

# Oscillateur Saphir Cryogénique de 2<sup>nd</sup> génération

Benoit Dubois

Workshop Électronique First TF

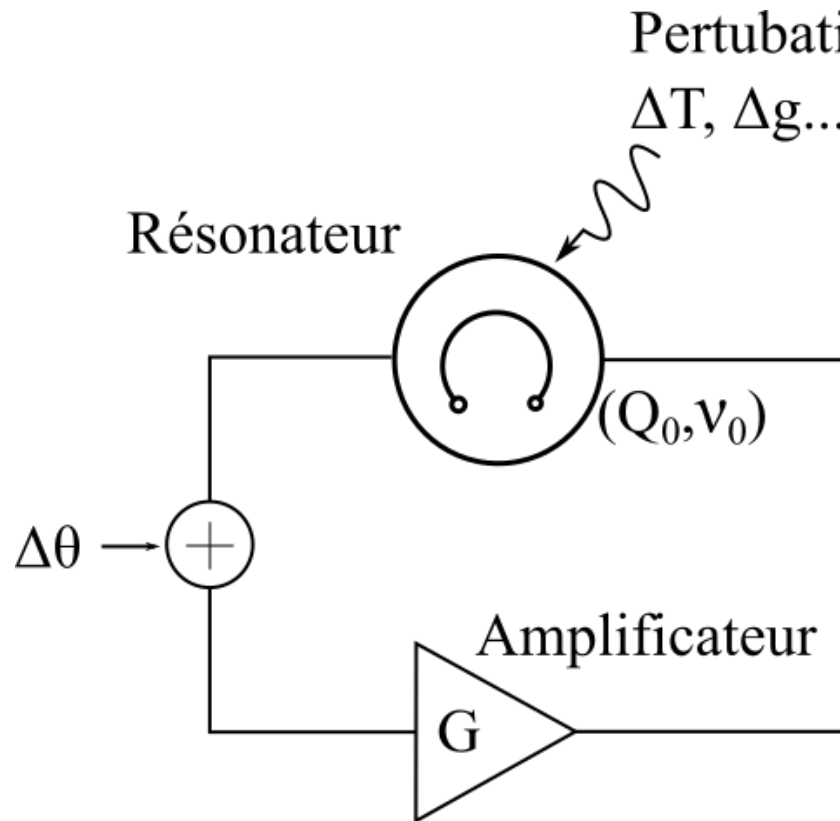
30 janvier 2018

CNAM, Paris

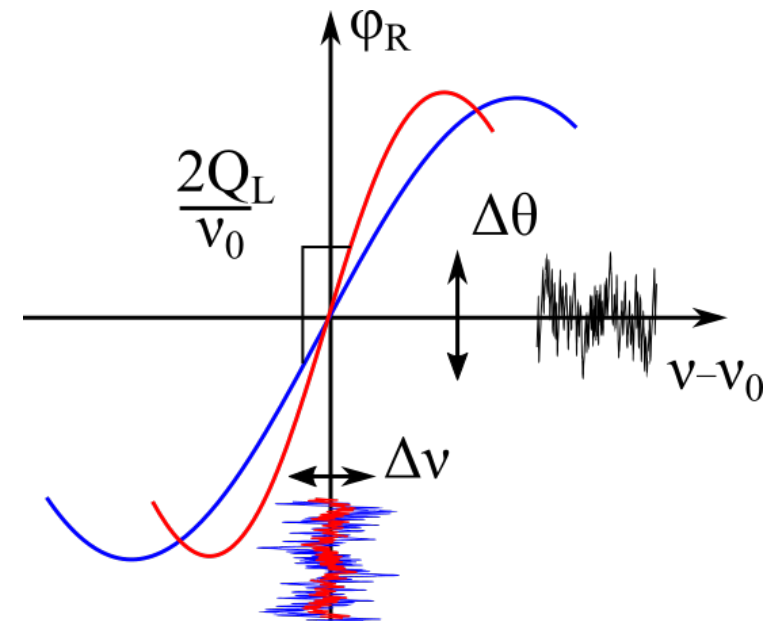
**femto**  
ENGINEERING

**from science to society**

# Oscillateur en transmission



Effet Leeson [1] :



Si facteur de qualité  $Q$  augmente  $\Rightarrow$  la stabilité  $\sigma_y(\tau)$  augmente.

[1] D. B. Leeson, « A simple model of feedback oscillator noise spectrum », Proceedings of the IEEE, vol. 54, n° 2, p. 329–330, 1966.

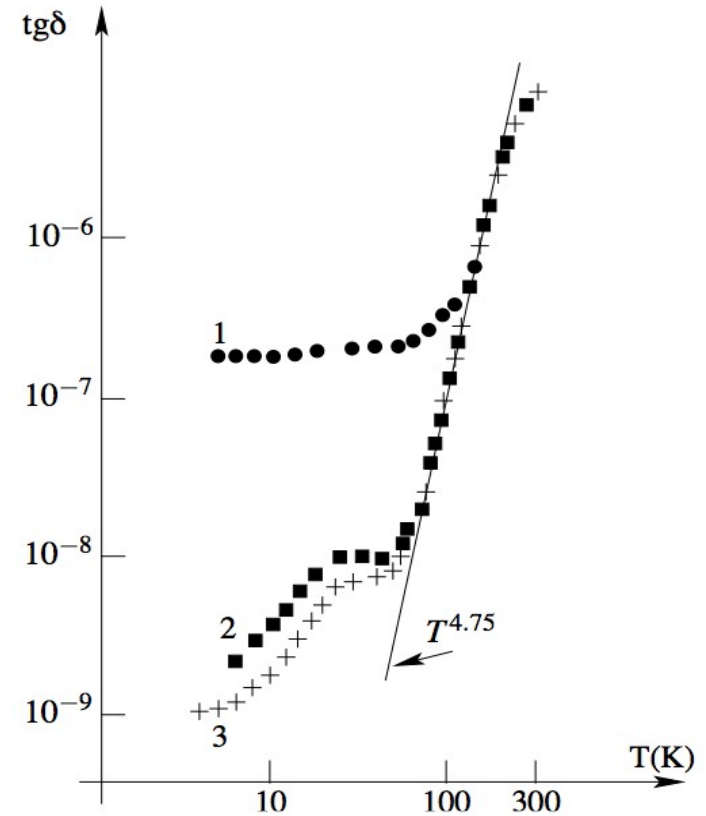
# Résonateur Saphir ? Non, corindon ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )



Matériau monocristallin avec les plus faibles pertes diélectriques dans le domaine des micro-ondes.

