

# Développement d'un banc de test pour l'extraction de modèles fréquentiels des composants soumis à de fortes puissances impulsionnelles sur la base d'un générateur TLP

Fabrice Caignet, Alexandre Boyer  
Nicolas Nolhier

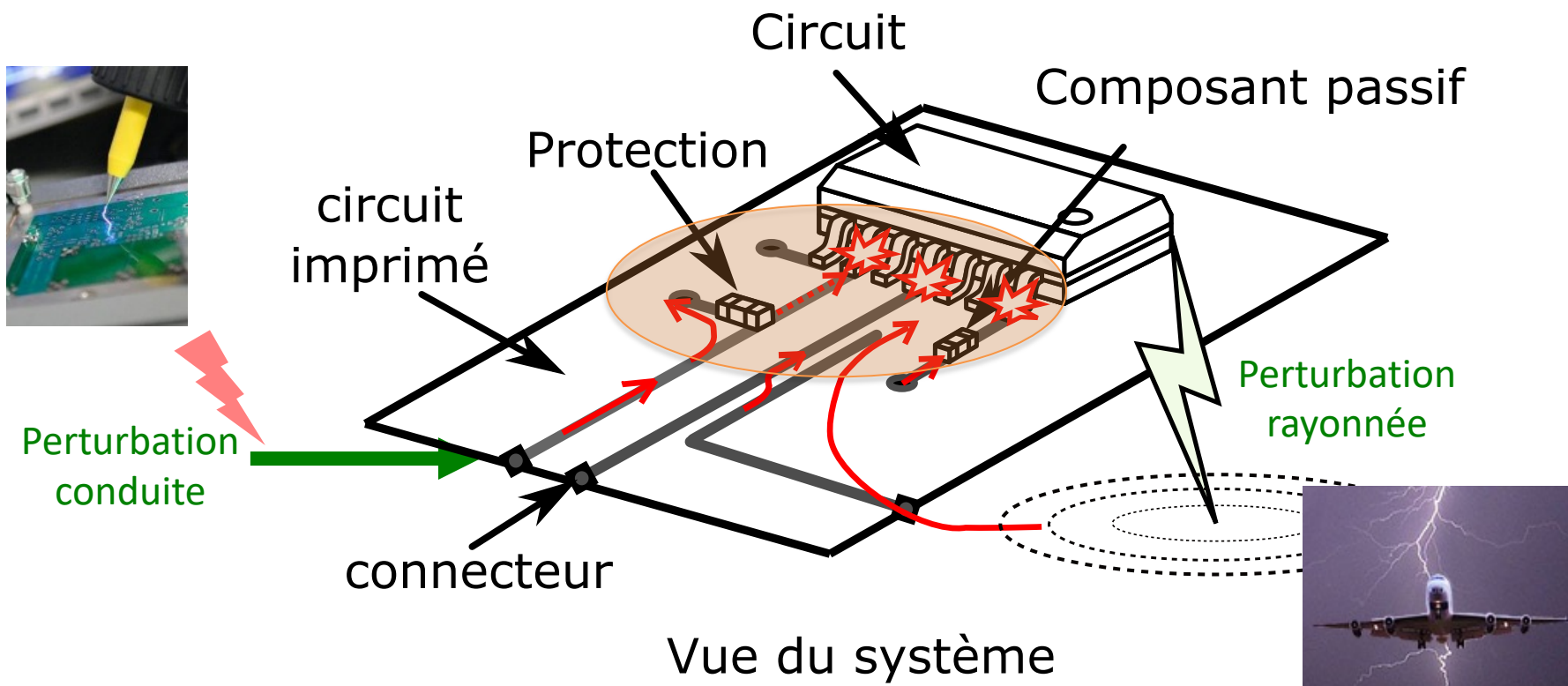
[fcaignet@laas.fr](mailto:fcaignet@laas.fr), [alexandre.boyer@laas.fr](mailto:alexandre.boyer@laas.fr); [Nolhier@laas.fr](mailto:Nolhier@laas.fr)



- **Contexte - Problématique et enjeux**
- **Banc TLP pour l'extraction de modèles  
fréquentiels**
- **Résultats & Validations expérimentales**
- **Extension pour l'analyse du vieillissement des  
composants**
- **Conclusion**

- **Contexte - Problématique et enjeux**
- Banc TLP pour l'extraction de modèles  
fréquentiels
- Résultats & Validations expérimentales
- Extension pour l'analyse du vieillissement des  
composants
- Conclusion

Principale question : comment se comporte le système électronique soumis à un ESD/EFT?



Comment prédire et caractériser l'impact des ESD/EFT?

# Problématique de prédiction

Obtenir un modèle pour les protections (système & circuit) ?

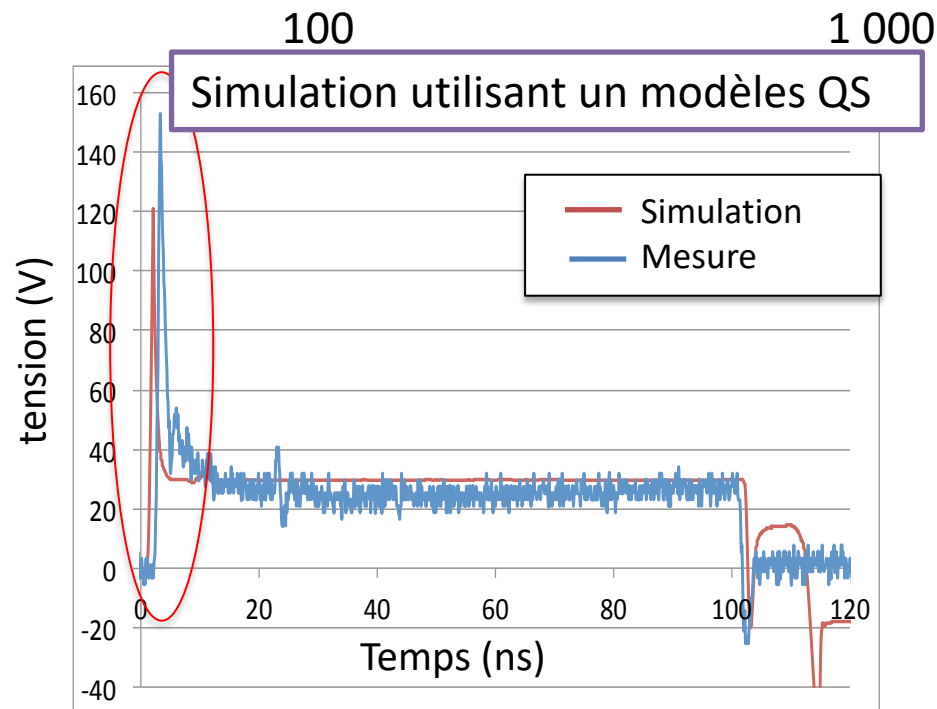
High energy

Low energy

Spectre des stress impulsionnels

Quasi static (QS) model

Dynamic model



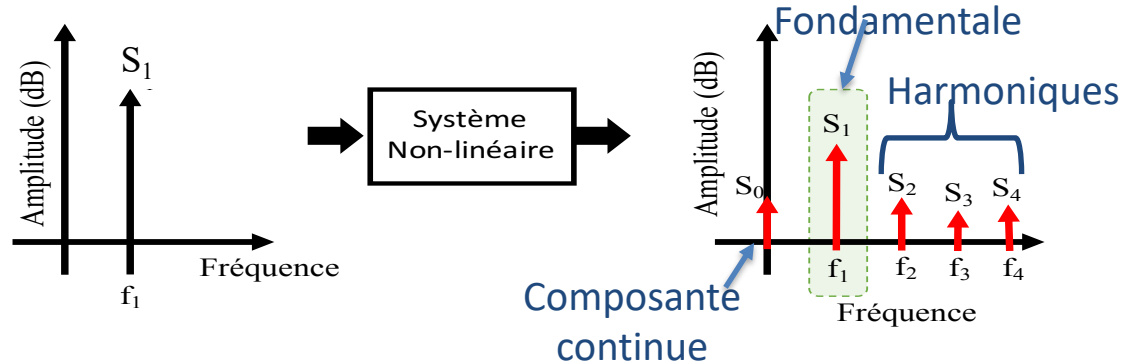
Mauvaise prédiction des surtensions  
lors de l'utilisation des modèles quasi-  
statiques

Seuls des modèles dynamiques  
permettraient de prédire correctement  
les surtensions

Utilisation de modèles fréquentiels

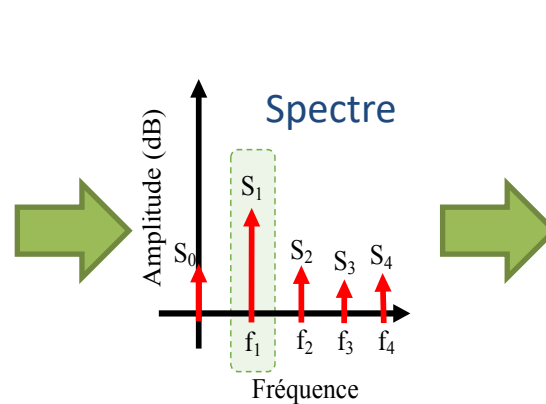
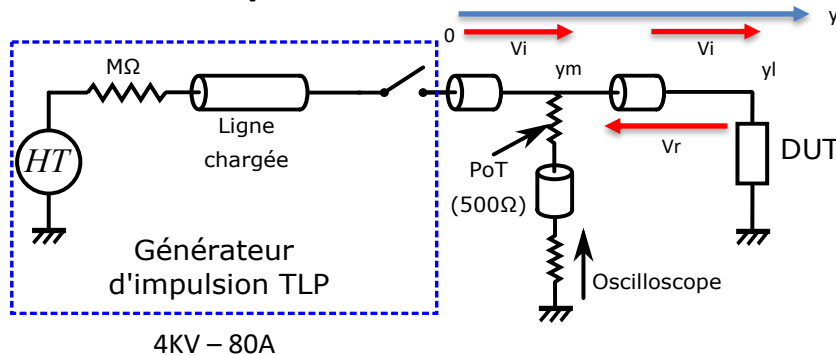
- Contexte - Problématique et enjeux
- **Banc TLP pour l'extraction de modèles  
fréquentiels**
- Résultats & Validations expérimentales
- Extension pour l'analyse du vieillissement des  
composants
- Conclusion

