



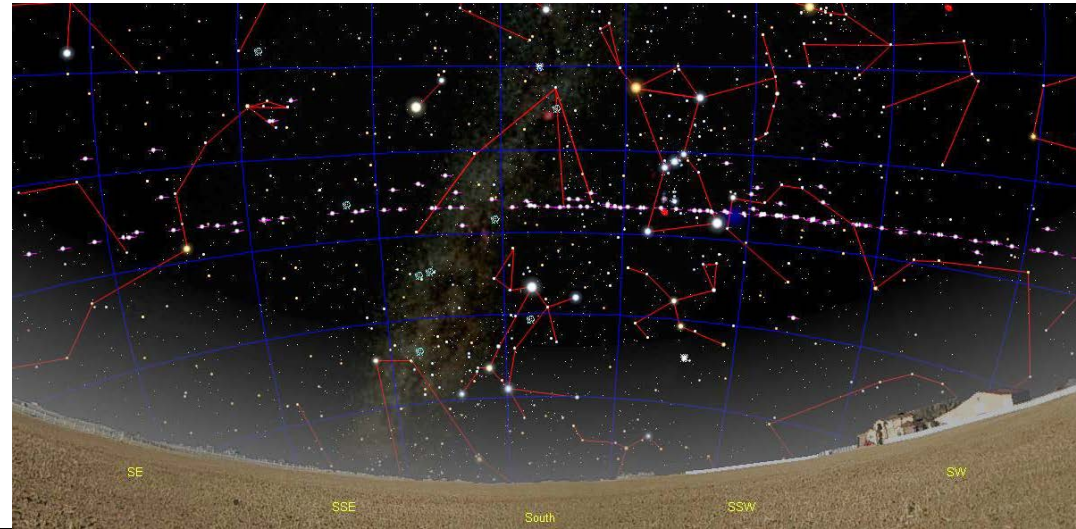
# Introduction à la surveillance de l'Espace

25.06.2019 - Laurent HENNEGRAVE





Quel est l'état spatial actuel ?



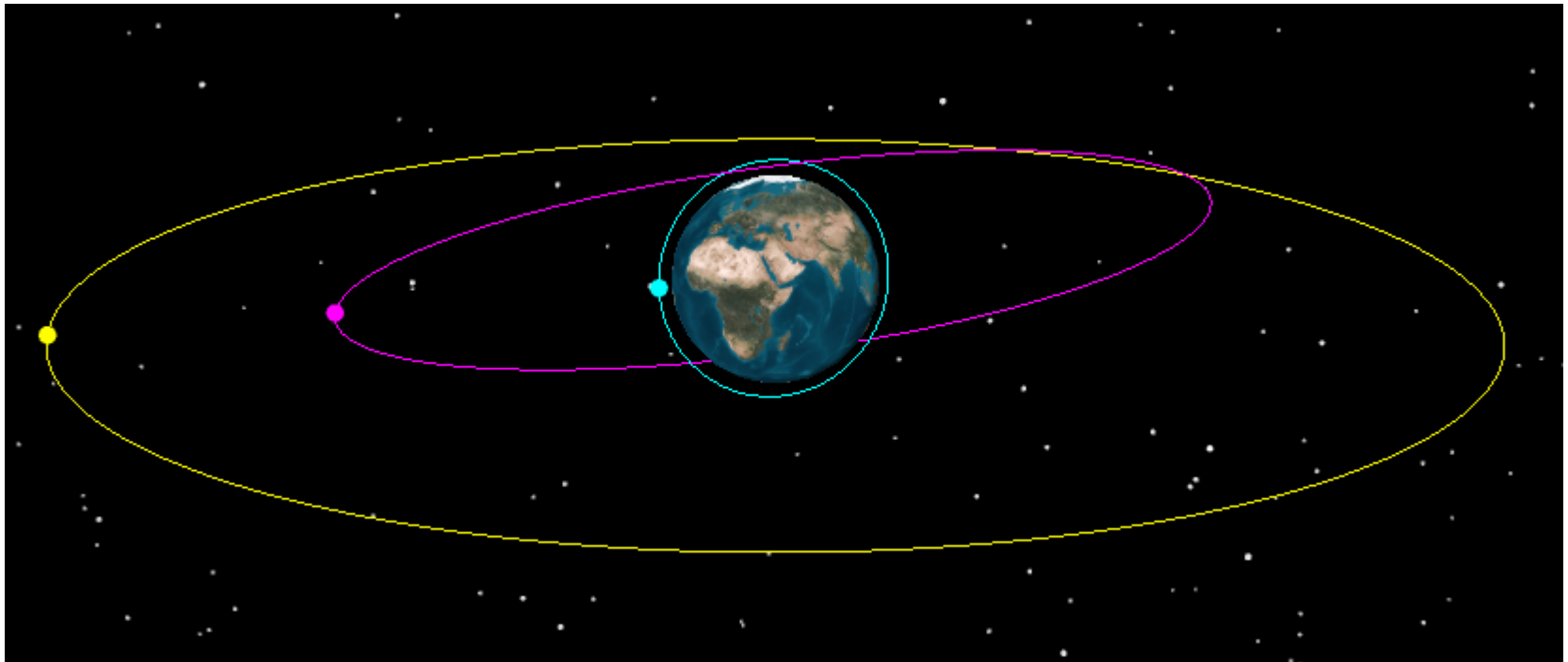
Quels moyens mettre en place pour obtenir les orbites des objets s'y trouvant ?

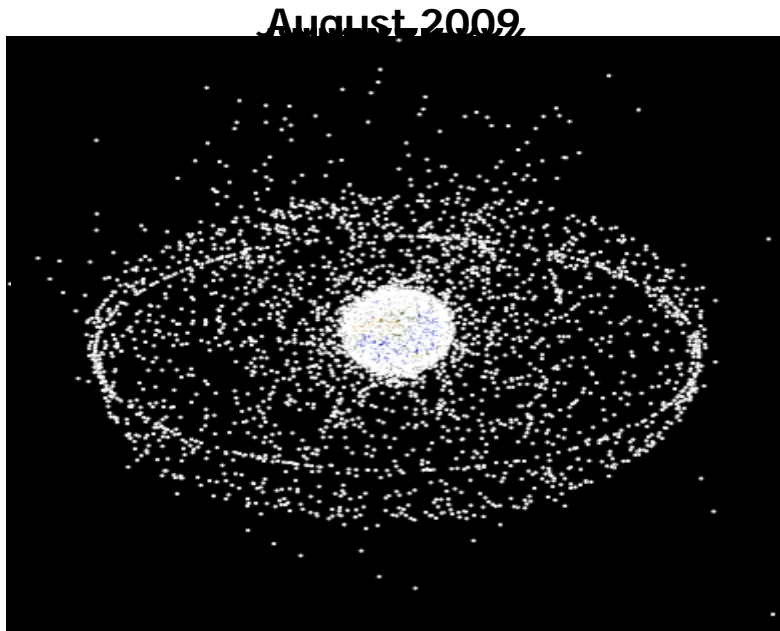


LEO : Low Earth Orbit (altitude < 2000km) → Observation de la Terre, Météorologie, Missions scientifiques

MEO : Medium Earth Orbit (altitude ~ 20 000km) → Navigation

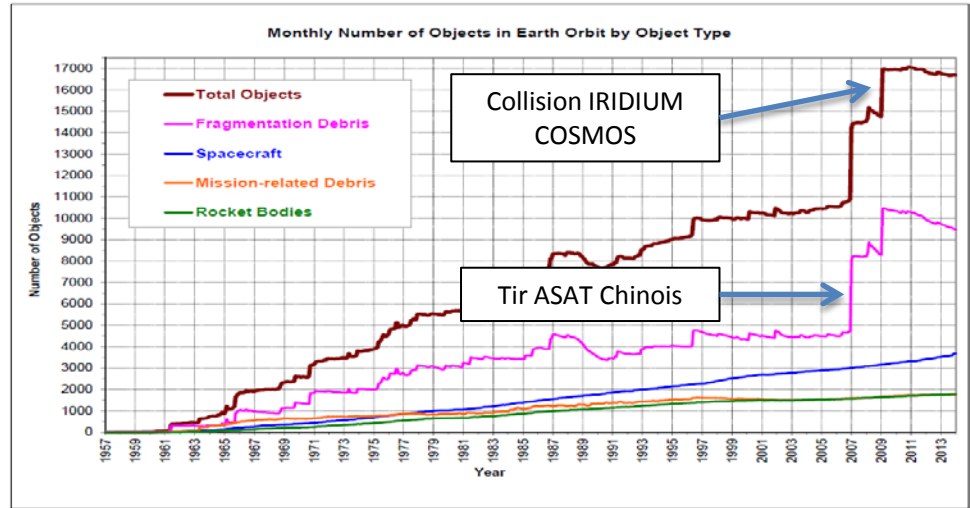
GEO : Geostationary Earth Orbit (altitude ~ 36 000km) → Télécommunication, Météorologie



