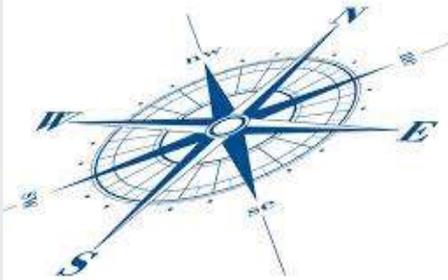




Observation de la Terre Par Satellite

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



« *New space technology* »

par Rémy Courdier
Professeur en Informatique

Plan du cours

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Chapitre 1 Genèse « new space technology »

- ✓ Evolution technologique, Loi de Moore
- ✓ Loi de Moore et télécommunications
- ✓ Télécommunication et enjeux stratégiques
- ✓ Coût de la technologie satellitaire classique
- ✓ La domination du spectre de l'information
- ✓ L'ère des petits satellite
- ✓ Problématique des petits satellites
- ✓ Exemple de programme de petits satellites

<https://maps.esri.com/rc/sat2/index.html>

New space technology : Genèse

Evolution Technologique, Loi de Moore

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- La technologie de ce siècle évolue désormais en suivant la loi empirique de Gordon Moore cofondateur d'Intel, selon laquelle les performances des composants électroniques évoluent exponentiellement avec une constante de temps.
- ➔ En conséquence, les machines électroniques deviennent de moins en moins coûteuses et de plus en plus puissantes.

-
- 1965 Première loi de Moore : la complexité des semi-conducteurs proposés en entrée de gamme doublait tous les ans à coût constant.
 - En 1975, réévaluation de la prédiction : le nombre de transistors des microprocesseurs sur une puce de silicium double tous les deux ans.
 - Actuellement... Pseudo loi de Moore : « quelque chose » double en TIC tous les dix-huit mois, cette chose étant *la puissance, la capacité, la fréquence d'horloge,...*
 - On ne devrait pas parler de lois de Moore mais de conjectures de Moore puisque qu'il s'agit en fait que de supposition.

New space technology : Genèse

Loi de Moore et télécommunications

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Conséquence de la loi de Moore

- ✓ percée des micro-ordinateurs,
 - ✓ plus inattendue, la croissance également exponentielle des réseaux de communication
- ⇒ importance des télécommunications

■ La télécommunication est caractérisée comme suit :

« l'émission, transmission à distance et réception d'informations de toute nature par fil, radioélectricité, système optique ou électromagnétique ».

La spécificité de la télécommunication, contrairement à une communication ordinaire, est que l'information est véhiculée à l'aide d'un support (matériel ou non), lui permettant d'être transmise sur de longues distances.

New space technology : Genèse

Télécommunications et enjeux stratégiques

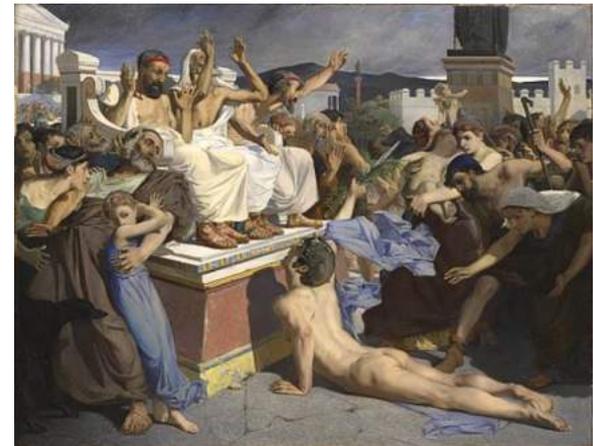
Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

L'espace est le moyen global de transfert et distribution de l'information.

- Il constitue le moyen global de :
 - ✓ Recueillir l'information
 - ✓ Transmettre l'information
 - ✓ Distribuer l'information

- Il participe des trois constellations dont le contrôle est la clé stratégique des puissances mondiales actuelle :
 - ✓ télécommunications,
 - ✓ navigation
 - ✓ observation

- Au cœur de la société de l'information en pleine expansion avec de plus en plus d'applications dans le domaine civil.

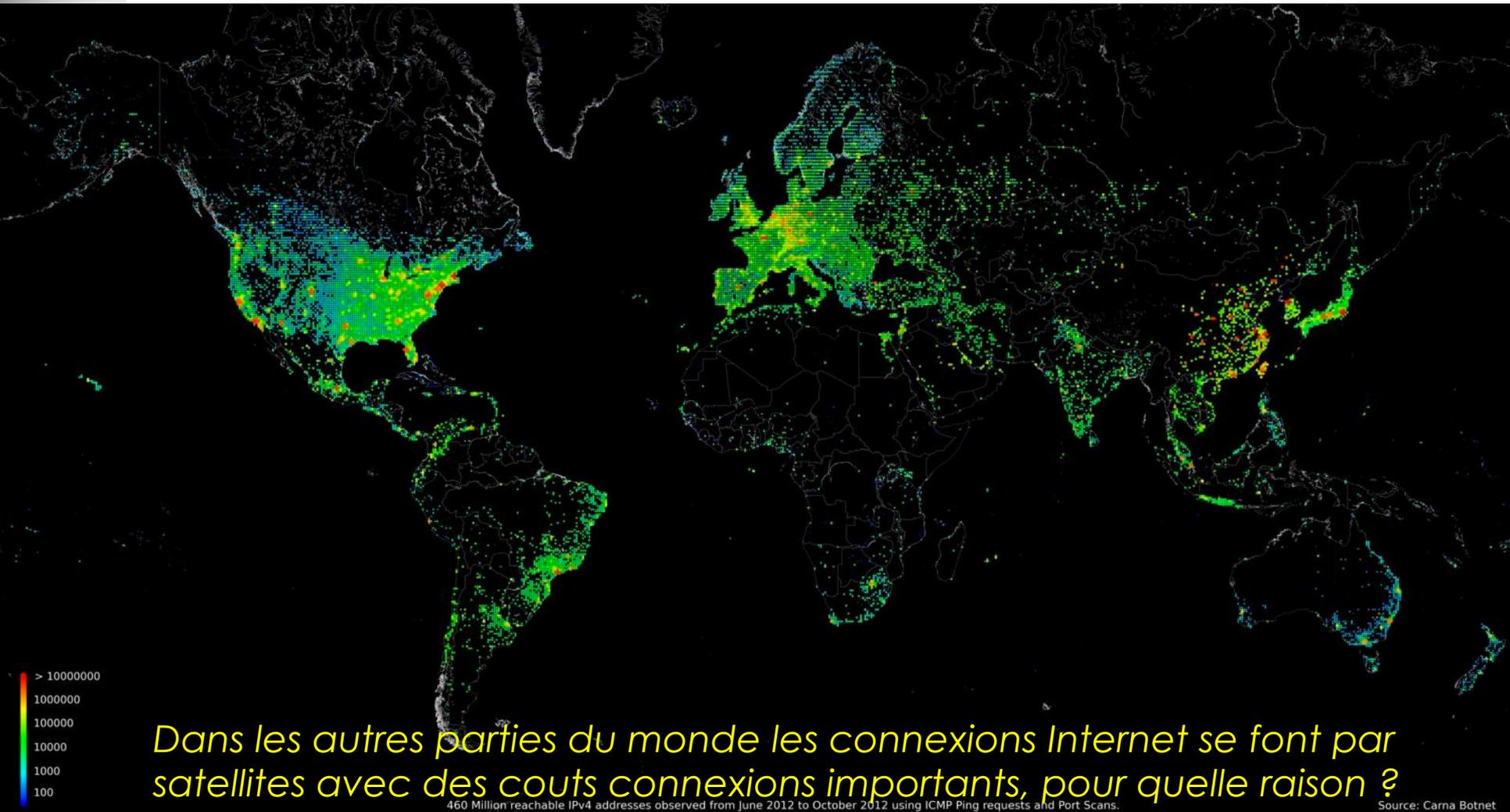


*Sans télécommunications :
Pheidippides annonçant la victoire aux
dirigeants athéniens après sa course
folle depuis la ville de Marathon.*

New space technology : Genèse

Aujourd'hui la communication = accès à l'internet

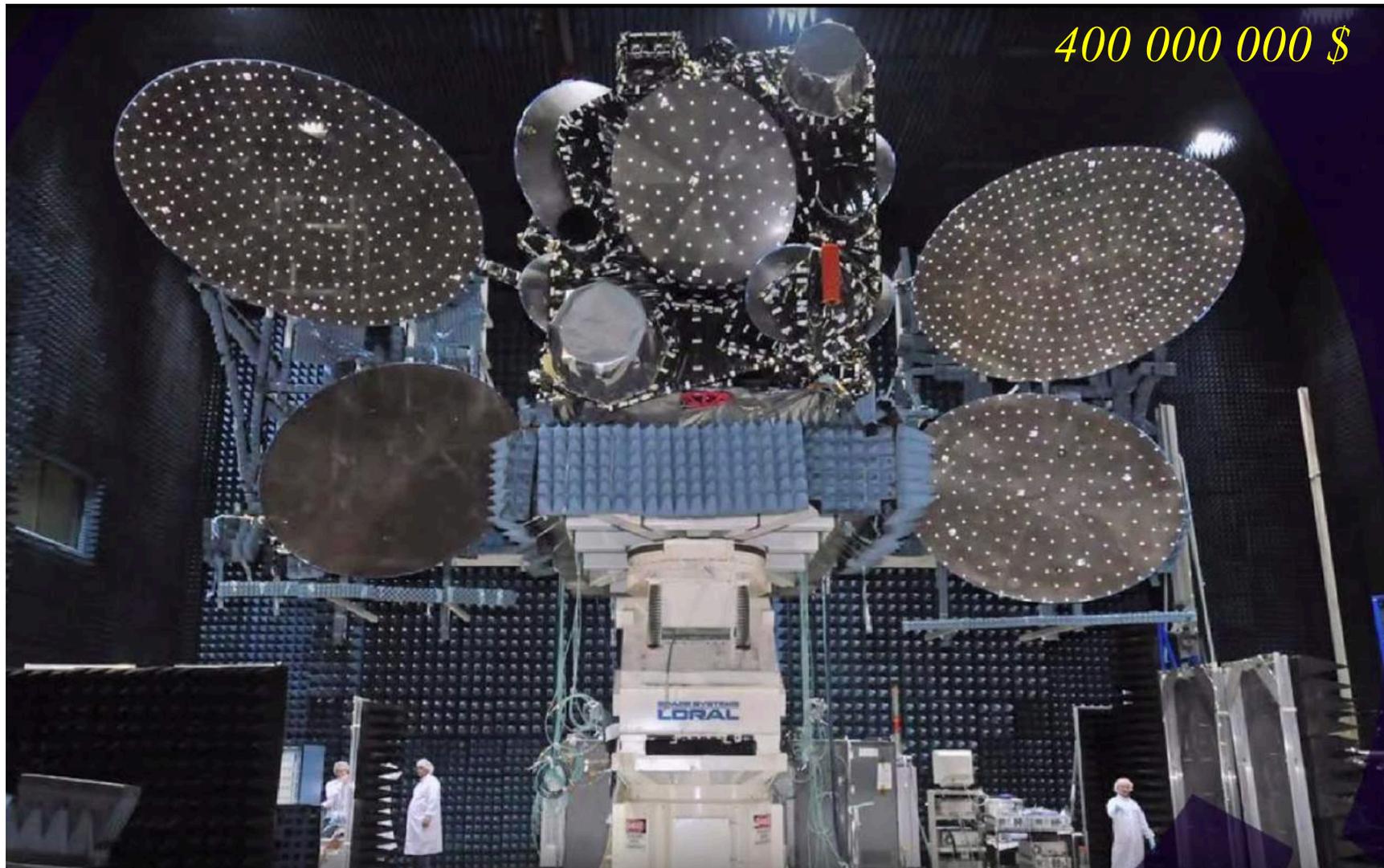
Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



