

BULLETIN N° 189
ACADÉMIE EUROPEENNE
INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Lundi 3 novembre à 17h Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

ASSEMBLEE GENERALE AEIS

Prochaine séance :

Lundi 1er décembre à 17h Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

1)Conférence:

Les ondes gravitationnelles : "*une nouvelle fenêtre sur l'Univers*"

par Patrice HELLO

Professeur à l'Université Paris Sud

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire à Orsay.

**2) Proposition de création à titre expérimental d'un groupe de discussion AEIS
sur la Toile**

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Pr Victor MASTRANGELO
VICE PRESIDENT : Pr Jean-Pierre FRANÇOISE
SECRETAIRE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
TRESORIER GENERAL : Claude ELBAZ

MEMBRE S CONSULTATIFS DU CA :

Gilbert BELAUBRE
 François BEGON
 Bruno BLONDEL
 Michel GONDRAN

COMMISSION FINANCES: Claude ELBAZ,
COMMISSION MULTIMÉDIA: Pr. Alain CORDIER
COMMISSION EDITION: Robert FRANCK et Pr Pierre NABET
COMMISSION CANDIDATURES: Pr. Jean-Pierre FRANÇOISE

PRESIDENT FONDATEUR : Dr. Lucien LEVY (†)
PRESIDENT D'HONNEUR : Gilbert BELAUBRE
SECRETAIRE GENERAL D'HONNEUR : Pr. P. LIACOPOULOS (†)

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDI
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNIQUES :

CONSEILLERS SPECIAUX:

EDITION: Pr Robert FRANCK
AFFAIRES EUROPEENNES :Pr Jean SCHMETS
RELATIONS VILLE DE PARIS et IDF: Michel GONDRAN ex-Président
RELATIONS UNIVERSITES et MOYENS MULTIMEDIA: Pr Alain CORDIER
RELATIONS AX et MÉCENAT : Gilbert BELAUBRE

SECTION DE NANCY :
PRESIDENT : Pr Pierre NABET

novembre 2014

N°189

TABLE DES MATIERES

p. 03 Compte-rendu de la séance du lundi 3 novembre 2014
 p. 15 Annonces
 p. 17 Documents

Prochaine séance :

lundi 1 er décembre à 17h Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

1)Conférence :

" Les ondes gravitationnelles : une nouvelle fenêtre sur l'Univers"

par Patrice HELLO

Professeur à l'Université Paris Sud

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire à Orsay.

**2) Proposition de création à titre expérimental d'un groupe de discussion
sur la Toile**

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du

Lundi 3 novembre 2014

**Maison de l'AX 17h
ASSEMBLEE GENERALE**

La séance est ouverte à 17h **sous la Présidence de Victor MASTRANGELO** et en la présence de nos Collègues Gilbert BELAUBRE, Jean-Louis BOBIN, Alain CARDON, Juan-Carlos CHACHQUES, Gilles COHEN-TANNOUDI, Ernesto DI MAURO, Françoise DUTHEIL, Claude ELBAZ, Robert FRANCK, Irène HERPE-LITWIN, Antoine LONG, Pierre MARCHAIS, Edith PERRIER, Jean SCHMETS, Jean-Pierre TREUIL.

Etaient excusés François BEGON, Bruno BLONDEL, Jean-Pierre BESSIS, Michel CABANAC, Alain CORDIER, Daniel COURGEAU, Vincent FLEURY, Jean -Pierre FRANCOISE, Michel GONDRAN, Walter GONZALEZ, Gérard LEVY, Jacques LEVY , Valérie LEFEVRE-SEGUIN, Claude MAURY, Pierre PESQUIES, Alain STAHL, Jean VERDETTI.

Représentait la section de Nancy, le Président de la section, Le Pr Pierre NABET en possession de toutes les procurations des membres de la section de Nancy.

Notre Collègue Alain CORDIER qui était venu participer à la commission multimédia a dû s'absenter pour de graves raisons familiales.

LECTURE DES RAPPORTS D'ACTIVITES et MORAUX DES DIVERSES SECTIONS

2013/2014

I. Section de NANCY

1) La section de Nancy est composée de 27 membres cotisants, de 3 membres éloignés et de 4 membres invités non cotisants.

Cette année nous ont rejoints : Le professeur Xavier CASTELL et le Docteur Hamid M'JAHED de Nancy et le Docteur Brahim HAMOUCHE de Metz.

2) Pendant cette année universitaire 2013-2014 nous avons pu entendre les interventions des Académiciens suivants :

--Le 25 octobre 2013, le Professeur Thierry MAY nous a exposé les données actuelles sur les maladies infectieuses émergentes. La planète n'est pas (et ne sera jamais) à l'abri d'une modification génétique d'un organisme préexistant pouvant mener à une pandémie grave. Cependant la mondialisation des réseaux de surveillance et l'évolution de la science rendent peu probable cette hypothèse. De la discussion qui a suivi, il est apparu qu'il y a plus à craindre l'apparition de souches bactériennes multirésistantes à tous les antibiotiques connus. L'OMS en est bien consciente et travaille à

rationaliser l'utilisation des antibiotiques pour éviter ces résistances. Depuis cette intervention , l'épidémie de Fièvre Ebola a pris l'importance que nous connaissons.

-- Le 13 décembre 2013 , le Professeur Arnaud GRUEZ nous présentait les connaissances actuelles sur les organismes dits extrémophiles, c'est à dire pouvant vivre et proliférer dans des conditions extrêmes de température (70 à 95 degrés Celsius) ou de pressions très élevées au fond des océans. Les recherches en ce domaine ne sont pas sans rappeler celles effectuées sur l'existence probable d'une vie interstellaire. C'est de nos jours un sujet de recherche des plus importants. Le professeur GRUEZ rédigera un article sur ce sujet, qui paraîtra dans le livre en préparation .

-- Le 21 février 2014 , le Professeur Ferri BRIQUET nous faisait découvrir ce nouveau langage (ou cette nouvelle écriture) que les jeunes du monde entier utilisent et que les scientifiques des sciences humaines appellent « les Smileys ». Que les jeunes générations inventent des mots pour communiquer plus librement, c'est connu depuis longtemps, mais pour les Smileys , c'est un véritable langage de type idéogramme qui s'est mis en place , stimulé par le transfert rapide de ces messages par les Smartphones , les tablettes ou le net .Ce fut passionnant.

-- Le 25 avril 2014, toujours dans le domaine des sciences sociales, le Docteur Michel NABET nous présentait un travail sur « la pensée post-moderniste et ses implications dans la vie de tous les jours ». Partant du constat que , malgré des espoirs (espoirs fous pourrait-on dire), le siècle des Lumières (la raison) non seulement n'a pas apporté le *Bonheur* à l'homme, mais a permis aux pires atrocités comme le nazisme, les camps d'internement, des génocides.....d 'exister. Plusieurs penseurs ont proposé alors, la déconstruction de chaque parcelle de notre vie et de notre pensée, pour reconstruire quelque chose d'autre plus valable , laissant ainsi un monde sans base forte. On a bien vu comment, entre les deux guerres avec l'aventure du dadaïsme, de telles pensées pouvaient faire long feu, car heureusement l'homme a d'autres ressorts en lui. La discussion fut vive.

Enfin, le 13 juin 2014, le Docteur Hamid M'JAHED, Physicien, chercheur CNRS à l'Institut Jean LAMOUR, nous a parlé de ses travaux scientifiques et en particulier des microcapteurs qu'il a développés. Les MEMS, les NEMS, voir les MOEMS (si j'ose dire) ou encore les SAWS, autant de microcapteurs aux performances étonnantes, sans piles pour fonctionner et sans fils pour pouvoir communiquer. Bon , a tendance à dire le béotien qui entend tout cela , heureusement que ces chercheurs restent dans leurs laboratoires . Vous n'y êtes pas, ces microcapteurs sont déjà dans notre vie de tous les jours et modulent celle-ci de façon considérable : Smartphones pouvant aller jusqu'à faire des dosages sanguins et envoyer les résultats au centre de référence lointain, voiture contrôlée en permanence et même pilotée, ou station spatiale pour laquelle l'Académicien H. M'JAHED à conçu un capteur de température pouvant mesurer 400 ° C. avec une précision de plus ou moins 0,001° C . Et nous sommes tous un peu fiers d'apprendre que cela se fait à NANCY , à l'Institut Jean LAMOUR où des équipements exceptionnels ont été mis en place. Ça doit être dit.

3)Programme prévu pour 2014/2015 :

Le 24 /10/2014 le Dr. Nguyen TRAN nous présentera les résultats étonnants de ses recherches sur la régénération du cœur en insuffisance par repos métabolique.

Le 12/12/2014 le Prof. Pierre BRAVETTI nous parlera de l'Anatomie Philosophique.

Le 20/02/2015 le Prof. Yves GRANJON nous présentera ses idées sur le sujet : « Quelle Université demain ? »

Le 24/04/2015 le Prof. Bruno DEFFAINS présentera ses recherches dans le domaine « le droit comme facteur de développement économique » On connaît l'importance de la recherche française en économie avec l'attribution du dernier Prix Nobel dans cette discipline.