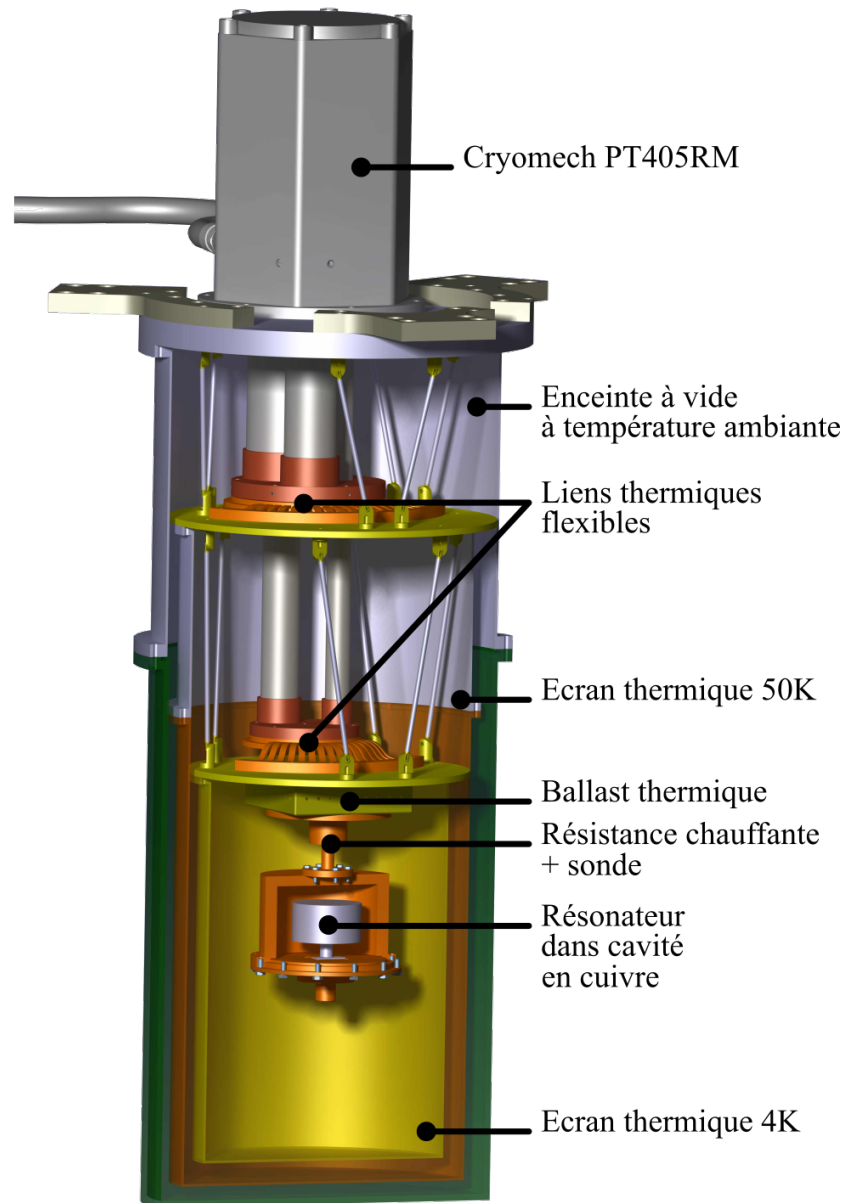


$$Q_0 \sim \frac{1}{\text{tg}\delta} \rightarrow \sim 10^9 \text{ @ } 4\text{K}$$



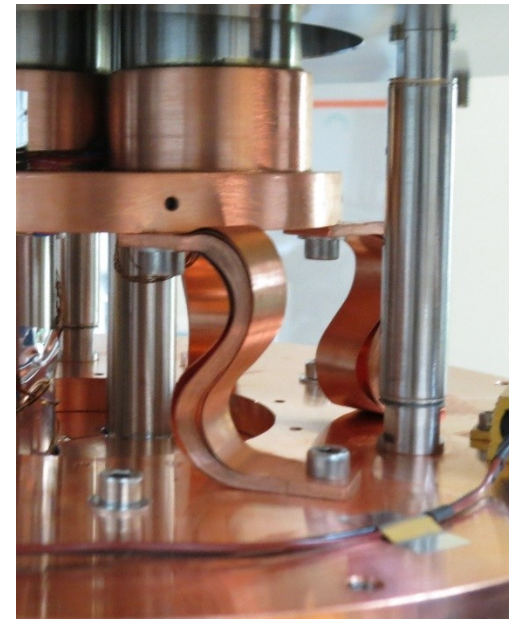
# Environnement cryogénique : Cryostat

femto  
ENGINEERING



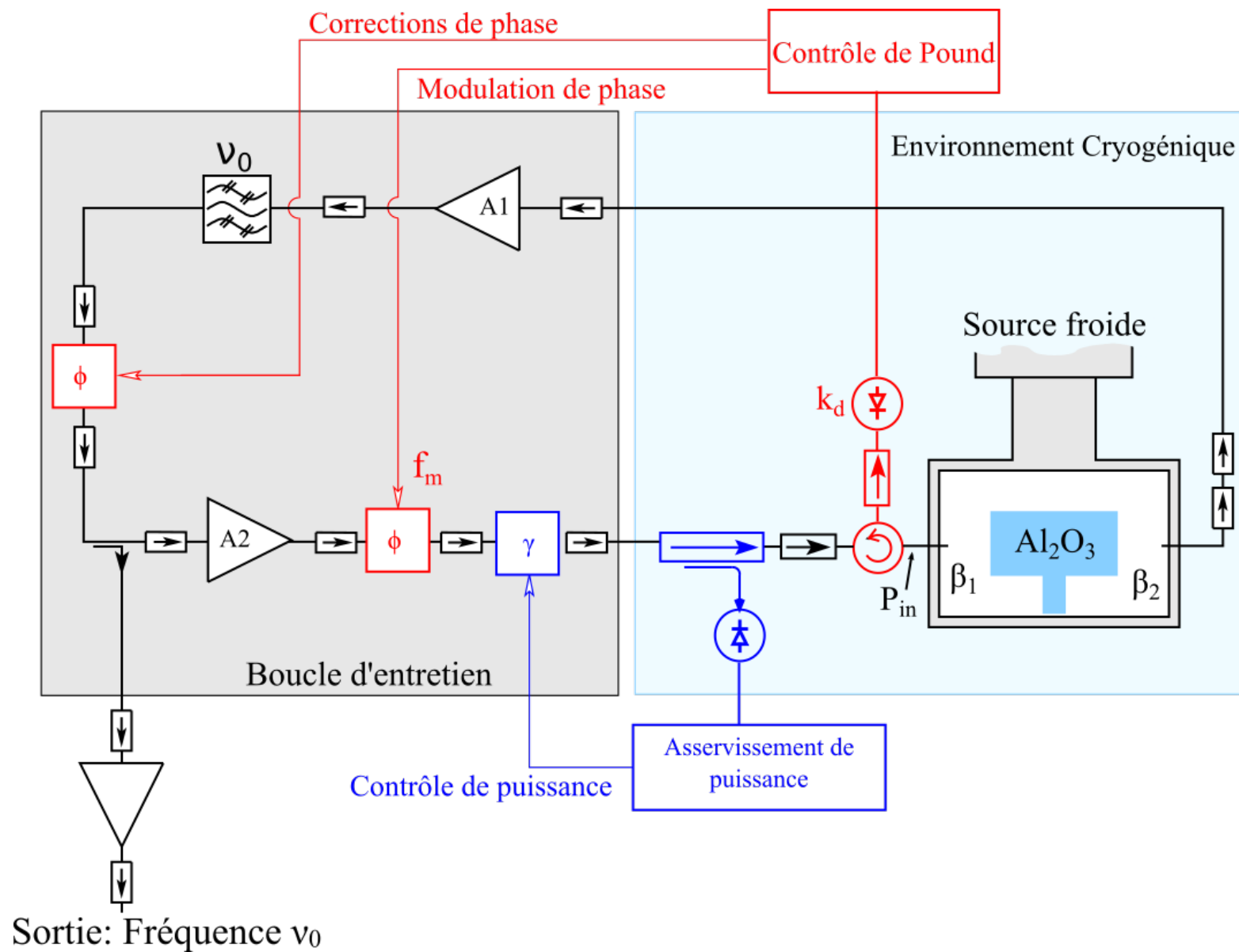
Rôle :

