

Résumé de la journée de discussions sur l'analyse multi-messagers autour des ondes gravitationnelles

8 décembre 2017 au LAL, Orsay

Organisatrice: Sarah Antier - antier@lal.in2p3.fr

Participants: Federico Garcia, Sylvain Chaty, Stéphane Corbel, Volodymyr Savchenko, Didier Verkindt, Chiara Ferrari, Stéphane Schanne, Robert Mochkovitch, Ed Porter, Philippe Laurent, Frédéric Piron, Eric Chassande Mottin, Piera Ghia, Maria Grazia Bernardini, Susanna Vergani, Michel Boer, Frédéric Daigne, Patrice Hello, Cyril Lachaud, Fabian Schüssler, Nelson Christensen, Diego Götz, Benoît Mours, Alexis Coleiro, Arnaud Claret, Bruny Baret, Nicolas Leroy, Marie-Anne Bizouard, Frédérique Marion, Damien Dornic, Lucas Guillemot

Connecté à distance : Nicolas Arnaud, Thierry Pradier, Damien Turpin, Frédéric Piron

1. Introduction

La campagne d'observation des ondes gravitationnelles (O2) s'étant terminée fin août, il est maintenant temps de préparer celle d'O3 (novembre 2018).

L'événement GW170817 a révélé des divergences d'opinions sur la gestion des analyses multi-messagers: l'échange des informations, la centralisation des observations, les publications sont quelques exemples où des améliorations peuvent être apportées. Il fut aussi difficile de faire entendre la voix des astronomes Français impliqués dans les observations de la découverte de GW170817.

Ce rapport s'inspire des discussions qui ont eu lieu durant la réunion de préparation de la prochaine campagne d'observation des ondes gravitationnelles, réunion organisée par l'équipe Virgo du LAL (Orsay) tenue le 8 décembre 2017 (<https://indico.in2p3.fr/event/16783/>, mot de passe: O2O3MM).

Le rapport tente de faire l'état des lieux de l'activité multi-messagers avec les ondes gravitationnelles en France et des ressources possibles pour O3 et à plus long terme.

A court terme, il se focalise sur la prochaine campagne d'observation O3 et se tient en amont d'un workshop Virgo/astronomes prévu à la fin du printemps. Il vise à montrer les possibles synergies des différents groupes pour monter un projet européen multi-messagers avec le soutien notamment de l'ESO/ESA associant aussi bien les voix des physiciens de Virgo que des astronomes. Dans le cas d'appels d'offre où la cohérence des demandes est fondamentale, cela pourrait s'avérer efficace.

2. Paysage multi-messagers français et personnes impliquées dans la campagne O2

Le noyau dur de la campagne O2 regroupe une vingtaine d'astrophysiciens en France. Les FTE correspondants sont par contre assez faibles et de l'ordre de quelques unités. Ce qui est cruellement un point critique.

- ANTARES: M. Ageron (CPPM), B. Baret (APC), A. Coleiro (APC/IFIC Valencia), D. Dornic (CPPM), T. Gregoire (APC), A. Kouchner (APC), T. Pradier (IPHC)
- HESS: F. Schussler (CEA/SPP), M.Arroyo (CEA/SPP).
- Pierre-Auger: P.Ghia (LPNHE).
- Integral: P.Laurent (CEA/APC), V. Savchenko (APC, ISDC/Geneva), F. Lebrun (CEA, APC) E. Jourdain, J.P. Roques (IRAP)
- SVOM: S.Antier, N.Leroy (LAL), A.Klotz (IRAP), D.Turpin (NAOC), B.Cordier (CEA/SAp), C.Lachaud (APC), D.Dornic (CCPM), ...
- GRAWITA: S.Vergani (Obs. Paris), D.Gotz (CEA/SAp), M.G. Bernardini (LUPM)
- TAROT M. Boer (Obs. Nice), A. Klotz (IRAP), R. Laugier, K. Noysena, B. Gendre
- MeerKAT: S.Corbet (AIM), M.Coriat (IRAP), J.Girard (AIM), F.Daigne (IAP), S.Vergani (GEPI)

