

# Lien optique cohérent à travers l'atmosphère turbulente

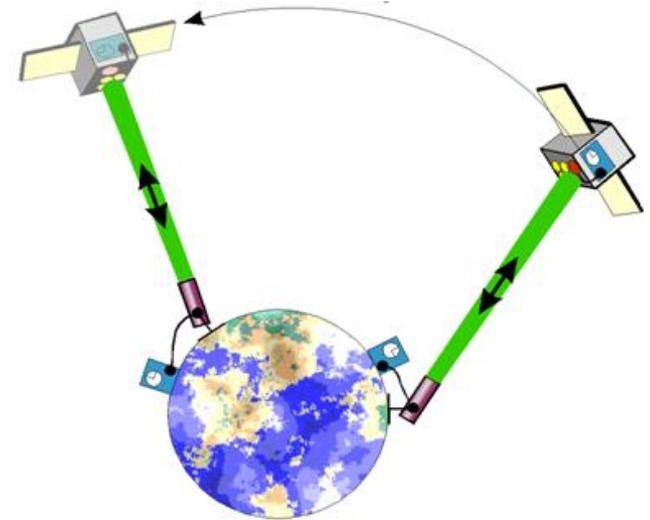
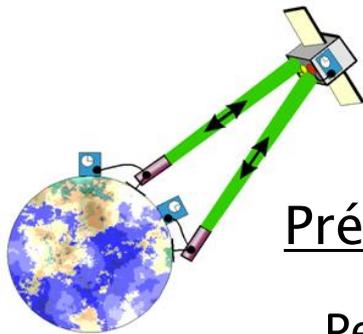
## Mini-DOLL : Deep Space Optical Laser Link

Journée GRAM : 30 nov 2010

Présenté par : Khelifa DJERROUD

Personnes impliquées dans le projet:

- Acef Ouali (SYRTE)
- Clairon André (SYRTE)
- Lemonde Pierre (SYRTE)
- Man Nary Catherine (ARTEMIS/OCA)
- Samain Etienne (Géo-Azur/OCA)
- Wolf Peter (SYRTE)



# Plan de l'exposé

- Contexte et intérêts des liens lasers cohérents
- Déroulement du projet Mini-DOLL (3 principales étapes)
  1. Lien sol/sol : dispositif expérimental, résultats, limitations,...
  2. Estimation du bruit des liens sol / Satellites compensés
- Challenges et solutions envisagées pour les prochaines étapes du projet
- Conclusion et perspectives

## Contexte et intérêts

- Comparaison d'horloges sur de longues distances
- Futurs projets spatiaux en physique fondamentale (SAGAS, ODYSSEY, LATOR, BEACON,...) nécessitent l'utilisation de liens plus performants.
- T2L2 et le lien micro-onde (ACES) nécessitent plusieurs jours pour atteindre  $10^{-17}$
- Au sol, des liens optiques fibrés sont mis en place ( $\approx 100\text{km}$ )
- Applications en géodésie spatiale, navigation, la gravité de la terre et du système solaire et en physique fondamentale,...
- Communication optique très prometteuse en orbite terrestre et interplanétaire . Plusieurs projets en cours (ARTEMIS, TerraSAR-X,...)

### Intérêt d'un lien laser cohérent vs. lien pulsé?

La mesure de la phase optique permet potentiellement une amélioration de  $\geq 4$  ordres de grandeurs (durée pulse/période optique), implémentée dans les liens fibrés

- **Avantages:** haute précision, peu sensible aux fluctuations d'intensité, insensible à la lumière parasite, (cf. passage de radio AM  $\rightarrow$  FM)
- **Inconvénients:** sensible à la turbulence atmosphérique (cohérence transverse et temporelle), besoins en puissance