- Maintien du résonateur à sa température d'inversion
- Isolation mécanique

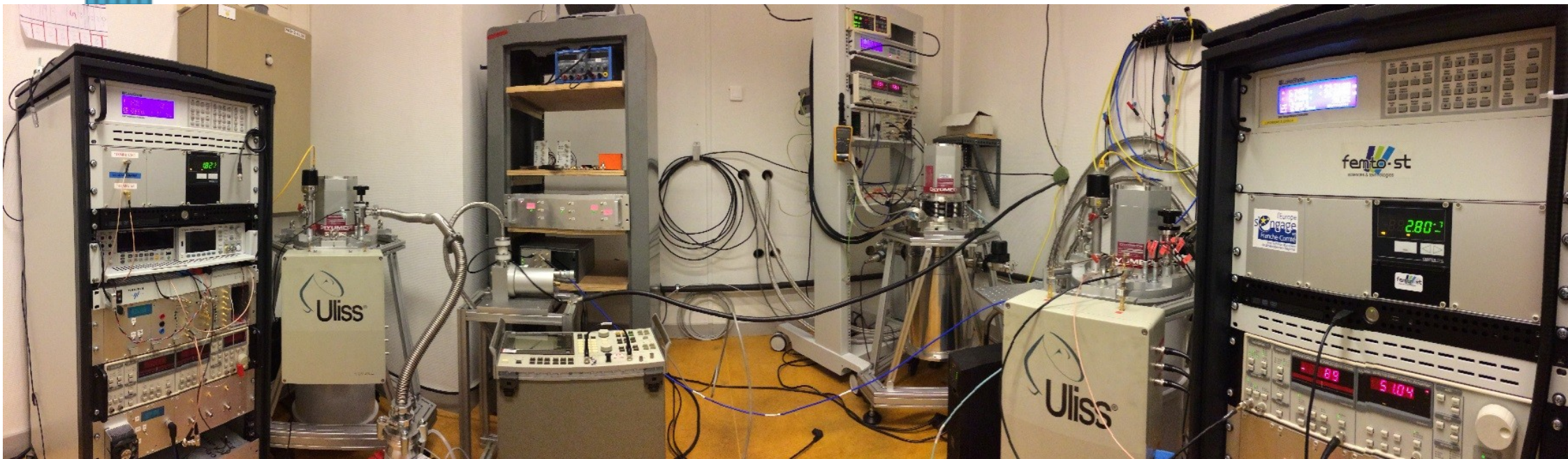


Exemple liens thermiques

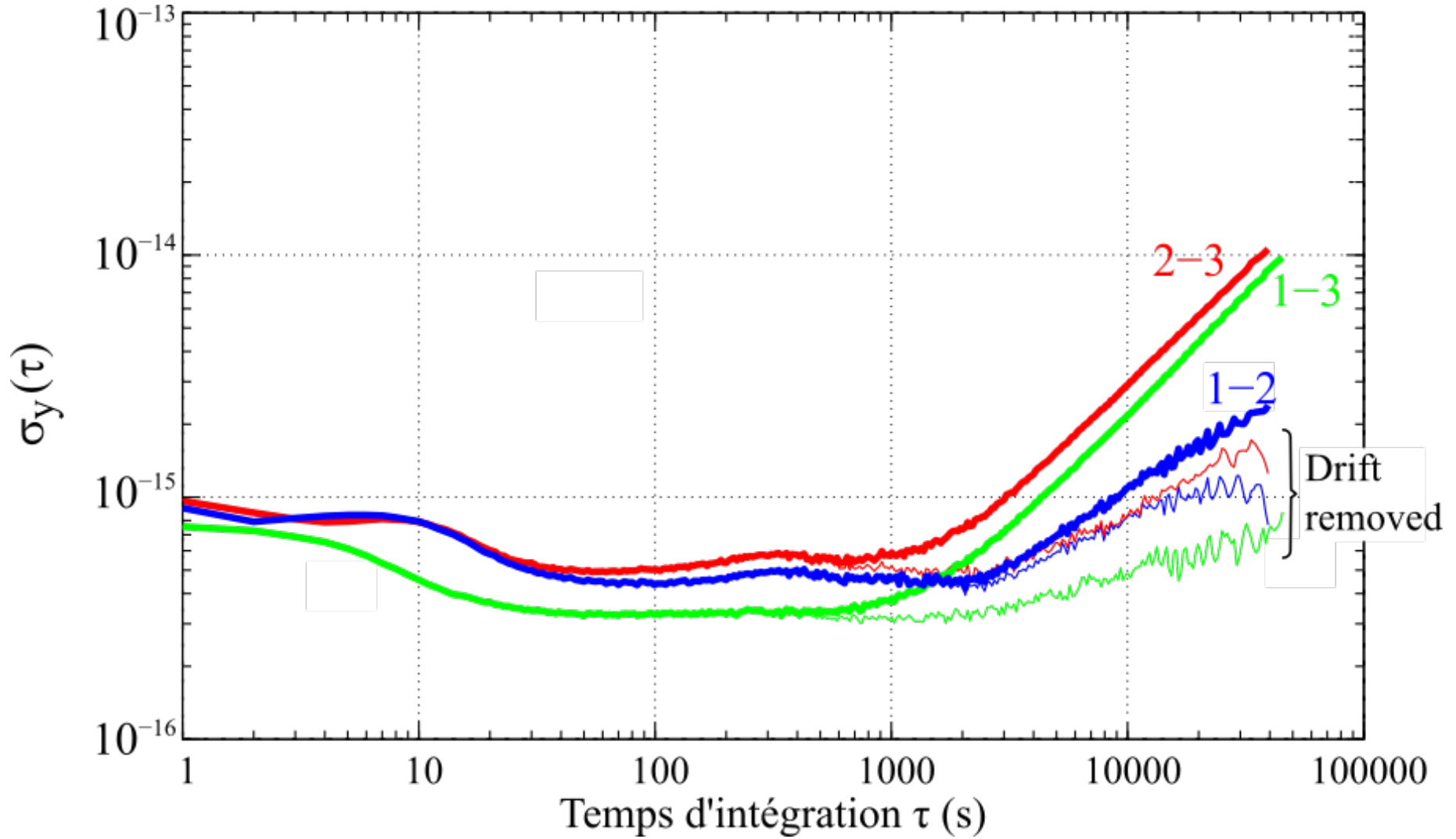
# Boucle d'entretien



# CSO @ TF-Besançon



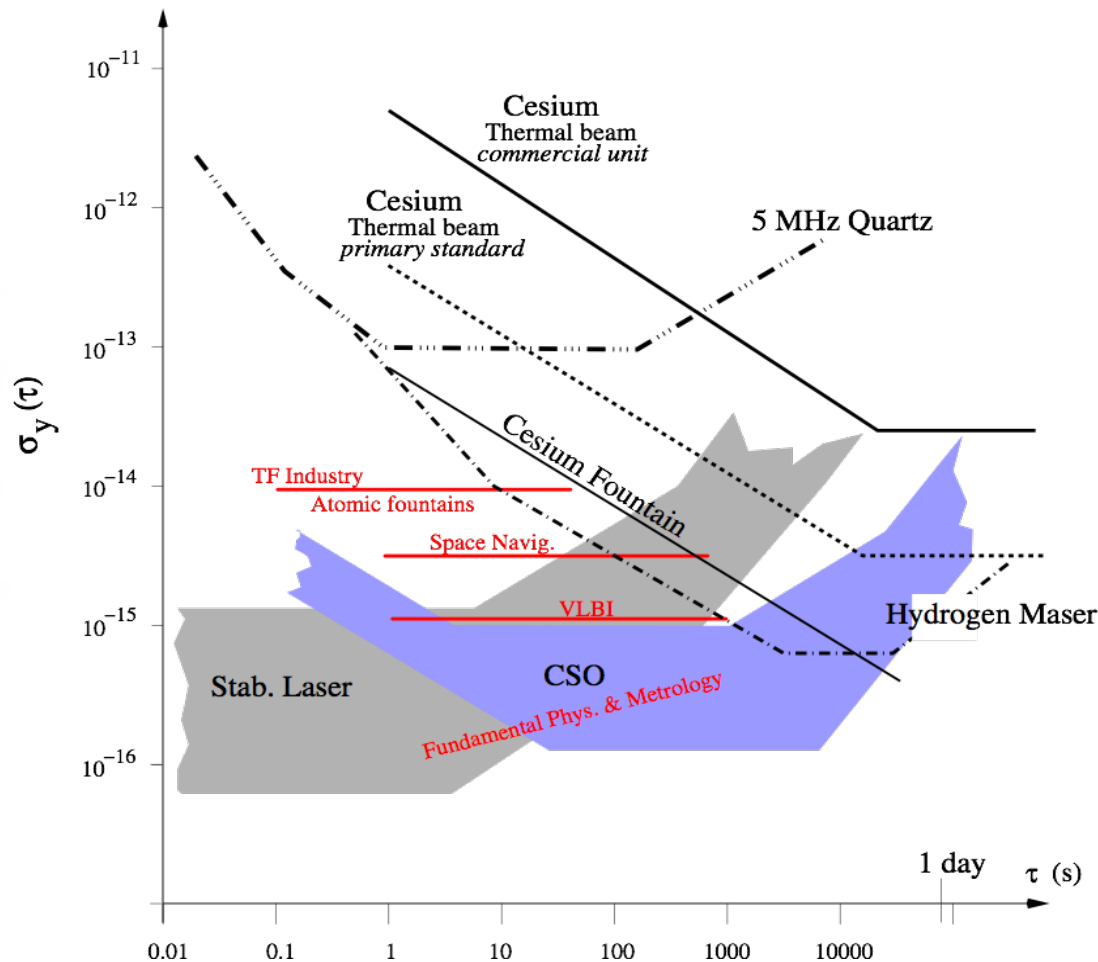
# Stabilité battements



$$\sigma_y(\tau) \leq 1 \times 10^{-15}$$
$$1 \text{ s} \leq \tau \leq 1000 \text{ s}$$

