



20èmes Journées Nationales Micro-Ondes
16-19 mai 2017 à Saint-Malo



Etude de la dégradation des performances d'un amplificateur faible bruit sous stress RF

Par : **Insaf Lahbib**

Doctorante au LAMIPS, Université de Caen Basse Normandie
Adresse mail : insaf.lahbib-lamips@nxp.com

Plan

1

• **Introduction**

2

• **Principe de simulation de la fiabilité**

3

• **Etude de la fiabilité du LNA sous stress RF**

4

• **Résultats et discussion**

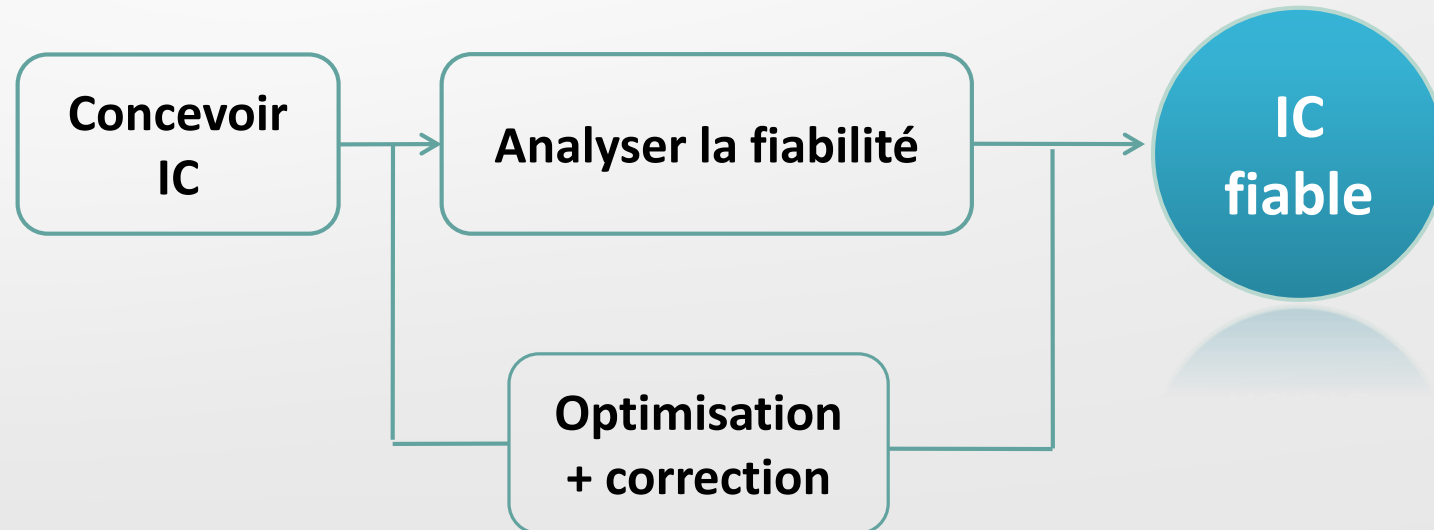
5

• **Conclusion et perspectives**

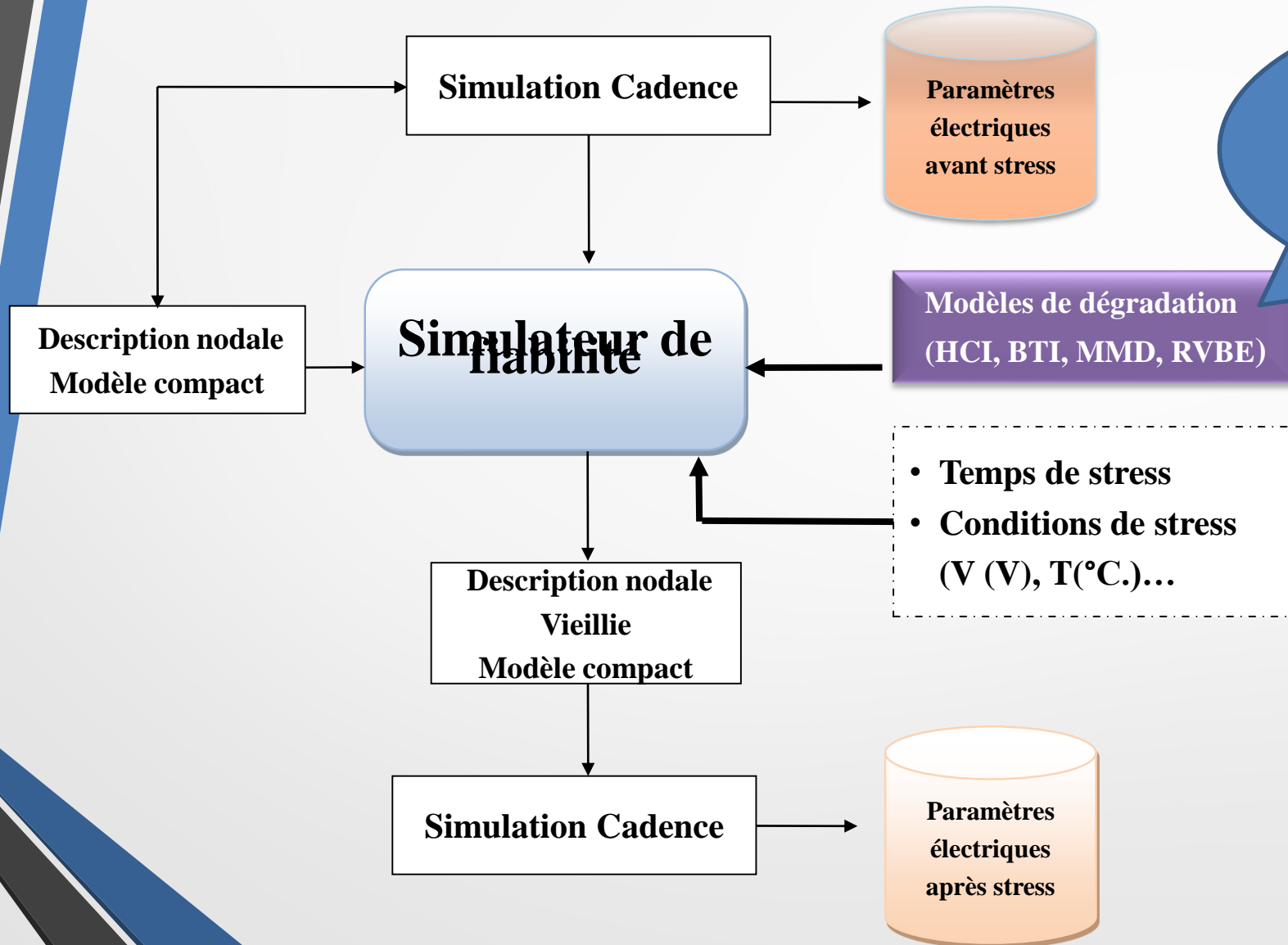
Introduction (1/2) : nouvelle méthodologie incluant la fiabilité lors de la phase de conception



