



Transfert de temps par satellites

Pascale Defraigne

Observatoire royal de Belgique

Transfert de temps

- Dissémination du temps
 - Méthode de transfert
- Mesure d'horloge
 - Comparaison entre deux horloges
 - Méthode de transfert



Transfert de temps atomique

- Par transport d'horloges



Horloge optique Transportable

- Par satellites
- Par fibres optiques

Transfert de temps par satellite

- GNSS : Global Navigation Satellite Systems
GPS (US) – Galileo (EU) – BeiDou (Chine) – GLONASS (Russie)
Applications scientifiques et industrielles de masse.
- TWSTFT : méthode deux-voies, utilisée pour applications
météorologiques, possibilité d'extension aux applications industrielles
- Transfert de Temps par Lien Laser: expérience T2L2

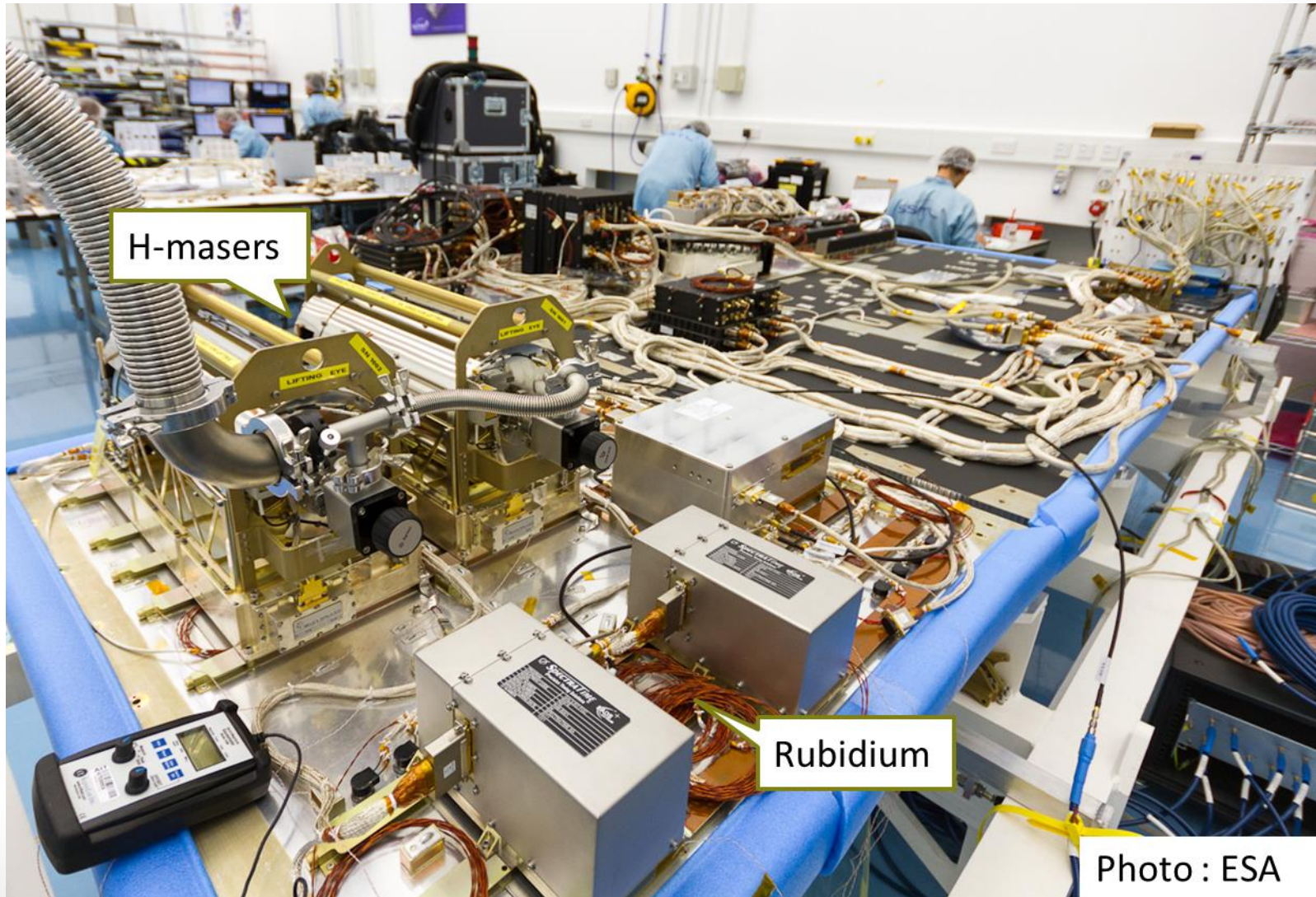
GNSS : Global Navigation Satellite Systems

