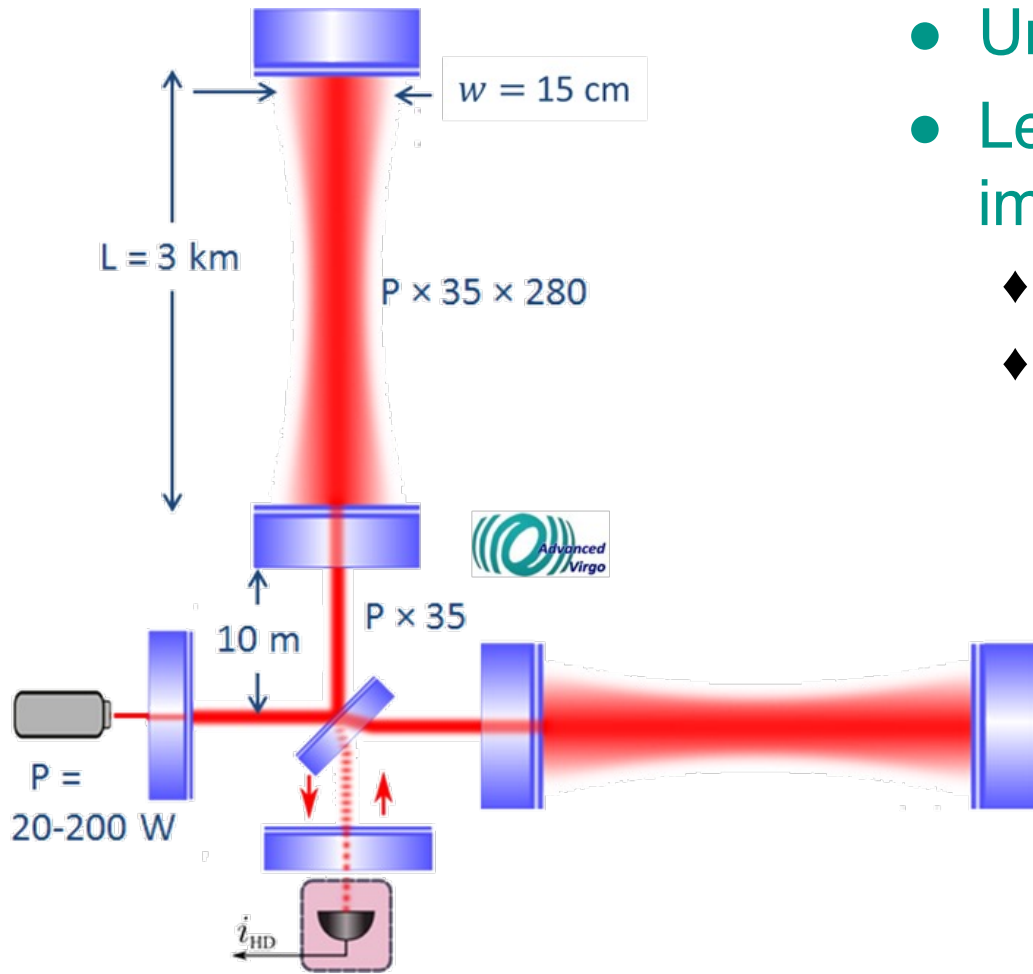


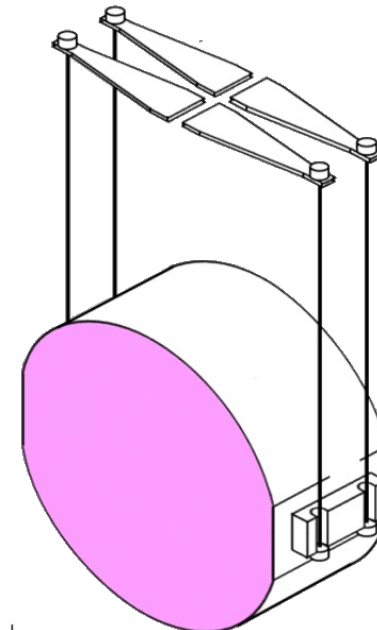
30 ans d'Ondes Gravitationnelles à Lyon

Les développements technologiques locaux
sur les miroirs :
la recherche des nouveaux matériaux

