

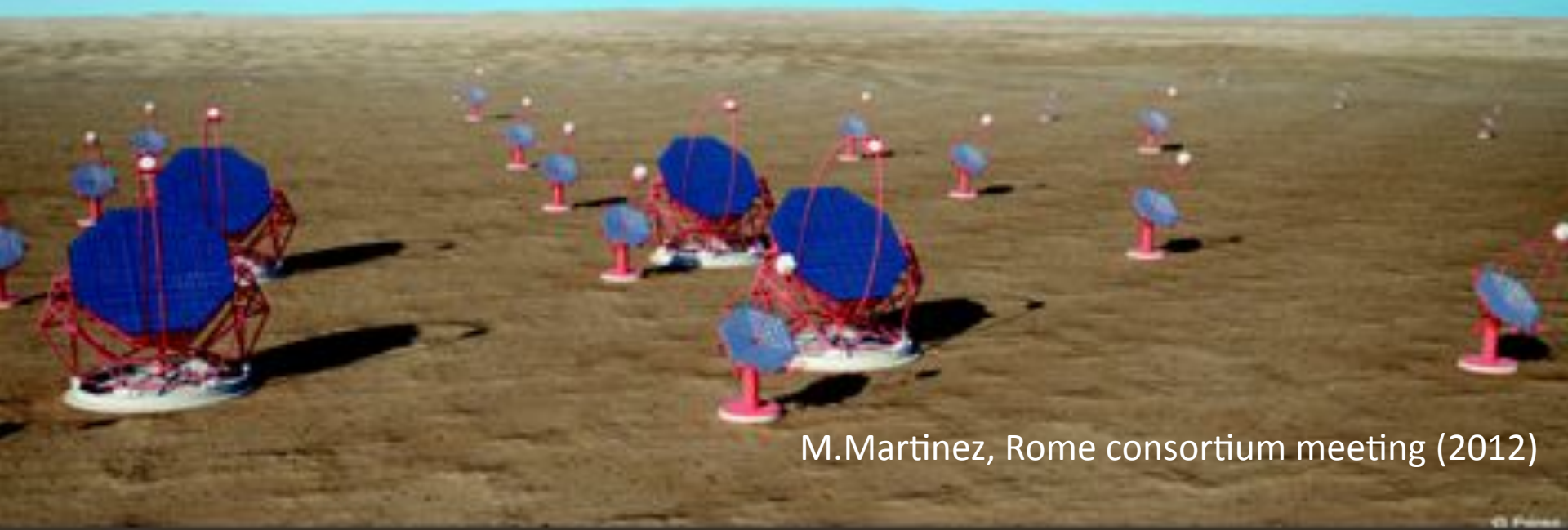
Participation du SPP à CTA

J-F. Glicenstein/P.Brun

The future in VHE gamma ray astronomy:

10 fold sensitivity of current instruments
10 fold energy range
improved angular resolution
two sites (North / South)
operated as observatory

Over hundred telescopes
About 150 MEuros (2006)



M.Martinez, Rome consortium meeting (2012)

CTA is a world-wide Consortium:



CTA Membership

- Members (27 countries)
- Interested to join (3 countries)

171 institutions
82 parties
1058 members



17-October-2012

CTA à l'IRFU

- ~ 30 personnes, 8 FTE (2013)
- caméra NectarCAM: SPP, SEDI, SIS
- Miroirs pour les télescopes moyens: SPP, SEDI, SIS
- “Développement du site”: SAp
- Traitement et archivage des données: SAp, SEDI, SPP
- Mécanique des télescopes MST: SEDI, SPP → quadrupode du prototype de Zeuthen
→ carbone remplacé par acier
→ non retenu



CTA au SPP

NectarCam



Miroirs



Traitement de données



Quelles caméras pour quels télescopes?

- Télescope SST simple miroir: FlashCAM (PMT, digital)
- Télescope SST double miroir: CHEC, ASTRI (SiPM ou MaPMT, analogue)

- Télescope SCT (double miroir): CHEC (SiPM, analogue)
- Télescope **MST** (simple miroir, PMT): **FlashCAM** (digital), **NectarCAM** (analogue)

- Télescope LST (simple miroir, PMT): **DragonCAM** (analogue)

The NectarCAM camera project

J-F.GLICENSTEIN¹, M.BARCELO¹¹, J-A. BARRIO¹², O.BLANCH¹¹, J.Boix¹¹, J.BOLMONT⁴, C.BOUTONNET², S.CAZAUX¹, E.CHABANNE⁷, C.CHAMPION², F.CHATEAU¹, S.COLONGES², P.CORONA⁴, S.COUTURIER⁵, B.COURTY², E.DELAGNES¹, C.DELGADO¹⁰, J-P.ERNENWEIN⁶, S.FEGAN⁵, O.FERREIRA⁵, M.FESQUET¹, G.FONTAINE⁵, N.FOUQUE⁷, F.HENAULT⁸, D.GASCÓN¹³, D.HERRANZ¹², R.HERMEL⁷, D.HOFFMANN⁶, J.HOULES⁶, S.KARKAR⁴, B.KHELIFI⁵, J.KNÖDLSIEDER³, G.MARTINEZ¹⁰, K.LACOMBE³, G.LAMANNA⁷, T.LEFLOUR⁷, R.LOPEZ-COTO¹¹, F.LOUIS¹, A.MATHIEU⁵, E.MOULIN¹, P.NAYMAN⁴, F.NUNIO¹, J-F. OLIVE³, J-L. PANAZOL⁷, P-O. PETRUCCI⁸, M.PUNCH², J.PRAST⁷, P.RAMON³, M.RIALLOT¹, M.RIBÓ¹³, S.ROSIER-LEES⁷, A.SANUY¹³, J.SIERO¹³, J-P.TAVERNET⁴, L.A.TEJEDOR¹², F.TOUSSENEL⁴⁵⁵, G.VASILEIADIS⁹, V.VOISIN⁴, V.WAEGEBERT³, C.ZURBACH⁹,
FOR THE CTA CONSORTIUM.

¹ IRFU, CEA-Saclay, Gif-sur-Yvette, France

² APC, IN2P3/CNRS, Paris, France

³ IRAP, INSU/CNRS, Toulouse, France

⁴ LPNHE, IN2P3/CNRS/UPMC/UPD, Paris, France

⁵ LLR, IN2P3/CNRS, Palaiseau, France

⁶ CPPM, IN2P3/CNRS, Marseille, France

⁷ LAPP, IN2P3/CNRS, Annecy, France

⁸ IPAG, INSU/CNRS, Grenoble, France

⁹ LUPM, IN2P3/CNRS, Montpellier, France

¹⁰ CIEMAT, Madrid, Spain

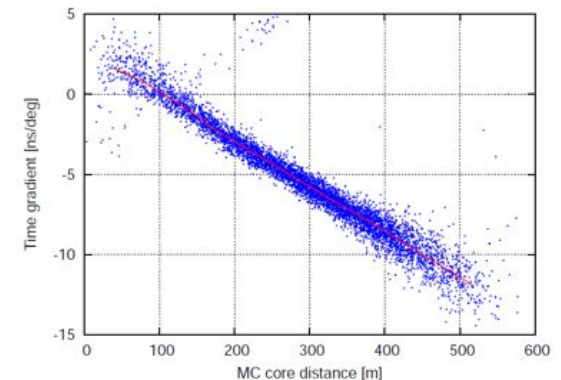
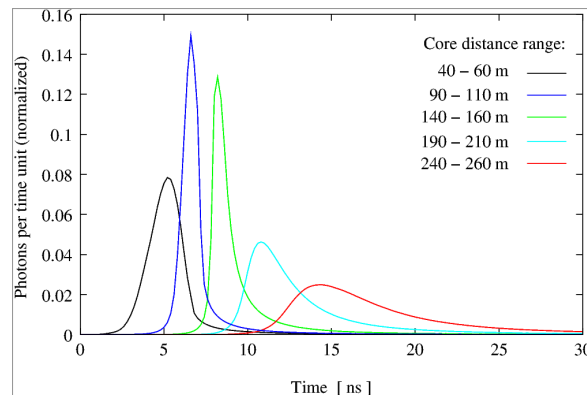
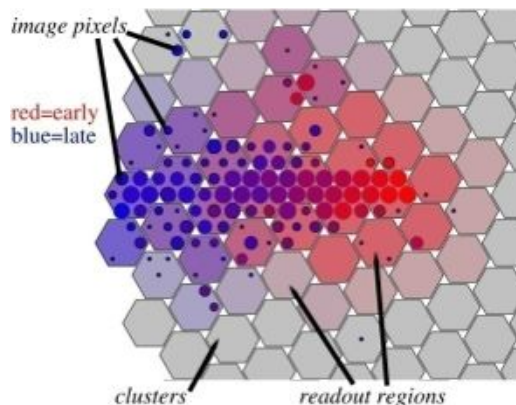
¹¹ IFAE, Barcelona, Spain

¹² Universidad Complutense, Madrid, Spain

¹³ ICC-UB, Barcelona, Spain

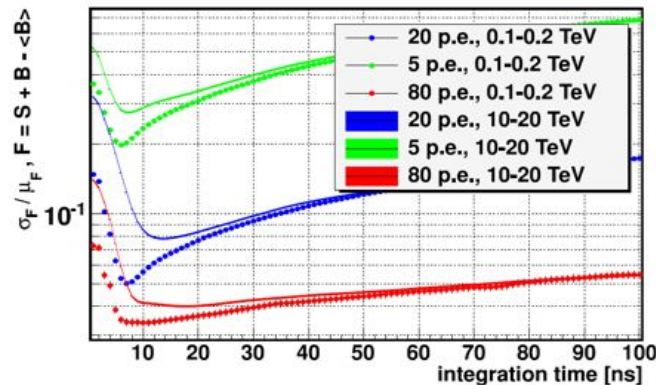
La caméra NectarCAM

- placée au foyer des télescope MST
- champ de vue: 7 à 8 degrés (H.E.S.S: 5 degrés)
- motivation physique: surveys, grands restes de SN
- gamme en énergie 50 GeV à 50 TeV (similaire à HESS) \Rightarrow gamme dynamique ~ 1000 en signal
- image de la gerbe électromagnétique dans le plan focal $\sim (1 \text{ degré})^2$
- taille du pixel (PMT): 0.18 degré $\Rightarrow \sim 1900$ pixels
- durée du signal dans chaque pixel ~ 5 ns
- durée totale du signal: <plusieurs dizaines de ns (dépend de l'éloignement de la gerbe).



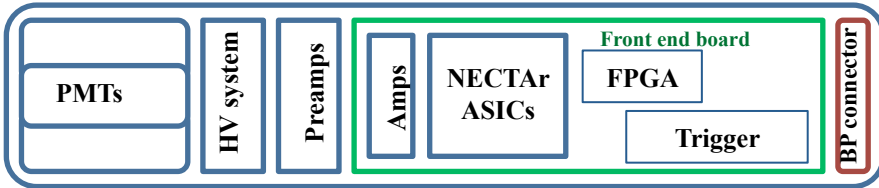
La caméra NectarCAM (2)

- 2 mesures de base:
 - Charge intégrée/pixel sur $\sim 5-10$ ns
 - Temps d'arrivée des photons/pixel (erreur ~ 1 ns)
- Mesure du temps d'arrivée:
 - pulses très courts (2 ns FWHM)
 - ⇒ Bande passante analogique $B > 300$ MHz
- Echantillonnage signal $> 2B$, idéalement 1-2 GHz
- Fenêtre d'intégration courte ~ 20 ns pour minimiser le rapport signal/bruit



- Nécessité d'un déclenchement flexible pour lire les pixels à des temps décalés (durée totale événement < 100 ns)
- Gamme dynamique/pixel > 1000 (signal) $\times 10$ (calibration photoélectron simple) > 13 bits (14 bits requis par CTA)

