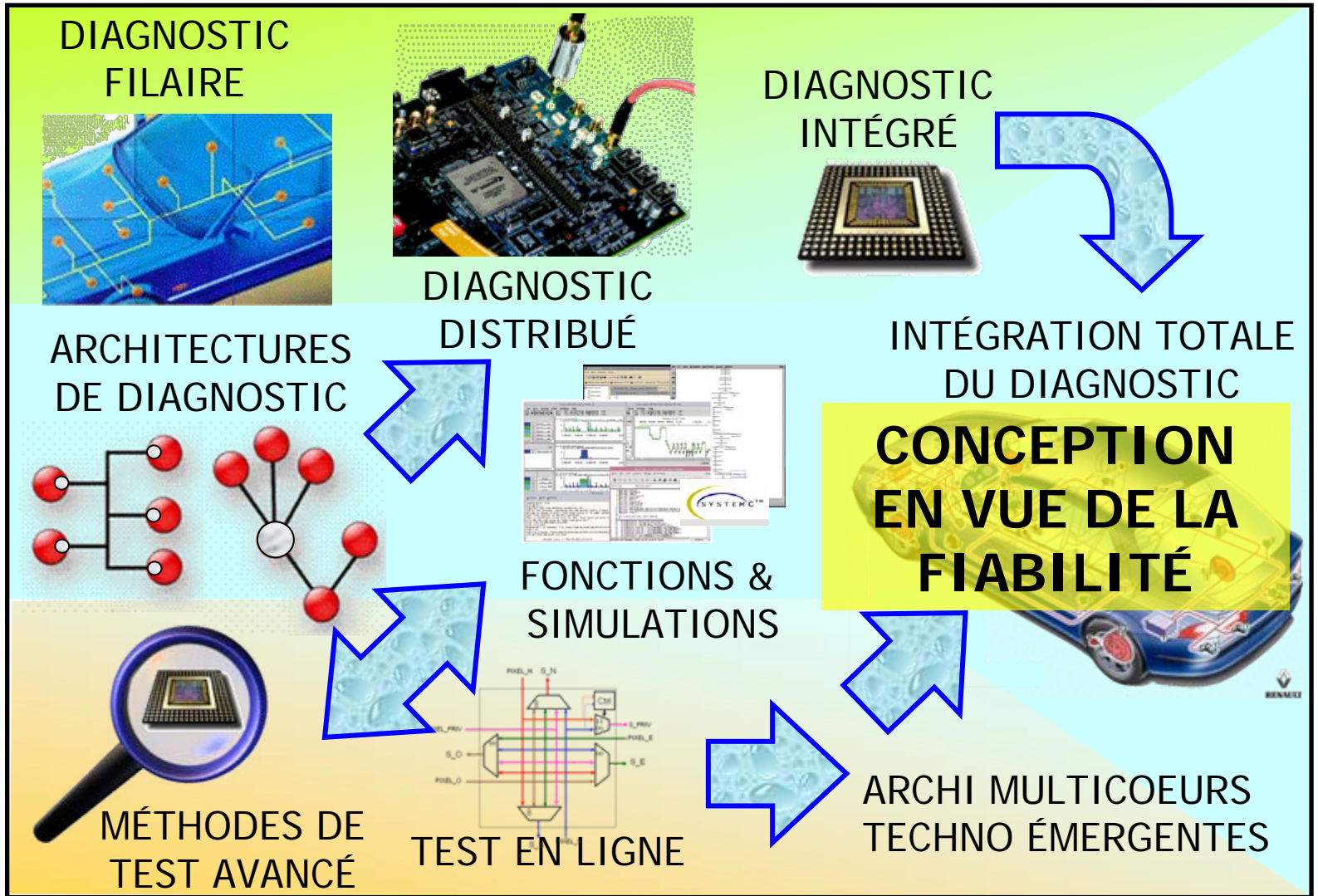
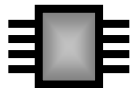
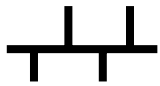




