



# **Front-end RF de réception en bande W pour télécommunications spatiales**

**Vincent Armengaud, Romain Contreres**  
**CNES**

11/10/2018

# **Contexte de la bande E/W (70-100GHz)**

# Contexte

**Les bandes E/W ont pour l'instant été très peu utilisées pour des télécommunications spatiales contrairement aux autres bandes plus classiques L, S, C, X, Ku, Ka et même Q/V.**

- Ces bandes ont été utilisées, en Europe, pour des **missions spatiales de radiométrie et de radioastronomie**:

- Instrument MADRAS (89GHz) de Megha-tropique, Planck...

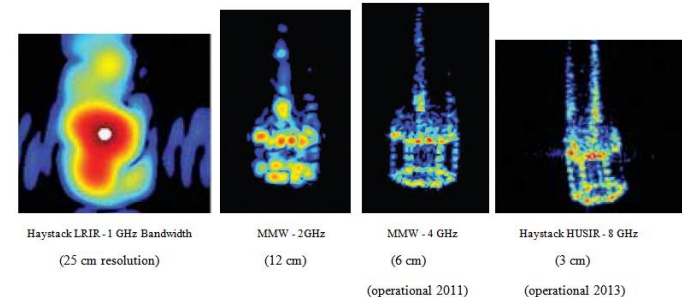


*Megha tropique (ESA/CNES)*

- Aux US, des fréquences millimétriques ( $\pm 90$ GHz) aussi utilisées pour la **surveillance de l'espace**, depuis le sol:



Haystack observatory(MIT)



*Courtesy of MIT*

# Contexte

**Depuis 2015, ces bandes commencent à susciter un intérêt pour plusieurs entités du spatial et du news space :**

- L'ESA a organisé le premier workshop bande W en 2015 : "W-band: the next frontier for satcoms"
- L'ESA finance un cubesat en bande W en 2018
- Etudes CNES
- Facebook a un projet « athena », concernant une constellation de satellites fonctionnant en bande E/W (05/2018)

Facebook is quietly exploring satellite broadband delivery



Written by [Jamie Davies](#)

04 May 2018 @ 12:02



Through an almost non-existent subsidiary, Facebook is seemingly exploring how it can play a role in the delivery of connectivity through low-orbit satellites.

In a partially redacted application to the FCC, PointView Tech LLC has filed an application to launch and operate a single low-orbit, non-geostationary satellite, known as Athena, to see whether the delivery of connectivity through such assets is a feasible exercise. Although PointView Tech is pretty much non-existent aside from on paper, the scent can be tracked back to Facebook HQ in California.

The application reads: "PointView's request for experimental authority also encompasses two earth station that will conduct E-band communications with the satellite. The mission will be to determine whether such satellite communications can effectively provide broadband access to unserved and underserved areas throughout the world."

Interestingly enough, should the experiment prove successful, Facebook might be able to outdo the likes of [Elon Musk's SpaceX](#), or the Richard Branson backed OneWeb. The application details plans to 'validate' technologies which allow the transmission of E-Band communications, more specifically 71-76 GHz for the downlink and 81-86 GHz for the uplink; the much heralded mmWave spectrum. A successful demonstration would offer faster download speeds than the likes of Musk or Branson are targeting.

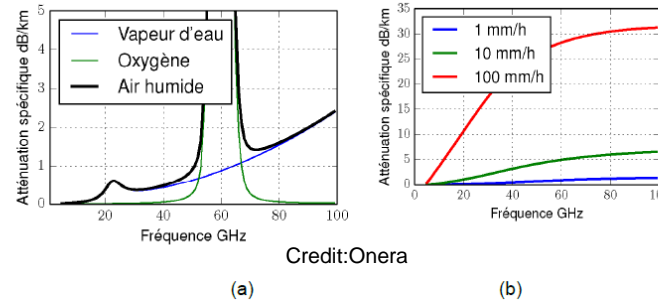
Courtesy of [telecom.com](#)

## Contexte : applications Telecom en bande E/W (71-86GHz)

-Lien feeder en complément des bandes Q/V (voie montante station→Satellite):

Augmentation de la bande passante, diminution du nombre de gateway

→ Mais atténuation importante en bande E/W



-Lien inter-satellite:

Alternative à des liens optiques (faible encombrement/cout).