Le 26/06/2015 Monsieur Claude VAUTRIN , journaliste, présentera « Le métier de grand reporter » qu'il a été.

4) Production de l'AEIS et des Académiciens

Il faut, cette année 2014, noter deux manifestations marquantes :

--Dans la semaine du 24 au 29 mars 2014 , l'Académicien Nguyen TRAN, responsable opérationnel de l'École de Chirurgie de NANCY, organisait, avec le Professeur BRESSLER, la Semaine Européenne de Simulation Robotique Chirurgicale. Le succès fut impressionnant avec plus de 450 inscrits venant du monde entier pour manipuler sur des robots que seule l'École de Chirurgie de NANCY peut mettre à dispositions des jeunes chirurgiens .Toutes les disciplines de la chirurgie étaient concernées.

Pendant cette même semaine, Monsieur N. TRAN avait organisé la première Journée Internationale de « Biomimicry and Cardiac Surgery » . Cette journée était placée sous l'autorité de l'AEIS Nationale et le Professeur V. MASTRANGÉLO , en assurait la Présidence. Lors de cette journée, l'Académicien N. TRAN a présenté la maquette du cœur artificiel implantable original pour lequel il vient de déposer un brevet.

-De même, l'Académicien Olivier KLEIN, organisait les 14 et 15 Juin derniers, le colloque 2014 de la Société Française de Neurochirurgie Pédiatrique, avec plus de 40 participants. Les conclusions ne sont pas encore disponibles, mais nous ne manquerons pas de nous en faire écho.

-l'AEIS section de NANCY a participé activement à la préparation et à la tenue de deux colloques organisés à PARIS par l'AEIS Nationale :--*Formation des systèmes stellaires et planétaires ;conditions d'apparition de la vie* pour lequel NANCY apporte son concours pour la réalisation de sa publication .

-*Ondes, matière et univers* pour lequel NANCY apporte son concours à l'organisation de la journée dédiée à la Mécanique Quantique en Biologie.

5) Nous sommes bien conscients d'être redevables à Messieurs les Maires de NANCY, Le Dr. André ROSSINOT puis Monsieur Laurent HÉNART , ainsi qu'à leurs collaborateurs, pour l'aide qu'ils nous apportent et apportent à la Science, en mettant à notre disposition les salles de réunions. Nous les en remercions très vivement. Comme habituellement, ils sont cordialement invités à nos réunions.

Nous demandons , pour l'année 2014-2015, la même aide aux dates suivantes :

Le 24 octobre 2014 ; Le 12 décembre 2014 ; Le 20 février 2015 ; Le 24 avril 2015 et le 26 juin 2015 . Nous espérons une réponse positive.

Avec mes sentiments dévoués

Pierre NABET Président

II. Section : NICE CÔTE D'AZUR

En l'absence de toute représentation de la section de NICE-CÔTE D'AZUR, Gilbert BELAUBRE, notre Président d'honneur, nous a retracé dans l'encadré ci-dessous l'historique des relations complexes entre le Siège et la section de NICE depuis la création de notre Société Savante.

Notre Président, Victor MASTRANGELO, a reçu un courriel le 21 octobre dernier du Professeur René Dars, Président de l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences Nice-Côte d'Azur annonçant qu'à la suite d'une assemblée générale extraordinaire tenue le jeudi 16 octobre dernier, ils ont décidé à l'unanimité des membres présents ou représentés, (15 membres sur 24) de modifier leurs relations administratives avec l'AEIS de Paris et, partant, de dénommer leur association « *Académie Méditerranéenne Interdisciplinaire des Connaissances* » (AMIC) et de poursuivre leurs activités comme par le passé. Cette décision met fin à une relation ambiguë entre la Section de Nice et le Siège de l'AEIS. Les faits suivants en sont à l'origine:

Le Doyen René Dars, que Lucien Lévy et Gilbert Belaubre connaissaient très bien, avait proposé avec enthousiasme de créer cette Section en 1999. René Dars a constitué assez rapidement un groupe comportant des scientifiques, mais, ce groupe a accueilli aussi, par relations amicales, des membres de toutes origines, et le caractère niçois a très vite prévalu sur l'appartenance nationale.

En 2002, constatant que les cotisations niçoises tardaient à rentrer, Lucien Lévy, premier président de l'Académie, adressait une lettre personnelle comminatoire aux membres de la Section. Cette lettre entraîna des réactions violentes et, pour rétablir un contact, Lucien Lévy se rendit à Nice. Le Président local se montra modéré, il demanda que l'AISP, Académie Interdisciplinaire des Sciences de Paris, intitulé d'origine de l'Académie, change de nom pour devenir l'AEIS, et, il argua du fait qu'une déclaration annexe de l'AEIS à la Préfecture des Alpes Maritimes lui permettrait d'obtenir des subventions, et il obtint de Lucien Lévy son accord.

Dès son retour à Paris, Lucien Lévy eut un entretien avec Gilbert Belaubre, et ce dernier lui proposa de déposer immédiatement une modification du titre de l'Académie auprès de la Préfecture de Police de Paris, et de prendre contact avec René Dars afin de sceller des liens nouveaux avec la Section de Nice, applicables à toutes les Sections.

L'accord, négocié par Gilbert Belaubre, fut entériné par une lettre de Lucien Lévy, datée du 6 Septembre 2002, établissant le versement annuel, par les sections, au prorata de leurs membres, de la moitié de la cotisation nationale.. Il était précisé que les recrutements étaient établis selon les critères nationaux et entérinés par le Bureau de l'Association.

Cet accord a été assez bien observé par la Section de Nice jusqu'en 2012.

En 2012 sous des prétextes divers, la Section de Nice tardait à envoyer sa part de cotisations avant l'Assemblée Générale, et elle n'envoya que deux délégués pour la représenter..Le même scénario se reproduisit en 2013. Les atermoiements du Président René Dars rendaient hésitants les responsables du Siège quant à une décision comminatoire. Sur la demande du Président, Gilbert Belaubre adressait, le 30 Novembre 2013, une nouvelle lettre à René Dars pour lui rappeler les engagements pris en 2002. Cette lettre n'eut pas de réponse. La Section de Nice était absente à l'AG 2014 et ses cotisations toujours impayées.

Le courriel du 24 octobre dernier consacre une rupture décidée par le groupe de Nice. Le Procès-verbal qui l'accompagnait rappelle une décision prise en fin 2013, de ne pas payer de cotisations à l'AEIS et de ne pas répondre à la lettre de G. Belaubre. Cette décision de 2013 n'avait pas été communiquée au Siège.

L'AEIS prend acte de ces décisions et considère qu'à présent la section de Nice de l'AEIS n'existe plus en tant que telle.

ACADEMIE-PARIS

RAPPORT D'ACTIVITE 2013-2014

Depuis janvier 2013 nos réunions continuent le premier lundi du mois à la Maison de l'AX avec laquelle nous entretenons une excellente relation. Nous avons donc eu depuis la dernière AG du 4 novembre 2013, 9 séances principalement dédiées à la préparation du prochain colloque de février 2016 qui portera sur le thème "Ondes, Matières et Univers».

Des discussions sont toujours en cours avec les instances de l'AX et de l'Institut Henri Poincaré en vue de transférer notre siège social de la Fondation des Sciences de l'Homme 54, boulevard Raspail (6^{ème}) dans le cinquième arrondissement. L'AEIS souhaite mener ses activités au cœur d'institutions prestigieuses du quartier latin.

Notre Colloque « Formation des systèmes stellaires et planétaires. Conditions d'apparition de la vie » s'est déroulé comme prévu les 5 et 6 février 2014 à l'Institut Henri Poincaré (Paris 5ème) qui nous a fort bien accueillis. Les présentations de conférence relatives au colloque ayant été achevées en octobre 2013, seules quelques réflexions préparatoires ont suivi .La diffusion de l'information et l'inscription des participants a été grandement facilitée autant par notre site institutionnel « <http://www.science-inter.com> » que par le site mis en place par notre Collègue Alain CORDIER «<http://aeis-2014.sciencesconf.org/> ». Sur ce dernier site hébergé par la plateforme multimédia du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche figuraient le programme, les résumés des interventions des conférenciers et bien sûr la possibilité de s'inscrire. La participation et la qualité de l'auditoire pour l'ensemble du colloque ont été tout-à-fait remarquables laissant entendre que l'ensemble des interventions ont été de haut niveau. Nous remercions ici l'implication dans l'organisation du colloque du comité scientifique et le travail de nos collègues relatif au financement du colloque notamment via le CEA-Direction des Sciences de la Matière. Il en a résulté un grand nombre de demandes d'adhésion de qualité à l'AEIS aboutissant à l'intégration de 10 nouveaux membres (voir ci-dessous).

Cette année ont été créées quatre commissions dans le but de développer au mieux nos différentes activités.

