

# Locking Status

Réunion MightyLaser

19 janvier 2011

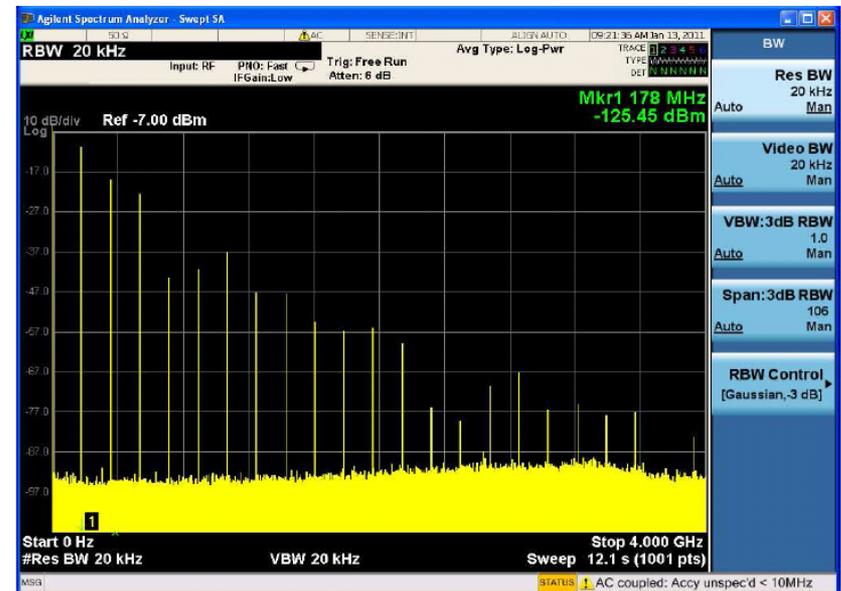
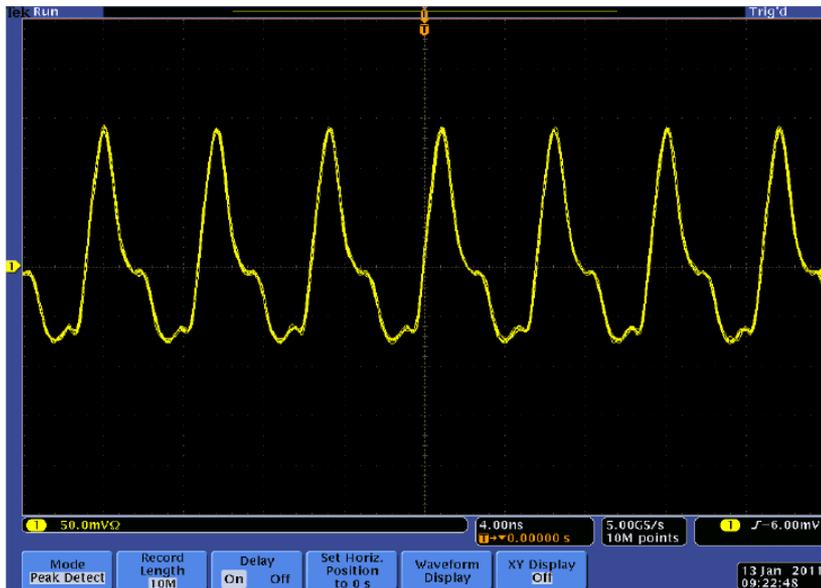
Ronic Chiche

# Plan

- Mesures OneFive
- Données sur le locking actuel
- Futur du locking

# Mesures OneFive Signal laser

- Fréquence de répétition au reset : 178 499 234 Hz  
Fréquence ATF au 12/01/2011 : 178 498 622 Hz (- 600 Hz)
- Sortie PHD interne non filtrée :



# Mesures OneFive

## Actuateurs

### Peltier :

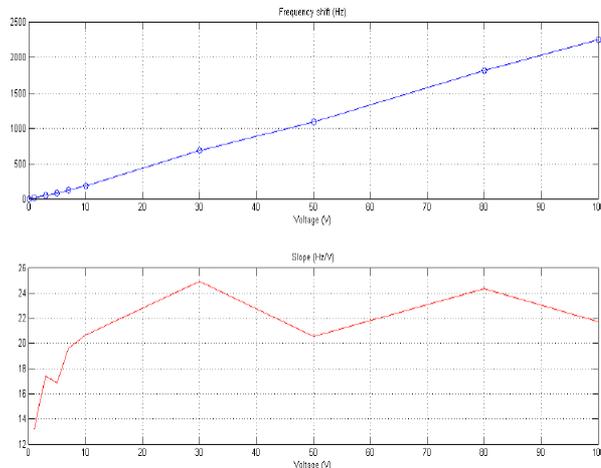
- 1 external step  $\Leftrightarrow$  internal counter = 5 steps (accessible par RS232 : set / read)
- Gamme mesurée stable : Freq = 178 494 850 - 178 503 800 Hz

Je me suis arrêté à peu près à +/- 4kHz autour de 178.499 kHz (nouvelle fréquence centrale)  
Mais la gamme max semble être bien plus étendue.

