



**HAL**  
open science

# Bruits optiques lors des processus hétérodynes pour la génération de fréquences radio millimétriques

Julien Poette, R. Khayatzadeh, Hamza Hallak Elwan, B. Cabon

► **To cite this version:**

Julien Poette, R. Khayatzadeh, Hamza Hallak Elwan, B. Cabon. Bruits optiques lors des processus hétérodynes pour la génération de fréquences radio millimétriques. Journée du club optique et micro-ondes JCOM, 2015, Nantes, France. hal-02014033

**HAL Id: hal-02014033**

**<https://hal.science/hal-02014033>**

Submitted on 12 Feb 2019

**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.



# Journée du Club IETR Nantes 12 Juin 2015



## Bruits optiques lors des processus hétérodynes pour la génération de fréquences radio millimétriques

J.Poëtte, R.Khayatzadeh, H Hallak Elwan, B. Cabon  
Univ. Grenoble Alpes, IMEP-LAHC, F-38000 Grenoble, France  
Julien.poette@phelma.grenoble-inp.fr

Afin de répondre aux exigences des besoins en débit des systèmes de communications modernes, de nombreuses solutions s'orientent vers la génération de fréquences par voie optique. Les techniques purement optiques permettent ainsi de générer des fréquences porteuses très élevées (>50 GHz) dont la valeur de la porteuse n'est déterminée que par la séparation fréquentielle entre les composantes du spectre optique. Si les techniques hétérodynes permettent de s'affranchir complètement de l'utilisation d'oscillateur local et donc d'atteindre des fréquences inatteignables par d'autres techniques, la nature même des sources lasers induit la présence de bruits de phase et d'amplitude sur porteuses ainsi générées. Dans cette communication, nous présentons brièvement les équations de base permettant de modéliser les comportements des sources ainsi que les techniques de caractérisation nécessaire à l'étude de ces dispositifs. Quelques mesures expérimentales appuieront ces résultats et confirmeront les modèles.

Les techniques non-hétérodynes se voient limitées par les fréquences de coupure des composants réalisant la modulation. Si certains artifices permettent d'atteindre les fréquences millimétriques, ces dernières restent contenues à quelques harmoniques de ces fréquences limites ( $\times 2 \dots \times 8$ ). Seules les techniques hétérodynes permettent de s'affranchir complètement d'une quelconque limite dynamique des composants grâce à l'utilisation de processus interférentiels. Lors de la photo-détection des champs, les battements aux fréquences égales à l'écart entre les deux modes optiques peuvent alors apparaître et être mesurés. Les différentes composantes spectrales  $E_i(t)$  du champ peuvent s'écrire :

$$E_i(t) = E_i(1 + \delta_i(t)) \cdot \exp[i(\omega_i t + \phi_i(t))] \quad (1)$$

avec  $E_i$  l'amplitude moyenne du champ,  $\delta_i(t)$  son bruit d'amplitude,  $\omega_i$  la pulsation de l'onde et  $\phi_i(t)$  le bruit de phase. Les différentes techniques de génération de fréquence peuvent alors être classifiées selon la corrélation existante entre les modes  $E_i(t)$ , corrélation reliant les composantes spectrales au travers des termes de bruit  $\delta_i(t)$  et  $\phi_i(t)$ .

Dans le cas simple de deux composantes spectrales, le photocourant détecté est alors :

$$I_{PD}(t) = (I_1 + I_2) + (I_1 \cdot \sqrt{RIN_1(t)} + I_2 \cdot \sqrt{RIN_2(t)}) + \cos[(\omega_2 - \omega_1)t + \Delta\phi(t)] [2\sqrt{I_1 I_2} + \sqrt{I_1 I_2} (\sqrt{RIN_1(t)} + \sqrt{RIN_2(t)})] \quad (2)$$

où  $RIN_1(t)$  et  $RIN_2(t)$  sont respectivement les bruits d'intensité des puissances détectées des modes 1 et 2 pris individuellement et sont tels que  $RIN_i(t) = 4 \cdot \delta_i^2(t)$ ,  $\Delta\phi(t) = \phi_2(t) - \phi_1(t)$  représente le bruit de phase de la porteuse à la pulsation  $\omega_2 - \omega_1$ . Le premier terme représente l'intensité et les bruits des différents modes tandis que le second terme contient la puissance et le bruit du battement à  $\omega_2 - \omega_1$ .

Ce formalisme permet de modéliser tous les cas de figures, comme par exemple celui où un modulateur externe est employé : la dé-corrélation existante entre les modes est alors induite par la différence de trajet entre les deux composantes spectrales. Le bruit de phase est dans ce cas équivalent à celui de l'oscillateur local produisant la modulation.

Dans le cas des mélanges hétérodynes, le bruit de phase  $\Delta\phi(t)$  dépend du couplage entre les modes. Pour les sources optiques produisant des peignes de fréquences, le mélange à 4 ondes et le bruit de partition peuvent être responsable de la corrélation tant en phase qu'en amplitude. Dans le cas de sources distinctes, aucune corrélation n'existe. La largeur de raie est alors égale à la somme des largeurs de raie des différents modes et les différents bruits d'intensité sont indépendants.