Dans le paysage multi-messager s'ajoutent

- les physiciens de Virgo France: S.Antier, M-A Bizouard, P. Hello, N.Leroy, F. Robinet (LAL), E.Chassande-Mottin, Ed. Porter (APC), N.Christensen, M.Boer (Obs. Nice), B.Mours, F.Marion, D. Verkindt, Michal Was (LAPP),
- les théoriciens et phénoménologues spécialistes des objets compacts: R.Moskovitch, F.Daigne (IAP), S.Chaty (CEA/APC), J.Gilet (CEA) ...
- les personnes impliquées dans les projets du ciel transitoire: SVOM, KM3NET, CTA, LSST, SKA.
- sans oublier LISA et les groupes théoriciens GR.

3. Visibilité de la communauté française durant la campagne O2 et devenir

L'activité de suivi des ondes gravitationnelles et de l'astronomie du ciel transitoire

- Les membres des groupes français représentent entre 5% et 10% des MoUs signés avec LIGO-Virgo.
- On peut noter que l'expertise française couvre l'ensemble du spectre électromagnétique et multi-messagers (ondes gravitationnelles, neutrinos, photons),
- Certains instruments à maîtrise d'oeuvre française sont peu exploités à long terme par les scientifiques français au niveau des analyses (communauté Pierre-Auger, Integral, ...). D'autres instruments sont aussi peu exploités sur la partie multi-messagers comme Fermi-LAT,

- Le demande de temps ToO pour l'observation par grands télescopes (CHFT, ESO, ...) durant O2 ou les instruments spatiaux est quasi-inexistante,
- La force de frappe française sur la thématique du ciel transitoire/multi-messagers va monter en puissance durant O3 (2018-2019), mais sera encore plus importante au delà de 2020 avec en outre:
 - Le satellite SVOM: unique mission internationale en 2020, pour la détection de sursauts gamma et suivi des sources transitoires en multi-longueurs d'ondes.
 - Le projet KM3Net: un gain en sensibilité d'un facteur 10-20 à basse énergie (10GeV-1TeV), pour ARCA à haute énergie (1TeV-10PeV) un facteur ~50
 - Les projets LSST, CTA et SKA

L'activité de Virgo France

L'activité des ondes gravitationnelles française est pérenne pour au moins une dizaine d'années avec les projets Advanced Virgo, Advanced Virgo+ (2025), l'instrument spatial LISA (2034) et Einstein Telescope. Les groupes français devront rester au coeur de ces développements et de l'exploitation scientifique de ces instruments.

Les thèmes de recherche en analyse de données des groupes français sont très variés: recherche des systèmes binaires d'objets compacts, recherche de signaux transitoires d'OG en coïncidence avec un GRB, recherche de signaux transitoires longs, recherche d'OG émises par des cordes cosmiques, recherche du fond stochastique d'OG. Estimation des paramètres des sources transitoires et follow-up électro-magnétique avec par exemple les données des télescopes TAROT complètent le panorama.

4. Thématiques scientifiques reliées au multi-messager avec les ondes gravitationnelles

Multi-messenger science

Below, we define the whole science with gravitational waves connected with others astronomical topics and observations

Population of compact binary mergers

- Stellar mass black-hole populations
 - measurement of the merger rate with LIGO/Virgo
 - consequences on formation scenario (isolated binary or densed environment)
 - comparison between measurement and models predicting very different rates
- Neutrons star mergers
 - populations
 - Tidal effects
- The separation between NS/BH populations
 - Need some detections !

Progenitors of gravitational waves

- Next galactic core collapse supernova and collapsar physics, links with neutrinos detectors and simulation community
- Other exotic sources
- Cosmic sources
- New transient source

Counterparts of gravitational waves

- Enhance targeted search with any external triggers (GRB, FRB, AXP, magnetar flares, core collapse supernovae)
 - Goal: To increase the sensitivity of the offline analysis (with timing, location in the sky, nature of the transient)
- Sub-threshold analyses
 - We need filters to select which external trigger, the GW a posteriori should focus on.
 - In radio domain, shape of LC, characteristics and lightening level could help to estimate the mass of the object
- On demand GW follow-up of external triggers (Online info such as duty cycle, BNS range should help)
- Continue searching for EM/neutrinos counterparts of BBH mergers.