- 1er grands utilisateurs d'horloges atomiques
1 m ~ 3 nanosecondes

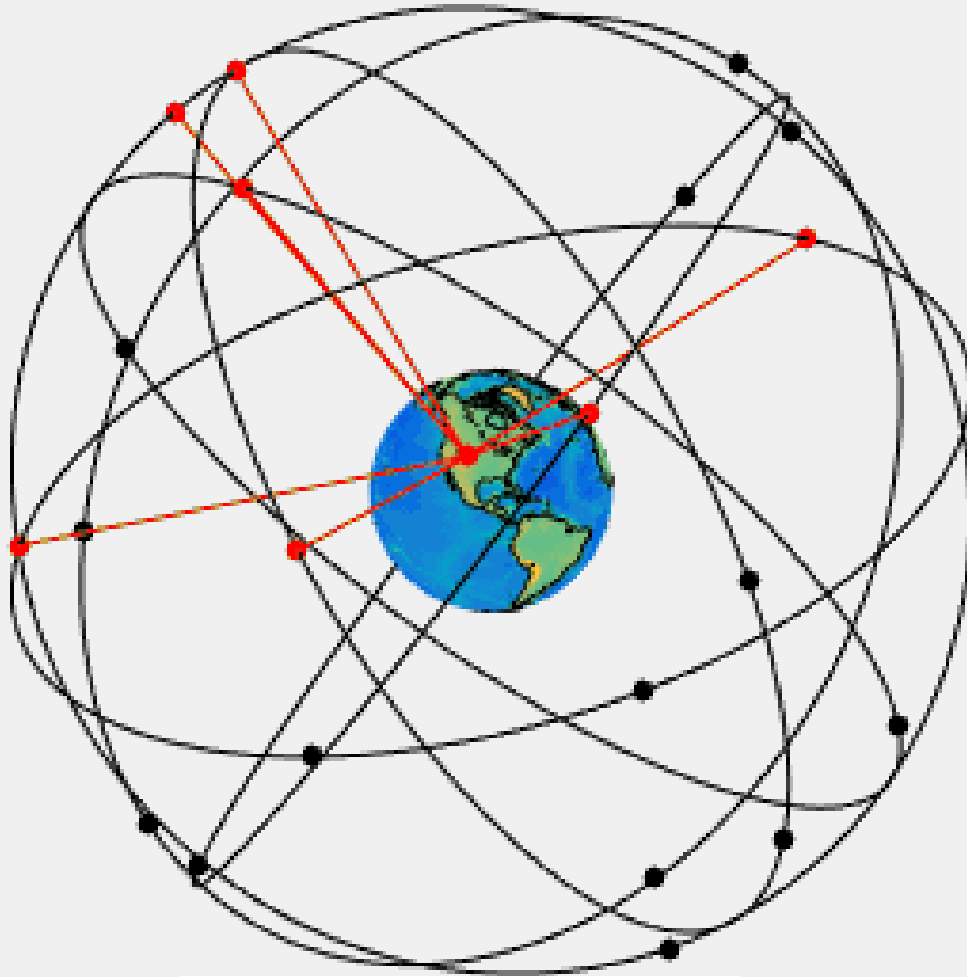
1er satellite GPS :
1978



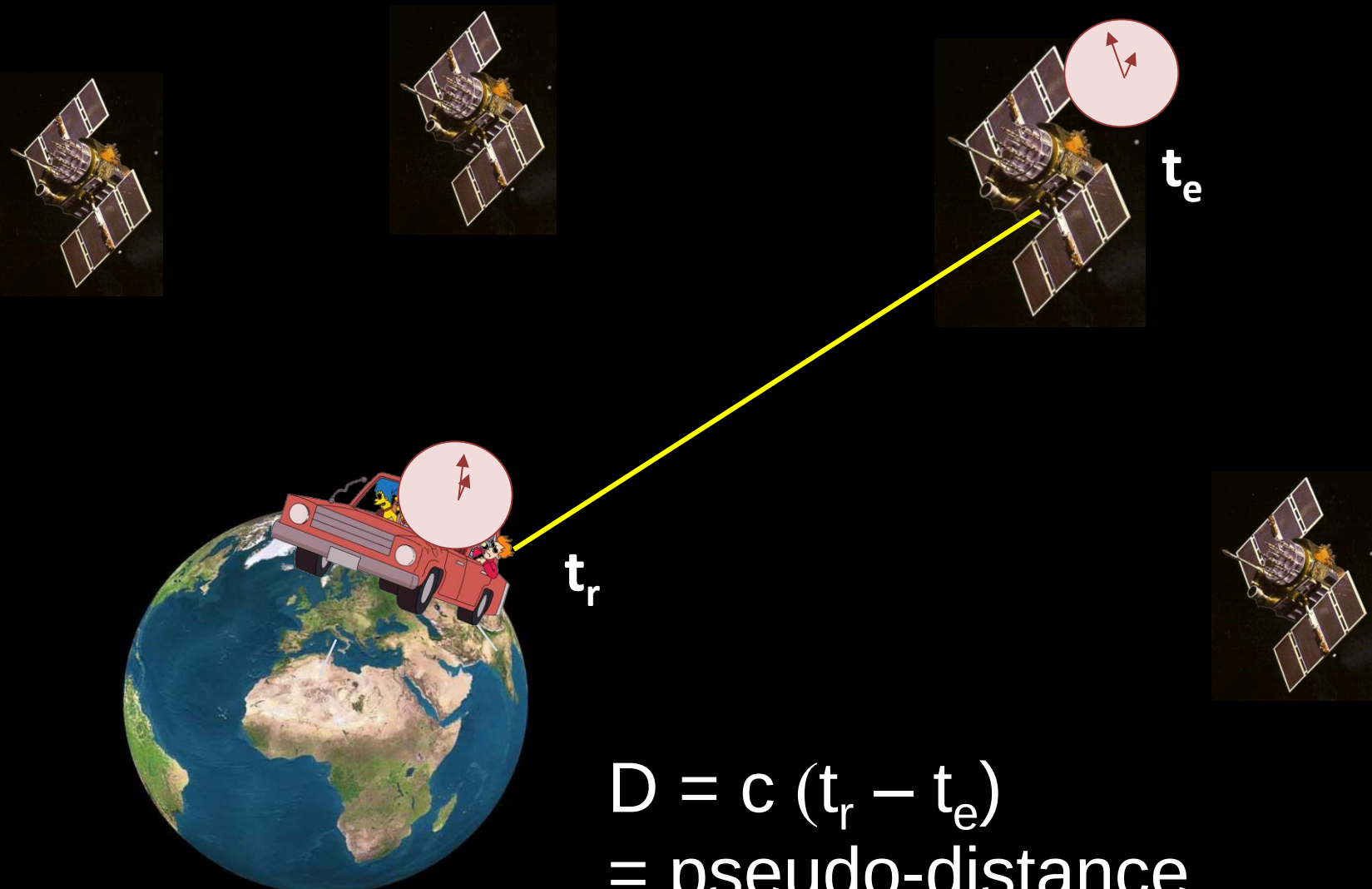
Intérieur d'un satellite Galileo



Comment fonctionnent les GNSS



