



Institut national de physique nucléaire  
et de physique des particules



## Prospectives IP2I 2022: Astroparticules

*Jérôme Margueron, Patrice Verdier*  
*Lyon – June 30<sup>th</sup>, 2022*

Les projets “astroparticules” (au sens GT04) s’inscrivent dans les programmes scientifiques suivants:

- **GWDD** La détection des Ondes Gravitationnelles
  - **HECR** La nature et l’origine des rayons cosmiques de haute énergie
  - **HEGA** L’origine des gammas de haute énergies
- } IP2i

**En liens étroits avec d’autres programmes scientifiques, notamment en cosmologie:**

- **PTFI** Les tests de précision des interactions fondamentales
- **NMFU** Evolution stellaire et origine des éléments
- **NUMM** L’origine, la nature, les masses et le mélange des neutrinos
- **DENP** Les propriétés de l’énergie noire
- **ICMB** L’Inflation et rayonnement cosmique micro-onde
- **DMDD** La détection directe de Matière Noire

**Ainsi que les programmes de développement technologiques:**

- **ITIN** Les techniques innovantes en instrumentation
- **CAIF** Les architectures et Infrastructures pour le Calcul
- **DCAP** La science des données et du calcul, les algorithmes et la programmation

## Science Drivers:

- Use gravitational waves as a new tool to explore the universe and its fundamental laws
  - Pursue the physics associated with high-energy messengers: origin, composition and propagation
- + Probe extreme (astro)physical phenomena with multi-messenger observations

## Program Wide Priorities

Pursue a scientific program to address the three science drivers

Support theoretical work as the underlying tool for interpretation and progress

Develop French DM experimental and theoretical exchanges

Develop exchanges among the French GW, cosmology and theoretical communities

Raise up to the promises and challenges of time-domain multi-messenger astronomy

Maintain a program of smaller contributions to projects relevant for multi-messenger and astroparticle physics strategies

## Project Specific Recommendations

Complete CTA as planned

Complete the Advanced Virgo + upgrade and support the Einstein Telescope initiative

Support the development of LISA

Complete KM3NeT/ARCA as planned

Complete the AugerPrime upgrade and define a path forward in UHECR physics

## Les MP "astroparticules":

- GWDD Virgo, LISA
- HECR AMS, AUGER
- HEGA HESS, Fermi, CTA, SVOM, Athena

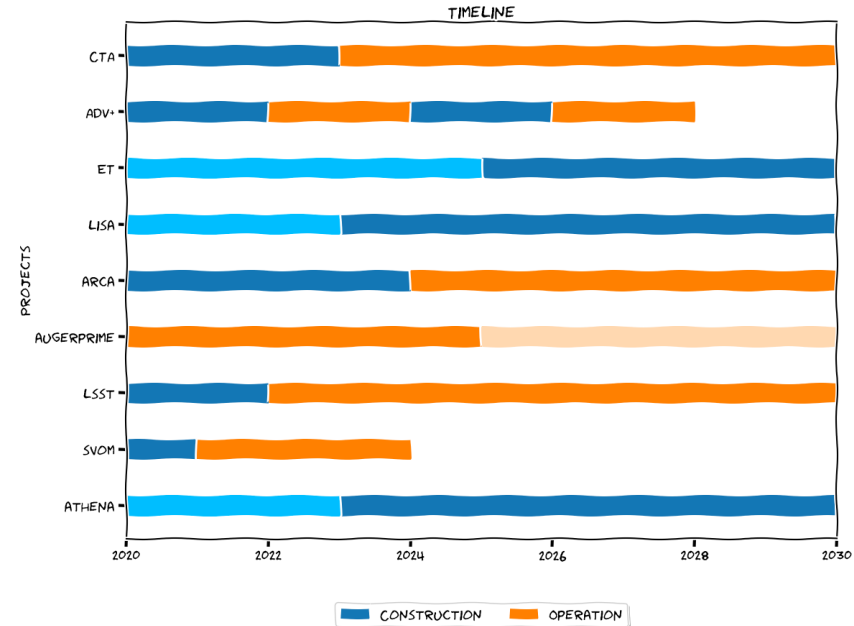
Pas d'engagement sur les expériences de détection des neutrinos de très haute énergie : KM3Net/Arca, IceCube [NUMM]

Projets Européens pour la physique multimessagers :

notamment AHEAD2020 pour la science et ESCAPE pour l'infrastructure et les outils "Data & Computing"