- La **Commission Edition** animée par notre collègue robert Franck avec le concours de notre collègue Pierre NABET, président de la section de Nancy et du comité de lecture en vue de la préparation du premier ouvrage de la collection AEIS/EDP SCIENCES et si possible en coédition avec les éditions du CNRS sur le thème de notre dernier colloque ;
- La Commission Finances animée par notre collègue Claude ELBAZ ;
- La Commission Multimédia animée par notre collègue Alain CORDIER avec deux actions principales : le maintien à niveau de notre site et l'ouverture du site dédié à nos colloques internationaux sur la plateforme multimédia du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche : **sciencesconf.org**
- La Commission recrutements sera animée par notre collègue Jean-Pierre FRANÇOISE

Les trois premières commissions se sont réunies au cours de cette année et le président demande aux deux animateurs ici présents de bien vouloir présenter de manière synthétique les actions menées par leurs commissions respectives.

RAPPORTS D'ACTIVITE DES DIVERSES COMMISSIONS

III. commission multimédia animée par notre collègue Alain CORDIER

La commission multimédia a examiné la situation du site Internet. Il apparaît que de nombreux documents sont obsolètes et doivent être retirés. Des modifications concernant la présentation d'un certain nombre de pages sont proposées, en particulier pour la rubrique "Bibliographie" qui ne comportera à l'avenir que les ouvrages publiés par des membres de l'AEIS.

La diffusion détaillée des anciens colloques sera prochainement décidée en fonction des publications sur papier envisagées.

IV. Commission finance animée par notre collègue Claude ELBAZ

Font partie de la commission finance :

F. Dutheil ; I. Herpe ; J.L. Bobin ; G. Belaubre ; C. Elbaz ; M. Gondran ; J. Schmets ; V. Mastrangelo

1-/ Le dossier de demande de subvention auprès de la Fondation du Roi Baudouin, présenté par J. Schmets a été complété par les éléments fournis par les membres présents. Un budget de 10 500€ a été retenu, pour une subvention demandée de 5 000€

J. Schmets doit déposer la demande avant fin novembre.

2-/ J.L. Bobin a signalé l'existence de la Fondation Daniel Iagolnitzer, Ancien ingénieur au CEA, et susceptible de contribuer à notre financement. Il a été chargé de voir dans quelle mesure nous pourrions soumettre une demande. G. Belaubre et V. Mastrangelo sont associés à cette démarche

3-/ M. Gondran et C. Elbaz ont été chargés de veiller à la demande de subvention auprès du Conseil Général d'Ile de France, à déposer seulement au minimum six mois avant la date du prochain colloque.

4-/ L'édition du C.R du dernier colloque (2014) a été adoptée :

La mise en forme, et la traduction des articles en anglais, doivent être assurées par la section de Nancy. Un bon de commande 739,62€ HT a été adressé à l'INIST-CNRS de Nancy pour la traduction de deux articles en anglais. La mise en forme devrait être effectuée à Nancy pour un coût d'environ 500€

Le montant de l'édition (papier + informatique) serait de 2500 € pour 100 exemplaires.

Un appel à dons, ou à la souscription d'un certain nombre d'exemplaires sera effectué auprès des membres.

V. Commission Editions de l'AEIS animée par nos collègues Robert FRANCK et Pierre NABET

A. Rapport de notre collègue Robert FRANCK

L'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences (A.E.I.S.) crée une collection d'ouvrages permettant d'assurer à ses travaux une plus large diffusion. Comme ces travaux portent sur des questions majeures à la charnière de plusieurs disciplines et sont pluridisciplinaires, leur publication sera une ressource pour les chercheurs engagés dans des programmes de plus en plus spécialisés. Ils intéresseront également un public plus large.

C'est la maison d'édition *EDP Sciences*, à Paris, qui publiera la collection d'ouvrages de l'Académie. Nos livres pourront y bénéficier d'une double publication : sous forme de livres-papier avec diffusion dans les bibliothèques des universités et des centres de recherche, et dans les librairies, mais aussi *en*

ligne en version électronique sur le site de l'éditeur, dans sa section *Books*. Le site de l'éditeur est bilingue français/anglais, et largement ouvert sur les milieux de la recherche à l'étranger.

Notre premier ouvrage sortira à la fin de cette année 2014. Il est le fruit du congrès de février dernier qui portait sur *la formation des systèmes stellaires et les conditions d'apparition de la vie*. Il sera publié à la fois sous forme de livre papier et *en ligne*.

Pendant l'année qui vient, 2015, nous publierons trois autres ouvrages, issus de congrès antérieurs, respectivement sur *les géométries fractales*, sur *les phénomènes d'émergence*, et sur *les théories et les modèles en sciences sociales*. Les trois ouvrages seront publiés *en ligne*, donc sous forme électronique. Le premier, sur *les géométries fractales*, sera publié en outre sous forme de livre-papier. Il reste à décider si les deux autres ouvrages pourront également bénéficier d'une publication sous forme de livre-papier. La décision dépendra bien sûr de nos moyens financiers.

La préparation des manuscrits des ouvrages appelle la formation de commissions de lecture et d'accompagnement, responsables du contenu des manuscrits et de leur composition, et veillant à en intégrer les résultats sous la forme d'introductions et de conclusions générales et le cas échéant de textes passerelles entre les contributions.

Les commissions suivantes ont été créées lors de l'Assemblée générale de novembre 2012 :

COLLOQUE <i>Fractales en progrès</i>	Comité de lecture et d'accompagnement Gilbert BELAUBRE Jean SCHMETS Victor MASTRANGELO Gérard LEVY
<i>Théories et Modèles en Sciences Sociales</i>	Robert FRANCK Daniel COURGEAU Michel GONDRAN
Emergences : de la fascination à la compréhension	Claude ELBAZ Gilbert BELAUBRE Robert FRANCK Irène HERPE-LITWIN (traduction)

Il est à souhaiter que ces trois commissions ne tardent plus à préparer les manuscrits. Il convient de vérifier à l'occasion de la présente A.G. si la composition de ces commissions doit être revue ou élargie, et de nommer un président pour chaque commission qui sera responsable du suivi du travail à réaliser.

B. Point sur la préparation du premier ouvrage à paraître par notre collègue Pierre NABET

LES RECHERCHES ACTUELLES SUR LES CONDITIONS D'APPARITION DE LA VIE FORMATION DES SYSTÈMES PLANÉTAIRES ET INTERPLANÉTAIRES

SOMMAIRE

Prologue	par Victor MASTRANGELO
Introduction	par Pierre NABET

PREMIÈRE PARTIE : les conditions essentielles pour que la vie soit présente

Chapitre I : A propos de génération moléculaire spontanée , essai de définition de la vie

Par *Ernesto DI MAURO*

Chapitre II : L'eau (H₂ O) première molécule de la vie

Par *Giuseppe ZACCAI*

Chapitre III : Astrochimie galactique et l'apparition de la complexité moléculaire organique dans le milieu interstellaire

Par *Louis LE SERGEANT D'HENDECOURT*

DEUXIÈME PARTIE : Les capacités d'adaptation de la vie

Chapitre IV : L'adaptation de la vie sur terre aux conditions Extrêmophiles.

Par *Arnaud GRUEZ*

Chapitre V : Morphogénèse et Embryogénèse

Par *Martine BEN AMAR*

TROISIÈME PARTIE : La formation des éléments dans le cosmos**Éléments minéraux**

Chapitre VI : Nucléosynthèse stellaire

Par *Nicolas PRANTZOS*

Chapitre VII : La chimie avant la vie

Par *Raffaele SALADINO*

Chapitre VIII : scenarios of giant planet formation and Evolution and their Impact on the formation of habitable terrestrial planets

Par *Alessandro MORBIDELLI*

Chapitre IX : Model of molecular structure of the insoluble organic matter isolated from *Murchinson* meteorite

Par *Sylvie DERENNE*

QUATRIÈME PARTIE : À la recherche de la présence d'une vie dans le cosmos

Chapitre X : Du système solaire aux systèmes planétaires : la recherche de la vie dans l'univers

Par *Thérèse ENCRENAZ*

CINQUIÈME PARTIE : La modélisation des recherches

Chapitre XI : Astrochimie : synthèse et modélisation

Par *Valentine WAKELAM*

Résumé et conclusions

VI. Préparation du prochain colloque " Ondes, Matières et Univers"

En ce qui concerne notre prochain colloque « Ondes, Matières et Univers », la préparation de celui-ci se poursuit activement. Un comité scientifique interne a été mis en place pour faire une ébauche du programme. La première réunion de ce comité a eu lieu le 4 octobre 2013 c'est-à-dire bien avant la date de notre dernier colloque du mois de février 2014 « *Formation des systèmes stellaires et planétaires. Conditions d'apparition de la vie* » .

Une première version du programme a été arrêtée lors de la réunion du 7 avril dernier et publiée dans le bulletin N° 185.

