



In2p3



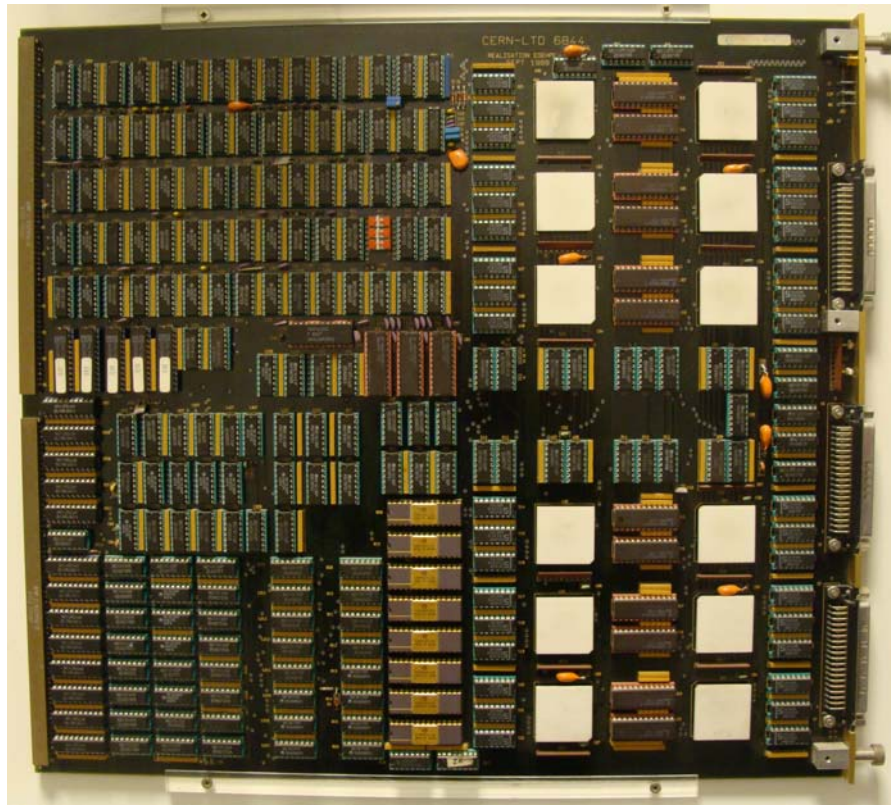
Conception et caractérisation de micro systèmes à applications spécifiques

Groupe μ électronique – Division de Recherches Subatomiques

Xiaochao FANG



Micro-électronique Vs électronique discret

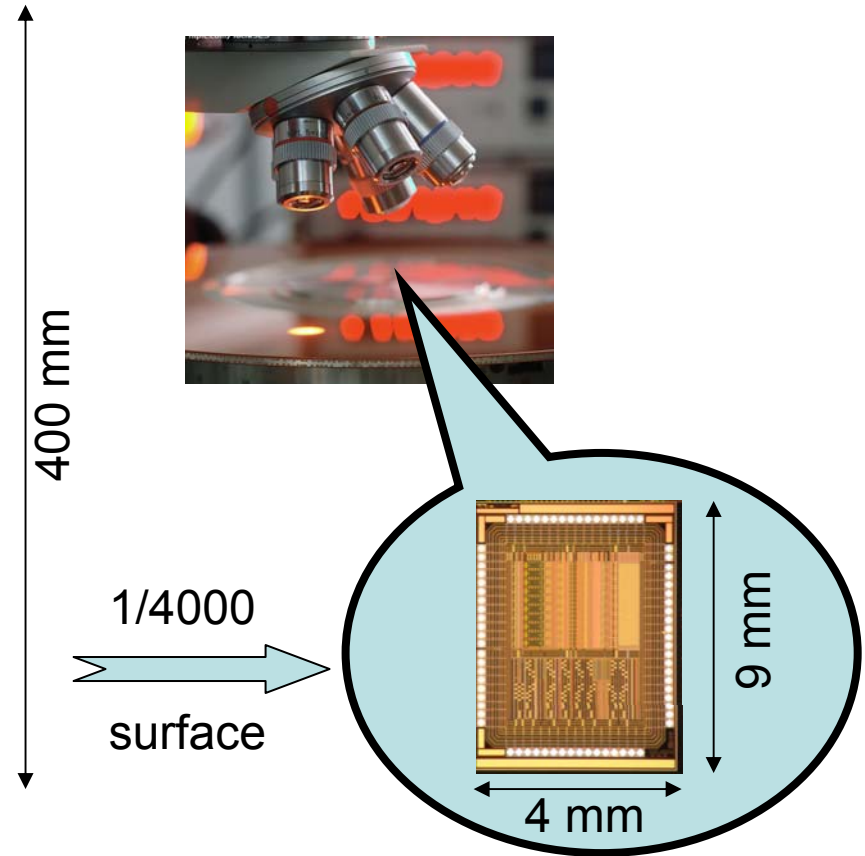


400 mm

TDC (Time to digital converter) ; 1985

Expérience Delphi au LEP (CERN)

