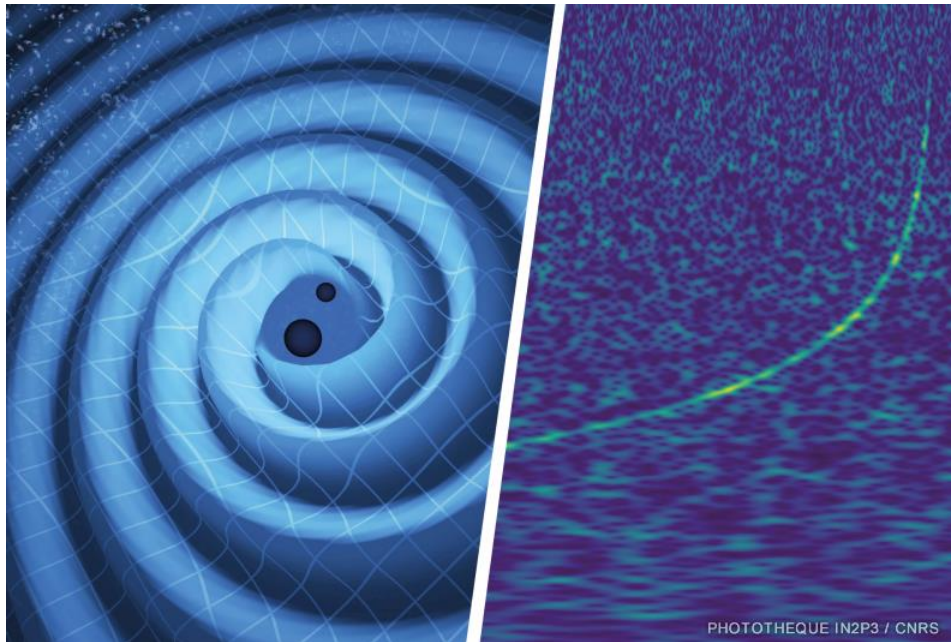


La DAQ sur l'expérience VIRGO

26/06/2025 JME session DAQ

Nicolas LETENDRE, Alain Masserot, Emmanuel Pacaud, Sylvain Petit, François Frappez, Benoit Mours, Loïc Rolland

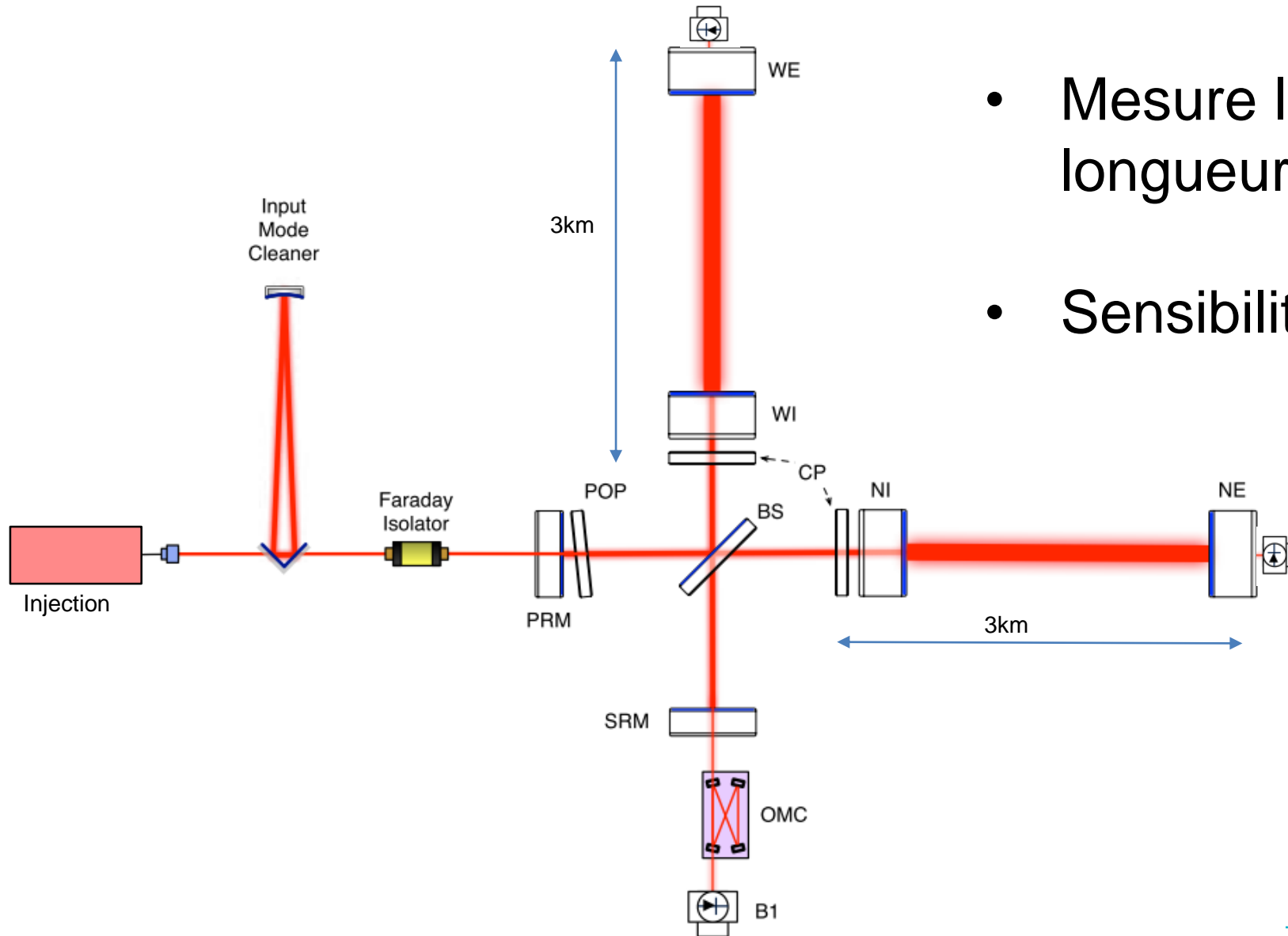
- Interféromètre de Michelson, situé en Italie (Pise), “bras” de 3km
- Détection d’ondes gravitationnelles



*Exemple de source d'ondes gravitationnelles
Coalescence d'étoiles à neutrons*



L'interféromètre Virgo



- Mesure la différence de longueur des « bras »
- Sensibilité: 3×10^{-20} m à 100Hz

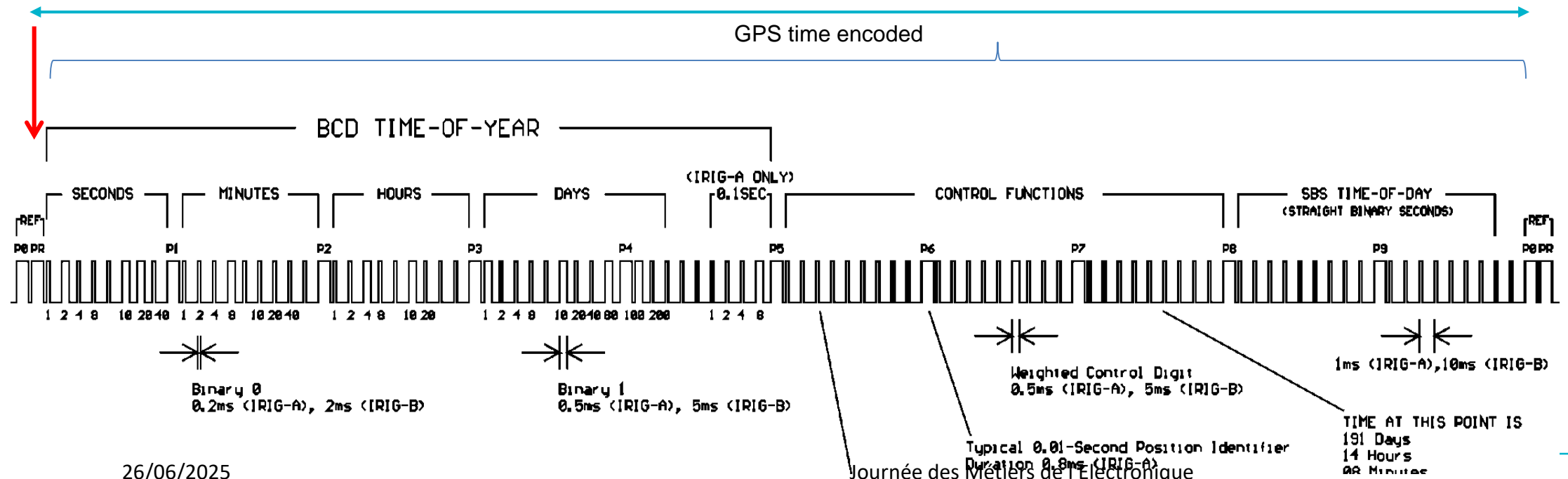
- Synchronisation et datation des données
- Acquisition / boucles de contrôle
- Software

- Objectif
- Synchroniser toutes les cartes en tout point de l'expérience
 - Dater les données