New space technology : Genèse

Coût de la technologie satellitaire classique

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



Genèse « du new space »

La domination du spectre de l'information

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Constat :

- ✓ « Dominer le spectre de l'information est aujourd'hui aussi critique pour la conduite de conflits que jadis l'occupation du terrain ou le contrôle de l'espace aérien »
- ✓ « Dominer le spectre de l'information est aujourd'hui aussi critique pour l'économie et la culture que naguère la puissance politique »
- ✓ L'accès à l'information devient fondamental pour toute société et toute économie qui veut se développer sur l'ensemble de la planète

■ Une stratégie de domination des flux d'informations adoptée notamment par les USA. Stratégie qui porte sur la domination DE l'espace et une domination PAR l'espace.

- ✓ Temps réel dans la collecte et la distribution d'information
- ✓ Permanence sur les objectifs
- ✓ Robustesse du système

■ Pour avoir la suprématie : nécessiter de baisser les coûts

Genèse du « new space »

L'ère des petits satellites / small satellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ « petit satellite /small satellite

- ✓ Le terme « petit satellite », ou parfois « minisatellite », se rapporte à un satellite de masse (carburant compris) entre 100 et 500 kg.
- ✓ Exemples CNES: Demeter, Projet MYRIADE,...

■ Myriade (Cnes) :

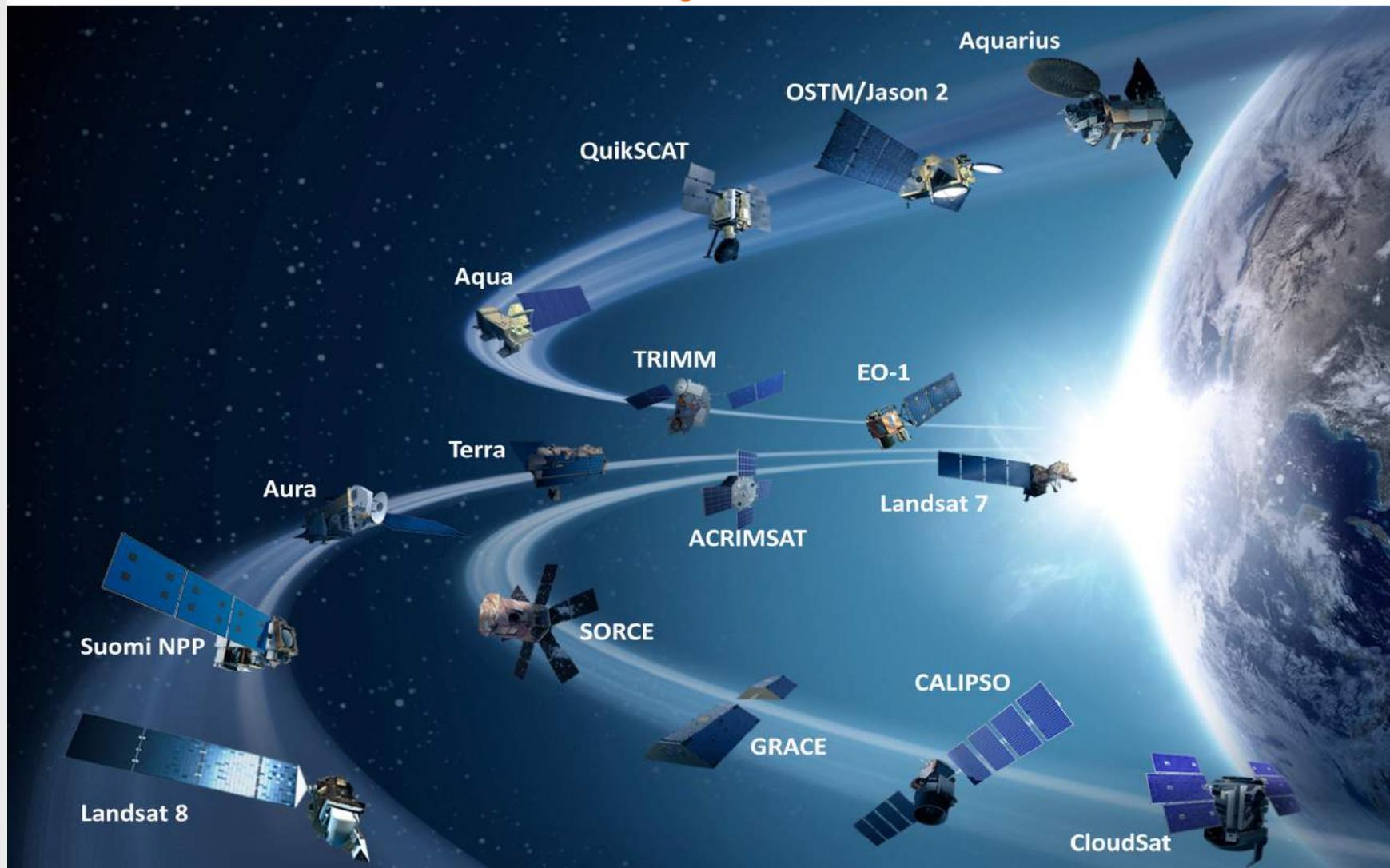
- ✓ Un ensemble de petits satellites de masse comprise entre **100 and 150 kg**
- ✓ Un segment au sol pour l'acquisition de données, le contrôle/commande des satellites,
- ✓ Un ensemble d'outils d'analyse de mission, la conception satellite, et la validation de système.



Génèse du « new space »

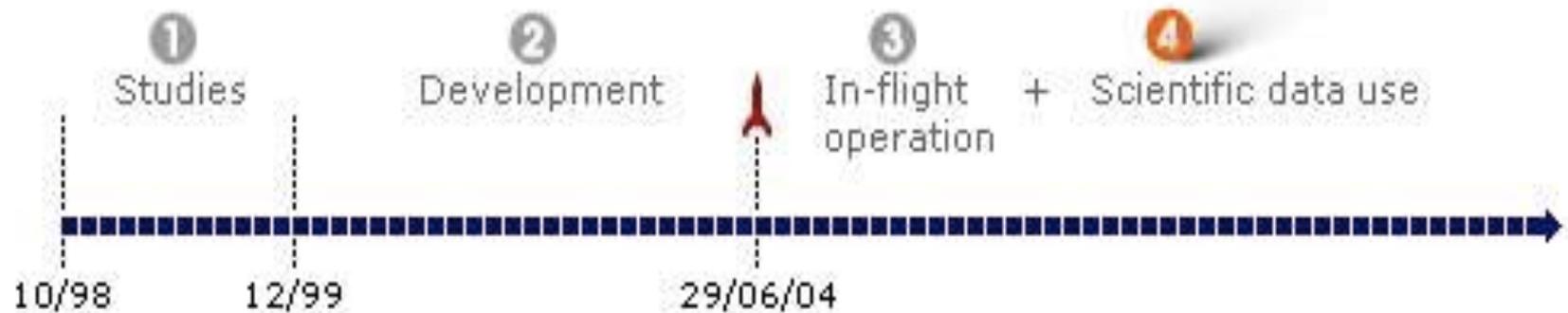
Constellation satellitaire déployée par la Nasa

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



- **les délais d'opérationnalité** : temps de mise en service peu compatible avec les stratégies court et moyen terme des organisations actuelles et la vitesse d'évolution de notre société du 21^{ème} siècle.

The project main steps



Source <http://missions-scientifiques.cnes.fr/MYRIADE/>

New space technology : Genèse Problématique - Coûts de fabrication

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Composants uniquement développés par le spatial



Que du « sur mesure »

« L'industrie du satellite, c'est de l'artisanat, voire de la haute couture ! Parce que les satellites sont construits sur mesure et que les volumes ne sont pas très importants »