Module



FEB V1 and trigger mezzanines



Light guide



PMTs +HV



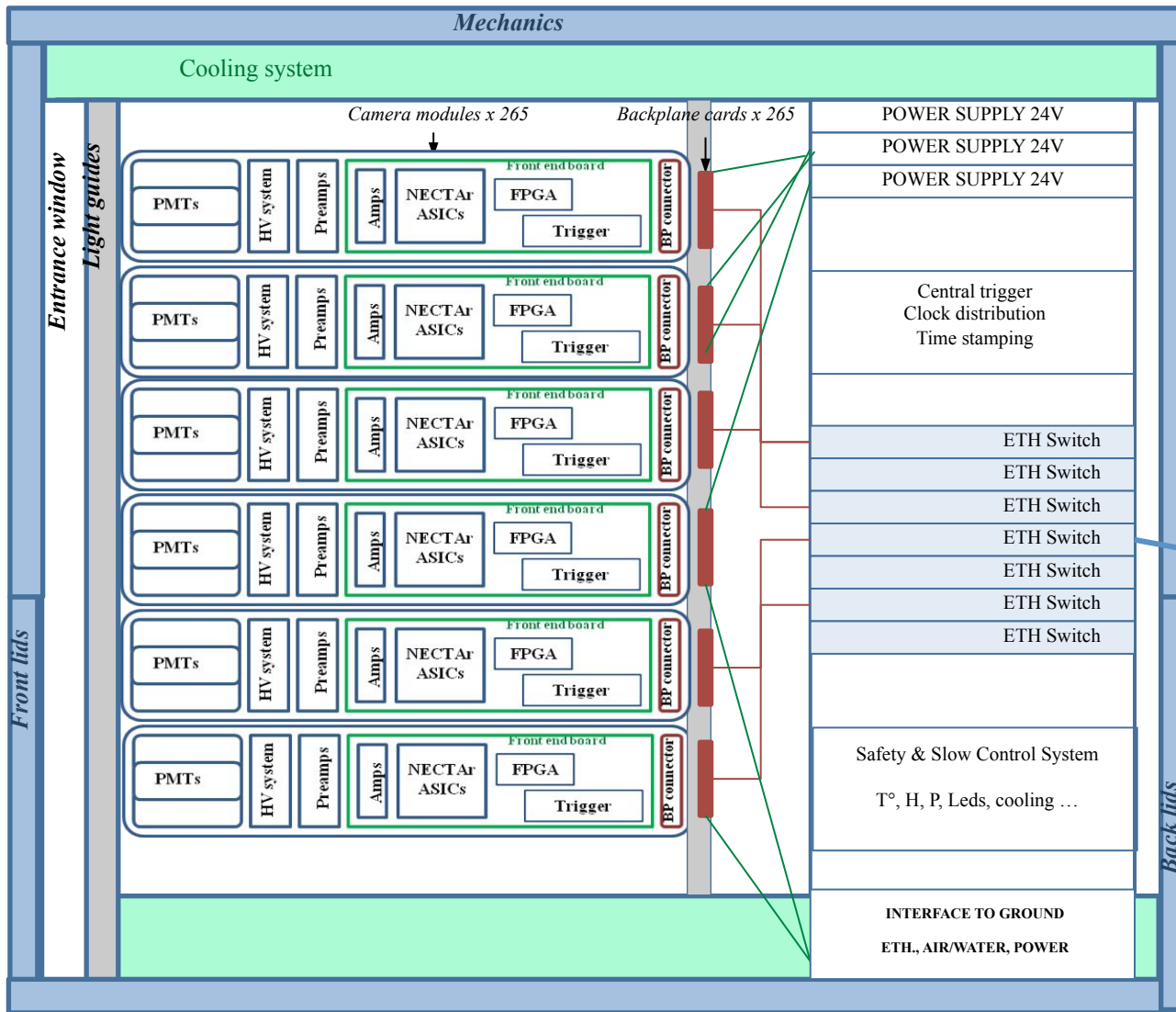
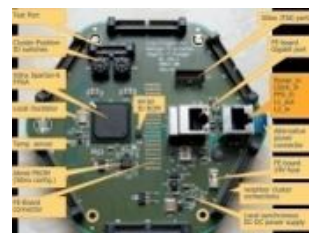
NECTAr ASICs



AT scheme

Backplane & L1 dist

DT scheme



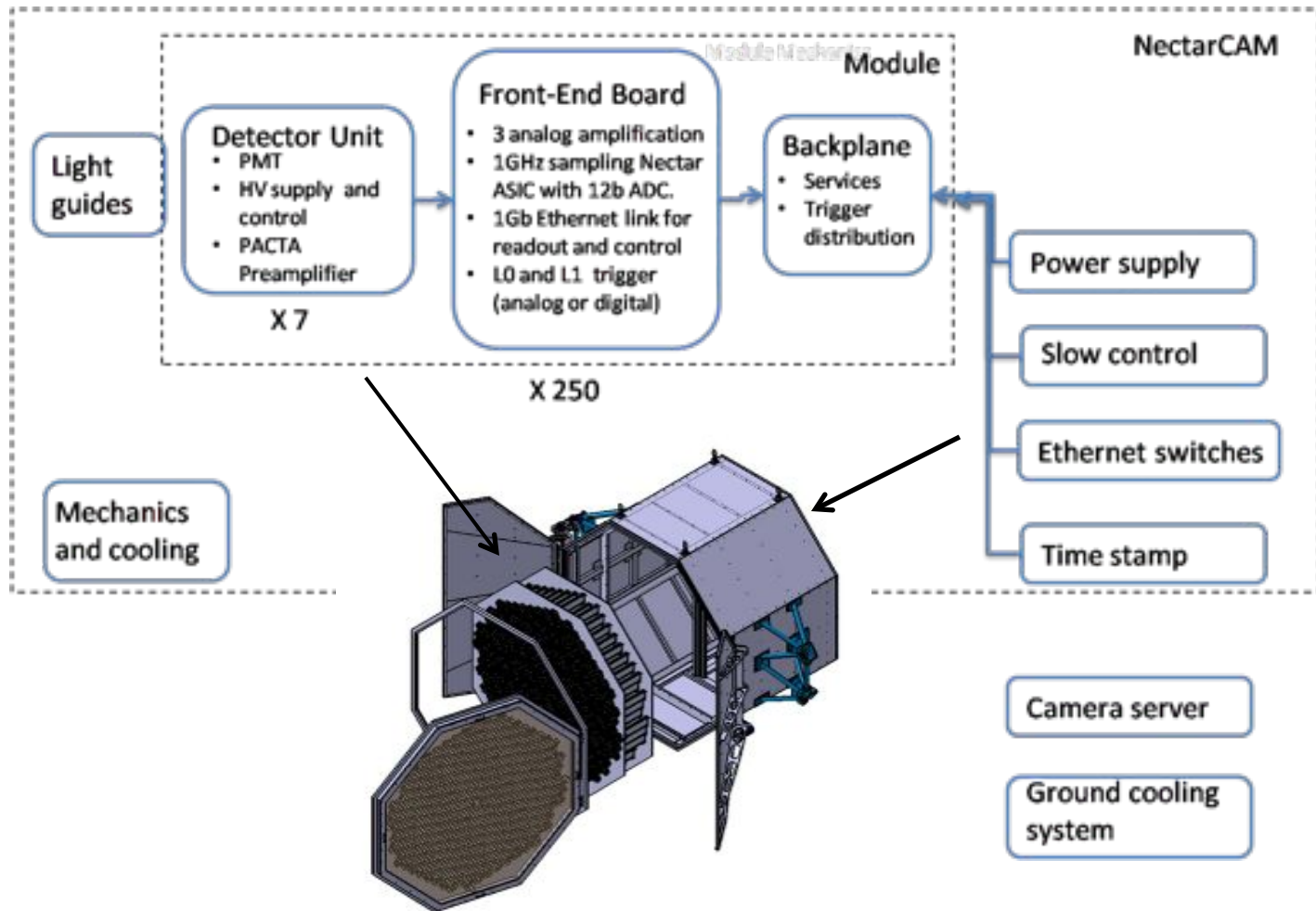
POWER SUPPLY 24V



Camera server ground



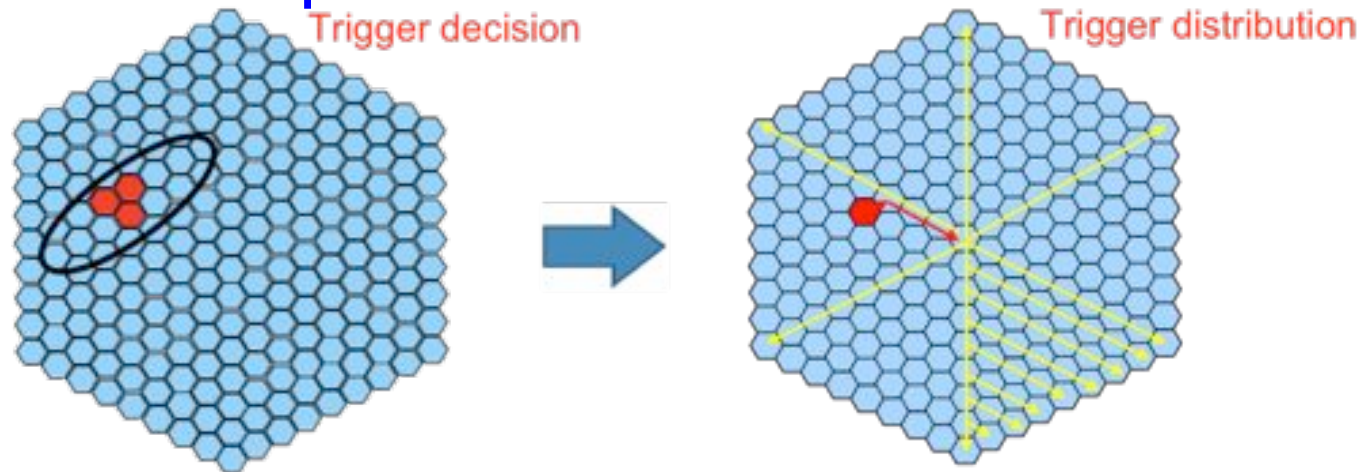
Architecture de la NectarCAM



Architecture modulaire:

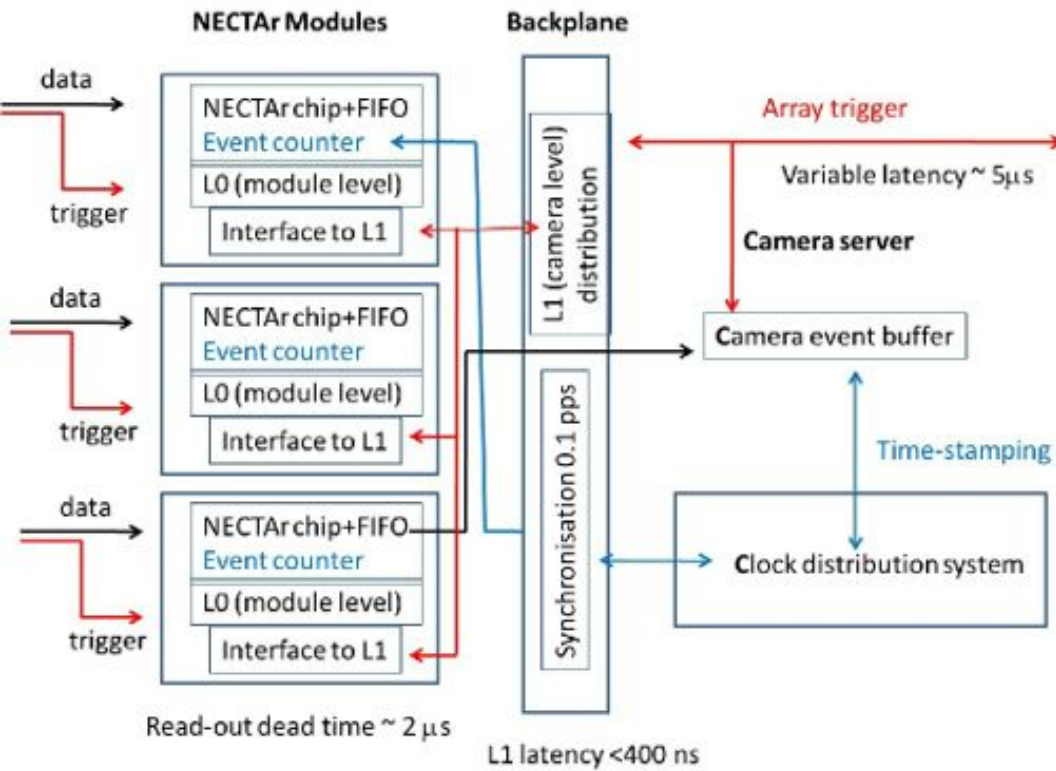
~ 250 modules de 7 pixels à l'avant de la caméra
slow control, switches Ethernet etc à l'arrière

Principe du déclenchement caméra



- Signal dans une région compacte (quelques modules) et coincidents en temps
- Trois niveaux de déclenchement:
 - niveau module (L0)
 - niveau caméra (L1)
 - trigger multi-télescope
- 2 implementations possibles L0,L1: analogue (CIEMAT, Uni. Complutense, IFAÉ) ou digital (DESY)
- propagation de l'information L1 aux modules en moins de 400 ns.

Déclenchement et acquisition de la NectarCAM



- Taux déclenchements du aux cosmiques ~ 3 kHz (max requis par CTA: 4.5 kHz)

- Déclenchements fortuits dus au fond de ciel éliminés avec les L0/L1.