Dérive journalière  
 $\leq 1 \times 10^{-14}$

# Oscillateur saphir cryogénique : quel marché ?



**Espace** : Navigation interplanétaire  
(ELISA construite pour l'ESA).

**VLBI**

**Métrieologie** : Oscillateur local pour  
fontaine atomique

**Métrieologie** : Référence pour mesure  
stabilité à court terme

**Physique fondamentale**



# CSO commerciale : ULISS 2G



Performances visées :

	ULISS 2G	ULISS 1G
Stabilité (1 à 10 000 s)	$< 3 \times 10^{-15}$	$< 1 \times 10^{-15}$
Compresseur	$\ll 4$ kW (monophasé)	6-8 kW triphasé

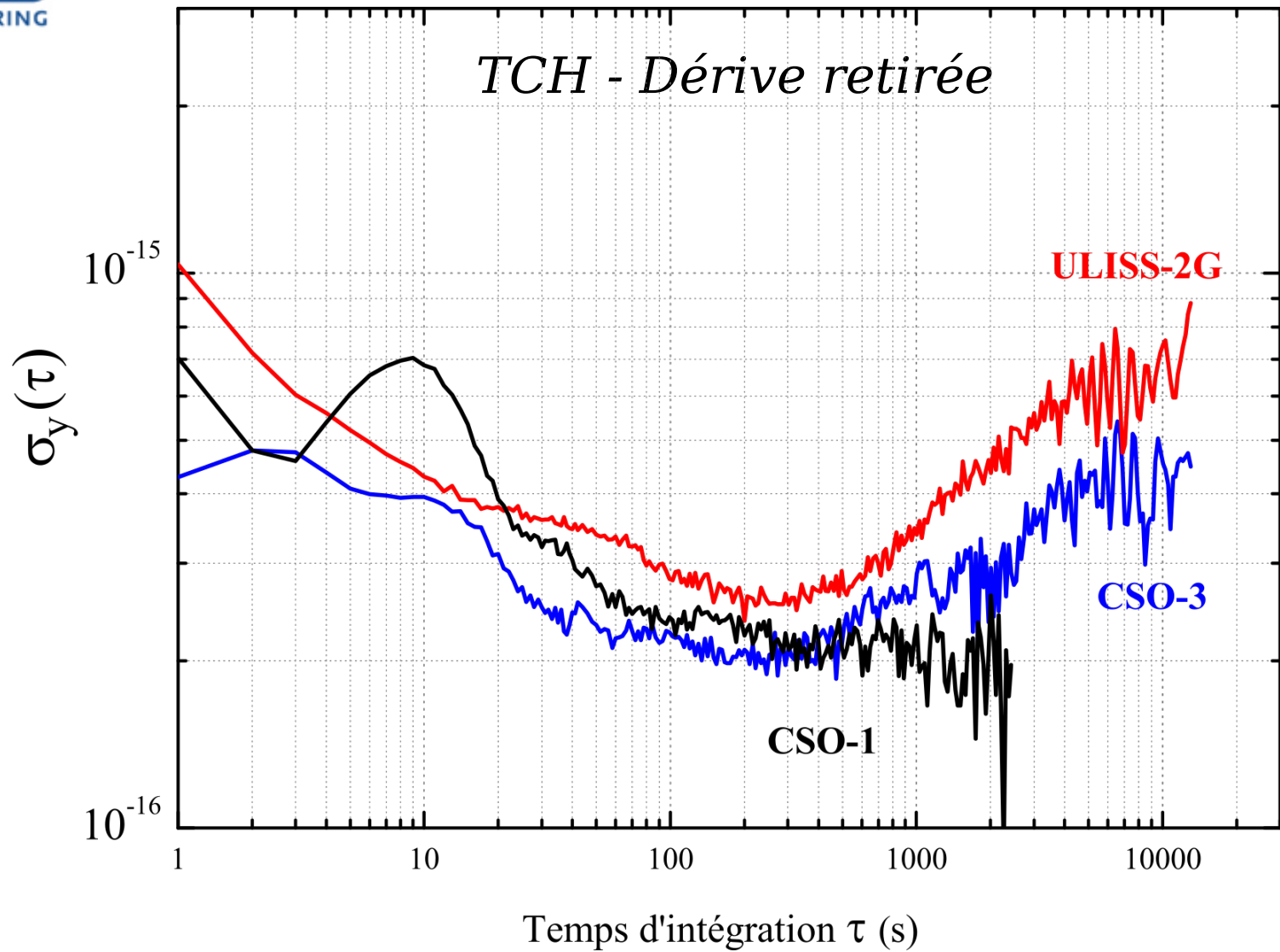
Résultat :



*Cryostat  
3 kW  
monophasé*



# Stabilité individuelle ULISS 2G



$$\sigma_y(1 \text{ s}) \approx 1 \times 10^{-15}$$

Noise floor  $\approx 3 \cdot 10^{-16}$  from 50 to 800 s

## Actuellement

Design figé

Monitoring et diagnostic distant

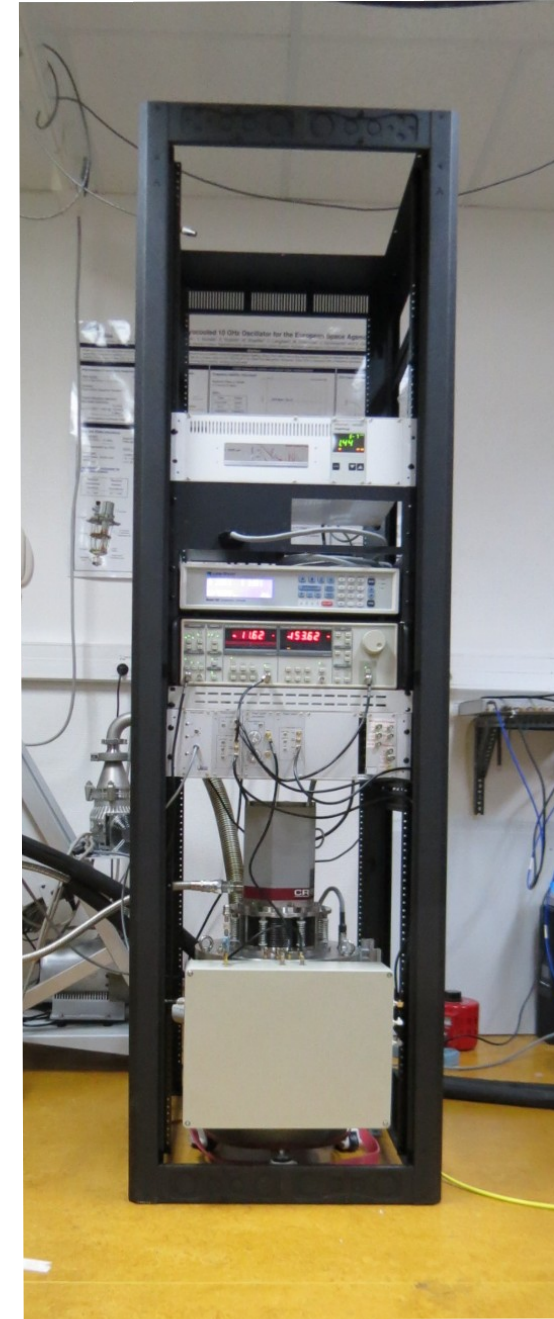
## Suites

Automatisation du système

Contrôles numériques



[www.uliss-st.com](http://www.uliss-st.com)



A large radio telescope dish is silhouetted against a twilight sky. The dish is a complex structure of metal panels and supports, mounted on a base. A small red light is visible at the top center of the dish. The sky transitions from a deep blue at the top to a warm orange glow near the horizon. In the foreground, there are dark, silhouetted bushes and a dirt path. The text "Merci de votre attention" is overlaid in white on the right side of the image.

