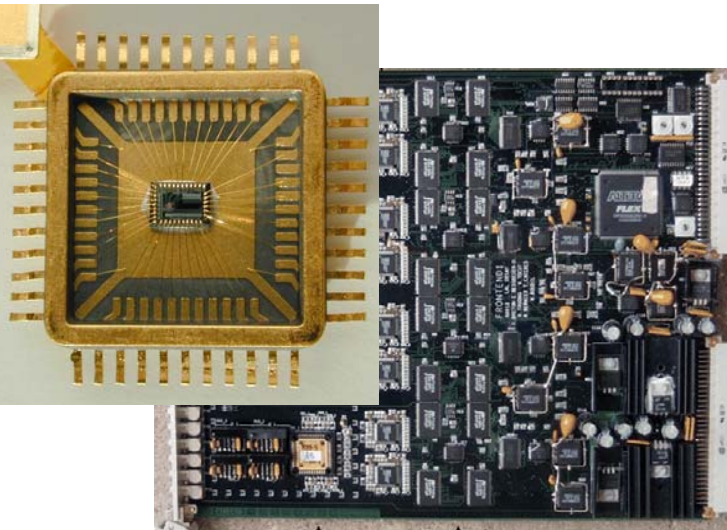




50 ANS D'ELECTRONIQUE AU LAL

Des paillasses de l' E.N.S aux grandes collaborations,
Du "tube" aux circuits intégrés.

- 1) L'électronique au LAL en 1958
- 2) Evolutions ou ruptures technologiques
- 3) Une révolution culturelle :
de la maquette au virtuel !
- 4) De nouvelles contraintes de conception
- 5) Un nouvel environnement de travail
- 6) Et demain ?



Le LAL a eu aussi d'autres activités électroniques spécifique hyper et de puissance : elles ne seront pas évoquées ici ...

1) Les débuts de l'électronique au L.A.L : 1957 / 58

- **Continuité d'un environnement de travail : de l'E.N.S au LAL naissant**
 - 1956 : activité manuelle de l'électronicien = une part très forte
 - Une implication importante de la mécanique dans les montages
 - Très peu de câbleurs : car prêtés par l'industrie ...
 - => Ingénieurs et techniciens câblent !
 - **Des stages pour tout arrivant : de l'usinage à la soudure et la peinture !**
- **1958... : "tubes", gros fers à souder ... et règle à calcul !**
- **Pas de circuit imprimé : des "montages 3D" !**



Les débuts de l'électronique au L.A.L ...

Mesure et instruments des années 50's ...

Pour la nostalgie de certains !



Musée S.E. LAL

Les débuts de l'électronique au L.A.L ...

- Le S.E : de la nécessité de développer une instrumentation spécifique
- Electroniciens au "Service Electronique" (*G. Alon*), mais au groupe "radio protection" aussi (*Gr. Dardenne*)

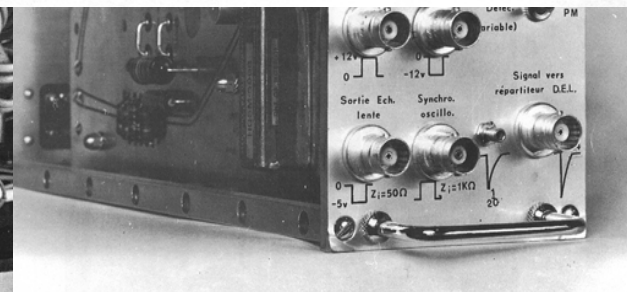
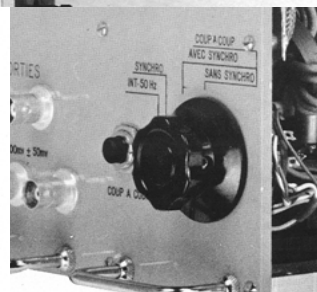
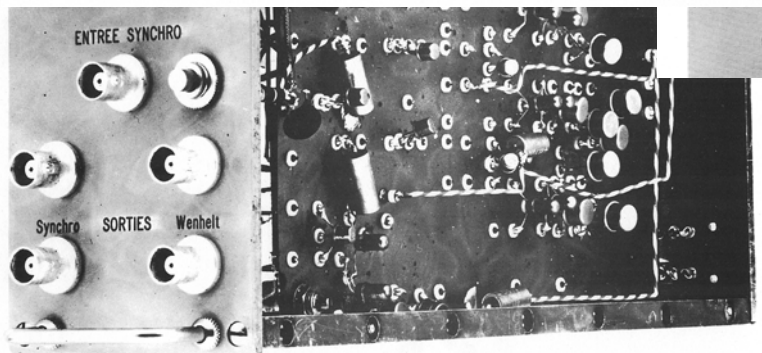
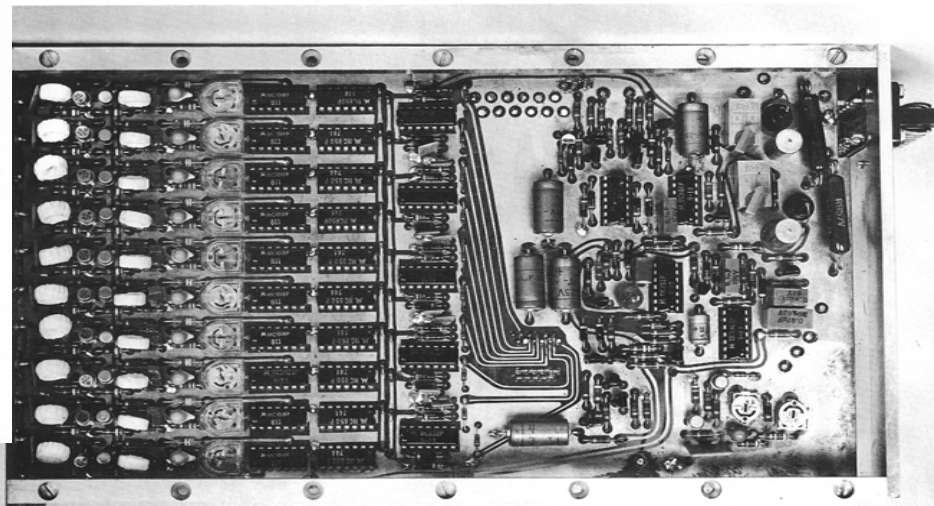
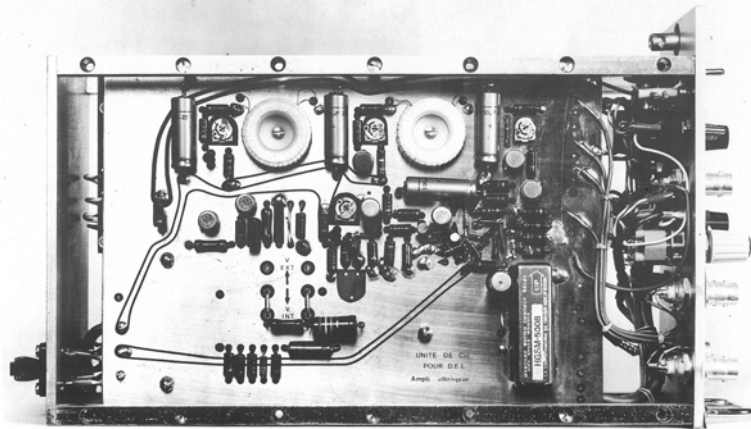
Exemples, fin des années 50