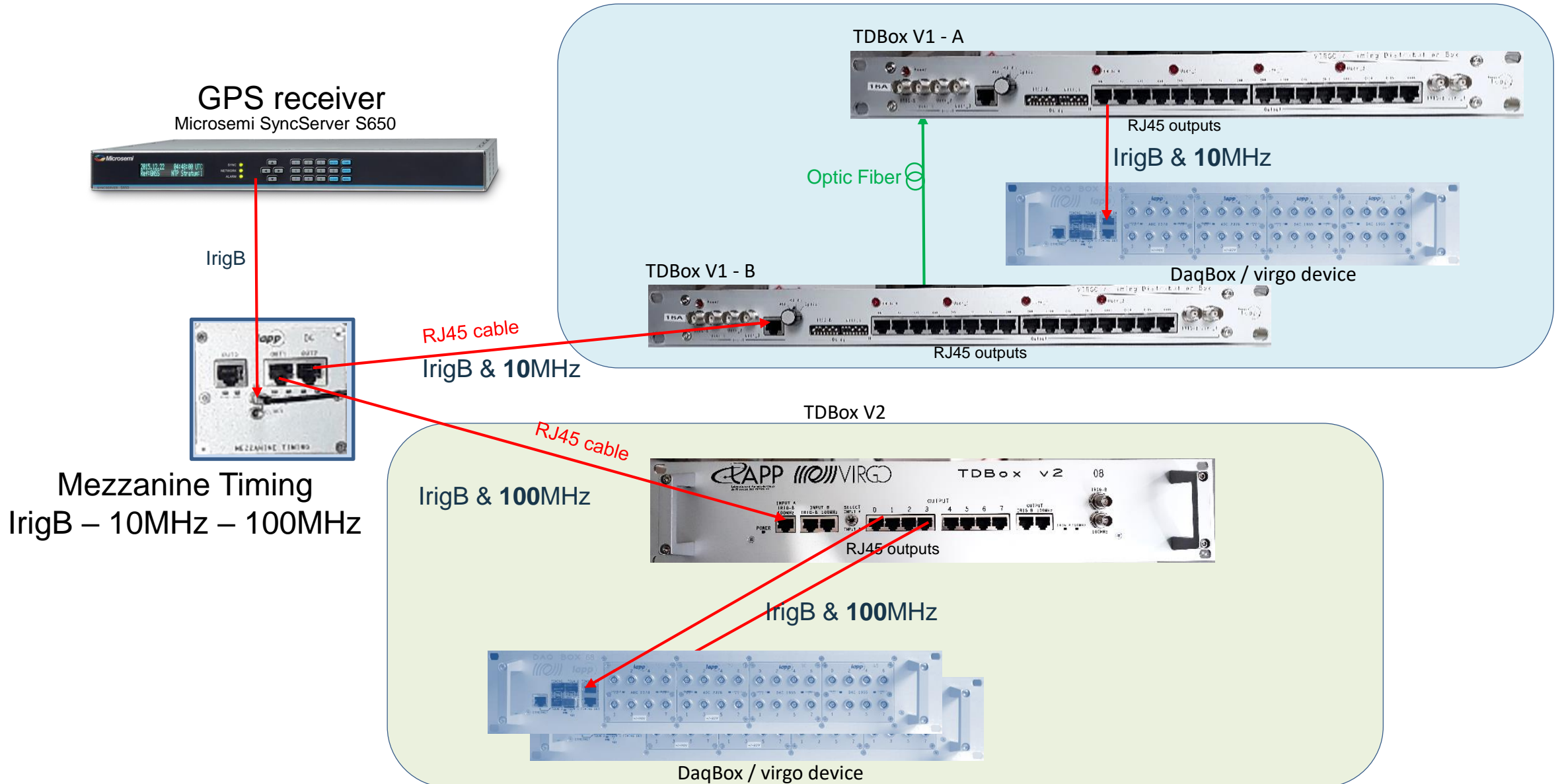
- Comment
- Utilisation de trames IrigB
 - 1PPS 1 pulse par second → synchronisation
 - Temps GPS → datation
 - Distribution d'une horloge 10MHz ou 100MHz → synchronisation
 - Standard physique LVDS, sur les paires différentielles des câbles Ethernet

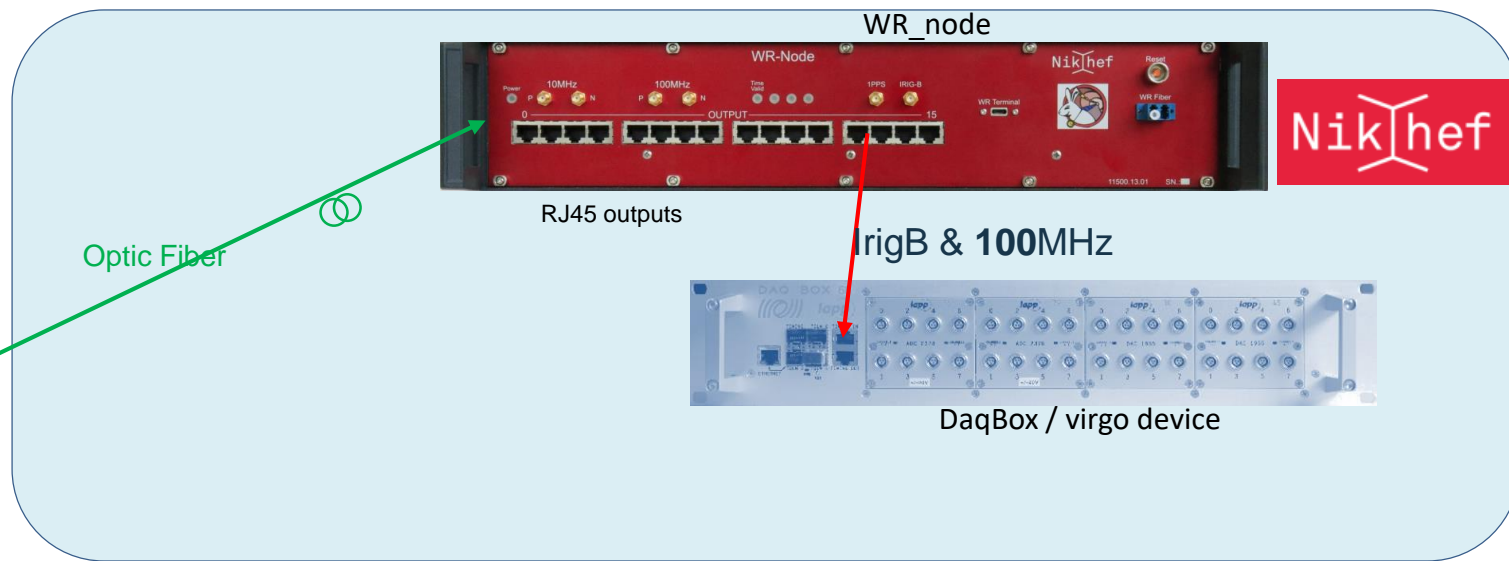
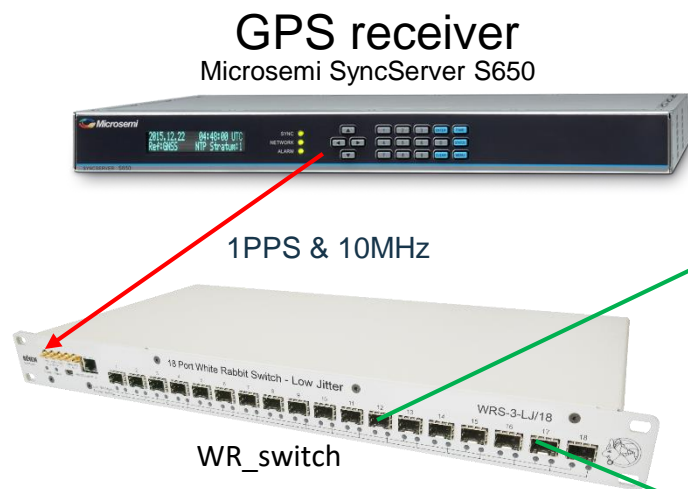
PPS (One Pulse Per Second) info

Irig-B frame



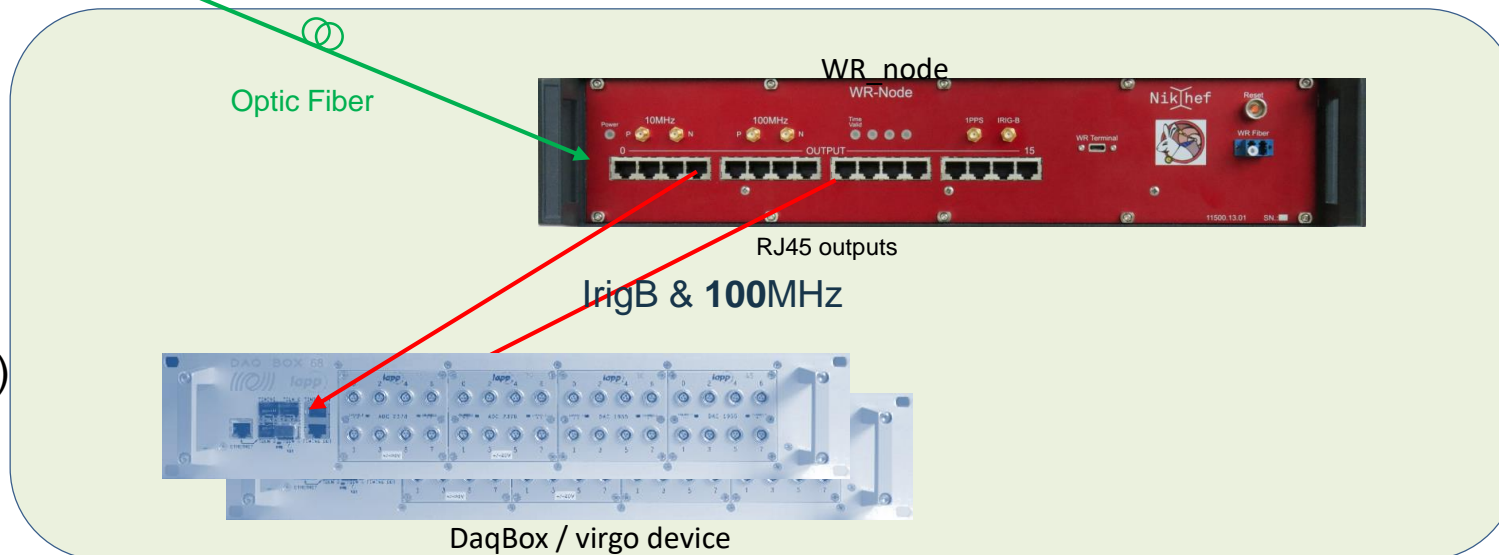
Distribution du "Timing"





Passage au **White Rabbit**

- WR_node → conversion WR – Virgo timing
- amélioration bruit phase d'horloge distribuée
- immunité CEM (fibres optiques)



Spécificités Virgo

- **Nombreuses boucles de contrôle**
 - conversion AN et NA + Système temps réel – fréquence des boucles 10kHz, jusqu'à 500kHz
- **Boucles locales et globales**
 - distribution des données en tout point de l'expérience
- **Diversité des capteurs / actionneurs**
 - Polyvalence sur les ADC/DAC, Fréquences échantillonnage (100Hz to 1MHz), plage d'entrées / sorties analogiques
- **Besoins différents** en fonction des bancs/Labs à équiper, nombreux sous-systèmes
 - adaptabilité, modularité
- **Signaux « sensibles »**
 - chaîne faibles bruits (quantification, électronique...)
- **Environnement exigeant**
 - dissipation de chaleur limitée, pas de ventilateur



