



**HAL**  
open science

## Conception et réalisation d'une chaîne de synthèse 100MHz à partir d'un signal de référence en bande X

Franck Lardet-Vieudrin, Patrice Salzenstein, David Vernier, Daniel Gillet,  
Michel Chaubet, Vincent Giordano

► **To cite this version:**

Franck Lardet-Vieudrin, Patrice Salzenstein, David Vernier, Daniel Gillet, Michel Chaubet, et al..  
Conception et réalisation d'une chaîne de synthèse 100MHz à partir d'un signal de référence en bande  
X. 2003. hal-00022904

**HAL Id: hal-00022904**

**<https://hal.science/hal-00022904>**

Submitted on 14 Apr 2006

**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.

# CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CHAÎNE DE SYNTHÈSE 100MHz A PARTIR D'UN SIGNAL DE REFERENCE EN BANDE X

F. LARDET-VIEUDRIN, P. SALZENSTEIN, D. VERNIER, D. GILLET,  
M. CHAUBET\* ET V. GIORDANO

LPMO – CNRS UPR3203 associée à l'Université de Franche-Comté, 32 avenue de l'Observatoire, 25044  
Besançon Cedex, France

e-mail : patrice.salzenstein@lpmo.edu

\* CNES, 18 avenue E. Belin, 33055 Toulouse Cedex, France

## I. Introduction

Le laboratoire dispose d'un signal de haute stabilité de fréquence grâce à l'oscillateur saphir cryogénique développé en bande X. Cependant, et dans le cadre d'un contrat avec le CNES [1], afin de disposer d'un signal à 100MHz pour des comparaisons ultérieures, il est nécessaire de mettre en oeuvre une chaîne de synthèse, garantissant le transfert de la stabilité de fréquence. Le principe est d'asservir un oscillateur VCXO à 100MHz sur le signal de l'oscillateur cryogénique à l'aide d'une chaîne comportant un mélangeur à échantillonnage (sampling mixer) et un synthétiseur numérique DDS.

## II. Schéma de principe

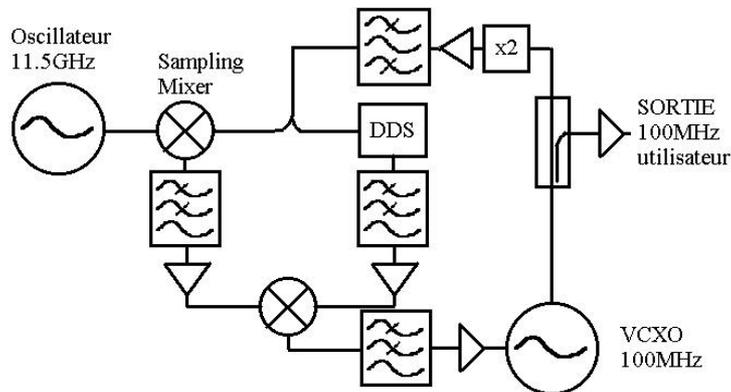


Figure 1: Schéma de principe de la chaîne de synthèse

A l'aide d'un multiplicateur par deux, l'oscillateur VCXO fournit un signal à 200MHz qui, d'une part sert d'horloge au synthétiseur numérique DDS délivrant un signal à 35MHz, et constitue d'autre part le signal d'excitation du Mélangeur à échantillonnage sur sa voie LO. Le mélange du signal de référence à 11,5GHz avec la 58ème harmonique du 200MHz donne un signal à 35MHz. Ces deux signaux permettent après mélange d'asservir le VCXO.

## III. Evaluation des principaux éléments de la chaîne de synthèse

### Etage de multiplication

Le VCXO est multiplié par 2 pour fournir un signal à 200MHz servant à la fois d'horloge au DDS et de signal d'excitation du Mélangeur à échantillonnage sur sa voie LO. Le signal en sortie du multiplicateur par deux donne une réjection supérieure à 65dBc entre le signal à 200MHz et les harmoniques à 100, 300 et 400MHz. Le résultat de la mesure de bruit de phase d'une paire de multiplicateurs identiques mesurée à 200MHz avec une sensibilité de 376 mV/rad est présenté sur le Tableau 1 et figure 3.