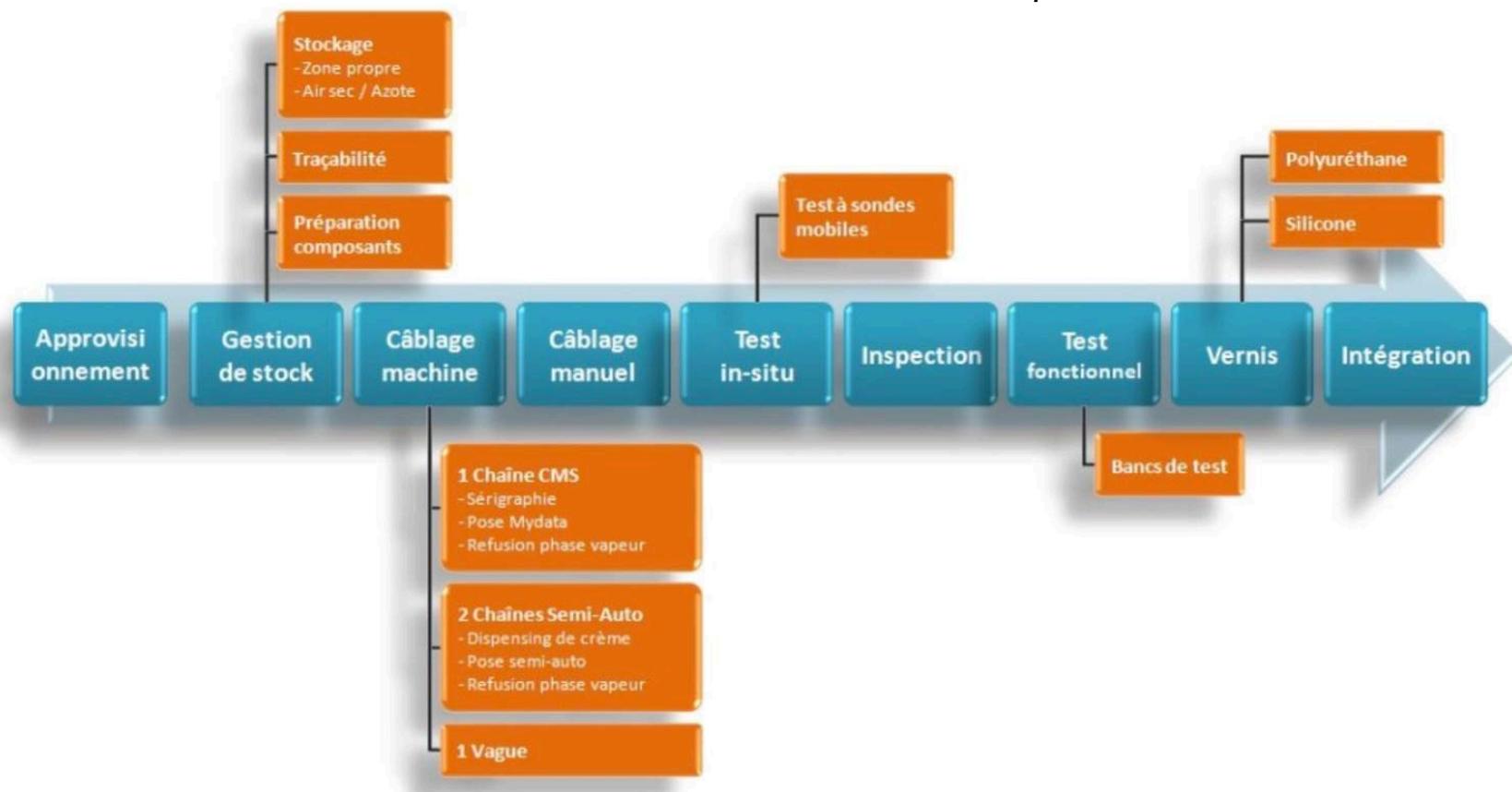
Source : Interview de **Yves Blanc**, directeur des affaires institutionnelles et internationales d'Euetsat LES CAHIERS DE L'ABCEP • Novembre-Décembre 2010

New space technology : Genèse

Problématique - Coûts de fabrication (2)

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Des ressources de production couvrant l'ensemble de la chaîne de la valeur du domaine spatial pour des productions très limitées



Source : <http://www.resa-spatiales.com/banc-de-test/>

New space technology : Genèse

Problématique – Coûts de lancement

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Satellite de poids entre 100kg pour les très petits satellites et 5 à 10 tonnes pour les très gros

Place réservée au satellite

- Nécessité d'un lancement par fusée :

- ✓ Le but d'une fusée est de transporter une masse donnée (charge utile) à une altitude donnée (orbite) à une vitesse donnée (28 000 km/h)

➔ Besoin d'une force colossale

- A titre d'exemple : Ariane 5 développe au décollage une puissance de 1 400 tonnes.

Quel est le prix moyen au kg d'un lancement d'un satellite avec ariane ?



New space technology : Genèse Problématique – Coût d'amortissement & d'exploitation

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

L'amortissement de ces coûts implique des cycles de vie long de 5 ans minimum à 15, 20 années.

Coûts de services importants au travers de sociétés spécialisées dans l'industrie spatiale.

The screenshot displays a financial model with several key sections:

- Inputs:** Includes 'Date de lancement', 'Montant programme' (300 000,00), 'Taux annuel initial' (5,000%), and 'Montant échéance' (1 000,00).
- Summary:** Shows 'Coût total credit' as 627 506,57.
- Tableaux d'amortissement (Amortization Table):** A detailed table with columns for 'N°', 'Date', 'Solde', 'Capital', 'Intérêt', 'Capital', 'Montant', and 'Total'. It tracks the balance and interest over 23 periods.
- Tableaux d'exploitation (Cash Flow Table):** A table with columns for 'Mois', 'Capital', 'Revenu', 'Montant', and 'Frais'. It shows cash flow over 30 months, with a total cash flow of 9 000,00.

Exemple de projet actuel de constellation de petit satellite Airbus / Arianespace

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Le 15 juin 2015 Airbus a été choisi par OneWeb pour fabriquer les 900 satellites destinés à fournir un accès à Internet à prix abordable au monde entier.
- Jeudi 25 juin, sa filiale Arianespace s'est vu confier le déploiement de cette constellation de satellites. L'objectif est de déployer, entre fin 2017 et fin 2019,
- cette constellation composée de près de 700 minisatellites, pesant chacun 150 kg. Largués à 500 km de la Terre, ils gagneront une orbite polaire à 1 200 km de la planète et émettront pendant cinq ans.
- 21 lancements de Soyouz à partir du Centre spatial guyanais (CSG) et de Baïkonour (Kazakhstan), ainsi que d'autres sites de lancement russes, comme le cosmodrome de Plessetsk. S'y ajouteront huit autres tirs en option, à partir de fusées Soyouz et Ariane.

**Le coût se situerait entre 1 et 2 milliards de dollars
900 millions et 1,8 milliard d'euros - durée de vie de 5 ans**

New space technology : Genèse

Grands services des constellations satellitaires

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ 3 catégories de grands services des systèmes satellitaires :

- ✓ Communication (Tv, Internet,...)
- ✓ Navigation (GPS, service de positionnement, ...)
- ✓ Télédétection (Imagerie,...)

Ces grands services sont de plus en plus investis par les entreprises publics

■ Nouveaux enjeux : un nouveau business modèle

- ✓ Espace joue alors une place centrale identifié à un irrigateur de systèmes d'informations d'entreprises commerciales.
- ✓ L'intérêt économique est tel que les satellites sont maintenant des produits commerciaux, financés par les marchés et bénéficiaires économiquement.
- ✓ Les acteurs de ce marchés sont très variés (public, privé, grands groupes, PME, ONG,...) et complètement intégrés dans la mouvance des nouvelles infrastructures et services numériques à évolution rapide

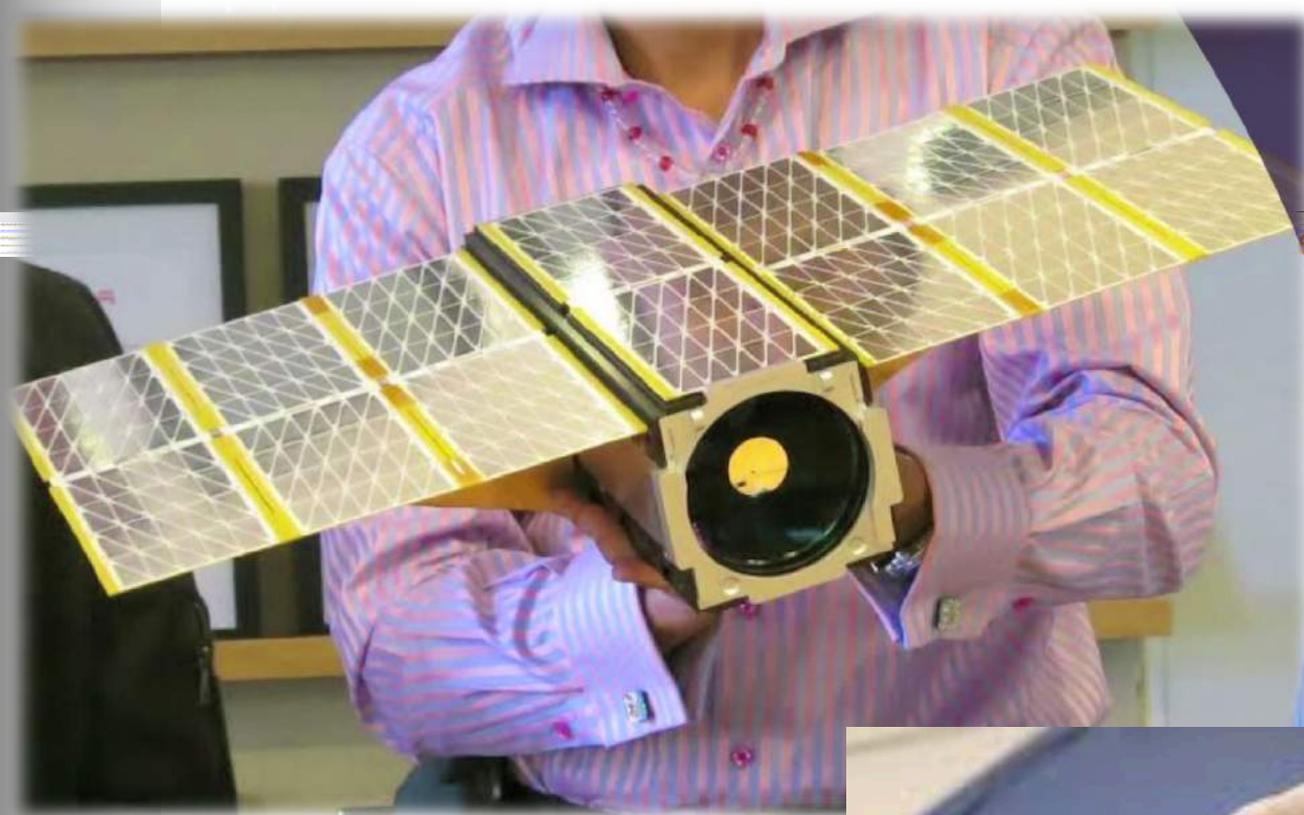
» L'ère du « micro-satellite » accessible à des organisations non gouvernementales

Définition

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

L'idée est de réduire
drastiquement le coût de la technologie satellitaire

- Le terme **micro-satellite** est utilisé pour dénommer un satellite avec une masse comprise entre **10 à 100 kg** et de taille d'encombrement réduite.
- Par extension le terme micro-satellite est souvent employé pour des satellites de plus petites tailles tels les nano satellites
- Le terme **nano-satellite** est utilisé pour dénommé des satellites de **1 à 10 kg**.



