

Systeme de mesure numérique pour l'imagerie nucléaire

Atelier CNRS-IRSN Capteurs & Métrologie
11 juin 2021

Nicolas Chevillon
de l'équipe Imagerie Moléculaire,
Département DRHIM, IPHC

Imagerie médicale nucléaire

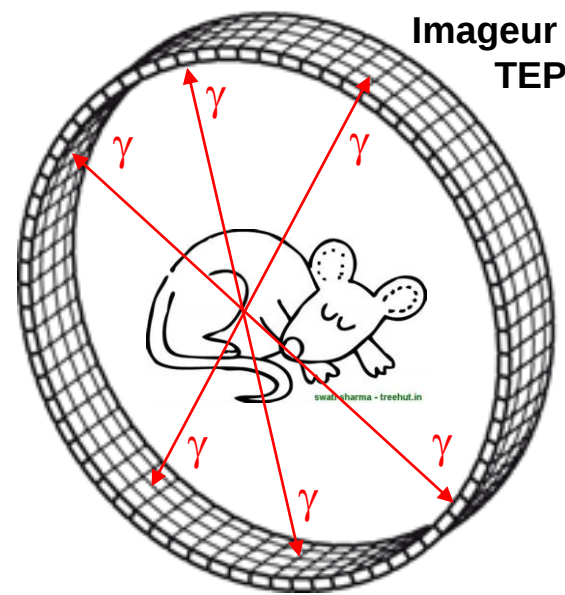
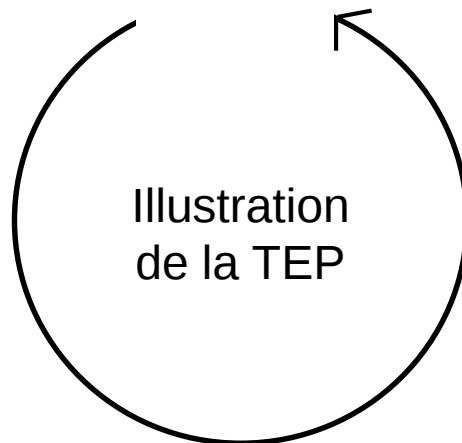
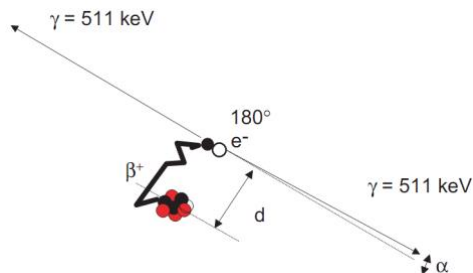
Modalités d'imagerie nucléaire développées dans l'équipe Imagerie Moléculaire :
(IPHC - CNRS/Unistra)

- Tomographie à Emission Mono-Photonique (TEMP)
- Tomographie à Emission de Positons (TEP)

Injection de molécules radio-marquées
(Cyclotron Cyrcé
+ radiochimie Imagerie Moléculaire)



Radio-émission bêta+



Source : radiologykey.com

Détection idéale :

- Evènements produits par effet Compton ou par effet photoélectrique à distinguer
- Mesure d'énergie des évènements
- Mesure de position des évènements
- Mesure de temps d'arrivée des évènements

Constitution du détecteur :

- Cristaux scintillants monolithiques ou segmentés
- Photo-détecteurs PMT Multi-Anode ou Matrices de pixel SiPM
- Circuit analogique de conditionnement de signal selon les projets

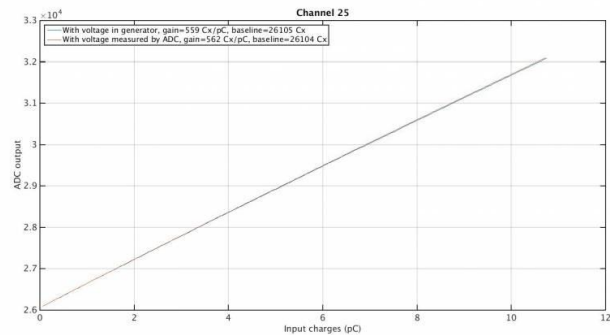
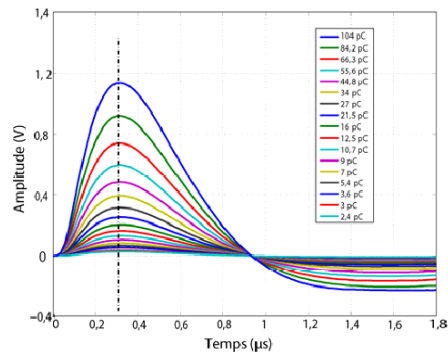
Lecture du détecteur :

