

Phasemètre LISA

Conception: Albert Einstein Institut (Hannovre)

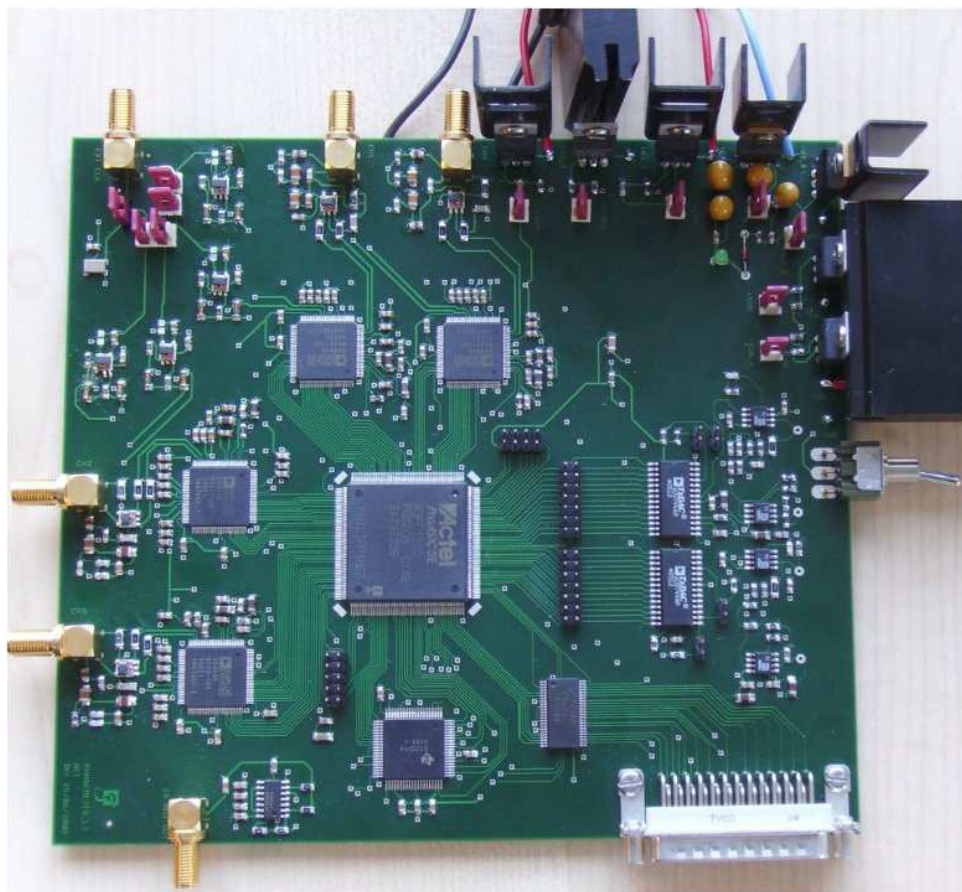


Mission LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

- **Mission spatiale L3 de l'ESA de détection des ondes gravitationnelles :**
 - **Basé sur la mesure des variations de phase entre 2 faisceaux laser (Interférométrie hétérodyne)**
 - En pratique, mesure très précise de la fréquence (donc de la phase) d'un battement RF par rapport à un oscillateur de référence sur le satellite, avec une précision de 10^{-6} cycle/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (soit 1pm/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pour des lasers Nd:YAG à 1064 nm), dans une bande de fréquence des variations de phase comprise entre 1 mHz à 10 Hz
 - **La conception du phasemètre doit tenir compte de 3 ces contraintes principales**
 - Fréquence des signaux variables sur un cycle de 1an (en dehors de la bande de mesure utile): 5MHz – 25MHz
 - Précision requise: 10^{-6} cycle / $\sqrt{\text{Hz}}$
 - Bande de mesure utile des variations de phase: 1 mHz - 10 Hz
 - **Une architecture basée sur une PLL numérique implémentée dans un FPGA remplit ces contraintes**



1^{er} Prototype 4 voies conçu par l'Albert Einstein Institut



- Basé sur un FPGA ACTEL (Qualifié spatial):
 - ProASIC3E A3PE3000 (3M de portes)
- 4 Convertisseurs A/D:
 - AD9146-100 (16 bits 100MHz)
- Interface de lecture:
 - Port Parallèle EPP (24 Hz, 512 bits)
- Fréquence d'échantillonnage
 - 50 MHz (oscillateur interne ou source externe)