## Déroulement du projet Mini-DOLL (3 principales étapes)

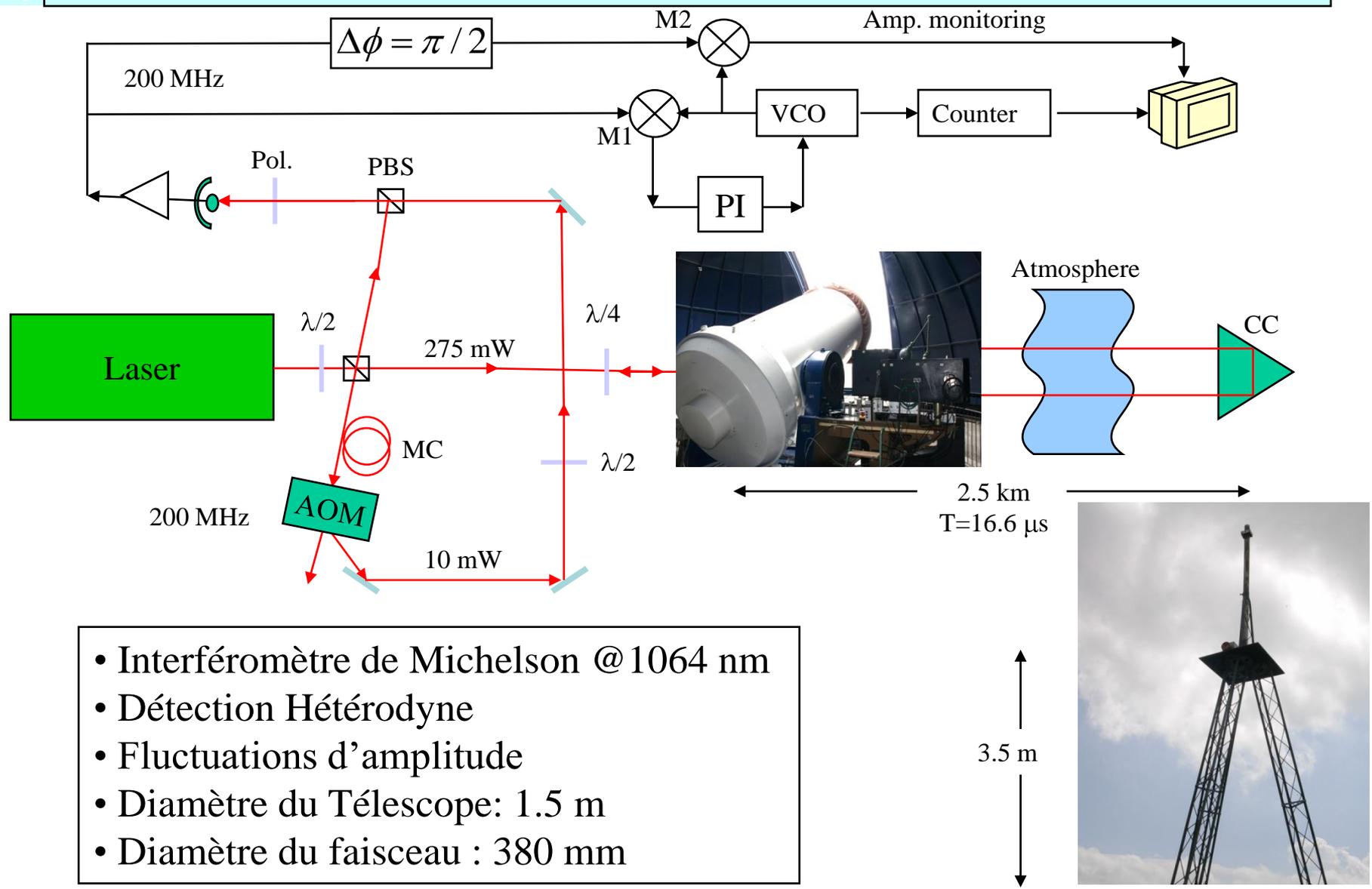
### 3 essential steps:

1. Mini-DOLL sol-sol avec une cible immobile (coin de cube): étude de l'effet atmosphérique pour une propagation horizontale.
2. Montage d'un banc au SYRTE prévu pour le lien sol-satellite (laser de puissance, stabilisation en fréq., balayage Doppler de  $\pm 10$  GHz,...).
3. Mini-DOLL sol-satellite : Installation du banc à l'OCA sur l'un des télescopes laser pour tests sur des satellites existants équipés de coins de cubes (JASON 1 et 2, TerraSAR-X,...).

