



**HAL**  
open science

# Bruit des lasers dans la génération optique d'ondes submillimétriques pour la spectroscopie

François Bondu, Ayman Hallal

► **To cite this version:**

François Bondu, Ayman Hallal. Bruit des lasers dans la génération optique d'ondes submillimétriques pour la spectroscopie. Photonique et mesures de précision, Oct 2016, Paris, France. hal-01384306

**HAL Id: hal-01384306**

**<https://univ-rennes.hal.science/hal-01384306v1>**

Submitted on 19 Oct 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Principe de mesure en spectroscopie moléculaire

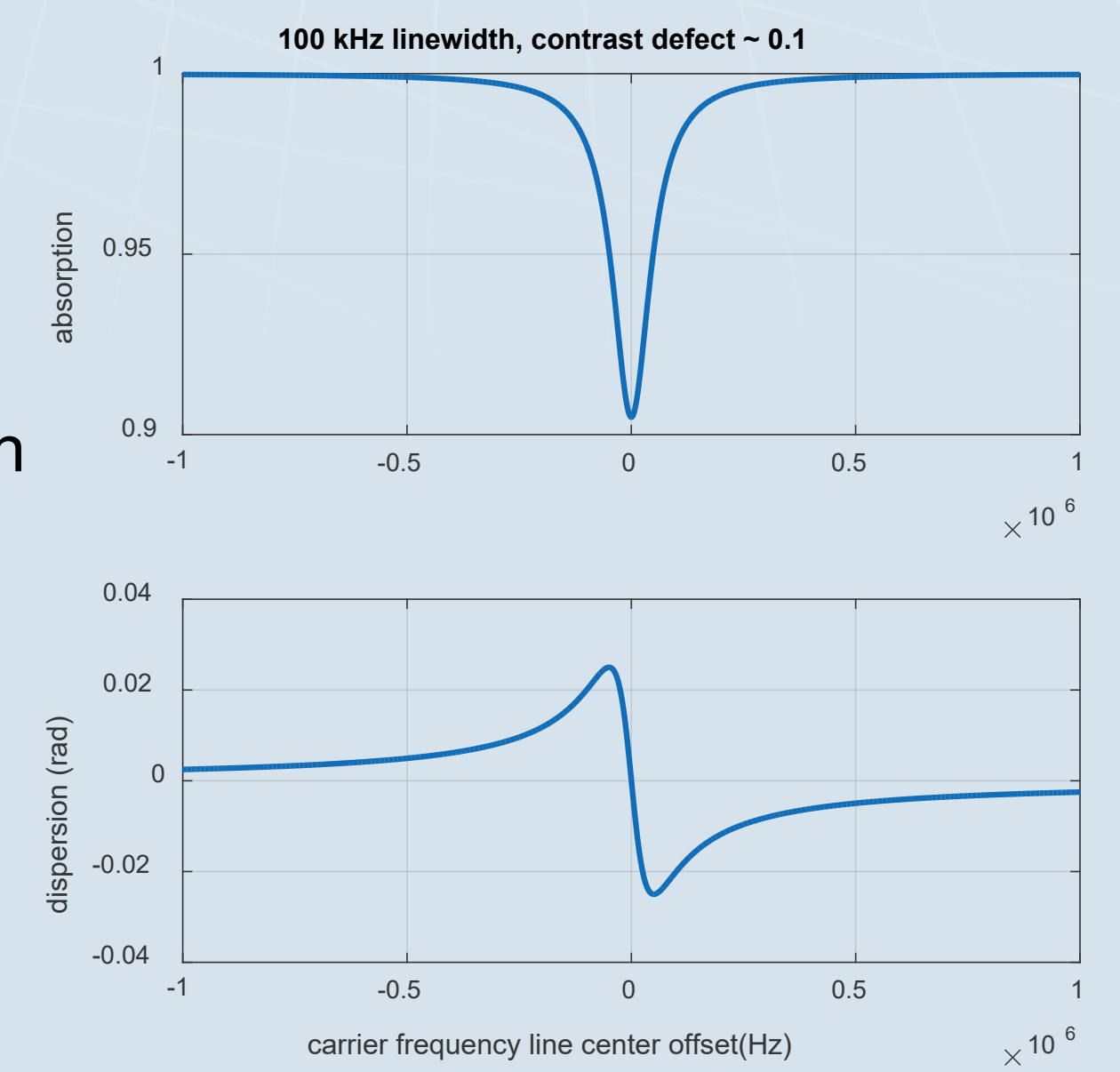


Hypothèses : bruit d'amplitude et de phase de l'onde submillimétrique dominés par les bruits d'amplitude et de phase des lasers