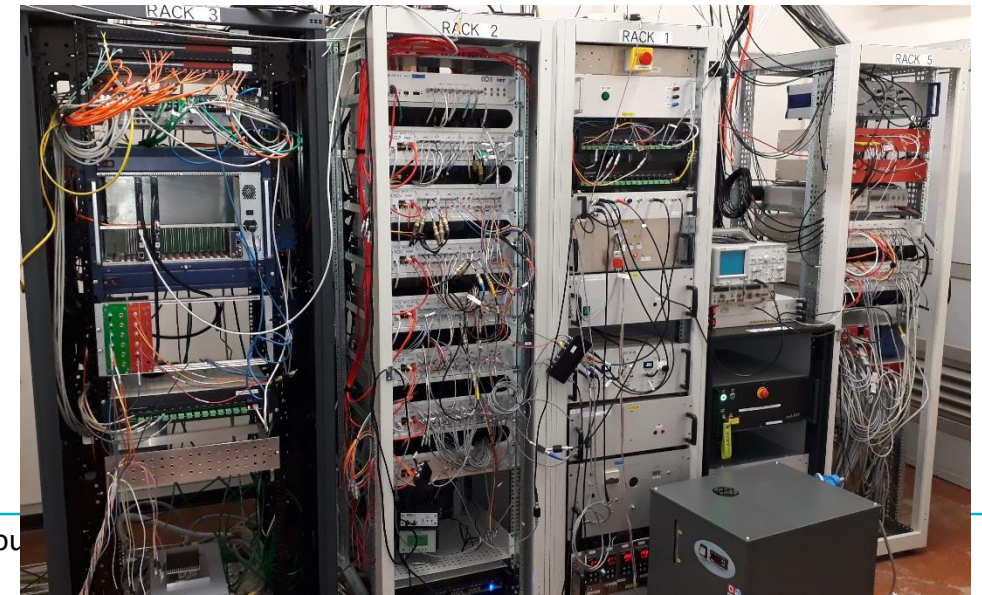
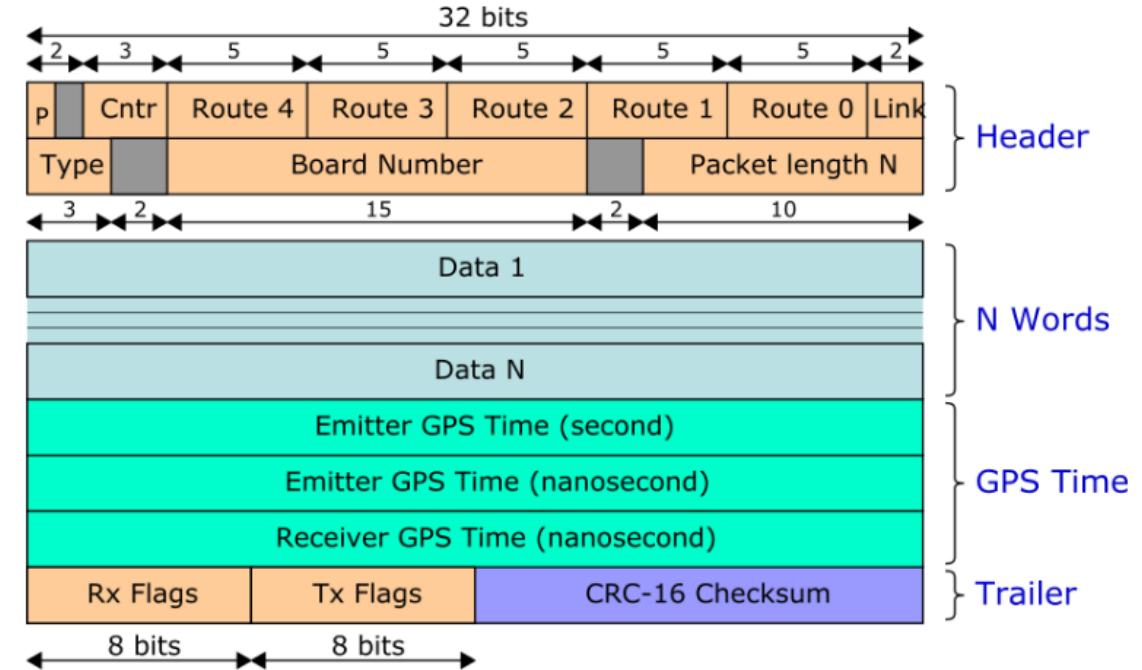
- Protocole d'échange de donnée « maison » Tolm
 - Echange par paquets
 - Peu de surcharge
 - Liaisons sur fibres optiques
- Traitement des données sur RTPC
 - Serveur avec Linux + patch RT (Real Time, RTAI)
- Interface PC/ réseau optique par carte PCIe
 - DMA sur RTPC + interruptions

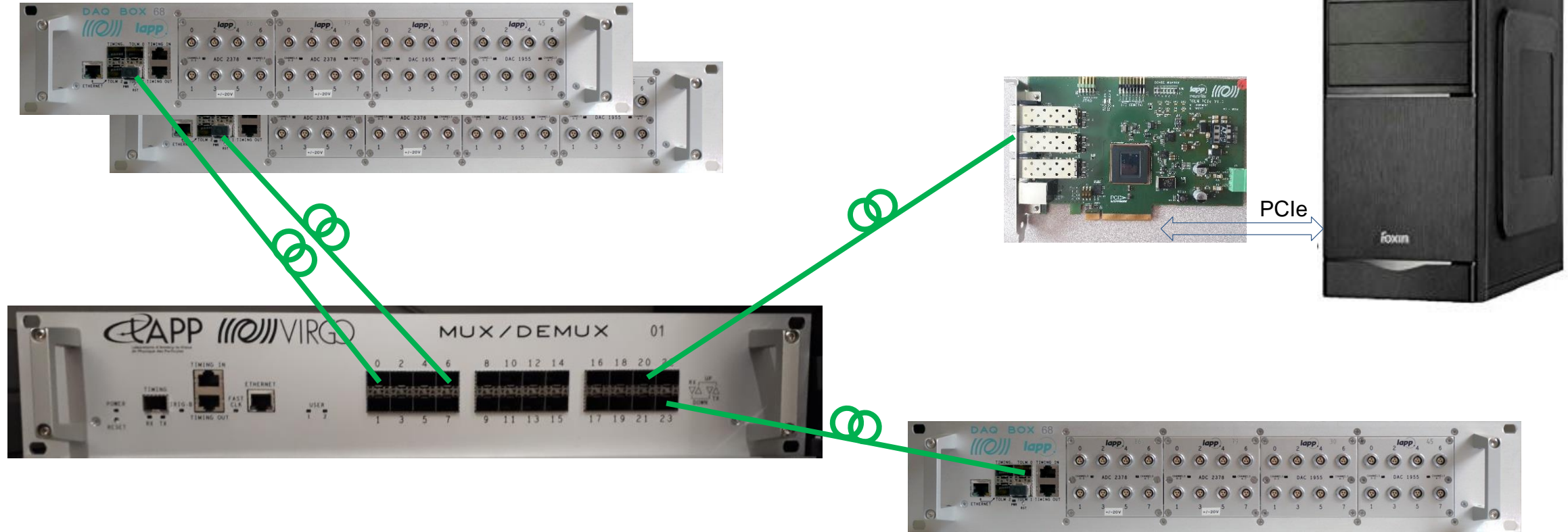


- Carte de routage des données: MuxDemux



- Acquisition front end: DaqBox, Pisa DSP, Phase camera...