# Diagnostic de réseaux filaire complexes

Fabrice Auzanneau - Marc OLIVAS

# Roadmap des activités de fiabilisation



2006

2008

2010

2012



# RÉSEAUX FILAIRES DANS LES TRANSPORTS

cea

list



4 km – Voitures modernes

1950 : Peugeot 203 – 125m



40 km – Chasseur



400 km – Avion de transport



**LE FAISCEAU ÉLECTRIQUE EST CONSIDÉRÉ  
COMME UN ÉLÉMENT CRITIQUE DE SÛRETÉ**

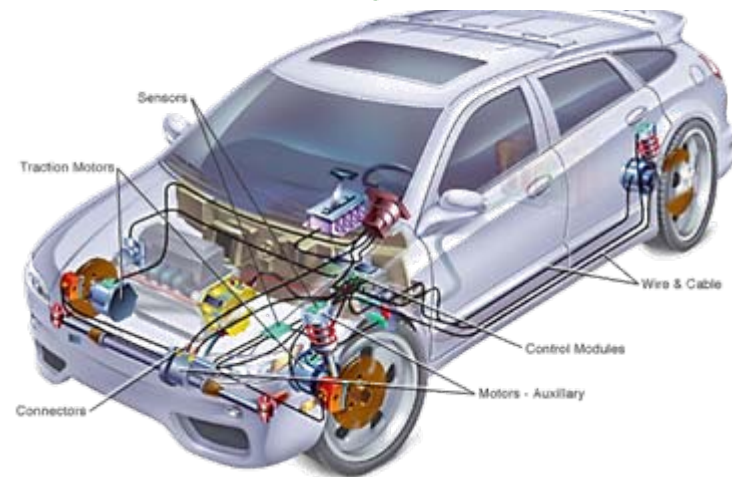


# FORTS ENJEUX



- La fiabilité des systèmes embarqués est un enjeu essentiel pour les constructeurs automobiles (image de marque)
- La complexité de l'électronique automobile a explosé
  - ✓ Plus de 80 calculateurs dans une voiture moderne, plusieurs réseaux de communication
- La technologie évolue vers encore plus d'électronique
  - ✓ Arrivée du « X by wire » : remplacement de certaines fonctions mécaniques ou hydrauliques (direction, freinage, suspension, injection...) par des systèmes électroniques programmés

*La puissance de calcul embarquée dans une 607 est 100 fois supérieure à celle d'un Airbus A300 (1975)*



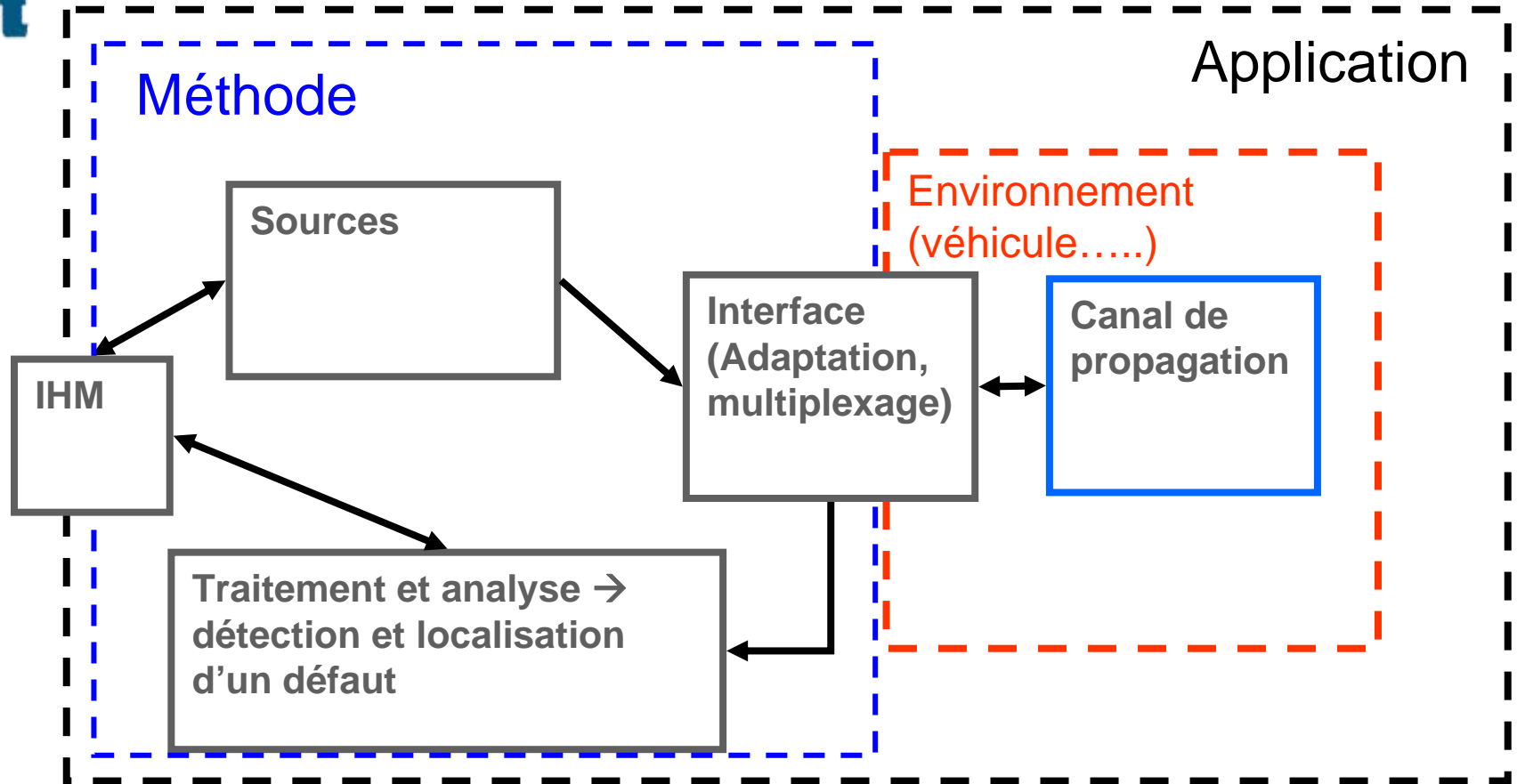
**LE RÉSEAU DEVIENDRA LE LIEN UNIQUE ENTRE LE CONDUCTEUR, SES ACTIONS ET LE VÉHICULE, NOTAMMENT POUR DES FONCTIONS CRITIQUES DE SÉCURITÉ**



