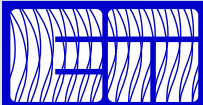




Einstein Telescope, l'instrument

J. Degallaix pour ET-France



EINSTEIN
TELESCOPE

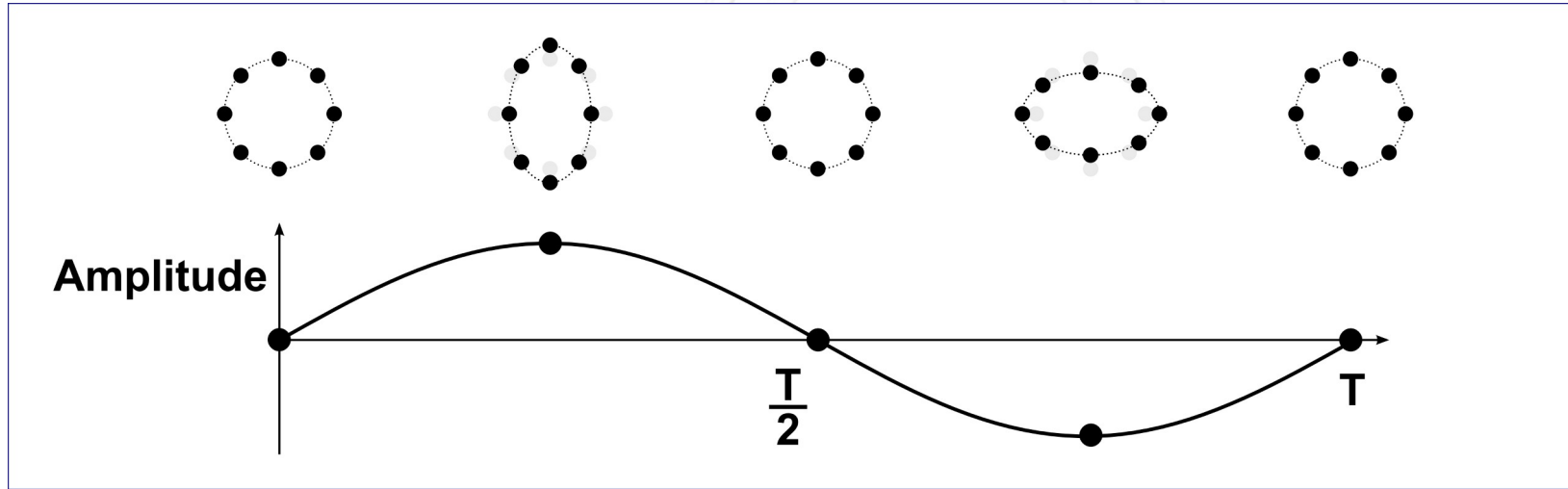
I

Un détecteur d'ondes gravitationnelles

Détection d'une onde gravitationnelle



Une onde gravitationnelle produit une variation différentielle de distance sur des masses en chute libre.



Dans le détecteur :
masses en chute libre → miroirs suspendus

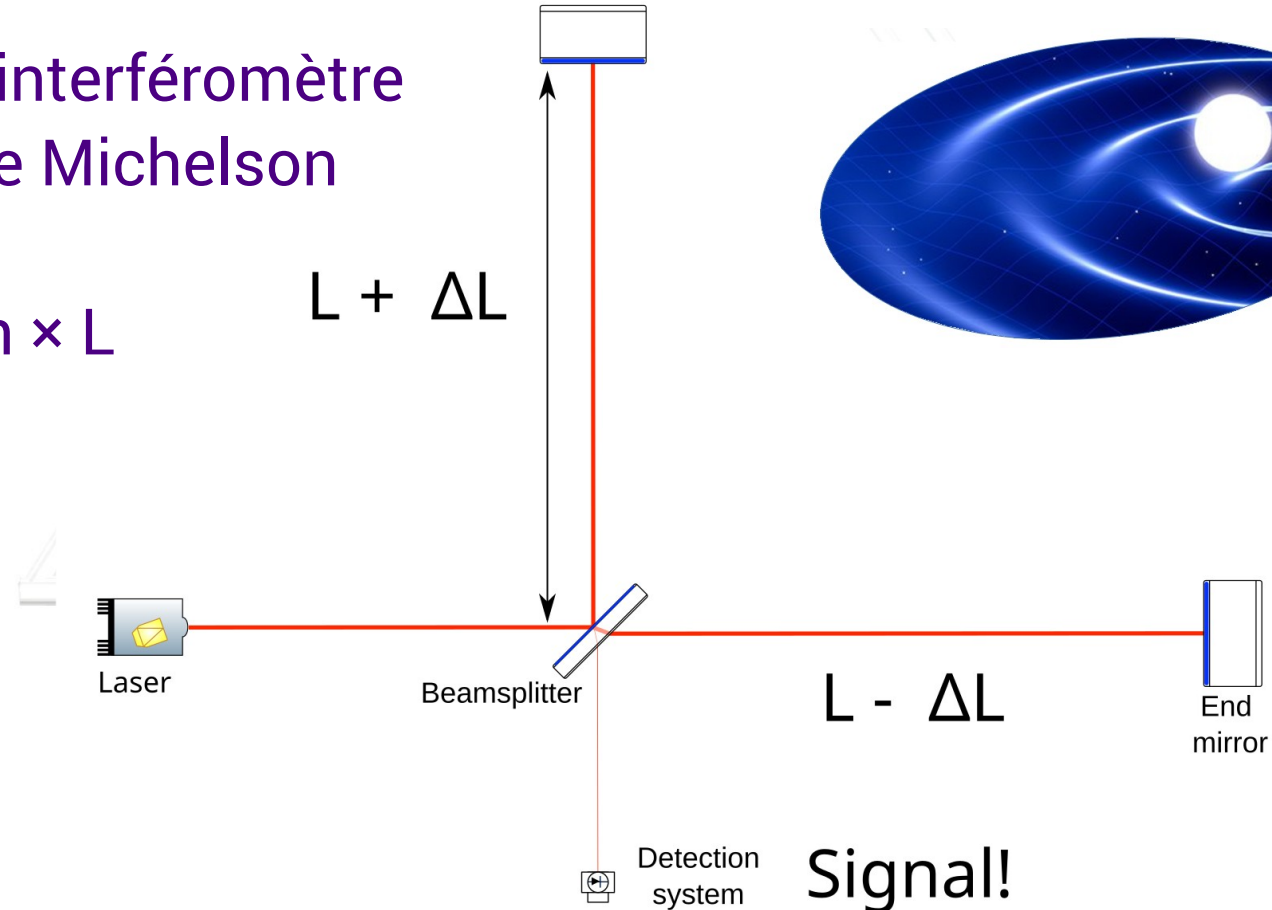
[illegible]