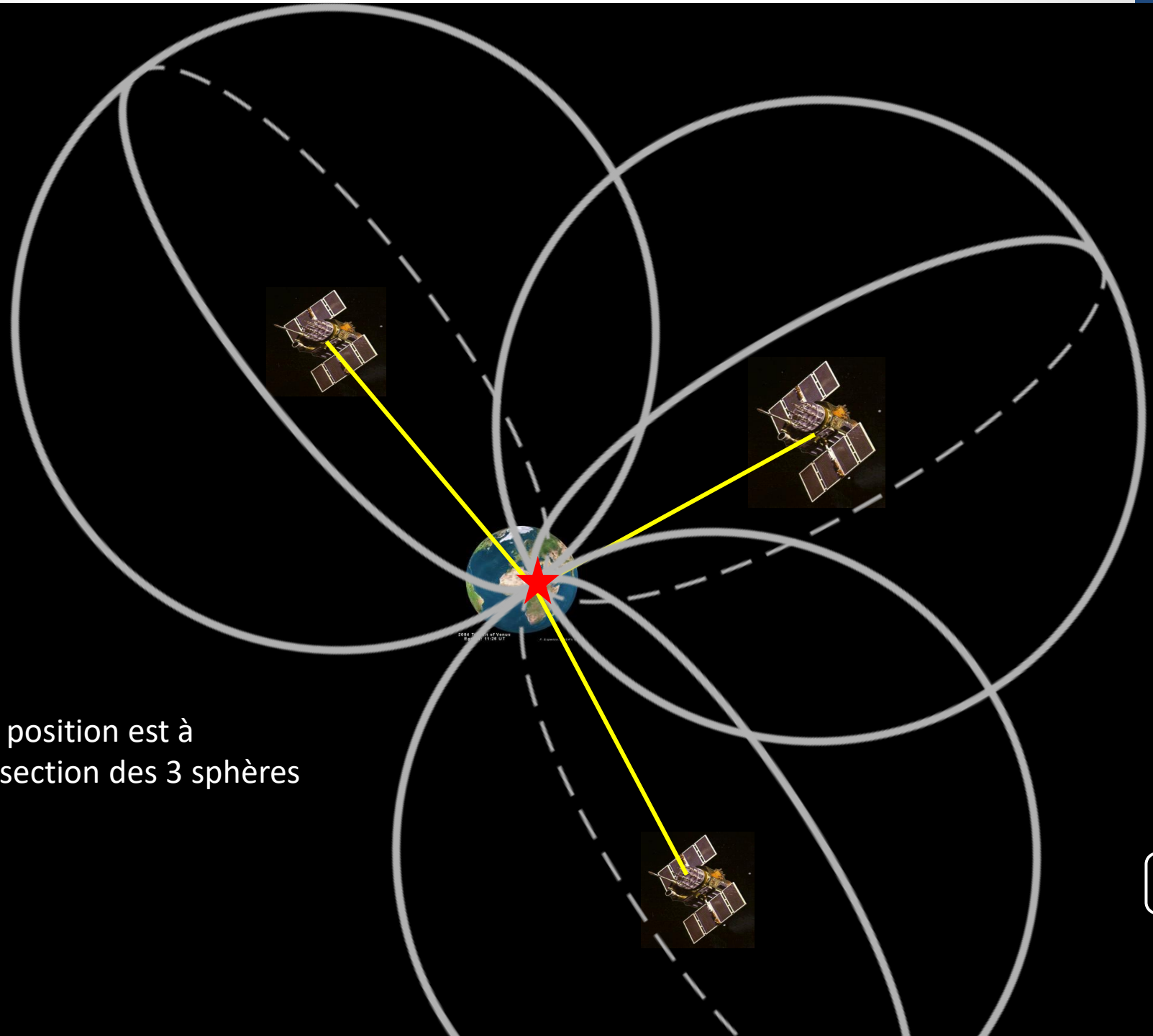
Le satellite nous donne sa position et son temps d'émission,
Le récepteur mesure le temps de parcours du signal ($t_r - t_e$). Il sait donc qu'il se
situes quelque part sur la sphère de rayon " $c (t_r - t_e)$ " centrée sur le satellite.



