

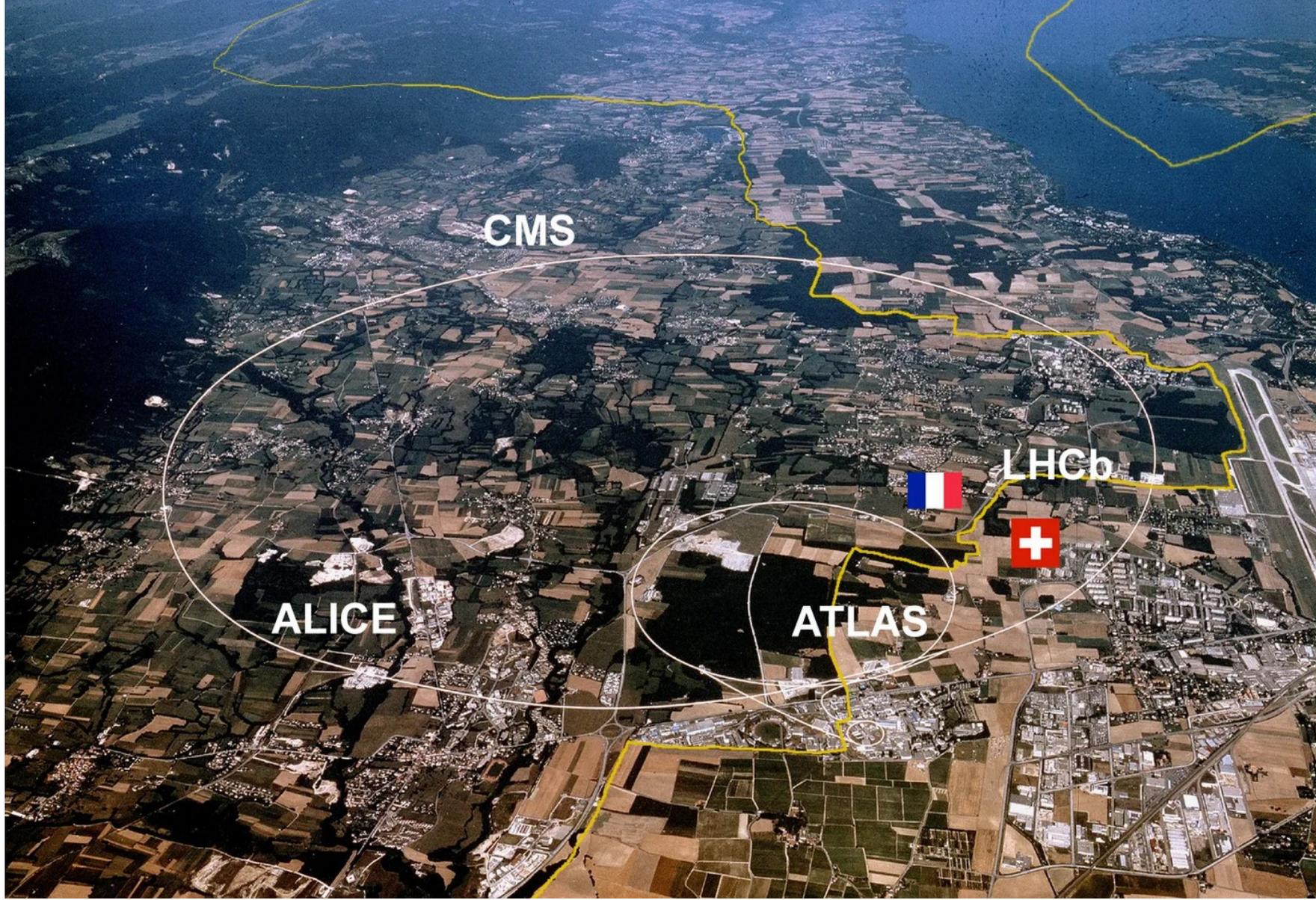
HGTD : un détecteur en temps hautement granulaire pour ATLAS

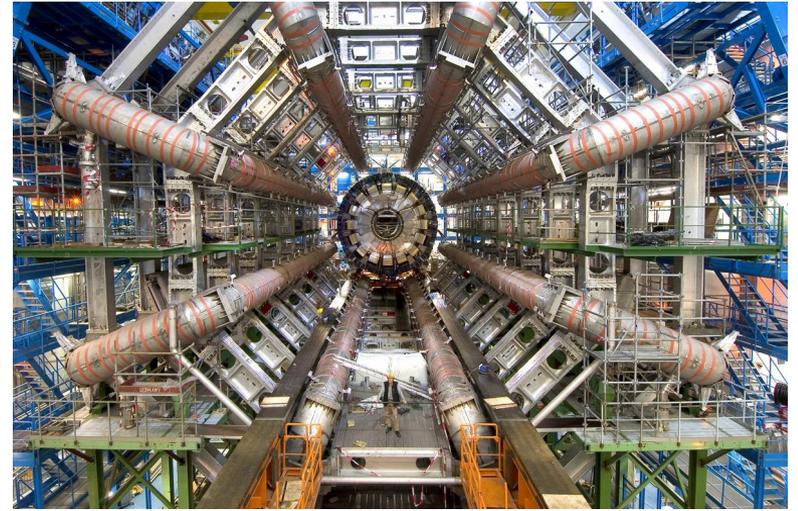
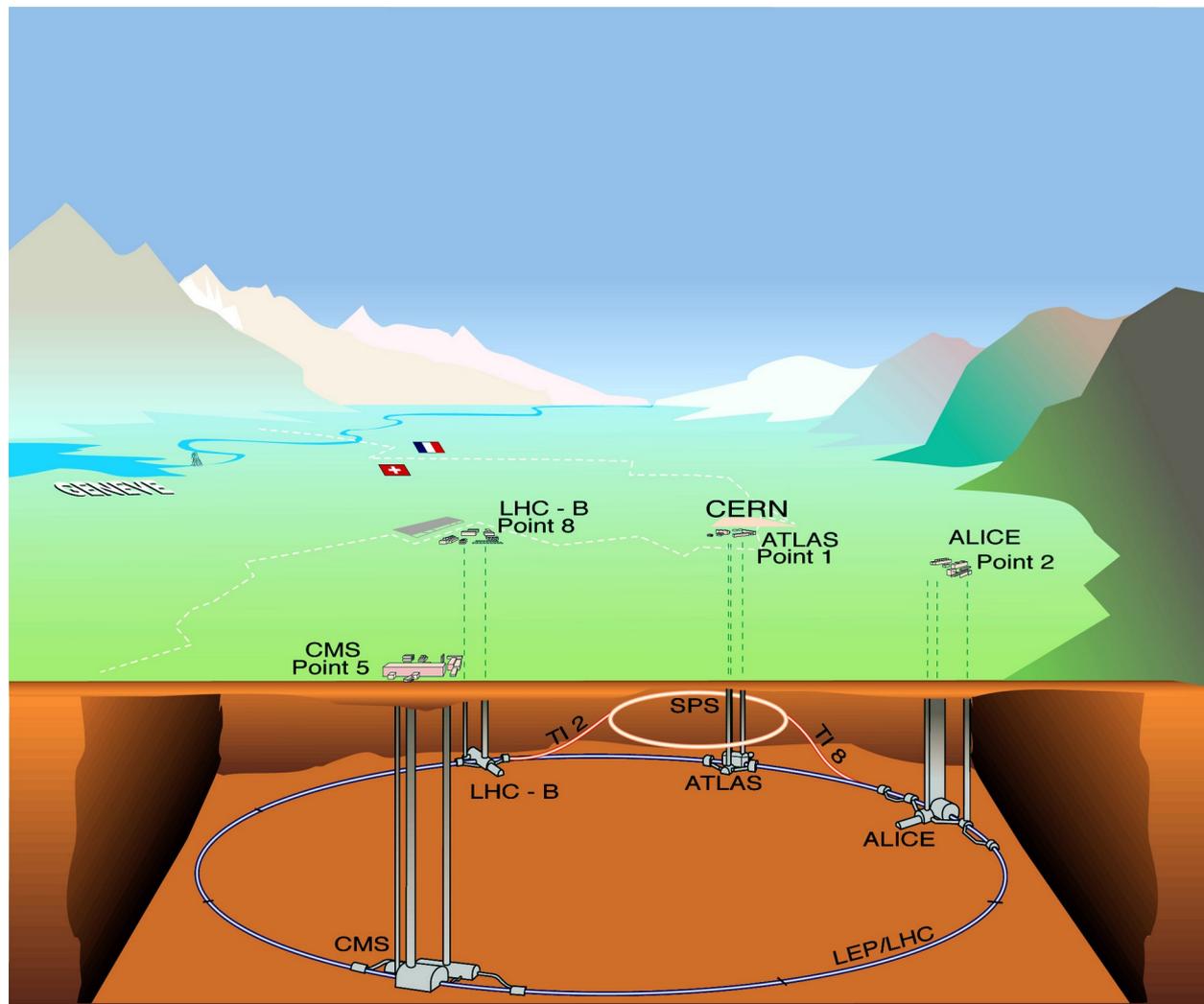


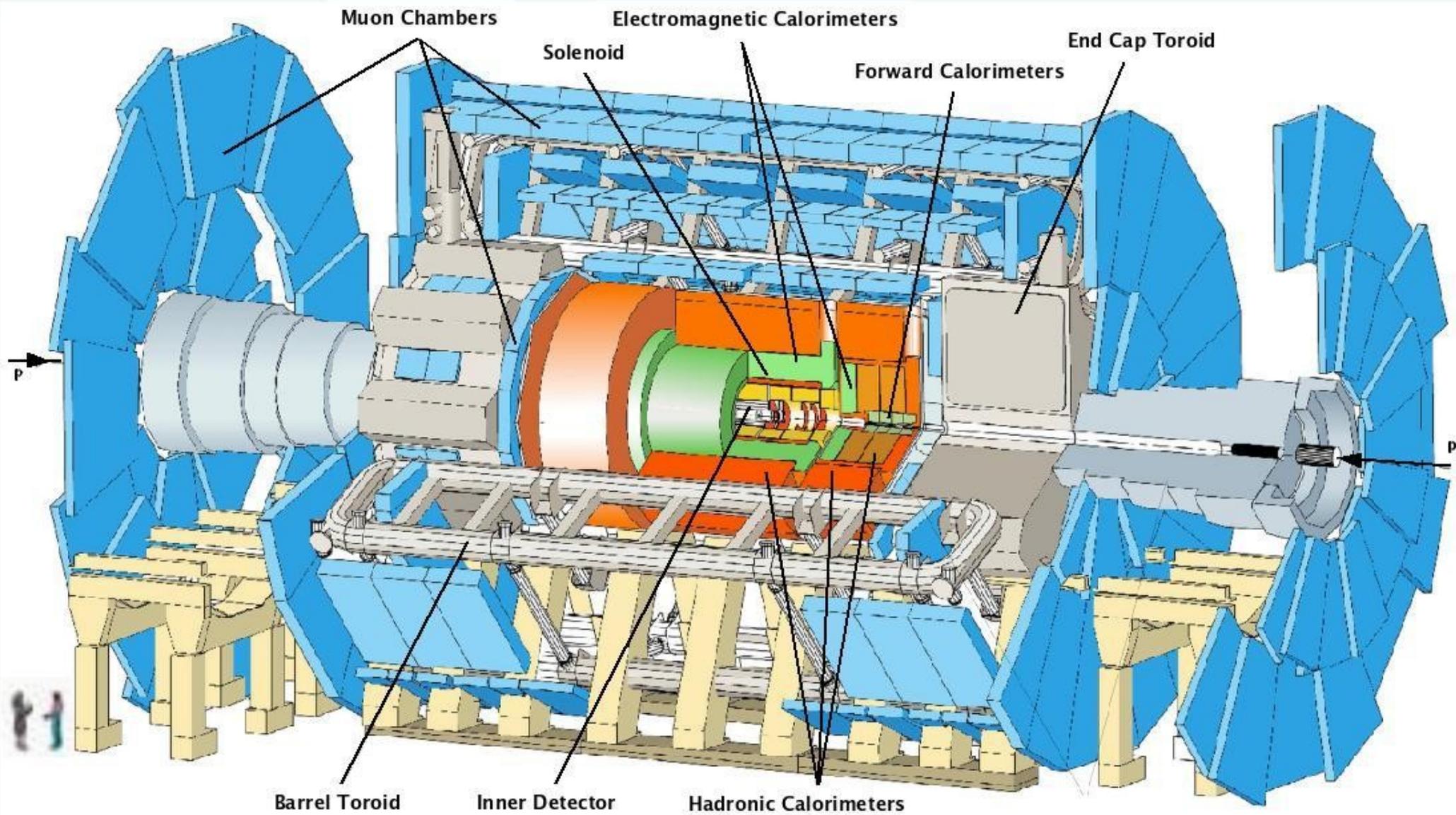
Mercredi 22 mai 2024

Tristan Beau – LPNHE

Contexte général









Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC ☆

This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

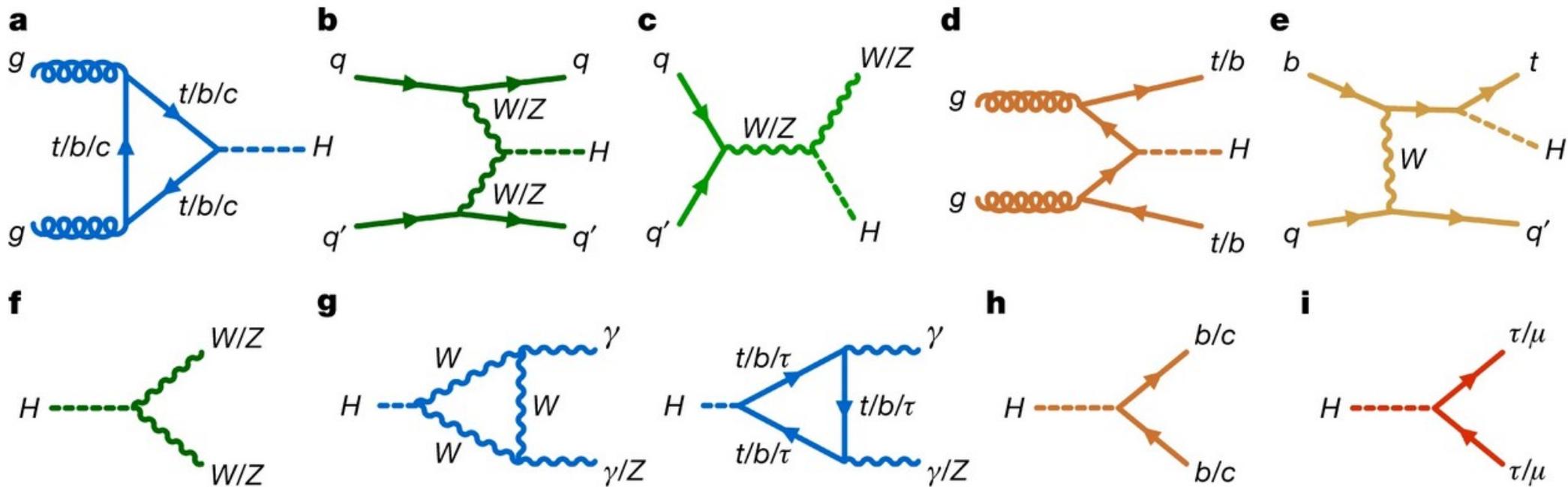
ATLAS Collaboration *, G. Aad ⁴⁸, T. Abajyan ²¹, B. Abbott ¹¹¹, J. Abdallah ¹², S. Abdel Khalek ¹¹⁵, A.A. Abdelalim ⁴⁹, O. Abdinov ¹¹, R. Aben ¹⁰⁵, B. Abi ¹¹², M. Abolins ⁸⁸, O.S. AbouZeid ¹⁵⁸, H. Abramowicz ¹⁵³, H. Abreu ¹³⁶, B.S. Acharya ^{164a 164b}, L. Adamczyk ³⁸, D.L. Adams ²⁵, T.N. Addy ⁵⁶, J. Adelman ¹⁷⁶, S. Adomeit ⁹⁸ ...L. Zwalinski ³⁰

Happy faces after the announcement of the Higgs boson discovery at CERN (and at ICHEP Melbourne) on 4th July 2012



Fig. 1: Examples of Feynman diagrams for Higgs boson production and decay.