- Temps mort chip NECTAr 2-3 μ s (dépend taille ROI)

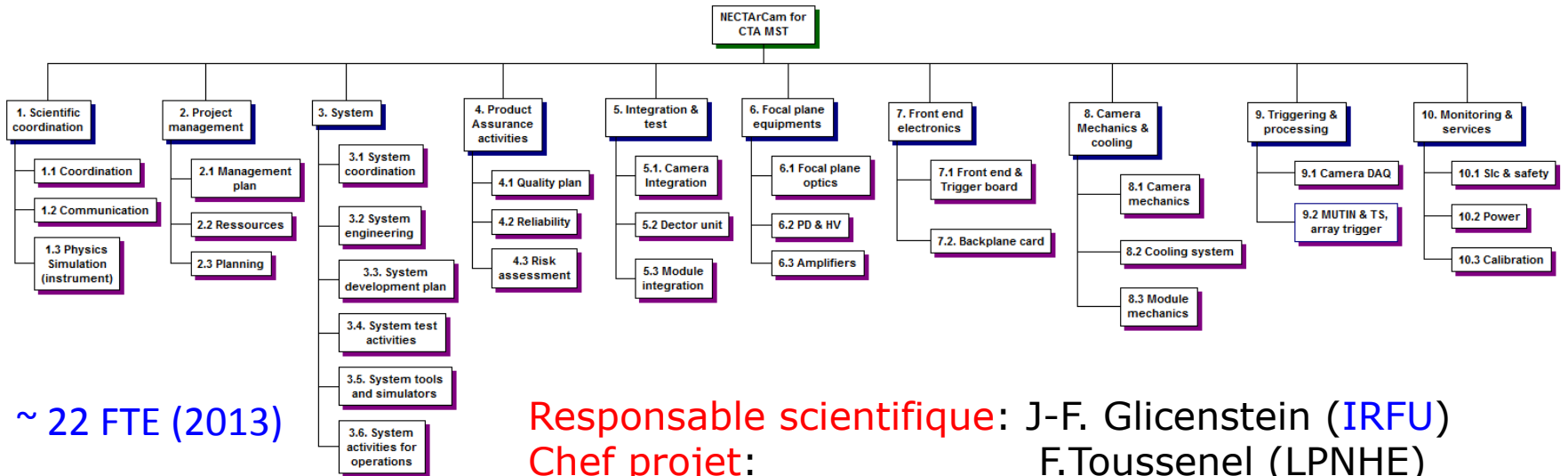
- Temps mort acquisition à déterminer

- Temps mort caméra $< 5\%$ pour 6kHz trigger rate (requis par CTA)

- trigger stéréo: coïncidences temporelles entre télescopes (latence $\sim 5\mu$ s)
- transfert des triggers caméra sur le "camera server" (> 2 mn données)

Organisation de la NectarCAM

— Basé sur un WBS stable depuis début 2012



~ 22 FTE (2013)

Responsable scientifique: J-F. Glicenstein (IRFU)
Chef projet: F.Toussenet (LPNHE)
Ingénieur système: M.Fesquet (IRFU)
Ingénieur qualité: S.Couturier (LLR)
Responsable integration: F.Louis (IRFU)

- IRFU impliqué dans:
- Management (SPP,SEDI)
 - Integration (SPP,SEDI)
 - Mécanique/cooling (SEDI, SIS)
 - Electronique de lecture (SEDI)

Plan de développement et prototypes

| Item | Phases | | | |
|-----------------------------|---|--|---|--|
| | Phase A <i>Feasibility</i> | Phase B <i>Preliminary definition</i> | Phase C <i>Detailed definition</i> | Phase D <i>Qualification and production</i> |
| Reviews | PRR: -Elaborate requirements -Confirmation of feasibility -Phase management, system PA | PDR: -Preliminary design in requirements -Verification plan | CDR: -Final design -Validate interfaces | AR: -Qualification -Start mass production -Delivery |
| Activities | | | | |
| Requirements | [Blue bar spanning Phase A and Phase B] | | | |
| Trade-offs | [Blue bar spanning Phase A, Phase B, and Phase C] | | | |
| Definition | [Blue bar spanning Phase B, Phase C, and Phase D] | | | |
| Verification | [Blue bar spanning Phase C and Phase D] | | | |
| Production | [Blue bar spanning Phase C, Phase D, and beyond] | | | |
| Operation | [Blue bar spanning Phase D and beyond] | | | |
| Models | | | | |
| Single module camera | [Green bar spanning Phase A and Phase B] | | | |
| 7 modules cluster | [Green bar spanning Phase A, Phase B, and Phase C] | | | |
| Camera demonstrator | [Green bar spanning Phase C and Phase D] | | | |
| Qualification Model | [Green bar spanning Phase D and beyond] | | | |
| Camera NI & mass production | [Green bar spanning Phase D and beyond] | | | |

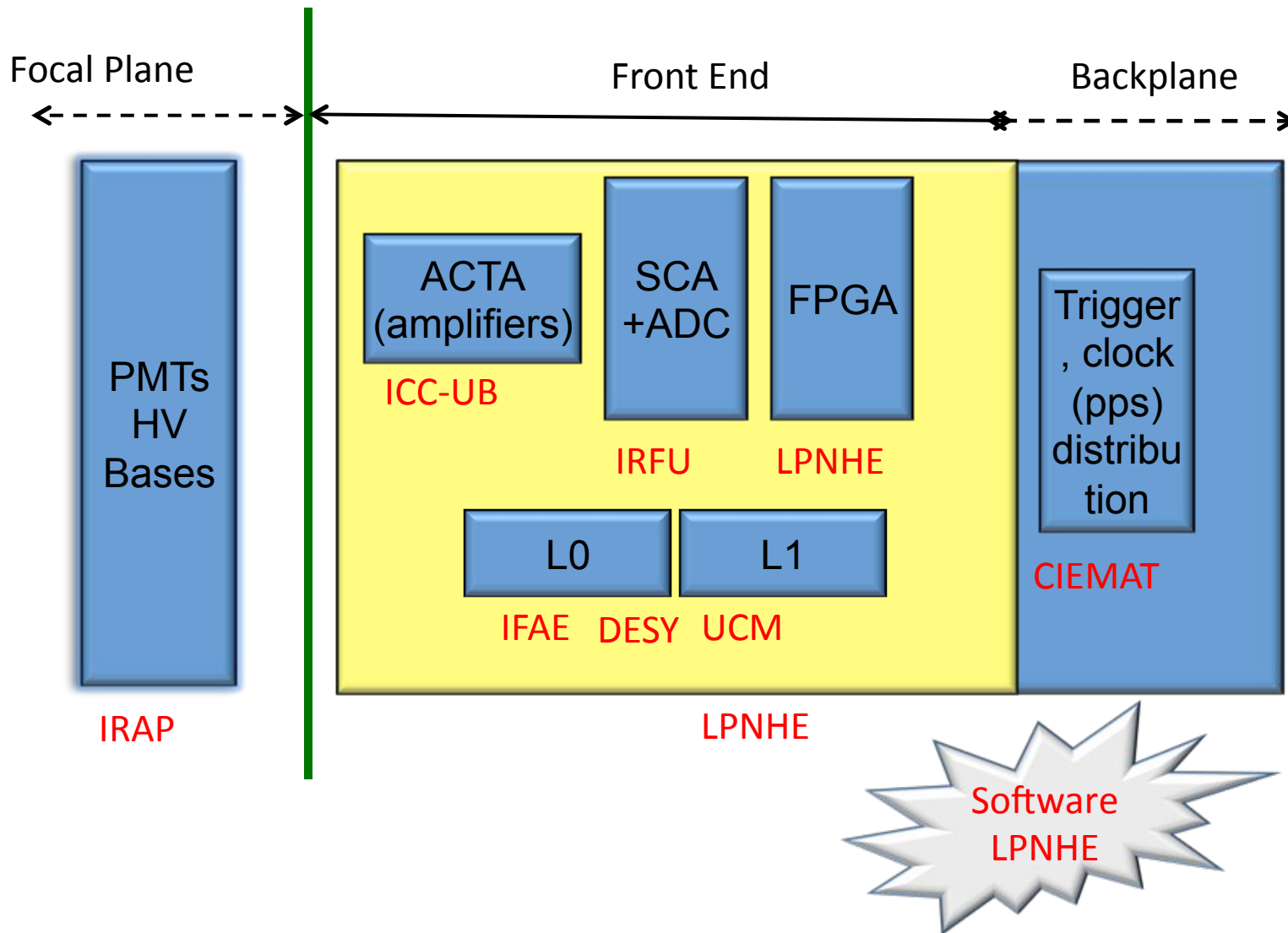
— Prototypes:

- 1 module (2009-2012)
- 7 modules (en cours)
- 19 modules (demande ANR en cours)
- modèle de qualification: après le démarrage du TGI
- caméras

Positionnement par rapport à la concurrence

- Collaboration avec caméra pour le LST (“DragonCAM”) (Japon/Espagne/Italie)
 - Architecture similaire
 - Travail en commun sur la mécanique et le refroidissement, le contrôle, le déclenchement.
 - Différence principale: mémoire analogique (NECTAr vs DRS4)
- Concurrent sur le marché des MST: FlashCAM (consortium MPIK/Tübingen/Zurich/Pologne)
 - Caméra digitale, avec des FADC 250 MHz

Module components



Module NECTAr (2009-2012)



— tests:

- résolution en charge
- gamme dynamique
- préamplificateurs ACTA
- photoélectron unique au gain nominal PMT
- bande passante analogique

Prototype à 7 modules

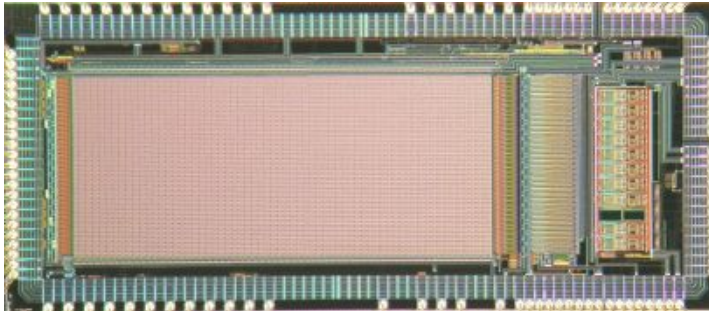


— Buts:

- Validation finale amplificateur ACTA
- Correction des problèmes vus avec le module NECTAr
- Trigger L1 analogue et digital
- Développement des banc de test module (inclus le software), NECTAr

Electronique de front-end: puces NECTAr

- Double fonctionnalité:
 - mémoire analogique (1024 canaux, sampling 0.5-3.2 GHz)
 - +digitisation(12 bits, 20 MHz)
- amélioration du SAM (H.E.S.S.-2)
- évolutions prévues: doublement du nombre de canaux par puce
- développement initial ans l'ANR 08-BLAN-014 (2009-2012)
- utilisation dans l'upgrade de l'électronique des caméras de H.E.S.S.-1



- **banc test à l'IRFU pour H.E.S.S** ⇒ utilisation pour CTA
- changement d'échelle (5000 puces → 100000 puces)

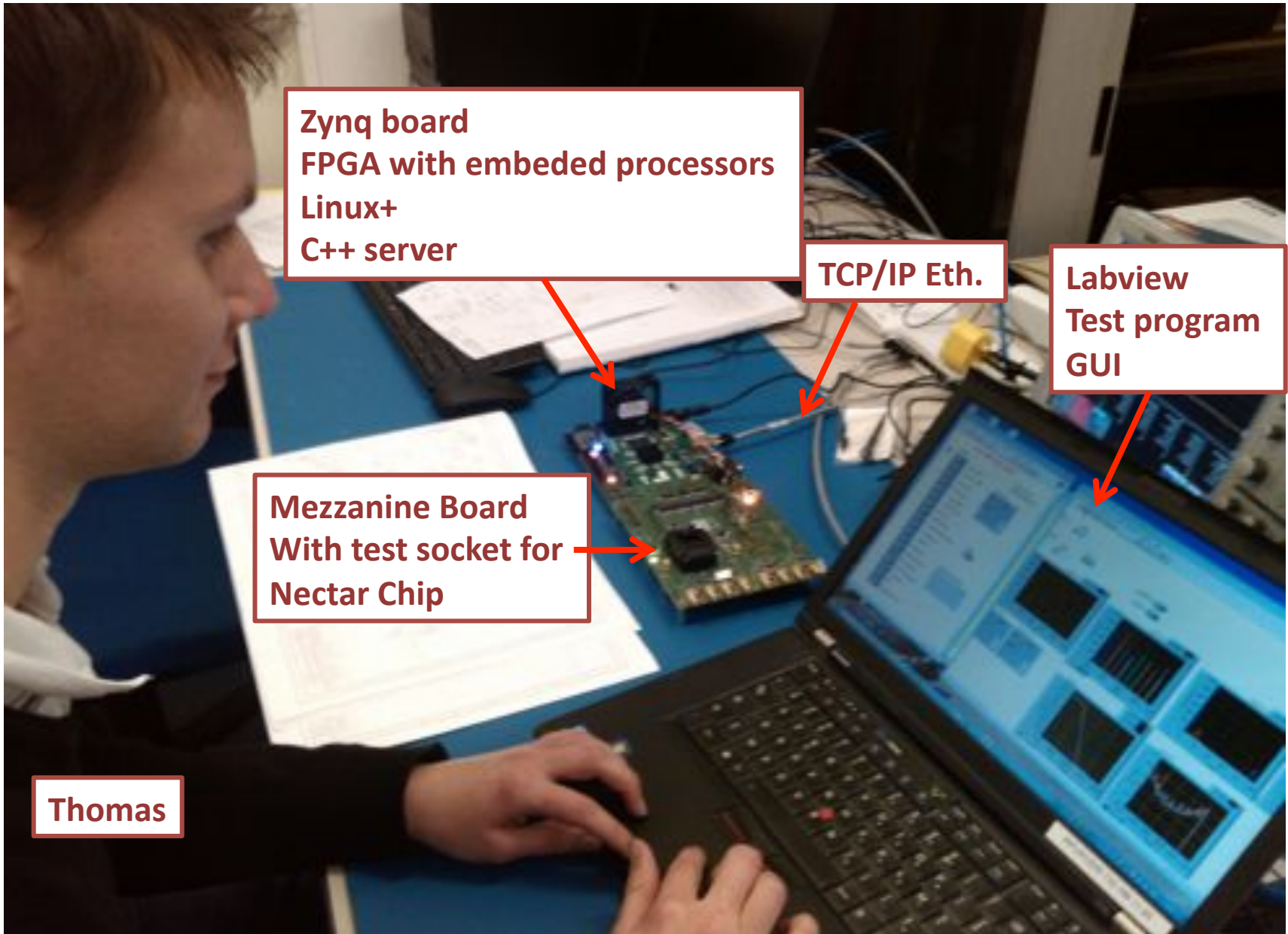
Zynq board
FPGA with embeded processors
Linux+
C++ server

TCP/IP Eth.