**Assurer la fiabilité
par des essais de
vieillessement
accéléré**



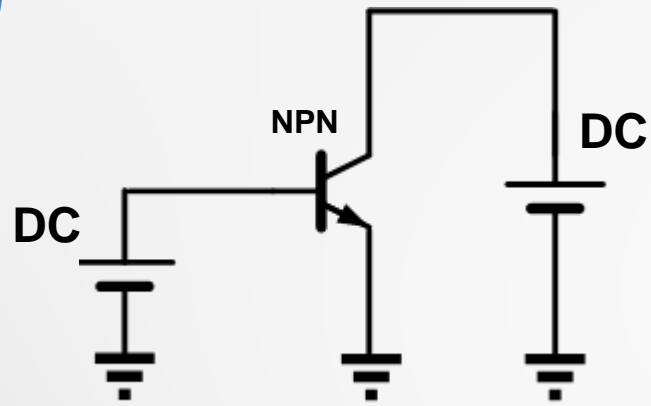
Introduction (2/2) : Principe de simulation de la fiabilité



Les modèles de dégradation sont développés et validés à partir d'essais de vieillissement accéléré sous contraintes DC.

Les mécanismes de dégradation:
HCI : hot carrier injection
BTI : bias temperature instability
MMD : mixed mode degradation
RVBE : reverse base-emitter bias

Corrélation entre la dégradation sous contraintes DC et RF ?



Conditions de stress statique DC

Modèles de dégradation sous des contraintes DC

$$\Delta P(t) = K \times (f[V] \times t)^n$$

Où : K = constante, n = nombre positif entre 0 et 1, t= durée de stress et f[V] = fonction des tensions V lors du stress qui est une constante.

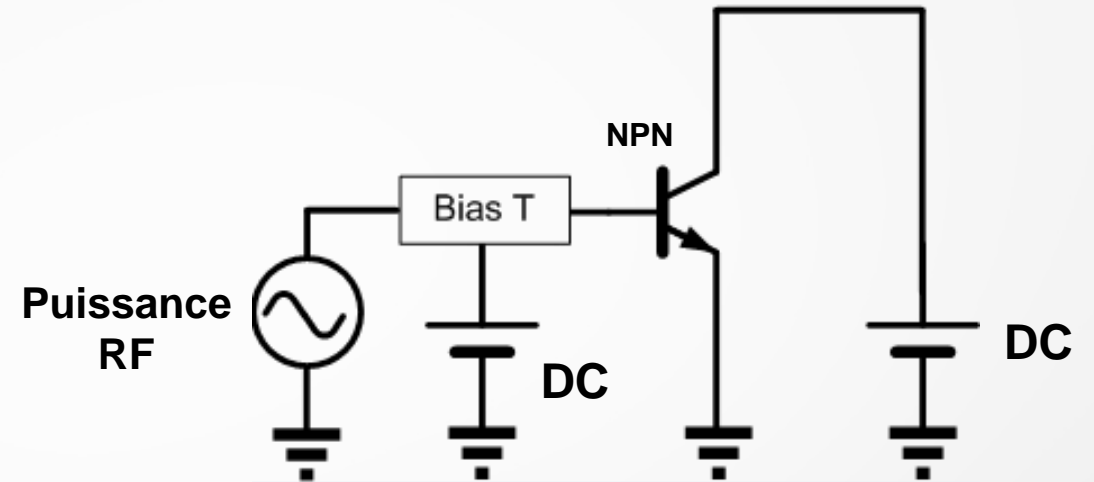
Approximation quasi-statique



Modèles de dégradation sous des contraintes RF

$$\Delta P(t) = K \times \left(\int_0^t f[V(t)] \times dt \right)^n$$

Cas d'une tension de stress variable dans le temps



Conditions de stress dynamique RF

Validation ?