### Synthétiseur numérique DDS

Le DDS utilisé est un modèle commercial AD9852 de la société Analog Device possédant un accumulateur de phase sur 48 bits, un convertisseur de sortie sur 14 bits et une fréquence de travail pouvant aller jusque à 300MHz. Ce modèle a été conçu pour des applications de télécommunications numériques. Parmi tous les modes disponibles, le mode fondamental dit single-tone suffit pour notre application. Il permet de générer un signal sinusoïdal par scrutation d'une table d'onde et conversion digitale analogique. La fréquence du signal délivré par le DDS est donné par (1) :

$$F_{\text{signal}} = (p/2^{48}) \cdot F_{\text{ref}} \quad (1)$$

où  $p$  est le pas d'incrément de l'accumulateur de phase défini comme entier non signé sur 48 bits.

Sachant que  $2^{48}$  est de l'ordre de  $10^{14.5}$ , on dispose ainsi d'une résolution de l'ordre du microHertz à 100MHz.

Nous avons développé une carte DDS composée d'un élément de pilotage à base d'EPLD (Electrical Programmable Logic Device) chargé de la gestion de l'interface parallèle du PC de commande. Elle permet entre autre la programmation des registres du DDS. Nous avons été amené à drainer la chaleur dissipée à l'aide d'un pont thermique en cuivre dont le capot est visible à gauche sur la figure 2 à cause de la consommation des DDS. En raison de la faible puissance RF disponible en sortie du DDS, il a été nécessaire également de fabriquer une carte amplificatrice dotée d'un filtre anti-repliement placée en sortie du DDS. Nous avons vérifié la réponse de cet étage de filtrage-amplification avec une réjection supérieure à 40dBc sur les harmoniques du signal IF de sortie du DDS.

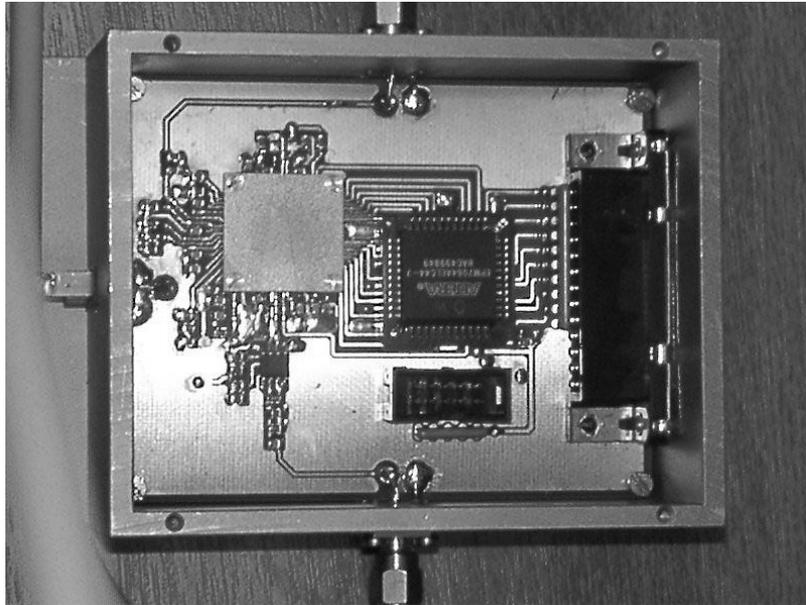


Figure 2: Photographie de la carte DDS

### Mélangeur à échantillonnage

Ces composants relativement fragiles sont protégés par un radiateur leur permettant de fonctionner à l'ambiante avec une température de 36°C pour un signal hyperfréquence d'attaque de 0 dBm. Le bruit de phase des mélangeurs utilisés a été mesuré en réjectant le signal hyperfréquence délivré par un synthétiseur sur les deux entrées des Mélangeurs, le signal de pompe sur la voie LO à 200MHz étant constitué pour chacun d'eux de la multiplication du 100MHz délivré par le VCXO.