- la conception plus simple
- la construction plus rapide
- le coût réduit de fabrication et de lancement
- la facilité de fabrication en série
- des opportunités de lancement plus fréquentes
- la capacité d'être lancé avec de plus grands satellites "*piggyback*" / charge utile secondaire
- la perte financière minimale en cas d'échec
- La flexibilité grâce aux vols en formation

LE DOMAINE DES MICRO SATELLITES

Faiblesses

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- la durée de vie plus courte
- la capacité d'équipement réduite
- l'impossibilité d'avoir des équipements puissants gourmands en énergie
- la décroissance orbitale plus rapide
- Le besoin de connexion fréquents à une base au sol

LE DOMAINE DES MICRO SATELLITES

Domaines d'applications

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Les télécommunications (cf. société **novanano**)
- l'observation de la terre (cf. **TD n° 1**)
- la recherche scientifique (cf. projet **SWISSCube-1** dont le but est de mesurer les constituants de la haute atmosphère, ou **DICE-X** qui étudie les ions dans la ionosphère)
- les démonstrations de technologie (cf. projet suédois tests de composants avec la lituanie)
- le domaine militaire (la série de programmes satellitaires **SMDC** de la Space Missile Defence Company spécialisé dans la reconnaissance.
- la formation dans le domaine universitaire (cf. projet **Eye-Sat** atelier nanoSSA)

TD n° 1

LE DOMAINE DES MICRO SATELLITES

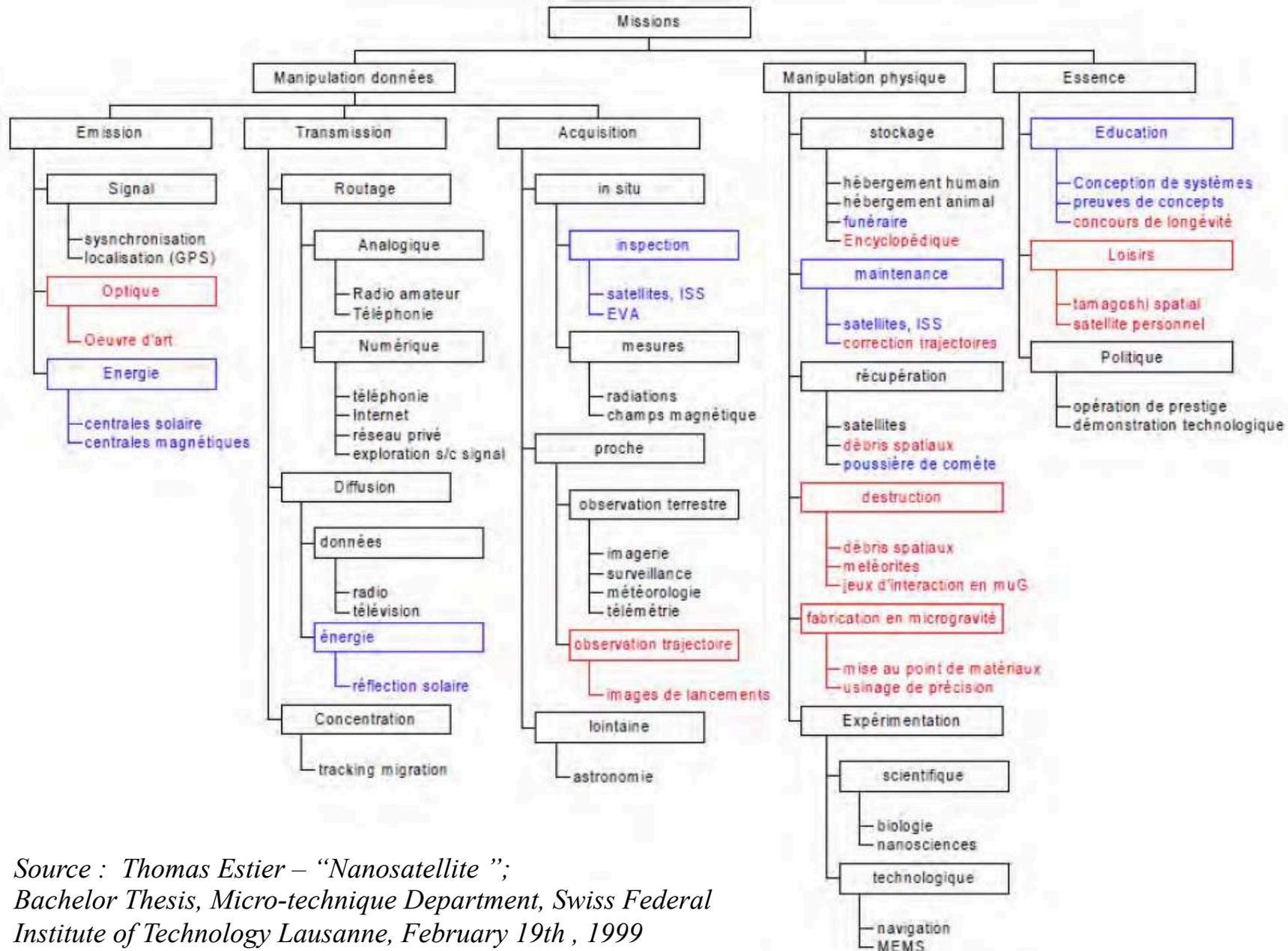
Domaines d'applications

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

TD n° 1

- **Quels applications micro/nano satellite pour l'observation de la terre ?**
- **Identifier une application par recherche Web**
- **Intérêt d'une démarche micro-satellite ?**
- **Présentation rendu**

Taxonomie des applications Satellitaires



Source : Thomas Estier – “Nanosatellite ”;
 Bachelor Thesis, Micro-technique Department, Swiss Federal
 Institute of Technology Lausanne, February 19th , 1999

LE DOMAINE DES MICRO SATELLITES

Vols en formation de micro-satellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Vol en formation :

- ✓ formation de deux ou plusieurs satellites qui utilisent un mécanisme de contrôle actif pour maintenir leurs positions relatives et leurs vitesses.
- ✓ Plutôt qu'utiliser un seul grand conventionnel pour effectuer une mission, on utilise de nombreux micro-satellites configurés en vol de formation pour accomplir les mêmes objectifs.

■ Classes de vols en formation :

- ✓ **Le Leader-Follower** : formation de satellites placés sur la même orbite, ayant des niveaux hiérarchiques et d'autonomie, et maintenant une distance fixe entre eux afin d'obtenir de multiples capacités d'observation d'une cible.
- ✓ **Le cluster** : formation de satellites qui fonctionnent de manière interdépendante et en coopération pour accomplir une mission spatiale complexe.
- ✓ **La constellation** : formation de satellites similaires, assurant une couverture coordonnée de la Terre, fonctionnant ensemble sous contrôle partagé, synchronisés pour qu'ils se chevauchent correctement dans la zone de couverture.

- Reconfiguration sur orbite qui offre la capacité d'accomplir des missions multiples avec une flexibilité de conception
- Temps de conception et développement réduits en raison de la fabrication en série
- Plus bas cout de fabrication (même raison)
- Taille et complexité de satellites réduites
- Redondance plus haute dans la formation et une tolérance aux pannes améliorée
- Amélioration des missions grâce à la capacité de voir des cibles sous angles multiples ou à des instants multiples
- Masse individuelle et volume réduisant le coût de lancement et offrant une flexibilité de lancement accrue

Faiblesses des vols en formation de micro-satellite

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Multiplication de sous-systèmes à gérer
- Complexité de l'initialisation et la préservation de l'emplacement relatif de chaque satellite dans la formation et tout particulièrement si les satellites sont lancés séparément
- Sévérité des conditions d'alignement de satellites (exemple : un mauvais alignement de détecteurs de télescopes peut introduire des erreurs de mesure, s'ils sont montés sur des satellites différents) ;
- Le coût de développement d'une formation de petits satellites peut être égal au coût d'un grand satellite si les petits satellites doivent réaliser des missions scientifiques exigeantes ;
- complexité accrue des opérations pour les stations au sol
- grande quantité de débris à la fin de la durée de vie de la formation.

LE DOMAINE DES MICRO SATELLITES

Principaux défis

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Le micro-satellite a des **ressources très limitées** en termes de puissance de calcul, mémoire, énergie, capacité de communications. En même temps, le concept de constellation exige le traitement simultanément d'un grand nombre de petits satellites et la transmission de données aux utilisateurs dans un format compréhensible.
- Un problème-clé dans le domaine de micro-satellites est **la gestion des risques technologiques** puisque les composants utilisés sont des composants standards du marché.
- Le plus important défi, à long terme, pour la communauté de petits satellites est de **démontrer sa robustesse** sur des applications capables de fournir des services fiables à bas coût.

LE DOMAINE DES MICRO SATELLITES

Marché commercial

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Les organismes publics et les agences spatiales continuent à être le support financier principal de la communauté de petits satellites. Cette communauté est toujours liée avec l'éducation et aux activités de recherche.
- Un marché commercial en émergence et à surveiller de près par de nombreux acteurs
- Evolution très rapide avec des investissements en cours d'entreprises qui investissent afin de pouvoir produire des micro-satellites à l'échelle industrielle. (exemple **SSTL** et **RapidEye**)