- Système de mesure et d'acquisition multi-voies (de l'ordre de 10^2 à 10^4 voies électroniques)

Mesure d'énergie

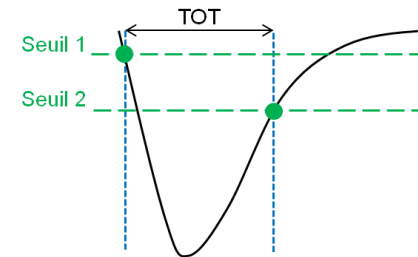
2 méthodes de mesure d'énergie dans nos développements instrumentaux

Intégrateur – shaper

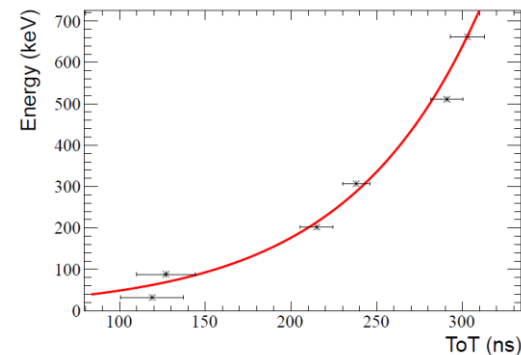


Source : ASIC IMOTEP, Imagerie Moléculaire, IPHC

« Time-Over-Threshold » (TOT)