# Le Diagnostic filaire



Schéma de la chaine diagnostic filaire





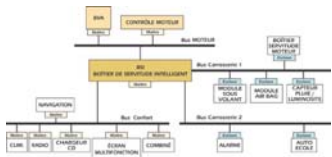
# DIAGNOSTIC DE RÉSEAUX FILAIRES



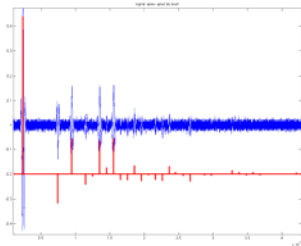
DIAGNOSTIC EXTERNE



TOPOLOGIE RÉSEAU COMPLEXE



TRAITEMENT DU SIGNAL COMPLEXE

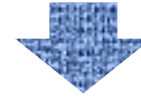


PUISSANCE DE CALCUL REQUISE

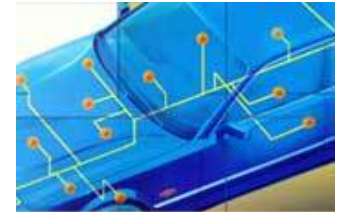
APPLICATION PC OU TABLET PC



DIAGNOSTIC EMBARQUÉ



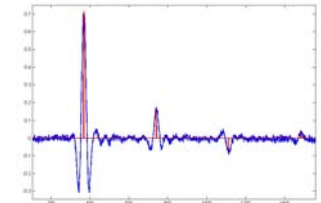
ARCHITECTURE DE DIAGNOSTIC DISTRIBUÉ



ANALYSE DE SOUS RÉSEAUX PLUS SIMPLES

SIMPLIFICATION ENCORE POSSIBLE PAR AJOUT DE STRUCTURES PASSIVES

TRAITEMENT DU SIGNAL SIMPLIFIÉ



PUISSANCE DE CALCUL INFÉRIEURE



ALTERA FPGA  
1400 portes  
32.5 kb – 67 I/O pins  
(Sur ARM : 50 ko)



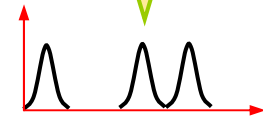
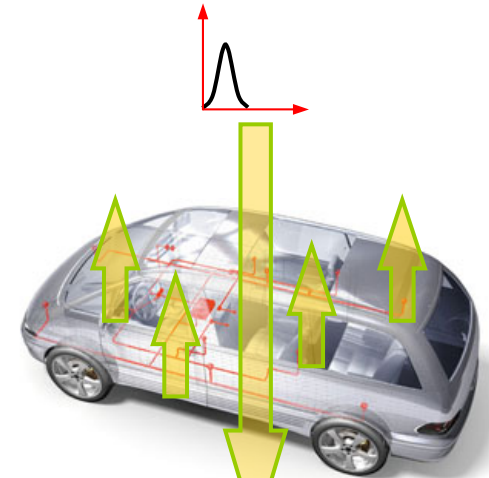
DIAGNO CHIP



# RÉFLECTOMÉTRIE

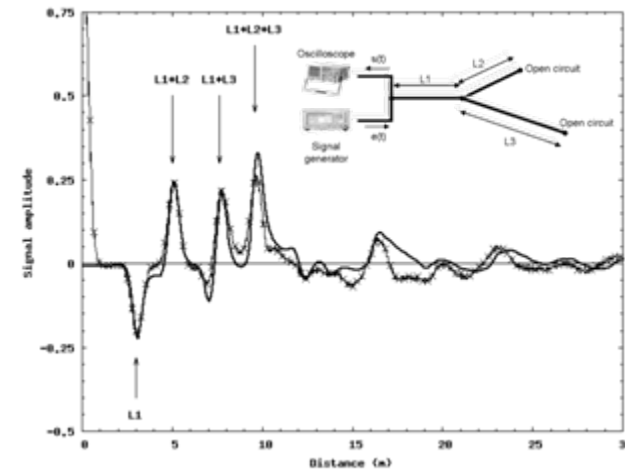


1. Injection d'un signal RF dans le réseau
2. Pendant la propagation, une partie de l'énergie est réfléchi par les discontinuités électriques (jonctions, défauts)
3. L'analyse du signal réfléchi fournit des informations sur l'état du réseau



## DÉTECTION – LOCALISATION – CARACTÉRISATION DE DÉFAUTS

- Bonne précision de localisation (qq % de la longueur des câbles)
- Détection de défauts multiples
- Se prête bien à la modélisation
- Complexité des systèmes et du traitement du signal



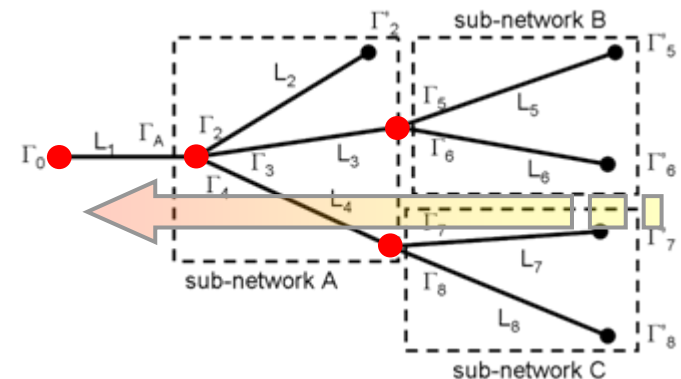
# MODÉLISATION



- **Modèle simple, très évolutif**
- **Basé sur la théorie de la propagation RF**
- **Fournit des formules explicites pour les signaux de réflectométrie fréquentielle**
- **Passage en temporel par TFI**