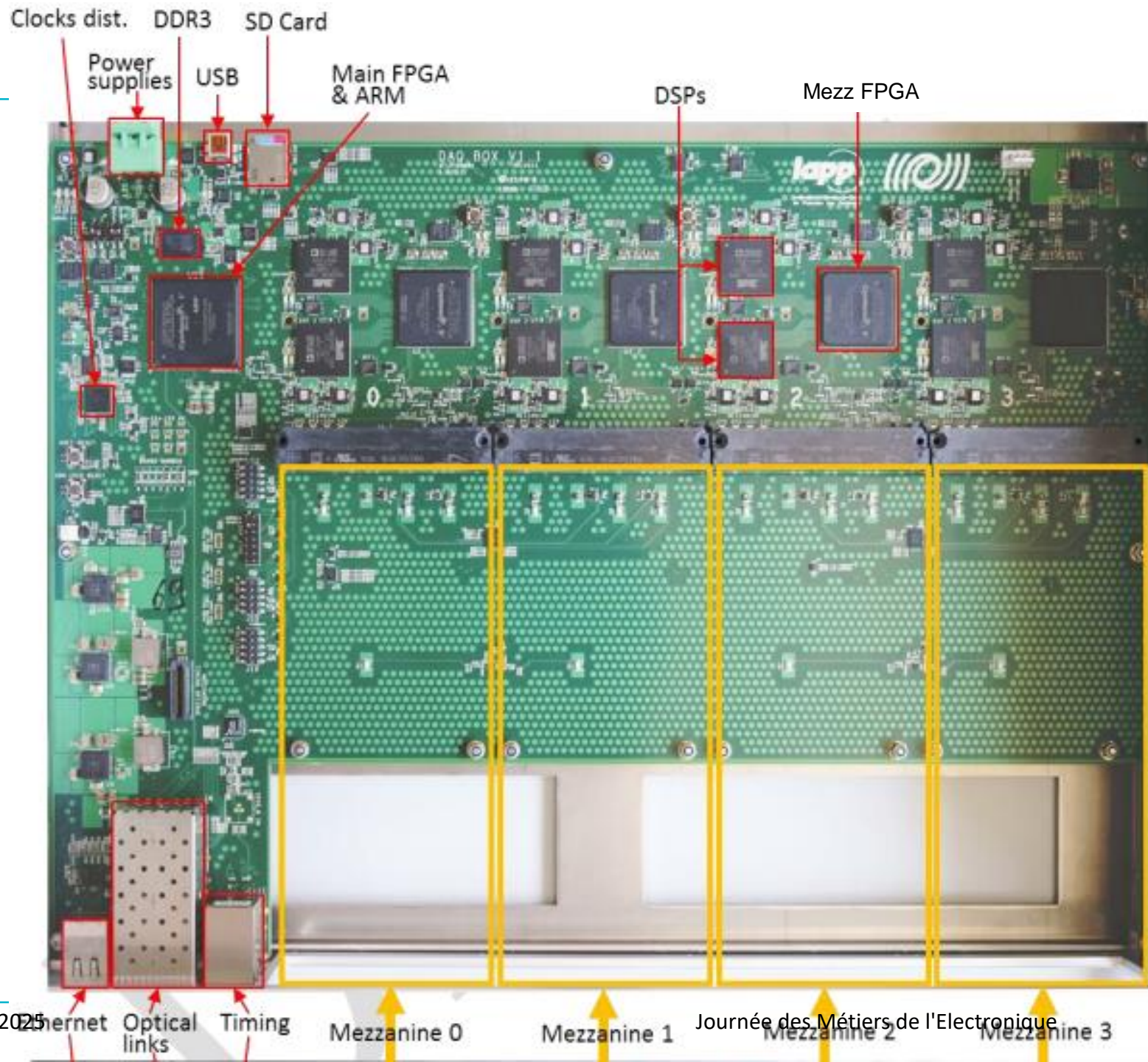


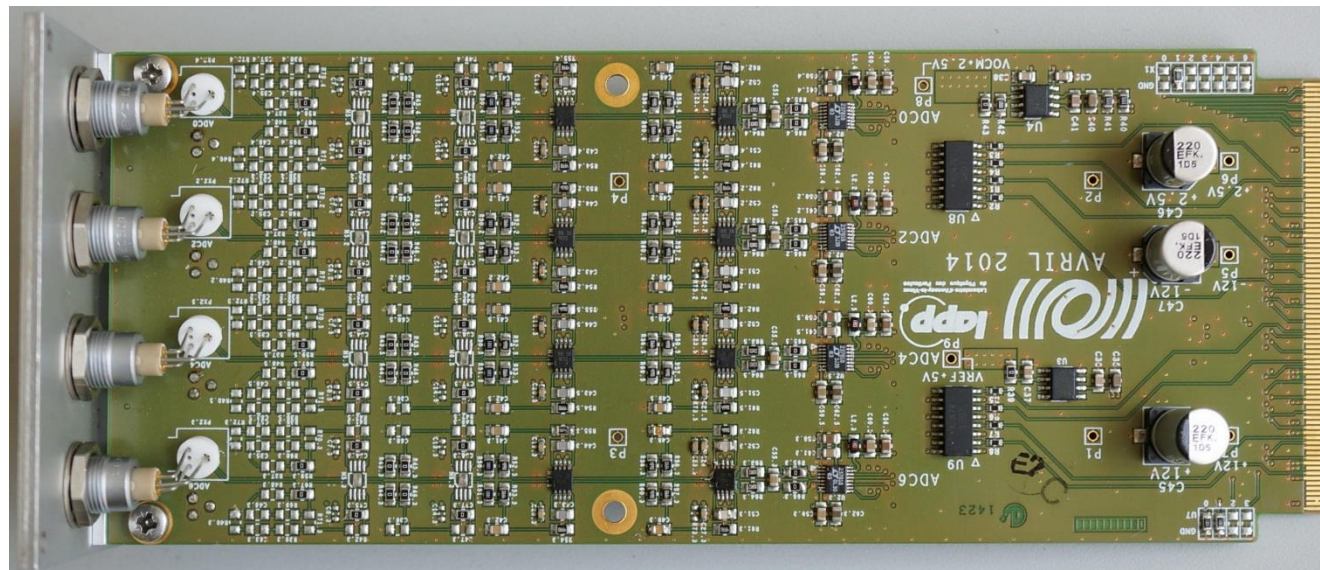
Réseau optique: pour le transfert des données temps réel et la configuration

- **Mux/Demux** : routeur de paquets TOLM, 24 entrées sorties
- **Tolm** (Timing and Optical Link board) 3 ports optiques, PCIe port (gen2 8x).
- Front end DaqBox avec 3 liens optiques, chainable
- Liens optiques à 2.5Gb/s, possible augmentation dans le futur si besoin

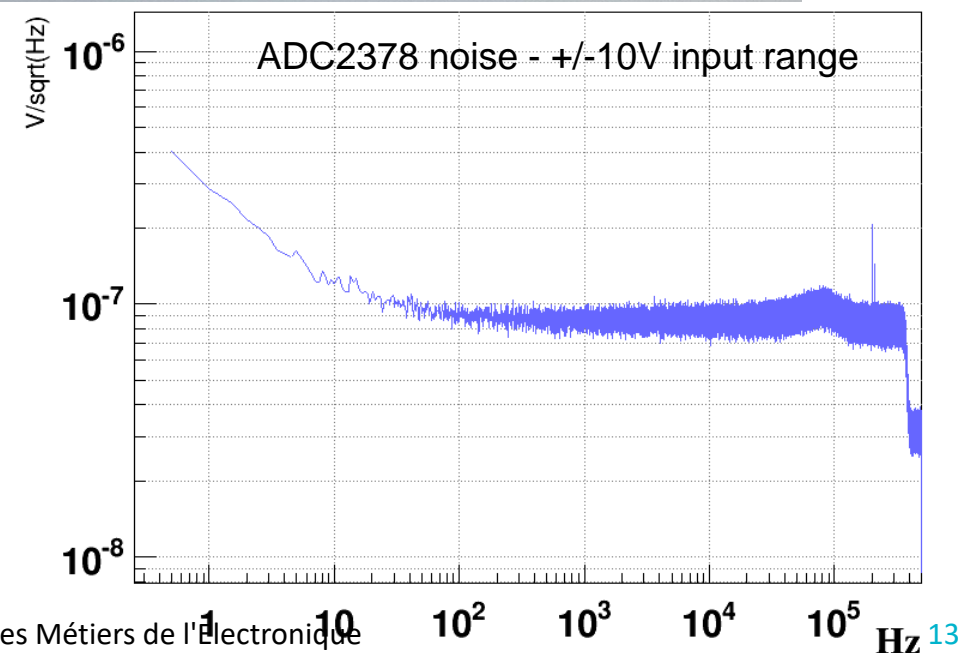


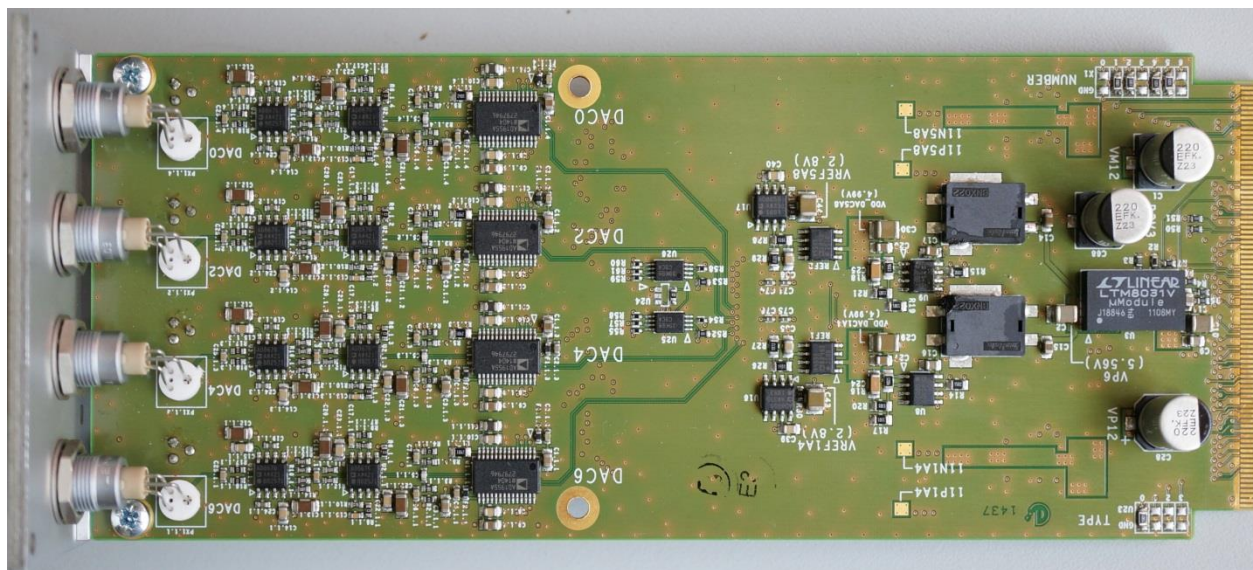
- Partie importante du front end Virgo
- Système modulaire, basé sur des mezzanines
- Mezzanines:
 - supporte uniquement les fonctions “utilisateurs” (ADC, DAC, demodulation, etc...)
 - réduction des coûts
 - Partie numérique (FPGA, DSPs) sur la carte mère
 - Evolutif (possibilité de faire d'autres mezzanines)
- Transferts des données et configuration par interface TOLM
- Synchronisé par le timing Virgo, ou mode standalone
- Mise à jour des Firmwares à distance par Ethernet



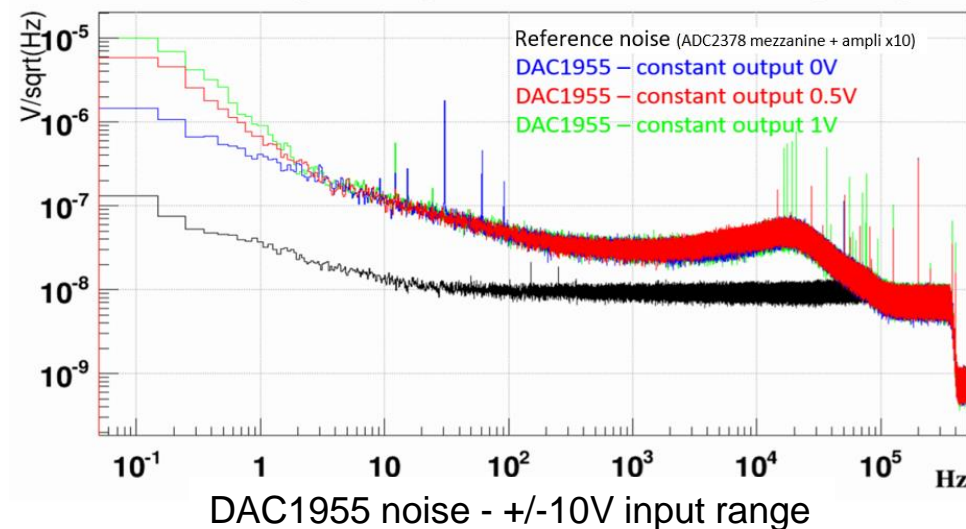


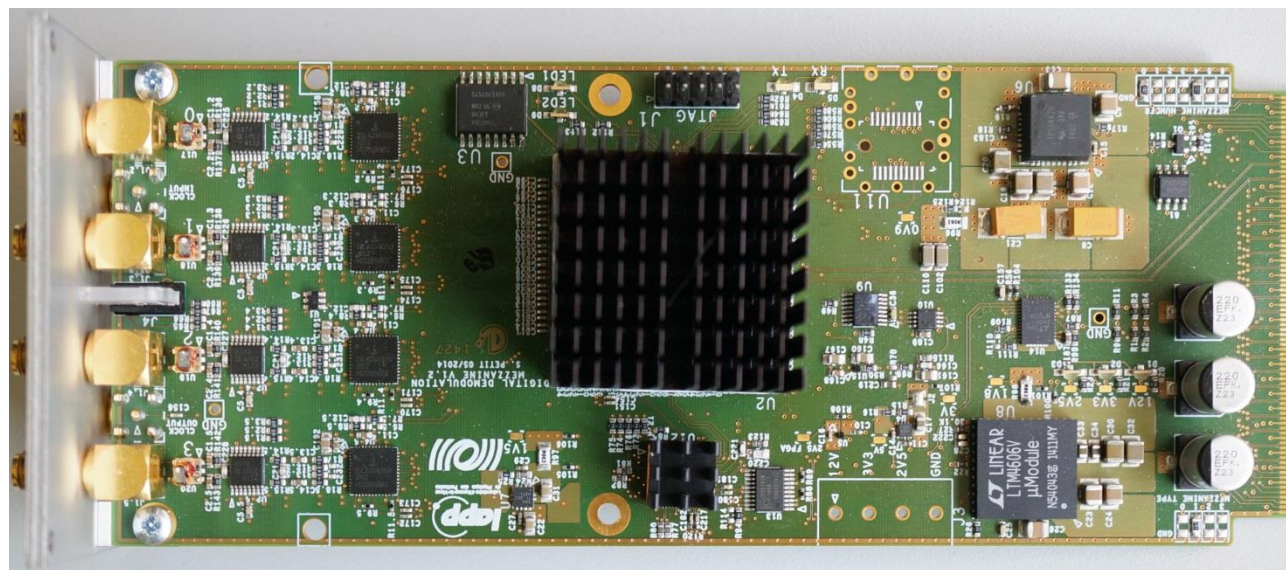
- 8 canaux ADC
- 18-bit, Fec jusqu'à 1MHz
- $\pm 10V$ entrées différentielles (possible $\pm 20V$ version)
- $90nV/\sqrt{Hz}$ (pour entrée $\pm 10V$)
- Filtrage numérique et décimations dans les DSP pour réduire la fréquence de sortie des données.