La mesure de bruits de phase produits optiquement et en régime libre pose souvent problème car les techniques traditionnelles emploient des oscillateurs locaux RF servant de référence. Le bruit mesuré est alors l'écart entre cette source de référence et la fréquence à caractériser. Les principales limitations de ces techniques proviennent des performances de la boucle à verrouillage employée.

Dans le cas des générations par voies hétérodynes non asservies, il existe une dérive entre les modes, ce qui conduit à un décrochage de phase par rapport à l'oscillateur local. Pour s'affranchir de ces problèmes, nous présentons des techniques temporelles ne nécessitant pas de verrouillage de phase<sup>[1]</sup>. Des mesures nous ont permis de qualifier des techniques de réduction de bruit de phase par asservissement de la fréquence de modulation<sup>[2]</sup> ou l'utilisation de détection d'enveloppe éliminant l'impact du bruit de phase sur des portuses à 100GHz pour des débits supérieurs au Gigabit/s<sup>[3]</sup>.

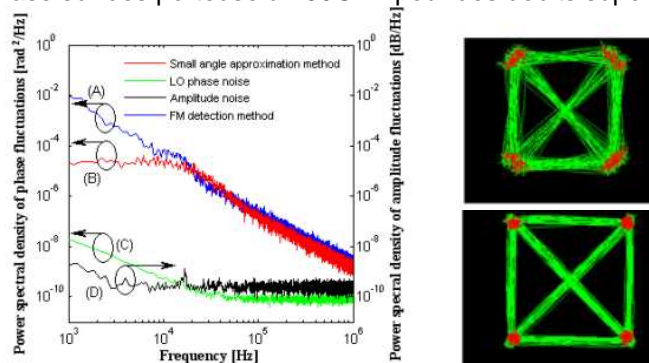


Figure 1. Mesure de bruits de phase par différentes techniques (gauche) ; utilisation de détection cohérente sur des signaux modulés QPSK (droite) à 100 GHz.

Le processus hétérodyne de génération de fréquence produit également du bruit d'amplitude autour de la fréquence porteuse. Le dernier terme de l'équation (2) représente la portuse RF générée à  $\omega_2 - \omega_1$ . Nous constatons une transposition des bruits des différents modes  $RIN_1$  et  $RIN_2$  vers la fréquence porteuse. Suivant la configuration employée, nous avons expérimentalement montré que le RIN obtenu autour de la portuse, bien souvent négligé, pouvait être supérieur au RIN basses fréquences. Ces mesures ont été réalisées aussi bien pour des fréquences porteuses voisines de 20 GHz que dans le domaine millimétrique autour de 60 GHz.

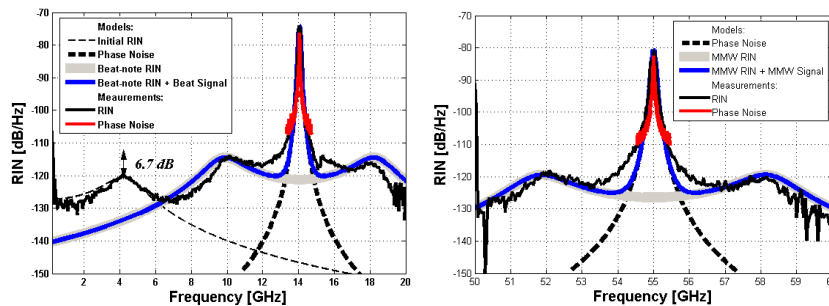


Figure 2. Bruit d'intensité lors de processus hétérodyne à 14 GHz (gauche) et à 55 GHz (droite).

Conclusion :

Il est possible de générer par voie purement optique et en régime libre (i.e. non asservis sur un oscillateur local) les porteuses nécessaires aux communications à très hautes fréquences. Le bruit de phase constitue une difficulté souvent considéré. Nous avons testé différentes techniques pour réduire et même supprimer son impact. Il est cependant aussi très important de prendre en compte les bruits d'intensités générés autour de ces fréquences porteuses. En effet les techniques hétérodyne transfèrent et parfois amplifient les bruits autour de ces fréquences, bien au-delà des fréquences de relaxation des sources considérées.

### Références :

- [1] Khayat-zadeh R., Poette J. and Cabon B. "Impact of Phase Noise in 60-GHz Radio-over-Fiber Communication System Based on Passively Mode-Locked Laser", *IEEE JLT*, vol. 32, n°20, pp 3529-3535, oct 2014
- [2] Brendel, F.; Zwick, T.; Poette, J.; Cabon, B., "Sideband stabilization in the presence of LO phase noise: analysis and system demonstrator", *IJWMT*, vol. 6, n°02, pp. 129-137, April 2014,
- [3] Khayat-zadeh R., Hallak Elwan, H, Poette J. and Cabon B. "Impact of Amplitude Noise in Millimeter-wave Radio-over-Fiber Systems", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, accepted for publication, 2015.