

La production industrielle des hybrides de lecture pour le trajectographe de CMS

- **Conception**
- **La technologie: les choix**
- **Les versions "finales"**
- **Expérience en production industrielle**
- **Assurance de qualité**
- **Conclusions**

Laboratories:

*IReS & LEPSI,
Strasbourg,*

CERN

Industrial test
station:

*UCL-Louvain &
RWTH Aachen III*

Contributing
(irradiation)

*Karlsruhe & UCL-
Louvain*

EQUIPE CMS – IReS / UHA:

A. Lounis (Univ.)
F. Drouhin (Univ.)
J.C Fontaine (Univ.)
U. Goerlach (Univ.)
J.M. Brom (CNRS)
P. Juillot (CNRS)
R. Strub (CNRS)
P. Van Hove (CNRS)

T. Todorov (CERN)
D. Huss (IReS)
R. Blaes (UHA)

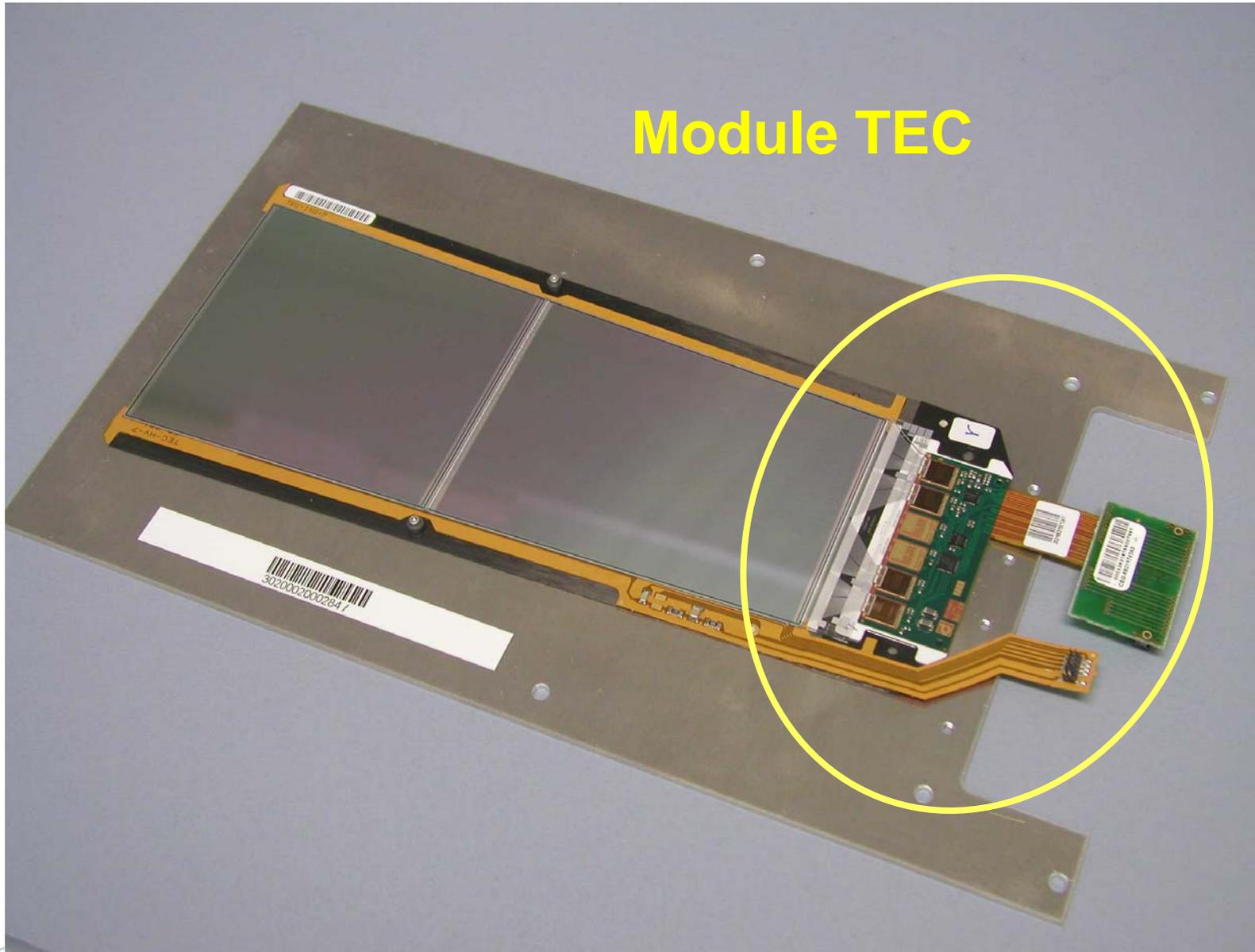
J.D. Berst
F. Didierjean
P. Graehling
M.R. Kapp
C. Maazouzi
M.H. Sigward
L. Gross
D. Vintache

M. Rémy

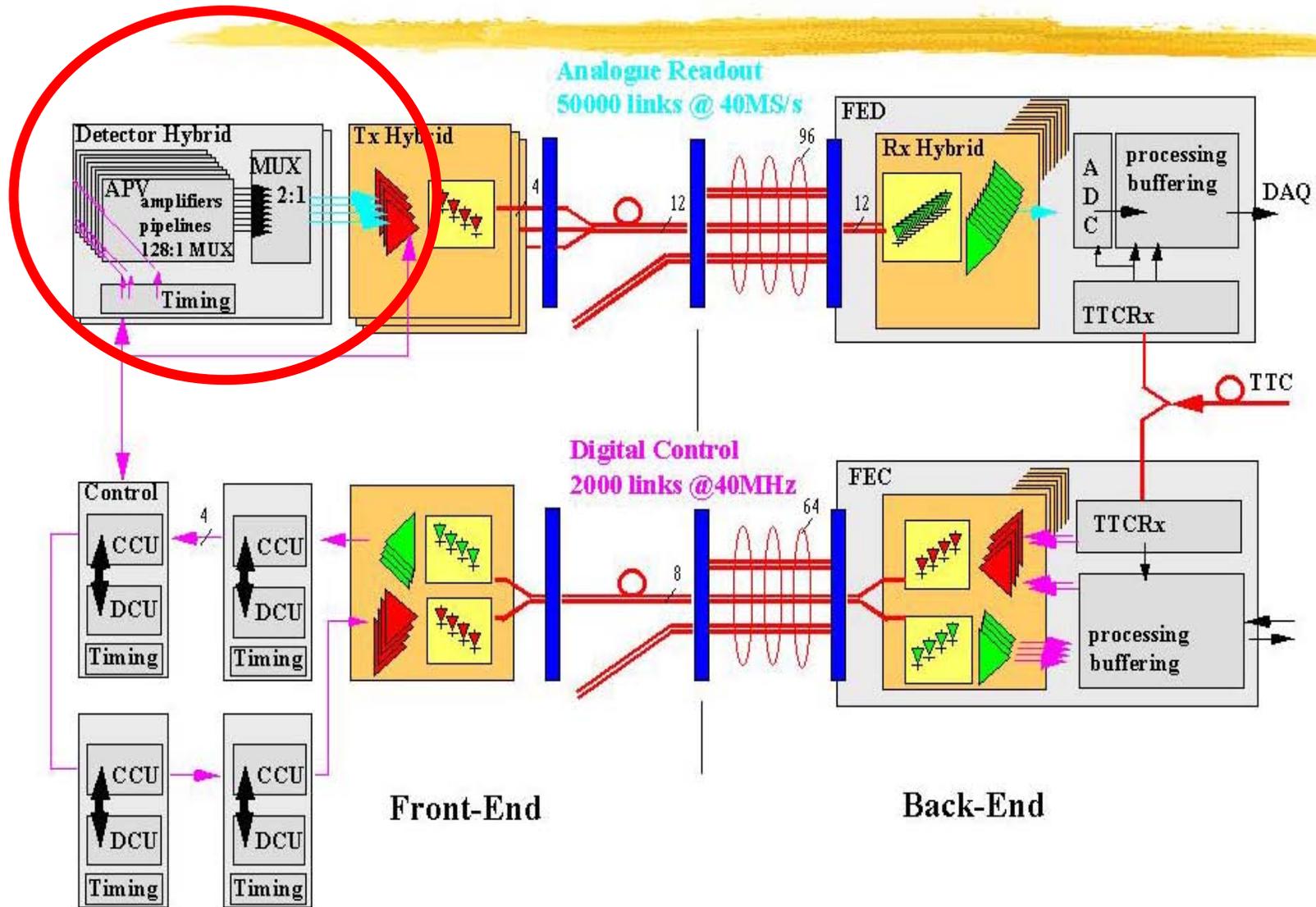
G. Schuster
C. Wabnitz
C. Hoffmann
E. Dangelser

H. Bazières
N. Dick
O. Kekedi
L. Ackermann
Jérôme.X
-
-
-

Développement Hybrides de
lecture: 2000 - 2004

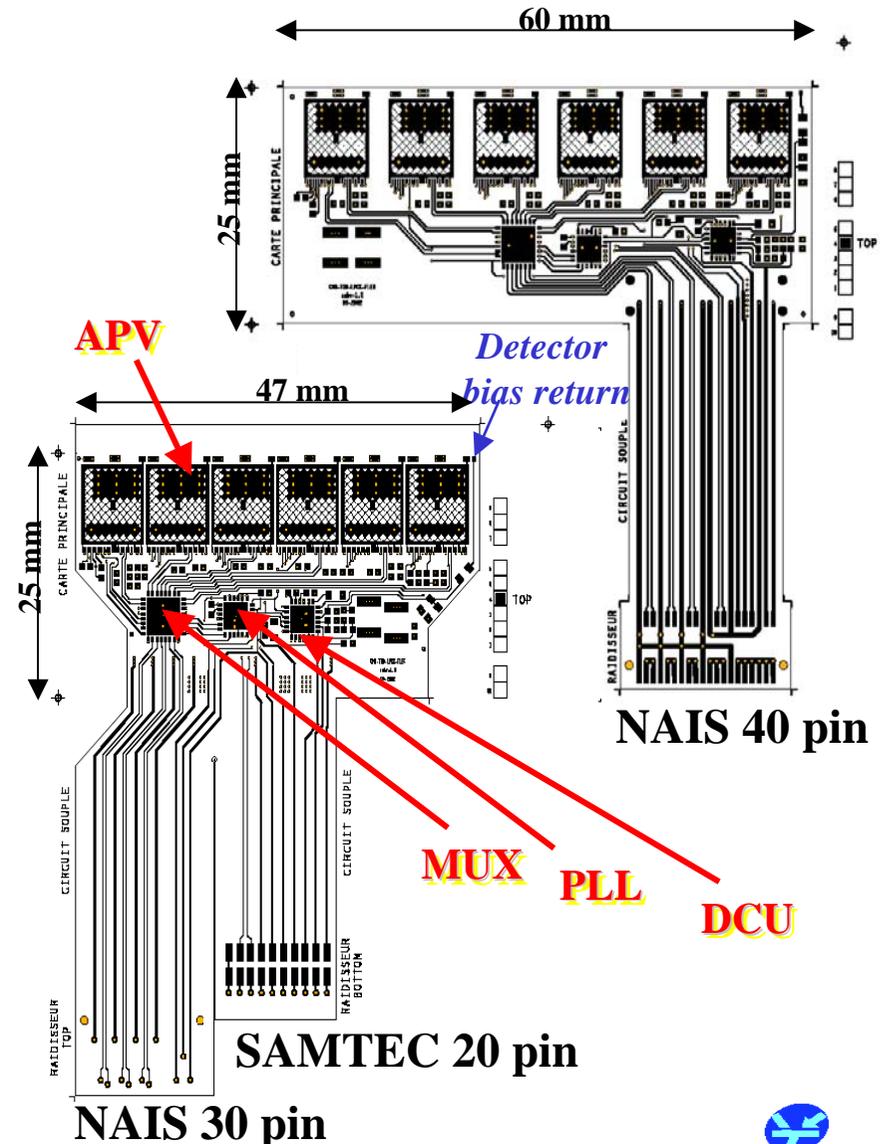


CMS Tracker readout and control architecture



Définition des hybrides de lecture (I)