Résolution : 2 ns ; Canaux : 48

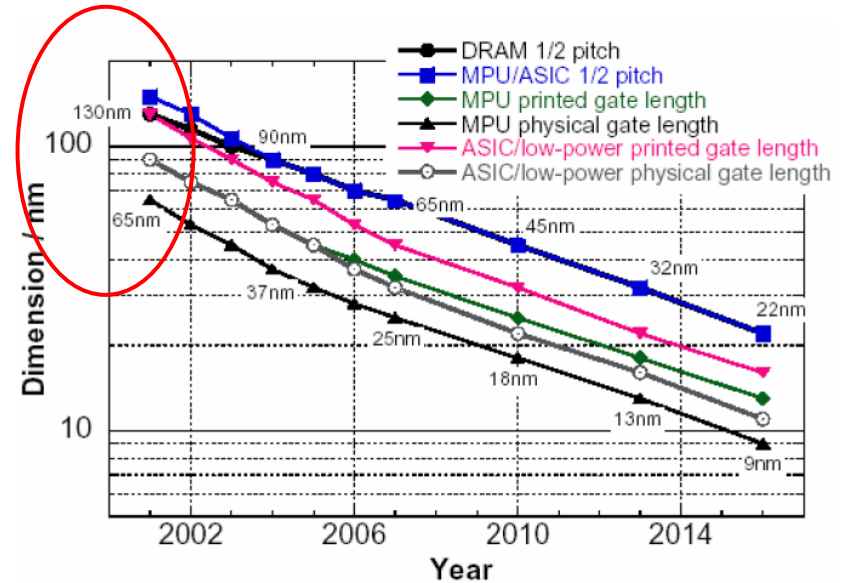
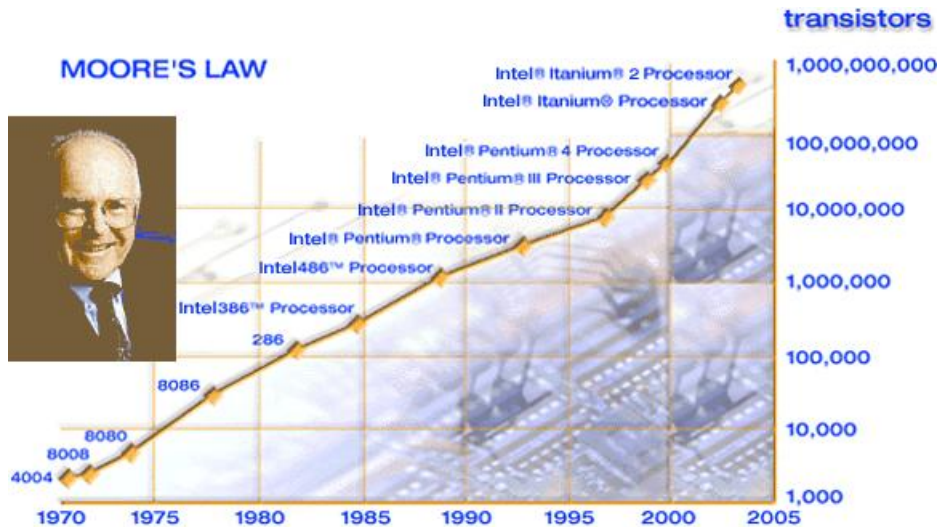


Mesure d'énergie + TDC ; 2009

Projet TEP ; Résolution : 625 ps ; Canaux : 64

Évolution suivant la loi de Moore

Moore: Nombre de composants dans un circuit intégré double tous les 18 mois



Évolution rapide de la technologie

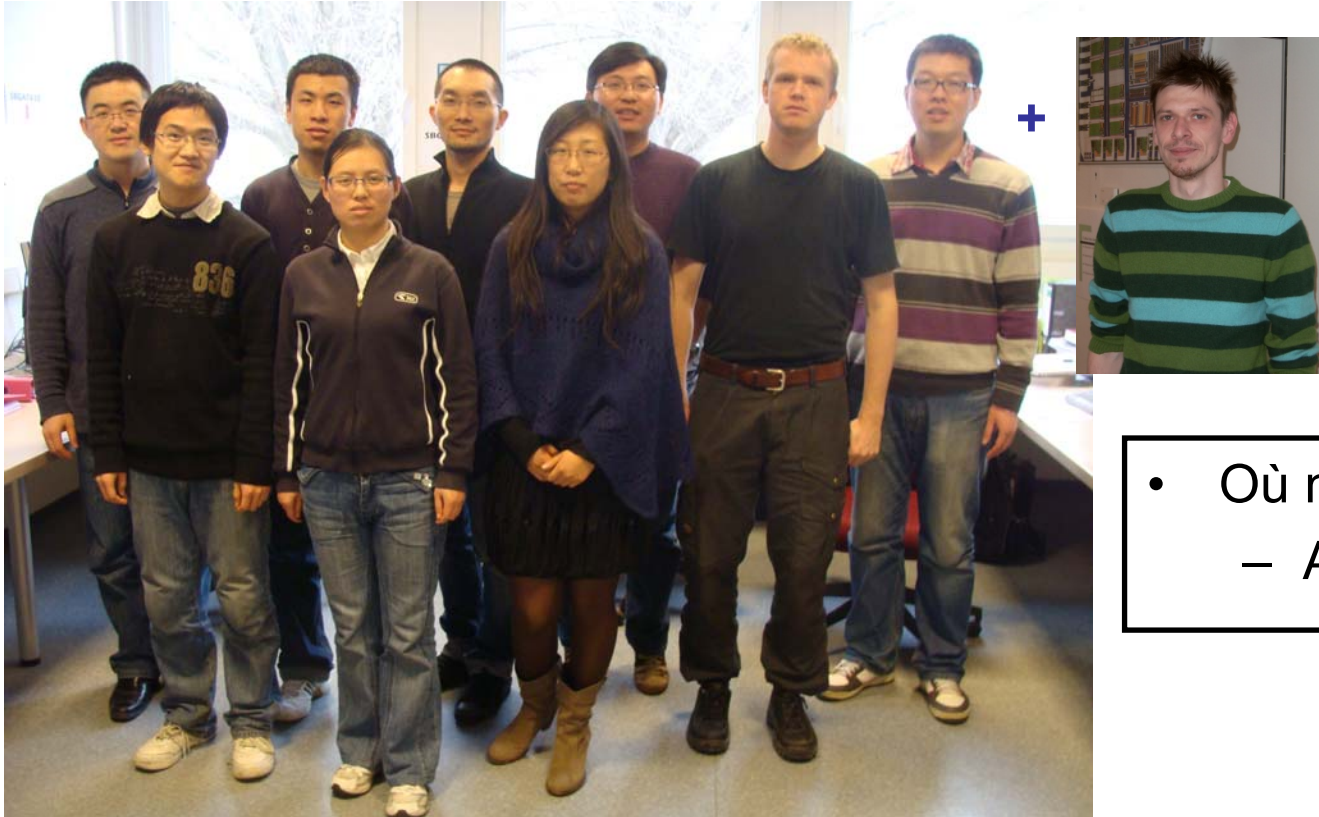
La microélectronique analogique / mixte suit avec un rythme différent

