

Le ciel transitoire et le réseau TS2020

Auteur principal

Nom : **Frédéric Piron**

Institution : Laboratoire Univers et Particules de Montpellier (LUPM), CNRS/IN2P3

Courriel : piron@in2p3.fr

Téléphone : 04 67 14 93 04

Co-auteurs

- N. **Leroy**, LAL, CNRS/IN2P3
- C. **Lachaud**, A. **Coleiro**, S. **Antier**, V. **Van Elewyck**, S. **Pita**, A. **Kouchner**, É. **Chassande-Mottin**, APC, CNRS/IN2P3, Université de Paris
- D. **Dornic**, V. **Bertin**, P. **Coyle**, E. **Kajfasz**, CPPM, CNRS/IN2P3
- B. **Mours**, T. **Pradier**, IPHC, CNRS/IN2P3, Université de Strasbourg
- J. **Peloton**, F. **Robinet**, M. **Moniez**, LAL, CNRS/IN2P3
- F. **Marion**, L. **Rolland**, D. **Verkindt**, LAPP, CNRS/IN2P3
- J.-P. **Lenain**, O. **Martineau**, LPNHE, CNRS/IN2P3, Sorbonne Université
- J. **Bregeon**, LPSC, CNRS/IN2P3
- J. **Cohen-Tanugi**, A. **Marcowith**, M. **Renaud**, LUPM, CNRS/IN2P3, Université de Montpellier
- C. **Sauty**, LUPM/LUTH, CNRS/IN2P3/INSU
- M. A. **Bizouard**, M. **Boer**, N. **Christensen**, ARTEMIS, CNRS/IN2P3/INSU, OCA
- A. **Lamberts**, Laboratoires Lagrange/ARTEMIS, CNRS/INSU, OCA
- F. **Daigne**, K. **Kotera**, IAP, Sorbonne Université
- D. **Porquet**, LAM, CNRS/INSU, CNES, Université d'Aix-Marseille
- C. **Boisson**, H. **Sol**, S. **Vergani**, A. **Zech**, Observatoire de Paris, CNRS/INSU
- S. **Chaty**, A. **Claret**, D. **Götz**, F. **Schüssler**, IRFU, CEA Paris-Saclay

1 Introduction

L'astronomie du ciel transitoire et variable connaît un contexte très favorable, avec l'éclosion récente de l'astronomie multi-messagers et la perspective d'un afflux important de données à l'horizon 2020. Le 17 août 2017, la détection par LIGO-Virgo d'un signal d'ondes gravitationnelles émis par la fusion de deux étoiles à neutrons, et son association avec le sursaut gamma court GRB 170817A et la kilonova AT 2017gfo, ont marqué le début d'une ère nouvelle pour l'étude du ciel transitoire. La formidable campagne d'observations multi-longueurs d'onde et multi-messagers qui a suivi cette détection d'ondes gravitationnelles illustre l'exceptionnel potentiel scientifique de cette nouvelle astronomie [1]. Les informations transmises par les ondes gravitationnelles d'une part et le suivi électromagnétique d'autre part sont par exemple très complémentaires, et permettent de disséquer en détails un phénomène aussi extrême et d'en améliorer la compréhension physique. Les implications touchent aussi aux tests de la physique fondamentale (vitesse des ondes gravitationnelles relativement aux

photons, contraintes sur les effets éventuels de violation de l'invariance de Lorentz, tests du principe d'équivalence, sonde de l'équation d'état de la matière dense) ou à la cosmologie (e.g., mesure de la constante de Hubble).

De nombreuses observations se sont déroulées durant la prise de données (O3) de LIGO-Virgo débutée en avril 2019, qui a déjà permis de découvrir environ quarante nouveaux candidats d'ondes gravitationnelles en six mois. Ces observations ont mobilisé un nombre formidable de détecteurs et télescopes au sol comme dans l'espace, et ont très bien montré les défis de cette nouvelle astronomie, liés en particulier à la nécessité de réagir très rapidement et efficacement à des alertes imprévisibles. Même si l'étude d'un type de source en particulier doit s'adapter à celle-ci, par exemple en prenant en compte ses échelles de temps caractéristiques, la problématique de l'observation sur alerte est en effet commune à toute l'astronomie du ciel transitoire.

Cette astronomie du ciel variable et transitoire concerne de très nombreux thèmes scientifiques qui sont au coeur du périmètre "Astroparticules et Cosmologie" de l'IN2P3. Nombre de sources astrophysiques qui accélèrent les particules et émettent à haute énergie sont en effet très variables ou intrinsèquement transitoires. On peut penser à tous les phénomènes liés à l'accrétion et l'éjection autour d'un objet compact (étoile à neutrons, trou noir stellaire ou supermassif) et encore plus aux phénomènes cataclysmiques qui donnent naissance à ces objets compacts : effondrement gravitationnel des étoiles massives et coalescences des systèmes binaires, ou, pour les trous noirs supermassifs, une succession d'effondrements, coalescences et phases d'accrétion qui reste à identifier.

