

# Application d'algorithmes génétiques à la détermination d'orbites optimales pour GRASP

A. Pollet<sup>1</sup>, D. Coulot<sup>1,2</sup>, F. Deleflie<sup>2</sup>, M. Capderou<sup>3</sup>, R. Biancale<sup>4</sup>, M. Mandeau<sup>5</sup>

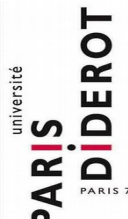
<sup>1</sup> IGN LAREG Univ Paris Diderot, Paris

<sup>2</sup> IMCCE Observatoire de Paris, Paris

<sup>3</sup> LMD, École Polytechnique, Palaiseau

<sup>4</sup> CNES, OMP, GET, Toulouse

<sup>5</sup> CNES, Paris



# PLAN

---

- **Mission GRASP**
- **Principe de la méthode**
- **Analyse des résultats**
- **Conclusions et perspectives**

# REMERCIEMENTS

---

- **Merci au CNES pour le soutien financier de ces travaux.**
- **Nous remercions nos collègues du CNES et du JPL pour les discussions fructueuses au sujet des radiations, de la technique DORIS et des scénarios GRASP.**

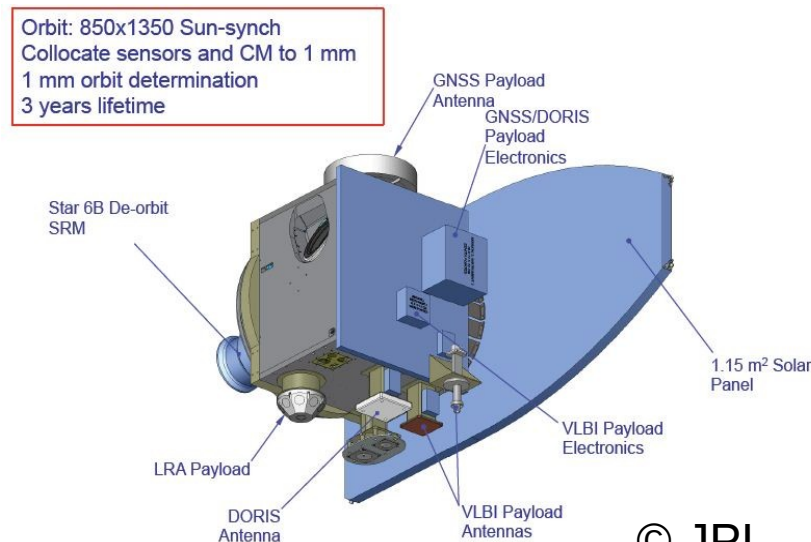
# MISSION GRASP : Contexte

---

- Mission GRASP (Geodetic Reference Antenna in SPace) proposée en 2011 par le JPL à la NASA (Earth Venture-2). Elle avait à l'époque été soutenue par le CNES et l'IGN et avait été classée deuxième sur l'ensemble des propositions.
- Proposition F-GRASP faite par le GRGS en réponse à l'appel à idées du CNES en vue du SPS 2014. Accueil très favorable au sein du TOSCA.
- Le JPL va faire une nouvelle proposition GRASP à la NASA au printemps 2015.
- Le GRGS (et, plus particulièrement, le LAREG) s'est engagé à faire des simulations dans le cadre de cette proposition de mission (réponse à l'AO exceptionnel du GRGS début 2014 et proposition de recherche scientifique spatiale au CNES pour 2015).

# MISSION GRASP : Le satellite

- Instruments : GNSS (GPS, GALILEO), DORIS, SLR, émetteur VLBI, horloge ultra-stable, accéléromètre, senseur d'étoiles.
- Étalonnage très précis des instruments avant le lancement.
- Connaissance très précise des points de référence (instruments et centre de masse) sur satellite.

