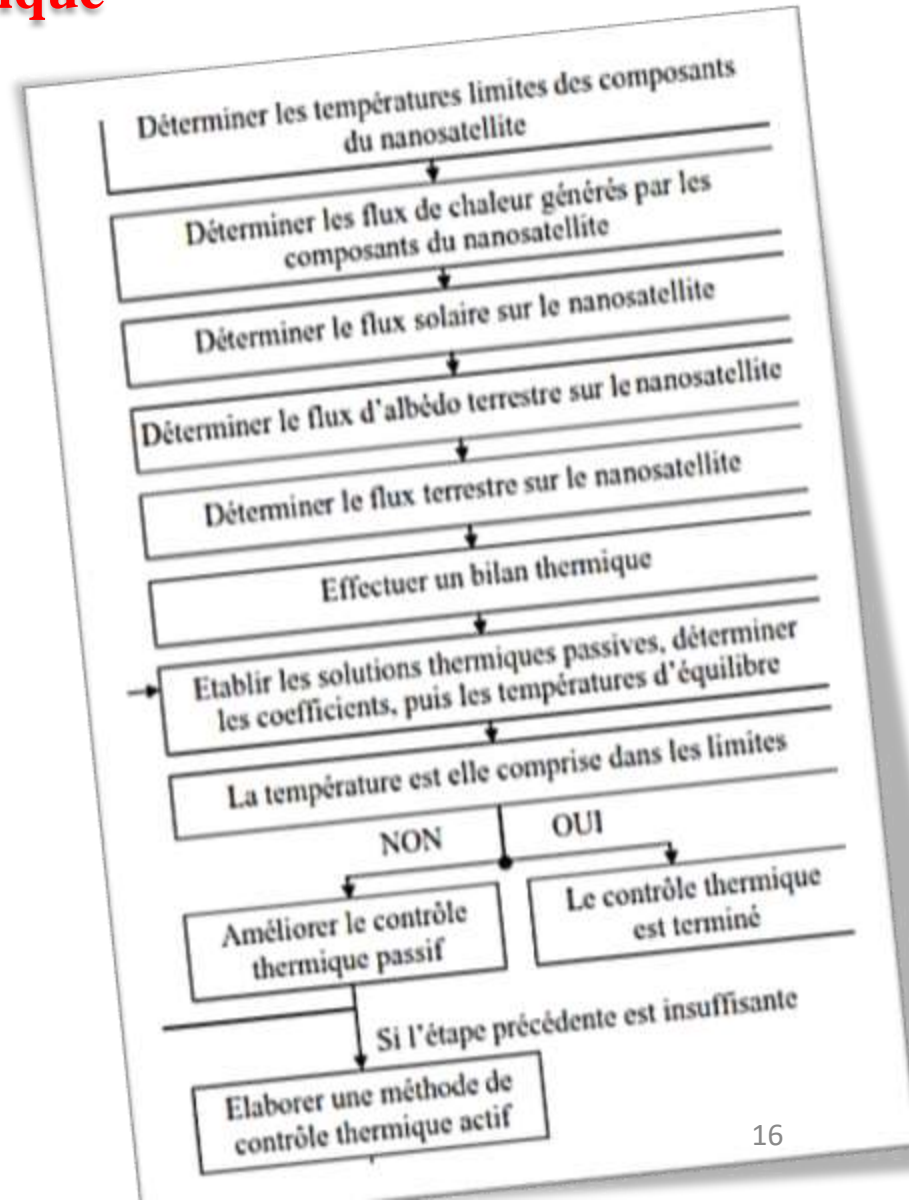
- Le contrôle thermique passif, au moyens de dispositifs passifs (peintures, isolants multicouches, réflecteurs, ...) à maîtriser les transferts de chaleur qui s'effectuent par conduction et par rayonnement thermiques. C'est une solution moins coûteuse, légère, fiable et qui a peu d'incidence sur l'estimation de masse et de puissance.