La nouvelle décennie qui s'annonce verra le démarrage de nouveaux instruments au sol et dans l'espace qui permettront une étude multi-longueurs d'onde et multi-messagers inégalée du ciel variable et transitoire. La mise en service de ces instruments renforcera le réseau planétaire de détecteurs d'ondes gravitationnelles (Advanced Virgo - Advanced LIGO). Par ailleurs, la nouvelle génération de détecteurs de neutrinos de haute énergie (KM3NeT, IceCube) élargira dans quelques années notre vision des phénomènes cosmiques très énergétiques, sites privilégiés pour l'accélération de particules de haute énergie, comme l'a montré l'association probable du neutrino IceCube-170922A avec la flambée en rayons gamma du blazar TXS0506+056 [2]. En tant que fournisseur d'alertes électromagnétiques, l'observatoire multi-longueurs d'onde sino-français SVOM [3] jouera un rôle central dans l'essor de la discipline, en étant d'une part principalement dédié aux phénomènes transitoires (sursauts gamma en particulier) et en proposant d'autre part plusieurs instruments de suivi au sol et dans l'espace en réaction à ses propres alertes ou à des alertes extérieures. Après de nombreuses années de recherche, l'émission à très haute énergie de trois sursauts gamma a été détectée très récemment par les télescopes Cherenkov H.E.S.S. et MAGIC, confirmant ainsi les prédictions les plus optimistes pour la prochaine génération de ces instruments, en particulier CTA [4]. De manière générale, le domaine bénéficiera également de moyens croissants pour le suivi sur alerte depuis le sol, avec le développement de télescopes robotiques et la mise en place de programmes d'observation auprès des plus grands télescopes. Enfin, l'astronomie photonique du ciel transitoire connaît une évolution sans précédent, avec l'avènement prochain de télescopes et d'observatoires tels que SKA [5] et LSST [6], qui offriront une sensibilité et une cadence inégalées.

2 Le réseau national “Transient Sky 2020”

2.1 Objectifs

Du fait des défis considérables que poseront les futures observations multi-messagers et multi-longueurs d'onde du ciel transitoire, l'initiative “Transient Sky 2020” (TS2020 ci-après) initiée en 2017 a pour objectif de fédérer les acteurs français de cette astronomie en pleine mutation, et d'engager les actions nécessaires au développement et à la coordination de cette discipline au niveau national. La communauté française est en effet très active dans le domaine, et le réseau TS2020 comprend près d'une centaine de membres à ce jour.

La problématique de l'étude de phénomènes variables ou transitoires se retrouve dans de nombreux champs de l'astrophysique et il nous paraît pertinent d'inciter les différentes communautés concernées à se rencontrer régulièrement, pour bénéficier du retour d'expérience des projets déjà bien avancés, pour identifier des outils existants ré-utilisables, ou des outils transverses qu'il est nécessaire de développer (voir la section 2.3). Par ailleurs, lorsque l'étude d'un phénomène passe par l'observation multi-longueurs d'onde et/ou multi-messagers, il est aussi très utile de favoriser des discussions entre les différents groupes concernés pour avoir collectivement une meilleure connaissance des caractéristiques et des contraintes des différents instruments accessibles.

2.2 Les ateliers TS2020

Avec le soutien du Programme National Haute Energie (PNHE), le réseau TS2020 a organisé trois ateliers nationaux inter-disciplinaires entre 2017 et 2019 autour de l'étude du ciel transitoire et variable, pour rassembler les chercheuses et chercheurs concernés aux CNRS/IN2P3, CNRS/INSU et CEA/Irfu, faire le lien entre les différentes grandes collaborations et consortia scientifiques impliqués, présenter les questions scientifiques en jeu, échanger sur les moyens de suivi, d'analyse et d'interprétation. Jugés très fructueux et rassemblant une cinquantaine de participants à chaque édition, ces ateliers ont également permis des discussions entre observateurs et théoriciens / modélisateurs, dans le but de favoriser le meilleur retour scientifique possible des campagnes d'observation. Le lecteur trouvera les liens vers les sites internet et les comptes-rendus de ces ateliers en section 4.