## Cas des systèmes non-linéaires



Hypothèse de linéarité invariante dans le temps (LTI : Linear Time invariance) pour une puissance

## TLP-TDR setup



$$\Gamma(t) = \frac{V_r(y_l, t)}{V_i(y_l, t)}$$

$$V_m(y_m, t) = V_i(y_m, t) + V_r(y_m, t)$$

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{V_{réfléchi}(f)}{V_{incident}(f)}$$

$Z(f)$

## Le TLP : HPPI TLP-8010C

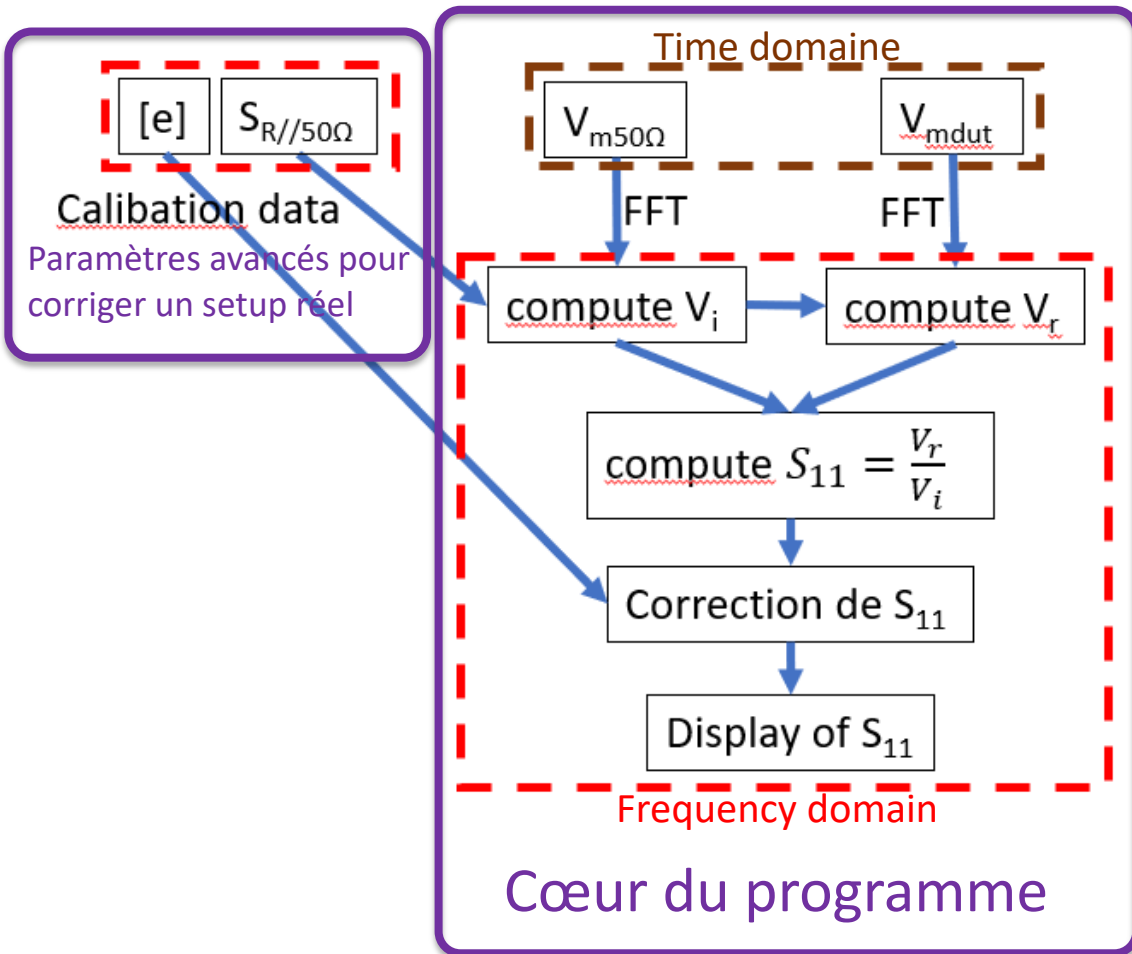
Générateur d'impulsion adapté 50  $\Omega$

- Durée typ. 100 ns  $\rightarrow$  durée 1 ns min et 500 ns max
- Temps de montée entre **100 ps** et 10ns
- Tension sur co 2 kV max x2 (4 kV en HCTLP x4)
- Courant de cc 40 A max x2 (80 A en HCTLP x4)
- Sonde HT et HF





# Méthode de calcul pour l'extraction des paramètres S



**Contraintes réelles**

Câbles, PoT, Oscilloscope introduisent de multiples réflexions qui doivent être corrigées

↓

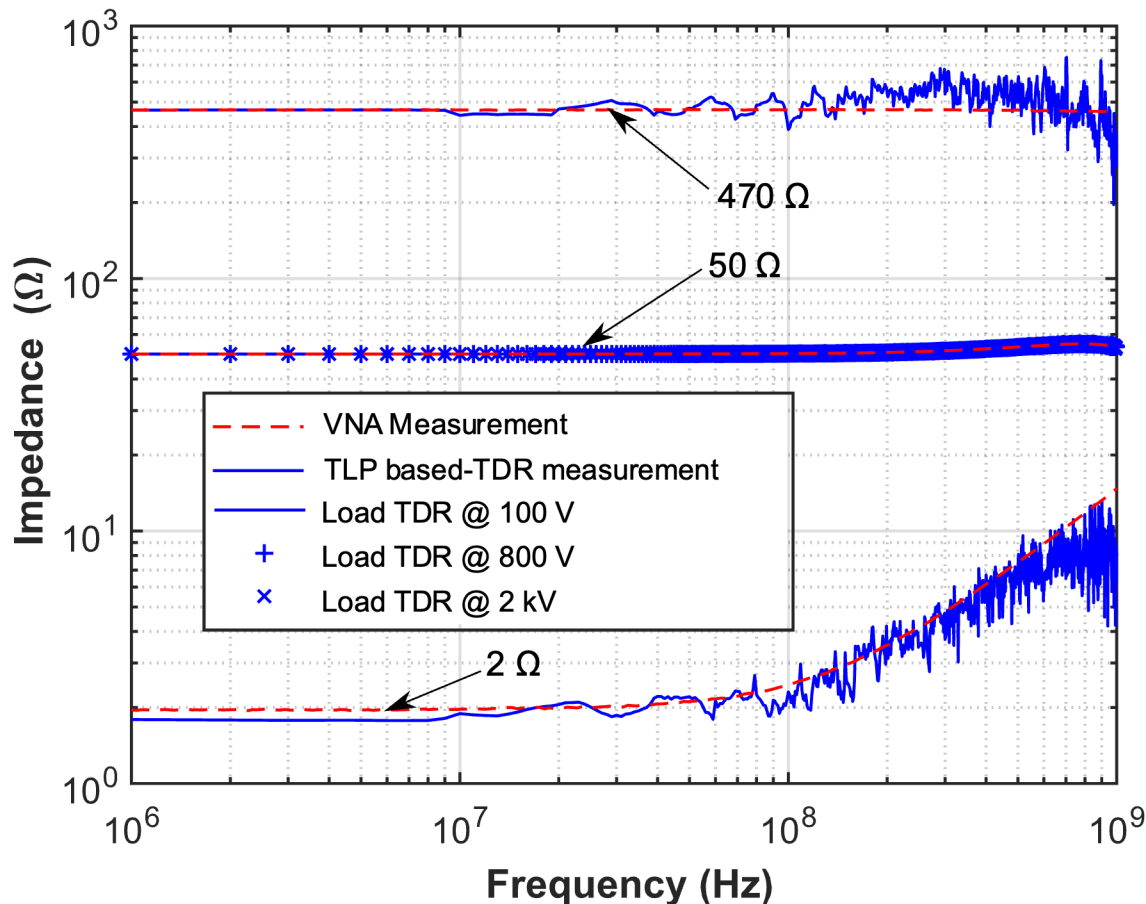
Nécessité de déterminer des coefficients de correction

- $[e]$  est la matrix de correction due au setup
- $S_{R//50\Omega}$  est la valeur de  $S_{11}$  sur  $50\Omega$  vue depuis l'oscilloscope

Les données sont obtenues avec un oscilloscope à 12 GHz de BW et traitées sous Matlab

- Contexte - Problématique et enjeux
- Banc TLP pour l'extraction de modèles  
fréquentiels
- **Résultats & validations expérimentales**
- Extension pour l'analyse du vieillissement des  
composants
- Conclusion

## Mesures de résistances...



Validation sur l'extraction de résistances (Le VNA est utilisé comme référence)

- Validation sur des résistances 470Ω et 2 Ω → 100V TLP
- Comparaison 50 Ω → 100, 800 et 2kV