Global view of the merger phenomenon/nature of the remnant object

- Post merger studies
 - nature of the final object
 - Remains of the coalescence with X-ray observations (Swift, Chandra, X-MM)
 - Remanent Accretion
- Equation of state of nuclear matter.
 - Energy budget studies
- Associated emissions
 - Macronova
 - Measurement of the rapid wind
 - Early phase
 - Nucleosynthesis

→ Info as soon as possible,

- GRB
 - formation of the jet / particle acceleration studies
 - nature of the afterglow
 - Polarization with radio observations could give key idea of process at play
 - Role of radio and X observations (=> long term follow-up).
- Testing the different physical models
- Statistics need to disentangle intrinsic diversity / geometric diversity (orientation ...).

Fundamental physics and cosmology

- Measure of H0 (GW+redshifts needed+galaxies catalogue)

- Celerity of GW (GW+GRB+ others ?)
- Lorentz Invariance Violation (GW, GRB, neutrinos)
 - For this study, the GRB should be 5 times further
 - Needs of the time delay between GRB and GW, and the distance
- Neutrino masses (GW/GRB/Optics + neutrinos)
- microlensing primordial black holes

No transient physics

- Merger remnant object might be detected as a persistent source of GWs
- Composition of a detected stochastic background: how to measure each transient source contribution to the background

5. Organisation de la campagne d'observation O3 et de la gestion des alertes

Evolution du réseau de diffusion des alertes ondes gravitationnelles

Pour LIGO/Virgo O3, sont en cours de discussion et de validation

- Alertes publiques ou alertes privées via des MOUs.
- Virgo entièrement intégré dans la chaîne de detection, localization de la source et validation de la détection.
- Réduction de la latence des alertes
- Consolidation de la chaine online d'analyse et d'alertes.

Dissemination of the alert and data exchange (issus des groupes de travail)

Alert policy

- Open data policy is easier for managing the global network
 - part of the astronomers support the model used by the GRB community with all information public
 - Nevertheless, GRB science started 20 years ago and the scientific subjects have been clearly defined inside the gamma-ray burst group. GW astrophysics is a new activity started only 2 years ago and is supported at first by LVC collaboration (> 1000 persons).
 - Fear of one-way informations
 - Some of former MoUs will not be allowed to transmit the information to the community in case of public policy
- Classic MoUs (a la O2) should be acceptable for O3
- LVC core physics is a first priority for LVC and includes subjects like Hubble constant and Lorentz invariance violation that require em follow-up observations information.
- Do not neglect the long-term follow-up (with revisits)

Automation and lower latency of the LVC alerts

Aggressive requests on latency (< 10 min ? < 1 min ?) should be well motivated. Does very low latency make sense as repointing capacities of telescopes take time ? (=> real scenarios must be set)

One low energy neutrino detector taking data available.

Level of confidence

- FAR associated with a GW event must be well understood by astronomers who can decide to follow or not GW events.
- As more as the number of GW events increase, the filters are necessary
- Each astronomical could follow a certain number of triggers (the number of acceptable follow-up is different regarding space and ground instruments)
- Sub-threshold GW triggers could be consistent with higher confident EM triggers

Informations sent

- Astronomers: Keep at least the same information level at O3
- Are GCN the best reporting tool to use for O3?
 - Use machine readable reports such as VO Events
- Need for a tool to digest GCN informations. Data Base ? Public? Who does the job ?
- Information on the inclination of the binary plane could be used to filter alerts
- GW Source Position updates must be sent as soon as possible.
- Include systematics.
 - possibility to include a systematic enlargement in the early maps ?
- Clarification of the informations send for the astronomers and GraceDB database as astronomers is not a friendly tool but at least exhaustive informations

BNS events

- Less pressure for O3 due to the BNS discovery in O2

Relation with the rest of the community

- Practice behaviour
 - Encourages the LVC to send the strict (and necessary) informations required for the best follow-up
 - LVC could suggest MoUs with more strict rules to avoid their dissatisfaction
- Publications
 - Interpretation is not in the same timeline than prompt observations and collection of data. In this sense, joint EM/GW significant results and long-lived cited papers should not be neglected.
 - Delay for scientists working in the interpretation part is OK. Nevertheless, private informations inside the LVC should not be delivered to “privilege” outsiders experts during the observation/follow-up and LVC publication sequence

