

## 1 – Objectifs scientifiques (1/9)



« Solar irradiance and Earth Radiation Budget » (SERB) est un nano-satellite innovant avec trois principaux objectifs scientifiques :

- Continuer les mesures d'éclairement solaire total (ou « Total Solar Irradiance » pour TSI) et améliorer la connaissance de la valeur absolue de la TSI,
- Établir un bilan radiatif de la Terre avec une précision meilleure que 5% en différentiel,
- Déterminer la répartition de l'ozone au niveau de stratosphère de la Terre,
- ET analyser les relations entre ces différentes mesures.

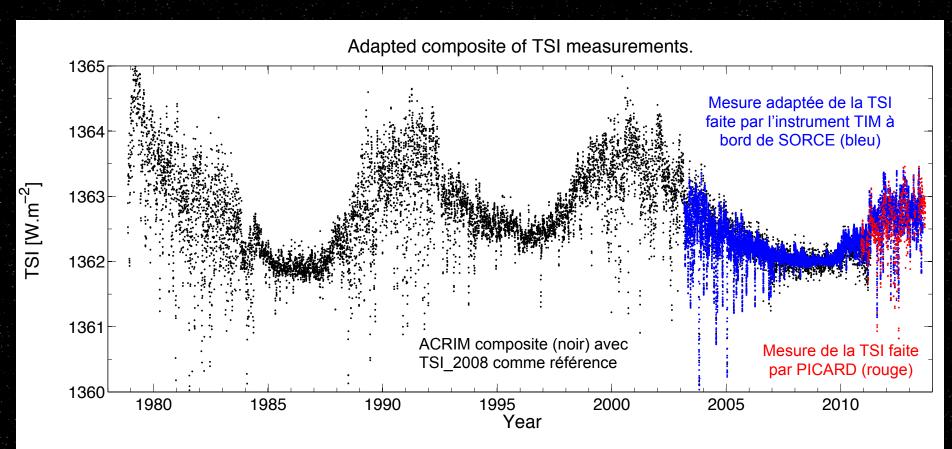
Le concept original de cette proposition est basée sur des mesures différentielles et simultanées. Parmi les causes naturelles qui peuvent affecter le climat de la Terre, la variabilité solaire est probablement un des facteurs les plus importants.

SERB est proposé dans le cadre du projet Nano-satellite soumis à l'appel à projets de l'Université Paris-Saclay. Il s'agit d'un projet multi-institutionnel.

## 1 – Objectifs scientifiques (2/9)

### La TSI: premier objectif à atteindre

L'éclairement solaire est la principale source d'énergie qui atteint le système Terreatmosphère. C'est un ingrédient crucial pour tous les modèles climatiques.



Depuis la fin des années 70, plusieurs instruments spatiaux permettent de réaliser cette mesure. Ce composite montre les variations de +/-0.05% de l'activité solaire sur une période de 11 ans. Notre valeur de référence de la TSI a été utilisée.

## 1 – Objectifs scientifiques (3/9)

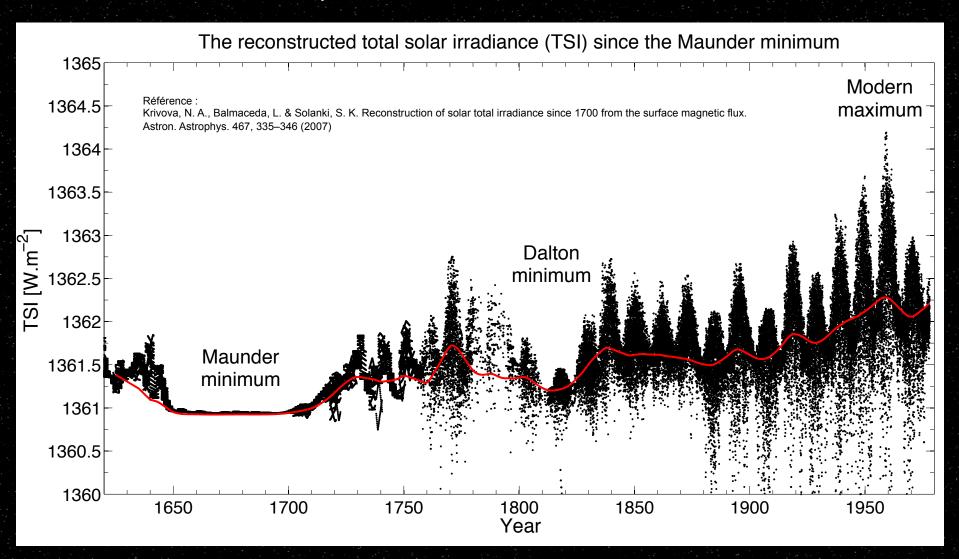
- Mesures à long-terme et valeur absolue de la TSI :