Détection d'une onde gravitationnelle



Détecteur d'OG = interféromètre
laser géant de type Michelson

On mesure : $\Delta L = h \times L$
 h amplitude OG

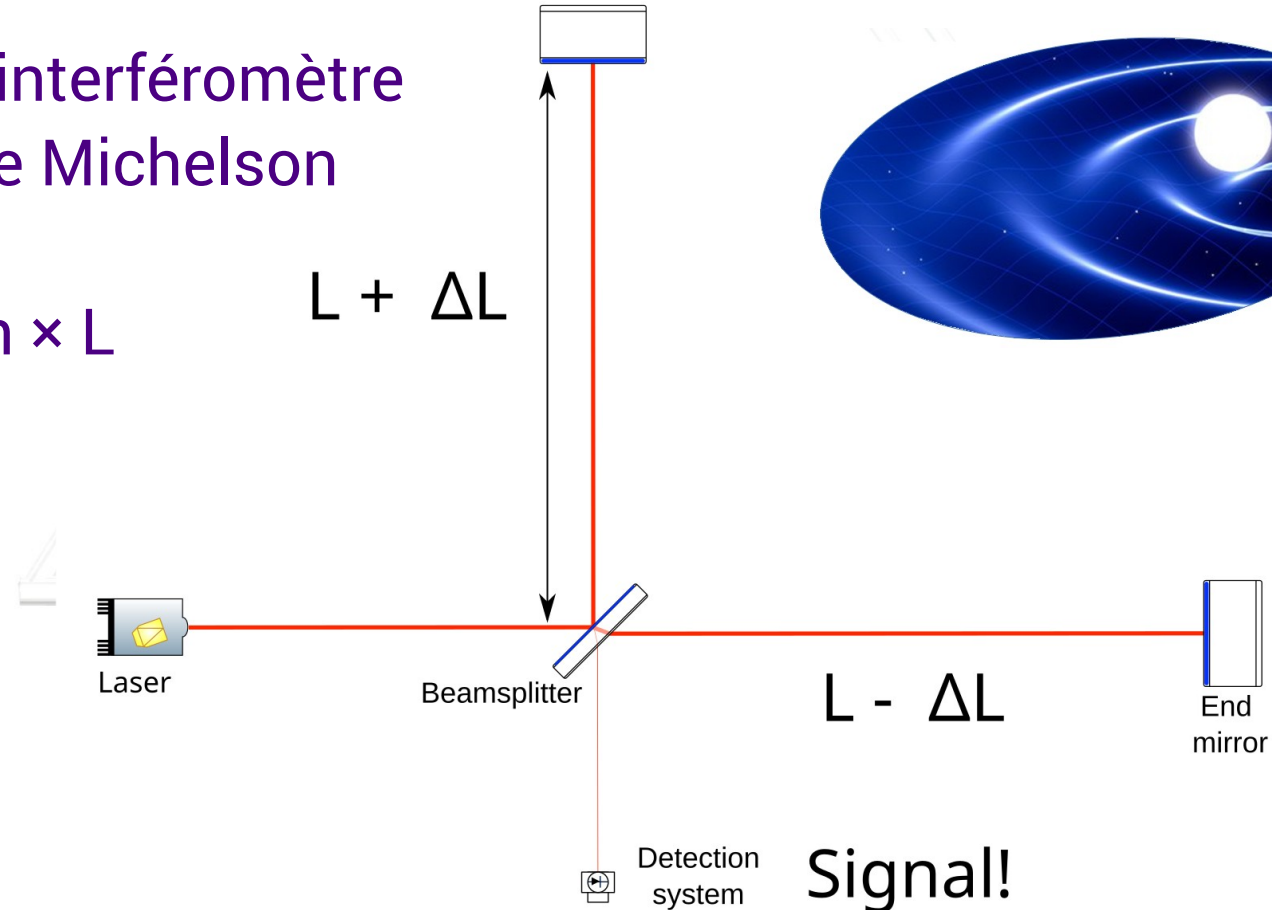


Détection d'une onde gravitationnelle



Détecteur d'OG = interféromètre
laser géant de type Michelson

On mesure : $\Delta L = h \times L$
 h amplitude OG



Détection d'une onde gravitationnelle

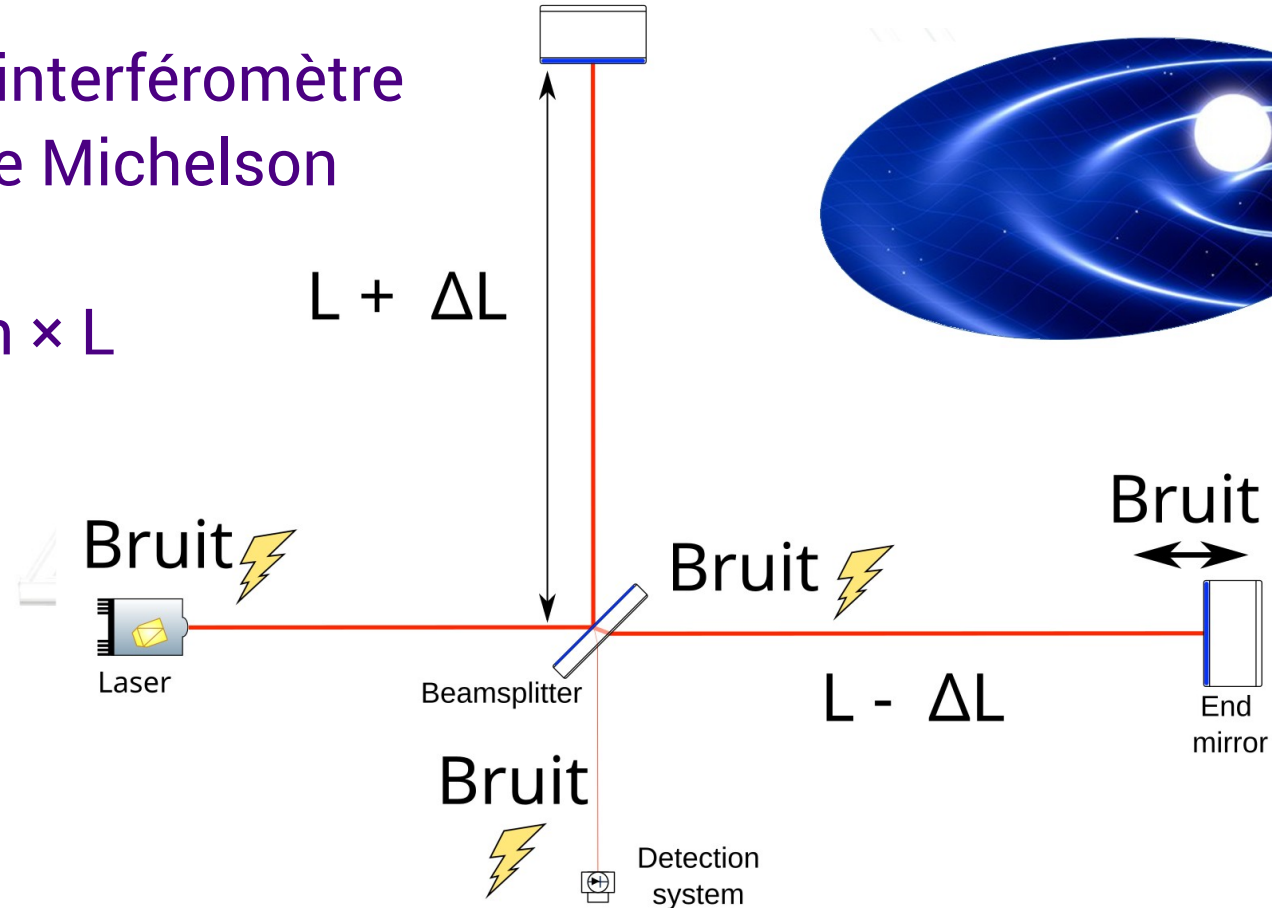


Détecteur d'OG = interféromètre
laser géant de type Michelson

On mesure : $\Delta L = h \times L$

h amplitude OG

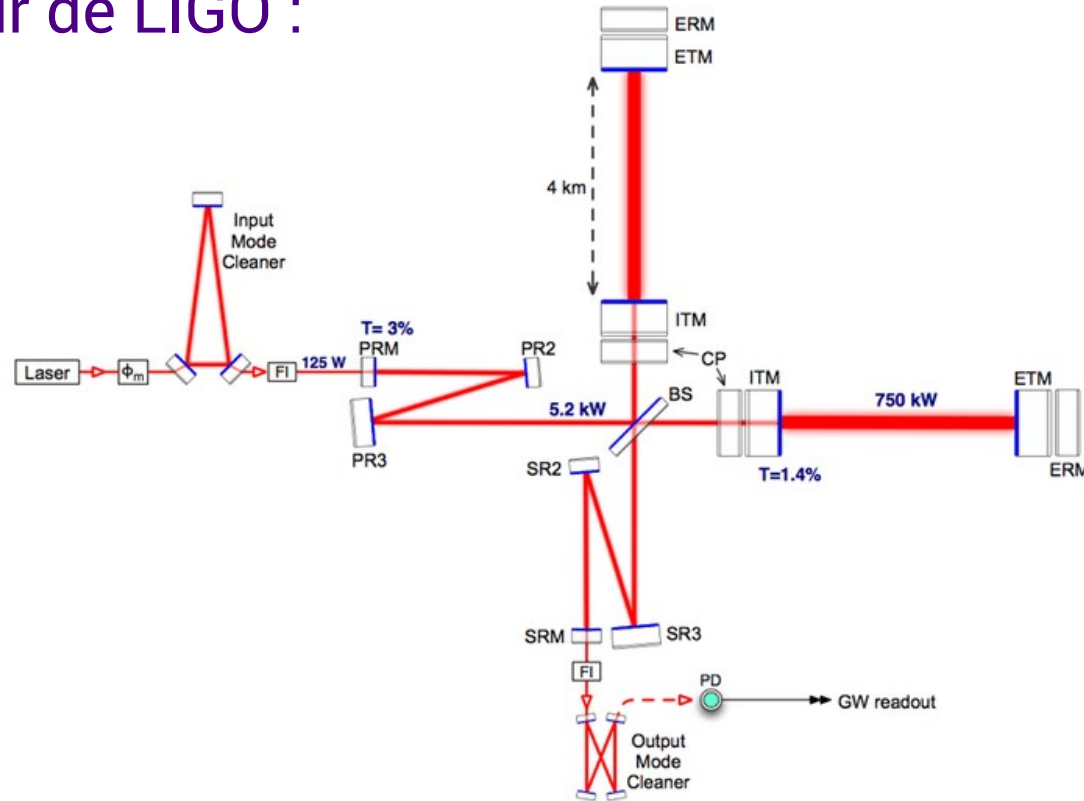
$\Delta L \sim 10^{-18}$ m



Le schéma optique est un peu compliqué



Exemple du détecteur de LIGO :

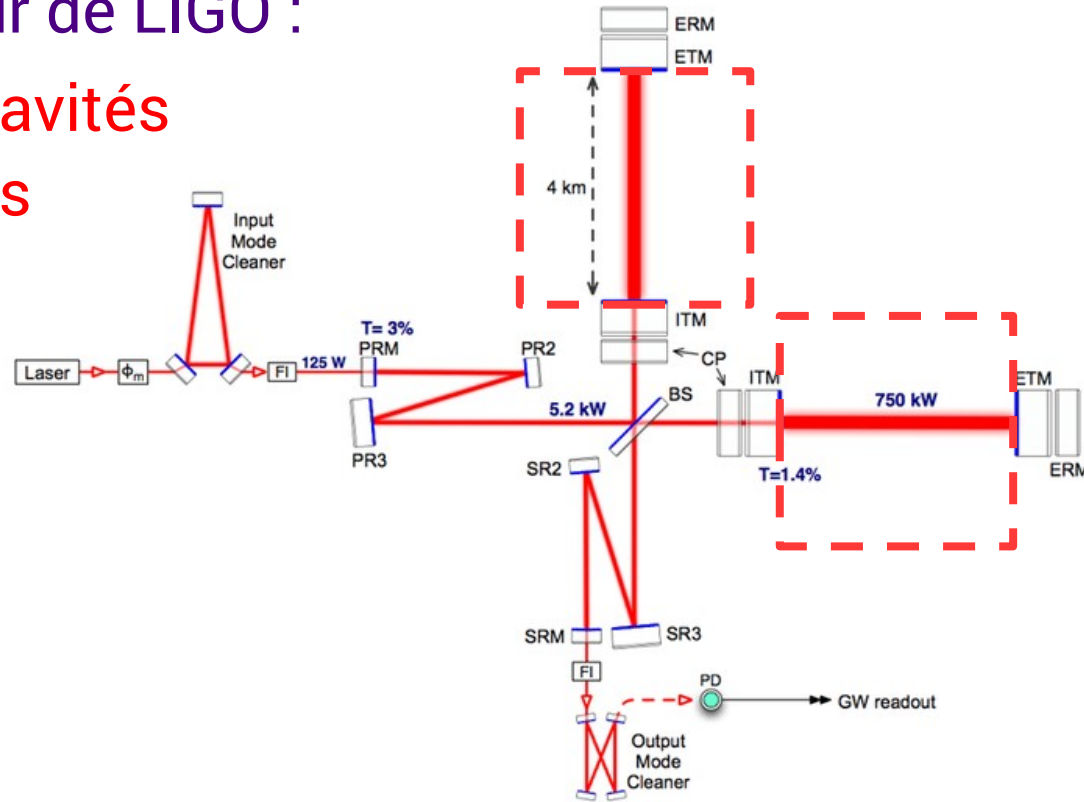


Le schéma optique est un peu compliqué



Exemple du détecteur de LIGO :

Bras du détecteur : cavités
optiques résonnantes



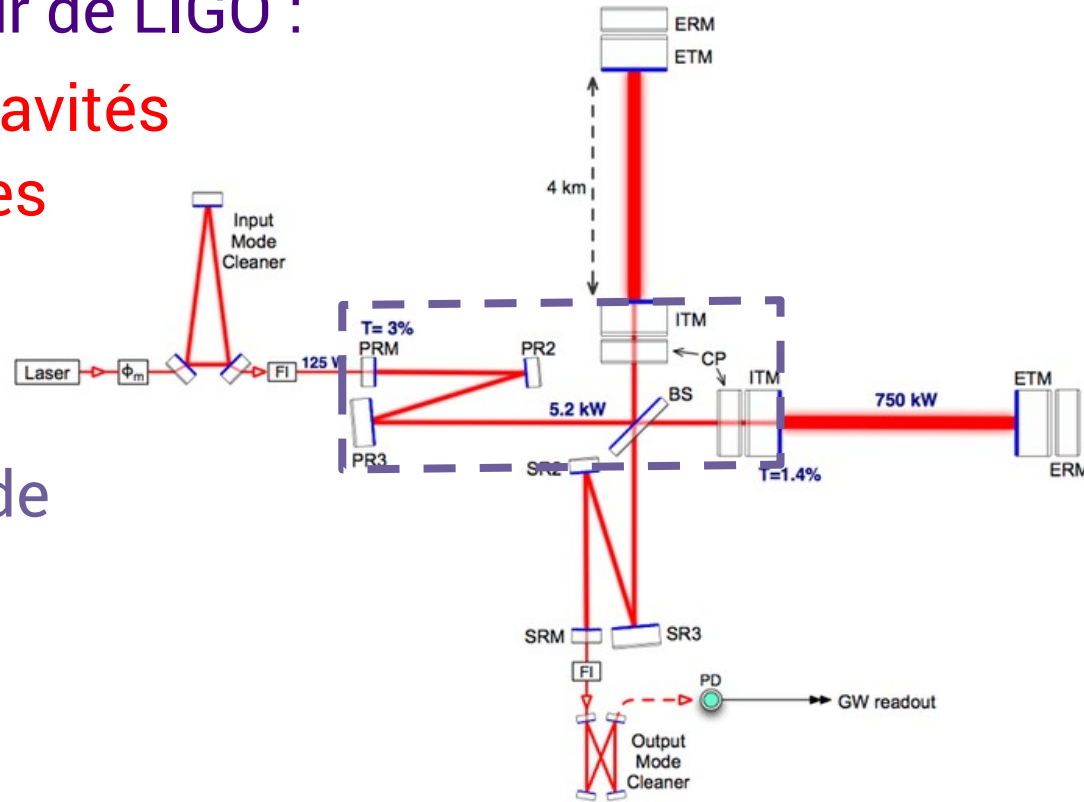
Le schéma optique est un peu compliqué



Exemple du détecteur de LIGO :

Bras du détecteur : cavités
optiques résonnantes

Cavité de recyclage de
puissance



Le schéma optique est un peu compliqué

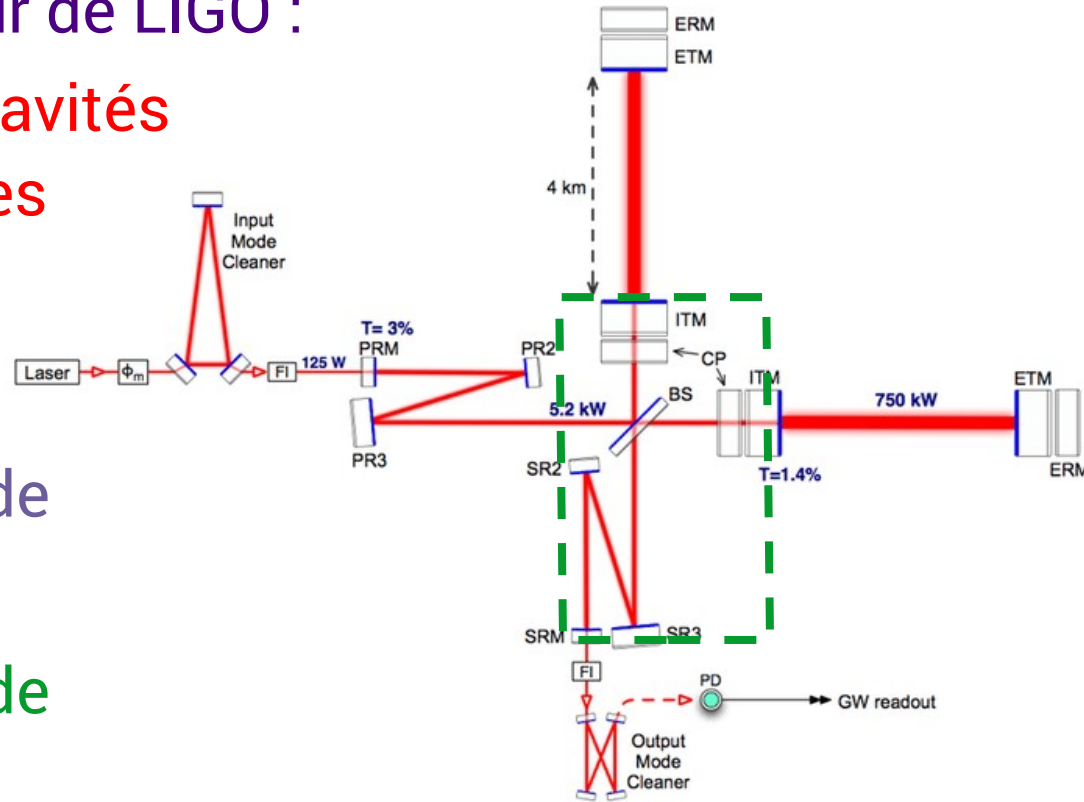


Exemple du détecteur de LIGO :