### Objectifs:

- Démontrer la faisabilité
- Etudier les limitations atmosphériques
- Etudier les limites en puissance
- Etudier la taille optimale du télescope (optique adaptative?)
- Etudier le potentiel en transmission de données par modulation de phase

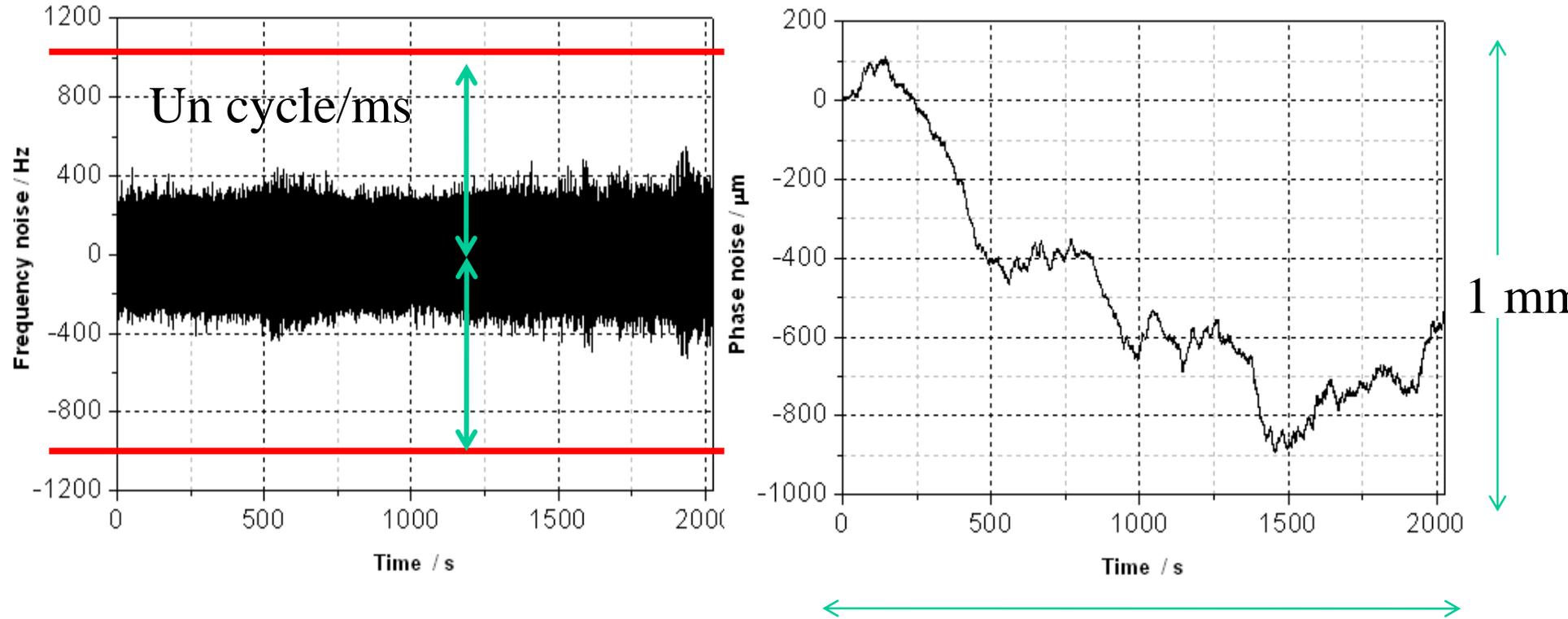
# Lien sol/sol : dispositif expérimental