- Tension d'alimentation
- Qualité intrinsèque des transistors
 - Courant fuite, Bruit
- Éléments passifs
 - Condensateur, résistance

(IPHC: conception mixte, 1990 : 1,2 μm \rightarrow actuelle : de 0,35 μm à 90 nm)

Doctorants du Groupe μ électronique

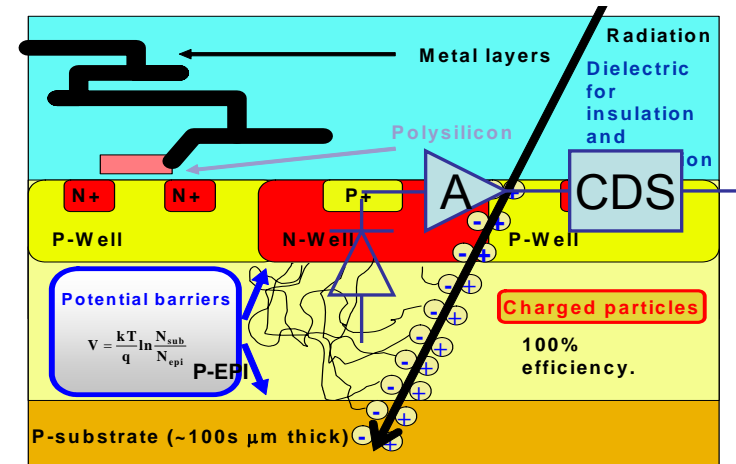
- Trois groupes de travail :
 - Cmos : imageurs pour la physique des hautes énergies
 - ImaBio : Imagerie Biomédicale
 - Ramses : Radioprotection et Mesures Environnementales



- Où nous trouver ? :
 - Au Rdc du Bât 20

Développement de MAPS pour détecter des particules chargées

- **En 1999, le groupe du capteur CMOS à l'IPHC a proposé d'utiliser le capteur CMOS (MAPS : Monolithique Active Pixel Sensors) pour le futur détecteur de vertex (ILC)**
 - De nombreuses autres applications des MAPS ont émergé depuis
 - ~10-15 groupes HEP (USA & Europe) travaillent actuellement sur MAPS R&D
- **Aspect spécifique : intégration d'une couche sensible (P Epitaxie) et de l'électronique de lecture sur le même substrat**
 - Matrice de Nwell, Nwell/PEPI → diode, polarisé inverse
 - Création de charges dans l'EPI, électrons propagées thermiquement, collecté par N_{WELL}/P_{EPI} , avec l'aide de la réflexion sur la limite du P-well et du substrat (fortement dopé)
 - $Q = 80 e^-h / \mu m \rightarrow \text{signal} < 1000 e^-$
 - Compact, flexible
 - Épaisseur de la couche EPI ~10–15 μm
 - Épaisseur total ~30–40 μm permis
 - Technologie de fabrication CMOS standard
 - Peu coûteux, rapide, accessible à la communauté scientifique
 - Peut fonctionner à la température ambiante



- **Meilleur compromis entre la granularité, le coût, la tolérance aux radiations, la vitesse de lecture et la dissipation de puissance**
- **Double compétences : physique solide + conception microélectronique**

MAPS: R&D de long terme

- Objectif final: l'ILC (>2020) → réaliser par paliers de performances successifs
 - Appliquer par étapes à d'autres grandes expériences à la frontière (R&D ~100 instituts)

EUDET 2007/2009 Télescope de faisceaux



- **Projet FP6 EUDET (DESY-Hamburg, Allemagne)**
 - Surface **6 x 2 cm²**
 - Vitesse lecture **A 20 MHz → D 100 MHz**
 - Temp. & Puissance: **Pas de contraintes**

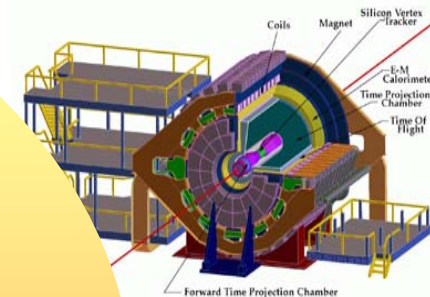
- **Expérience STAR (RHIC – Brookhaven, USA)**
 - Surface **~1600 cm²**
 - Vitesse lecture **A 50 MHz → D 250 MHz**
 - Temp. & Puissance **30°C - 100mW/cm²**