- Détections de rayonnement, électrométrie ...
- Echelles de comptage 100 kHz : passer à 1 Mhz ...! Avec des tubes.
Affichages à tubes "Trochotron", puis tubes "Nixie" ...
- Générateurs d'étalonnage ...
- Amplificateurs spécifiques ... etc. Ex :
- *Mémoire CNAM / LAL 1960 : "Amplificateur à condensateur vibrant mécanique utilisé dans un intégrateur de courant"*

Les débuts de l'électronique au L.A.L ...

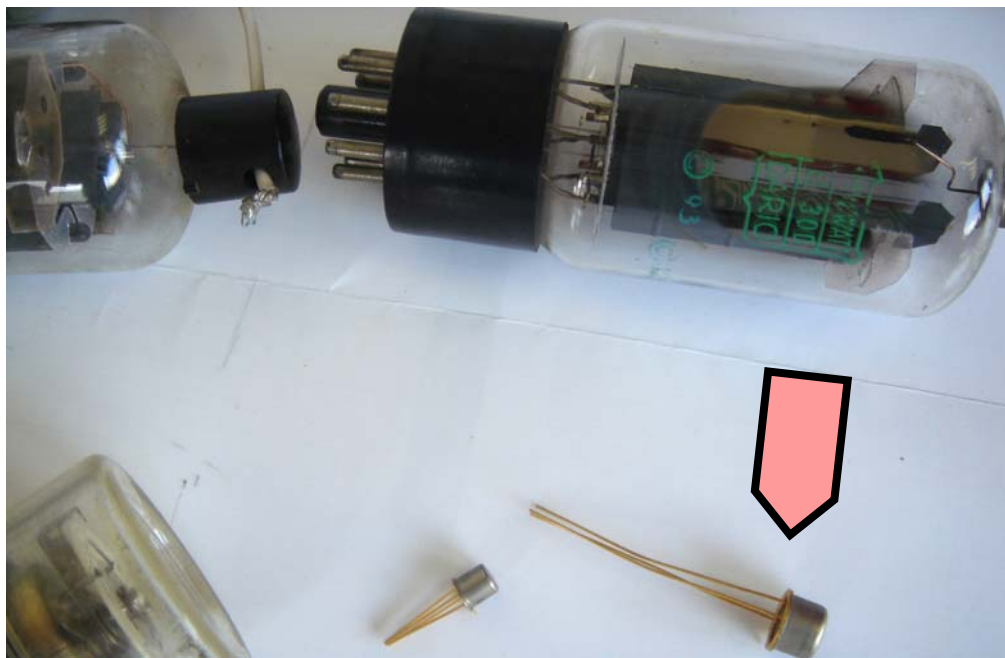
La décennie 1960 ... de très nombreuses réalisations

- Instrumentation : excellents travaux (**R. Bosshard**, MM. Rausch ... & Amsel)



2) Evolutions ou ruptures technologiques

■ Du tube électronique au transistor



De quelques centaines de V à quelques volts

La voie vers une électronique intégrée ...

Lampemètre

Evolutions ou ruptures technologiques ...

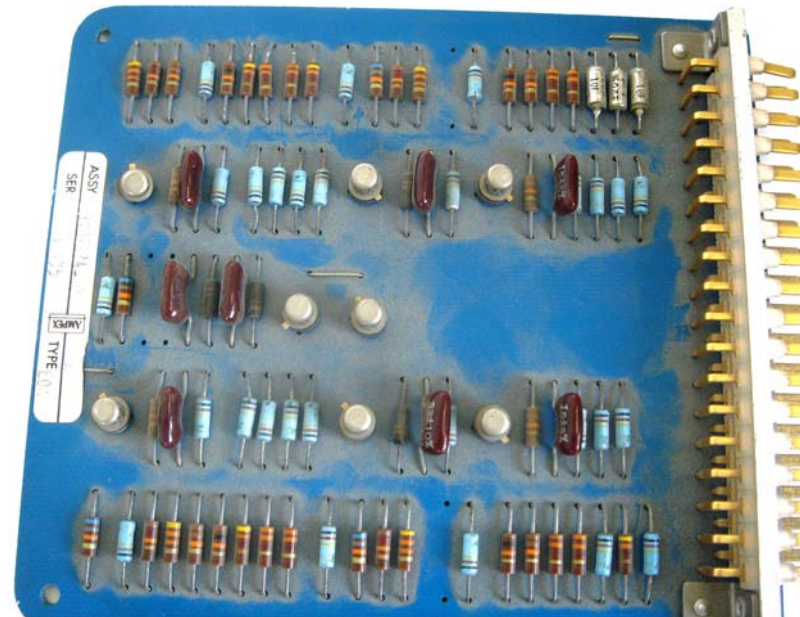
- De la porte logique aux circuits numériques haute densité ... : les premiers circuits (60's)!