Labview
Test program
GUI

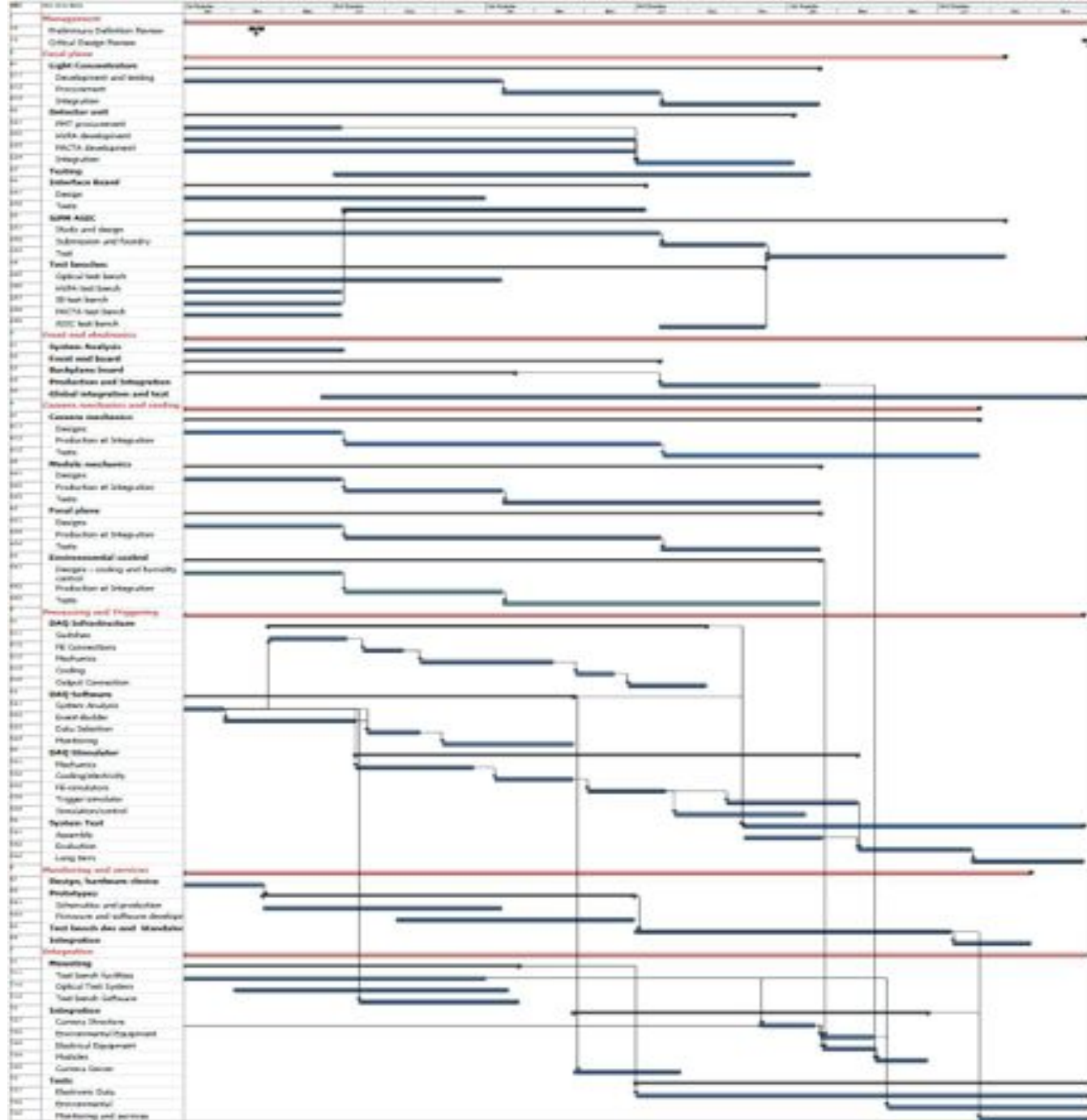
Mezzanine Board
With test socket for
Nectar Chip

Thomas



Démonstrateur 19-modules

- Démonstrateur de caméra
- 19 modules NECTAr
 - ⇒ permet de tester la latence L1, le trigger "flexible"
- Structure mécanique+refroidissement
- Acquisition des 19 modules+ simulation de l'acquisition des autres modules
- Slow-control et services
- intégration du démonstrateur de caméra à l'IRFU
- demande ANR 2013 (6 laboratoires français + 6 associés) 607 k€ + 170 k€ (instituts) + contribution espagnole



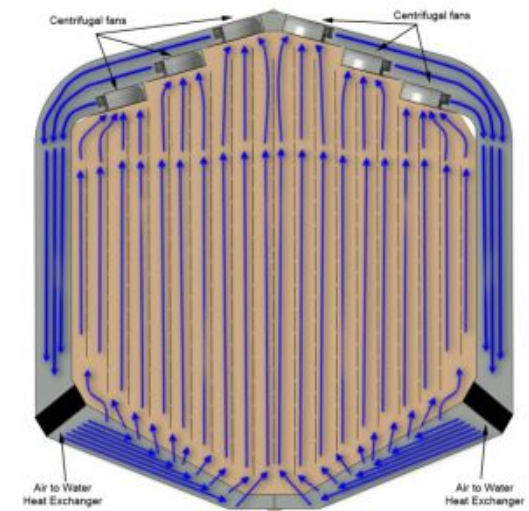
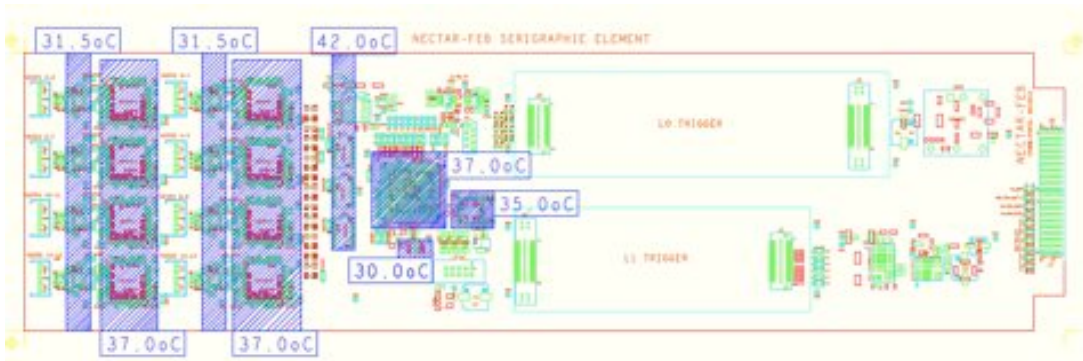
Démonstrateur 19-modules: aspects financiers

| Partner | IRFU | Cost per year | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|----------|------------|-----------|-----------|----------|
| Description | Type | Unity cost (k€) | Quantity | Total (k€) | Year 1 | Year 2 | Year 3 |
| Camera integration and tests | | | | 8,00 | 0 | 8 | 0 |
| <i>Integration site unfrustration</i> | <i>Equipment</i> | 26,00 | 1 | NA | | | |
| <i>Test Equipments</i> | <i>Equipment</i> | 27,00 | 1 | NA | | | |
| <i>Software dev. and Equipments</i> | <i>Equipment</i> | 5,00 | 1 | 5,00 | | | |
| <i>Analysis tools</i> | <i>Aux. Equipment</i> | 3,00 | 1 | 3,00 | | | |
| Cooling system | | | | 20,00 | 20 | 0 | 0 |
| <i>Cooling system</i> | <i>Equipment</i> | 6,00 | 1 | 6,00 | | | |
| <i>Dummy boards and power</i> | <i>Equipment</i> | 11,00 | 1 | 11,00 | | | |
| <i>Humidity regulation system</i> | <i>Aux. Equipment</i> | 3,00 | 1 | 3,00 | | | |
| <i>Auxiliary measurement</i> | <i>Aux. Equipment</i> | 2,00 | 1 | NA | | | |
| Front end | | | | 50,00 | 10 | 40 | 0 |
| <i>NECTAr chip</i> | <i>Subcontracting</i> | 50,00 | 1 | 50,00 | | | |
| <i>NECTAr chip test bench</i> | <i>Equipment</i> | 10,00 | 1 | NA | | | |
| Clock distribution and time stamp (APC) | | | | 18,00 | 14 | 4 | |
| <i>Crate, optical fibers, tools</i> | <i>Equipment</i> | 12,40 | 1 | 12,40 | | | |
| <i>PCBs production</i> | <i>Subcontracting</i> | 5,60 | 1 | 5,60 | | | |
| Project management | | | | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Computer, software, equipments</i> | <i>Equipment</i> | 6,00 | 1 | NA | | | |
| Total request | 96,00 | | | | 44 | 52 | 0 |

Contribution de l'IRFU: 71 k€

Mécanique, contrôle de température

- caméra scellée pour protéger de la poussière
- dissipation de puissance dans la NectarCam estimée 7.5 kW
- puissance dissipée dans l'électronique de lecture: 4.5 kW
- **mécanique doit être adaptée au refroidissement**



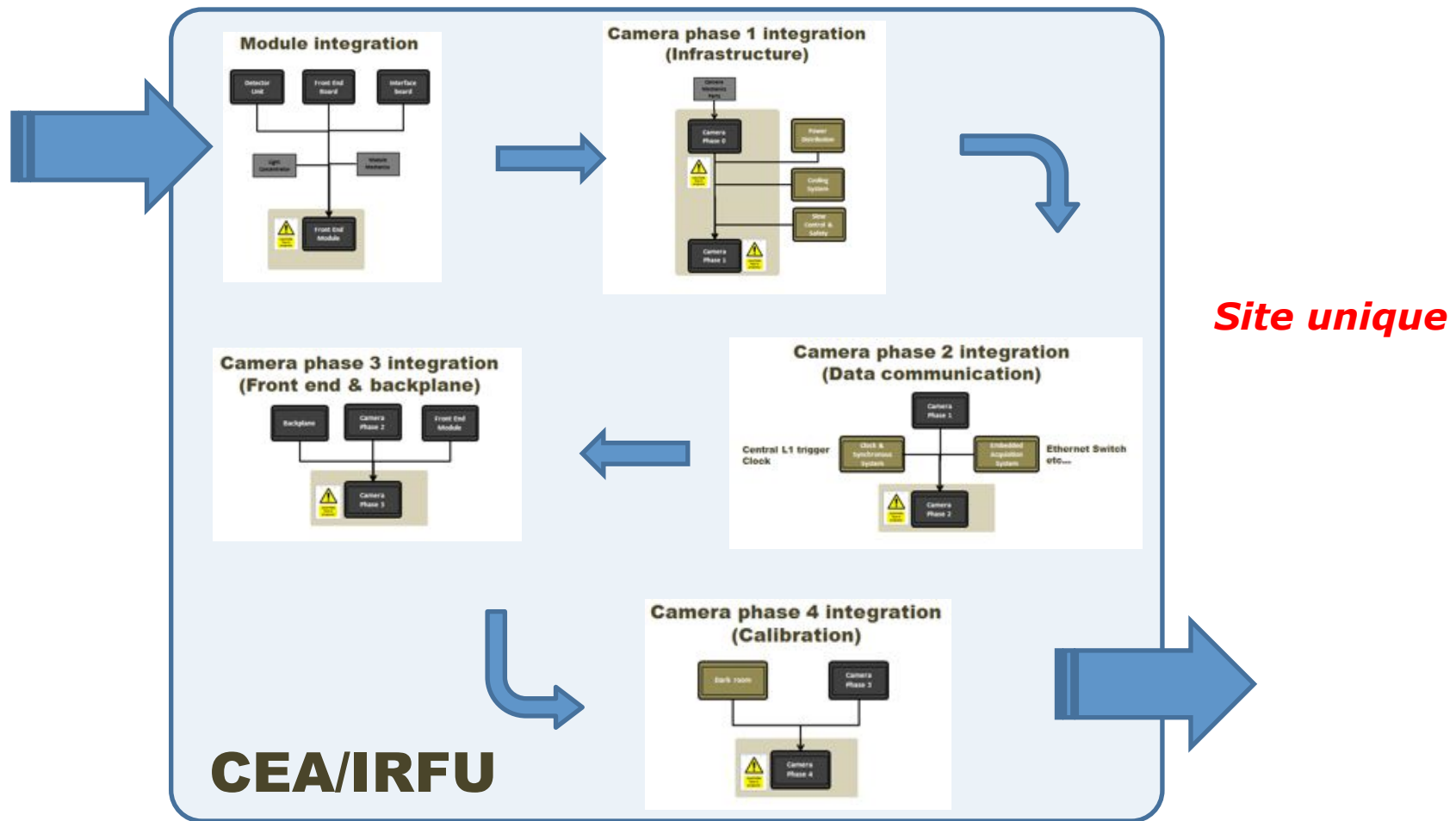
- 3 possibilités pour le refroidissement: air, eau ou mixte
- groupe de travail IRFU-LLR-CIEMAT-Japon
- simulations à l'IRFU, comparaison à un prototype au CIEMAT