## A l'IP2i, le domaine "Astroparticules", c'est:

- Le LMA qui fournit depuis 30 ans des contributions essentielles (couches minces, optiques) aux programmes mondiaux (Virgo, LIGO, KAGRA) de détection des OG: Forte implication dans les programmes d'upgrade de Virgo (AdvVirgo+ phase 1 & 2)
- Depuis 2019, une équipe OG s'est formée pour la recherche et l'analyse des coalescences des trous noirs et étoiles à neutrons: Analyse des données du run O3 et préparation du Run O4
- Pour le long terme: Virgo\_nEXT dans la continuité des développements Virgo et comme étape pour préparer le futur projet d'interféromètre au sol de 3ème generation Einstein Telescope



## ASTROPHYSICS

### **Black hole properties**

origin (stellar vs. primordial)  
evolution, demography

### **Neutron star properties**

interior structure, equation of state & properties  
of dense matter, demography

### **Multi-band and –messenger astronomy**

joint GW/EM observations (GRB, kilonova,...)  
multiband GW detection (LISA)  
neutrinos

### **Detection of new astrophysical sources**

core collapse supernovae  
isolated neutron stars (Radio, X, g and GW, FRB, ...)  
stochastic background of astrophysical origin

## FUNDAMENTAL PHYSICS AND COSMOLOGY

### **The nature of compact objects**

near-horizon physics, tests of no-hair theorem  
exotic compact objects, phase transition in dense matter

### **Tests of General Relativity**

post-Newtonian expansion, strong field regime

### **Dark matter**

primordial BHs  
axions, dark matter accreting on compact objects

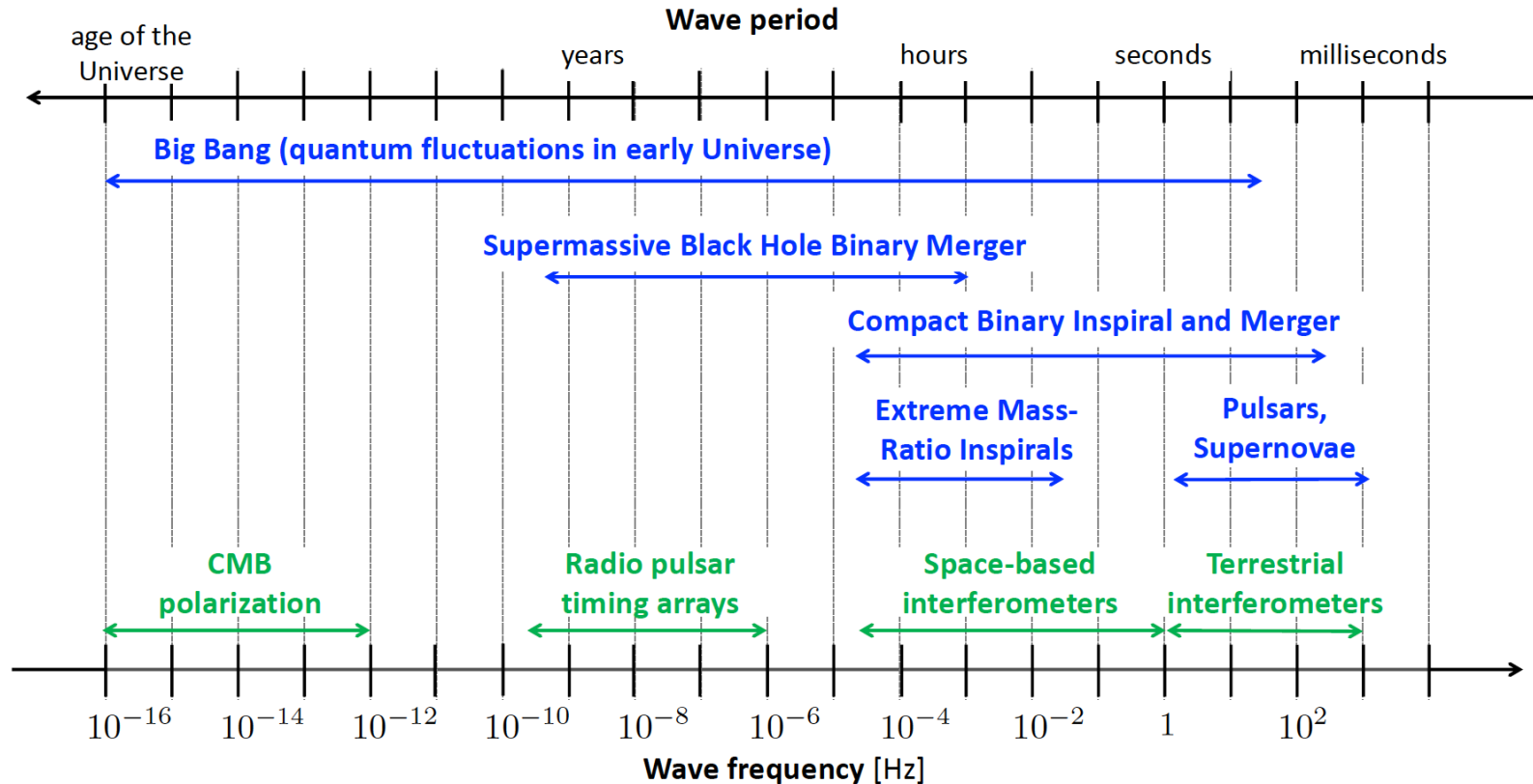
### **Dark energy and modifications of gravity on cosmological scales**