⇒ Mémoire 1 Kb. ⇒

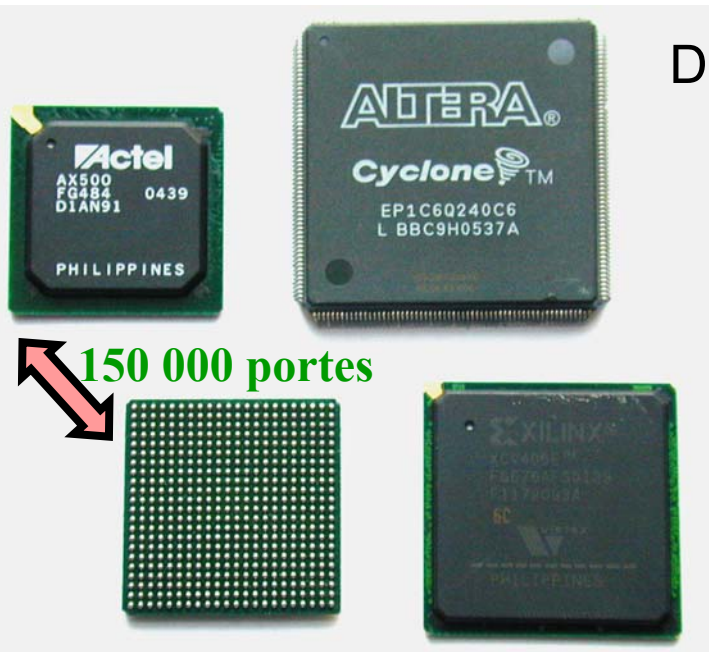


⇐ Double "bistable" ⇐

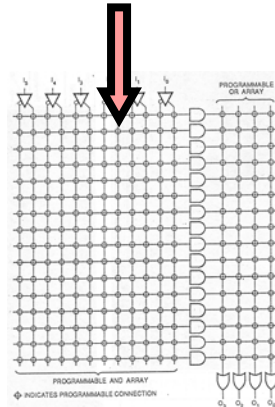


Evolutions ou ruptures technologiques ...

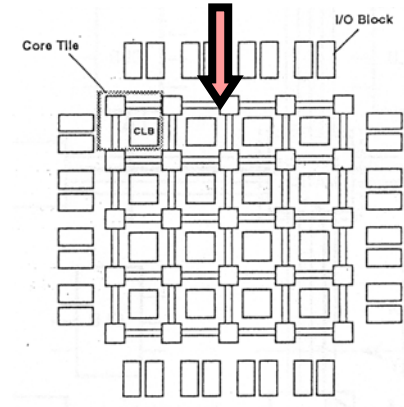
■ Des "PAL" (90's) ... aux "FPGA" (2000's)



Des réseaux de portes ...aux réseaux de blocs

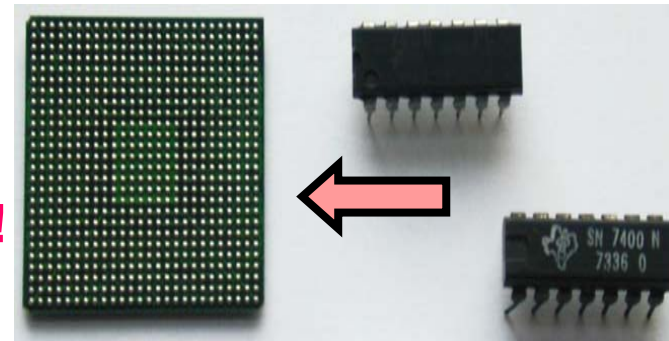


~500 portes



architectures complexes

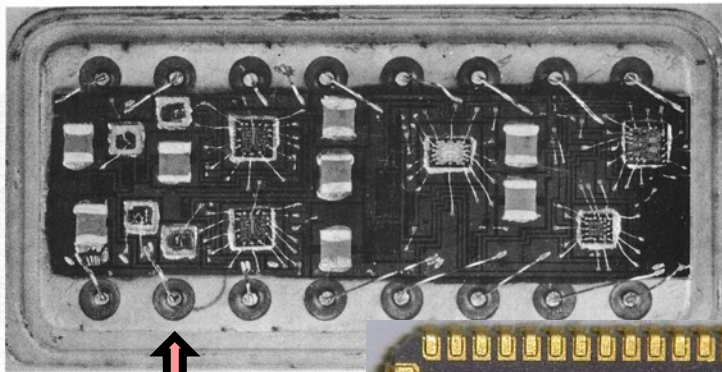
Par circuit : de quelques portes ... au million !



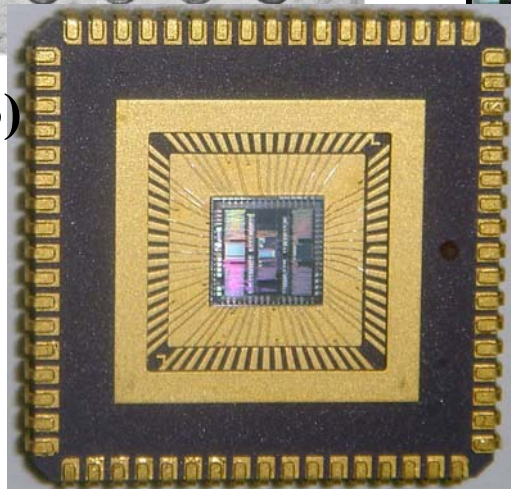
Evolutions ou ruptures technologiques ...