- Fonctionnalité électrique (2002):
 - ASIC de lecture:
- 4 ou 6 APV25
 - Alimentation, découplage électrique, mise à la masse
 - ASIC auxiliaires: MUX, PLL et DCU
 - Mesure de (avec le DCU-chip) :
 - Tension et courants,
 - Températures sur le hybride et détecteur (avec des thermistors internes et externes)
 - Retour du courant provenant du détecteur
 - Pas de haute tension sur le hybride
 - Connecteur(s) vers les cartes d'interconnexion et vers les opto-hybrides pour la lecture analogue



Définition des hybrides de lecture (II)

▪ Circuit multi-couches

▪ Paramètres mécaniques

- Deux (trois) géométries
- Transfère de chaleur vers le cadre (≤ 3 Watt)
- Support d'adaptateur du pas
- Limitations en épaisseur
- Pas de connecteur sur le hybride
- Rigide et plat mieux que 100 μm
 - \Rightarrow 400 μm céramique (Déc. 2002)
- Fonctionnement de -10° à -20°C
- Durci à l'irradiation

▪ Paramètres électriques (2002)

- ~~4 couches conductrices~~
- Via: $\text{Ø } 100/300 \mu\text{m}$
- Largeur de pistes: 120 μm
- Séparations (pistes/via): 180/90 μm
- Résistance des pistes: 20-50 m Ω

complications

▪ Câble à kapton

- 1 ou 2 connecteurs (NAIS et SAMTEC)
- Rayon de courbure de 1-1.5 mm (plié de 180°)

▪ Carte d'adaptation afin de protéger les connecteurs et le câble

▪ Composants SMD

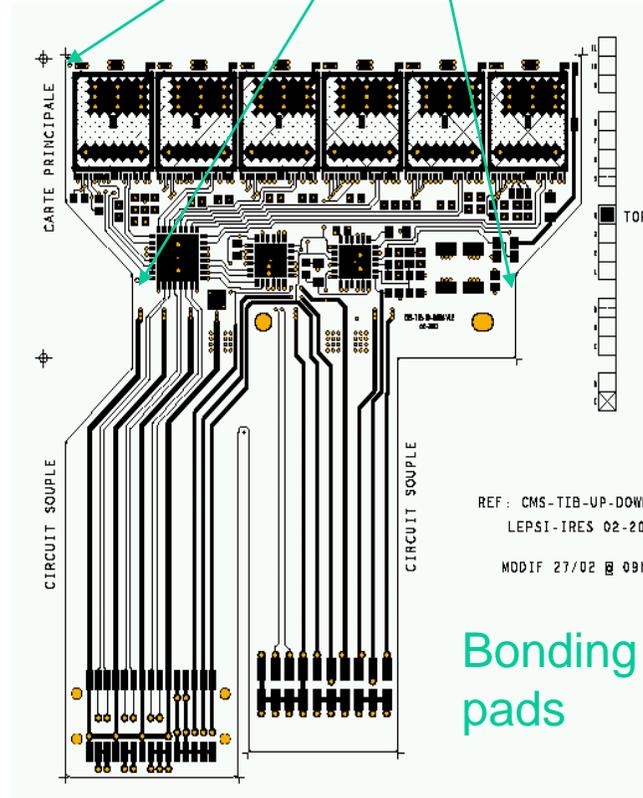
- Hauteur minimale
- R et C de type 0402 et 0603
- LPCC (depuis 2002): MUX, PLL, DCU
- "Naked die ASICs" à bonder
 - 4 ou 6 APVs, alignement $\pm 30 \mu\text{m}$
 - Traceability d'APVs individuels
- Bar-code à enlever à l'assemblage

Trois géométries

Reference circles

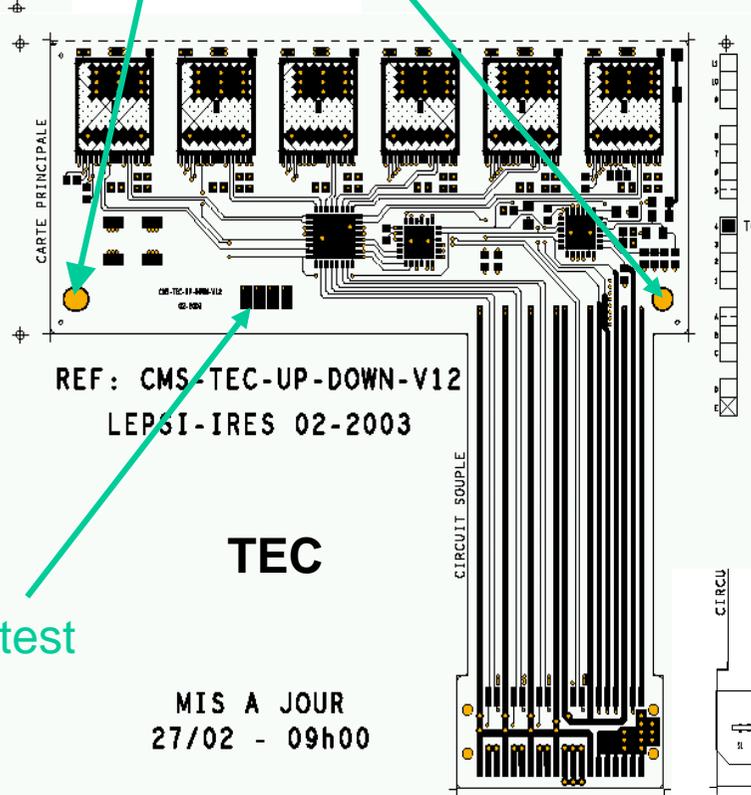
Alignment holes

TIB and TID

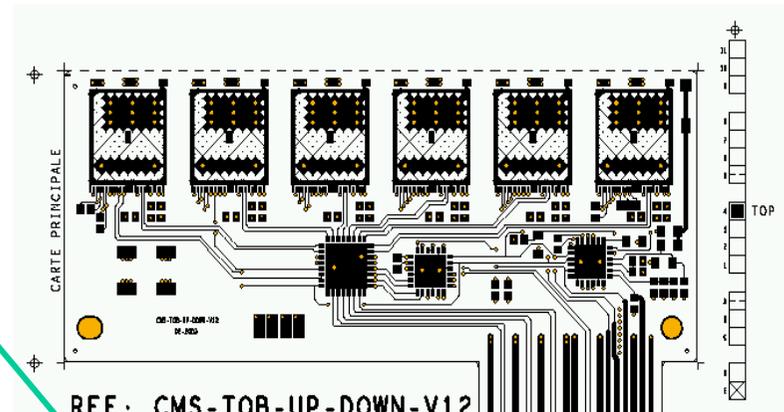


Bonding test pads

REF: CMS-TOB-UP-DOWN-V12

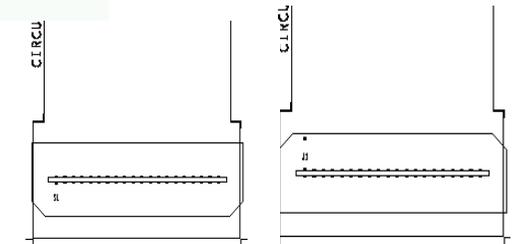


TEC



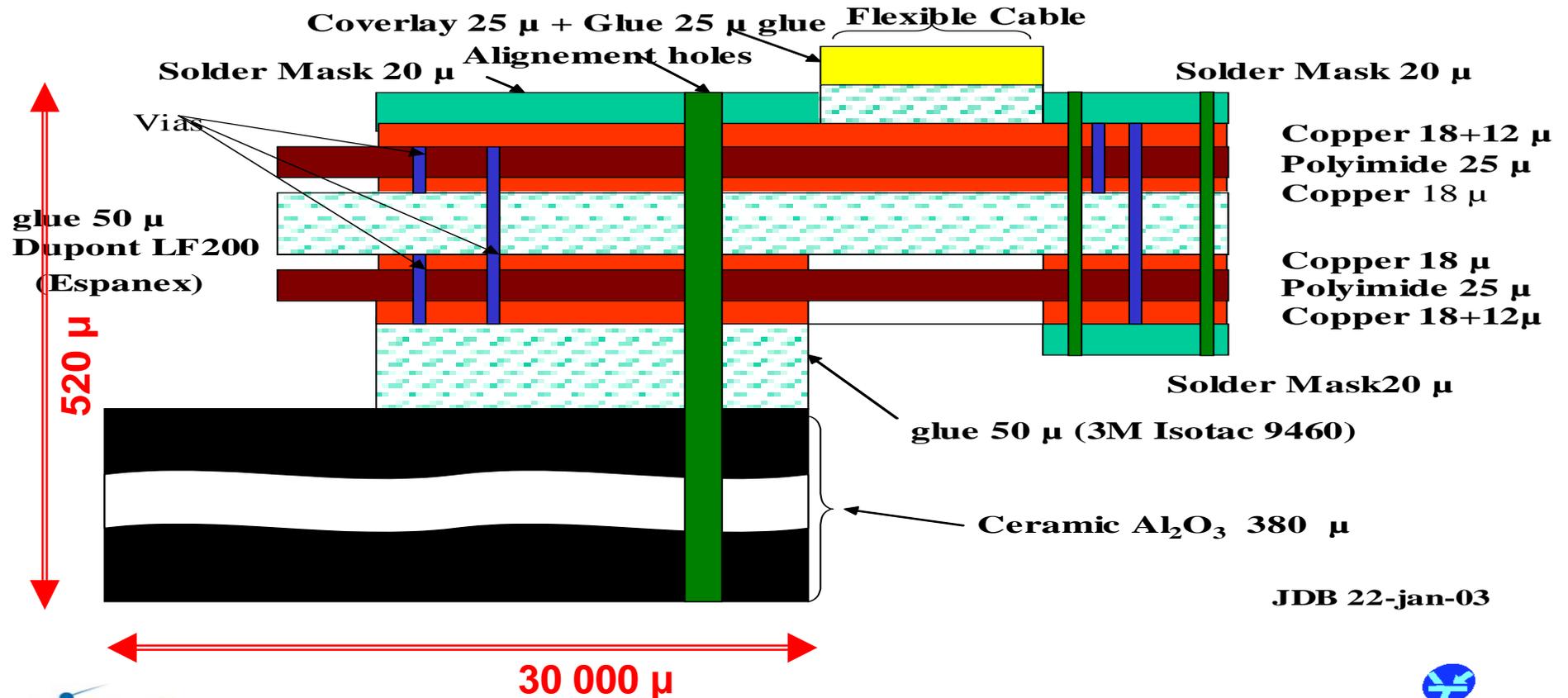
TOB

Connector bottom and top



Circuit multi-couches final (Full-Flex sur céramique)