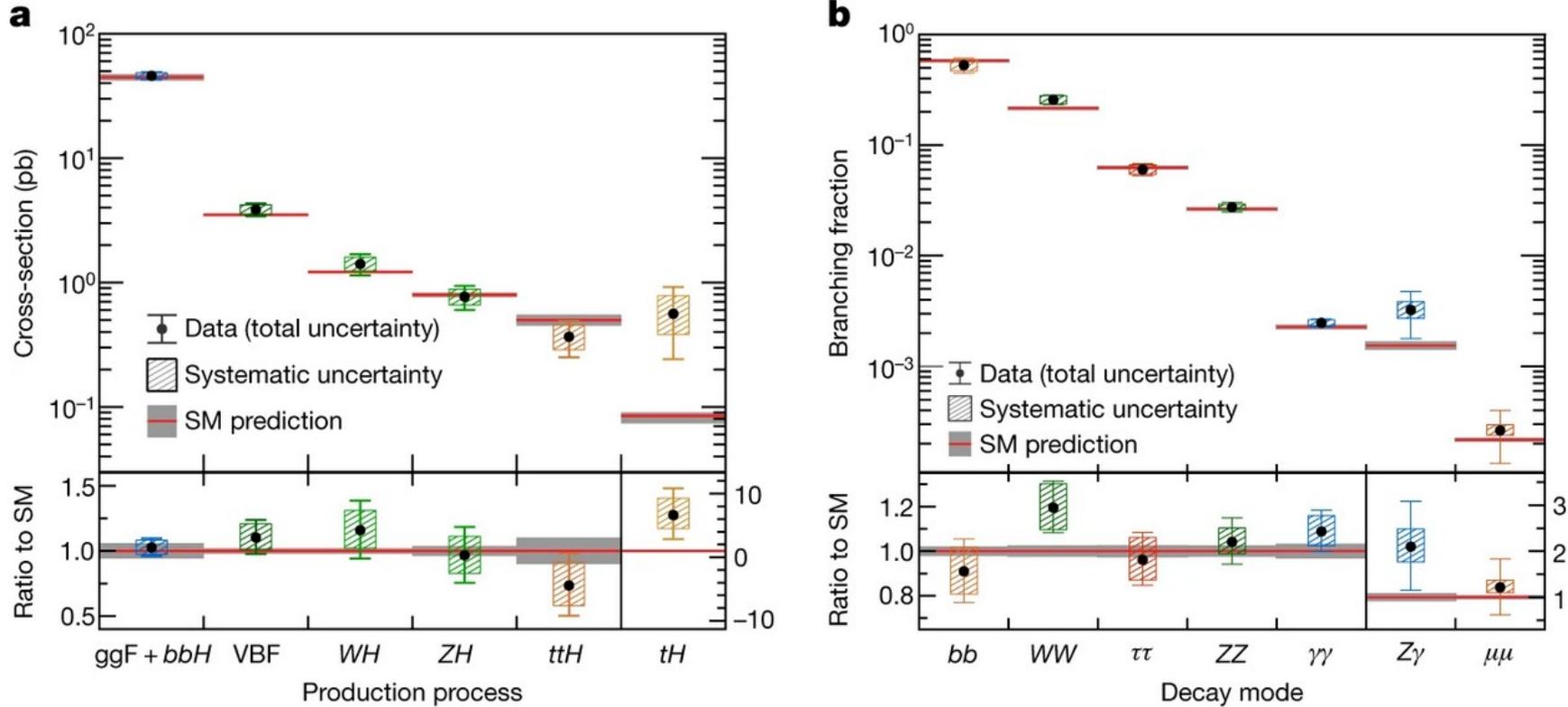
From: [A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery](#)



a–e, The Higgs boson is produced via gluon–gluon fusion (**a**), vector boson fusion (VBF; **b**) and associated production with vector bosons (**c**), top or b quark pairs (**d**), or a single top quark (**e**). **f–i**, The Higgs boson decays into a pair of vector bosons (**f**), a pair of photons or a Z boson and a photon (**g**), a pair of quarks (**h**), and a pair of charged leptons (**i**). Loop-induced Higgs boson interactions with gluons or photons are shown in blue, and processes involving couplings to W or Z bosons in green, to quarks in orange, and to leptons in red. Two different shades of green (orange) are used to separate the VBF and VH ($t\bar{t}H$ and tH) production processes.

Fig. 2: Observed and predicted Higgs boson production cross-sections and branching fractions.

From: [A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery](#)



a, Cross-sections for different Higgs boson production processes are measured assuming standard model (SM) values for the decay branching fractions. **b**, Branching fractions for different Higgs boson decay modes are measured assuming SM values for the production cross-sections. The lower panels show the ratios of the measured values to their SM predictions. The vertical bar on each point denotes the 68% confidence interval. The p value for compatibility of the measurement and the SM prediction is 65% for **a** and 56% for **b**. Data are from ATLAS Run 2.

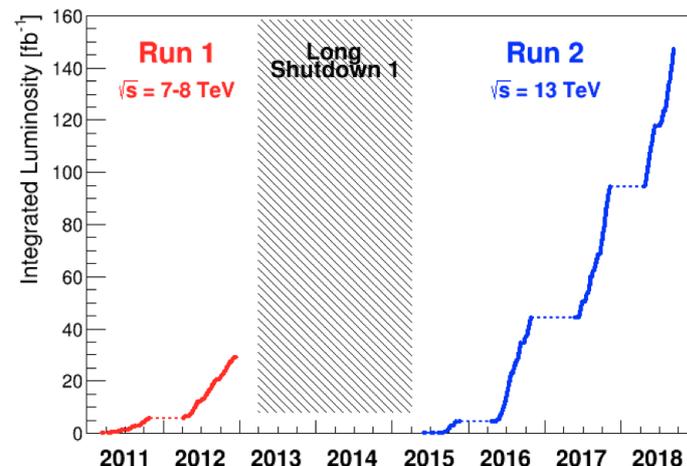
Terminologie, grandeurs et unités en jeu

Section efficace, en barn (symbole b), usuellement notée σ : $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$.
Avec un préfixe, on utilise souvent $1 \text{ pb} = 10^{-12} \text{ b} = 10^{-40} \text{ m}^2$ ou $1 \text{ fb} = 10^{-15} \text{ b}$

Luminosité instantannée, exprimée en $\text{b}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Luminosité intégrée, \mathcal{L} , exprimée en b^{-1}

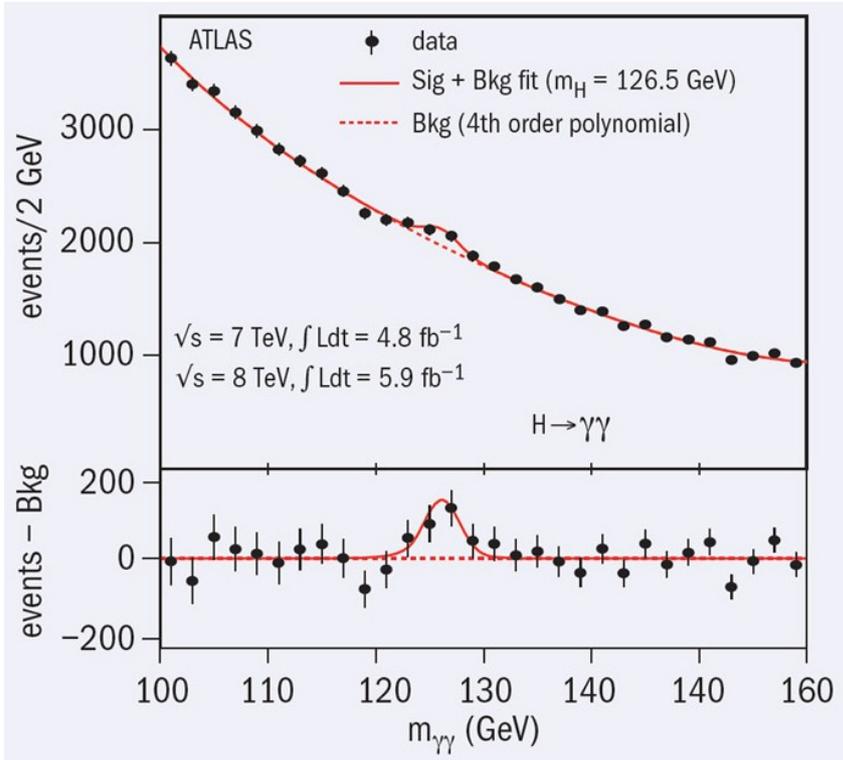
Rapport de branchement \mathcal{B} : proportion dans un canal donné



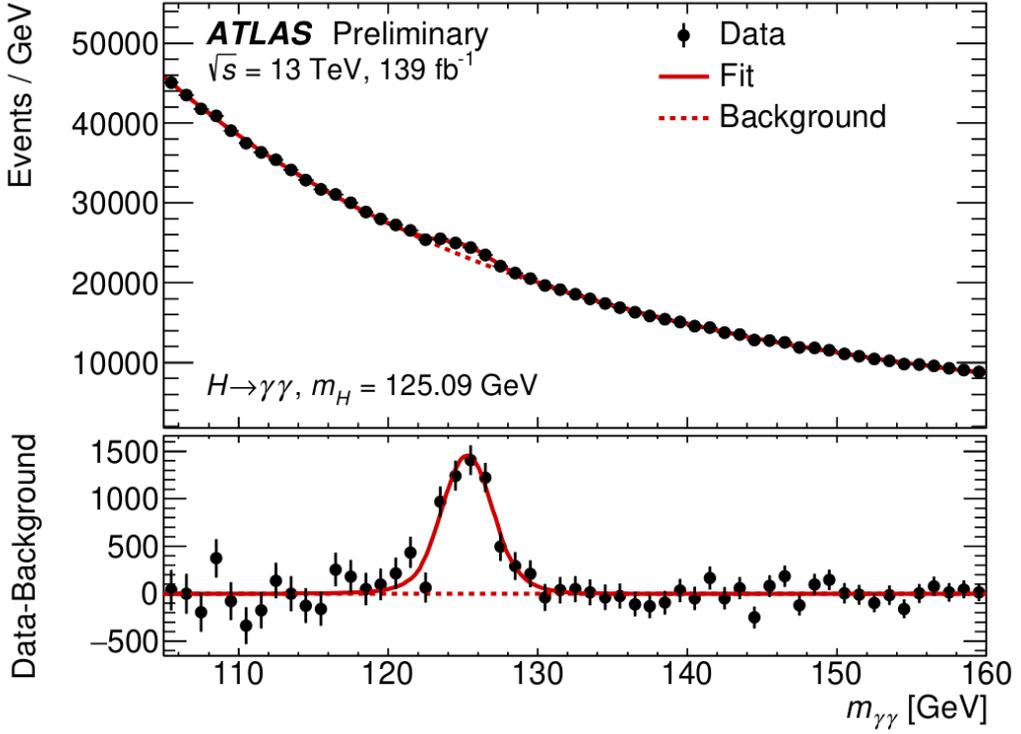
Nombre d'événements pour un processus donné dans un canal de désintégration donné :

$$N = k \cdot \sigma \cdot \mathcal{B} \cdot \mathcal{L} \quad (k < 1, \text{ dépend de coupures appliquées})$$

Cas du $H \rightarrow \gamma\gamma$ (ordres de grandeur), run 1 : $N \sim 50 \text{ pb} \times 10^{-3} \times 10 \text{ fb}^{-1} \sim 500$



Run 1 partiel

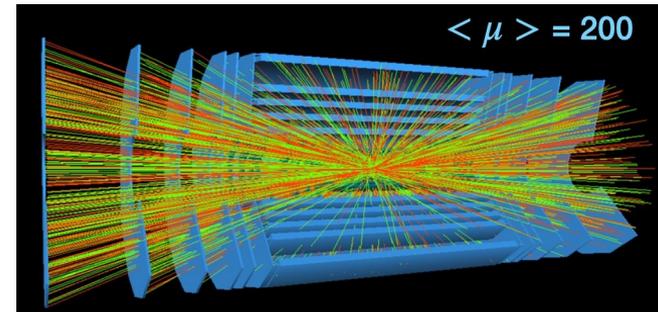
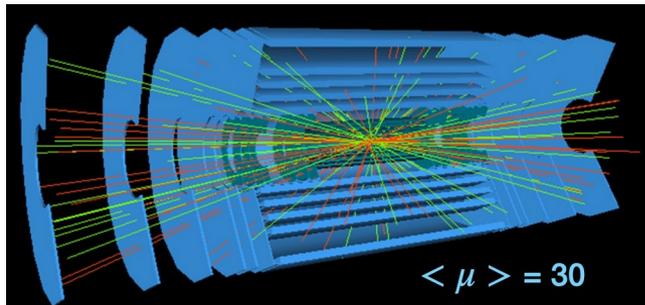