- Du circuit composite - dit "hybride"- (70's)
aux circuits intégrés ...

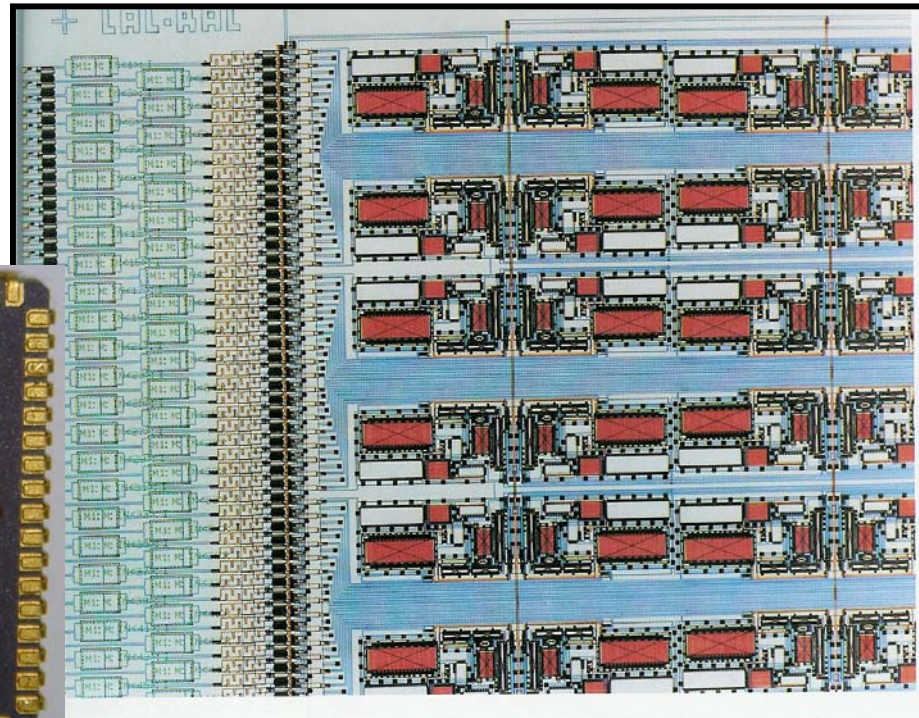
1er circuit ! Collab. LAL / RAL
DELPHI, 1989, *128 voies*



DM1 (Sintra 1973)
2 voies




NEMO 1993



Evolutions ou ruptures technologiques ...

■ Les circuits intégrés ... l'une des vitrines du LAL

La microélectronique au LAL



Afin de permettre le développement de détecteurs toujours plus performants, le service électronique du LAL s'est engagé dès 1989 dans une voie novatrice : la microélectronique. Forte d'une longue expérience, l'équipe d'une dizaine de concepteurs a depuis acquis une expertise internationale reconnue dans le domaine des circuits intégrés (ASIC) analogiques et mixtes pour les détecteurs de physique, la R&D et vers la valorisation.
Expertise : circuits rapides, très bas-bruit, faible consommation, large gamme dynamique. Trois exemples sont décrits ci-dessous, parmi les nombreuses réalisations faites par le service électronique.

PIPELINE V3 : cœur d'un oscilloscope numérique portable

Intègre :

- un échantillonneur ultra-rapide qui stocke le signal mesuré dans une mémoire analogique
- la gestion du système de déclenchement de l'appareil.

PERFORMANCES :

- Fréquence d'échantillonnage : jusqu'à 20Ghz
- Bande Passante = 300 MHz.
- Profondeur 2566 points.
- Excellent rapport Signal/Bruit (> 12 bits).

PULSER : un générateur d'impulsions de précision pour la calibration du calorimètre LAr d'ATLAS

Intègre :

- un générateur de courant grande gamme dynamique via un ampli très bas offset.
- un switch haute fréquence

PERFORMANCES :

- Gamme dynamique de sortie : 100 μ V - 5V (16 bits)
- Temps de montée < 2ns
- Offset < 16 μ V, stable avec la température (1 μ W)
- Résistance aux radiations : 100kRad - 10⁷ N/cm²
- Non linéarité < 0.1%
- Non uniformité entre voies < 0.25%

FLCPHY2 : circuit de lecture du calorimètre W-SI du futur collisionneur linéaire

Intègre 18 canaux avec :

- Pré-amplificateur de charge multigain
- Shaper bi-gain - 1p (5-100%)=16bits
- Échantillonneur-bloqueur
- Multiplexeur de sortie 5 Mhz

PERFORMANCES :

- 13 bits de dynamique sur 1 gain
- 15 bits en combineur gain 1 & gain 10
- Détection de charges de 0.5fC à 9pC
- Diaphonie < 2%
- Non linéarité < 0.2%