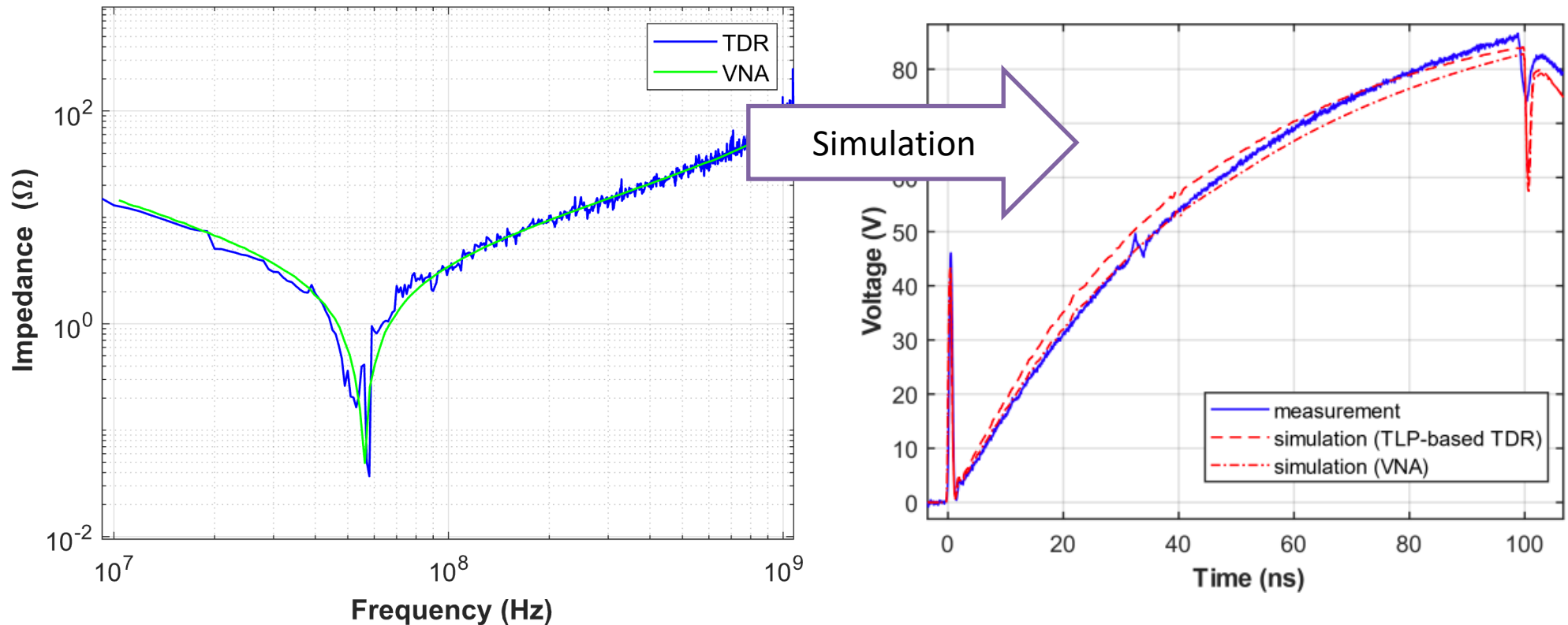
Bonne correspondance avec la mesure VNA

Bémol :

- Estimation des valeurs de résistance hautes et basse moins bonnes
- bruit résiduel en haute fréquence

# Validation expérimentale sur un condensateur

Validation sur une capacité COG de 1nF  
Injection TLP 100V-2A, Tr =100ps Ton : 100ns

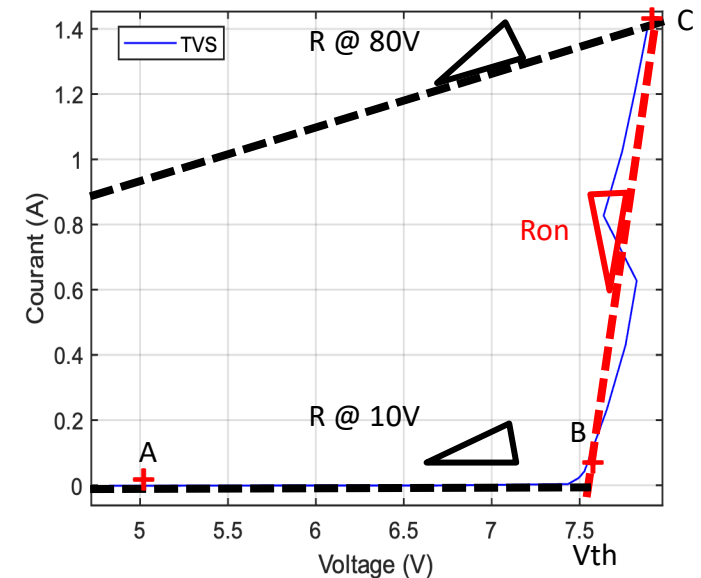
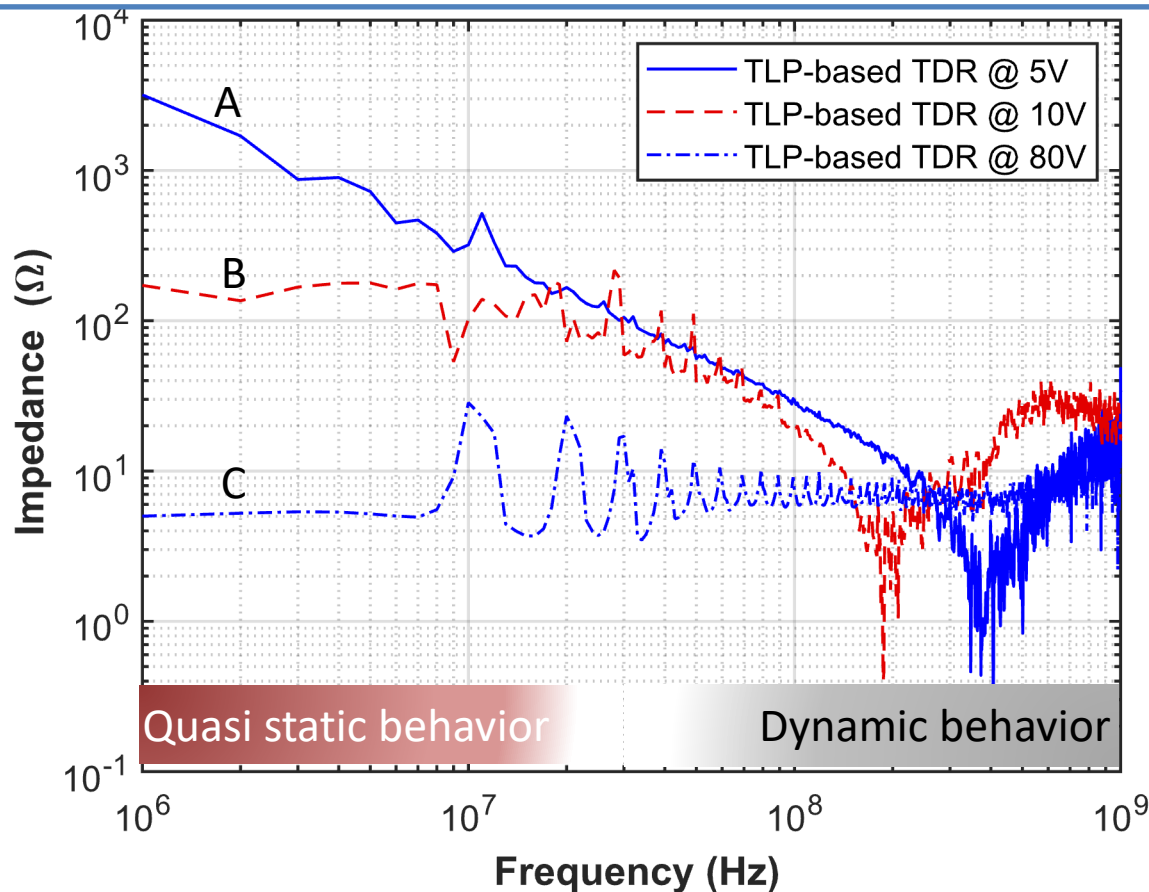


Meilleure corrélation avec la reconstitution TDR par rapport à celle au VNA  
→ le modèle fréquentiel marche donc bien sur un cas linéaire.

# Mesure composant non linéaire

TVS, ( $V_{th} = 7V$ , boîtier CMS 0805)

S parameters pour des injections à 5V (A), 10V (B) and 80V C)



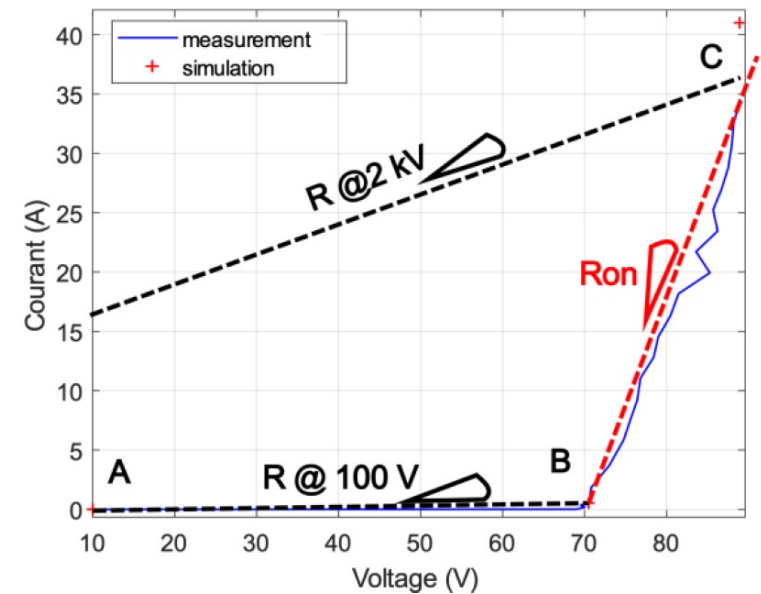
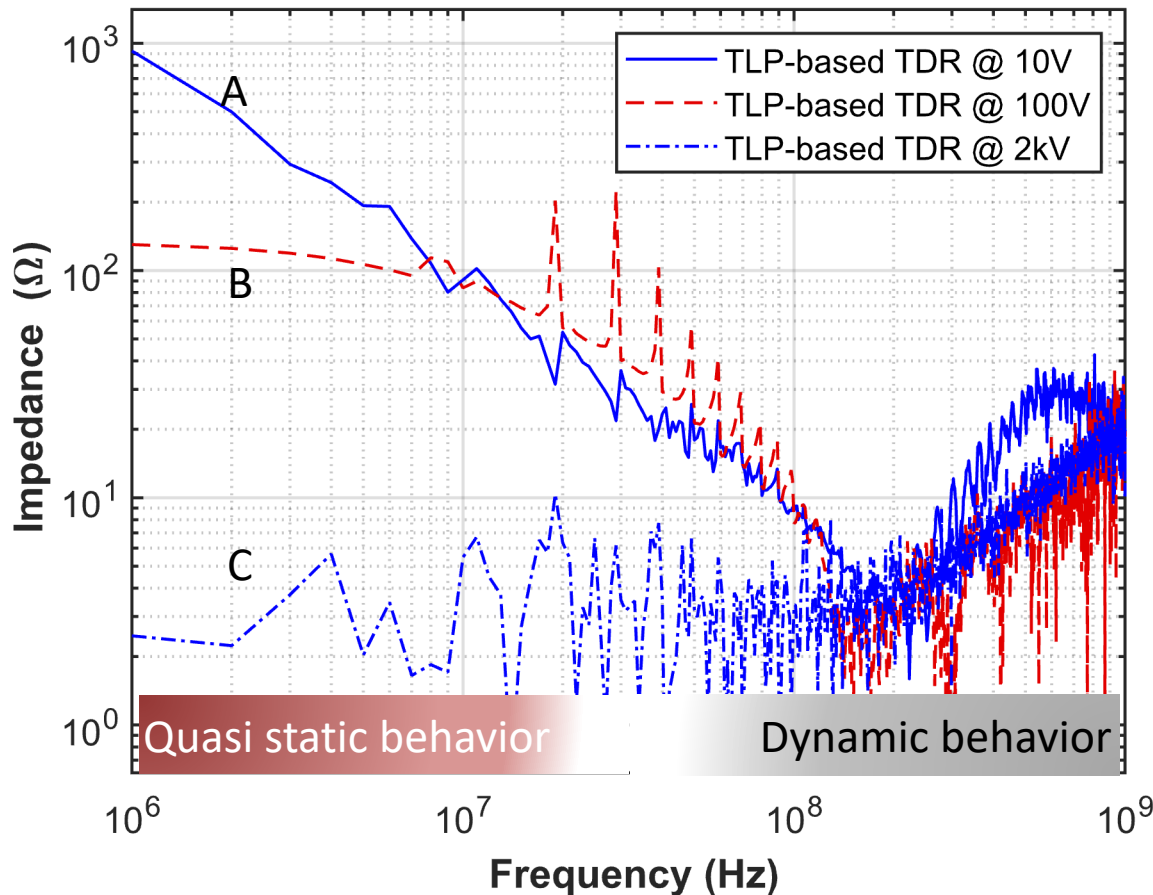
- A : Comportement capacitif ( $C=60pF$ ,  $L=10nH$ )
- B : RC (up to 110MHz) ( $R=150\Omega$ ,  $C=70pF$ )
- C : RL ( $R=5\Omega$ ,  $L=10nH$ )