LE DOMAINE DES MICRO/NANO SATELLITES

Etat des lieux – naissance période 2004-2007

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

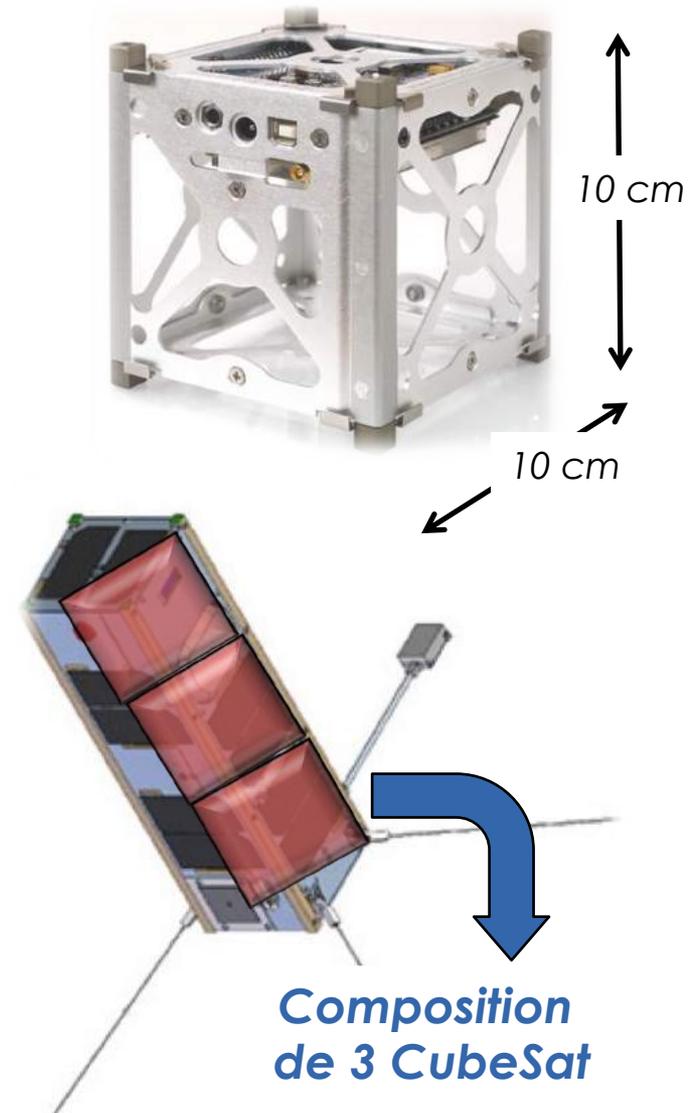
- Dans la période 2004 – mi 2007, 55 nano-satellites ont été lancés.
- L'année 2006 a vu naître le lancement d'une grappe de 16 nano-satellites lancés simultanément.
- La plupart des charges utiles ont été conçues pour conduire des missions technologiques (67%)
- cela signifie que durant cette période les micro-satellites sont utilisés principalement comme des démonstrateurs technologiques, pour évaluer les équipements différents qui peuvent être utilisés pour des missions futures.
- Environ 75% de nano-satellites ont été conçus par des étudiants dans des laboratoires de recherche universitaires.
- Dans le monde entier, des programmes de nano-satellites permettent de monter l'intérêt pour le domaine spatial parmi les étudiants et offrir à chaque étudiant une occasion unique de participer à un projet spatial concret incluant des réalisations expérimentales.

New Space technology

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Naissance du mouvement « new space technology » en californie

- Résultat des actions de formation sur micro satellitaire de projets étudiants
- Création de nombreuses start-up sur le marché commerciale
- Création de standards nanosatellite
- CubeSat taille de base 1U
 - ✓ 1,33 kg max
 - ✓ 10 cm x 10 cm x 10 cm
 - ✓ Existence en 1U, 2U, 3U
 - ✓ P-Pod Standard 3U



Technologie de lancement

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Lancement par lanceur traditionnel

- ✓ satellite additionnel / piggy-back satellite.
- ✓ Petit satellite arrimé pendant la phase de lancement à un satellite qui constitue la charge utile principale du lanceur.
- ✓ Possibilité de constituer des grappes de satellites

■ Avion lanceur / lanceur aéroporté

- ✓ Avion conçu pour porter un lanceur dont la mise à feu est effectuée en vol. On utilise l'expression « avion-porteur », dans un sens plus large, pour désigner un avion permettant d'emporter une charge de grande dimension arrimée à l'extérieur.
- ✓ 100 pound / 45 kg
lancement inférieur à 1 M \$
(env. 900 000 €)
- ✓ Exemple : Pegasus XL launching from Lockheed L-1011



Déployeur de nanosatellite

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Principe

- ✓ Une méthode pour mettre les CubeSats en orbite consiste à les transporter à bord d'un vaisseau spatial dans le cadre d'un chargement de cargaison vers une station spatiale.
- ✓ Une fois les Cubesats dans la station, le déploiement des CubeSats en orbite en tant que satellite artificiel séparé nécessite un appareil spécial appelé Déployeur

■ Utilisation de la station spatiale internationale (ISS)

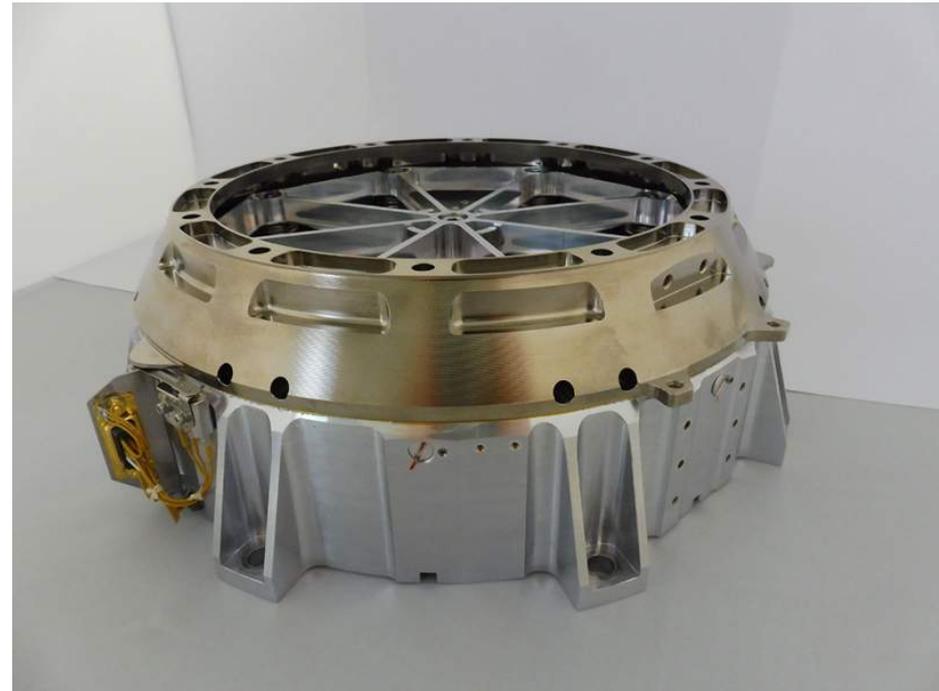
- ✓ Depuis 2014, deux déployeurs CubeSat sont à bord de la Station spatiale internationale (ISS):
- ✓ Le J-SSOD, module d'expérimentation japonais, est le premier du genre à déployer de petits satellites
- ✓ le Nanoracks CubeSat (NRCSD qui est le premier déployeur de petits satellites exploité commercialement de l'ISS

Déployeur de nanosatellite

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Projet français : Déployeur de nanosatellite EOS mis au point par le CNES et la société MECANO ID.

- ✓ Le dispositif vise à faciliter et accélérer la mise sur le marché de nouvelles solutions technologiques.
- ✓ Il permet de larguer un nanosatellite dans l'espace au bon moment, tout en minimisant les chocs et sans induire de rotation.
- ✓ Objectifs de commercialisation
Fin 2022



Crédits photo : MECANO ID.

« New space technology » Etat des lieux – 2008 à 2015

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

TD n° 2

- Quelles sociétés et quels Business models derrière le « new space » ?
- Pour quelles applications ?
- Intérêt pour l'observation de la terre par rapport aux solutions conventionnelles ?
- Présentation rendu

Synthèse de la terminologie en cours d'émergence

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

<i>Category</i>	<i>Mass (kg)</i>	<i>Cost</i>	<i>Time (years)</i>
Large	≥ 1000	≥ \$500M	≥ 15
Small	500 - 1000	\$100M	5
Mini	100 - 500	\$20M	2-3
Micro	10 - 100	\$10M	1.5
Nano	1 - 10	\$350K - 1M	≈ 1
Pico	0.1 - 1	≥ \$100K	≥ 1
Femto	< 0.1	-	-

Table 2.1 – Satellite classification

Source : Maria-Mihaela Burlacu, PhD These, Performance analysis and routing in nanosatellite constellations : models and applications for remote regions, juillet 2011

Synthèse de la terminologie en cours d'émergence

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Category	Mass (kg)	Cost	Time (years)
Large	≥ 1000	$\geq \$500M$	≥ 15
Small	500 - 1000	\$100M	5
Mini			
Micro			
Nano			
Pico			
Femto			

avec un prix allant de 20 à 80M\$, construction et lancement inclus, les minisatellites offrent des moyens de propulsions plus importants et une capacité à recevoir et à transmettre des volumes de données élevés à haut débit. Les dimensions de l'engin spatial permettent d'embarquer plus de charge utile et d'avoir des ouvertures plus importantes mais impliquent également un lanceur dédié.

Source : Maria-Mihaela Burlacu, PhD These, Performance analysis and routing in nanosatellite constellations : models and applications for remote regions, juillet 2011

Synthèse de la terminologie en cours d'émergence

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Category	Mass (kg)	Cost	Time (years)
Large	≥ 1000	$\geq \$500M$	≥ 15
Small	500 - 1000	\$100M	5
Mini	100 - 500	\$20M	2-3
Micro			
Nano			
Pico			
Femto			

avec un prix allant de 3 à 20M\$, construction et lancement inclus, les microsattelites sont plus limités en termes de moyens de propulsion, offrent une redondance sélective en cas de panne et un volume de donnée transmis plus modeste, bien que toujours à un débit élevé. Le design plus compact présente l'avantage de pouvoir lancer plusieurs satellites avec un lanceur ou se tourner vers des solutions de lancement plus économiques.

Source : Maria-Mihaela
constellations : models and applications for remote regions, juillet 2011

Synthèse de la terminologie en cours d'émergence

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Category	Mass (kg)	Cost	Time (years)
Large	≥ 1000	$\geq \$500M$	≥ 15
Small	500 - 1000	\$100M	5
Mini	100 - 500	\$20M	2-3
Micro	10 - 100	\$10M	1.5
Nano			
Pico			
Femto			

avec un prix allant de 100k\$ à 2M\$, les nanosatellites sont encore plus limités en termes de moyens de propulsions, de redondance, d'ouverture ou encore de débit de données. Ils offrent cependant l'avantage d'optimiser d'avantage le coût du lancement grâce notamment au développement de dispositif de dispositif de lancement intermédiaire comme le P-POD (Poly Picosatellite Orbital Deployer) qui peut contenir jusqu'à 3 nanosatellites.