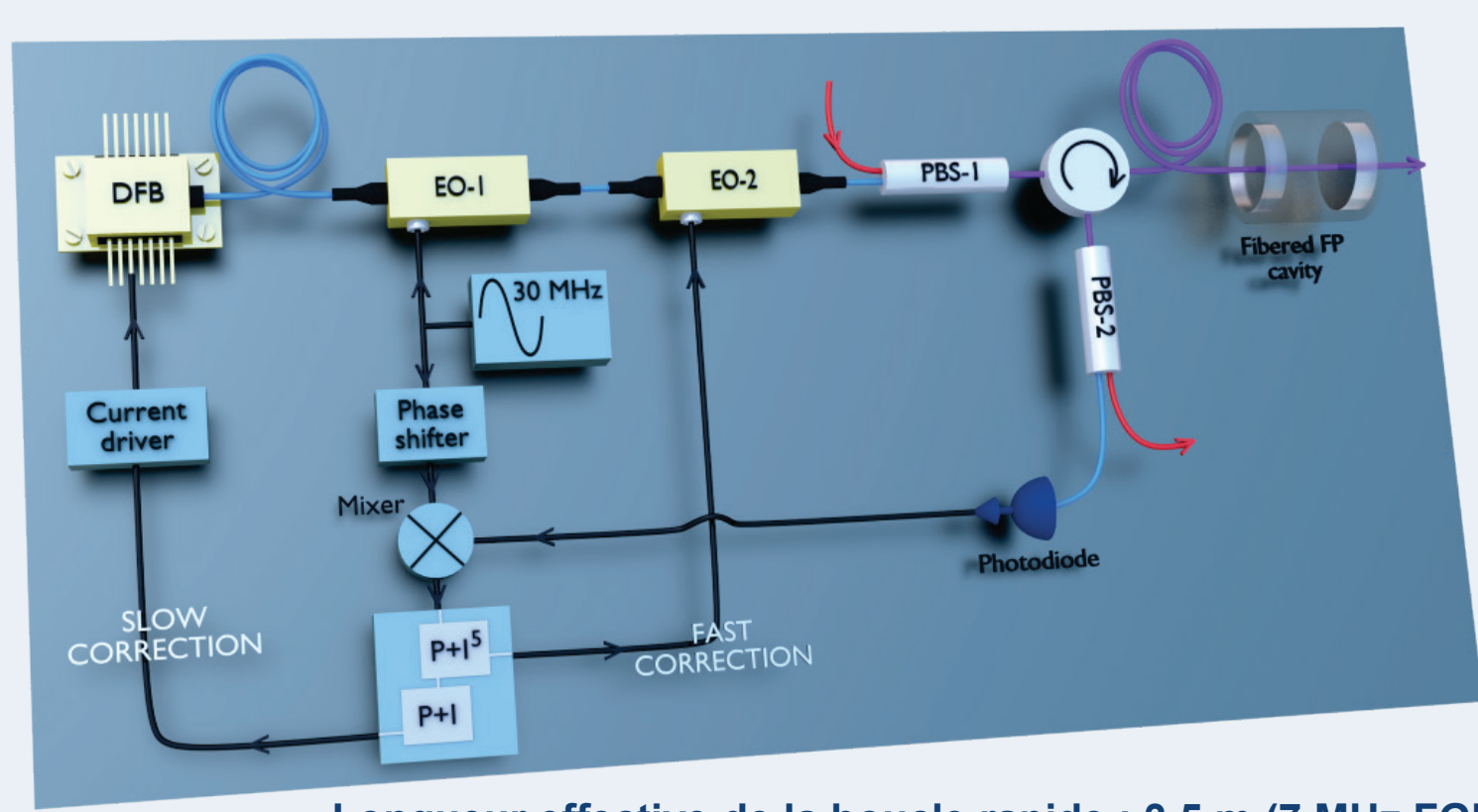
Meilleur rapport S/N de détection de la raie sur la quadrature la moins bruyante (en dBc/Hz) en général la quadrature d'amplitude