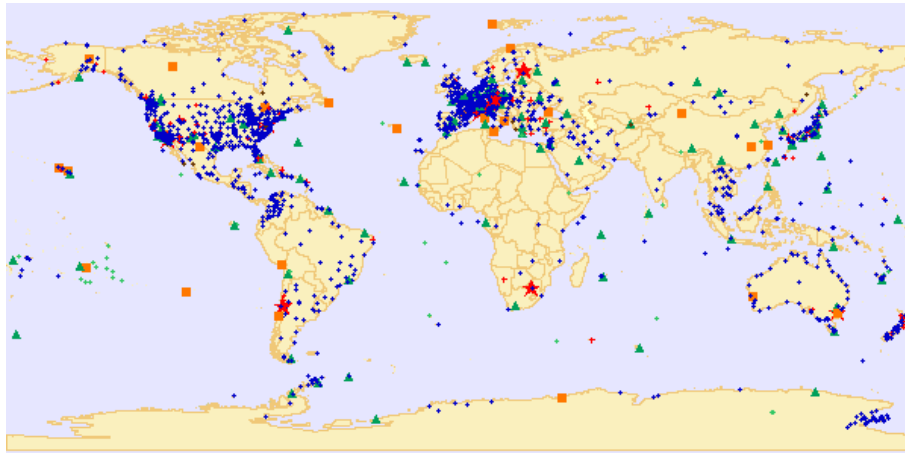


© JPL

YEB, July 2012

# MISSION GRASP : Les objectifs

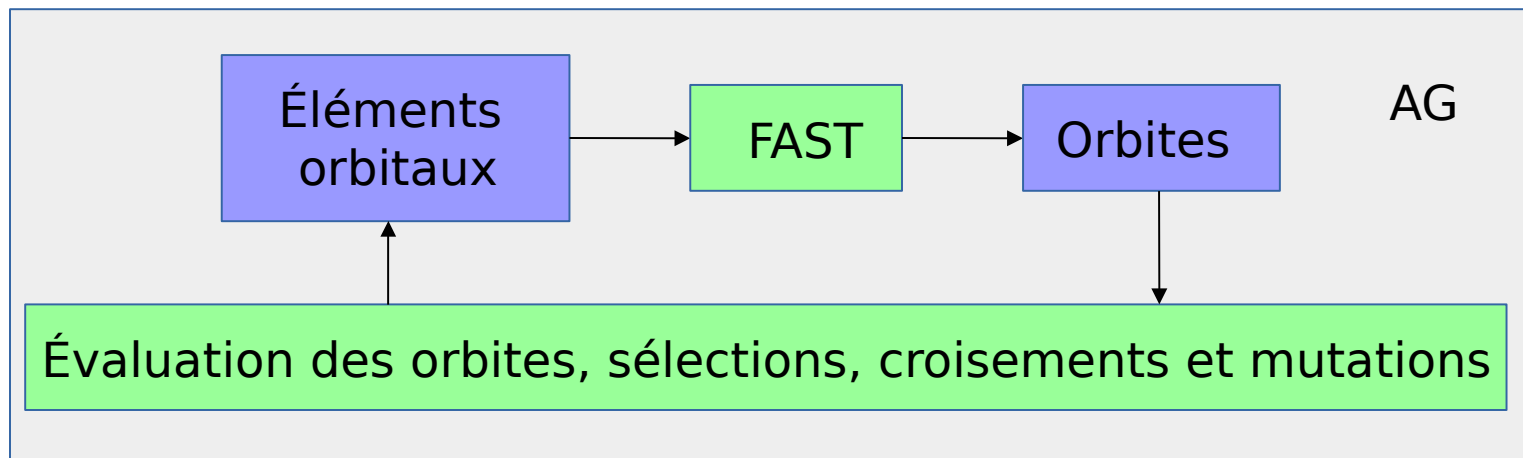
- Amélioration des références de l'IERS (ITRF, ICRF, EOP) via un rattachement spatial mobile très précis. En particulier, atteinte des objectifs d'exactitude (1 mm) et de stabilité (0.1 mm/an) fixés pour l'ITRF par la communauté des Sciences de la Terre (GGOS 2020).
- Étalonnage et inter-comparaison précis des mesures de géodésie spatiale.



<http://itrf.ensg.ign.fr>

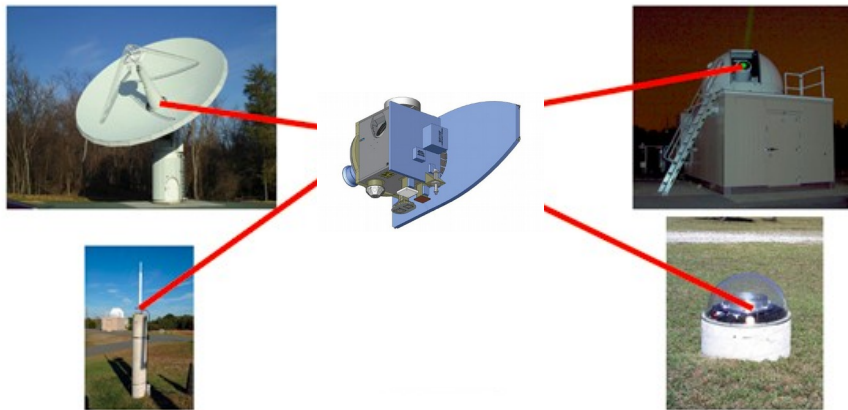
# Quelle orbite pour GRASP ?

- Pour atteindre les objectifs fixés pour la mission, l'orbite va jouer un rôle très important.
- Méthode proposée :
  - Couplage Algorithmes génétiques (AG) multi-objectifs et propagateur analytique d'orbites (FAST).
- Principe :



# Quelle orbite pour GRASP ? Les critères d'évaluation

- Maximiser la période de visibilité de GRASP à partir d'au moins une station de chaque technique géodésique (DORIS/SLR/VLBI).