CMS Hybrid Structure



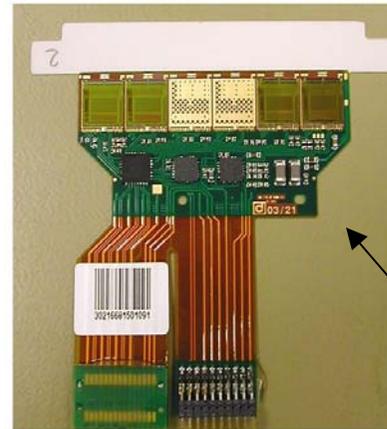
JDB 22-jan-03



TEC down



TEC up



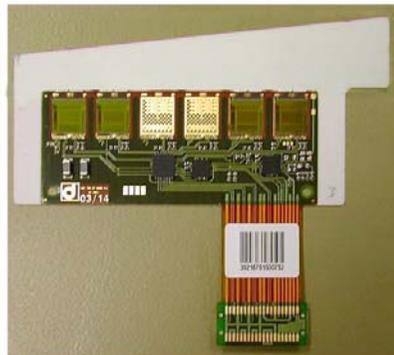
TIB r-phi down



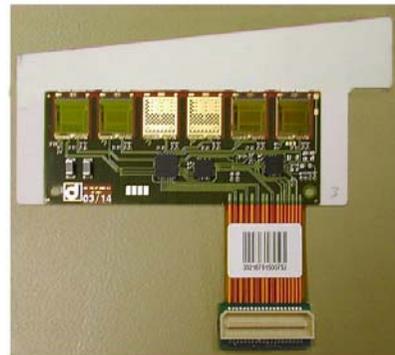
TOB r-phi down



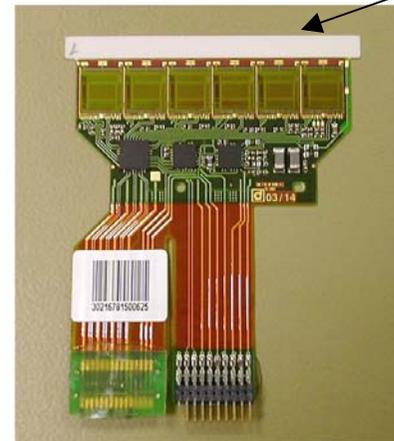
TOB r-phi up



TOB stereo down



TOB stereo up



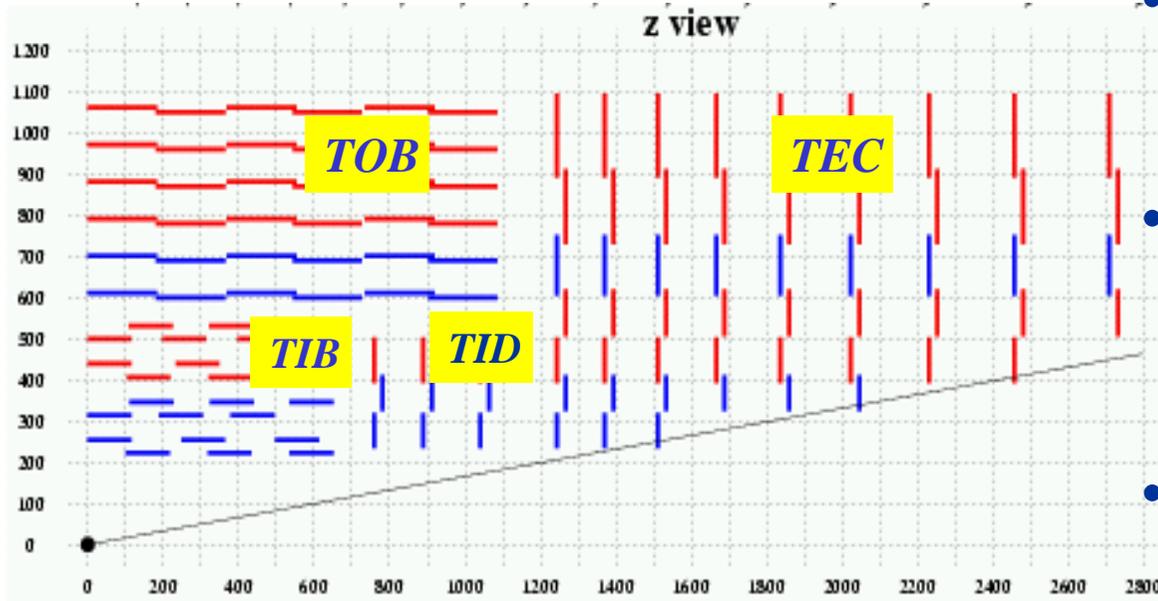
TIB stereo down



TIB stereo up

4 ou 6 APVs

Modularité et géométrie



Idée au début:

- Seulement **deux** circuits
 - TIB/TID
 - TOB/TEC
- Modifications (Nov. 2002):
 - TOB TEC TIB longueurs du câble différents
 - Cinq raidisseurs
- 12 configurations différents

TOB PCB layout					TIB PCB layout					TEC PCB layout				TOTAL	
4_rphi_down	4_rph_up	6_rphi_up	4_stereo_up	4_stereo_down	SubTotal	4_rphi_down	6_rphi_down	6_stereo_down	6_stereo_up	SubTotal	4_up	6_up	6_down		SubTotal
540	1908	1680	540	540	5208	1428	768	288	1056	3540	4112	1152	1200	6464	15212

Une breve histoire

- **Début 2000**
 - Décision (Strasbourg) pour une production entièrement en industrie
 - **Choix technologique** : Couches épaisses sur céramique
- **2000-2001/2**
 - Environ 180 prototypes (trois fournisseurs)
 - Beaucoup de modifications pour adapter au développement du module de détecteur
 - Développement d'une station de test (FHIT) pour la production en industrie
- **2001/2**
 - **Changement d'ASIC** : MUX, PLL, DCU -> chips en boîtiers (LPCC) (été 2001)
 - **Autres options technologiques** (FR4 et/ou kapton, Flex-Rigid, **Full-Flex sur raidisseur**)
- **2002**
 - Premier "Electrical system tests", fonctionnalité est bonne
 - **Révision du choix technologique initiale** (nov)
- **2003**
 - Premiers prototypes par l'industrie en technologie finale
 - Finalisation des specifications techniques
 - Début d'une "**(pré)-production**"
 - **PRR (ok) et signature du marché en été**
 - Découverte de faiblesses mécaniques au niveau du connecteur, changement
 - Problèmes de bonding en industrie, délais importants
- **2004**
 - Début de la tranche ferme du marché (mars) après la (pré)-production
 - **Nécessité des avenants supplémentaires**
 - Problèmes techniques des circuits imprimés autres changements nécessaires ?

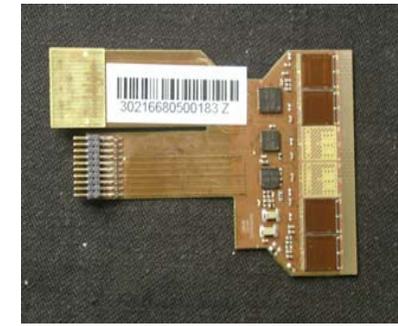
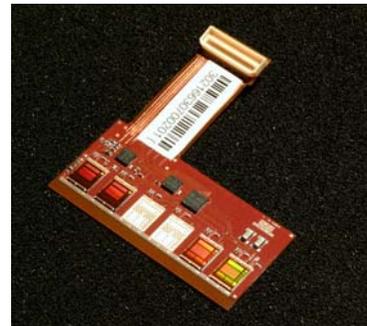
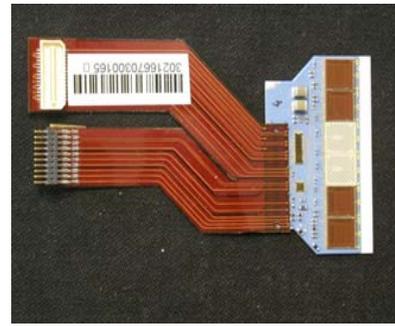
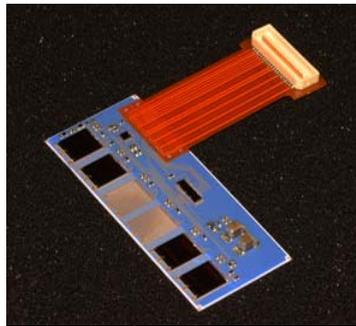
Qualification

R & D

(Pre)-
production

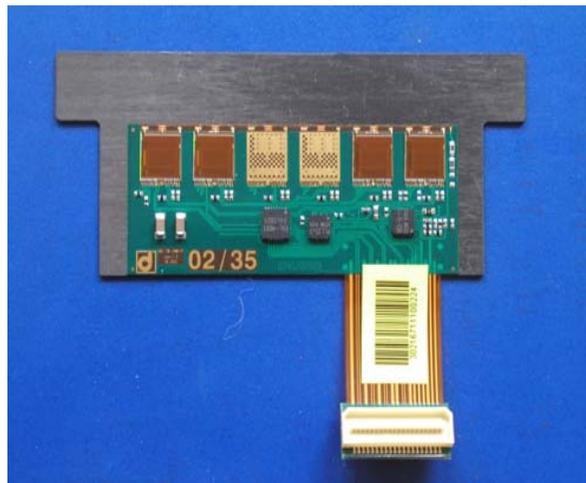
Main
production

Le R&D : Une collection

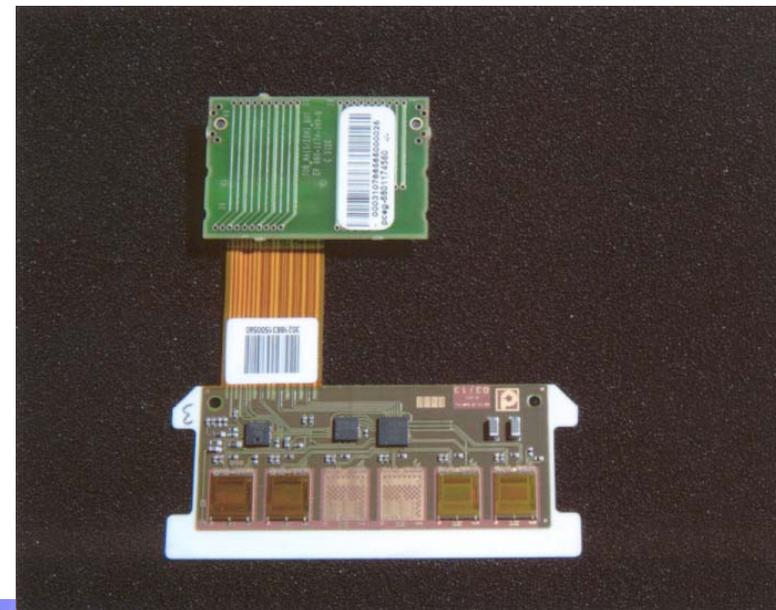


- First design
- Thick film on ceramic
- Die form PLL/MUX and DCU

- Intermediate design
- Flex Rigid PCB
- LPCC PLL, MUX and DCU



- Final design
- Full Flex
- Ceramic rigidifier
- LPCC PLL, MUX and DCU



La production « industrielle »

Les idées au début :

- petits runs afin de préciser les specifications techniques (Qualification)
 - Bonding,
 - Soudure
 - Propreté
 - APV positionnement
- **Marché en deux tranches,**
 - une tranche ferme et (vérification en « large scale »)
 - une conditionnelle (« large scale production »)
- **Specifications techniques (43 pages !!) font référence aux normes industrielles bien établis**
 - IPC-A-600-F, IPC-A-610-C, IPC-SM 782-A, IPC-SM-784
 - Large volume → uniformité et homogenéité de la production
- **Quality assurance, the original idea**
 - Large volume après qualification du fournisseur
 - Cycle thermique après l'assemblage
 - Station de test (**FHIT**) chez le fournisseur, seulement de modules fonctionnels sont livrés
 - Surveillance par échantillonnage (20% → 2%)
- **Est-ce que c'a marché comme ca?**

La pré-production « industrielle »

Avant le marché

⇒ Qualification et modification.