Aux US, la constellation AEHF de satellites pour la défense utilise des fréquences proche, autour de 60GHz.

Autres applications possibles (com/radar) : surveillance de l'espace, exploration planétaire, lander....

## Contexte technologique

### I-Technologie semiconductrice pour application en bande W, faible niveau et faible bruit

#### En Europe:

- Coté laboratoire:
  - IAF (Fraunhofer) : 0.05 $\mu$ m MHEMT
  - Chalmers (Low noise factory)
  - VTT Finlande (millilab)
  - ....
- Coté Industriel et qualifié:
  - OMMIC D007IH MHEMT
  - UMS PH10 PHEMT
  - Prospectif: OMMIC D006GH



Les technologies semiconductrices pour la réception en bande E/W sont disponibles et OMMIC et UMS ont des filières qualifiées spatiales ou proche de l'être

---

## **Objectif des travaux CNES 2016-2018:**

- Concevoir un front end MMIC de réception pour pré-dimensionner de futur système Télécom (Facteur de bruit, Gain...)**
- Se confronter aux problématiques de la conception de circuit intégrés aux fréquences millimétriques**
- Réaliser une source d'antenne de réception bi-bande V-W**




***Résultats issus de travaux internes CNES, d'un stage de fin d'études et d'une étude métier CNES***

# **I-MMIC faible bruit en bande W (81-86GHz)**

**Vincent Armengaud (DSO/RF/HNO)**



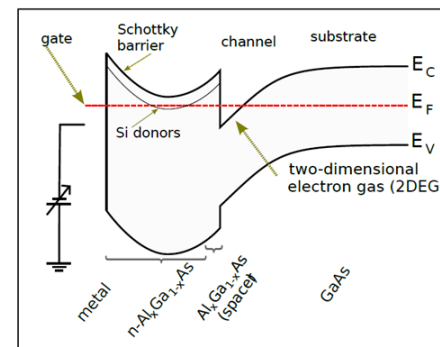
# Etat de l'art MMIC (81-86GHz)

	 OMMIC CGY2190UH/C2	 UMS CHA2080-98F	 Northrop Grupmann (US) ALP283
NF	2.8 dB simulé	3.5 dB	2.5 dB
Température de bruit	330°K	438°K	288°K
Gain	25 dB	30 dB	29 dB
P1dBout	1 dBm	10dBm	3 dBm

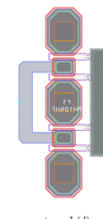
# PH10 - UMS

## PH10, spécificités

- Longueur de grille  $< 0.13 \mu\text{m}$  (PHEMT)
- Substrat aminci:  $70 \mu\text{m}$
- 2 options de transistors:



- Via sous source pour diminuer  $R_s$ ,  $L_s \Rightarrow$  montée en fréquence
- Ou source déportée et modélisation 3 ports pour adaptation faible bruit



Element	Parameter	Typical Value	Condition
FET	$I_{DSS} \text{ (mA/mm)}$	280	$V_{DS} = 2.0 \text{ V}, G_{m_{max}}$
	$G_{m_{max}} \text{ (mS/mm)}$	725	$V_{DS} = 2.0 \text{ V}, G_{m_{max}}$
	$V_{BDS} \text{ (V)}$	6	$I_{DS} = I_{DS,sat}/100$
	Noise Figure (dB)	2.3	@ 70 GHz
MIM Capacitor	Density (pF/mm <sup>2</sup> )	330	@ 1 MHz
Resistor	Nitrure de Tantale (Ta <sub>2</sub> N)	30	$\Omega/\text{sq}$
	Titane-Tungstène-Silicium (TiWSi)	1000	$\Omega/\text{sq}$
	AsGa	120	$\Omega/\text{sq}$
Substrate	Thickness	70	$\mu\text{m}$