Merci de votre  
attention

# Un centre de développement technologique

- Prolongement de l'institut de recherche FEMTO-ST
- Interface entre la recherche et les industriels

Développements dans 4 grandes filières technologiques

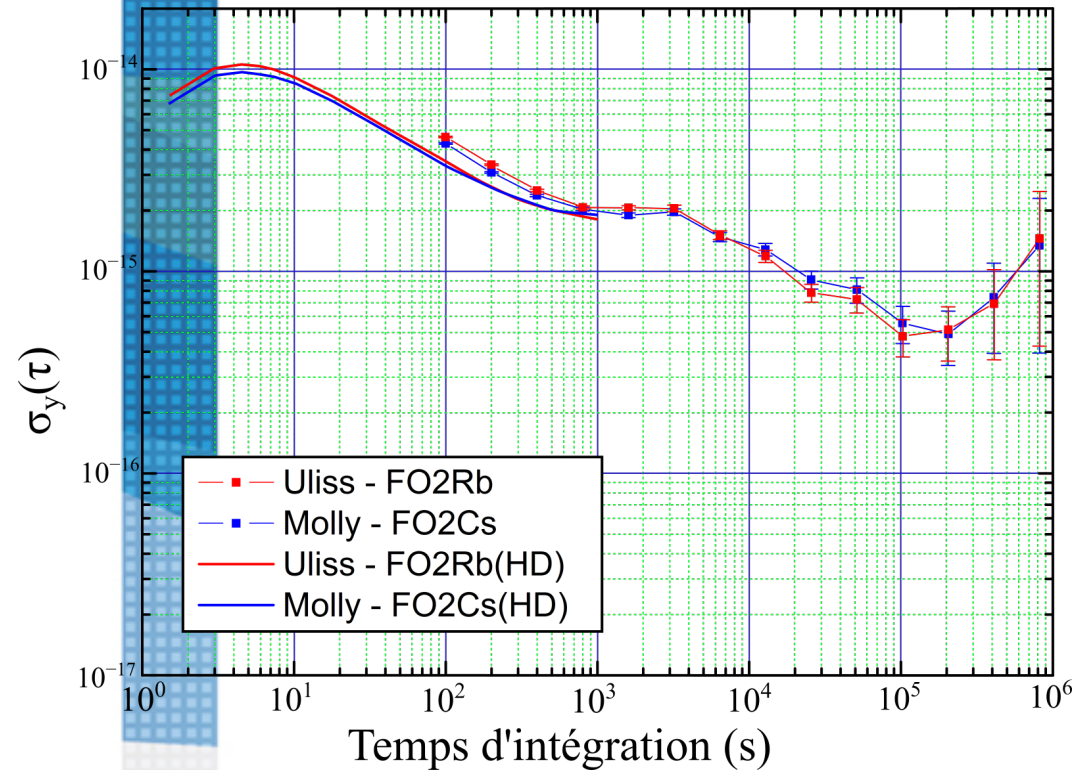


# ULISS : Ultra Low Instability Signal Source

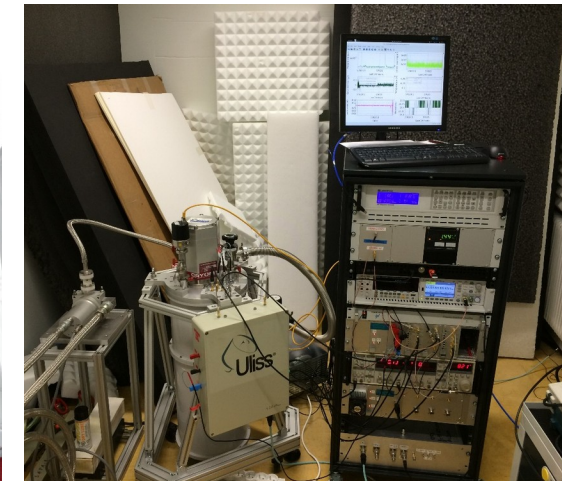
[www.uliss-st.com](http://www.uliss-st.com)



CNES – Airdus D&S 2012-2016 :  
Référence pour la caractérisation de  
PHARAO (ACES).



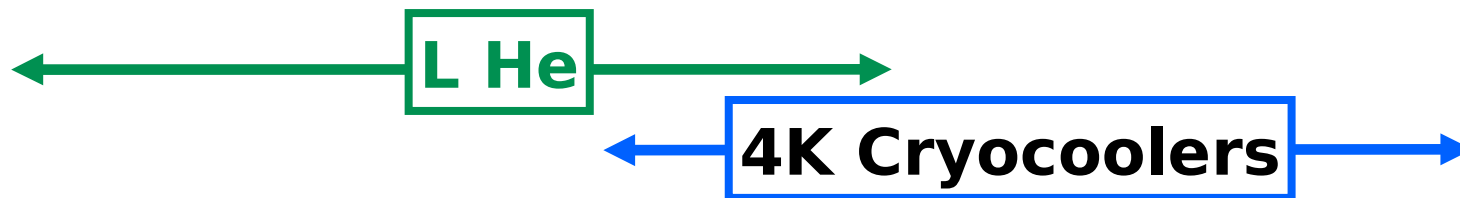
SYRTE 2015 [5] :  
Oscillateur local pour une fontaine  
atomique.  
Comparaison avec un CSO à bain  
d'hélium.



[5]M. Abgrall et al., « High-Stability Comparison of Atomic Fountains Using Two Different Cryogenic Oscillators », IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 63, n° 8, p. 1198-1203, août 2016.

# Genèse du CSO à FEMTO-ST

Room T  
and 77K



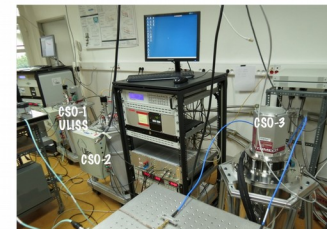
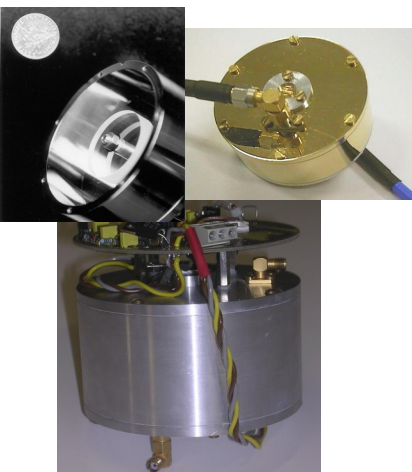
1995

2000

2005

2010

2015

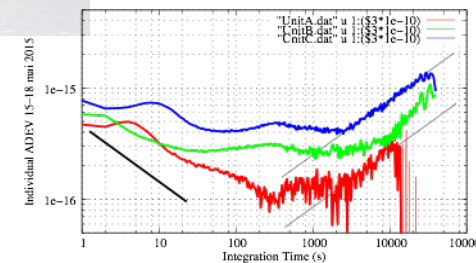
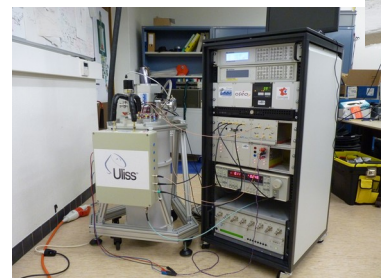
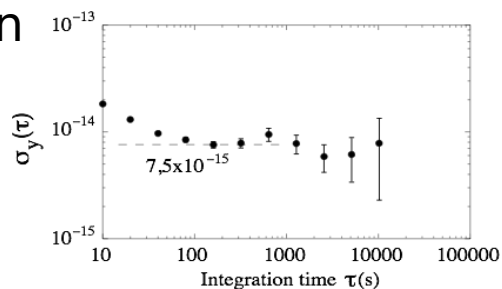