- Pente :  $\sim 105$  Hz / external step

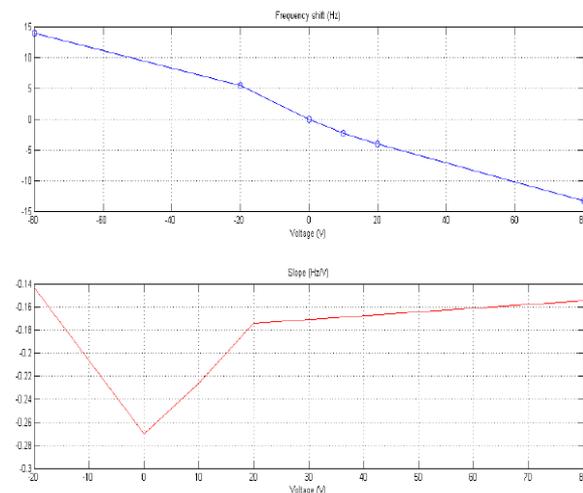
### PZT coarse : unipolaire

- $13\text{Hz/V} < \text{Pente} < 24\text{ Hz/V}$



### PZT fine : bipolaire

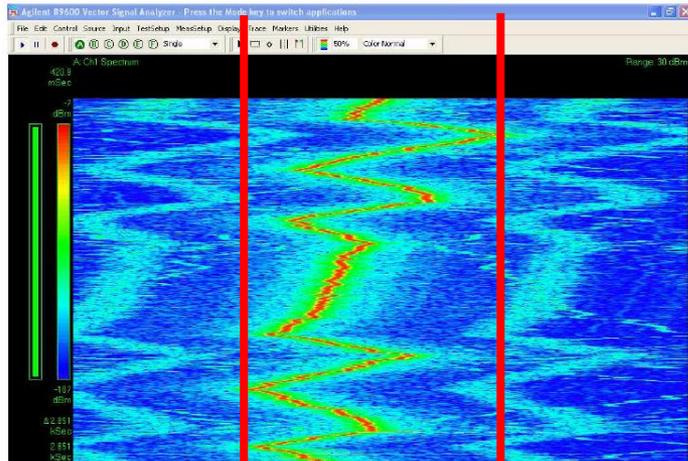
- Pente  $\sim -0.2$  Hz/V



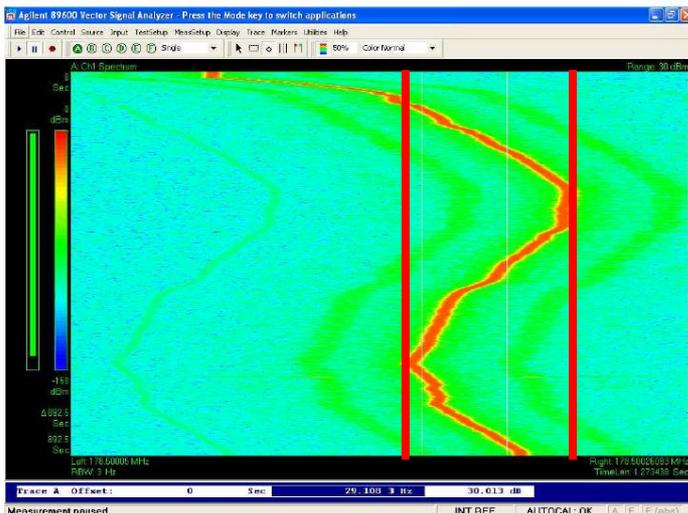
Mesure des PZT difficile à cause des fluctuations naturelles du laser

# Mesures OneFive Stabilité

Stabilité Long terme :



Sur 3/4h :  
 $\Delta f = 42 \text{ Hz}$



Step response  
sur 1/4h :  
 $\Delta f = 60 \text{ Hz}$

Stabilité court terme

Bruit de phase :