Gianpietro Cagnoli
iLM - UCBL



- Un système complexe
- Les facteurs limitants plus importants
 - ◆ Les bruit des photons
 - ◆ Les bruit des miroirs + suspentes



Performance des détecteurs des OG

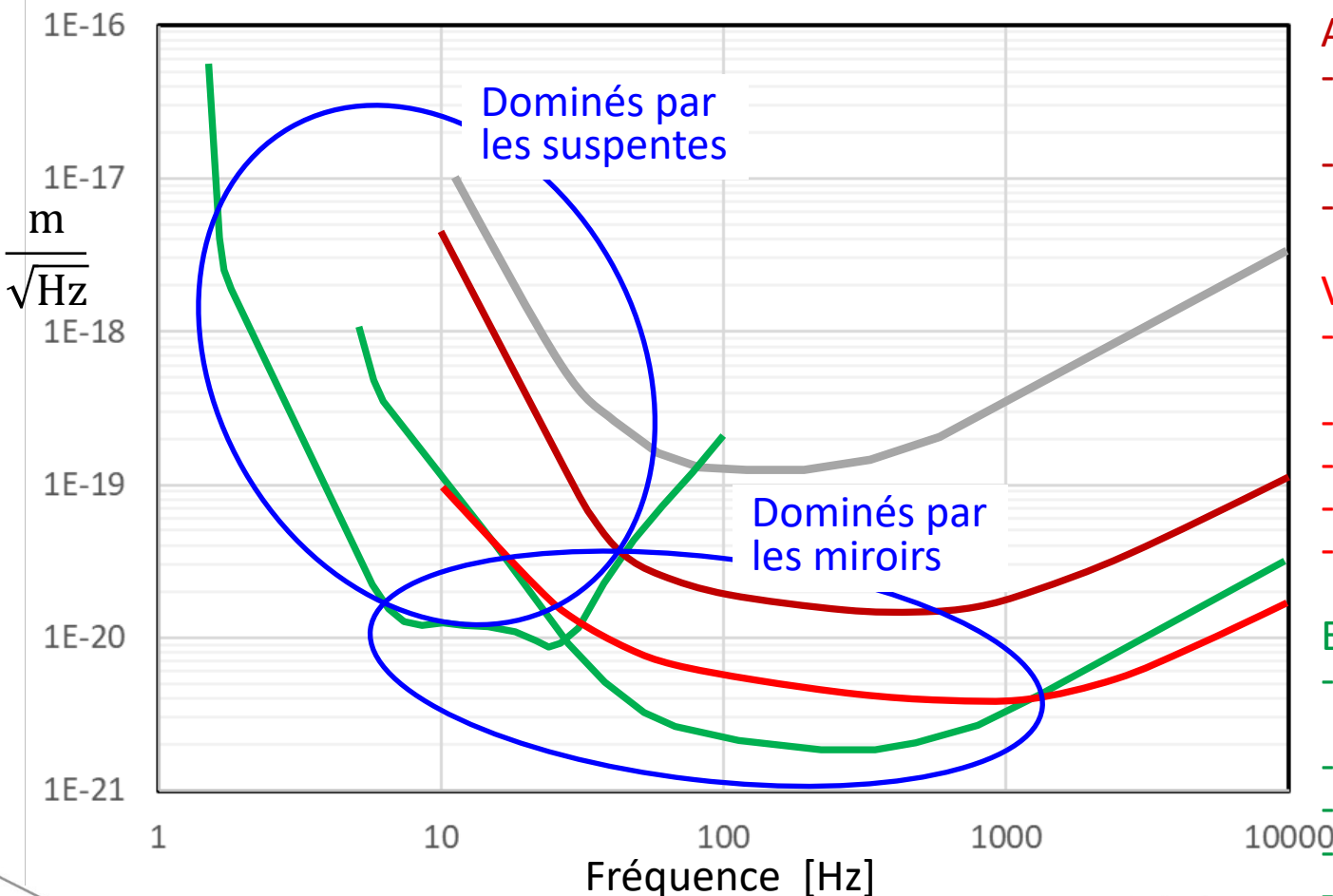
• Une histoire de défis technologiques

Virgo
- Suspentes en acier

Advanced Virgo
- Couches optiques à bas bruit
- Suspentes en silice
- Puissance augmentée