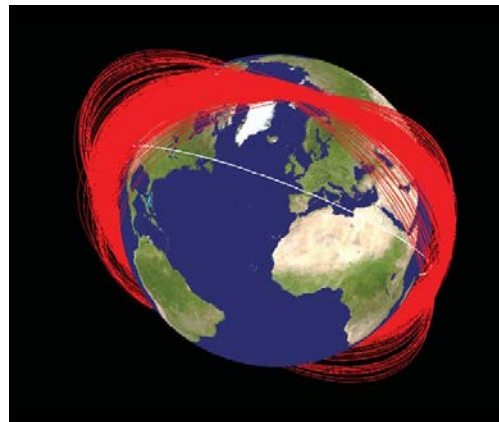


Source : Nasa

**Plus de 20 000 objets détectables  
Pour 6000 satellites opérationnels**



Data from NASA/ESA, CNES Workshops 2010







## 2016 : le bilan des lancements

**85 lancements orbitaux**

*3 échecs ou échecs partiels\**

**8 pays lanceurs**

*USA (22), Chine (22), Russie (17), Europe (11), Inde, Japon, Israël, Corée*

**164 satellites mis en orbite avec succès**

*par une fusée*

**342,5 tonnes satellisées**

*Masse moyenne par satellite : 2088 kg  
Masse record : 15 tonnes*

**5 vols habités**

*Tous réussis. 4 vers l'ISS, 1 à destination de la station chinoise*

**44 satellites d'observation**

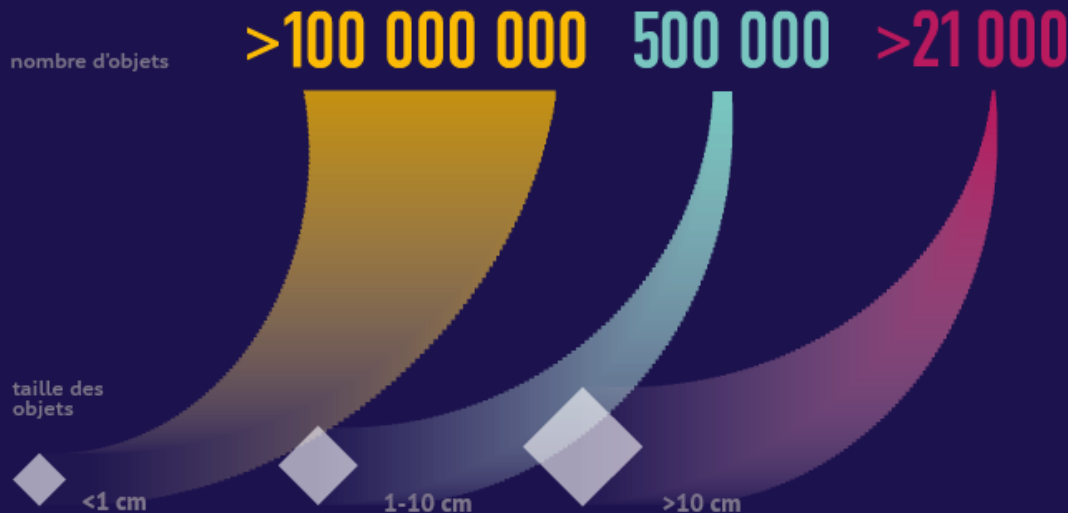
*Télécommunications : 29  
Navigation : 24  
Technologie : 24*

[www.regard-sur-la-terre.over-blog.com](http://www.regard-sur-la-terre.over-blog.com)



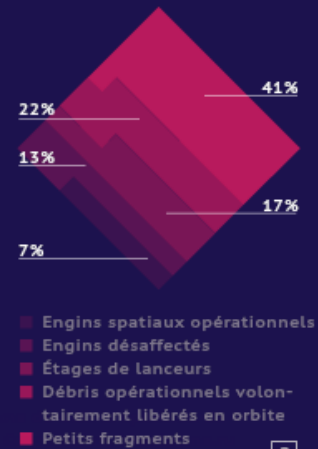
## Débris spatiaux: menaces imaginaires et réelles

COMBIEN DE DÉBRIS SPATIAUX EN ORBITE TERRESTRE ?



Tous les objets d'une taille dépassant 10 cm sont catalogués et surveillés par le Réseau américain de surveillance de l'espace et d'autres services

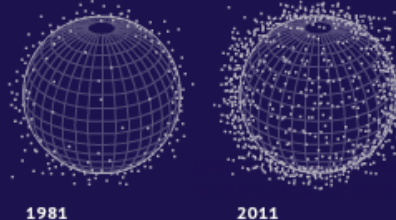
COMPOSITION DES OBJETS ARTIFICIELS (DE PLUS DE 10 CM) EN ORBITE TERRESTRE



RÉPARTITION DES DÉBRIS SPATIAUX (ENREGISTRÉS) PAR PAYS, %



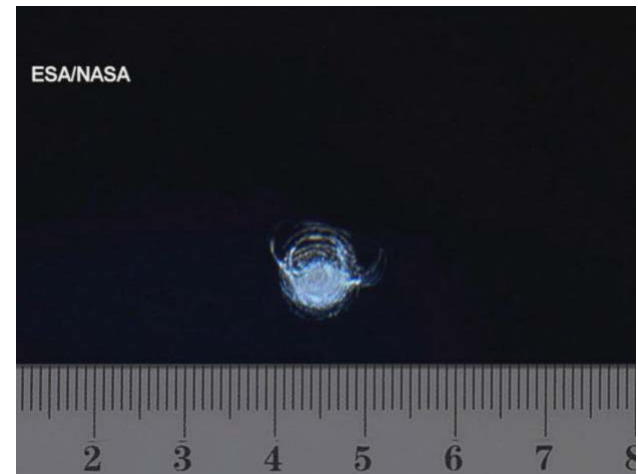
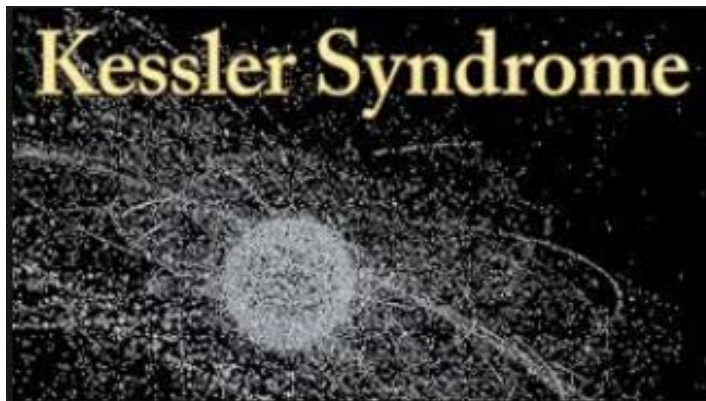
LE NOMBRE DE DÉBRIS SPATIAUX EST EN CONSTANTE AUGMENTATION





**Temps moyen entre deux impacts de débris supérieurs à une taille donnée, sur un objet d'une section de 100 m<sup>2</sup> en fonction de son altitude <sup>11</sup>**

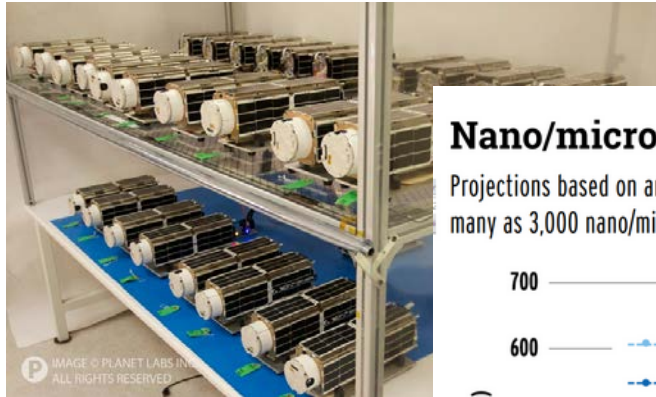
	400 km	800 km	1 500 km
>0,1 mm	4,5 jours	2,3 jours	0,9 jour
>1 mm	3,9 ans	1,0 an	1,5 an
>1 cm	1 214 ans	245 ans	534 ans
>10 cm	16 392 ans	1 775 ans	3 109 ans