Source : Maria-Mihaela
constellations : models

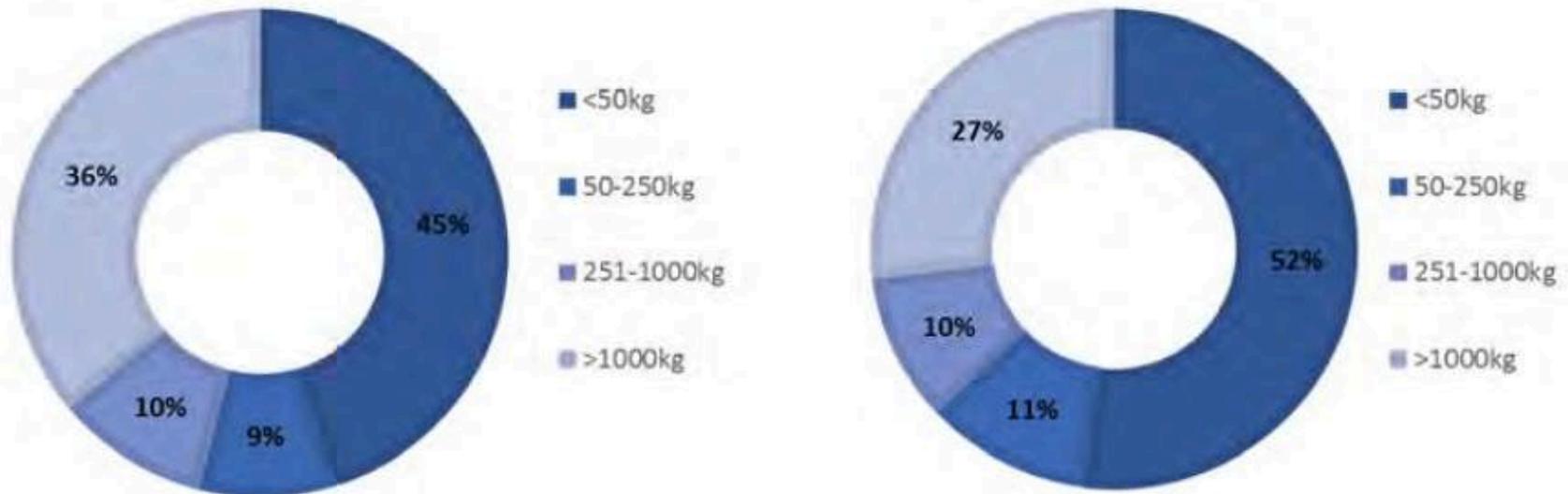
Répartition des satellites lancés par masse

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Progressive de la masse moyenne des engins spatiaux

✓ lancements en 2013 : satellites de masse >250kg = 46%

✓ lancements en 2014 : satellites de masse >250kg = 37%

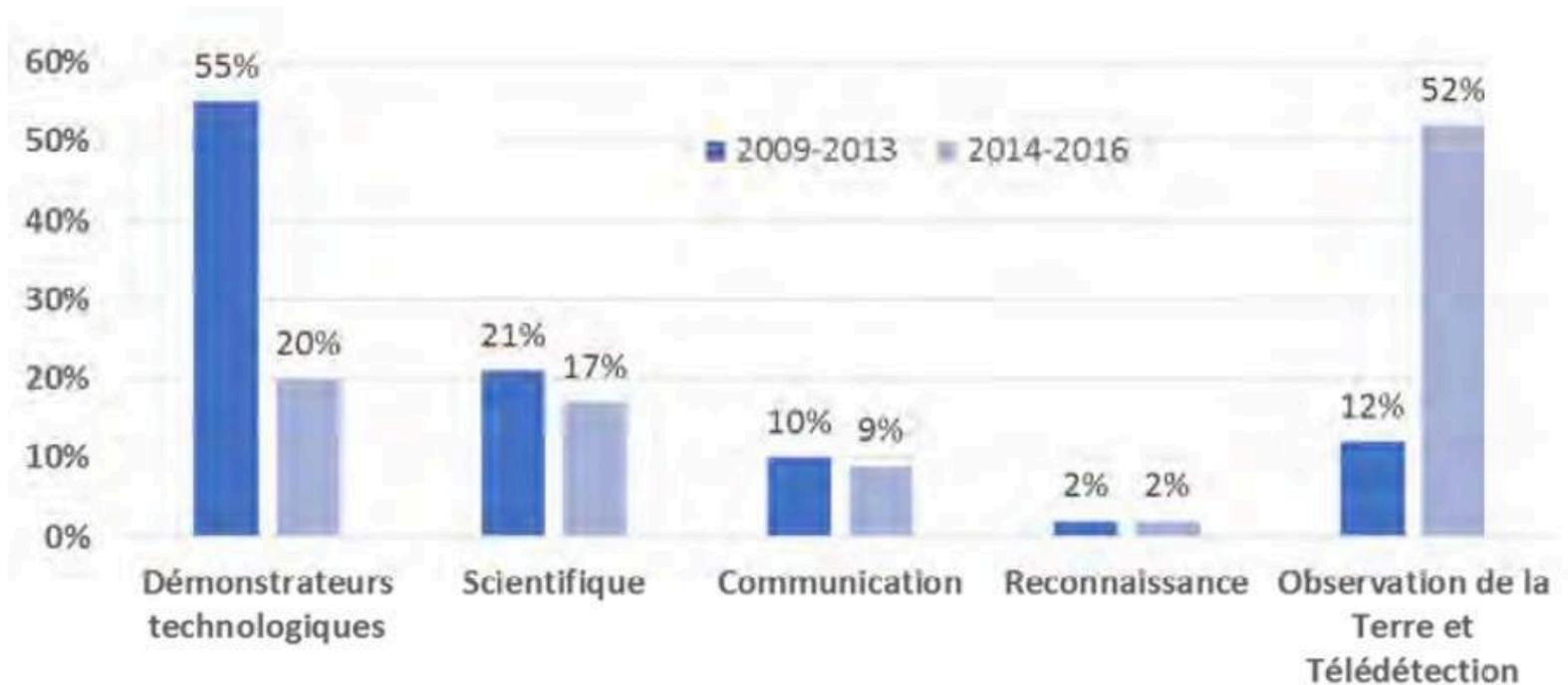


Répartition des satellites lancés par masse en 2013 (à gauche) et en 2014 (à droite)

Source : Space Works Launch Report : 2014 Year in Review, John R.Olds, August 2015

Evolution des usages des micro et nanosatellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



Evolution des usages des micro et nanosatellites entre les périodes 2009-2013 et 2014-2016

De nombreux experts s'accordent sur le fait que :

- **l'avenir réside dans les constellations de 20 à 50 nanosats**
- **que ces technologies profiteront d'avantage aux pays en voie de développement avec peu d'infrastructures existantes, une couverture restreinte et des budgets limités.**

Applications commerciales

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Collecte et traitement des données satellitaires du fait de la couverture mondiale et économique offerte par les nano et microsattelites :

- **Collecter** pour deux fois moins cher les **signaux radio émis par les bateaux** (identité, cargaison, destination...) : Aide pour choix de vitesse, trajectoire, douanes, détection de pirates
- **Connecter** des zones isolées ou peu développées avec peu d'infrastructures de télécommunications terrestres à l'image de la 4G
- **Informers** les agriculteurs sur les conditions climatiques, la fertilité ou la santé des champs dans les zones isolées. Ce point est particulièrement important pour les pays en voie développement en Asie et en Afrique dont l'économie est majoritairement basée sur l'agriculture.
- **Surveiller** l'environnement : prévision des catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre, les tsunamis grâce à des capteurs déployés en zone à risque et connecté en temps réel, analyse de la fonte des glaces, océanographie, suivi des espèces
- **Explorer** et surveiller les ressources naturelles : détection de pétrole ou de minerais, suivi des opérations minières, monitoring de pipeline

Un exemple d'application nanosat : HumSAT

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Vision :

- ✓ capacité de communication globale multiservices pour les régions sans infrastructure

■ Services :

- ✓ Soutiens des services humanitaires et des applications de secours
- ✓ Surveillance des paramètres climatiques
- ✓ Communication de données en bas débit

- University of Vigo (Espagne)
- California Polytechnic University (USA)
- Autonomous National University of Meico (Mexique)
- CRECTEALC – UN Regional Space Center (Mexique)
- European Space Agency (ESA)
- United Nations Office for Outer Space Affaires
- International Astronautical Federation (IAF)

Aguado-Agelet, F., Puig-SuiInternation initiative for a United Nations satellite constellation. ri, J., Camacho, S., Vivas, E., Castio, A., Balogh, W., Salvador, H., Reglero, V., 2010. HUMSAT Project: http://unisec.jp/nanosat_symposium/1st/files/10th.AM/Presentation_Fernando-Aguado.pdf,

HumSAT : la flotte des satellites

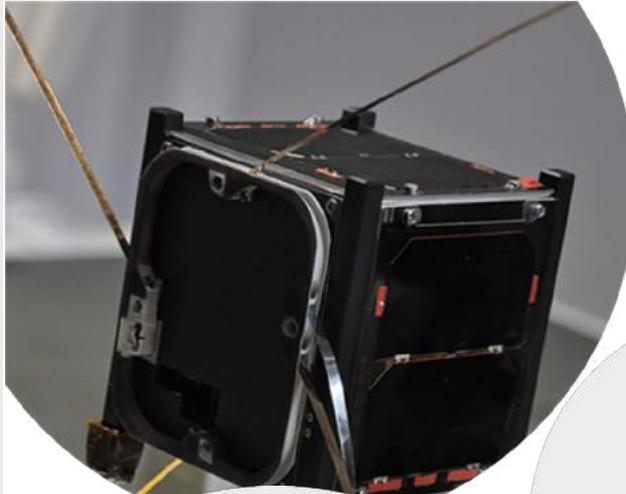
Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

■ Base Technologique

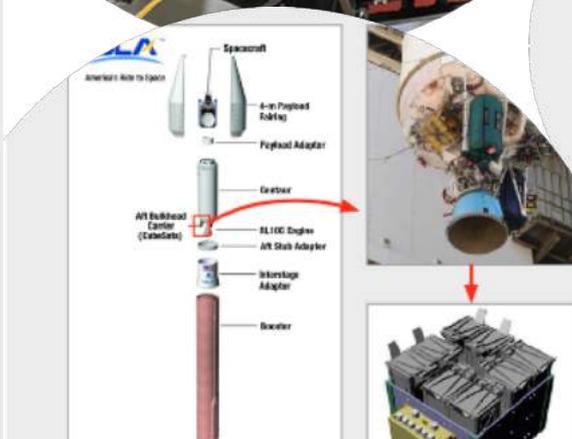
Nano-satellite CubeSat

- ✓ CubeSat unit = 1U
- ✓ Cube à 10 x 10 x 10 cm³
- ✓ Mass = 1-1,33 kg

Embarquement de différents capteurs développés par des utilisateurs divers.