Instrument	Années	TSI	Références
ERB/NIMBUS 7	1978-1993	TSI ~ 1371 W.m <sup>-2</sup>	Hickey et al., 1980 Hickey et al., 1988 Kyle et al., 1994
ACRIM 1/SMM	1980-1989	TSI ~ 1367 W.m <sup>-2</sup>	Willson et al., 1981 (1368.31 W/m2)
ERBE/ERBS	1984-2003	TSI ~ 1365 W.m <sup>-2</sup>	Lee et al., 1987
ERBE/NOAA 9	1985-1989	TSI ~ 1364 W.m <sup>-2</sup>	Barkstrom et al., 1990
ERBE/NOAA 10	1986-1987	TSI ~ 1364 W.m <sup>-2</sup>	Barkstrom et al., 1990
ACRIM2/UARS	1991-2001	TSI ~ 1365 W.m <sup>-2</sup>	Willson & Mordvinov, 2001
SOVA 1/EURECA	1992-1993	TSI ~ 1365 W.m <sup>-2</sup>	Crommelynck et al., 1993
DIARAD/VIRGO on SOHO	1996-present	TSI ~ 1365 W.m <sup>-2</sup>	Dewitte et al., 2004
PMO6V/VIRGO on SOHO	1996-present	TSI ~ 1365 W.m <sup>-2</sup>	Finsterle et al., 2006 Fröhlich et al., 1997
ACRIM3/ACRIMSAT	2000-present	TSI ~ 1365 W.m <sup>-2</sup>	Willson & Helizon, 1999
TIM/SORCE	2003-2013	TSI ~ 1361 W.m <sup>-2</sup>	Kopp et al., 2005
PREMOS/PICARD	2010-present	TSI ~ 1361 W.m <sup>-2</sup>	Schmutz et al., 2013
SOVAP/PICARD	2010-present	TSI ~ 1362 W.m <sup>-2</sup>	Meftah et al., 2013

Sur la base de mesures collectées à partir de différents instruments spatiaux au cours des 35 dernières années, la valeur absolue de la TSI a progressivement diminué, passant de 1,371 W.m<sup>-2</sup> en 1978 à environ 1,362 W.m<sup>-2</sup> en 2013.

# 1 – Objectifs scientifiques (4/9)

- Reconstruction de la TSI depuis le minimum de Maunder :

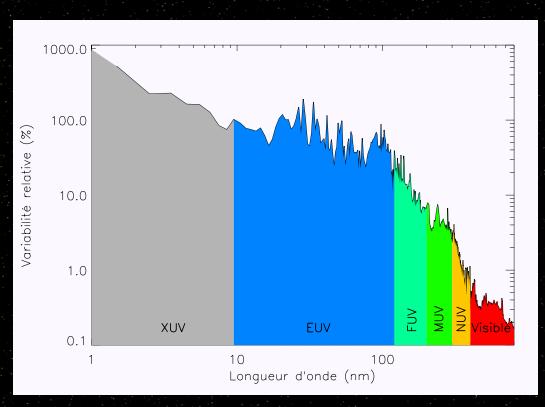


A partir des mesures, on adapte les modèles et on essaie de reconstruire la TSI.