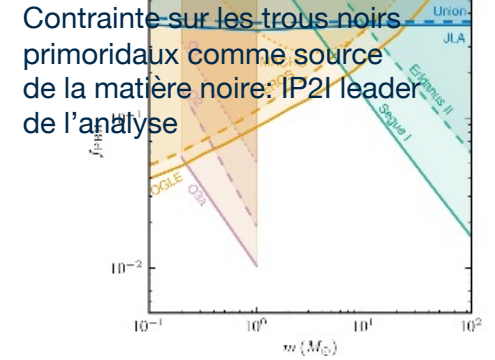
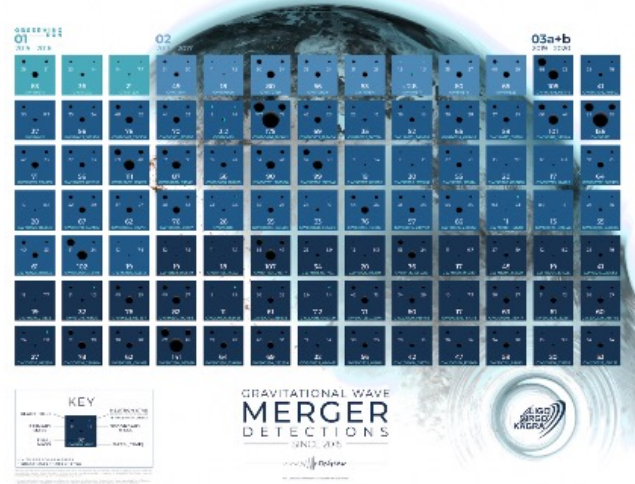
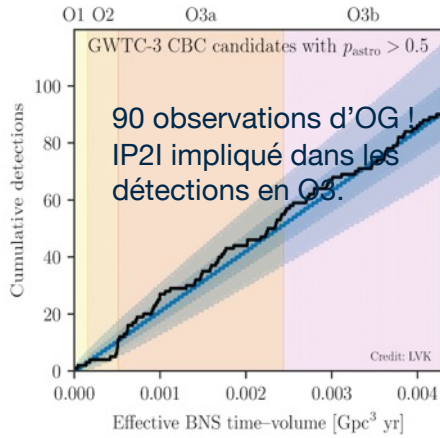
dark energy equation of state,  
modified GW propagation

**Stochastic backgrounds of cosmological origin** inflation,  
phase transitions, cosmic strings

The “unexpected” ?

## Physical phenomenon, Search techniques



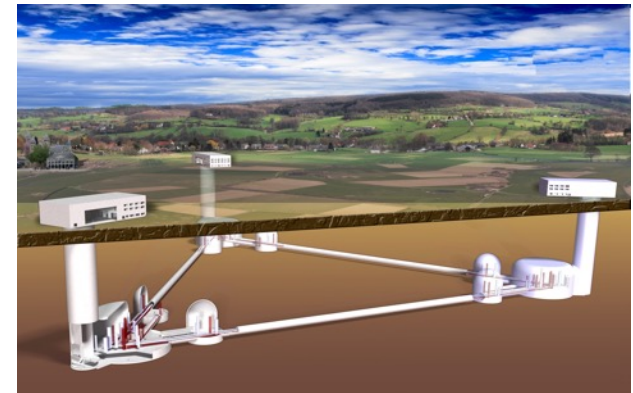


	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>O3</b>	O3							
<b>AdV+ Phase I</b>	Construction and Preparation Phase II		Installation	Commissioning				
<b>O4</b>				O4				
<b>AdV+ Phase II</b>	Construction					Installation	Commissioning	
<b>O5</b>								O5

