

## Technique de réalisation en haute fréquence à Marseille ou efficacité et réalisme du logiciel «PUFF»

(suite des GESI n° 39 et 43)

par Jean-Marie MATHIEU - IUT de Marseille

### INTRODUCTION

Depuis longtemps, dans le cadre des techniques de réalisation 2<sup>ème</sup> année, nous travaillons par « petits projets » de 2 à 4 semaines. Les thèmes choisis accompagnent la progression du cours et des TD, et la solution est présentée en TD.

En 96/97, après 4 « petits projets » (récepteur en PO, hacheur dévolteur, traitement numérique d'un capteur, amplificateur en classe C à 27MHz), nous innovons en décembre, avec un « grand projet » de 12 semaines.

Projet occupant 3 équipes de 8 élèves avec un déroulement en 3 phases.

Le thème choisi : **réception sur PC des images météorologiques en temps réel,**

**fournies par Meteosat (canal 1 à 1691MHz).**

La construction de l'image sur PC est faite grâce au logiciel JVFX, bien connu des radioamateurs.

Ce sujet, qui couvre presque tous les domaines de l'analogique, se prête bien au découpage en trois parties : S1, S2, S3 (fig. 1).

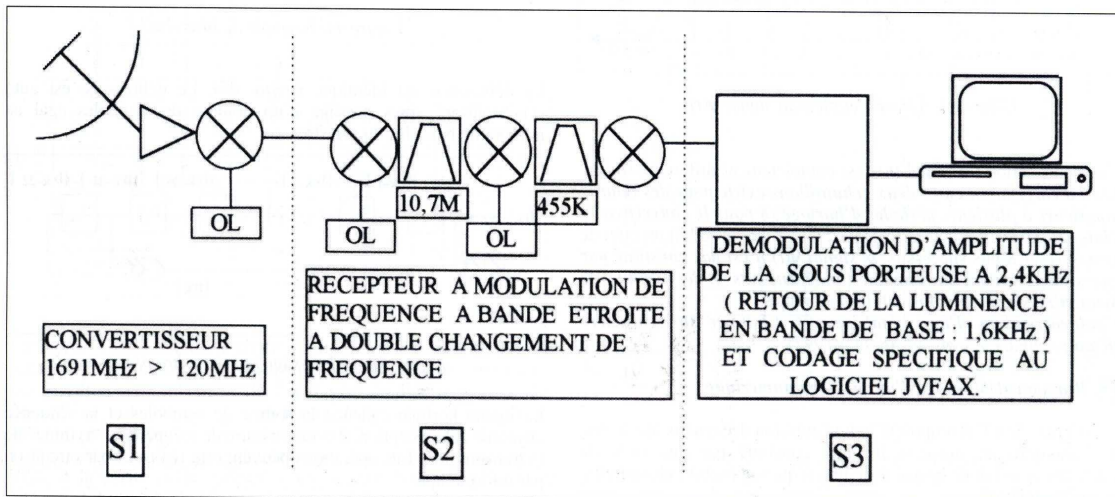


Figure 1

Mon propos est de montrer que l'on peut, avec des moyens classiques en GEII, conduire les élèves dans un domaine un peu pointu, les THF, jusqu'à la réalisation.

Nous développons donc la construction du convertisseur faible bruit, c'est-à-dire la partie S1.

### LE CONVERTISSEUR THF : 1691 MHz > 120 MHz

L'Agence Européenne Spatiale préconise un facteur de bruit meilleur que 1.5 dB et un gain global de conversion de ~ 50 dB, avec une antenne de gain absolu 24 dB.

Les deux principales difficultés étant le premier étage à faible bruit et la stabilité de l'oscillateur local, assurant la conversion ( $F_{lo} = 1572$  MHz).

Les disponibilités et prix nous ont conduit au transistor AsGa ATF35076 (hp), au mélangeur actif IAM82008 (hp), ainsi qu'au circuit MARI(MCL).

Avec quelques peines les fabricants nous ont fourni les fichiers de paramètres S des transistors faible bruit (format Touchstone type.S2P sur disquette DesignPack de HP).

L'asservissement de l'oscillateur local est fait par un quartz 6.14 MHz et une PLL 5070 (PLESSEY).

La situation de l'antenne à réflecteur, placée sur le toit, nous oblige à utiliser 10 m de câble et à perdre ainsi ~ 6 dB à 1691 MHz.