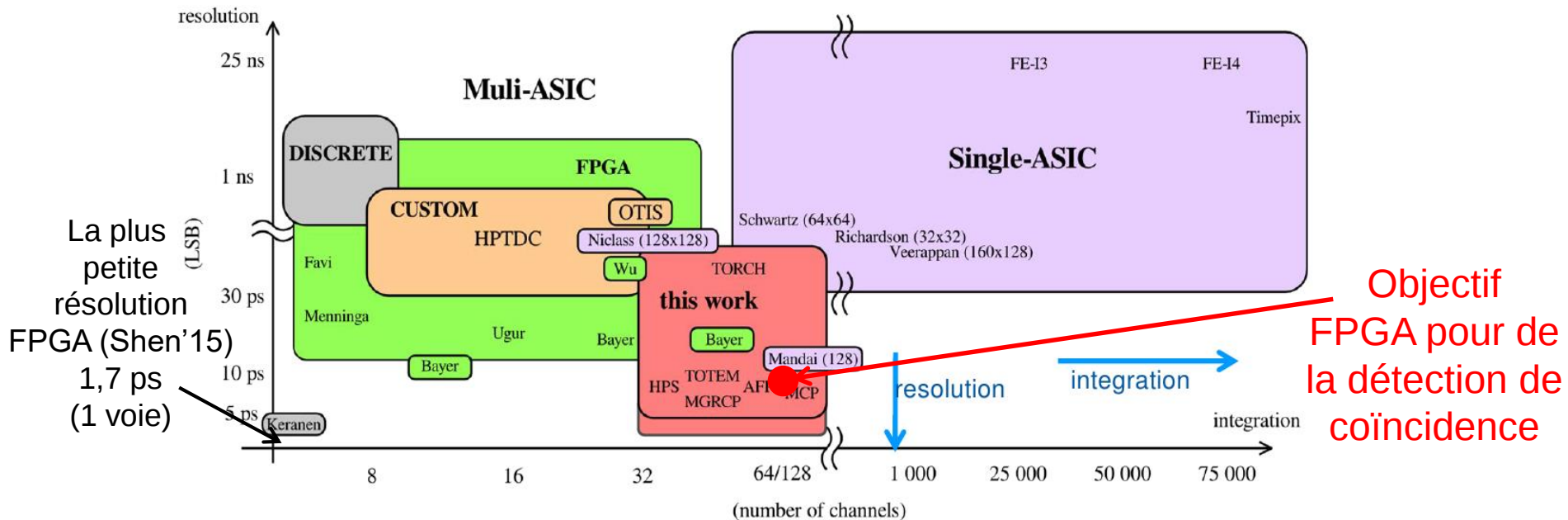


Exemple de mesure TOT



Source : TOFPET ASIC

Dispositifs de mesure de temps

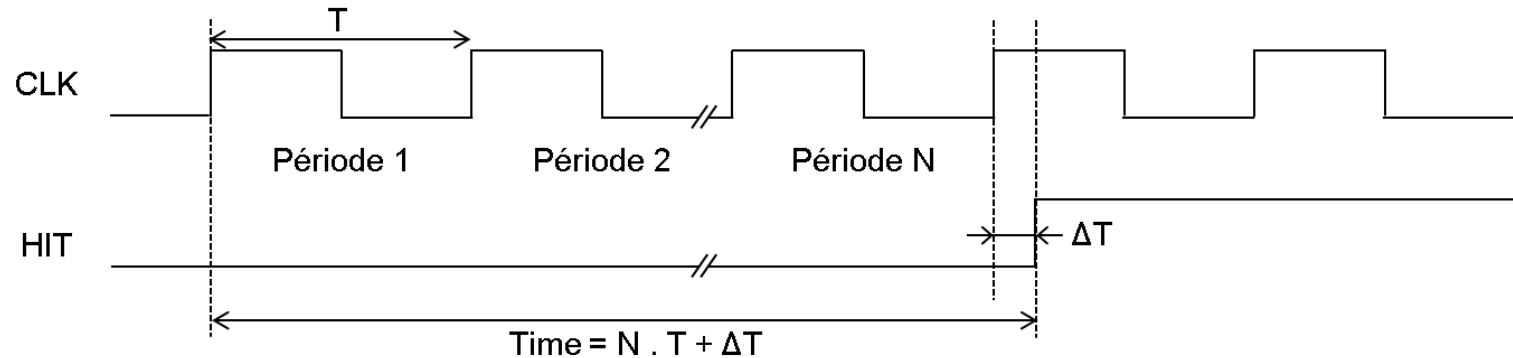


© CERN picoTDC, Picosecond Workshop, Prague 2015

Solution FPGA :

- Solution rapide à mettre en œuvre et économique
- Une résolution proche de 10 ps pleinement envisageable
- Un Time-marker et des fonctionnalités spécifiques à une application facilement associables dans la même puce
- Forte limitation dans le nombre de voies implantables