## ➤ Principe :

- ✓ **Connaissant la topologie d'un réseau ramifié, remonter des terminaisons du réseau vers le point d'injection pour calculer un coefficient de réflexion équivalent au réseau en son ensemble.**





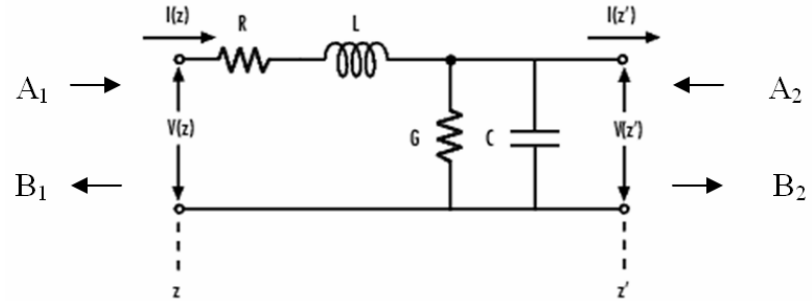
# MODÈLE FILAIRE



## ➤ Modèle de propagation RLCG

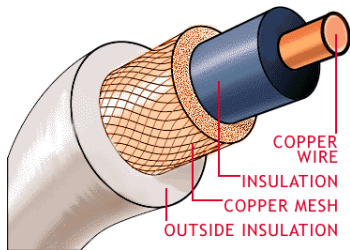
$$\gamma(\omega) = \sqrt{(R + jL\omega) \cdot (G + jC\omega)}$$

$$Z_c(\omega) = \sqrt{(R + jL\omega) / (G + jC\omega)}$$

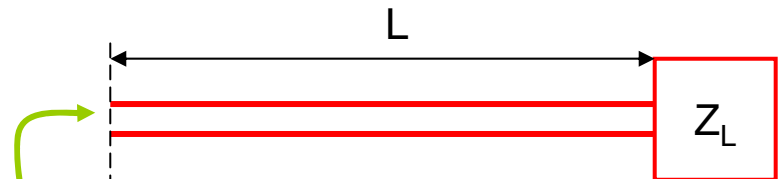


$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & e^{-\gamma D} \\ e^{-\gamma D} & 0 \end{bmatrix}$$

Câble coaxial :



$$\left\{ \begin{array}{l} R(f) = \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\pi\sigma}}}{d \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \sqrt{f} \\ L = \frac{\mu_0}{\pi} \ln\left(\frac{2D}{d}\right) \\ C = \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)} \\ G(f) = \frac{2\pi^2\epsilon \tan \delta}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)} f \end{array} \right.$$



$$\Gamma_0 = e^{-2\gamma L} \Gamma_L \quad \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$



# COEFFICIENT DE RÉFLEXION ÉQUIVALENT

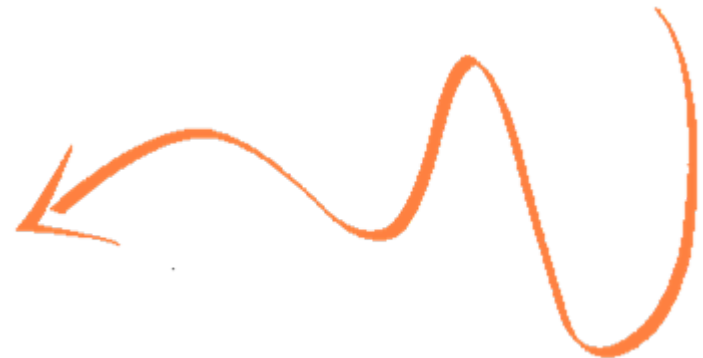
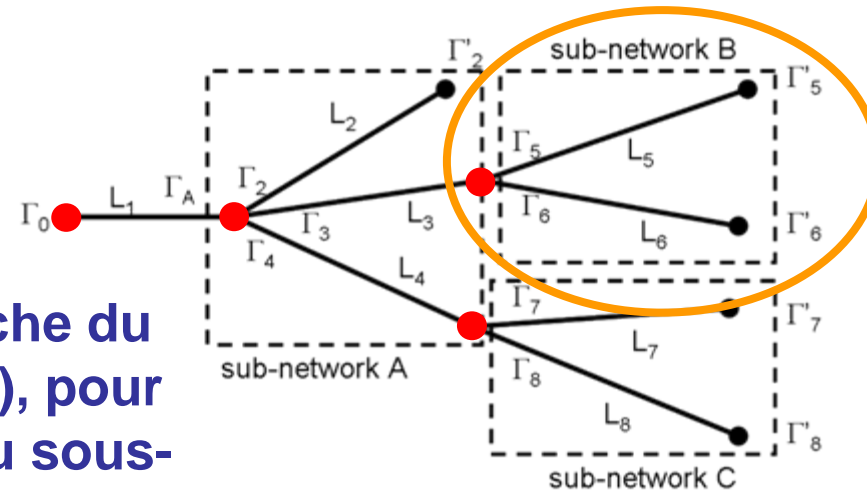


## ➤ Découpage du réseau en sous-réseaux organisés autour d'une discontinuité

- ✓ Jonction
- ✓ Raccord

## ➤ Remontée de proche en proche du coefficient de réflexion (CdR), pour obtenir un CdR équivalent au sous-réseau

- ✓  $\Gamma'_5 \rightarrow \Gamma_5$
- ✓  $\Gamma'_6 \rightarrow \Gamma_6$
- ✓  $\Gamma_5, \Gamma_6 + \text{jonction} \rightarrow \Gamma'_3$