**ULISS 2G**  
A low  
consumption  
CSO

**ULISS Project**  
A CSO in a  
small van to  
visit Europe



Low phase noise Osc.  
5 GHz, 10 GHz, 26 GHz  
Thermal stabilisation  
Thermal compensation  
(dielectric thin films  
deposition)

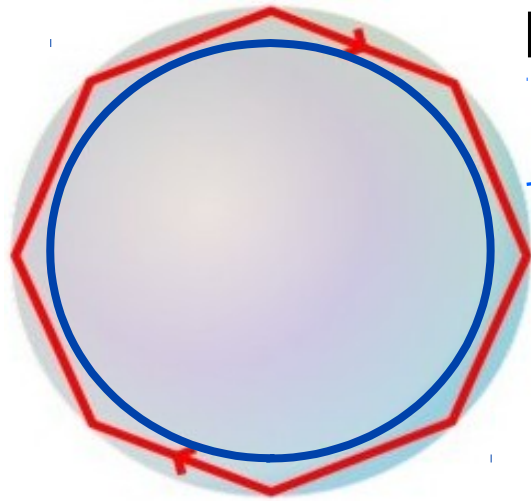


....

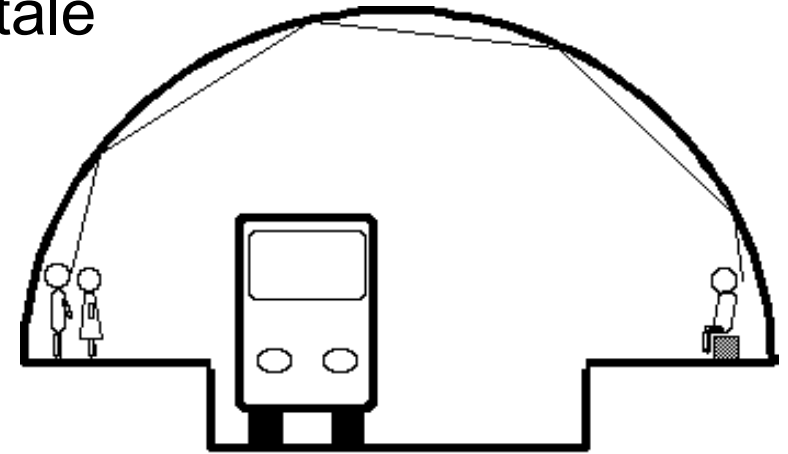
# • Modes de galerie



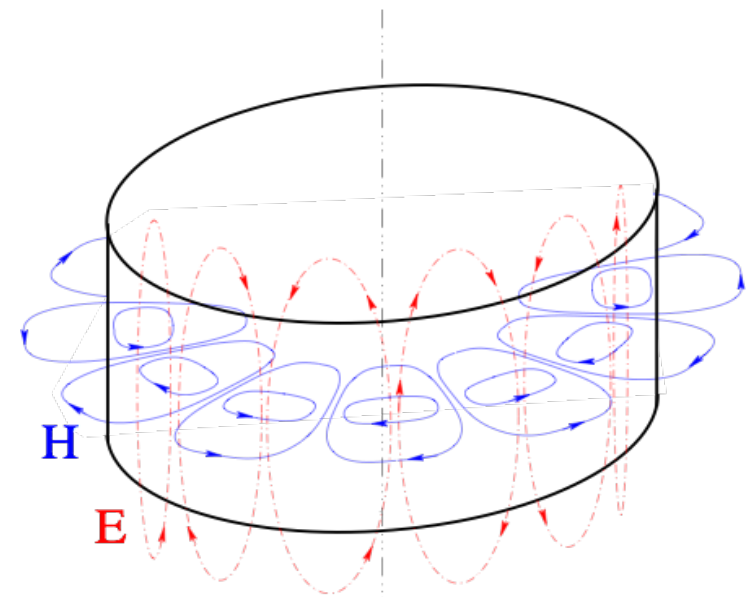
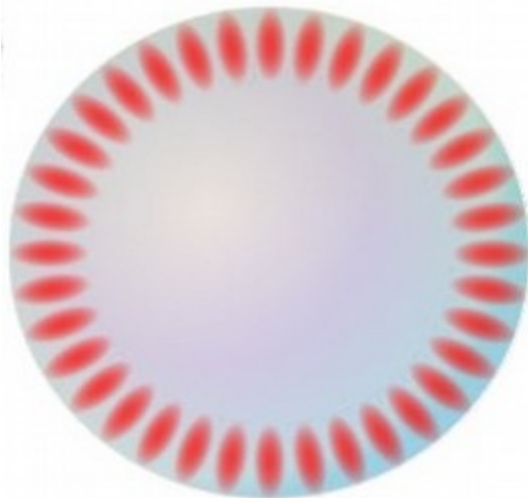
Interprétation optique