$$D = c (t_r - t_e)$$

= pseudo-distance
or pseudorange

Notre position est à
l'intersection des 3 sphères



4^{ème} satellite
nécessaire pour la
synchronisation
entre le récepteur
et les satellites

$$D = c (t_r - t_e) - (t^{\text{rec}} - t^{\text{GNSS}})$$

Les GNSS nous donnent l'heure

4 satellites → Position (lat, lon, h)

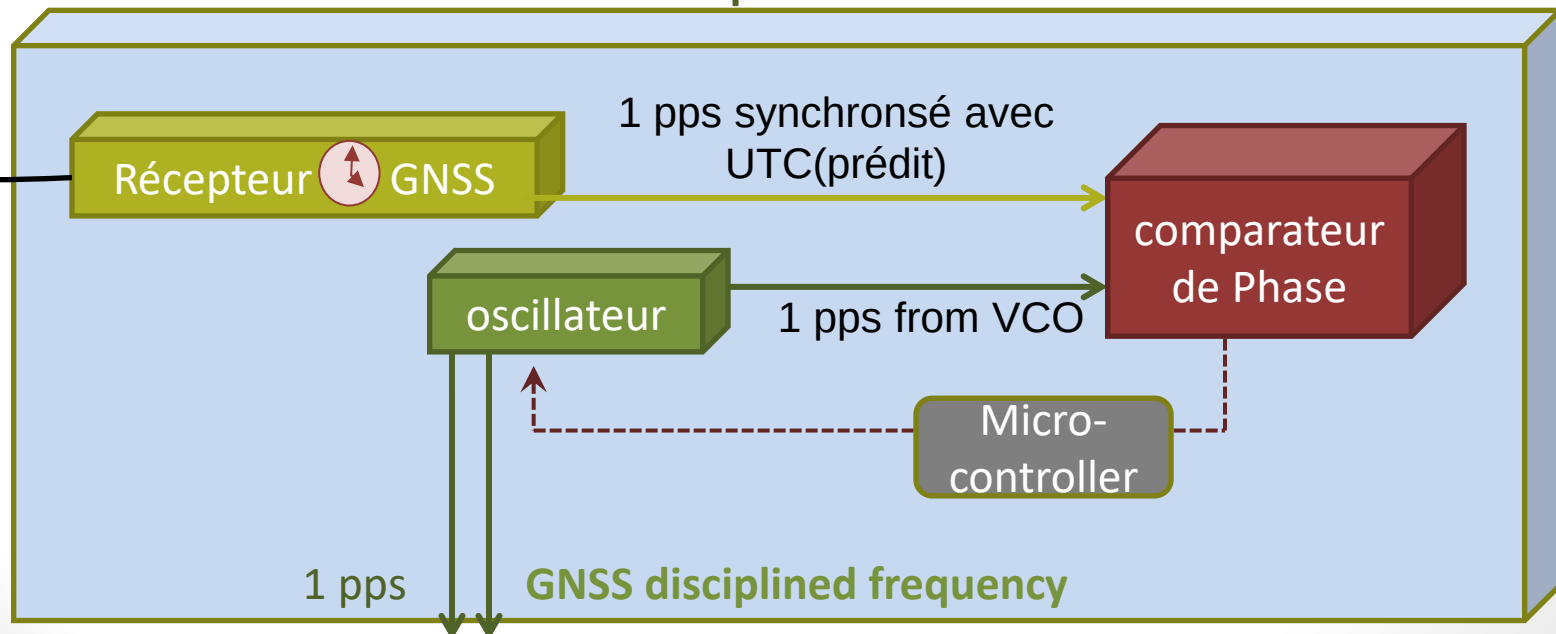
→ $(t^{\text{rec}} - t^{\text{GNSS}})$

Message de navigation:

→ $(t^{\text{GNSS}} - \text{UTC}^{\text{prédit}})$

$(t^{\text{rec}} - \text{UTC}^{\text{prédit}})$

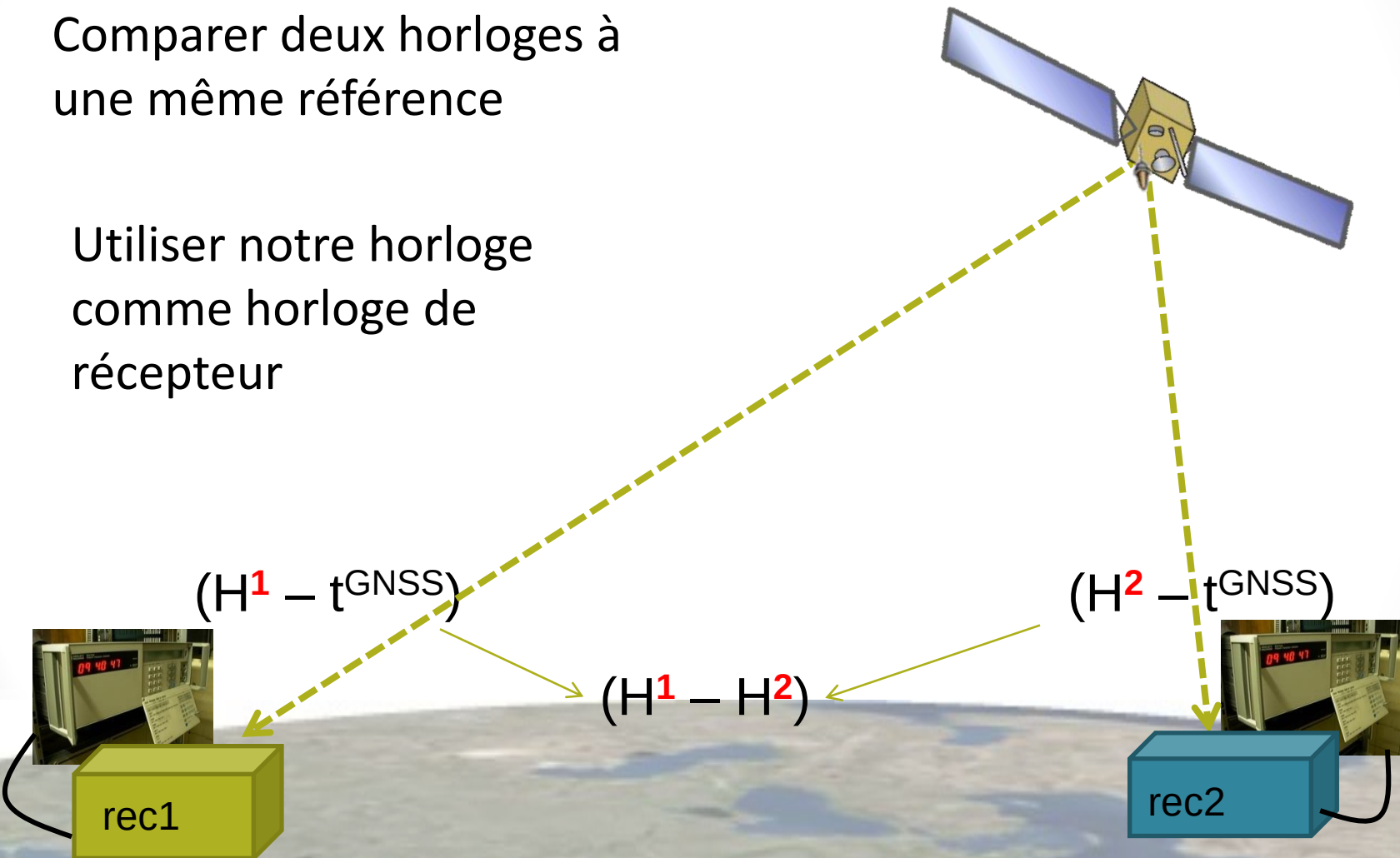
Oscillateurs pilotés sur GNSS



Les GNSS pour la métrologie du temps