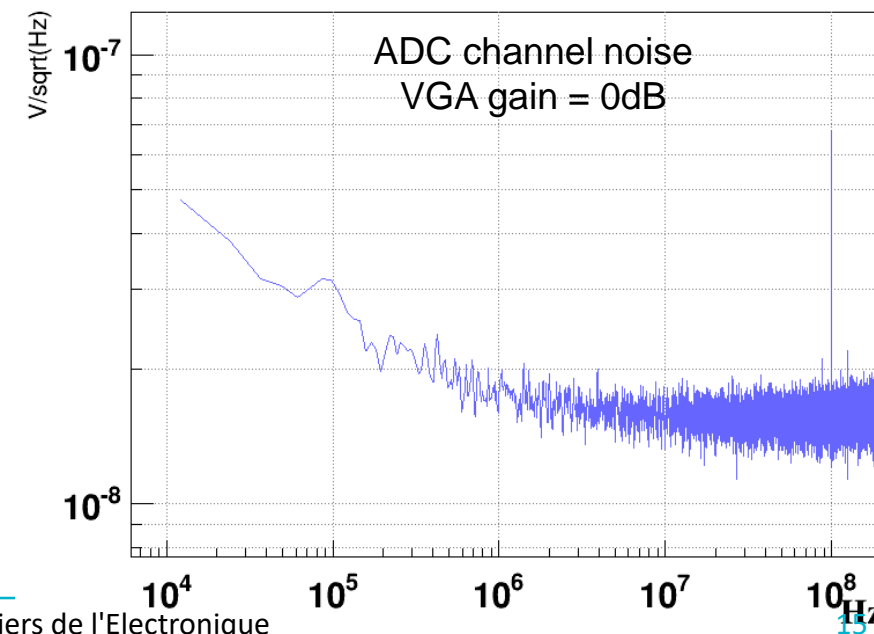


- 8 canaux DAC
- 24-bit, jusqu'à 400kHz update rate
- $\pm 10V$ sorties différentielles (possible $\pm 20V$ version)
- $\pm 20mA$ courant de sortie
- Filtre d'interpolation dans les DSP pour s'adapter à la fréquence des données en entrée.

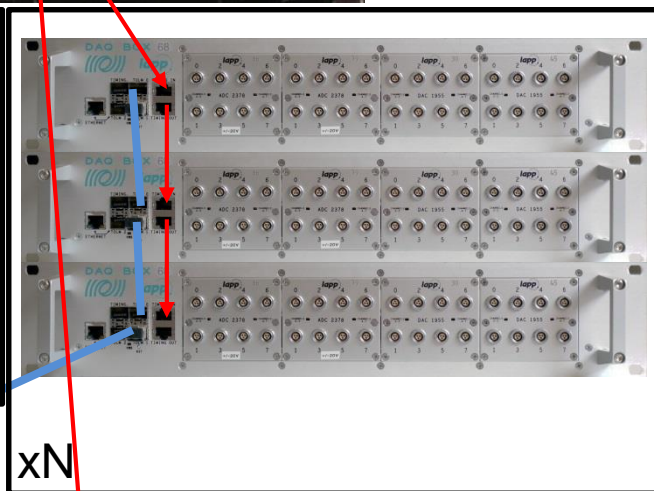
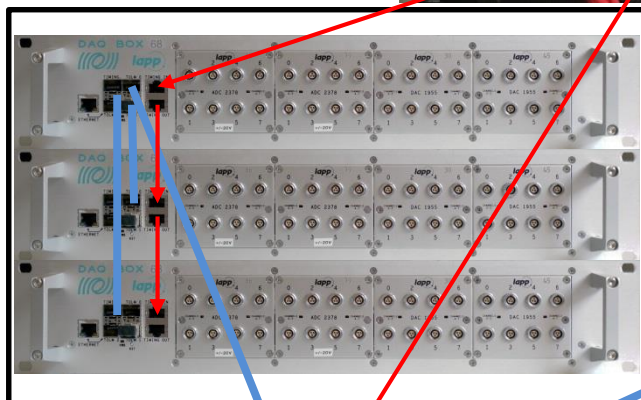




- 4 canaux ADC:
 - ADC 14-bit, Fec 400MHz
 - Variable Gain Amplifier avec des gains de -25dB à +34dB
 - Noise < 18nV/√Hz above 1MHz (Gain 0dB)
 - Can output Bunch of raw ADC data
- Digital demodulation
 - Up to 8 demodulation frequencies per ADC
 - Digital filtering and decimation in DSPs → reduce output data rate.



GPS Receiver



Système DAQ large

Système DAQ standalone

(no need for: TDBox, MuxDemux, GPS receiver)

DaqBox as timing master



Chainage données et timing possible dans les DaqBox
→ flexibilité

Le système peut être utilisé:

- Pour des bancs simples, sans timing ni MuxDemux
- Pour des expériences avec plusieurs centaines de canaux

VMP (Virgo Process Monitoring)

configuration des cartes , surveillance des process
archivage des configurations

ACL:

calculs sur les données en temps reel
boucles de controle

Format "Frame"

utilisé pour le stockage et l'échange de données (Ligo)
bibliothèque software associés

Visualisation : DataDisplay

Mode temporel, fréquentiel etc..
Visualisation on-line et off-line

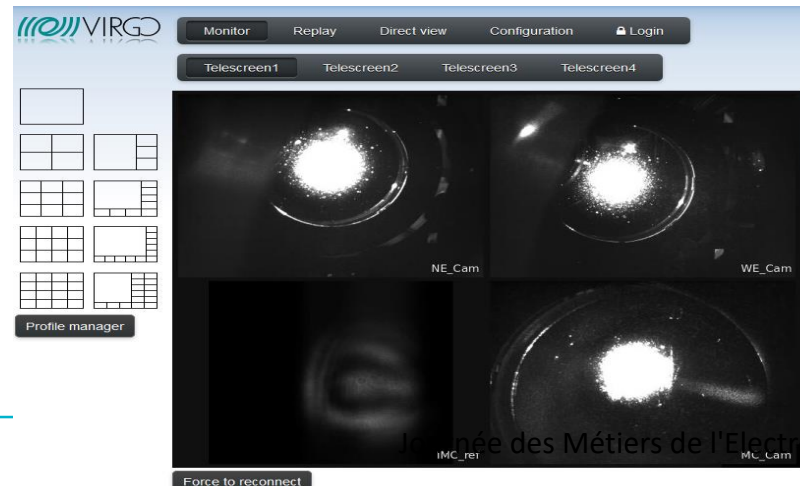
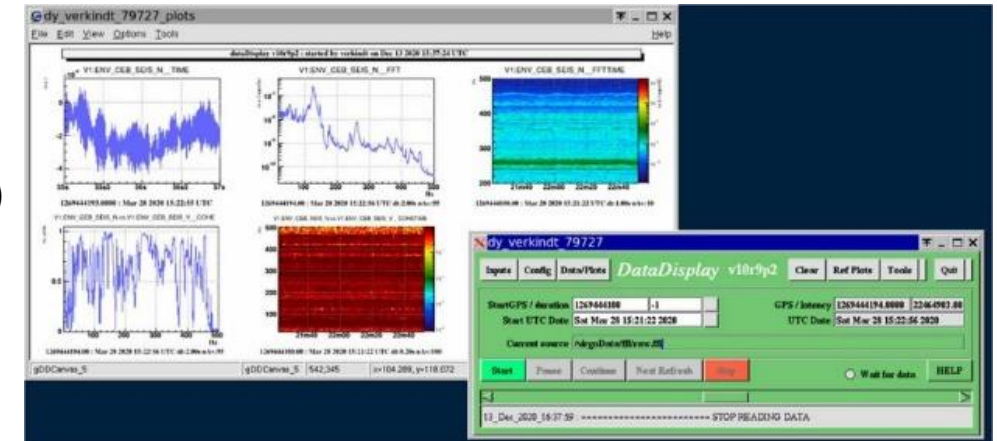
Visualisation de videos: Telescreen