# Et c'est pas fini : Les constellations à venir



Planet Labs : 175 satellites

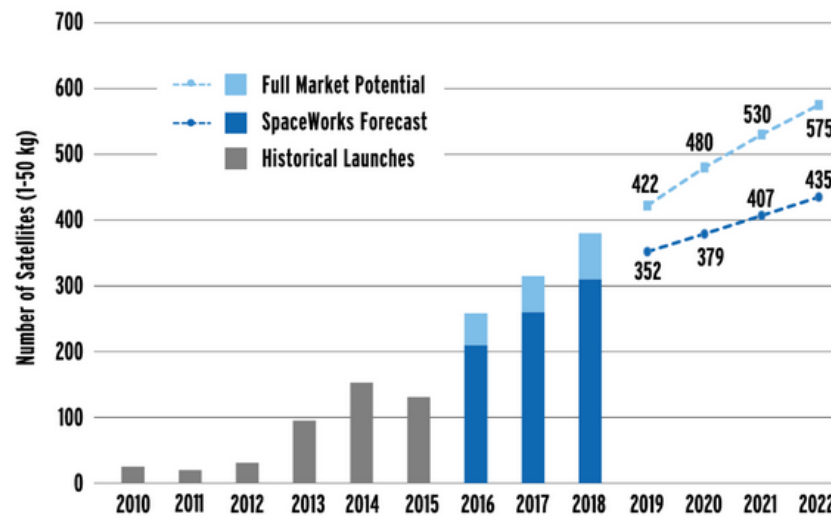


OneWeb > 700 satellites

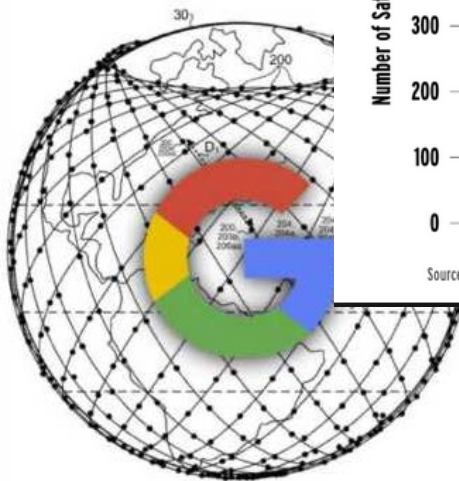


## Nano/microsatellite launch history and forecast

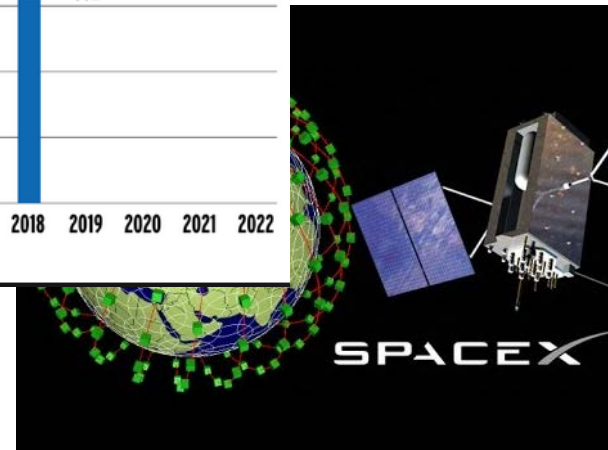
Projections based on announced and future plans of developers and programs indicate as many as 3,000 nano/microsatellites will require a launch from 2016 through 2022.



Google : 1000 satellites



000 satellites







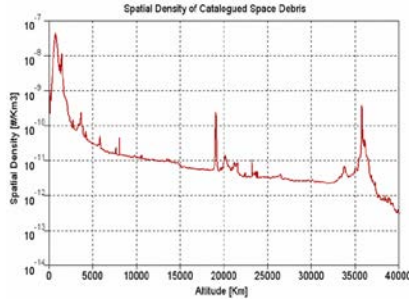
## **Video PSLV – 104 Satellites**



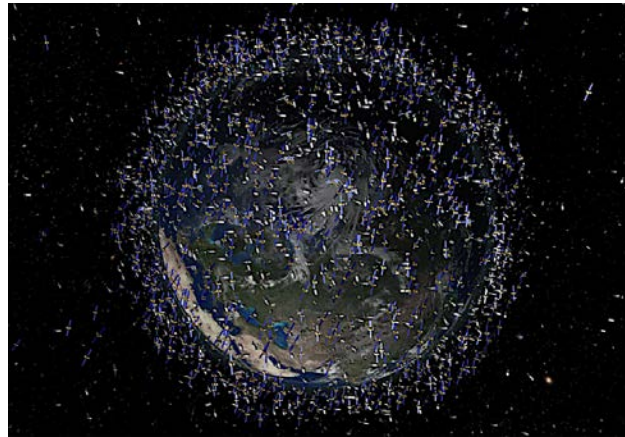
## Observation Starlink



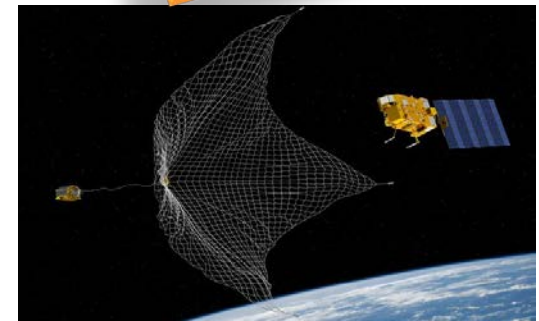
Les observer/  
cataloguer



Les éviter



Limiter les nouveaux  
debris



Les récupérer



## ❑ Le SSN (Space Surveillance Network)

- ❑ Organisme américain (DoD), surveille et publie le catalogue le plus fourni actuellement
- ❑ Données publiques mais sous contrôle américain