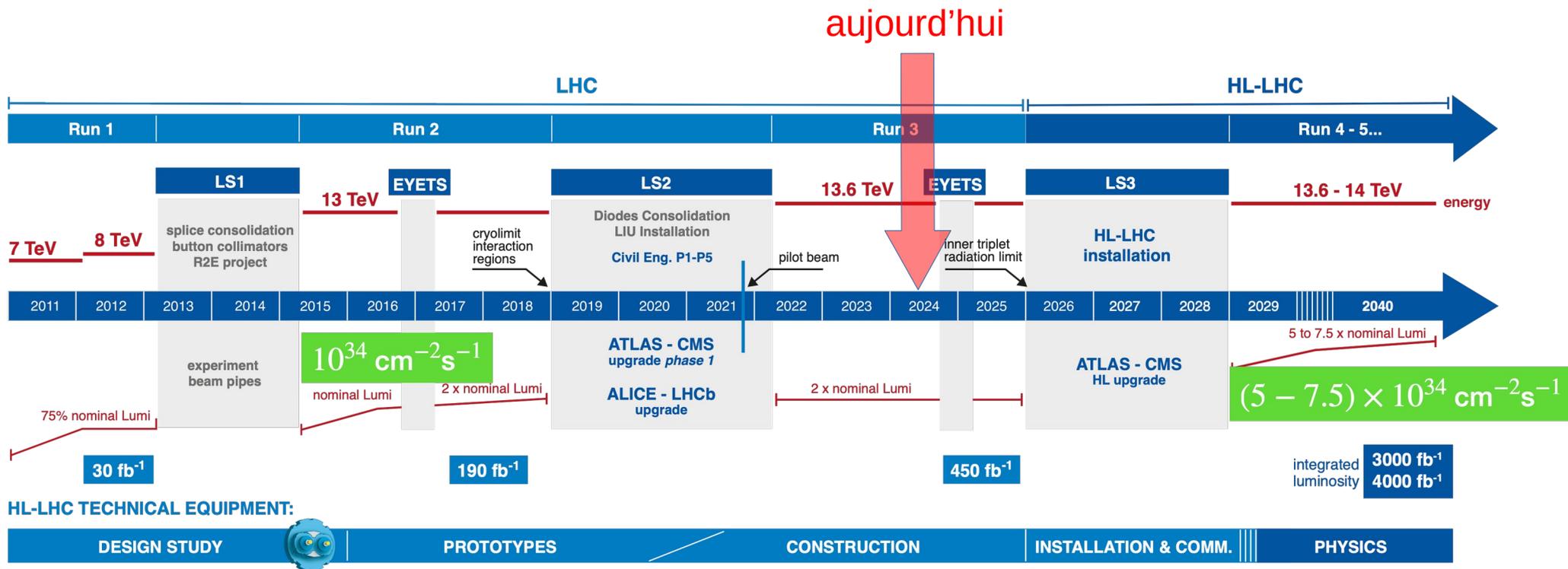
Run 2

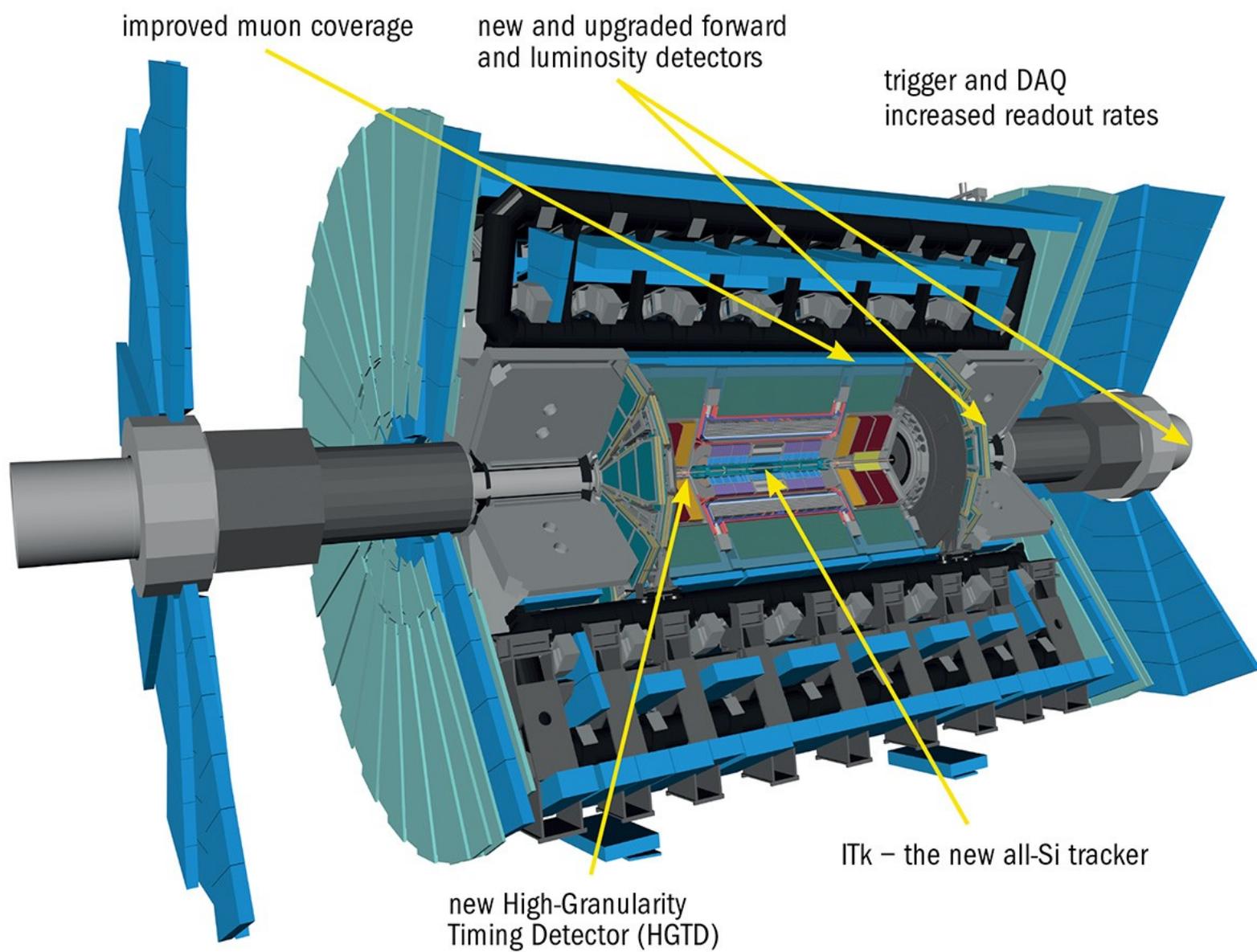
Augmenter le potentiel de découverte

Améliorer les mesures

- Augmenter l'énergie, passage à une énergie nominale de 14 TeV
- Augmenter la luminosité et préparer le HL-LHC (High Luminosity LHC)
 - Augmenter le nombre de croisements de paquets (toutes les 25 ns)
 - Augmenter le nombre d'interactions à chaque croisement (empilement ou "pileup"), $\mu \sim 200$
- Jouvence / changement des différents détecteurs et de l'électronique de ATLAS
⇒ prendre en compte les nouvelles conditions de fonctionnement







HGTD, un détecteur en temps hautement granulaire pour ATLAS

Motivation pour un détecteur en temps

Utilisation des informations spatiales et temporelles pour associer traces et vertex dans les régions avants

Résolution spatiale ITk à l'avant de l'ordre de 2 mm

Besoin d'une très bonne résolution en temps pour HGTD entre 30 et 50 ps par trace jusqu'à 4000 fb^{-1}

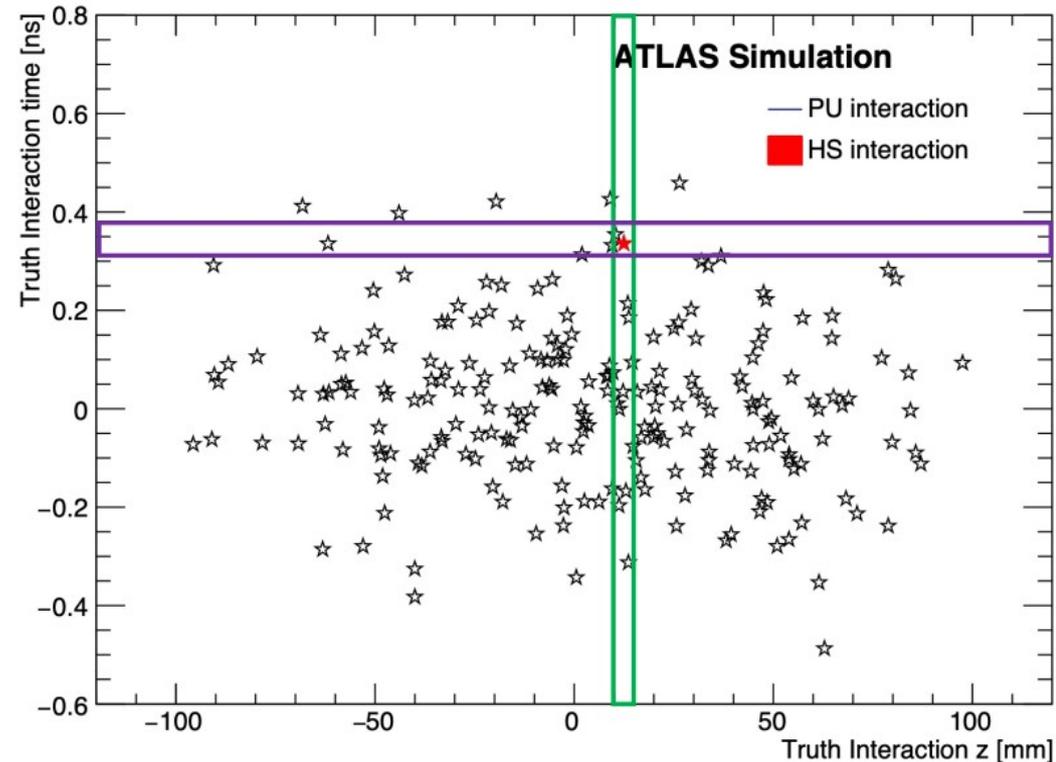
HGTD $2.4 < \eta < 4$ ($120 \text{ mm} < R < 640 \text{ mm}$)

Radiation hardness up to $2.5 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}} \text{ cm}^{-2}$

Minimum required charge collection: 4 fC (threshold: 2 fC)

Time resolution per hit: $< 35 \text{ ps}$ for unirradiated
 $< 70 \text{ ps}$ at maximum irradiation

Hit efficiency: $> 99\%$ for unirradiated
 $> 95\%$ at maximum irradiation



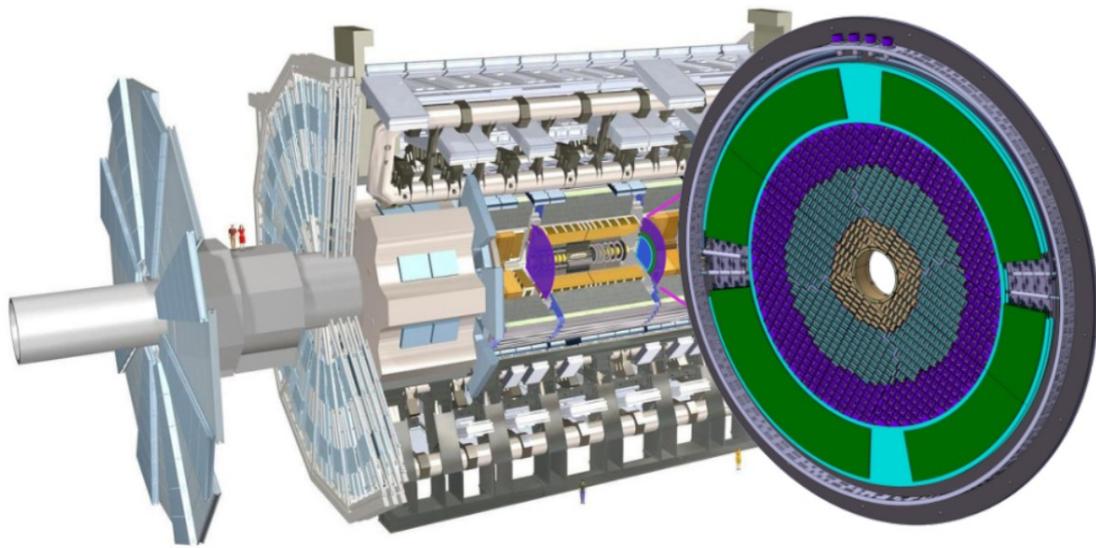
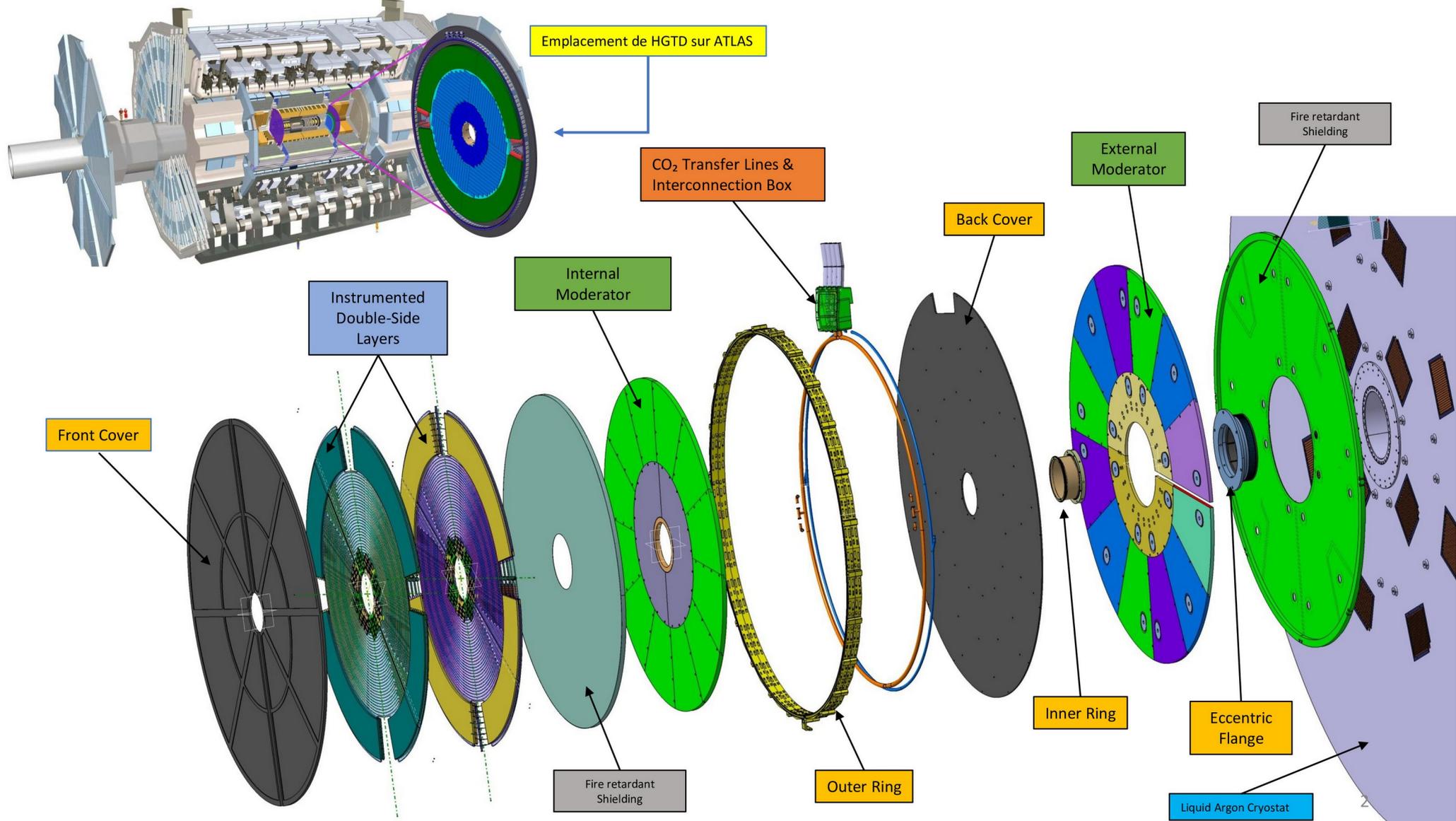


Figure 2.3: Position of the HGTD within the ATLAS Detector. The HGTD acceptance is defined as the surface covered by the HGTD between a radius of 120 mm and 640 mm at a position of $z = \pm 3.5$ m along the beamline, on both sides of the detector.

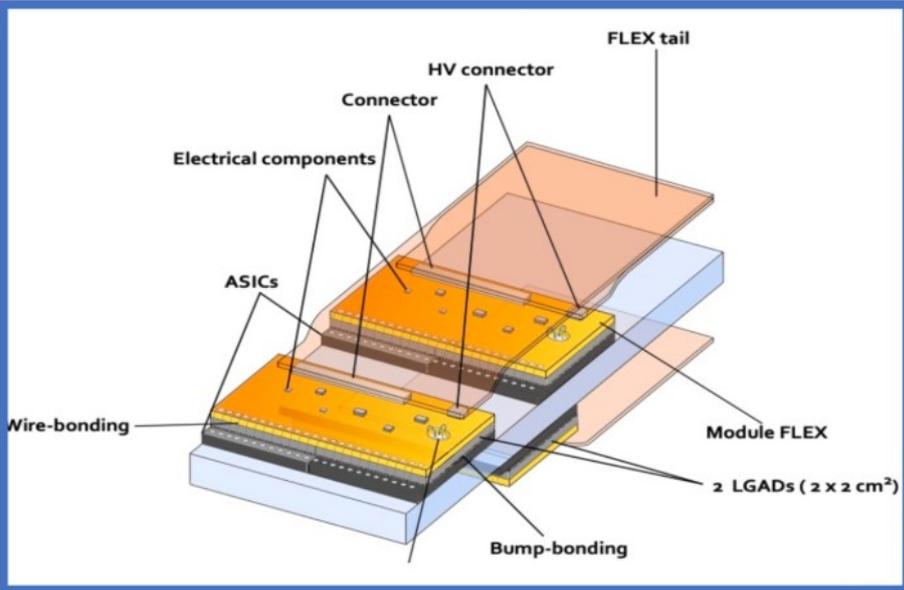
HGTD prend la place des MBTS (Minimum Bias Trigger Scintillators) qui constituaient le trigger le plus efficace pendant la phase LL (low luminosity)

L'enveloppe globale du détecteur est la suivante :

- extension radiale entre 110 et 1000 mm
- épaisseur en z de 125 mm



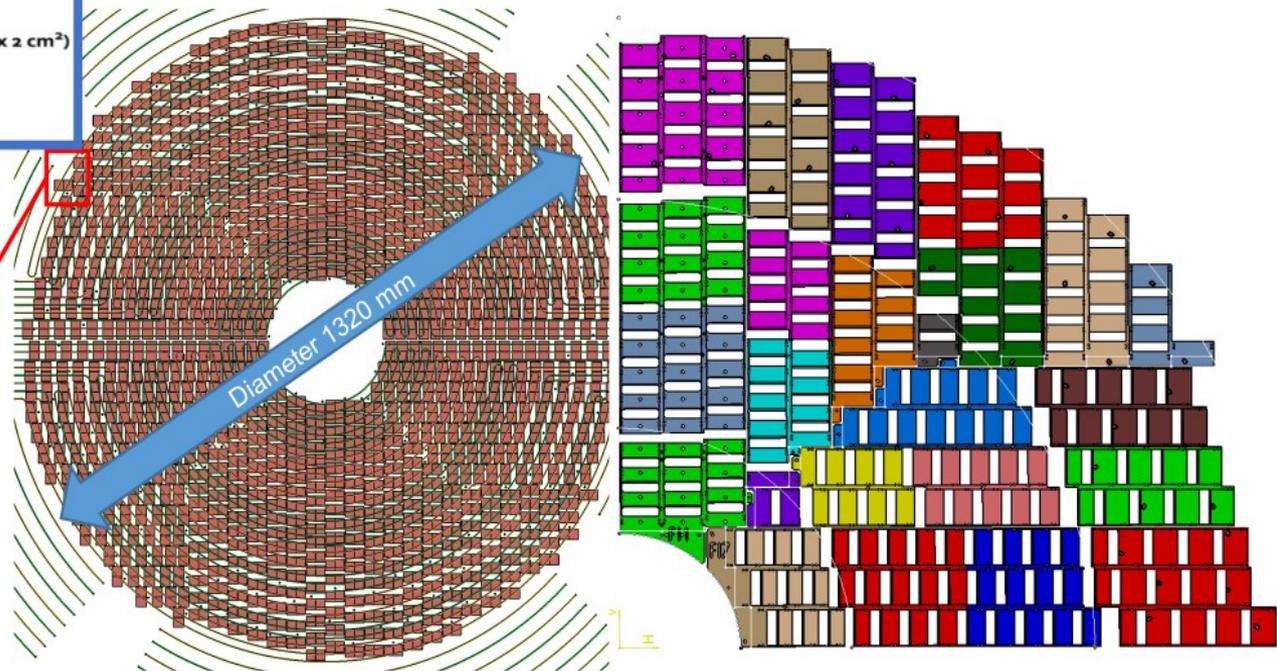
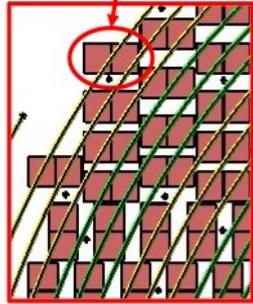
Structure du détecteur