Des contributions significatives ont été apportées par nos collègues : François BEGON, Gilbert BELAUBRE, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Alain CORDIER ,Claude ELBAZ, Michel GONDRAN et Pierre NABET . Le rapporteur de ce comité est notre collègue Gilbert BELAUBRE.

Le colloque se tiendra à l'Institut Henri Poincaré les jeudi 11 et vendredi 12 février 2016. Il comportera quatre sessions une table ronde et avec si possible une session Posters

Session I : La relativité et les ondes de l'univers

Session II : La dualité ondes/corpuscules de la physique quantique

Session III : Ondes, matières et quantification

Session IV : Matière vivante : Biologie, médecine et applications

La table ronde aura pour thème « Une nouvelle révolution scientifique à l'horizon »

A ce jour nous avons consacré neuf séances à la préparation de ce colloque et avons entendu les conférenciers/collègues suivants:

- lundi 2 décembre 2013: "La dualité onde-particule au programme d' Einstein" par notre Collègue Claude ELBAZ
- lundi 6 janvier 2014: Une interprétation synthétique: "la théorie de la double préparation" par notre Collègue Michel GONDRAN
- lundi 3 février 2014: "La résonance magnétique nucléaire, un outil puissant pour la microbiologie" par le Pr Jean-Philippe Grivet Pr Emérite Université d'Orléans
- lundi 3 mars 2014: "Premiers résultats cosmologiques du satellite Planck" par François R. BOUCHET DR CNRS/IAP
- lundi 7 avril 2014 Gravitation quantique et complémentarité généralisée par notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI
- lundi 5 mai 2014 : "Du Temps à l'Espace-Temps" par Marc Lachièze-Rey DR CNRS
- lundi 2 juin 2014: "La mesure du temps et les tests de la relativité" par Christophe SALOMON DR CNRS
- lundi 1er septembre 2014: "Interférométrie atomique et mesures de précision" par Noël DIMARCQ DR au Laboratoire "Systèmes de référence Temps-Espace"
- lundi 6 octobre 2014: "Le Rayonnement gravitationnel" par Luc BLANCHET DR au CNRS laboratoire Gravitation et Cosmologie

Des recherches de financement pour nos différentes activités sont en cours auprès des organismes suivants: Mairie de Paris, Région Ile de France, Fondation Roi Baudoin/Fonds Ernest Solvay, Fondation de France/Fonds Daniel Iagolnitzer, CEA/Direction des Sciences de la Matière, Agence Universitaire de la Francophonie. De vifs remerciements sont adressés aux collègues qui s'impliquent fortement dans ces démarches : Gilbert Belaubre, Gilles Cohen-Tannoudji, Jean Schmets, Claude Elbaz, Michel Gondran et Jean-Louis Bobin.

Rédaction des comptes-rendus des conférences préparatoires

Le haut niveau des conférenciers dans un domaine pointu de la physique fondamentale a nécessité, pour la rédaction des comptes-rendus des conférences, la participation de collègues pour qui cette discipline était quelque peu familière. Nous remercions à cet effet nos collègues Gilles COHEN-TANNOUDJI, Claude ELBAZ, Michel GONDRAN, Victor MASTRANGELO et tout particulièrement notre nouveau membre de l'AEIS, Jean Pierre TREUIL, qui s'est, dès son admission fortement impliqué. Il a semblé, à ce propos, très efficace pour les derniers comptes-rendus que s'impliquent à chaque fois deux rédacteurs capables de confronter entre eux leurs saisies des conférences.

Il s'avère donc que pour la suite des conférences préparatoires au colloque de février 2016, il faudrait que se proposent à l'avance, pour chaque séance, des couples de rédacteurs de comptes-rendus. Sembleraient qualifiés en plus de nos collègues cités précédemment, Jean-Pierre BESSIS, Jean Louis BOBIN, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Alain CORDIER, Françoise DUTHEIL, Vincent FLEURY, Jean-Pierre FRANÇOISE, Edith PERRIER et peut-être d'autres collègues omis dans cette première liste.

Il faudrait peut-être à cet effet créer une commission " rédaction des comptes-rendus". Ce d'autant que nos bulletins sont mis en ligne sur notre site internet et donc accessibles à tous et que nos séminaires/conférences sont annoncés –grâce à l'action de notre collègue Jean Schmetz– sur le serveur Cordis de la Commission Européenne.

VII. Nouveaux membres :

1. Jean-Pierre BESSIS, ancien élève de l'Ecole polytechnique, spécialiste algèbre algorithmique et Rédacteur en chef de la lettre trimestrielle du groupe X-philosophie
2. Jean-Louis BOBIN, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Pr émérite de physique à l'UPMC (Physique et optique corpusculaire)
3. Dr. Juan Carlos CHACHQUES, Directeur de Recherche, LABORATOIRE DE RECHERCHES BIOCHIRURGICALES, Fondation Prof. Alain Carpentier, Hôpital Européen Georges Pompidou, Université Paris Descartes
4. Ernesto DI MAURO Professeur de Biologie Moléculaire, Faculté des Sciences, Université de Rome «Sapienza »
5. Vincent FLEURY ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Directeur de recherches (DR2) au CNRS (physique de la matière condensée).
6. Antoine LONG Ingénieur de recherche en chimie
7. Claude MAURY ancien élève de l'Ecole Polytechnique (X-mines), ancien responsable des écoles d'ingénieur au ministère de l'industrie.
8. Anastassios Ioannis METAXAS Pr émérite Université d'Athènes en analyse des systèmes
9. Edith PERRIER Directrice de Recherche émérite à l'UMI UMMISCO (IRD et UPMC), spécialiste des systèmes complexes.
10. Jean-Pierre TREUIL, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, responsable du Laboratoire d'Informatique Appliquée (LIA) de l'ORSTOM devenu IRD (projet «Géodes» - Géométrie des Espaces Organisés, Dynamiques Environnementales et Simulations - de l'IRD).

Soumis au vote des Collègues présents et représentés, les rapports sont adoptés

à l'unanimité des votants ou représentés.

VIII. Rapport financier

Notre Trésorier nous présente la situation financière au 03 novembre 2014 (voir ci-dessous). Compte tenu de l'expérience relatives aux dépenses en rapport l'organisation des colloques, les demandes de subvention doivent être largement anticipées pour financer autant les déplacements des intervenants que les traductions. Ces quelques remarques ayant été faites, le rapport financier ayant été soumis au vote, est adopté à l'unanimité des présents.

Situation Financière au 31 octobre 2014		
Le SOLDE au 31 octobre 2013 était de 6840,12 euros		
Le SOLDE au 31 octobre 2014 est de 5773,46 euros		
Crédits 2014:		
Solde 2013		6840,12
Cotisations 2014		3.000
Paris	2190	
Nancy	810	
Subventions CEA		1500
P.A.F. Colloque 2014		20
Total Crédits 2014:		11360,12 euros
Dépenses 2014		
Remboursements dépenses confédérateurs		60,30
Site Internet		28.66
Colloque 2014		5 497,70
Reprographie:	763	
Restauration:	2300	
Hôtels:	1627	
Transports	807,70	
Total Dépenses 2013-2014		5 586,66 euros
SOLDE au 31 octobre 2014 : 5 773,46 euros		
Paris le 3 novembre 2014		
Le Président de l'AEIS	Le Trésorier de l'AEIS	La secrétaire générale de l'AEIS
		

Election du nouveau bureau

Se présentent comme candidats au titre de l'année 2013-2014

Fonction	Candidat
Président	Victor MASTRANGELO
Vice-Président	Jean-Pierre FRANCOISE
Secrétaire générale	Irène HERPE-LITWIN
Trésorier général	Claude ELBAZ
<i>Conseillers spéciaux</i>	
Édition	Robert FRANCK
Relations européennes	Jean SCHMETS
Relations avec AX	Gilbert BELAUBRE
Ville de Paris et région IDF	Michel GONDRAN
Universités et moyens multimédias	Alain CORDIER
Recrutements	Jean-Pierre FRANÇOISE

Se présentent comme Conseillers scientifiques au titre de l'année 2014-2015

Disciplines	Candidats
Sciences de la Matière	Gilles COHEN-TANNOUDJI
Sciences de la Vie-Biotechnologies	vacant

Se présentent comme membres consultatifs au titre de l'année 2014-2015

Membres consultatifs du Conseil d'Administration	
	Gilbert BELAUBRE François BEGON Bruno BLONDEL Michel GONDRAN

L'ensemble des candidatures est adopté à l'unanimité des présents et représentés.

Présidents de section élus (appartenant statutairement au bureau)

Section	Élu
Nancy-Luxembourg	Pierre NABET

IX. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement le Président de l'AX : M. Laurent Billès-Garabedian, le délégué général M. Bruno Van Paris, le délégué général adjoint M. Yves Stierlé ainsi que les personnels du siège de l'AX 5, rue Descartes pour la qualité de leur accueil.

Après cette très riche séance, notre Président Victor MASTRANGELO déclare la clôture de notre séance d'assemblée générale .