Bras du détecteur : cavités
optiques résonnantes

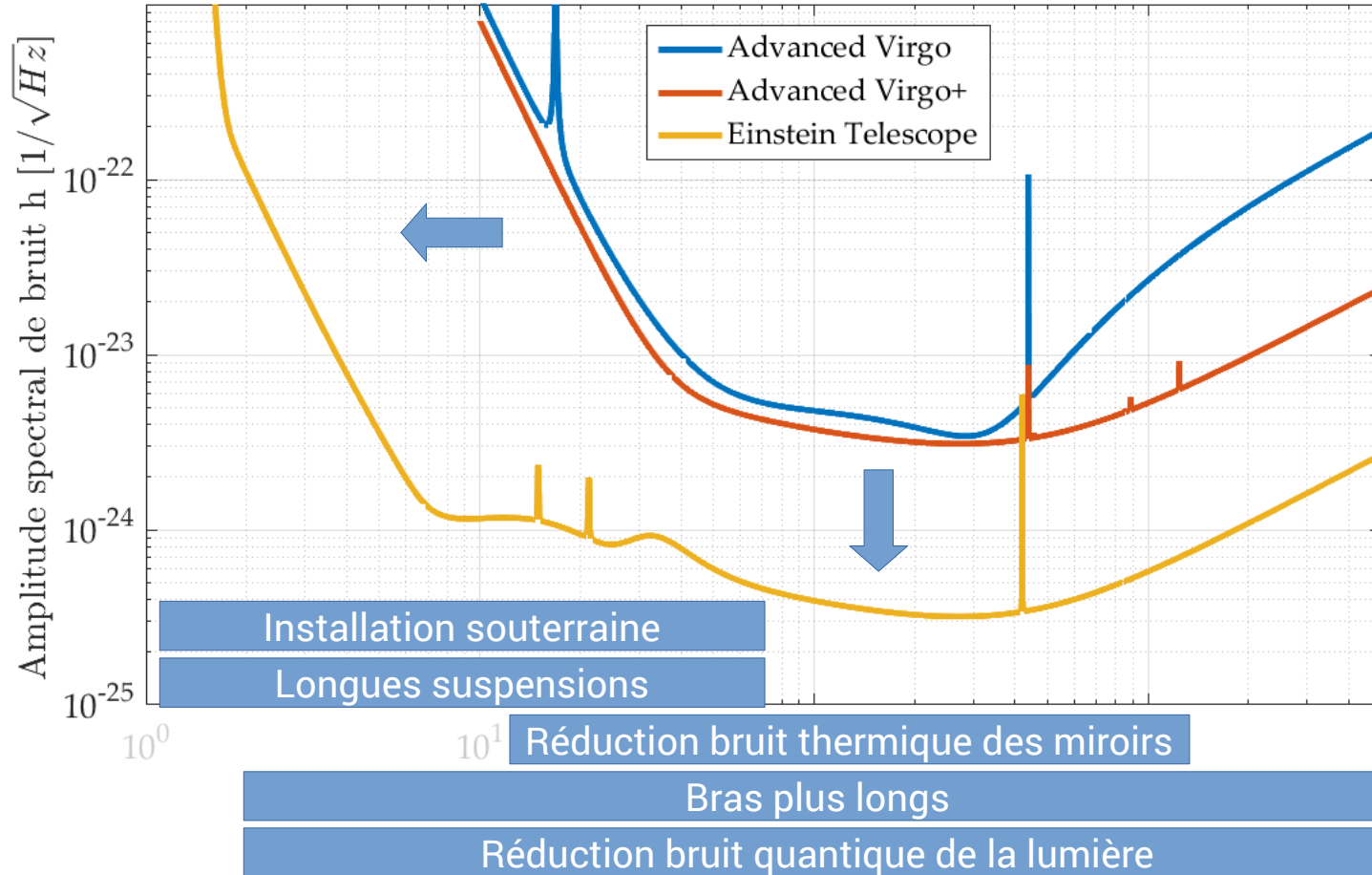
Cavité de recyclage de
puissance

Cavité de recyclage de
signal

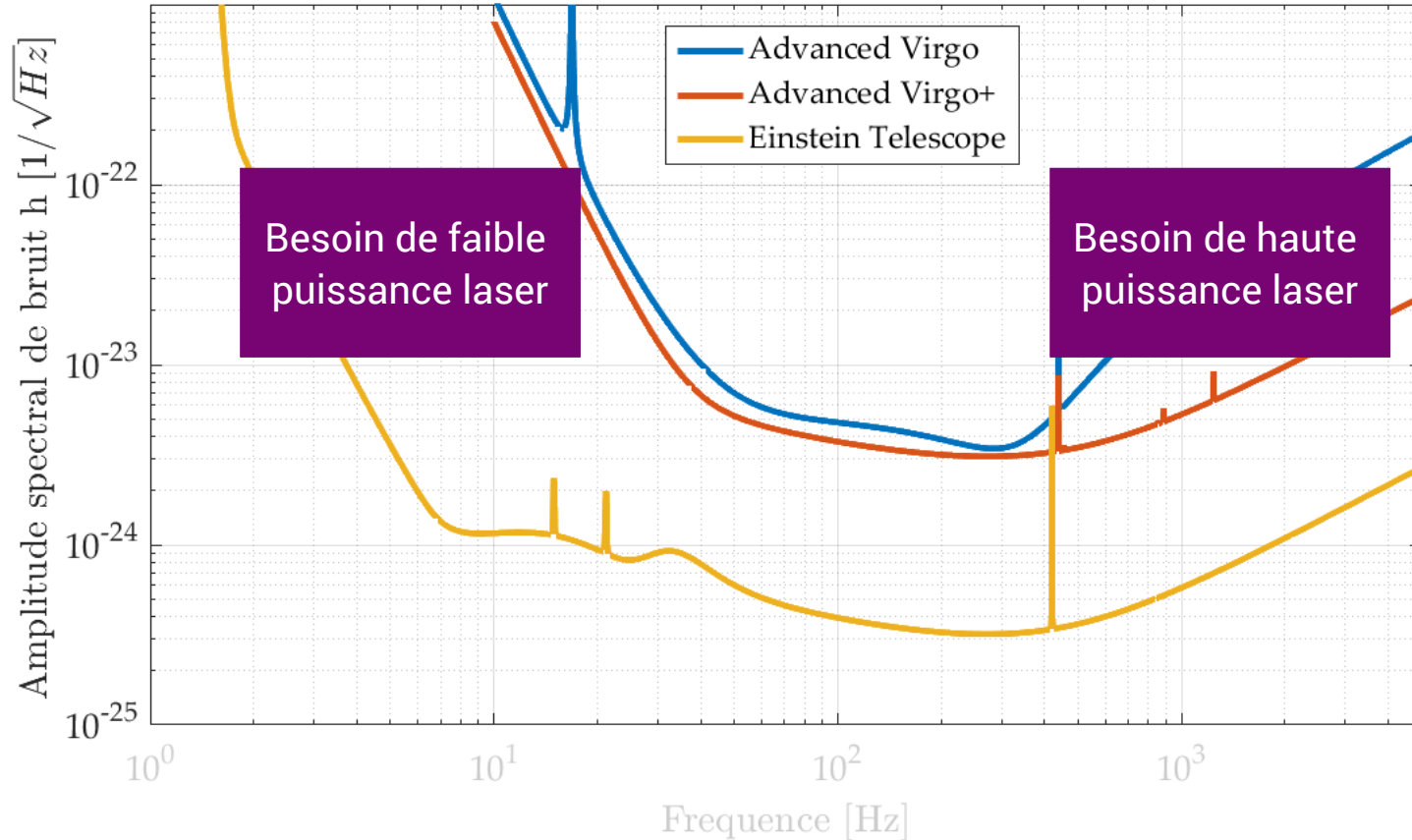


[illegible]

But de ET : 10 fois plus sensible que la LIGO / Virgo



But de ET : 10 fois plus sensible que la LIGO / Virgo



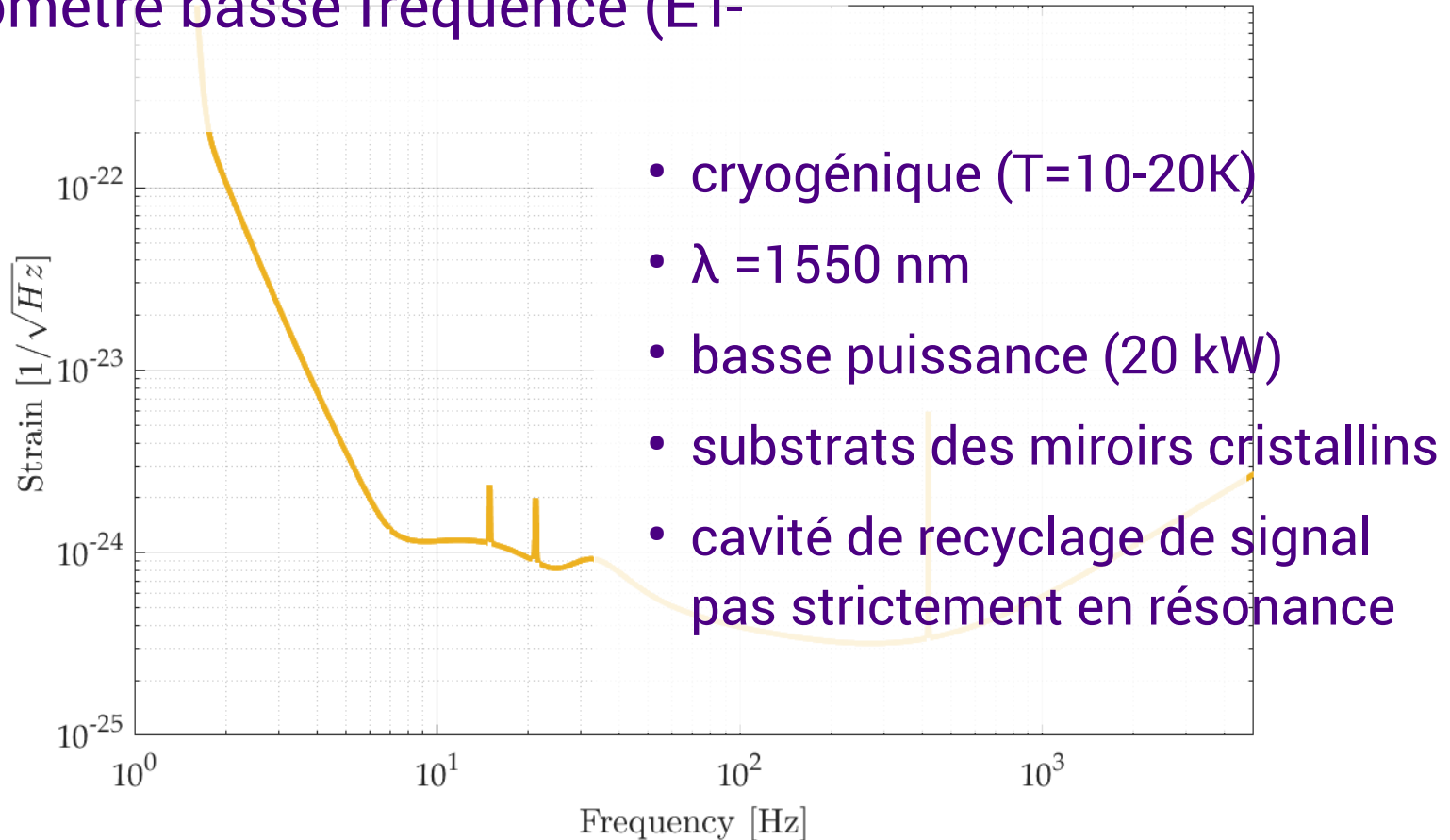
Réduction bruit quantique de la lumière

[illegible]

Le xylophone (à partir de 2012)



L'interféromètre basse fréquence (ET-LF)

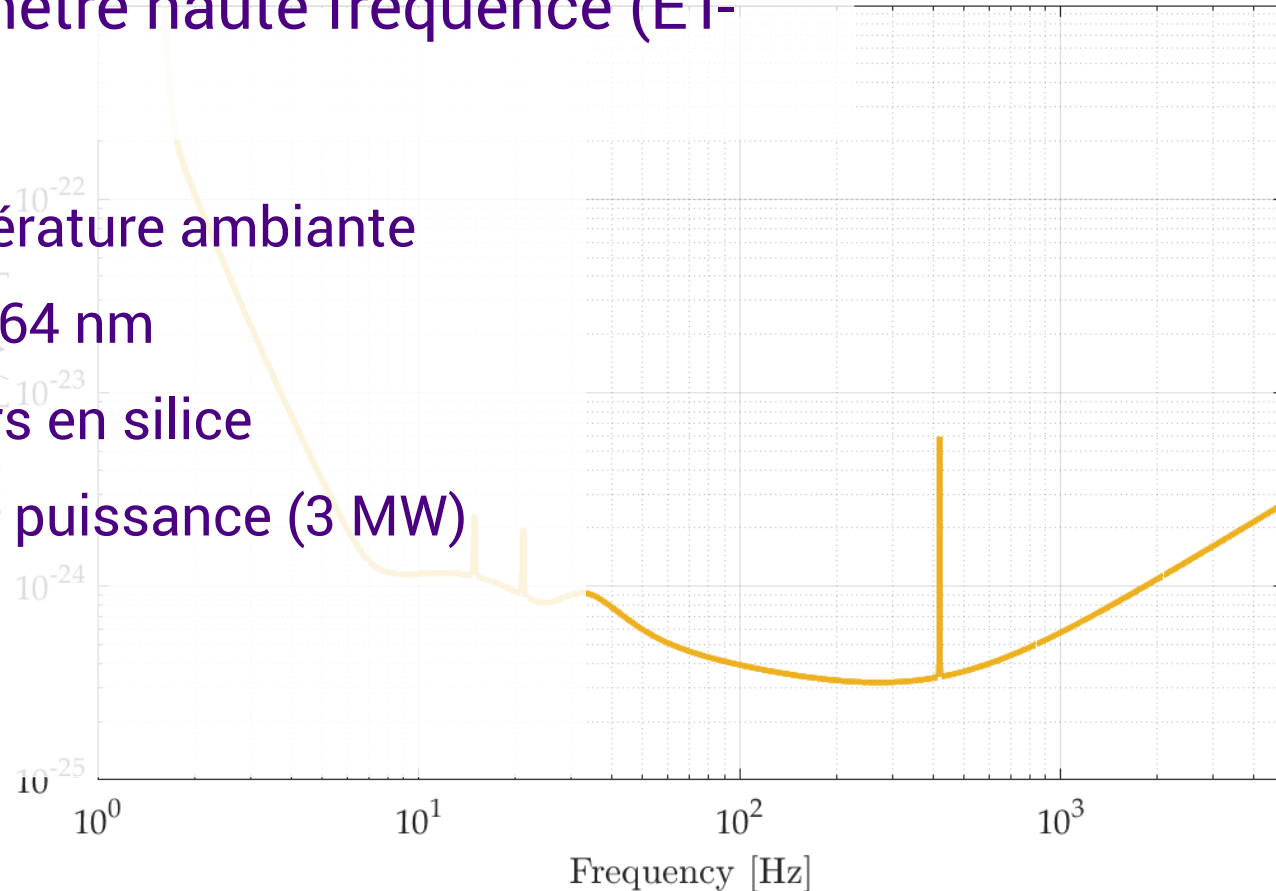


Le xylophone (à partir de 2012)