# MODÈLE DE JONCTIONS



➤ Jonction de n lignes : calcul du CdR équivalent  $\Gamma_1$

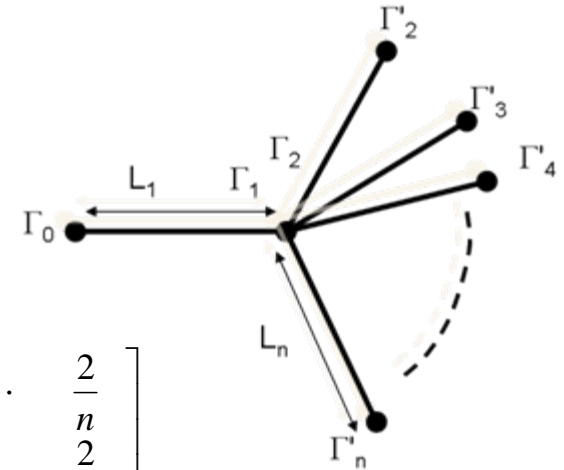
➤ Matrice [S] : relie les ondes entrantes aux ondes sortantes

✓  $[b] = [S] \cdot [a]$

$$S_{ii} = \frac{\frac{Z_c}{n-1} - Z_c}{\frac{Z_c}{n-1} + Z_c} = \frac{2-n}{n}$$

$$S_{ij} = \sqrt{\frac{1 - S_{ii}^2}{n-1}} = \frac{2}{n}$$

$$S = \begin{bmatrix} \frac{2-n}{n} & \frac{2}{n} & \dots & \frac{2}{n} \\ \frac{2}{n} & \frac{2-n}{n} & \dots & \frac{2}{n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{2}{n} & \frac{2}{n} & \dots & \frac{2-n}{n} \end{bmatrix}$$



$$n[b] = 2[1]_n \cdot [a] - n[a] \quad \Rightarrow \quad nB_1 = (2-n)A_1 + 2K \sum_{i=2}^n \frac{\Gamma_i}{1+\Gamma_i} \quad \text{avec} \quad K = \frac{2A_1}{n-2 \sum_{i=2}^n \frac{\Gamma_i}{1+\Gamma_i}}$$

Ce qui donne :

$$\Gamma_1 = \frac{B_1}{A_1} = \frac{2-n}{n} + \frac{4}{n} \frac{\sum_{i=2}^n \frac{\Gamma_i}{1+\Gamma_i}}{n-2 \sum_{i=2}^n \frac{\Gamma_i}{1+\Gamma_i}}$$



# TEMPOREL « IMPLICITE »



- On peut avoir une vision des phénomènes en temporel par observation du CdR en fréquentiel

✓ Linéarisation de la fraction

$$\Gamma_1 = \frac{2-n}{n} + \frac{4}{n^2} \frac{\sum_{1<i} \Gamma_i + 2 \sum_{1<i<j} \Gamma_i \Gamma_j + 3 \sum_{1<i<j<k} \Gamma_i \Gamma_j \Gamma_k + \dots}{1 + \sum_{1<i} \Gamma_i + \sum_{1<i<j} \Gamma_i \Gamma_j + \sum_{1<i<j<k} \Gamma_i \Gamma_j \Gamma_k + \dots} - \frac{2}{n} \sum_{1<i} \Gamma_i - \frac{4}{n} \sum_{1<i<j} \Gamma_i \Gamma_j - \frac{6}{n} \sum_{1<i<j<k} \Gamma_i \Gamma_j \Gamma_k \dots$$

$$\Gamma_1 = \frac{2-n}{n} + \frac{4}{n^2} \sum_{i=2}^n \Gamma_i - \frac{4 \cdot (n-2)}{n^3} \sum_{i=2}^n \Gamma_i^2 + \frac{16}{n^3} \sum_{1<i<j} \Gamma_i \Gamma_j + A \sum_{i=2}^n \Gamma_i^3 + B \sum_{1<i \neq j} \Gamma_i \Gamma_j^2 + C \sum_{1<i<j<k} \Gamma_i \Gamma_j \Gamma_k \dots$$