**La Pire de 19 dBw de Meteosat et le gain absolu de l'antenne (24 dBa) nous permettent d'espérer seulement 3 ou 4 femtoW ( $10^{-15}$  W) par beau temps !**

Les élèves ont envisagé trois configurations pour atteindre les préconisations de l'AES et se sont fixés sur celle de la figure 2.

**Un préamplificateur faible bruit (~ 30 dB) très près de l'antenne est par conséquent incontournable, la conversion restant localisée dans la salle de TR2.**

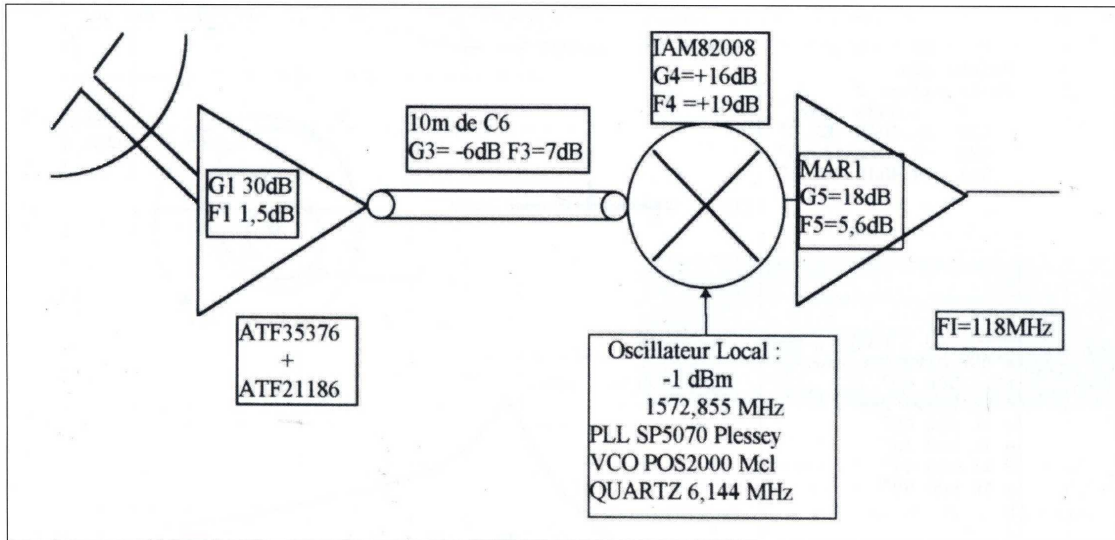


Figure 2

Ce sujet est l'occasion rêvée d'utiliser la technologie « microstrip » et le logiciel adéquat PUFF. (GESI n° 39 et n° 43).

Le substrat choisi pour ses faibles pertes est fourni par Taconic en 0.7 mm (permittivité 3,2 et tangente de l'angle de perte 0.003).

**L'ETUDE  
DU PREAMPLIFICATEUR  
A TRANSISTOR  $AsGa$   
ATF35076**

Le fichier fourni pour ce composant indique que le facteur de bruit est minimum si l'on présente à la grille un coefficient de réflexion  $\rho_{opt}$  de  $0.8e^{120}$  pour  $I_d = 10$  mA et  $V_{ds} = 1.5$  V.

Les élèves s'entraînent à transformer l'impédance d'antenne  $50 \Omega$  en  $\rho_{opt}$ , excellent exercice d'utilisation de l'abaque de Smith (plusieurs TD sont consacrés à l'abaque).

Pour simplifier la construction, on impose la grille à la masse en continu, ce qui donne une solution parmi plusieurs, avec deux lignes  $50 \Omega$  (de longueur  $18^\circ$  et  $64^\circ$ ).

L'écran de Puff permet aux élèves de vérifier le  $\rho_{opt}$  obtenu (fig. 3 en haut de Layout).

