

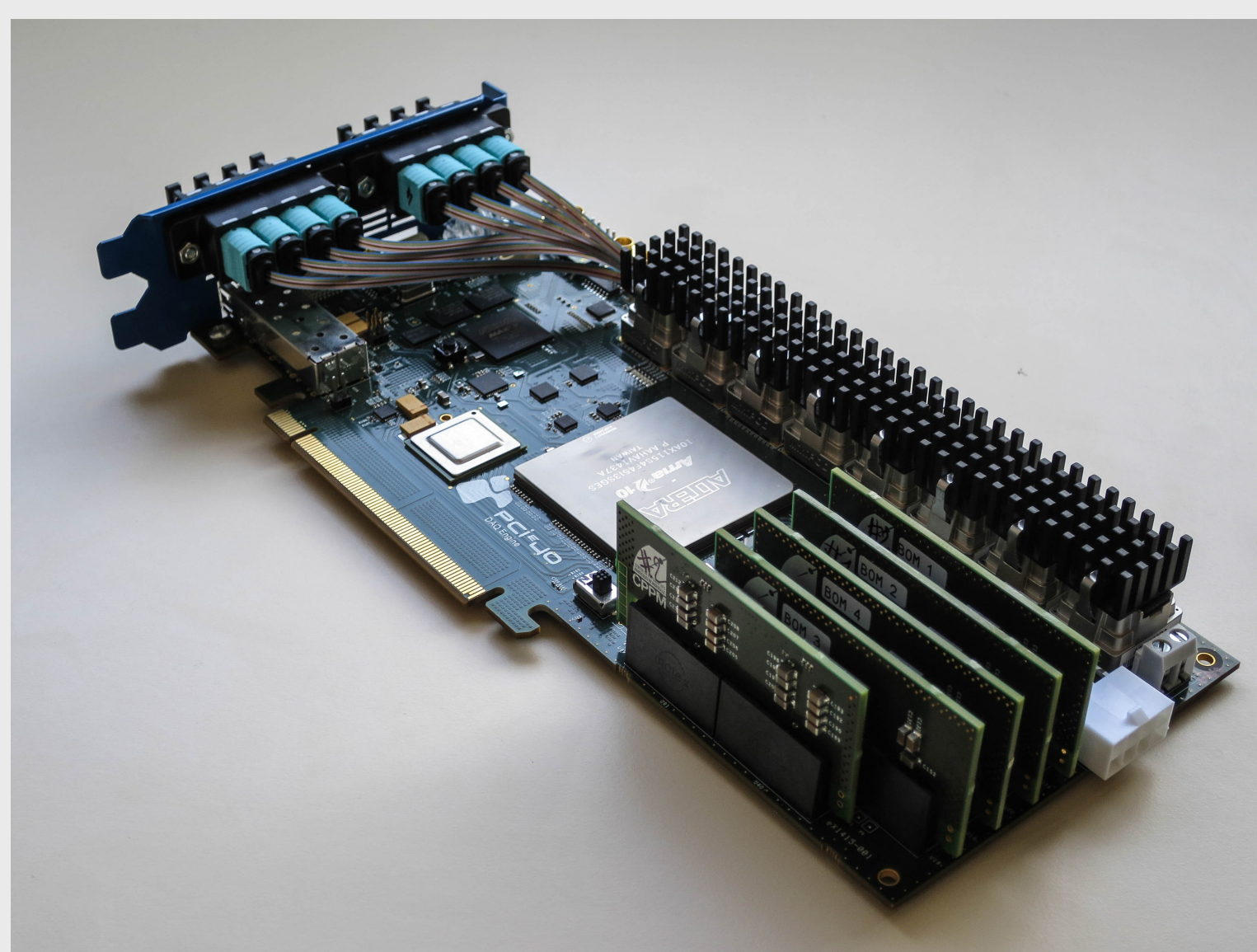
## Contexte

Le CPPM a une forte expertise dans le développement de cartes électroniques mettant en œuvre des fibres optiques à haut débit avec des protocoles différents.

L'augmentation de la luminosité des détecteurs installés sur le LHC (Large Hadron Collider), l'accélérateur de particules du CERN à Genève implique une mise à niveau des systèmes électroniques d'acquisition.