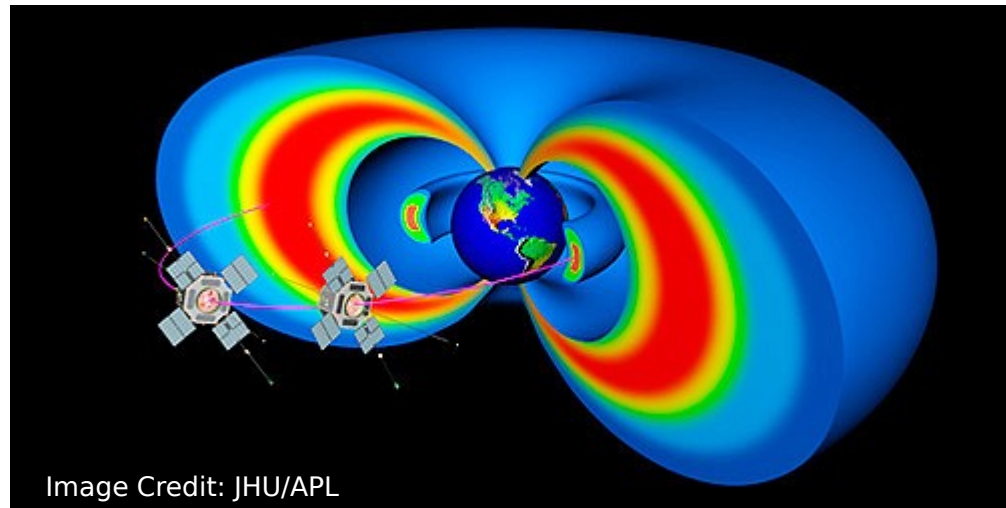


Remarque : Ce critère favorise les orbites à altitudes élevées; il maximise donc également les visibilité communes de GRASP par les antennes VLBI distantes d'au moins 2500 km.



# Quelle orbite pour GRASP ? Les critères d'évaluation

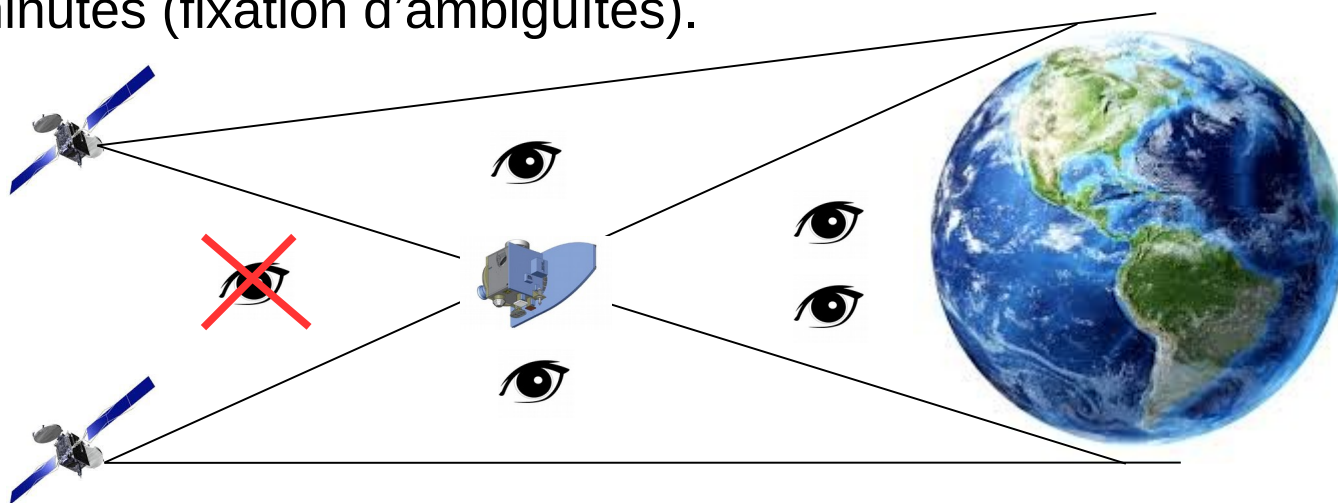
- Maximiser la période de visibilité de GRASP à partir d'au moins une station de chaque technique géodésique (DORIS/SLR/VLBI).
- Minimiser la dose de radiations reçue par les instruments de GRASP.



Remarque : Radiations calculées sur une période de 5 ans, au centre d'une sphère, avec une épaisseur de blindage en Al de  $1\text{g/cm}^2$ , en utilisant les modèles NASA AE8Max/AP8Min.

# Quelle orbite pour GRASP ? Les critères d'évaluation

- Maximiser la période de visibilité de GRASP à partir d'au moins une station de chaque technique géodésique (DORIS/SLR/VLBI).
- Minimiser la dose de radiations reçue par les instruments de GRASP.
- Maximiser le nombre de passages GNSS ayant une durée supérieure ou égale à 15 minutes (fixation d'ambiguïtés).

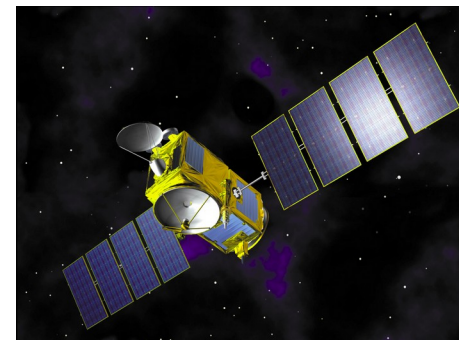


Remarque : Le premier critère favorise les orbites à altitudes élevées; il maximise donc également les visibilité communes de GRASP par les antennes VLBI distantes d'au moins 2500 km.