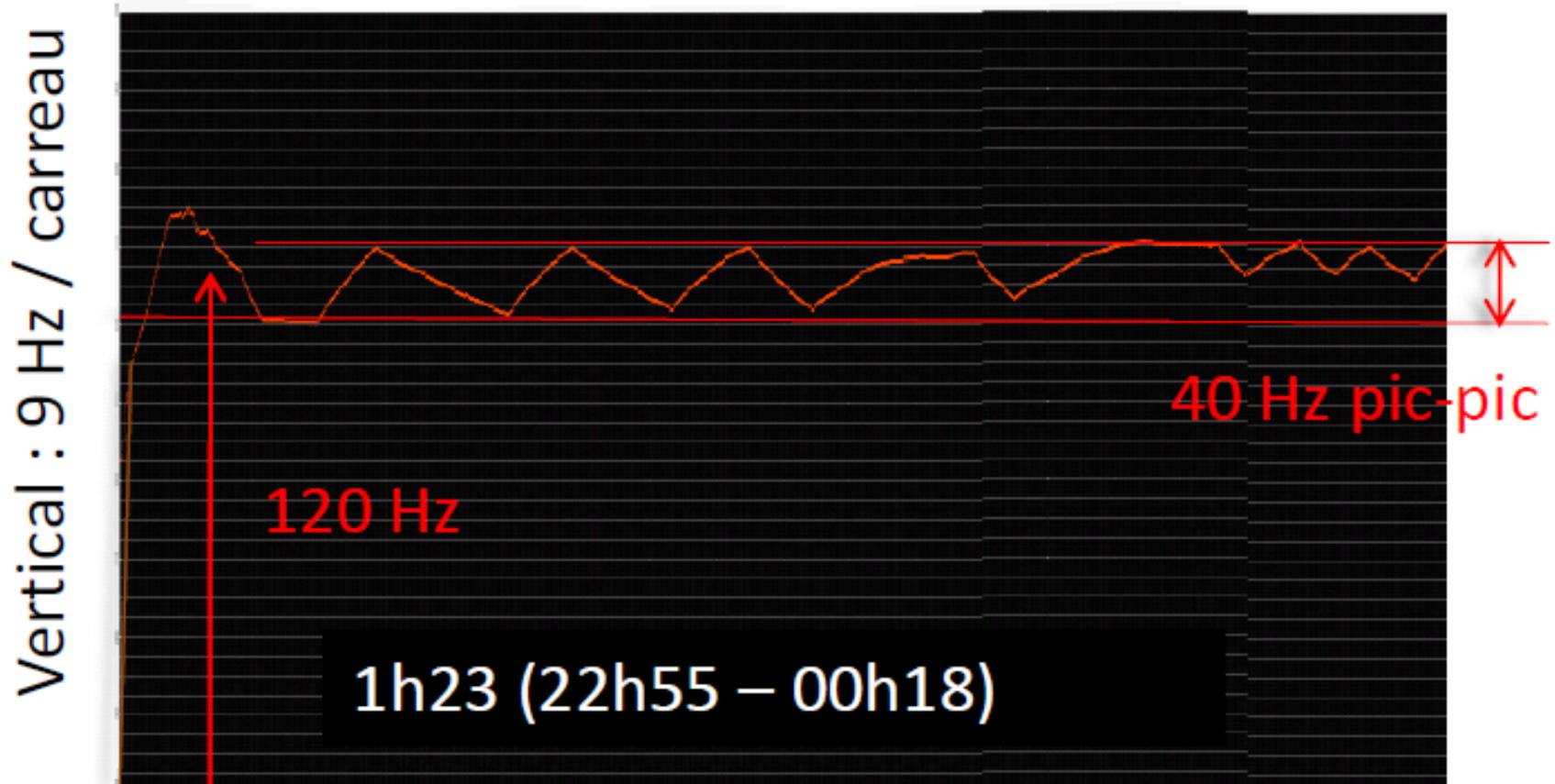


$$\mathcal{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^{3.25}}$$

# Mesures OneFive

## Comparaison avec stabilité en fréquence

Dynamique : Peltier 120 Hz / step



# Plan

- Mesures OneFive
- Données sur le locking actuel
- Futur du locking

# Locking actuel

## 2 situations au 3/09/2010

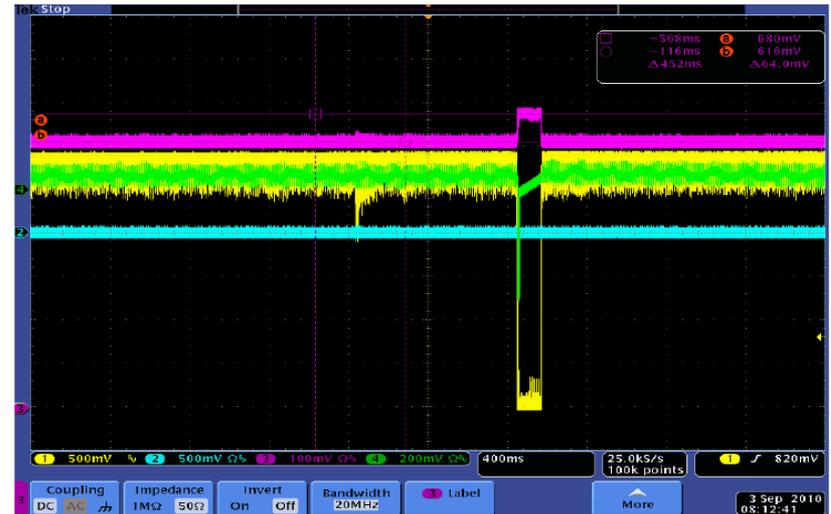
Lock sur fondamental  
 $F_{rep} \sim F_{cav} \Rightarrow F_{opt}$



Bon couplage  $\sim 50\%$   
 Mais pas stable

$$F = 3000 \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} < \frac{\lambda}{2LF} \sim \frac{1}{3} \frac{\lambda}{2LF} \sim 3 \cdot 10^{-11}$$

Lock sur 1<sup>ère</sup> harmonique  
 $F_{opt} \pm F_{rep}$



Stable  
 mais faible couplage  $\sim 10\%$   
 $\Rightarrow$  Finesse effective fonction de plusieurs paramètres

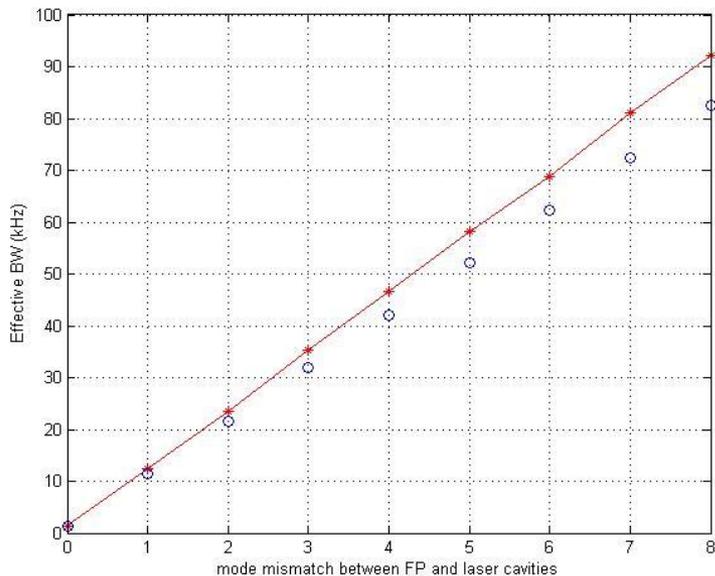
# Locking actuel

## Effet du « detuning » fréquentiel

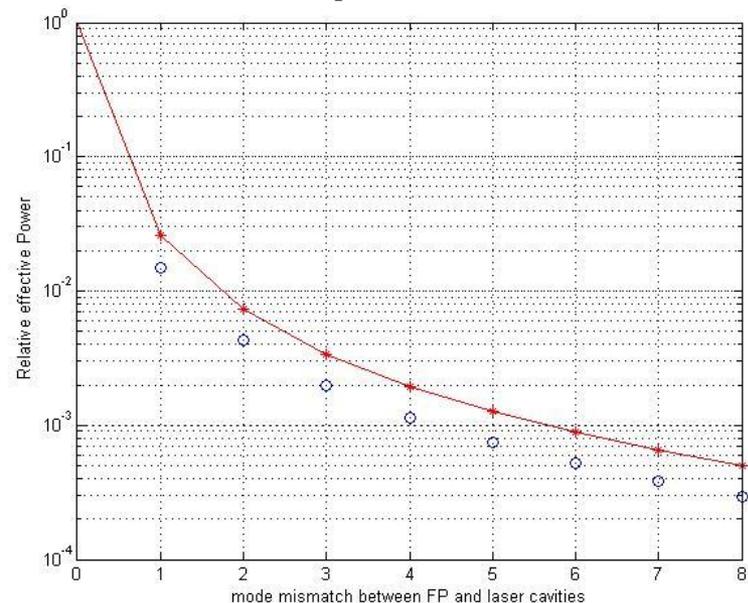
$$TF \left\{ \frac{\Delta v_{PDH}}{\Delta \omega_q} \right\} v_n \approx - \frac{\kappa_{PDH} P}{\pi \delta \nu} \frac{1}{\left( \frac{\delta \nu}{2} + \frac{\left( \overline{\Delta q} - \frac{\Delta \Phi_{CEO}}{2\pi} \right)}{\pi^2 \tau \overline{q}} \right) \left( \frac{\delta \nu}{2} + \frac{\left( \overline{\Delta q} - \frac{\Delta \Phi_{CEO}}{2\pi} \right)}{\pi^2 \tau \overline{q}} + i v_n \right)}$$