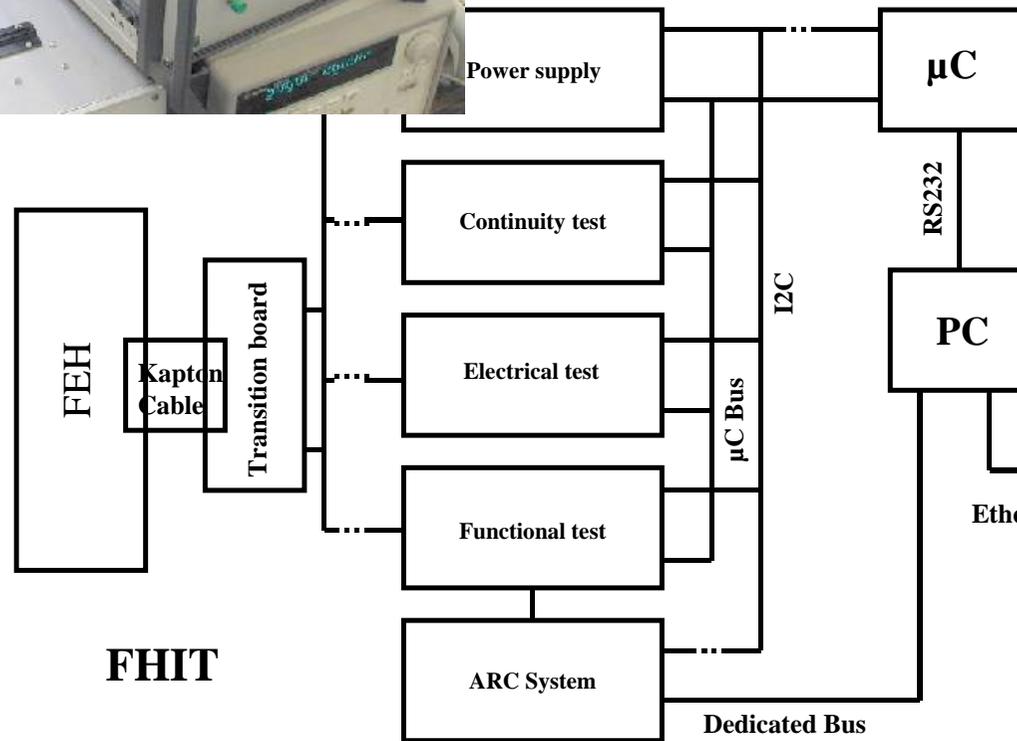
- Très peu de temps pour la qualification
- Procédure de la marche été jugé comme lourde et longue et trop tard pour le début de la construction du trajectographe
- Pré-order par le CERN in parallèle! in a hurry, (durée mai → sept)
 - Dans ces runs nous avons découvert beaucoup de problèmes!
 - Les quantités de sous assembles (un type) sont trop petits (75-150) pour ressemble une production de masse industrielle

Le grand nombre de différents types des hybrides a éclaté la production industrielle de grand volume, c'est plus difficile de suivre et de monitor sa qualité



Front-End Hybrid Industrial Tester

Block diagram



Test sequence:

- Barcode scanning, recognition of hybrid type
- Power supply control
- Continuity test
- Calibration of DCU
- Electrical test, including I2C scan
- Now mount APVs !!**
- Functionality test (read-out of APVs)
- Log file creation + error file
- XML (*CMS database*)

Response
(simplified for operator!):

<http://www.fynu.ucl.ac.be/themes/he/cms/activities/tracker/hybrids.html> **green or red light**

Inspection visuelle des échantillons

- **Substrate / Ceramic**
 - Planarity (simple test),
 - Lamination (inspection of glue alignment)
- **Circuit**
 - Via, minimum width, damages.
 - Distance between reference circles
- **Cable and connectors**
 - Cable quality,
 - Soldering, alignment, gluing of connector
- **Components**
 - Placement and damage
 - Measure by hand SMD components on some hybrids
- **Soldering and cleanness**
 - Aspect, quantity,
 - Solder quality on LPCC's and discrete components
 - Solder and other residuals, micro solder-balls
 - APV, bonding pad surface
 - Scratches
- **Mounting and Bonding**
 - Placement of APVs, height, (only on small number of selected hybrids)
 - Breaks and lift-off, mark type of failure and place
- **Signs of repair work visible?**

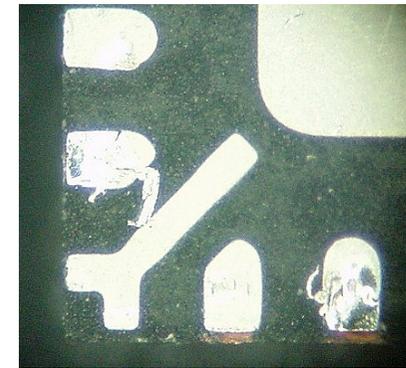
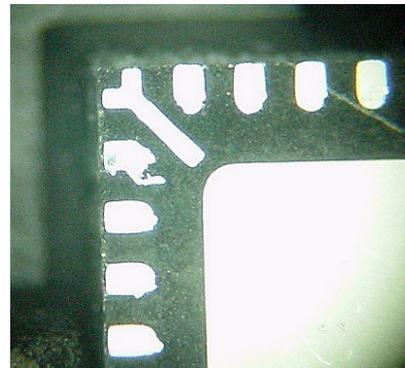
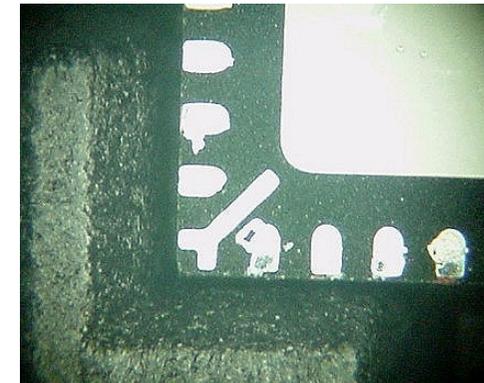
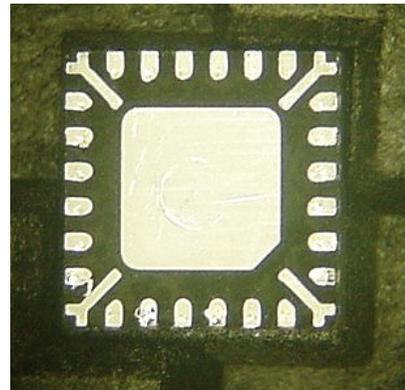
La pré-production « industrielle »

Les accidents ou découvertes:

- **Problèmes des LPCCs après changement du fournisseur**
- **La découverte de la faiblesse du câble, premier montage de plusieurs hybrides « version finale » sur de vrais modules de silicium 3 mois après la PRR!**
 - **ARRET de la production**
- **Dégradation sévère du processus du bonding, environ 900 hybrides concernés et considérés comme inutilisable**
 - **ARRET de la production**
- **Sciage du wafer d'APVs: très délicat, nécessite un contrôle continue!**
- **Courts circuits dans les circuits imprimés après soudage.**
- **Fraction élevée des hybrides où l'alimentation de V125 semble coupée! Problème de via. Examen du processus détaillé**
 - **ARRET de la production**

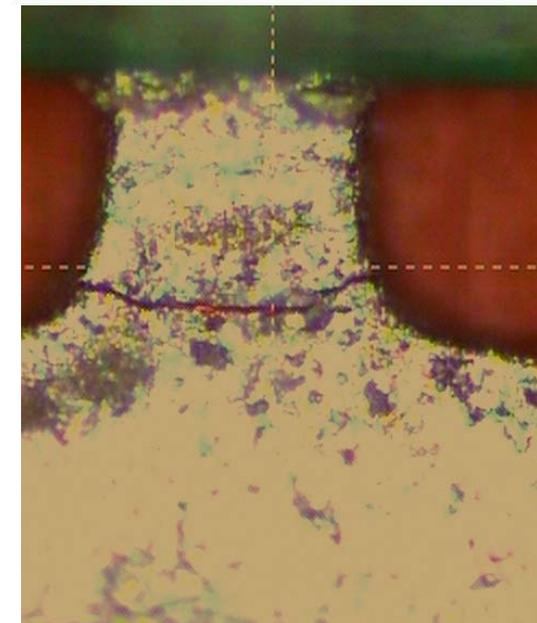
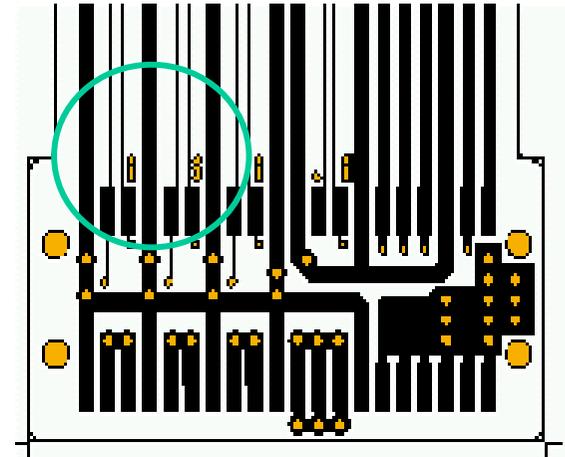
Mauvais composants (ASIC auxiliaires)

- **Qualité de LPCCC**
 - **Non Standard!**
 - **Difficile à souder et à contrôler**



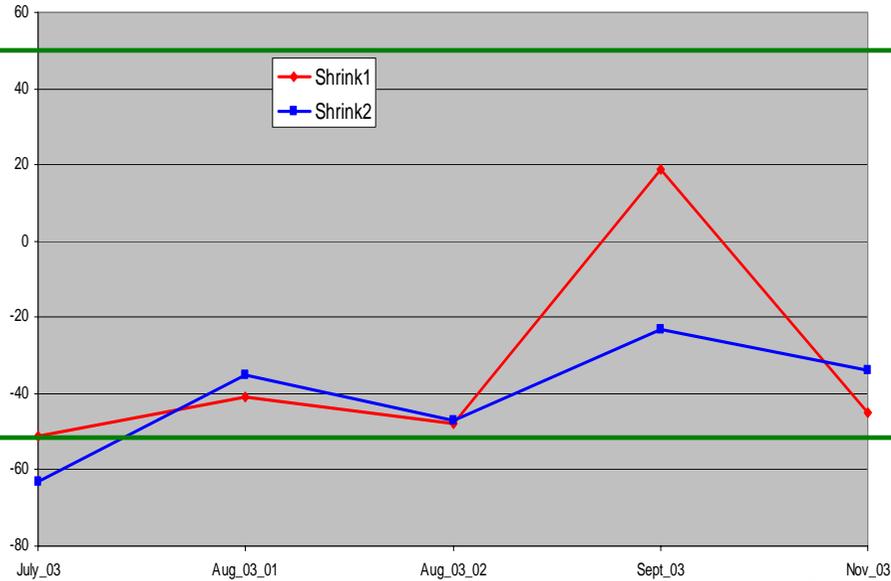
***La découverte de la faiblesse du câble,
après la premier montage de plusieurs
hybrides « version finale » sur de vrais
modules de silicium 3 mois après la PRR!
ARRET de la production***

- Weakness of cable close to connector
- The conclusion is that the lines near the connector are brittle (because of the Au-Ni metallization, which facilitates bonding and soldering)
- Bending/manipulating the flexible cable has high probability to break lines.
- **Solution:**
 - reintroduction of a stiffener behind connector to reinforce cable
 - Small modification of existing masks to minimize Ni metallization