Près de 220 000 circuits produits pour 8 expériences par le service électronique

ANALOG MULTIPLEXER pour ALPH	20mm ² en MITTEC CMOS 2.4 μ m - 15 000 pièces
TRIPLE X pour DELPHI	34 mm ² en AMS CMOS 1.2 μ m - 1 000 pièces
BABAR-SHAPER pour BABAR	14 mm ² en AMS CMOS 1.2 μ m - 2 400 pièces
ANEMOMY pour NEMO	0.7 mm ² en AMS CMOS 1.2 μ m - 2 200 pièces
NEMO3 pour NEMO	33 mm ² en ES2 CMOS 1 μ m - 3 000 pièces
SHAPER pour ATLAS	19 mm ² en AMS BiCMOS 1.2 μ m - 70 000 pièces
PIESER pour ATLAS	3 mm ² en DMILL - 34 000 pièces
HAMAC pour ATLAS	30 mm ² en DMILL - 84 000 pièces
LHC-SHAPER pour LHCb	4mm ² en AMS BiCMOS 0.8 μ m - 3 200 pièces
OPERA-RAD pour OPERA	10 mm ² en AMS BiCMOS 0.8 μ m - 3 600 pièces
PIPELINE-V3	90mm ² en AMS CMOS 0.8 μ m en production industrielle
FLCPHY2 pour FLC	5 mm ² en AMS BiCMOS 0.8 μ m - 800 pièces

Activité VLSI "Full custom", **A. Hrisoho**, démarrage en 1988.

En 2006 :

bien plus de 200 000 circuits installés,

De nombreuses études en cours,

Des responsabilités au niveau IN2P3 ...

Evolutions ou ruptures technologiques ...

Du composant au "système" ...

Nombre croissant de voies

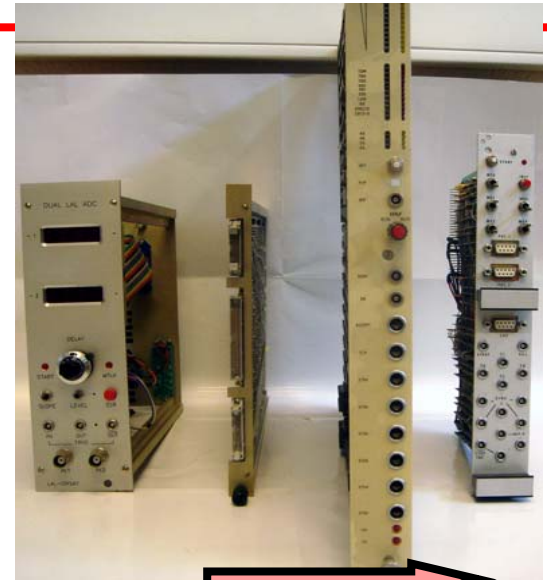
(>> du matériel industriel si possible)

Flux d'acquisition croissants

Et collaborations,

imposent ... **des standards !**

Au-delà de NIM : **Camac** (70's), **VME** ...
(le "Fastbus", Cern 90's)



Tiroirs NIM, Camac, FastBus, VME



*Chassis et bus Camac*¹²

Evolutions ou ruptures technologiques ...

■ Du composant au "système" ...

Nombre croissant de voies

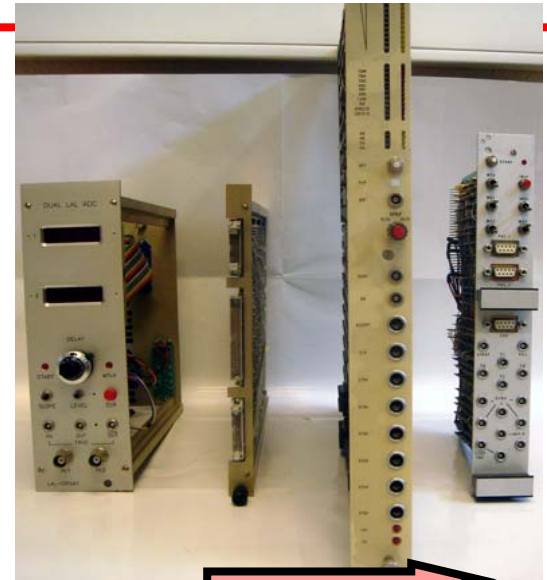
(>> du matériel industriel si possible)

Flux d'acquisition croissants

Et collaborations,

imposent ... **des standards !**

Au-delà de NIM : **Camac** (70's), **VME** ...
(le "Fastbus", HEP & Cern 90's)

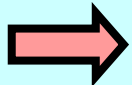


Tiroirs NIM, Camac, FastBus, VME

Du "système" ... dans le composant !