Exemple sur PLIC (laser MIRA)

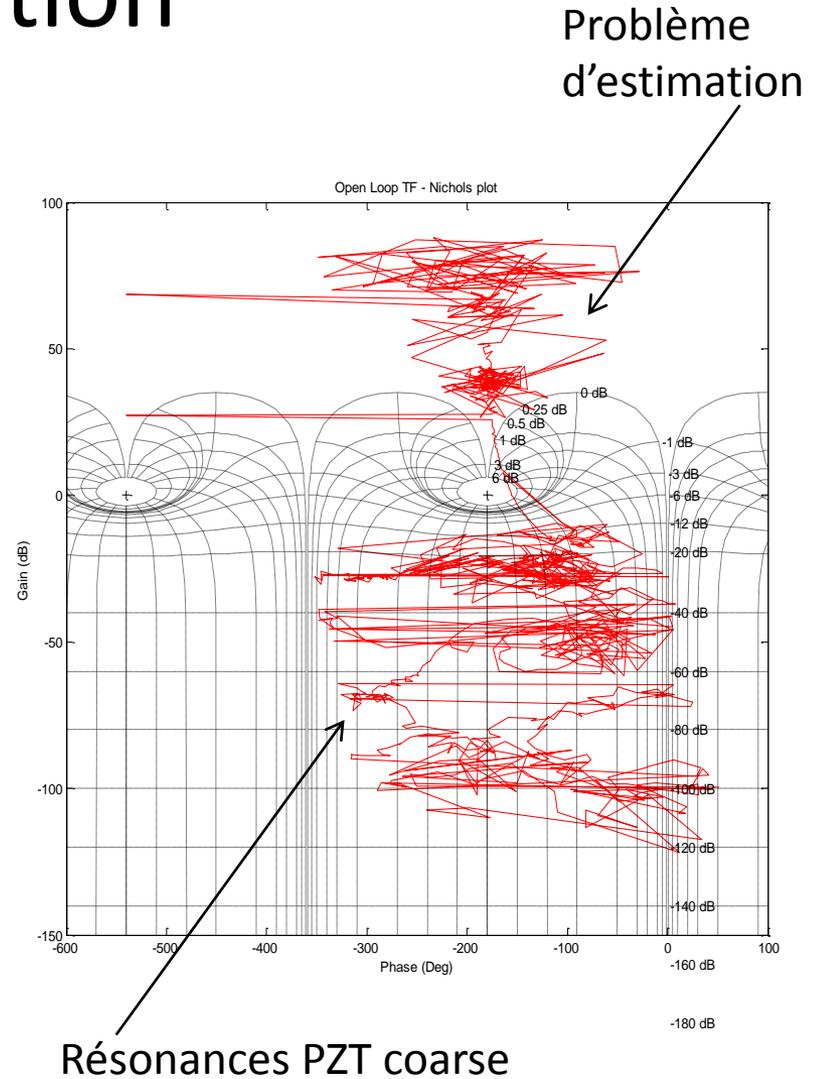
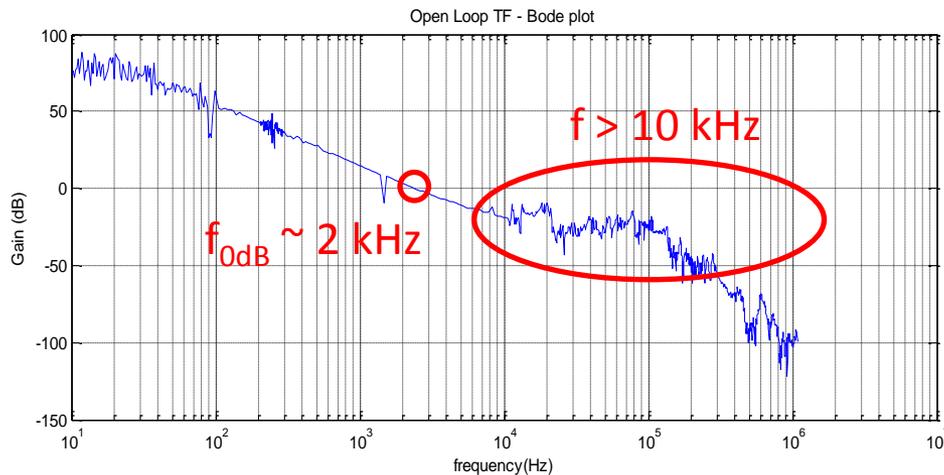
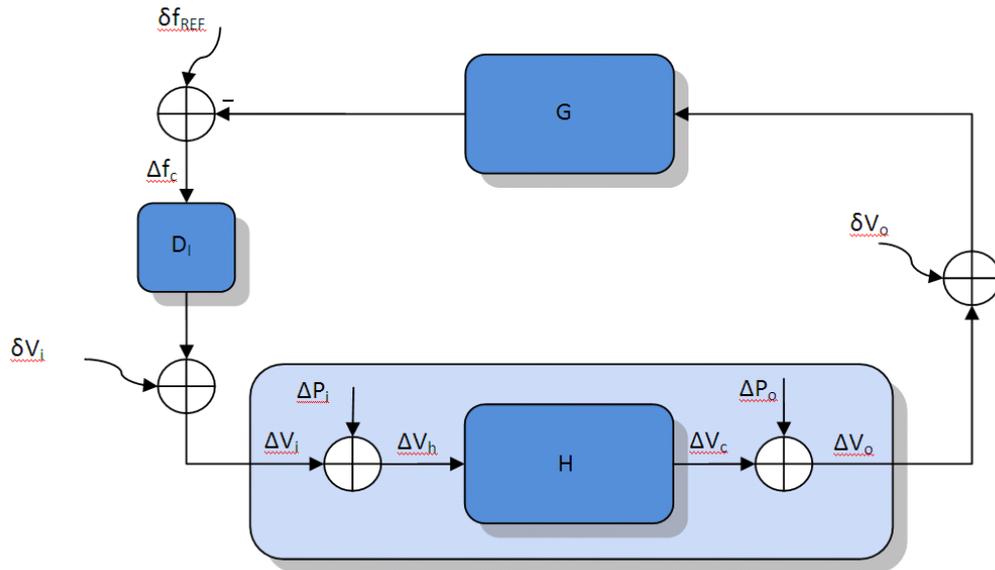
**Augmentation de la bande passante effective de la cavité Fabry-Perot en fonction du désaccord de mode entre la cavité laser et Fabry-Perot exprimé en nombre d'ISL.**