$$\text{Largeur Doppler} = 202 \text{ kHz} \left( \frac{f_{\text{porteuse}}}{300 \text{ GHz}} \right) \sqrt{\left( \frac{T}{290 \text{ K}} \right) \left( \frac{89}{M_{\text{g/mol}}} \right)}$$

exemple de raie avec profil Lorentzien de largeur 100 kHz

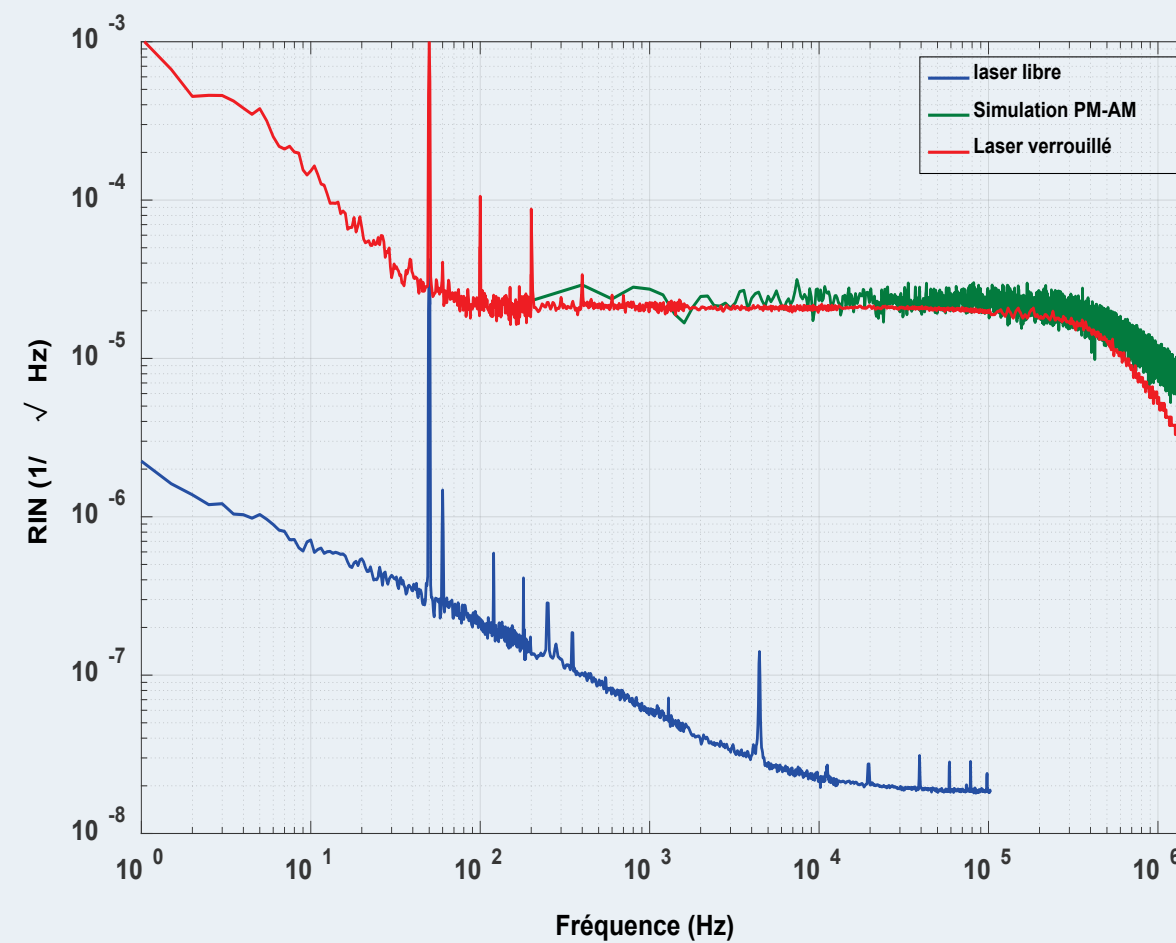
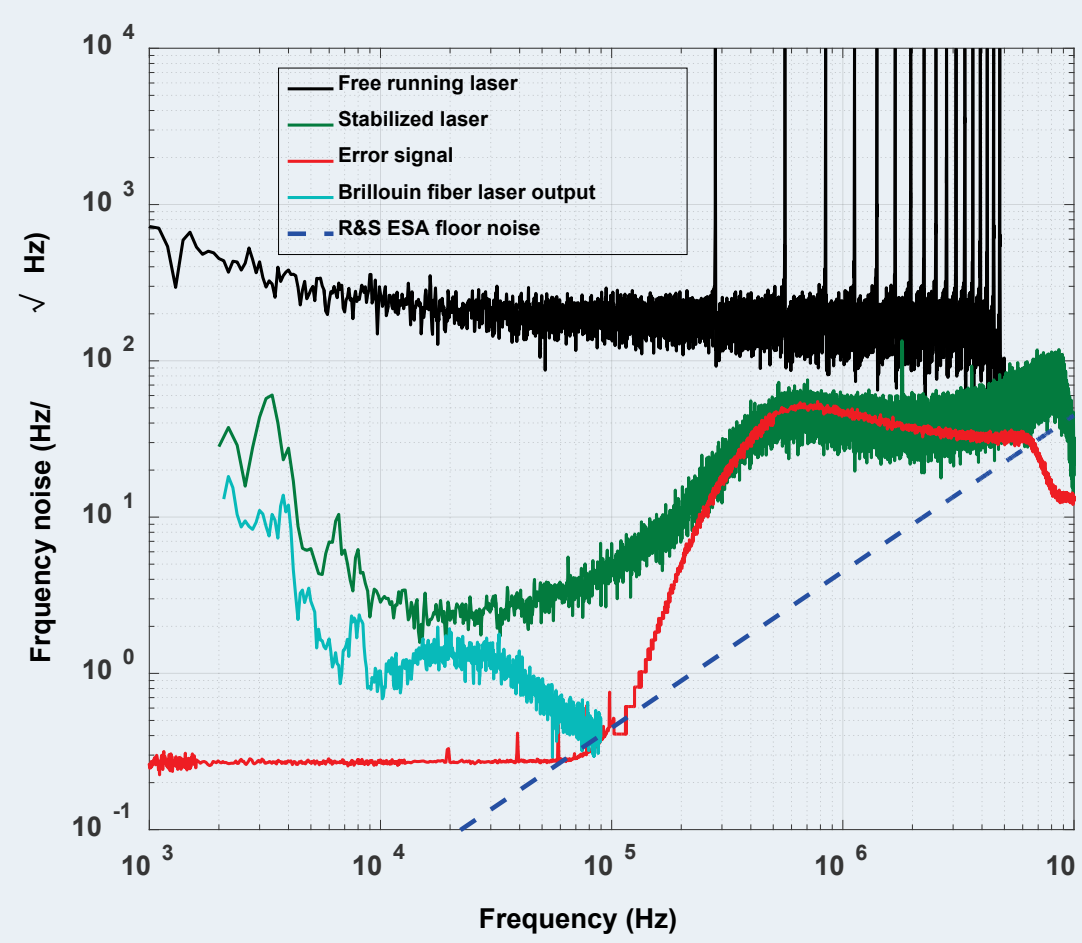