## Avantages/points durs d'une conception circuit intégré en bande millimétrique E/W

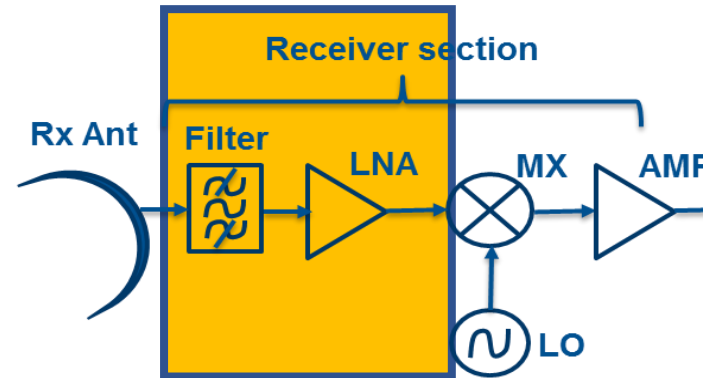


- Intégration maximale on chip: plusieurs fonctions hyperfréquences sur un même circuit car petite dimension des composants.
- Filtrage intégrable facilement sur circuit MMIC car résonateur  $\lambda/4$  de faible dimension



- Impédance optimale en bruit très faible, impossible à synthétiser
  - Modèles fondeurs des passifs hors du domaine de validité ou imprécis.
- Modélisation « custom » souvent nécessaire; simulation 2D et 3D globale indispensable

## LNA Filtrant en bande W Telecom (81-86GHz) [1]



→ Co-conception sur MMIC : LNA + Filtre passe bande

[1]: Récepteur intégré en bande W: C Goujon, V Armengaud, L Carpentier, JNM Saint Malo 2017

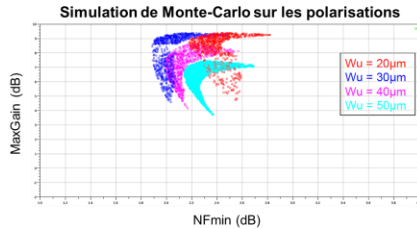
# Mise en place d'une méthode de conception du LNA filtrant (81-86GHz)

## Amplificateur faible bruit



Layout transistor (4\*20μm)

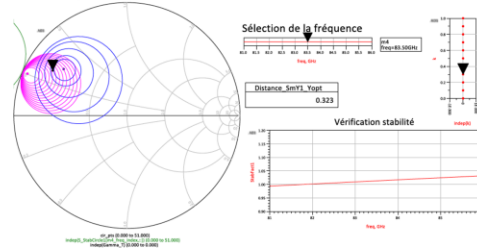
### 1. Choix de configuration des transistors { N ; W<sub>u</sub> ; V<sub>G</sub> ; V<sub>D</sub> }



### 2. Choix des impédances à présenter

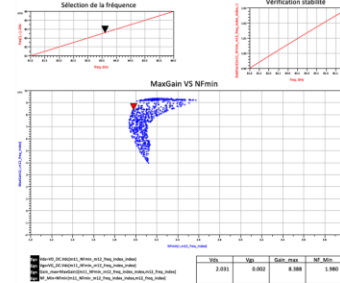
impedance_entree	impedance_sortie[m4_freq_index]
7.093 + j13.727	12.731 + j11.479

Étude de l'impédance à présenter en entrée



Template pour trouver le compromis NF/Gain en fonction de l'impédance d'entrée et de sortie

## Méthodologie de conception



Template pour choisir la meilleure configuration

### 3. Conception des circuits d'adaptation

- Schéma électrique**
  - Circuit de polarisation
  - Découplage DC
  - Dimensions et pertes acceptables
- Simulation EM**
  - Passage des Tees en EM
  - Optimisation du circuit avec les éléments restants
- Chainage des étages**
  - Optimisation globale
  - Passage en simulation full EM
  - Vérification du facteur de stabilité en inter-étage

### 1. Calcul de l'ordre du filtre

Utilisation de la fonction Matlab *cheb1ord* [1]

### 2. Dédire les coefficients des résonateurs

Tableaux de valeurs des  $g_i$  présents dans la littérature [2]