Approche hybride : méthode Nutt

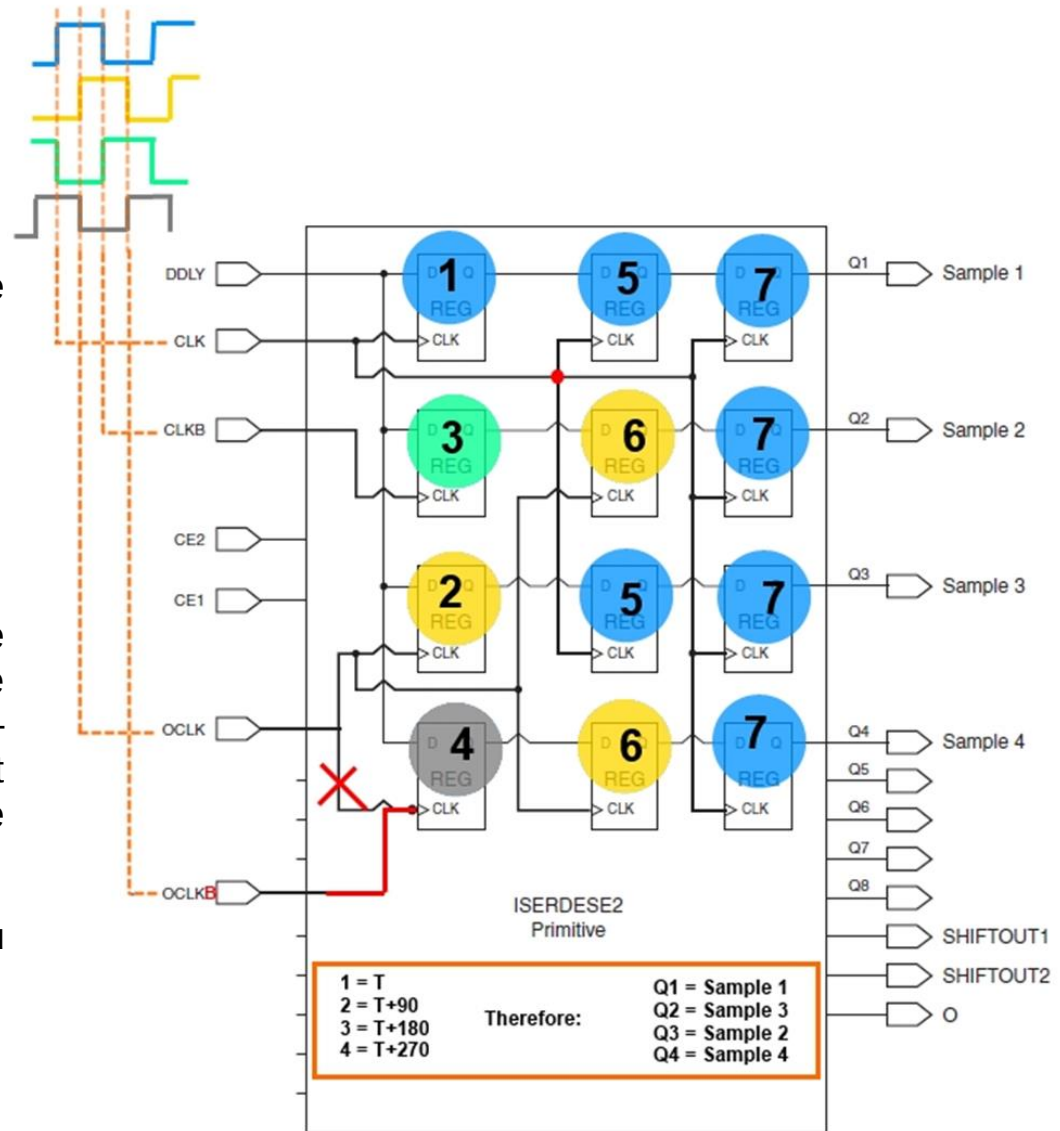


Méthode de mesure de la fraction de période dans un FPGA :

- Méthode de lignes à retard
 - Grande résolution (qq ps)
 - Dépendance PVT
- Méthode Vernier
 - Besoin de nombreuses horloges
 - Faible nombre de voies dans un FPGA
- Méthode multi-phase
 - Faible résolution (qq 10 ps)
 - Réalisation en ressources logiques (CLB)
ou utilisation de composants intégrés (ISERDES Xilinx)