## Source fibrée à deux diodes

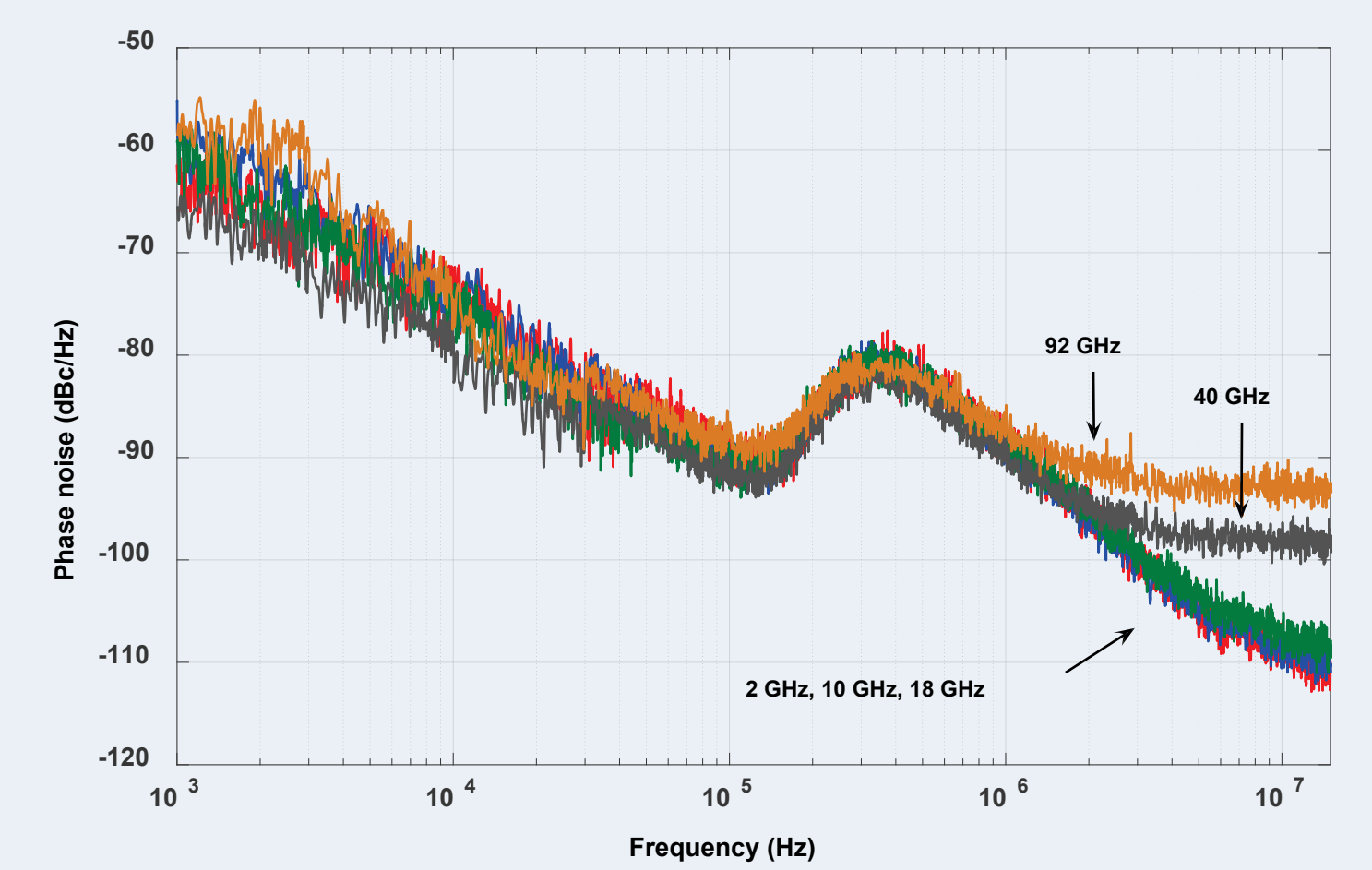


Longueur effective de la boucle rapide : 3.5 m (7 MHz FGU)

### Performances pour la porteuse optique



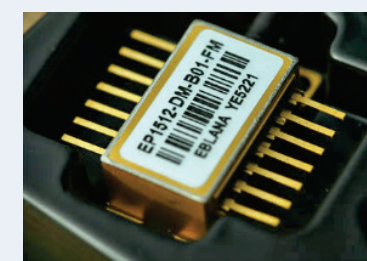
### Performances pour le battement



Couplage phase-amplitude : voir modélisation d'enveloppe

Composants « télécom » fibrés, combinaison et stabilisation à polarisations orthogonales

Diodes DFB EBLANA, ~ 150 Hz/sqrt(Hz) de bruit blanc de fréquence accordables sur 4 nm, chevauchement en longueur d'onde ~90%



Cavité fibrée Micron Optics, largeur de raie = 1 MHz, ISL 1 GHz stabilisation plus facile sur cavité fine ! → meilleur filtrage



Électronique de stabilisation « maison », bas bruit, FGU = 40 MHz conception avec LTspice

Stabilisation robuste, sans saturations des signaux d'erreur et de correction

Bruit de fréquence du battement : écart quadratique moyen 100 kHz, largeur de raie 30 Hz

Couplage phase-amplitude : voir modélisation d'enveloppe

Dérive 6 Hz/s (mesure sur 7 heures)