Caméras du MST

- réponse française à l'EOI: intérêt pour la construction de 39 caméras MST
- financement: TGI (2016) + contribution étrangère.

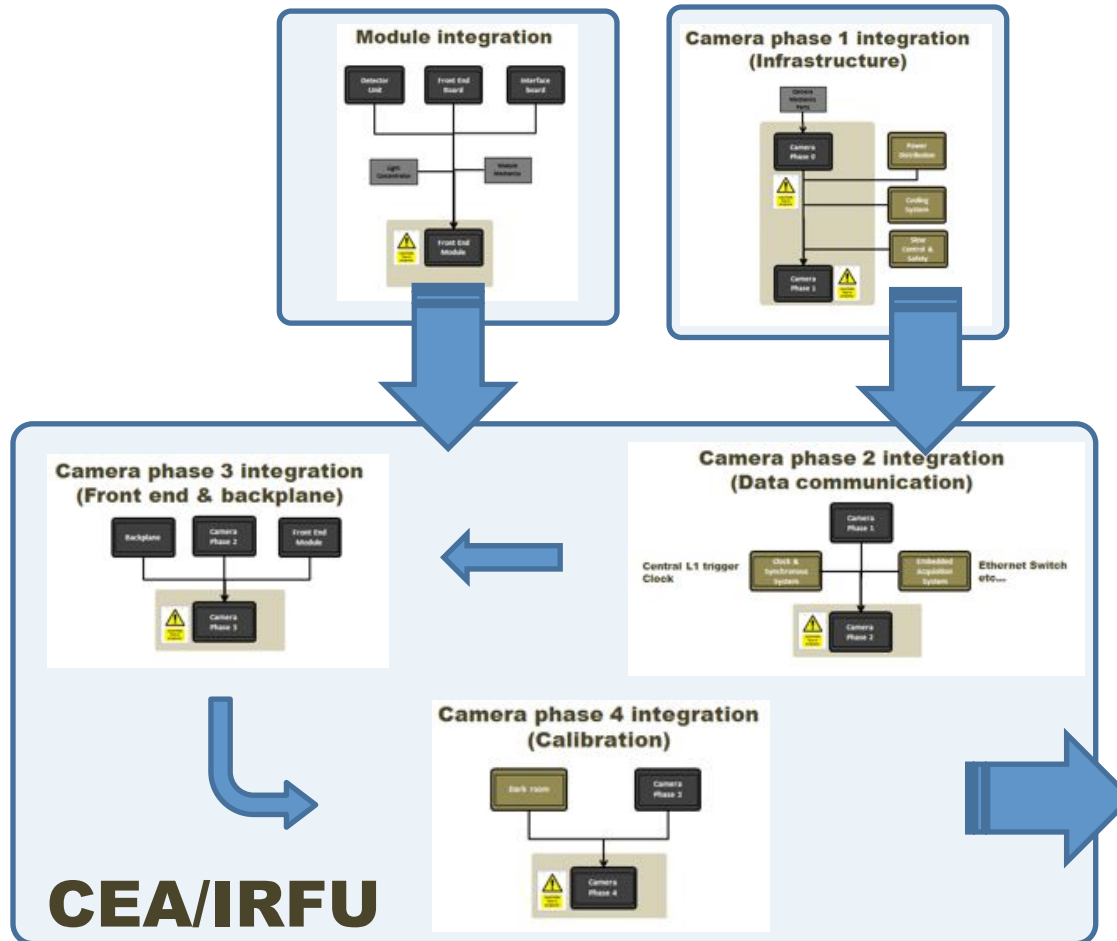
| Contribution française | | | | |
|---|----------------|---------------------------|----------|----------------|
| Produit | Code | Laboratoires impliqués | Quantité | Coût |
| Coût fixe | | | | |
| Cellule projet | | Irfu, SPP SEDI LPNHE, LLR | 8 ans | 440 k€ |
| Démonstrateur | | Tous labos français | | 800 k€ |
| Camera N1 | | Tous labos français | | 1,5 M€ |
| Intégration (fixe) | | Irfu SEDI | | 200 k€ |
| Total coût fixe | | | | 2,94M€ |
| Coût par caméra récurrent | | | | |
| Camera | 5.3 | | | |
| Mechanics | 5.3.1 | LLR, Irfu SIS (cooling) | 1 | 332 k€ |
| Focal plane optics & common comp. | 5.3.2 8.4.2 | IPAG, IRAP, LLR | 1 | 132 k€ |
| Signal processing | 5.3.4 | LPNHE, Irfu SEDI | 271 | 149 k€ |
| Camera DAQ | 5.3.5 | CPPM, LUPM, APC | 1 | 20 k€ |
| Calibration sys. | 5.3.6 | LUPM | 1 | |
| Camera aux. sys. | 5.3.7 | LAPP, LLR | 1 | 72 k€ |
| Intégration (variable) | | Irfu SEDI | 1 | 100 k€ |
| Total par caméra | | | | 805 k€ |
| Total pour 38 caméras | | | | 29,5 M€ |
| Total de la contribution pour 39 caméras * | | | | 32,4 M€ |

Scénarios d'intégration des caméras (1)



- intégration sur un ou plusieurs sites dont Saclay par une prestation extérieure (modèle XFEL)
- suivant le budget, une caméra ou plusieurs dans un pipeline

Scénarios d'intégration (2)



Composants intégrés sur plusieurs sites, intégration finale à l'IRFU

Perspectives NectarCAM

- Fin 2013: finalisation proto 7 modules
- Financement 19 modules ? -> dépend du résultat ANR
- Comparaison avec FlashCAM/DragonCAM à l'aide d'un banc test (à venir)
- Renforcement de l'équipe au niveau physiciens/post-doc
- Renforcement de l'équipe au niveau système

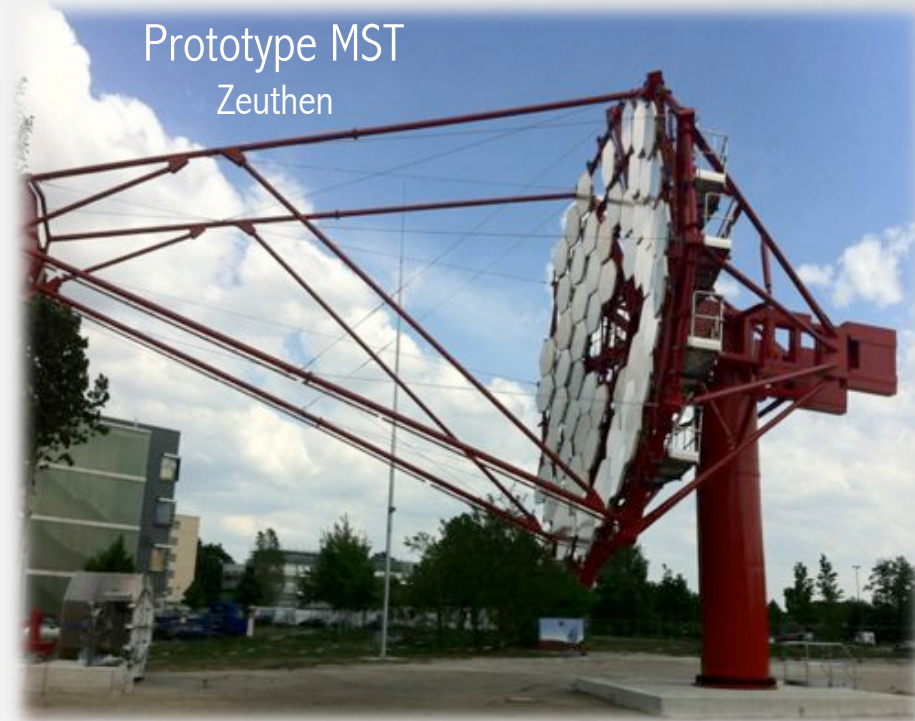
DÉVELOPPEMENTS DE MIROIRS POUR CTA

P. Brun, P-H. Carton, T. Chaleil, G. Decock, J-L. Dominique, D. Durand,
J-F. Glicenstein, C. Jeanney, M.C. Medina, P. Micolon, B. Peyaud

CSTS – 17 juin 2013

BESOINS DE CTA

- ★ 40 télescopes MST = 3500 miroirs = 4200 m²
- ★ Marché de l'ordre de 7 M€
- ★ Proposition Saclay: fournir la moitié
- ★ Spécifications des facettes
 - $M < 35$ kg
 - Focale 16.07 m
 - 80% de réflexion < 1 mrad
 - Diamètre 1.2 m

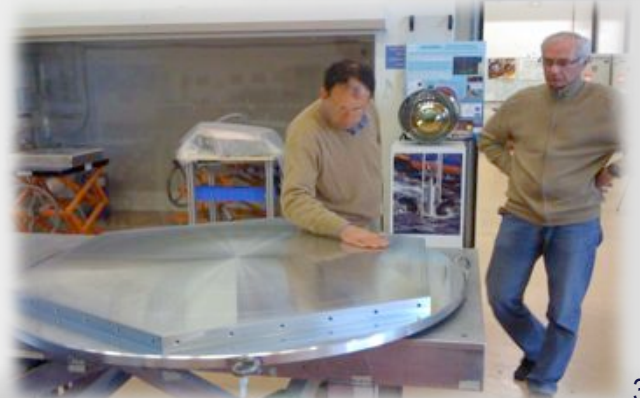


HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT

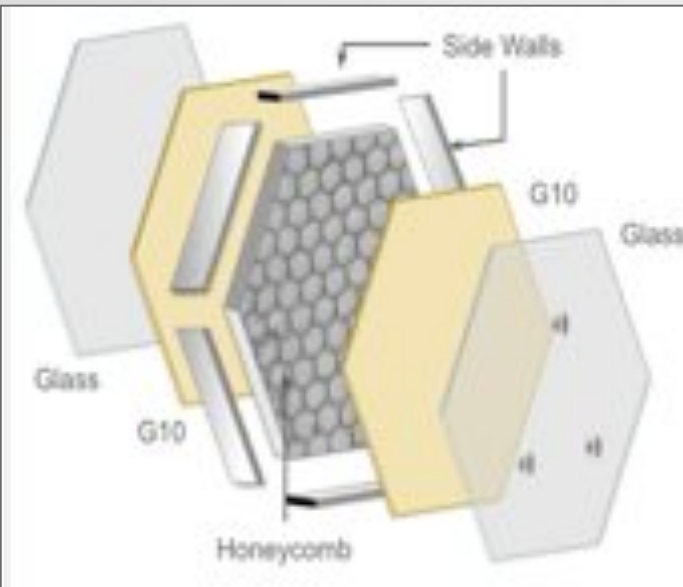
- ★ Premiers prototypes en 2008
- ★ Tests avec un moule de 30 m de courbure, carré 50 cm x 50 cm
- ★ ~50 prototypes & différents matériaux (optique et thermique)