- Interféromètre de Michelson @ 1064 nm
- Détection Hétérodyne
- Fluctuations d'amplitude
- Diamètre du Télescope: 1.5 m
- Diamètre du faisceau : 380 mm

# Lien sol/sol : Résultats (bruit de fréquence et de phase)

CCR sur une coline @2.5 km



33 min

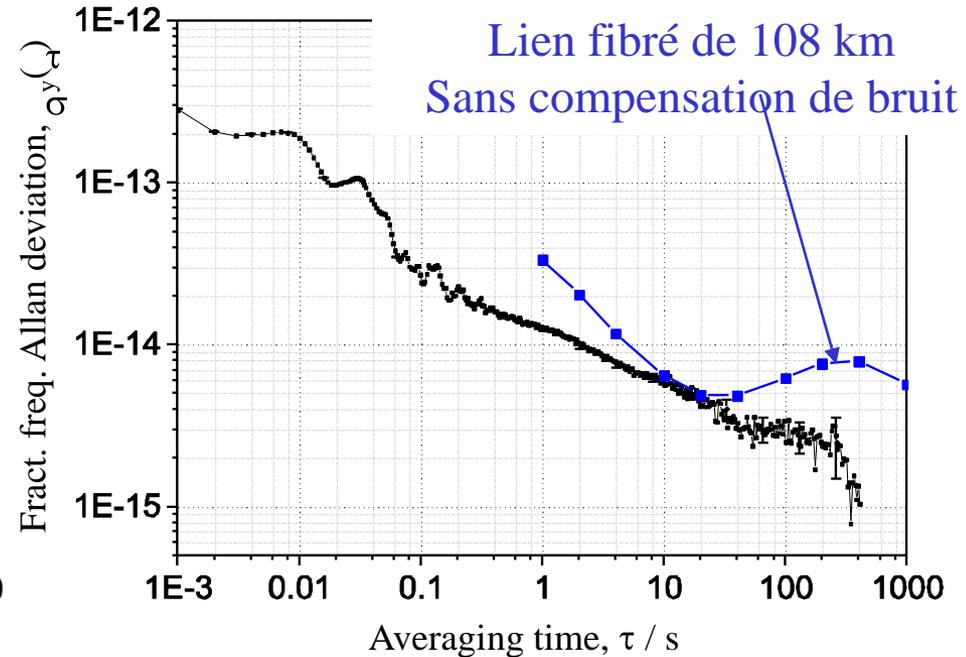
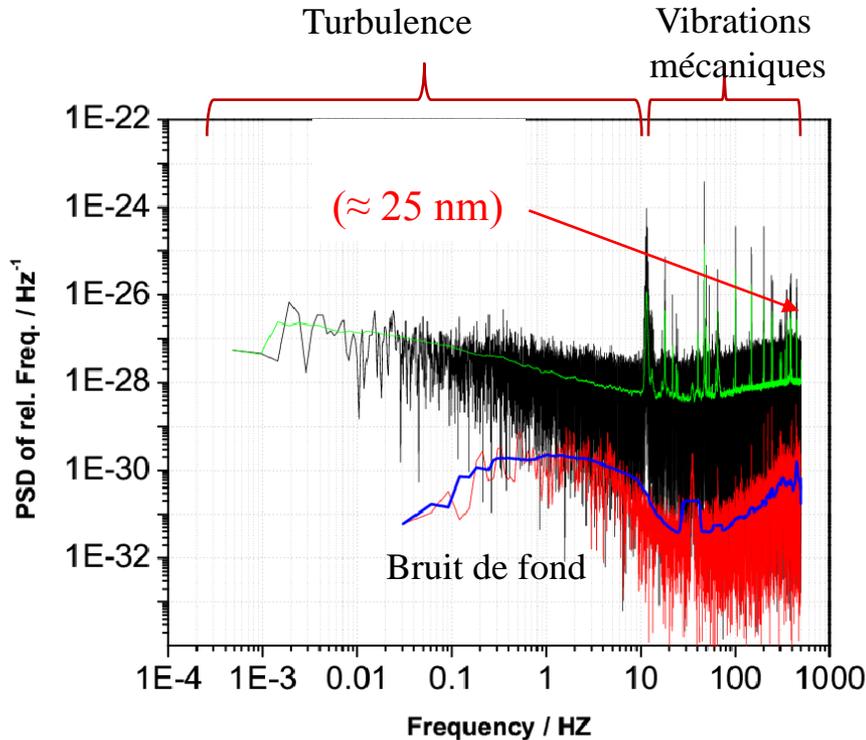
Fréquence d'acquisition: 1 kHz (1 ms)