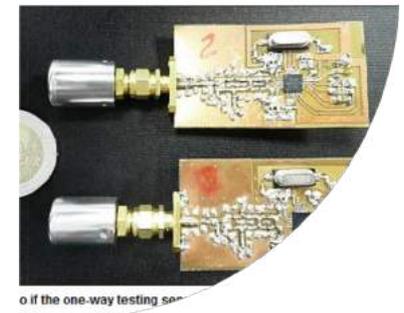


Unités CubeSat (NASA, 2017 : 4)



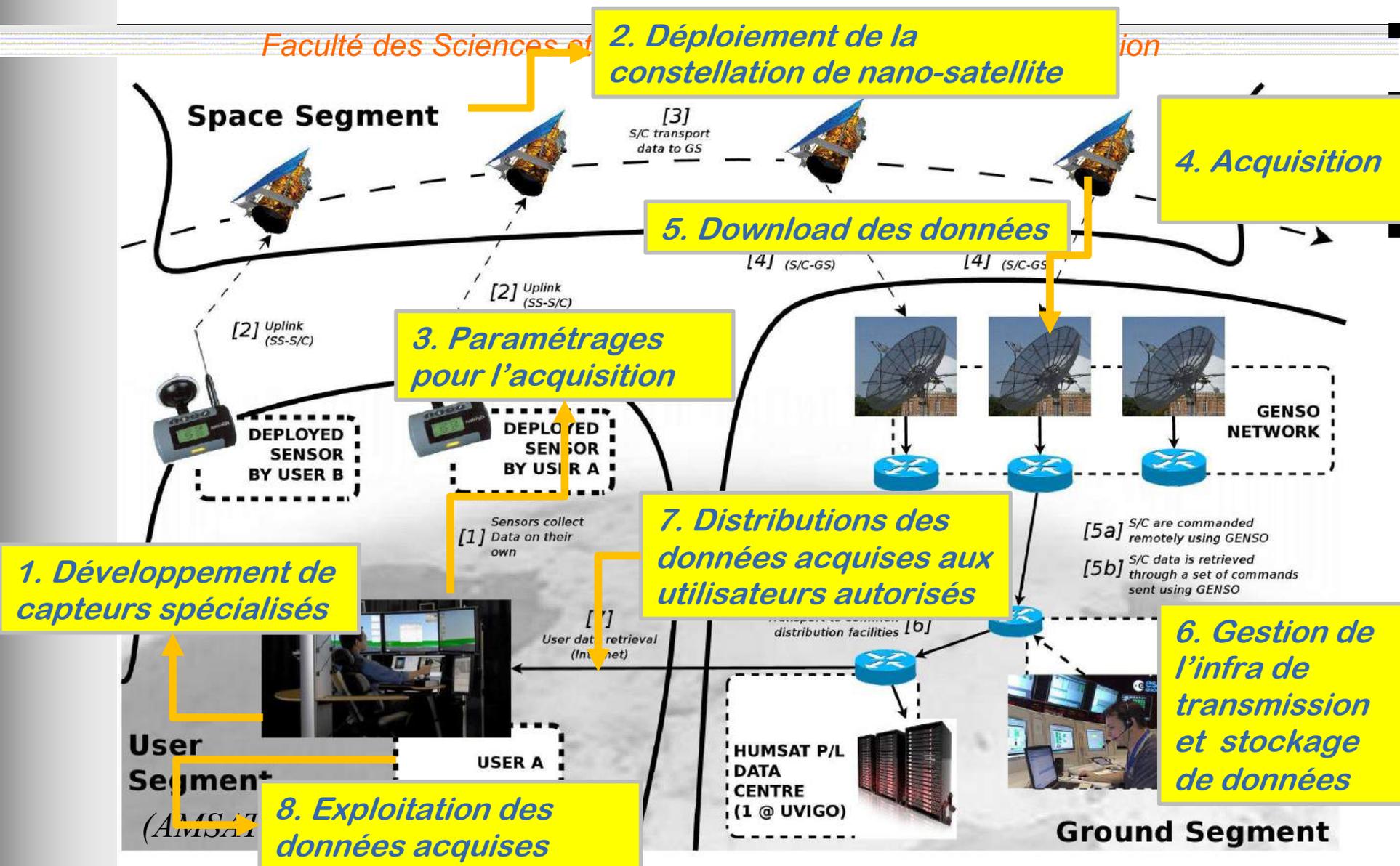
Lanceur (NASA, 2017 : 6)

FIGURE 5: This United Launch Alliance (ULA) image shows where on the launch vehicle the CubeSats might be located for a typical ULA CubeSat mission. The inset pictures show a Naval Postgraduate School Cubesat Launcher Lite (NPSCul-Lite) housing either 3U P-PODs and attached to the LV via an Air Bulkhead Carrier (ABC) plate. [United Launch Alliance]



o if the one-way testing see

Configuration de l'infrastructure du projet HumSat



Liste d'exemples d'applications des Nanosatellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Détection des séismes : **QuakeSat** (détection des signaux magnétiques), 5 kg, mission de 2 ans, 833 km
- Observation des phénomènes de luminescence nocturne : **SwissCube-1**, 0,82 kg, mission de 3 à 12 mois, 752 km
- Climatologie : **KSAT-2**, détection de vapeur d'eau pour la prévision des précipitations et des tornades, images satellitaires de la Terre, 1,5 kg
- Etude de la troposphère, structure des précipitations des tempêtes tropicales : **TROPICS**, NASA/MIT, 2021, 3.8 à 6 kg, 600 km
- Etude des aurores polaires (images) : **AMICal Sat**, 2,3kg, 1 an, 530 km
- Sécurité en mer par recueil de "signature" de bateaux en captant les ondes électromagnétiques. Projet **BRO-2 et BRO-3** : 20 à 25 satellites d'ici 2024, 10 à 20 acquisitions/jour, 550 km.

Un exemple d'application microsat : SkySat

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- **Vision :**
 - ✓ **Entreprise commerciale**
 - ✓ **fourniture multiservices**
 - ✓ **pour l'observation de la terre.**
- **Acteur : Planet Labs**
- **Année : 2013-2021**
- **Fourniture d'images à haute résolution panchromatique (0.9 m) et multi-spectrale à des fins commerciales**
- **Services :**
 - ✓ **Energie**
 - ✓ **Défense**
 - ✓ **Agriculture**
 - ✓ **Foresterie**
 - ✓ **Surveillance des mines**
 - ✓ **Ingénierie**
 - ✓ **Construction**
 - ✓ **Suivi environnemental**

Laczano, Amanda. 2021. "Skysat Satellite Sensor. Manufactured by Planet Lab formerly known as Terra Bella. Consulted in 26 September 2021 in <https://storymaps.arcgis.com/stories/4accf27c9895418b805088602bc3b338> .

Un exemple d'application microsat : SkySat

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



- 21 microsattellites de 120 kg
dimension 60 x 60 x 95 cm
- Orbite héliosynchrone à 450 km
- 3 caméras CMOS de 5,5 mp,
distance focale de 3,6 m
- 90 secondes de vidéo, 30 images
par seconde
- Imagerie satellitaire de haute
résolution de 50 cm
- Collecte d'image : 12 fois/jour au
max sur un même endroit jusqu'à
400 km²/jour
- Stockage image : 768 gigabits,
transmis en bandes X avec débit:
450 megabits/s
- Durée de vie 4 ans

Liste d'exemples d'application de Microsatellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- Détection de feux sur la surface de la Terre : **BIRD** (Bispectral Infra-Red Detection), DLR/Allemagne, 2001, 94 kg, 568 km
- Surveillance de déversements pétroliers, cartographie des écosystèmes marins, cartographie de la mer : constellation de 12 satellites **Skylark**
- Propriétés radiatives et microphysiques des nuages et des aérosols : **PARASOL** (Polarization & Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Sciences coupled with Observations from a Lidar), 32 kg
- Activité sismique, volcans, évolution des activités anthropiques, perturbations de l'environnement : **DEMETER** (Detection of ElectroMagnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions), 130 kg, 1 an, 722 km
- Emission de CO₂ (bilan carbone de l'Amazonie, de l'Afrique et les régions boréales): **MicroCarb**, 170 kg, 5 ans, 650 km

Une filière en émergence en Europe

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

Avec une levée de 11 millions d'euros, Aerospacelab veut faire décoller la «New Space» européenne (02/04/2019)

- La start-up belge **Aerospacelab**, spécialiste de l'imagerie satellite couplée à des données non géospatiales, a levé 11 millions d'euros dans un tour de table menée par le fonds franco-allemand XAnge, ainsi que BelAero, CMNE Innov&thic et la Société régionale d'investissement de Wallonie.
- Fondé fin 2017 par Benoît Deper, Aerospacelab évolue sur le marché de l'intelligence stratégique. L'entreprise développe des satellites qui pèsent entre 25 et 50 kilogrammes et sont équipés de composants miniatures et de différents capteurs, qui collectent des données visuelles en haute résolution sur des zones cible données. Elle combine ensuite ces images avec des données non géospatiales pour fournir des analyses proactives et prédictives à des clients issus des secteurs de la défense, l'intelligence économique, l'infrastructure et l'agriculture de précision.

Une filière mature aux USA

Vers les méga-constellations de micro-satellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- **SpaceX** a réussi le lundi 11 novembre 2019 le lancement de la deuxième flopée de 60 satellites pour son projet de **constellation Starlink**, censé fournir un accès Internet bon marché et rapide au monde entier.
- Le lancement a été fait par la fusée Falcon 9 depuis le site de Cape Canaveral en Floride
- les satellites sont positionnés pour pouvoir atteindre une orbite basse terrestre d'environ **280 kilomètres**.
- Initialement, SpaceX comptait déployer 12 000 satellites, La méga-constellation Starlink pourrait comporter **42 000 micro-satellites à terme**.
- Ce projet de méga-constellation pourrait permettre à **SpaceX** d'être valorisée à 120 milliards de dollars s'il se concrétisait d'après un rapport de Morgan Stanley Research.

Microsoft s'allie à SpaceX (Elon Musk) pour muscler son offre cloud

<https://www.frenchweb.fr/> le 22 oct. 2020

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

- **Microsoft** a annoncé en oct. 2020 des contrats avec des sociétés spécialisées dans l'espace et les satellites pour muscler son offre de cloud (informatique à distance) et la rendre accessible à plus de secteurs, notamment dans les régions mal desservies par les réseaux télécoms.
- « *Un écosystème florissant de satellites est nécessaire pour faire face aux besoins croissants du monde en réseaux, et nous sommes heureux d'avoir noué des partenariats avec des leaders de l'industrie pour apporter ces capacités à nos clients plus rapidement* », indique le géant informatique américain dans un communiqué.
- Le groupe a notamment signé un accord avec **SpaceX** qui a mis en orbite plusieurs centaines de satellites pour constituer la constellation baptisée « Starlink », qui doit fournir Internet à haut débit à partir de l'espace.
- Le groupe escompte des débouchés en terme de connectivité dans l'agriculture, l'énergie et les télécommunications, notamment.