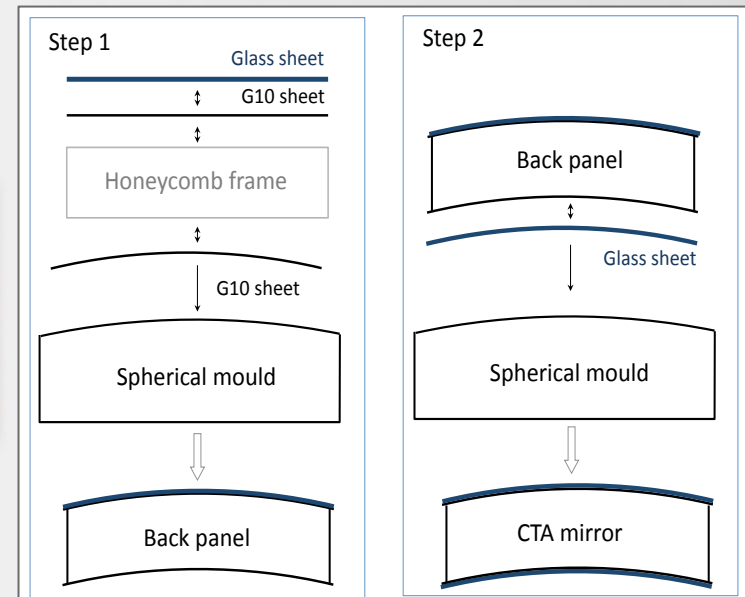
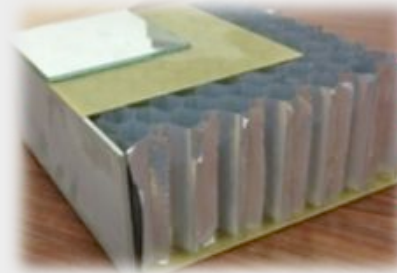
- ★ Fin 2009: acquisition d'un moule 1.2 m
- ★ Été 2010: premiers miroirs nominaux



CONCEPT ACTUEL



5 couches



+ Métallisation aluminium : $Al + SiO_2/HfO_2/SiO_2$

Concepts alternatifs encore considérés



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Nuclear Instruments and Methods in
Physics Research A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



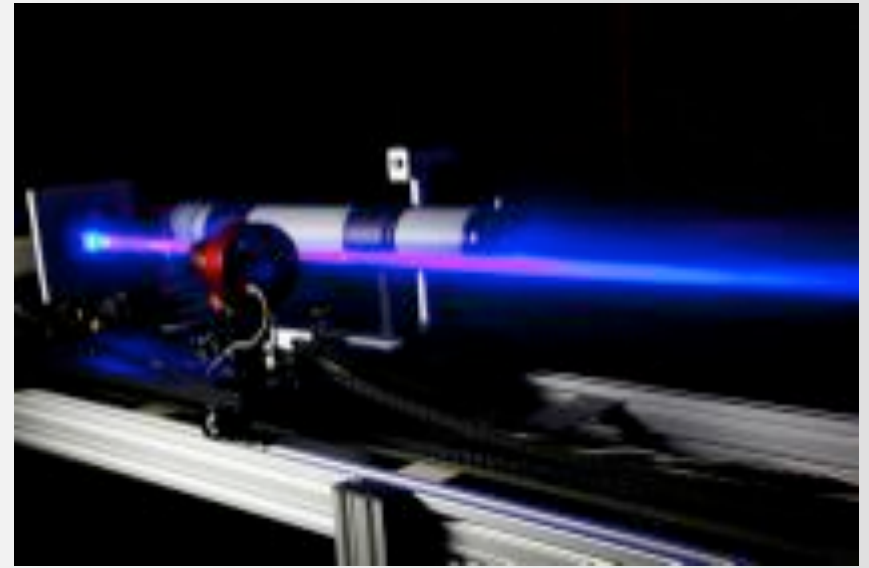
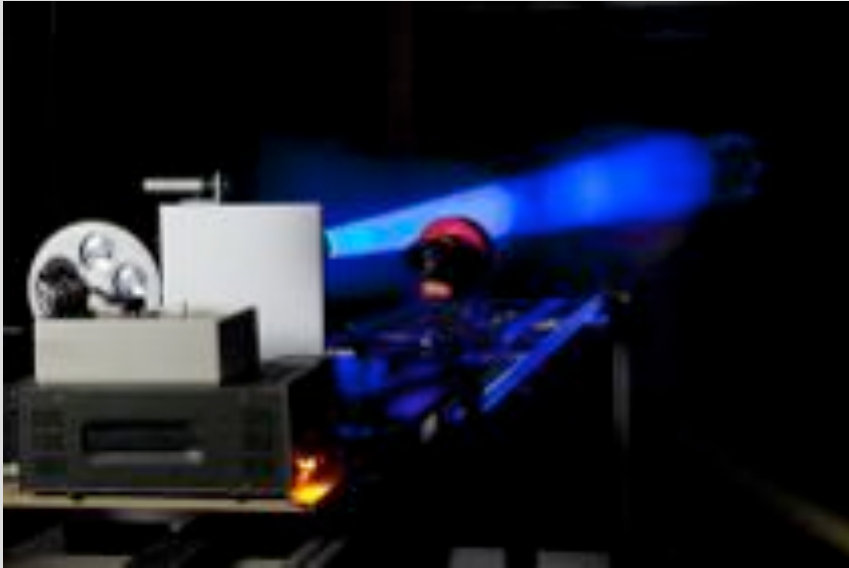
Composite mirror facets for ground based gamma ray astronomy

P. Brun, P.-H. Carton, D. Durand, J.-F. Glicenstein, C. Jeanney, M.C. Medina*, P. Micolon, B. Peyaud

CEA, Irfu, Centre de Saclay, F-91191 Gif sur Yvette, France

TESTS DES MIROIRS PROTOTYPES

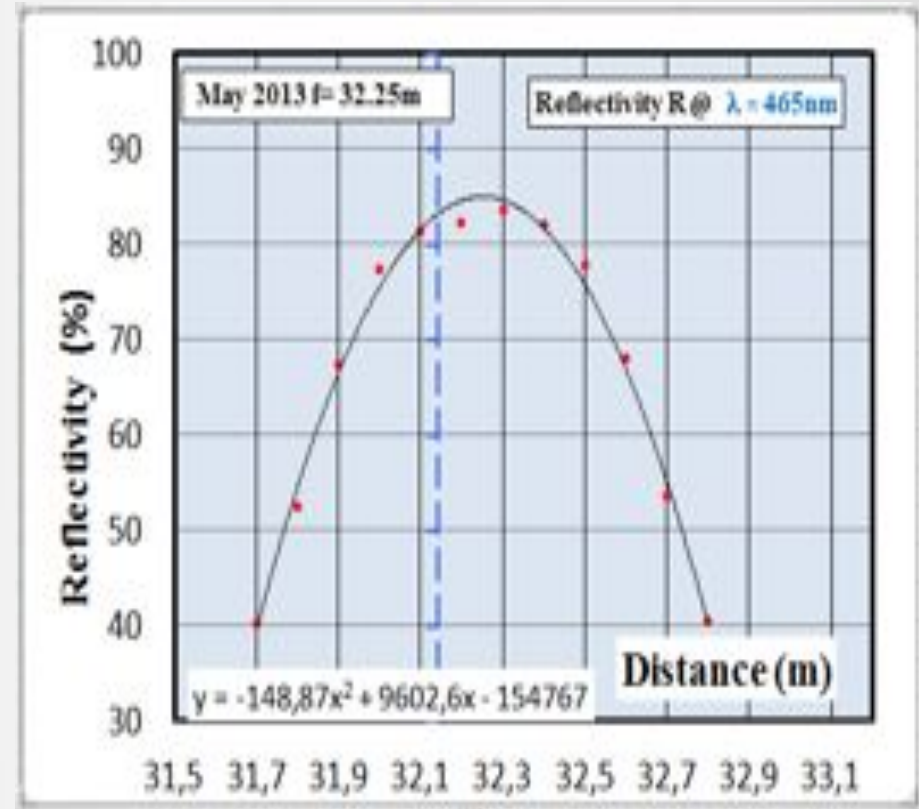
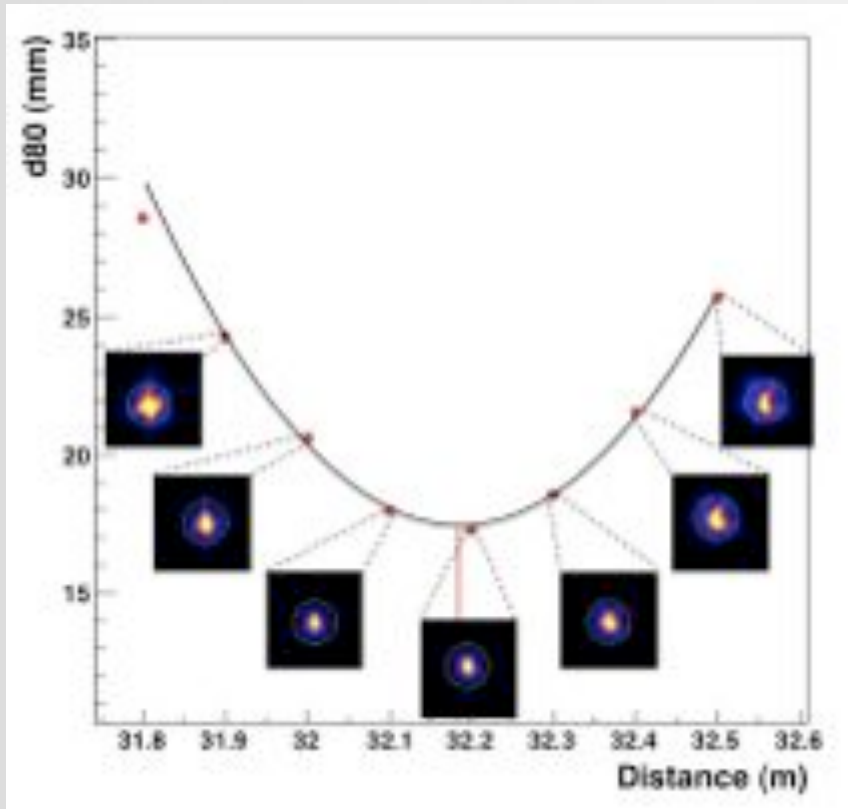
- ★ Dispositif optique au sous-sol du 123 (SIS)



- ★ Source mobile : distance focale
- ★ Image sur un écran : résolution angulaire
- ★ Concentration sur une photodiode : réflectivité absolue à 0.8 mrad

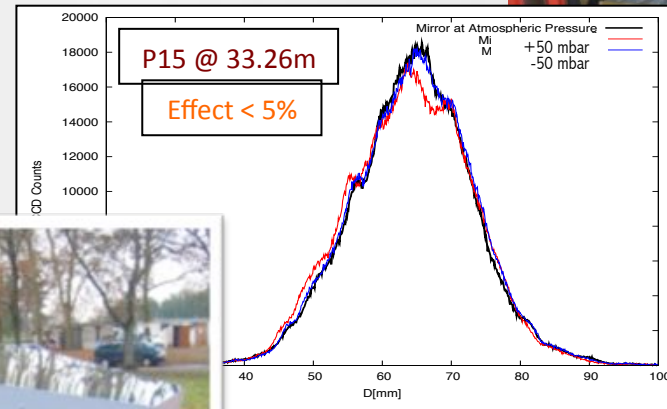
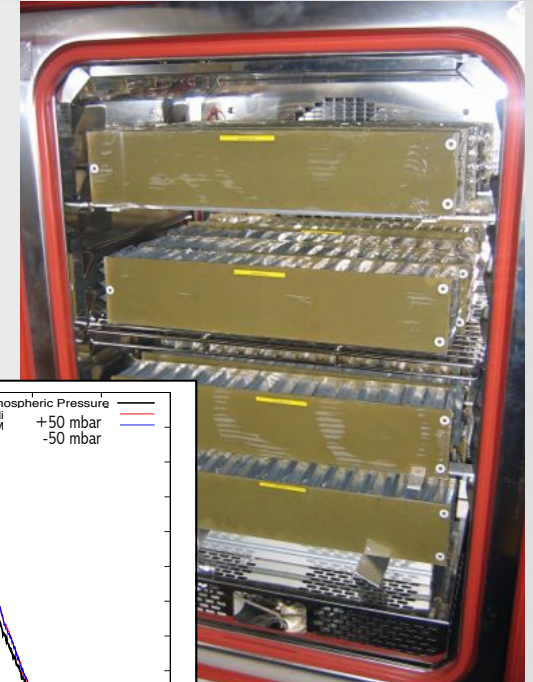
RÉSULTATS OPTIQUES

Exemples résolution angulaire et réflectivité



TESTS MÉCANIQUES

- ★ Cycles thermiques sur échantillons
- ★ Test en pression
- ★ Extérieur
- ★ Impacts