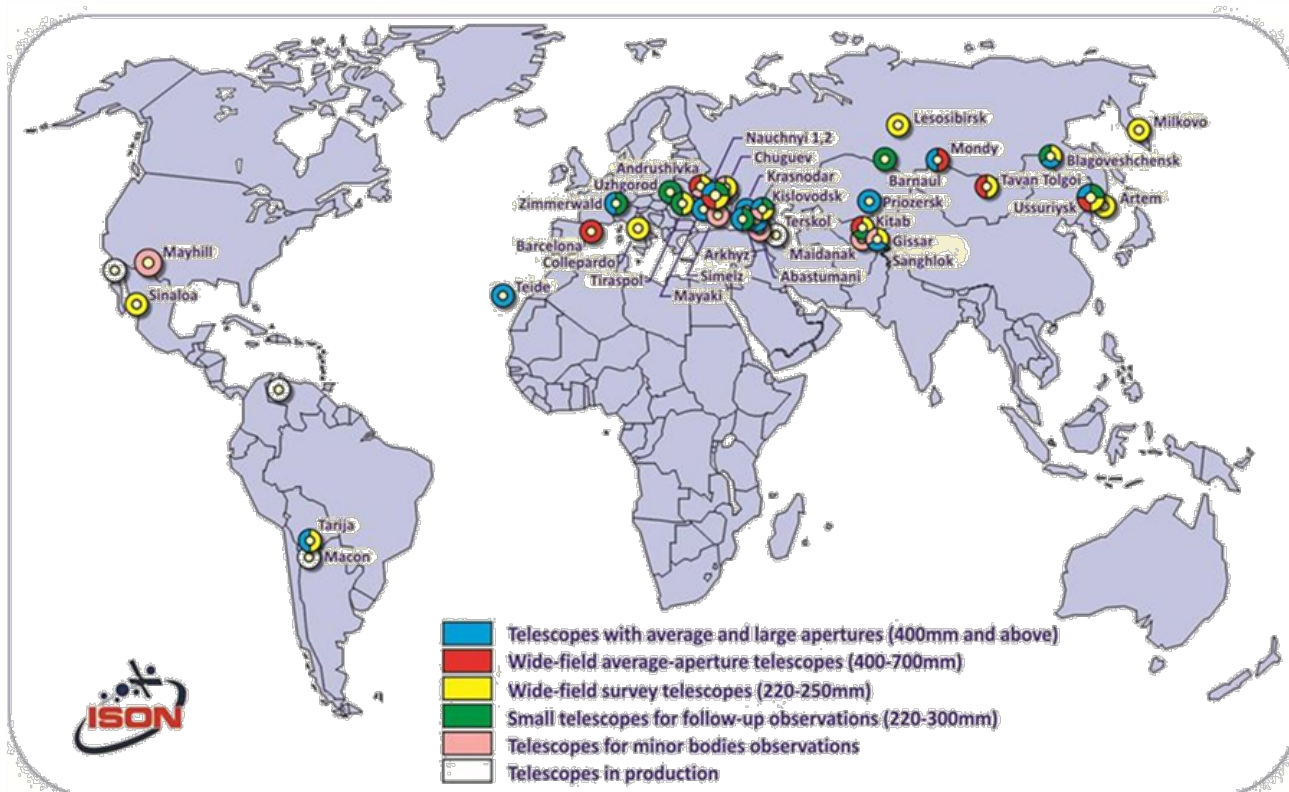




## ❑ Réseau Optique Scientifique International (ISON)

❑ Académie des sciences de Russie

❑ Coopération 11 pays





## ❑ Le Commandement de la Défense Aérienne et des Opérations

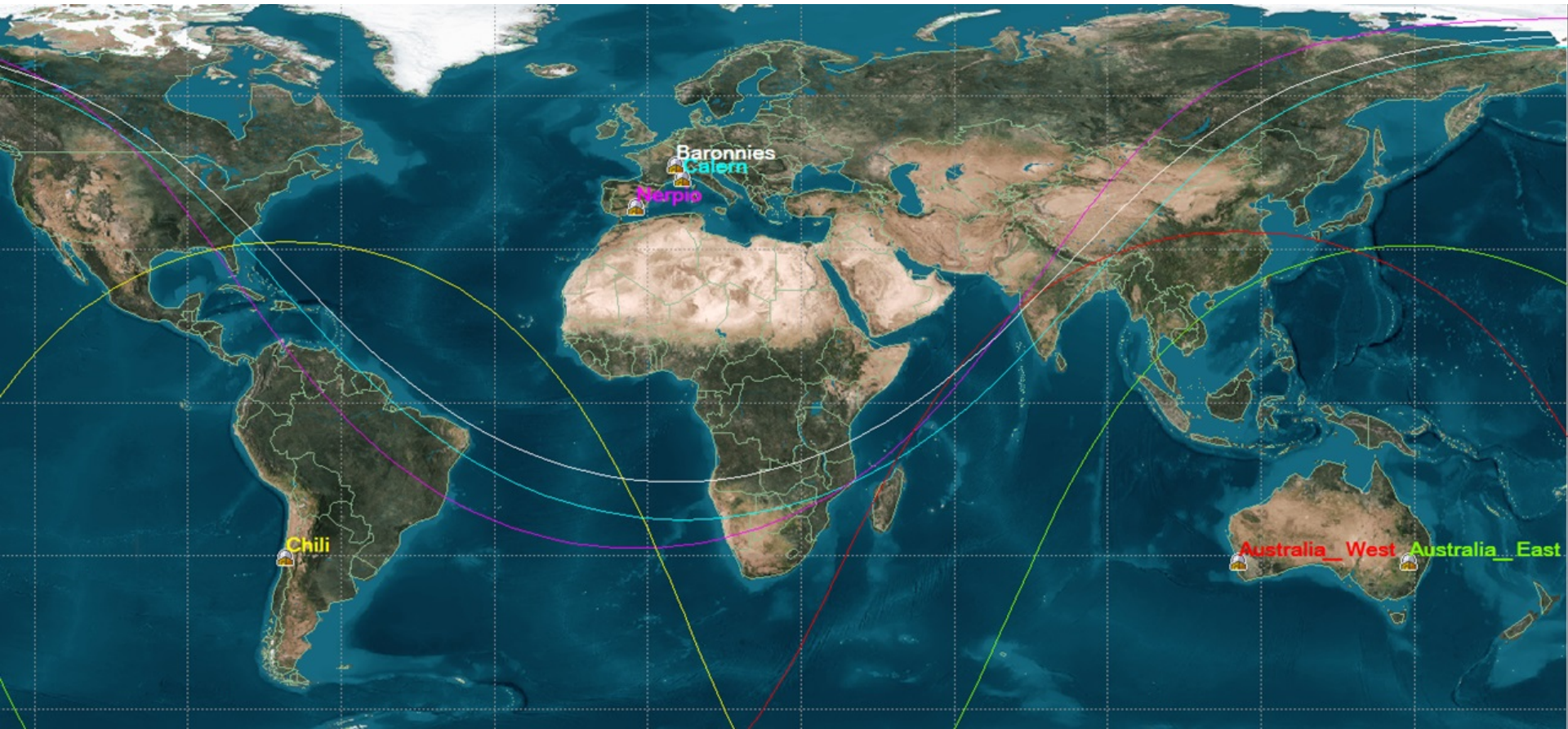
**Aériennes (CDAOA) gère la surveillance de l'espace en France via le COSMOS**

- ❑ Radar GRAVES (Grand Radar Adapté à la VEille Spatiale)
- ❑ Le Monge
- ❑ Les radars SATAM (Solenzara)
- ❑ Réseau de télescopes GEOTRACKER (ArianeGroup) et TAROT (CNRS)





# Le réseau GEOTRACKER

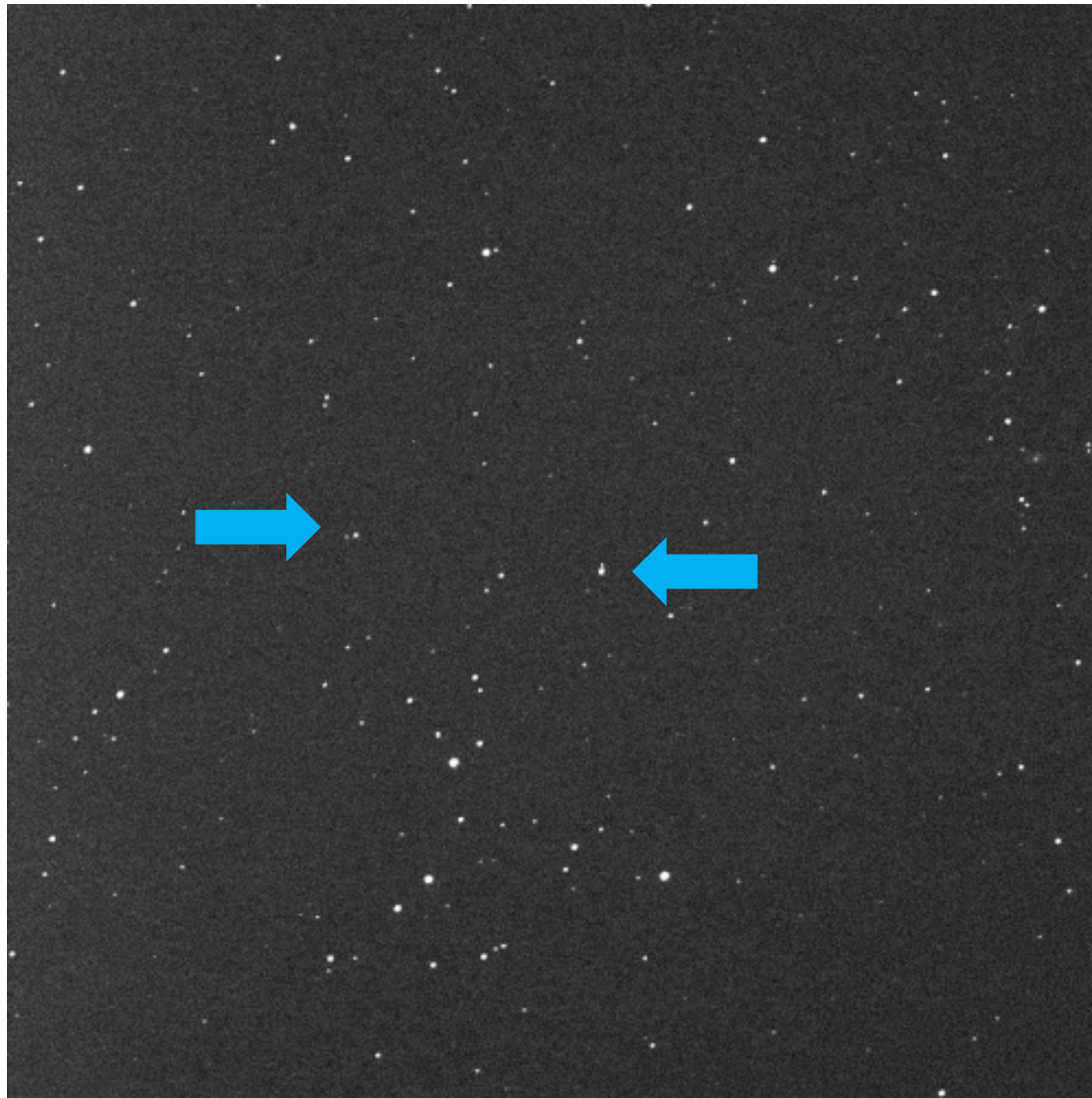


# Les différents moyens d'observation



	Radar	Télescope
Disponibilité	24/24 par tout temps	De nuit par temps clair + objet illuminé par le soleil
Mesures fournies	Direction de pointage, distance, vitesse radiale	Direction de pointage
Portée	LEO	Toute orbite
Mise en Œuvre	Complicquée (Electricité, Terrain, ...)	Facile et rapide
Prix unitaire	> 10 M€	< 1M€