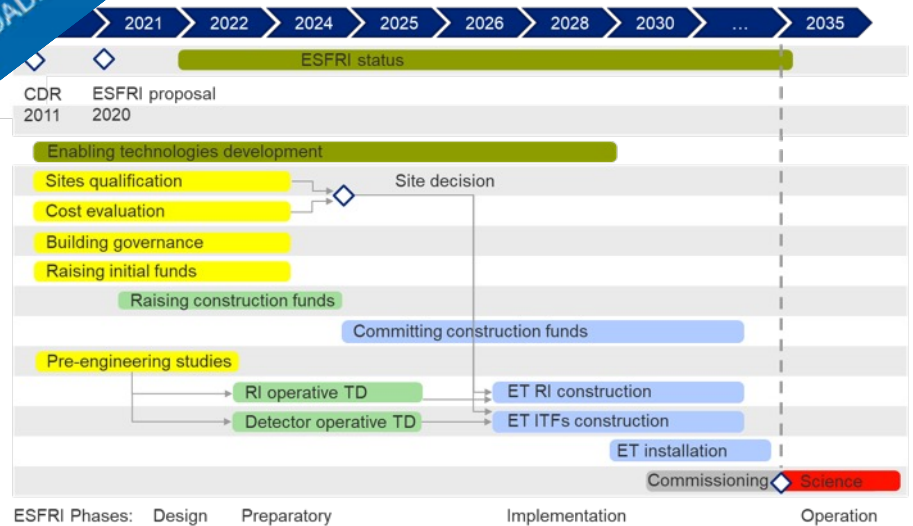
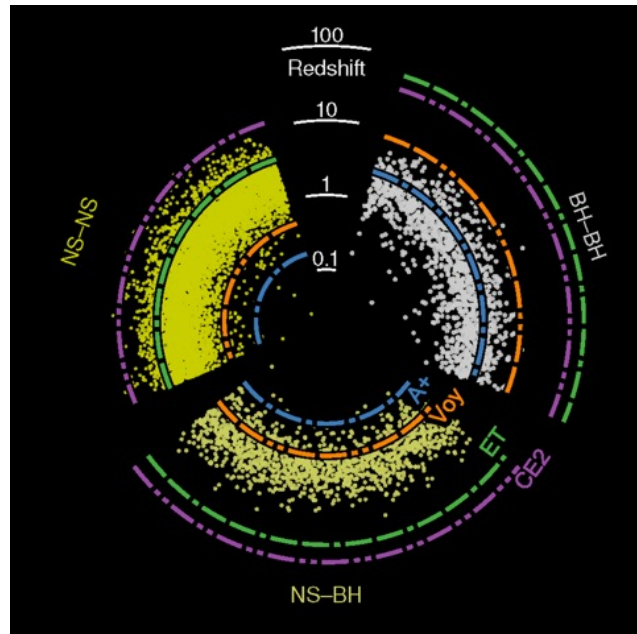
Proposition **VnEXT** pour l'exploitation ultime des capacités d'EGO-Virgo sur la période 2028-2035

**Einstein Telescope** is the project aiming to realize the European 3<sup>rd</sup> generation ground-based GW observatory for ~2035

- A huge improvement in sensitivity compared to nominal sensitivity of 2G interferometers, especially at low frequencies (few Hz – 10Hz)
- High reliability and improved observation capability



\* Tentative schedule





- **Renforcer les contributions à l'exploitation des données scientifiques GW et éventuellement multi-messagers ?**
  - Populations BH et NS, relativité Générale, cosmologie, objets compacts ...
  - Multimessagers: faut il s'impliquer ? High E gamma ? Liens avec LSST ?
  - Renforcer encore plus les liens exp-théorie ? et le CRAL ?
- **Programmes expérimentaux:**
  - **Priorité #1** : compléter le programme d'extension du LMA
  - Implications dans d'autres aspects des upgrades - **via AdvVirgo+ puis la proposition VnEXT comme pathfinder pour Einstein Telescope** : R&D couches minces, substrats cryogéniques, stabilisation laser, ML sur FPGA, data & computing + électronique d'acquisition, simulations lumière diffusée, mécanique, vide et cryo ... ?
  - De nombreuses opportunités, mais moyens limités: important d'être présent dans les projets financés par l'EU (Infradev, Infratech) et de développer les liens avec les partenaires (INFN, Nikhef, Louvain, IFAE, Tokyo, DESY ...)