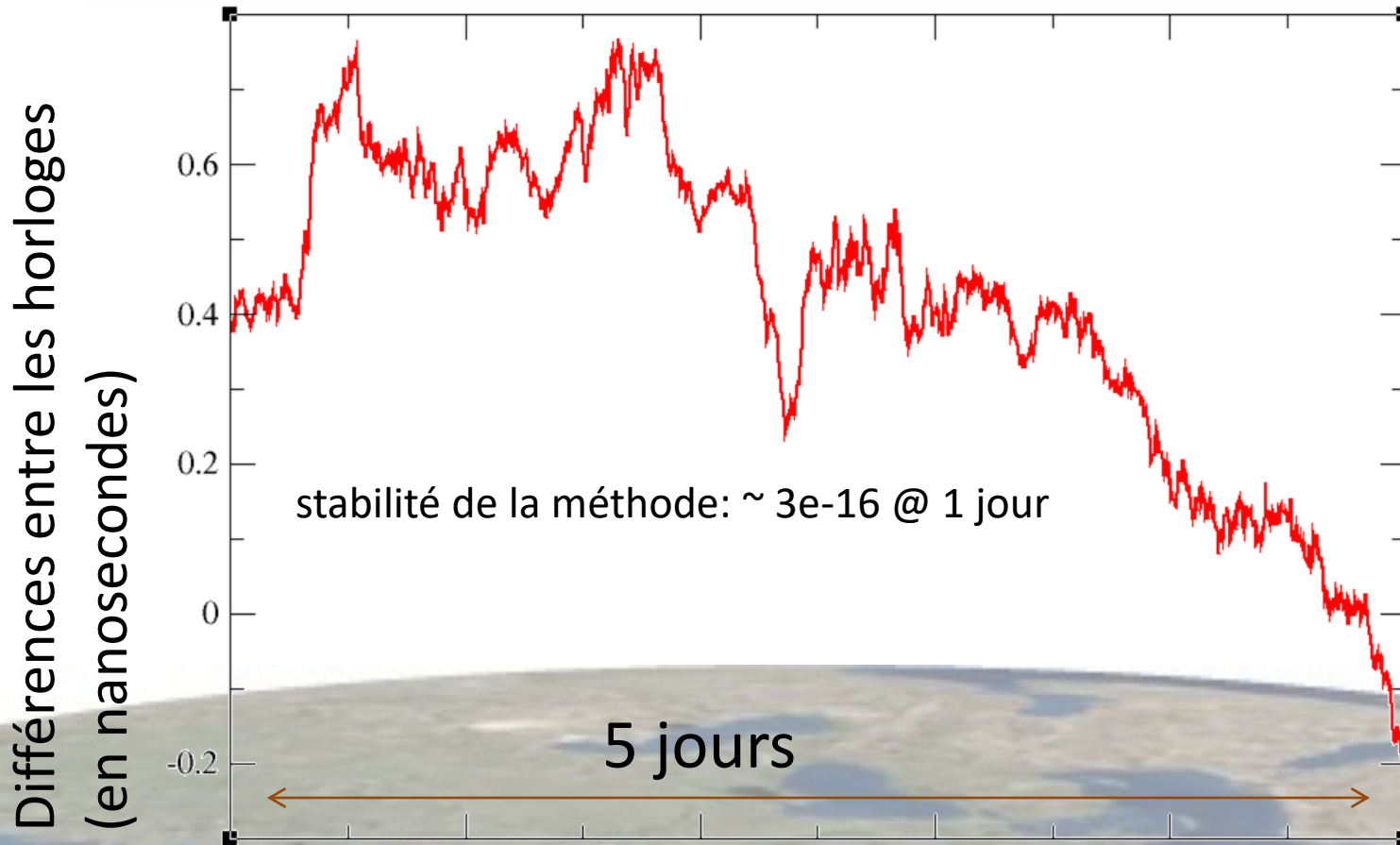
Comparer deux horloges à une même référence

Utiliser notre horloge comme horloge de récepteur



Les GNSS pour la métrologie du temps

Comparaison d'horloges (masers à Hydrogène)
entre Paris et Bruxelles.



