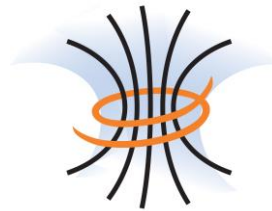


Projet BMV

Mesure de la Biréfringence Magnétique du Vide

Mathilde FOUCHÉ

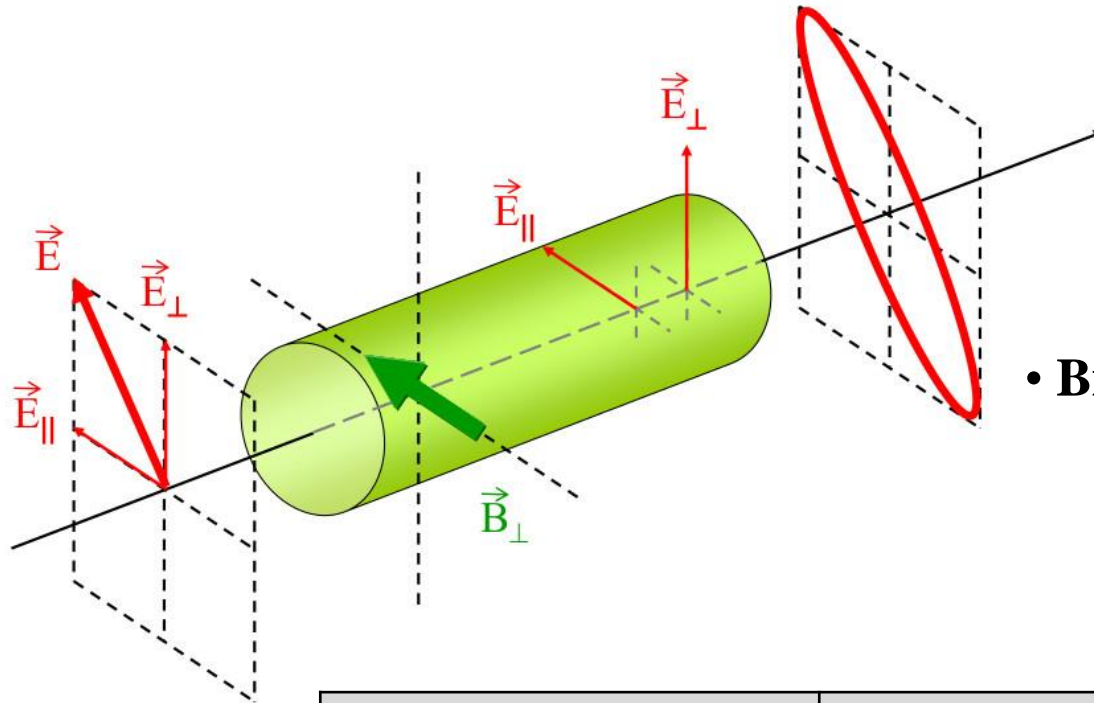


LABORATOIRE NATIONAL DES CHAMPS MAGNETIQUES INTENSES - TOULOUSE



LABORATOIRE MATÉRIAUX AVANCÉS - VILLEURBANNE

Biréfringence magnétique



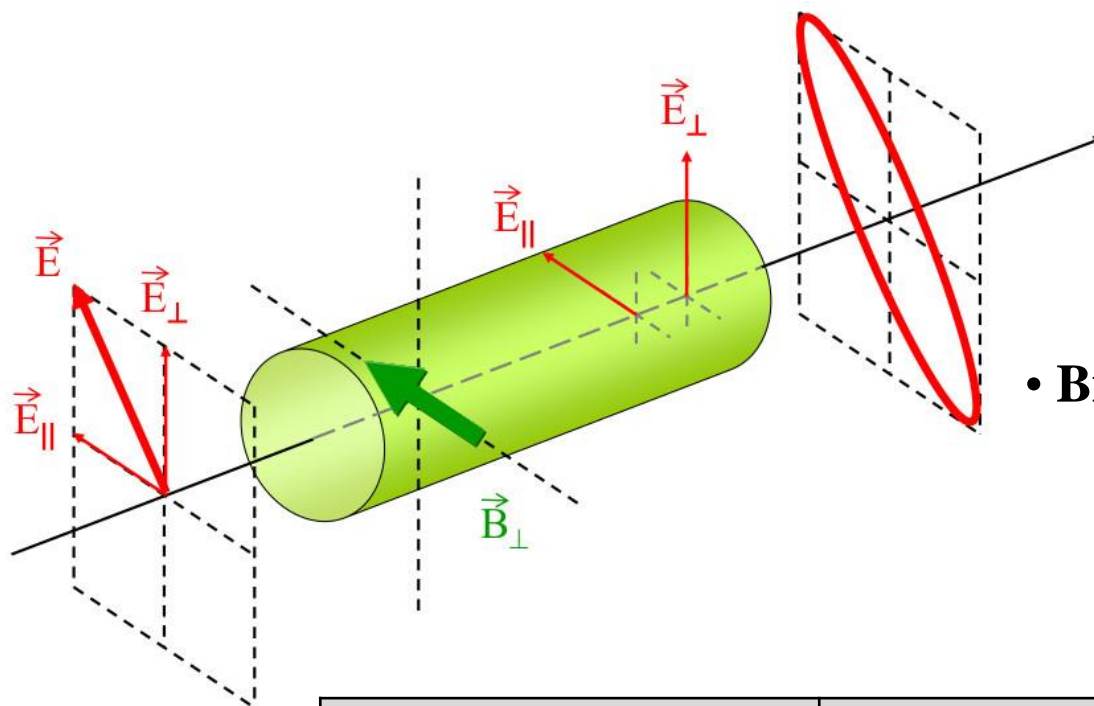
- **Biréfringence magnétique linéaire**
ou
effet Cotton-Mouton

$$\Delta n_{CM} = n_{\parallel} - n_{\perp} = k_{CM} \times B_{\perp}^2$$

milieu		k_{CM} à $\lambda = 1064$ nm
solide	silice	$\sim 10^{-7} \text{ T}^2$
gazeux	N ₂	$\sim - 2 \times 10^{-13} \text{ T}^2 \text{ atm}^{-1}$
	He	$\sim 2 \times 10^{-16} \text{ T}^2 \text{ atm}^{-1}$
Vide classique		0
Vide quantique		