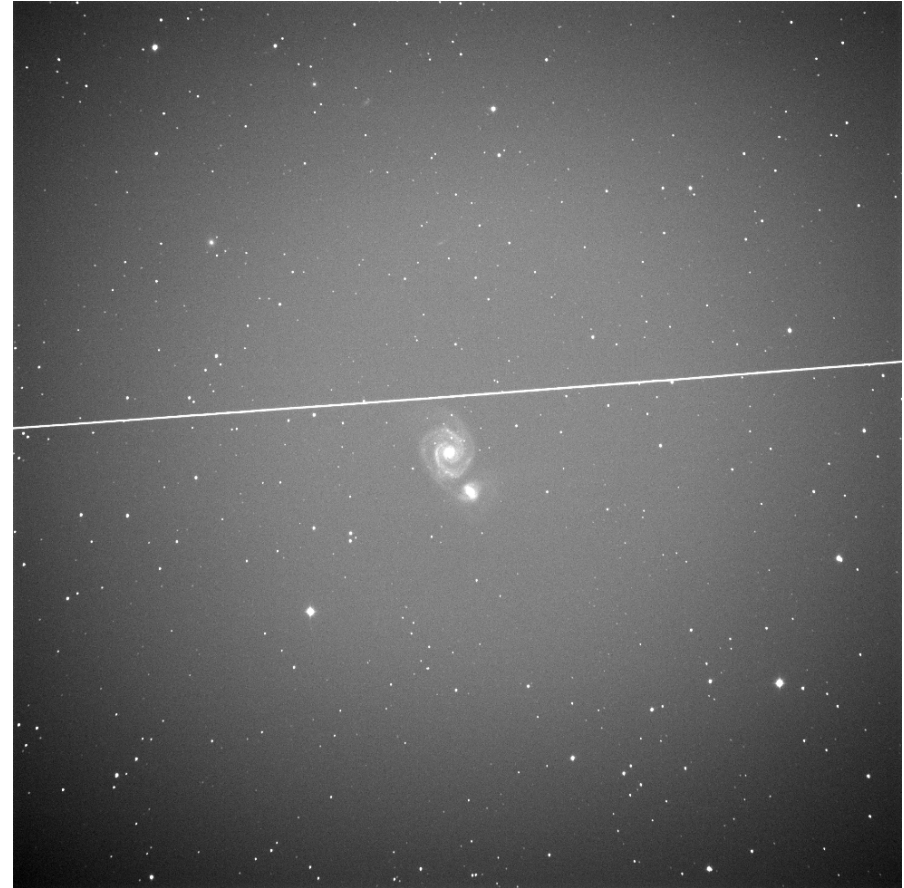




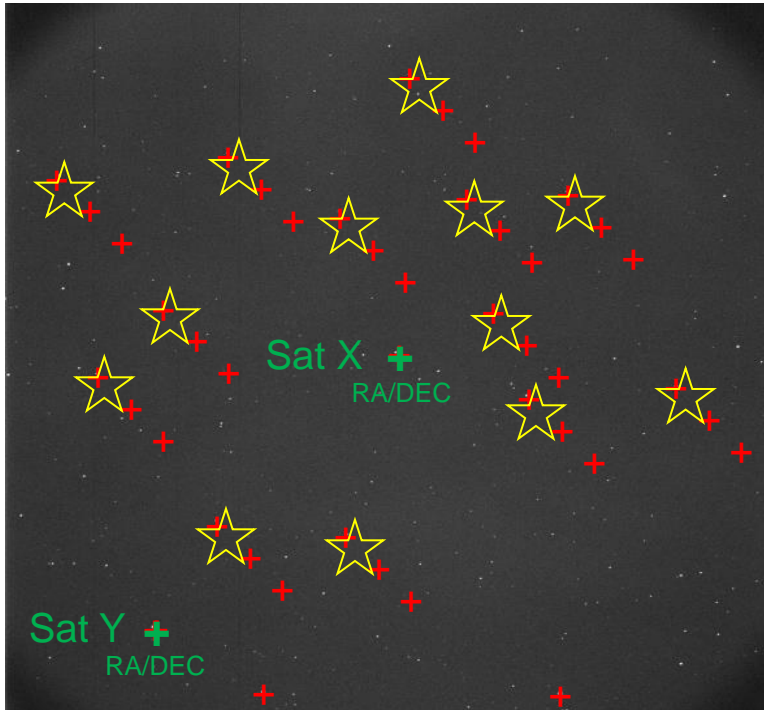










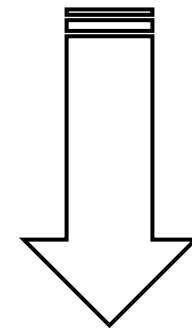


Plot detection...

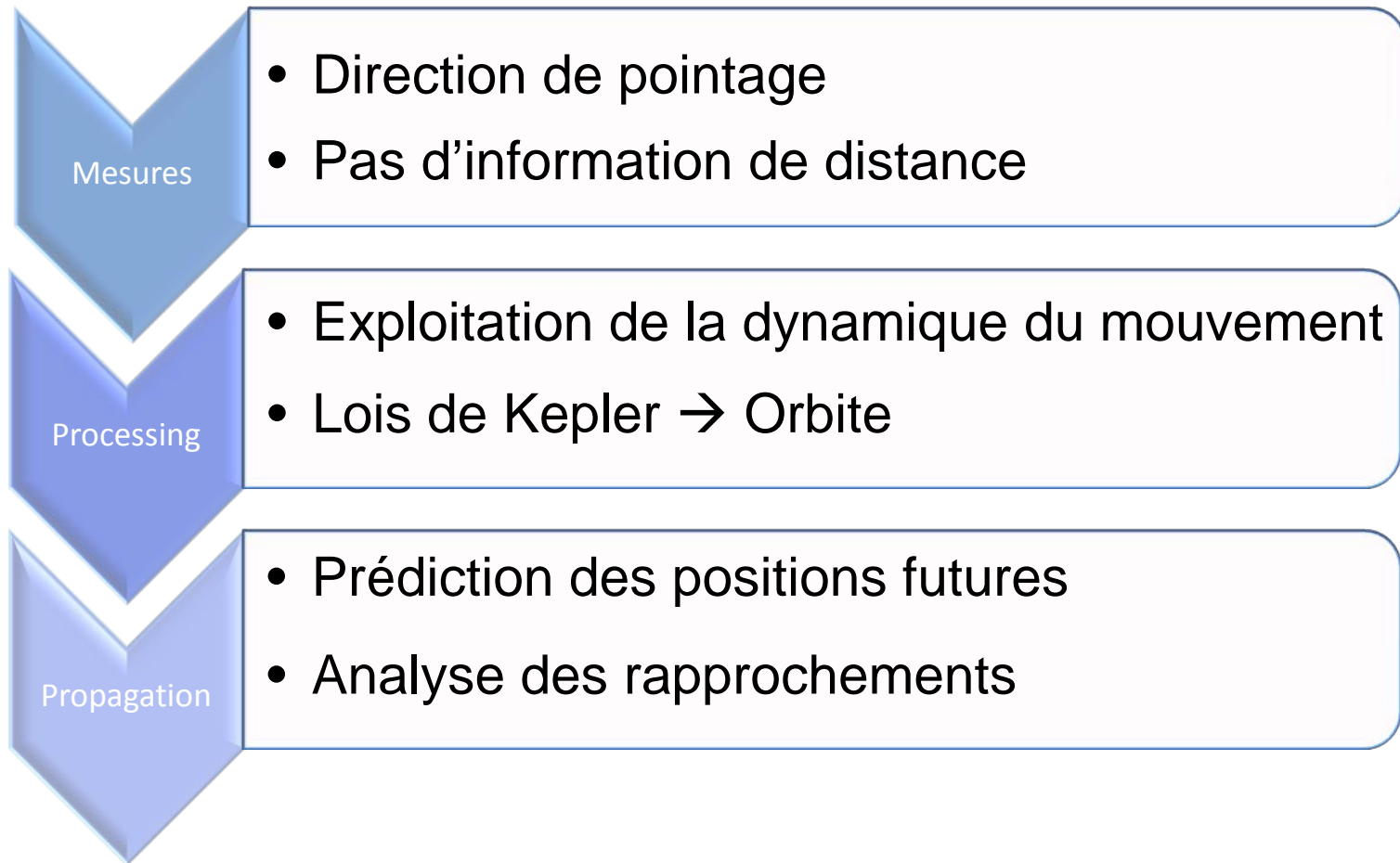
Plot tracking...

Object detection...

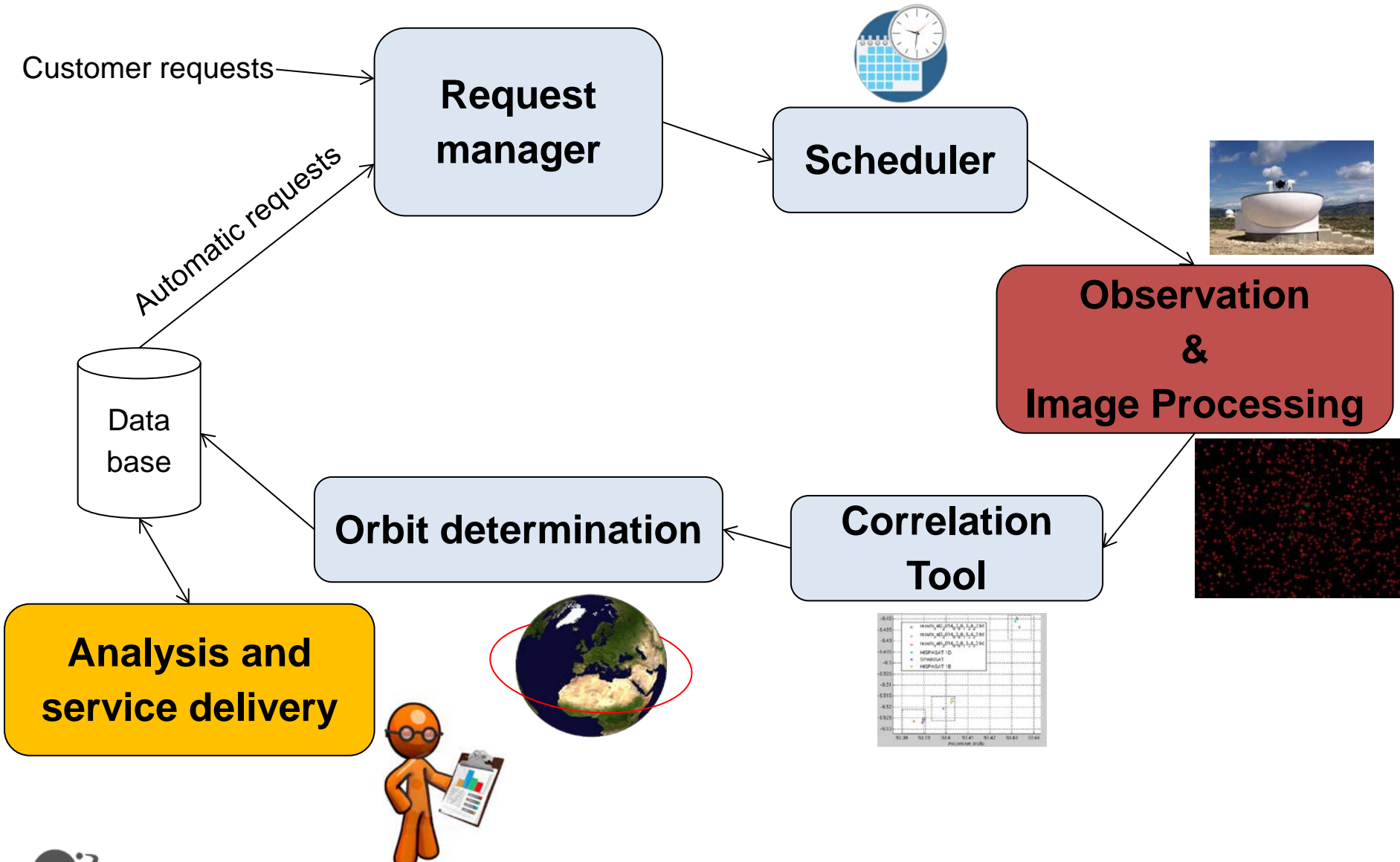
Stellar correction...