# Quelle orbite pour GRASP ? Les contraintes

## ■ Contraintes utilisées

- Mesures sur GRASP des GNSS avec un angle de vue limite supérieur à celui de Jason-2 (calibration des antennes GNSS grâce à l'antenne de GRASP).
- Pour chaque station (DORIS/SLR/VLBI), nombre moyen de passages par jour  $\geq 3$ .
- Visibilité commune depuis au moins quatre satellites GNSS pendant au moins 90% du temps.
- Nombre de passages minimum par jour sur une station du réseau NEN  $\geq 2$  (transfert de données satellites-Terre).

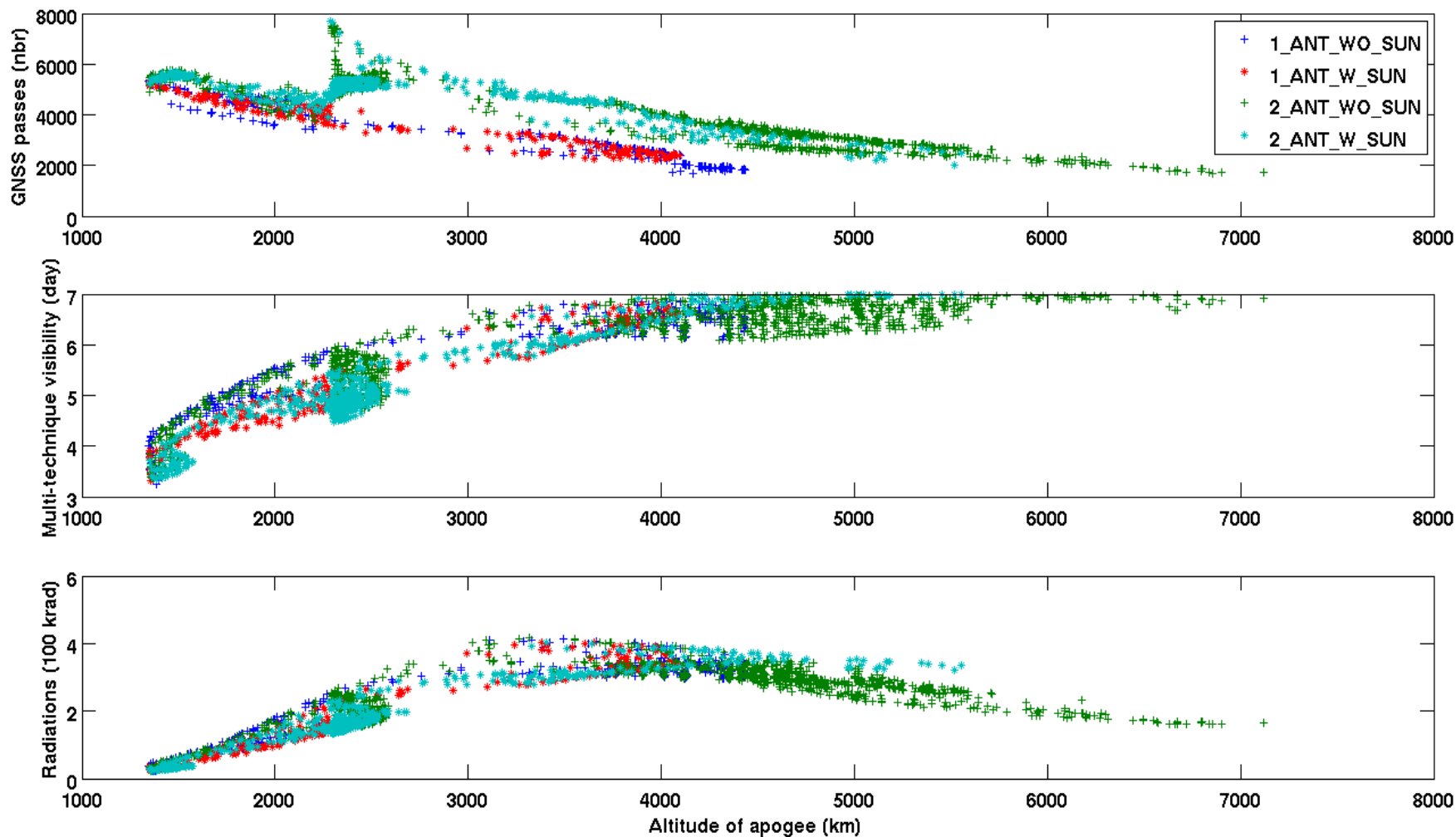


# RESULTATS

- Semaine test : semaine GPS comprise entre le MJD 56781 (2014/05/04) et le MJD 56787 (2014/05/10).
- Réseau de stations DORIS, SLR et VLBI attendus en 2019.
- Constellation de 57 satellites GNSS (30 GPS et 27 GALILEO).
- Afin d'étudier des altitudes élevées pour GRASP, deux cas: une / deux antennes GNSS embarquées. Pour chaque cas, application ou non de la condition d'héliosynchronisme → 4 calculs.
- 1\_ANT\_WO\_SUN : 1 antenne GNSS, sans héliosynchronisme.
- 1\_ANT\_W\_SUN : 1 antenne GNSS, avec héliosynchronisme.
- 2\_ANT\_WO\_SUN : 2 antennes GNSS, sans héliosynchronisme.
- 2\_ANT\_W\_SUN : 2 antennes GNSS, avec héliosynchronisme.
- Après 30 000 itérations, total de 2190 solutions pour les quatre calculs.