## 1 – Objectifs scientifiques (5/9)

- Importance de l'éclairement solaire en fonction de la longueur d'onde :

Dans l'UV, l'amplitude des variations de « l'irradiance » spectrale (« Solar Spectral Irradiance » ou SSI) est plus importante : de 1 à 20% de variabilité au cours d'un cycle solaire (Cebula and Deland, 2012).



TSI ~ 1362 W.m<sup>-2</sup>
Avec 0.1% de variation au cours du
cycle solaire

Une mesure de la SSI dans l'UV présente un intérêt scientifique très important.

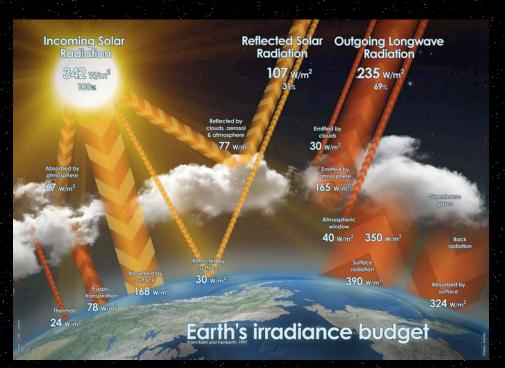
Source : G. Cessateur

## 1 – Objectifs scientifiques (6/9)

- Structure thermique de l'atmosphère déterminée par le rayonnement solaire entrant :

Le rayonnement aux longueurs d'onde « visible » et « proche IR » réchauffe la basse atmosphère et la surface de la Terre. La TSI représente un bon critère de variabilité.

Le rayonnement UV dissocie les molécules atmosphériques (initiant des chaînes de réactions chimiques, notamment celles qui produisent l'ozone stratosphérique). Il fournit ainsi la principale source de chauffage de la stratosphère.



Importance de la variabilité du rayonnement solaire dans l'UV

Importance du bilan radiatif de la Terre

→ Interaction avec l'ozone, par exemple en fonction de l'activité solaire

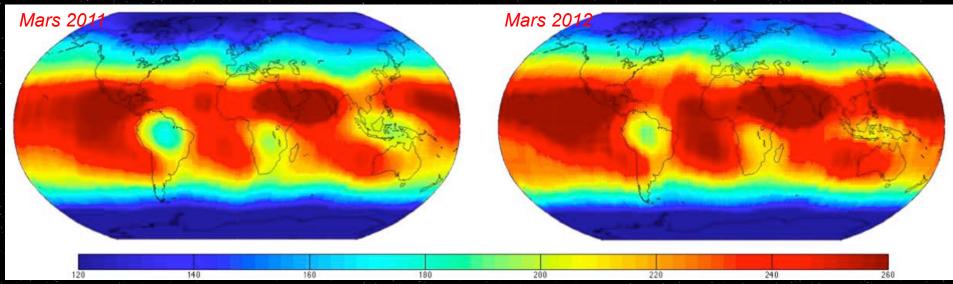
Irbah, Meftah, 2012

# 1 – Objectifs scientifiques (7/9)

### Le bilan radiatif : deuxième objectif à atteindre

L'état thermique du système Terre/Atmosphère nous intéresse particulièrement :

- Détermination du flux IR de la Terre (« Outgoing Longwave Radiation » ou OLR)
- Détermination du flux Albédo (« Reflected Solar Radiation » ou RFS)



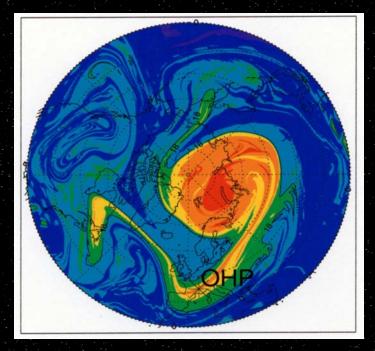
Meftah et al., 2013

Flux IR obtenus à partir des données de la mission PICARD.