### 3. Calcul des $Z_{0i}$

$$\begin{cases} Z_{01} = \sqrt{\frac{\pi \Delta_r}{2g_1}} \\ Z_{0i} = \frac{\pi \Delta_r}{2\sqrt{g_{i-1} \times g_i}} \\ Z_{0n+1} = \sqrt{\frac{\pi \Delta_r}{2 \times g_n \times g_{n+1}}} \end{cases}$$

### 4. Calcul des impédances paires et impaires ( $Z_{0,e}$ et $Z_{0,o}$ )

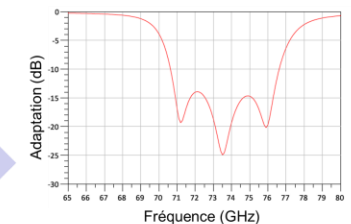
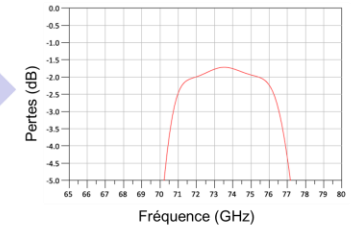
$$\begin{cases} Z_{0,e,i} = [1 + Z_{0i} + Z_{0i}^2] \times Z_0 \\ Z_{0,o,i} = [1 - Z_{0i} + Z_{0i}^2] \times Z_0 \end{cases}$$

### 5. Dédire les dimensions physiques des lignes couplées

Utilisation de LineCalc : modèle de lignes couplées MCLIN

### 6. Passage en simulation EM

## Filtre passe-bande



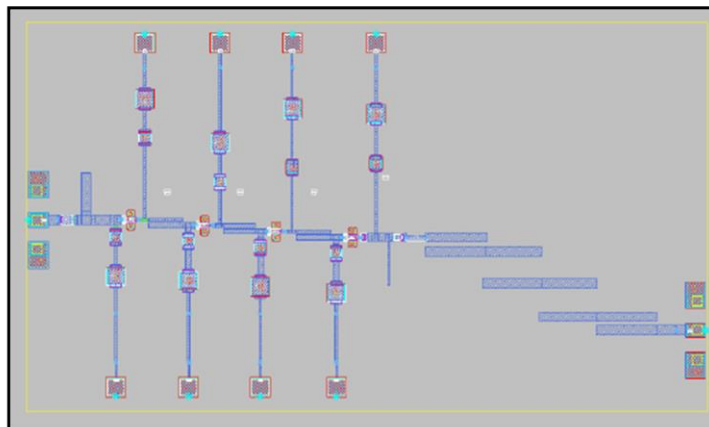
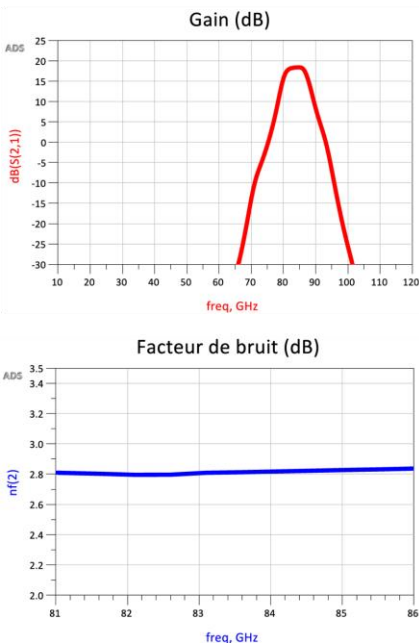
# Mise en place d'une méthode de conception du LNA filtrant (81-86GHz)