- **Expérience CBM (GSI – Darmstadt, Allemagne)**
 - Surface **~500-1000 cm²**
 - Vitesse lecture **D, 15 x 10⁹ pixels/capteur/s**
 - Rad Tol **1 MRad, > 10¹³ N_{eq}/cm²**

- **Expérience à l'ILC**
 - 5-6 couches de détection **~3000 cm²**
 - Vitesse lecture **D, 15 x 10⁹ pixels/capteur/s**
 - T. & P & **30°C - 100mW/cm²**
 - Rad Tol **~300 kRad, ~10¹³ N_{eq}/cm²**

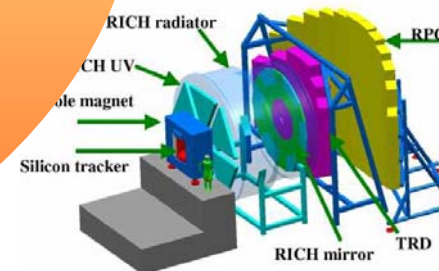
- **Depuis oct. 2009: pré-étude pour upgrade d'ALICE**

STAR 2010 Solenoidal Tracker at RHIC



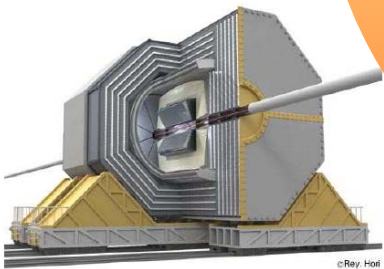
Financement des 1ers R&D

CBM 2012 Compressed Baryonic Matter



Financement des R&D suivantes

ILC > 2012-2013 International Linear Collider

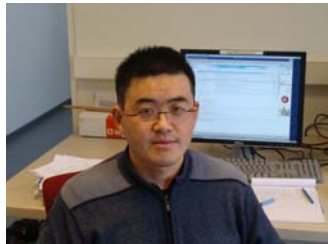


→ Retombées: Applications interdisciplinaires, le biomédical, ...

- **Partenariats GIS IN2P3/Photonis et GIS IN2P3/SAGEM**

R&D en microélectronique pour MAPS

- *Optimisation de collection de charge, signal sur bruit*
- *Lecture très rapide, faible bruit, faible dissipation de puissance,*
- *Architecture de traitement du signal hautement intégrée et peu sensible aux radiations*



Min Fu

① Optimisation de pixel

Simulation de la collection des charges déposées dans le silicium (device simulation)

② Architecture d'une matrice de pixels organisés en colonnes lues en //:

- Pre-amp et CDS (Correlated Double Sampling) intégrés dans chaque pixel

③ 4-5 bits ADCs ($\sim 10^3$ A)

- Collaboration avec LPC
- Amélioration de la résolution capteur ($< 3 \mu\text{m}$)



Liang Zhang

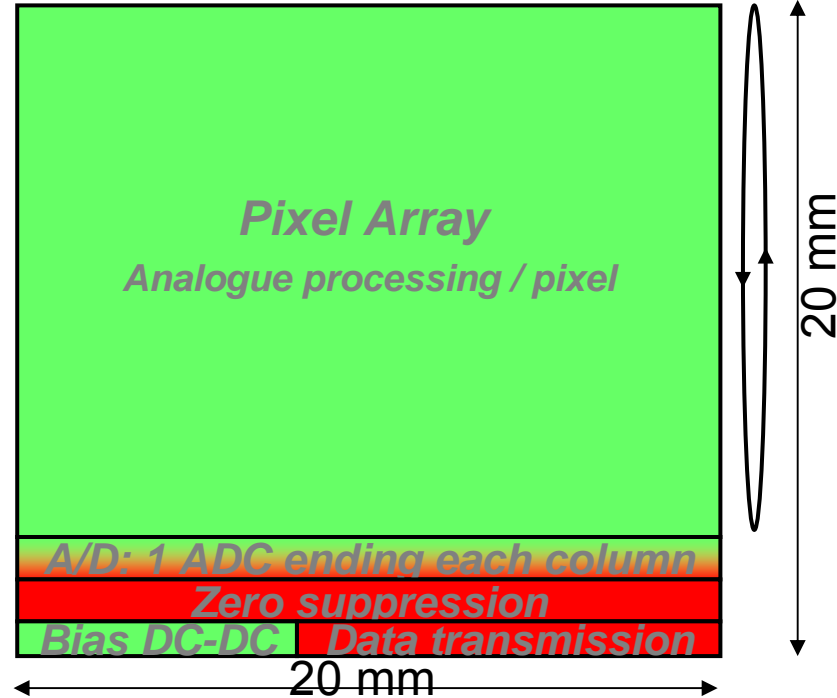
④ logique de suppression de zéro :

- Réduction des données brutes des MAPS
- Compression de données d'un facteur compris entre 10 et 1000, fonction de la densité d'évènement par trame