Puis on passe à la sortie en calculant  $S_{22}'$  par :

$$S_{22}' = S_{22} + (S_{12} S_{21} \rho_{opt}) / (1 + S_{11} \rho_{opt})$$

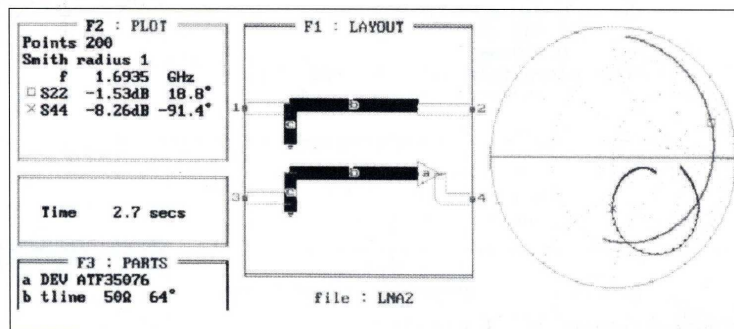


Figure 3

ce qui donne  $S_{22}' = 0.38e^{-j91^\circ}$ , que l'on peut aussi vérifier grâce à Puff (fig. 3 en bas de Layout).

On notera que l'adaptation n'a pas été recherchée côté grille, par contre il ne faut pas négliger le gain du premier étage, et par conséquent nous adapterons selon les règles habituelles le drain du transistor à l'impédance  $50 \Omega$  du second étage.

C'est encore l'abaque de Smith qui permet aux élèves de réaliser cette adaptation.

La figure 4 illustre pour la gamme 1 à 3 GHz, les coefficients de réflexion à l'entrée S11, et à la sortie S22, ainsi que la transmission S21 (le gain en puissance dans l'environnement  $50 \Omega$  étant  $|S_{21}|^2$ ).

**Le coefficient de réflexion S11 montre un maximum de 4,8 dB autour de 1691 MHz dénotant une instabilité potentielle inacceptable (voir GESI n° 39).**

Après discussion avec l'ingénieur produit HP, on est amené à allonger les connections de source par des lignes très courtes  $\sim 10^\circ$  ( $\sim 2$  mm).

L'étude est alors achevée, le masque est visible dans la fenêtre Layout (fig. 5).

**Les deux lignes « g » (self dans la source), assurent la stabilité, mais au prix d'une perte de gain, passé de 24 dB à 16 dB !**

Après quelques essais sur une imprimante à jet d'encre (300 dpi), une correction d'épaisseur du trait (artwork correction =  $-150$  um) nous a permis d'obtenir des gravures fidèles aux cotes.

Un premier passage à l'analyseur de paramètres S nous a donné  $\sim 12$  dB vers