Les résultats en basse fréquence sont en accord avec les points de fonctionnement

# Mesure composant non linéaire

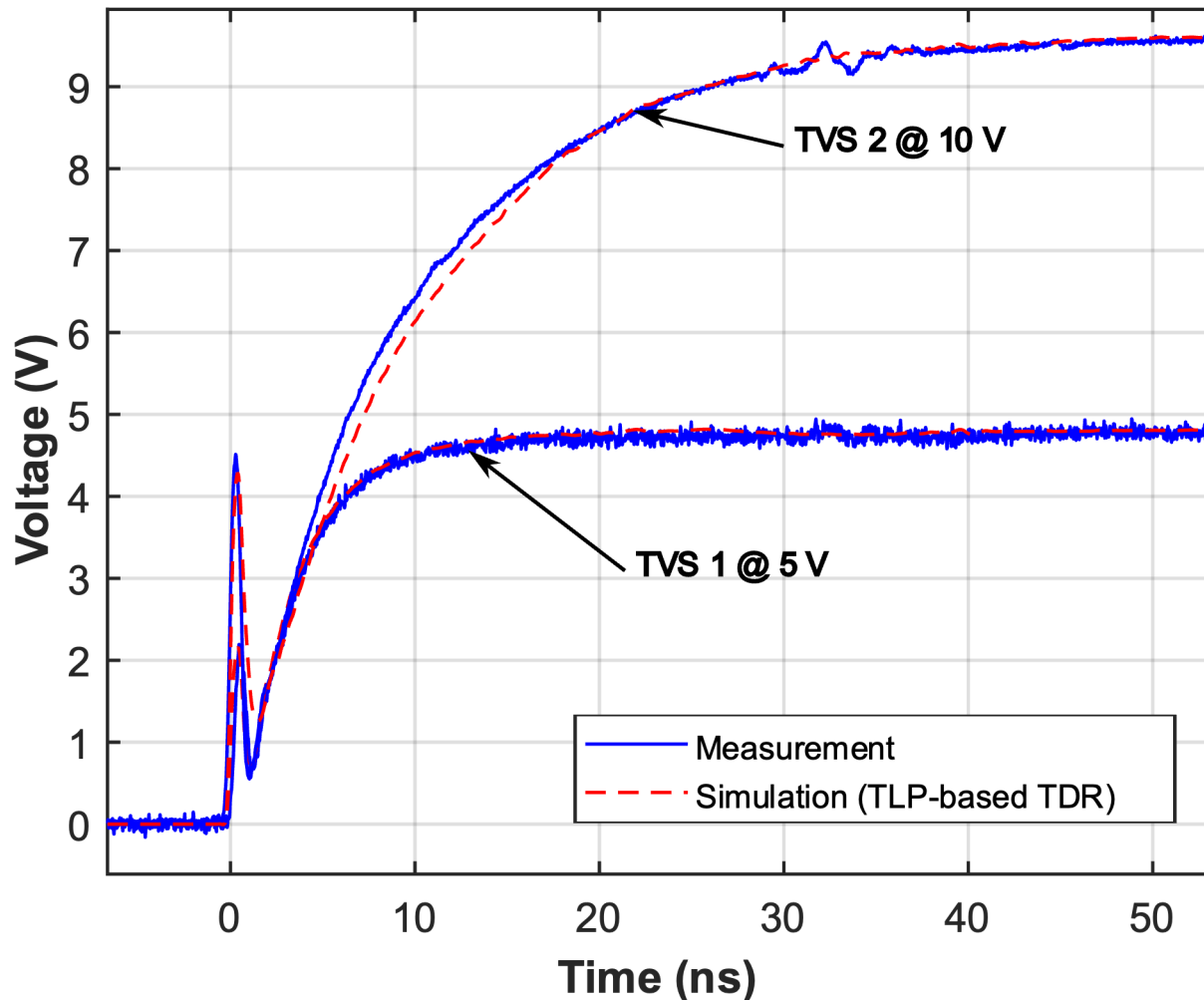
TVS : ( $V_{th}=70V$   $R_{on}=0,5\Omega$ )

S parameters pour des injections à 10V (A), 100V (B) and 2KV (C)



Résultats comparables

## Simulation avant le déclenchement



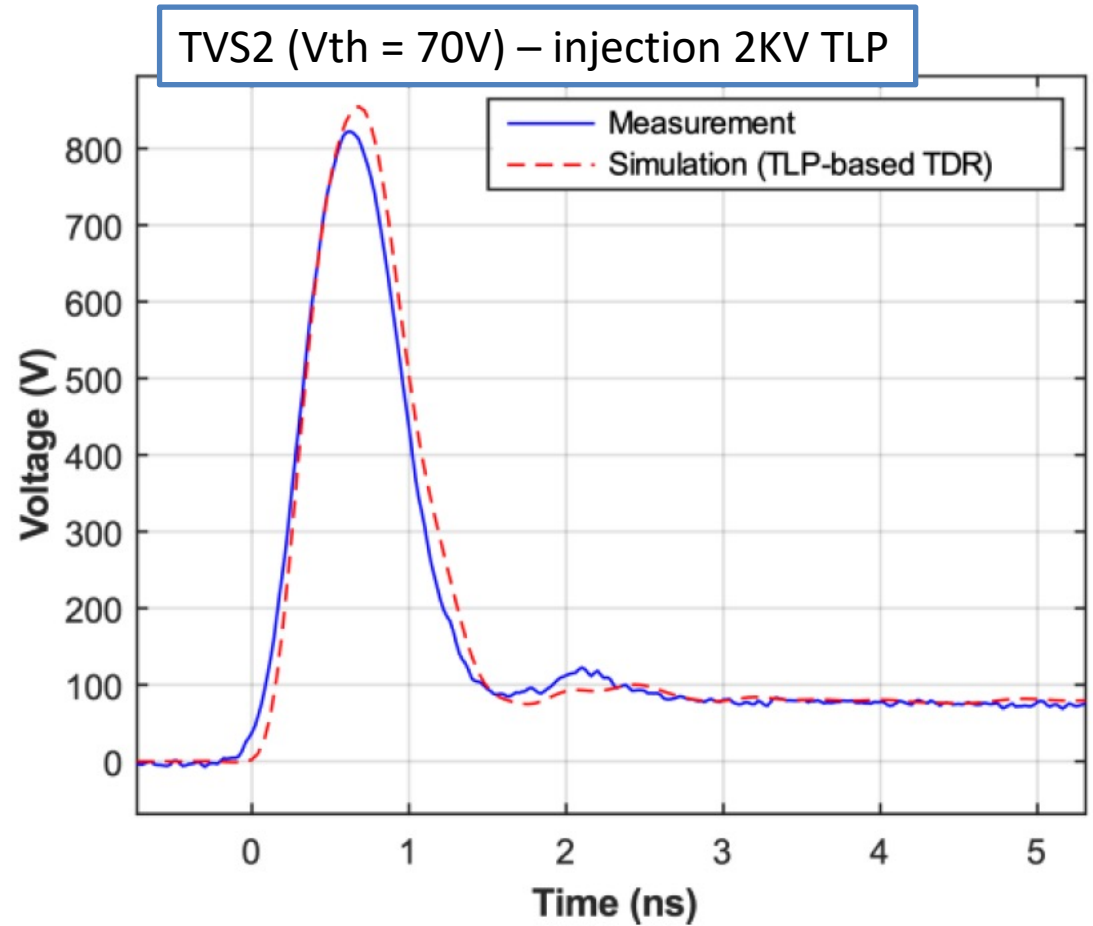
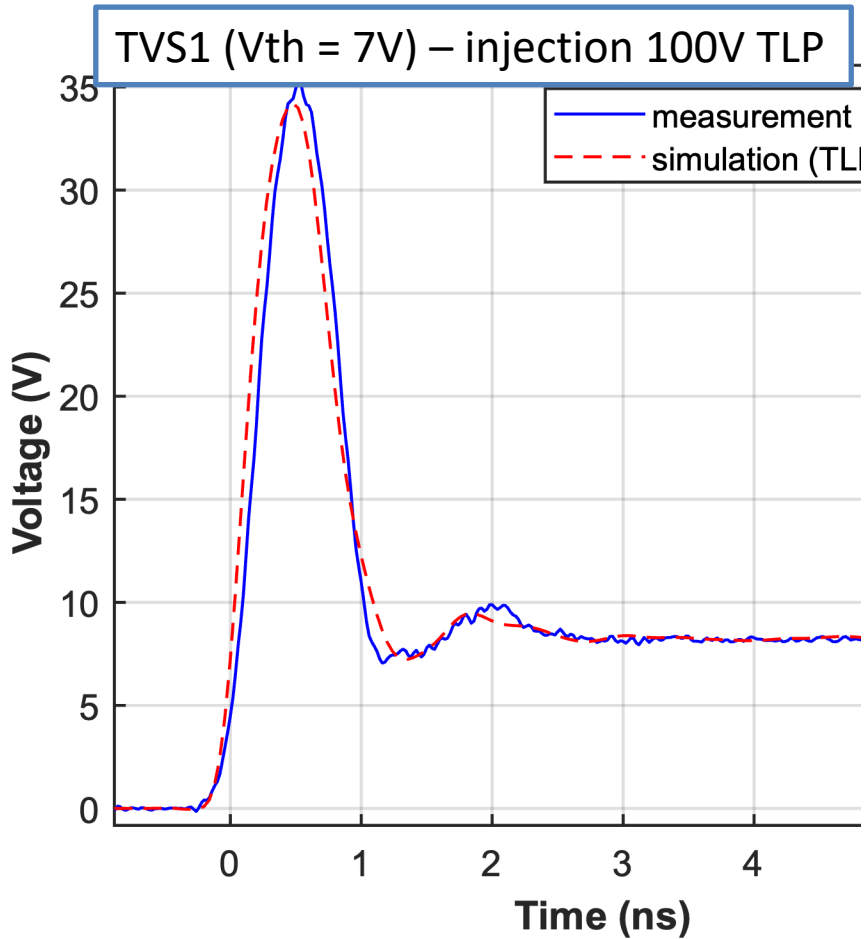
Très bonne corrélation