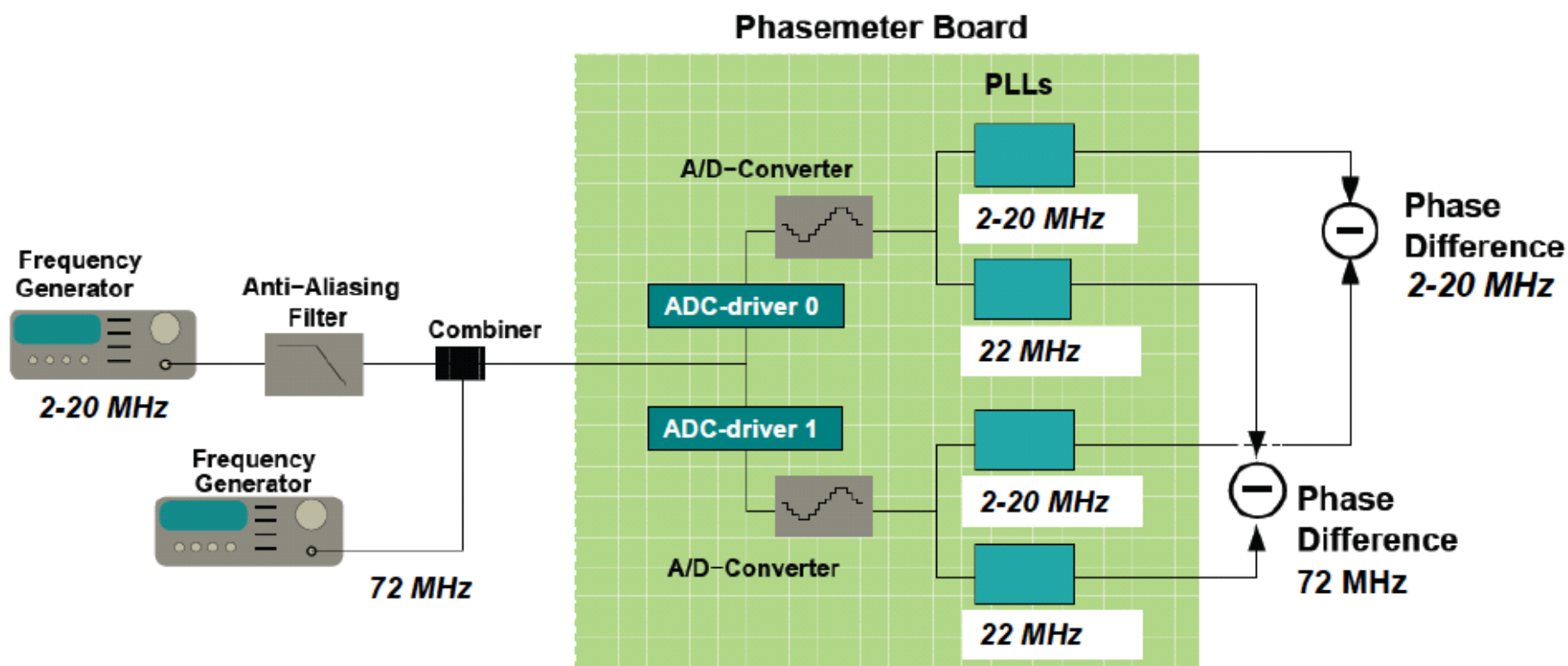
Acquisition et post-traitement

- **Le phasemètre est contrôlé par un PC LINUX avec un programme en C qui:**
 - Gère le port parallèle EPP
 - Initialise les fréquences des PLL numériques
 - Procède à l'acquisition des données de fréquences (codées sur 64 bits) et échantillonnée à 24 Hz
- **Le post-traitement est réalisée avec Matlab**
 - Utilisation de la Toolbox LTPDA réalisé pour la mission LISA Pathfinder (démonstrateur spatial lancé en décembre 2015)
 - Intégration des fréquences pour obtenir les phases
 - Calcul des spectre de puissance des bruits de phase avec la Tool-box