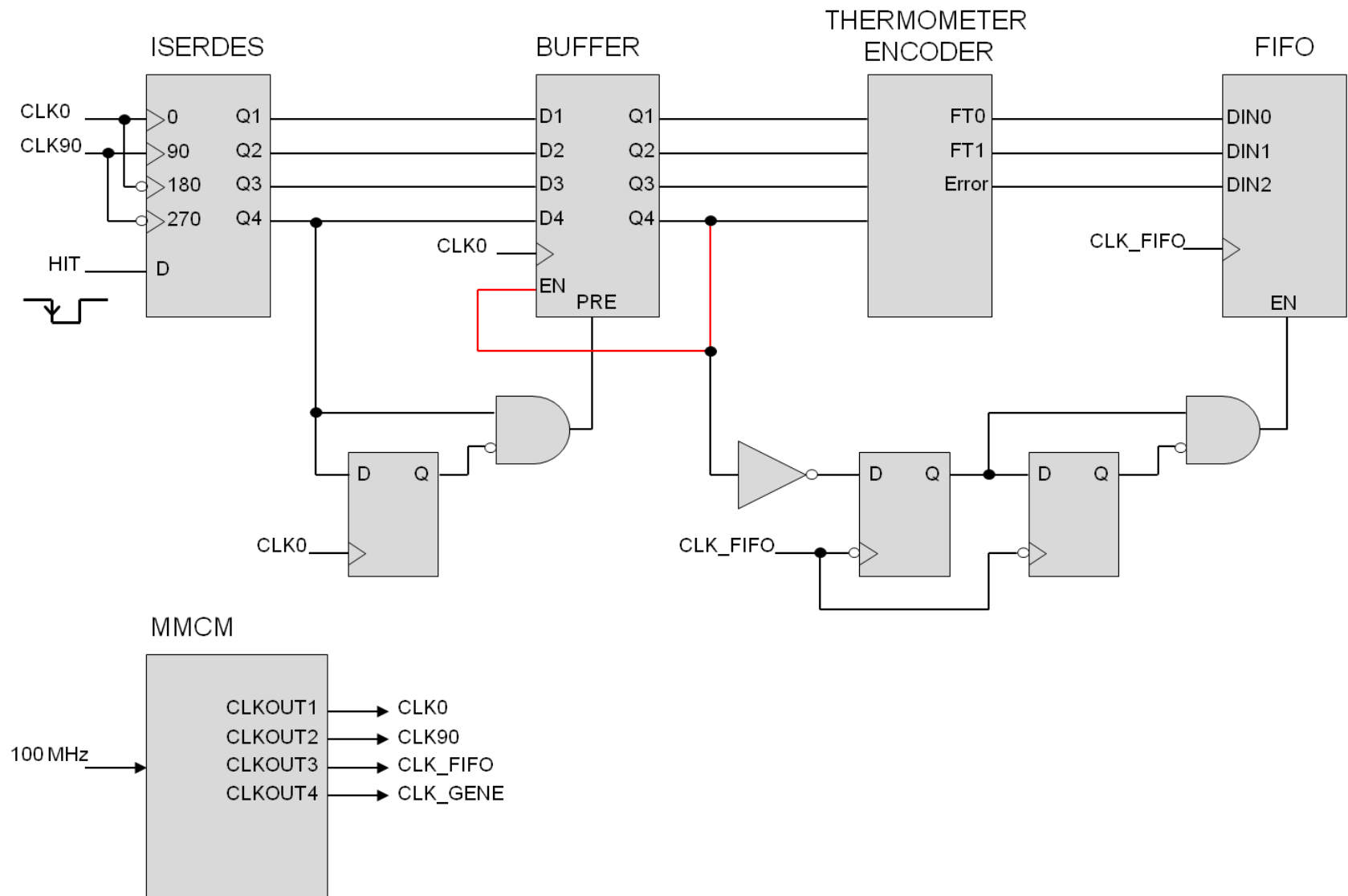
ISERDES Xilinx

- Mode « oversampling » :
multi-phase 4 phases
- Fonctionnement à la fréquence limite
de 800 MHz (1250 ps)
- Bin de temps = 312,5 ps
- Avantages :
 - Insensible aux variations de réalisation – tension – température (« Process – Voltage – Temperature ») (PVT) par rapport aux autres méthodes de mesure de temps
 - Pas de diaphonie : ISERDESs au proche des ports d'entrée