# Organigramme de conception du contrôle thermique

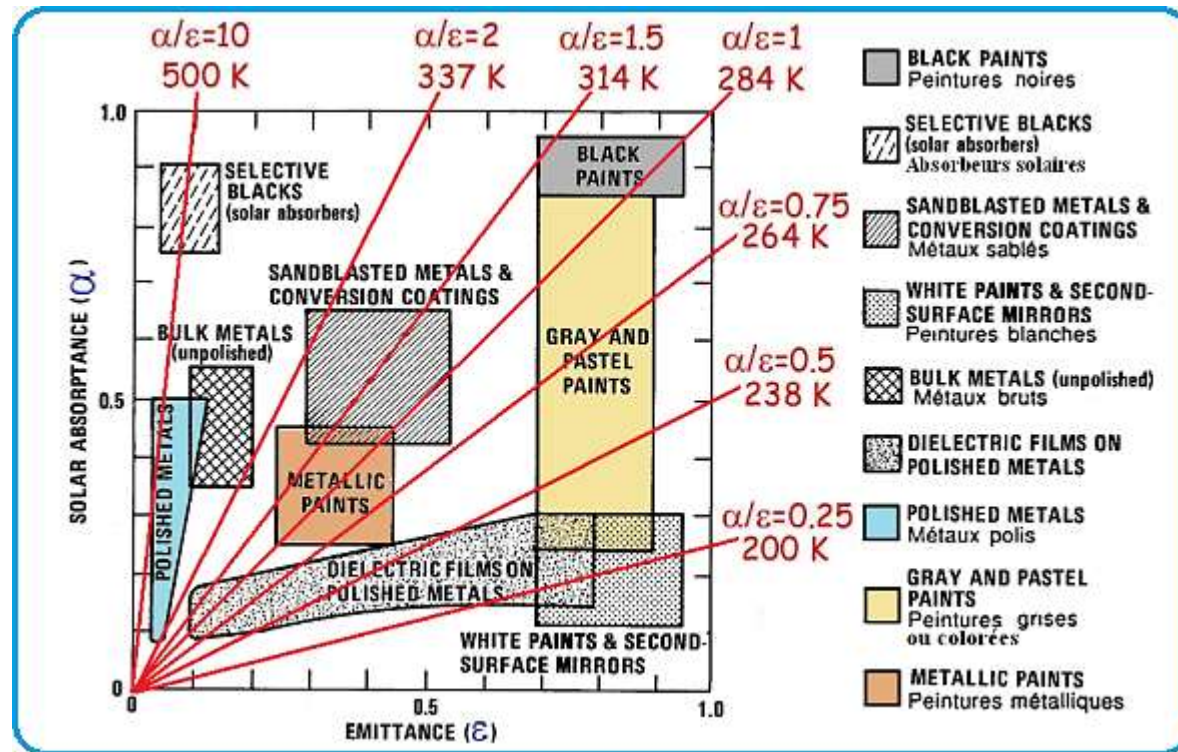
- Le contrôle thermique actif applique des boucles classiques de régulation pour réchauffer certaines zones au moyen de résistances chauffantes.

Il est mis en œuvre pour des situations qui nécessitent une très étroite tolérance de contrôle de la température ou pour les composants qui dissipent une grande quantité d'énergie.



## Moyens de contrôle des échanges radiatifs

La température d'un corps dans l'espace dépend fortement des caractéristiques thermo-optiques de ses revêtements : Absorptivité solaire et émissivité IR.