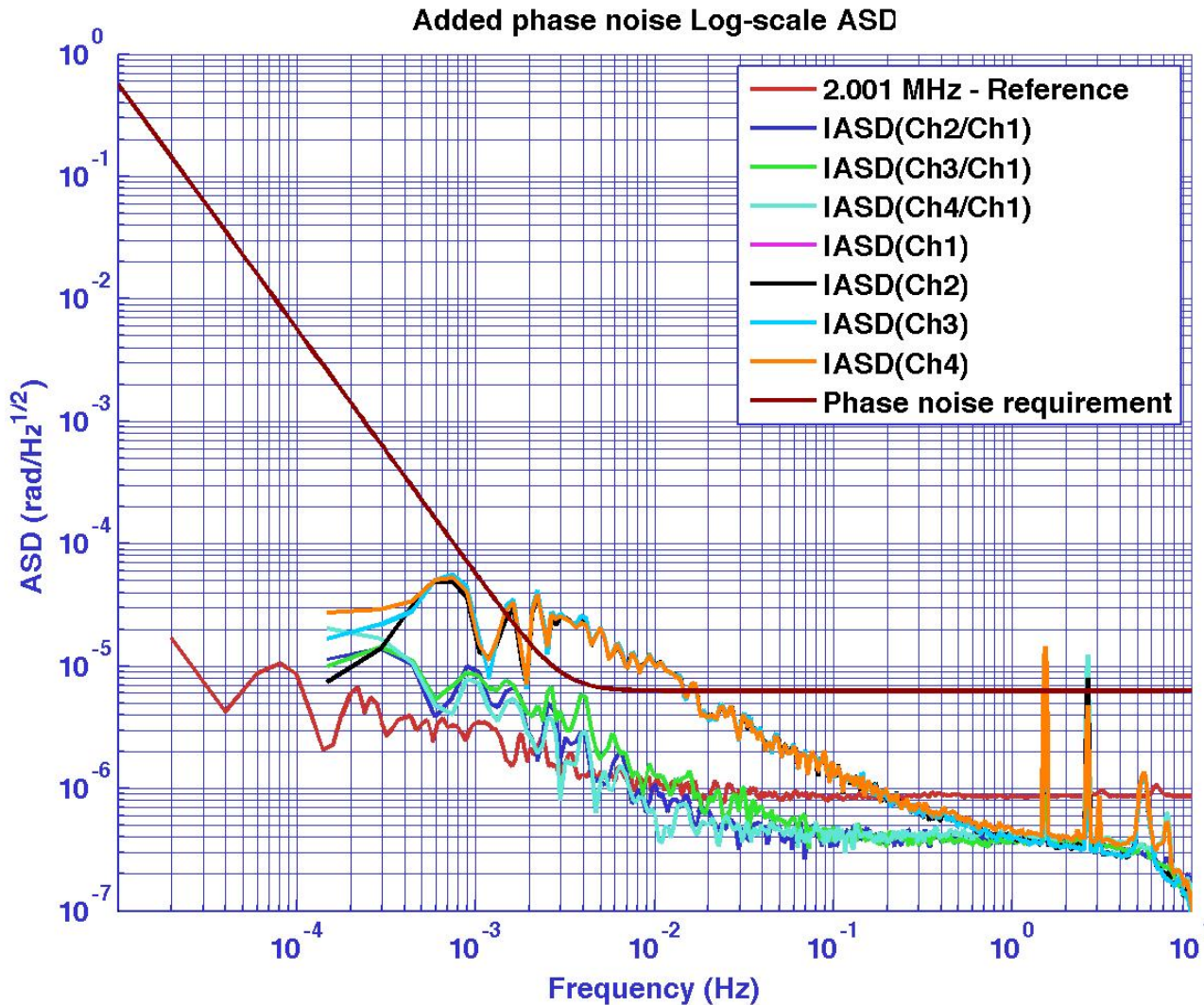


Test de mesure de bruit de phase avec correction de Jitter

- La contribution majeure de bruit de phase provient du « jitter » des convertisseurs A/D.
- Ce bruit de « jitter » peut être partiellement corrigé en additionnant au signal de mesure un signal de référence.