1

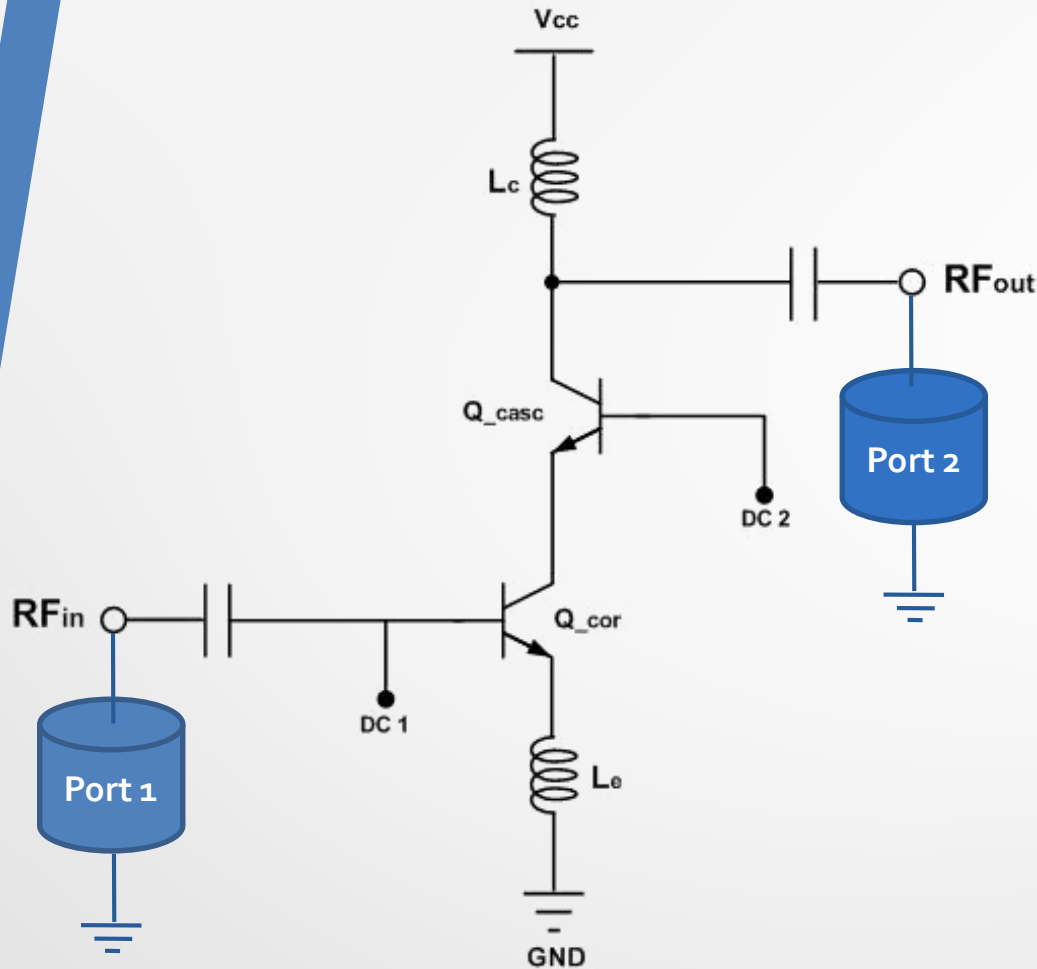
Valider la
précision du
simulateur

Valider
l'approximatio
n quasi-statique

2

Etudier la
fiabilité du
LNA

Structure du LNA sous test



❖ technologie SiGe BiCMOS, 0.25 μ

Performances RF du LNA

Paramètres	Min	Typ	Max
Gain en puissance (dB)	9.5	12.5	15
Facteur de bruit (dB)	-	2.3	-
Point de compression (dBm)	-	-1	-
Pertes d'entrée (dB)	10	-	-
Pertes de sortie (dB)	9	-	-

Le temps estimé jusqu'à la défaillance (MTTF) est défini comme le temps nécessaire pour atteindre :

- Une perte de gain de plus de 3 dB ($\Delta S_{21} / S_{21} > 25\%$)
- Une augmentation du NF de plus de 30% ($\Delta NF / NF > 30\%$)

Conditions de stress RF (1/2)