L'interféromètre haute fréquence (ET-HF)

- température ambiante
- $\lambda = 1064 \text{ nm}$
- miroirs en silice
- haute puissance (3 MW)



L Δ < ∇ ⌊ ▽ ⋈ △ ^ ◁ ▷ ▿ ▸ ▹ ▻ ▾ ▴ Δ



Chiffres clés

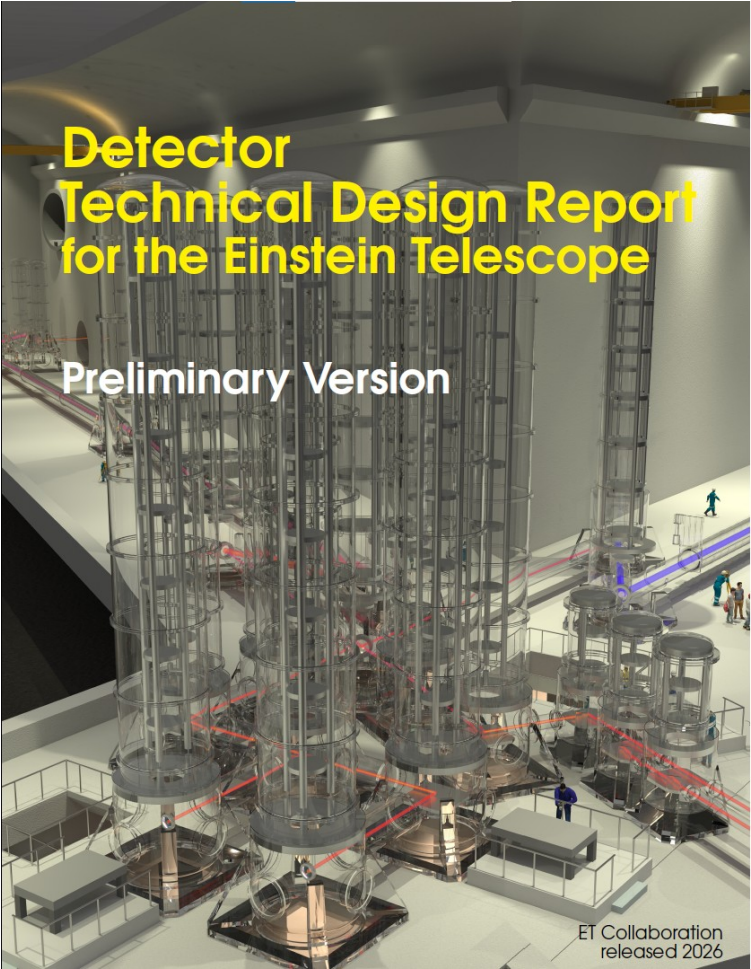
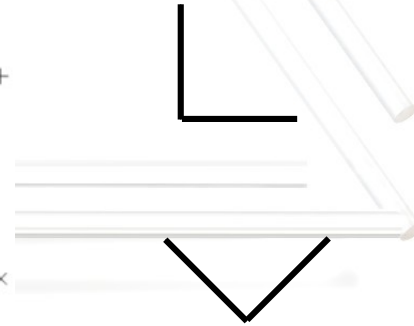


Table 3.1: Main interferometer parameters for the 10 km triangular configuration.

Parameter	ET-LF	ET-HF
Arm length [km]	10.07	10.00
Laser wavelength [nm]	1550	1064
Input laser power [W]	1.7	500
Circulating power per arm [kW]	18	3000
Arm cavity finesse	892	888
Arm cavity round trip loss [ppm]	45	80
ITM transmission [%]	0.7	0.7
ETM transmission [ppm]	5	5
Beam radius on TM, w [cm]	9.0	12.0
Mirror substrate (temperature)	Si (10–20 K)	Fused silica (300 K)
Mirror mass	211	200
PRC length [m]	165	226
PRM transmissivity [%]	2.6	4.5
SEC length [m]	165	141
SEM transmissivity [%]	20	5



[illegible]

[illegible]

--- 1064 nm beam
 — 1550 nm beam
 [grey rectangle] fused silica optics
 [pink rectangle] silicon optics

10 km



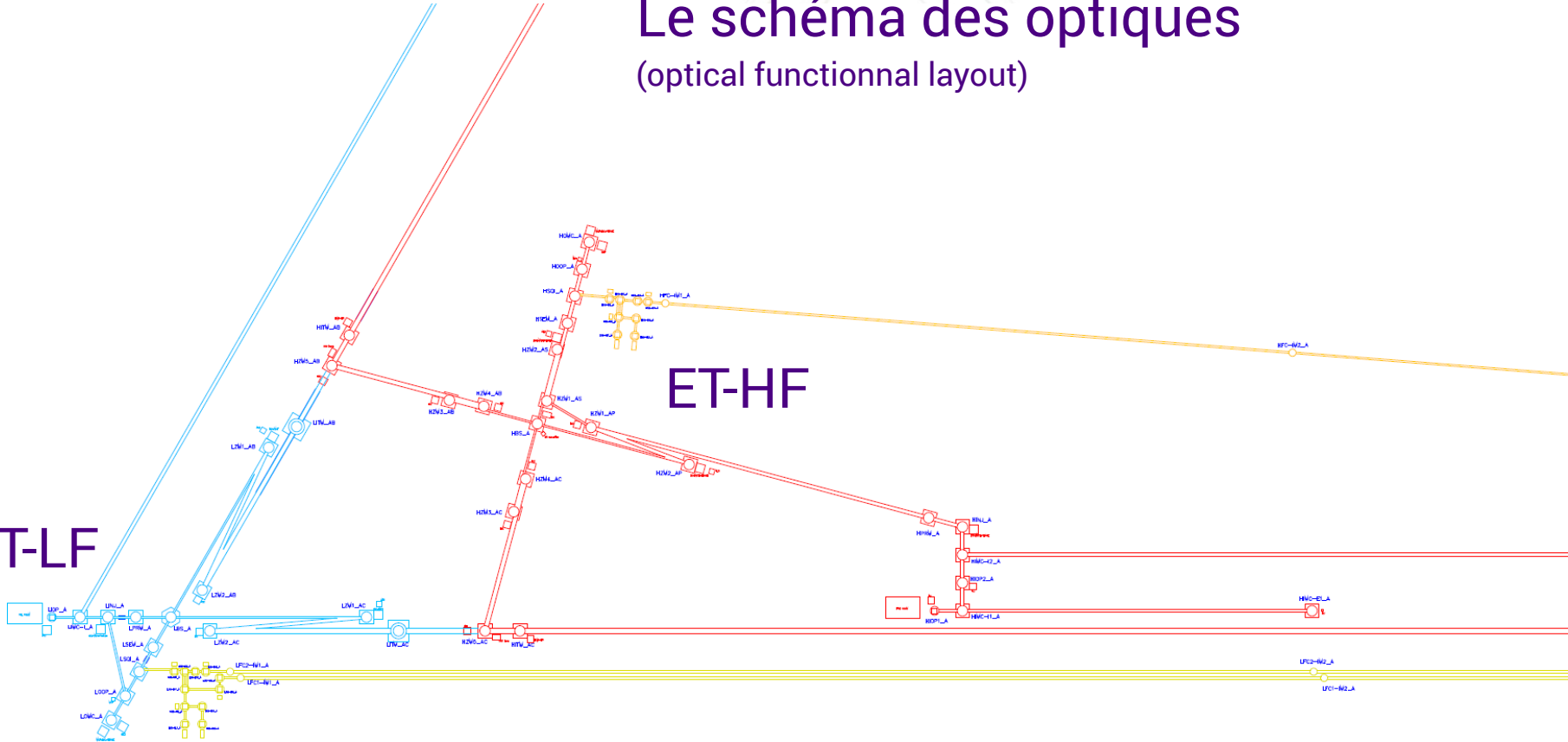
L Δ L Δ < ∇ < ∇ Γ ∇ Γ Δ ^ Δ ^ Δ 7 ∇ 7 ∇ 7 ∇ > Δ > Δ J Δ J Δ V ∇ V ∇ L Δ L Δ

Angle de 45° entre les 2 détecteurs



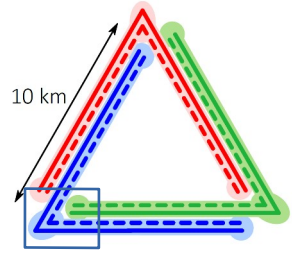
L Δ < ∇ ⌋ ▽ ↗ △ ^ ◊ ↘ ▾ ⊃ Δ] Δ J ∇ ✓ ▽ V ▷ L Δ

ET-HF

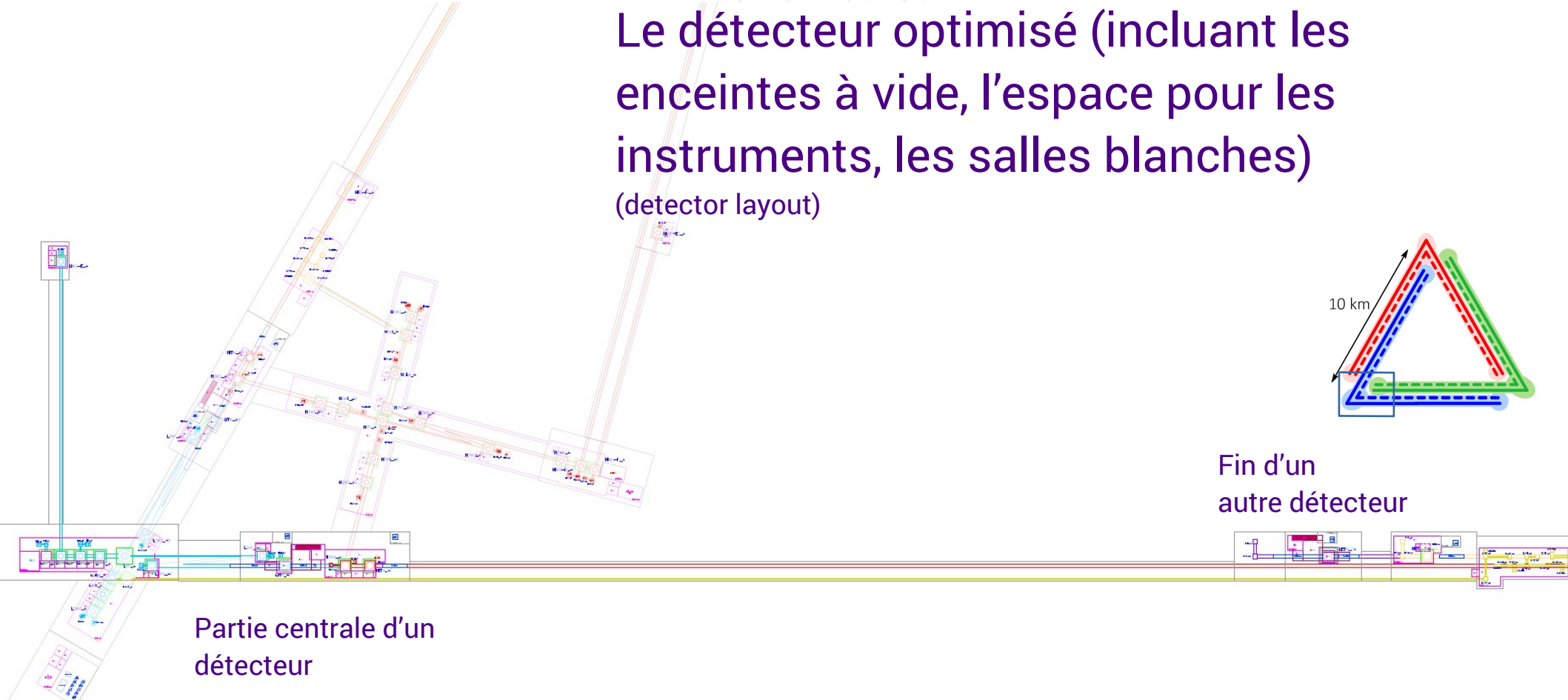


[illegible]