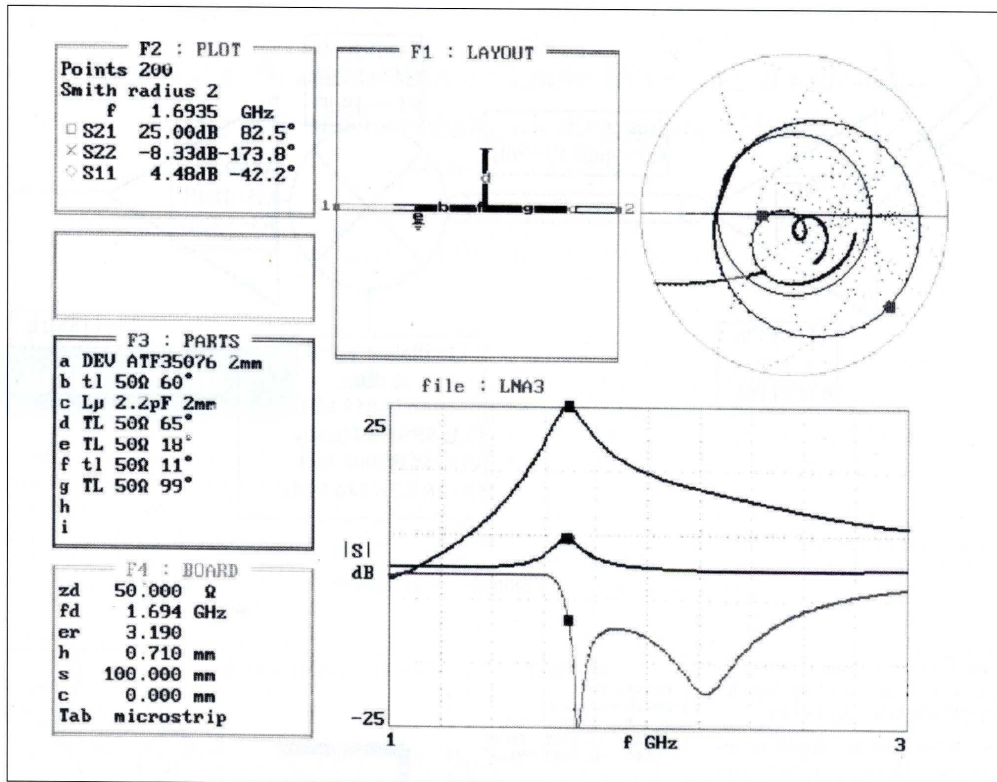


Figure 4

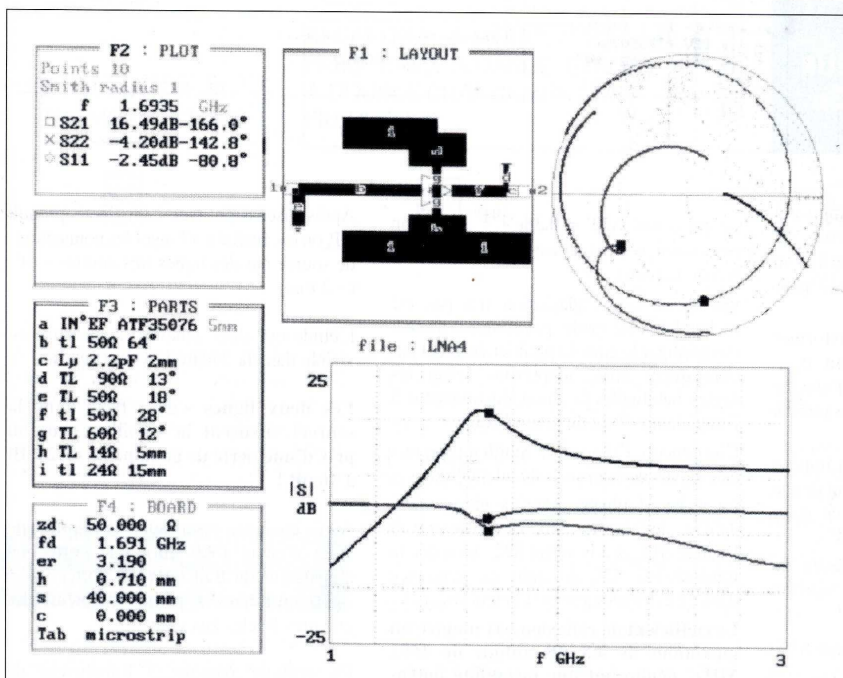


Figure 5

1600 MHz, que nous avons en vain essayé de « pousser » vers 1691 MHz au cutter !

Les élèves ont eut des déboires avec ce transistor très fragilisé par la soudure. Un autre binôme étudiait parallèlement le second étage préamplificateur, avec un transistor moins délicat au soudage mais moins performant en bruit (ATF21186), l'approche théorique étant similaire.

Lors des essais un pic de gain s'est manifesté vers 400 MHz, là encore, Puff nous à donné la solution : une résistance CMS de 22 Ω en série avec la ligne λ/4 de polarisation de grille ! Effectivement le remède simulé s'est parfaitement vérifié expérimentalement.

Pressés par le temps et très motivés par les essais sur antenne, les élèves, ont abandonné l'ATF35076 au profit de l'ATF21186, et pour