Irène HERPE-LITWIN

Annances

I. LA BNF nous fait parvenir l'information ci-dessous:

La douzième édition du cycle *Chemins d'accès* aura lieu le **mardi 2 décembre 2014** de **9h à 17h30** à la **Bibliothèque nationale de France**, pour les rencontres annuelles des services d'action culturelle et éducative des bibliothèques, des musées, des archives et des théâtres, autour des questions de transmission et de médiation.

La journée sera dédiée à la médiation scientifique :

"Quelle(s) médiation(s) pour les sciences ?"

Petit auditorium de la BnF, Hall Est

Entrée libre – réservation au 01 53 79 49 49

Informations : lorene.karayan@bnf.fr

tél : 01 53 79 42 74

<http://classes.bnf.fr/rendezvous/colloques.htm>

Notre collègue Christian HERVE nous fait part de la manifestation suivante:

LUNDI 8 DECEMBRE 2014 : préprogramme de la 14ème journée scientifique

Salle du Conseil, Université Paris Descartes, 12 Rue de l'Ecole de Médecine, Paris 6^{ème}

LES PLATEFORMES D'ACCES AUX SOINS ET A LA RECHERCHE

08h30	Accueil des participants à la journée, par Christian Hervé, Président de la SFFEM.
09h00-09h15	Introduction du thème de la journée, par Jean-Claude Amesein, président du Comité Consultatif National d'éthique (CCNE).
09h15-09h35	LE PROJET CARPEM, ses trois axes par Pierre-Laurent PUIG, Université Paris Descartes
09h35-9h55	LA MISE EN PLACE DES PLATES-FORMES au sein du projet CARPEM et implications éthiques par Pr Marie-France MAMZER, LEM, Université Paris Descartes
9h55-10h15	La recherche au Portugal, par Maria Jesus Reis Cabral, de l'Université de Coïmbra, CEAVL/Université de Lisbonne et Nuno MIRANDA, Instituto Oncologico de Lisboa.

Pause-Café

10h45-12h00	PREMIERS TRAVAUX DE RECHERCHE EN ETHIQUE SUR LES PLATES-FORMES (Axe 3) : <ul style="list-style-type: none"> ➢ Séquençage à Haut Débit et « exomes » par Marie-France MAMZER, et Corto STOEKLE, LEM, Paris Descartes ➢ Accidentalomies et imagerie, par M. Rachid MENDJELI, LEM et Laure FOURNIER, HEGP. ➢ Information et consentement en cas de prélèvement, par le Dr Florian SCOTTE et Cécile BADOUAL (HEGP)
-------------	---

Déjeuner libre

14h00-14h30	Introduction sur L'ACCES AUX SOINS par Lucie Dufour, DHOS, Ministère des Affaires sociales, de la santé et des droits de la femme et Gérard Mick, président de l'Union Nationale des Réseaux de santé et par des représentants de la société civile par Jean-Bernard CHARPENTIER et Catherine VERGELY.
14h30-15h30	PREFIGURATION des SERVICES TERRITORIAUX DE SANTE AU PUBLIC/ EXPERIENCE DE L'ARS ILE DE FRANCE, par Gilles POUTOUT (ARS IdF).
15h30-16h00	ENJEUX de L'EDUCATION THERAPEUTIQUE, par Pierre-Yves TRAYNARD, pôleETP ARS IdF
16h-16h45	TABLE RONDE : PRATIQUES de la TELEMEDECINE (INSTITUT DU CANCER, MEDECINS DE VILLE ET ARS), par Mme Hélène BRUGEROLLES (ASDES), Maya GUTIERREZ et Roman ROUZIER, Institut Curie, Hôpital René Huguenin.
16h45-17h15	TABLE RONDE : D'ULYSSE à ITHAQUE, UN LIEN VILLE-HOPITAL, construite pour les personnes souffrant de cancer, par le Dr Florian SCOTTE (HEGP), Mme Maya DE SAINT MARTIN (ASDES) et le Dr Sophie MOULIAS, Hôpital Ambroise Paré.
17h15-17h30	La Plate-forme « DOM Plus », une expérience originale par Serge Dizouern et Michel Baur
17h30-17h45	Remise du Prix Jean Bernard, par Christian Hervé, président de la SFFEM.
17h45-18h	CONCLUSION PAR UN GRAND TMOIN, Côme BOMMIER, Représentant des étudiants de Médecine de l'Université Paris Descartes
18h00	Assemblée Générale des membres de la SFFEM

Documents

1. Pour préparer la conférence du Pr Patrice HELLO , nous vous proposons les articles suivants:

p.18 : "*EGC: a time-frequency augmented template-based method for gravitational-wave burst search in ground-based interferometers*" publié dans Classical and Quantum Gravity 25 (2008) 035002" DOI : 10.1088/0264-9381/25/3/035002 in2p3-00532629, version 1 - 4 Nov 2010

p. 40 : "*Virgo et la quête des ondes gravitationnelles*" un article écrit par Fabien HELLO et Patrice HELLO paru sur le site du CNRS:

http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2010/03_Virgo_Laser.pdf

2. Notre collègue Gilles-COHEN-TANNOUDJI nous transmet des liens vers trois articles qui pourraient être utiles dans le cadre de la préparation du colloque ondes, matière, univers:

P.48: issu du lien <http://arxiv.org/abs/1406.6586v1> un article concernant l'hypothèse selon laquelle la matière sombre serait en fait une onde cohérente !

p.49: issu du lien <http://arxiv.org/abs/1405.5563v2> un article concernant la "théorie du constructeur" (constructor theory) de l'information.

p.50: issu du lien <http://arxiv.org/abs/1407.0681v1> un article concernant la "théorie constructeur" de *la vie* qui pourrait figurer dans la session sur les rapports physique/biologie.

EGC: a time-frequency augmented template-based method for gravitational-wave burst search in ground-based interferometers

André-Claude Clapson ^{‡ §}, Matteo Barsuglia, Marie-Anne Bizouard, Violette Brisson,

Fabien Cavalier, Michel Davier, Patrice Hello, Nicolas Leroy, Monica Varvella

LAL, Université Paris-Sud 11, BP 34, 91898 Orsay, France

(Dated: December 2, 2007)

Abstract

The detection of burst-type events in the output of ground gravitational wave detectors is particularly challenging. The potential variety of astrophysical waveforms, as proposed by simulations and analytic studies in General Relativity and the discrimination of actual signals from instrumental noise both are critical issues. Robust methods that achieve reasonable detection performances over a wide range of signals are required.

We present here a hybrid burst-detection pipeline related to time-frequency transforms while based on matched filtering to provide robustness against noise characteristics.

Studies on simulated noise show that the algorithm has a detection efficiency similar to other methods over very different waveforms and particularly good timing even for low amplitude signals : no bias for most tested waveforms and an average accuracy of 1.1 ms (down to 0.1 ms in the best case). Time-frequency-type parameters, useful for event classification, are also derived for noise spectral densities unfavorable to standard time-frequency algorithms.

[‡] To whom correspondence should be addressed (clapson@lal.in2p3.fr)

[§] currently at MPI-K, Heidelberg, Germany.

I. INTRODUCTION

Production of high frequency gravitational waves only depends on the dynamics of high mass density systems. Expected sources are relativistic astrophysical systems, that is, compact and massive objects in excited states. The most studied gravitational wave (GW) source candidates, though not observed as such yet, are neutron stars and black holes, notably at the formation stage, or the inspiral of a binary system of compact objects. Other mechanisms have been proposed to produce GW such as from neutron-star quakes and cosmic strings. In any case, a large independence from electromagnetic emission can be expected. For this reason, GW are a potentially rich source of information on objects and matter states that have been inaccessible so far.

To observe these waves, km-scale interferometers, TAMA (300 m), GEO (600 m), LIGO [1] (4 km) and Virgo [2] (3 km), are now in operation. This work is motivated by the search for short duration 'bursts' associated, for instance, with gravitational supernovae (SN), in the data of these instruments.

Available information on the signals come from the equations of General Relativity solved either in analytical form, as pursued for binary systems or numerically, in combination with hydrodynamics, nuclear and particle physics models for SN.

Gravitational supernovae (essentially type II supernovae) would be typical burst-like GW emitters, with signal duration below 0.1 second and a large variety of waveforms, according to simulations (see [4] and references therein). A catalog of waveforms [5] referred to hereafter as DFM, from variations of the parameters of the progenitor and neutron star equation of state, presents three waveform families, two of which were subsequently found elsewhere. Recent studies [6] considered 3-dimensional stellar models with realistic progenitors, equations of state and neutrino transport treatment, not found simultaneously before. They indicate the reliability of the core bounce as a source of GWs, to be followed by damped oscillations more dependent on model details. The most frequent waveform family would correspond to the 'type I' of DFM : a short (< 5 ms) peak or double peak of large amplitude followed by much smaller fluctuations.