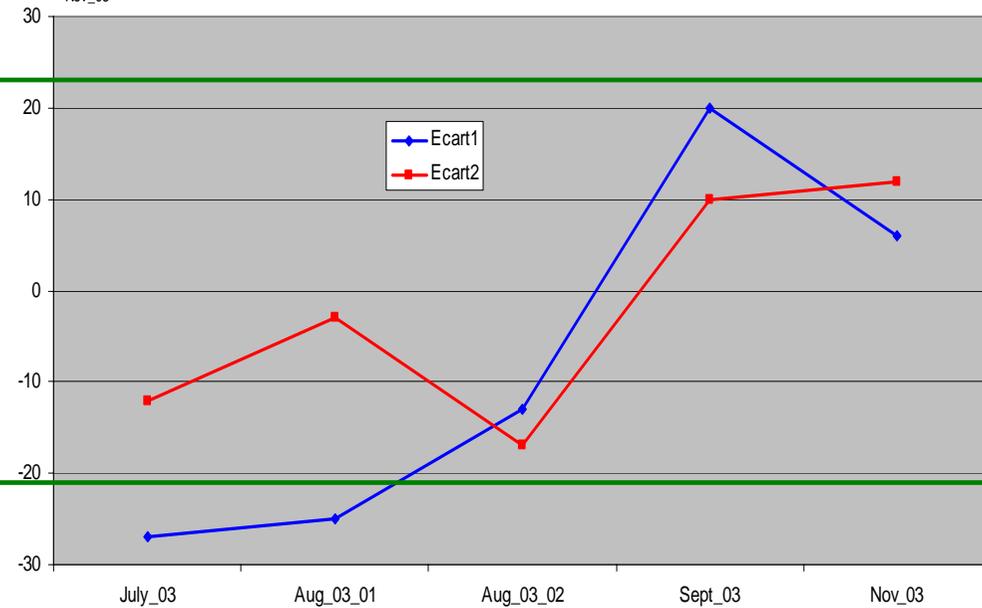


METROLOGY

**Circuit shrink
Within tolerances
+/- 50 μm**

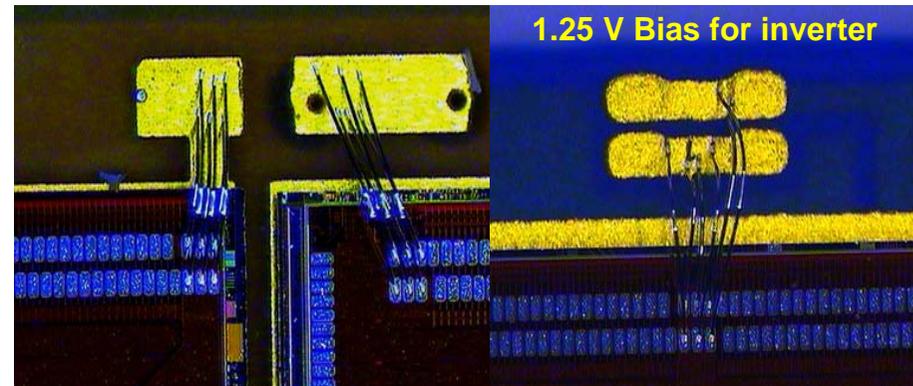
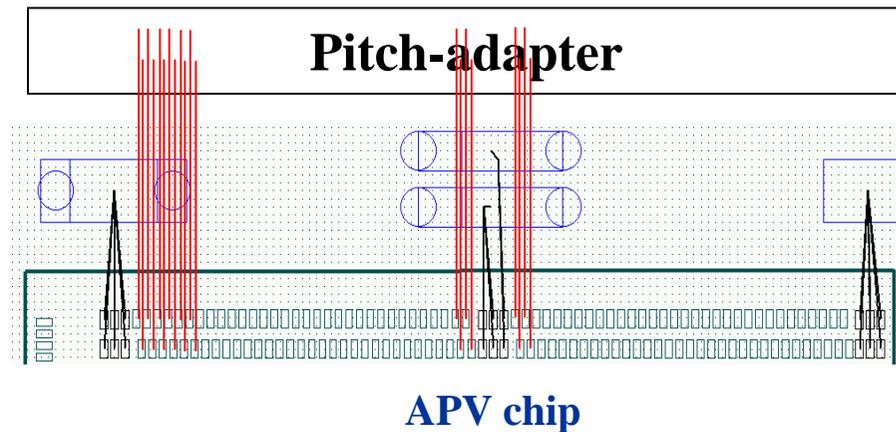


**APV Placement
Within tolerances
+/- 22 μm**



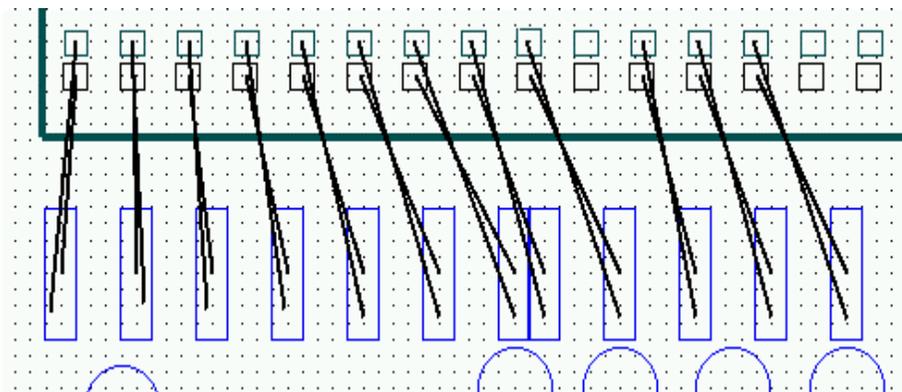
Bonding, inspection et test

- Inspection visuelle d'un grand nombre
- Bonding très délicat et exigeant! "unfriendly layout" des pavés d'APV25
- Il faut bien entraîner l'industrie!
- Tests d'arrachement sont importants mais destructifs, seulement sur les mauvais hybrides!

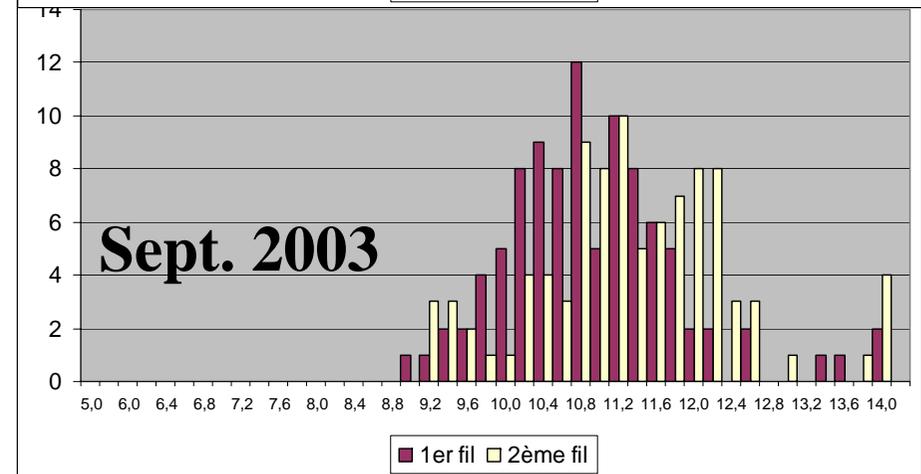
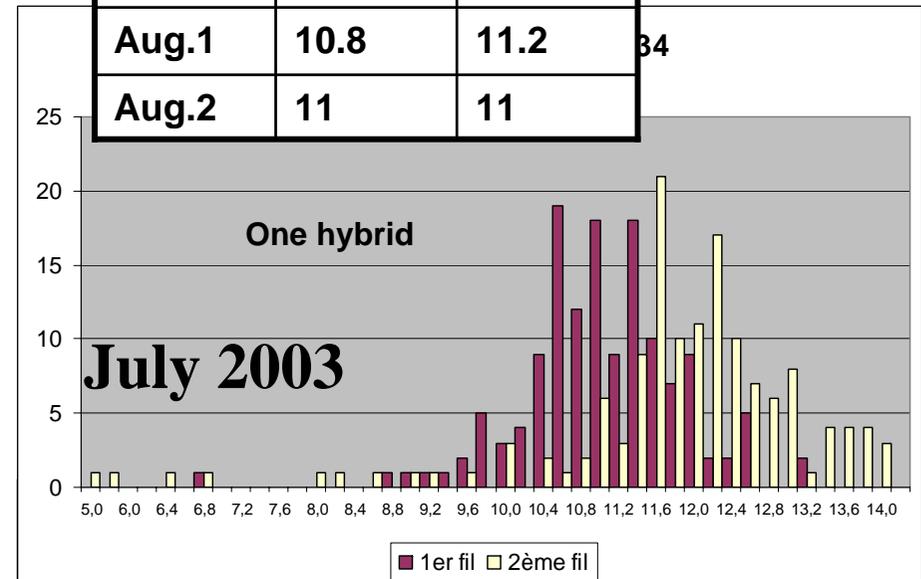


Force d'arrachement

IPC-SM-784	25 μ m AlSi		
Force d'arrachement	Val. moyenne 5 g RMS < 1g	Minimum 3 g	
Hauteur de boucles	50 - 400 μ m		
Distance libre au bord des puces		> 50 μ m	
Diagrammes	A respecter sans déviation		
Taux de réparations par livraison	Autorisées sur 5% des hybrides Maximum de 5 réparations par hybride Maximum de 1 réparation par plage de connexion		
Missing bonds	Max. 2 per APV on controle side, not on same line		

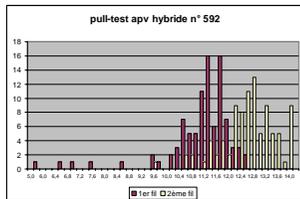


Batch	1 st wire	2 nd wire
July	11	12
Aug.1	10.8	11.2
Aug.2	11	11

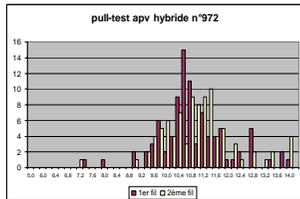


« THE BONDING ACCIDENT »

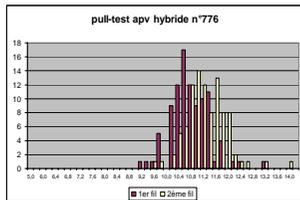
PULL TESTS RESULTS



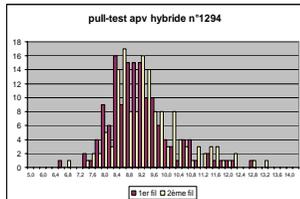
July_03 : 11.1 g / 12.7 g
11.0 g / 11.7 g



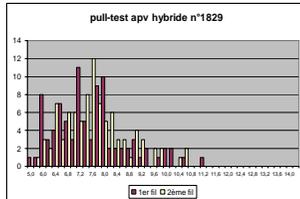
Aug_03 : 11.2 g / 11.3 g
10.9 g / 11.0 g



Aug_03 : 10.8 g / 11.3 g
10.7 g / 11.2 g



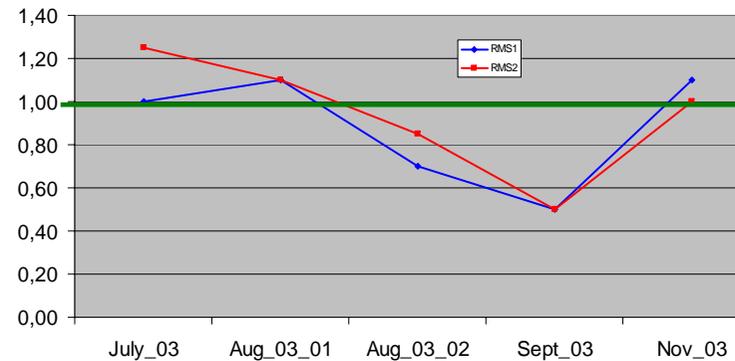
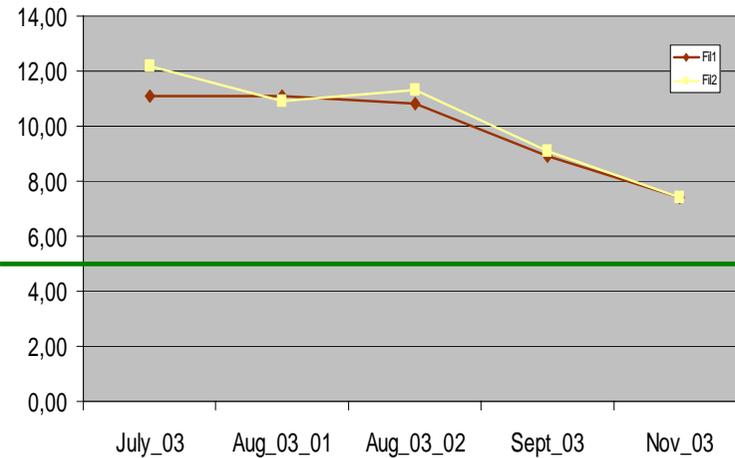
Sept_03 : 8.5 g / 8.7 g
9.2 g / 9.5 g