Le détecteur optimisé (incluant les enceintes à vide, l'espace pour les instruments, les salles blanches)



Fin d'un autre détecteur

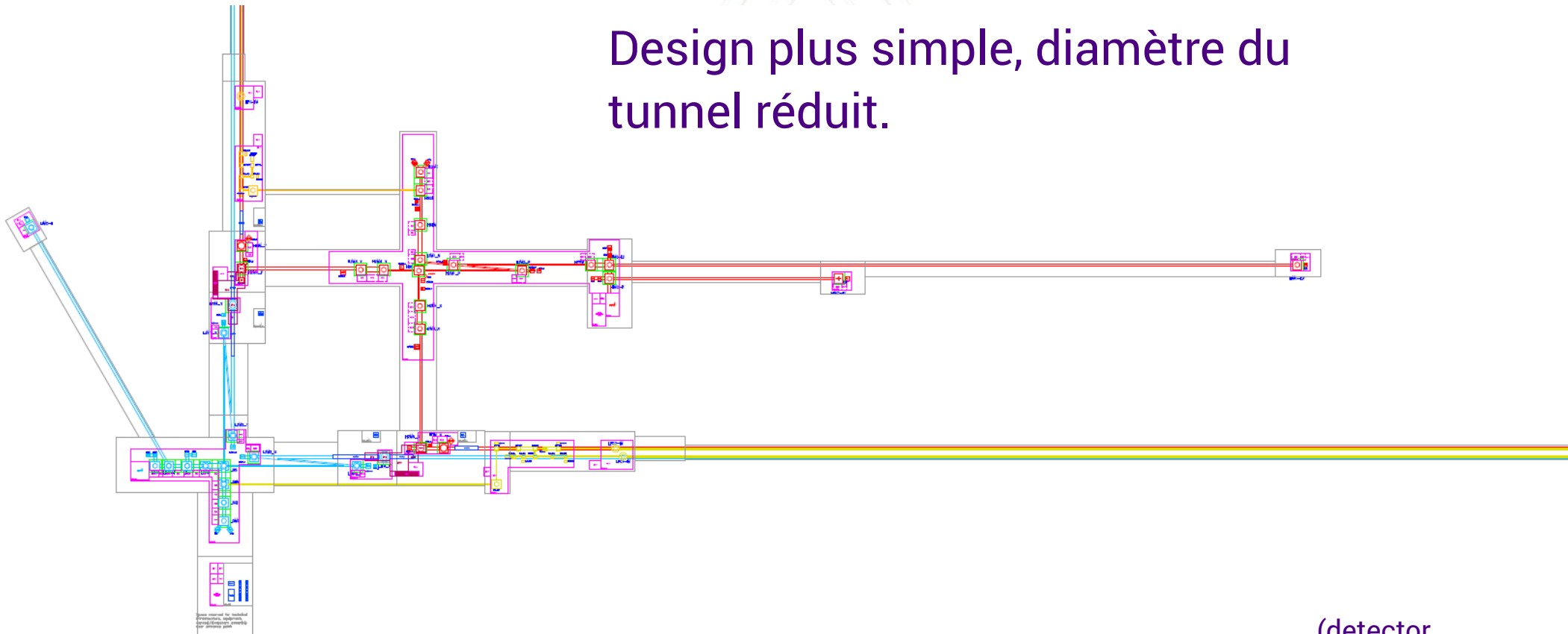


Partie centrale d'un détecteur

[illegible]

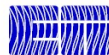
L Δ L < ∇ Γ ∇ Δ ^ Δ ^ Δ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇ ∇

Design plus simple, diamètre du tunnel réduit.



(detector layout)

2 documents clés pour expliquer le design



EINSTEIN
TELESCOPE

The ET Baseline Detector Layout

ETO Design Task Force:

Fiodor Sorrentino, Jonathan Bratanata, Daniel Brown, Tamara Bud, Henk Jan Bulten, Julia Casanueva, Antonino Chiummo, Giacomo Ciani, Angelo Cruciani, Jerome Degallaix, Ulyana Dupletsa, Andreas Freise, Marco Galimberti, Julien Gargiulo, Archisman Ghosh, Anna Green, Steffen Grohmann, Nathan Holland, Francesco Iacovelli, Joseph Ickmans, Mikhail Korobko, Patricia Lamas, Elena Licciardello, Leonardo Lucchesi, Ghada Mahmoud, Max Majoor, Ettore Majorana, Maria Marsella, Paolo Martella, Romano Meijer, Conor Mow-Lowry, Tommaso Napolitano, John Osborne, Antonio Pasqualetti, Antonio Perreca, Piero Rapagnani, Fulvio Ricci, Paolo Ruggi, Riccardo de Salvo, Valeria Sequino, Francesca Spada, Sebastian Steinlechner, Benoît Tuybens, Marco Vardaro, Wissam Wahlbeh, Patrick Werneke

External contributors:

Alessandro Agapito, Biswajit Banerjee, Nicolò Cibrario, Andrea Cozzumbo, Francesco Crescimbeni, Martina De Laurentis, Angélique Lartaux, Sumin Lee, Matteo Leonardi, Alessio Ludovico De Santis, Michele Mancarella, Benedetta Mestichelli, Niccolò Muttoni, Lavinia Paiella, Fabian Pena Arellano, Simona Procacci, Paola Puppo, Alessio Rocchi, Ippocratis Saltas, Filippo Santoliquido, Manuel Arca Sedda, Pawan Tiwari, Cristiano Ugolini, Aymeric Van De Walle, Michal Was, Li Yufeng, Jean-Pierre Zendi

Date: June 27, 2025

ET - Einstein gravitational wave Telescope - Design Study * A joint European Project
Web: <http://www.einsteintelelescope.eu>

80 pages



EINSTEIN
TELESCOPE

Supporting Document for The ET Baseline Detector Layout

ETO Design Task Force:

Fiodor Sorrentino, Jonathan Bratanata, Daniel Brown, Tamara Bud, Henk Jan Bulten, Julia Casanueva, Antonino Chiummo, Giacomo Ciani, Angelo Cruciani, Jerome Degallaix, Ulyana Dupletsa, Andreas Freise, Marco Galimberti, Julien Gargiulo, Archisman Ghosh, Anna Green, Steffen Grohmann, Nathan Holland, Francesco Iacovelli, Joseph Ickmans, Mikhail Korobko, Patricia Lamas, Elena Licciardello, Leonardo Lucchesi, Ghada Mahmoud, Max Majoor, Ettore Majorana, Maria Marsella, Paolo Martella, Romano Meijer, Conor Mow-Lowry, Tommaso Napolitano, John Osborne, Antonio Pasqualetti, Antonio Perreca, Piero Rapagnani, Fulvio Ricci, Paolo Ruggi, Riccardo de Salvo, Valeria Sequino, Francesca Spada, Sebastian Steinlechner, Benoît Tuybens, Marco Vardaro, Wissam Wahlbeh, Patrick Werneke

External contributors:

Alessandro Agapito, Biswajit Banerjee, Nicolò Cibrario, Andrea Cozzumbo, Francesco Crescimbeni, Martina De Laurentis, Angélique Lartaux, Sumin Lee, Matteo Leonardi, Alessio Ludovico De Santis, Michele Mancarella, Benedetta Mestichelli, Niccolò Muttoni, Lavinia Paiella, Fabian Pena Arellano, Simona Procacci, Paola Puppo, Alessio Rocchi, Ippocratis Saltas, Filippo Santoliquido, Manuel Arca Sedda, Pawan Tiwari, Cristiano Ugolini, Aymeric Van De Walle, Michal Was, Li Yufeng, Jean-Pierre Zendi

Issue: 1

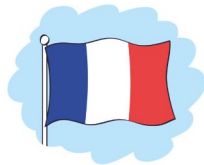
Date: June 27, 2025

ET - Einstein gravitational wave Telescope - Design Study * A joint European Project
Web: <http://www.einsteintelelescope.eu>

200 pages

II

Les composants du détecteur

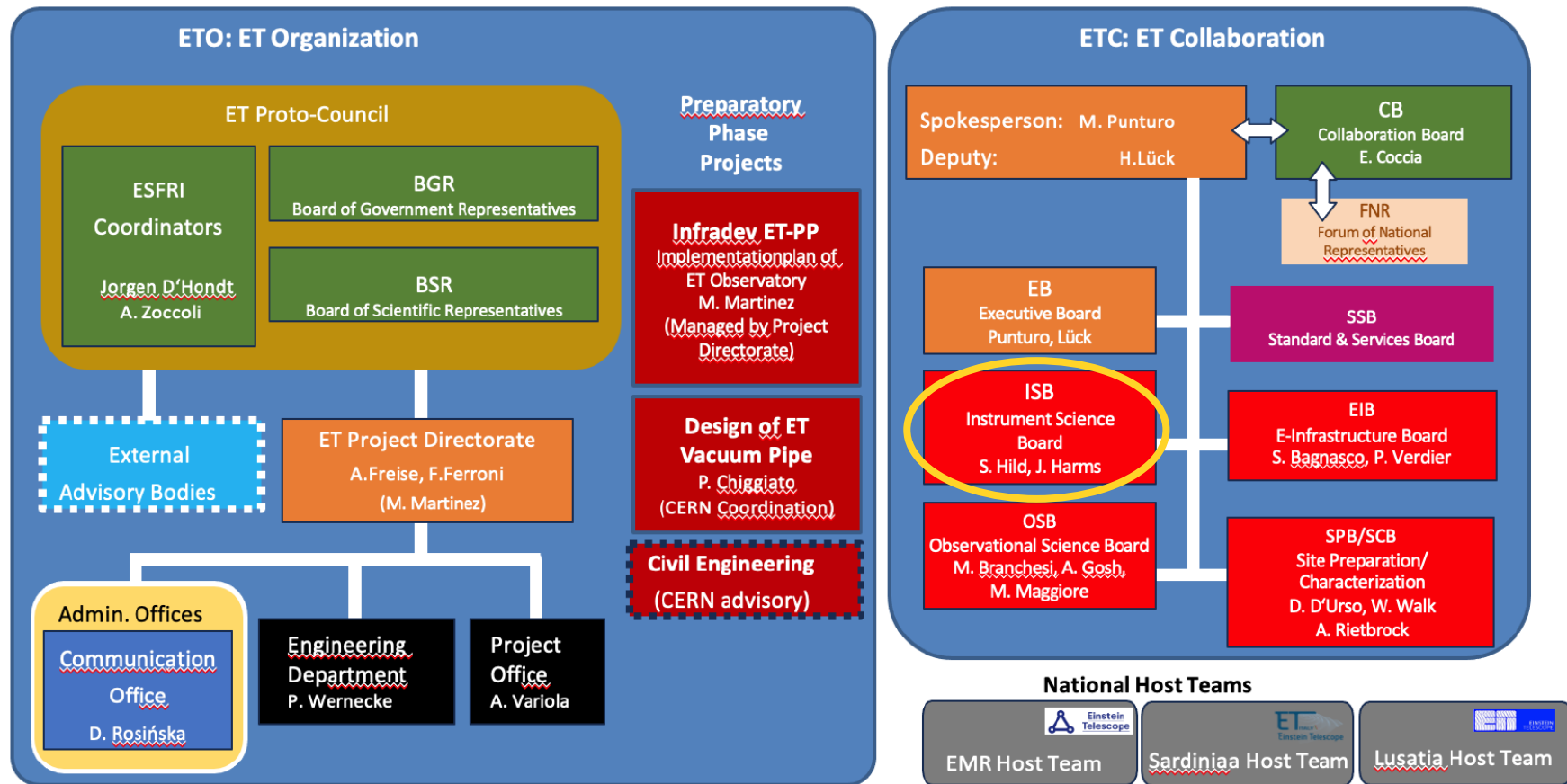


= expertise française notable



= expertise grâce à Virgo

Présentation de l'ISB – partie collaboration



Présentation de l'ISB



- L'ISB se compose de 5 divisions
- Et chaque division a entre 5 et 7 work package

Suspension Division Home	Giles Hammond	Franco Frasconi
	Joris van Heijningen	
WP I.1 Suspension chain	Leonardo Lucchesi	
WP I.2 Cold Payload Design	Paola Puppo	
WP I.3 Warm Payload Design	Eugenio Benedetti	Mark Barton
WP I.4 Test-Mass Suspension	Giles Hammond	Flavio Travasso
WP I.5 Seismic Isolation Platform	Christophe Collette	Alberto Gennai
WP I.6 Auxiliary Optics Suspensions	Francesca Spada	
Optics Division	Giacomo Ciani	Jessica Steinlechner
WP II.1 Core Optics LF	Iryna Buchovska	Iain Martin
WP II.2 Core Optics HF	Alex Amato	Benoit Sassolas
WP II.3 Lasers	Benno Willke	Margherita Turconi
WP II.4 Input and Output Optics	Daniela Pascucci	Antonino Chiummo
WP II.5 Squeezed Light	Eleonora Capocasa	Angélique Lartaux
WP II.6 Wavefront Sensing and Control	Alessio Rocchi	Martin van Beuzekom
WP II.7 Scattered Light	Livia Conti	Suzanne Meló