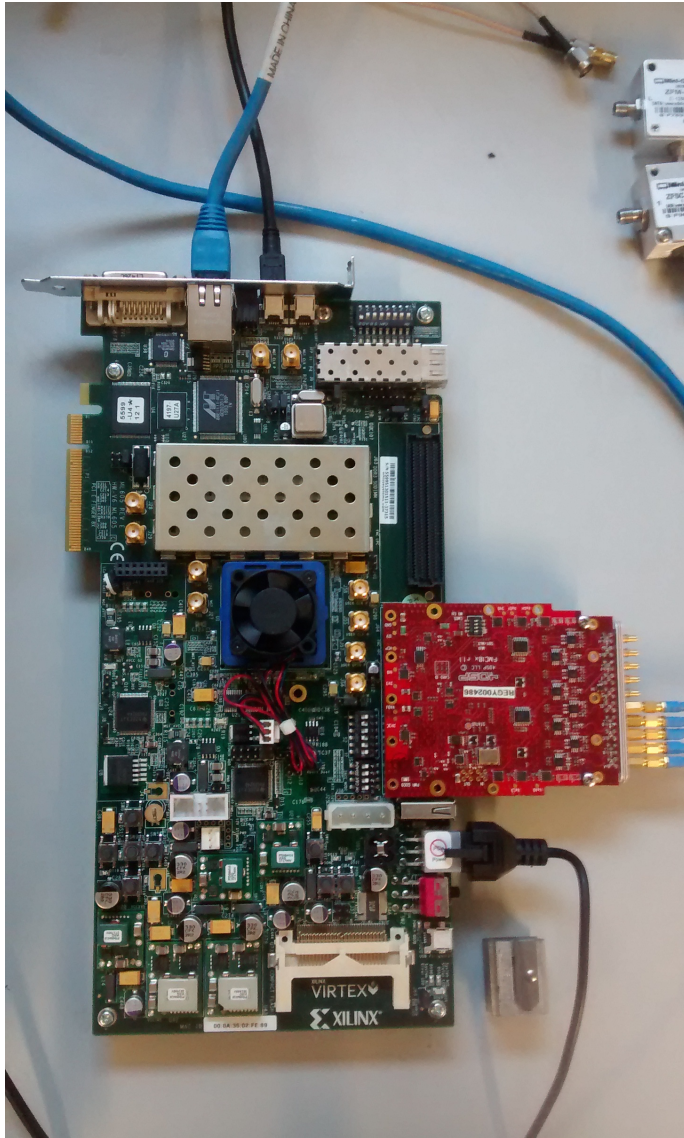
Résultat de mesure de bruit de phase du PM AEI V1 4 voies



- **Fréquence d'échantillonnage**
 - 50 MHz
- **Fréquence de mesure:**
 - 2,001 MHz
- **Fréquence de correction:**
 - 72,001 MHz
- **Synthétiseur:**
 - AFGG3102 TEKTRONIX
 - Voie 1: Mesure
 - Voie 2: Correction
- **Voies 1 et 2 splittées en 4 avec 2 ZMSC-4-1 (Minicircuits)**
- **Mesures et références additionnées avec combiner résistif (Minicircuits)**