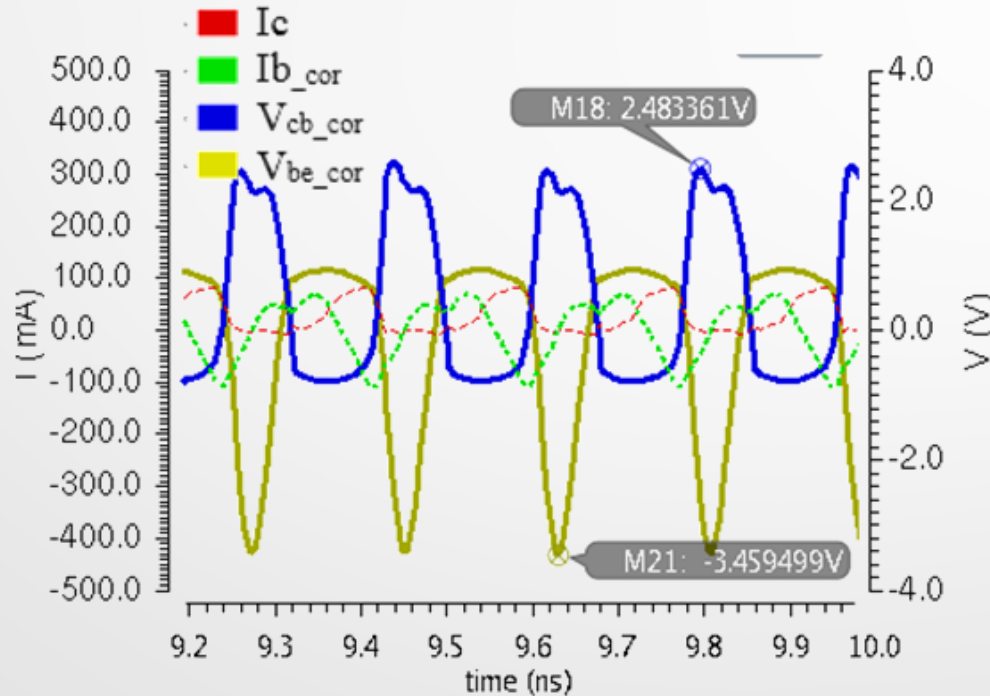
Absolute maximum rating data (IEC 60134)

Parameters	Max
Input power on-pin ANT-LNA mode (dBm)	7
Ambient temperature (° C)	85



Conditions de stress RF

	Durée (h)	V _{cc} (V)	RF _{in} (dBm)	Freq (GHz)	T (°C)	Paramètres
Test 1	690	3.6	19	5.6	100	S ₂₁
Test 2	575	3.6	19	5.6	100	NF



Évolution de la polarisation DC lors de l'application du signal RF du stress

	RF power OFF	RF power ON
V _{ce_cor} (V)	1.3	0.3
V _{be_cor} (V)	0.752	-0.2
I _c (mA)	9	30

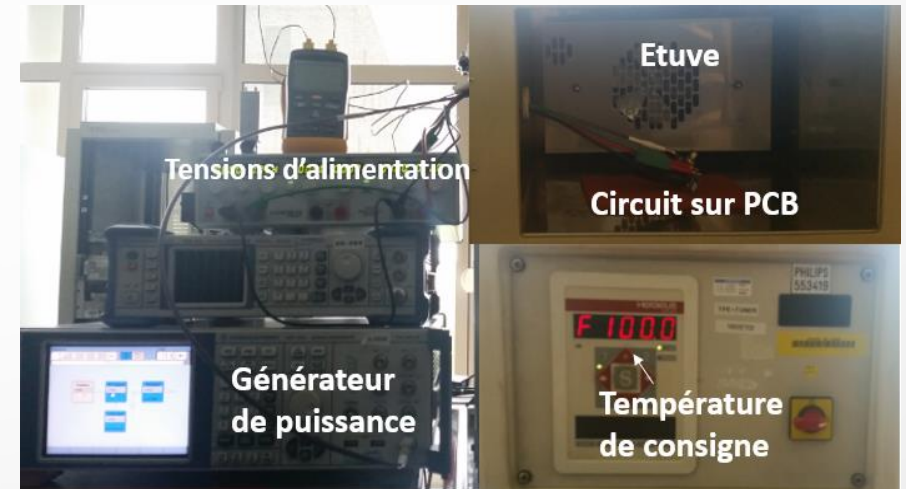
Conditions de stress RF (1/2)

Simulation

	Durée (h)	V _{cc} (V)	RF _{in} (dBm)	Freq (GHz)	T (°C)	Paramètres
Test 1	690	3.6	19	5.6	100	S ₂₁
Test 2	575	3.6	19	5.6	100	NF