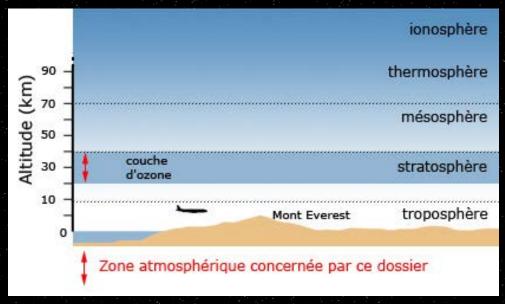
# 1 – Objectifs scientifiques (8/9)

## L'ozone : troisième objectif à atteindre

La mesure de la colonne verticale d'ozone est très importante. Dans la stratosphère, ce gaz forme une couche autour de 20-40 km d'altitude qui absorbe le rayonnement solaire UV. Une mesure par absorption différentielle à deux longueurs d'onde (310 nm et 340 nm) sera réalisée.



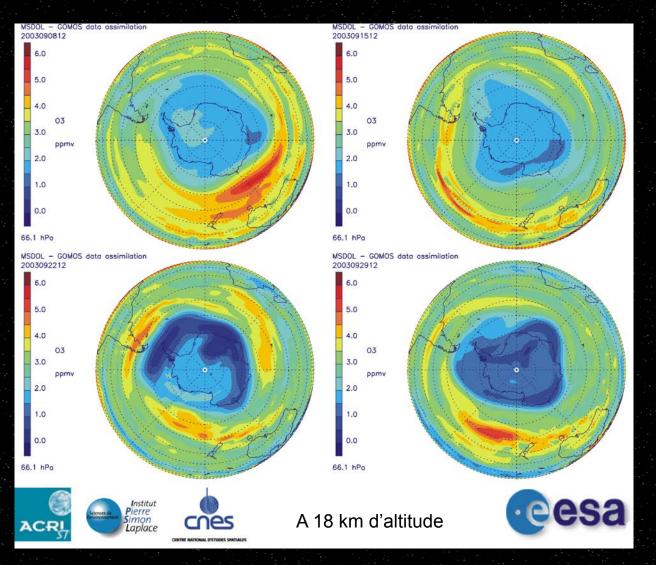
Hauchecorne et al., 2002



Coupe de l'atmosphère. Crédit : CNRS / IPSL.

# 1 – Objectifs scientifiques (9/9)

Observation du trou d'ozone Antarctique à partir des données GOMOS/ENVISAT assimilées dans le modèle MSDOL ACRI-ST/LATMOS

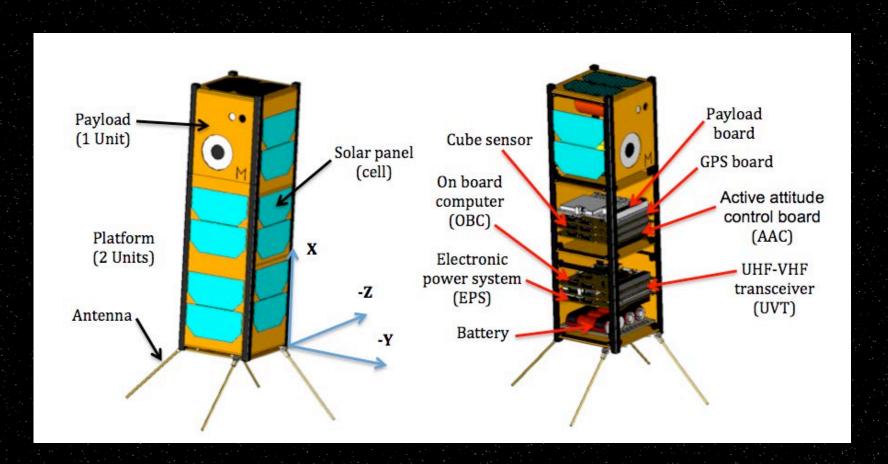


Source : A. Hauchecorne

# 2 - Le nano-satellite SERB (1/10)

### SERB est un nano-satellite ayant comme principales caractéristiques :

- Volume: 100 (d) x 100 (w) x 300 (h) mm
- Masse: 3.0 kg (1 kg pour la charge utile ou « CU »)
- Champ de vue : 180° pour les principaux instruments de la CU et 10° pour le détecteur O3
- Puissance : 3.0 W (1.0 W pour la CU)
- Flot de données : 31 Mbytes par jour