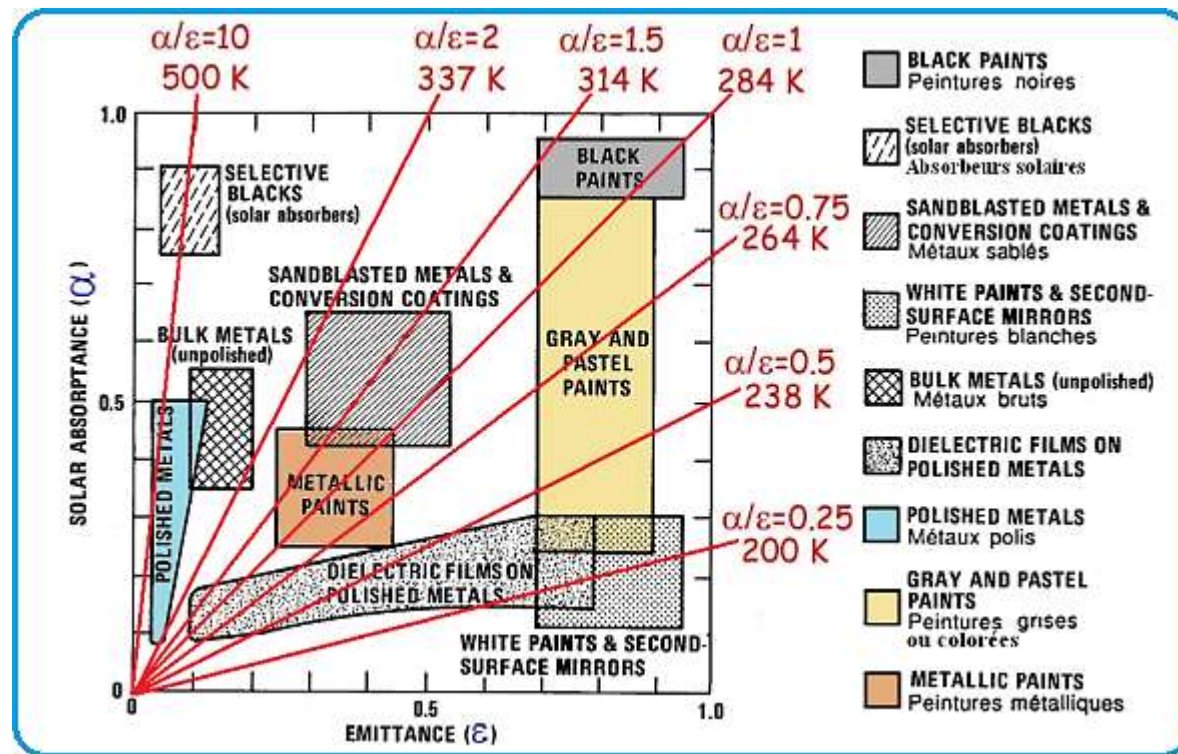




## Moyens de contrôle des échanges radiatifs

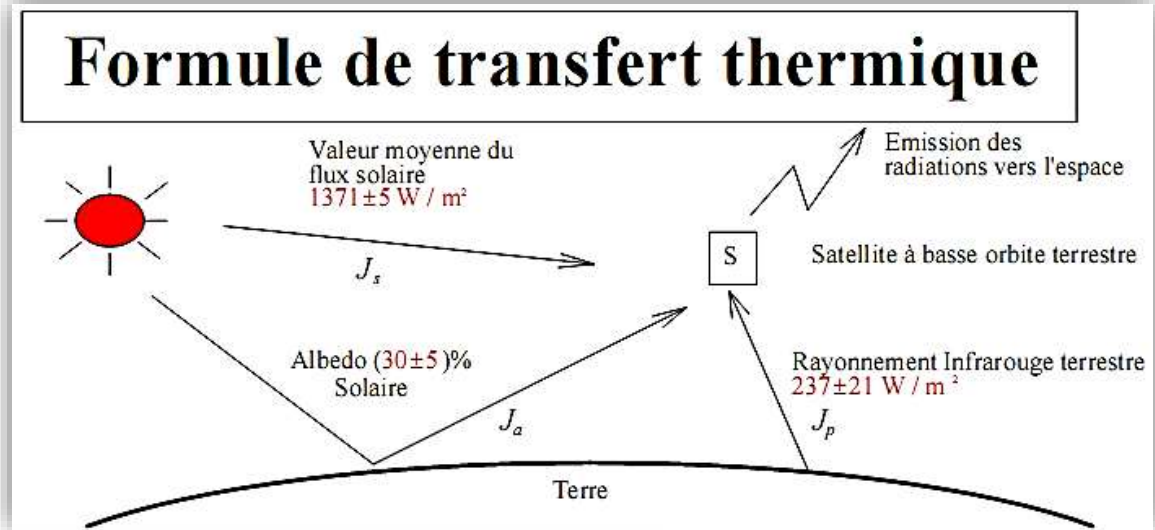
Si on considère le rapport  $\alpha/\varepsilon$  comme critère, ces revêtements peuvent être classés en quatre catégories :

- Les revêtements froids à faible  $\alpha/\varepsilon < 1$  : Peinture blanche.
- Les revêtements moyens à  $\alpha/\varepsilon \sim 1$  : Peinture noire.
- Les revêtements chauds à  $\alpha/\varepsilon > 1$  : Aluminium doré poli.
- Les revêtements super chauds à  $\alpha/\varepsilon > 4$  : Chrome noir.



## Processus de l'analyse thermique

La principale source thermique lorsque le Cubesat est en orbite est la Photosphère, ainsi le transfert thermique est régi par :