Virgo n_EXT
- Nouveaux matériaux pour les couches
- Suspentes modifiées
- Miroirs plus grands
- Puissance augmentée
- FD squeezed light

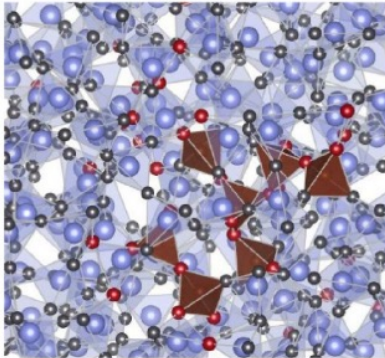
ET
- Nouveaux matériaux pour les couches
- Suspentes modifiées
- Miroirs plus grands
- Puissance augmentée
- Cryogénie



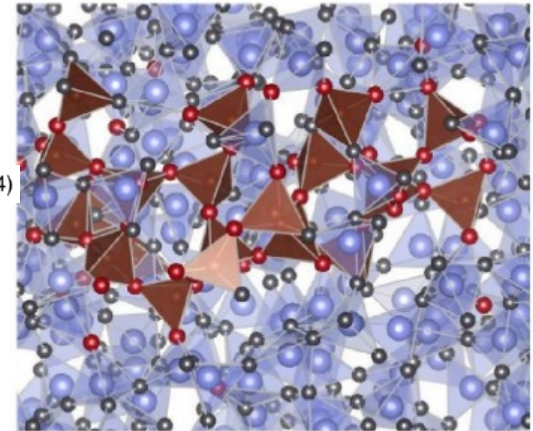
L'origine du bruit thermique dans les couches amorphes



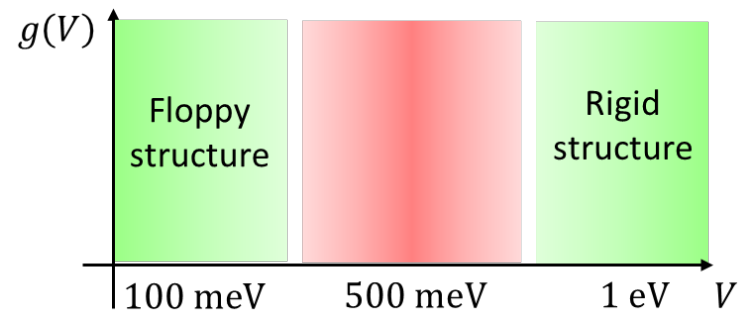
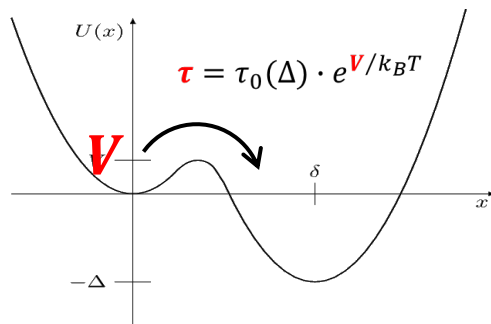
- Le bruit provient d'un changement aléatoire de la configuration d'équilibre de la structure



Hamdan, Trinastic, and Cheng J. Chem. Phys. **141**, 054501 (2014)