Module : 40.4mm x 20.18mm

1004 modules par face
450 pads par module

8032 modules
768 « Detector Units »



24 supports différents par quart

- Inner : 3 supports; Middle : 11 supports; Outer : 10 supports
- Min : 3 modules/support; Max : 15 modules/support
- 3 row max; 7 modules max/row

Detector unit = Support unit + Modules

Pseudo-rapidity coverage	$2.4 < \eta < 4.0$
Thickness in z	75 mm (+50 mm moderator)
Position of active layers in z	± 3.5 m
Weight per end-cap	350 kg
Radial extension:	
Total	$110 \text{ mm} < r < 1000 \text{ mm}$
Active area	$120 \text{ mm} < r < 640 \text{ mm}$
Pad size	$1.3 \text{ mm} \times 1.3 \text{ mm}$
Active sensor thickness	$50 \mu\text{m}$
Number of channels	3.6 M
Active area	6.4 m^2
Module size	30 x 15 pads ($4 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$)
Modules	8032
Collected charge per hit	$> 4.0 \text{ fC}$
Average number of hits per track	
$2.4 < \eta < 2.7$ ($640 \text{ mm} > r > 470 \text{ mm}$)	≈ 2.0
$2.7 < \eta < 3.5$ ($470 \text{ mm} > r > 230 \text{ mm}$)	≈ 2.4
$3.5 < \eta < 4.0$ ($230 \text{ mm} > r > 120 \text{ mm}$)	≈ 2.6
Average time resolution per hit (start and end of operational lifetime)	
$2.4 < \eta < 4.0$	$\approx 35 \text{ ps}$ (start), $\approx 70 \text{ ps}$ (end)
Average time resolution per track (start and end of operational lifetime)	$\approx 30 \text{ ps}$ (start), $\approx 50 \text{ ps}$ (end)

Table 2.1: Main parameters of the HGTD.

Dates clef

- **août 2017** : Initial Design Report ;
- **novembre 2017** : Expression of Interest et approbation par ATLAS du projet ;
- **avril 2018** : Technical Proposal et approbation LHCC ;
- **juillet 2020** : Technical Design Review ;
- **septembre 2020** : projet HGTD approuvé par le CERN Research board ;
- **2018 - 2024** : phase de R&D, démonstrateur ;
- **2022 - 2026** : phase construction avec diverses reviews pour les sous-éléments
- **2025 - 2028** : intégration, installation et commissioning.

Implication française dans HGTD

Institutions dans HGTD

Institutes by Funding Agency	Institute Short Name
Brazil	
Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo	Sao Paulo
China NSFC+MSTC	
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing	Beijing IHEP
Department of Physics, Nanjing University, Nanjing	Nanjing
Department of Modern Physics and State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics, University of Science and Technology of China, Hefei	Hefei
Institute of Frontier and Interdisciplinary Science and Key Laboratory of Particle Physics and Particle Irradiation (MOE), Shandong University, Qingdao	Shandong
Tsung-Dao Lee Institute, Shanghai	TDLI
Suzhou Institute of Nano-Tech and Nano-Bionics, Chinese Academy of Sciences, Suzhou	SINANO-CAS
France CEA	
IRFU, CEA, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette	Saclay CEA
France IN2P3	
LPC, Université Clermont Auvergne, CNRS/IN2P3, Clermont-Ferrand	Clermont-Ferrand
IJCLab, Université Paris-Saclay, CNRS/IN2P3, 91405, Orsay	IJCLab
LPNHE, Sorbonne Université, Université de Paris, CNRS/IN2P3, Paris	Paris LPNHE
OMEGA, Ecole Polytechnique, CNRS, PALAISEAU	OMEGA
Germany BMBWF	
II. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Giessen, Giessen	Giessen
Institut für Physik, Universität Mainz, Mainz	Mainz

Morocco	
Faculté des Sciences Ain Chock, Réseau Universitaire de Physique des Hautes Energies - Université Hassan II, Casablanca	Casablanca
Faculté des Sciences, Université Ibn-Tofail, Kénitra	Kenitra
Moroccan Foundation for Advanced Science Innovation and Research (MAScIR)	MAScIR
LPMR, Faculté des Sciences, Université Mohamed Premier, Oujda	Oujda
Faculté des sciences, Université Mohammed V, Rabat	Rabat
Netherlands	
Institute for Mathematics, Astrophysics and Particle Physics, Radboud University Nijmegen/Nikhef, Nijmegen	Nijmegen
Nikhef National Institute for Subatomic Physics and University of Amsterdam, Amsterdam	Nikhef
Portugal	
Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas – LIP	Portugal 1-LIP
Slovenia	
Department of Experimental Particle Physics, at JOŽEF Stefan Institute and Department of Physics, University of Ljubljana, Ljubljana	Ljubljana
Spain	
Institut de Física d'Altes Energies (IFAE), Barcelona Institute of Science and Technology, Barcelona	Barcelona
Institute of Microelectronics of Barcelona (IMB-CNM), Barcelona	IMB-CNM
Sweden	
Physics Department, Royal Institute of Technology, Stockholm	Stockholm KTH
Taipei	
Department of Physics, National Tsing Hua University, Hsinchu	Hsinchu NTHU
Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei	Taipei AS
CERN	
European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva	CERN

Responsabilité ATLAS France

Institute Board
Frank Filthaut (chair)

Resources Coordinator
Ana Henriques

Schedule and Risk Manager
Zhaoru Zhang

HGTD PL
J. Guimarães da Costa
Deputy PL
Sebastian Grinstein
Stefan Guindon

8.1 Sensors
Gregor Kramberger
Mei Zhao

8.2 Electronics
Frank Filthaut
N. Seguin-Moreau
Jie Zhang

8.3 Luminosity, DAQ and Control
Jonas Strandberg
Mengqing Wu

8.4 Modules and Detector Units
Sebastian Grinstein
Zhijun Liang

"8.5, 8.6, 8.7" Mechanics
Aboud Falou
Peter Teterin

"8.5, 8.6, 8.7" Services, Assembly Installation
Sergei Malyukov
Daniela Macina

8.8 Demonstrator
Stefan Guindon

8.8.4 Test beam
Djamel Boumediene
Stefano Manzoni

Simulation Performance and Physics
Alexander Leopold
Yusheng Wu

- QC/QA
Dominik Dannheim
- Irradiations
- Tendering

- 8.2.1 ASIC
Nikola Makovec
- 8.2.2 Peripheral Electronics
Jie Zhang
- 8.2.3 HV System
Lei Fan
- 8.2.4 LV System
Olivier Duarte
- 8.2.3.2 HV Patch Panels
Ricardo Gonçalo
- Grounding and Shielding
Laurent Royer

- 8.3.1 Luminosity
- 8.3.2 DCS
Konstantin Gritsay
- 8.3.3 Interlocks
Helena Santos
- 8.3.4 DAQ
- Monitoring
Song-Ming Wang
- Timing calibration and clock
Louis D'Eramo

- Production Planning and Logistics
Luca Cadamuro
- 8.4.1 Bare module hybridization
- 8.4.2 Module Flex
Jie Zhang
- 8.4.3 Module Assemblies
- 8.4.4 Detector Units
Didier Lacour
- 8.4.5 Flex Cable Tails
Lucia Masetti

- 8.5.1 Vessel
- 8.5.2 On-Detector Cooling
- 8.6.2, 8.7.1 Tools

- 8.5.3, 8.5.4, 8.5.5 CO₂, Water and N₂ plants
- 8.5.6 Cables
Sergei Malyukov
- 8.5.7 Fibers
Suen Hou
- 8.6.1, 8.6.3, 8.6.4 Detector assembly
Daniela Macina
- 8.7.2, 8.7.3, 8.7.4 Detector installation
- 8.7.5 Commissioning
Stefan Guindon

- DAQ
Alexander Leopold
- Testing Infrastructure

- DAQ and monitoring
- Infrastructure
- Analysis

- Simulation and detector description
- Digitisation
Hella Snoek
- Reconstruction and performance

12:00	Accueil Clermont-Ferrand David Calvet, Florence HOLOP 12:30 - 14:00
14:00	Introduction Clermont-Ferrand David Calvet et al. 14:00 - 14:10
	HGTD : un détecteur de timing hautement granulaire pour ATLAS Clermont-Ferrand Tristan BEAU et al. 14:10 - 14:25
	Présentation des activités françaises dans le cadre du projet ATLAS ITk Clermont-Ferrand Matthias Saimpert 14:30 - 14:45
15:00	Mise à niveau Phase II des calorimètres : introduction Clermont-Ferrand Tatiana Hryn'ova 14:50 - 15:05
	Perspectives et défis pour les futures upgrades de LHCb Clermont-Ferrand Patrick Robbe 15:10 - 15:35
	Pause café Clermont-Ferrand 15:40 - 16:00
16:00	Étude, simulation et test d'un bloc d'alimentation pour une carte à base de FPGA Agilex Clermont-Ferrand Mathieu Dibetta 16:00 - 16:10
	Vue d'ensemble du projet LATOURNETT Clermont-Ferrand Nicolas Dumont Dayot 16:15 - 16:35
	Testabilité intégrée dans ALTIROC Clermont-Ferrand Laurent Royer 16:40 - 16:55
17:00	Overview de la carte ILANA Clermont-Ferrand Daniel Christophe Lambert 17:00 - 17:15
	ITk Pixel Outer Barrel, servitudes électriques entrantes dans le détecteur Clermont-Ferrand Ludovic Eraud 17:20 - 17:35

09:00	Conception CLAROC et LADOC Clermont-Ferrand Gisele Martin Chassard 09:00 - 09:15
	Carte de test et procédure pour la production de COLUTA Clermont-Ferrand Thomas Romain Chaminade 09:20 - 09:35
	La pré-production des types 0 d'OB/ITK Clermont-Ferrand Renaud Gaglione 09:40 - 09:55
10:00	Assurance qualité pour la production des cartes FENICS Clermont-Ferrand Aurélie Terrisse 10:00 - 10:15
	Logistique pour l'intégration des supports locaux dans l'OB Clermont-Ferrand Patrick Stassi 10:20 - 10:35
	Pause café Clermont-Ferrand 10:40 - 11:00
11:00	Process de fabrication des supports intermédiaires Clermont-Ferrand Denis Pierre Grondin et al. 11:00 - 11:15
	Retour de la mécanique sur pré-production ITk cell loading et integration Clermont-Ferrand Mathieu Niclas 11:20 - 11:35
	ATLAS ITk Pixel – OB Support points Nouvelle conception, prototypage et tests des support points Clermont-Ferrand Zhihong Sun 11:40 - 11:55
12:00	Enceinte Hermétique HGTD et Système de Refroidissement Clermont-Ferrand Aurelien BLOT et al. 12:00 - 12:15
	Buffet "aligot saucisse" et exposition de matériels
13:00	

13:00			
	Clermont-Ferrand		12:20 - 14:00

14:00	Tests SEU du chip pixel ITkPixV2	Denis Fougeron	
	Clermont-Ferrand		14:00 - 14:15

	Caractérisation d'une carte complexe ATCA (LASP)	Clement Paul Challet	
	Clermont-Ferrand		14:20 - 14:35

	Tests robotisés de puces preampli/shaper pour le LAr	Laurent Dufflot	
	Clermont-Ferrand		14:40 - 14:55

15:00	Robot pour les tests COLUTA	Jules Dartois	
	Clermont-Ferrand		15:00 - 15:15

	Caractérisation des modules et résultats test beam (ITk)	Paul Mickael Chabrilat	
	Clermont-Ferrand		15:20 - 15:35

	Interface de test à pointes pour les cartes LSB et LASP	Stephane Chevobbe	
	Clermont-Ferrand		15:40 - 15:55

16:00	Pause café		
	Clermont-Ferrand		16:00 - 16:20

	ALTIROC3 characterisation and Test Beam results	Salah El Dine Hammoud et al.	
	Clermont-Ferrand		16:20 - 16:35

	Mesure des SEE dans ALTIROC3 et Extrapolation au HL-LHC	Arthur Lafarge	
	Clermont-Ferrand		16:35 - 16:45

17:00	Etat du projet de carte calibration pour le calorimètre à Argon liquide et tests du premier prototype de carte de calibrati...	Lucas Mangin	

	Logiciel en-ligne pour le LAr Phase-2	Sylvain Lafrasse	
	Clermont-Ferrand		17:15 - 17:30

	Database pour suivi de la production ITk cell loading	Luka Selem et al.	
	Clermont-Ferrand		17:35 - 17:50

18:00	Système de tests QC pour les sites ITk de cell loading	Pierre Barnillon	
	Clermont-Ferrand		17:55 - 18:10

< Wed 22/05 Thu 23/05 **Fri 24/05** All days >

Print PDF Full screen **Detailed view** Filter

Session legend

Instrumentation Production

09:00	Wafer probing pour ITk et HGTD	Dr Ana Torrento Coello et al.	
	Clermont-Ferrand		09:00 - 09:15

	HGTD module assembly and testing and preparation for the preproduction	Marko Mihovilovic	
	Clermont-Ferrand		09:20 - 09:35

	Démonstrateur et assemblage HGTD au CERN	Aboud Falou	
	Clermont-Ferrand		09:40 - 09:55

10:00	Assemblage des premières unités de détection pour le démonstrateur HGTD	Marc Dhellot	
	Clermont-Ferrand		10:00 - 10:15

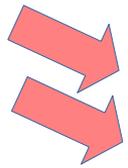
	Pause café		
	Clermont-Ferrand		10:20 - 10:40

	ITkPix Quad module – Comment atteindre la cadence de production ?	Julien Giraud	
	Clermont-Ferrand		10:40 - 10:55

11:00	ITkPix module assembly	Nicolas Alain Pauwels	
	Clermont-Ferrand		11:00 - 11:15

	Testing the ITkPix modules at the Paris Cluster	Marianna Liberatore	
	Clermont-Ferrand		11:20 - 11:35

	Système de test pour ITk integration	Francesco Costanza	
	Clermont-Ferrand		11:40 - 11:55