Le premier atelier TS2020 qui s'est tenu à Orsay (LAL) en juin 2017 a dressé un panorama des instruments futurs dans lesquels la communauté française est impliquée, et abordé les thématiques scientifiques et les problématiques observationnelles. Le deuxième atelier qui s'est tenu à Montpellier (LUPM) en juin 2018 s'est focalisé sur la problématique des alertes. Après un examen des besoins techniques au regard des objectifs scientifiques recherchés, l'atelier a approfondi la question du contenu des alertes, de leur classification et de leur diffusion, en particulier pour les instruments les plus prolifiques. Il a abordé les outils existants ou à développer pour la gestion des données d'alertes (agrégation des données et visualisation, aide à la décision, archivage).

Le troisième atelier TS2020, qui s'est tenu à Paris (APC) en septembre 2019, portait sur les questions scientifiques, les contraintes de suivi liées à l'astronomie des phénomènes variables ou transitoires, et les projets d'instruments à venir. L'atelier se déroulant au milieu de la campagne de prise de données O3 de LIGO-Virgo, il fut aussi l'occasion d'un premier bilan, en

particulier des efforts mis en place depuis O2 par la communauté française pour une meilleure implication dans le suivi électromagnétique des alertes ondes gravitationnelles. Lors de la discussion finale, il a été décidé d'organiser un nouvel atelier national au printemps 2020, pour échanger sur les développements en cours de nouveaux outils pour l'astronomie sur alerte et sur leur interopérabilité (voir la section suivante).

2.3 Nouveaux outils pour l'étude du ciel transitoire

Dès 2017, les membres du réseau TS2020 ont identifié la nécessité de contribuer au développement d'outils communs pour la gestion des alertes et l'optimisation des observations de suivi. Le premier objectif consistait à recenser les informations existantes sur les alertes des différents instruments (LIGO-Virgo, KM3NeT, CTA, LSST, etc) et à identifier les attentes de la communauté française. A l'instar du travail mené dans le cadre de la préparation de la prise de données O3 de LIGO-Virgo, il s'agissait notamment de collecter les suggestions d'ordre scientifique (contenu des alertes) ou technique (format, outils de classification, protocoles de diffusion / réception) pouvant être proposées aux équipes qui produiront ces alertes, dans le but d'améliorer leur adéquation aux objectifs scientifiques recherchés.

Le deuxième objectif du réseau TS2020 est de suivre le développement d'outils de classification des alertes en amont. Le cas d'étude à l'interface entre LSST (qui génèrera de très nombreuses alertes chaque nuit) et SVOM (qui ne pourra en suivre que très peu chaque jour) a notamment fait l'objet de plusieurs discussions. Lors du troisième atelier, l'initiative française Fink de développement d'un "broker" a ainsi été présentée, dont l'objectif est d'ingérer les alertes de LSST dans le futur et de les présenter à un algorithme de filtrage dédié, qui reste à développer en coordination avec l'ensemble des communautés engagées dans l'astronomie sur alerte (pour plus de détails voir la contribution dédiée de ce "broker" à la prospective du GT04).

Le troisième objectif du réseau TS2020 est de favoriser les échanges sur les outils logiciels existants ou à développer pour la gestion des données d'alertes et de suivi (agrégation des données en provenance de plusieurs instruments, visualisation, archivage), et pour l'optimisation des observations (aide à la décision, planification et coordination des balayages de boîtes d'erreur, etc). Les ateliers TS2020 ont permis de faire connaître à la communauté intéressée certains outils développés au Centre de Données astronomiques de Strasbourg ainsi que des exemples concrets de planification d'observations de suivi (outils de type "Target Observation Managers" ou TOM) et de coordination des balayages de boîtes d'erreur. On peut citer ici le réseau GRANDMA de télescopes dédié au suivi des alertes LIGO-Virgo dans le visible (avec une très forte contribution française), et le système ICARE sur lequel il s'appuie (ainsi que SVOM à terme) pour la gestion des alertes et la coordination des plans d'observation. Enfin, plusieurs membres de l'"International Virtual Observatory Alliance" ont participé aux ateliers, permettant d'inscrire l'initiative TS2020 dans un cadre plus large et de tenir ses membres informés des développements en cours au niveau international pour en bénéficier autant que possible.

3 Attentes vis-à-vis de l'IN2P3

Depuis plusieurs années la communauté française intéressée par l'étude du ciel transitoire s'est organisée et structurée, notamment grâce au soutien du programme national PNHE et au travers de l'initiative TS2020. Cette communauté dispose de nombreux atouts et est très active

dans cette discipline en plein essor. Cependant, elle a constaté le besoin et formule le souhait d'un soutien accru au vu des défis qui l'attendent dans les années à venir, notamment en lien avec les expériences de nouvelle génération dans lesquelles l'IN2P3 est fortement impliqué. Au travers de la présente contribution, les membres du réseau TS2020 souhaitent ainsi que l'exercice de prospective de l'IN2P3 soit l'occasion de rappeler l'importance de la thématique du ciel transitoire et sa pertinence au sein de l'IN2P3, en particulier la problématique des observations multi-longueurs d'onde et multi-messagers sur alerte.