# RESULTATS

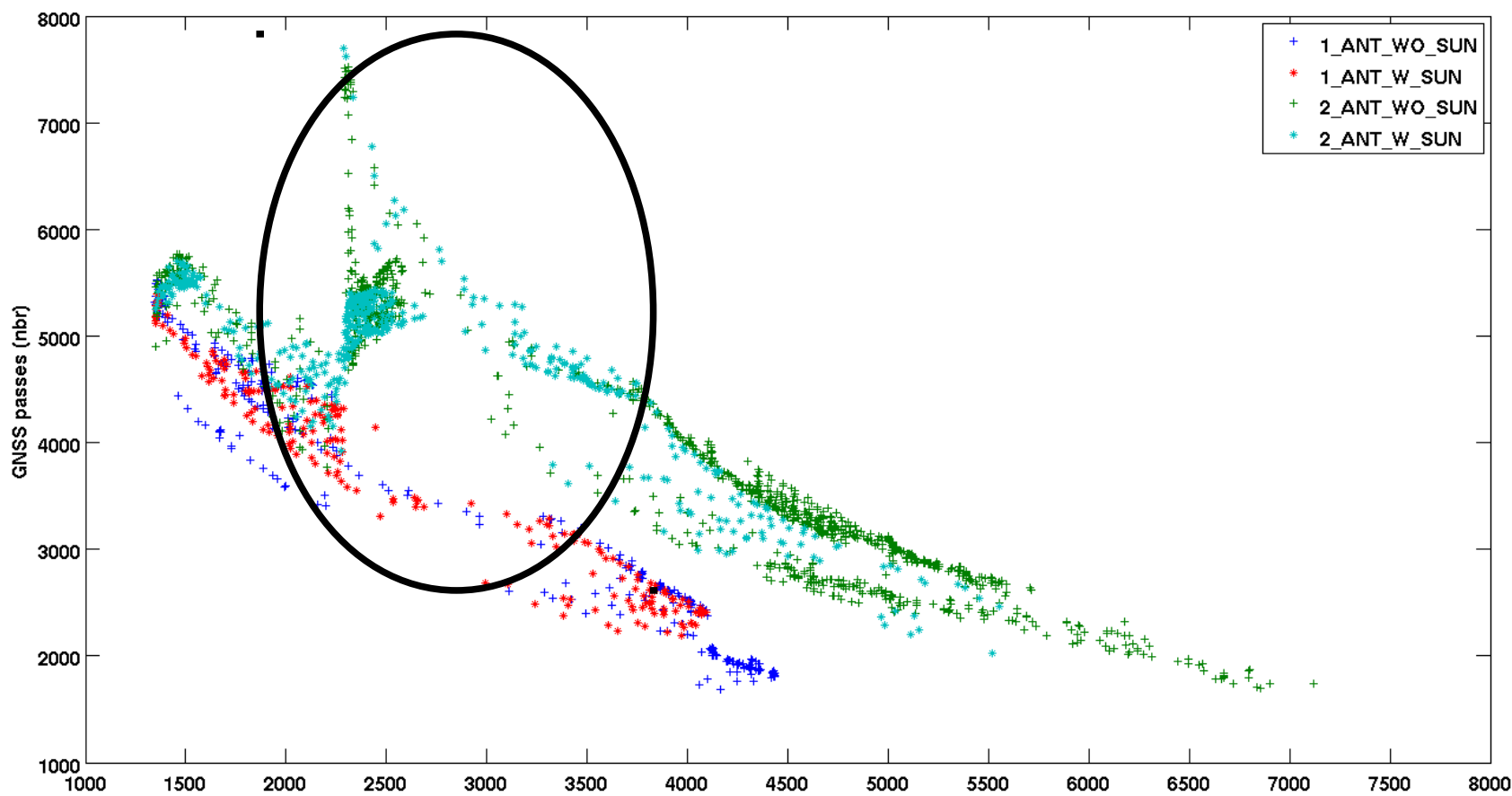
## SOLUTIONS



# RESULTATS

## ■ SOLUTIONS