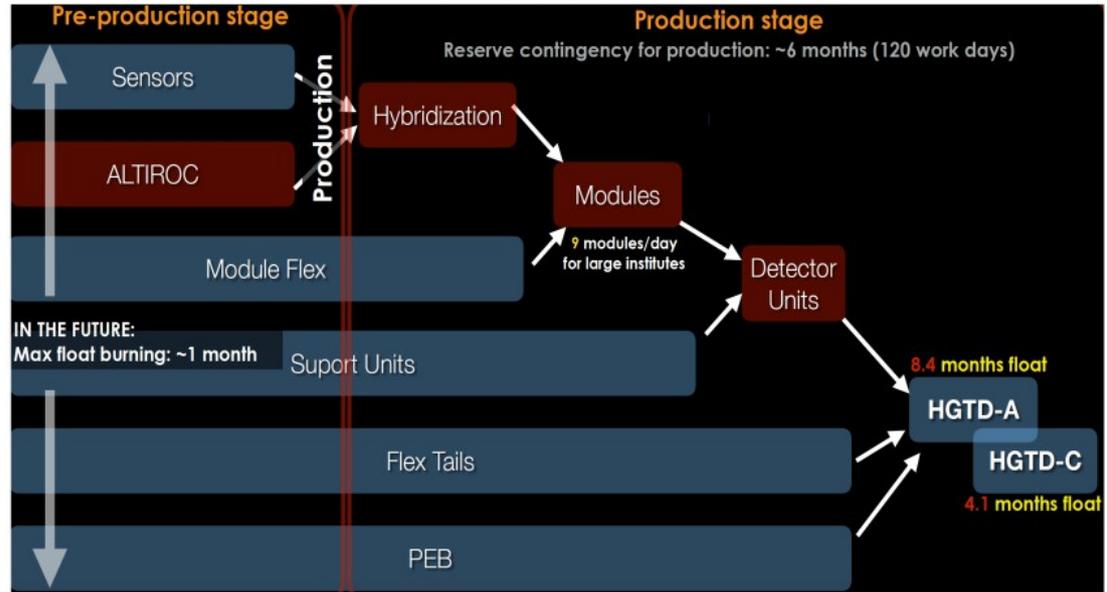
Backup

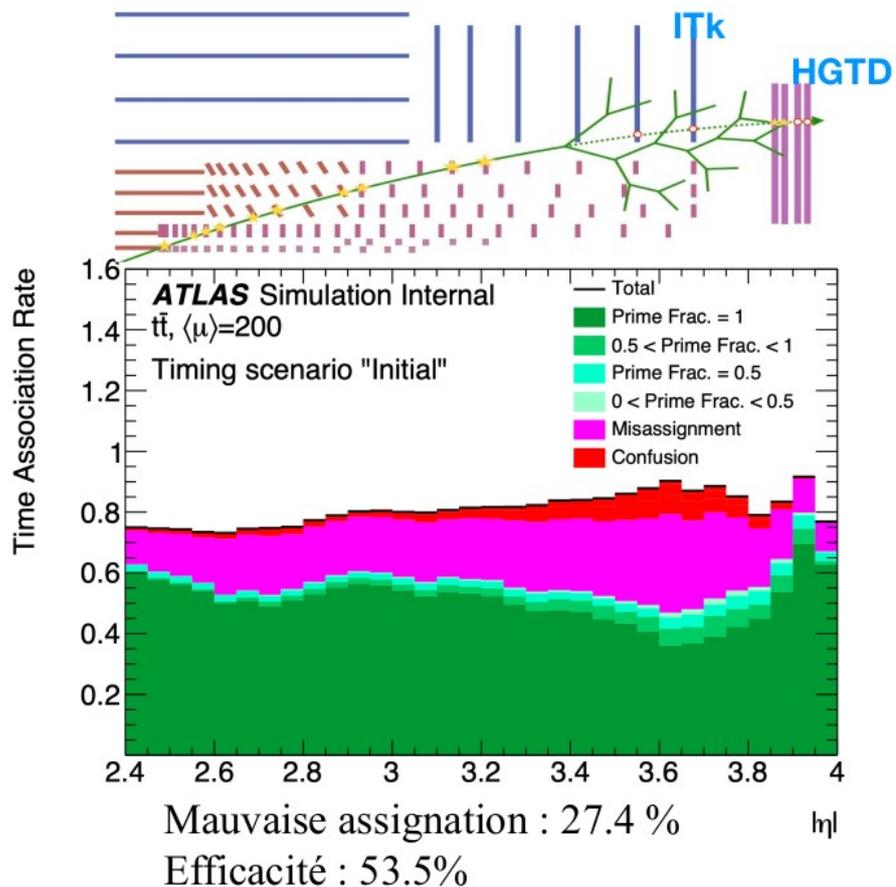
Activités HGTD à l'IN2P3

Simulation et performances
Tests en faisceaux
Démonstrateur

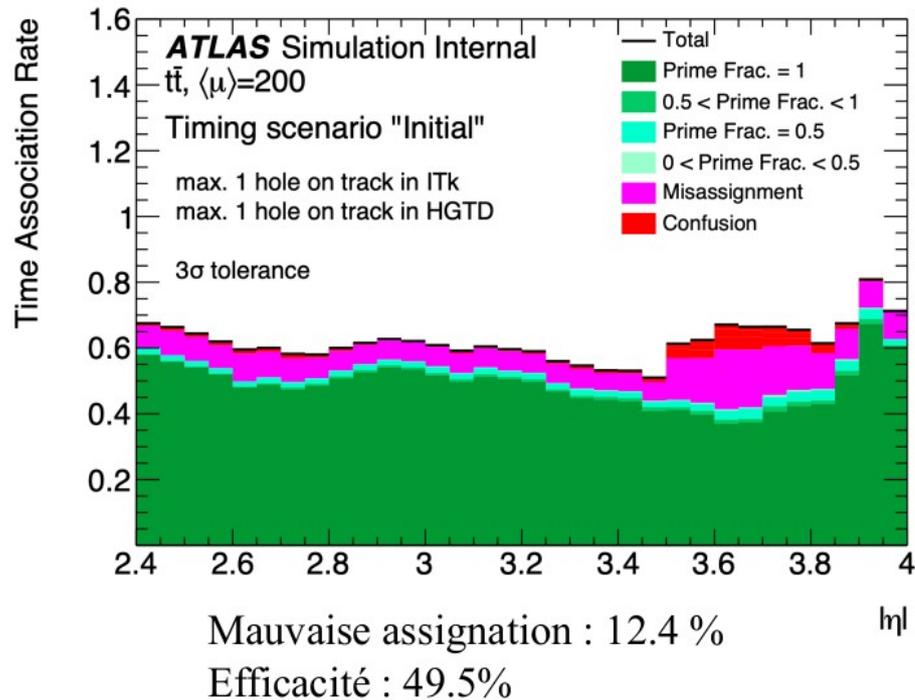
Electronique
Mécanique
Design, production, assemblage
Installation et commissioning

Chaîne de production

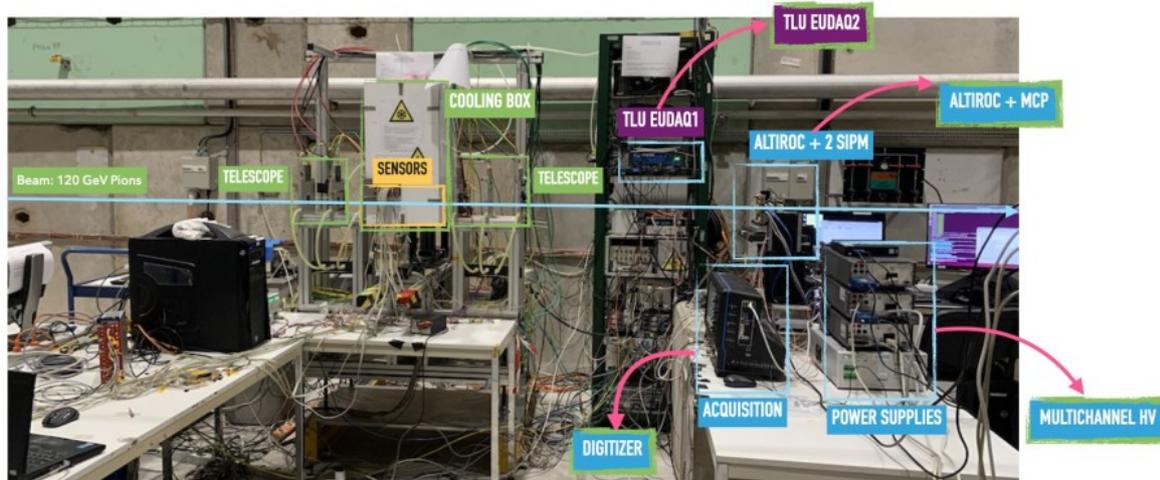




Sans hit associé à l'extrapolation de la trace dans HGTD : « hole on track »
 Coupure sur le nombre de trous par trace



Tests en faisceaux

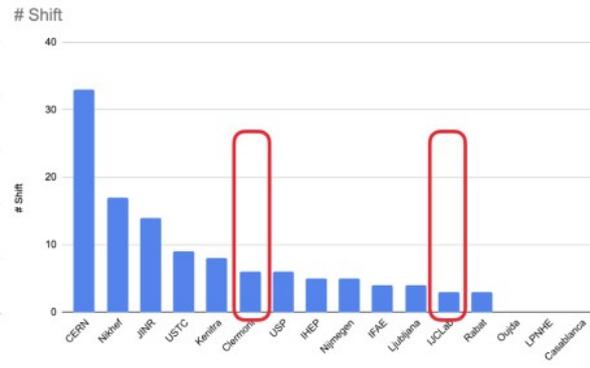
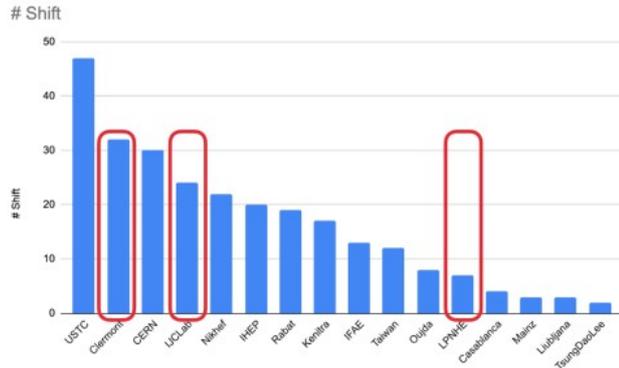


Mise en œuvre des tests en faisceau
 Développement du setup

Participation à la prise de données
 (IN2P3 : ¼ shifts + coordination)

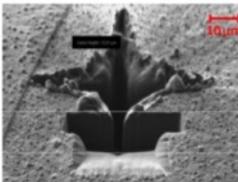
Reconstruction des données

Production des résultats :
 Performance des LGAD
 ASIC ALTIROC2



IME LGAD en juin 2023





Domage sur LGAD observé en TB 2018

Jinst

PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: June 22, 2023
ACCEPTED: June 26, 2023
PUBLISHED: July 14, 2023

Destructive breakdown studies of irradiated LGADs at beam tests for the ATLAS HGTD

L.A. Beresford,^a D.E. Boumediene,^{b,*} L. Castillo Garcia,^c L.D. Corpe,^b
M.J. Da Cunha Sargedas de Sousa,^d H. El Jarrari,^e A. Eshkevarvakilli,^f C. Grieco,^{c,1}
S. Grinstein,^{c,2} S. Guindon,^f A. Howard,^g G. Kramberger,^h O. Kurdysch,^h R. Mazini,ⁱ
M. Missio,^j M. Morenas,^k O. Perrin,^h V. Raskina,^l G. Saito^m and S. Trincaz-Duvoid^l

Jinst

PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: February 14, 2023
ACCEPTED: April 3, 2023
PUBLISHED: May 2, 2023

Performance in beam tests of carbon-enriched irradiated Low Gain Avalanche Detectors for the ATLAS High Granularity Timing Detector

S. Ali,^a H. Arnold,^b S.L. Auwens,^c L.A. Beresford,^d D.E. Boumediene,^e A.M. Burger,^e
L. Cadamuro,^f L. Castillo Garcia,^{g,*} L.D. Corpe,^e M.J. Da Cunha Sargedas de Sousa,^h
D. Dannheim,ⁱ V. Dao,^j A. Gabrielli,^k Y. El Ghazali,^l H. El Jarrari,^k V. Gautam,^g S. Grinstein,^{g,1}
J. Guimarães da Costa,^m S. Guindon,ⁱ X. Jia,^{m,q} G. Kramberger,ⁿ Y. Liu,^h K. Ma,^h
N. Makovec,^f S. Manzoni,ⁱ I. Nikolic,^o O. Perrin,^e V. Raskina,^o M. Robles Manzano,^p
A. Rummier,ⁱ Y. Tayalati,^k S. Trincaz-Duvoid,^a A. Visible,^b S. Xin,^m L. Xu,^h X. Yang^h
and X. Zheng^h

Domage sur les LGAD observé en 2018

Tests en faisceaux en 2022

Démontrer que les SEB (Single Event Burnouts) sont compris et résolus

Sélectionner les meilleurs fabricants (IME, CNM, ...)

Performance des LGAD retenus pour la pré-production

Résolution en temps, efficacité, charge, uniformité

Performance de l'ASIC ALTIROC1

Jinst

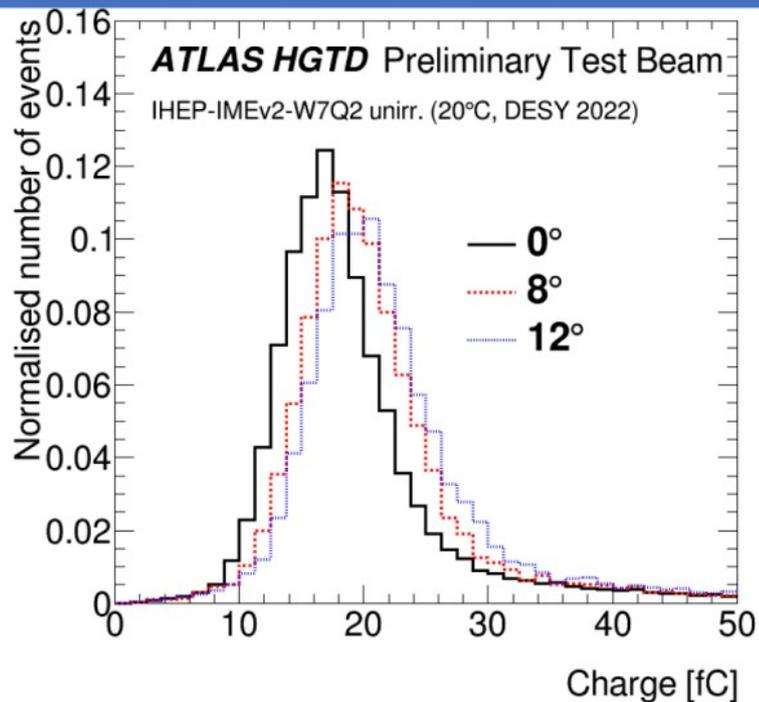
PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: June 16, 2023
ACCEPTED: July 27, 2023
PUBLISHED: August 21, 2023

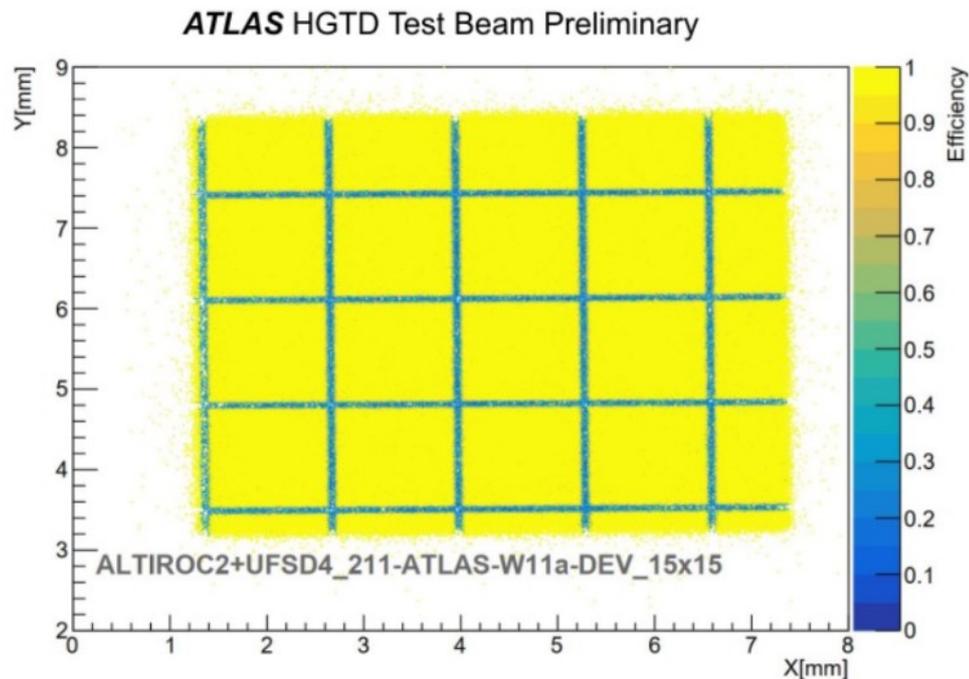
Performance of a front-end prototype ASIC for the ATLAS High Granularity timing detector

C. Agapopoulou,^a L.A. Beresford,^b D.E. Boumediene,^c L. Castillo Garcia,^d S. Conforti,^e
C. de la Taille,^e L.D. Corpe,^b M.J. Da Cunha Sargedas de Sousa,^f P. Dinaucourt,^e
A. Falou,^a V. Gautam,^g D. Gong,^g C. Grieco,^d S. Grinstein,^{d,h} S. Guindon,^b A. Howard,ⁱ
O. Kurdysch,^e E. Kuwertz,^b C. Li,^f N. Makovec,^{a,*} B. Markovic,^j G. Martin-Chassal,^e
R. Mazini,^g C. Milke,^j M. Morenas,^e O. Perrin,^g V. Raskina,^l C. Rizzi,^b L. Ruckman,^j
A. Rummier,^b S. Sacerdoti,^g G. Saito,^m N. Seguin-Moreau,^e L. Serin,^a X. Yang,^f J. Ye^g
and W. Zhou^g

Tests en faisceaux : analyse données 2022



Charge collectée pour un senseur non irradié de $1,3 \times 1,3$ mm² : IHEP-IMEv2-W7Q2. Les mesures ont été effectuées à température ambiante. Des électrons de 5 GeV à trois angles d'incidence ont été utilisés (DESY)



Efficacité de ALTIROC2+UFSD4_211-ATLAS- W11a-DEV_15x15.