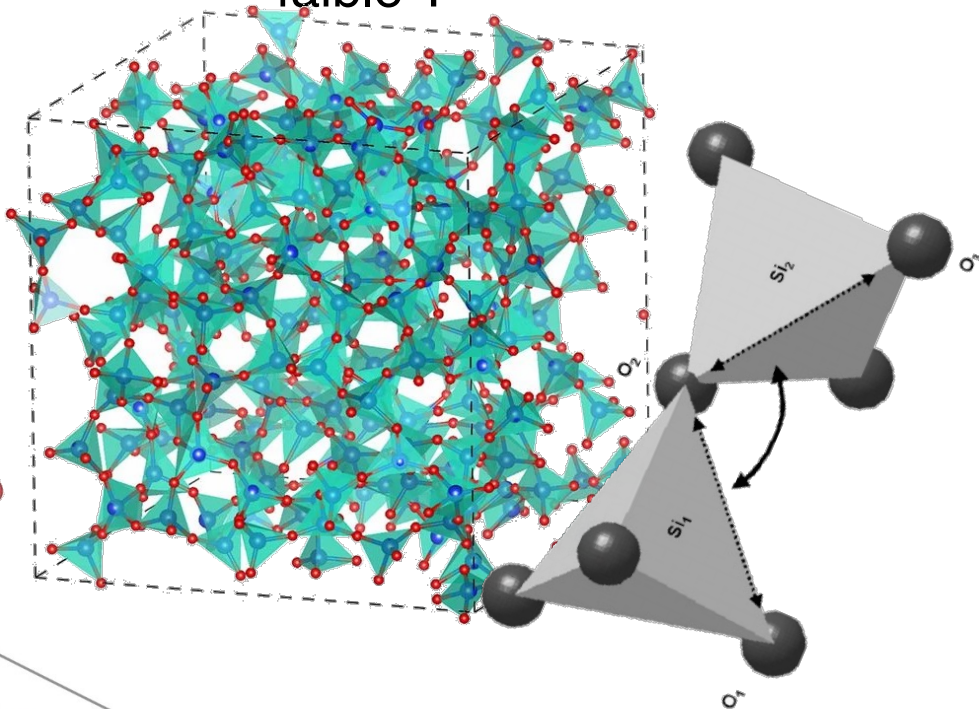
- L'échelle de temps de ces fluctuations va de la picoseconde à l'heure



Comment réduire le bruit thermique des couches amorphes ?

● Floppy materials

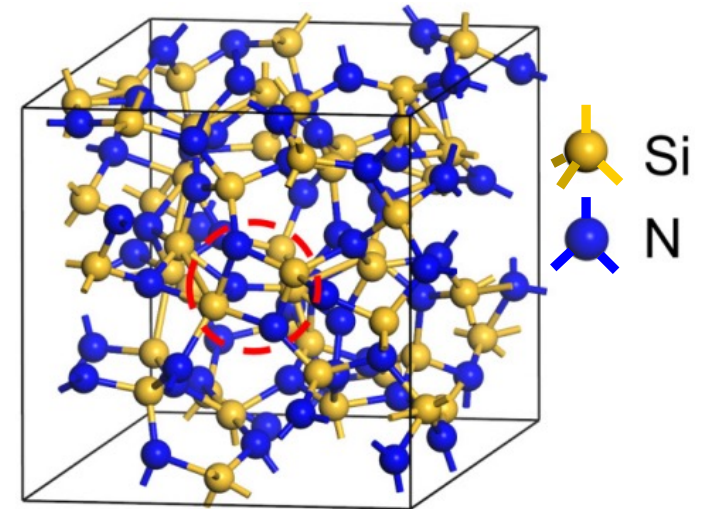
- ◆ Verres à base de silice
- ◆ Ces matériaux présentent un bruit important mais au-dessus de 100GHz, ou à faible T



● Rigid materials



- ◆ Matériaux amorphes à haut indice de coordination
- ◆ aSi, SiNx, GaN, semiconductors...
- ◆ Faible bruit à toute fréquence et à toute température



Couches amorphes possibles pour Virgo_nEXT



- Le matériau à faible indice est toujours le SiO₂
 - ◆ Recuit à 900°C, il présente des pertes comparables à celles de l'AlGaAs
- High index materials
- Floppy structure
 - ◆ Encore des oxydes ternaires
 - ◆ La réduction du bruit ça risque d'être marginale
- Rigid structure

	Least Coord. N.	Band gap	n	
Si ₃ N ₄	3	270 nm	2	HT annealing
GaN	4	370 nm	2.3	
GaP	4	550 nm	3.1	
GaAs	4	870 nm	3.4	
InP	4	930 nm	3.4	
Si	4	1110nm	3.5	@ 1550 nm