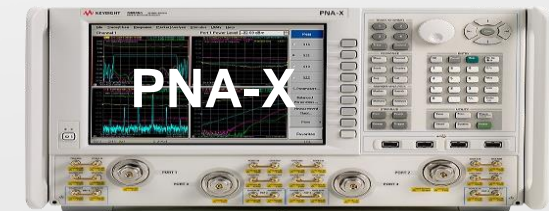
Banc de test expérimental



Banc des essais de vieillissement accéléré



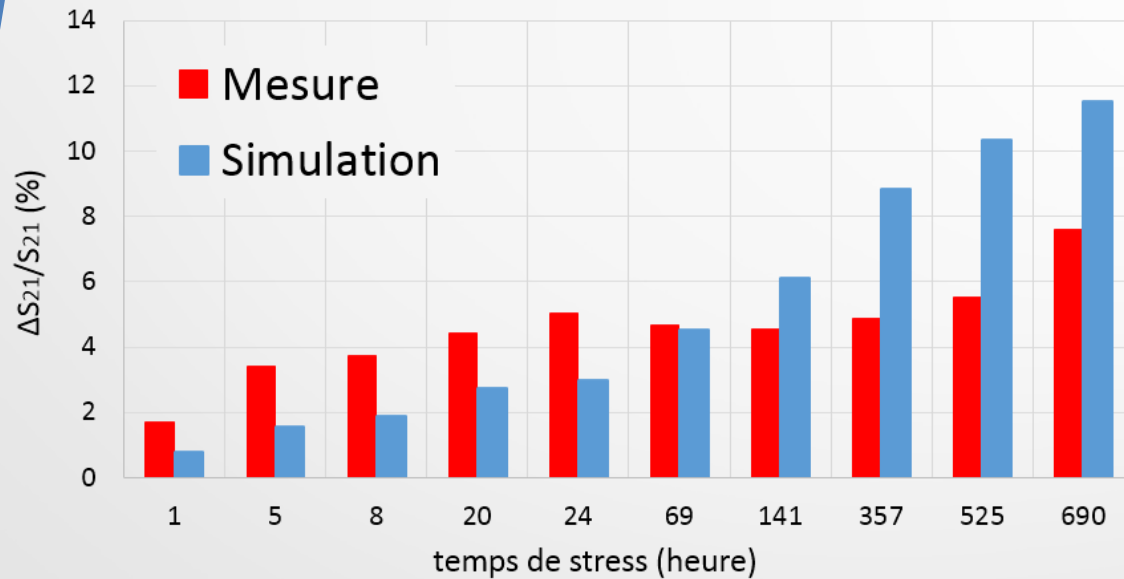
Mesure du gain



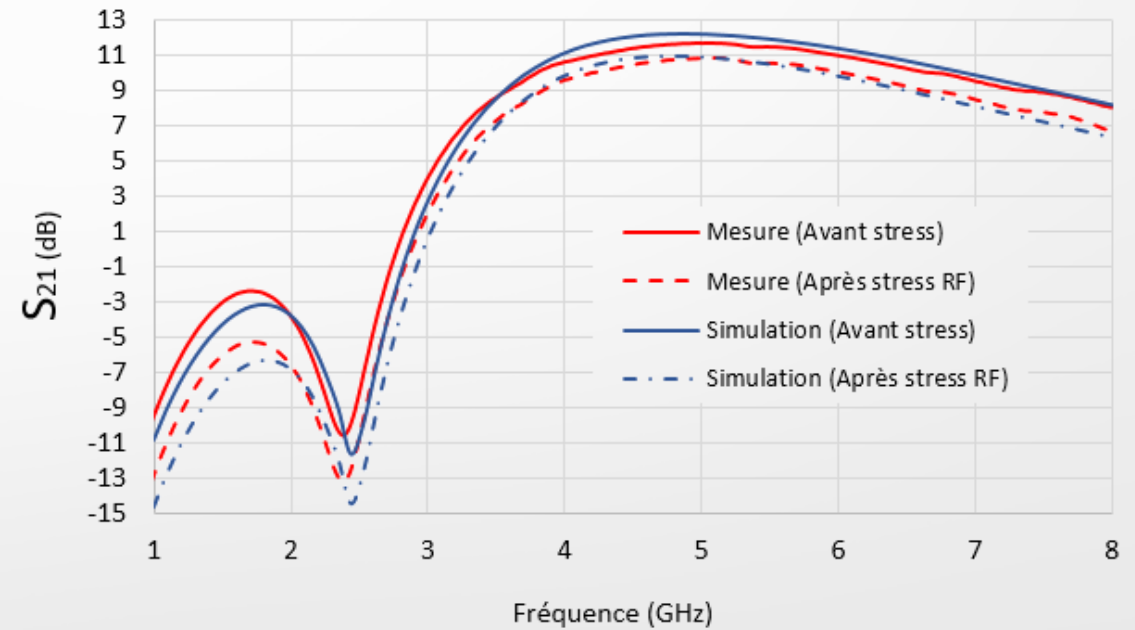
Mesure du Facteur de bruit

Comparaison entre les résultats expérimentaux et la simulation

Dégradation du gain S_{21} à 5.6 GHz en fonction du temps de stress