Les débits nécessaires sont de 10 Gbit/s.

Le service électronique a la connaissance des phénomènes physiques liés au traitement de signaux rapides et les appareils de mesure permettant de les caractériser.



Carte PCIe40 :  
Débit nominal 100 Gbit/s en entrée et en sortie  
48 liens sériels optiques @4,8 Gbit/s  
16 liens PCIe GEN3 @8 Gbit/s  
1 lien TFC @4,8 Gbit/s, à phase déterministe pour le Time Fast Control

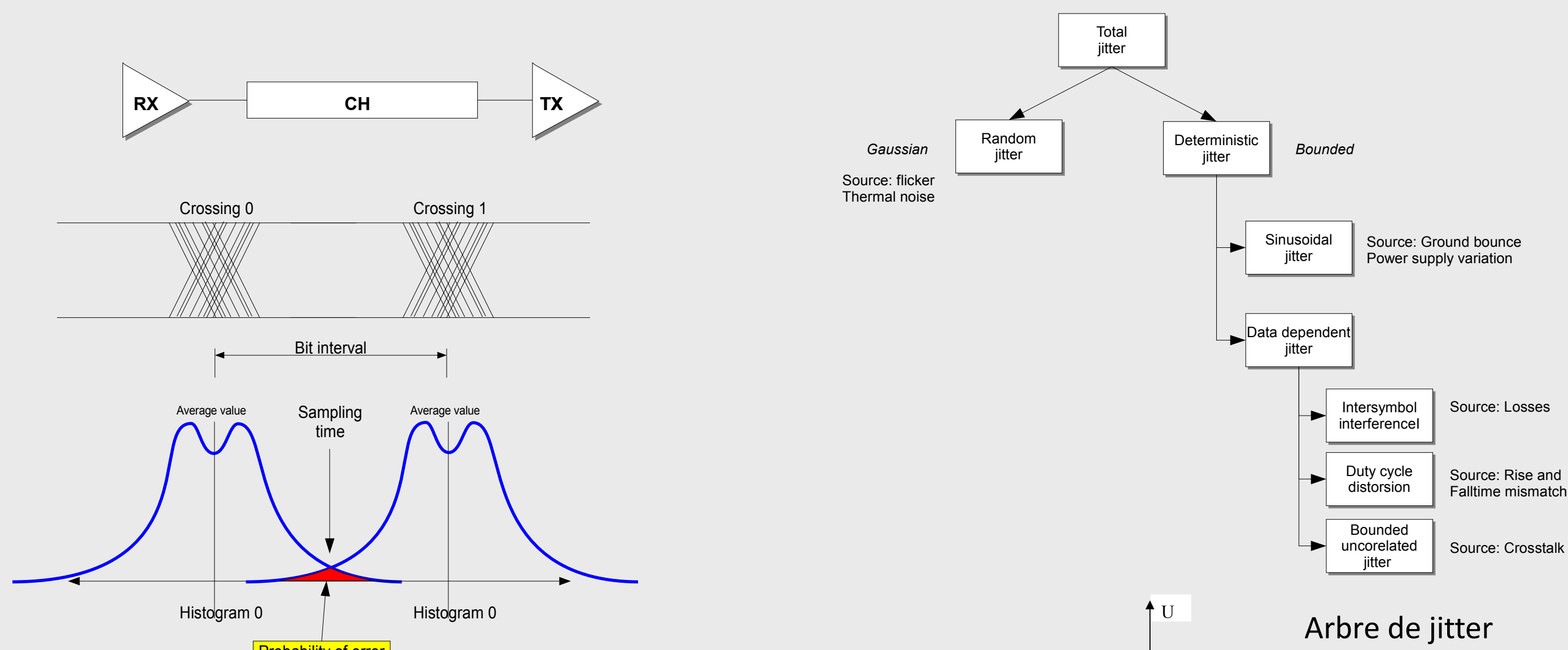
## Le Jitter

Le « jitter » ou « jigue d'horloge » joue un rôle important dans la qualité des liens sériels.