faisceaux optiques

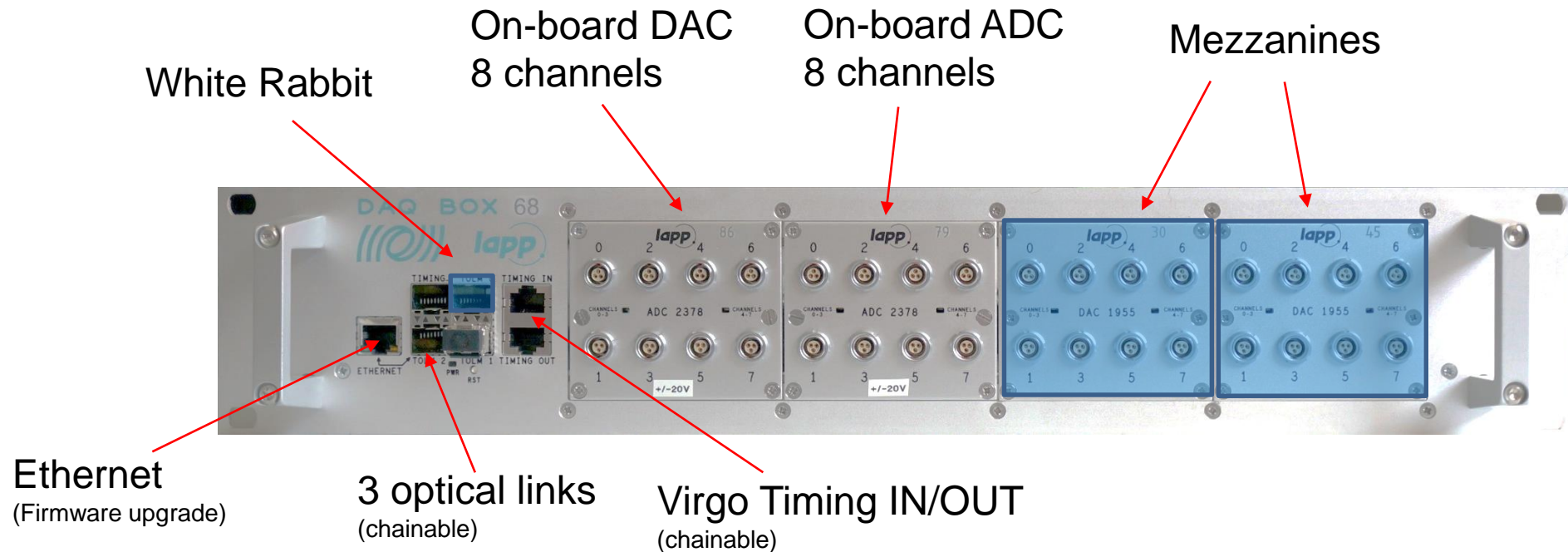
user: masserot - Logout

Mezzanine Service SDB2_MezzPD0

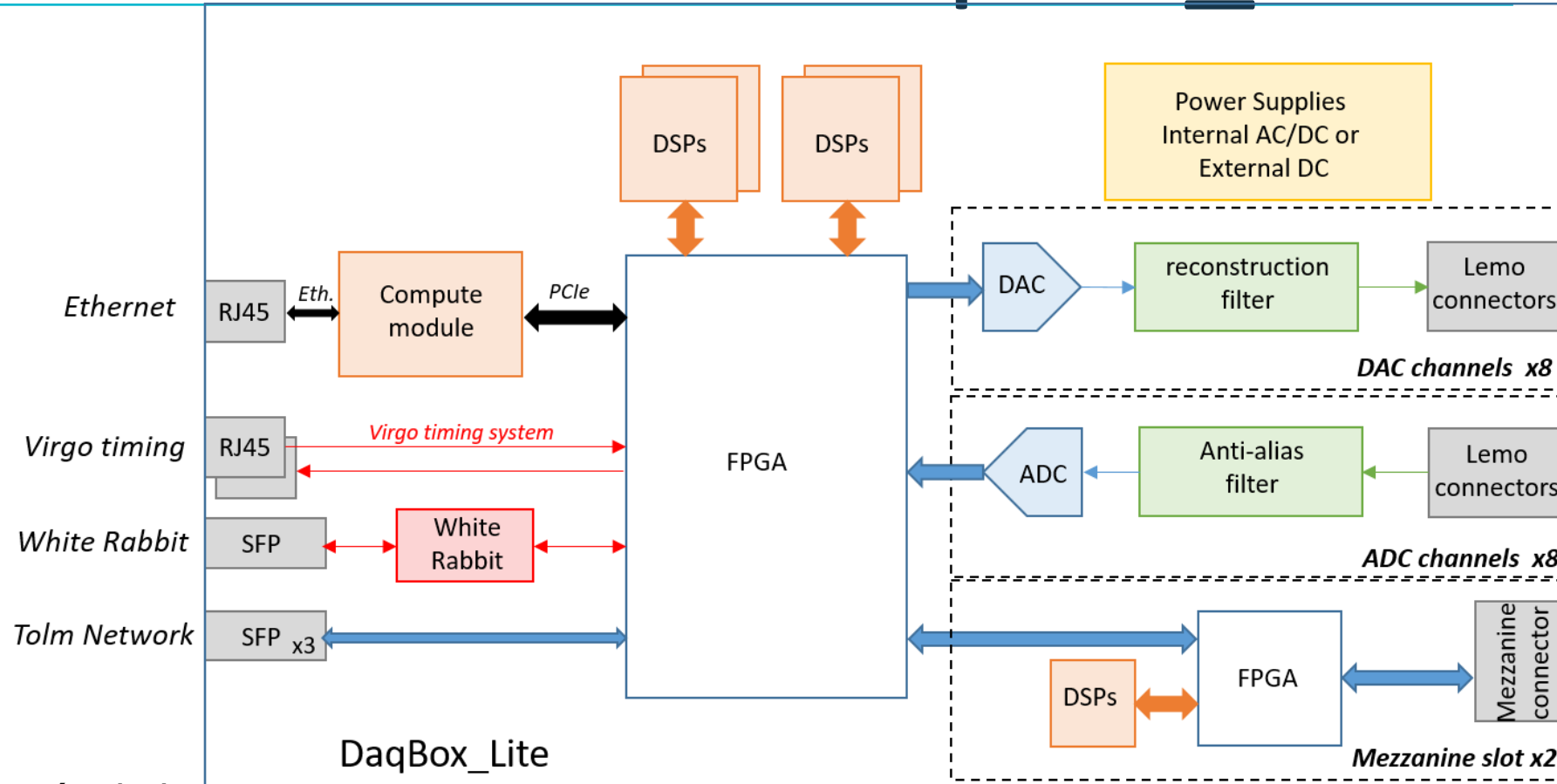
| Photodiode | | Vbias | Shutter | | |
|--------------|---------|-------|---------|------|------------|
| SDB2_B1_PD1 | Enabled | Rearm | Off | Open | Open Close |
| SDB2_B1p_PD1 | Enabled | Rearm | Off | Open | Open Close |
| SDB2_B1p_PD2 | Enabled | Rearm | Off | Open | Open Close |
| SDB2_B1p_PD1 | Enabled | Rearm | Off | Open | Open Close |



- Distribution du temps full WhiteRabbit → futures cartes compatibles WR
- DaqBox_Lite
 - nouveaux ADC/DAC, 8 ADC et 8 DAC intégrés
 - 2 mezzanines
 - box autonome

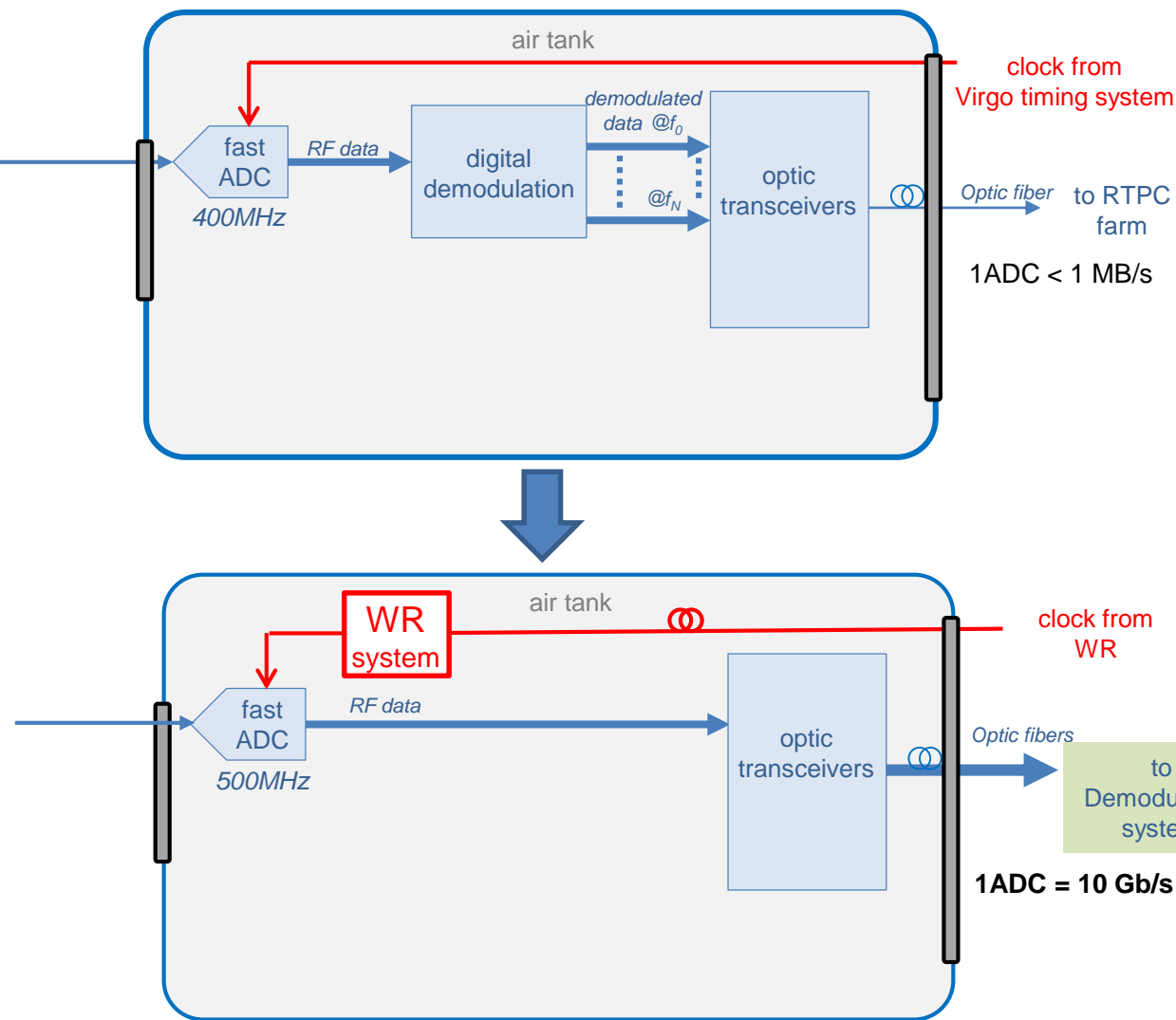


Futur – DaqBox Lite



Principales évolutions

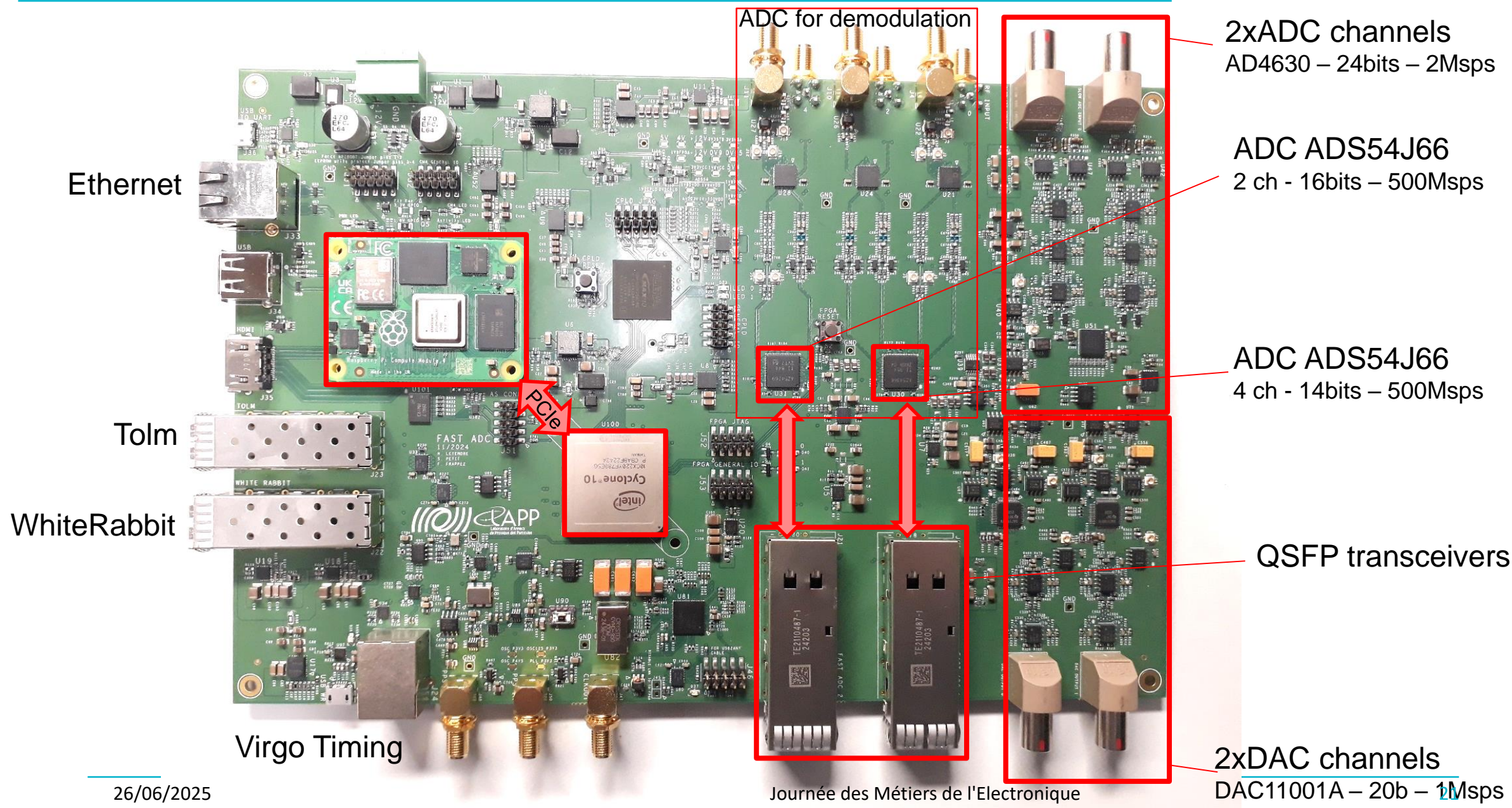
- On board ADC channels (8 channels @ $\geq 1\text{MHz}$)
- On board DAC channels (8 channels @ $\geq 1\text{MHz}$)
- 2 mezzanines
- “Virgo” timing system and WhiteRabbit → Développement WR en collaboration avec IJCLab
- Système autonome (RTPC embarqué, pas de distribution de temps) via Ethernet