Une efficacité de 100 % a été atteinte en dehors de la région inter-gap. Le télescope EUDET est utilisé pour la reconstruction des traces. Les mesures ont été effectuées avec des pions chargés de 75 GeV au SPS en 2022.

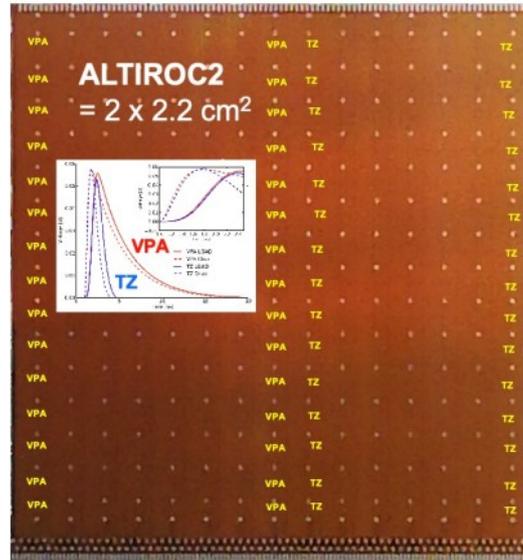
Design et tests des ASICs ALTIROC

- ASIC global architecture, Floorplan, analog and top level simulations
- Digital blocks (synthesis, place and route, simulation), layout, mixed-signal simulations and UVM verification

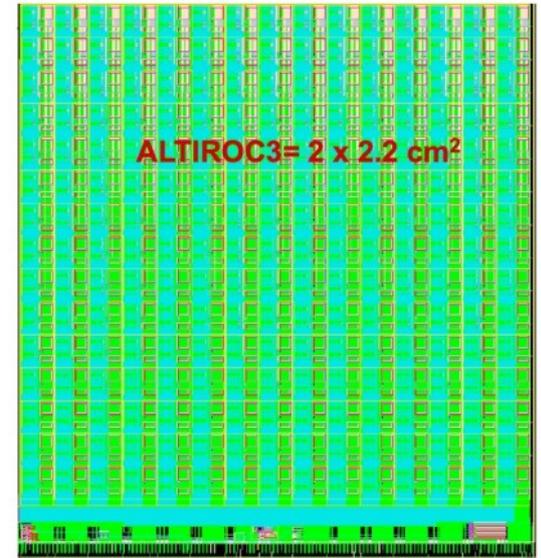
Caractérisation et tests systématiques des ASICs ALTIROC2 et ALTIROC3

- Prototypes
- Production 12-inch wafers testés avec probe stations avant Under Bump Metallization (UBM) et hybridization (bump bonding).

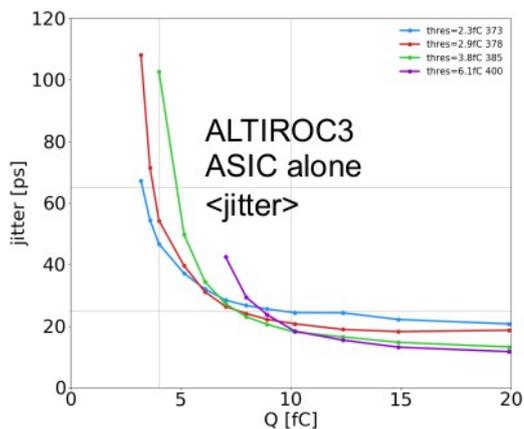
ALTIROC2
TSMC 130 nm
Design et tests: 2021-2022
Tests des fonctionnalités et
performances
Non rad-hard



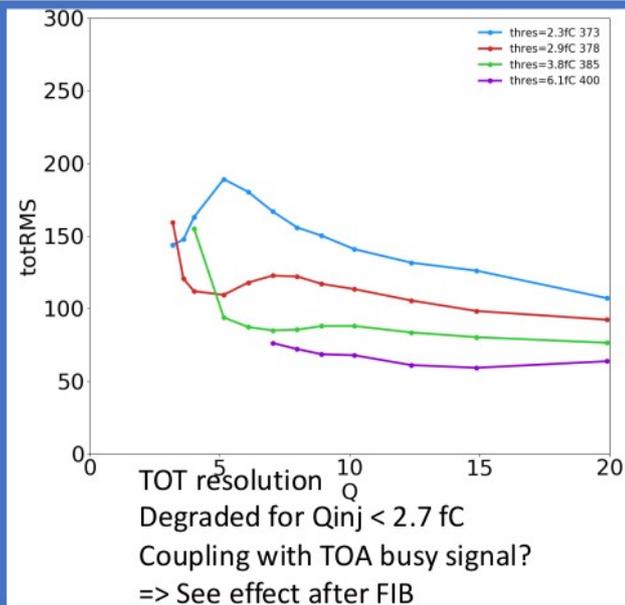
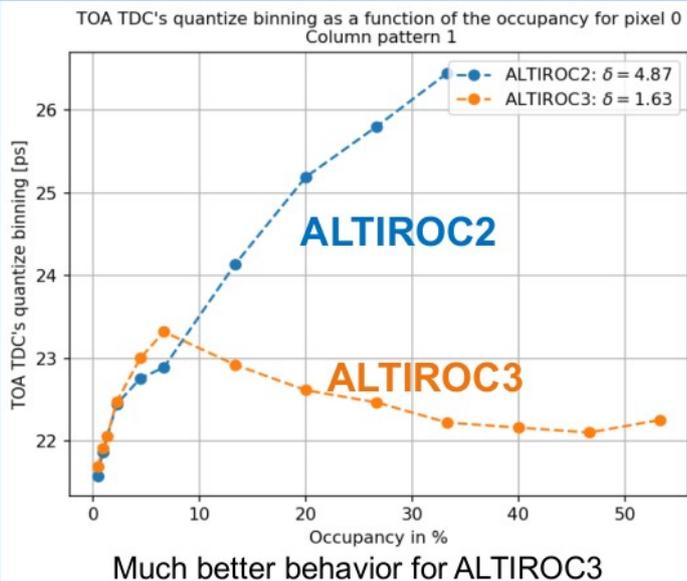
ALTIROC3
TSMC 130 nm
Design et tests: 2022-
2023
Prototype complet avant
la production
Même architecture que
ALTIROC2
+ triplification totale



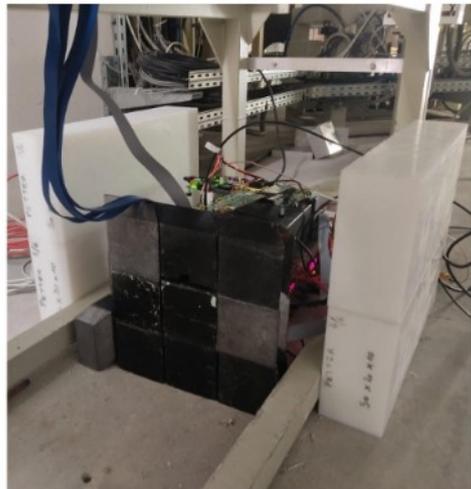
Electronique : test setup et résultats



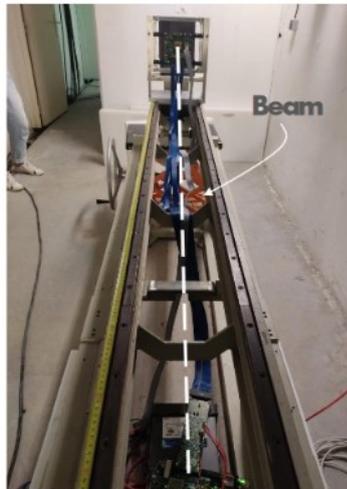
	Small Ctest
Jitter @ 10fC	18ps
Jitter @ 4 fC	47ps



Single Event Effect (SEE) sur ALTIROC3
Faisceau de protons 65 MeV Nice
Tests de triplication et taux de corruption
Premiers résultats très encourageants



Protective shield for
measuring instruments &
FPGA

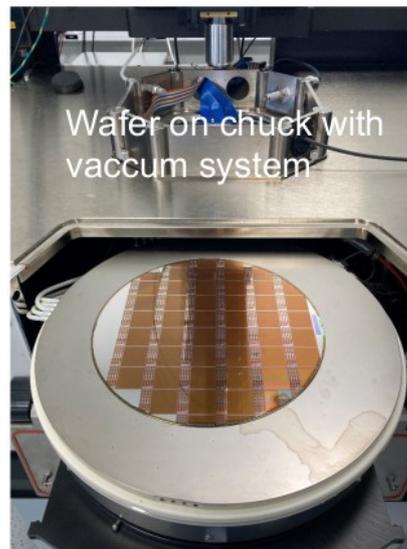


ALTIROC3 as a beam target

Campagnes à Nantes en déc. 2023 et GANIL en mars 2024

Probe station avec ALTIROC2

Tests en mai 2023 - résultats similaires à ceux sur PCB



Wafer on-chuck with
vaccum system



Probecard AltirocV2
X,Y position adjustment

Next steps

Timing/lumi data acquisition au niveau wafer

Déplacement du wafer chuck avec FADA

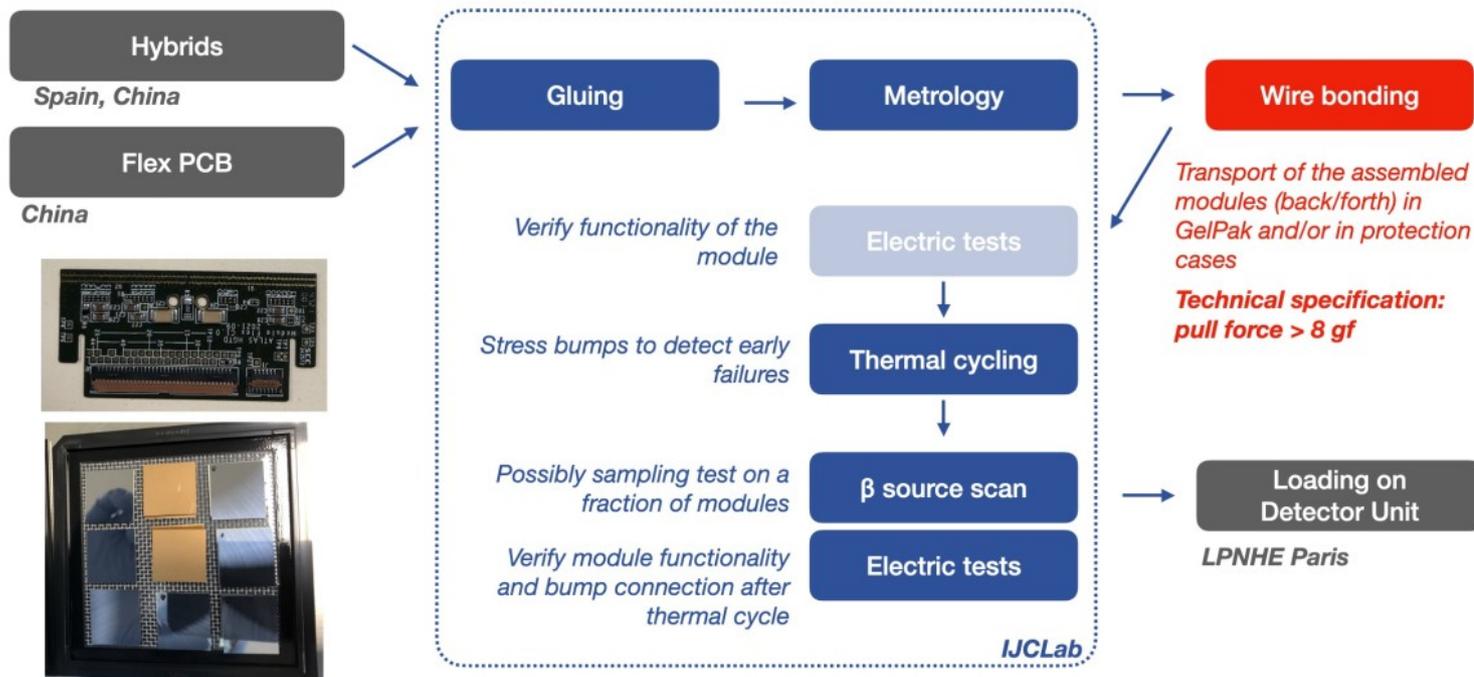
Altiroc3 probe card : livraison attendue mi-novembre 2023

Assemblage des modules

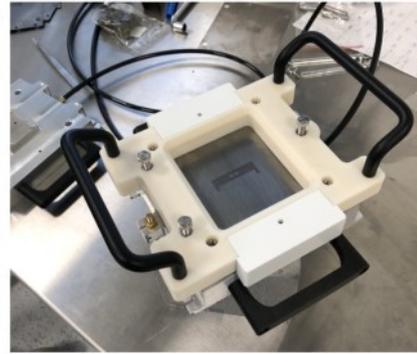
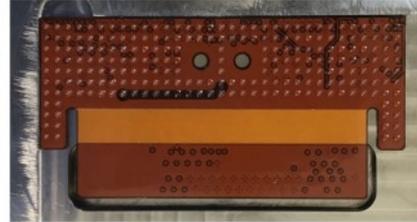
IJCLab a en charge l'assemblage de 20% des modules - 2000 modules à produire

2023 : mise en œuvre du processus d'assemblage et de tests - 30 modules produits

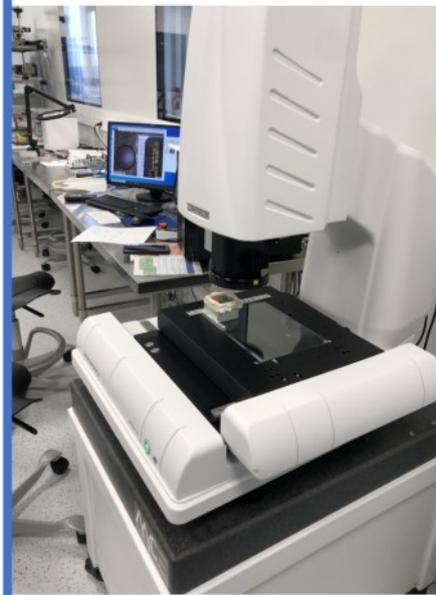
IJCLab un des deux sites d'assemblage (avec IFAE) a avoir fourni les modules du premier detector unit du démonstrateur



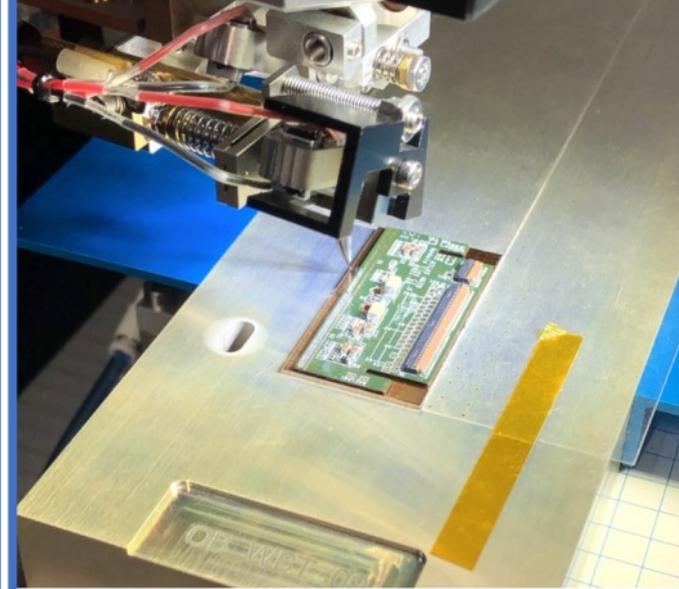
Assemblage des modules : les étapes clés