À titre de comparaison →

MATÉRIAUX EXPLOITABLES POUR ET-LF ET ET-HF

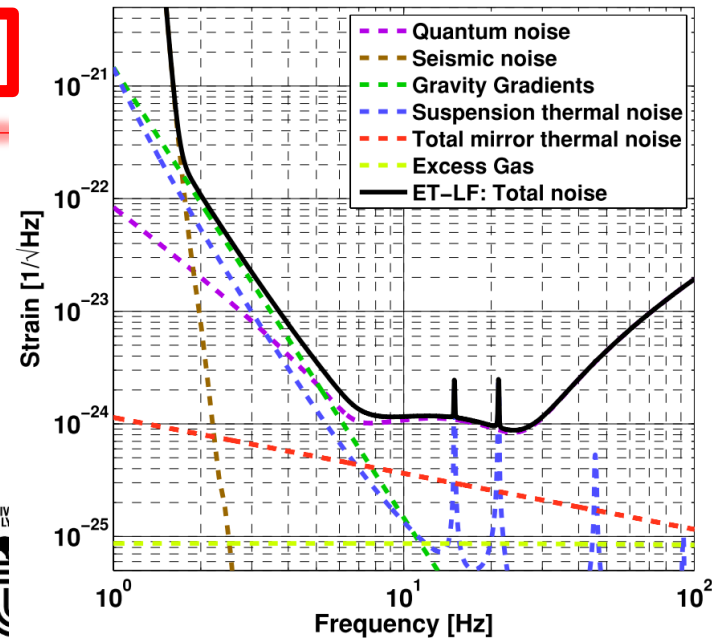
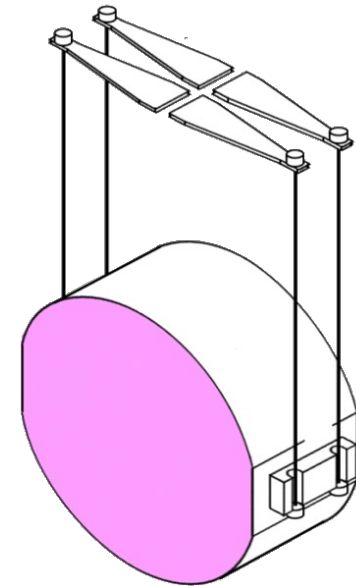
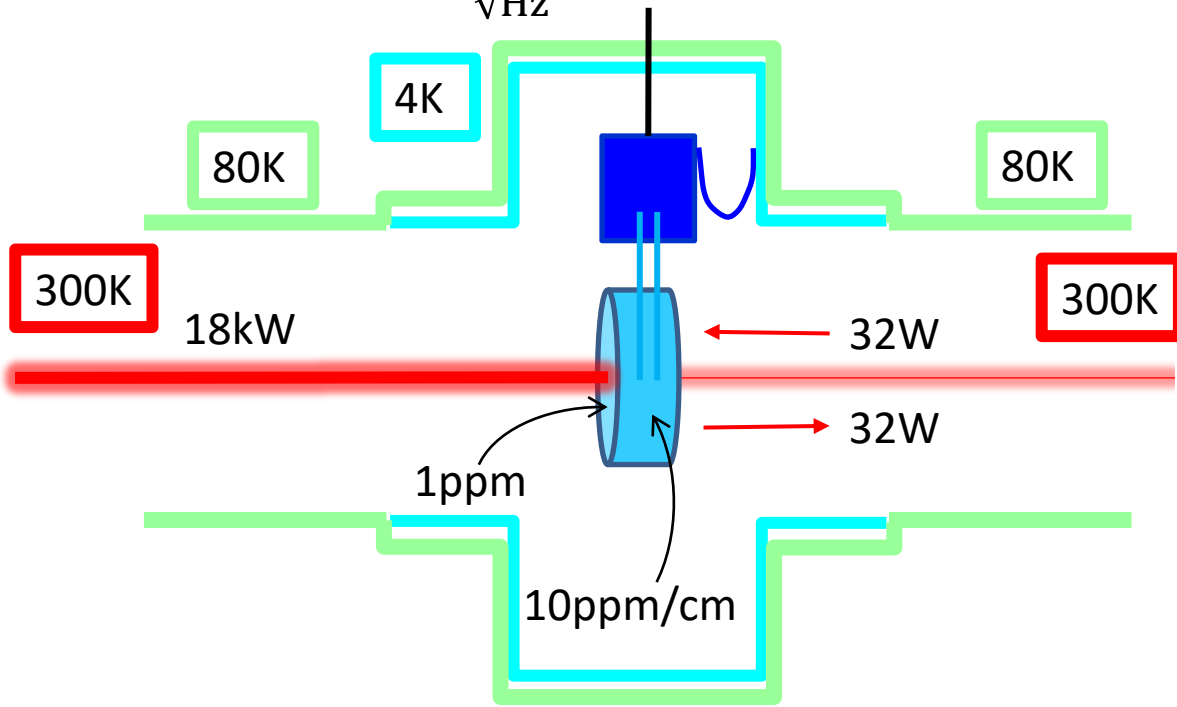
La limite technologique des couches amorphes