- **Démodulation numérique externe:**
 - plus de puissance de calcul
 - évolutif
 - moins de dissipation thermique « sous vide »
- **Défis techniques:**
 - débit de données à sortir (sur Virgo: 25 ADCs / banc optique) 25x10Gb/s par banc
 - Conception de la liaison optique (coût; Connecteurs, etc..)
 - Dissipation thermique...
 - traitement des données

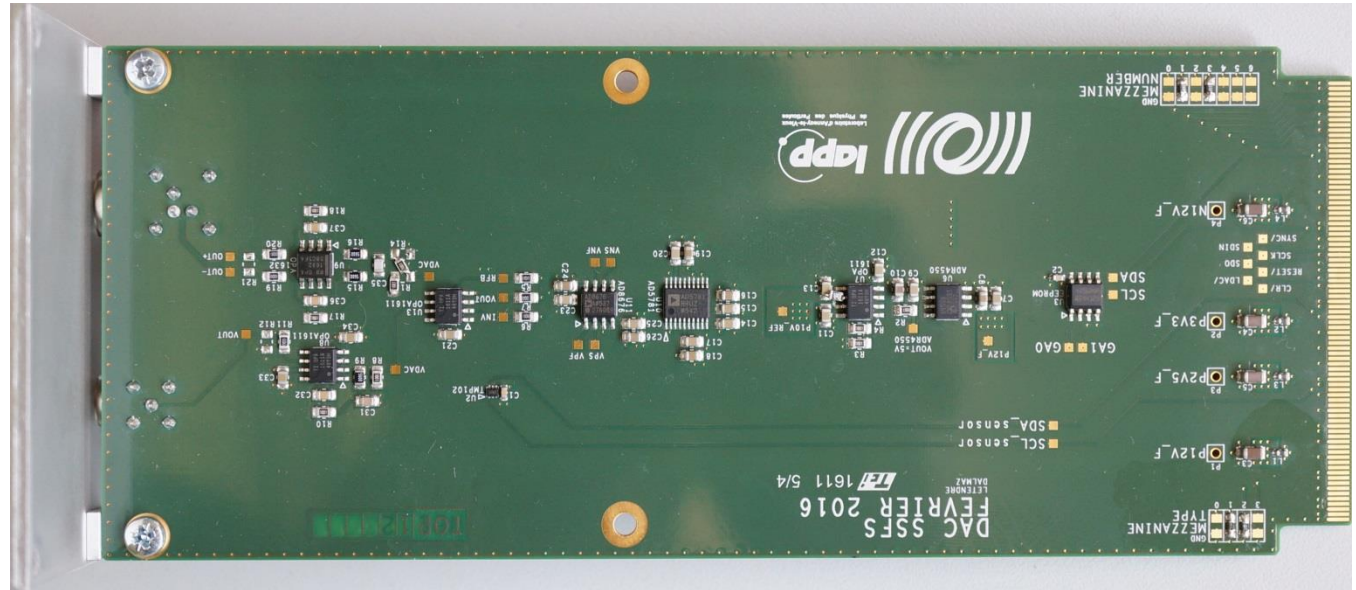
• Carte Agilex7 pour test démodulation



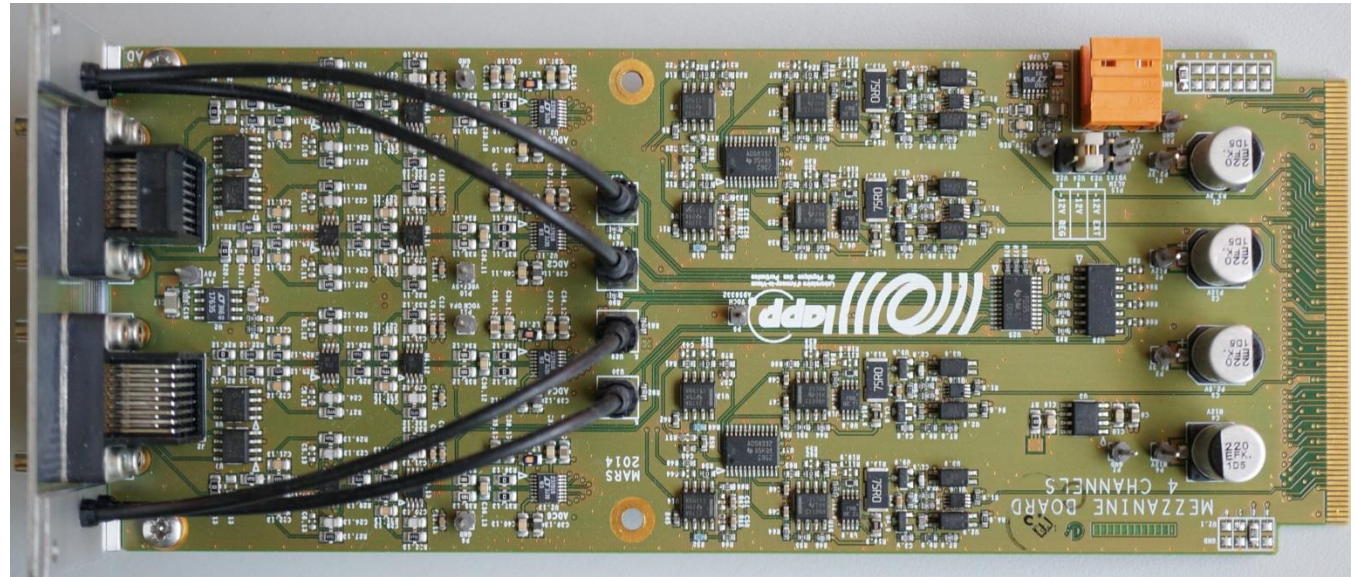
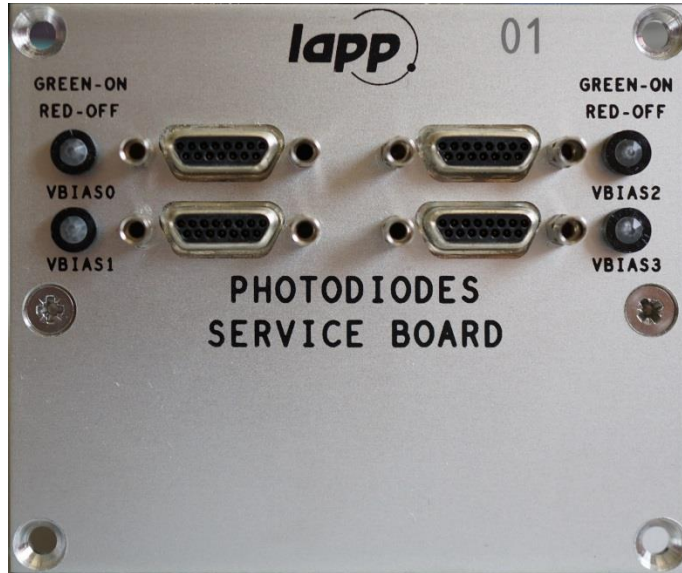


- Système de timing fonctionnel depuis 2008, évolution en 2016 puis 2026
- Système DAQ fonctionnel depuis 2016, avec des upgrade en 2020, puis 2027
A suivi les évolutions du détecteurs
- Sur Virgo, mais pas seulement
achat du système par ET Pathfinder
installation de setups dans plusieurs labos (IJCLab, APC, LAPP, IPHC, Nikhef, labos Italiens)

- R&D en cours sur la démodulation numérique mais en standby par manque de personnel
- Développement et production de la DaqBox_Lite et mezzanine ADC pour Advanced Virgo phase II (2027)

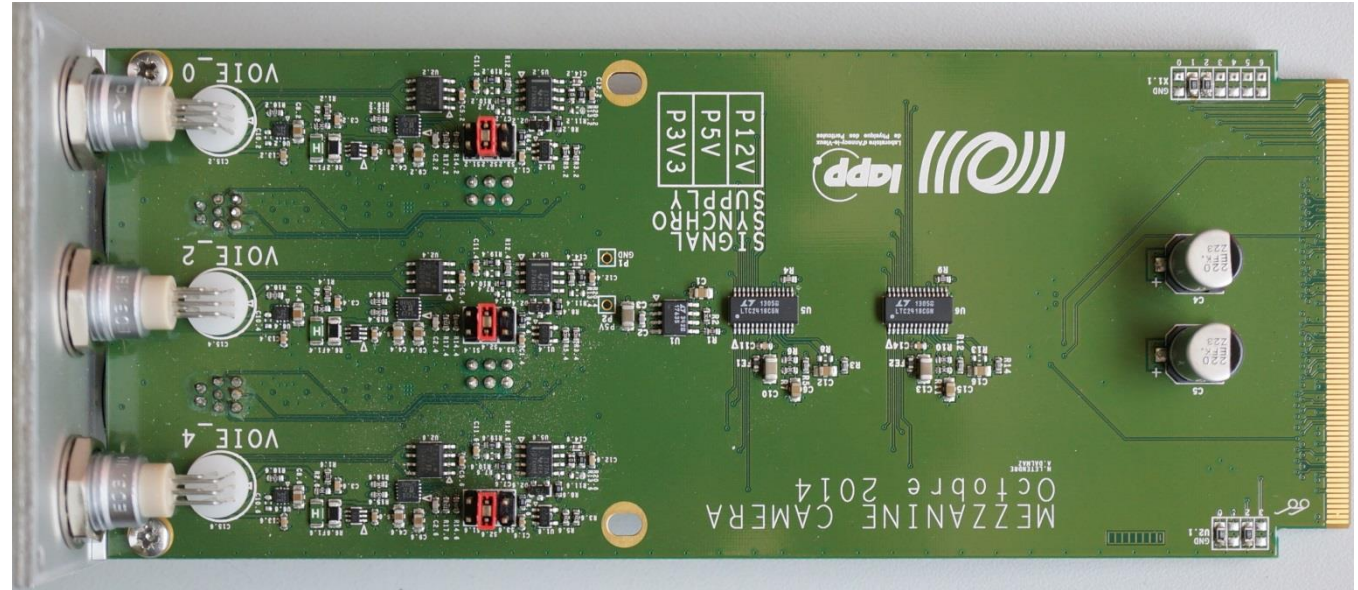
Backup slides



- 1 channel DAC
 - 18-bit DAC, 1 MHz output rate
 - $\pm 10\text{V}$ Single-ended and $\pm 10\text{V}$ differential outputs
 - Up to $\pm 30\text{mA}$ output current
 - Output noise $< 100\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ above 100Hz (measured for +2,5V output)
- Used in virgo for high speed control loop.