# 2 - Le nano-satellite SERB (2/10)

## SERB, un nano-satellite innovant



Vue d'artiste du nano-satellite SERB



Source : ISIS

# 2 - Le nano-satellite SERB (3/10)

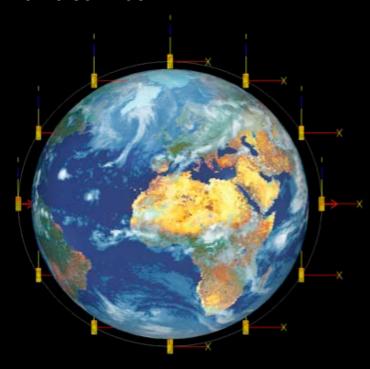
#### L'orbite

Il s'agit d'une orbite hélio-synchrone.

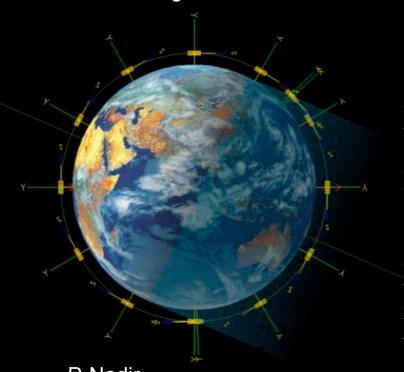
- Altitude : 600 km
- Heure locale au nœud ascendant : 06H00
- Inclinaison: 98°

Trois type de pointage :

- Pointage stellaire → « P-Star »
- Pointage solaire → « P-Sun »
- Pointage Terre → « P-Nadir »



« P-Sun » Le mode de fonctionnement nominal



« P-Nadir » Observation dans ce mode, une fois par mois, et plus si nécessaire (suivi de l'activité de l'O3).

# 2 – Le nano-satellite SERB (4/10)

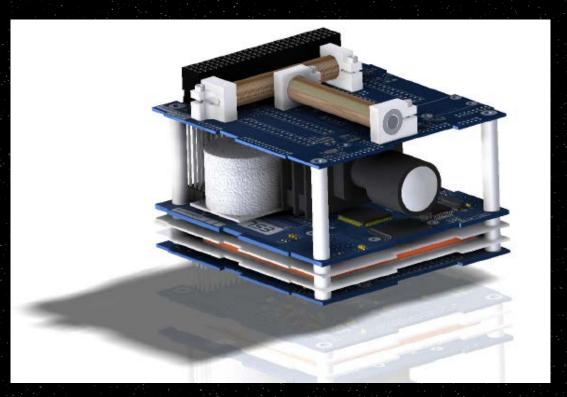
## Le pointage

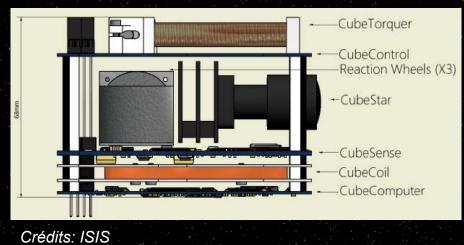
Afin de garantir le succès de la mission SERB, le pointage fin du nano-satellite est fondamental.

