



Avril 2023

Séminaire laser
**TechnoCampus
Gosselies 3**

Mai 2023

Assemblée
Générale de l'asbl
CSL - Liège

22 mars 2024

Réunion du CA
CSL Liège

25 et 27 mars 2024

Formations Sécurité
laser

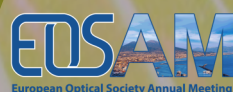
9 et 12 avril 2024

Formations Sécurité
laser

27 mai 2024

Workshop laser
Spacepole d'Uccle
[https://
events.spacepole.be/
event/200/](https://events.spacepole.be/event/200/)

Septembre 2024



9 -13 September 2024
Naples, Italy

[topical meetings and sessions](#)

Membre de l'EOS (European Optical Society)

c/o Centre Spatial de Liège — Parc Scientifique du Sart-Tilman
Avenue du Pré Aily — B-4031 ANGLEUR - Belgium — Tél. +32 (0)4/382 46 00
www.promoptica.be

NEWSLETTER 5 - Le projet européen de « *Télescope géant* » *Einstein (ET)* pour la détection des ondes gravitationnelles

Quelques rappels

Il est hors de propos d'entrer ici dans le détail des théories de la Relativité dont nous ne mentionnerons que quelques-unes des caractéristiques et conséquences les plus surprenantes.

1915, 25 novembre, Albert Einstein soumet son manuscrit sur la **Relativité Générale** à l'Académie Royale des Sciences de Prusse.

En 1905 paraissait son article sur la **relativité restreinte**. Elle repose sur le postulat que *la vitesse de la lumière est une grandeur absolue* ($c = 299\,792\,458$ m/s dans le vide) et abandonne les concepts de temps universel et de simultanéité : l'espace, le temps et la masse deviennent relatifs. Il établit l'équivalence entre masse et énergie. Le concept de **l'espace-temps quadri-dimensionnel** introduit par *Hermann Minkowski* (*Das Relativitätsprinzip – exposé présenté à Göttingen le 5.11.1907, publication posthume*) a permis une représentation élégante de la théorie.

Dès 1907, il réfléchit à une *théorie relativiste de la gravitation* et énonce le *principe d'équivalence entre gravité et accélération*. Il lui faudra huit ans pour établir une théorie géométrique de la gravitation : la *Relativité générale* qui prédit des phénomènes jamais observés, tels *la déviation de la lumière par la gravitation, un décalage du spectre de la lumière émise par le Soleil vers le rouge, l'existence des quasars, des pulsars et des trous noirs!* La gravité n'est plus une force mais *une courbure de l'espace-temps qui cesse d'être euclidien*.

En 1917, Einstein montre que l'on peut trouver des solutions ondulatoires à partir des équations de la Relativité générale, ce qui révèle l'existence d'**ondes gravitationnelles** produites par tout objet qui change de forme ou se déplace, solutions précisées en 1937¹. Outre son intérêt exceptionnel pour la *Cosmologie*², la Relativité générale est rapidement vérifiée expérimentalement : 1916, Einstein explique *l'avance du périhélie de la Planète Mercure*, 1919, une *éclipse de Soleil* permet à l'astronome *Arthur Eddington* de mesurer la déviation d'un rayon lumineux par le Soleil³. L'observation des premiers quasars et pulsars⁴ dans les années '60 ravive l'intérêt pour les **ondes gravitationnelles**, rides dans la courbure de l'espace-temps provoquées par exemple deux étoiles à neutrons tournant l'une autour de l'autre.

Suite page 2 ...

1. Albert Einstein & Nathan Rosen, *On gravitational waves*, Journal of the Franklin Institute, 223 (1937), 43–54 [cet article important a démontré que les ondes gravitationnelles sont possibles malgré la nature non linéaire des équations du champ d'Einstein].

2. Stephen Hawking, *L'Univers dans une coquille de noix*, éditions Odle Jacob – Sciences (2001).

3. La séance du 6 novembre 1919 de la Royal Society londonienne donne solennellement raison à Einstein contre Newton.

4. Les **pulsars** sont des étoiles de neutrons qui émettent des bouffées d'ondes électromagnétiques de façon très brève (environ 50 millisecondes) à intervalle extrêmement régulier. Les premiers ont été découverts en 1967 à l'observatoire radioastronomique de Cambridge par *Jocelyn Bell Burnell*.