Etalonnage

Mesure des délais hardware dans
Antenne, cables, récepteur

Exactitude ~ 1 ns



Δt_1



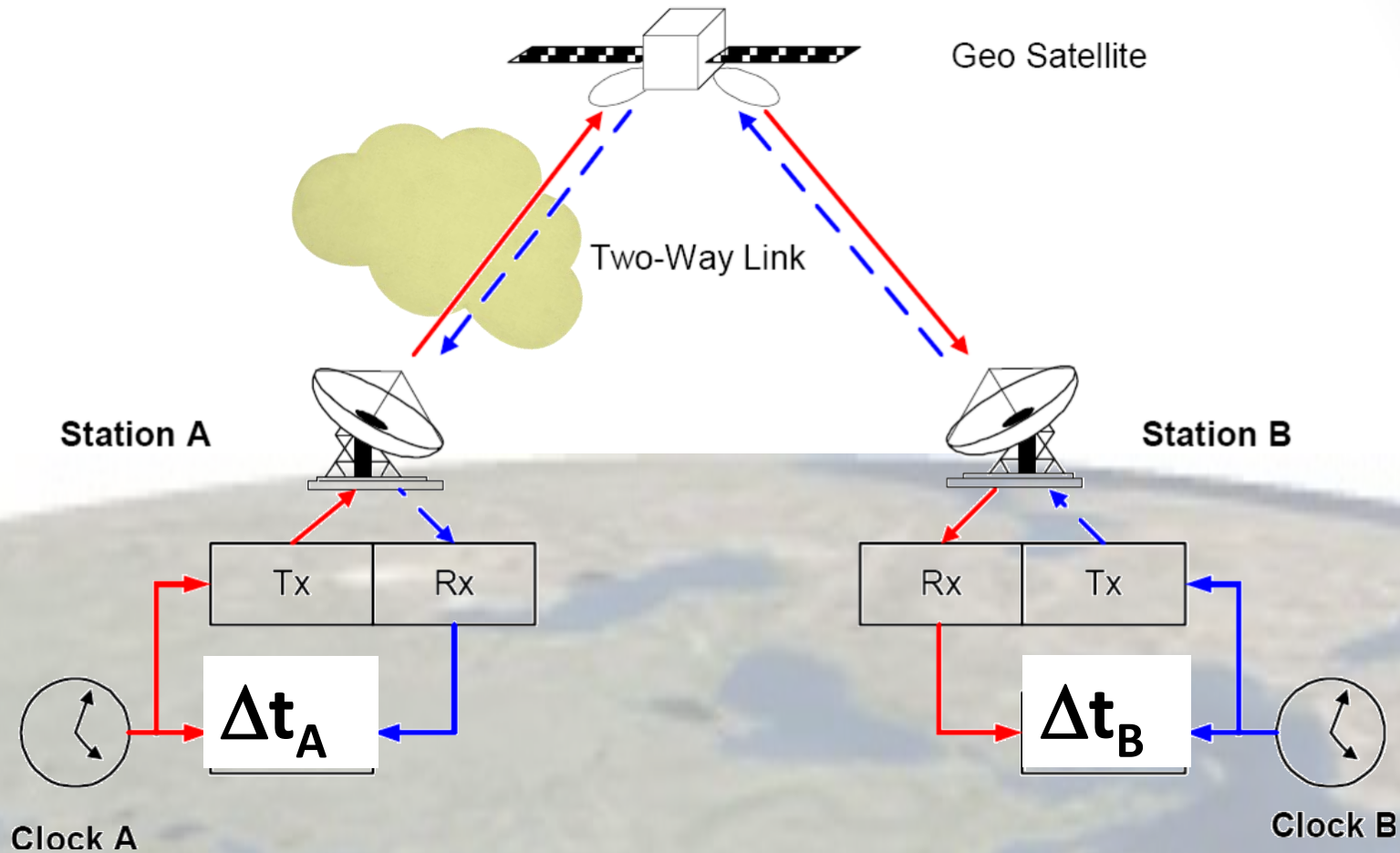
Δt_2

Δt_3

Δt_4

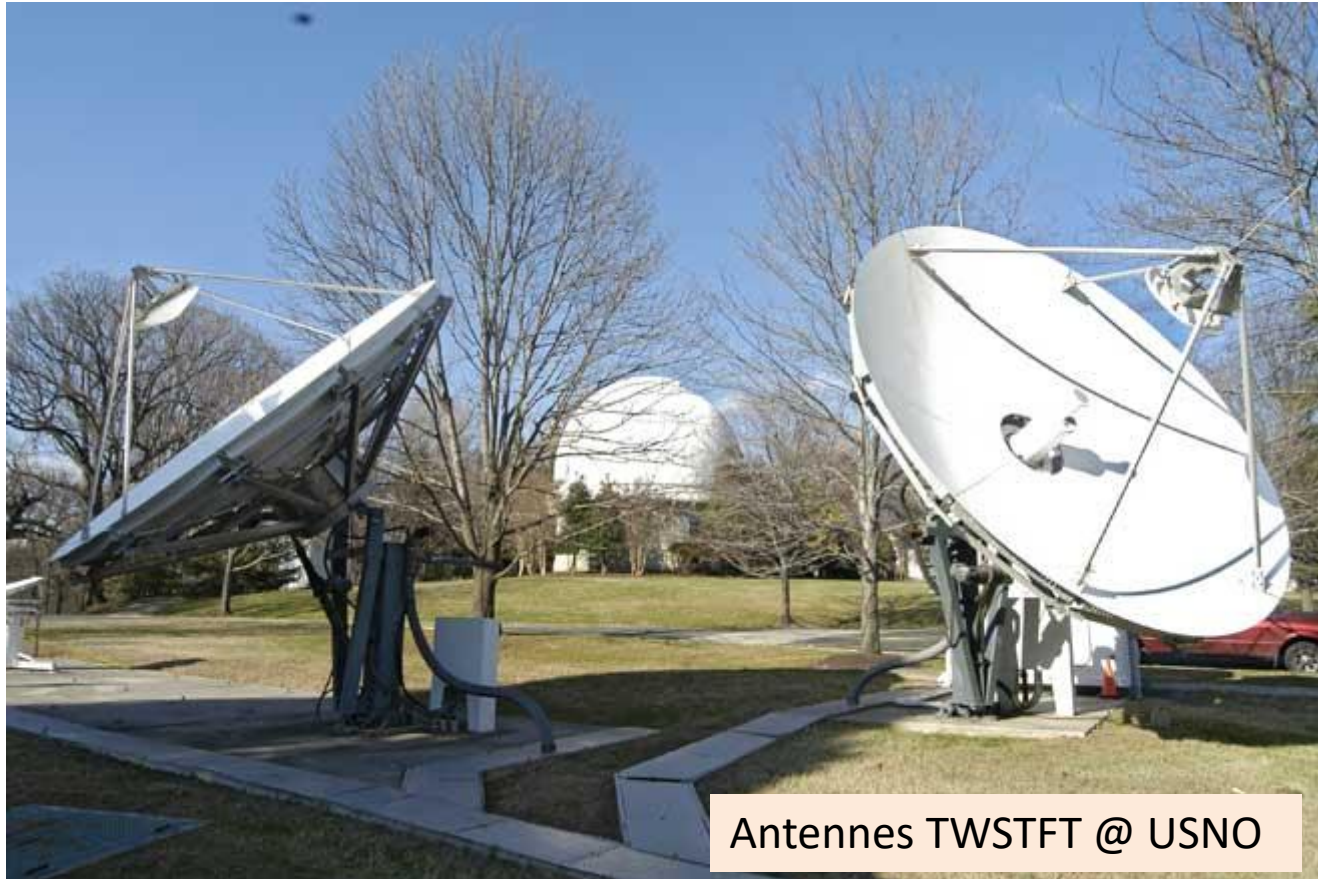


Transfert de temps 2 voies



$$\text{clock(A)} - \text{clock(B)} = \frac{1}{2} [\Delta t_A - \Delta t_B] + \text{corrections}$$