Source : Atelier nanoSSA, le 11/06/2015, Cnes, Janus

Problèmes liés au déploiement intense de constellations de micro-satellites

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

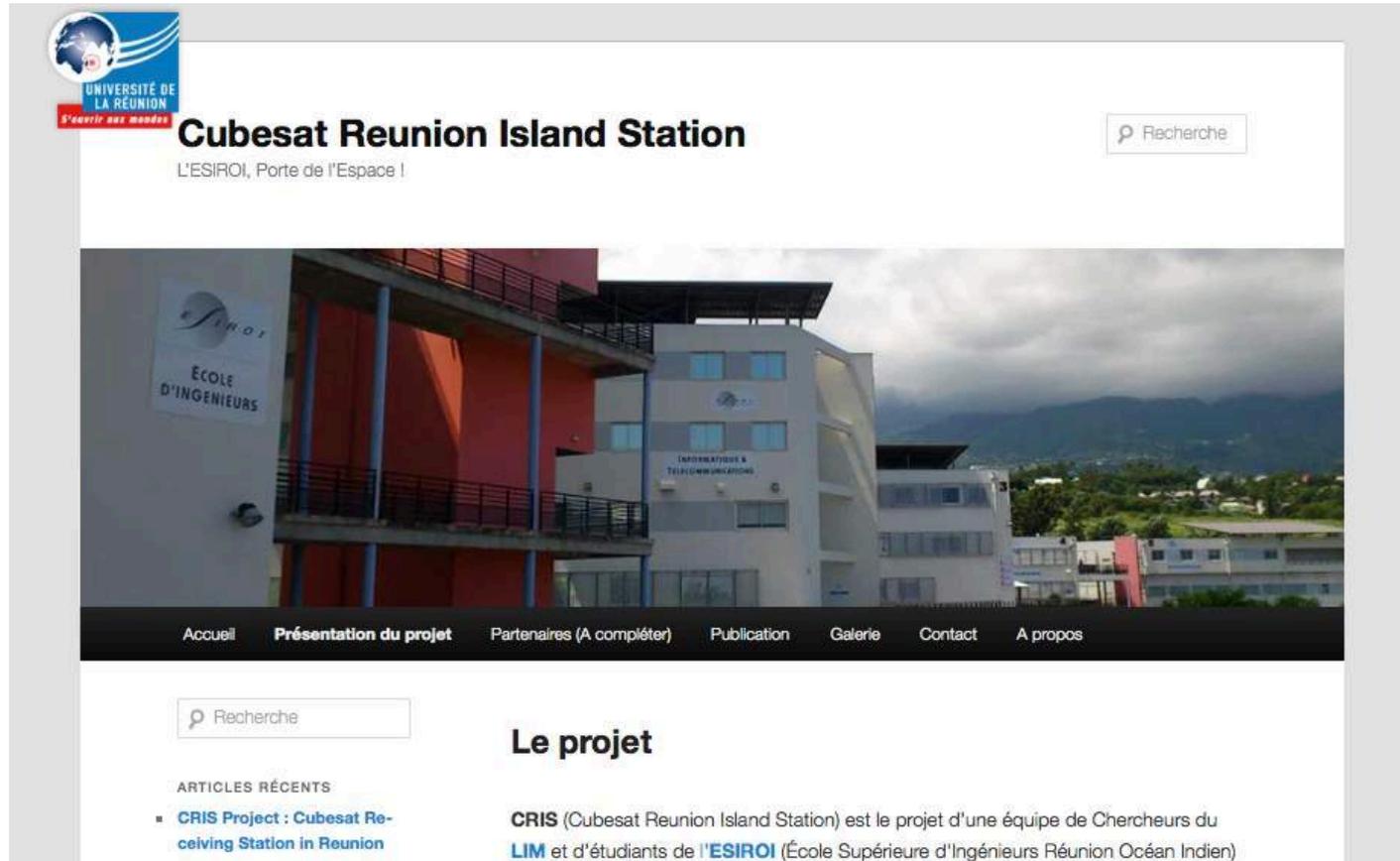
Nombreux projet de constellations : SpaceX, Amazon, OneWeb, TeleSat ...

- **Saturation de l'orbite basse entre 500 et 2 000 kilomètres d'altitude**
- **pollution lumineuse importante : Les micro-satellites pourraient devenir plus nombreux que le nombre d'étoiles visibles à l'œil nu.**
- **Probabilité que se produise une série de collisions orbitales en cascade « syndrome de Kessler »**

le projet CRIS

Cubesat Réunion Island Station

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION
S'ouvrir aux mondes

Cubesat Reunion Island Station

L'ESIROI, Porte de l'Espace |

Recherche



Accueil **Présentation du projet** Partenaires (A compléter) Publication Galerie Contact A propos

Recherche

Le projet

ARTICLES RÉCENTS

- [CRIS Project : Cubesat Receiving Station in Reunion](#)

CRIS (Cubesat Reunion Island Station) est le projet d'une équipe de Chercheurs du **LIM** et d'étudiants de l'**ESIROI** (École Supérieure d'Ingénieurs Réunion Océan Indien)

<http://blog.univ-reunion.fr/cris/presentation-du-projet/le-projet/>

le projet CRIS

Cubesat Réunion Island Station

Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

- Main page
- Contents
- Featured content
- Current events
- Random article
- Donate to Wikipedia
- Wikipedia store

Interaction

- Help
- About Wikipedia
- Community portal
- Recent changes
- Contact page

Article Talk

Read Edit V

Global Educational Network for Satellite Operations

From Wikipedia, the free encyclopedia

The **Global Educational Network for Satellite Operations (GENSO)**^{[1][2]} is forming by a worldwide network of gn software standard. The GENSO aims to increase the return from educational space missions and changed the way increasing the level of access to orbital educational spacecraft.^[3]

Contents [hide]

- History
- How GENSO works
- List of members
- See also
- Notes and references
- External links

*Référencement
Wikipedia des
travaux réalisés
la Réunion*

University of Vigo (Spain)	GSS
University of York (UK)	GSS
University of La Reunion, LIM  , ESIROI IT Dept (Réunion/France) ^{[13][14][15][16][17][18]}	GSS
Stanford Research Institute International & University of Michigan, College of Engineering	MCC (RAX-2)
University of Michigan (USA)	MCC (M-CUBED)
Sapienza University of Rome	MCC (UniCubeSat-GG)

https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Educational_Network_for_Satellite_Operations

Quels micro-satellites pour la zone océan indien

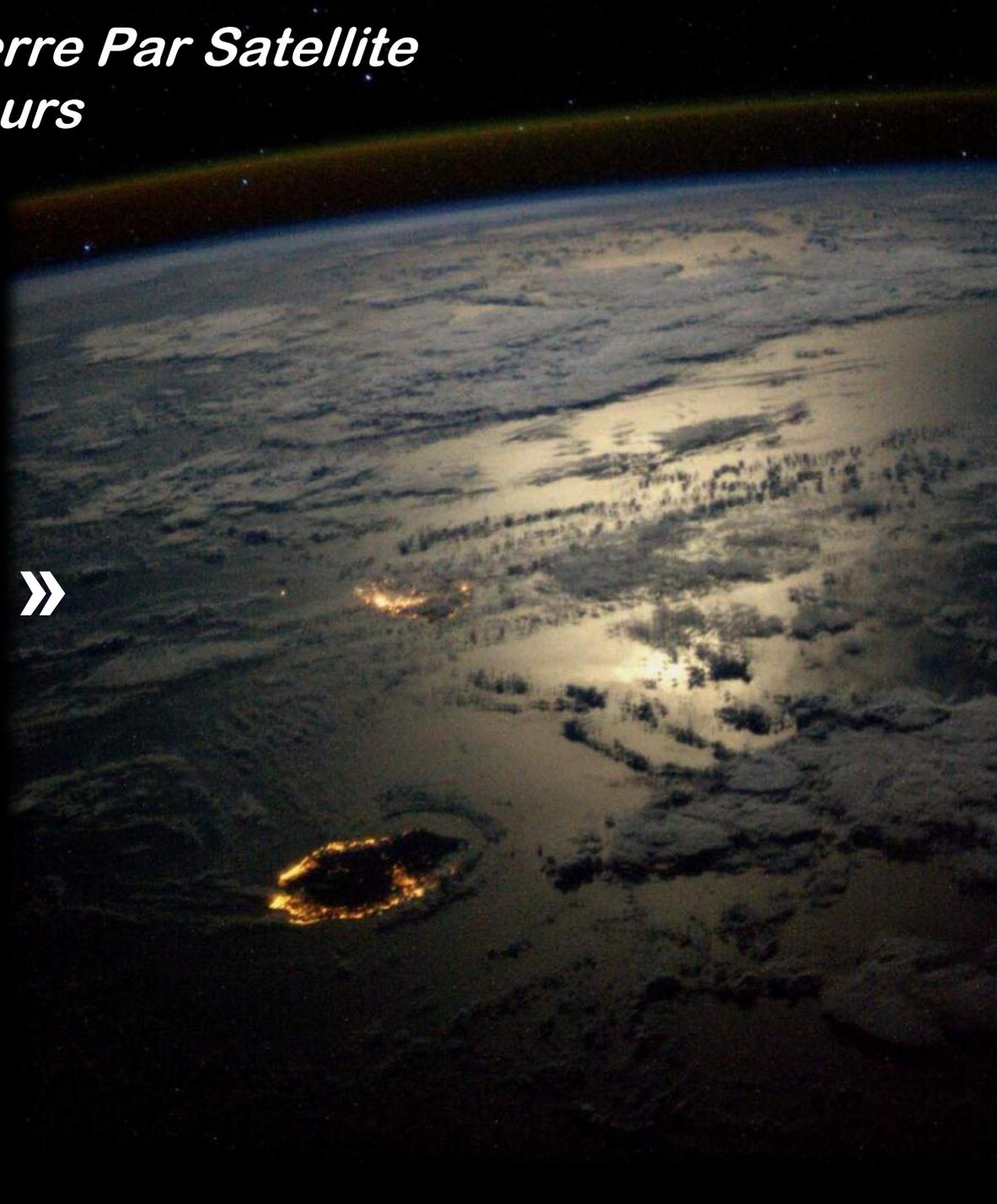
Faculté des Sciences et Technologies – Université de la Réunion

TD n° 3

- A vous d'être force de propositions...
- Présentation rendu avec débat sur les propositions

Observation de la Terre Par Satellite
Fin du support de cours

**« New
space
technology »**



Par Rémy Courdier
Professeur en Informatique