$$\sigma A_{Sat} \epsilon T^4 = Q_i \quad \text{(Flux Interne)}$$

$$+ \alpha J_s A_{Sun} \quad \text{(Rayonnement Solaire)}$$

$$+ \alpha J_a A_{albedo} \quad \text{(Rayonnement Terrestre Visible)}$$

$$+ \epsilon J_p A_{Earth} \quad \text{(Rayonnement Terrestre Infrarouge)}$$

*(Emission Thermique)*

## Hypothèses et conditions aux limites

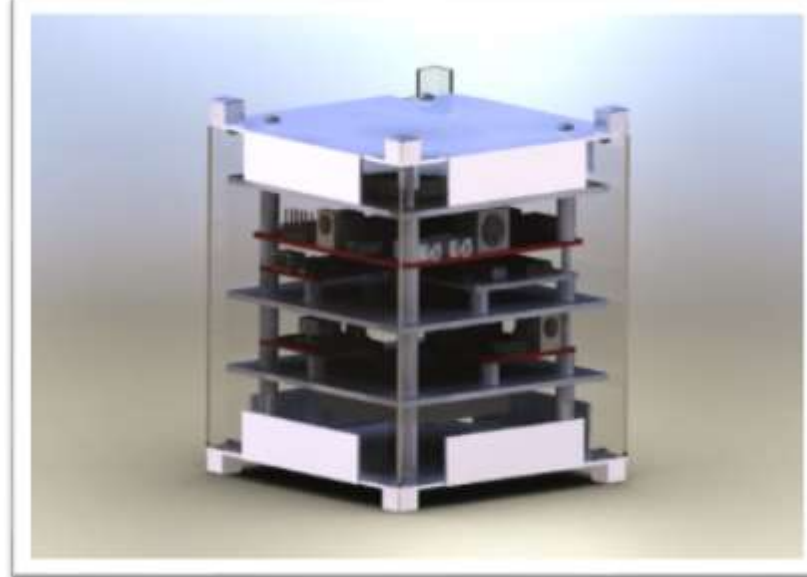
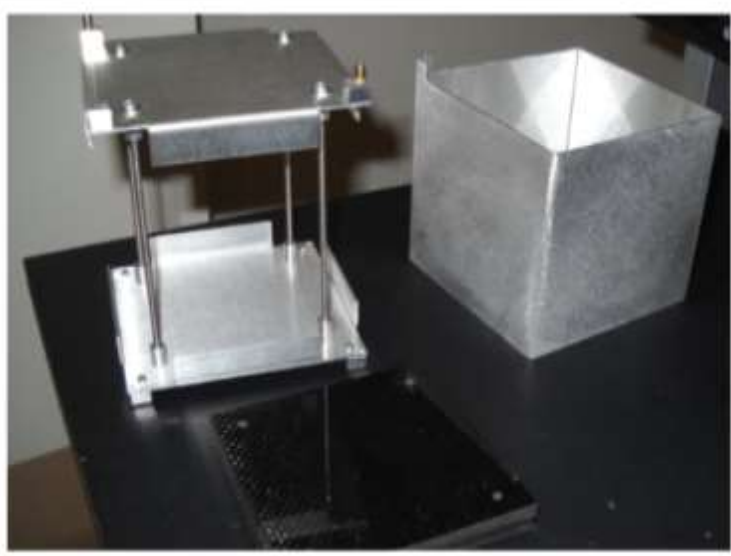
L'expression du calcul de la température est :

$$T^4 = \frac{A_{Earth} J_p}{A_{Sat} \sigma} + \frac{Q_i}{A_{Sat} \sigma \varepsilon} + \left[ \frac{A_{Sun} J_s}{A_{Sat} \sigma} + \frac{A_{albedo} J_{albedo}}{A_{Sat} \sigma} \right] \times \frac{\alpha}{\varepsilon}$$

