

Einstein Telescope

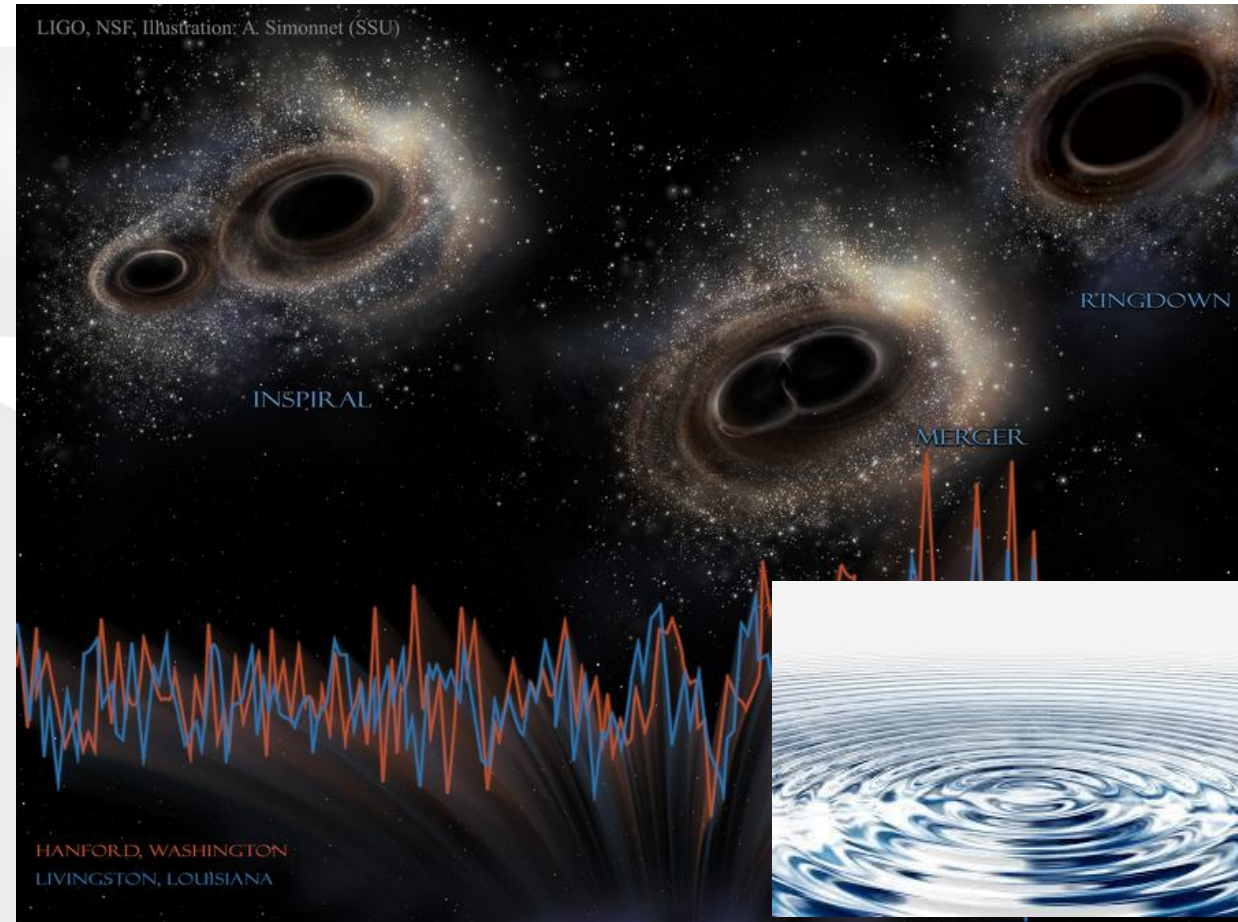
1916 : Prédiction de l'existence des Ondes Gravitationnelles par A. Einstein

Ondes gravitationnelles : sont une perturbation dans l'espace-temps qui se propage sous forme d'ondes à la vitesse de la lumière.

Elles sont générées par des événements astronomiques extrêmement énergétiques : la fusion de deux trous noirs, la collision d'étoiles à neutrons, ou même des explosions d'étoiles massives appelées supernovas.

2017 : Prix Nobel de Physique pour R. Weiss, B. Barish, K. Thorne (Detection d'Ondes Gravitationnelles)

2020 : Prix Nobel de Physique pour R. Penrose, R. Genzel, A. Ghez (Trous Noirs)



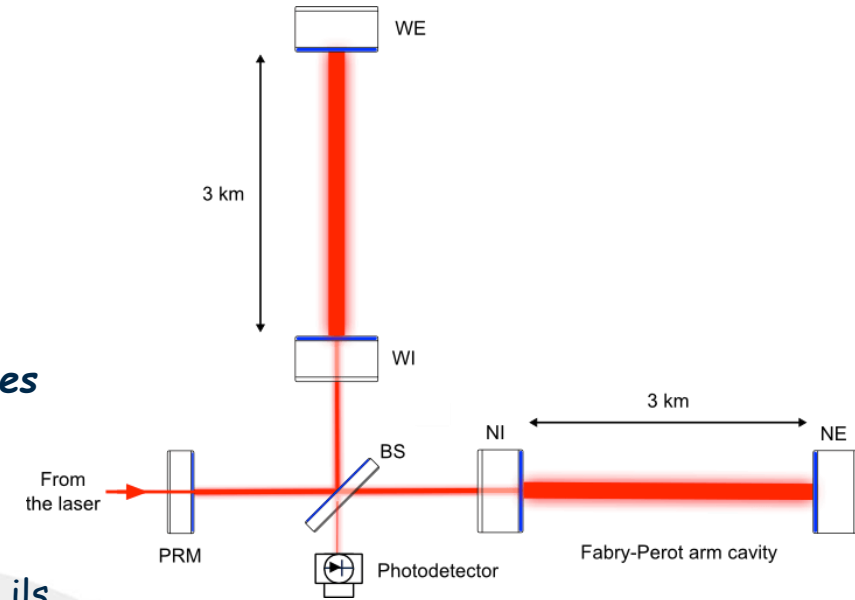
=> Grâce à l'interféromètre de Michelson

Principe :

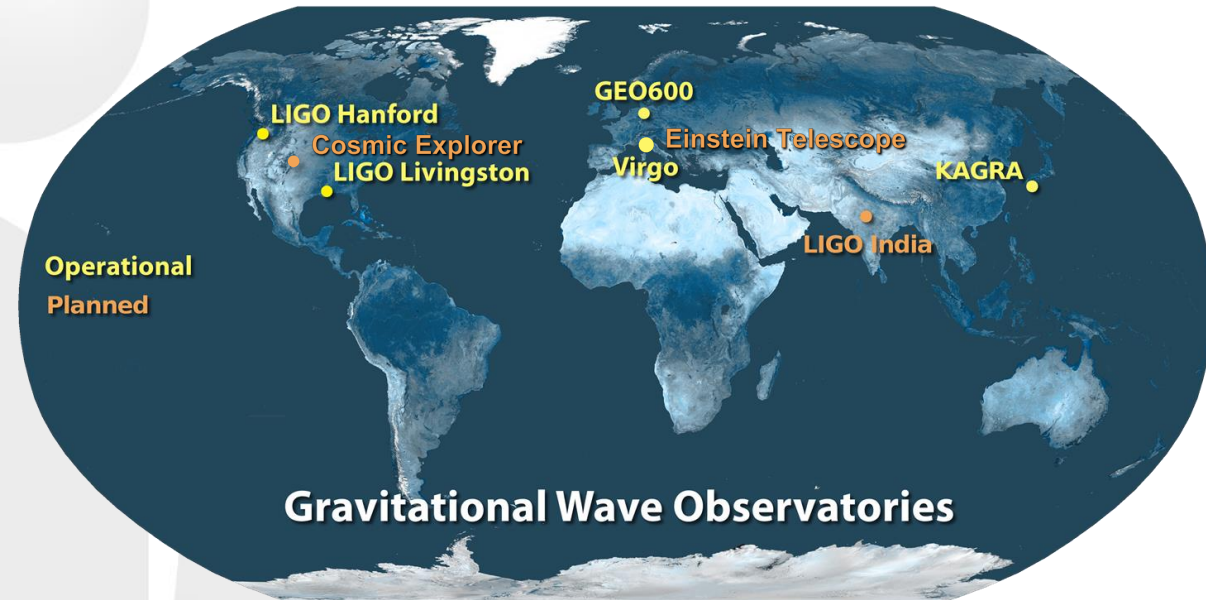
- 1) Faisceaux séparés par un **Beam Splitter** traversant.
- 2) Réflexion vers 2 miroirs suspendues aux extrémités appelé **Test Masses**
- 3) Faisceaux recombinaison vers le **Détecteur**

En fonction de la différence de distance parcourue par les deux faisceaux, ils peuvent s'additionner pour former un signal plus intense ou s'annuler partiellement ou totalement.