Nevertheless, alternative possible mechanisms, for instance in non-axisymmetric super-

novae [7], through novel gravitational wave production paths [8] or more exotic ones, cannot be ruled out. For existing detectors at the target sensitivity, conservative estimates in observation occurrence rates and amplitudes remain low : a few events per century for supernovae [9] and a signal to noise ratio expected below 10.

For data analysis aiming at burst detection, a local (in time and frequency) energy or amplitude representation of time series, as provided in the time-frequency (TF) space (see [10] for an overall introduction of the topic), could be valuable to achieve signal isolation from noise with little prior knowledge on waveforms.

Many time-frequency detection algorithms have been developed recently for this purpose, including the Excess Power approaches of [11] and [13], a wavelet-based algorithms, like Waveburst [12], and the Q transform [14].

We turned for this work to the classical signal detection matched filter, developed by Wiener and discussed in [16]. Our choice of templates and subsequent event selection process borrow from regular time-frequency methods.

The Exponential Gaussian Correlator algorithm proposed here offers similar performance levels to what is achieved by other methods, with particularly good timing accuracy for low amplitude signals : no bias for most tested waveforms and an average accuracy of 1.1 ms (down to 0.1 ms in the best case) over a broad range of waveforms. Furthermore, it is not prevented by noise spectral features from providing time-frequency-type parameters.

Missing in the description of noise by its spectral density are non-stationarities and bursts of noise, or glitches. These are likely to generate event candidates, unless some discriminating parameter can be applied. Given the uncertainty on burst signal waveforms, in the context of single instrument analysis it can be argued that glitch identification falls under instrument characterization studies. Therefore we do not discuss their effect on final detection performances, and do not try to include them in the noise series used for Monte Carlo studies.

After a description of the analysis method, implementation issues and parameter choices are evoked, along with the definition of output events and the quantities that can be extracted from them. Monte Carlo simulations are then presented and detection performances,

notably the accuracy of event descriptors, are discussed.

II. EXPONENTIAL GAUSSIAN CORRELATOR

A. The EGC transform

EGC is a template-bank matched filter inspired by the S Transform [18] time-frequency algorithm. Matched filtering is a classical approach, introduced for instance in [16]. It consists of a correlation between the data and a fixed test waveform (the template). Normalization by the estimated noise spectral density (given by the Power Spectral Density) allows its use on any time series with a stable PSD.

For a time series h , match with a template s is defined as :

$$c(t) = \frac{\langle s(t), h(t) \rangle}{\|s\|} \quad (1)$$

$$\text{with} \quad \langle s(t), h(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\hat{s}(f)\hat{h}^*(f)}{S_h(f)} df$$

$$\text{and} \quad \|s\| = \max_t \langle s(t), s(t) \rangle^{1/2}$$

with $\hat{\cdot}$ indicating the Fourier transform and $S_h(f)$ the spectral power density of the noise. The norm is the maximum value of the match, over time.

The signal to noise ratio (SNR) is the value of c obtained when the test waveform and the signal present in the noise time series are identical. The SNR then depends on the characteristics of the noise.

Using a list, or bank, of templates translates the uncertainties on the potential signal. This approach is a standard in gravitational wave detection for methods dealing with inspiral events, whose waveforms are approximated analytically. See [17] for a discussion on such an analysis.

In this work, the templates are Exponential Gaussian (EG) (fig. 1) :

$$\phi_{f_0, Q}(t) = e^{-t^2 2\pi^2 f_0^2 / Q^2} e^{-i2\pi f_0 t}$$

$$\hat{\phi}_{f_0, Q}(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{Q}{f_0} e^{-(\frac{f-f_0}{f_0})^2 Q^2 / 2} \quad (2)$$

with two free parameters, the oscillation frequency f_0 and a quality factor [19] $Q = \sigma \times 2\pi f_0$, which gives a duration of the order of $2\sigma = \frac{Q_0}{\pi f_0}$.

The complete algorithm adds an *ad hoc* treatment of the resulting coefficients and TF representation capability, introduced below. The normalization can also be interpreted as a data 'whitening' procedure [15] meant to remove the effects of the colored PSD.

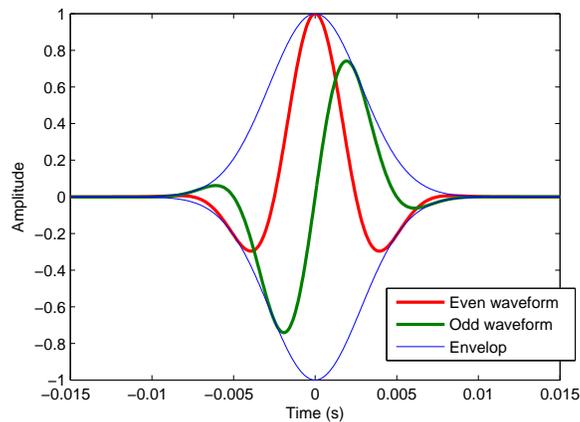


FIG. 1: Time domain template: the tested waveform is the complex sum of the two quadratures, here for $f_0 = 100$ Hz and $Q = 1$.

The match between time series $h(t)$ and a given template is, expressed in the Fourier domain :

$$c_{(f_0, Q)}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{Q}{f_0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\left(\frac{t-f_0}{f_0}\right)^2 Q^2/2} \times \hat{h}^*(f)}{S_h(f)} e^{i2\pi f t} df(t) \quad (3)$$

In this case (complex-valued templates) c is a complex. Its squared modulus $y = |c|^2$ provides an energy-analog quantity, that will serve here, while $\rho = \sqrt{2 \times y}$ is the usual SNR.

While no signal could match a complex domain template, the orthogonality (defined as a null correlation) between the real and imaginary parts

$$e^{-t^2 2\pi^2 f_0^2 / Q^2} \cos(2\pi f_0 t) \quad \text{and} \quad e^{-t^2 2\pi^2 f_0^2 / Q^2} \sin(2\pi f_0 t) \quad (4)$$

makes this implementation equivalent to the use of both Gaussian Cosine and Gaussian Sine real templates.

B. Implementation

1. Discrete form

In discrete form, the EGC transform reads :

$$|c|_{(f_0, Q)}^2(t_k) = \frac{1}{2\pi} \frac{Q^2}{f_0^2} \left| \sum_{m=0}^{N-1} \frac{e^{-\left(\frac{f_m - f_0}{f_0}\right)^2 Q^2 / 2} \times H^*(f_m)}{PSD(f_m)} e^{i2\pi f_m t_k} \right|^2 \quad (5)$$

Computing gains are achieved by doing the correlation in the Fourier domain. To reduce edge effects for data segments of limited size, the Welch overlapping scheme [21] is applied : data is treated in chunks of size N , with an overlap of $N/2$ (typically $N = 2^{18}$ in this work). Each chunk is windowed by the Hann function [22], and the two outputs of the transform for the same data bin from successive chunks are weighted and summed up to provide the final coefficient. PSD is estimated over several chunks (20 in this work) from the same windowed data.

2. Template bank selection

Any actual search must rely on limited resources, hence the importance of selecting a set of complementary templates that maximizes coupling with signal. This is quantified by the mismatch between two waveforms ϕ and ψ , given by the ambiguity function Γ :

$$\Gamma(\phi, \psi) = \max_t \langle \phi(t), \psi(t) \rangle \quad (6)$$

assuming $\|\phi\| = \|\psi\| = 1$, using the notation of eqn. (1).

For practical purposes, the ambiguity function can be approximated, within the hypothesis of close narrow-band waveforms previously normalized, as :

$$\Gamma(\phi, \psi) = \max_t \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\tau) \psi(\tau + t) d\tau \quad (7)$$

Within the family of EG templates this gives :

$$\Gamma_{EG}(f_1, Q_1, f_2, Q_2) = \sqrt{2} \sqrt{\frac{f_1/Q_1 \times f_2/Q_2}{(f_1/Q_1)^2 + (f_2/Q_2)^2}} \times e^{-\frac{(f_1 - f_2)^2}{2((f_1/Q_1)^2 + (f_2/Q_2)^2)}} \quad (8)$$

As Γ is defined as a scalar product, a tiling of the 2-dimensional parameter space with a near minimum template number can be proposed using, for instance, the method of [23] for a set minimum match (MM) in the form $\Gamma > MM$.