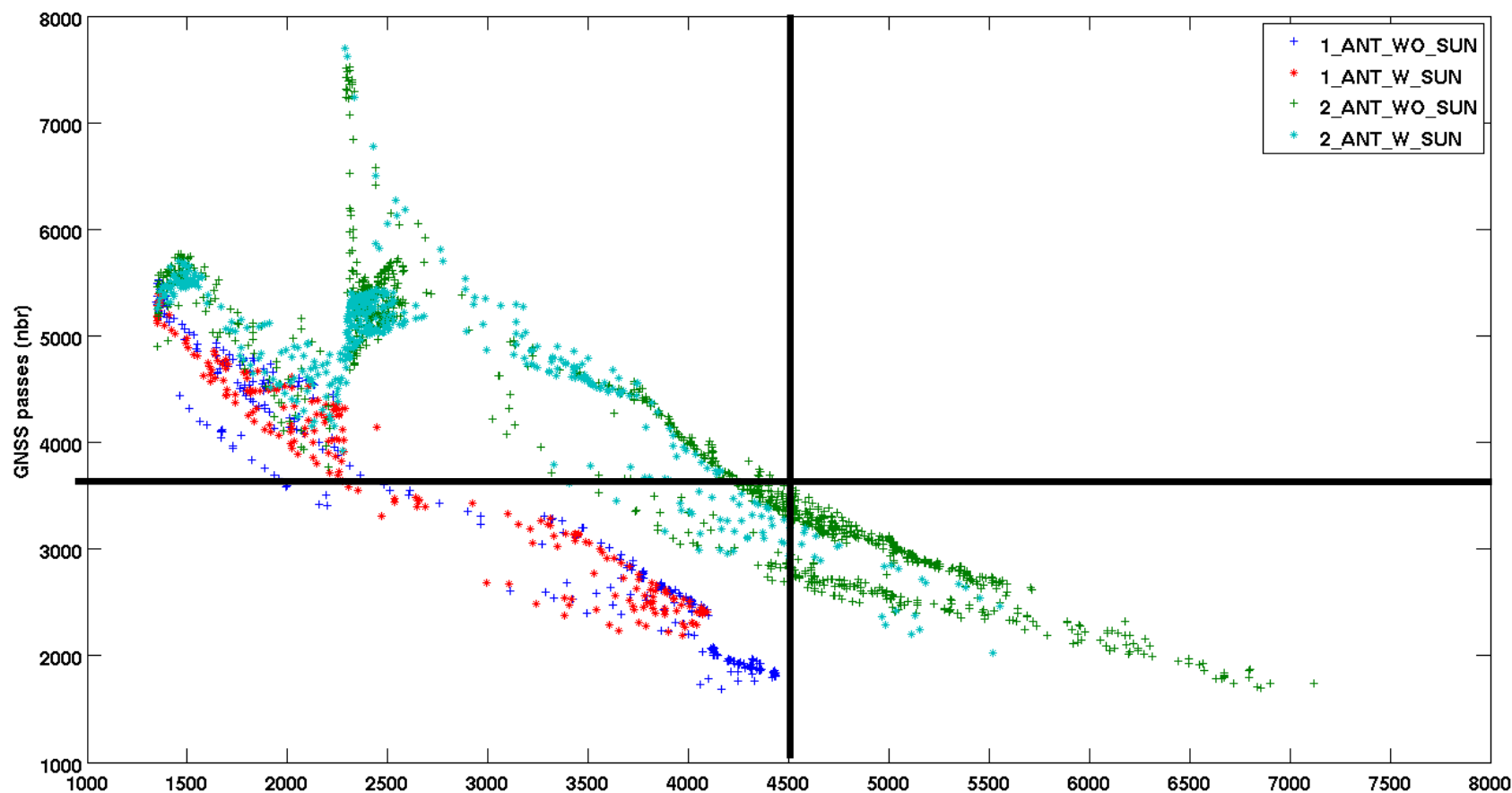
- 2 antennes GNSS embarquées intéressantes à partir de 2300-2500 km d'altitude.