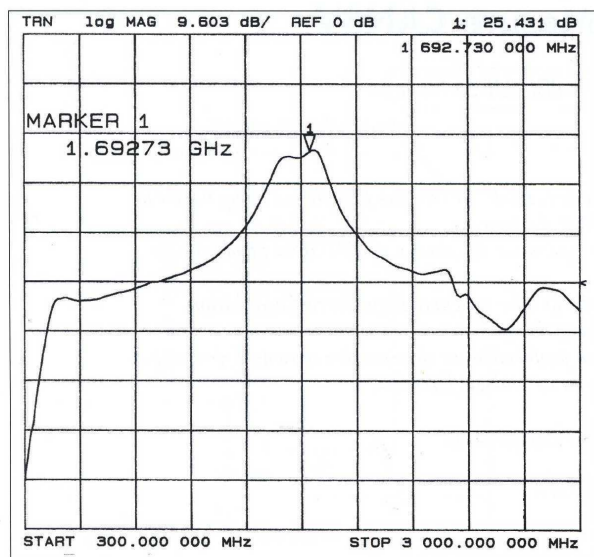


Figure 6

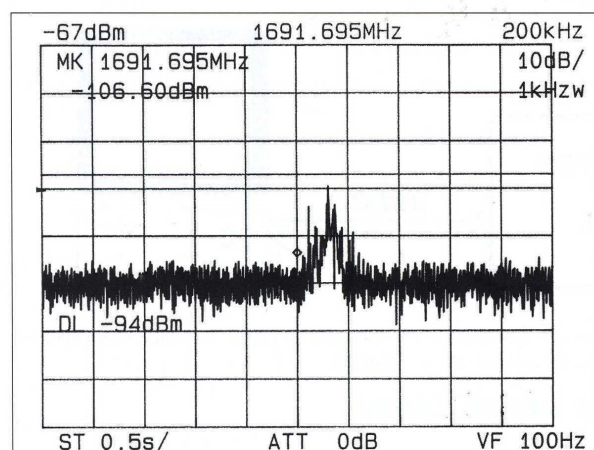


Figure 7

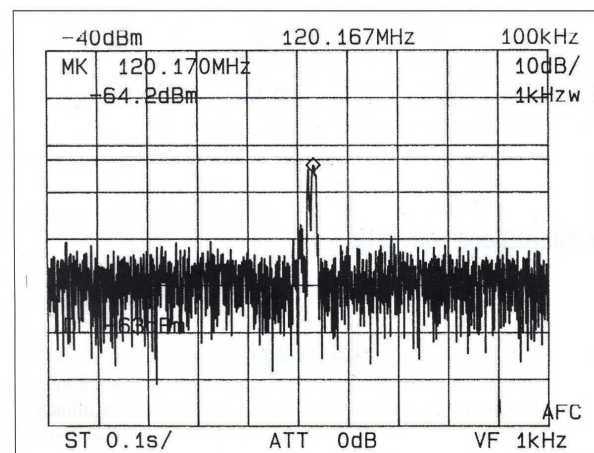


Figure 8

atteindre un gain significatif, ont monté en cascade deux deuxièmes étages, atteignant ainsi 25 dB à 1691 MHz (fig. 6).

Ce fut avec fébrilité que nos jeunes spécialistes montèrent le préamplificateur sur le toit, le câble, l'alimentation en +2, -2 V et branchèrent l'analyseur.

Enfin apparaissait le signe de vie de Meteosat vers -94 dBm (l'aiguille dans la meule de foin !) (fig 7).

## COMMENTAIRES SUR LE DEROULEMENT ET L'IMPACT DES GRANDS PROJETS

Pour éviter 12 semaines de cloisonnement sur un sujet, il était prévu la rotation des trois équipes sur les 3 parties S1, S2, S3, à raison de phases (Φ1, Φ2, Φ3) de 4 semaines.

Les 3 phases étant intitulées :

- Préétude/faisabilité.
- Mise en œuvre des composants/mise au point des fonctions élémentaires.
- Amélioration/assemblage de l'ensemble.

A ce jour nous n'avons pas encore décidé la reconduite de cette expérience, mais on peut en souligner quelques avantages et quelques inconvénients :

### L'aspect positif :

- Les élèves ne sont pas canalisés sur une solution (les annales des années antérieures !).
- On voit très vite les passionnés et les « locomotives ».
- Obligation d'aller plus loin que ce qui est fourni en cours et TD : l'autonomie se développe chez certains.
- Obligation de fournir en fin de phase un document et une présentation orale exploitable par l'équipe suivante.
- Responsabilisation : un binôme qui ne joue pas le jeu peut entraîner l'échec général !

### L'aspect négatif :

- Le transfert de l'information entre chaque phase est lent et prend en moyenne 2 semaines, il y a un temps d'assimilation important.
- L'avancement est très lent par rapport aux petits projets préparés en TD.
- Et surtout il est impossible de concilier les besoins théoriques avec l'avancement du cours et des TD.

Logiciel utilisé : PUFF de Wedge, Compton et Rutledge (California Institute of Technology).  
Distribué en France par SM Electronique à Auxerre.

Contact GEII Marseille :  
fax 04 91 28 94 03  
Jean Marie Mathieu  
**JEAN-MARIE-MATHIEU-GEII.u-3mrs.fr**  
Michel Devaud  
**MICHEL-DEVAUD-GEII.u-3mrs.fr**