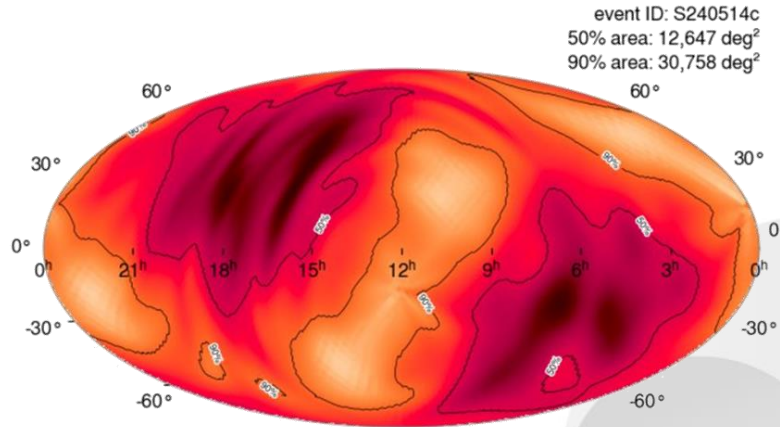
Dans notre cas, en cas de signal plus intense, il y a détection d'un évènement



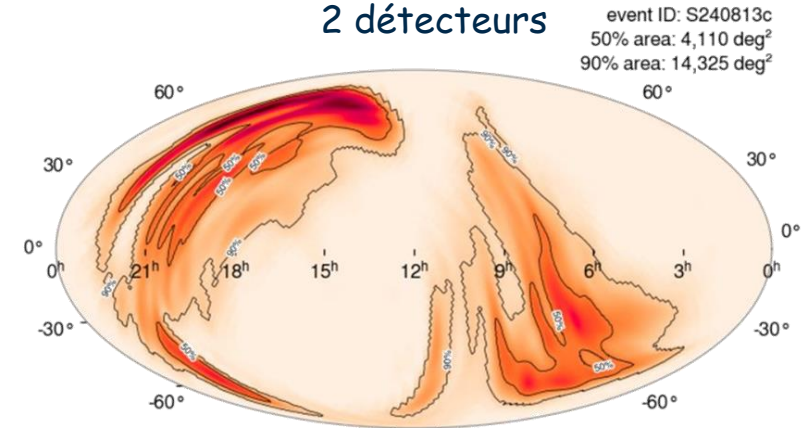
- 2002 : LIGO (USA) & GEO 600 (Allemagne)
- 2007 : VIRGO (Italie)
- 2015 : Première détection direct d'ondes gravitationnelles par LIGO
- 2017 : Première détection synchronisé de GW entre LIGO (US) & Virgo (EU)
- (2020) : KAGRA (Japon)
- 2030 : LIGO India
- 2030-40 : Einstein Telescope & Cosmic Explorer



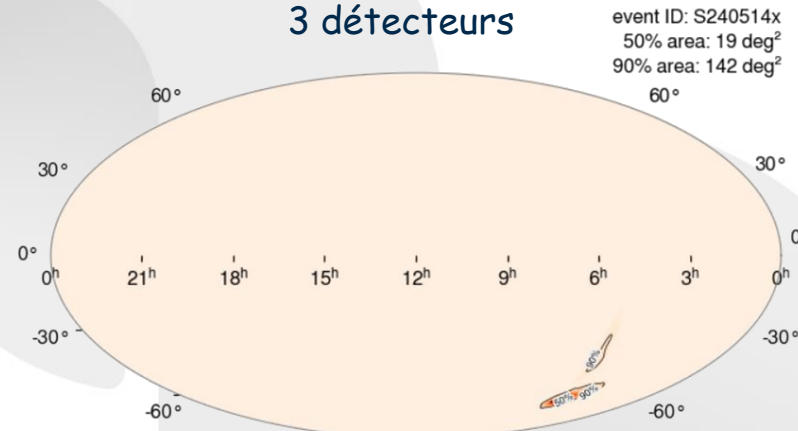
1 détecteur



2 détecteurs



3 détecteurs



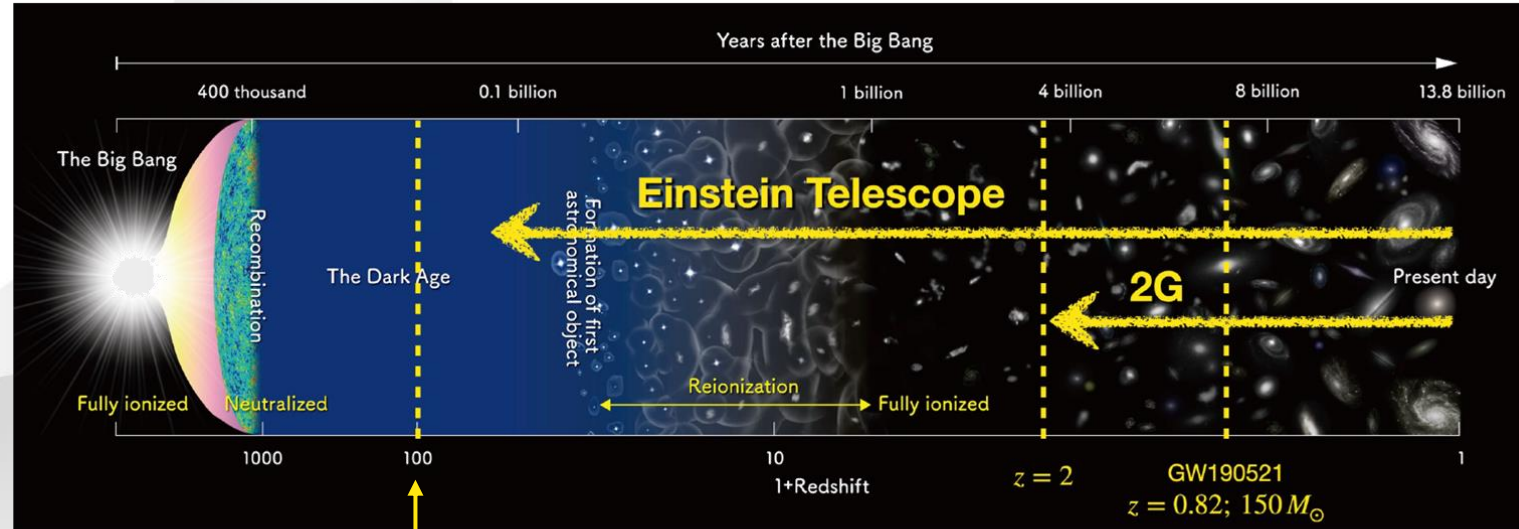
<https://gracedb.ligo.org/>

- Comprendre les conditions initiales de l'Univers lorsque la matière était distribuée de manière homogène, sans structures complexes comme les galaxies ou les étoiles.
- Comprendre comment les premières structures cosmiques se sont formées
- Tester des théories de la cosmologie et de la gravitation et de la physique des particules dans des régimes où elles n'ont pas encore été vérifiées
- ...

Sensibilité de VIRGO est de 60 Mpc (Megaparsec) selon la source détectée

Sensibilité de LIGO est de 160 Mpc selon la source détectée

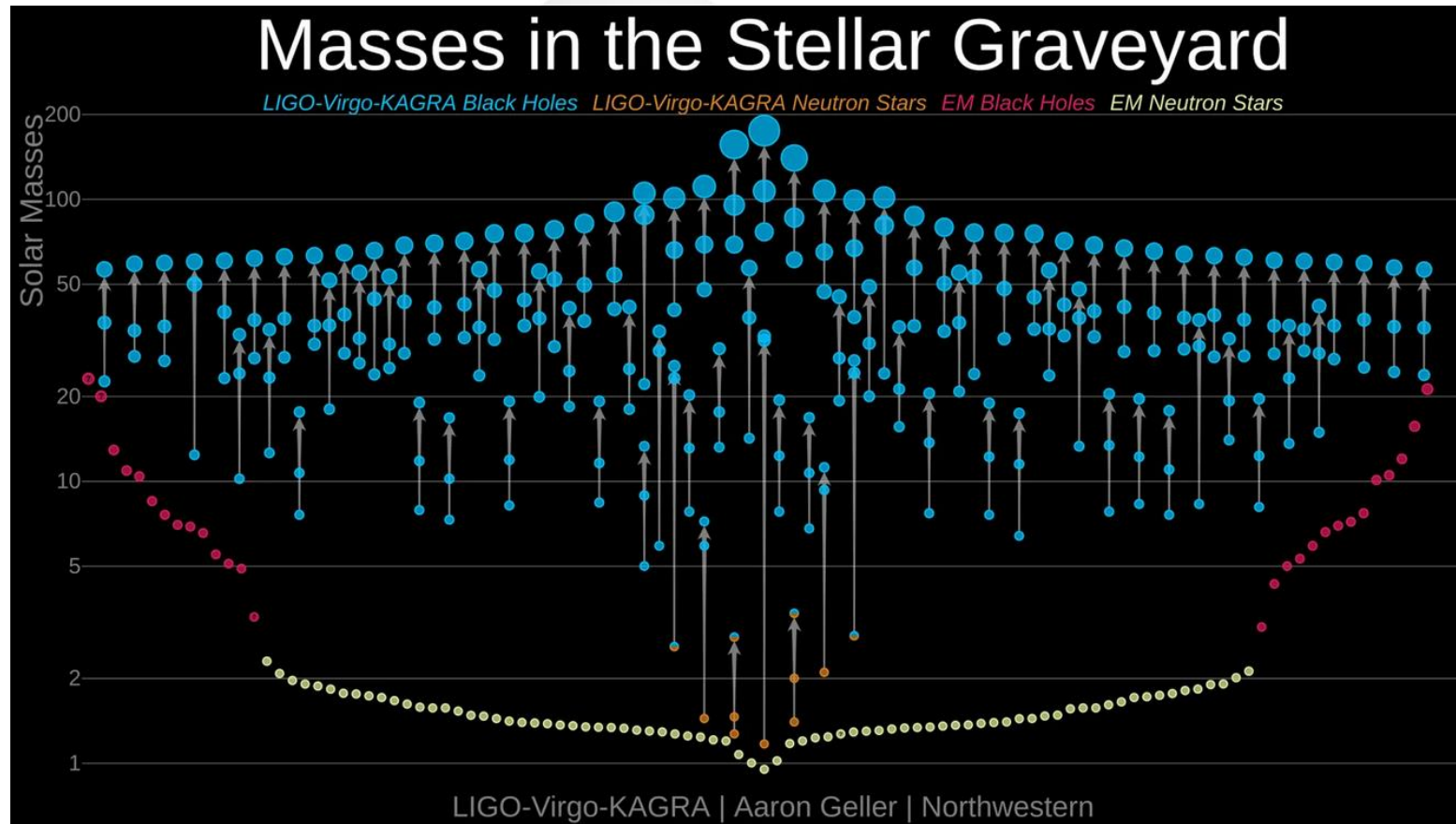
Sensibilité espérée de E.T. & Cosmic Explorer : plusieurs Gpc (Gigaparsec)