**Perte de puissance en fonction du désaccord de mode entre la cavité laser et Fabry-Perot exprimé en nombre d'ISL.**



# Locking actual Identification

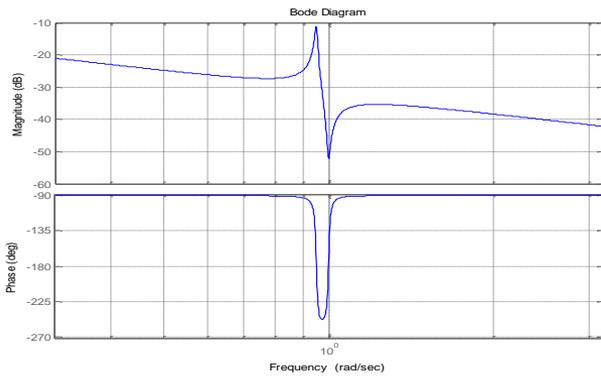


# Locking actuel

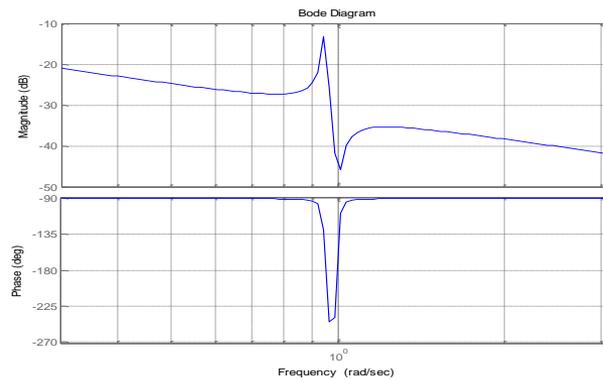
## Identification d'un Pole-Zero

### effet de la résolution dans Bode et Nichols

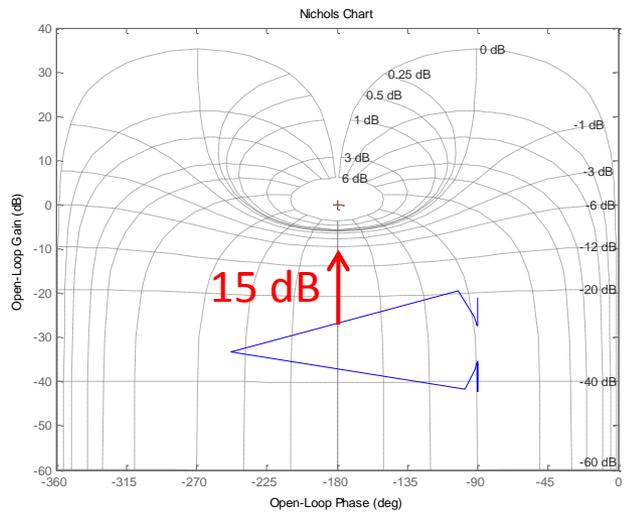
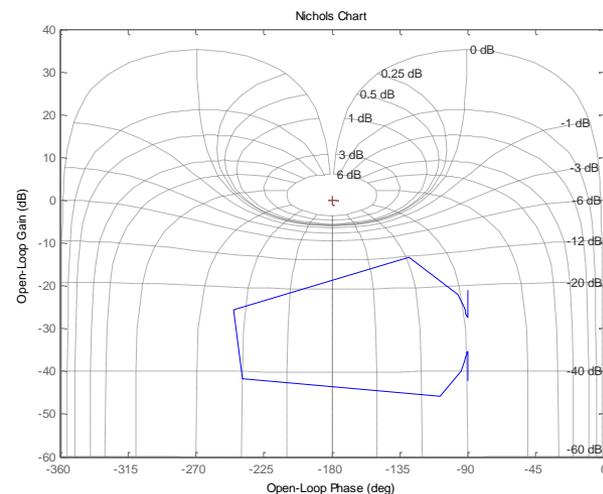
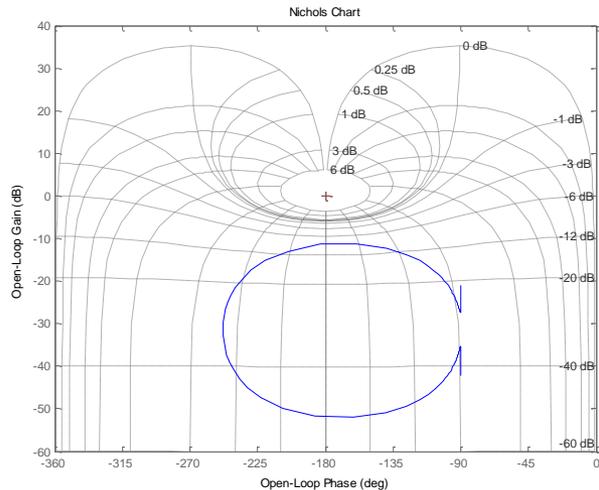
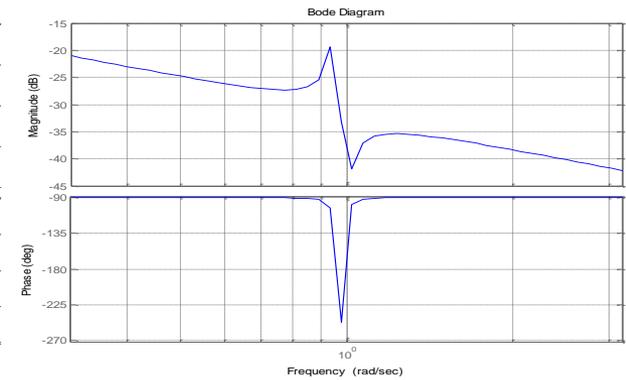
Résonance  $Q=100$   
1000 pts /décade