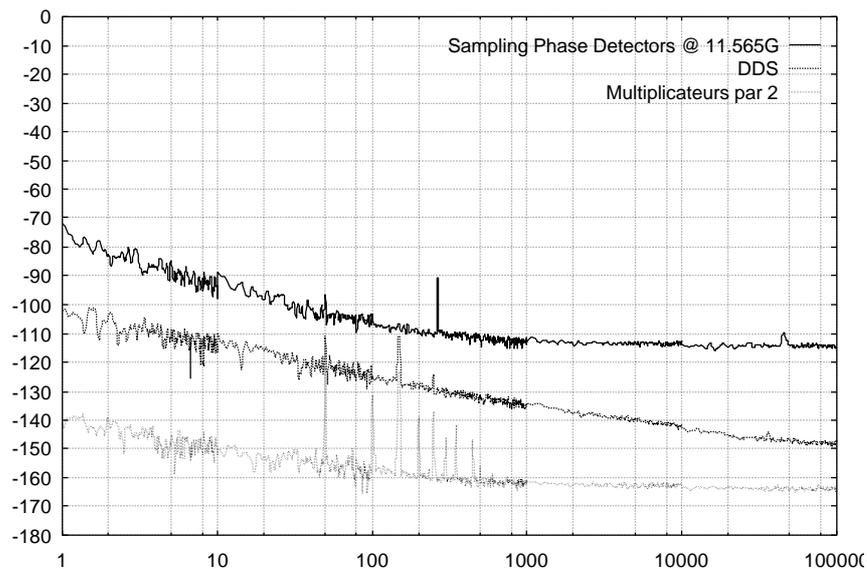


Figure 3: Densité spectrale de bruit de phase  $S_{\phi}$  (en  $\text{dB}\cdot\text{rad}^2/\text{Hz}$ ) en fonction des fréquences de Fourier (en Hz) respectivement de haut en bas pour les Mélangeurs à échantillonnage, les DDS, les Multiplicateurs par deux

#### IV. Performances en bruit

Les spécifications en terme de bruit de phase de l'oscillateur accordable en tension VCXO ont été vérifiées sur une paire d'oscillateurs identiques. Le bruit de phase d'une paire de multiplicateur par deux a été mesuré à 200MHz. De même les performances du DDS et du mélangeur à échantillonnage ont été mesurées en terme de bruit de phase.

Sur le tableau 1 nous présentons chacun des principaux éléments de la chaîne de synthèse.

Bruit en dBc/Hz en fonction des Fréquences de Fourier	1Hz	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz	100kHz
Oscillateur 11,5GHz* ramené à 100MHz	-117	-147	-177	<-177	<-177	<-177
VCXO 100MHz	-75	-106	-135	-161	-176	-177
Multiplicateur 2x100MHz	-153	-163	-172	-175	-176	-176
DDS 35MHz	-110,3	-120,3	-130,3	-140,3	-149	-154,1
Sampling Mixer	-85	-102	-113	-120	-121	-121,5

\*Estimation pour  $\sigma_y = 2 \cdot 10^{-14}$  à  $\tau = 1s$ .

Tableau 1: Niveau de bruit des différents éléments de la chaîne

#### V. Bruit du signal synthétisé par la chaîne

Les contributions en bruit des divers éléments de la chaîne permettent d'estimer le niveau de bruit du signal délivré à l'utilisateur pour la sortie 100MHz. Il est possible d'exprimer la densité spectrale de bruit de phase  $S_{\phi C}$  à l'aide de (2), en considérant une constante  $\tau$  dépendante des caractéristiques de la chaîne:

$$S_{jC} = \left( \frac{4p^2 f^2 t^2}{1 + 4p^2 f^2 t^2} \right) S_{jI} + \left( \frac{1}{1 + 4p^2 f^2 t^2} \right) \frac{1}{n^2} (S_{jref} + S_{jDDS} + S_{jSM}) \quad (2)$$

$\tau$  étant la constante de temps de l'asservissement.