- transitoire:
- surtension:
- Le niveau Quasi-static

Le comportement de la TVS avant déclenchement ( $<V_{th}$ ) est parfaitement reproduit

# Validation expérimentale

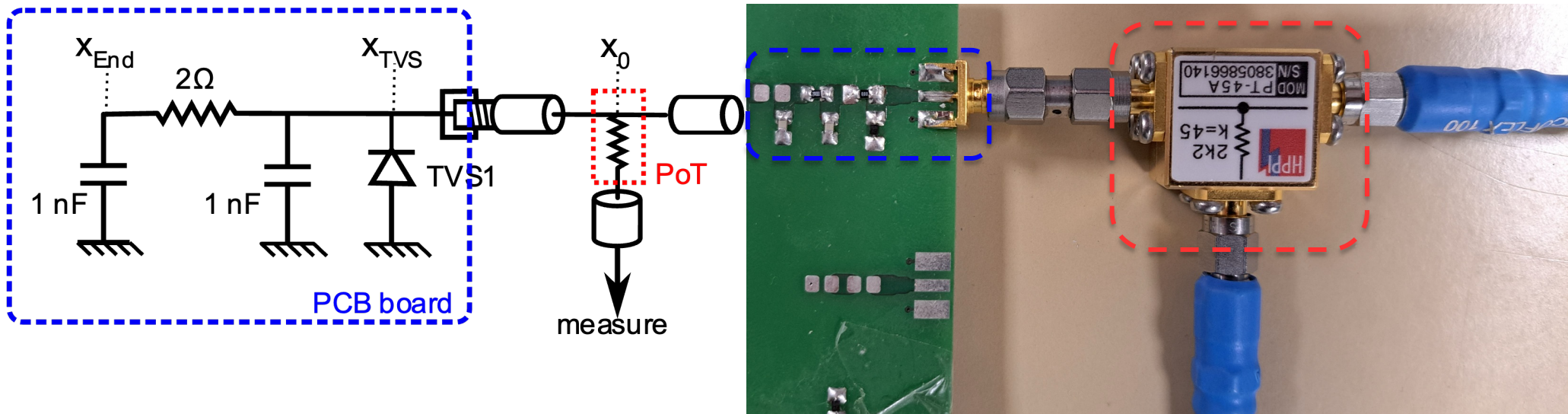
Simulation transitoire de la TVS après le déclenchement



Très bonne corrélation en fonction de la puissance injectée



## La TVS 1 est associée à un réseau CRC

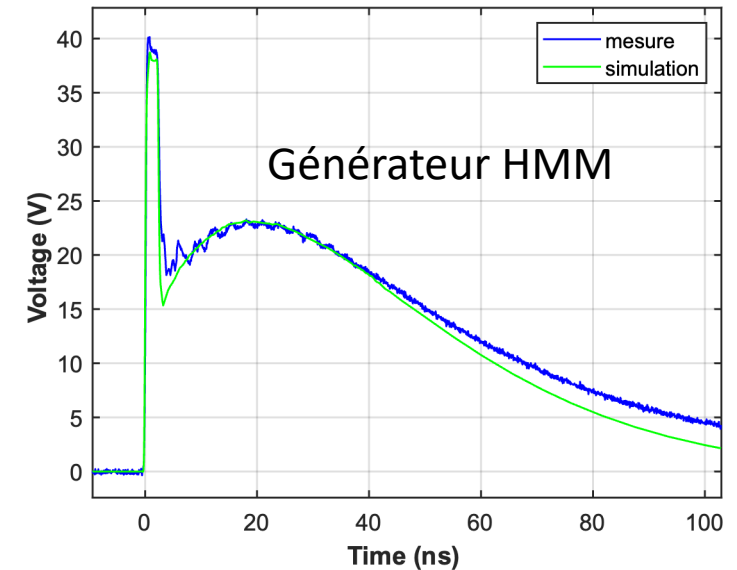
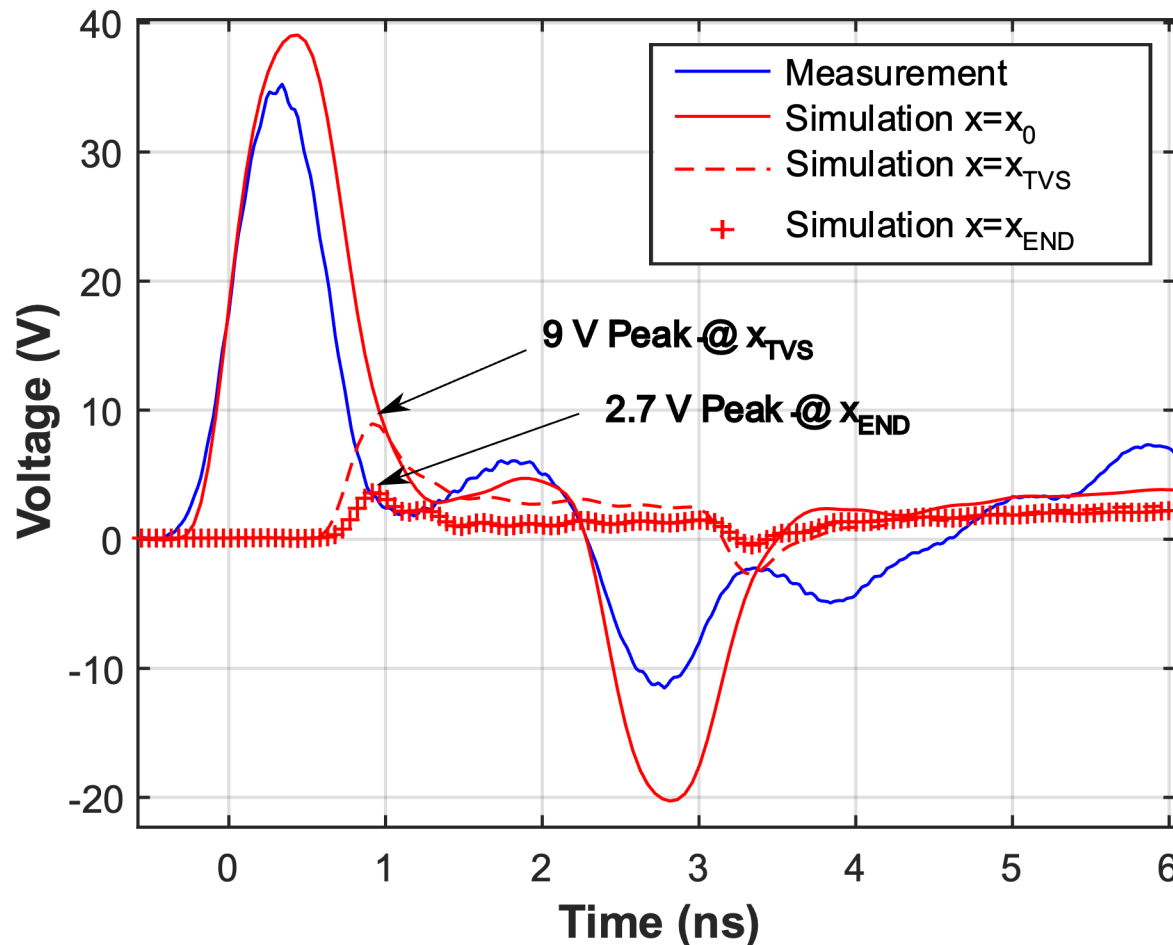


→ TVS1 + CRC device (capacitor COG, resistor  $2\Omega$ )