Résonance  $Q=100$   
100 pts /décade

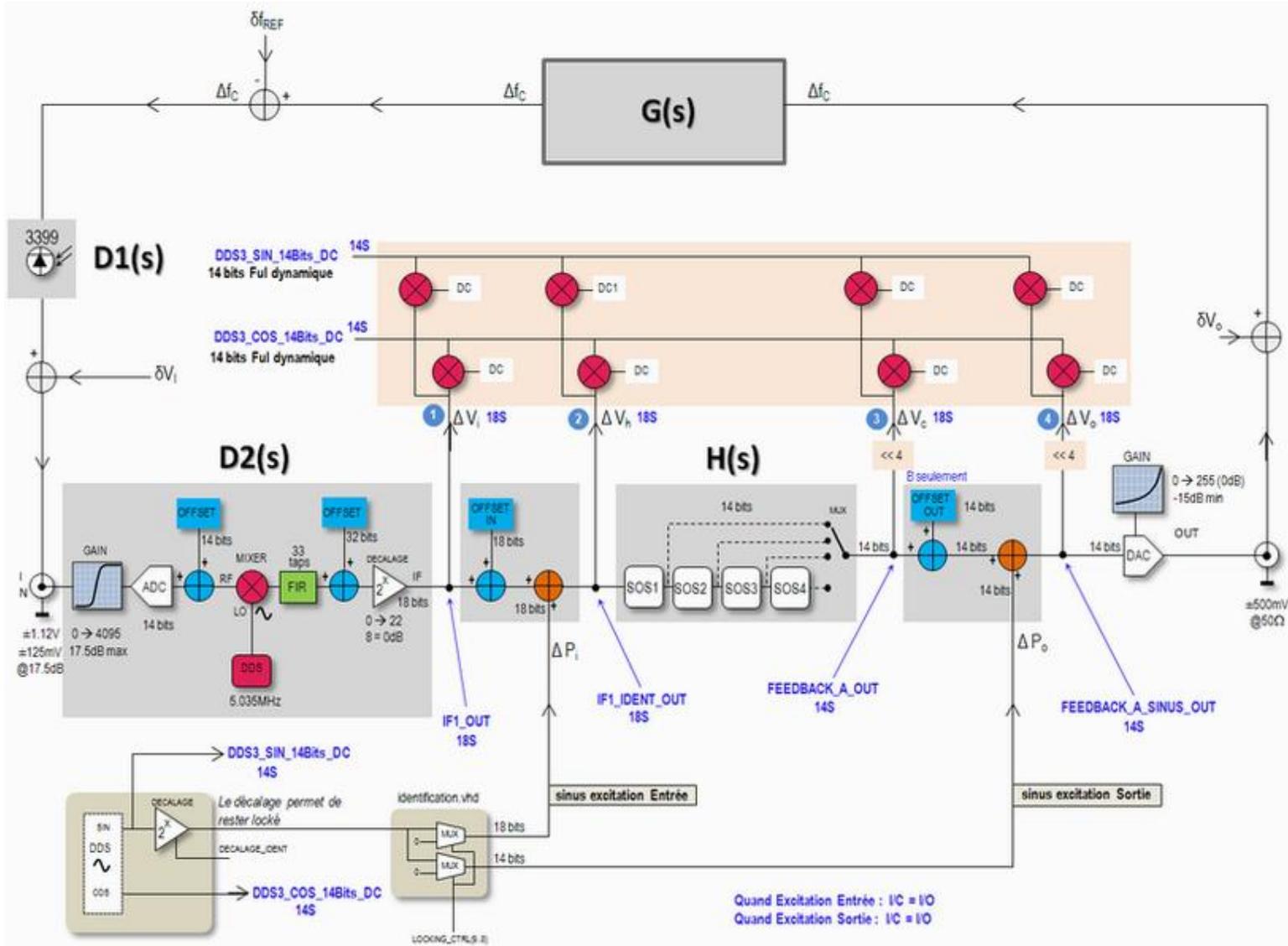


Résonance  $Q=100$   
50 pts /décade



# Locking actuel

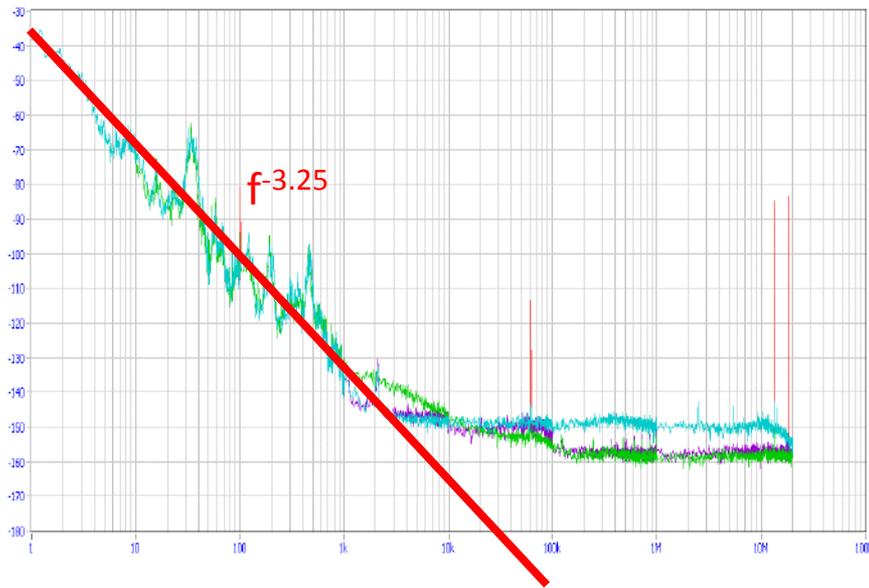
## Identification via FPGA



# Locking actuel

## Estimation de la stabilité relative

$L(f)$ =Densité spectrale de bruit de phase/2



$$\frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = \sqrt{\int_0^{+\infty} \frac{f^2}{F_{REP}^2} 2\mathcal{L}(f) df} \sim 3 \cdot 10^{-11}$$

$$\mathcal{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^{3.25}}$$

Asservissement actuel : 2 filtres P-I en  $1/f$   
 $f_{0dB} = 2 \text{ kHz}$

$$f < f_{0dB} \Rightarrow \mathcal{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^{3.25}} \left| \frac{f^2}{f_{0dB}^2} \right|^2 \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = 0.27 \cdot 10^{-10}$$

$$f > f_{0dB} \Rightarrow \mathcal{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^{3.25}} \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = 1.1 \cdot 10^{-10}$$