Réflexion  
au  
raccord

Réflexions  
en bout  
de lignes

Trajets  
A/R dans  
les lignes

Interactions  
entre les  
lignes

Trajets  
A/R – A/R  
dans les  
lignes

Interactions  
multiples  
entre les  
lignes



# MODÈLE DE RACCORDS

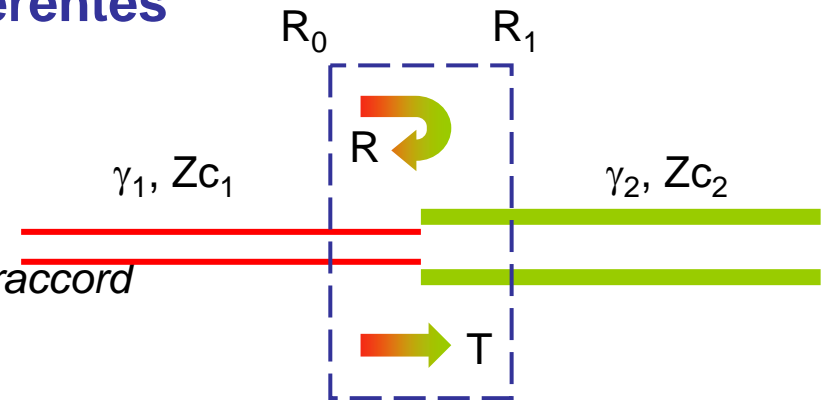


## ➤ Raccord de deux lignes différentes

$R_0$  : CdR équivalent recherché

$R_1$  : CdR équivalent au réseau en aval du raccord

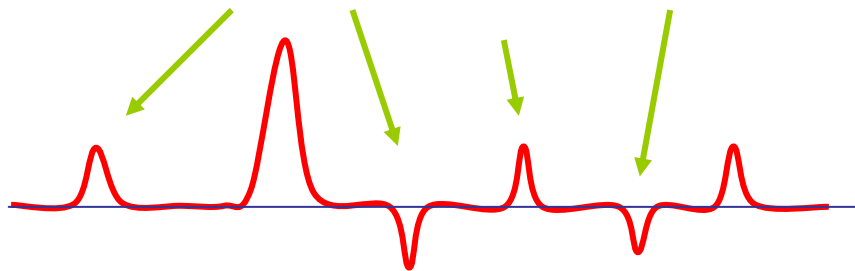
$$R_0 = \frac{R_1 T^2}{1 + R R_1}$$



## ➤ Linéarisation pour vision en temporel :

$$R_0 = R_1 T^2 (1 - R R_1 + [R R_1]^2 - [R R_1]^3 + \dots)$$

$$\frac{1}{1 + u} = 1 - u + u^2 - u^3 \dots$$



Raccord

Fin de  
ligne

Trajets multiples



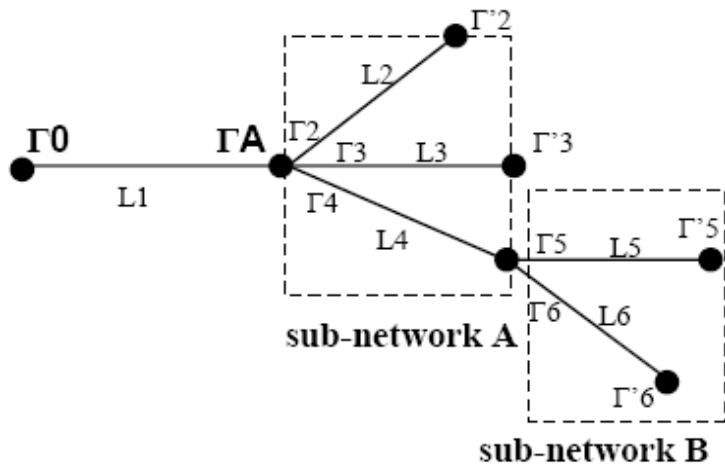


# COMPARAISONS SIMULATIONS / MESURES

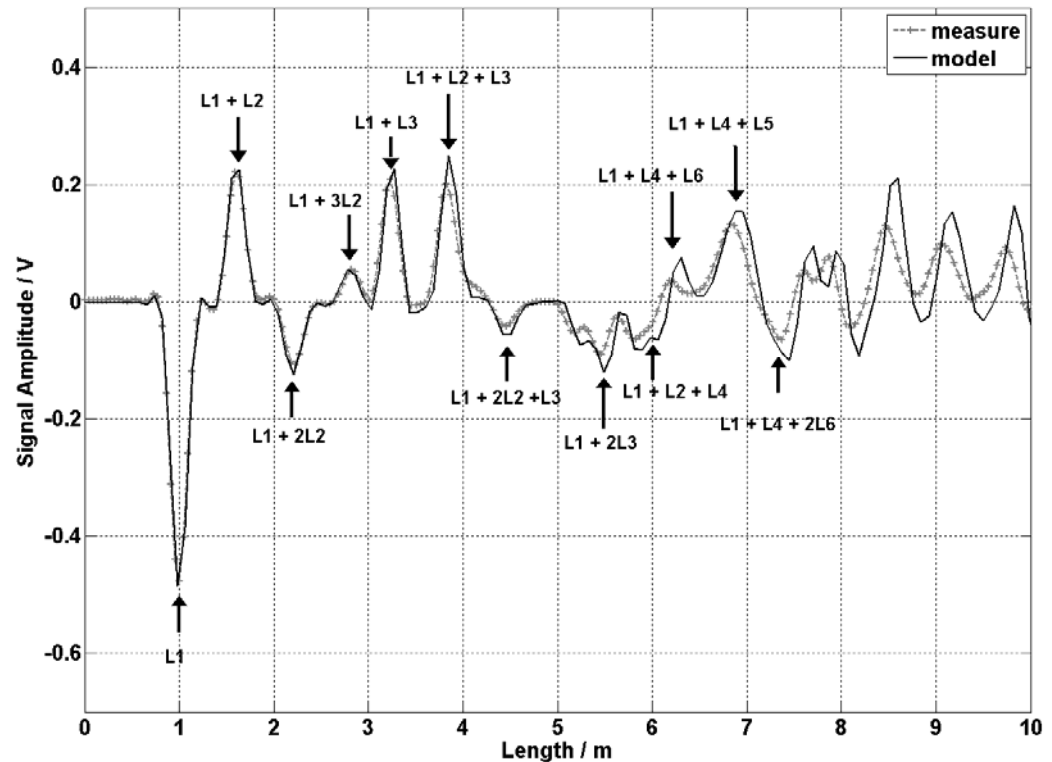


## ➤ Exemple de calcul pour un réseau complexe

- ✓ Visualisation des signaux de TDR
- ✓ Explication physique des différents pics
- ✓ Permet une comparaison avec une mesure pour la phase de diagnostic