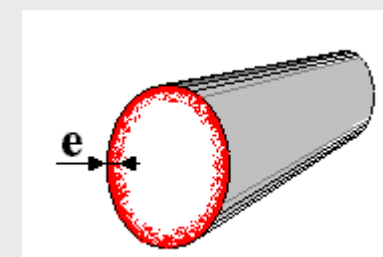
Il se décompose en plusieurs composantes :

le jitter « aléatoire », qui vient pour partie du bruit électronique par agitation thermique et

le jitter « déterministe » dû à l'atténuation des hautes fréquences par effet de peau ou par pertes dans le diélectrique.

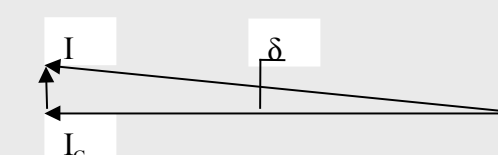


Jitter : écart du signal par rapport à sa position idéale.

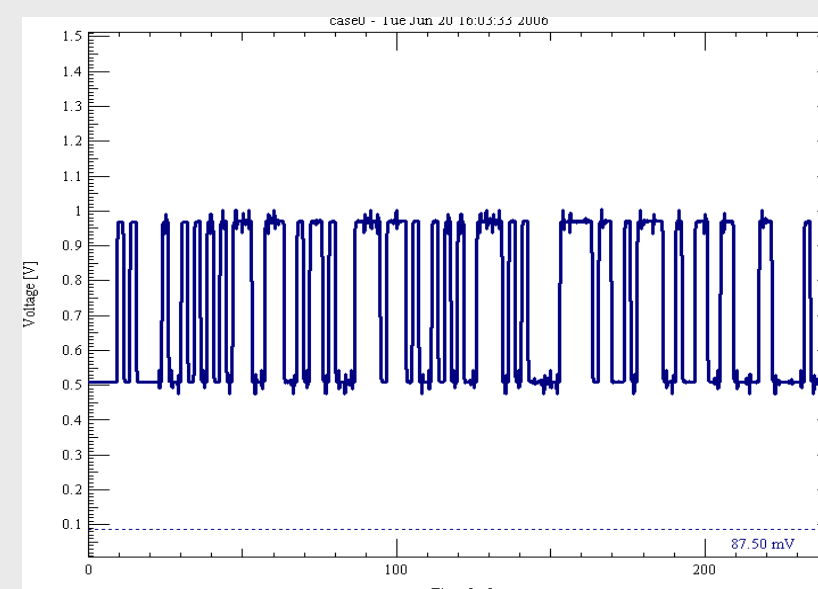


Effet de peau : 40 MHz < f < 600 MHz  
circulation du courant en périphérie.  
L'atténuation varie en  $\sqrt{f}$

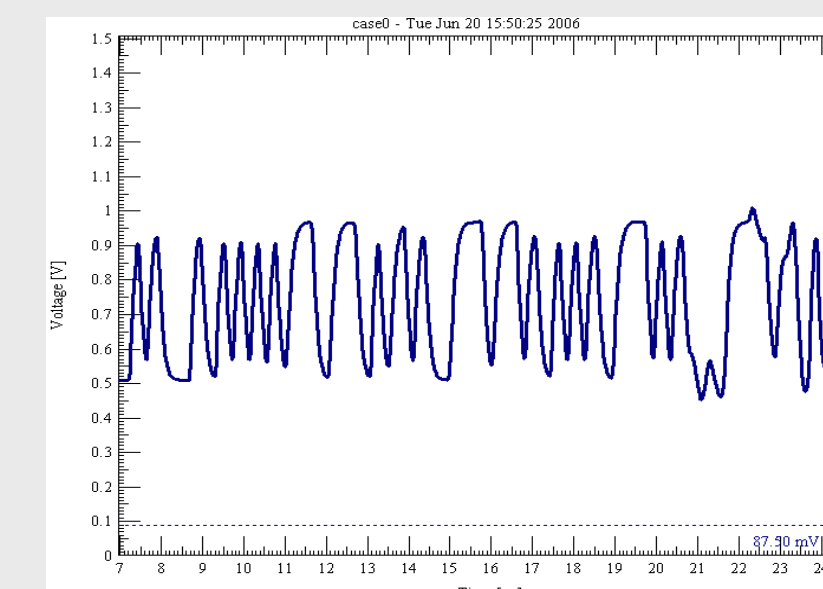
Arbre de jitter



Pertes diélectriques (Tan  $\delta$ ) : f > 600 MHz  
absorption des HF par couplage capacitif.  
L'atténuation varie en f.