⑤ liaison série avec une horloge recouvrante



Xiaomin Wei

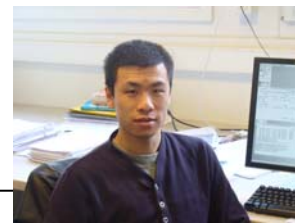


⑥ Régulateur de tension & convertisseur DC-DC



Jia Wang

3DIT CMOS MAPS



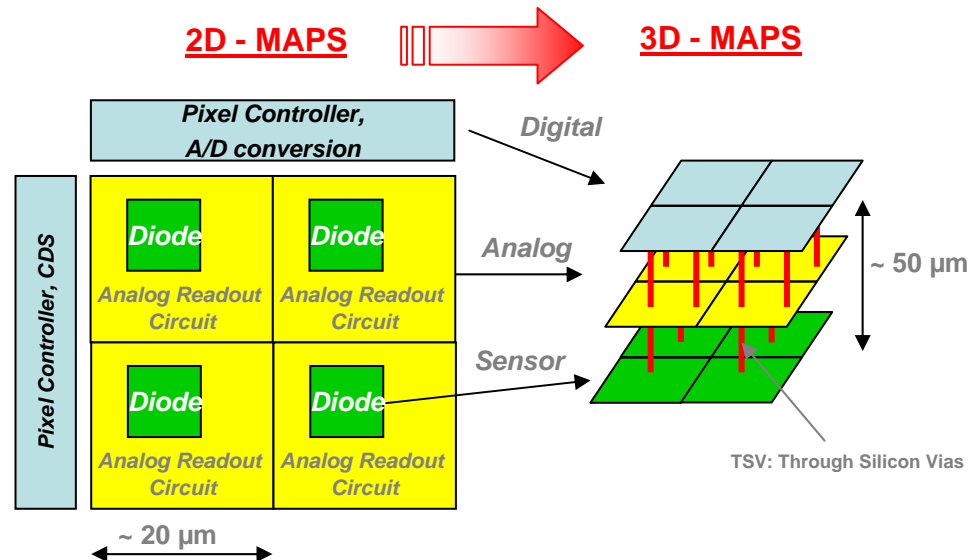
Yunan Fu



Olav Torheim

- **Avantages de la 3DIT pour le capteur CMOS :**
 - Combinaison de différents procédés de fabrication
 - Affranchissement de la plupart des limitations de 2D MAPS
- **Séparation des domaines de fonctionnalités, utilisant le potentiel maximum de la technologie pour chaque couche :**
 - Couche -1: système de collecte de charges
 - Couche -2: partie analogique
 - Couche -3: partie mixte

- **Développement avec la technologie Chartered - Tezzaron :**
 - 130 nm, 3D CMOS MAPS adapté aux couches internes du détecteur vertex de ILC avec un pitch de 12 μm .
 - 3 D consortium: collaboration avec
 - FermiLab
 - INFN
 - IN2P3-IRFU
 - Univ. of Bonn
 - CMP



Conception de nouveaux circuits intégrés pour un dosimètre à neutrons — AlphaRad 2



Ying Zhang

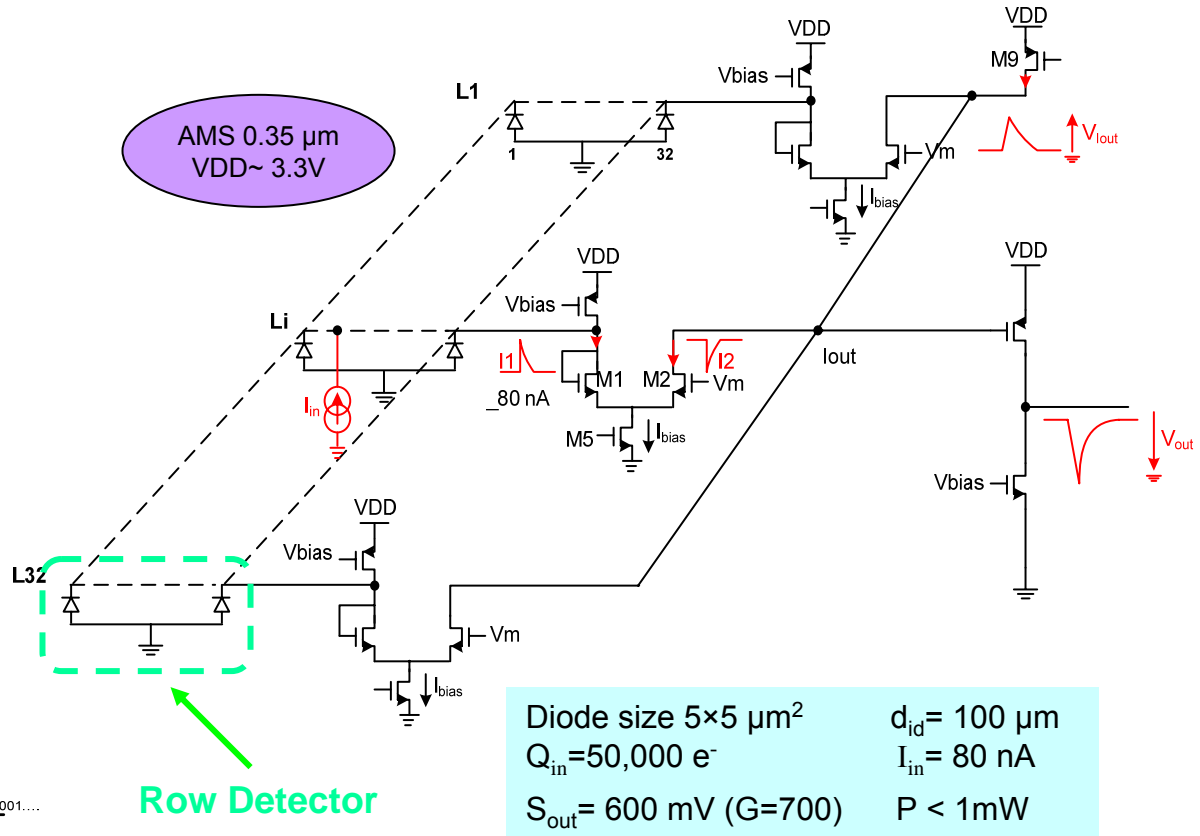
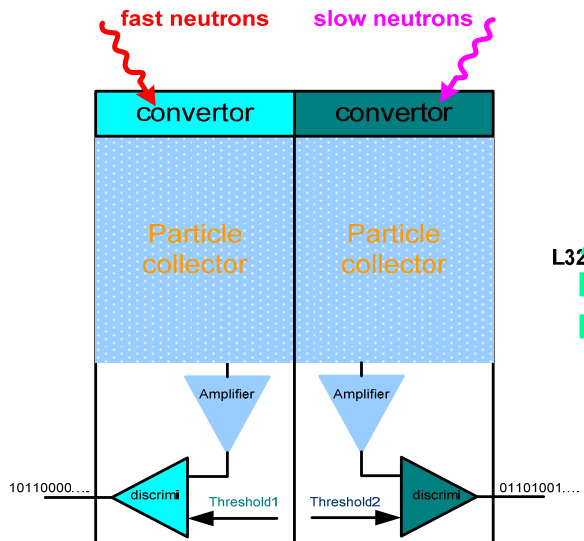
Propriétés du Dosimètre Electronique Personnel