« P-Sun »  $\rightarrow$  0.1° « P-Nadir »  $\rightarrow$  0.4°



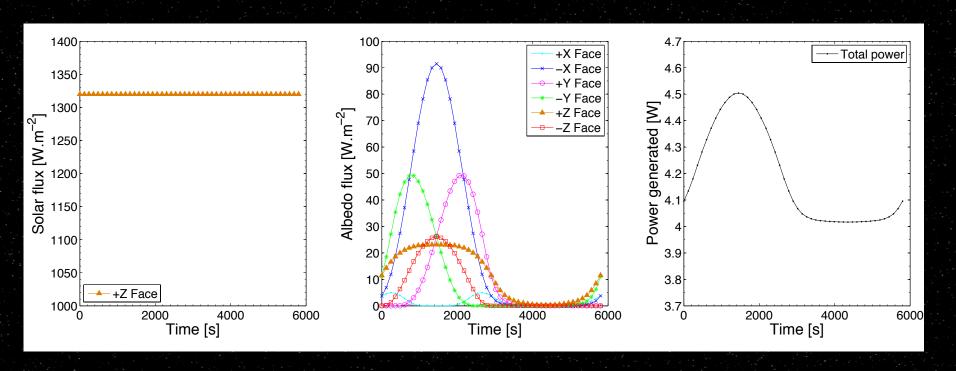






# 2 - Le nano-satellite SERB (5/10)

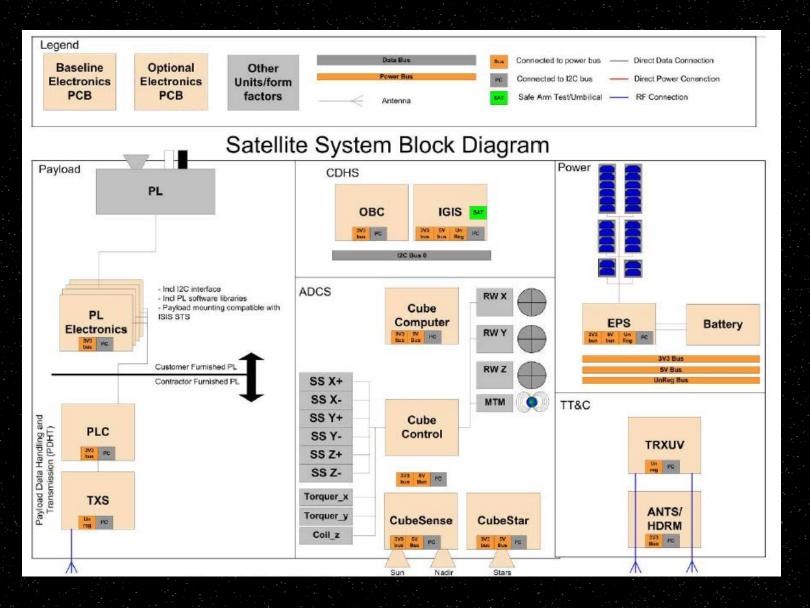
#### La puissance électrique générée



Des simulations ont été réalisées afin de vérifier les possibilités électriques de la mission. Il s'agit du deuxième élément critique sur le plan technologique.