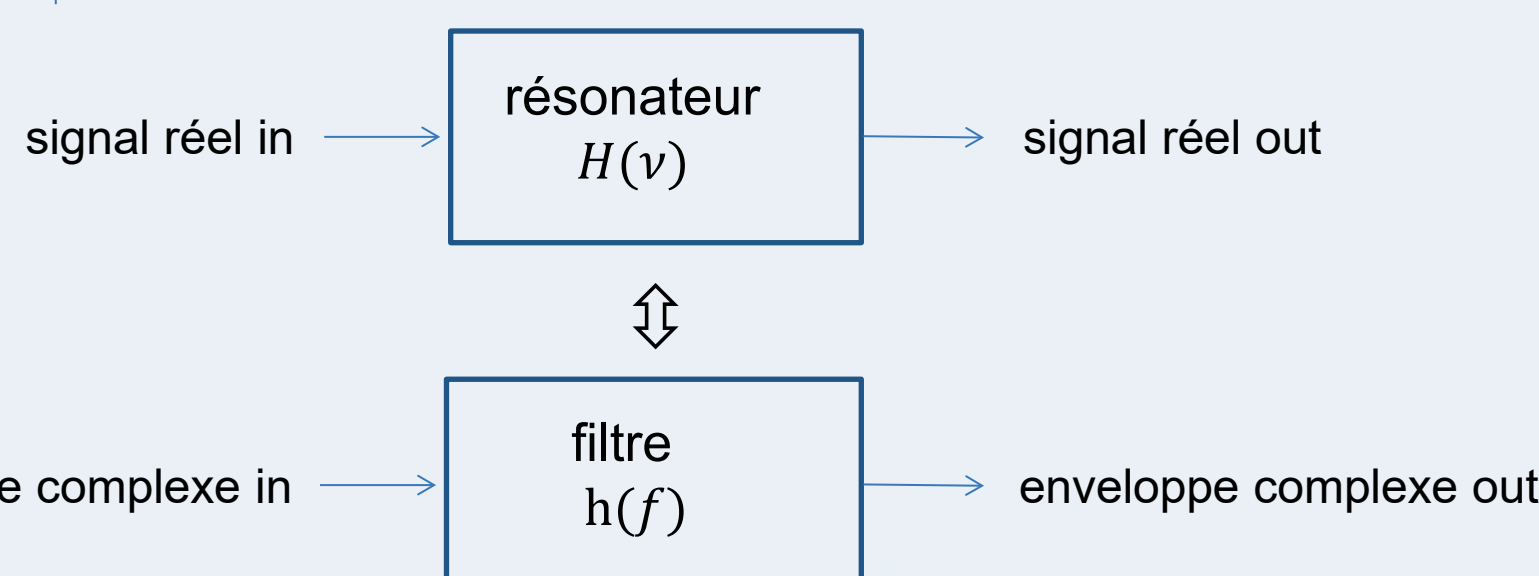
Source accordable continuum : ajouter une 3<sup>e</sup> DFB avec PLL 5-10 GHz

Améliorations des performances :

- Source plus compacte (L=30 cm), 22 MHz de FGU : -18 dB bruit de phase, -34 dB bruit d'amplitude
- Exactitude à 100 kHz près : thermalisation de la cavité à 0.1 °C
- Laser fibré Brillouin accordable ?

## Modélisation d'enveloppe complexe

	signal réel	enveloppe
entrée	$s(t) = s_0 (1 + m(t)) \sin(2\pi\nu_0 t + i\varphi(t))$ <p><math>m(t)</math> bruit et signal de modulation d'amplitude  <math>\nu_0</math> fréquence de la porteuse  <math>\varphi(t)</math> bruit et signal de modulation de phase</p>	$e(t) = e_0 (1 + m(t)) \exp(i\varphi(t))$
résonance	$H(\nu) = \frac{\nu_r^2/Q}{\nu_r^2 - \nu^2 + i\nu\nu_r/Q}$ <p><math>\nu_r</math> fréquence de résonance  <math>Q</math> facteur de qualité</p>	$h(f = \nu - \nu_0) \cong \frac{1}{1 + if/f_c} \text{ si } \nu_r = \nu_0$ <p><math>f_c = \nu_r/(2Q)</math>                      fréquence de coupure = demi-largeur à mi-hauteur du résonateur</p>