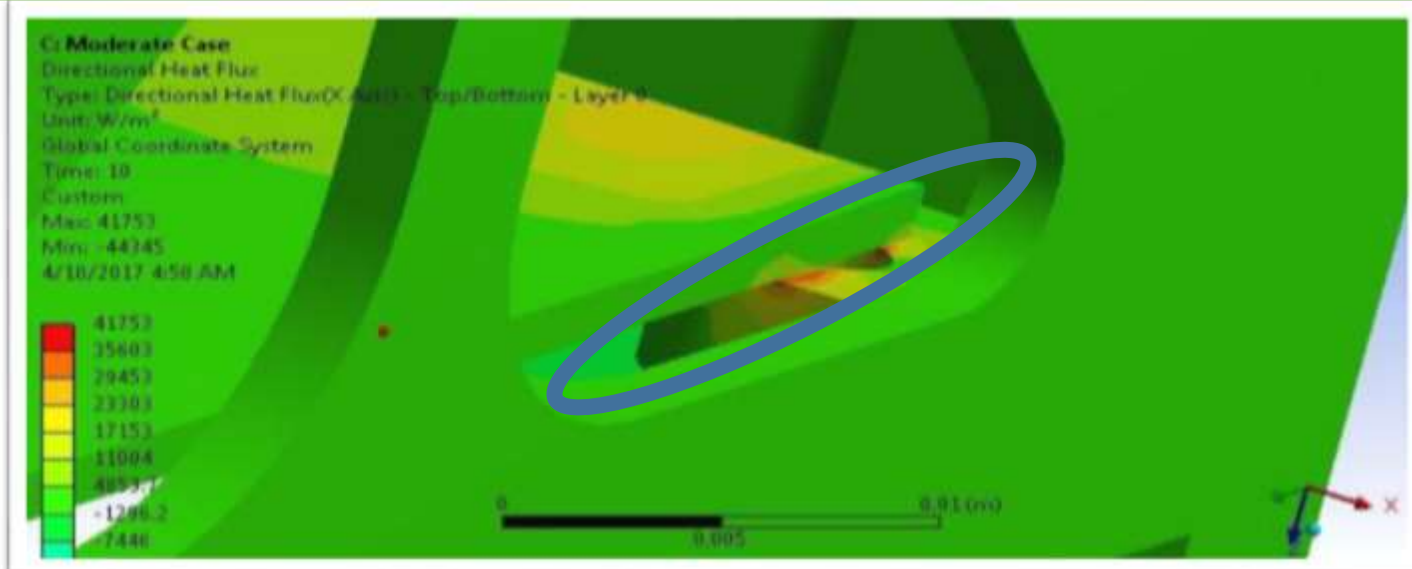
Avec,

- Orbite de l'aube pénombre est une orbite polaire à basse altitude qui ne subit pas d'éclipses.
- $J_s$ ,  $J_a$ ,  $J_p$  et  $Q_i$  restent constants.
- La température sidérale est de 2,7K.
- Le flux solaire, l'albedo et le flux terrestre infrarouge atteignent le nanosatellite perpendiculairement.
- Le nanosatellite est considéré comme étant un corps réel.
- Orbite à 240Km
- $J_s = 1371 \text{ W/m}^2$
- $J_a = 67,8645 \text{ W/m}^2$
- $J_p = 220 \text{ W/m}^2$
- $Q_i = 0 \text{ W/m}^2$

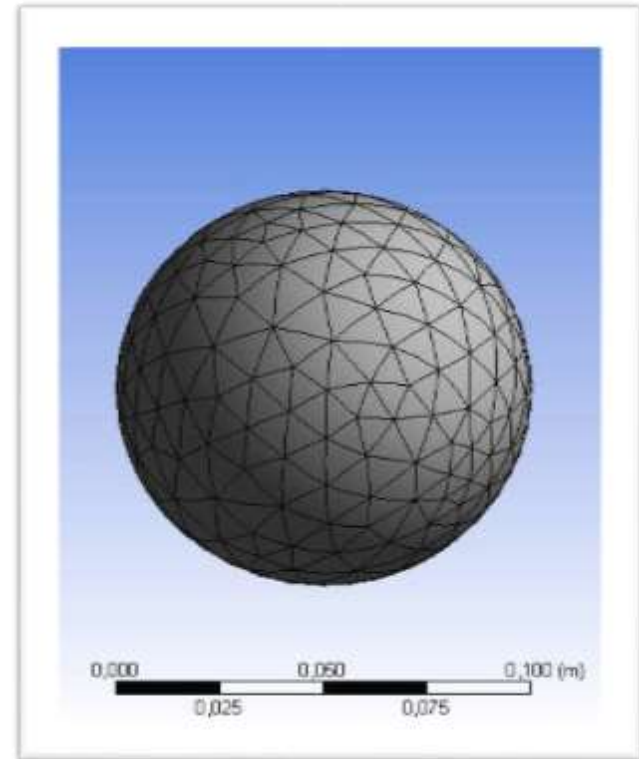
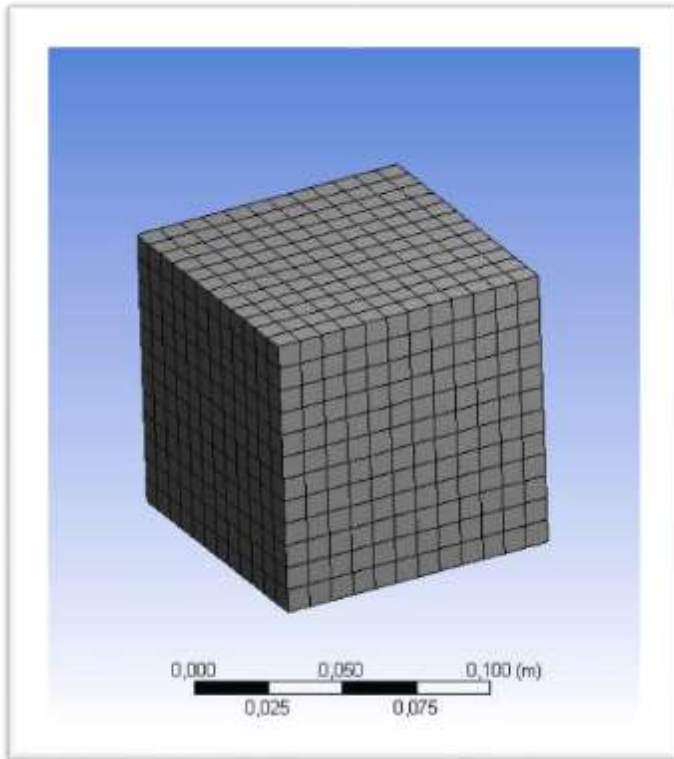
# Importance du maillage