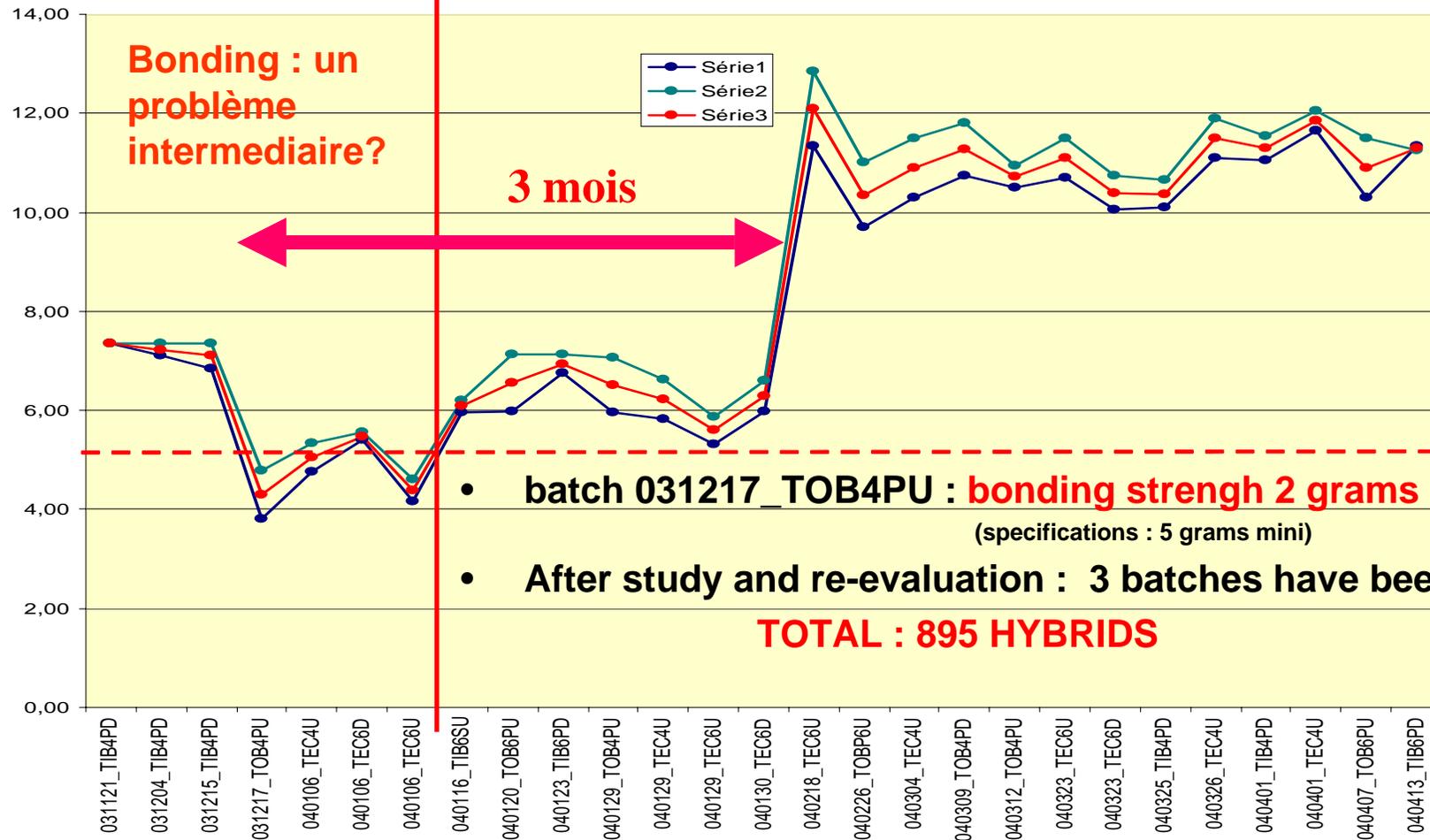
Nov_03 : 7.5 g / 7.6 g
7.2 g / 7.1 g

Specifications :

- Minimal value : 5 g
- RMS max : 1 g



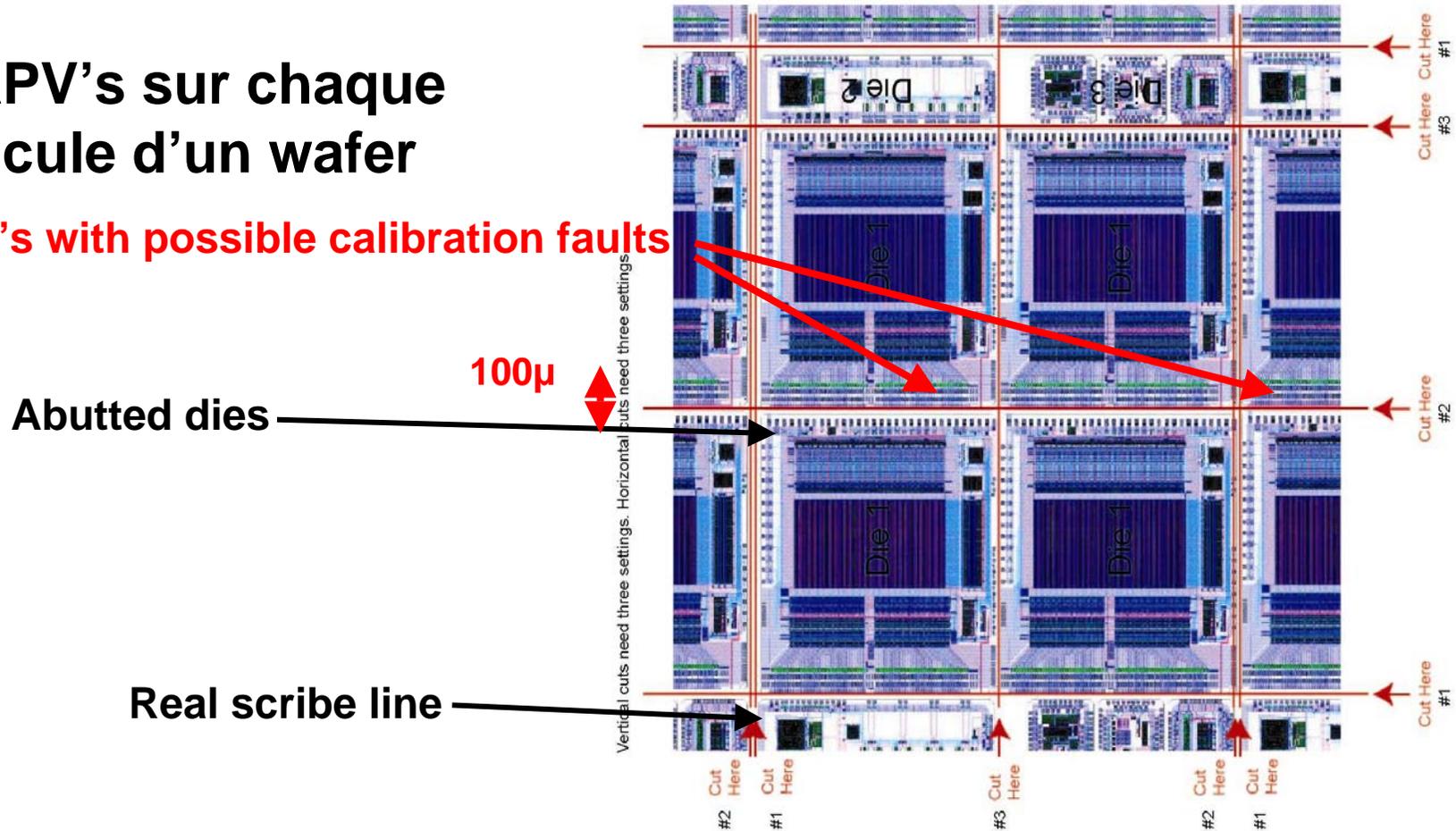
Force d'arrachement moyenne de la soudure ultrasonique (bonds)



APVs "incomplets"

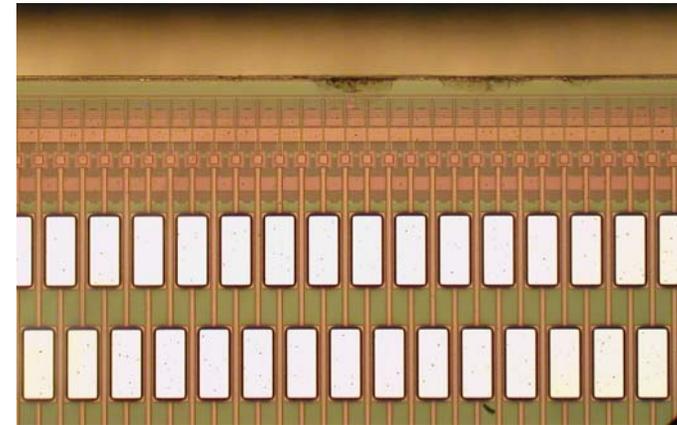
- 4 APV's sur chaque réticule d'un wafer

APV's with possible calibration faults

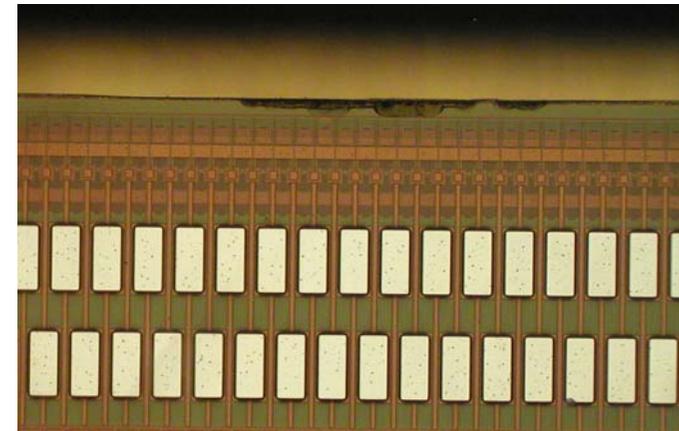


APVs “incomplets”

- **Solutions**
 - Try to better center the sawing line
 - difficult because only few microns variation possible
 - Visual inspection of each die
 - difficult because no evidence between faulty and non faulty dies