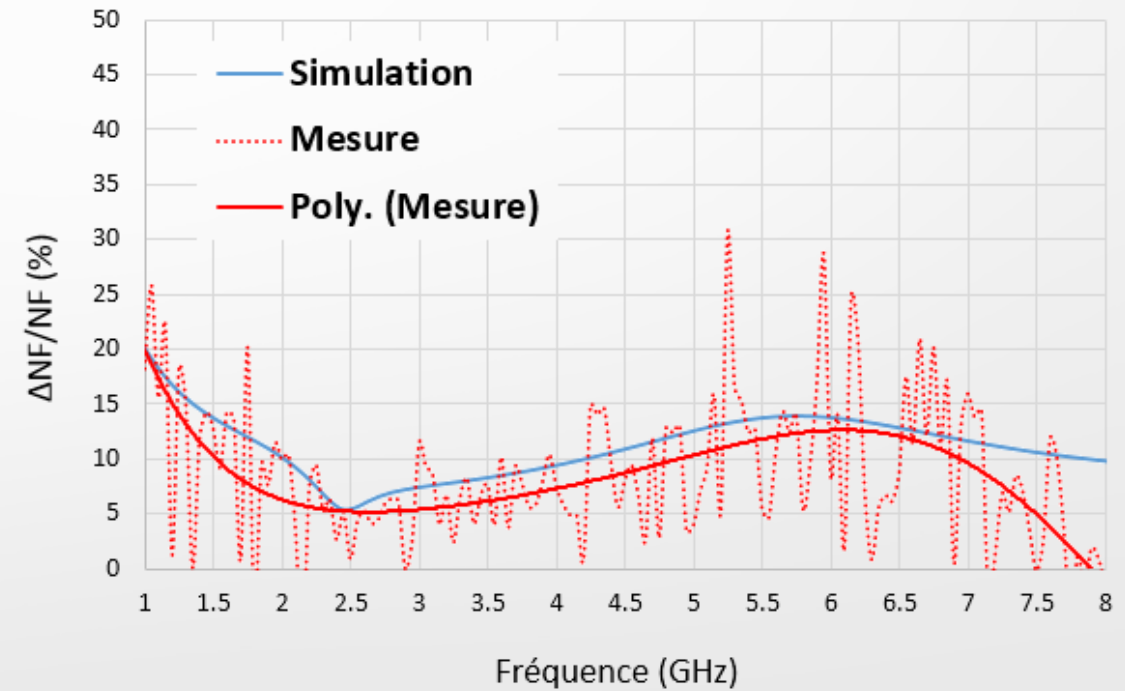
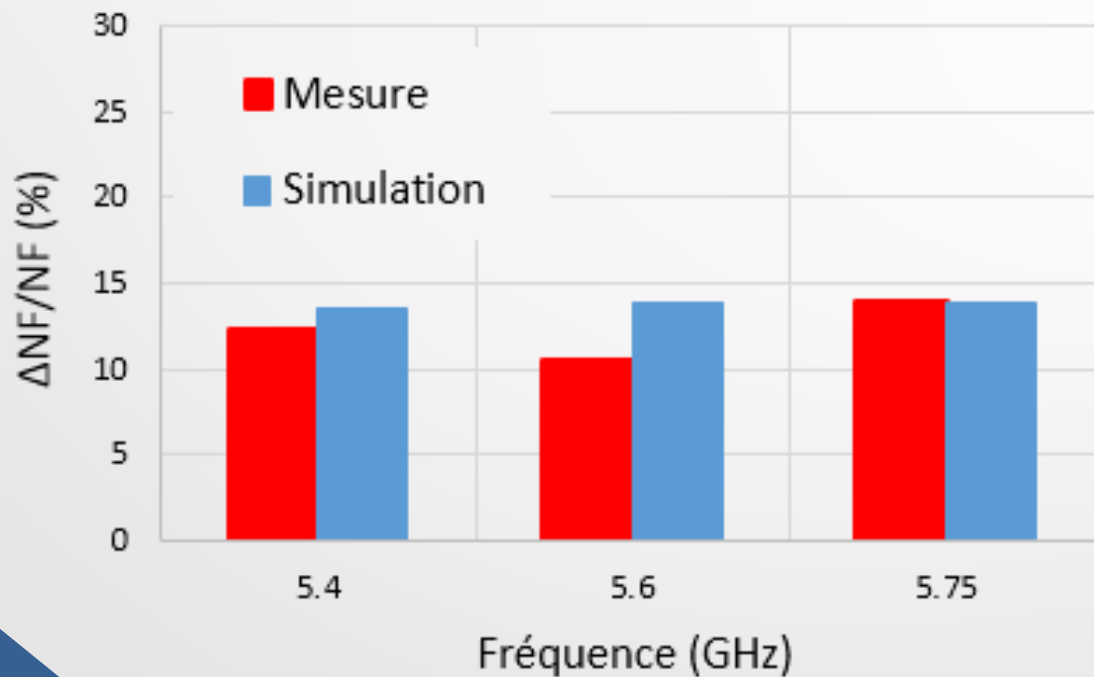
Dégradation de S_{21} à 5.6 GHz après 690 h de stress RF à 19 dBm



$$\frac{\Delta S_{21}}{S_{21}} = \frac{S_{21\text{avant_stress}} - S_{21\text{après_stress}}}{S_{21\text{avant_stress}}}$$

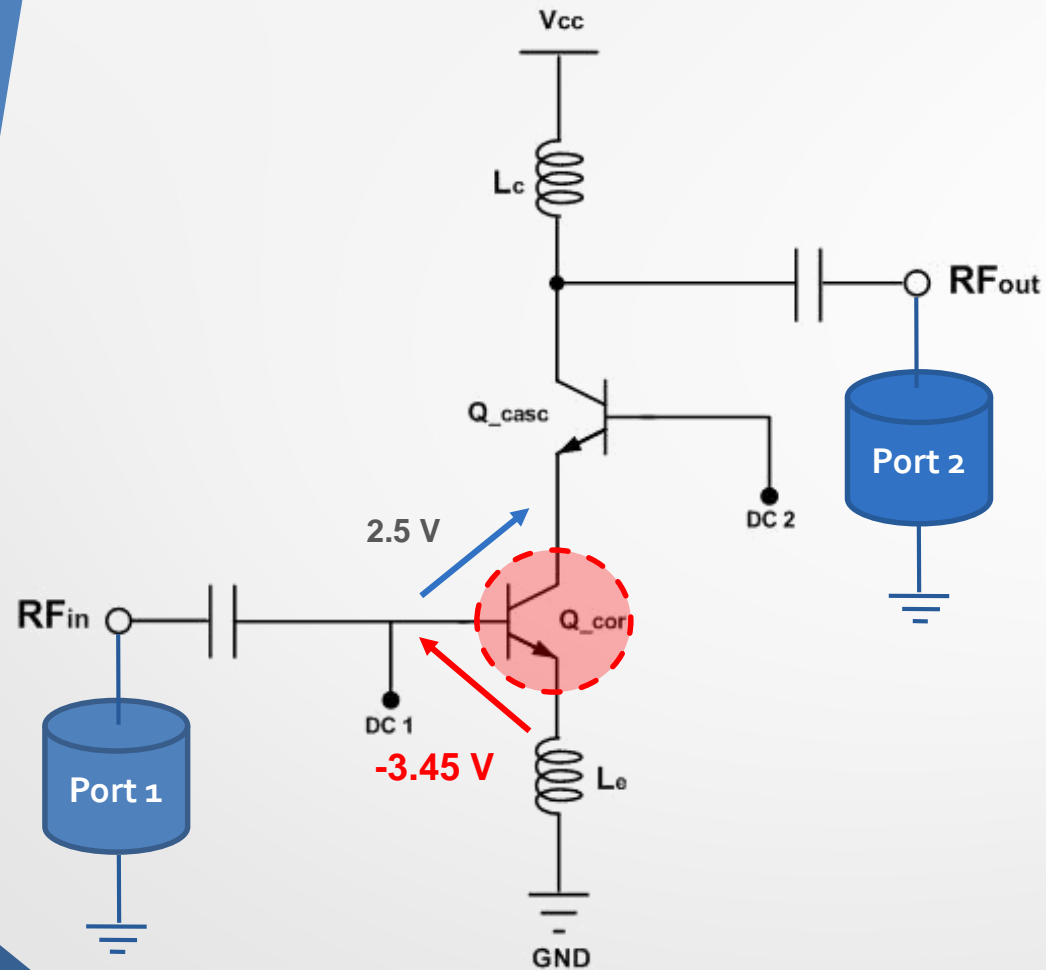
Comparaison entre les résultats expérimentaux et la simulation