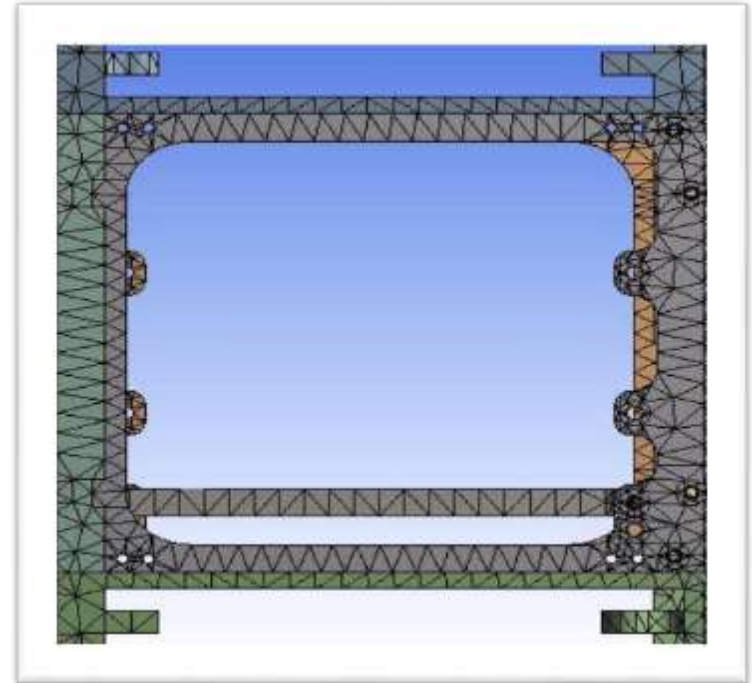
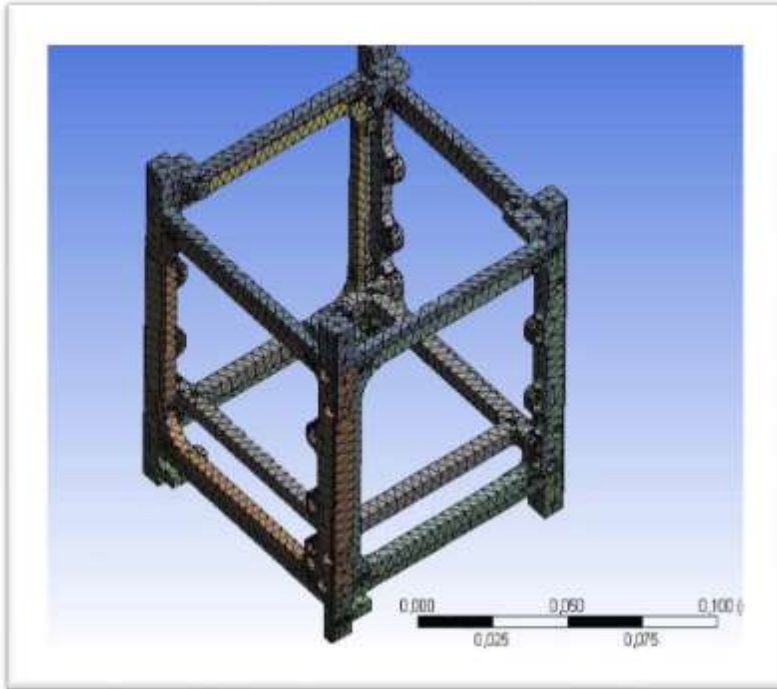
Cube Satellite Design Florida International University, MME Department