Biréfringence magnétique

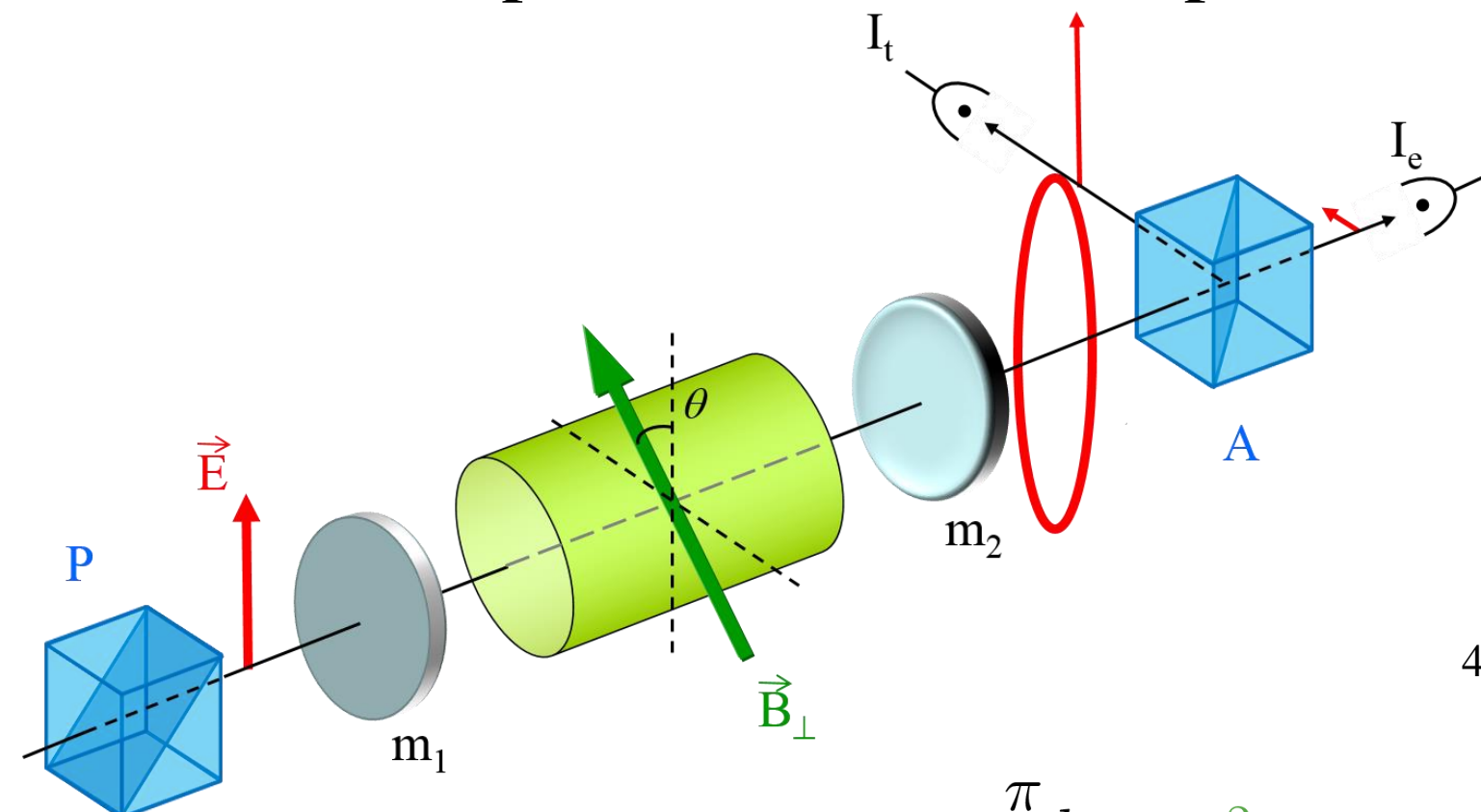


- **Biréfringence magnétique linéaire**
ou
effet Cotton-Mouton

$$\Delta n_{\text{CM}} = n_{\parallel} - n_{\perp} = k_{\text{CM}} \times B_{\perp}^2$$

milieu		k_{CM} à $\lambda = 1064 \text{ nm}$
solide	silice	$\sim 10^{-7} \text{ T}^{-2}$
gazeux	N_2	$\sim -2 \times 10^{-13} \text{ T}^{-2} \text{ atm}^{-1}$
	He	$\sim 2 \times 10^{-16} \text{ T}^{-2} \text{ atm}^{-1}$
Vide classique		0
Vide quantique		$(4.0317 \pm 0.0009) \times 10^{-24} \text{ T}^{-2}$

Principe de la mesure : ellipsométrie



$\lambda = 1064 \text{ nm}$

• **Ellipticité :** $\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{\text{CM}} B_{\perp}^2 L_B \sin 2\theta \frac{2F}{\pi}$

Aussi grande que possible

Aussi grand que possible

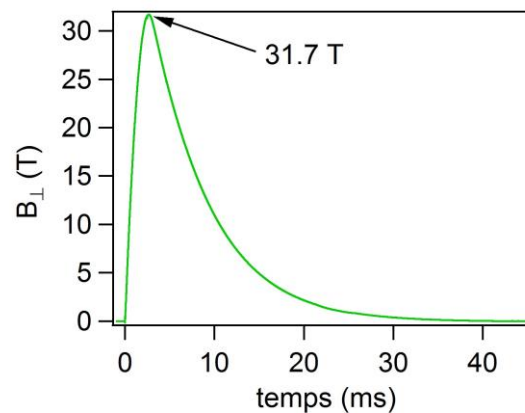
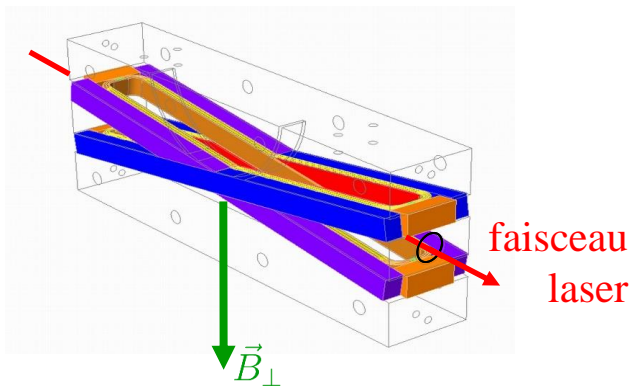
F aussi grande que possible³