→ La mesure est faite en externe au niveau du PoT

→ Objectif : valider la simulation de l'association de plusieurs éléments

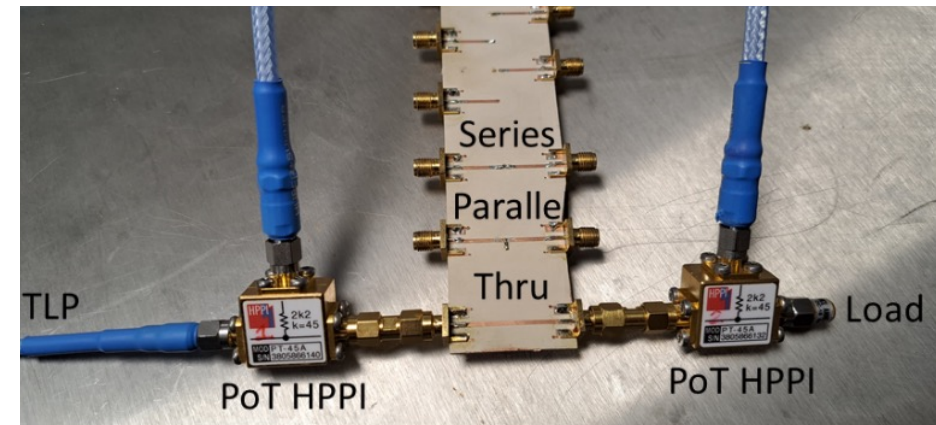
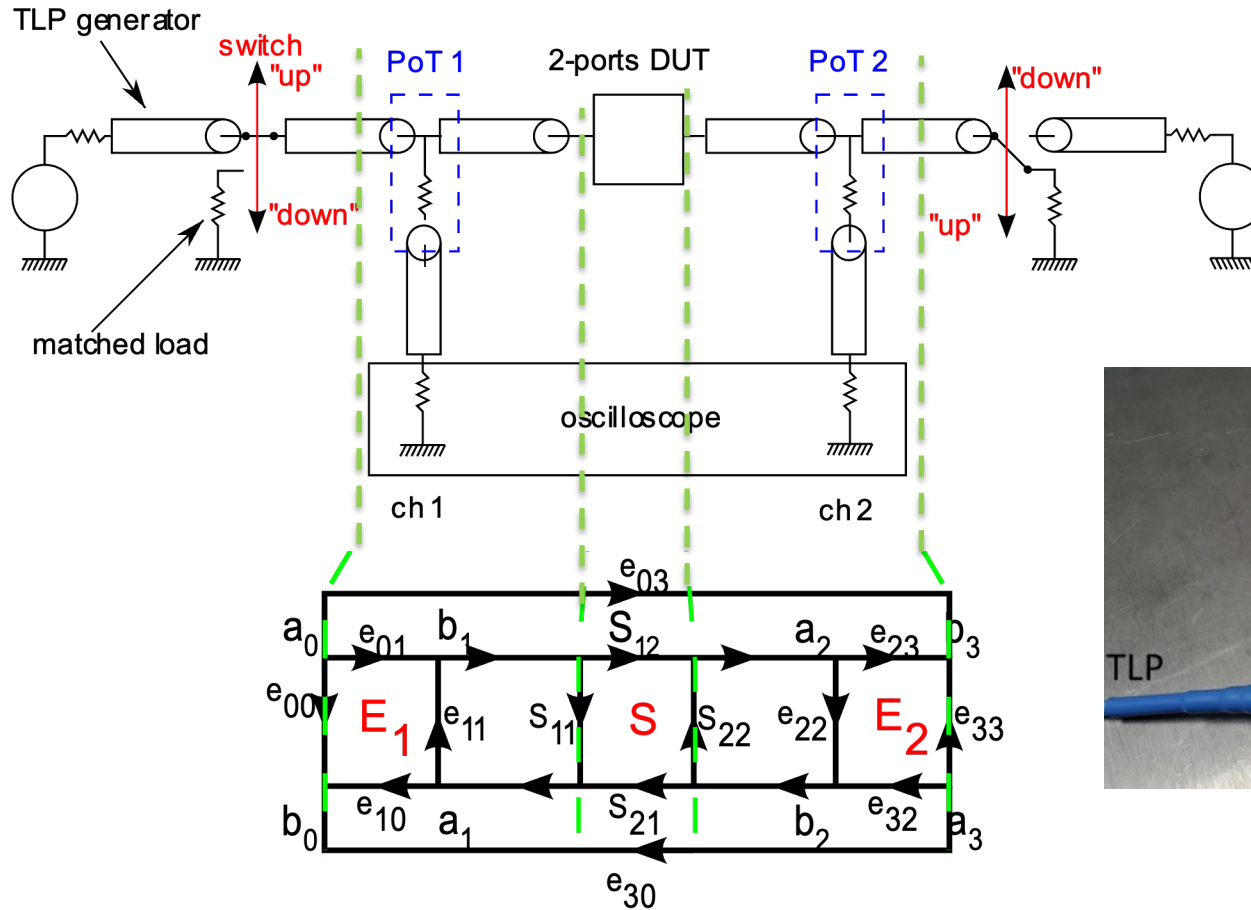
La TVS 1 est associée à un réseau CRC – injection de type HMM



Bonne corrélation au point de mesure

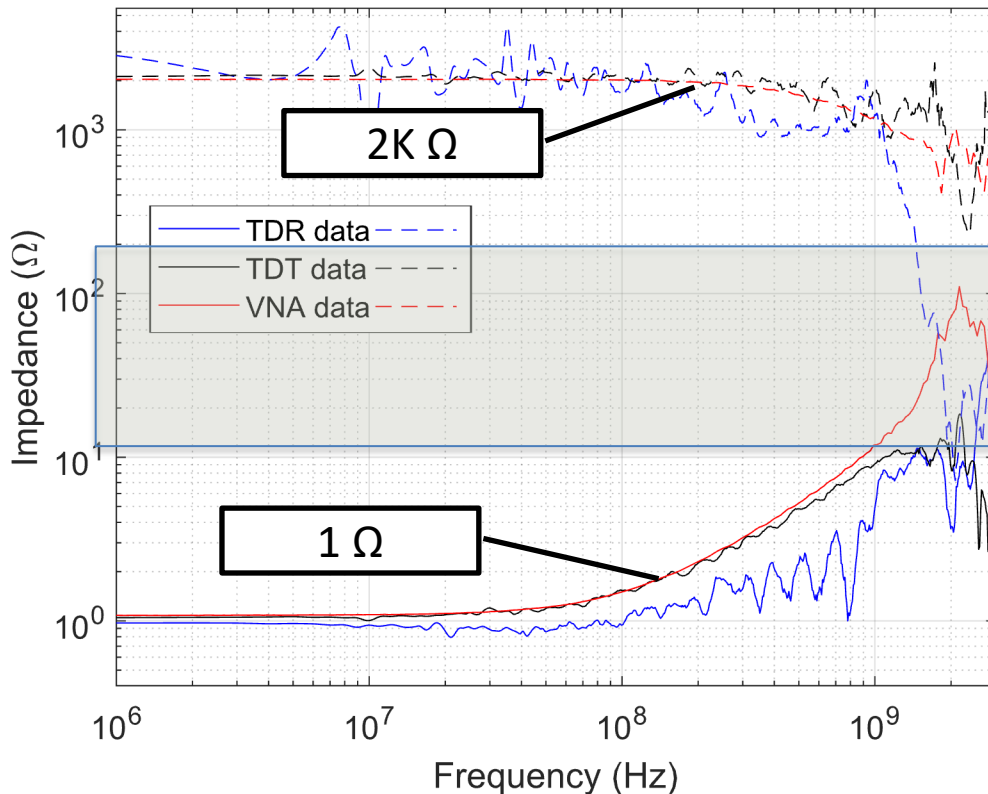
Prédiction des potentiels aux points  $x_{TVS}$  et  $x_{END}$