Signal sériel à 4,8 Gbit/s



Signal sériel à 4,8 Gbit/s altéré par du jitter et de l'atténuation

## Serial Data Analyser



La composante Gaussienne du jitter engendre des erreurs très rares et donc difficiles à détecter rapidement. Caractériser un taux d'erreurs à  $10^{-16}$  sur une liaison à 10 Gbits/s prend environ 12 jours.

Le CPPM dispose d'un Serial Data Analyzer doté d'une bande passante de 25 GHz qui permet de réduire ce temps à quelques minutes et donne des indications précieuses sur la répartition des composantes du jitter ainsi que son origine potentielle. La technique du diagramme de l'œil permet d'apprécier qualitativement la liaison. Le bathtub permet de quantifier le taux d'erreur bit.

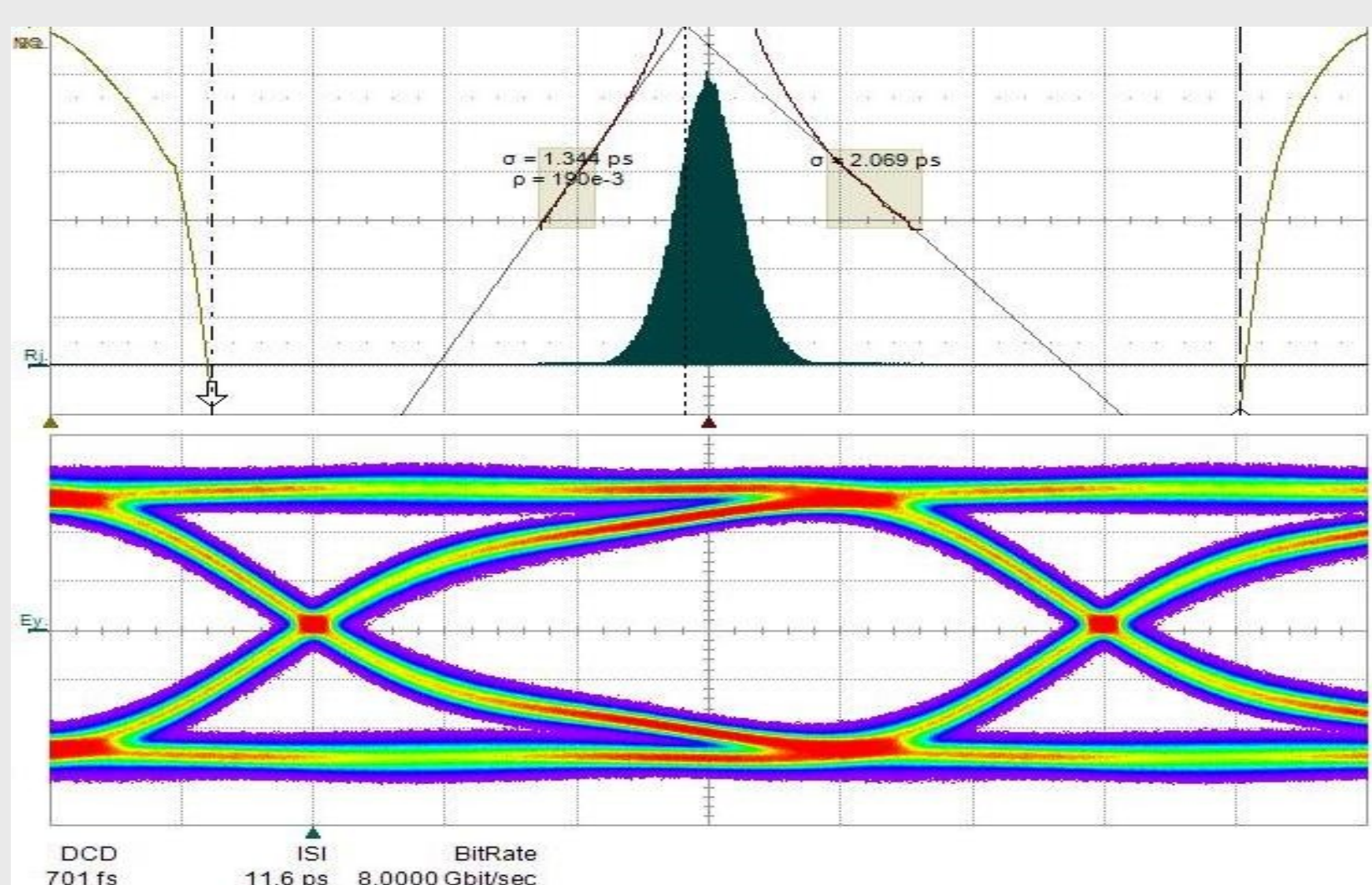


Diagramme de l'œil à 8 Gbit/s

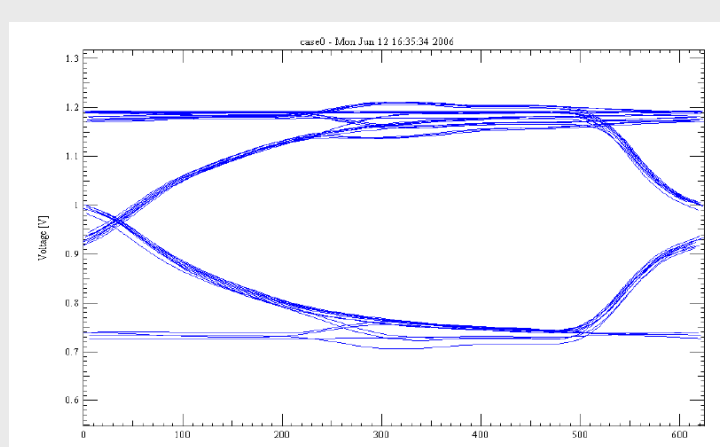


Diagramme de l'œil obtenu par simulation

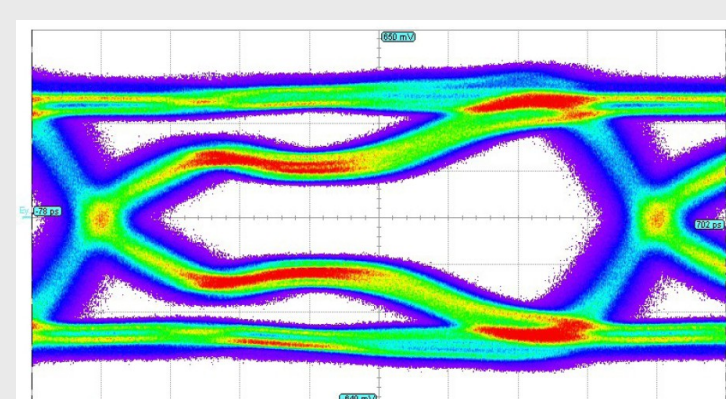
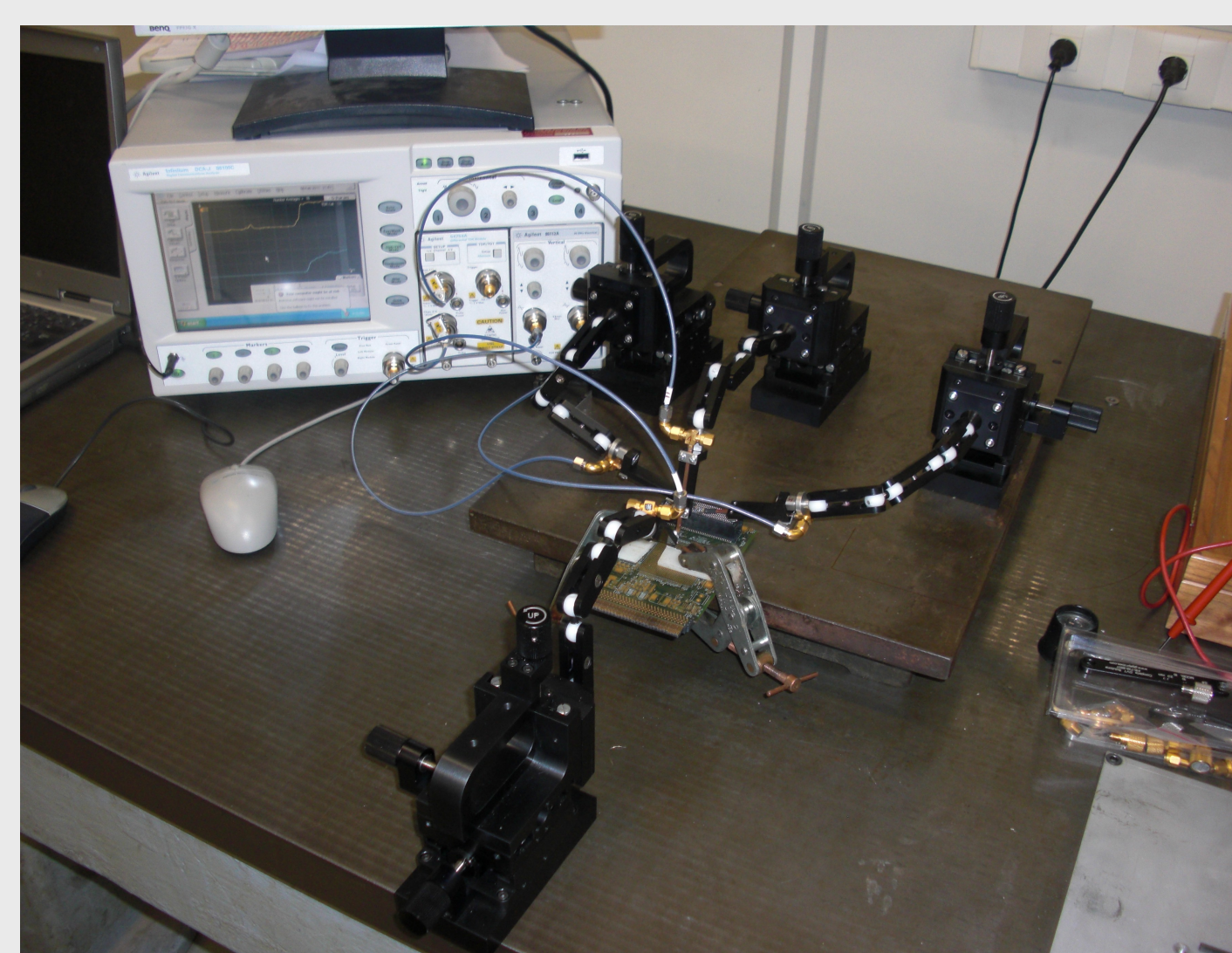