PREMIÈRE REVUE MIROIR

- ★ Revue CTA des technologies miroirs sept. 2011
- ★ Concurrents principaux:
 - INAF Brera : miroirs minces alu-verre, expérience de MAGIC
 - Sanko (Japon) : miroirs épais alu-verre
 - Ensuite: verre massif (Arménie), structure complexe (Pologne)
- ★ Décision de mettre en place des tests communs
- ★ Nécessité de démontrer faisabilité industrielle
- ★ Nécessité de plus d'études mécaniques & vieillissement
- ★ Présentation de l'accord de transfert de technologie



- Créé en 2003
- Activité: dépôts optiques
- PME 15 employés
- Grands halls disponibles
- Soutient fort de la région



Saclay



Kerdry à Lannion

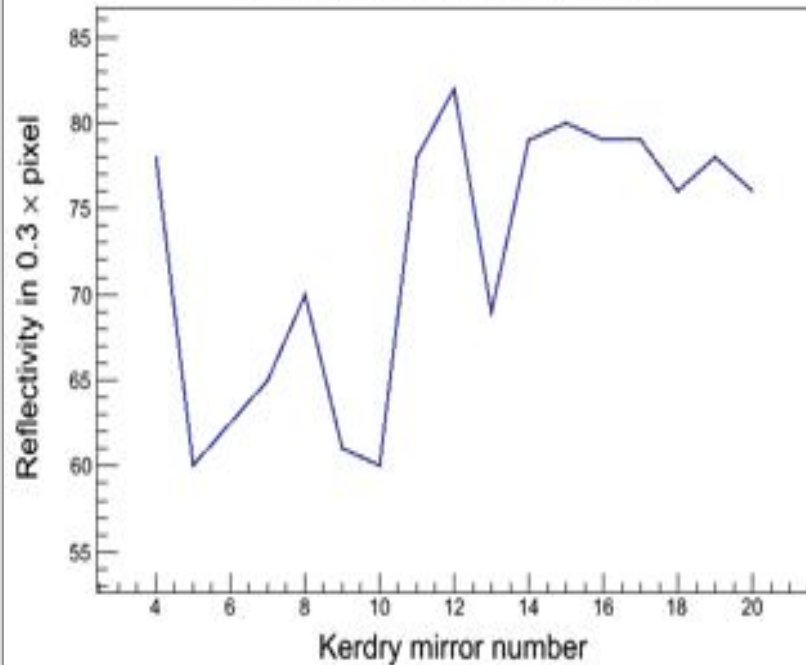


PRÉ-SÉRIE INDUSTRIELLE

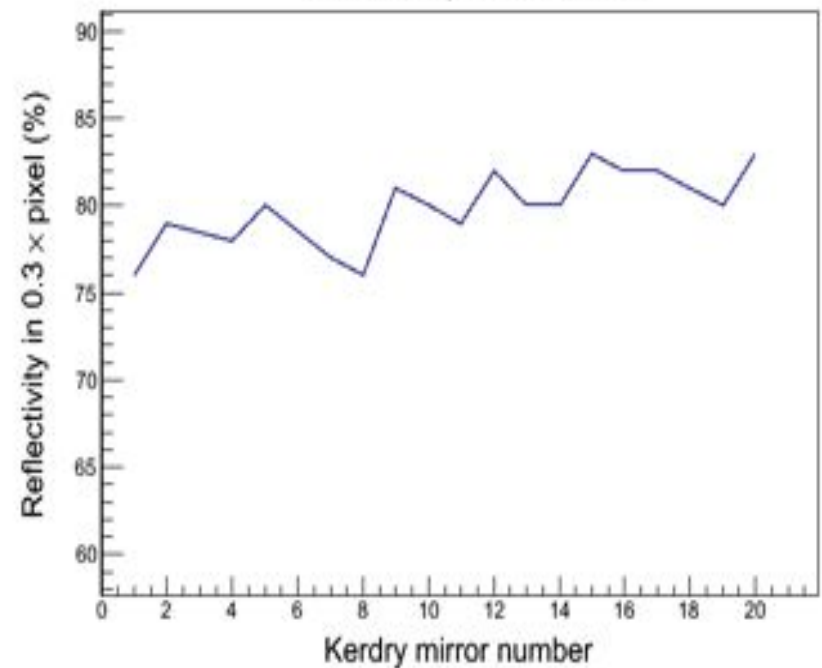
- ★ Décision de produire 20 miroirs purement 'Kerdry'
- ★ Prêt du moule de Saclay
- ★ Déterminant pour:
 - Qualité des miroirs non-prototypes
 - Faisabilité de la chaîne de production
 - Estimation réaliste des cadences, besoins etc.
 - Estimation réaliste des coûts

COURBES D'APPRENTISSAGE

Reflectivity at nominal distance



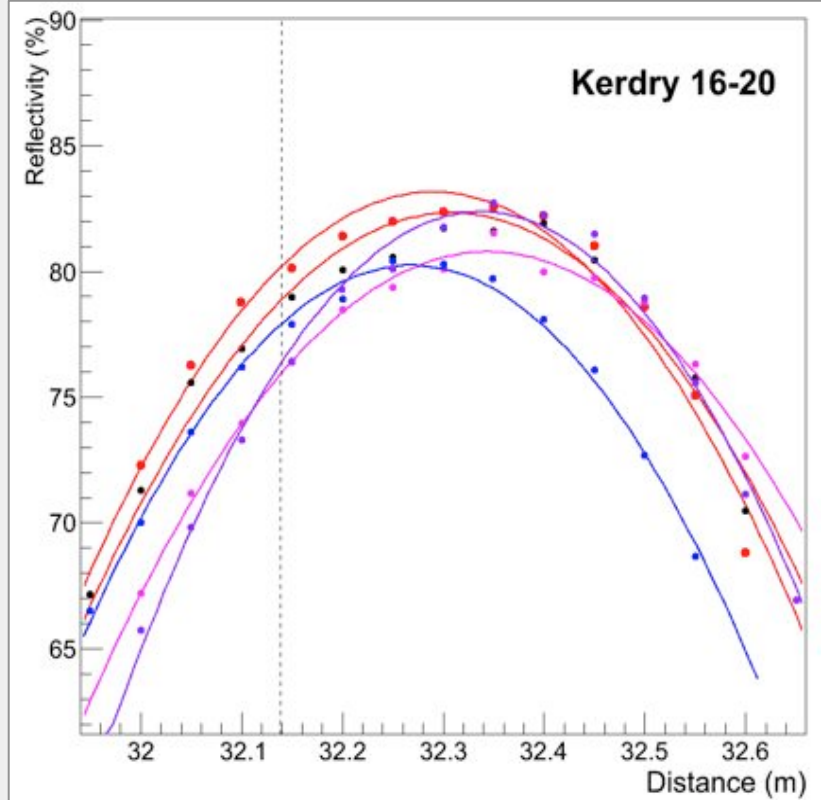
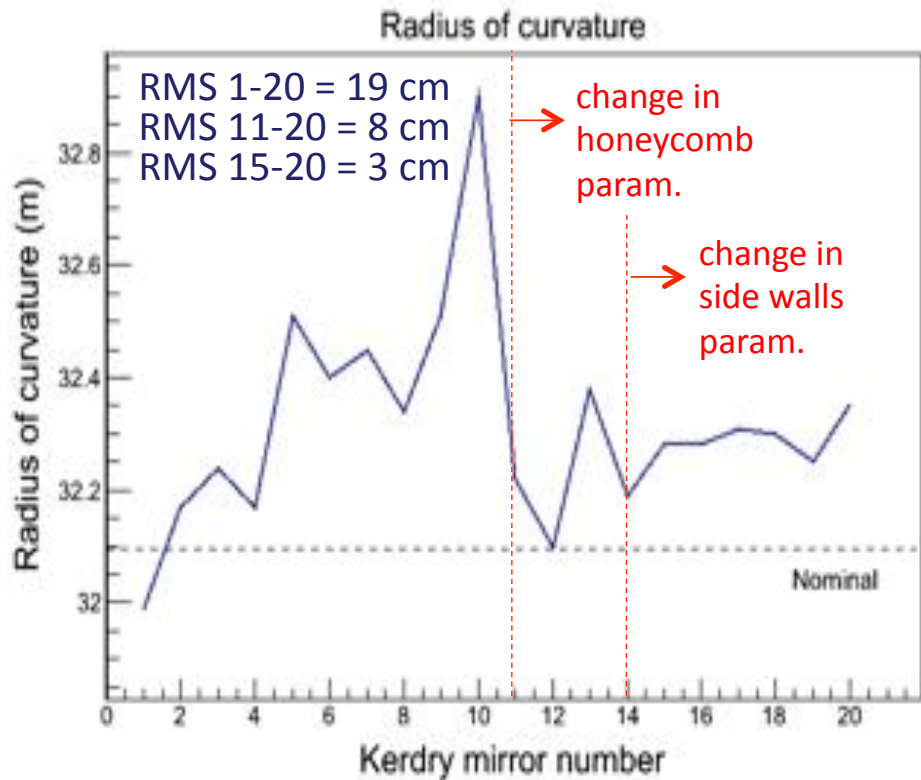
Reflectivity at best focus



Bons miroirs dès le début

Vraie difficulté : rayon de courbure

COURBES D'APPRENTISSAGE



- 2500 euros/miroir
- Importants progrès sur la maîtrise du coating

SECONDE REVUE MIROIRS

★ Septembre 2012

★ Comité convaincu que 3 équipes proposent des miroirs au niveau

| Miroirs | + | - |
|--------------------------|---|---|
| CEA Saclay - Kerdry | Bonne réflectivité, production homogène, solides, produits en série | Résolution angulaire moyenne |
| INAF Brera – Media Lario | Bonne résolution angulaire, poids réduit, produits en série, process certifié ISO | Fragiles, taille non conforme Diffusivité importante |
| Japon - Sanko | Bonne réflectivité, produits en série | Fragiles, Résolution angulaire moyenne |
| Pologne | Bonne résolution angulaire et bonne réflectivité | Poids important, pas de partenariat industriel, process lourd |

★ Recommandations:

→ obtenir les certifications ISO

→ Produire rapidement un échantillon plus grand que ~20 miroirs

→ Consolider les équipements de test communs

PERSPECTIVES MIROIRS

- ★ Tests en cours avec un nouveau procédé
- ★ Poursuite mise en place des procédures communes de test
- ★ Besoin d'un échantillon de 100 miroirs
- ★ Etudes poussées tenue en temps nécessaire
- ★ Demande ANR « laboratoires communs » avec Kerdry
 - Axé sur les applications industrielles
 - Pourrait aider pour les 100 miroirs
 - Permettrait de poursuivre développements télescopes à optique secondaire

RÉSUMÉ & CONCLUSIONS

NectarCAM

- ★ Financement 19 modules ? -> dépend du résultat ANR
- ★ Renforcement de l'équipe au niveau physiciens/post-doc

Miroirs

- ★ Besoin d'un échantillon de 100 miroirs
- ★ Etudes poussées tenue en temps nécessaire
- ★ Demande ANR « laboratoires communs » avec Kerdry
 - Inclut 1 demande post-doc

Backup

Intégration des caméras MST – CTA

(1)

Intégration sur le site du CEA Saclay par une prestation extérieure (XFEL model)

Responsabilité du CEA

- **Spécifications techniques**
- **Définition des procédures d'intégration**
- **Appel d'offre restreint (sociétés sélectionnées)**
- **Choix et justification de la société prestataire**
- **Marché**

Prestations du sous traitant

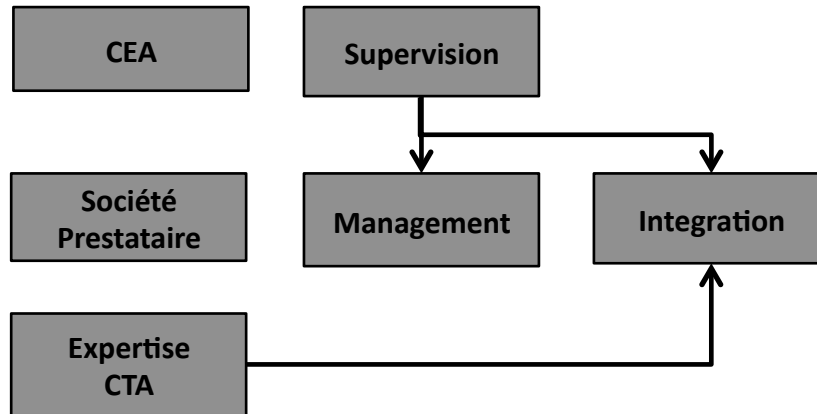
- **Gestion organisationnelle**
 - **Encadrement des équipes prestataires**
 - **Logistique & coordination des flux (réception, stockage, expédition)**
 - **Assurance & Contrôle qualité**
 - **Interface avec l'IRFU**
- **Intégration des caméra**
 - **Intégration d'un modèle d'apprentissage (réalisation conjointe IRFU/ sous traitant)**
 - **Intégration du premier modèle - tête de série (réalisé par le sous traitant)**
 - **Intégration de la série**

Intégration des caméras MST – CTA

(2)