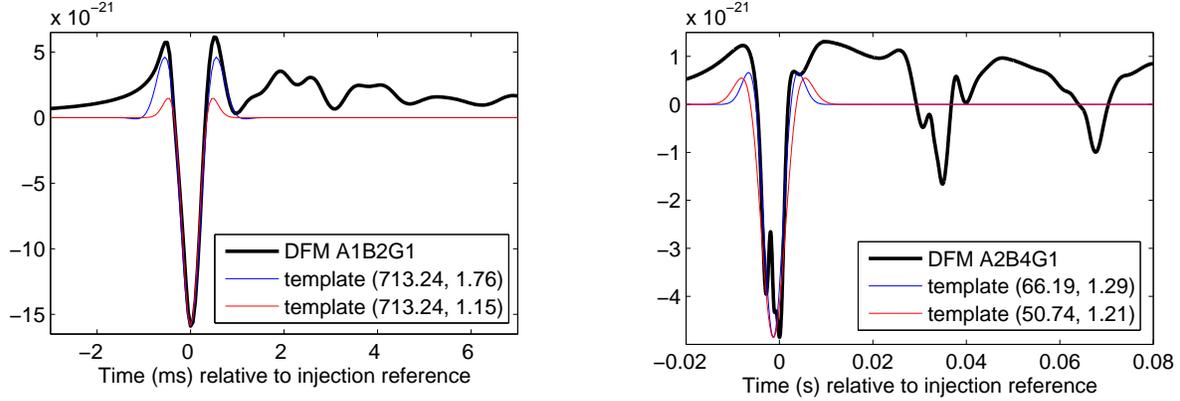


FIG. 2: Adequacy of EGC templates with two test signals from the DFM catalog, A1B2G1 (*Left*) and A2B4G1 (*Right*). The templates are identified by their parameters (f_0, Q) and time-shifted to their extremal amplitude value. Only the Gaussian-Cosine part of the complex templates are shown here. The match between these and signal reaches 9.6 for A1B2G1 and 8 for A2B4G1.

The parameter space is *a priori* bounded by minimum and maximum frequencies and quality factors. From the expected sensitivity of Virgo, the target frequency region would be 10 Hz - 1k Hz. Considering template duration, estimated from the width of the Gaussian envelope, it appears that this area encloses long duration structures at low frequency. To ensure that only burst-like signals would be matched, an additional constraint on maximum template duration was added.

The quality factor range was established as follows. The lower limit $Q > 1$ comes from two observations : the approximate ambiguity function (eqn. (8)) becomes less accurate below this limit and templates do not exhibit additional shapes. The upper bound, $Q \leq 16$, was arbitrarily set. It effectively limits the search to the region of the parameter space where the injected waveforms reside. This was a time-saving choice with no physical motivation.

The tiling minimal match parameter that sets the density of the coverage was fixed at $MM \simeq 0.95$. Of course, in a real search, the MM can be fixed to some higher value, as permitted by computing power.

A final specification comes from the observation that templates with low quality factors, that are not oscillatory, are potentially important for some expected signals. Figure 2 shows how low quality factor templates (here the even quadrature) recover peak structures, much like Gaussian templates would do. So we chose to distinguish two areas in the parameter space illustrated in fig. 3 :

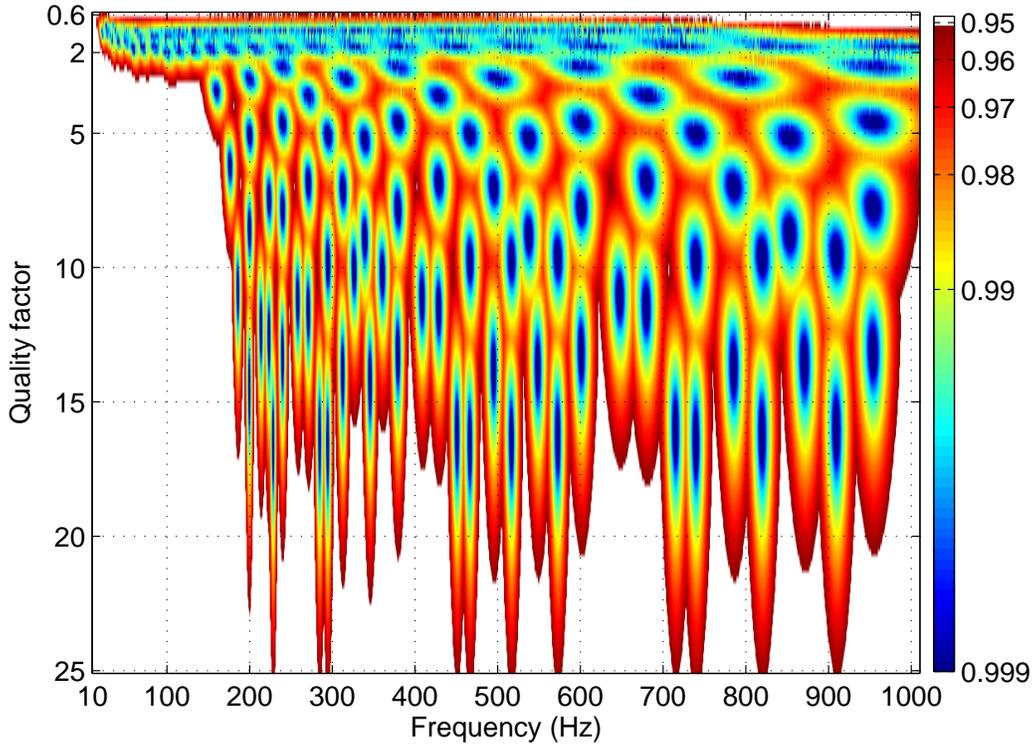


FIG. 3: Best match between EG waveforms and the selected 122 templates, with a logarithmic color scale. Values at and below 0.95 were set to the same color (white). Figure produced by smoothing over values at 500000 randomly chosen (f, Q) points.

$Q \geq 2.2$, $MM = 0.95$: Templates are oscillatory. Discarding low frequencies, the low frequency limit was shifted to 150 Hz.

$1 < Q \leq 2.2$: Peak-like shapes, as illustrated in fig. 1, dominate. An increased minimal match ($MM \simeq 0.98$) was introduced to have a regular coverage over the whole frequency band.

This selection was used in the analysis of Virgo commissioning runs, see [20], and will be the reference set hereafter.

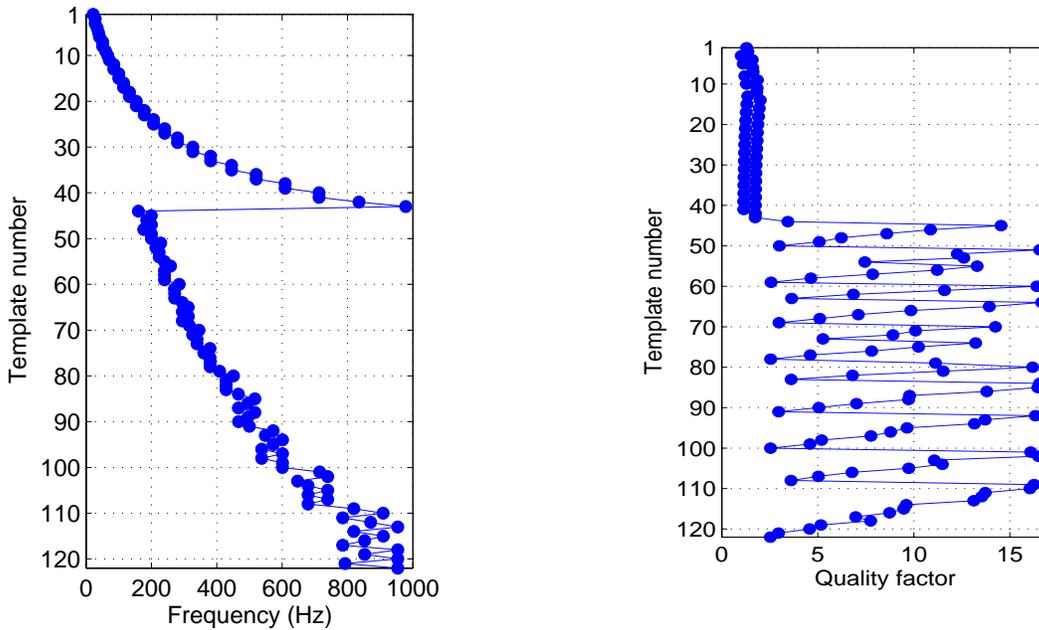


FIG. 4: Stacking order of the 122 selected templates in the output map, for the regular EGC implementation.

C. Event definition and parameters

The elementary output of the transform is a coefficient indexed in time and template. Analysis relies on maps of coefficients, or 'pixels' and requires some basic image processing, namely suppression of individual coefficients below a set threshold and clustering of adjacent coefficients, to extract meaningful events. This assumes that adjacent coefficients refer to related signal components.

A TF-like representation was therefore sought, by adjusting the stacking order of the correlation output, identified by three parameters (frequency, quality factor, time) for the selected templates. A compromise was retained to try and regroup selected templates with similar characteristics : a first group with $1 < Q \leq 2.2$ is ordered by increasing frequency; at higher quality factor, templates are regrouped by 50 Hz wide frequency bands, wherein they are ordered by decreasing Q (see figure 4).

In principle this allows the localization of energy in frequency while separating oscillating events from peak-dominated ones.