45°



Champ magnétique transverse $\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{CM} B_{\perp}^2 L_B \frac{2F}{\pi}$

- **Champ pulsé avec géométrie de bobine en X**

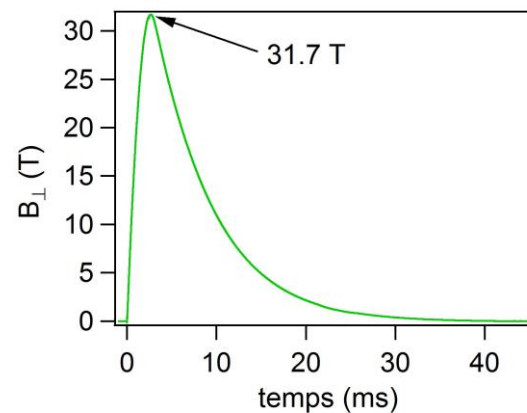


- ▶ **Champ de rupture :**
 $B_{\max} = 31.7 \text{ T}$
- ▶ **Champ max :**
 $B_{\perp} = 21 \text{ T}$
- ▶ **Longueur effective :**
 $L_B = 32 \text{ cm}$



Champ magnétique transverse $\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{CM} B_{\perp}^2 L_B \frac{2F}{\pi}$

- **Champ pulsé avec géométrie de bobine en X**



- ▶ **Champ de rupture :**

$$B_{\max} = 31.7 \text{ T}$$

- ▶ **Champ max :**

$$B_{\perp} = 21 \text{ T}$$

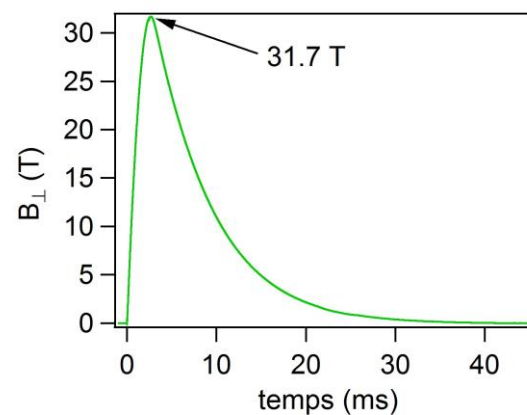
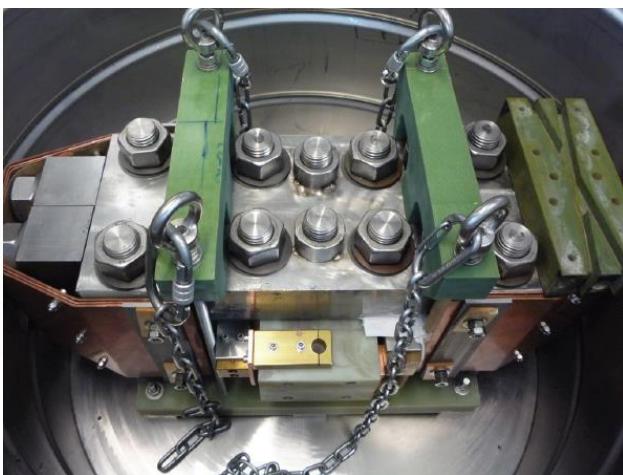
- ▶ **Longueur effective :**

$$L_B = 32 \text{ cm}$$



Champ magnétique transverse $\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{CM} B_{\perp}^2 L_B \frac{2F}{\pi}$

- **Champ pulsé avec géométrie de bobine en X**



- ▶ **Champ de rupture :**

$$B_{\max} = 31.7 \text{ T}$$

- ▶ **Champ max :**

$$B_{\perp} = 21 \text{ T}$$

- ▶ **Longueur effective :**

$$L_B = 32 \text{ cm}$$

- **Cryogénie**

bobine « X-coil » dans son cryostat à azote liquide



Cavité Fabry-Perot

$$\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{CM} B_{\perp}^2 L_B \frac{2F}{\pi}$$

- **Finesse et Transmission :**

	Finesse	Couplage	T (ppm)	P (ppm)
Actuellement	450 000	30 %	3,8	3,2
Objectif	1 000 000	25 %	1,5	1,5