- Haute sensibilité
- Temps réel
- Haute flexibilité
- Faible consommation
- Économique

Application pour neutrons

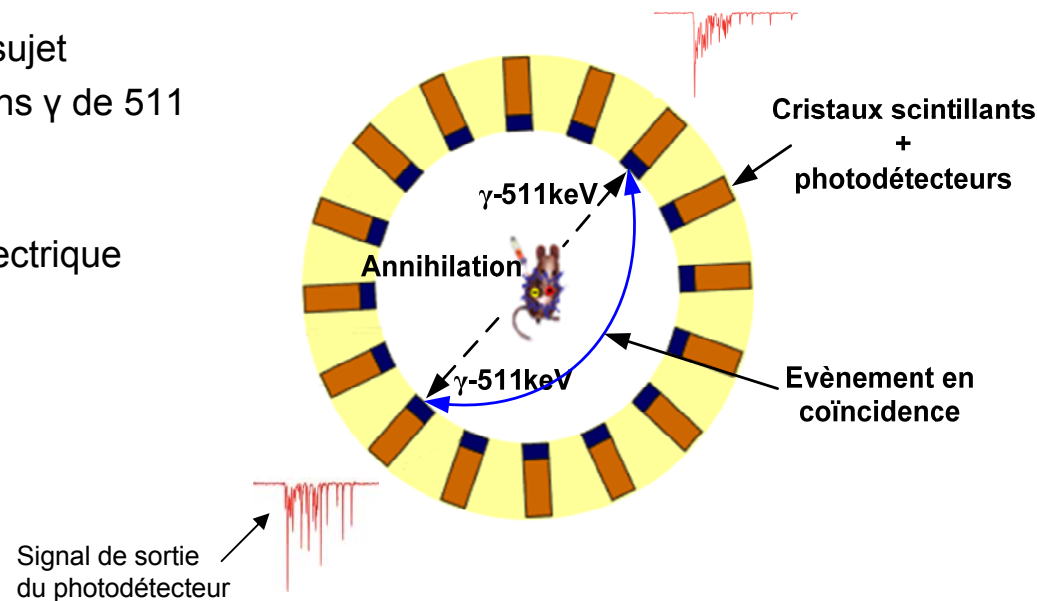
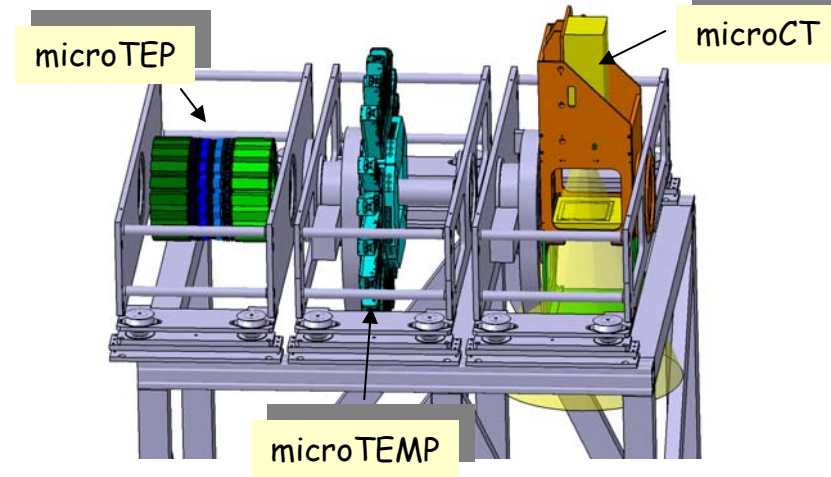
- Rapide : 1-10 MeV; (n,p)
Q~ 50 000 e⁻
- Lent: 1meV-100keV; (n,α)
Q~ 400 000 e⁻

Current mode (no RST- no deadtime)