Carte Camac ~ 300 à 500 portes

Carte Fastbus ~ 2 000 à 4000 portes



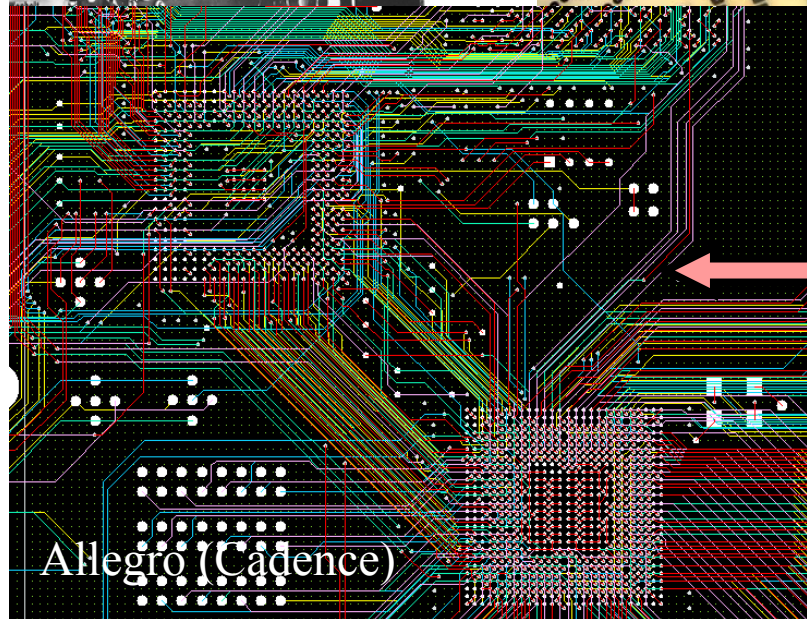
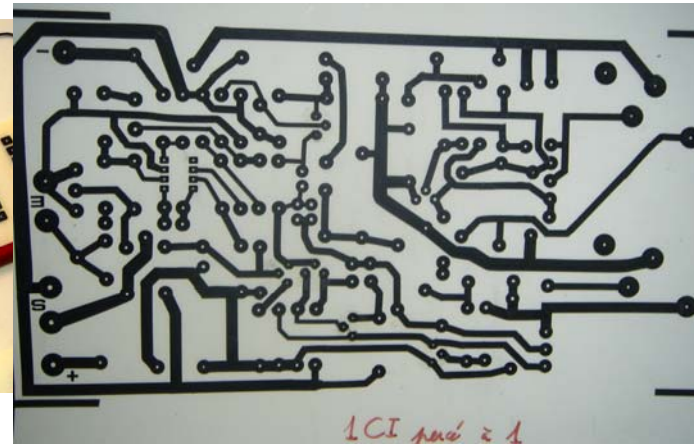
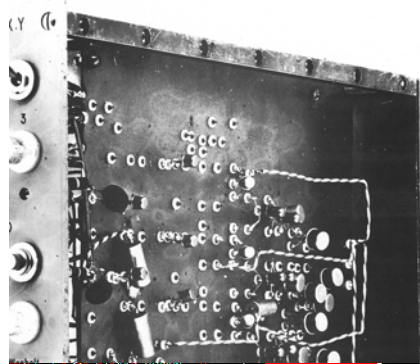
Pour partie dans un FPGA ... !



Chassis et bus Camac¹³

Evolutions ou ruptures technologiques ...

■ Du "câblage 3 D" aux circuits imprimés



Vers 64 ... le 1er circuit simple couche

2006 : 14 couches, 3.000 composants, pistes de 120μ , $\gg 10.000$ connexions, des composants de 500 broches ... !

2010 's : vers 50μ , 20 couches
=> traversées ("vias") enterrées

Allegro (Cadence)

Evolutions ou ruptures technologiques ...

■ De la puissance de calcul des processeurs (70's) ...

Traitement des données, décision ("trigger") :

Avant: *structures* ad-hoc d'additionneurs, multiplicateurs

Après : *1 seul circuit*, séquence = programmation !

8080, Z80, 6800... > 68000..., AMD2900 (tranches) →

les DSP ... (processeurs de signal)



Une révolution dans la conception de l'électronique numérique

Evolutions ou ruptures technologiques ...

■ De la puissance de calcul des processeurs (70's) ...

Traitement des données, décision ("trigger") :

Avant: *structures ad-hoc d'additionneurs, multiplicateurs*

Après : *1 seul circuit, séquence = programmation !*

8080, Z80, 6800... > 68000..., AMD2900 (tranches)

les DSP ... (processeurs de signal) →



Une révolution dans la conception de l'électronique numérique

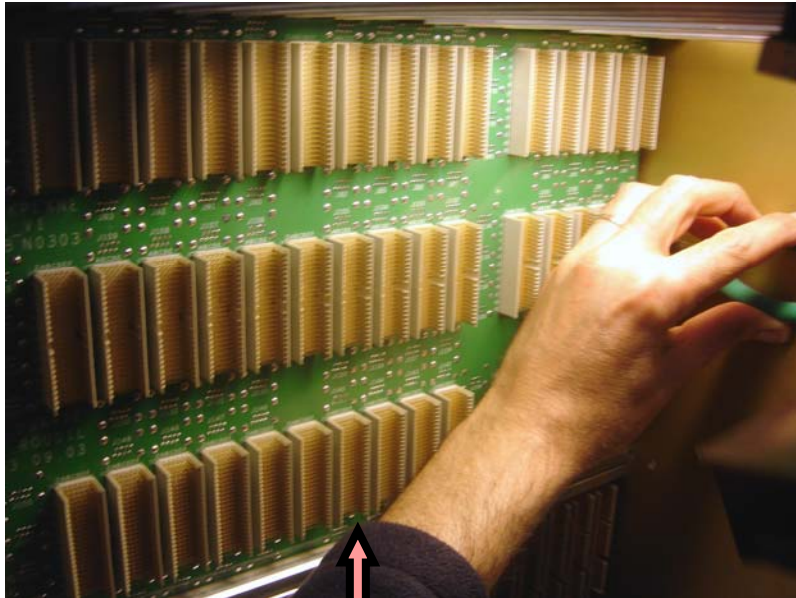
■ ... aux nouveaux outils informatiques (80's)

- CAO (LAL : Secmai en 85) : console "Tektronix 4115" (Vax 785)
 - IAO (LAL : Valid en 87) : stations DEC "GPX BA123" ...(1 Mips)
- Des outils de 150 à 200 kF l'unité en 1987 !

Matériel informatique : une démocratisation du poste ! (S.E. ~40 en 2006)

Evolutions ou ruptures technologiques ...