- ▶ Collaboration avec le **Laboratoire des Matériaux Avancés**
- ▶ Financement **ROP** et **ANR**



Cavité Fabry-Perot

$$\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{CM} B_{\perp}^2 L_B \frac{2F}{\pi}$$

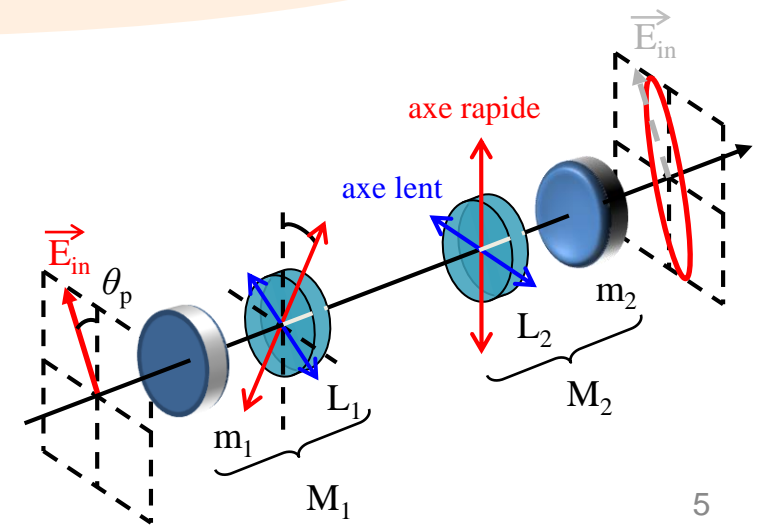
- Finesse et Transmission :**

	Finesse	Couplage	T (ppm)	P (ppm)
Actuellement	450 000	30 %	3,8	3,2
Objectif	1 000 000	25 %	1,5	1,5

- ▶ Collaboration avec le **Laboratoire des Matériaux Avancés**
- ▶ Financement **ROP** et **ANR**

- Biréfringence statique des miroirs :**

	Retard de phase par réflexion
Actuellement	10^{-6}
Objectif	qq 10^{-7}





Conclusion



- **Développement d'un appareil de mesure de grande sensibilité avec**
 - ▶ **optique de précision** → cavité de haute finesse, maîtrise de la biréfringence statique de la cavité
 - ▶ **champ magnétique intense** → champ magnétique pulsé transverse de plusieurs teslas



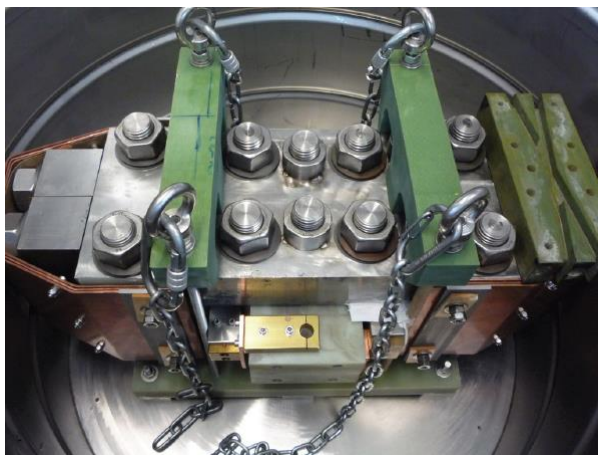
BMV 2 – augmenter l'ellipticité

$$\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{\text{CM}} B_{\perp}^2 L_B \sin 2\theta \frac{2F}{\pi}$$

- **Bobines XXL**

- ▶ Augmenter le paramètre $B_{\perp}^2 L_B$

Développement au LNCMI de Toulouse



Actuellement : 3 T²m

Objectif : 100 T²m



BMV 2 – augmenter l'ellipticité

$$\Psi = \frac{\pi}{\lambda} k_{\text{CM}} B_{\perp}^2 L_B \sin 2\theta \frac{2F}{\pi}$$

- **Cavité Fabry-Pérot**

- ▶ augmenter la finesse :