Interferometer Division Presentation	Jérôme Degallaix	Stefan Danilishin
WP III.1 Observatory Design and Noise Budget	Teng Zhang	Mikhail Korobko
WP III.2 Optical Layout Sensing and Control Scheme LF	Diego Bersanetti	Daniel Brown
WP III.3 Optical Layout Sensing and Control Scheme HF	Anna Green	Antonio Perreca
WP III.4 Data Acquisition and Real-Time Control	Bas Swinkels	Mateusz Bawaj
WP III.5 Calibration	Thierry Pradier	
WP III.6 Noise Characterization	Lucia Trozzo	
WP III.7 Modelling and Design Tools	Oliver Gerberding	Sebastian Steinlechner
Vacuum & Cryogenics Division	Fulvio Ricci	Steffen Grohmann
WP IV.1 Tower Vacuum	Antonio Pasqualetti	
WP IV.2 Pipe Arm Vacuum	Aniello Grado	Nick van Remortel
WP IV.3 Cryostats and Cryopumps	Stefan Hanke	Roberto Cimino
WP IV.4 Cryogenic Infrastructure	Steffen Grohmann	
WP IV.5 Detector Cooling	Piero Rapagnani	Steffen Grohmann

Présentation de l'ISB

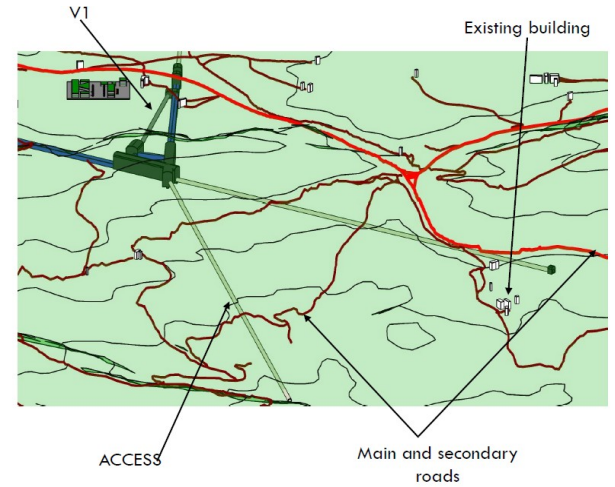
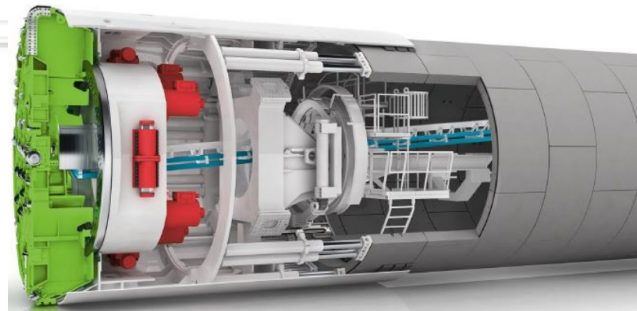


Active Noise Mitigation Division	Luca Naticchioni	Conor Mow-Lowry
WP V.1 Newtonian Noise	Maria Tringali	Soumen Koley
WP V.2 Environmental Sensors	Rosario De Rosa	Mariusz Suchenek
WP V.3 Magnetic Noise	Barbara Garaventa	Irene Fiori
WP V.4 Inter-Platform Motion	Tomislav Andric	Sina Köhlenbeck
WP V.5 LF Control Noise	Michele Valentini	Artem Basalae

Drill, baby drill ! (hors de l'ISB)



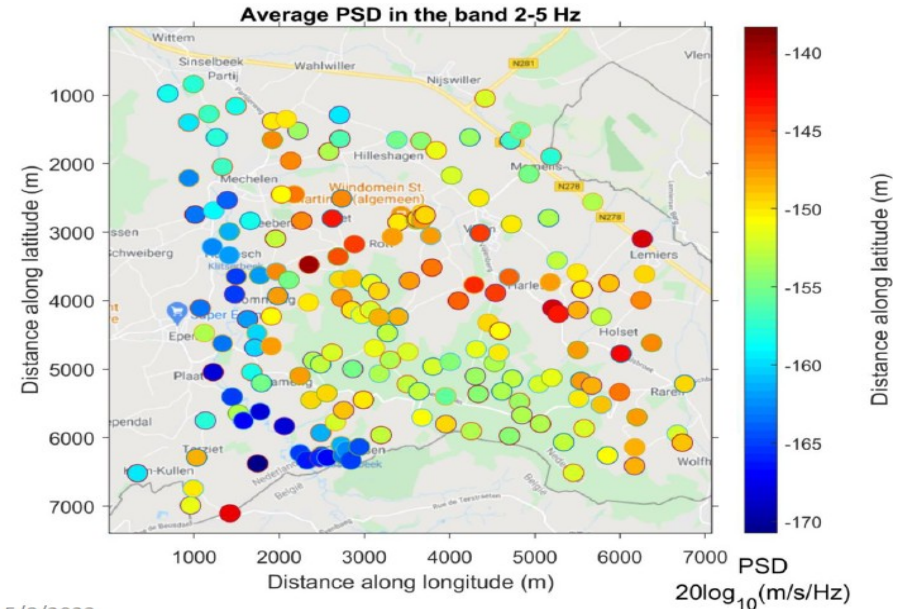
- stratégie pour la construction des tunnels et cavernes
- intégration dans l'environnement local en surface



Caractérisation environnementale



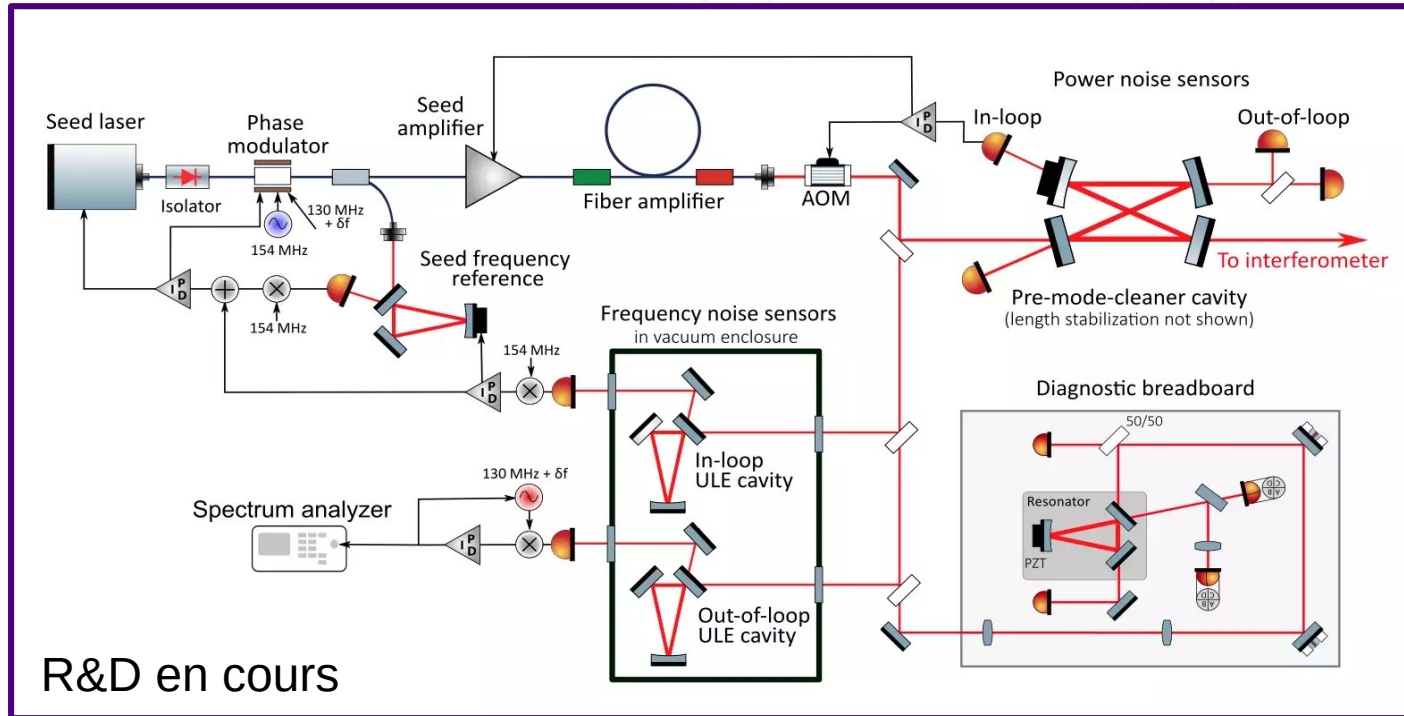
- Recherche locale en Sardaigne, Pays-Bas et Allemagne
- mesure du bruit sismique / acoustique / magnétique sur et sous- terre + modèle de propagation



Le laser



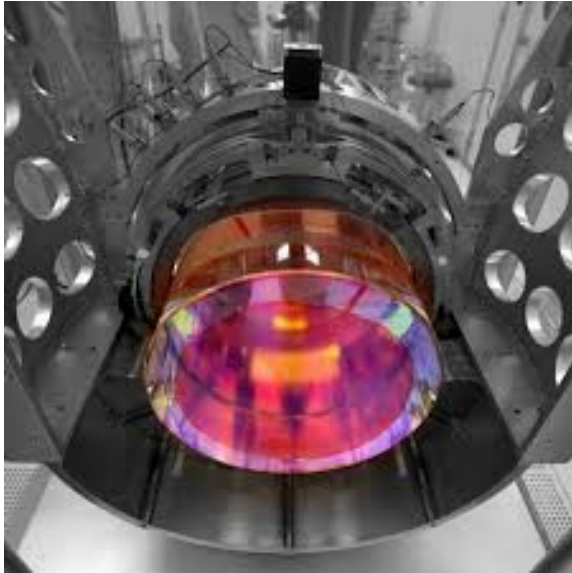
- laser de puissance (1064 nm) ~700W
- stabilisé en amplitude, fréquence, pointage
- plusieurs cavités amplificatrices, fibrées ou non



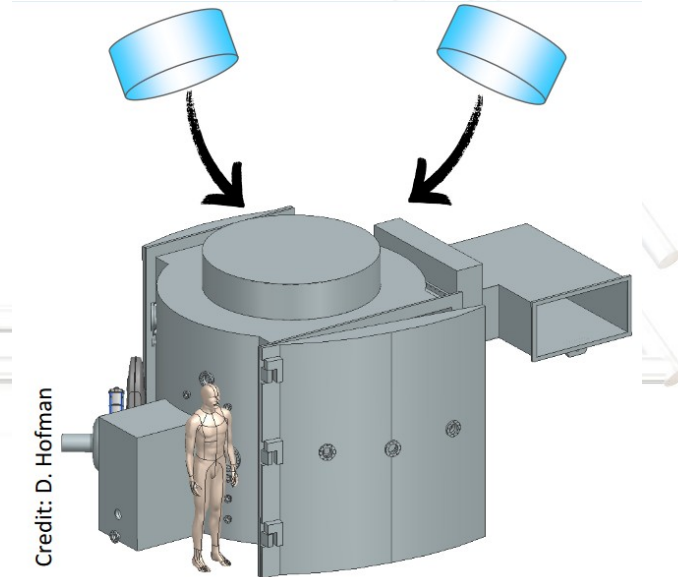
Les optiques



- Besoin de grands miroirs, polis au nanomètre
- Traitement avec réflexion de 99.999 %
- La taille pour ET sera un challenge

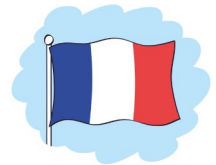


Miroir de Virgo



Credit: D. Hofman

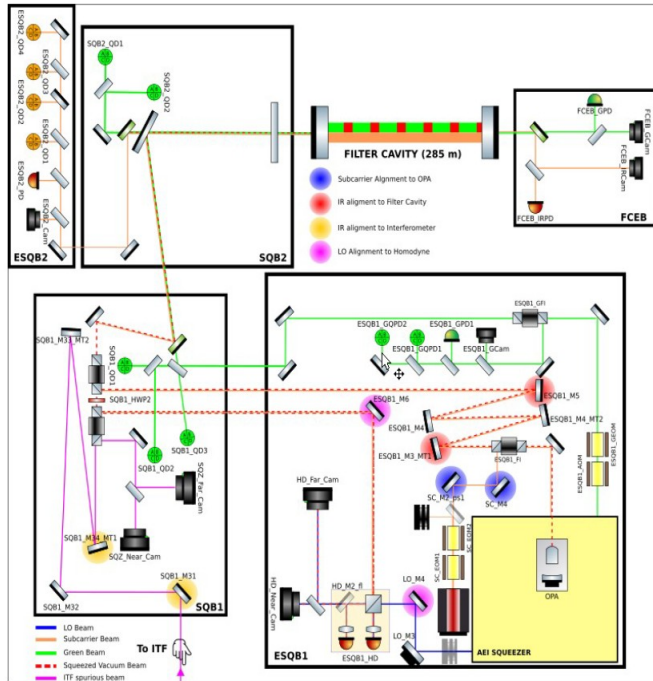
Future grand coater au LMA



Les états comprimés du vide



- pour augmenter la sensibilité, réduire les incertitudes liées à la nature quantique du vide