# 2 - Le nano-satellite SERB (6/10)

### Le diagramme fonctionnel

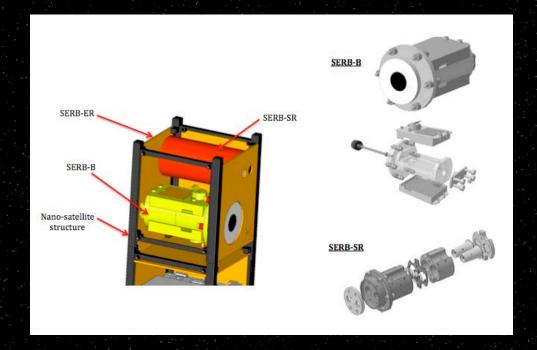


# 2 – Le nano-satellite SERB (7/10)

## La charge utile du nano-satellite

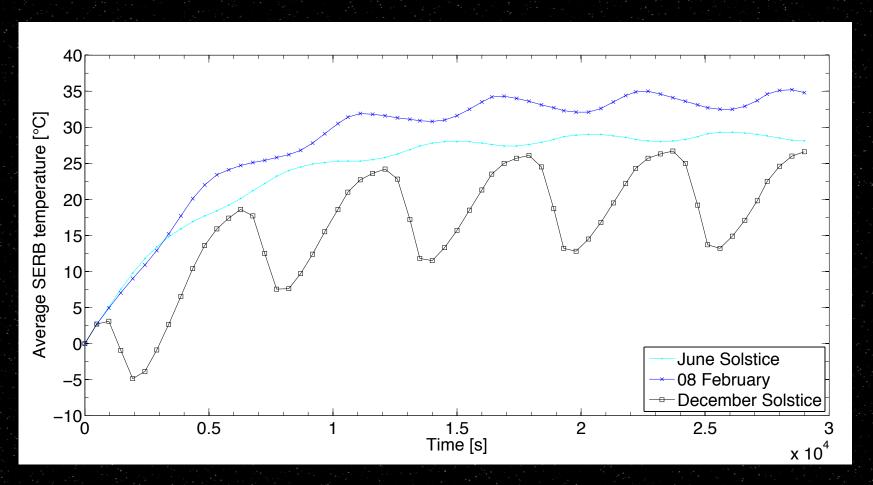
CU	Туре	Canal	Masse	Dimensions
SERB-ER	Radiomètre	0.2 μm - 40 μm	0.05 kg	40 (d) x 40 (w) x 90 (Z) mm <sup>3</sup>
SERB-B	Bolomètre	0.2 μm - 40 μm	0.20 kg	Ø 64 mm x 95 mm (Z)
SERB-SR	Radiomètre	0.2 μm - 3 μm	0.15 kg	Ø 47 mm x 95 mm (Z)
SERB-O3	Ozone	310 nm & 340 nm	0.10 kg	Ø 10 mm x 50 mm (Z)
1				





## 2 - Le nano-satellite SERB (8/10)

#### La température moyenne du nano-satellite en orbite (simulation)



Des simulations ont été réalisées afin d'avoir une connaissance de la température moyenne du nano-satellite. Cette connaissance est fondamentale vis à vis de la performance des instruments de la charge utile.

# 2 - Le nano-satellite SERB (9/10)

#### Utilisation des services de la Plateforme de Tests de Guyancourt (PIT)







L'instrument SERB-O3 nécessite une intégration en salle blanche. En effet, nous utilisons des filtres interférentiels dans l'UV qui nécessitent un niveau de propreté suffisant.

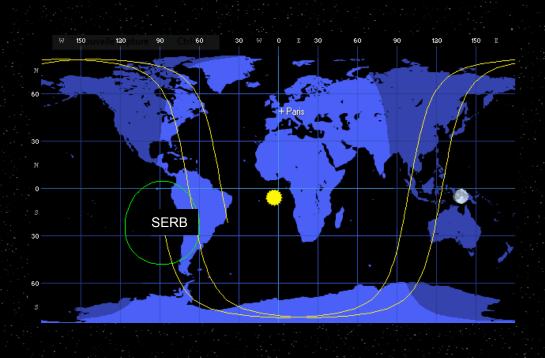
Les filtres (ACTON): 310nm & 340nm Narrowband Filter, Nominal CWL: 310nm & 340nm, Nominal FWHM: 20nm, Total Integrated Transmission: >14% (Goal), Visble Rejection: OD5 average

# 2 – Le nano-satellite SERB (10/10)

## Mise en place d'un réseau d'antenne

(UHF/VHF dans un premier temps puis bande S)





## Conclusion

Depuis le lancement du premier satellite artificiel en 1957, plus de 6.000 satellites ont été envoyés dans l'espace. Malgré les progrès technologiques, le domaine spatial reste peu accessible. Cependant, avec la miniaturisation des composants électroniques, il est récemment devenu possible de développer un petit satellite où des objectifs scientifiques peuvent être atteints. Les micro-satellites ont démontré que ces objectifs étaient réalisables. Toutefois, les délais de réalisation restent trop longs. Aujourd'hui, nous espérons grâce à l'utilisation de nano-satellites réduire la taille, le coût et le temps de développement des systèmes spatiaux. Les nano-satellites sont devenus des outils importants au niveau de la conquête spatiale, ce qui peut conduire à de nouvelles voies d'exploration de l'espace.

Les constellations de nano-satellites permettent d'obtenir une bonne couverture géographique à un coût raisonnable, ce qui présente un grand intérêt pour l'étude des relations Soleil-Terre.

La prochaine étape consistera très certainement à mettre en orbite des nano-satellites autour de la planète rouge, et très probablement autour d'autres planètes.