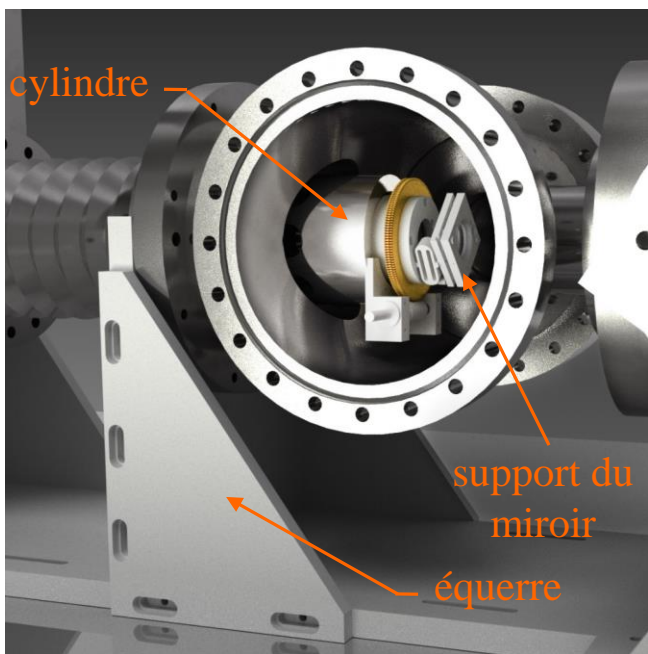
Collaboration avec le Laboratoire des Matériaux Avancés