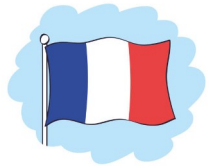


Unresolved aspects* of simulating
quantum squeezed noise

*really just a cry for help

Mikhail Korobko

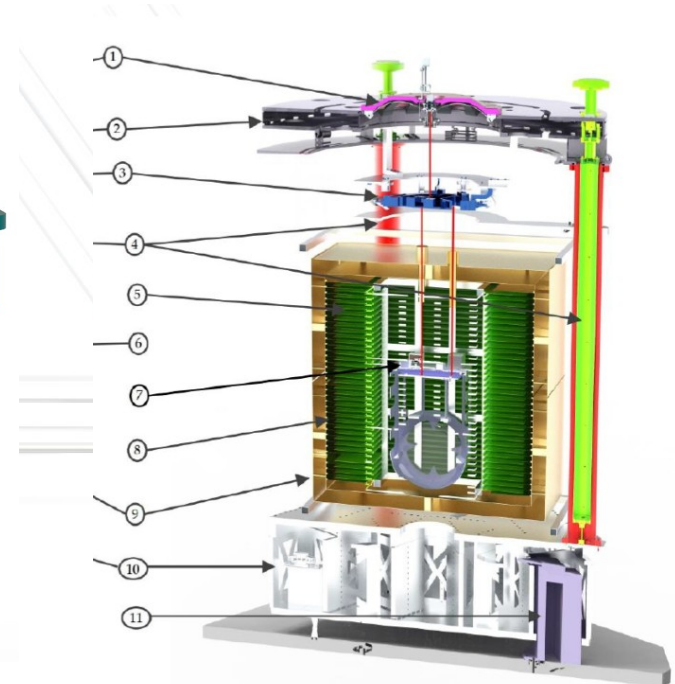
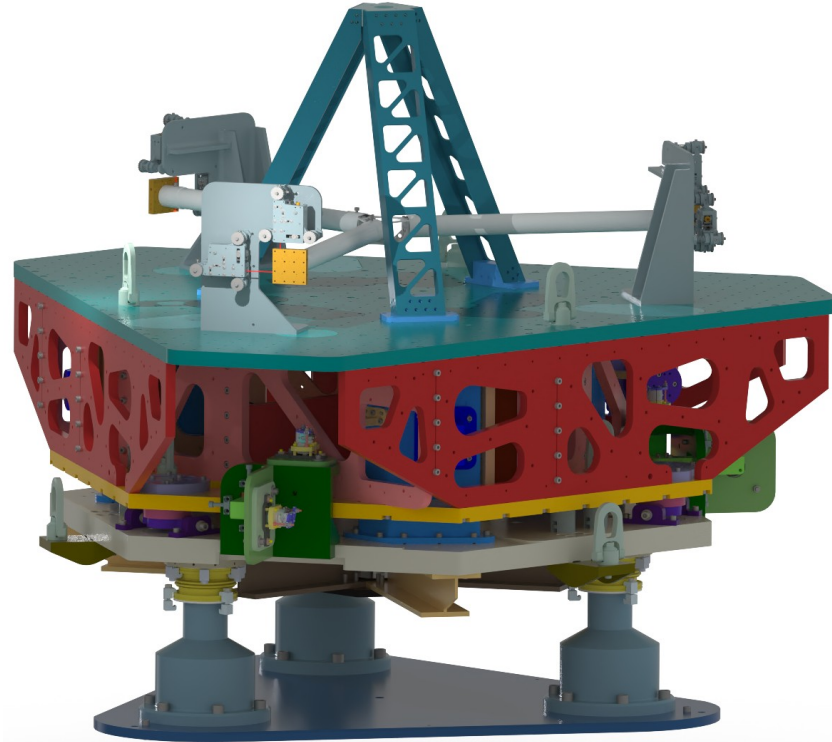
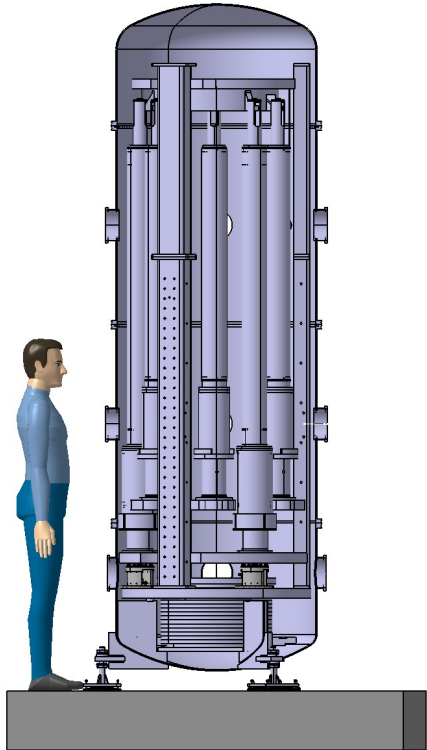
XIII ET Symposium May 2023



Les suspensions



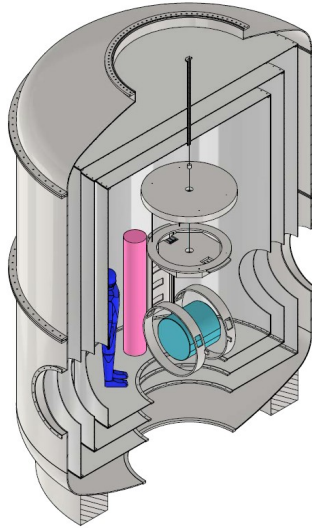
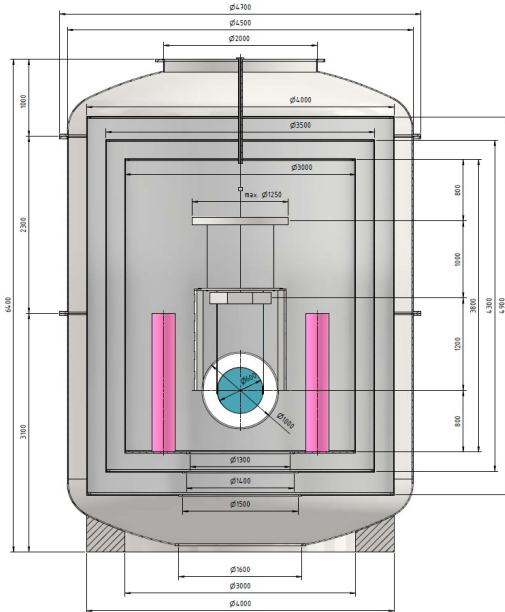
- Isoler les miroirs / bancs de mesure du du bruit sismique



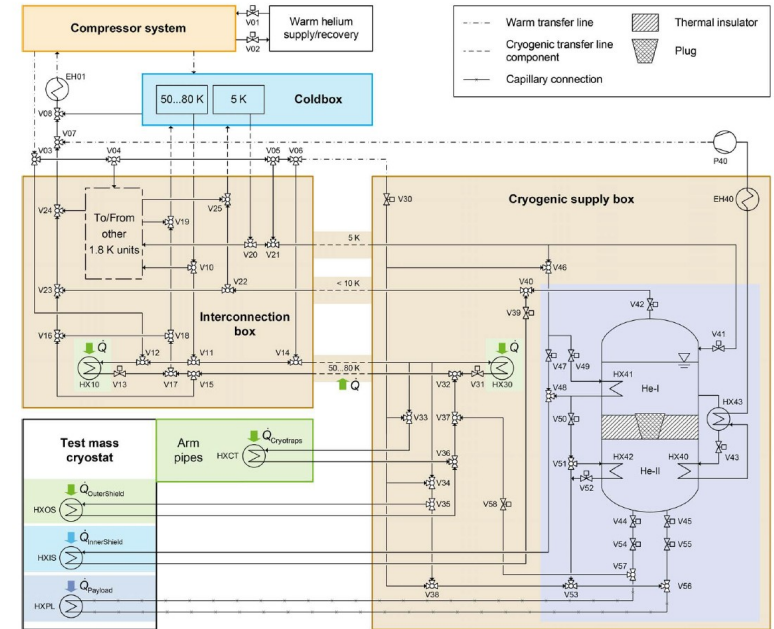
Les cryostats



- comment refroidir le miroir (~ 10 K) sans ajouter de bruit ?
- collaboration avec KAGRA qui opère déjà à 20 K



Idée de cryostat

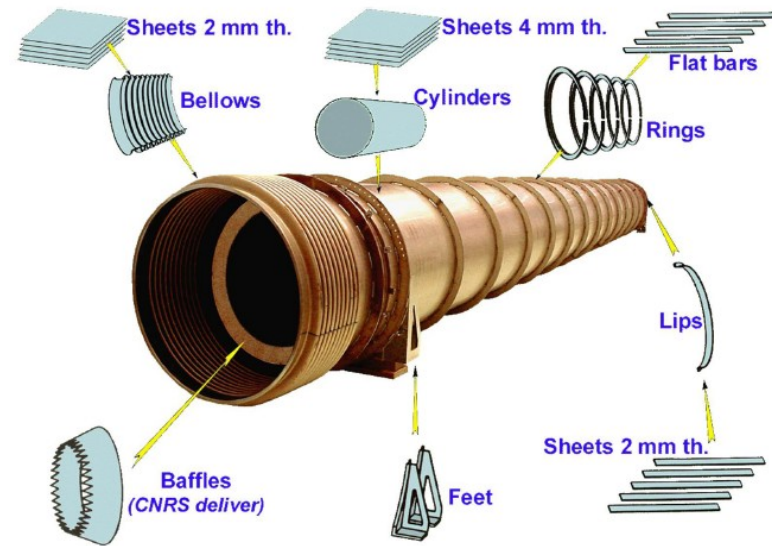


Opération de l'hélium liquide

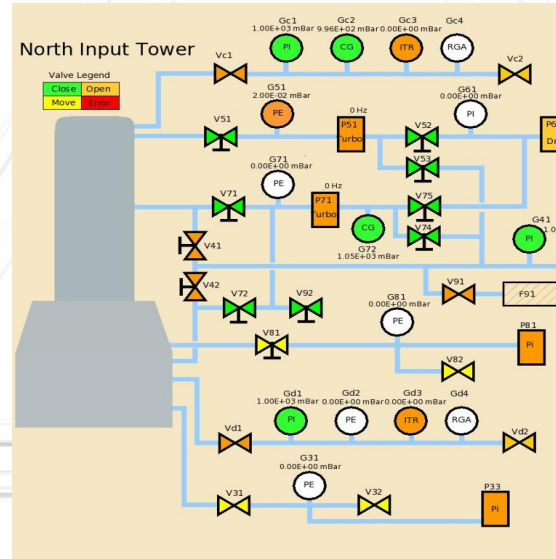
Le vide



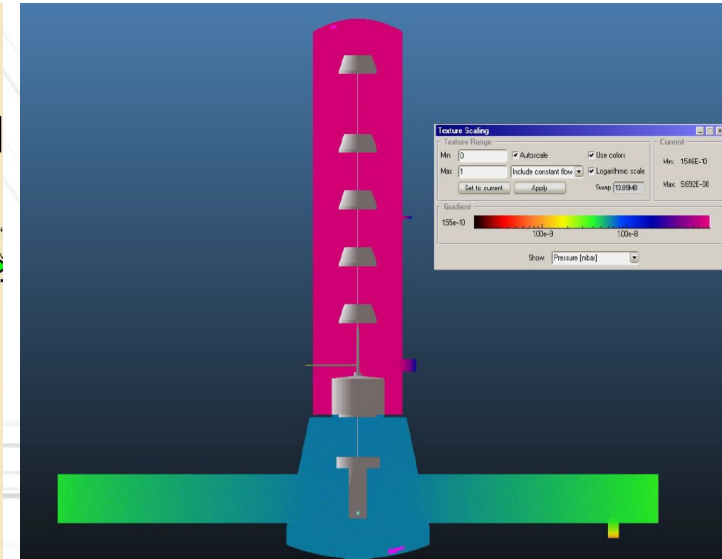
- 120 km de tube UHV, pression de 10^{-10} mbar



