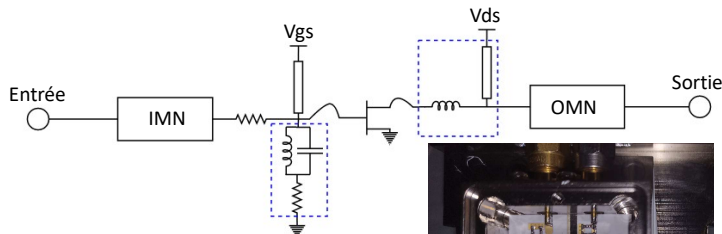


# Optimisation énergétique d'un sous-système d'antennes actives à fort dépointage pour application de télécommunications par satellite en orbite basse (LEO)

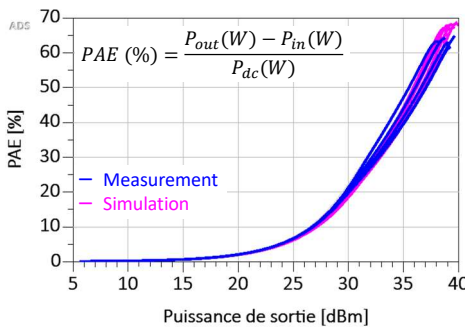
Jimmy Autier, Pierre Medrel, Cyrille Menudier

L'intégration de la charge utile d'un satellite est sujette à de nombreuses contraintes de poids, de coût et d'efficacité énergétique. Dans le cas d'un satellite de télécommunications, une intégration et une efficacité énergétique optimales des terminaux RF d'émission-réception constitue un levier important pour l'amélioration des performances de consommation électrique. Cependant, les composants formant le système étant de nature fortement multi-physique et multi-échelle, ils sont habituellement conçus indépendamment, ce qui rend difficile l'optimisation des performances globales de l'antenne active. Dans cette étude, nous étudions les avantages de la co-conception des circuits actifs et des antennes du côté de la transmission.

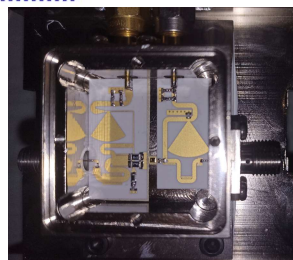
## Conception de l'amplificateur de puissance<sup>1</sup>



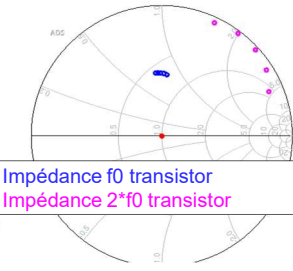
- Technologie GaN HEMT (wolfspeed) (6\*375um)
- Adaptation à perte en entrée
- Adaptation large bande à f0 en sortie
- Terminaison harmonique en classe F inverse
- Intégration Hybride (IMN/OMN alumine)



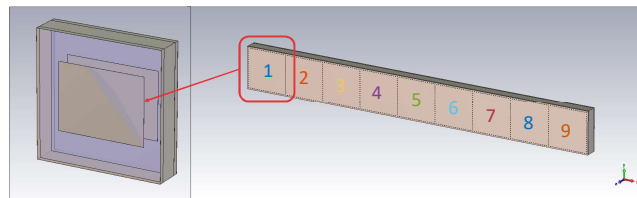
- PAE (Power Added Efficiency) mesurée de l'amplificateur d'environ 63 % entre 2 et 2,4 GHz
- Bonnes corrélations mesures/simulations