Réflexion totale

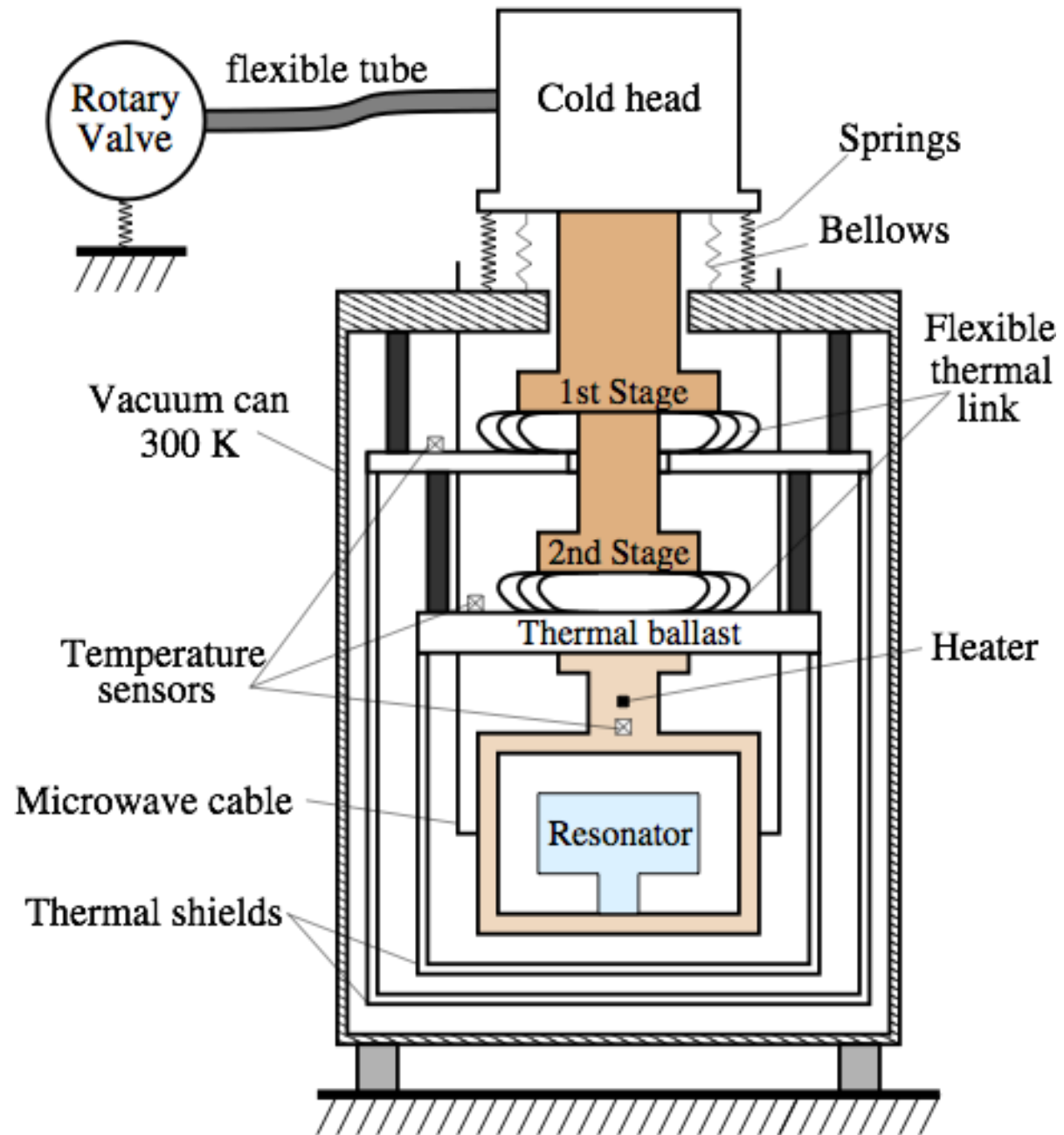


Champs électromagnétique



WGH mode





# Cryogénérateur



Hélium en circuit fermé

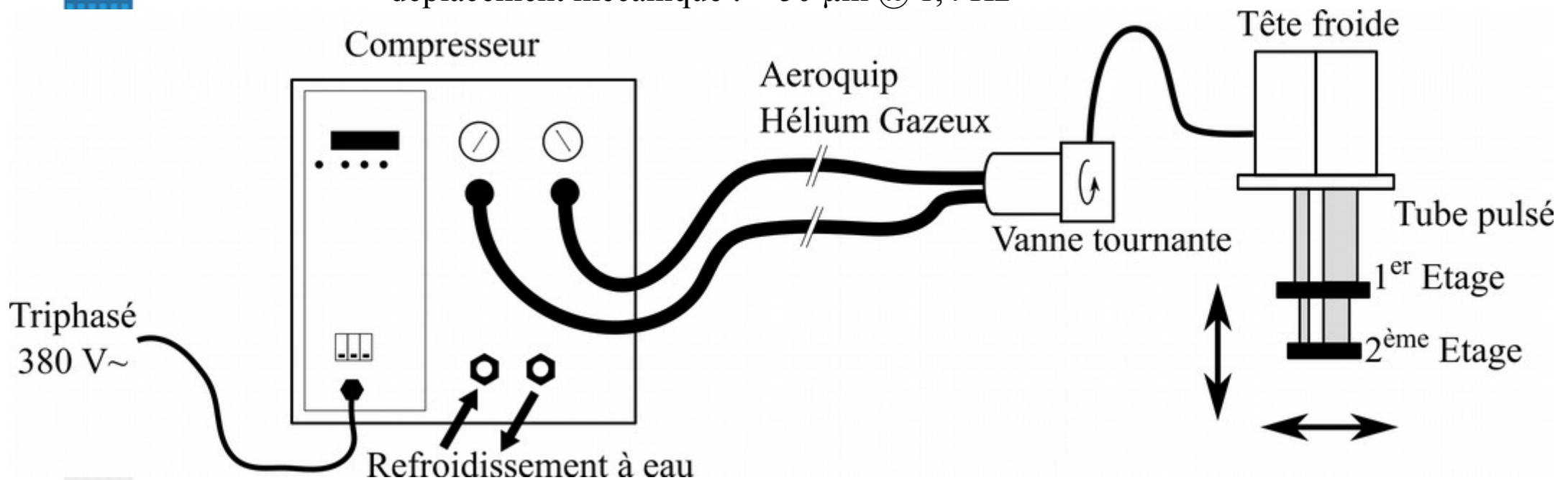
Tube pulsé CryoMech

Cycles compression/détente ( $\approx 1,4$  Hz)

Actuellement compresseur 6 kW : puissance de 500 mW @ 4 K

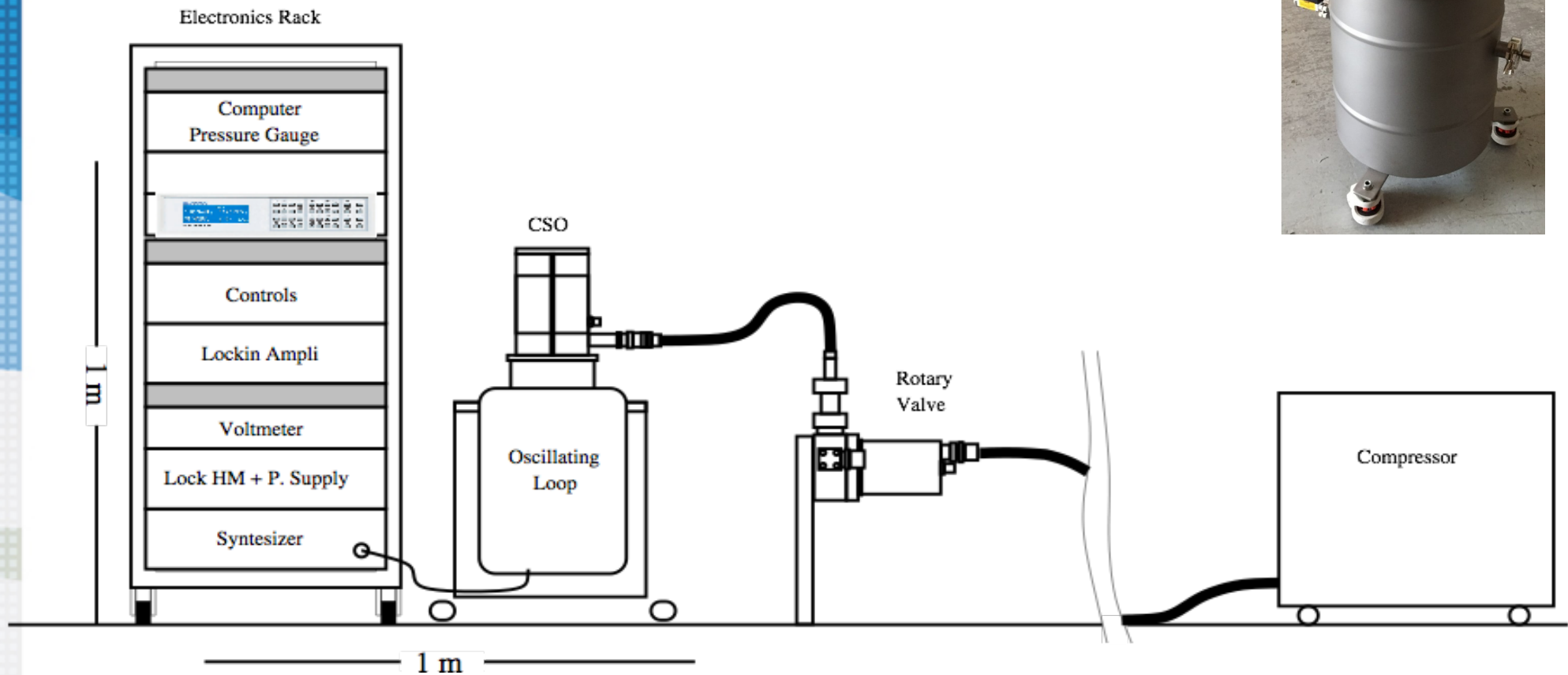
Contraintes:

- modulation de température :  $\pm 100$  mK @ 1,4 Hz
- déplacement mécanique :  $> 50$   $\mu$ m @ 1,4 Hz