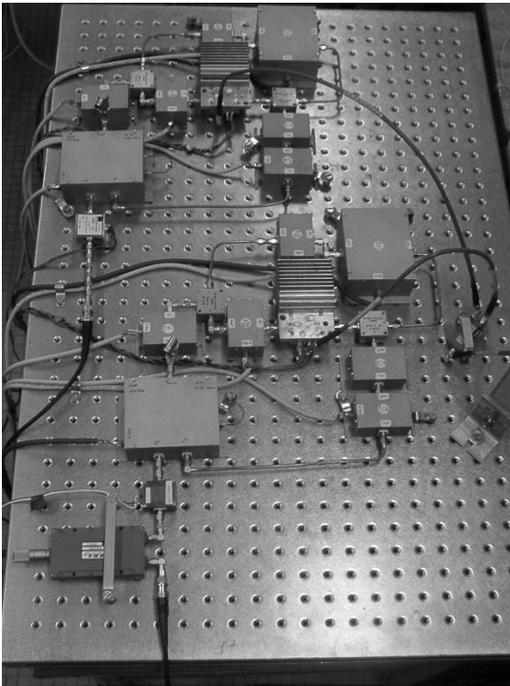


Figure 4: Photographie des deux chaînes réalisées

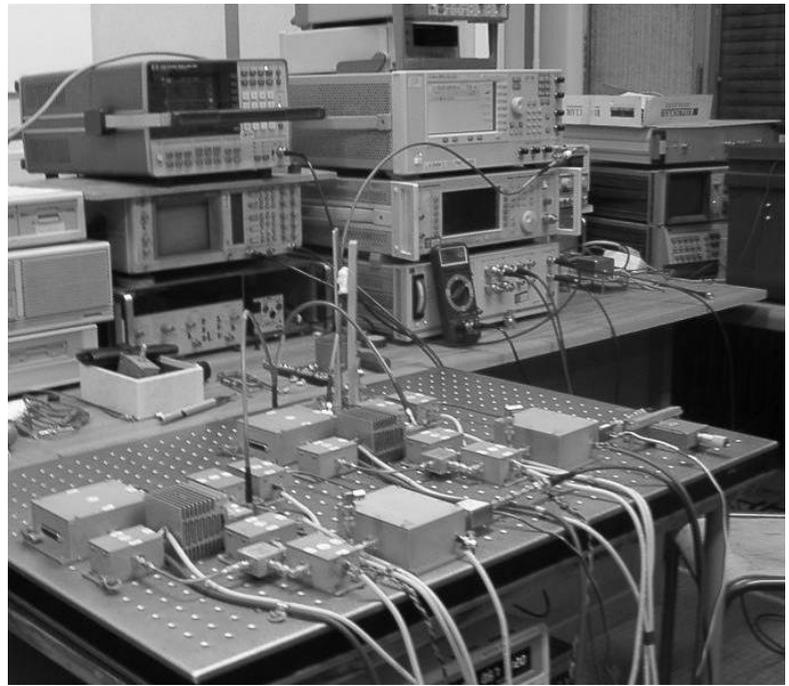


Figure 5: Banc de mesure de bruit de phase

Deux chaînes identiques ont été réalisées. Elles ont été testées en terme de bruit en réjectant le signal hyperfréquence en bande X délivré par un synthétiseur de marque Agilent Technologies. Nous avons opéré pour divers fréquences comprises entre 9 et 12,5GHz. Les résultats sont présentés pour un signal à 11,5GHz, la mesure étant effectuée sur le mélange des deux signaux utiles délivrés par chacune des chaînes de synthèse à 100MHz.