■ Les interconnexions ... une part essentielle

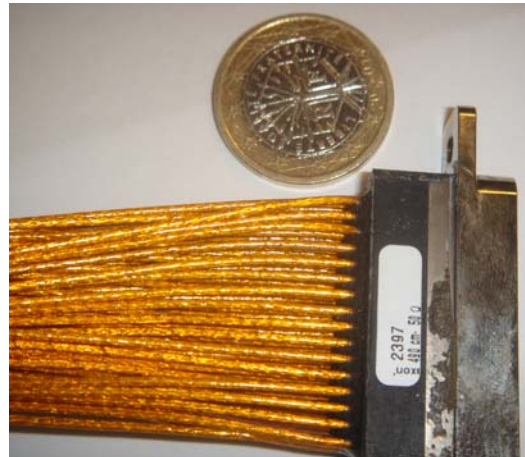
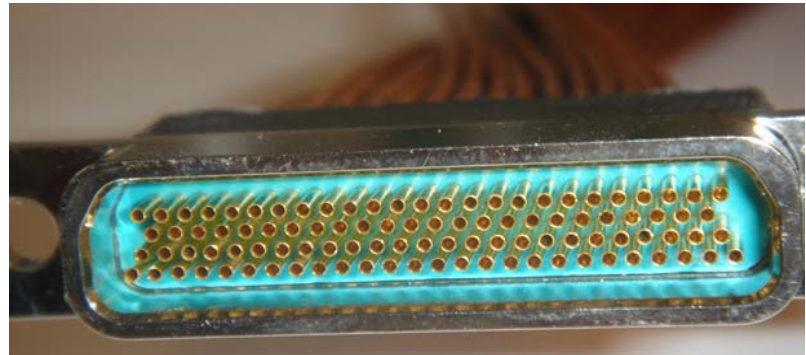


Complexité, hauts débits

(2006 : 200 Gbits/s par panier !!)

Nécessité d'un simulateur
spécifique des signaux de bus

Cinquantenaire LAL



Nécessité de
développements
spécifiques.

(Ex: AXON, Atlas
64 coaxiaux x 640
harnais)

3) Une révolution culturelle : de la maquette au virtuel ...

- 1980's : apparition de la simulation

Accès impossible aux "nœuds" internes pour la sonde d'oscilloscope
de la PAL, au FPGA & au VLSI (*cartes 2010's: traversées enterrées*)

Et des **signaux/mécanismes complexes** doivent être analysés ...

VLSI, cycle itératif de 4 mois + **coût** => correction des erreurs : cruciale

2000's

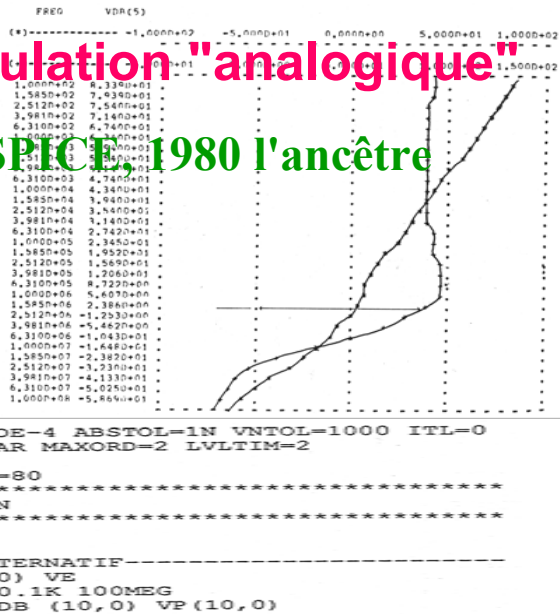
Une révolution culturelle : de la maquette au virtuel ...

■ 1980's : apparition de la simulation

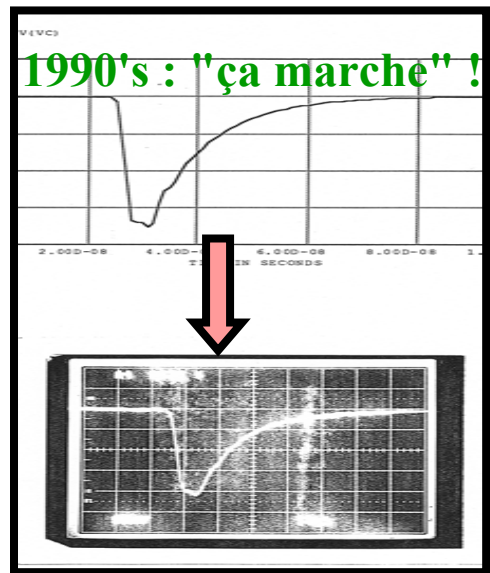
Accès impossible aux "nœuds" internes pour la sonde d'oscilloscope de la PAL, au FPGA & au VLSI (*cartes 2010's: traversées enterrées*)
Et des signaux/mécanismes complexes doivent être analysés ...
VLSI, cycle itératif de 4 mois + coût => correction des erreurs cruciales

Simulation "analogique"

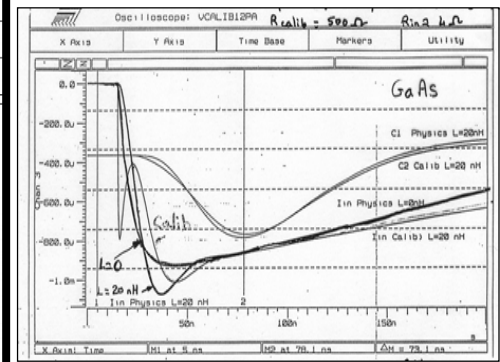
SPICE, 1980 l'ancêtre



1990's : "ça marche" !