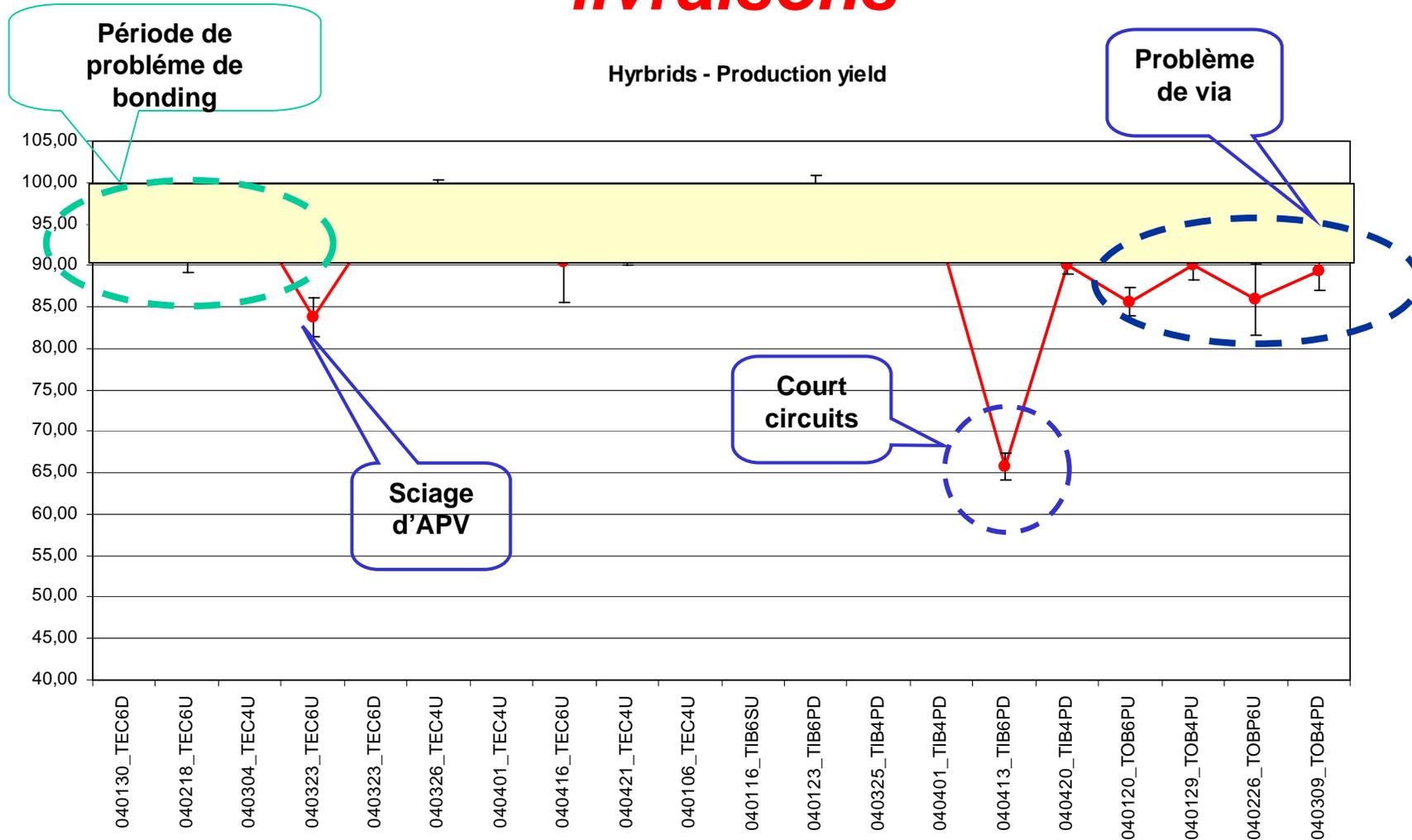


Non working die

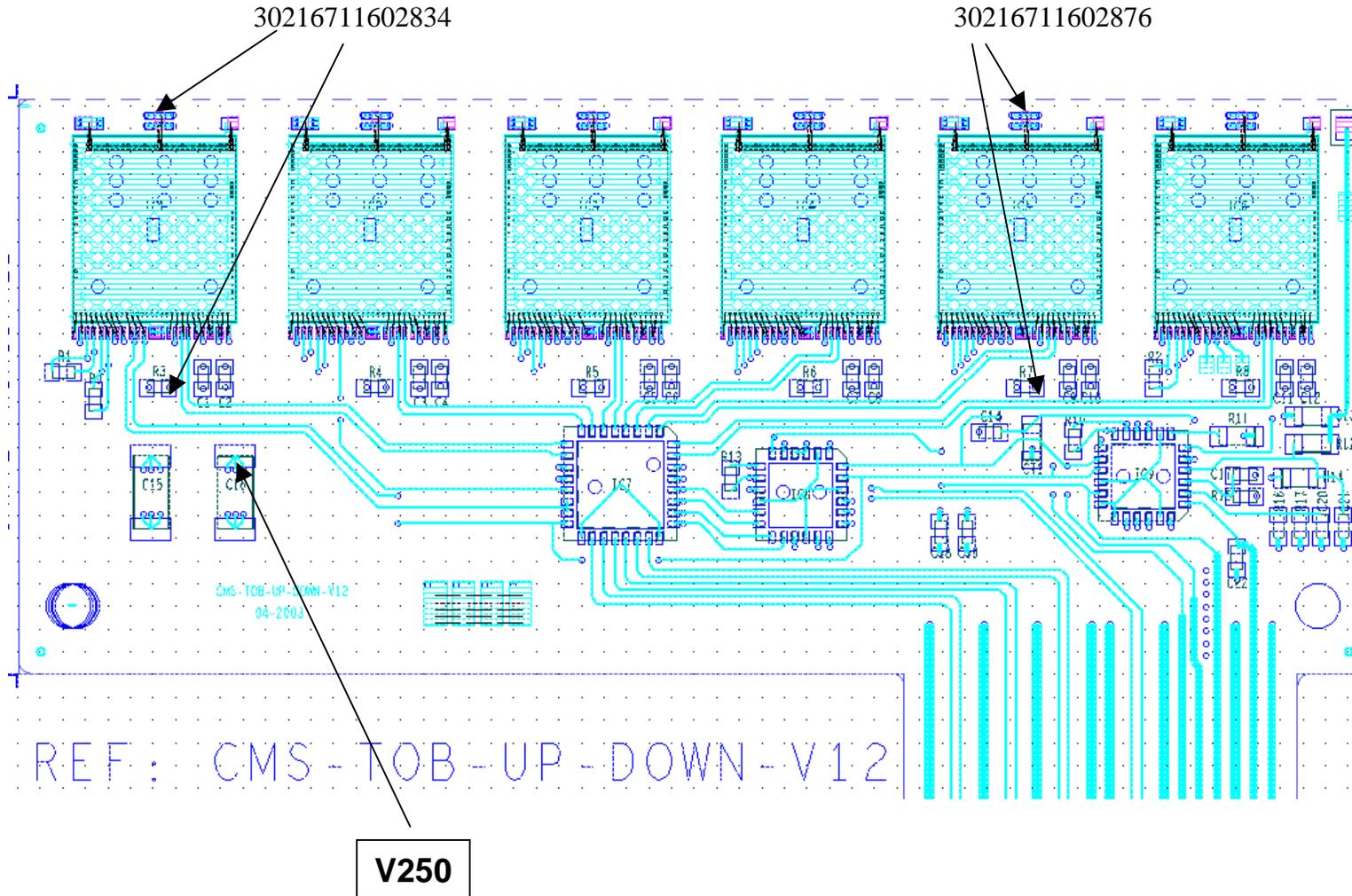


Functional die

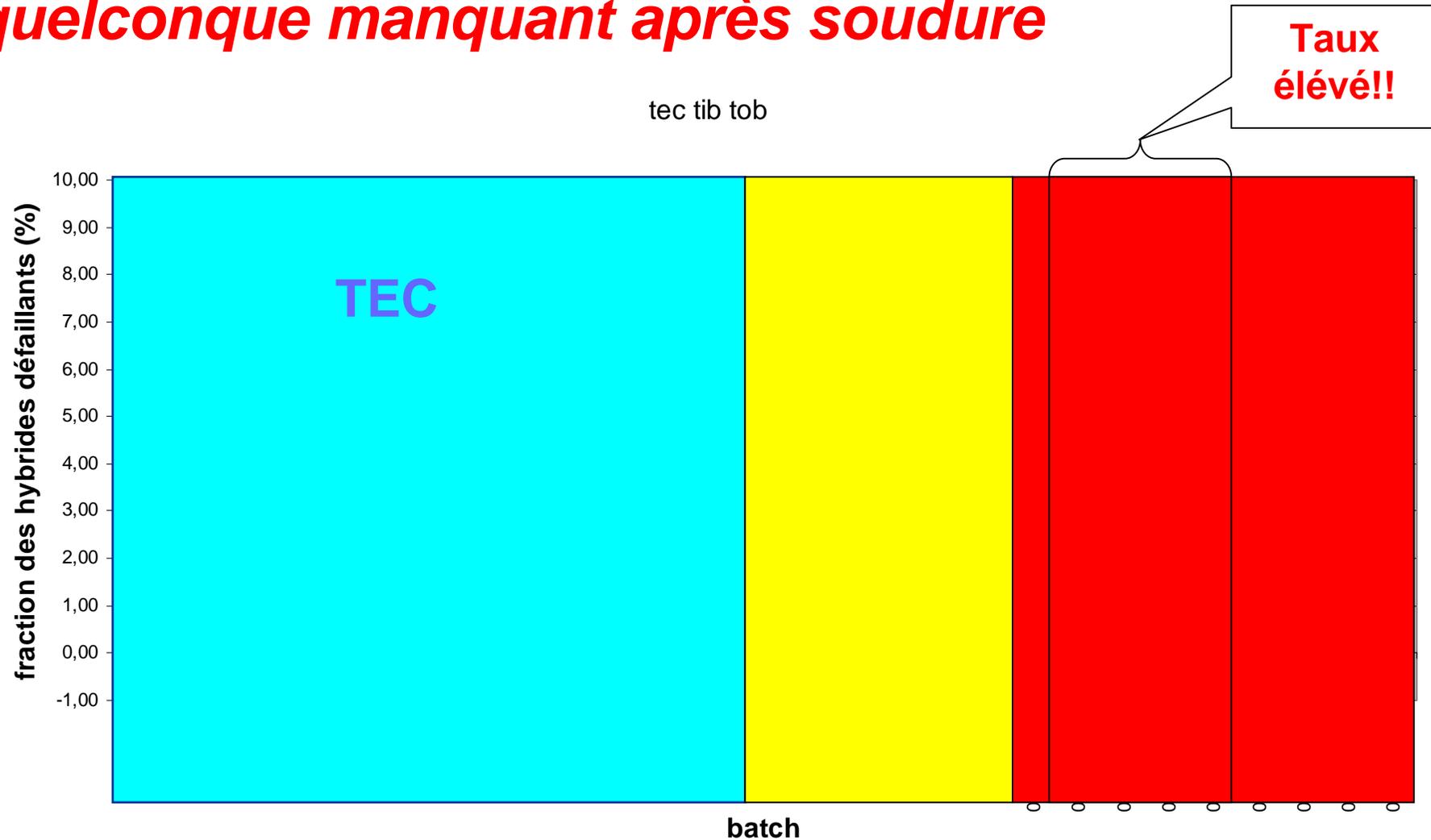
Rendement du fournisseur pour 20 livraisons



Problème de via « V125 »: ces points doivent être connectés

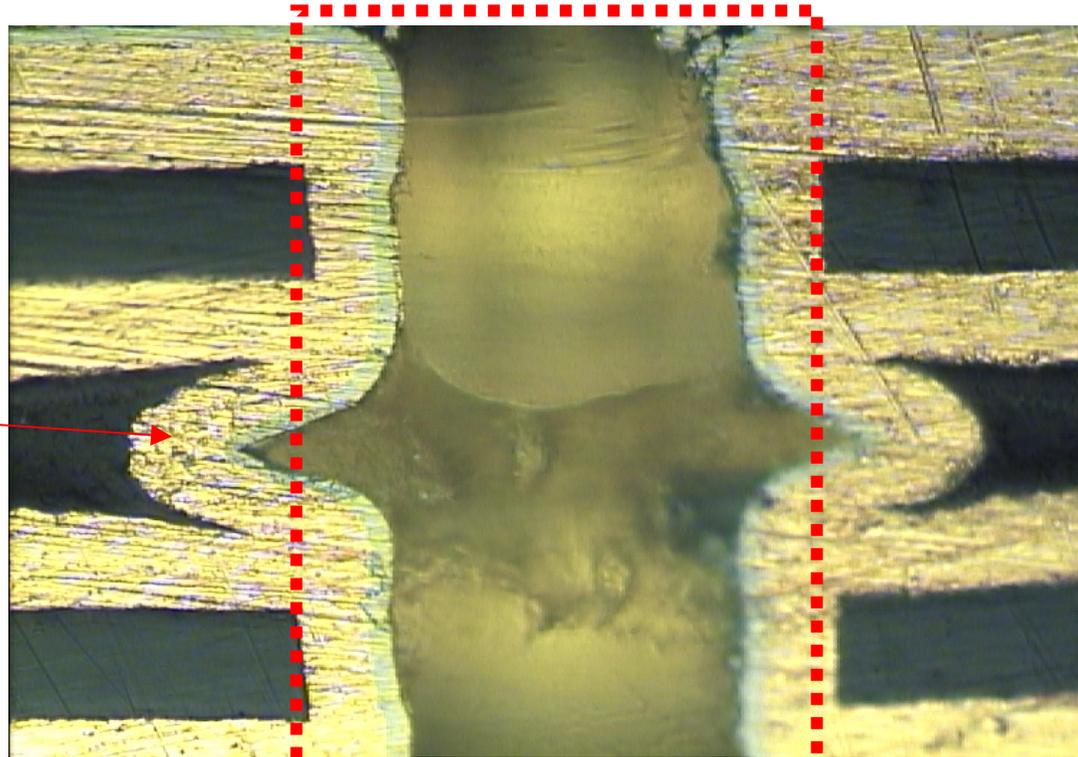


Nombre des hybrides avec un via quelconque manquant après soudure



Un via fonctionnel mais pas correct

« Over etching »