Diagramme de l'œil obtenu par mesure

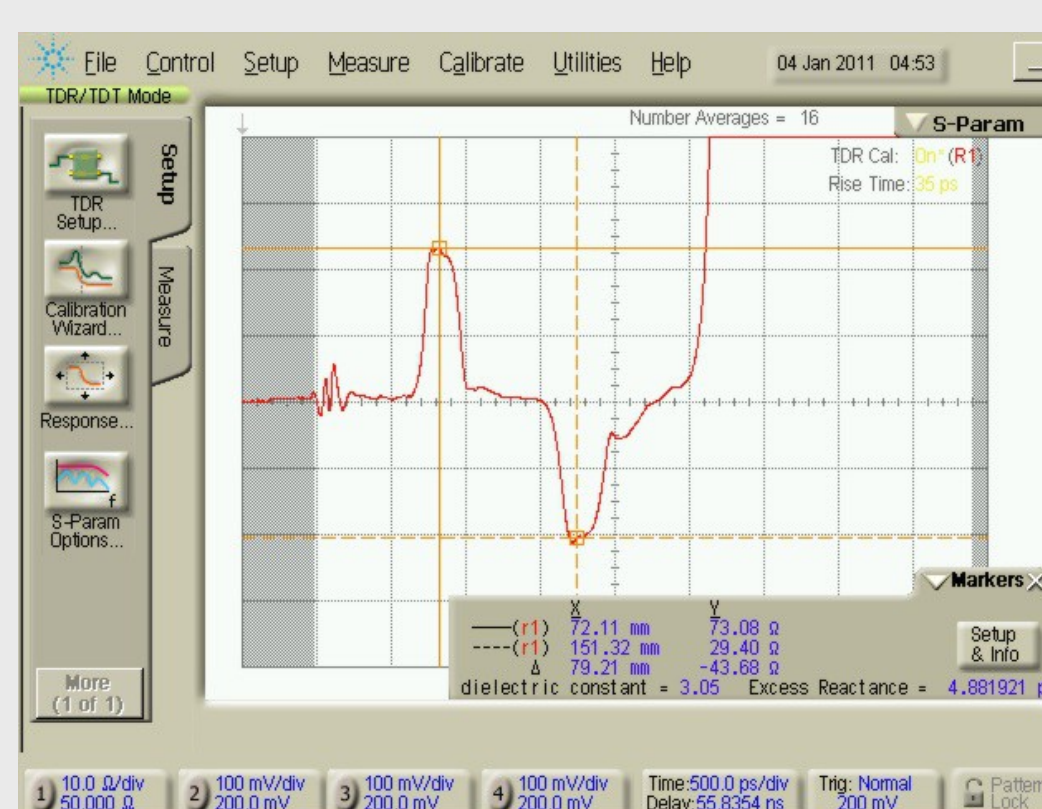
## TDR



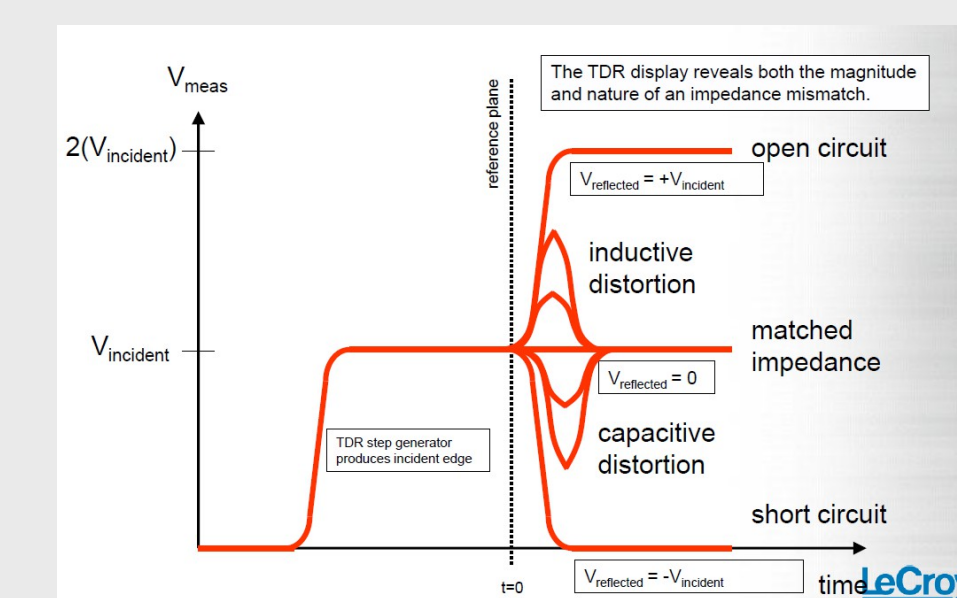
Aux débits mis en jeu, l'impédance des lignes différentielles doit être contrôlée à +/- 5% pour que l'adaptation avec les circuits soit correcte.

D'autre part la qualité de la transmission est également liée aux hétérogénéités de la ligne de transmission