# RESULTATS

## ■ SOLUTIONS

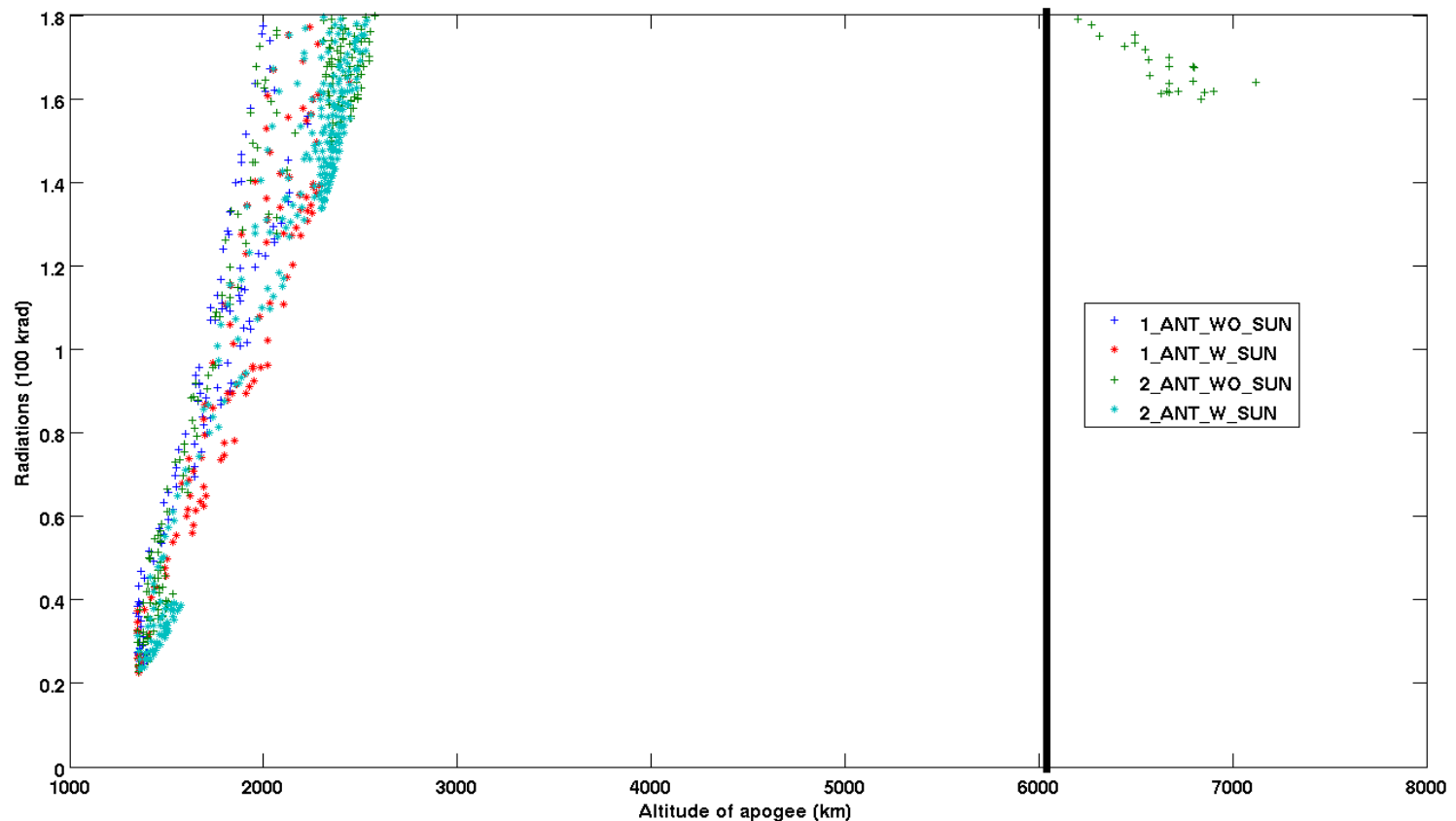
- Pour des altitudes supérieures à 4000-5000 km, le nombre de passages GNSS longs ( $\geq 15$  min) est faible, même avec deux antennes GNSS.



# RESULTATS

## ■ SOLUTIONS

- Pour retrouver des niveaux de radiations équivalents à ceux obtenus pour des altitudes de moins de 2000 km (~ 180 krad), il est nécessaire de monter à plus de 6000 km.









# RESULTATS

## ■ EXEMPLES DE SOLUTIONS



- Avec un niveau de radiation inférieur au maximum de radiations reçues à 2000 km et en utilisant les deux autres critères (passages GNSS longs et visibilité multi-techniques).

	1 GNSS antenna	2 GNSS antennas
Sun-synchronism	 <p>Altitude 1723 x 1741 km Eccentricity 0.001082 Inclination 103.27°</p>	 <p>Altitude 1687 x 2388 km Eccentricity 0.041615 Inclination 105.09°</p>
No sun-synchronism	 <p>Altitude 1715 x 1760 km Eccentricity 0.002749 Inclination 120.00°</p>	 <p>Altitude 1449 x 2071 km Eccentricity 0.038217 Inclination 119.98°</p>