Source : Xilinx

Diagramme du design d'une voie

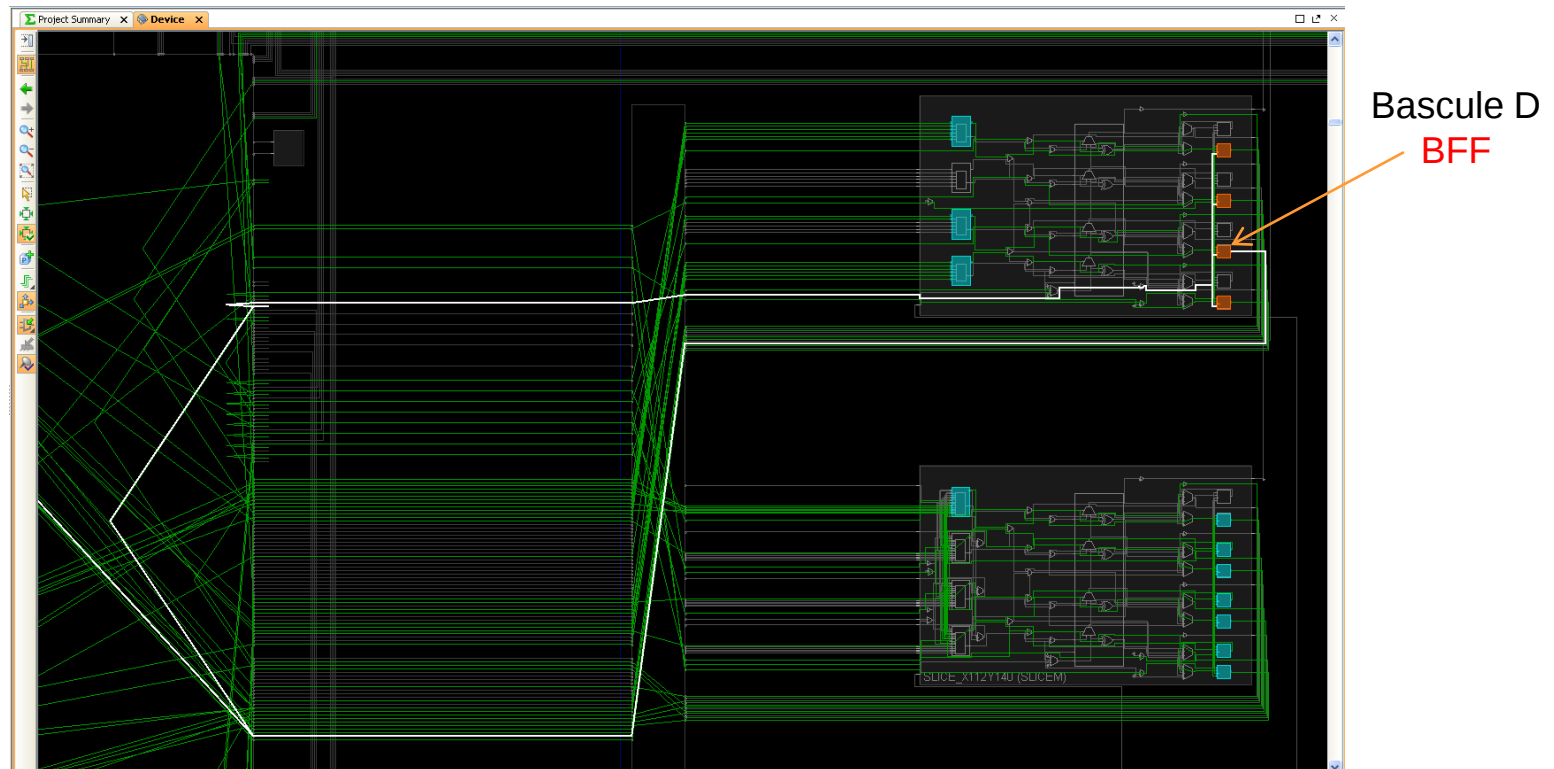


Contraintes de placement et routage

Besoin : mémorisation du « thermometer code » fournit par l'ISERDES

Réalisation : ajout d'un registre 4 bits dont l'entrée CE est piloté par le 4^e bit de donnée lui-même.