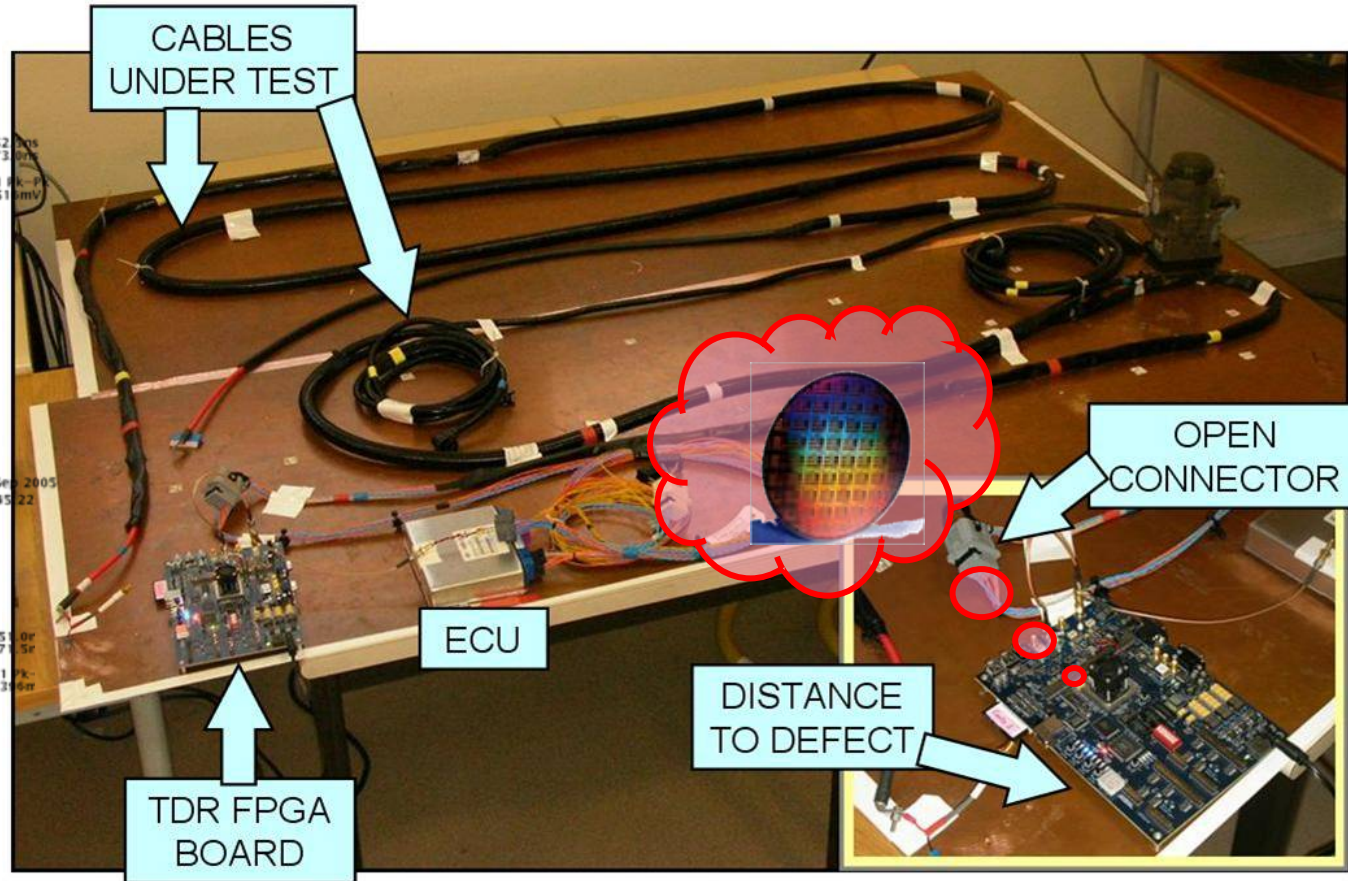
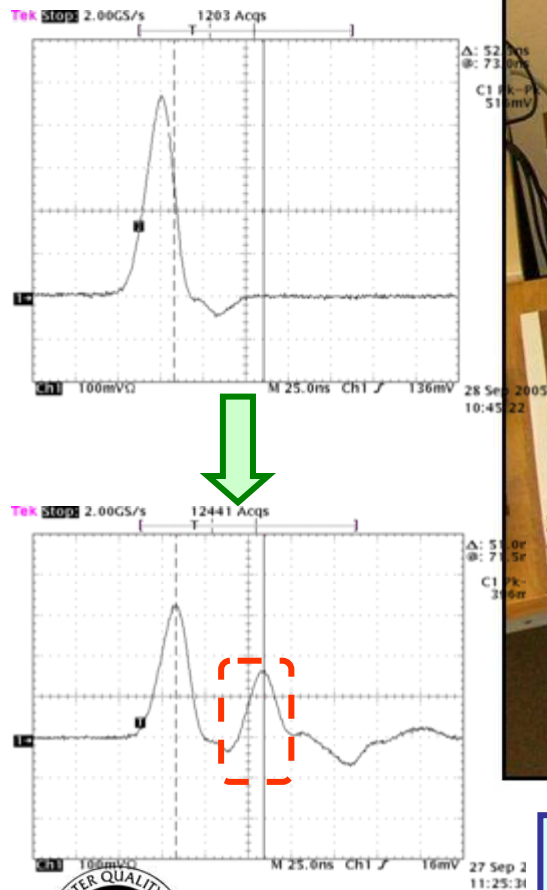
Mesure avec un analyseur de réseau vectoriel (300 kHz – 500 MHz)