Credit: ALMA Collaboration

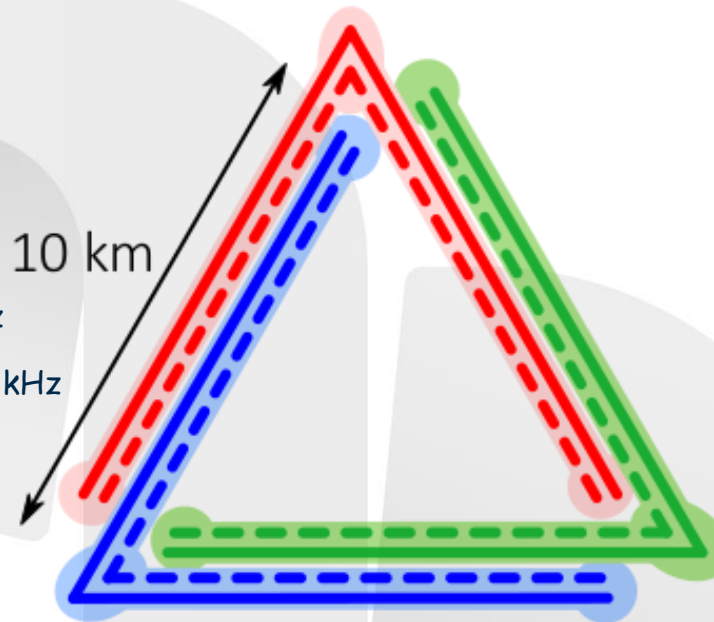
Une période avant la formation des premières étoiles, où l'Univers était rempli d'hydrogène neutre.

$1\text{Mpc} = 3 \times 10^{22}$ mètres ou $\sim 3 \times 10^6$ années-lumière



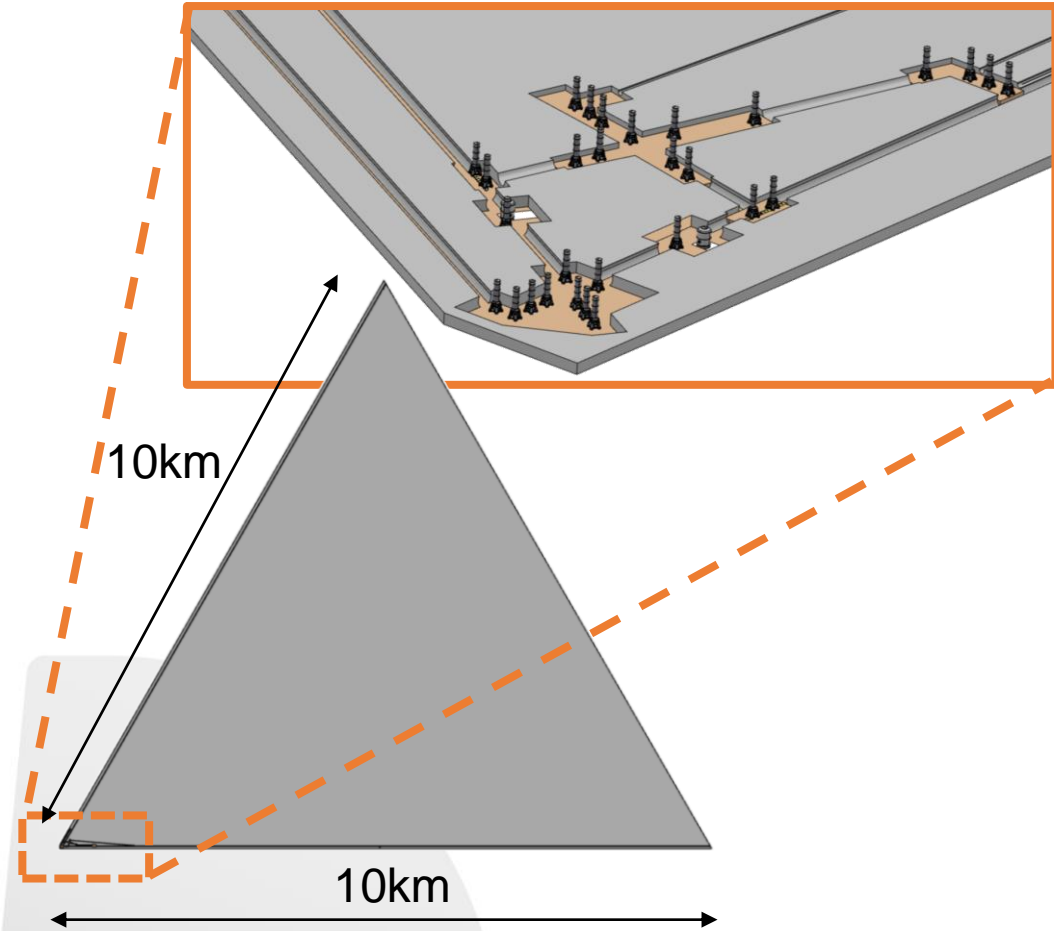
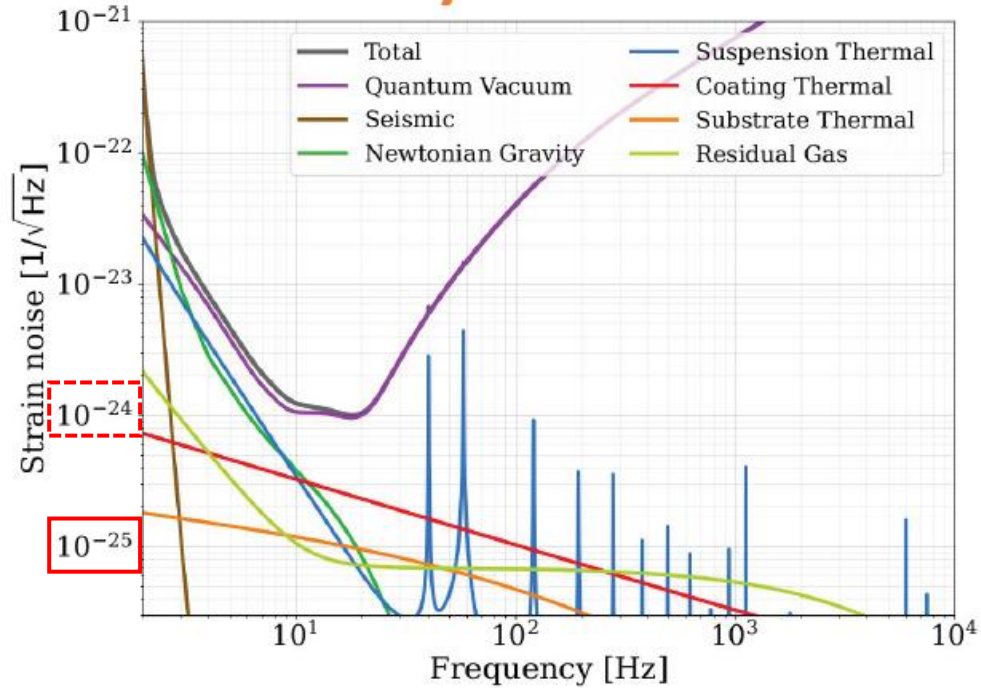


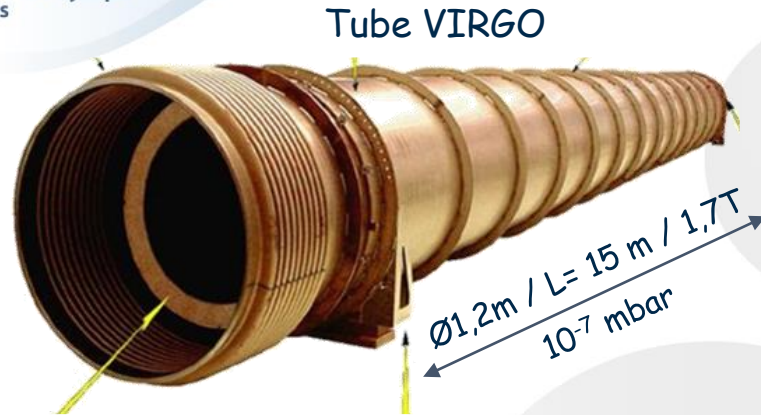
- Installé entre 200 et 300m en sous-sol
- Architecture triangle pour une autonomie
- Composé de 6 interféromètres :
- 3 dit « froid » : ET-Low Frequency : 0 Hz à 30 Hz
- 3 dit « Chaud » : ET-High Frequency : 30 Hz à 10 kHz