Ligne de visée



# Operational Chain





## ➤ But principal → Protection de la flotte

- Besoin d'alerte le plus tôt possible
- Besoin de la meilleure précision possible sur l'objet secondaire



## ➤ Solution → Anticiper

- Objets actifs :



- Objets passifs :





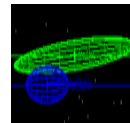


- ❑ Créée en 2009 pour faciliter les échanges entre opérateurs



- ❑ 27 Membres (opérateurs de satellites + contributeurs)
- ❑ Partage des éphémérides des satellites entre opérateurs

- ❑ Gestion des alertes de collisions

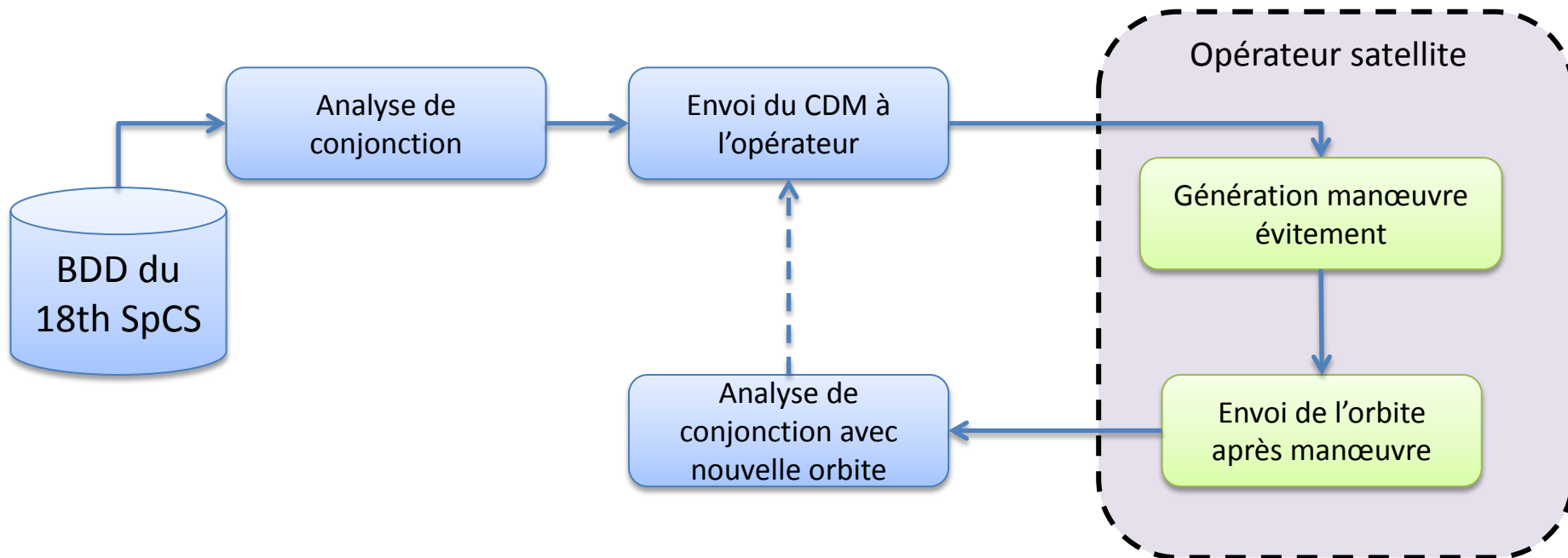


- ❑ Gestion des cas d'interférences





- ❑ Opère les capteurs optiques du SSN (Space Surveillance Network)
- ❑ Gère le catalogue d'orbites issues du SSN
- ❑ Fournit des analyses de conjonctions (CDM) aux opérateurs inscrits



# Exemple de Conjunction Data Message (CDM)



```
UPLOAD_EPOCH .....=2016-02-05:06:29:14
CREATION_DATE .....=2016-02-05:04:23:14
JSpOC_Unique_ID .....=2824596 .....
TCA .....=2016-02-05:11:08:31.865 .....
RELATIVE_POSITION .....=-1967.9 -68649 4810.5
RELATIVE_VELOCITY .....=5.5 0.1 3.6
MISS_DISTANCE .....= 68845
PRIMARY_SES_DESIGNATOR .....=N09
PRIMARY_EPHEMERIS_ORIGIN .....=JSpOC
SPRIMARY_CATALOG_NUMBER .....=33749 .....
SPRIMARY_COMMON_NAME .....=NSS_9 ~
SPRIMARY_SOLAR_RAD_COEFF .....=0.017947
SPRIMARY_TIME_LASTOB_START .....=2016-02-04:04:23:14
SPRIMARY_TIME_LASTOB_END .....=2016-02-05:04:23:14
SPRIMARY_ACTUAL_OD_SPAN .....= ...2.1900000000000000 .....
SPRIMARY_REF_FRAME .....=ITRF
SPRIMARY_POSITION .....= -42109123.4970000 .....-2279763.53000000 .....15.8200000000000 .....
SPRIMARY_VELOCITY .....= -0.328084000000000 .....0.870222000000000 .....-1.72955300000000 .....
SPRIMARY_COVARIANCE .....=
.....7050.86 -2165.892 -748.6822 -2.014232 -0.6811146 -0.006488335
.....-2165.892 158234 -786.8346 -14.50514 -0.2995715 -0.02147741
.....-748.6822 -786.8346 6312.014 0.4697314 0.0865634 0.217068
.....-2.014232 -14.50514 0.4697314 0.002354519 0.0002653141 6.730554e-06
.....-0.6811146 -0.2995715 0.0865634 0.0002653141 6.89227e-05 8.709699e-07
.....-0.006488335 -0.02147741 0.217068 6.730554e-06 8.709699e-07 2.759146e-05
SECONDARY_CATALOG_NUMBER .....=38978 .....
SECONDARY_COMMON_NAME .....=YAMAL_300K ~
SECONDARY_OBJECT_TYPE .....=PAYLOAD
SECONDARY_SOLAR_RAD_COEFF .....=0.036931
SECONDARY_REF_FRAME .....=ITRF
SECONDARY_POSITION .....= -42110869.4940000 .....-2211111.25400000 .....4865.0670000000 .....
SECONDARY_VELOCITY .....= -0.845137000000000 .....0.605770000000000 .....1.82820700000000 .....
SECONDARY_COVARIANCE .....=
.....1603036 6210438 131229.1 -343.1026 -131.5312 10.02475
.....6210438 24302800 509793.4 -1345.527 -510.0038 38.90281
.....131229.1 509793.4 18799.49 -26.5912 -10.74045 1.05714
.....-343.1026 -1345.527 -26.5912 0.07659384 0.02822321 -0.002177629
.....-131.5312 -510.0038 -10.74045 0.02822321 0.01079445 -0.0008228941
.....10.02475 38.90281 1.05714 -0.002177629 -0.0008228941 0.0001183656
ANALYSE_EXTENDED .....=T
```



LEO

GEO

## Mesures de prévention:

- **Limitation des débris opérationnels**
- **Protection des orbites basses : règle des 25 ans**
- **Protection de l'orbite géostationnaire: orbite cimetière**