# PREMIÈRE IMPLÉMENTATION SUR FPGA



- Génération, injection, acquisition, numérisation du signal, mesure et calcul de la distance, caractérisation du défaut



**OBJECTIF : CONCEPTION D'UNE PUCE DÉDIÉE**



# OBJECTIFS OPÉRATIONNELS



## ➤ **Projet SEEDS (PREDIT 2005)**

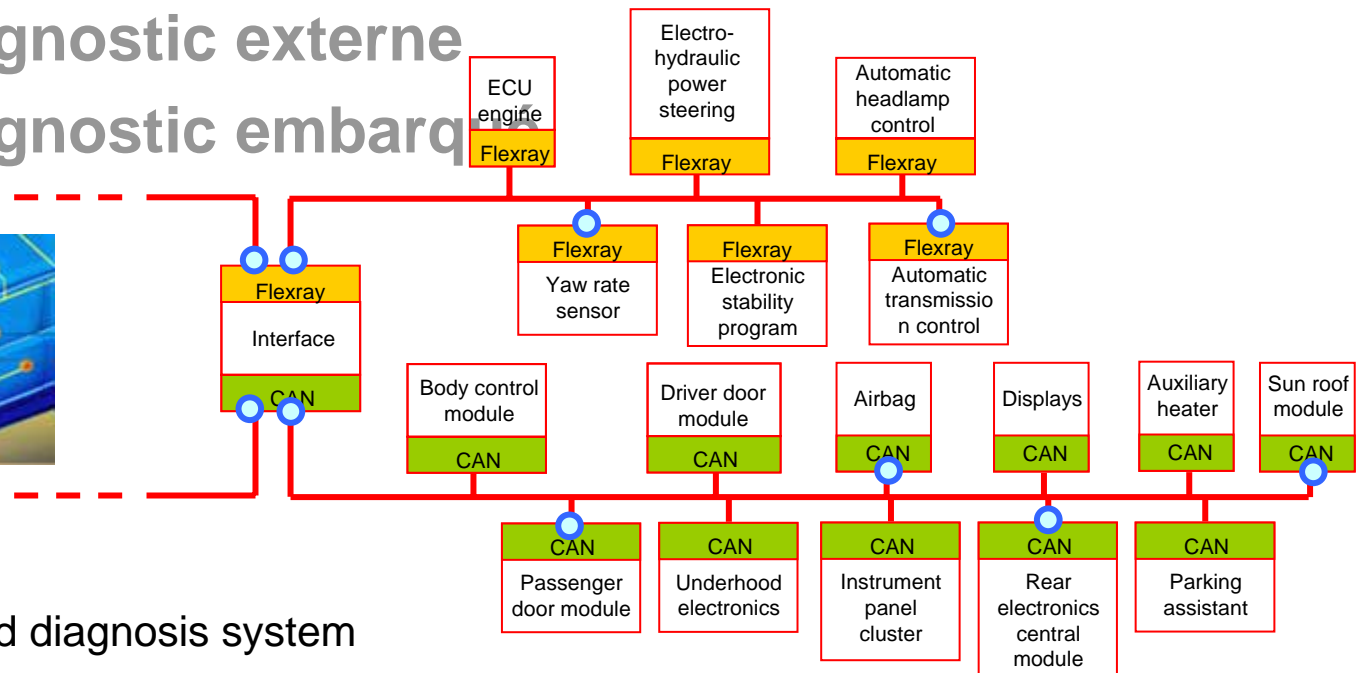
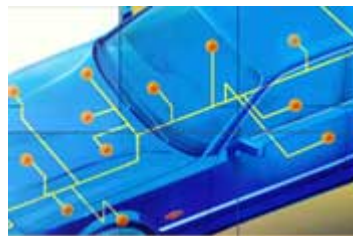


✓ Partenaires : Renault Trucks, Delphi, Serma, Supélec LGEP, INRIA

## ➤ **Conception et preuve de faisabilité d'un système de diagnostic de câbles automobiles**

✓ Diagnostic externe

✓ Diagnostic embarqué



● Embedded diagnosis system



# CONCLUSIONS



- **Ce modèle apporte une vision physique aux signaux de réflectométrie temporelle**
  - ✓ Il s'appuie sur un besoin réel dans le cadre d'un projet coopératif
- **L'étape suivante est celle du diagnostic proprement dit**
  - ✓ Position précise des pics de TDR
  - ✓ Interprétation en termes de défauts sur le réseau
- **Publications associées**
  - ✓ Annales des Télécoms (acceptée)
  - ✓ PIERS 2007 (Prague)



---

cea

---

list

# Merci de votre attention



**Marc OLIVAS**  
**CEA LIST**  
**+33 1 69 08 48 83**  
**Marc.Olivas@cea.fr**