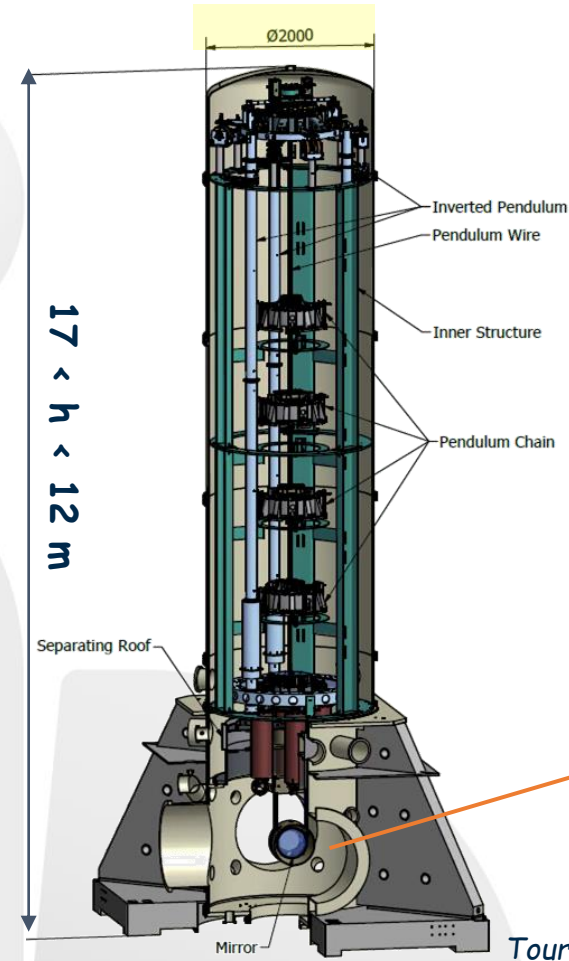
- Interféromètre « Froid » (ET-LF)
- - - Interféromètre « Chaud » (ET-HF)

ET-LF sensitivity

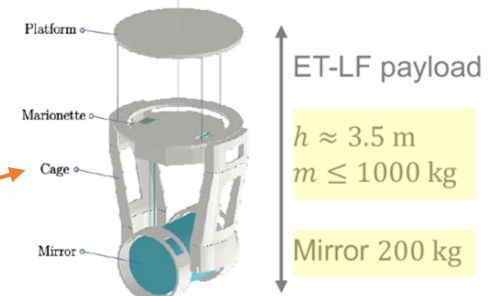




| Tubes | VIRGO | E.T. |
|---------------------|--------|---------|
| Long. des bras | 3 km | 10 km |
| Long. Tot. des bras | 6 km | 120 km |
| Qté. de Tubes | 404 | > 8080 |
| Dur. Prod. / tube | 1 jour | 1 jour |
| Dur. Prod. Totale | > 1 an | ~22 ans |
| Coût | 11,8M€ | ~500M€ |

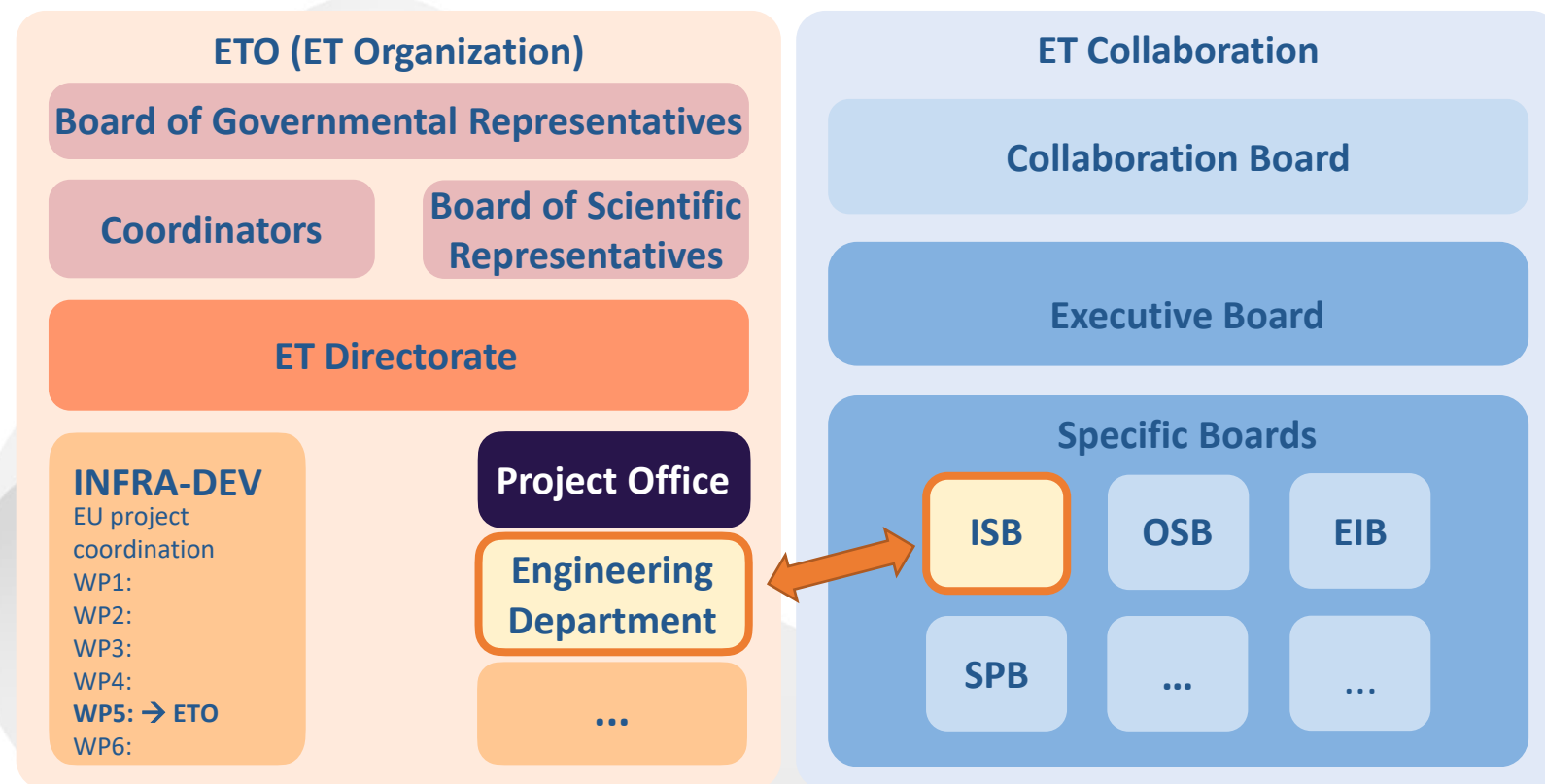


- 240 Tours « chaude »
- 12 Tours Cryo
- \varnothing miroirs > 600mm
- Ultra High Vacuum : 10^{-10} mbar



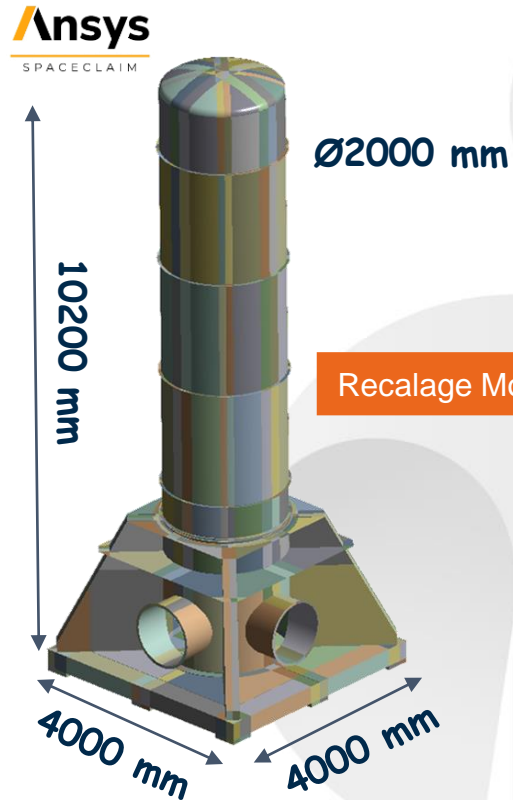
Tour Virgo
EGO

- Collaborations européennes
- 03-2023 : Membres de l'Instrument Science Board
- 05-2023 : P. Rosier -> Co-Chair du W.P. Tours
- 2024 : Participation aux études pour la conception de l'agencement des détecteurs avec le Dept. Eng.
- 2026-'27 : Technical Design Report



Optimisations des “tours chaudes”

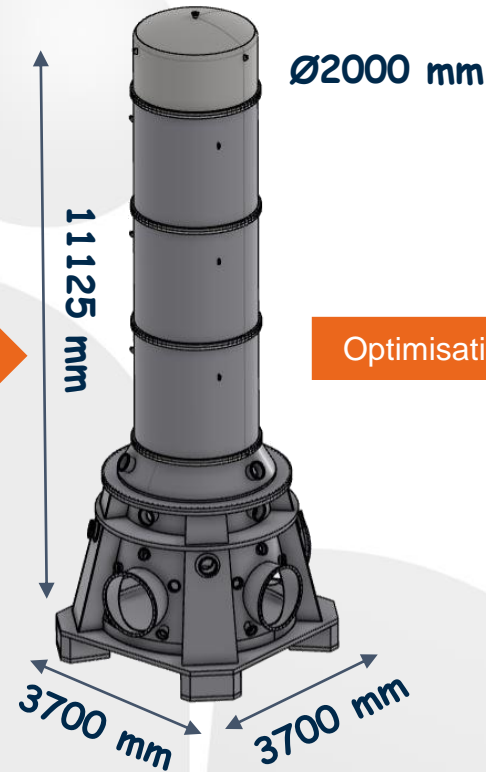
Tour VIRGO



Résultat 1er Mode
Masse

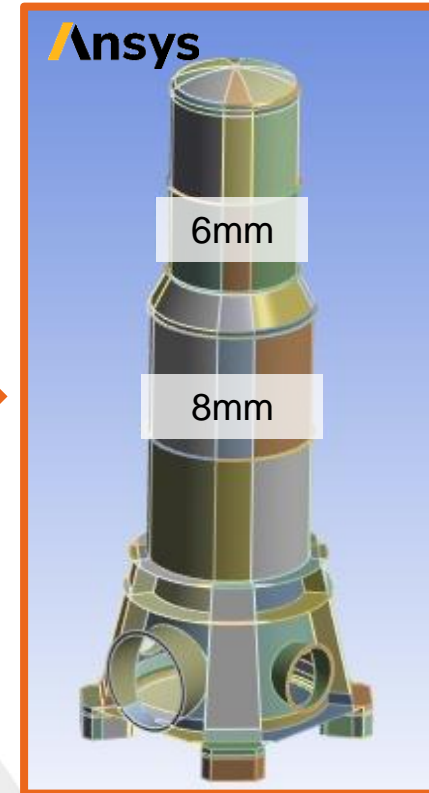
20,8 Hz
20,9 T

Tour Einstein Telescope (E.G.O.)