2000's



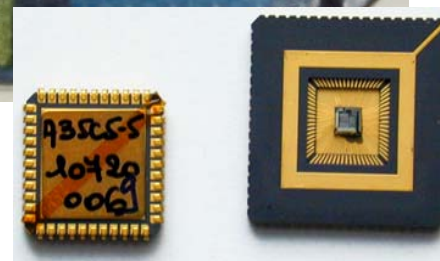
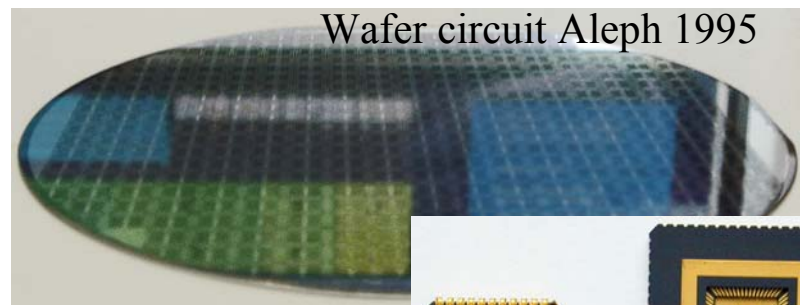
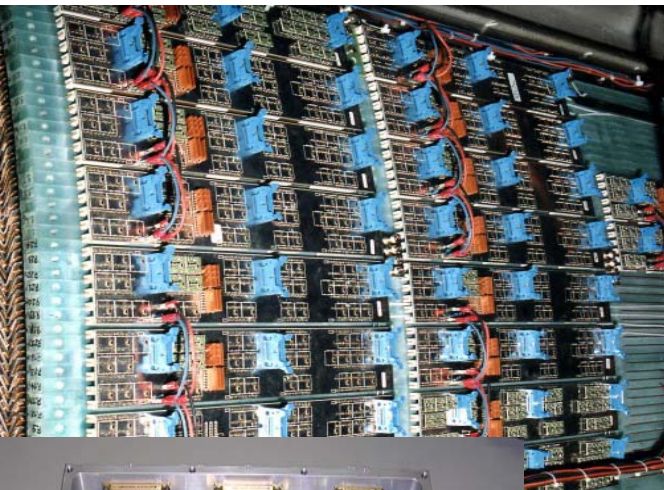
Une révolution culturelle : de la maquette au virtuel

■ Conception VLSI : un exemple d'écran (2000's)



4) De nouvelles contraintes de conception

■ Fiabilité, management de projet ...



" LA QUALITE " !



Planck, DPU 2005

Cinquantenaire LAL

Exigences du spatial (Planck : ordinateur embarqué)

Inaccessibilité => Fiabilité : spatial et électronique
des grands détecteurs ont les mêmes contraintes

Même durcissement aux radiations (2000's) ... !



5) Un nouvel environnement de travail

■ En 50 ans : une réelle mutation du métier !

- Une évolution galopante des technologies.

Tout évolue très (trop ?) vite : composants, outils ...

Processeurs : du 8080 aux DSP ...

Technologies VLSI : **1,2 μ (1989)**, 1 μ , 0,8 μ , **0.35 μ (LAL : 2006)**

Logiciels : de plus en plus sophistiqués & complexes ...

Propriété de multinationales : accès difficile, coûts ...

Mais le S.E via l'IN2P3 (synergie) a su s'organiser : rôle moteur !

- **Une spécialisation croissante.** Par ex :

- Des techniciens spécialisés pour la CAO de cartes

- FPGA, VLSI full-custom ... pour des métiers différents aussi

(Et oubliée - 1958 - la participation de l'ingénieur dans l'atelier !!)

Un nouvel environnement de travail ...

■ 50 ans : Du labo de l'ENS aux grandes collaborations ...

Une des plus grandes mutations du Service Electronique!

Etudes pour le CERN : (fin 60's), DESY ...

- Des contraintes locales à la mise en **compétition internationale** ...
Des "revues" de collaboration ...aux procédures de qualité imposées.
- Un partage (une fragmentation ?) du travail ...

(Jusqu'aux dossiers européens pour le financement d'étude - 2006 - !)

■ La nécessité de maintenir des liens forts avec l'industrie

- Production de grandes quantités :

1973 : **12.000** voies, "DM1" (*Charpak= MWPC, 1^{er} "gros détecteur" au LAL*)

1990's : **100.000** voies, 2000's : **le million !**

=> **Sous-traitance** & part de ce "suivi" de production dans le métier.

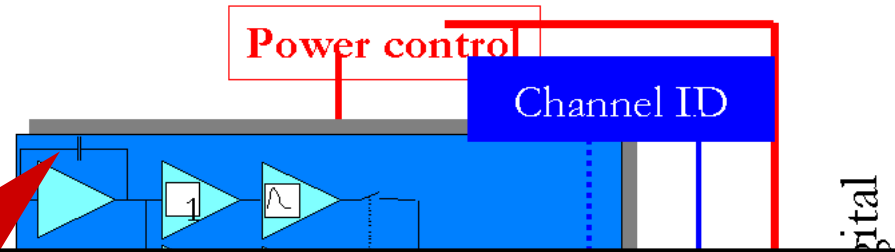
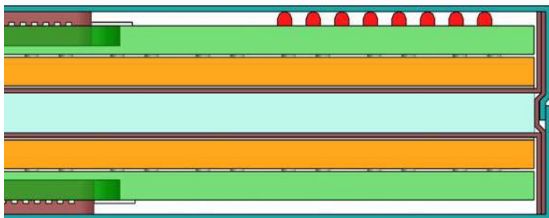
- Développements spécifiques ...

6) Et demain ?

CALICE = W-Si Calorimeter

- Precision measurements : $\sim 10\%/ \sqrt{E}$
 - good linearity (% level)
 - Good inter-calibration (% level)
 - Low crosstalk (% level)
- Large dynamic range (15 bits)
 - $0.1 \text{ MIP} \sim 2.500 \text{ MIPs}$
- Auto-trigger on MIP
 - Low noise $\ll \text{MIP} = 40.000 \text{ e-}$
- Hermeticity : no room for electronics !
 - High level of integration (SOC)
 - **Ultra-low power : ($\ll \text{mW/ch}$)**
- 30 Mchannels

« Tracker electronics with calorimetric performance »



Ultra-low
POWER
is the
KEY issue

**L'ELECTRONIQUE POUR
SLHC, ILC, SUPERNEMO ...
DE NOUVEAUX DEFIS !
LIEE aux TECHNIQUES
EXPERIMENTALES DE
DEMAIN :
L'EXPOSE SUIVANT ...**