## Importance du maillage

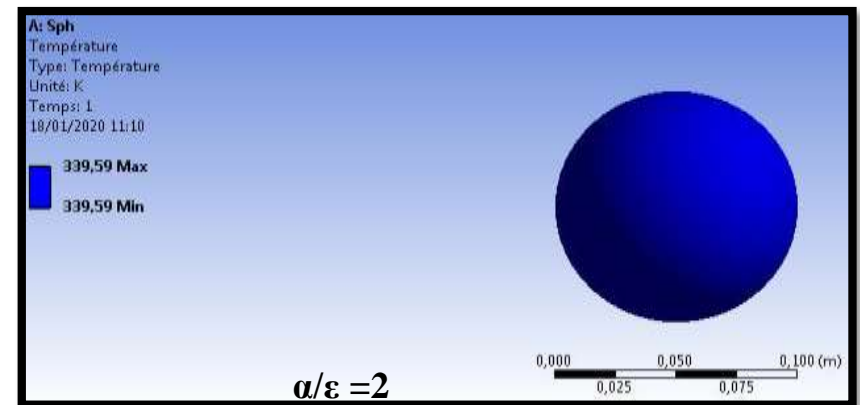
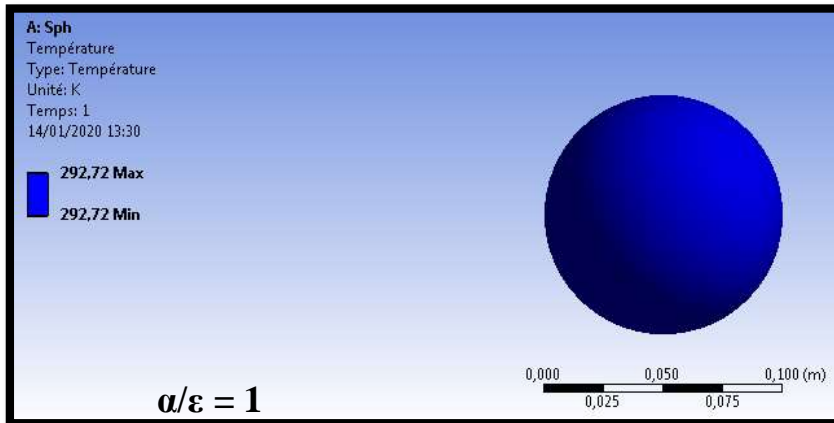
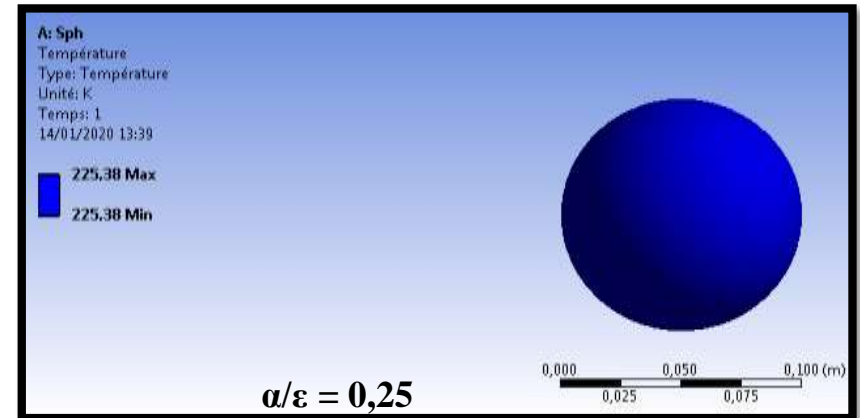
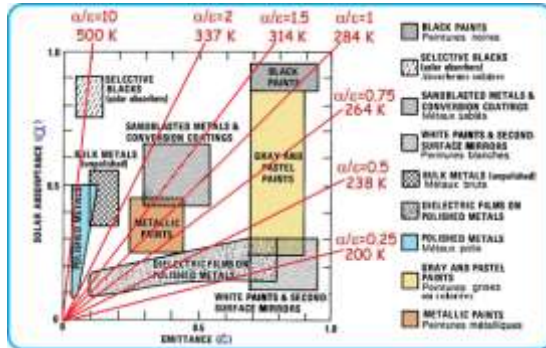


## Importance du maillage



## Validation du système de simulation

On retrouve les résultats suivants:

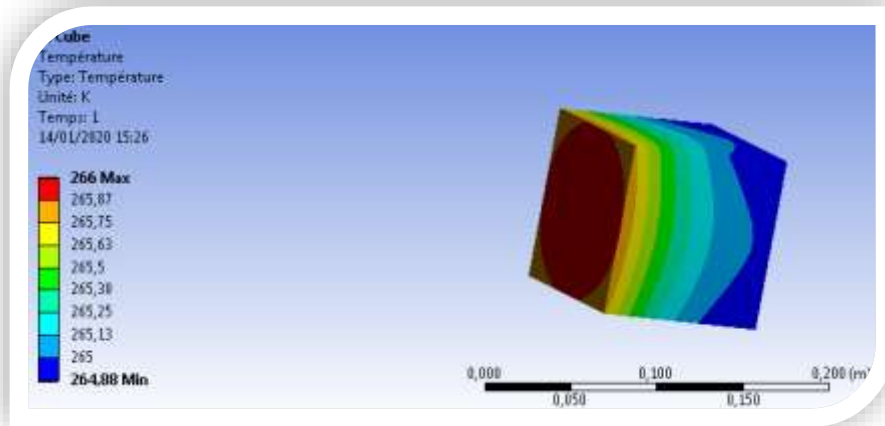


## Analyse du Cubesat

On retrouve pour le Cubesat:

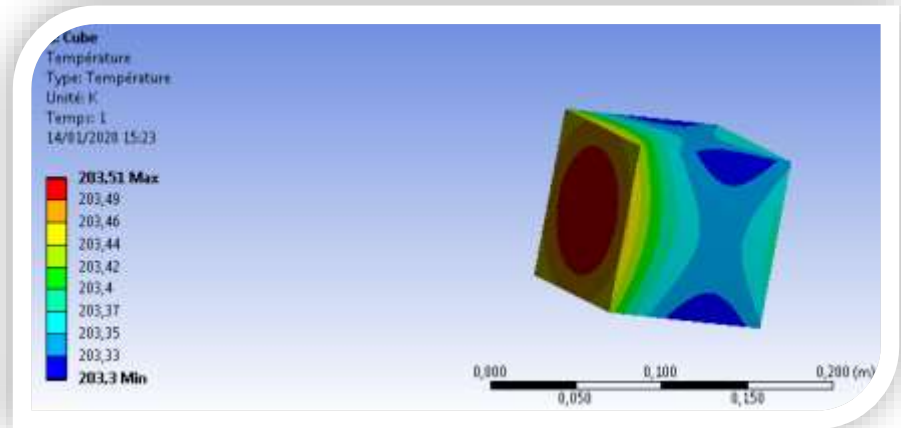
$$\alpha/\varepsilon = 0,25 ; T = -69,64 \text{ °C} \sim -69,85 \text{ °C}$$

Ex: Peinture blanche



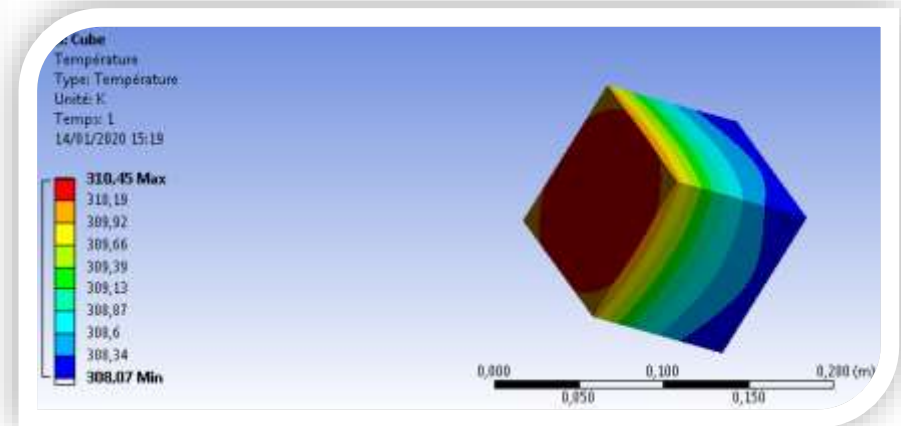
$$\alpha/\varepsilon = 2 ; T = 37,3 \text{ °C} \sim 34,92 \text{ °C}$$

Ex : Aluminium doré



$$\alpha/\varepsilon = 1 ; T = -7,15 \text{ °C} \sim -8,27 \text{ °C}$$

Ex : Peinture noire





# Conclusion



# Bibliographie

- ◆ Space environment, CNES, International course in space technology, Toulouse November 1990, Cépaduès Editions.
- ◆ P. Mauroy, Introduction au problème du contrôle thermique des véhicules spatiaux, Edition CNES - Toulouse, 1977.
- ◆ Robert Siegel, John R. Howell, “Thermal Radiation Heat Transfer”, Hémisphère Publishing Corporation Third Edition 1992.
- ◆ M. H. Heidt, J. Puig-Suari, A. S. Moore, S. Nakasuka, et R. J. Twiggs, « CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation », p. 19
- ◆ Ingénierie des projets spatiaux, Mécanique — Partie 1 Contrôle thermique, Référence CNES : RNC-ECSS-E-30-1-0 Version A du 10/12/2002.



## ANALYSE THERMIQUE D'UN CUBESAT À L'AIDE D'UN PROGRAMME DE MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS FINIS

**Merci pour votre attention**

TATGEGT hOUE AQEG SEEGITITOTI

**Place maintenant à vos questions!**

---