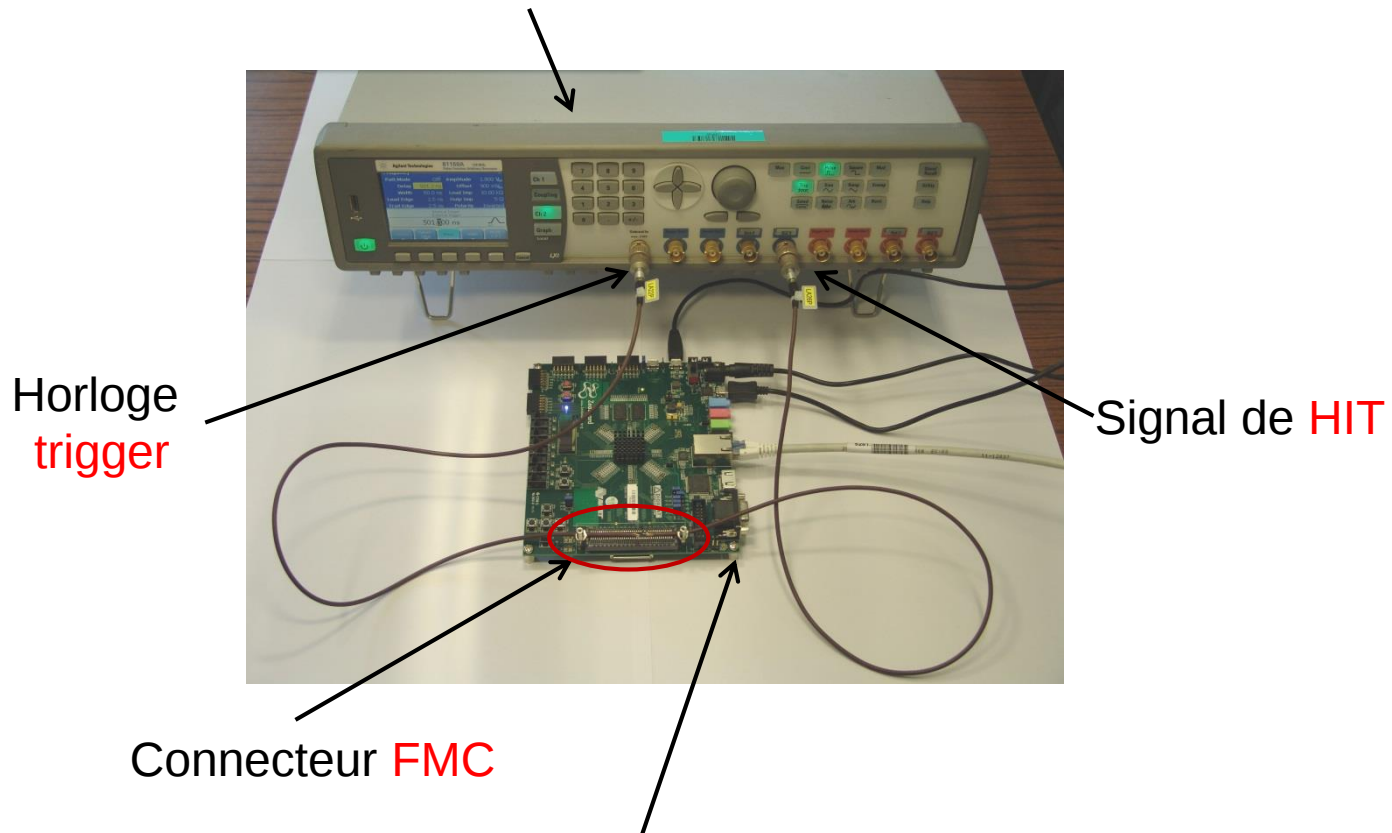
Contrainte : temps de propagation de CE < T – 530 ps, soit **720 ps MAX** pour $\text{Freq}_{\text{CLK}} = 800 \text{ MHz}$



Routage du signal CE du registre 4 bits pour la mémorisation du « thermometer code »