- Nous sommes à la limite des développements progressifs
 - ◆ **Aucun des matériaux de la structure rigide ne peut être déposé pour le moment**
 - Aucun contrôle de la stœchiométrie de l'azote
 - Les niveaux de contamination sont beaucoup trop élevés
 - Pas de revêtement de sécurité pour les matières dangereuses As et P
 - Pas de dépôt à haute température pour la désorption de l'Ar (également pertinent pour les oxydes).
- **New small coaters for material research (phase I)**
 - ◆ To explore the new materials
 - ◆ To reduce the contamination level
 - ◆ To select the most promising material and deposition conditions
- **Technological upgrade of the large scale deposition (phase II)**



Les enjeux des substrats et des suspentes cryogeniques

- Charge thermique
 - ◆ Quelques décimes de W
- Bruit thermique
 - ◆ $5 \cdot 10^{-20} \frac{\text{m}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ à 3 Hz



La technologie du saphir pour les détecteurs cryogéniques

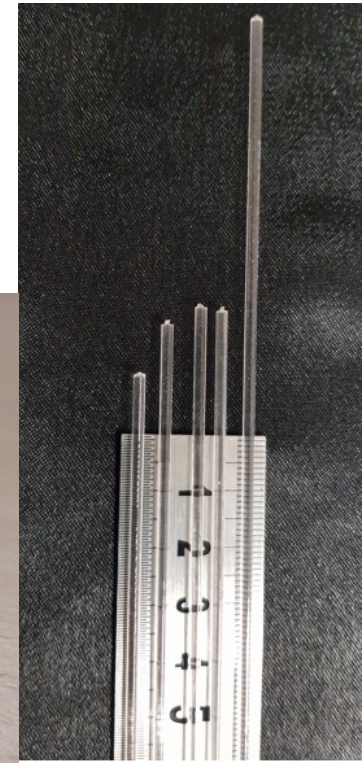
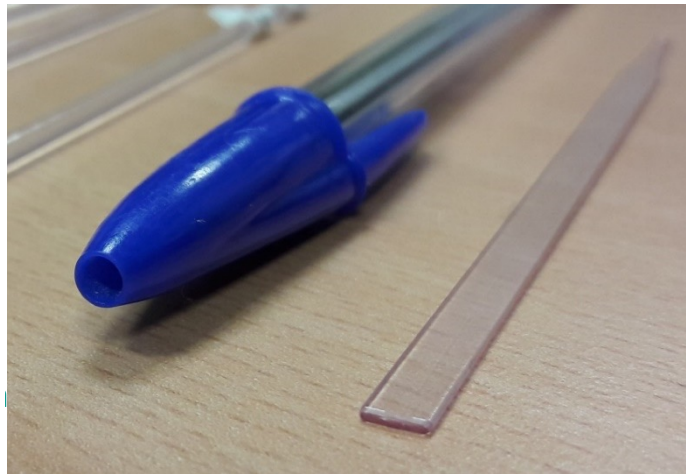
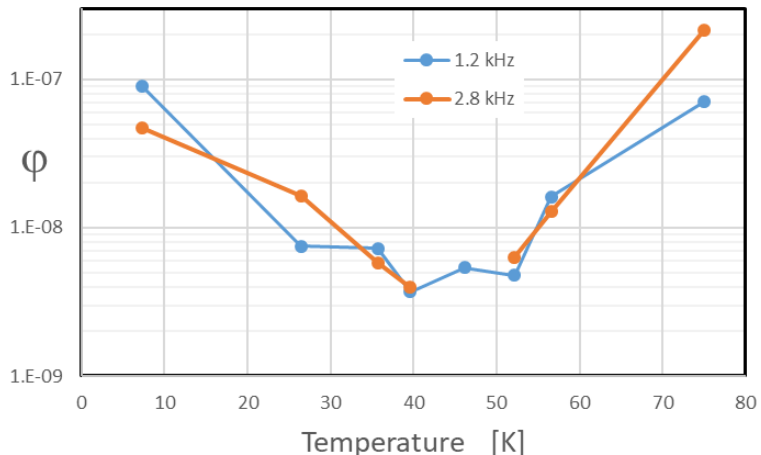
● Point positives