## LNA filtrant en bande W

-NF à 2.8dB,  
proche de l'état de l'art US  
à 2.5dB

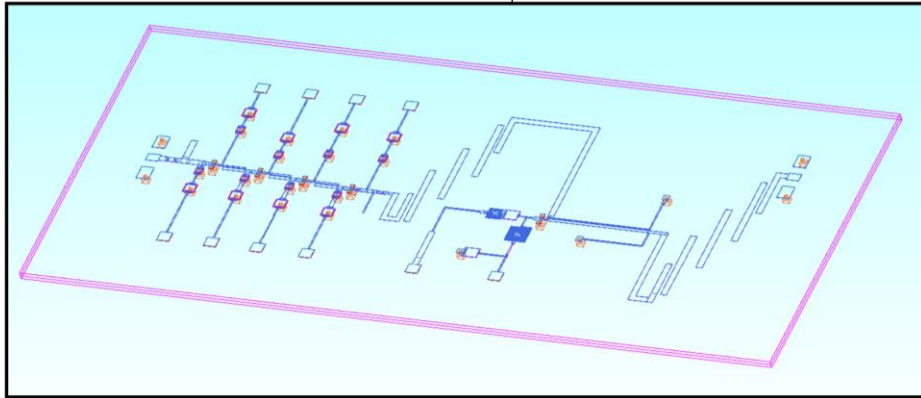
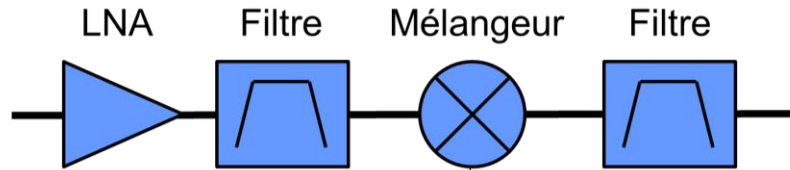
-Bonne linéarité par rapport  
à l'existant ( $P_{1dB} > 5dBm$ )

-Filtrage hors bande  
efficace avant la conversion  
de fréquence

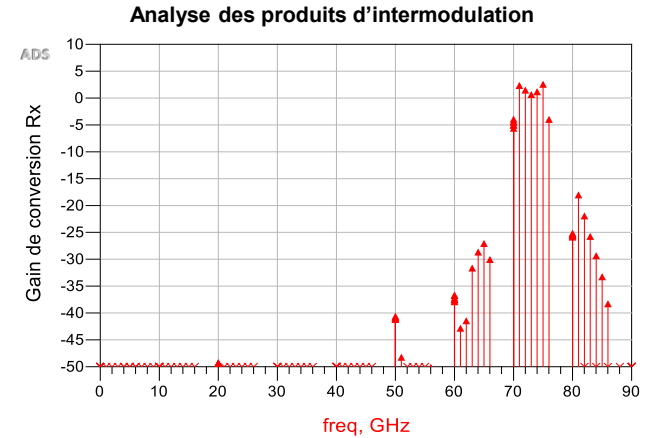


	OMMIC CGY2190UH/ C2	UMS CHA2080- 98F	Northrop ALP283	Ce travail
NF	2.8dB simulé	3.5dB	2.5dB	2.8dB
Température de bruit	330°K	438°K	288°K	330°K
Gain	25 dB	30	29dB	18dB
P1dBout	1 dBm	10dBm	3 dBm	5dBm