Il ne faut pas oublier :

- A la jonction de ces 2 zones, la stabilité est réduite et le feedback a tendance à amplifier le bruit plutôt qu'à le réduire.
- Le bruit d'actuation (bruit électronique transmis au laser via les PZT)
- Les raies non prise en compte dans ce model
- Le manque de connaissance @  $f > 2 \text{ kHz}$

$$\frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} > 10^{-10} !!!$$

# Plan

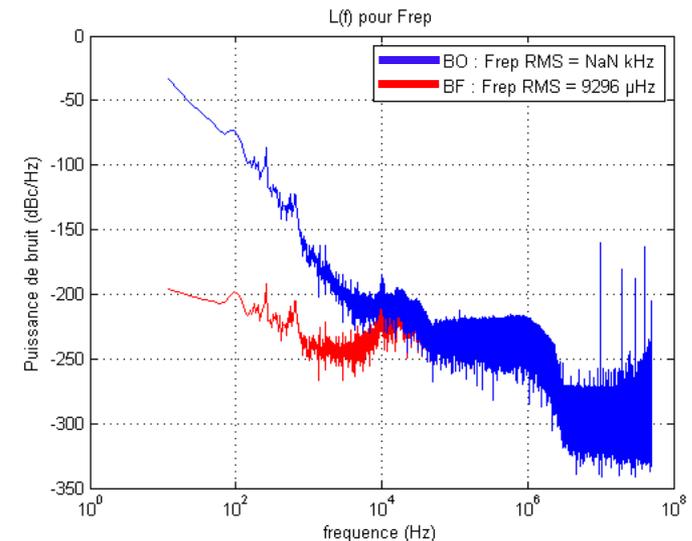
- Mesures OneFive
- Données sur le locking actuel
- Futur du locking

# Futur du locking

## Quelles voies pour réduire le bruit ?

- Connaitre la forme du bruit
  - ⇒ Identification en boucle fermée
  - ⇒ Acquisition au scope => FFT
  - ⇒ Mesure à l'analyseur de spectre RF
  - ⇒ Nécessite une calibration
- Diminuer le bruit électronique
- Changer les filtres sur la voie « coarse »
  - ⇒ Augmenter le gain
  - ⇒ Augmenter la stabilité
- Augmenter la bande passante
  - ⇒ Utilisation de la voie PZT « fine »
  - ⇒ Mise en place d'un banc de caractérisation PZT

Exemple de mesure faite sur le MIRA  
Avec une acquisition au scope + FFT



Calibration possible :

- Sur le bruit de phase en BO
- Avec une modulation calibrée

# Futur du locking

## Bruit d'actuation

$$\delta F_{OPT} = \frac{c}{\lambda L} \left[ \frac{\Delta L}{\Delta V} \right]_{PZT} \delta V < \frac{F_{REP}}{\mathbb{F}} \Leftrightarrow \delta V < \frac{\lambda}{\mathbb{F}} \left[ \frac{\Delta L}{\Delta V} \right]_{PZT}^{-1}$$

Electronique qui a servi sur le MIRA :

$$\lambda = 800 \text{ nm}$$

$$\mathbb{F} = 30000$$

$$\left[ \frac{\Delta L}{\Delta V} \right]_{PZT} = 61 \text{ nm} / \text{V}$$

30x moins sensible



Pour l'Origami :

$$\lambda = 1032 \text{ nm}$$

$$\mathbb{F} = 3000$$

$$\left[ \frac{\Delta L}{\Delta V} \right]_{PZT} = 23 \text{ nm} / \text{V}$$

Nécessite de vérifier la mise en œuvre... mais ne devrait pas être fautif  
 (IL FAUT VERIFIER SI LE PASSE-BAS ANALOGIQUE A BIEN ETE INSTALLE sur la voie gain 10)  
 Vérifiable assez facilement en mesurant le signal PDH en boucle fermée

# Futur du locking

## Transformation des filtres

Asservissement actuel : 2 filtres P-I en 1/f

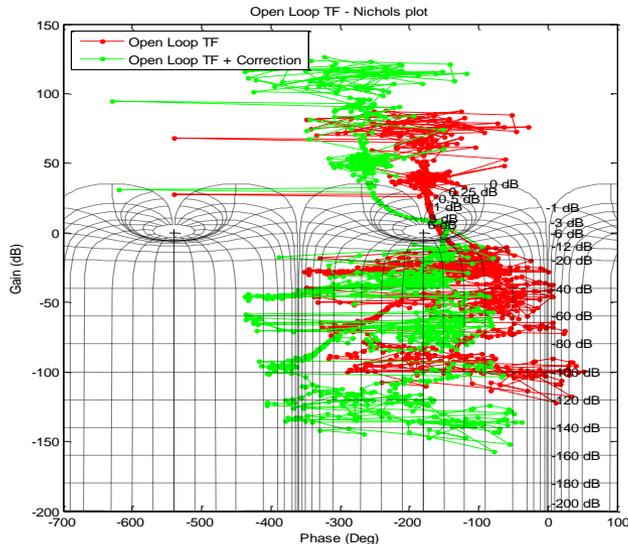
$$f_{0dB} = 2 \text{ kHz}$$

$$f < f_{0dB} \Rightarrow \mathbb{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^{3.25}} \left| \frac{f^2}{f_{0dB}^2} \right|^2 \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = 0.27 \cdot 10^{-10}$$

$$f > f_{0dB} \Rightarrow \mathbb{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^{3.25}} \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = 1.1 \cdot 10^{-10}$$

Le bruit ne proviendrait pas de la bande asservie  
 $\Rightarrow$  A priori, pas nécessaire d'augmenter la gain