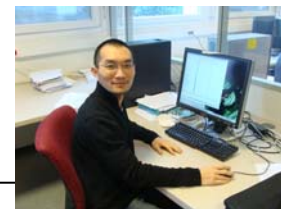


μE pour ImaBio

- Projet associé :
TEP (partie d'une plateforme d'imagerie multimodale associant trois modalités TEP, TEMP et TDM).
- Membres
 - Xiaochao FANG (3^{ème} année)
 - Wu GAO (3^{ème} année)
- TEP (Tomographie à Emission de Positons) : technique d'imagerie médicale fonctionnelle *in vivo* 3D
- Principe physique TEP :
 - Injection d'un traceur radioactif dans le sujet
 - Positron/électron \rightarrow annihilation \rightarrow 2 photons γ de 511 keV
 - Photons γ /détecteur \rightarrow photons optiques
 - Photons optiques \rightarrow électrons \rightarrow signal électrique
- Reconstruction des images TEP
 - Mesure énergie
 - Mesure temps d'arrivée des photons
 - Coïncidences recherchées



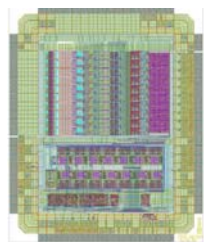
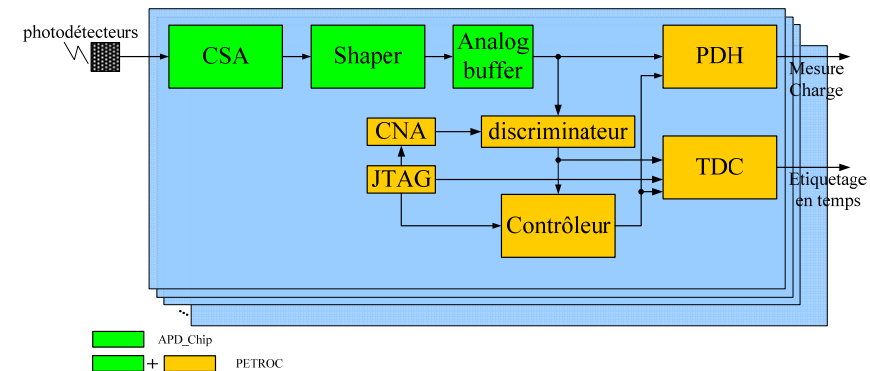
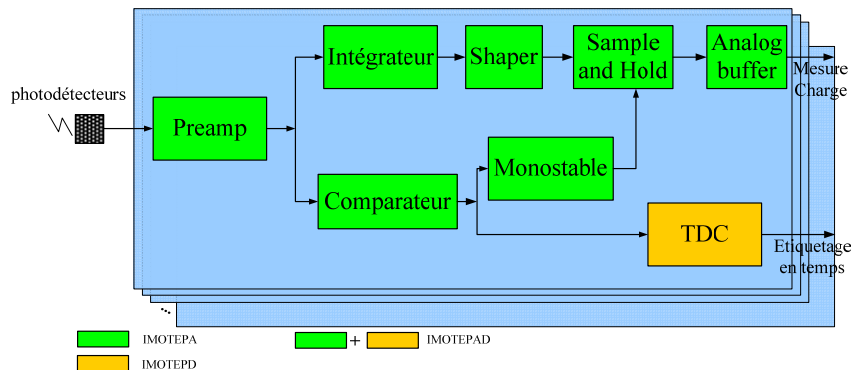
Chaîne de lecture dédiée au TEP



Xiaocho Fang

| Caractéristiques | IMOTEPA | ADP_Chip |
|-------------------------|------------------------|--------------------|
| « Peaking Time » | 280 ns | 190 ns |
| Non Linéarité Intégrale | < 2 % | < 1 % |
| Bruit ENC | 142 857 e ⁻ | 380 e ⁻ |
| Diaphonie | < 0,2 % | < 0,2 % |
| Impédance d'entrée | 180 Ω | 250 Ω |

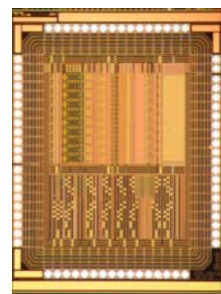
| Caractéristiques | IMOTEPD | PETROC (TDC) |
|------------------|-----------|--------------|
| Résolution | 625 ps | 20 ps |
| « Jitter » | 35 ps RMS | — |
| DNL (LSB) | ± 0,35 | — |