# Multi-fonction LNA+Filtres+Mélangeur (81-86GHz→71-76GHz)



Dimensions: <10mm<sup>2</sup>

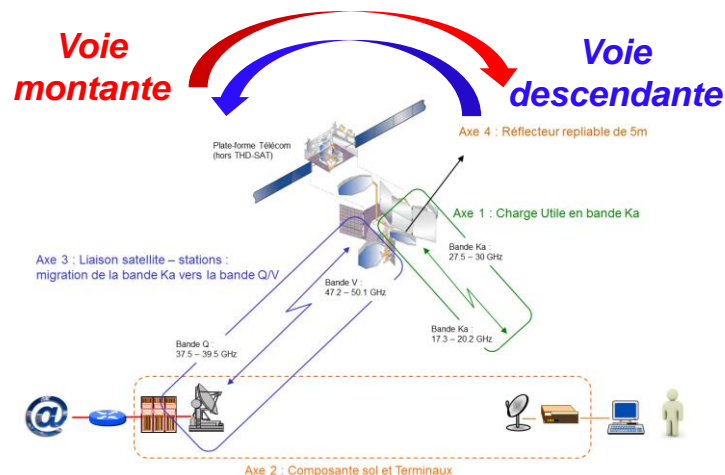


# **I-Source pour antenne à réflecteur (81-86GHz)**

**Romain Contreres (DSO/RF/AN)**



# Source V/W pour lien feeder de la voie montante



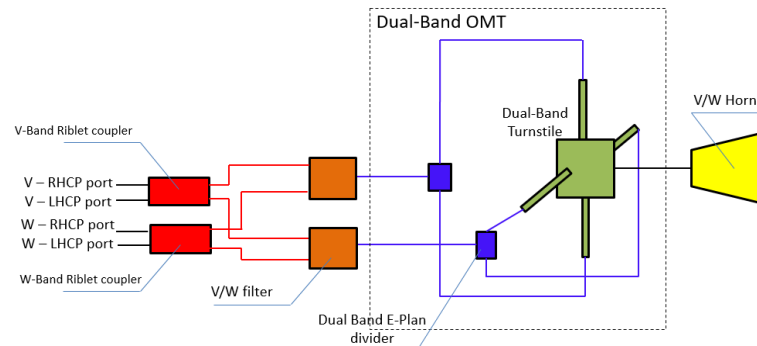
Système de télécommunication spatial étudié sur le projet CNES THDSat

## Constat :

Voie montante la plus capacitive

## Objectif :

Exploitation de la bande W en plus de la V pour augmenter la capacité de la voie montante.

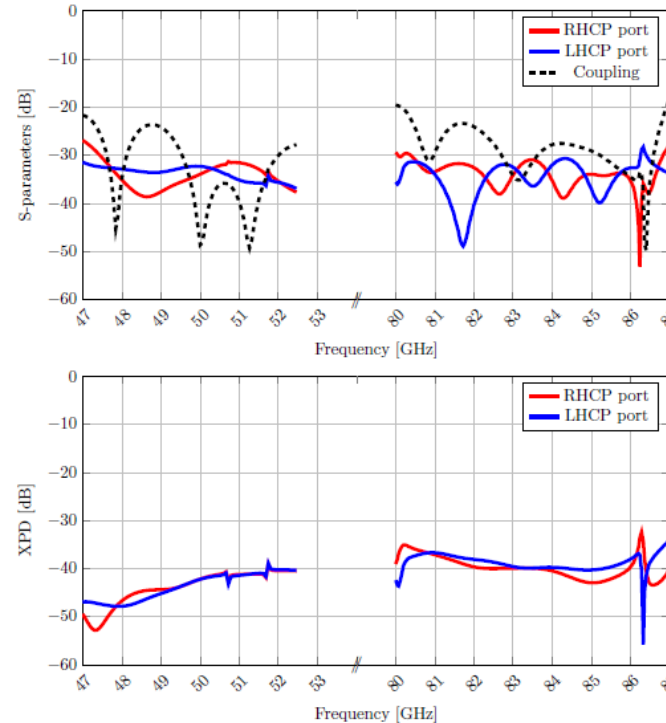


Architecture de la source V/W

	Fréquence de fonctionnement	Polarisations exploitées
Bande V	[47 – 52.5] GHz	PCD & PCG
Bande W	[81 – 86] GHz	PCD & PCG

Fréquences et polarisations de la source

# Source V/W pour lien feeder de la voie montante



Performances simulées de la source

- 4 coquilles → Simplicité de réalisation
- Distance entre sources : 37 mm → Utilisation de cornets à large ouverture (corrugués) difficiles à dimensionner

*Fabrication en cours par SAP Micromécanique.  
Test de la maquette à suivre en interne CNES*

**SAP MICRO**  
MECANIQUE  
Usinage mécanique de haute précision

## Conclusion

- Ces bandes E/W ont plusieurs applications émergentes et innovantes : Telecom, radars...
  - Les technologies semi-conductrices pour l'amplification Rx sont disponibles et performantes.
  - Première brique de base antenne encourageante
  - Des efforts sont maintenant à mener sur les technologies d'amplification de puissance (ATOP, SSPA)
  - La problématique de la mise en boîtier et du report MMIC sera également primordiale à ces fréquences
- => Des études sont donc à prévoir en ce sens