Augmentation du facteur de bruit NF après 575 h de stress RF à 19 dBm



$$\frac{\Delta NF}{NF} = \frac{NF_{\text{après_stress}} - NF_{\text{avant_stress}}}{NF_{\text{après_stress}}}$$

Causes de dégradation du LNA



❖ Expression analytique du gain en puissance

S_{21} :

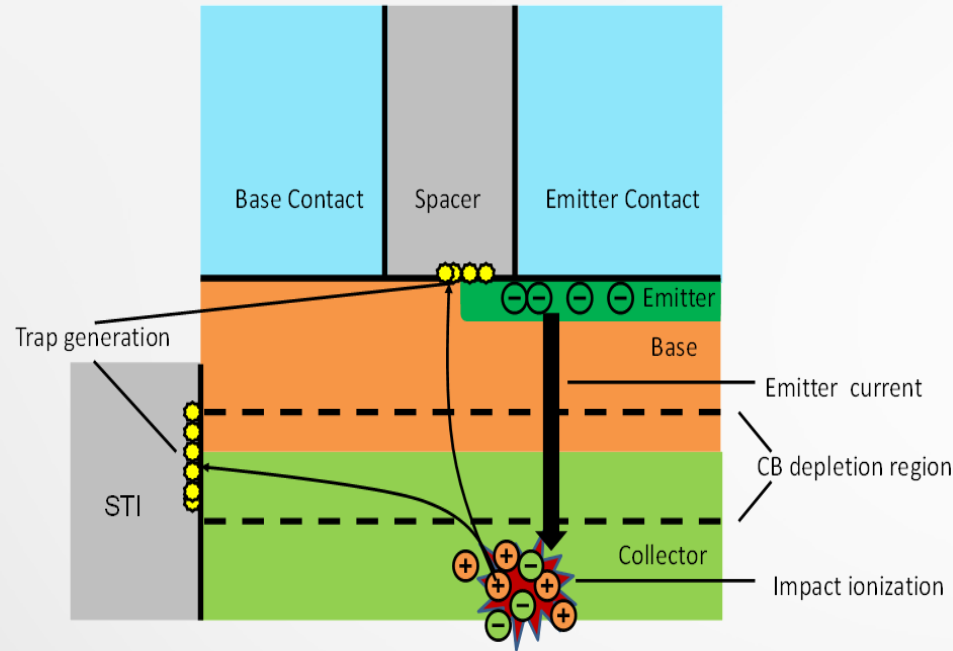
$$S_{21} = \frac{-jL_c W}{\left(\frac{1}{\beta_f} + j\left(\tau_F + \frac{C_{dbe}}{g_m}\right)W\right)(R_b + Z_e) + \frac{1}{g_m} + Z_e}$$

❖ Expression analytique du facteur de bruit

NF :

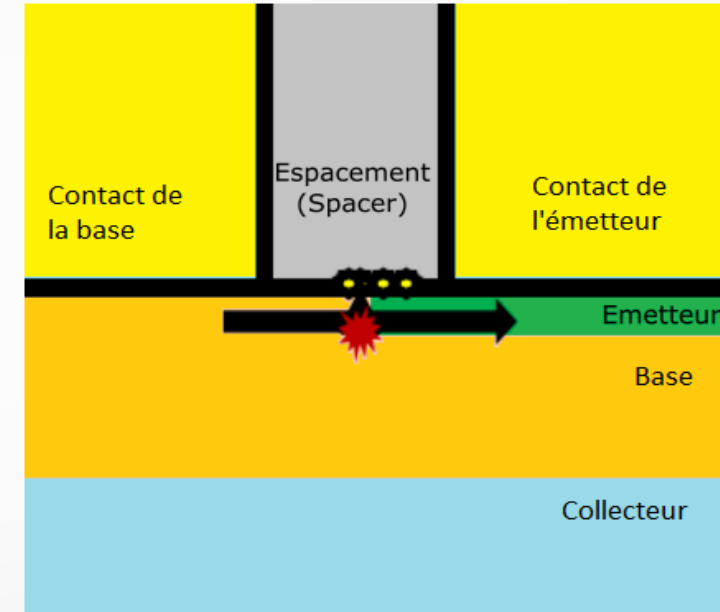
$$NF = 1 + \frac{R_b + R_e}{R_s} + \frac{1}{\beta_f} \frac{(R_s + R_b + R_e)^2}{2R_s r_e} + \frac{r_e}{2R_s} \left(1 + \frac{1}{\beta_f} \frac{R_s + R_b + R_e}{r_e}\right)^2$$