qui peuvent provoquer des réflexions du signal et donc des déformations.

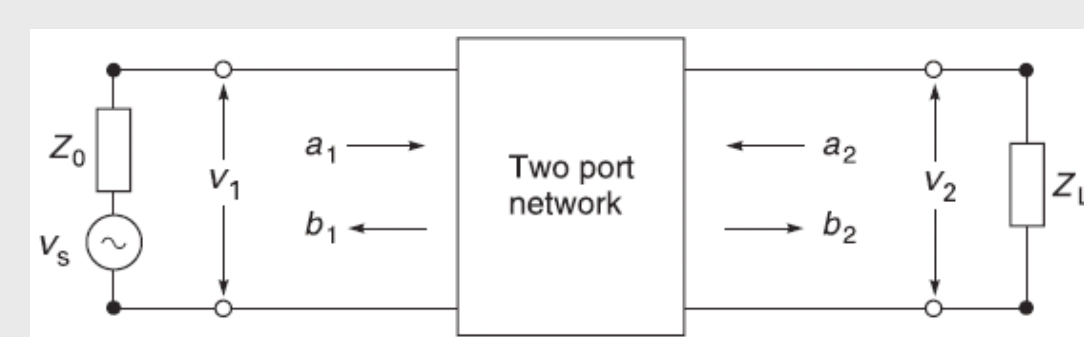
Celles-ci peuvent être mesurées à l'aide d'un Time Domain Reflectometer (TDR). Cet appareil permet de tracer le profil d'impédance caractéristique de la ligne de transmission et de mesurer l'influence réelle des « vias » ou connecteurs traversés par les signaux.