17,3 Hz
24,2 T

Proposition d'optimisations



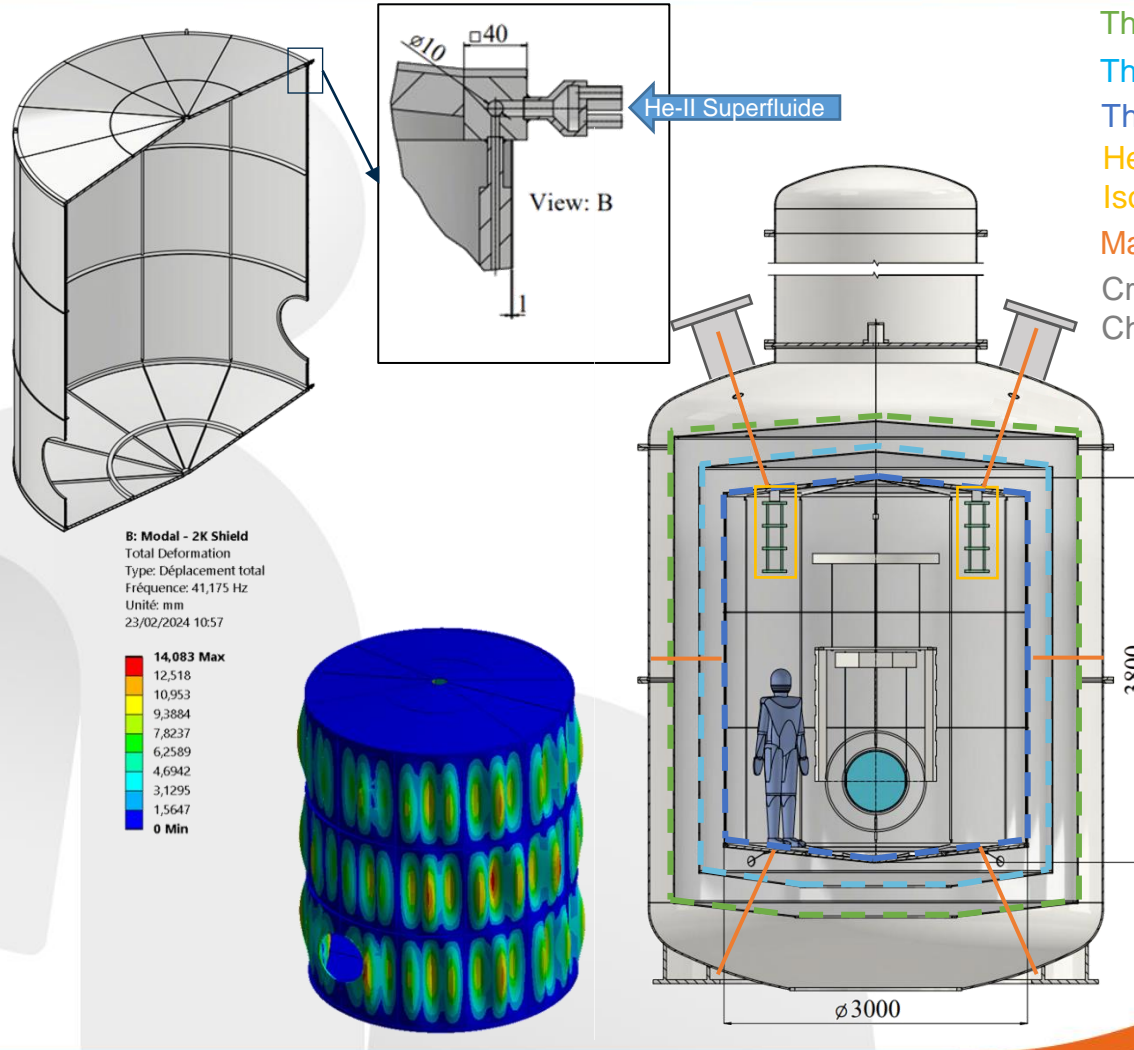
25,6 Hz / +8,3Hz
23,4 T / -0,8T

Recalage Modèle

Optimisation ET

Amortissement des boucliers thermiques

- Refroidissement actif des deux boucliers thermiques externes respectivement à **80K-50K** et **5 K** avec flux d'hélium supercritique
- Le troisième bouclier est refroidi à **2K** par conduction thermique à travers de l'hélium superfluide statique He-II, évitant ainsi un écoulement de fluide macroscopique.
- He-II est superfluide, il permet donc un refroidissement rapide et transmet moins de vibrations mécaniques
- Optimisation des masses des boucliers via Ansys (>30Hz)



Thermal Shield 80K-50K

Thermal Shield 5K

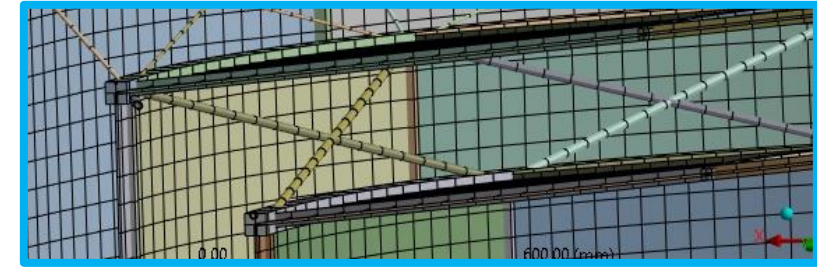
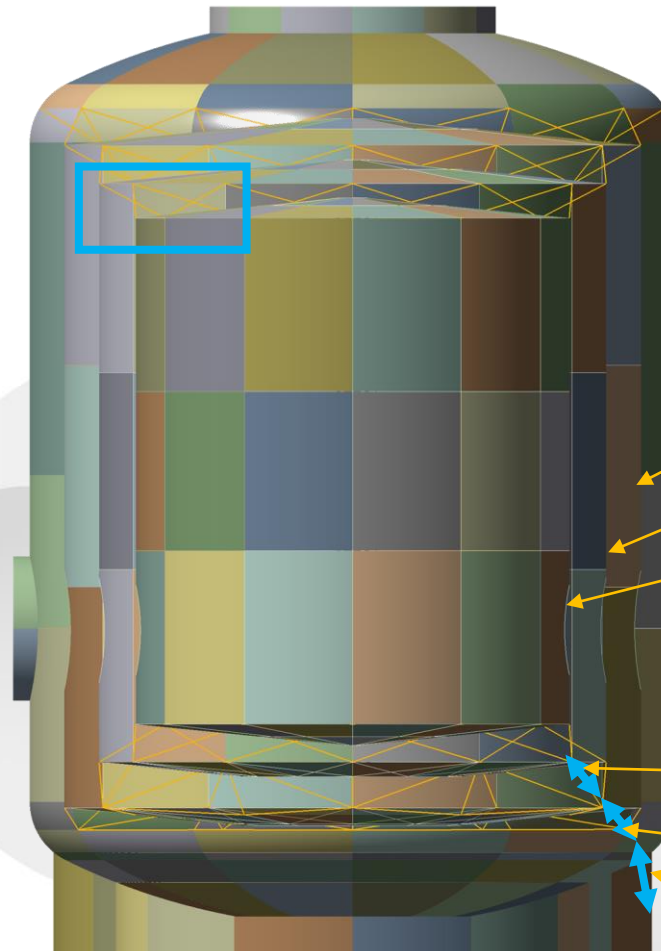
Thermal Shield 2K

Heat Link Vibrations'

Isolation Systems

Magnetic Damping

Cryostat's Vacuum
Chamber



Cryostat : ~18,8 T / Stainless Steel

80K : 831 Kg / alu = after optimization

5K : 646 Kg / alu = after optimization

2K : 415 Kg / alu = after optimization

Total : 20,7 T
(sans tubes, coupole, suspensions, structures ...)