Outillage pour le collage des modules flex sur les hybrides
Positionnement manuel par JIG
Stencil dépôt de colle et système de positionnement

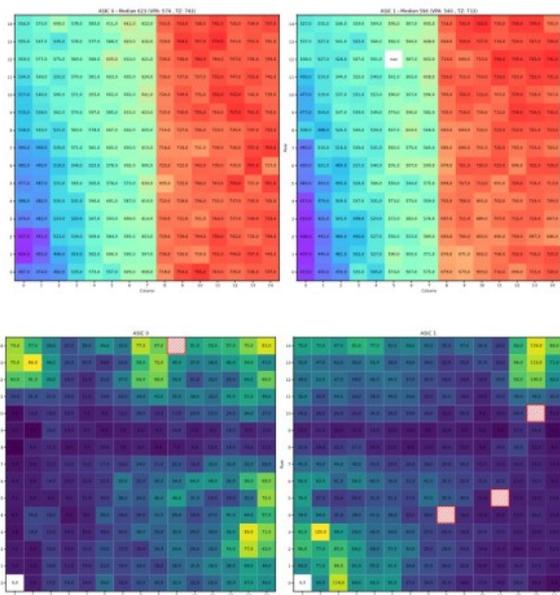
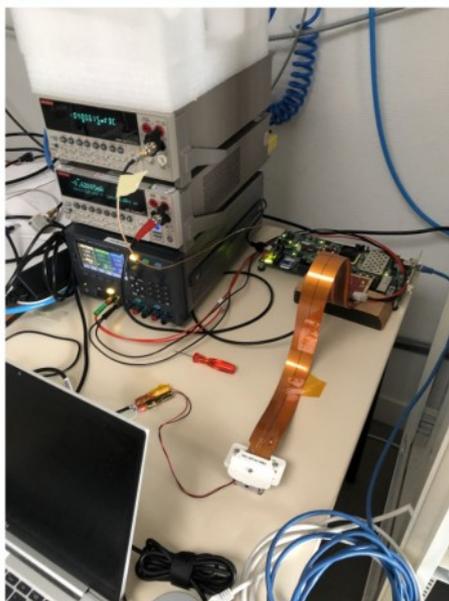


Métrieologie des modules
Système automatisé
avec détection de
position

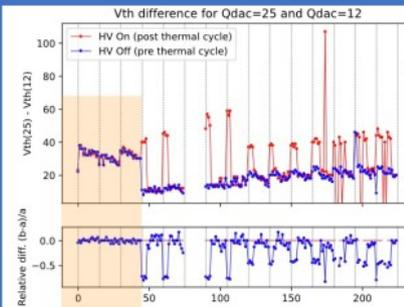


Wire-bonding réalisé à C4PI à
Strasbourg - Qualité extrêmement
bonne sur les modules ALTIROC2
Responsabilité IRFU

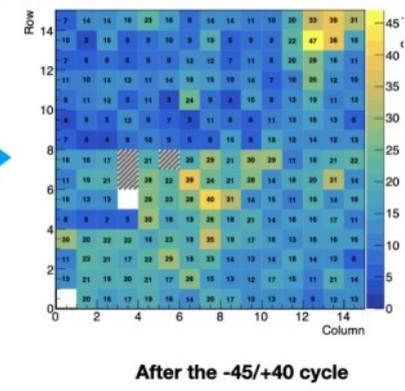
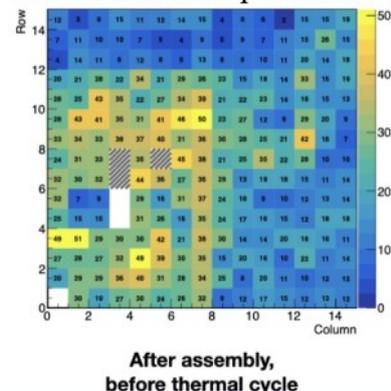
Tests électriques et études thermiques



Banc de tests électriques des modules : mesure de seuils et source scan - utilisation de FADA et FPGA - ensemble complet de mesures : IV, charge injection, TOT/TOA
 Extension pour tests de plusieurs modules simultanément à l'étude



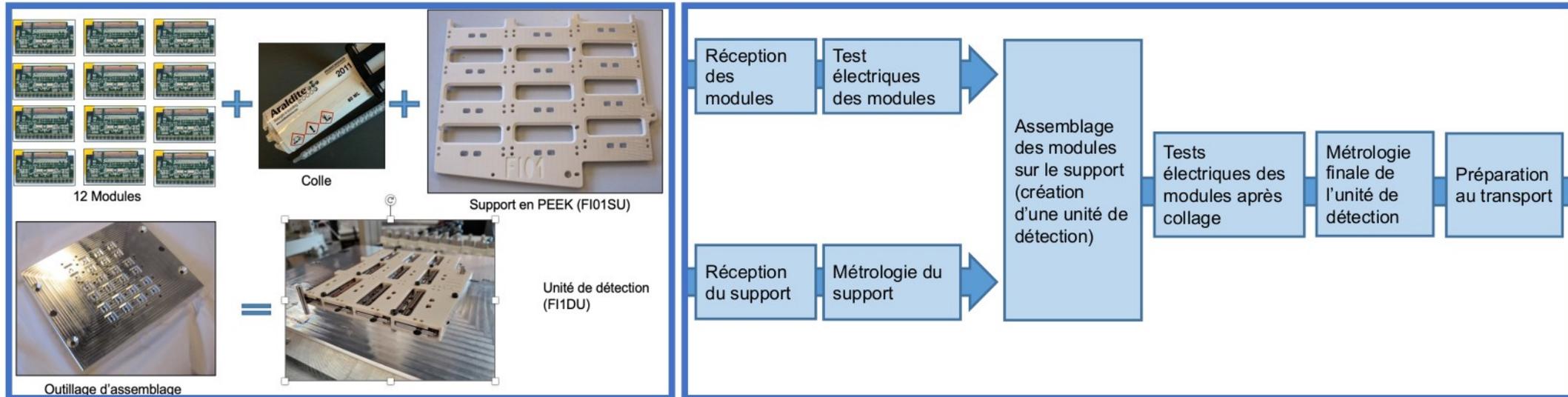
Grand nombre de déconnexions observé sur les bords des modules - études en cours - résultats préliminaires à IJCLab : pas de déconnexion des bumps.
 Pas de résultats probants dans les autres labos.

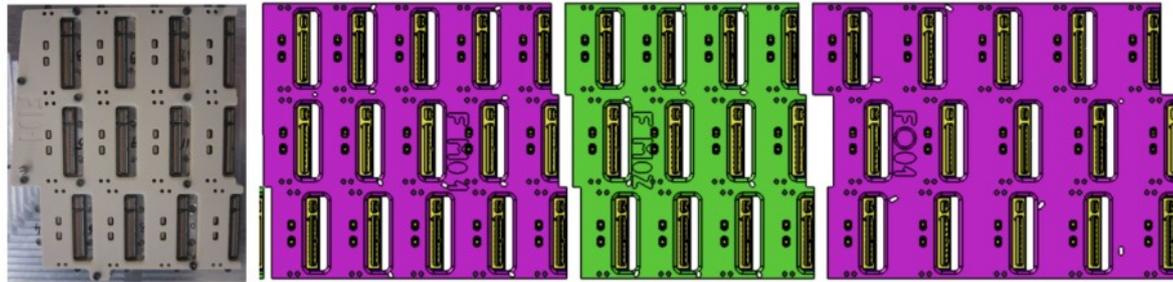
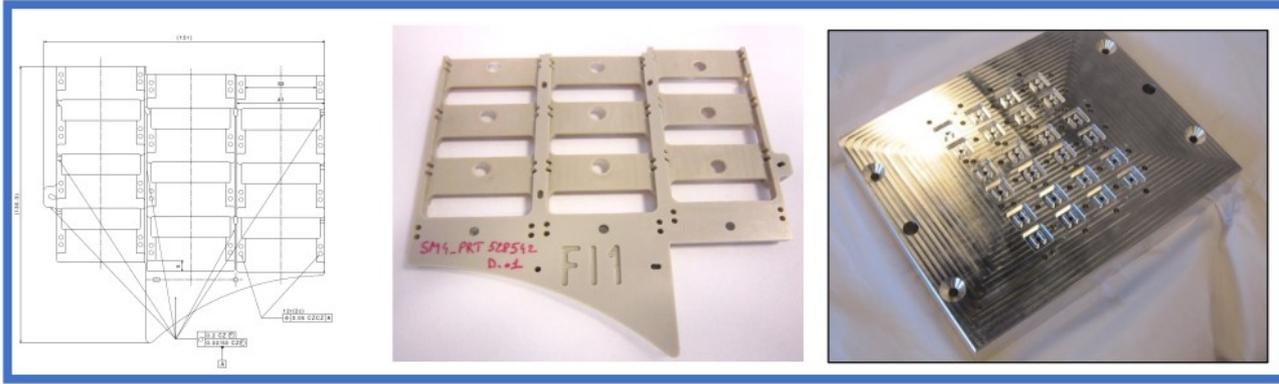


Conception et Production des Detector Units

Le LPNHE a en charge le design des « Support Units » et la responsabilité de 50% de la production, soit 384 SU
 24 types différents de support par face sont à dessiner - plusieurs prototypes conçus et réalisés - Les supports pour le démonstrateur sont en cours.

Le LPNHE a en charge le développement de la procédure d'assemblage et la production de 20% des « Detector Units », soit 154 DU. Le premier Detector Unit du démonstrateur a été réalisé en juillet 2023.





FI01DU

FM01DU

FM02DU

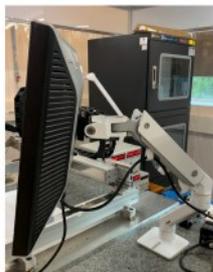
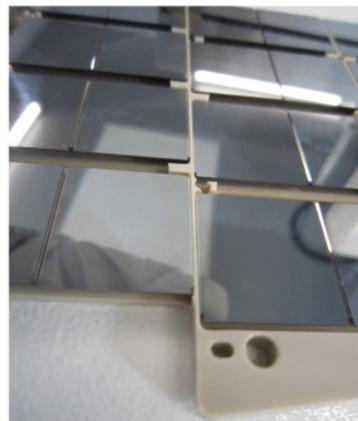
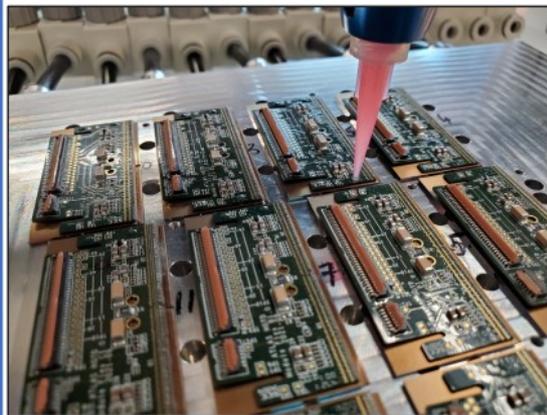
FO01DU

48 dessins de support à produire ainsi que les outillages dédiés.

Les supports et les detector units du démonstrateur nécessitent un design spécifique (dimension non standard des modules)

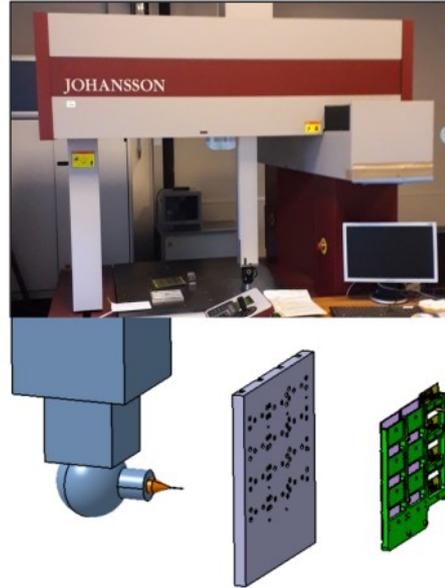
Passage à CATIAv6 a engendré des retards significatifs et du travail supplémentaire

Mise en œuvre de la procédure de loading

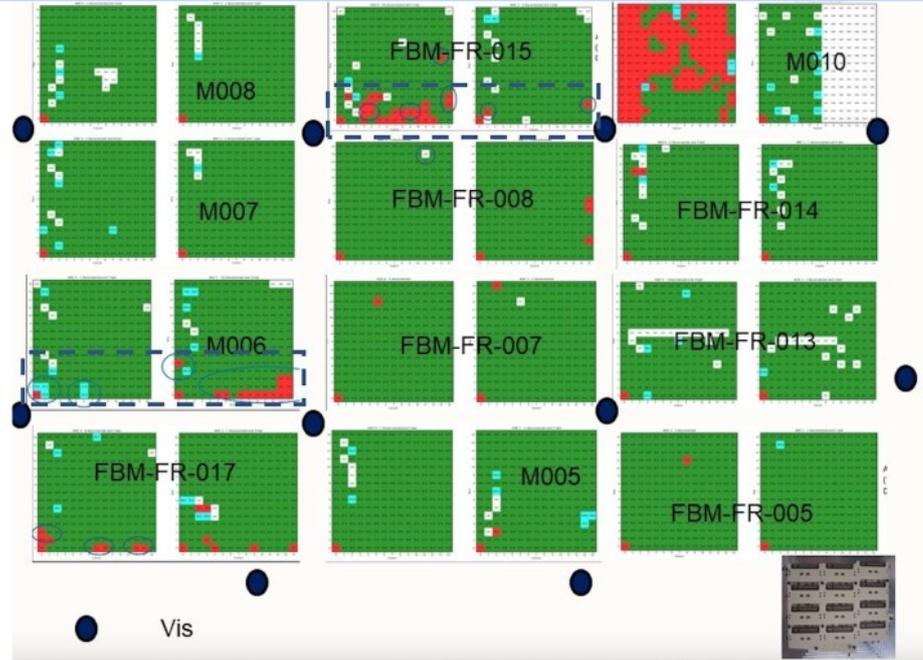


Equipement : nouveau robot « Festo » - armoire de stockage - dispenser colle - système de manipulation des modules - amélioration de la qualité de la salle - amélioration de l'ergonomie et des procédures.

Mise en œuvre du collage : nombreux tests sur prototypes et réalisation du premier DU du démonstrateur. Retour d'expérience et mise en œuvre de correctifs pour le second DU prévu d'ici la fin 2023.