Les **quasars** sont des astres distants très brillants lorsqu'on les observe au télescope. Leur prodigieuse énergie provient de l'accrétion de la matière par des *trous noirs* supermassifs en rotation pouvant contenir des millions à des milliards de masses solaires.

Le terme « **trou noir** » a été inventé par le physicien américain *John Wheeler* en 1967 pour décrire une concentration de masse-énergie qui s'est effondrée gravitationnellement sous sa propre force d'attraction et qui est devenue si compacte que même les photons ne peuvent se soustraire à cette force gravitationnelle...

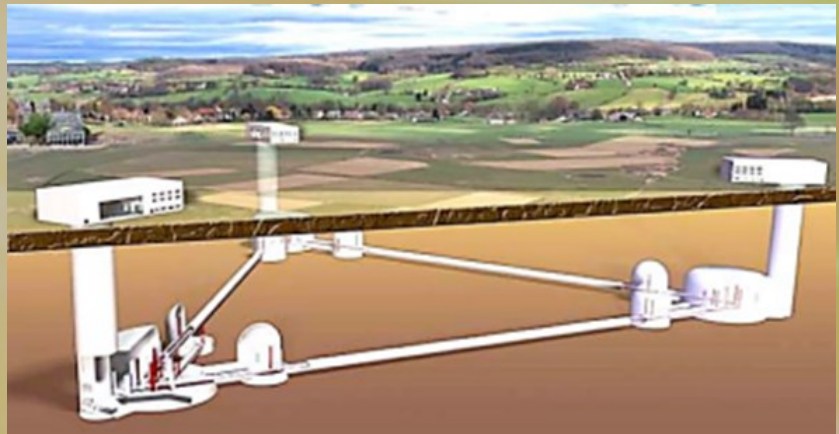
Les **ondes gravitationnelles** se propagent à la vitesse de la lumière mais leur amplitude est inférieure à la limite de sensibilité des instruments disponibles. Les variations de distance concernées sont inférieures ou égales à 10^{-21} mètre. **Il a fallu attendre quasiment un siècle pour que leur détection soit rendue possible** par la mise au point **d'interféromètres gigantesques**, hypersophistiqués, dont les bras font plusieurs kilomètres de long⁵.

2016, 11 février, les **collaborations Ligo** aux États-Unis, et **Virgo** en Europe, annoncent la **première détection directe sur Terre d'ondes gravitationnelles**⁶. Le **14 septembre 2015 à 11h15**, les **interféromètres de LIGO détectent tous, indépendamment, des distorsions de l'espace-temps provoquées par le bref passage d'ondes gravitationnelles** produites par le rapprochement puis la fusion de deux trous noirs, respectivement de 29 et de 36 masses solaires, qui a créé un trou noir de 62 masses, **les 3 masses manquantes ayant été complètement transformées en onde gravitationnelles**.

Barry C. Barish, Kip S. Thorne et Rainer Weiss, à l'origine de cette découverte ont reçu le prix Nobel de Physique en 2017. Une détection indirecte était intervenue en 1974 : un pulsar tournant autour d'une étoile à neutrons, avait permis de montrer que la variation de période orbitale observée était exactement expliquée par l'émission d'ondes gravitationnelles (**Russell A. Hulse et Joseph H. Taylor Jr.** : prix Nobel en 1993).

Aujourd'hui

Plusieurs équipes européennes (plus de 1200 scientifiques et ingénieurs) ont entrepris de développer un ambitieux projet de détection et d'étude des ondes gravitationnelles à l'aide d'un **télescope géant, de troisième génération, le meilleur observatoire de ce type d'événement jamais conçu** : une infrastructure triangulaire avec 3 tunnels de 10 km de long à une profondeur d'environ 250 m. Soutenu par la Commission Européenne, **ET⁷** pourra détecter jusqu'à mille fois plus de sources d'ondes gravitationnelles que tous ses prédécesseurs. Un défi de niveau mondial, avec de grandes opportunités pour la science, la technologie et l'**EUREGIO Meuse – Rhin** (B, PB et D) candidate à son installation, en concurrence avec la Sardaigne⁸.



Le projet de **Télescope Einstein**

Suite page 3 ...