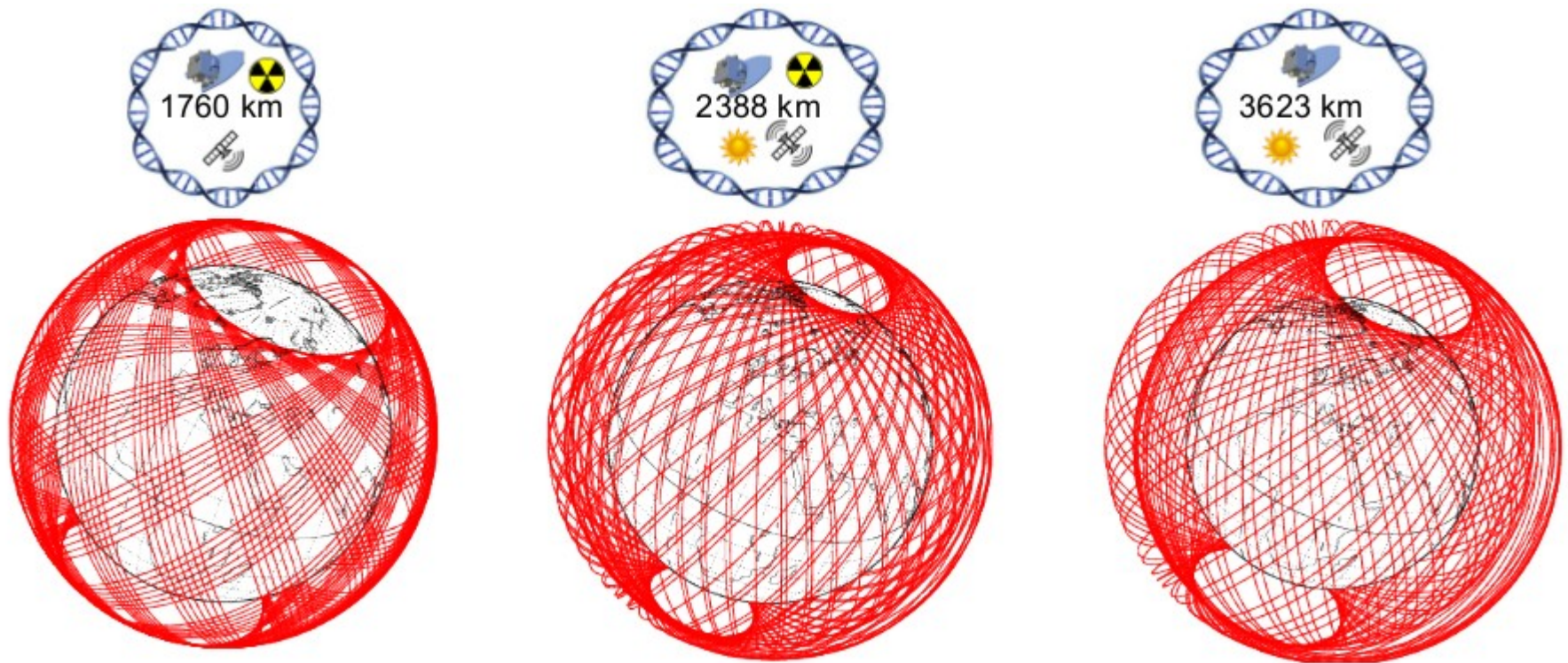
# RESULTATS

## ■ EXEMPLES DE SOLUTIONS

- En utilisant les deux premiers critères (passages GNSS longs et visibilité multi-techniques) uniquement, en considérant que les radiations ne sont pas un problème (épaisseur de blindage suffisant).

	Sun-synchronism	No sun-synchronism
2 GNSS antennas	 <p>Altitude 2277 x 3623 km Eccentricity 0.072177 Inclination 111.75°</p>	 <p>Altitude 2352 x 3135 km Eccentricity 0.042916 Inclination 60.64°</p>








# RESULTATS



IXION: <http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/ixion.html>

# RESULTATS

## ■ CRITERES OBTENUS POUR LES ORBITES DES SCENARIOS TESTS RETENUS PAR NASA / CNES

	 1350 km 	 1400 km 	 2000 km 	 6000 km
GNSS Antennas	1	1	1	2
GNSS passes $\geq 15$ min	5370	4996	3961	2072
Multi-tech visibility (days)	3.34	4.01	5.05	6.98
Radiations (krad)	22.674	43.640	156.698	192.278
VLBI mutual visibility (days)	1.12	1.83	3.18	6.80


- "GNSS passes  $\geq 15$  min"  $\geq 4000$ .
- "Multi-tech. Visibility"  $\geq 4.66$  days (66 %).
- "Radiations"  $\leq$  max "Radiations" at 2000 km.
- "VLBI mutual visibility"  $\geq 4.66$  days.

- "GNSS passes  $\geq 15$  min"  $< 4000$ .
- "Multi-tech. Visibility"  $\leq 2.33$  days (33 %).
- "Radiations"  $>$  max "Radiations" at 2000 km.
- "VLBI mutual visibility"  $\leq 2.33$  days.



# RESULTATS

## ■ CRITERES POUR LES SIX ORBITES TROUVEES

						
GNSS Antennas	1	1	2	2	2	2
GNSS passes $\geq 15$ min	4506	4371	5067	5073	4912	4676
Multi-tech visibility (days)	5.08	4.64	5.09	5.08	6.38	6.21
Radiations (krad)	113.016	96.734	131.595	175.420	348.680	317.940
VLBI mutual visibility (days)	2.64	2.58	2.68	3.25	4.48	4.77

- "GNSS passes  $\geq 15$  min"  $\geq 4000$ .
- "Multi-tech. Visibility"  $\geq 4.66$  days (66 %).
- "Radiations"  $\leq$  max "Radiations" at 2000 km.
- "VLBI mutual visibility"  $\geq 4.66$  days.

- "GNSS passes  $\geq 15$  min"  $< 4000$ .
- "Multi-tech. Visibility"  $\leq 2.33$  days (33 %).
- "Radiations"  $>$  max "Radiations" at 2000 km.
- "VLBI mutual visibility"  $\leq 2.33$  days.

# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

---

- Outil adaptatif de détermination d'orbites optimales pour les missions spatiales.
- Résultats encourageants pour la détermination de l'orbite du satellite GRASP.
- Prise en compte dans une nouvelle version de la répartition des mesures sur les stations / satellites, du temps en éclipse et du deuxième lobe des antennes GNSS.
- Début des simulations numériques avec le logiciel d'orbitographie GINS du CNES.