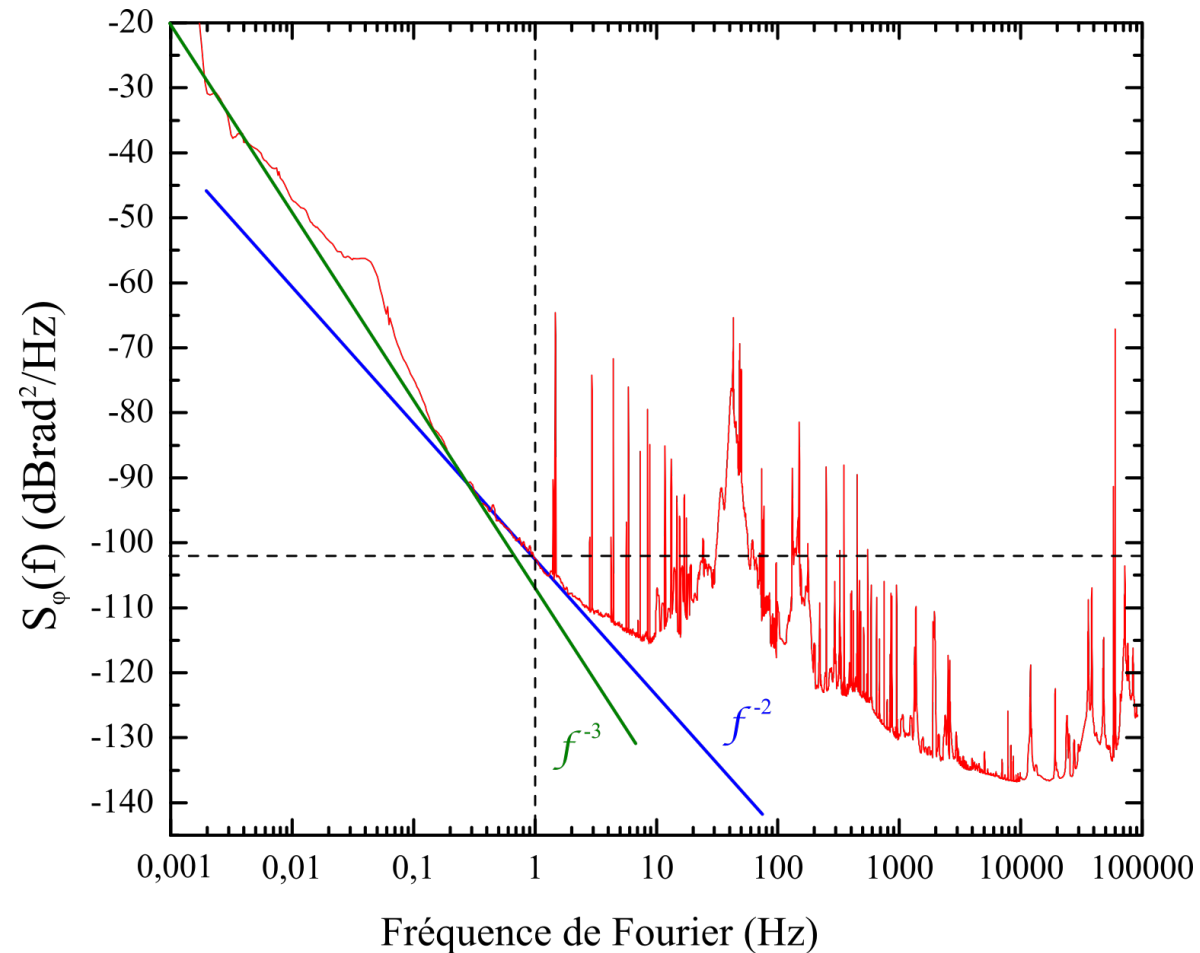


# ULISS-2G

3 kW monophasé

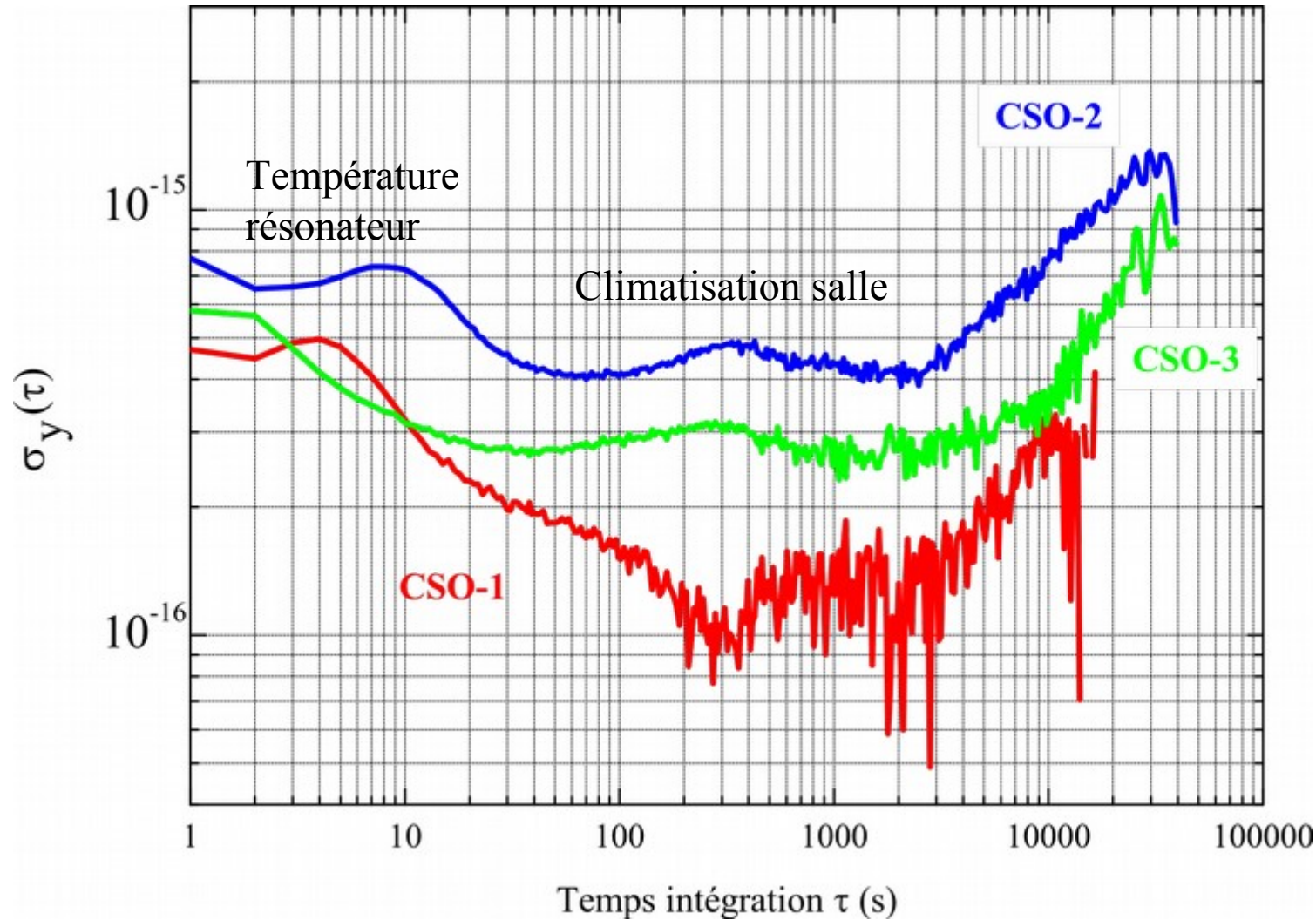


# Bruit de phase ULISS 2G



$$S_\phi(1 \text{ Hz}) = -102 \text{ dBrad}^2/\text{Hz} \rightarrow \sigma_y(1 \text{ s}) = 7,7 \times 10^{-16}$$

# Stabilité individuelle CSO 1G



$\sigma_y(1 \text{ s})$

**CSO-1 :  $5 \times 10^{-16}$**

**CSO-2 :  $8 \times 10^{-16}$**

**CSO-3 :  $6 \times 10^{-16}$**

$\sigma_y(100 \text{ s})$

**CSO-1 :  $2 \times 10^{-16}$**

**CSO-2 :  $4 \times 10^{-16}$**

**CSO-3 :  $3 \times 10^{-16}$**

# Merci de votre attention



[www.uliss-st.com](http://www.uliss-st.com)