Nombre de points enregistrés  $\approx 2.027 \cdot 10^6$

Points supprimés  $\approx 4 \cdot 10^{-5}$

# Lien sol/sol :

## Résultats (DSP et Variance d'Allan)

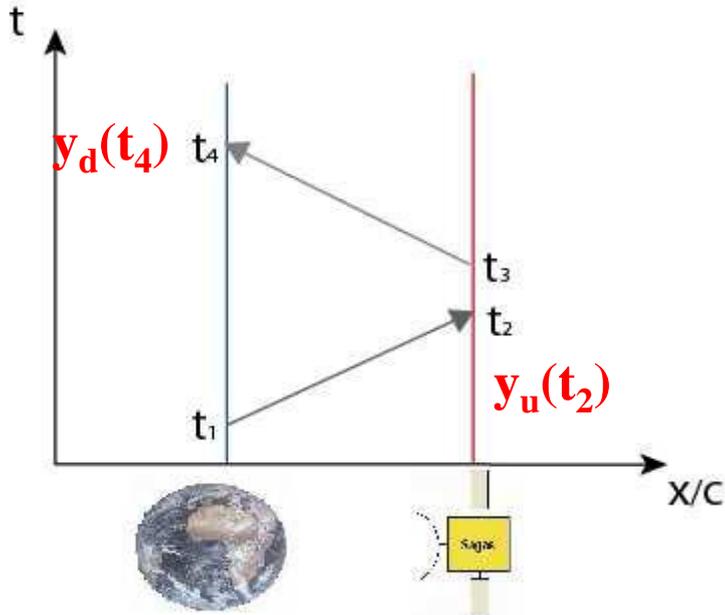


- Dominé par la turbulence atmosphérique en dessous de 10 Hz
- Niveau de bruit de turbulence très similaire à des mesures astronomiques (propagation verticale) -> On s'attend à ce même ordre de grandeur du bruit sur le lien satellite
- Niveau de bruit semblable à des fibres non compensée 102 km -> encourageants, **mais différents temps de retard -> moins efficace**