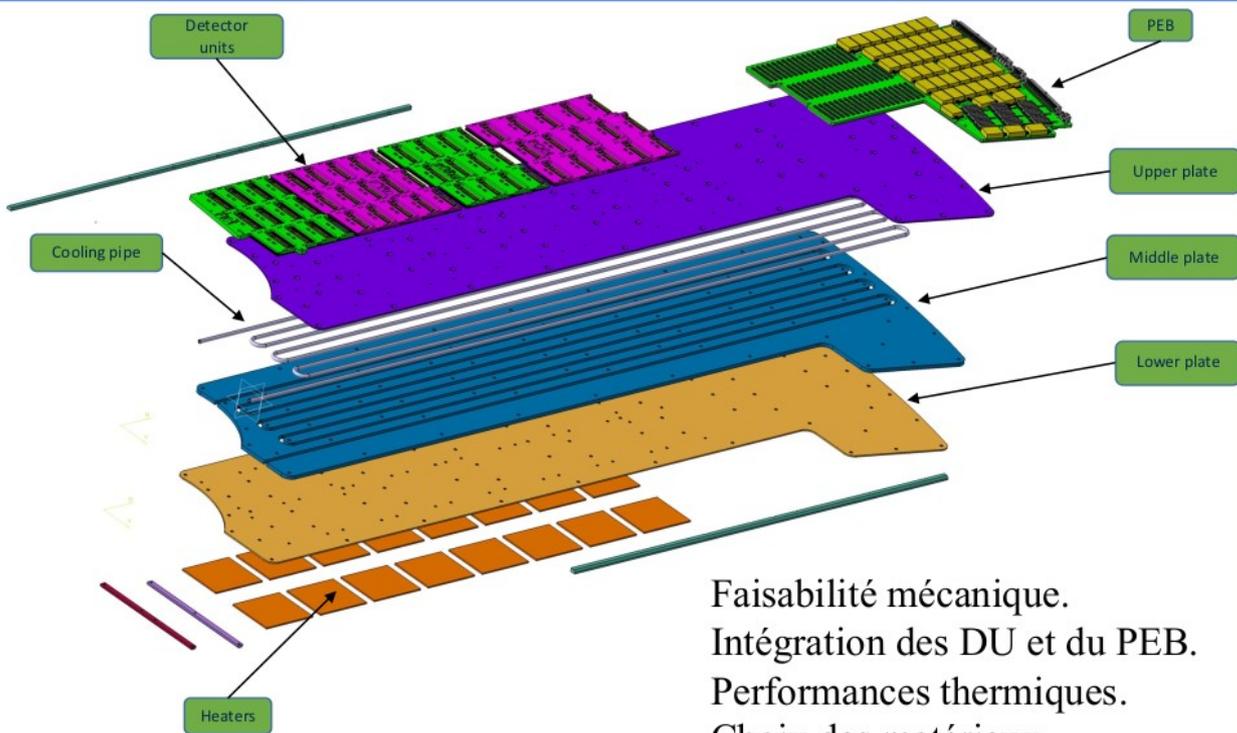


Métrie des supports prototypes et du démonstrateur effectuée avec la colonne de mesure.
La Machine Mesure Tridimensionnelle (MMT) pourrait servir pour contrôler la planéité des detector units (actuellement hors-service, jouvence pour 50k€)



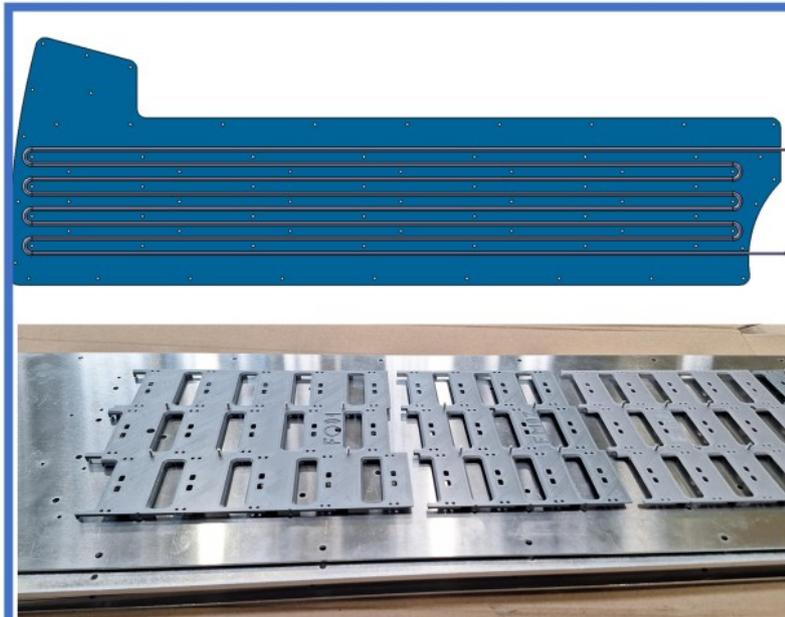
Banc de tests de IJClab dupliqué pour tests électriques des modules avant et après loading, mis en œuvre pour le démonstrateur permettant un mapping complet.
Stabilité de la qualité des modules (IJClab - LPNHE - CERN)

Mécanique et Assemblage : Démonstrateur



Faisabilité mécanique.
Intégration des DU et du PEB.
Performances thermiques.
Choix des matériaux.

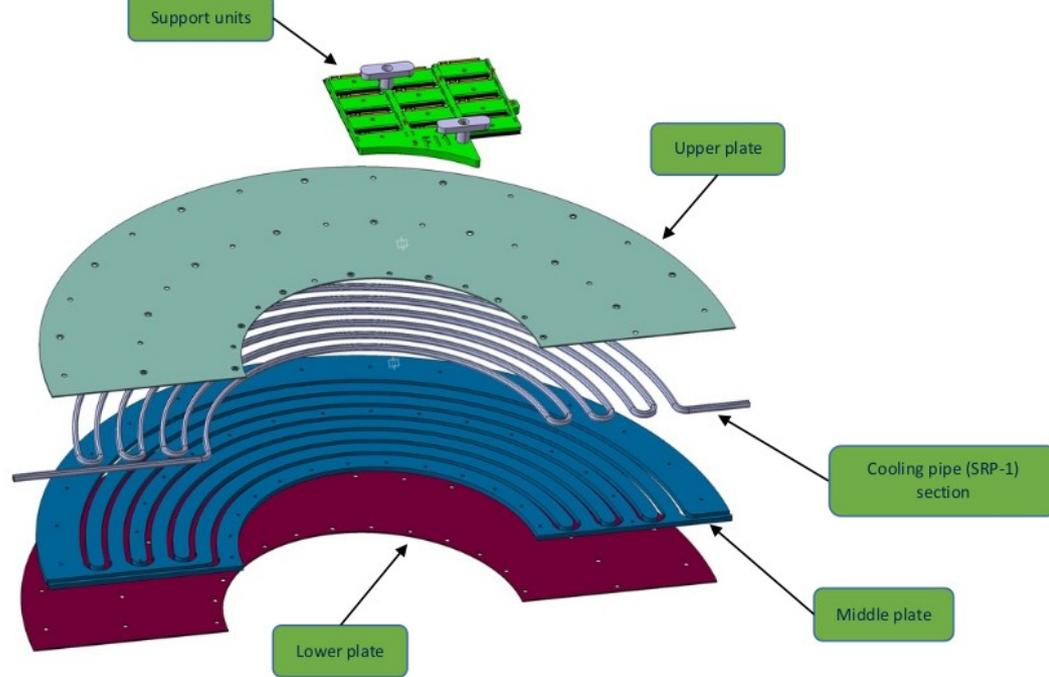
Vue d'ensemble du démonstrateur avec plaques de refroidissement



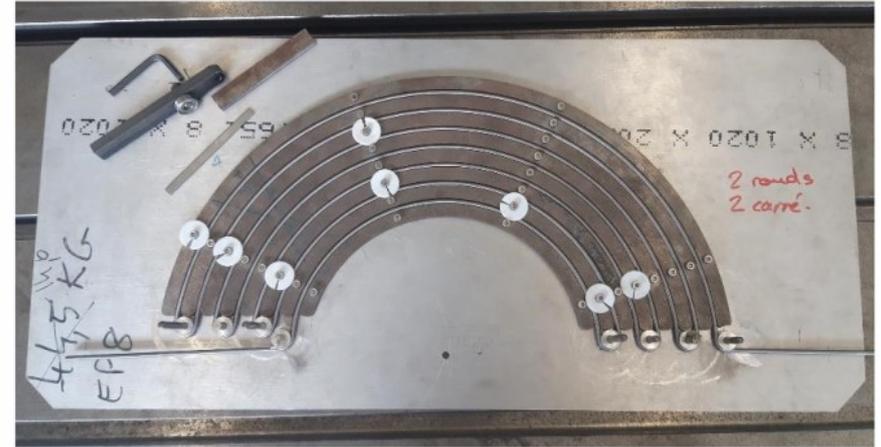
Chemin thermique

Montage à blanc des supports units sur la
plaque de refroidissement

Mécanique et Assemblage : Prototype



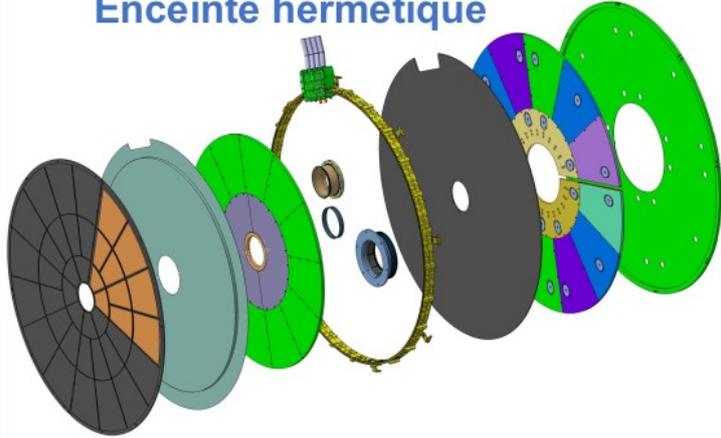
Modèle 3D (catia) 2ème génération avec un Detector Unit
Passage à CATIAv6 a engendré des retards significatifs et du travail supplémentaire, résolu en Sept 2023



Faisabilité mécanique et assemblage.
Valider la conception et le cintrage des serpentins titane.
Valider les performances thermiques.
Choix des matériaux (titane, aluminium, graphite)
en géométrie réelle de +40°C à -45°C.

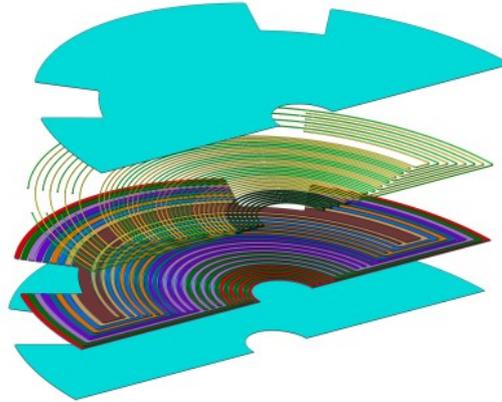
Mécanique et Assemblage : Module zéro

Enceinte hermétique



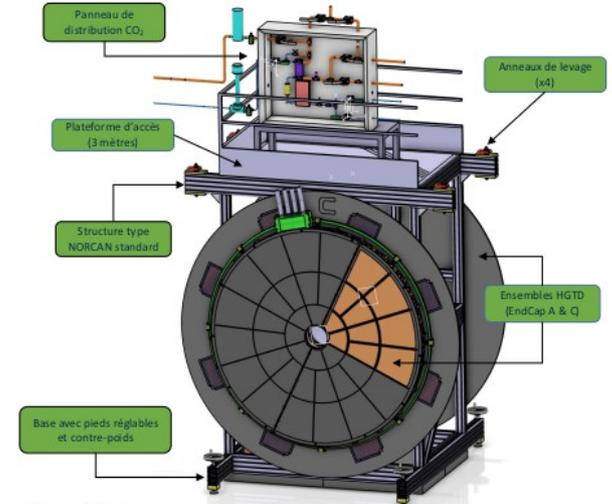
Mode opératoire de production et d'intégration à l'échelle 1/1.
Conditions et tolérances d'insertion des demi-disques.
Étanchéité de l'enceinte.

Disque de refroidissement



Dimensions des capillaires et échange thermique des serpentins.
Scénario de montage des DU des PEB et des flex.
Mesures thermiques complètes.

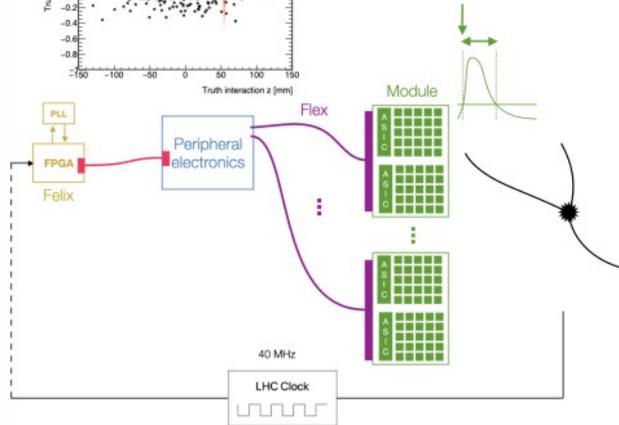
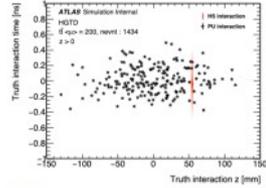
Châssis enceinte hermétique



Profilé standard NORCAN
Utilisation de contre-poids
Dimensions : 3000x1400x2000 mm
Réglage en hauteur de zéro à 250 mm
Anneaux de levage
Accrochage des chemins de câbles

Développements récents et projets

L'objectif de la calibration est corriger les temps mesurés par HGTD afin que des particules, émises au même endroit et au même moment, aient le même temps de référence.



$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_L^2 + \sigma_{\text{elec}}^2 + \sigma_{\text{clock}}^2 < 15 \text{ ps}$$

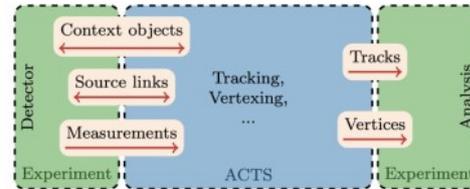
~ 25 ps

Ce travail passe par une passe par plusieurs enjeux et phases:

- Identification des sources de nuisance;
- Simulation des effets;
- Proposition d'algorithmes de calibration;
- Tests et implémentation dans la DAQ.

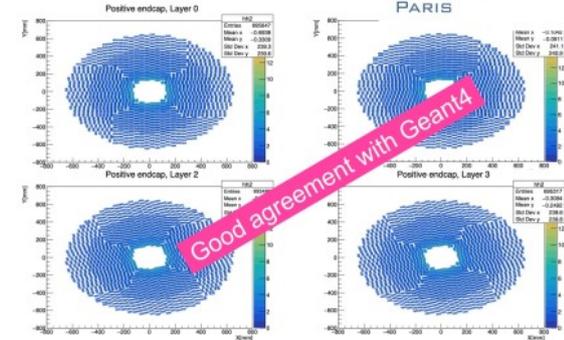
Calibration en temps

- Athena: large software project that gradually became **less maintainable** over time **especially for tracking!**
- In 2016, **tracking code extracted from Athena** => a basis of A Common Tracking Software (ACTS)
- Current ACTS: **experiment-independent toolkit for particle track reconstruction** implemented in **modern C++**, uses the industrial software standards



ACTS A Common Tracking Software

- Will be used in the **HL-LHC operation of ATLAS**: possibility to exploit modern computing architectures (GPUs); the **4D-tracking algorithms** (including timing provided by HGTD)
- ACTS compatible tracking geometry of ATLAS (including HGTD) needs to be constructed



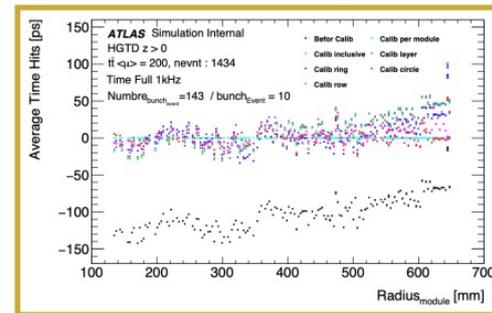
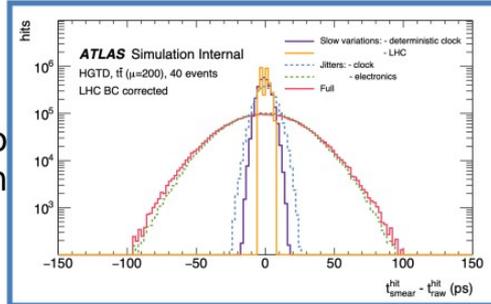
Timing Calibration (In2p3 Clermont-Fd deliverable)

The precision of HGTD not only comes from the resolution of the detector and the electronics: the clock also suffers from fast variations and biases with lower frequencies or even constant behaviours:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_L^2 + \sigma_{\text{elec}}^2 + \sigma_{\text{clock}}^2$$

A "task force" has been created to tackle these questions:

- Identify and estimate sources of jitter and uncertainties.
- Design dedicated corrections → *calibration*.
- Start to consider implementation (online, offline ...)



Surface Commissioning (In2p3 Clermont-Fd deliverable)

"surface commissioning" = ensemble of tests on assembled HGTD before lowering into the cavern:

- Check **no components damaged** during assembly
 - Check we **can control/read all modules, power supplies**
 - Check that there are **no noise/grounding issues**
 - Catch any problems before it is too late!
- Surface Commissioning needs to be **ready around mid 2026**...
- Testing **8000 modules** -- require parallelisation (FELIX cards)
 - Cannot wait for full DAQ system**. So **helping to develop DAQ**, eventually making use of an early/simplified version for our tests
- Ongoing work at Clermont-Ferrand: construction of a DAQ graphical interface, development of VTh, VThc, etc tests (via FELIX) in new C++ framework, assembly of a demonstrator system