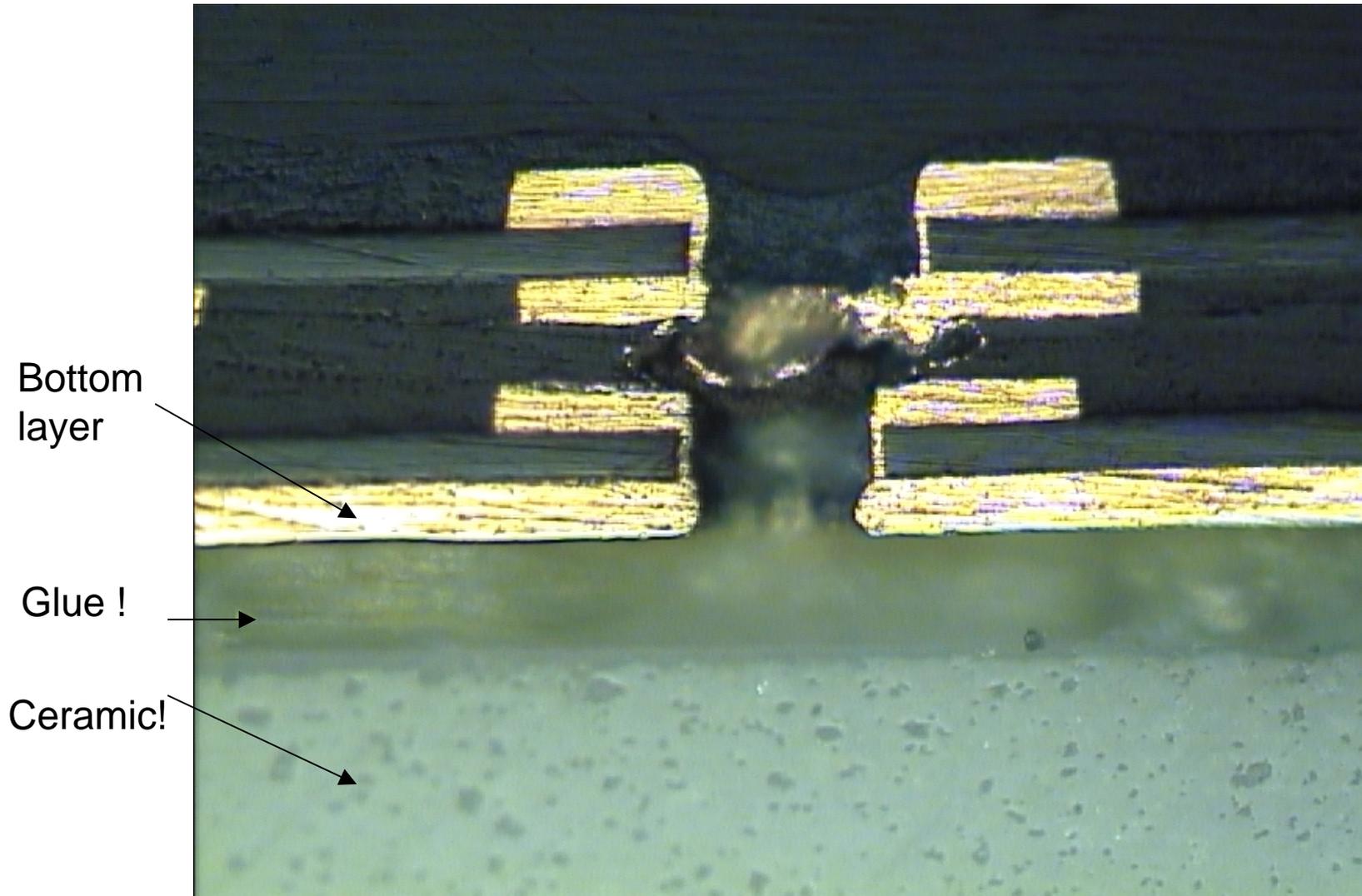
Kapton

Glue

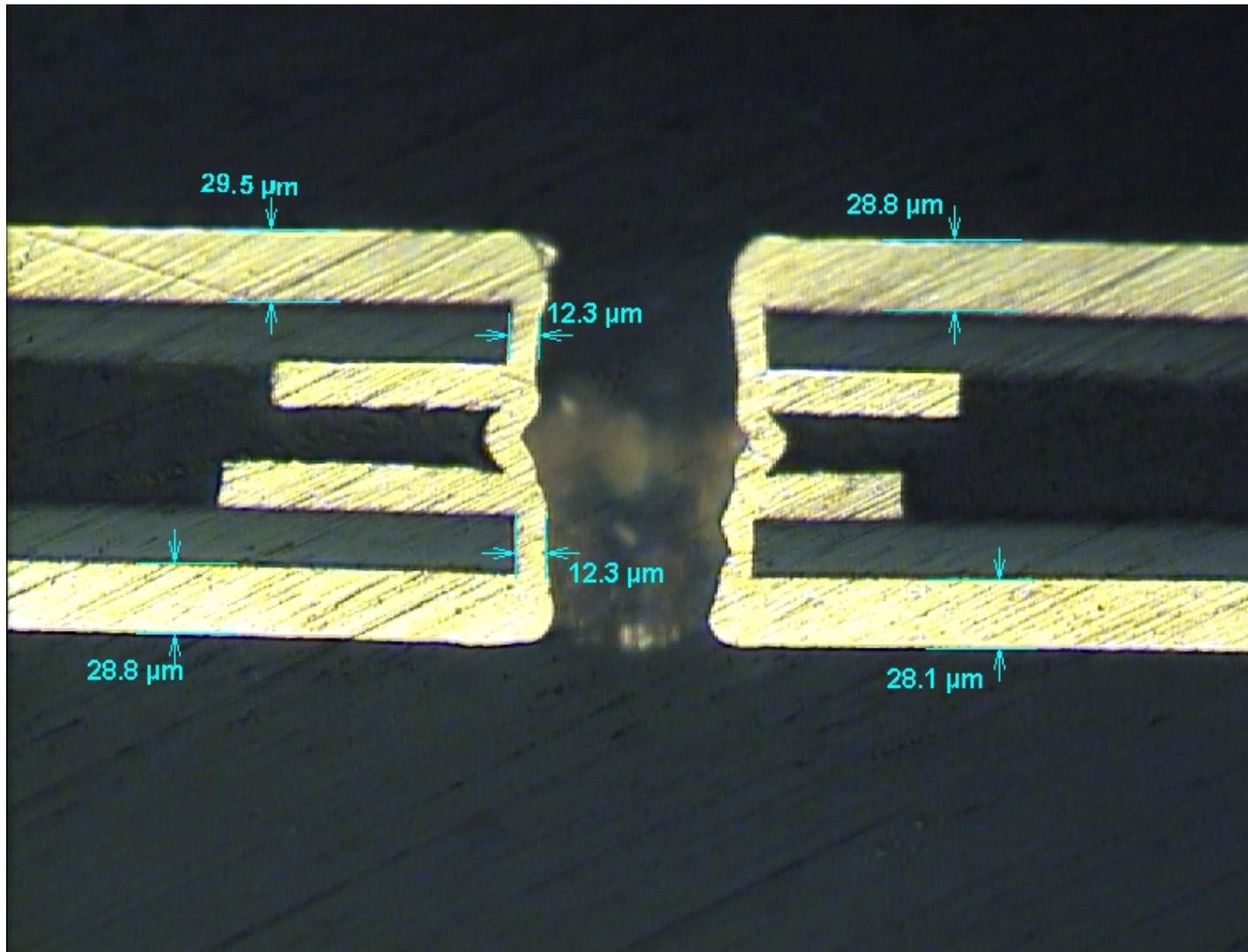
Kapton

Laser

Ca ne marche plus



Presque correct après changement du protocole de la perçage



Reprise de la production

- Rejet des circuits imprimés déjà percés
- Tests de vieillissement intensif sur les circuits déjà équipés avec les ASICs
- Potentiellement tous les circuits peuvent être concernés
- Pour le moment les circuits fonctionnels semblent stables

La production « industrielle »

- **Marché IN2P3 ↔ Cicorel (Hybrid_SA)**
 - Seulement deux candidatures!
 - Signature fin été 2003
 - Volume: 11500 hybrides, **616 994 €HT**
- **Situation printemps 2004:**
 - Début de la production de la marché: **mars 2004!**
 - Délai de marché in2p3, tranche ferme déc 2003 → juillet 2004
 - Le profile de livraison doit être changé (avenant)
 - Avenant pour compter les surcoûts (11%) après toutes modifications
- **Il faut une marché complémentaire afin de compenser les pertes durant de la production des hybrides et modules d'ordre de 30 %.**

Profile de livraison prévu dans le marché

Ensemble		Livraison par mois et type																
		total		TOB					TIB					TEC				
		mois		4_rφ_down I672	4_rφ_up I671	6_rφ_up I673	4_stereo_up I675	4_stereo_down I676	Sous-total	4_rφ_down I668	6_rφ_down I670	6_stereo_down I678	6_stereo_up I677	sous-total	4_up I663	6_up I665	6_down I666	sous-total
A1	+ 4	2700	200	350	350	150	150	1200	200	150	100	200	650	550	150	150	850	
B1	+ 2	1590	150		250		150	550	200		100	100	400	400	140	100	640	
B2	+ 3	1750		300	220	150		670		200		200	400	400	140	140	680	
B3	+ 4	1620		300		150		450	130	200		170	500	400	140	130	670	
B4	+ 5	1450	130		220		150	500	130		100		230	450	140	130	720	
B5	+ 6	1320	100	100		130	130	460	130			150	280	450		130	580	
B6	+ 7	1070												750	170	150	1070	
B1 - B6		8800	380	700	690	430	430	2630	590	400	200	620	1810	2850	730	780	4360	
Total		11500	580	1050	1040	580	580	3830	790	550	300	820	2460	3400	880	930	5210	

Quality Assurance Procedure

- **Database:**
 - Transfer of data from manufacturer (FHIT test) from file to database
 - Transfer of data reception (FHIT test) from file to database
 - Production files (batch and serial numbers of components, ASIC tracing etc.)
to database
 - Data from visual measurements
to database
- **Selection at Reception at CERN**
 - Repetition of FHIT functionality test, partial visual inspection
 - 20-2% of all good hybrids go directly to QA-centre, Strasbourg
 - All, declared as bad including dummies go to Strasbourg
- **Sample Testing (mainly at QA-centre)**
 - APV positioning on 2 hybrids per batch (TIB, TOB, TEC)
 - “Burn and Freeze in” of some(?) hybrids/batch for 1+2 days
 - *General burn-in run for all hybrids still under discussion*
 - Pull test on test pads
 - **Destructive tests:** at least two bad ones per batch
 - bonding pull test
 - remove LPCC, Connectors
 - de-lamination test
 - vibration test
 - bending radius of cable
 - **All results into database!!!!!!**

Conclusions

- La période de R&D était très long (3 ans) à cause de beaucoup de changements du cahier de charge
- La conception des hybrides a été adaptée et modifiée le long de la production
- L'industrie est très collaborative mais il faut l'entraîner
- La période de qualification pour la production était insuffisante est confondue avec le début de la production
- La contrôle continue de la qualité est délicate est difficile à cause de grand nombre de types des hybrides
- La production industrielle a commencé

Les hybrides de lectures sont un succès pour IN2P3!