240 mm

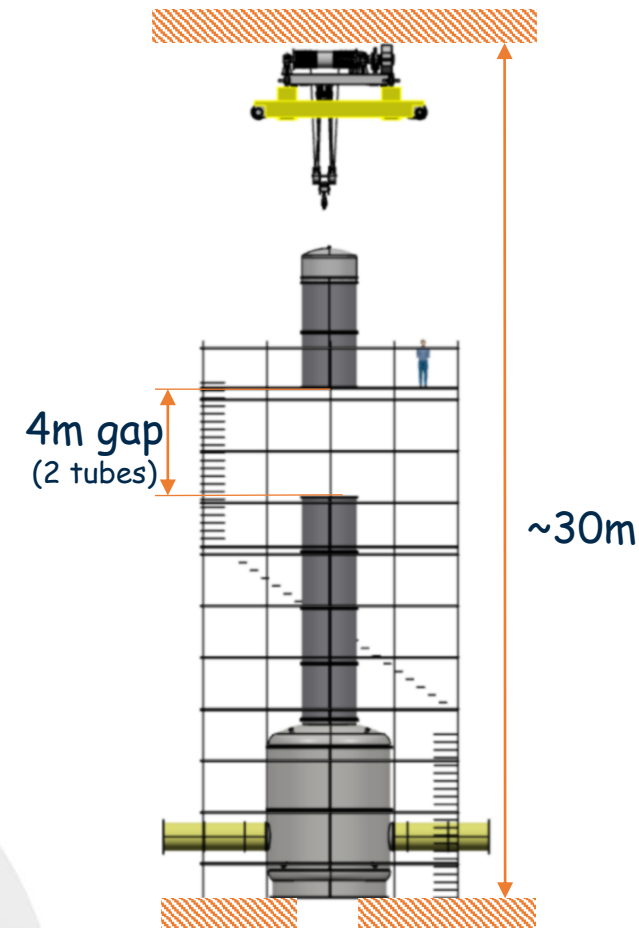
270 mm

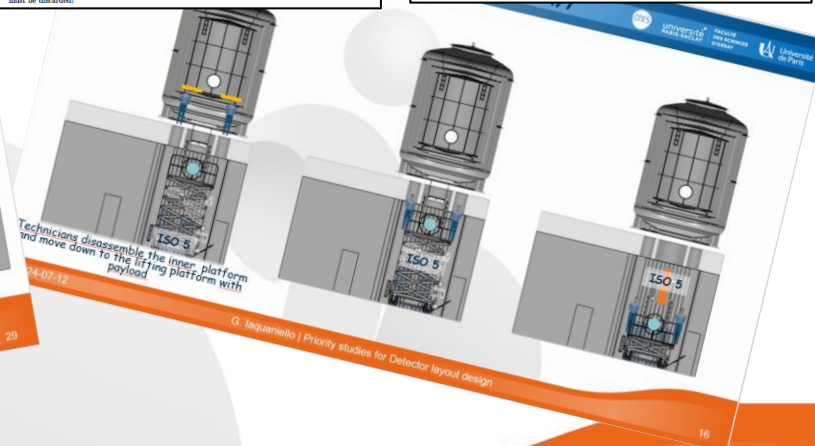
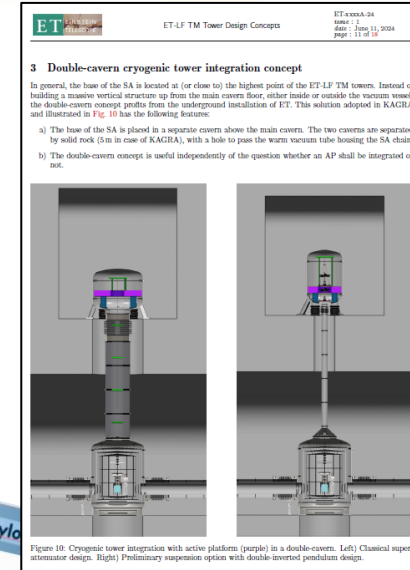
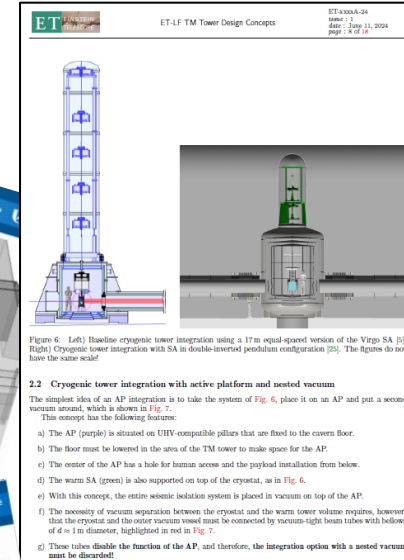
270 mm

- Etudes d'une structure porteuse construite avec des arbres et des tubes en acier inoxydable et/ou en fibre de verre
- Proposition d'un support rigide qui est non sensible aux vibrations en dessous de 29 Hz => Efficace jusqu'à 21Hz
- Complément d'isolation passive contre les vibrations
- Le dumping magnétique serait une solution à explorer

Définition du besoin en terme de *Génie Civil* avec le Département Ingénierie d'E.T. Observatoire

- Mai '24 : Meeting @ VIRGO avec le Responsable du *Département Engineering* d'E.T.O.
- Participation au groupe de travail (< 10pers.) sur la définition de l'agencement des détecteurs
- Réunion bi-mensuel ou hebdomadaire
- Réflexions sur :
 - Dimensions des échafaudages
 - Définir l'accès aux tours (latérale ou par le dessous)
 - Design des chambres propres
 - Estimations des dimensions et poids des bases des tours et des cryostats
 - Poids complet des tours
 - Hauteur faisceau

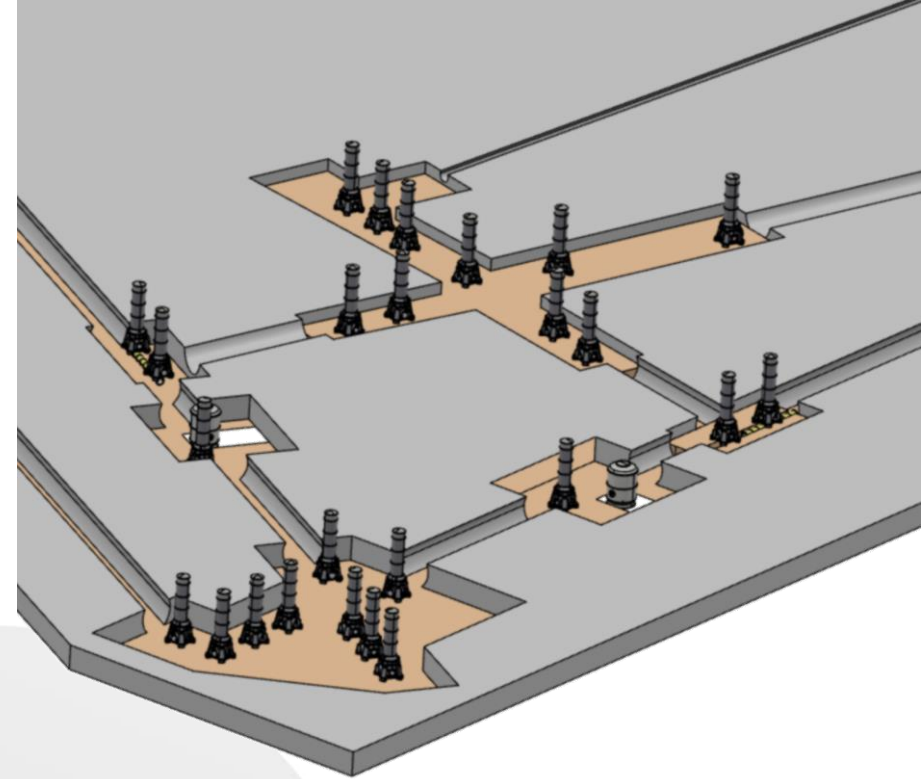




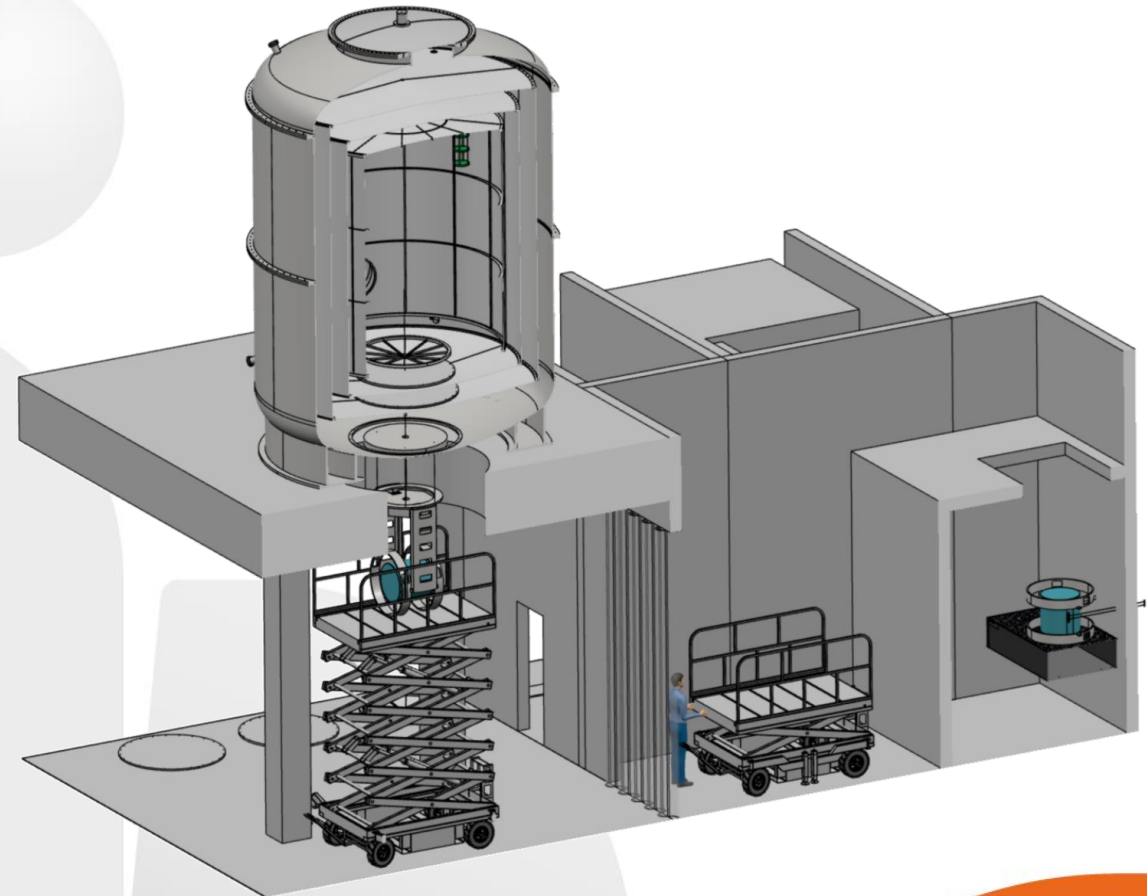
- Participation aux documents de collaboration sur la définition des cavernes
- Lien entre l'I.S.B. & E.T.O.