Suivi de la prestation IRFU

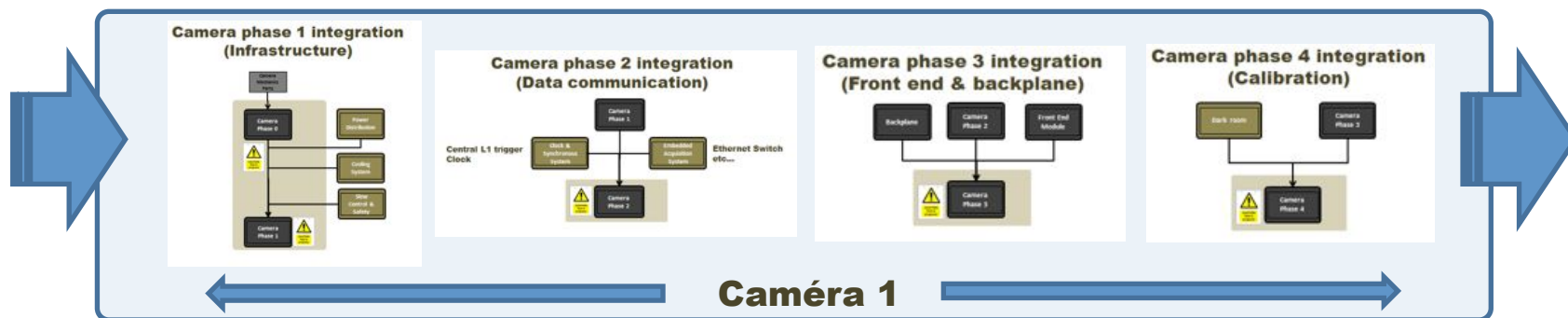
- Réunions régulières IRFU/Prestataire
- Besoin personnel IRFU
 - Vérification des livrables (Data Acceptance Package)
 - Audit
 - Réactivité aux impondérables (technique, main d'œuvre)
 - Expertise



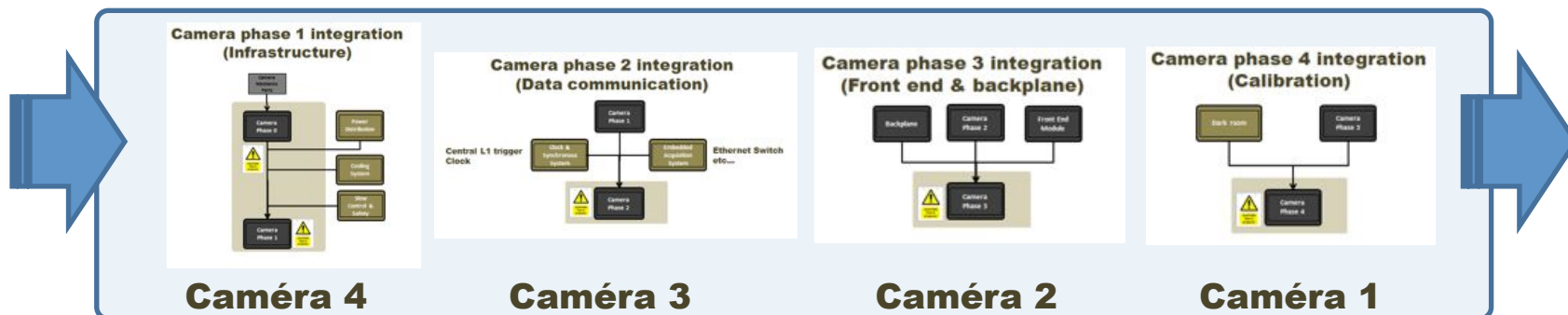
Le type d'intégration va être fonction

- des délais imposés
- des couts
 - main d'œuvre
 - disponibilité des bancs de tests
 - infrastructure nécessaire
 - outillages

Intégration opérateurs multitâches (une ligne d'intégration)



Intégration par ateliers spécialisés (une ligne d'intégration)



INDUSTRIALIZATION IN KERDRY

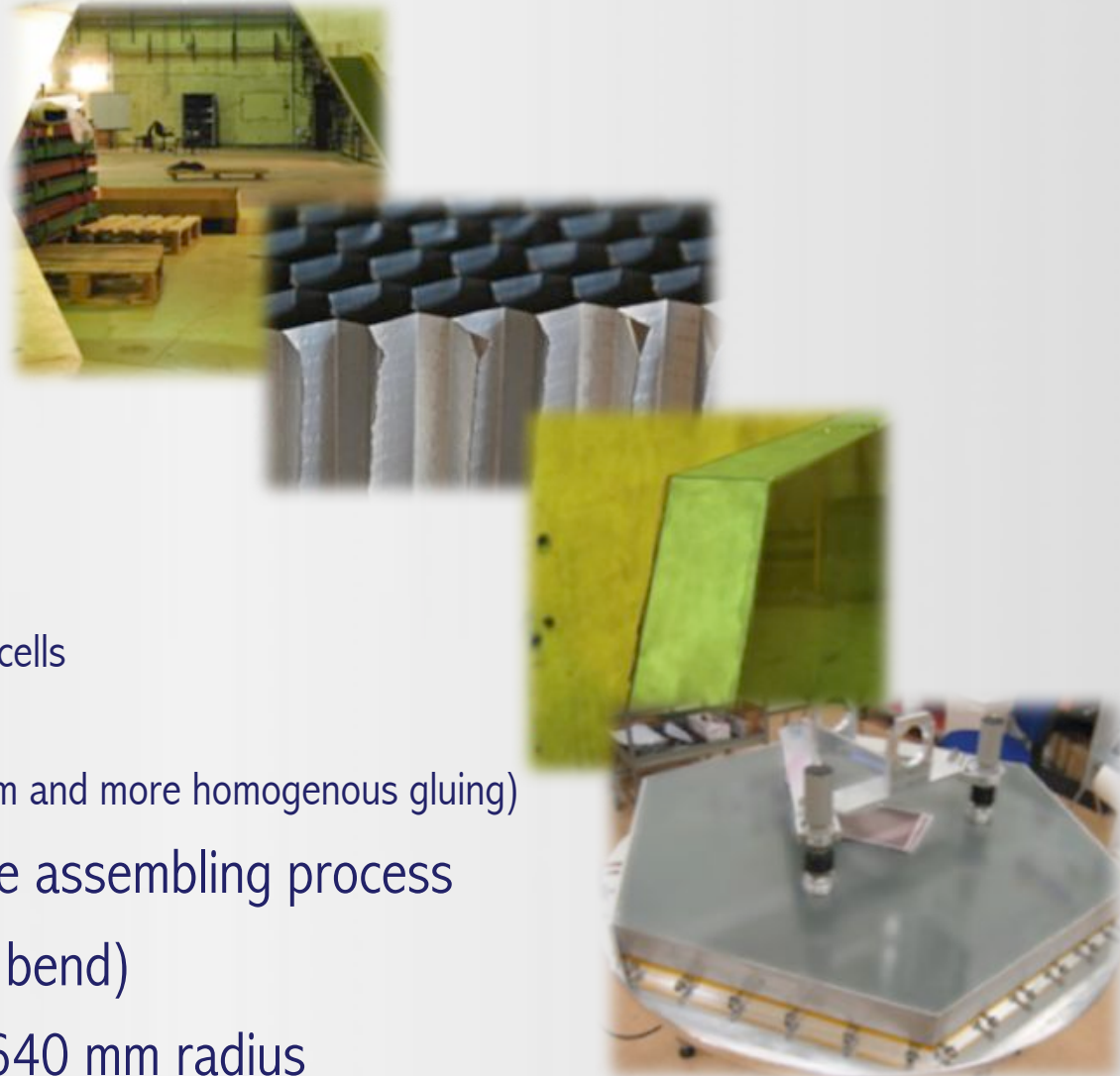
- ★ Kerdry currently setting up quality plan & hiring plans
- ★ Opened their doors to members of the consortium
- ★ Quality : better to keep the whole chain in one place
- ★ Ideal production rate: 700 mirrors a year
- ★ Production cost (€) :

| Type & No. of Mirrors | 1 year | 2 years | 3 years |
|-----------------------|--------|---------|---------|
| 4000 MST mirrors | N/A | 2000 | 1850 |
| 2000 MST mirrors | N/A | 2120 | 1970 |



SACLAY MIRRORS GENERAL FEATURES

- ★ 1.2 m face-to-face, $R = 32.14$ m, Weight = 25 kg, thickness <85 mm
- ★ 5 layers:
 - 2 glass sheets (2 mm)
 - 2 G10 sheets (1.5 mm)
 - Al honeycomb (80 mm)
- ★ Gluing process in 2 steps :
 - 1: back panel
 - 2: reflective surface
- ★ Aluminum honeycomb:
 - 50 μm , 80 mm height, 19 mm cells
 - Flexible, not milled
 - Micro punched (improve vacuum and more homogenous gluing)
- ★ Thick side walls integrated in the assembling process
(help to constrain the edges to bend)
- ★ 3 point support centered on a 640 mm radius



Construction substrat & dépôt aluminium sous vide



TEST SAMPLE

25 small samples were built and submitted to t°/h cycles

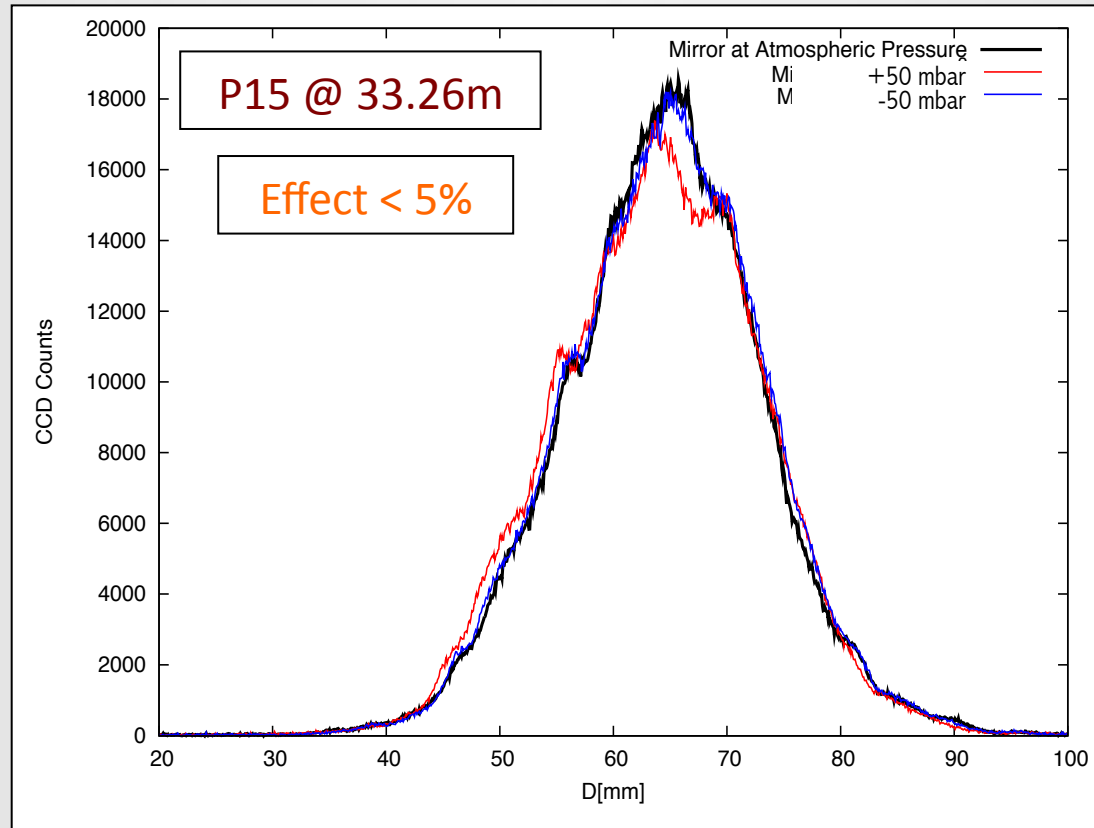


- Test stability of glue & G10
- 150 cycles : $-20^{\circ}\text{C}/+60^{\circ}\text{C}$
- Immersion in water

- No cracking/ ungluing
- Same resistance to ripping

EFFECT OF PRESSURE

PSF measured with different pressures inside the mirror



Plan: build at sea level, seal in altitude

AIR TIGHTNESS & HUMIDITY

- ★ One mirror equipped with sensors stayed outdoor



Humidity inside the mirror:

- Low values $< 25\%$
- Stable during weeks
- Uncorrelated with External Humidity
- front/back $\Delta T < 1^{\circ}\text{C}$

IMPACT TESTS

★ Mechanical damage test



Steel balls thrown 10 times :

| Diameter [mm] | Height [cm] | Degree of severity |
|---------------|-------------|--------------------|
| 20 | 100 | 2 |
| 30 | 50 | 3 |

No deformation for severity 1 & 2