6. Pistes de réflexion pour l'avenir : organisation de la communauté française

Le panorama français pour O3

Projet	2018-2019	2020 +
LIGO/Virgo [1]	Three-detector network with BNS range of Virgo at 65 Mpc and H1/L1 at 120-140 Mpc.	Three-detector network with H1L1 at full sensitivity of 190 Mpc and V1 at 65 – 115 Mpc, later increasing to design sensitivity of 125 Mpc.
Pierre Auger		
Fermi-LAT	ToO program	extended up to 2021
ANTARES/KM3Net	<ul style="list-style-type: none"> end 2018: ANTARES decommissioning (TBC) KM3Net-ARCA (Q1 2019): 1st lines in operation KM3Net-ORCA: 4 lines mid 2018 (8-10 lines by the end of 2018) 	Full KM3Net instrument operational
HESS/CTA	HESS: ToO plans, decision early 2018 CTA: LST first light in 2018, MST mid-2019	2022: Full CTA in operation
INTEGRAL	ToO program	
SVOM	<ul style="list-style-type: none"> GWAC= 5000 deg² at 16 mag Robotics 60 cm at 19 mag 2-m telescope with spectro/photometry Alert network developed by SVOM 	2020: French ground follow up 1.3-m telescopes with near-infrared sensitivity 2021: SVOM satellite with gamma-ray trigger camera (ECLAIRs), gamma-ray monitor (GRM), X-ray follow-up telescope (MXT), visible follow-up telescope (VT)
TAROT	TZAC Network 25cm Chile, 25cm France, 18cm Reunion, 1m Australia	TZAC Network (6 telescopes), 25cm Algeria, 25cm Tahiti, Additional (2 telescopes) , 50 cm France
Radio CF Corbel	<ul style="list-style-type: none"> Nançay decimetric radio telescope at 1.4 GHz VLBI (ToO program ?) MeeKAT/SKA 	

[1] Abbott et al, "Prospects for Observing and Localizing Gravitational-Wave Transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA", <https://dcc.ligo.org/LIGO-P1200087/public>

Projet National: actions à court terme (O3)

Ci-dessous quelques actions prises durant la réunion du 8 décembre 2017.

- Création d'une liste de diffusion propre au multi-messager incluant l'ensemble des membres de Virgo France ainsi que les astrophysiciens désireux de rejoindre

l'aventure multi-messagers intitulée GWMM-L@in2p3.fr. Cette liste est gérée par N. Leroy

- Projet de demandes de temps d'observation pour la thématique de l'analyse multi-messagers (et éventuellement plus largement pour le suivi du ciel transitoire incluant les sursauts gamma). Les français porteurs de la proposition seront les astrophysiciens du ciel transitoire ainsi que certains membres de Virgo France. Sont envisagées à ce stade:
 - Demande de temps XMM-Newton : deadline octobre 2018, point de contact D.Gotz (CEA) pour premier semestre 2019
 - **Demande de temps Chandra: deadline mars 2018 ?**
 - Demande de temps CFHT: deadline mars/ 2018, point de contact M.Boer (Obs. Nice), pour premier semestre 2019
 - Demande de temps possible pour les télescopes de l'ESO: deadline fin mars 2018; point de contact (Sylvain Chaty) : deadline octobre 2018/mars 2019. Cette demande peut-être effectuée conjointement par les équipes "européennes" du suivi des ondes gravitationnelles et impliqués dans le projet Virgo.
 - **Demande de temps VLBI ? (point de contact Eric Chassande-Mottin)**

Quelques pistes avec un support européen ?