Profil d'impédance d'une ligne différentielle



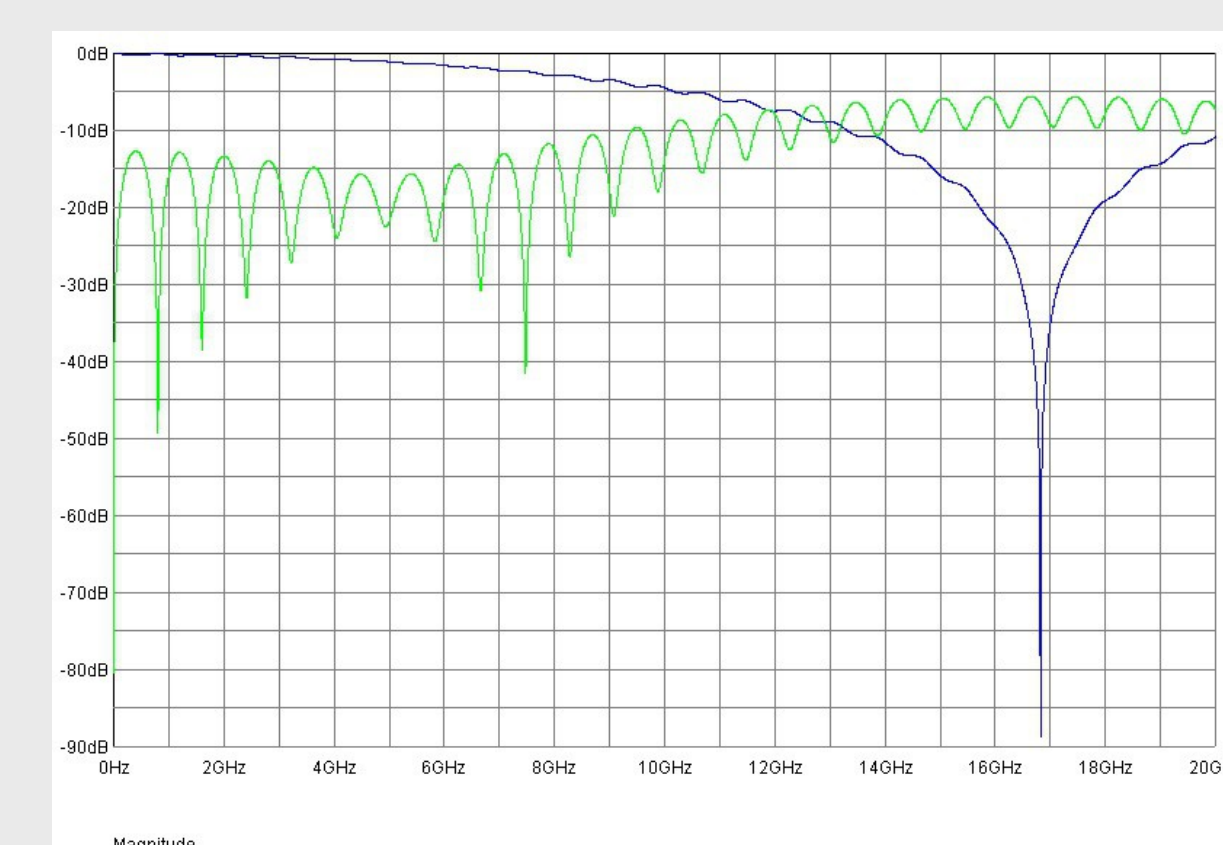
Réponses du TDR aux différentes réflexions



Modélisation d'une ligne par ses paramètres S

$$b_1 = a_1 s_{11} + a_2 s_{12}$$

$$b_2 = a_1 s_{21} + a_2 s_{22}$$



Mesure des paramètres S