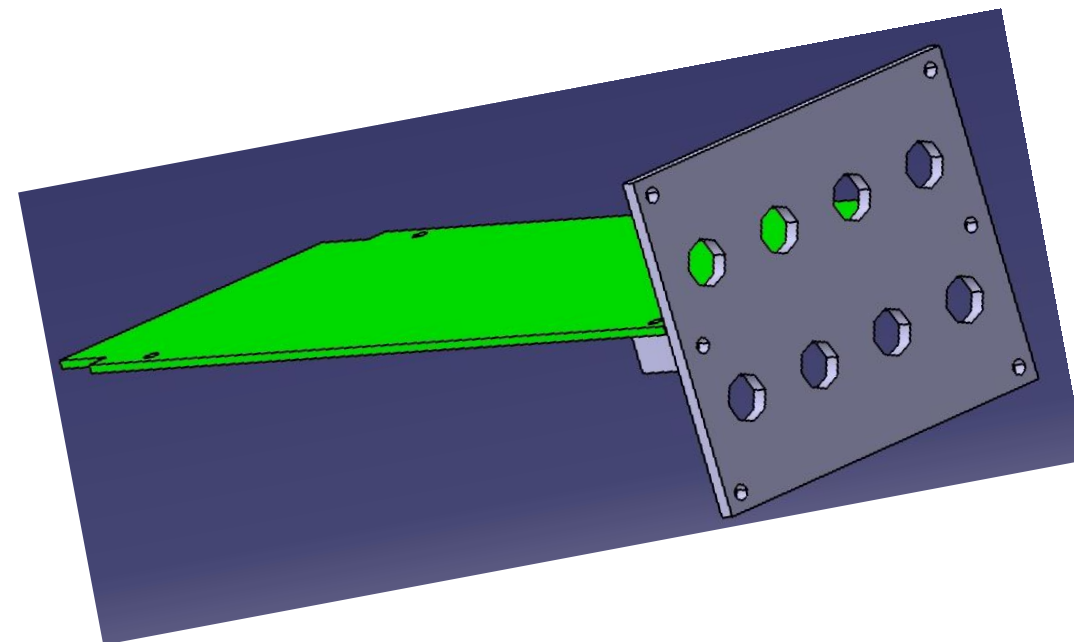
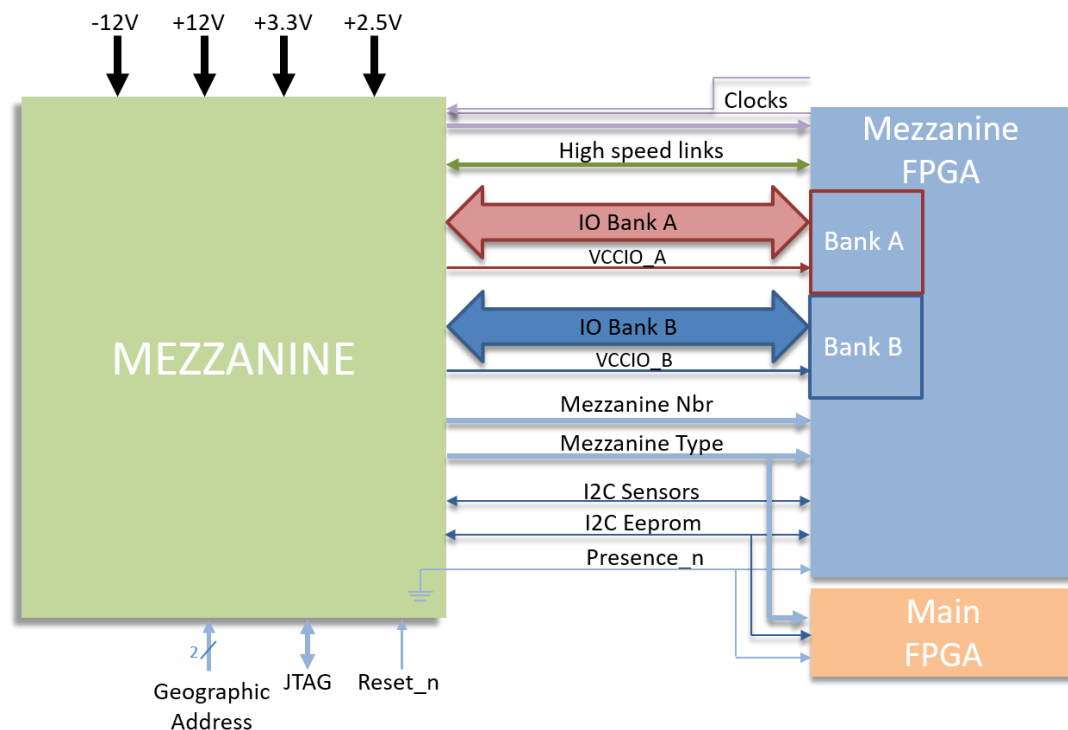
- 4 photodiodes channels
 - ADC 1MHz sampling rate, 18-bits
 - $\pm 5V$ single-ended input
 - Two ADCs: DC path (AA $F_c=20kHz$), Audio path ($F_c=80kHz$)
 - Provides -12V bias for photodiode, with current and voltage monitoring
 - Shutter driver
 - Protection on photodiode overcurrent (Vbias off + close shutter)
 - Photodiode box pressure and T° monitoring (photodiodes in air box)



- 5 camera channels
 - Provide power supply and trigger, control by remote
 - Camera supply voltage and current monitoring
 - Shutter driver
 - Camera box pressure and T° monitoring



- For fast test purposes
 - No needs to design a mezzanine for test of functionalities (DAC, ADC, etc...)
- Easy access to signals (IO, clocks, power supplies)

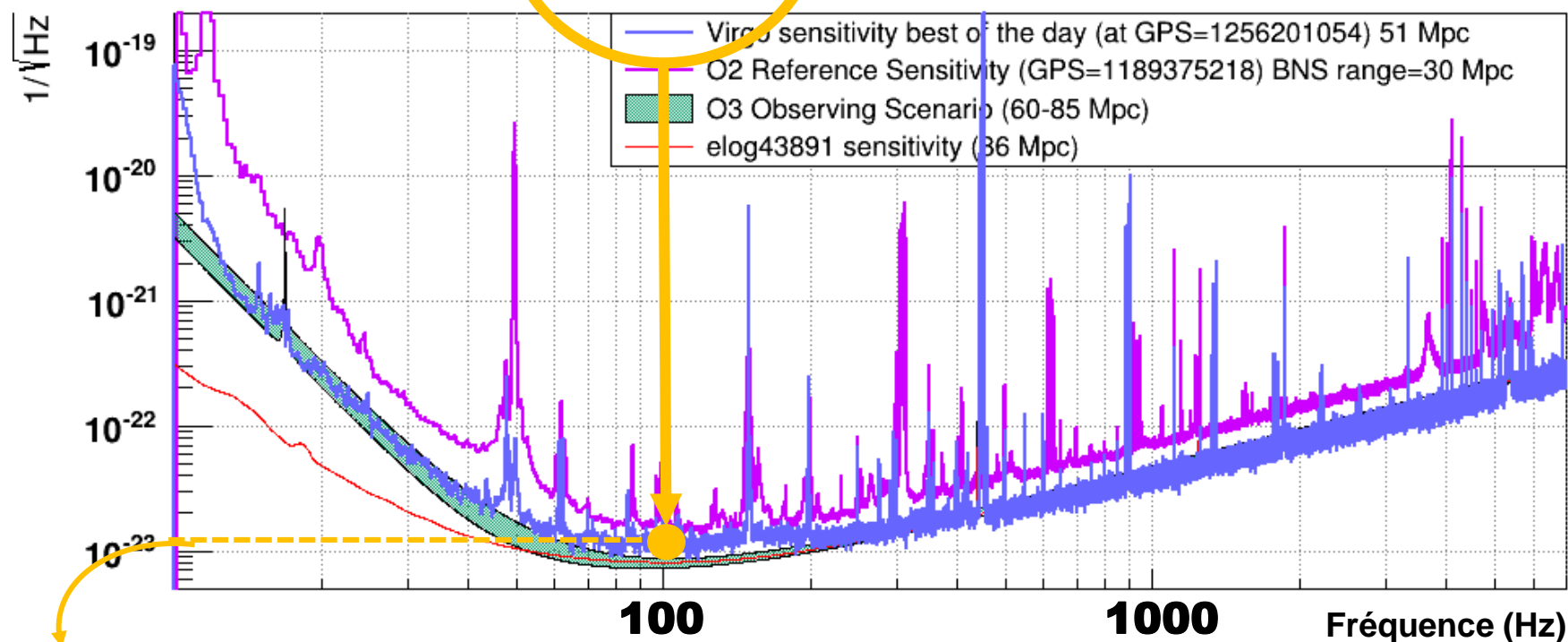
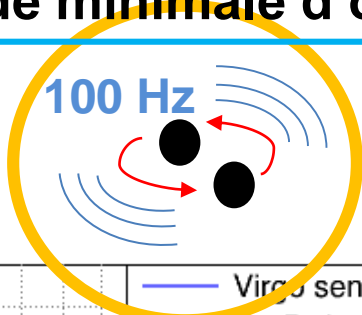


Build your own mezzanine

- Documentation in Virgo TDS
- We can provide a standard FPGA firmware to deals with optical communications and timing (for Virgo collaborators)

Quelle est l'amplitude minimale d'onde gravitationnelle détectable?

Exemple pour cette source
D'ondes gravitationnelles :



10^{-23} sur 3km = différence de longueur des bras de 3×10^{-20} m