Afin de maximiser le retour scientifique des instruments et expériences étudiant le ciel transitoire, et d'effectuer un travail de recherche cohérent, il est nécessaire de pouvoir obtenir du temps d'observation et de coordonner les moyens d'observations entre messagers (photons, ondes gravitationnelles, neutrinos) et dans toutes les gammes d'énergie disponibles. La coordination et l'exploitation de toutes les observations nécessitent aussi le développement d'outils communs, accessibles à l'ensemble de la communauté.

Les discussions générales qui se sont tenues lors des ateliers TS2020 ont fait apparaître le souhait fort de la base d'une coordination renforcée entre les tutelles principales que sont l'IN2P3, l'INSU et le CEA/Irfu. En premier lieu, la communauté française du ciel transitoire se heurte à la difficulté du recrutement de très bons candidats aux concours de chercheurs permanents sur cette thématique, difficulté en partie liée au fait que cette dernière se situe à l'intersection des périmètres scientifiques respectifs des différents instituts et qu'elle est parfois considérée comme ne relevant pas de leur cœur de métier ou de leurs missions premières. Ceci est à mettre en regard du nombre important de postes récemment ouverts au concours sur le thème de l'astronomie multi-messagers dans les pays étrangers comme les Etats-Unis, la Grande Bretagne ou l'Italie, et la création d'actions incitatives ou structures nouvelles dans cette discipline [7].

Afin d'accroître la visibilité de la communauté française dans la compétition internationale, les membres du réseau TS2020 souhaitent que soit étudiée la possibilité pour le CNRS de mettre en place une commission interdisciplinaire (CID) incluant la thématique de l'astronomie multi-messagers et du ciel transitoire, sur le même principe que l'ancienne CID 47 qui existait il y a une quinzaine d'années. Cette proposition a aussi été faite dans le cadre de l'exercice de prospective en cours à l'INSU (p.17 du compte-rendu du groupe A et p.2 du compte-rendu du groupe F)¹.

Par ailleurs, les membres du réseau TS2020 suggèrent la création de projets inter-instituts (IN2P3/INSU/CEA) rassemblant les diverses compétences techniques (et s'appuyant sur des centres de calcul tels que le CC-IN2P3) nécessaires au développement de l'astronomie sur alerte. Ceci permettrait de renforcer, de mieux organiser et de valoriser les efforts de développement d'outils communs déjà initiés (voir la section 2.3).

¹ <https://extra.core-cloud.net/collaborations/ProspectiveAA2019/SitePages/Accueil.aspx>

4 Liens et références

- Atelier TS2020-I (<https://ts2020.lal.in2p3.fr/en>) - compte-rendu : pnhe.cnrs.fr/images/reunions/TS2020_rapport.pdf
- Atelier TS2020-II (<https://ts2020II.sciencesconf.org>) - compte-rendu : https://ts2020II.sciencesconf.org/data/program/TS2020_Montpellier_compte_rendu.pdf
- Atelier TS2020-III (<https://indico.in2p3.fr/event/19471>)

Il est difficile de proposer une bibliographie exhaustive sur le sujet de l'astrophysique du ciel transitoire. Néanmoins les références ci-dessous illustrent bien les enjeux scientifiques de ce domaine, en particulier dans le cadre des thématiques couvertes par l'IN2P3 (références 1, 2, 3, 4 et 6). La première référence illustre le formidable potentiel de découverte avec l'exemple du suivi multi-longueurs / multi-messagers de la coalescence d'une binaire d'étoiles à neutrons en août 2017.

- [1] "Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger": ApJL, 848, L12, [astro-ph/1710.05833](https://arxiv.org/abs/1710.05833)
- [2] "Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A", Science 361, 146 (2018)
- [3] SVOM White Paper: [astro-ph/1610.06892](https://arxiv.org/abs/1610.06892)
- [4] Science with the Cherenkov Telescope Array: [astro-ph/1709.07997](https://arxiv.org/abs/1709.07997)
- [5] French SKA White Book: [astro-ph/1712.06950](https://arxiv.org/abs/1712.06950)
- [6] LSST Science Book: [astro-ph/0912.0201](https://arxiv.org/abs/0912.0201)
- [7] G. Allen et al., "Multi-Messenger Astrophysics: Harnessing the Data Revolution", <https://arxiv.org/abs/1807.04780>