Mécanismes de dégradation des transistors bipolaires



Mécanisme de dégradation en mode mixte

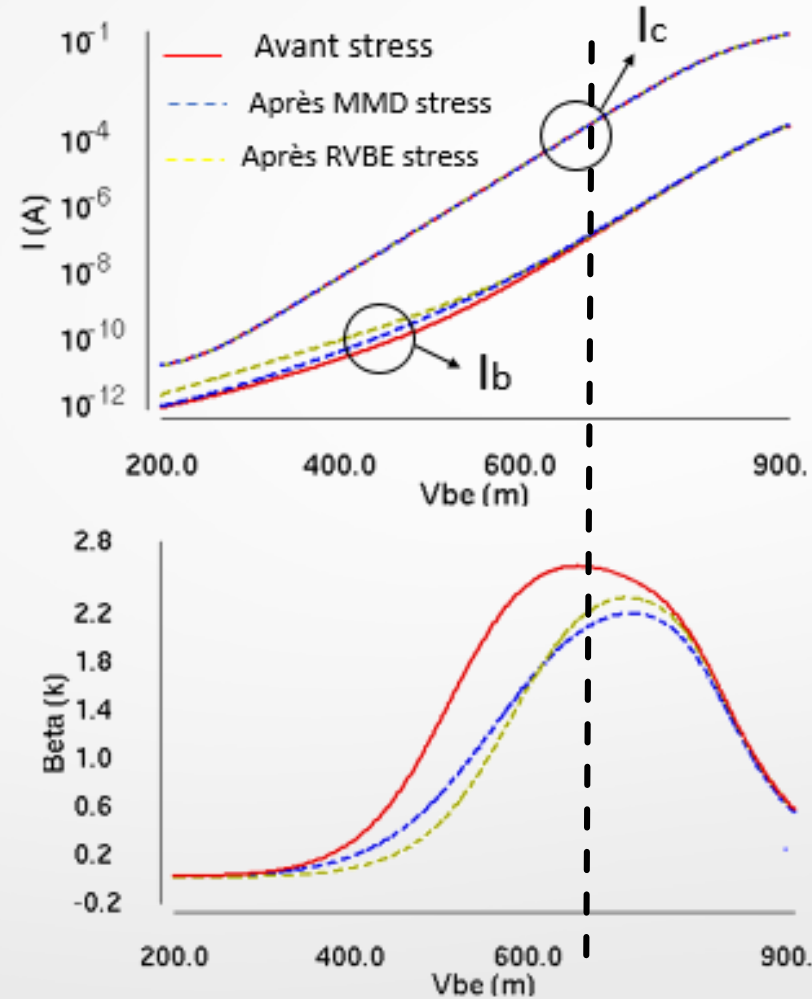
$$\Delta I_b = F_{stat} \cdot (A_E + P_E) \cdot t_{stress}^n \cdot e^{\frac{-\alpha}{V_{cb_stress}}} \cdot \left(e^{\frac{V_{be_stress}}{K_B T_{stress}} / q} - 1 \right)^b \cdot \left(e^{\frac{V_{be_read}}{m(K_B T_{read}) / q} - 1} \cdot e^{\frac{-E_a}{m(K_B \cdot \Delta T_{read}) / q}} \right)$$



Mécanisme de dégradation en polarisation base-émetteur inverse

$$\Delta I_b = F_{stat} \cdot P_E \cdot t_{stress}^n \cdot e^{\frac{-\alpha}{V_{eb_stress}}} \cdot \left((1 - c) + c \cdot e^{\frac{-E_a}{K_B T_{stress}} / q} \right) \cdot \left(e^{\frac{V_{be_read}}{m(K_B T_{read}) / q} - 1} \cdot e^{\frac{-V_g}{m(K_B \cdot \Delta T_{read}) / q}} \right)$$

Effets des mécanismes de dégradation MMD et RVBE sur I_b et β des transistors bipolaires



Conclusion & Perspectives

Les résultats prédictifs des effets de dégradation d'un amplificateur faible bruit sous une contrainte RF agressive, à l'aide de l'outil de simulation de la fiabilité, sont comparés à des tests expérimentaux.

Les résultats ont montré :

- Une dégradation du gain de 11% après 690 heures de stress RF.
- Une augmentation du NF d'environ 13% (~ 0.27 dB) après 575 heures de stress RF.
 - ➔ **Validation de la fiabilité du circuit**
- Un bon accord avec les mesures.
 - ➔ **Validation de la précision du simulateur**



- Etudier la variation après stress de :
 - S_{11} , S_{22}
 - IP3...
 - Appliquer la méthodologie du *design for reliability* sur les nouvelles conceptions

Merci de votre attention