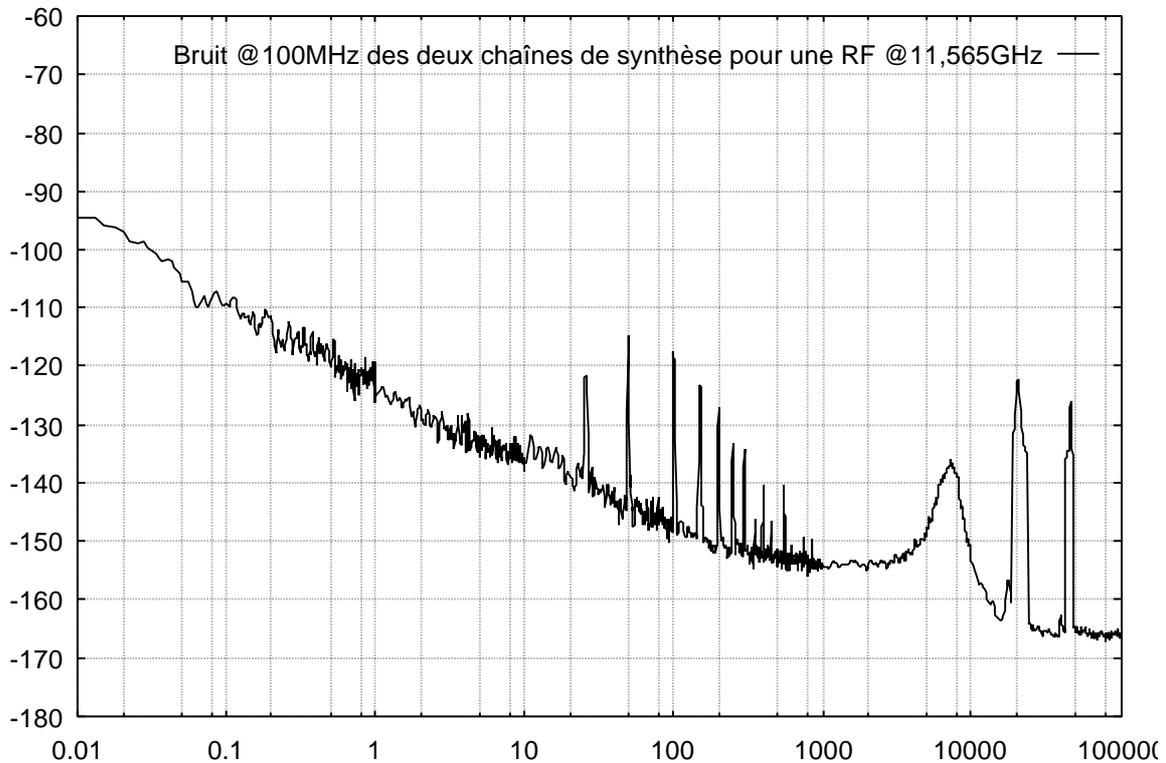


Figure 6: Performances en densité spectrale de bruit de phase  $S_\phi$  (en dB.rad<sup>2</sup>/Hz) en fonction des fréquences de Fourier (en Hz) du signal synthétisé à 100MHz

## VI. Discussion

Les deux chaînes réalisées étant identiques, le niveau de bruit résiduel du signal délivré par la chaîne à 100MHz est donné dans le tableau suivant :

Fréquence de Fourier	0,01Hz	0,1Hz	1Hz	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz	100kHz
Bruit d'une chaîne en dBc/Hz	-101	-116	-131	-141	-153	-160	-169	-172

Tableau 2: Niveau de bruit des différents éléments de la chaîne

Pour un oscillateur en bande X délivrant un signal de haute stabilité à  $\sigma_y = 2 \cdot 10^{-14}$  sur  $\tau$  de l'ordre de 10s, niveau actuellement atteint au laboratoire avec les oscillateurs cryogéniques à base de saphir [2], le signal ramené à 100MHz donnera un niveau de bruit de  $-120$  dBc/Hz à 1Hz de la porteuse avec une pente en  $1/f^3$ . La chaîne restituera le niveau de bruit du signal ramené à 100MHz pour les fréquences de Fourier inférieures à quelque Hertz. Au delà, le bruit du Mélangeur à Echantillonnage utilisé dans la chaîne de synthèse est principalement l'élément limitant. La boucle d'asservissement du DDS provoque par ailleurs une remontée du bruit peu avant la dizaine de kiloHertz. Au delà, le plancher de bruit de la chaîne dépend des multiplicateurs par deux et des mélangeurs utilisés.

## Références

[1] Contrat CNES 714/01/CNES/8955/00.

[2] P.Y. Bourgeois, Y. Kersalé, N. Bazin, M. Chaubet and V. Giordano, "Cryogenic opened cavity sapphire resonator for ultra stable oscillator", soumis pour publication dans la revue Electronics Letters : Papier numéro ELL 38056