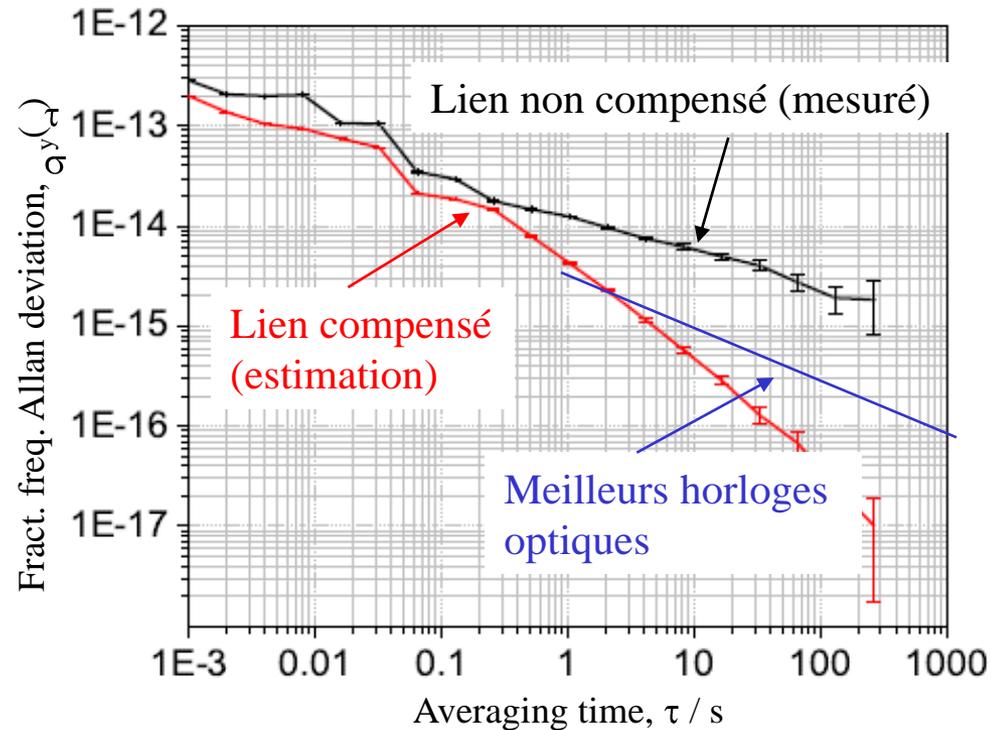
1  
2  
3  
4

# Estimation du bruit d'un lien sol/satellite compensé à partir des résultats sol

Satellite géostationnaire ( $T_{14} \approx 250$  ms)



$$y_t(t_2, t_4) \equiv \left[ y_u(t_2) - y_d(t_4) \right] / 2$$



Calculer  $(y(t) - y(t + T_{14})) / 2$  à partir des données sol

## Challenges:

- Les sauts de cycles (scintillation) ne sont pas compensés -> doivent être identifiées et éliminées
- Sites avec faible turbulence (sites d'observation astronomique)
- Recours à l'optique adaptative pour éviter les sauts de cycle

## Prochaine étape du projet : Lien sol/satellites: Challenges expérimentaux

- Réalisation d'un lien sol satellite pour étudier les caractéristiques réaliste
- Les principaux défis sont : stabilisation des lasers, la faible puissance reçue ( $1 < pW$ ), la scintillation
  - Temps A/R important -> Stabilisation de lasers
  - Puissance reçue faible -> Amplificateur (20Watts)
  - Décalage Doppler ( $\pm 10$  GHz , vitesse 120MHz/s) -> Lasers accordables
  - Scintillation -> optique adaptative prévu pour télescope LLR (1,5m)
- Premier lien prévu pour fin 2011 / début 2012

### À l'heure actuelle:

- Laser (1064,5 nm) accordable stabilisé sur une fibre à retard développé au SYRTE, basée sur l'expérience récente (Jiang et al, arXiv:. 0911,5359).
- Développement de deux systèmes identiques (Projet LASIC).
- Mise en œuvre de l'optique adaptative (collaboration avec l'ONERA).

## Conclusion et perspectives

- Résultats de réalisation d'un lien optique horizontal cohérent à travers l'atmosphère turbulente ont été présentés.
- Bruit de phase mesuré est dominée par la turbulence atmosphérique, mais très prometteur pour les applications en T / F.
- Les liens compensés (deux voies) sol / satellite géostationnaire -> atteindre les performances des meilleures horloges optiques en  $\approx 10$  s de temps d'intégration.
- Projet Mini-DOLL (étapes 2. et 3.) devraient fournir des estimations plus fiables sur les prochaines années, dans des conditions particulièrement défavorables (Doppler, puissance, ...)
- D'autres applications ( Télémétrie Doppler , les communications optiques) pourrait également bénéficier de ces développements.