- ◆ Transparent même dans le visible
- ◆ Densité et rigidité élevés
- ◆ Charge de rupture élevées
- ◆ Conductivité thermique élevés
- ◆ Possibilité de la croissance multi-forme
- ◆ Pertes mécaniques ultra faibles

● Développement nécessaires

- ◆ Réduction de l'absorption
- ◆ Contrôle des axes de biréfringence
- ◆ Soudure iso-cristalline
- ◆ Polissage
- ◆ Ressorts à lame

L. Mereni, L. Silenzi, J-P Locquet, G. Cagnoli



The project **OSAG** Optiques en Saphir pour l'Astronomie Gravitationnelle

- Project funded by ANR through IDEXLYON

 - ◆ 1.2 M€, 2020-2021-2022

- Consortium

 - ◆ iLM
 - ◆ iP2i, LMA

- Objectives

 - ◆ Ø45cm, 30cm thick sapphire substrate
 - ◆ 10 ppm/cm absorption, or less
 - ◆ Bubble free
 - ◆ Ultra-low optical losses mirrors
 - ◆ Sapphire suspensions

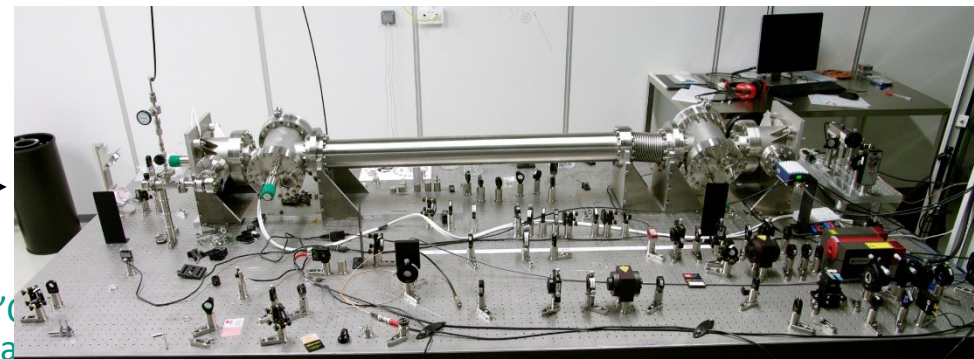
- Equipments

 - ◆ Oven to grow 500kg sapphire ingot
 - ◆ Scanning high-finesse test cavity →

The oven being assembled at the company



Beside OSAG:
Thesis on optical absorption of sapphire, iLM and LMA
Student: Tèò Aventin
Directors: - Kheirreddine Lebbou
- Jérôme Degallaix