$\Rightarrow$  Il faut augmenter la bande passante  
 c'est-à-dire augmenter le gain de la bande  
 hors asservissement actuellement



Exemple

Augmentation du gain + amélioration de la stabilité  
 À vérifier lors d'une prochaine identification

# Futur du locking

## Voie « Fine » PZT

- Gamme Dynamique :

$$\Delta F_{OPT} < 10 \frac{F_{REP}}{\mathbb{F}}$$

$$\frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = \frac{\Delta F_{OPT}}{F_{OPT}} \Rightarrow \Delta F_{REP} < 10 \frac{\lambda}{L} \frac{F_{REP}}{\mathbb{F}} \sim 0.4 \text{ Hz}$$

Mesure sensibilité du PZT « fine » :  
0.2 Hz/V x +/- 1V => pas de problème

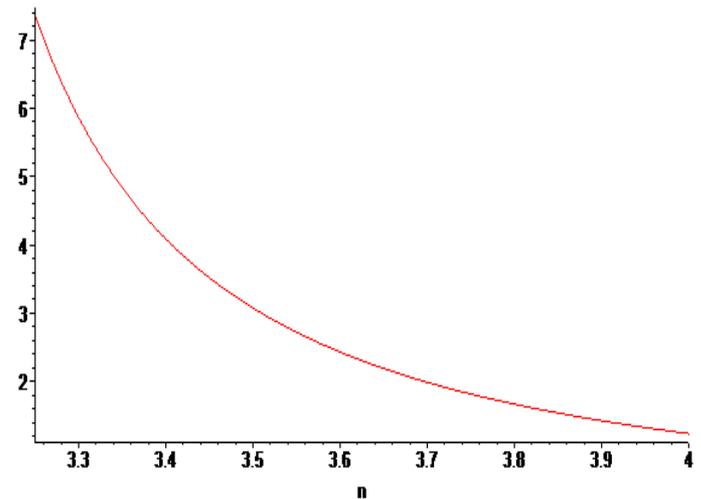
- Bande passante :

$$\frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} \sim 3 \cdot 10^{-11} \Rightarrow \Delta F_{REP} = \sqrt{\int_{f_{0dB}}^{+\infty} f^2 2\mathcal{L}(f) df} \sim 6 \text{ mHz}$$

$$\mathcal{L}(f) = \frac{a}{f^n} \Rightarrow \Delta F_{REP} = \sqrt{\frac{2a}{n-3} f_{0dB}^{n-3}}$$

$$\Rightarrow f_{0dB} = \exp\left(-\frac{\ln(n-3)\Delta F_{REP}^2 - \ln 2a}{n-3}\right)$$

$\text{Log}_{10}(f_{0dB})$

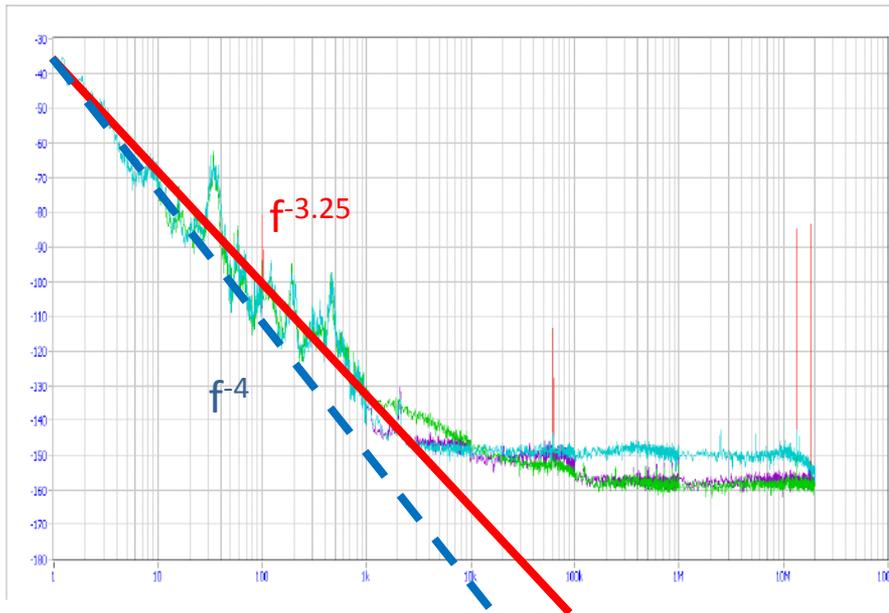


Bande passante va dépendre **FORTEMENT** de la forme réelle du bruit de phase  
Celle-ci peut-être estimée en boucle fermée pour confirmer la mesure en boucle ouverte

# Futur du locking

## Hypothèse n=4

Densité spectrale de bruit de phase



$$f_{0dB} = 2 \text{ kHz}$$

$$f < f_{0dB} \Rightarrow \mathcal{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^4} \left| \frac{f^2}{f_{0dB}^2} \right|^2 \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = 1.8 \cdot 10^{-12}$$

$$f > f_{0dB} \Rightarrow \mathcal{L}(f) = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{f^4} \Rightarrow \frac{\Delta F_{REP}}{F_{REP}} = 3 \cdot 10^{-12}$$

⇒ Pas réaliste ?

Sauf si cause du bruit est externe  
(« bump » ou résonance)

Vérifiable assez facilement en mesurant le signal PDH en boucle fermée

# Conclusion

## Programme de travail

- 1) Connaitre la forme du bruit
  - ⇒ Identification en boucle ouverte/fermée => En cours
  - ⇒ Acquisition au scope / analyseur de spectre RF => Très rapide
- 2) Diminuer le bruit électronique (si nécessaire)
  - ⇒ Mesures pendant installation du laser possibles
  - ⇒ Identification en boucle fermée => Technical run
- 3) Changer les filtres sur la voie « coarse »
  - ⇒ En cours
  - ⇒ Mais cela devrait peu jouer
- 4) Augmenter la bande passante : voie « fine »
  - ⇒ Méthode à 2 canaux fonctionne en simulation
  - ⇒ Nécessite de bien connaitre la fonction de transfert du PZT
    - ⇒ Identification en boucle fermée => Technical run
    - ⇒ OneFive a priori OK : Mise en place d'un banc de caractérisation PZT