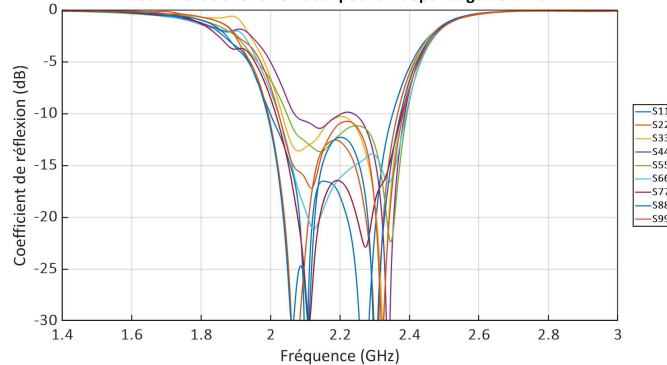
Coefficient de réflexion



## Conception du réseau d'antennes

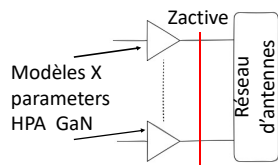


Coefficient de réflexion actif pour un dépointage de  $\theta=40^\circ$

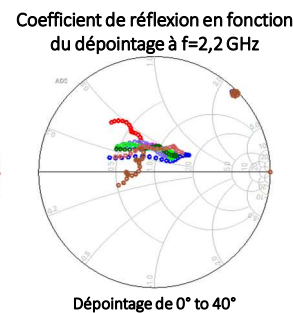
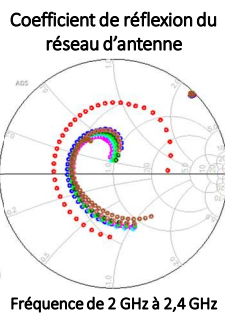
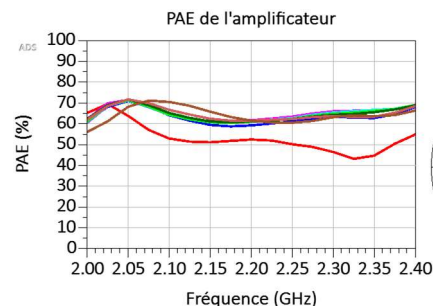


- L'élément rayonnant est un patch double toit → permet d'élargir la bande passante de l'antenne
- La direction de pointage est contrôlée par un déphaseur sur chaque élément rayonnant → application d'un gradient de phase
- Le couplage et la finitude du réseau affectent l'adaptation active → performances des amplificateurs dégradées

## Simulation système dans l'environnement ADS



- Simulations réalisées pour un dépointage  $\theta_0=40^\circ$  pour des fréquences comprises entre 2 GHz et 2,4 GHz
- Met en évidence la dégradation du système au travers de la PAE de l'amplificateur due à la désadaptation entre l'amplificateur de puissance et l'antenne.



- Port 1
- Port 2
- Port 3
- Port 4
- Port 5
- Port 6
- Port 7
- Port 8
- Port 9

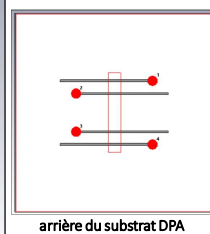
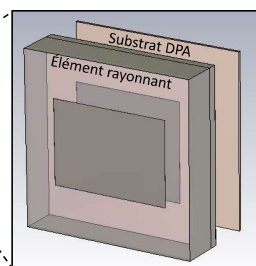
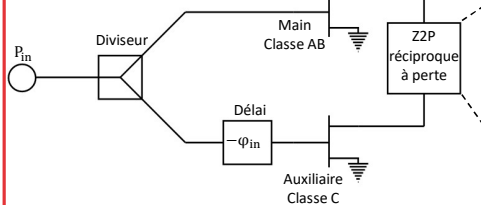
## Co-conception Amplificateur/Antenne orientée boîte noire<sup>2</sup>

Matrice de combinaison obtenue d'après contraintes circuits :

- charge optimale présentée au transistor classe AB (main) à la puissance crête et au Back Off
- charge optimale présentée au transistor classe C à la puissance crête et au Back Off

Objectif :

- Réduction des pertes dues au circuit d'adaptation entre l'amplificateur et l'antenne en évitant l'interface 50  $\Omega$
- Implémentation d'une fonction d'amplification avec gestion de puissance (type Doherty)
- Co-conception/co-intégration entre l'élément rayonnant et le circuit de puissance



- Couplage au travers d'une ouverture → bande passante importante + découplage EM entre la fonction de rayonnement et les circuits actifs
- Chaque paire de ligne d'alimentation forme un centre d'alimentation virtuel commun → possibilité de conserver une excitation symétrique
- Optimisation conjointe circuit/EM pour la synthèse de la fonction de combinaison (travail en cours)

1 Y. Itoh, M. Nii, Y. Kohno, M. Mochizuki and T. Takagi, "A 4 to 25 GHz 0.5 W monolithic lossy match amplifier," 1994 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (Cat. No.94CH3389-4), San Diego, CA, USA, 1994, pp. 257-260 vol.1, doi: 10.1109/MWSYM.1994.335323.

2 O. A. Lupikov et al., "A Cavity-Backed Patch Antenna With Distributed Multi-Port Feeding, Enabling Integration With Doherty Power Amplifier and Band-Pass Filter," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 69, no. 8, pp. 4412-4422, Aug. 2021, doi: 10.1109/TAP.2020.3048529.