5. L'interféromètre franco-italien **VIRGO** (près de Pise) : deux bras orthogonaux de 3 km ; collaboration entre cinq pays européens, et le duo d'interféromètres **LIGO** (4 km) aux USA, Livingston en Louisiane et Hanford (état de Washington)

6. B.P. Abbott et al. (Ligo Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, Phys. Rev. Lett. 116 (2016), 061102 – 16 pages ; <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>

7. Le télescope Einstein ? https://www.einsteintelelescope.nl/fr/?set_lang=fr

8. **Télescope Einstein en EMR** – Fiche d'information pour l'Euregio Meuse – Rhin, 35 pages, https://euregiomr.info/euregio-mr-wAssets/docs/Einstein-Teleskop/FR_Telescope-Einstein-factsheet-EMR_032023.pdf
Annick Pierrard, E-Test – Einstein Telescope, EMR Site & Technology, Coordination Office : ULiège – RISE & B53/3 Active aerospace structures and advanced mechanical systems, Campus Sart Tilman, <https://www.etest-emr.eu/>

Membre de l'EOS (European Optical Society)

Mars
2024

Des chercheurs belges, hollandais et allemands participent aux études et travaux préparatoires. Des équipes locales multifacultaires et d'entreprises, coopèrent sous la responsabilité du Service Recherche, Innovation, Support et Entreprise - ULiege (**Annick Pierrard**, senior Interreg Project Manager) et la direction scientifique des Prs **Christophe Collette**, **Frédéric Nguyen** (ULiege) et du Dr **Cédric Lenaerts** (CSL).

L'Université de Liège s'est vu confier la coordination du **projet E-TEST**, cofinancé par l'Union Européenne et les régions dans le cadre du programme Interreg IV EUREGIO Meuse-Rhin⁹, dont l'objectif est double :

- *Concevoir un prototype d'un grand miroir en silicium plongé à température cryogénique et isolé des vibrations provenant du sol.* Unique au monde, il est en cours d'installation au *Centre Spatial de Liège*, en collaboration avec *AMOS s.a.* (Advanced Mechanical and Optical Systems). Il permettra de valider et d'améliorer la sensibilité du télescope aux ondes gravitationnelles de basses fréquences générées par la fusion de trous noirs très massifs.
- *L'exploration géologique de l'EMR* consistant en une étude approfondie des sous-sols afin de s'assurer de leur stabilité et consolider l'emplacement de l'instrument pour optimiser sa conception dans la région EMR.

Le télescope Einstein est conçu pour mesurer au moins dix fois plus précisément que les détecteurs actuels. Il sera conçu pour une sensibilité de 22 zéros après la virgule : des différences de distance qui sont dix mille fois plus petites que les protons dans un noyau atomique. Pour atteindre cette précision, l'observatoire fera se réfléchir des faisceaux LASER sur des kilomètres de tunnels. Un ultravide et des « super-atténuateurs » spécialement conçus annuleront les vibrations perturbatrices de l'environnement¹⁰.

9. <https://www.interregemt.eu/home-fr>

10. Christophe Collette, https://www.news.uliege.be/cms/c_11389743/fr/un-pas-de-plus-dans-la-mise-en-placode-l-ambitieux-projet-du-telescope-einstein

Prototype ETEST au CSL : phase finale de l'assemblage avant la fermeture de la chambre à vide (Pr Christophe Collette : communication privée, novembre 2023)



Organigramme du Projet ET

2018, Naissance de la collaboration ET ; 2021, le Télescope Einstein est inscrit sur la feuille de route *ESFRI* (European Strategic Forum for Research Infrastructure) et devient une infrastructure prioritaire en Europe ; 2023, candidature officielle de l'EUREGIO ; 2026, choix du site.

Yvon RENOTTE

Futures manifestations scientifiques :

- 20 avril 2024 : The Nature of Time in Physics (National Committee for Pure and Applied Physics) - *Bruxelles* - <https://sites.google.com/site/physbel>
- 27 mai 2024 : Workshop laser (PromOptica) - *Spacepole d'Uccle* - <https://events.spacepole.be/event/200/>
- 9-13 septembre : Annual Meeting (European Optical Society) - *Naples, Italy* - [topical meetings and sessions](https://topicalmeetingsandsessions)

Membre de l'EOS (European Optical Society)

**Mars
2024**