## Développement du setup TLP-TDT (Time Domain Transmission)

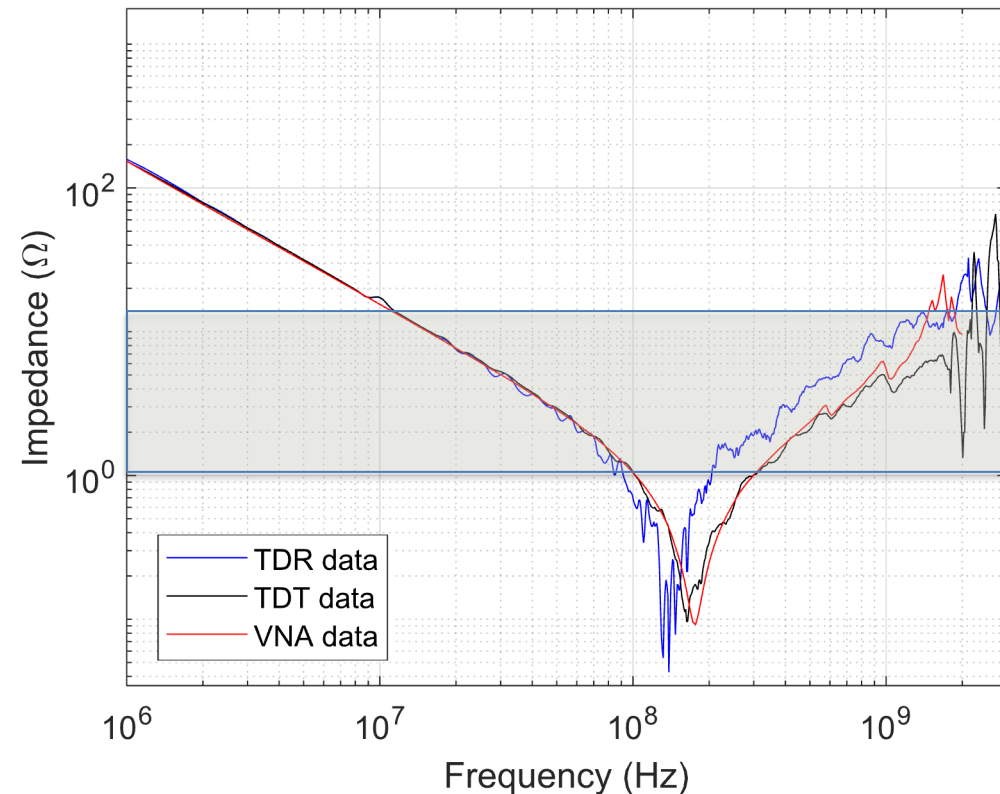


## Mesure d'impédances éloignées de 50 $\Omega$

- Validation sur 2K $\Omega$  and 1  $\Omega$   $\rightarrow$  120V TLP



- Validation sur une capacité  $\rightarrow$  120V TLP

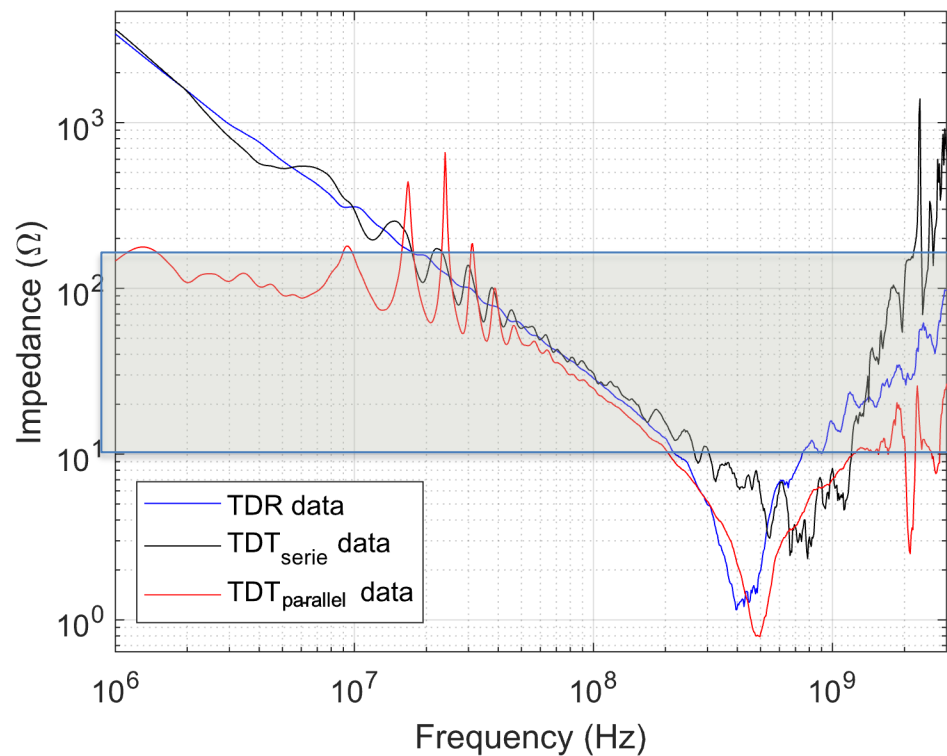


Bonne corrélation avec la mesure VNA; réduction du bruit :  
Les valeurs des résistances sont biens obtenues

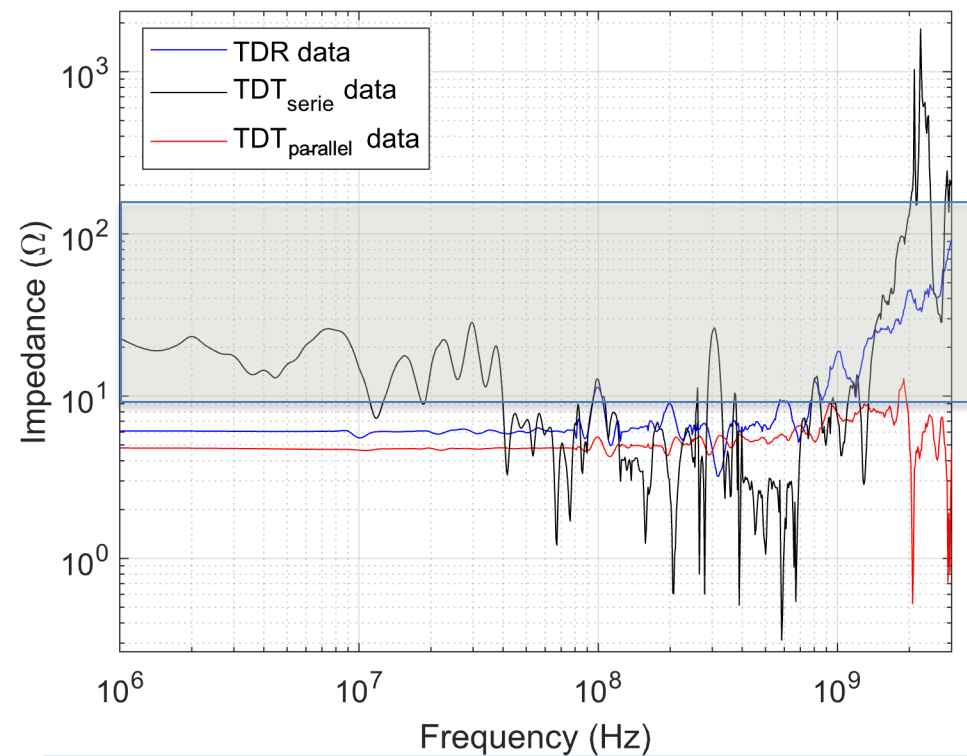
## Mesure d'impédances éloignées de 50 $\Omega$

- Validation sur une TVS  $\rightarrow$

TVS avant déclenchement (5 TLP)

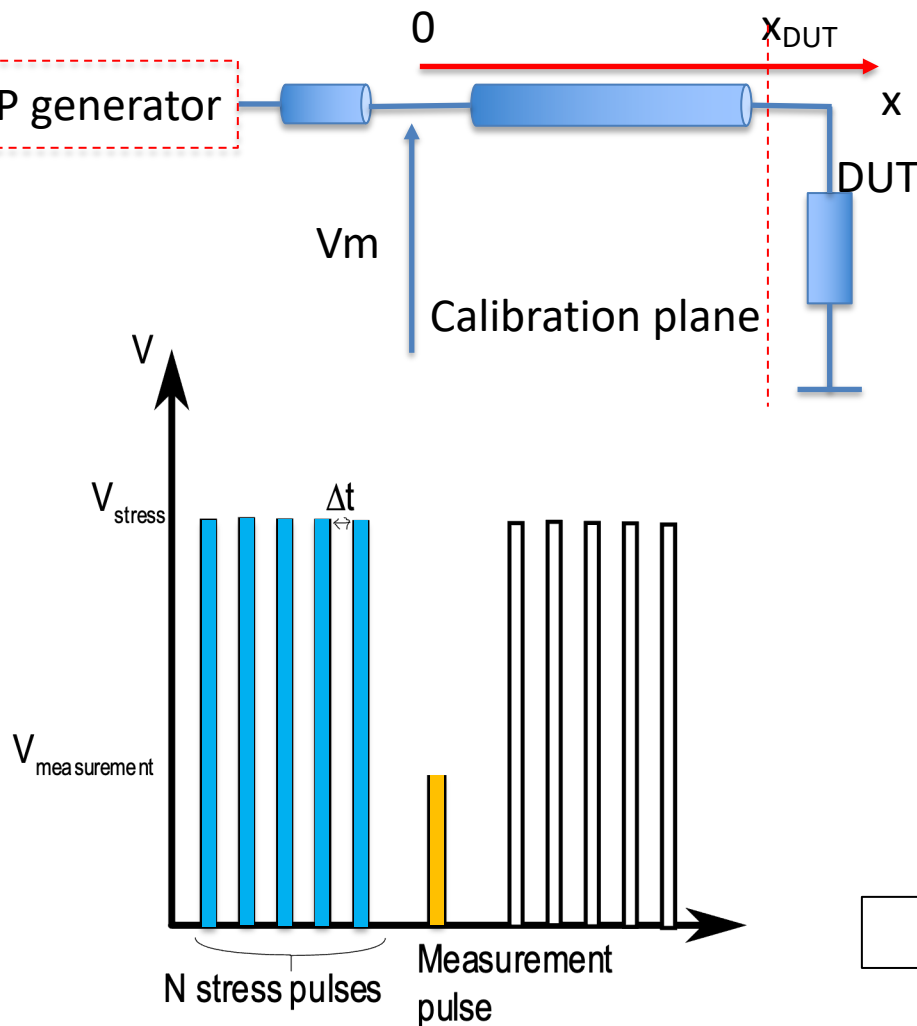


TVS après déclenchement (80V TLP)