Transfert de temps 2 voies



Antennes TWSTFT @ USNO

- Equipement plus lourd que pour le GNSS
- Performances équivalentes au GNSS
- Indépendance totale par rapport au GNSS

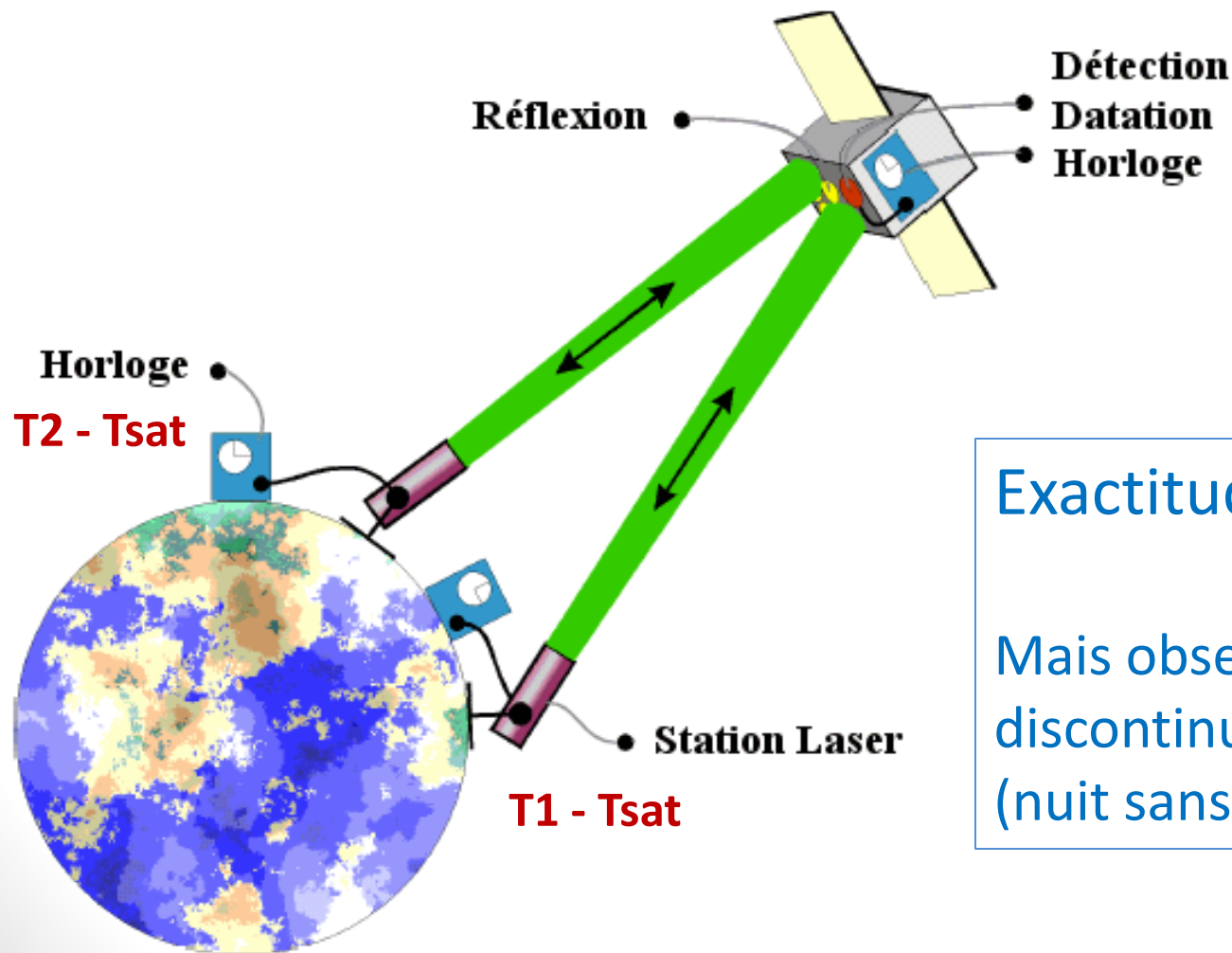
Expérience T2L2



Photo: OCA

Expérience T2L2

satellite Jason- 2 (lancé le 20 juin 2008)



Exactitude < 100 ps

Mais observations
discontinues
(nuit sans nuages)

Liens optiques cohérents

- Lien laser continu
 - + Mesure de la phase de la porteuse optique
- Problème : Turbulences atmosphériques...

Alternative: Utilisation de fibres optiques.