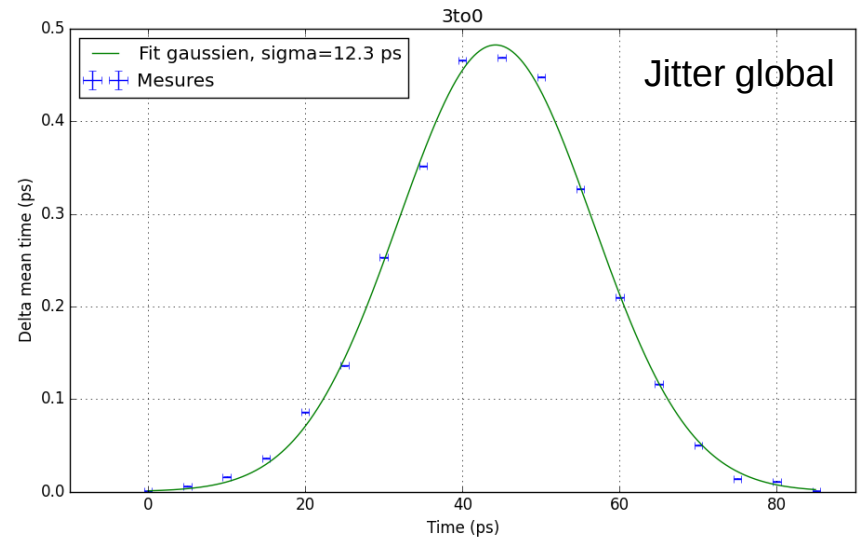
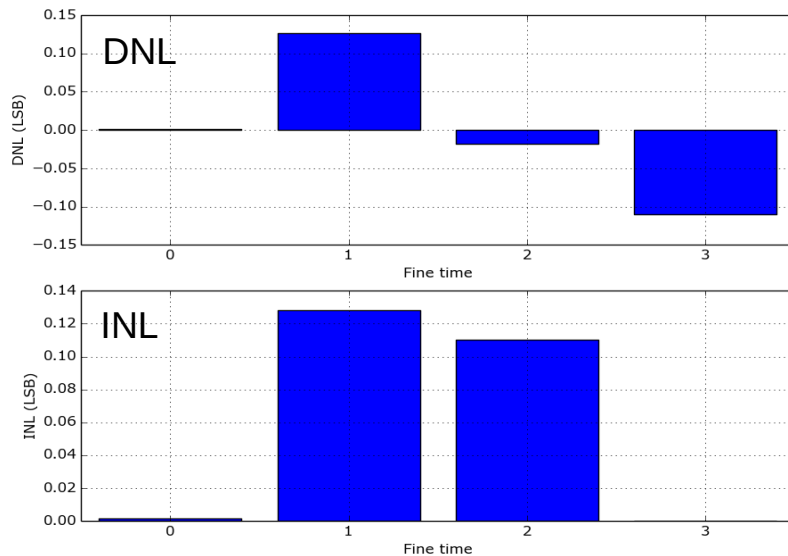
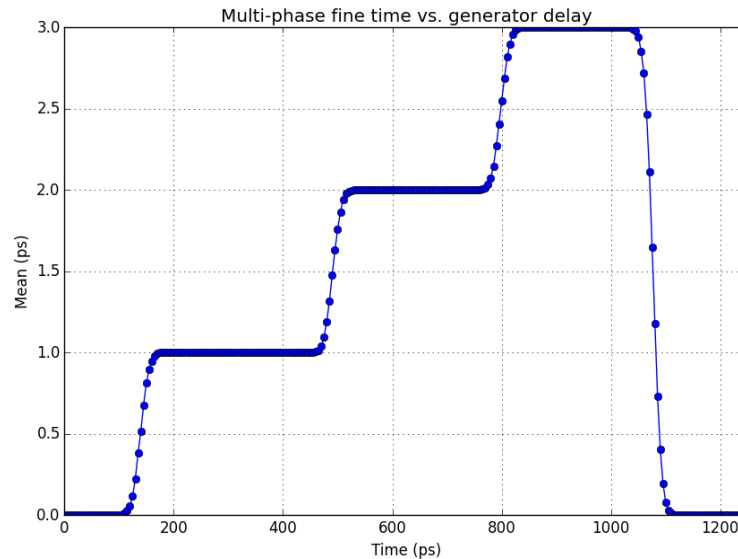
Banc de test

Générateur d'impulsions avec **délai programmable**



Carte de développement **ZedBoard** (Avnet) basée sur un SoC Zynq-7020

Caractérisation expérimentale



➤ Conclusions

- Time-marker FPGA multi-phase 312.5 ps applicable à la mesure d'énergie par TOT
- DNL et INL < 0.13 LSB
- Insensible à PVT

➤ Développements en cours

- Développement de la mesure d'énergie TOT à partir d'un Time-marker FPGA
- Développement d'un système multivoies de mesure d'énergie et de temps basé sur un time-marker FPGA à 10 ps