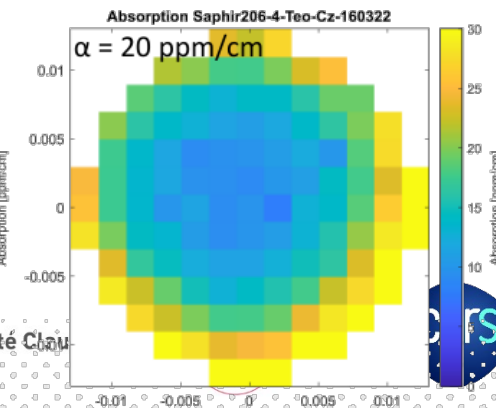
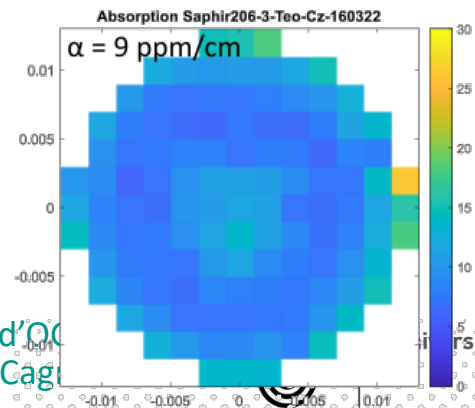
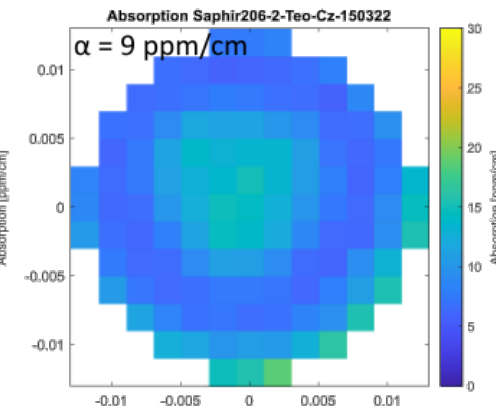
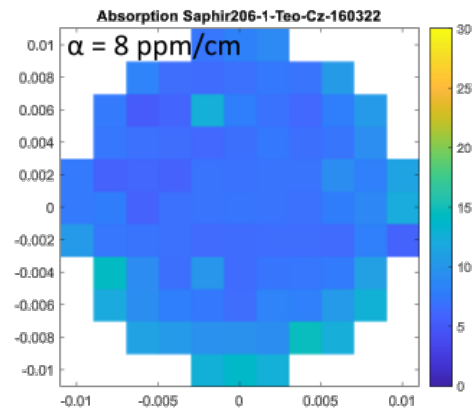
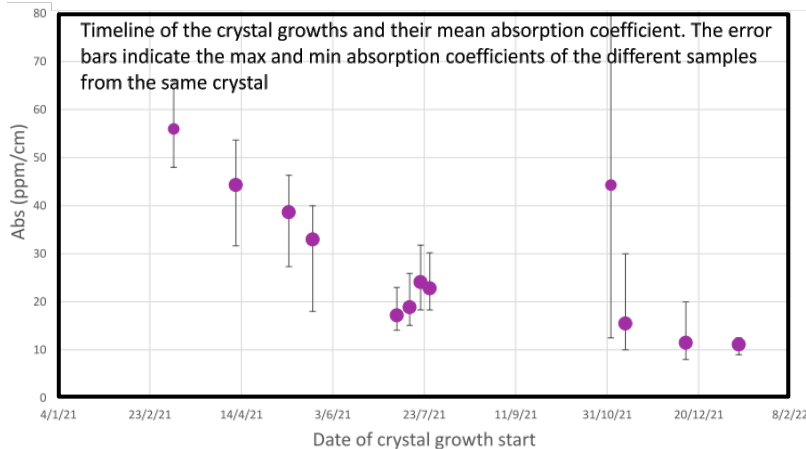
Un résultat très important

- Avec régularité le saphir produit à l'iLM montre des absorption autour de 10 ppm/cm

Ingot N. 206



Recent results on 1" samples presented by T. Aventin at the GWADW 2022



Conclusion

- Collaboration étroite entre le iP2i et le iLM
- Développement des technologies clés
 - ◆ Couches minces amorphes
 - ◆ Polissage
 - ◆ Substrats en saphir
 - ◆ Suspentes en saphir
- Facteur unique dans le panorama mondiale
 - ◆ Le LMA est le seul laboratoire qui développe les couches pour les OG
 - ◆ L'iLM est le seul laboratoire qui développe le saphir pour les OG

2022



30 ans d'OG à Lyon
G. Cagnoli



Université Claude Bernard



Lyon 1