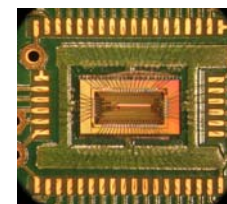
IMOTEPA



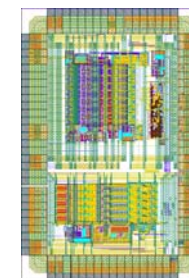
IMOTEPD



IMOTEPAD

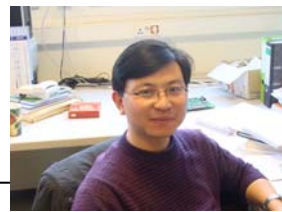


APD_Chip

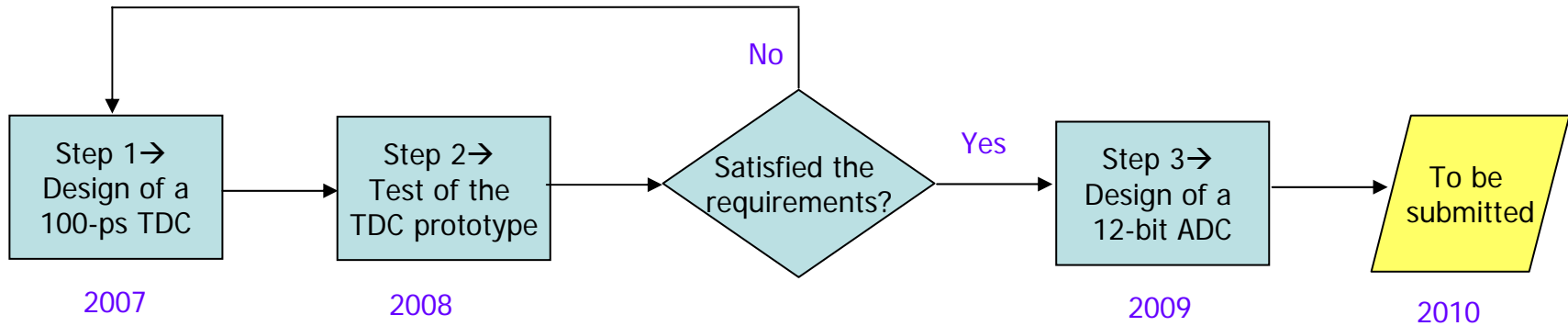


PETROC

Développements d'un TDC et d'un ADC pour des applications d'Imagerie Biomédical

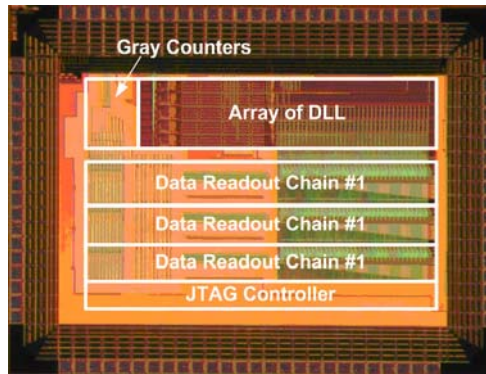


Wu Gao

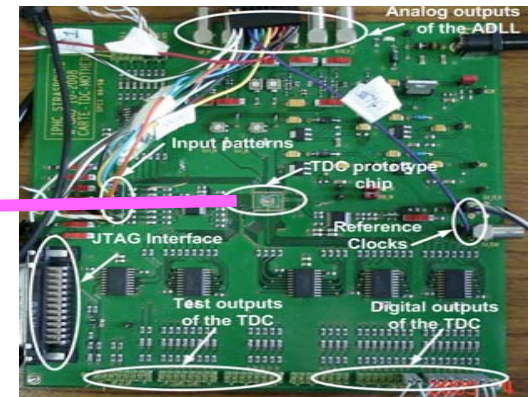


| | |
|-------------------|------------------------------------|
| Architecture | Counter + Array of DLLs |
| Process | CMOS 0.35 μm |
| Resolution (min.) | 71 ps |
| Dynamic Range | 10 μs |
| Reference Clock | 100 MHz |
| Nonlinearity | DNL < 0.63 LSB ; INL < 0.58 LSB |
| Power dissipation | static = 23 mW dynamic = 106 mW |
| Die size | 3.6 mm \times 2.8 mm |

(a) Three-channel prototype of TDC



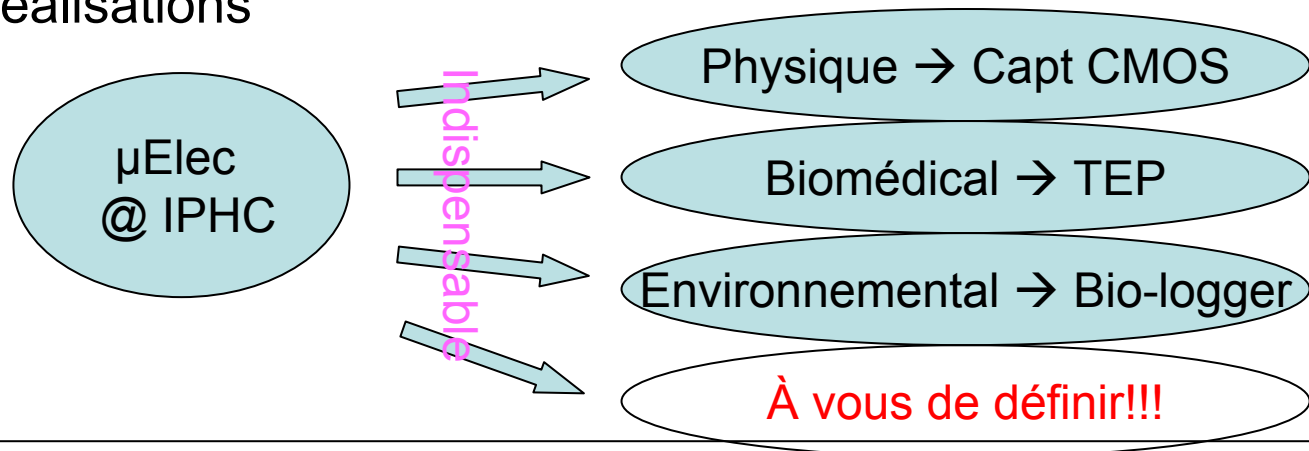
(b) Three-channel prototype of TDC



(c) Test Board of High-Resolution TDC

Conclusion

- Les recherches menées dans les différents domaines de compétence de l'IPHC imposent des cahiers charges sur les instruments développés
 - Mesure massivement parallèle
 - Electronique proche des détecteurs
 - Vitesse, puissance, résolution
 - Assemblage, coûts de fabrication
- La microélectronique devient une solution technique incontournable pour mener ces réalisations



Merci de votre attention