Actuellement : $F = 500\,000$

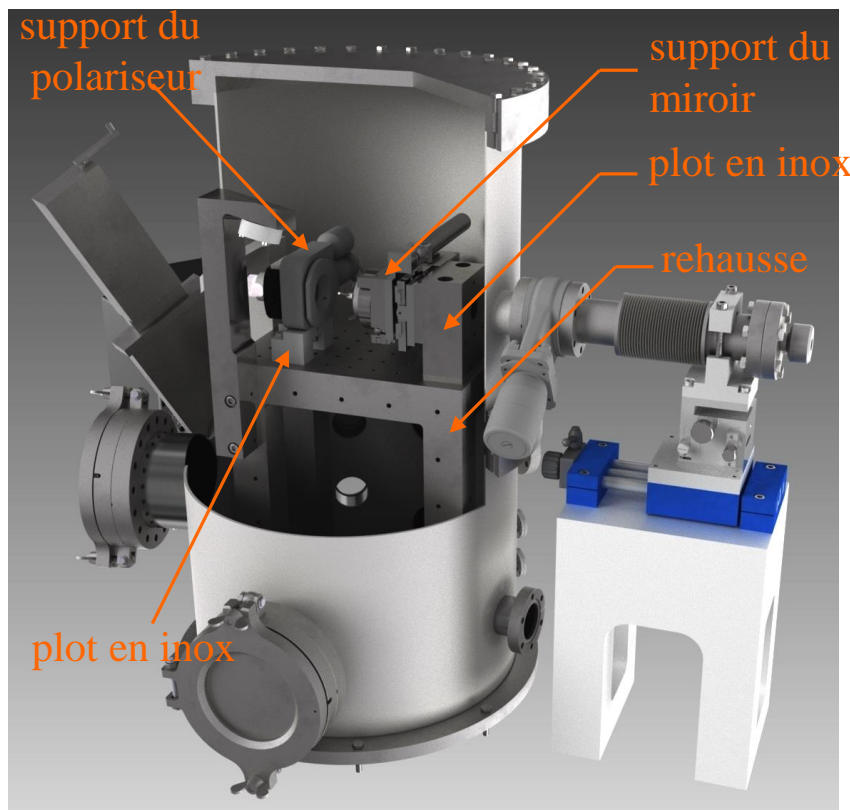
Objectif : $F = 1\,000\,000$

BMV 2 – améliorer la sensibilité

- **Stabilisation mécanique**



► BMV 1

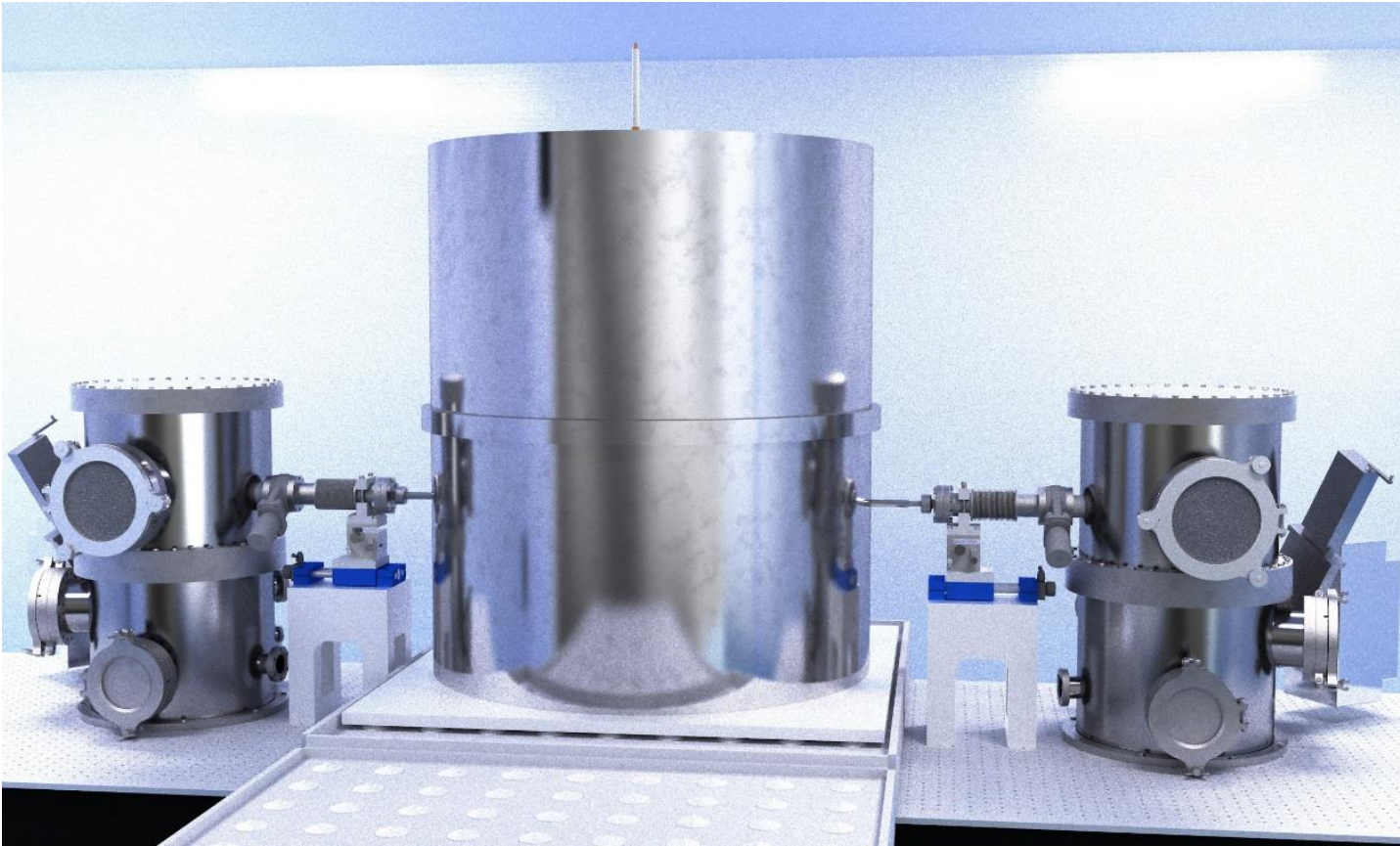


► BMV 2



BMV 2 – améliorer la sensibilité

- **Stabilisation mécanique**



Objectif final dans le vide

	Paramètre	BMV 1	BMV 2
Finesse	F	445 000	1 000 000
Longueur de cavité	L_c	2,27 m	1,83 m
Champ magnétique max	B^2	21,5 T ²	310 T ²
Longueur magnétique	L_B	0,137 m	0,319 m
Sensibilité en ellipticité	Ψ_{sens}	$6,3 \times 10^{-8}$ rad/tir	2×10^{-8} rad/tir
Ellipticité attendue dans le vide	Ψ_{vide}	$1,0 \times 10^{-11}$ rad	$7,4 \times 10^{-10}$ rad
Intégration pour observer l'effet du vide	-	4×10^7 tirs ~ 4×10^6 jours	730 tirs ~ qq jours

⇒ **Observation possible dans les prochaines années**