Axes de travail

- 05-2024 : Proposition de IJCLab de prendre des responsabilités dans E.T.O. dans le Work Package 5 - *Interface des tours avec ET Civil Infrastructure*
- Rôle à définir mais rôle central pour le suivi
- Continuité de la coordination entre les différents bureaux d'études
- Coordination entre les métiers (ingénierie civile, mécanique, vide, électrique ...)

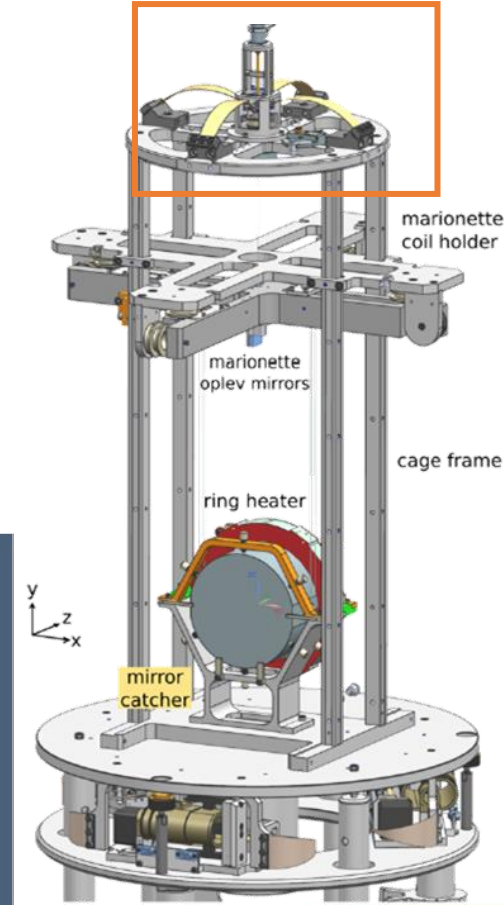
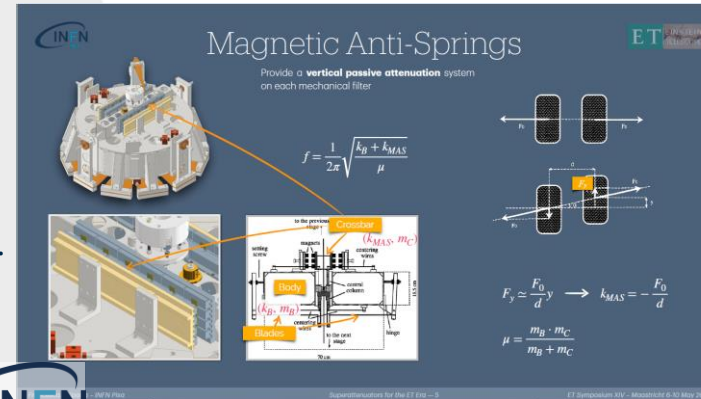


- R&D plateforme interne au cryostat pour la maintenance du payload
- R&D outillage pour le transfert du payload jusque dans la salle propre
- R&D « chariot » de déplacements
- Intégration infrastructure (pont roulant, ...)
- => Choix d'une salle propre au n-1 ou au même niveau ?

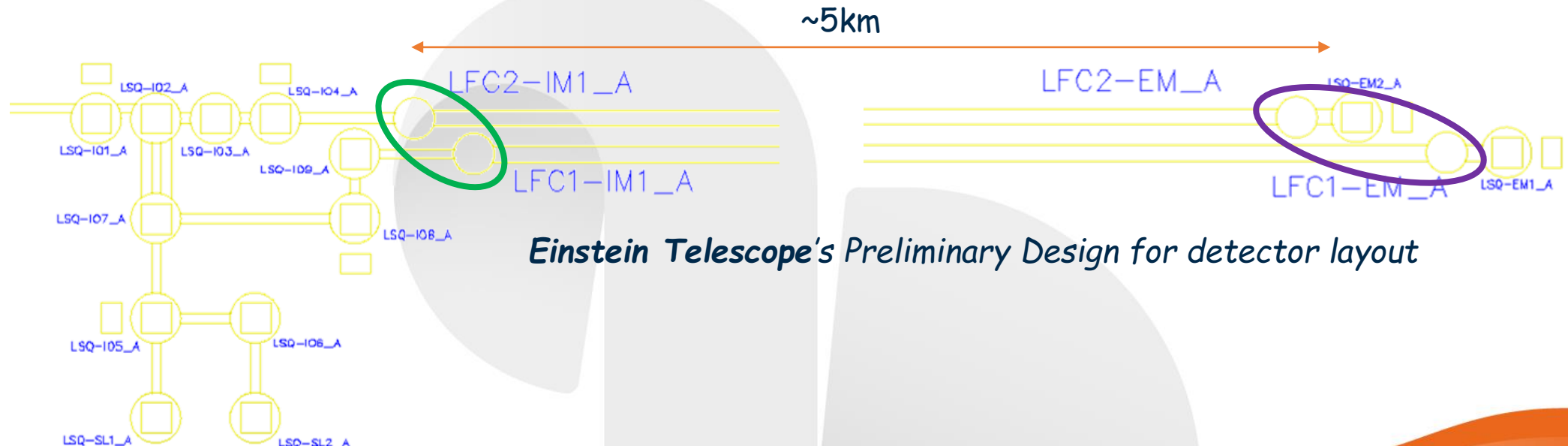


Multifold Squeezing filter Cavity Development for Einstein Telescope

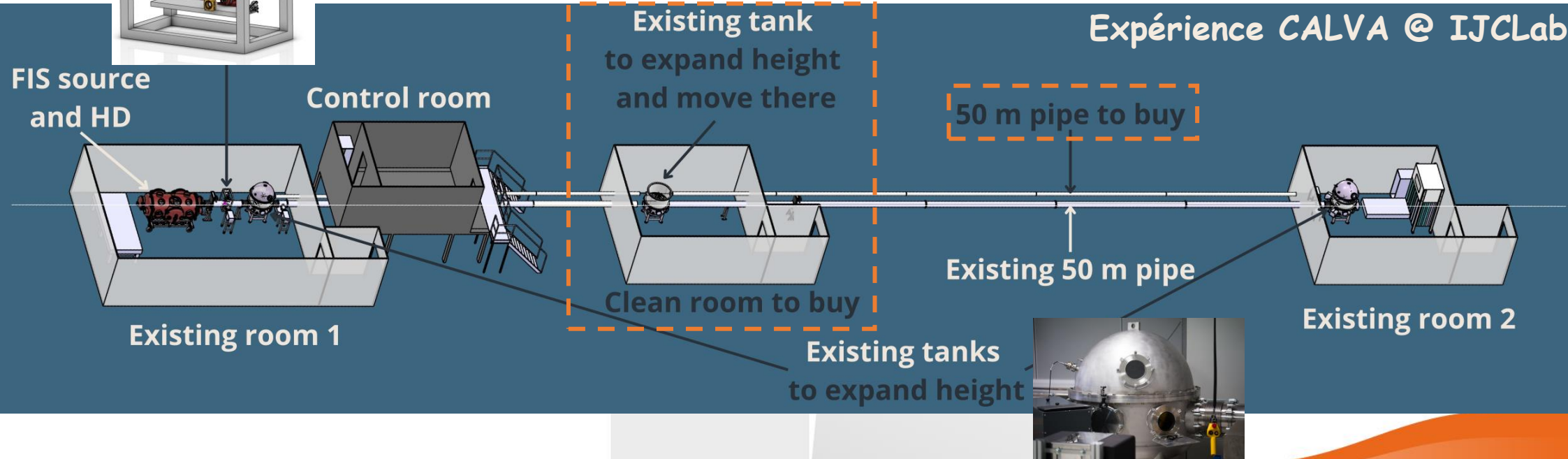
- Acquisition de compétences en suspension grâce aux contacts que nous avons aujourd'hui sur Einstein Telescope
- Systèmes existants sur Virgo, Ligo, Kagra, ET-Path Finder, ...
- Adaptation aux expériences du laboratoire (plateforme Calva, expériences laser, ...)
- Constitution d'une équipe suspension en cours :
 - A. Lartaux (IJCLab) : Resp. Scientifique
 - D. Douillet (IJCLab) : Opto-mécanique / Vide / Alignement
 - S. Chesnes (INSA Lyon) : Contrôle actif, dynamique & vibrations
 - Agent B.E. (IJCLab) : Conception mécanique dédié au M.A.S.
- Demande de financement ERC & ANR en Octobre '24



- Reduction du bruit quantique dit "*Squeezing*"
- *Miroirs suspendus de Ø40cm*
- *Longueurs des cavités 5km*
- *Construction d'un tunnel indépendant couteux donc recherche de solution plus compact*



- Développer une cavité 3 miroirs afin de réduire potentiellement réduire la longueur des cavités
- Superposer les deux cavités l'une au-dessus de l'autre et ainsi réduire l'encombrement (periscope)
- Rehausser chambre existante par ajout d'une virole
- Développement d'un banc vertical suspendus sous vide pour amener le faisceau d'une cavité à l'autre
- Dépôt de demande ERC & ANR en Octobre