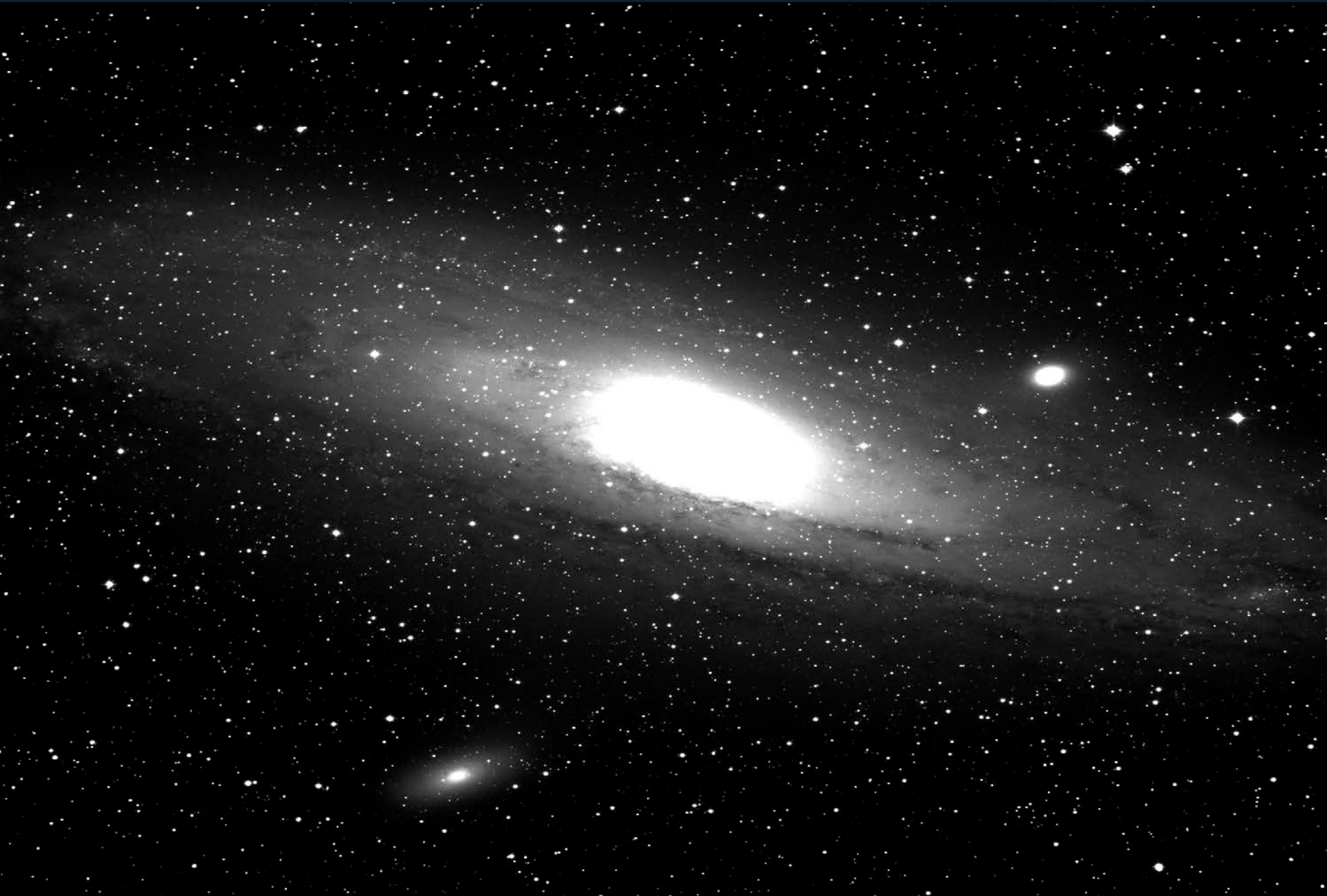




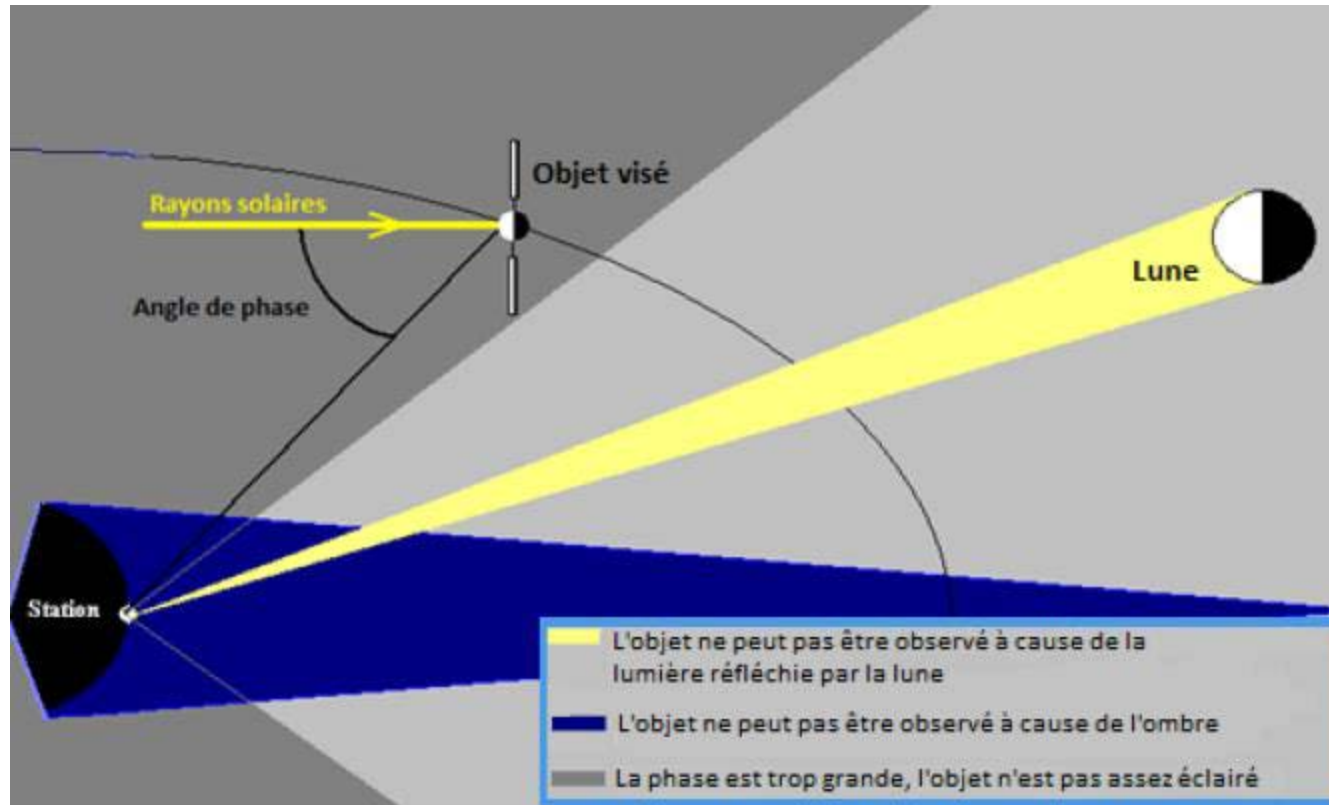
## Video suivi Ariane5 Galiléo

# Questions?

(Image: M31 Andromeda galaxy from one of our sensors)





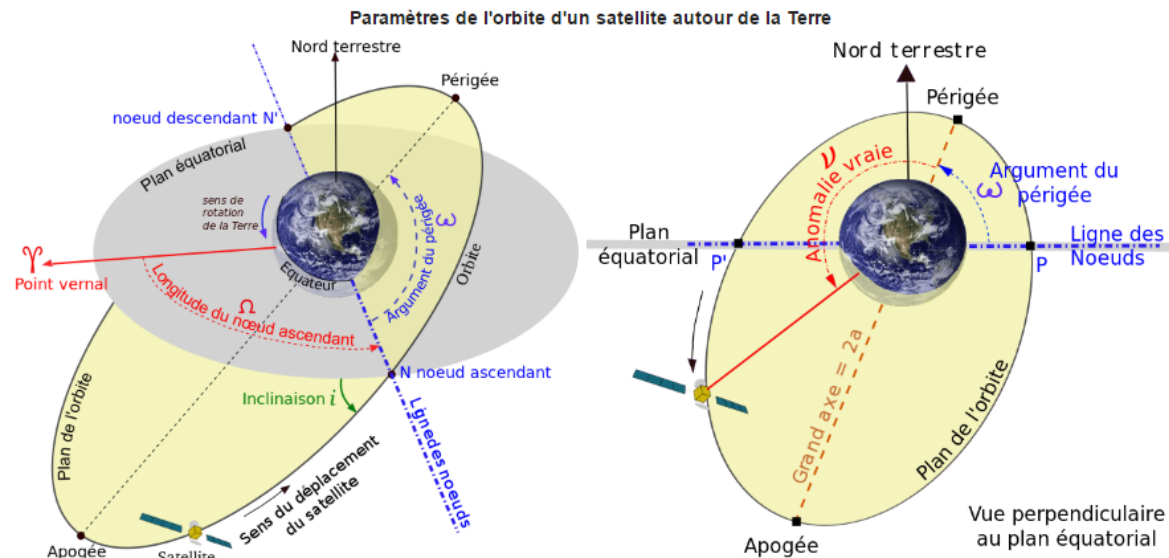




# Représentation d'une orbite

## Les paramètres orbitaux

- $a$  : Demi grand axe
- $e$  : Excentricité
- $i$  : inclinaison
- $\omega$  : argument du périégée
- $\Omega$  : Ascension droite du nœud ascendant
- $v$  : Anomalie vraie
- date



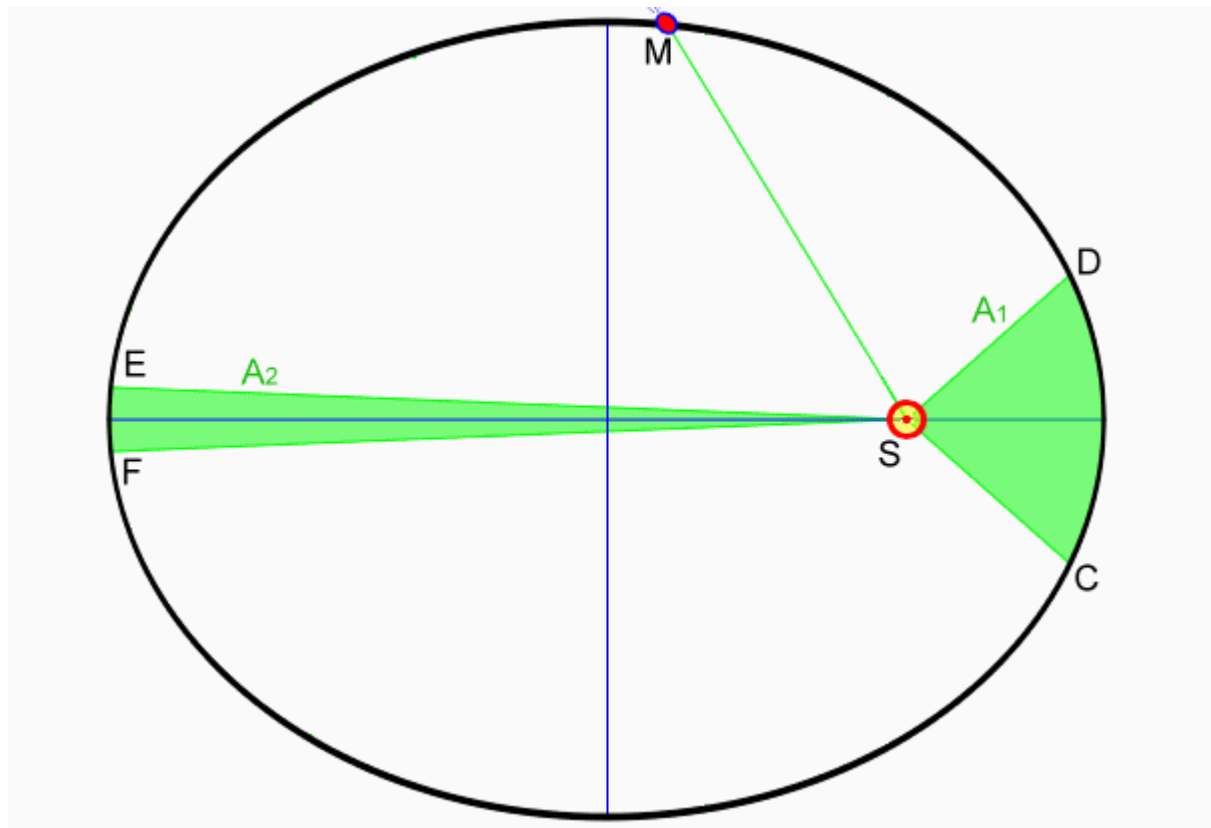
Paramètres orbitaux d'un satellite artificiel : ascension droite du nœud ascendant  $\Omega$ , inclinaison  $i$ , argument du périégée  $\omega$ .