Autres pistes à considérer pour les prochaines campagnes et l'activité du ciel transitoire:

- La gestion des alertes est un point crucial pour l'avenir avec l'augmentation du réseau d'interféromètres, et l'arrivée de nombreux projets du ciel transitoire LSST, SKA et SVOM dans une moindre mesure...
 - A courte échéance, une liste de diffusion (fait), voire un wiki commun hébergé par l'IN2P3 comme proof of concept (POC) ?
 - La refondation de l'échange des informations avec un réseau de dissémination des alertes plus robuste que le système GCN, et une collection automatisée des résultats (base de donnée).
 - Les groupes Français impliqués dans le suivi des alertes gravitationnelles, des sursauts gamma et plus généralement du ciel transitoire pourraient se coordonner pour disposer d'outils communs et faciliter l'accès aux instruments de suivi.
 - La France (via le CC-IN2P3) pourrait tirer profit de son expertise dans la gestion et le stockage des grandes quantités de données. A ce titre, l'activité multi-messagers pourrait demander de façon coordonnée à court terme
 - du temps de calcul pour les analyses de l'ensemble des expériences, les modèles liés à l'interprétation des résultats (à noter que les demandes de Virgo au CC-IN2P3 couvrent une grosse partie des analyses multi-messagers effectuées par des membres de Virgo).
 - stockage des données d'un plus grand nombre d'instruments
 - le système de génération des alertes (SMS, ...)
 - la sécurisation des données
 - Le projet Virgo a développé en amont certains outils spécifiques au suivi des ondes gravitationnelles et de la caractérisation des sources transitoires. Ces

activités communes pourraient être fusionnées en un grand projet commun européen du ciel transitoire

- Le développement des recherches d'analyses en coïncidence avec les ondes gravitationnelles seront poursuivies (triggers neutrinos, triggers GRB, radio, ...)
- La mise en commun d'outils développés par les différents projets avec une thématique ciel transitoire (ex SVOM) comme la gestion des événements ou les analyses "sub-threshold". Ces développements pourront aussi s'appuyer sur l'expertise du centre de données de Strasbourg ou l'utilisation de catalogues de galaxies proches réalisés par certaines équipes françaises (pour améliorer le suivi des alertes GWs)
- L'implication plus marquée des théoriciens français ne faisant pas partie de projets d'observation dans la séquence d'interprétation sous la forme de "short author lists papers"

Leader-ship du projet national et prochains meetings

Quels groupes sont les moteurs de l'activité multi-messagers en France ?

- Les chercheurs français de la collaboration Virgo sont les premiers concernés par le multi-messagers. Ils ont connaissance de la problématique de part leur expérience et peuvent s'appuyer sur la collaboration LIGO-Virgo avec entre autre un groupe entièrement dédié à la gestion des analyses multi-messagers. En revanche, les groupes français sont très impliqués sur d'autres sujets d'analyses, en lien avec les analyses multi-messagers, mais pas seulement. Le problème des forces humaines limitées est à prendre en compte. Ils ne peuvent soutenir l'activité multi-messagers sans l'accord et le soutien d'une communauté plus large.
- PNHE. Le bureau représente un large pannel de l'activité du ciel transitoire, possède un financement pour des activités transversales (bien que modeste). Il pourrait renforcer son action dans la thématique de l'astronomie multi-messagers avec les ondes gravitationnelles (mais aussi les neutrinos).
- GDR Ondes gravitationnelles. Ce groupement de recherche, bien que jeune pourrait appuyer l'activité multi-messagers en France, de part sa thématique centrée sur les ondes gravitationnelles. De plus, il possède aussi son propre financement.
- Les Labex et les Idex qui peuvent financer des activités multi-messagers inter-labos (ex: P2IO (LAL, Irfu, LLR), UnivEarthS (APC, Irfu), OCEVU (LUPM, IRAP), ...).

Ateliers français liés au multi-messagers

- Workshop sur l'astronomie du ciel transitoire PNHE et Paris-Sud organisé par le LAL (Orsay) en juin 2017: compte rendu et liste des actions disponibles.
- Workshop PNHE "Transitoire 2018" sur la thématique du multi-messager en juin 2018 au LUPM.
- Discussion sur le multi-messagers avec les neutrinos à Marseille (fin 2018).
- Workshop ESO 31/01 and 1/02/2018
- Réunions entre les astronomes et les collaborations LIGO/Virgo en 2018 à la fois aux USA et en Europe.