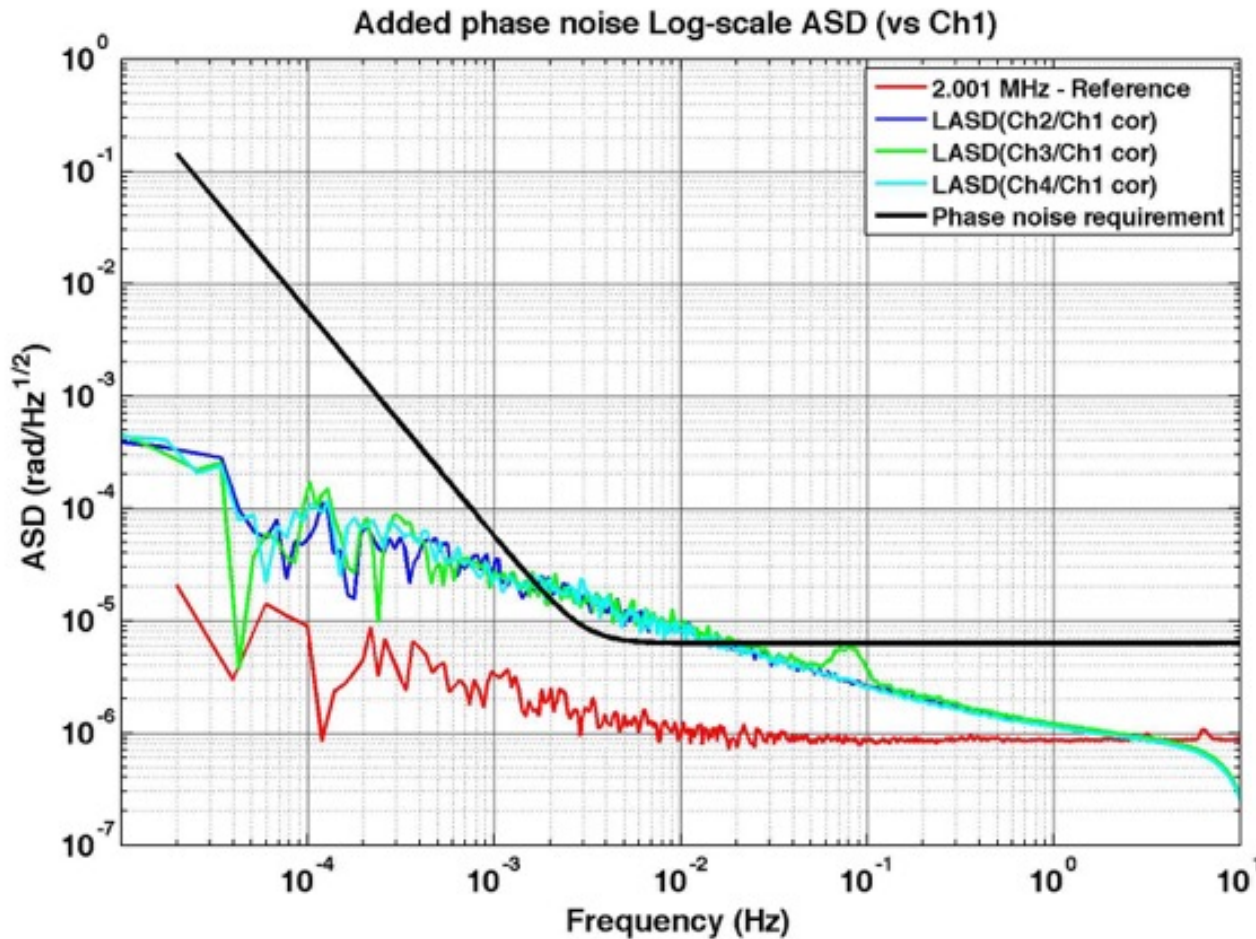


2^{ème} prototype de phasemètre (Albert Einstein Institut)



- Prototype basé sur des cartes du commerce
- Kit FPGA XILINX ML605 basé sur le FPGA Virtex-6 (XC6VLX240T-1FFG1156)
 - Coût: 1718 € HT chez FARNELL
- Possibilité de connecter des cartes Mezzanine FMC comportant des Conv. A/D:
 - FMC107 : connecteur FMC LPC, 8 voies, 12 bits 65Mps
 - Obsolète (chez 4DSP)
 - FMC108: connecteur FMC HPC, 8 voies, 14 bits 65 Mps (ADS62P49 Analog Devices)
 - Coût: # 4000 € HT chez ABACO SYSTEM
- Ou
- Port de lecture Ethernet

Résultat de mesure de bruit de phase du PM V2 AEI 4 voies



LTPDA 2.9.5.dev (R2014a), 2018-01-10 09:23:31.232 UTC, #pda: 0c94a50, AnalyseFrequencePM_AEI_3_CorJIL_V2

- PM AEI V2 avec ML605 et FMC107
- Fréquence d'échantillonnage
 - 40 MHz (interne)
- Fréquence de mesure:
 - 2,001 MHz
- Fréquence de correction:
 - 58,001 MHz
- Synthétiseur:
 - AFG3102 TEKTRONIX
 - Voie 1: Mesure
 - Voie 2: Correction
- Voies 1 et 2 splittées en 4 avec 2 ZMSC-4-1 (Minicircuits)
- Mesures et références additionnées avec combiner ZFSC-2-1-W+ (Minicircuits)



Conclusions

- **Phasemètre numérique basé sur PLL numérique implémenté dans un FPGA conforme aux exigences de bruit de phase dans la bande requise pour LISA (1 mHz – 10 Hz)**
- **Correction de Jitter des ADC nécessaire avec une référence de fréquence RF**
- **Cette référence de fréquence RF doit avoir un bruit de phase dans cette bande de mesure (1 mHz – 10 Hz) meilleure que la performance exigée pour le phasemètre:**
 - **Relativement aisé avec une référence de fréquence fixe : horloge du satellite (USO 2400 MHz) divisée par des diviseurs ultra-bas bruit de phase**
- **Mesure de performance du phasemètre avec des signaux de tests de fréquence ajustable avec un bruit de phase meilleure que la performance exigée pour le phasemètre**
 - **Très difficile à obtenir: solution en étude à l'APC basé sur un DDS asservi avec phasemètre type LISA, par rapport à une fréquence fixe**



DDS asservi par un phasemètre