Vue perpendiculaire au plan équatorial : demi-grand axe  $a$ , argument du périégée  $\omega$ , anomalie vraie  $v$ .



2<sup>ème</sup> loi de Kepler : loi des aires

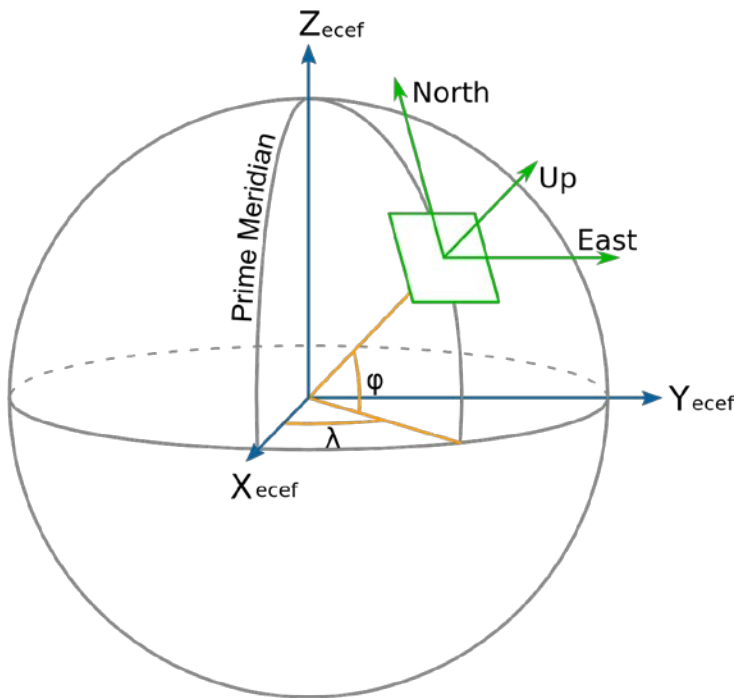
→ L'altitude définit la vitesse angulaire par rapport à la Terre et inversement





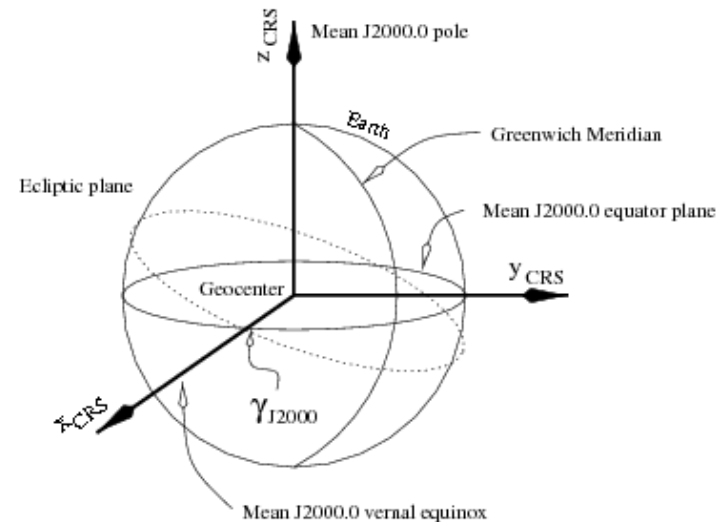
## Repère géodésique (sphérique) :

$\lambda \rightarrow$  Longitude :  $[0, 360^\circ]$   
 $\varphi \rightarrow$  Latitude :  $[-90^\circ, 90^\circ]$   
Altitude



## Repère ECEF / GRW (cartésien) :

X, Y, Z  
Fixé à la Terre, tourne avec elle





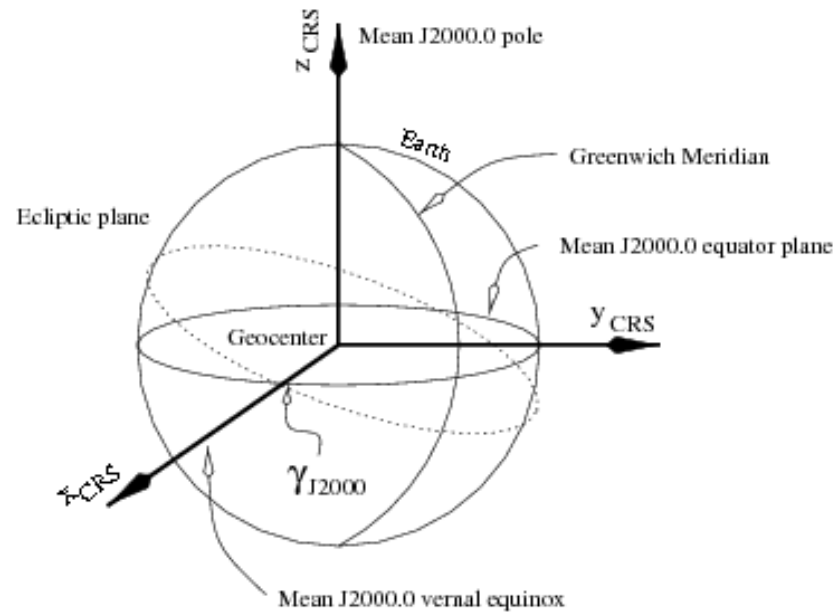
## Repère J2000 (cartésien) :

X, Y, Z

Centré Terre

Direction fixe

X vers le point vernal







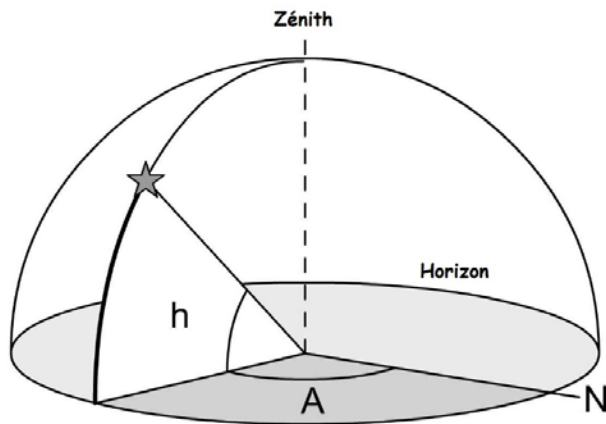
## Coordonnées horizontales

Azimut :  $[0^\circ, 360^\circ]$

Élévation :  $[-90^\circ, 90^\circ]$

Nord : Azimut =  $0^\circ$

Est : Azimut =  $90^\circ$



## Coordonnées équatoriales

Ascension droite :  $[0^\circ, 360^\circ]$

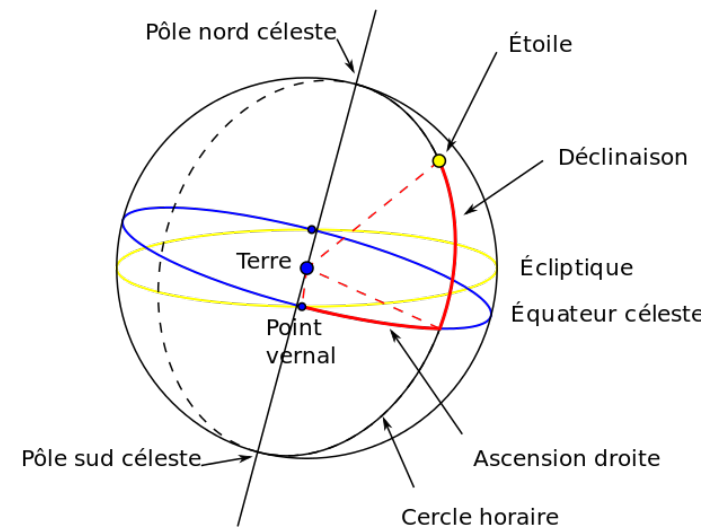
Déclinaison :  $[-90^\circ, 90^\circ]$

Direction du point vernal : RA =  $0^\circ$

RA : sens trigonométrique

Pointage vers l'équateur céleste : DEC =  $0^\circ$

Peuvent être topocentrique





## Différences entre RA/DEC géocentrique et topocentrique