4 - Equipement thermal shields

Vacuum Chamber 300K

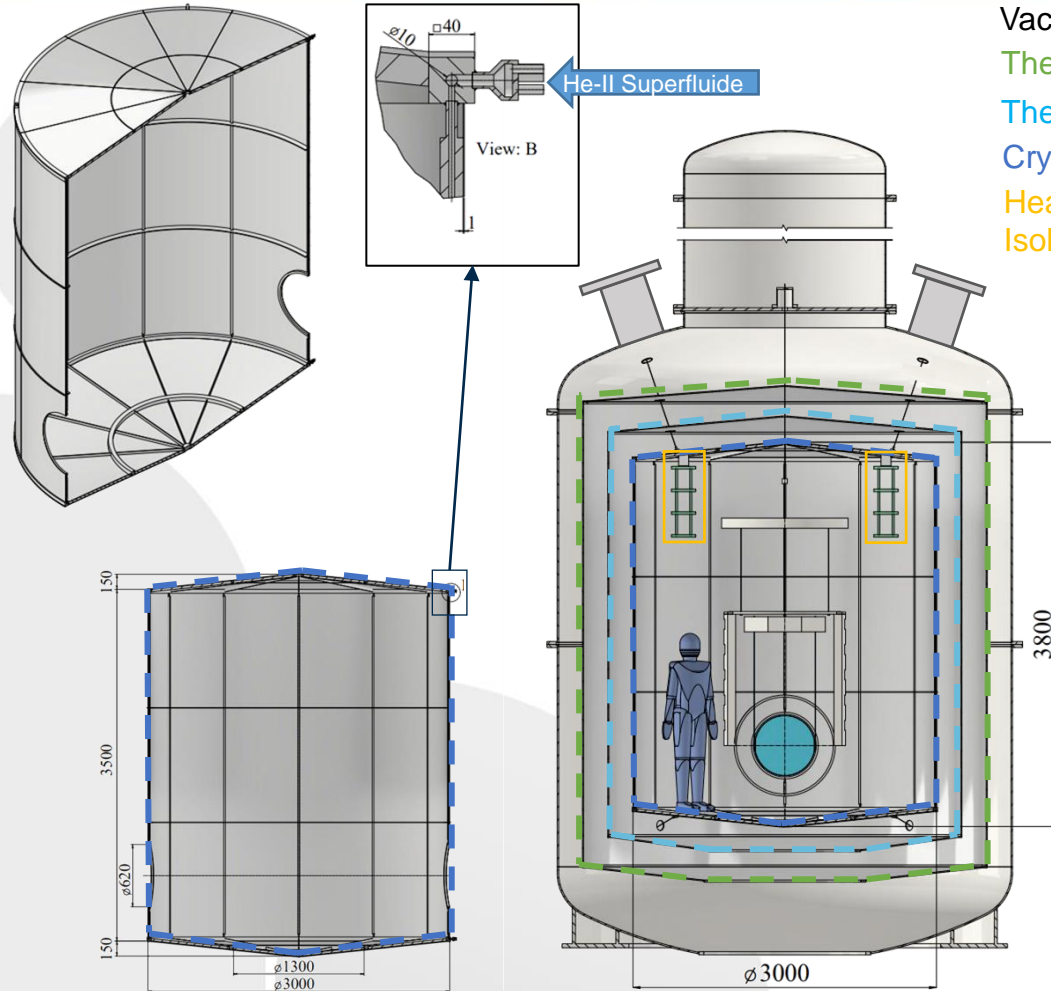
Thermal Shield 80K

Thermal Shield 5K

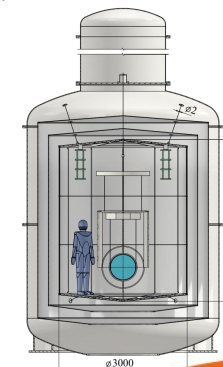
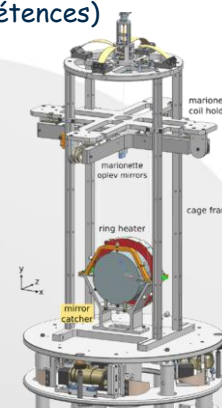
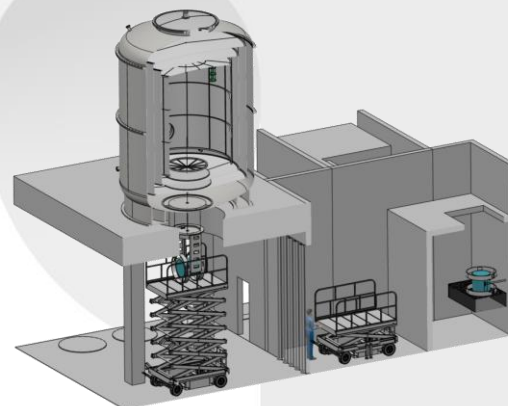
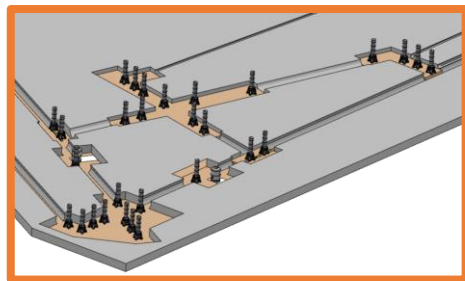
Cryostat 2K

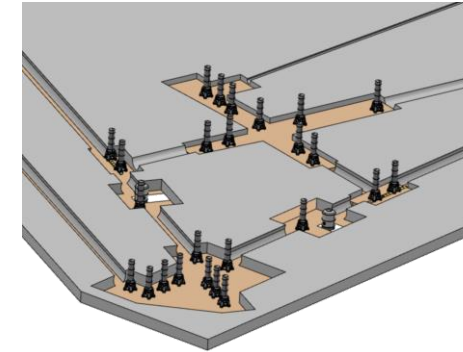
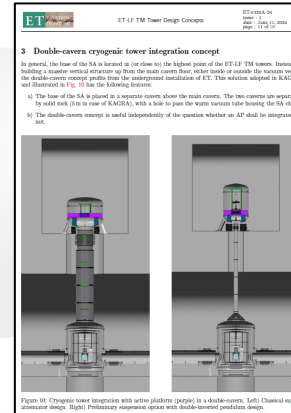
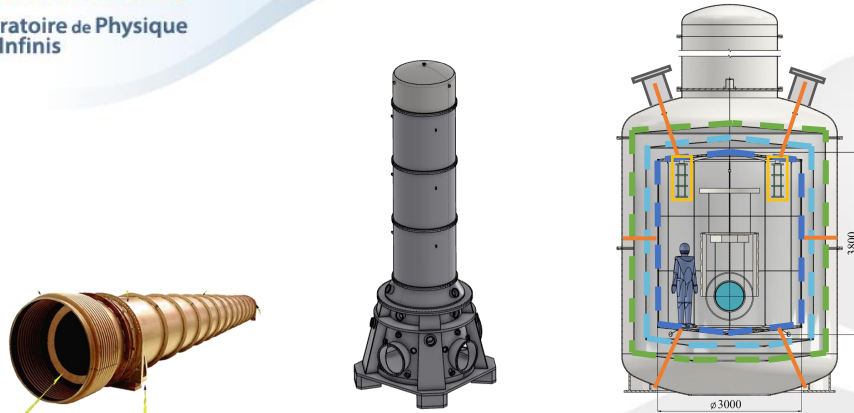
Heat Link Vibrations'
Isolation Systems

- R&D amortissement magnétique, mécanique, ...
=> Suite à la maîtrise des suspensions, passage sous vide cryo
- R&D Structure support des boucliers thermique
- Intégration circuit cryo
- Etude de faisabilité
- Intégration heat link vibrations isolation systems
- Aide en simulations d'amortissement magnétique de G. Quémener (LPC Caen)
- ...



- | | | | |
|--|--|--|--|
| • F.T.E. : 0,5 I.R. | • F.T.E. : 0,2 I.E. + 0,3 A.I. | • F.T.E. : 0,5 I.R. + 0,3 I.E. | • F.T.E. : 0,4 I.R. + 0,3 I.E. + 0,2 A.I. |
| • Planning : 2024 => 2027 => 203x | • Planning : 2024 => 2027 (T.D.R.) | • Planning : 2025 => 2027 (T.D.R.) | • Planning : 2025 => 2027 (T.D.R.) |
| • Analyse de risques : Moyenne | • Analyse de risques : Moyenne | • Analyse de risques : Moyenne | • Analyse de risques : Haute |
| <ul style="list-style-type: none"> • Choix du logiciel par l'E.T.O. • Temps de travail difficile à estimer • Choix de la configuration ▲ ou 2 x L • Echanges avec les équipes après le choix du site | <ul style="list-style-type: none"> • Sécurité • Aspect propreté élevé • Infrastructure évolutive • Cahier des Charges manquant | <ul style="list-style-type: none"> • Système existant à adapter • Echanges avec INFN, Nikhef, E.G.O. ... • Simulation magnétique ANSYS • Budget / Essais • R&D nécessaire (Acquisitions de compétences) | <ul style="list-style-type: none"> • Environnement cryo • Simulations magnétique ANSYS • Budget / Essais • Cahier des Charges manquant • R&D nécessaire (Acquisitions de compétences) |





E.R.C. MuSCaDET

Nov. '22

Avr. '23

Nov. '23

Jan. '24

Mars. '24

Oct. '24

Point +

- Implication forte pour démontrer notre envie et savoir-faire
- Reconnaissance par la collaboration
- Prise de responsabilités croissante
- Quantité de travail intéressant sur les 10 prochaines années
- Sujets variés permettant de faire progresser les compétences du B.E.
- Demandes E.R.C., A.N.R. & R&T peuvent être un axe porteur et visible dans la collaboration pour nous

Point -

- Charge de travail et Cahier des Charges difficile à estimer
- Politique du projet très compétitive ce qui complique la répartition des tâches
- Concept toujours pas définis et encore beaucoup d'inconnues
 - Impossible de se lancer dans les phases de conception
- Manque de compétences sur des résultats concrets par rapport aux équipes de VIRGO / LIGO / KAGRA / ET-Pathfinder (NIKHEF)
- Manque de moyen humain et financier pour acquérir le savoir faire & une légitimité dans la collaboration (R&T IN2P3 '23 sans suite)

Thanks for your attention

Grégory IAQUANIELLO

*Ingénieur de Recherche
Département Mécanique
Service Bureau d'Etudes
Bâtiment 208, RDC, Bureau 23*

☎ : (+33) 01.64.46.86.44

@ : gregory.iaquaniello@ijclab.in2p3.fr