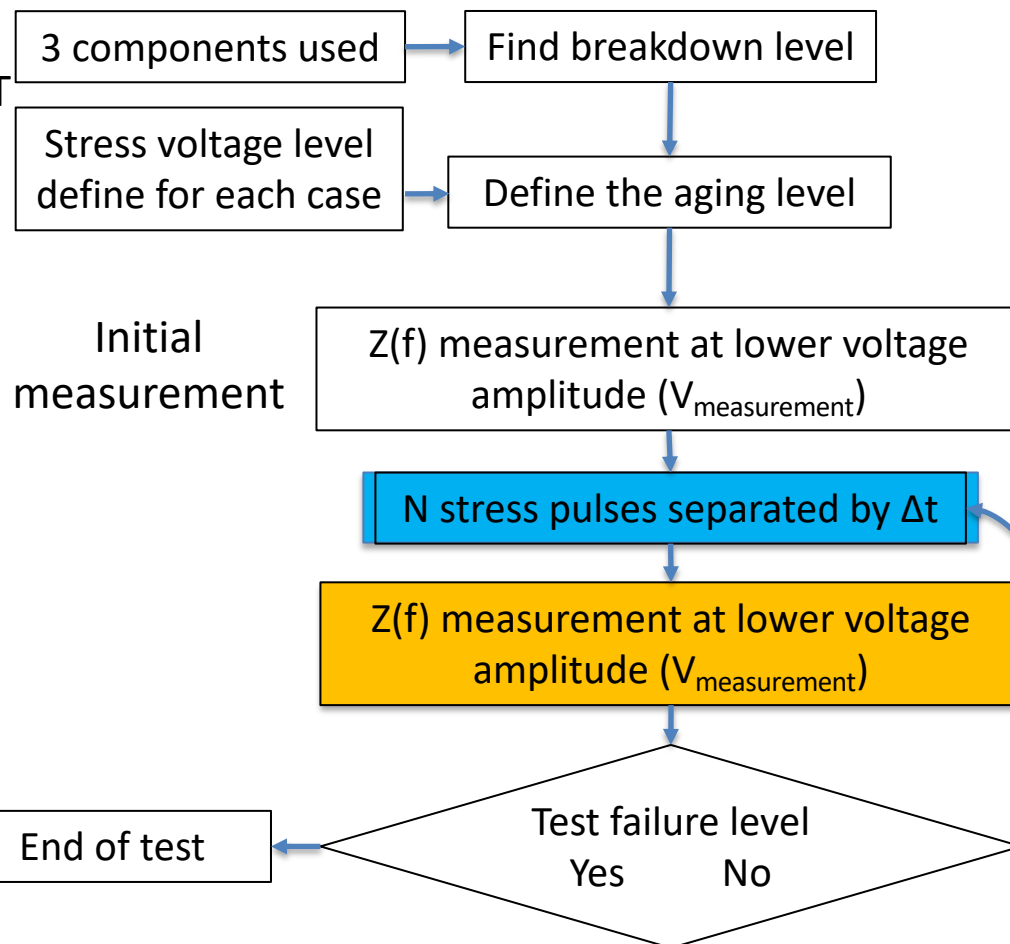


- Contexte - Problématique et enjeux
- Banc TLP pour l'extraction de modèles  
fréquentiels
- Résultats & Validations expérimentales
- **Extension pour l'analyse du vieillissement des  
composants**
- Conclusion

## Protocol d'accélération du vieillissement

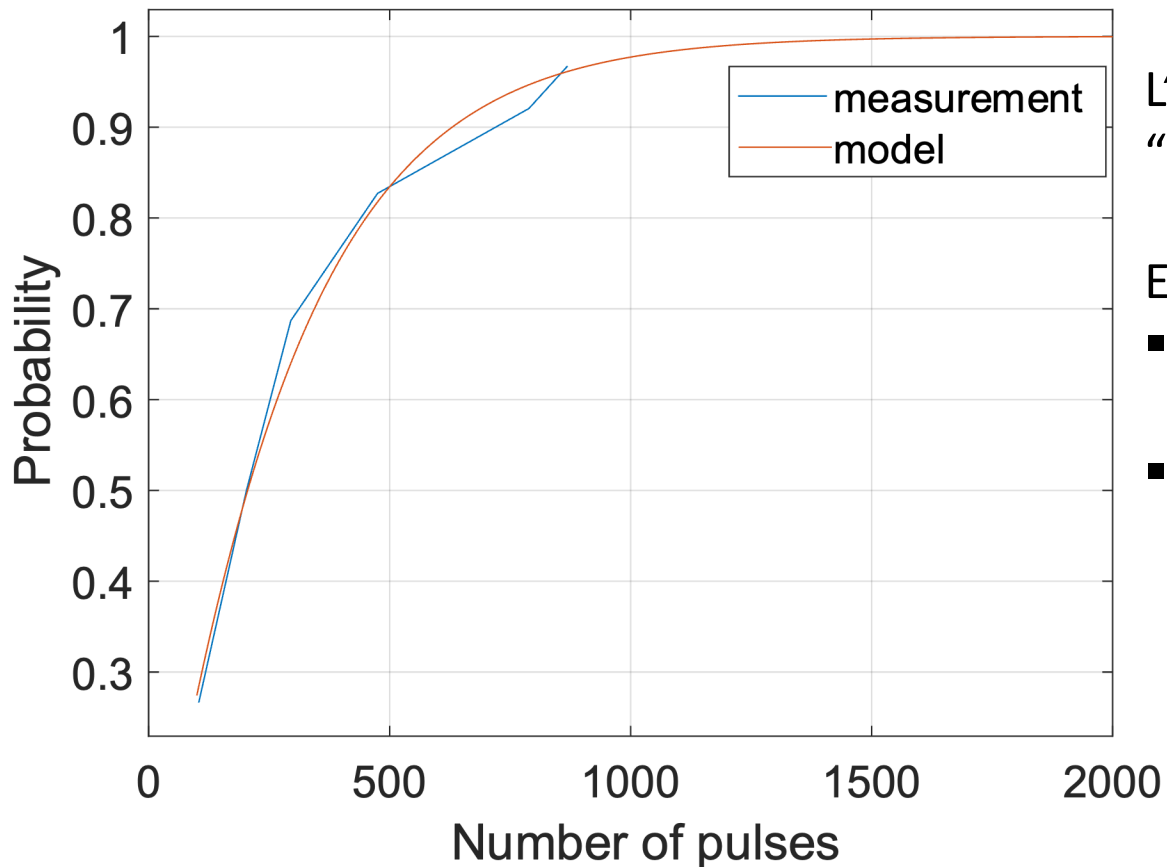


## Méthode :



## Analyses statistiques

Probabilité de défaillance vs nombre de pulses (400V TLP injection)



L'analyse statistique permet d'obtenir le "service life" de composants passifs

Exemple : Résistance 50Ω

- 50% destruction probability → 200 pulses
- 99% destruction probability → 1000 pulses



Génération de modèles fréquentiels pour la prédiction des défaillances



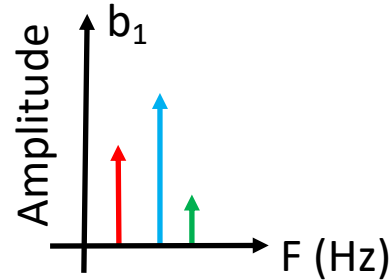
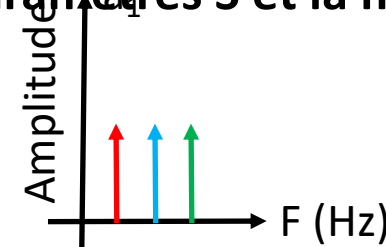
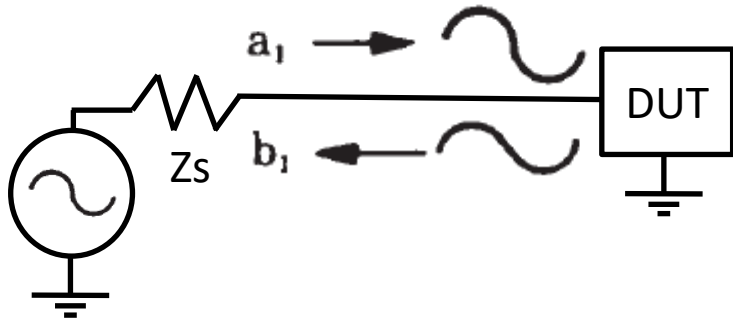
- Contexte - Problématique et enjeux
- Banc TLP pour l'extraction de modèles  
fréquentiels
- Résultats & Validations expérimentales
- Extension pour l'analyse du vieillissement des  
composants
- **Conclusion**

- Problématique de modélisation des composants soumis à de très fortes impulsions
- Besoin de développer une nouvelle méthode de caractérisation pour accéder :
  - Aux non linéarités des composants
  - Aux dynamiques liées aux déclenchements des éléments de protections
- Une méthode TDR combinée à un générateur TLP a été développée : modèles fréquentiels
- Extension de la technique vers du TDT → meilleures performances & possibilité d'avoir des modèles 2 ports.
  
- La méthode a été validée (Analyse et simulation d'un réseau de protections)
  
- Analyse du vieillissement de composants passifs soumis à des stress impulsionnels (résistances, capa, inductances)

# Modèles utilisation de modèles fréquentiels

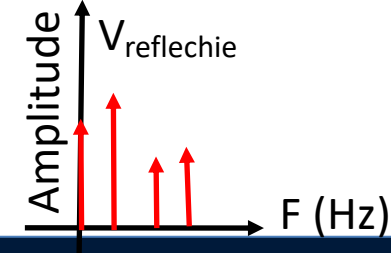
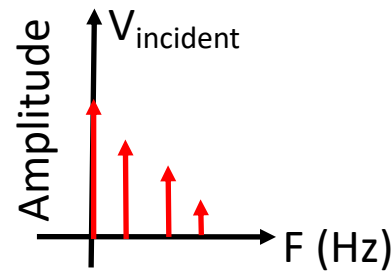
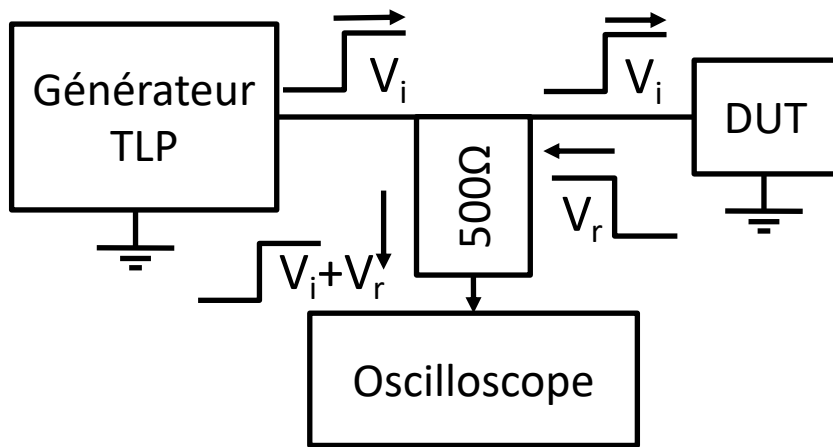
## Analogie entre la mesure de paramètres S et la mesure TLP-TDR

### Mesure de paramètres S



$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{V_{réfléchie}(f)}{V_{incident}(f)}$$

### Mesure TLP-TDR



Valable si le DUT est un composant « linéaire »

$$\Gamma = \frac{V_{réflechie}(t)}{V_{incident}(t)}$$