Design du tube à vide

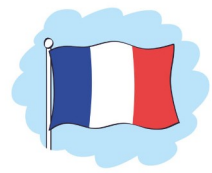


Stratégie de pompage
+ contrôle

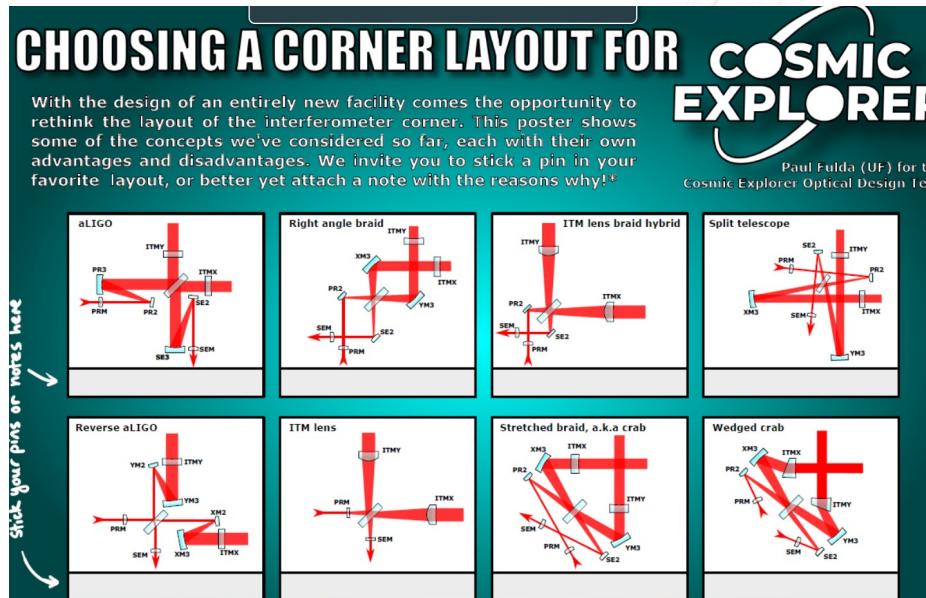


Simulation du gradient
de pression

Simulations optiques et thermiques

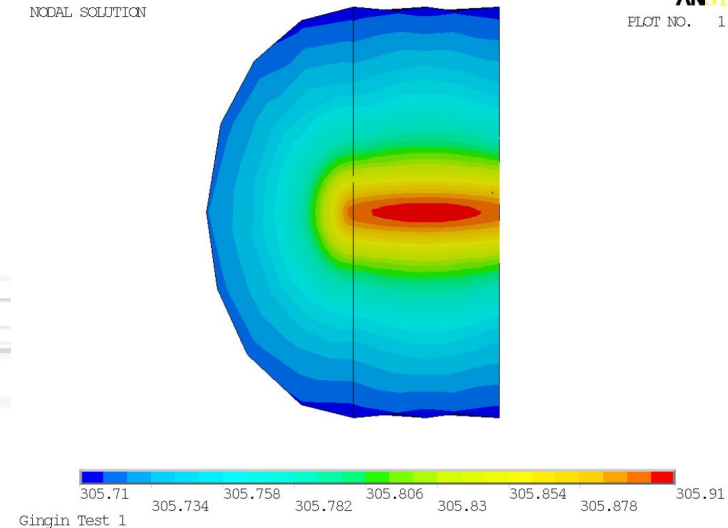


- Développement de simulations optiques et exploitation
- Réduire les effets liés à l'absorption optique



NODAL SOLUTION

ANSYS
PLOT NO. 1

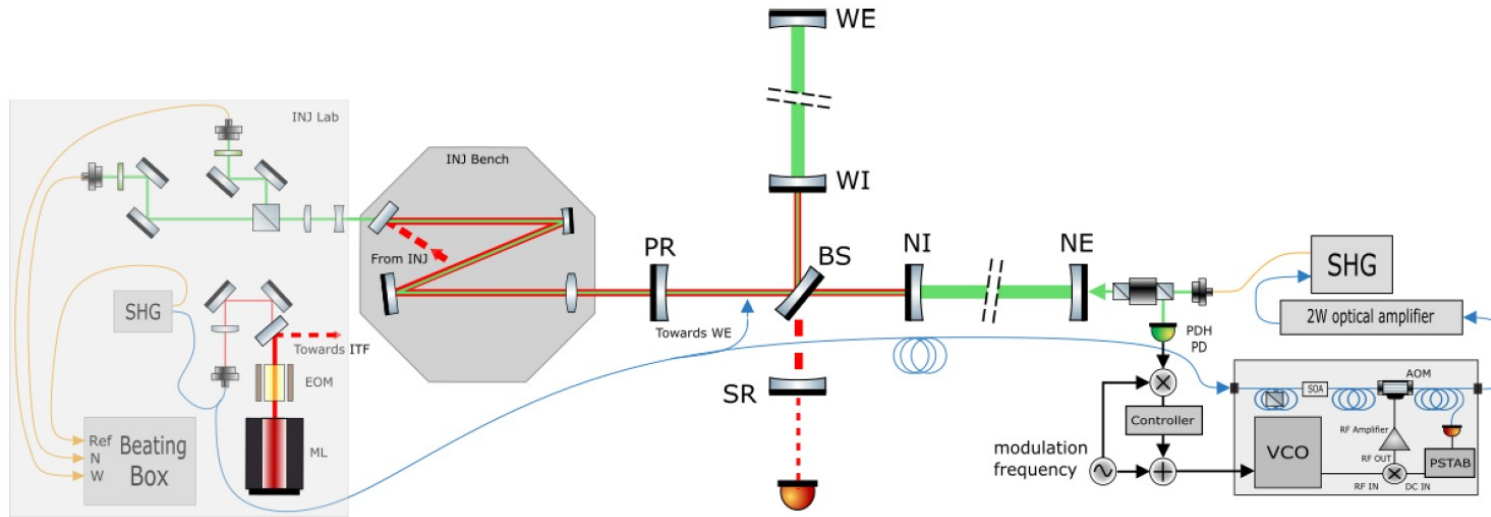


Profil de température d'un miroir

Contrôle des cavités



- Travail de simulations pour trouver les signaux d'erreur (!! SRC ET-LF)
- Acquisition des cavités avec l'aide de lasers dédiés à 532 nm pour ET-HF :



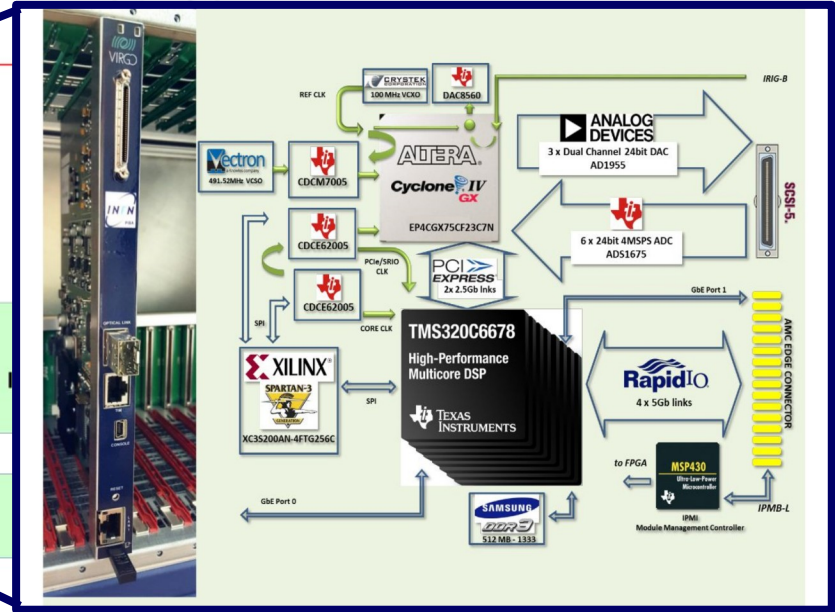
Le système de laser vert pour verrouiller les bras

[illegible]

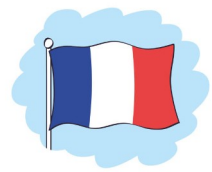
-

[illegible]

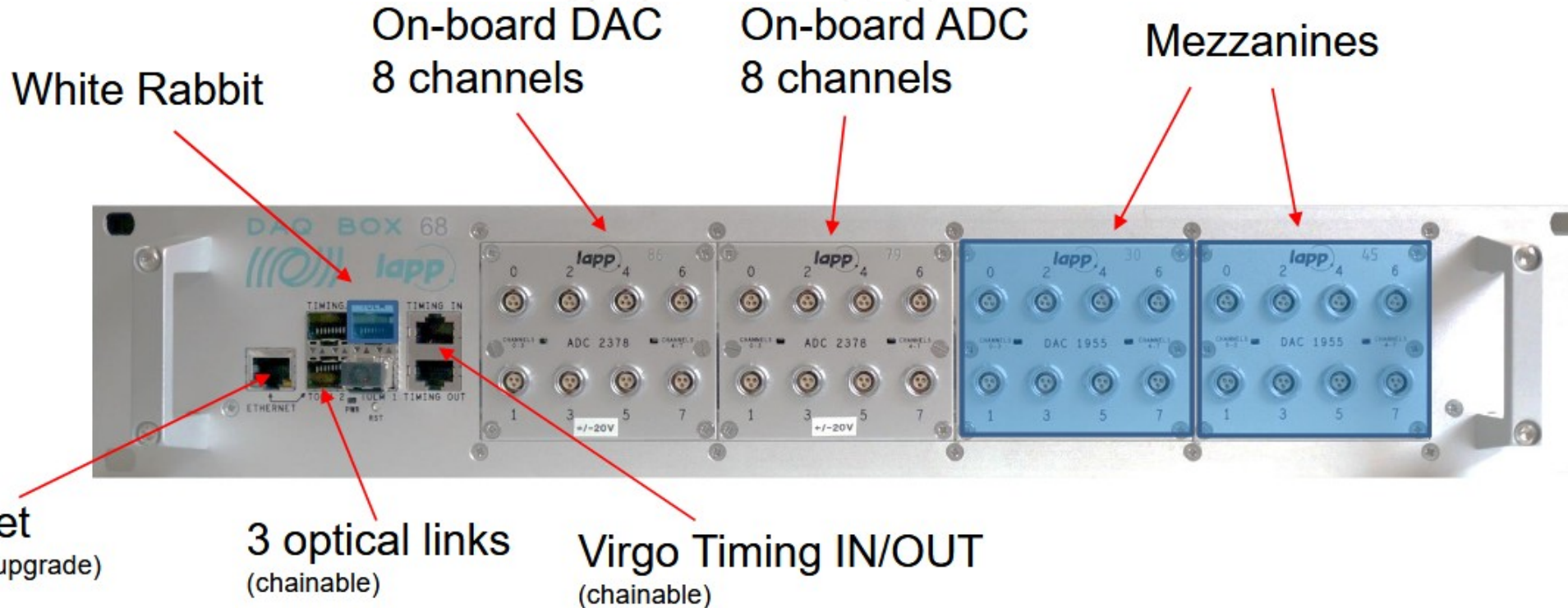
-
- Figure 1: Block diagram of the TANGO architecture. The diagram is divided into three main functional blocks: SUSPENSION, REAL-TIME CONTROLS, and SUPERVISORY CONTROL. The SUSPENSION block includes F0-F7 and Mar. Mir. The REAL-TIME CONTROLS block includes UDSPT (FO Coil Driver, FO LVDT, FO Accelerometers), RapidIO (20 Gbps), MCH, and PDU. The SUPERVISORY CONTROL block includes Tango Devices connected via Ethernet to the UDSPT and MCH, and a central Tango BUS. A red line indicates 'Real-time control (optical fiber)' from the SUSPENSION block to the REAL-TIME CONTROLS block. A blue line indicates 'Slow control' from the SUPERVISORY CONTROL block to the REAL-TIME CONTROLS block. The bottom of the diagram is labeled 'x10 suspensions'.



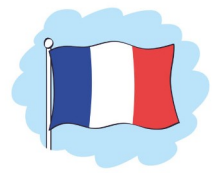
Timing et DAQ



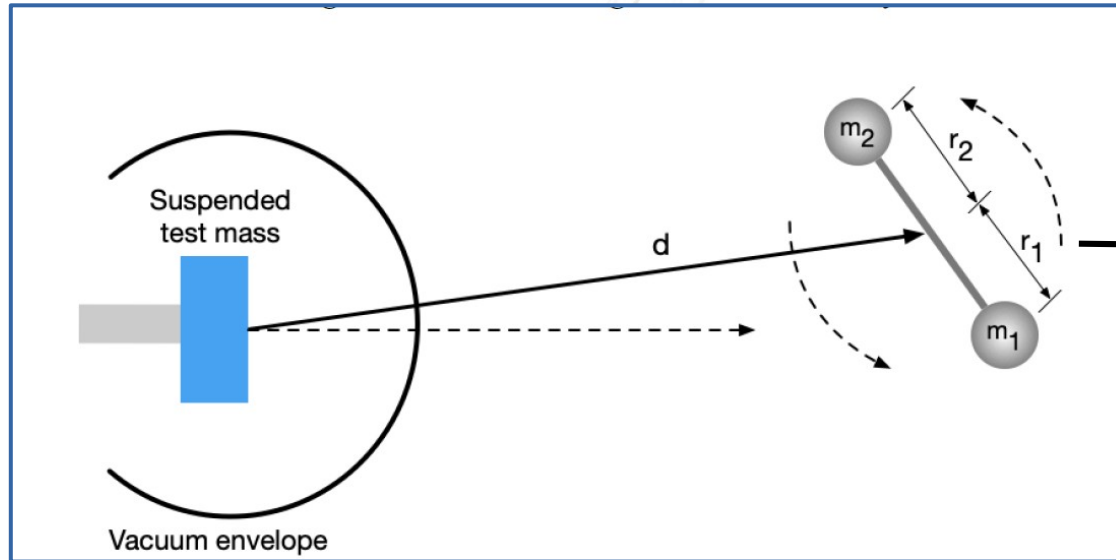
- Cartes / logiciels : maison ou pas ?



La calibration du détecteur



- Actionneur optique ou mécanique pour induire un déplacement connu du miroir
- Critique et peu d'engagement pour le moment



Conclusion



- Beaucoup de thématiques où contribuer
- Certains sujets sont plus pressants que d'autres
- Virgo reste une formidable machine pour faire ses armes, tester les technologies et ce pour encore 15 ans
- Plus de détails sur certains aspects dans la présentation suivante...