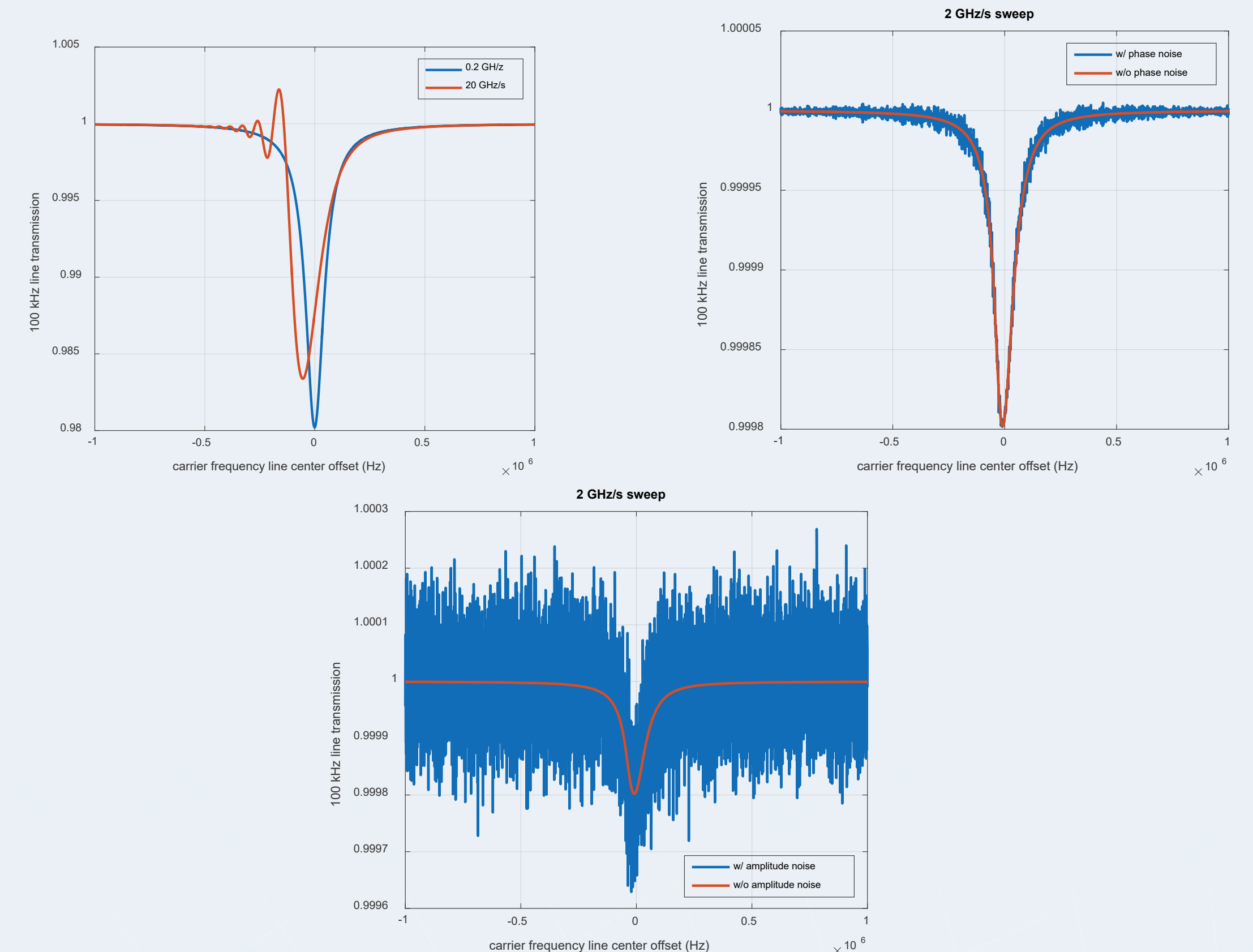
Modélisation de l'enveloppe en quadratures P(t) et Q(t)

$$e(t) = e_0 (1 + P(t) + iQ(t))$$

Entrées de la simulation :

bruit de phase de la source fibrée de la source à deux diodes  
bruit de puissance -150 dBc/Hz  
avec séries temporelles générées à partir des DSP

résonance Lorentzienne de largeur 100 kHz (FWHM)



## Conclusions

Spectroscopie moléculaire rotationnelle-vibrationnelle  
gamme visée 100 GHz – 1 THz

Source à deux diodes

bruit de phase suffisant pour les molécules sur catalogue à T° ambiante (CDMS, Hitran, JPL)  
réduction pour les molécules avec M >> 100 g/mol  
en cours de soumission IEEE TMTT

Modélisation d'enveloppe

couplage naturel phase avec amplitude et aspects dynamiques

Bruit d'amplitude : crucial pour le seuil de détection abondance . S<sub>raie</sub>  
stabilisation électronique / SOA / ...

Exactitude

calibration sur des raies connues (eau)  
stabilisation de l'ISL de la cavité sur référence hyperfréquence calibrée