Figure 5 illustrates the transform when the ordered template set is used. The peak-like

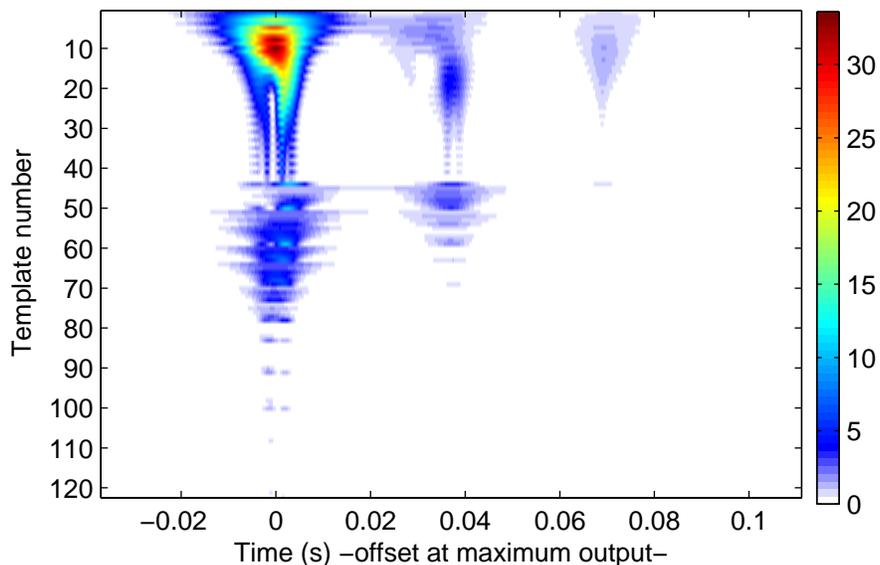


FIG. 5: EGC transform of DFM A2B4G1 waveform, considering a Virgo-type noise background and SNR 10. Templates were selected using a tiling algorithm and stacked as proposed in figure 4. The colorscale has the dimension of a squared SNR.

nature of the tested waveform can be seen clearly : most of the energy is concentrated at low quality factors, according to the numbering of fig. 4. Conversely, an oscillatory signal would be mostly seen on the templates with high ordering numbers.

The clustering of the time-frequency images considers that all neighbouring (the 8 surrounding elements) selected pixels belong to the same event. This reduction is achieved by using the Hoshel-Kopelman algorithm [24] [25], which requires a single sweep to group pixels, by comparing pixels to neighbouring values and numbering clusters.

Several quantities can be extracted from these events, to constrain event coincidences or to describe event populations :

- Total energy : the sum of all coefficients in an event $E_{cluster} = \sum_{i \in cluster} |c_i|^2$.
- Peak energy : the maximum coefficient value over the cluster.
- Event Time : the location of the peak energy.
- Central Frequency : averaged over all cluster elements, weighted by their energy.

- Quality factor : averaged, like the frequency.
- Duration : the width of a cluster on the time axis, from all cluster members (total duration) or represented by the σ parameter from the template with maximum energy in the cluster.

The above *total energy* generally does not represent the true energy that can be attributed to a signal, owing both to the incompleteness in frequency coverage and the non-orthogonality between the templates that comes from the envelop term in equation (2) as well as from the possibility for several templates of identical center frequency but different quality factors.

D. Event selection algorithm

Given the complex TF structure of astrophysical signals (see for example fig. 5), some clusters that belong to the same signal could be split by the threshold on coefficient value. Associating these 'orphan' clusters increases the visibility of the signal in the final event list while decreasing the false alarm rate.

To remain robust with respect to the imprint left by a signal on the TF map, the following clustering method was selected, where three thresholds are applied :

- a) Background restriction : A low threshold is applied to map coefficients to discard most of the noise-consistent elements.
- b) Clustering : Events are created from all adjacent remaining pixels.
- c) Background suppression : A threshold higher than in step a) is applied to coefficients in the clusters. Low value coefficients, which may be noise fluctuations, are removed. Higher amplitude coefficients in the cluster remain grouped as before. This step, in principle, permit a lower threshold in a) to initially keep a larger fraction of the signal.
- d) Simultaneity test : Events overlapping in time or separated by less than a reference delay are merged.
- e) Energy selection : The candidate list contains only events with a total energy above a final threshold.

Remaining events are ranked according to peak energy (equivalent to maximum template correlation). A threshold on this last value can be freely tuned to build a ROC curve or fix the final false alarm rate, while the preceding steps are set, as discussed below.

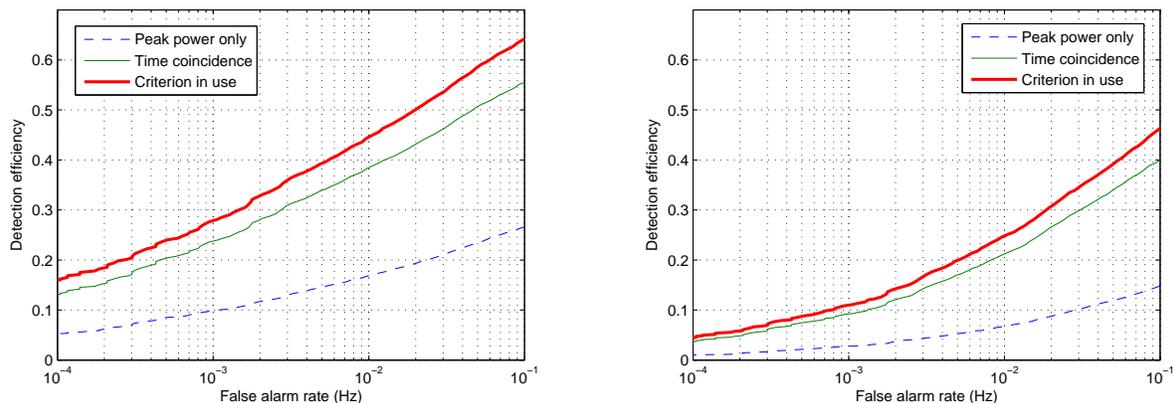


FIG. 6: Comparison of EGC performances for a threshold on peak energy, according to the event selection rule, for two waveforms, DFM A1B2G1 to the left, Gaussian Cosine 820 Hz Q 15 to the right. These results come from some 6000 injections spread over 24 hours of simulated Virgo-type data, with an injected SNR of 5.

After applying the minimum pixel energy and neighbour clustering steps, the first gain comes from the introduction of time coincidence between clusters. This allows to combine simultaneous time-frequency structures, thus reducing the false alarm rate without affecting detection efficiency, assuming that the structures within the coincidence time window belong to the same event. This evolution is shown in fig. 6. Further improvement is obtained after the total energy threshold. Adjustments cannot be made independently of the other steps in the algorithm. For instance, raising the pixel energy threshold from the selected value lowers the number of events clearing the total energy threshold; while decreasing it does not alter the performances much. This is explained by the correction brought by the time coincidence, here with a delay allowance of 0.05 seconds. The adjustment of thresholds was done mostly independently for each stage and may therefore not constitute an optimum. However, given the variety of waveforms that are targeted, this was considered sufficient.

E. Other information

1. Computational cost

The full pipeline, including the event selection steps of section IID, was run without optimization (notably no parallelization) on Opteron computers. In single processor mode, the average ratio of computing time to data time ($\simeq 30$ minutes per job) was about 7.

2. A simple comparison to the Q transform

The development of this algorithm took place in parallel to that on the Q transform without influence in either direction. This precision is required given the similarity of the two filters. Let us mention briefly the steps where the methods differ. We will not compare parameters values, as these could be adjusted for a given instrument or target signal.

In the Q transform, the templates are placed at fixed Q values, then frequencies are selected to satisfy a minimal match threshold. There is also a choice of times where the correlation should be estimated, also against a minimal match threshold. Finally, the maps of coefficients in $(time, frequency)$ are stacked and the events built by comparing values at different Q . Besides, the Q transform relies on an external whitening procedure instead of PSD normalization.

There has been no full comparison of the two methods. The template selection of the Q transform may be less sparse in the (f, Q) plane, while some loss in timing accuracy could be expected compared to EGC. Computational cost reduction was an argument for these choices.

III. MONTE CARLO PERFORMANCE STUDIES

Performance tests were carried out using typical testbed waveforms and Gaussian colored noise. The efficiency of the method is characterized by Receiver Operating Characteristics (ROC) curves, in which detection efficiency is plotted against false-alarm (FA) rate.

A. Data

Data from operating instruments do not follow a Gaussian distribution but, as the minimum hypothesis model, it is a necessary first step in the evaluation of analysis methods. The Gaussian noise series used here is a 24 hours stretch, whose power spectral density is the target Virgo sensitivity, including for large spectral lines due to the suspension system or mirror internal resonance modes that are distinctive features of Virgo.

Eight waveforms were used, covering different categories. There are six regular waveforms: two Gaussian signals, of characteristic duration (σ_t) of 1 and 4 milliseconds, and four Gaussian Cosine, of central frequency (f_0) 235 and 820 Hz, and quality factor ($Q = 2\pi f_0 \sigma_t$) 5 and 15. The last two signals are DFM A1B2G1 and DFM A2B4G1 from the catalog [5] selected to present very different characteristics.

Amplitudes for the injections are normalized in units of SNR, 5 and 10 here [26]. Each waveform was injected 6000 times [27].

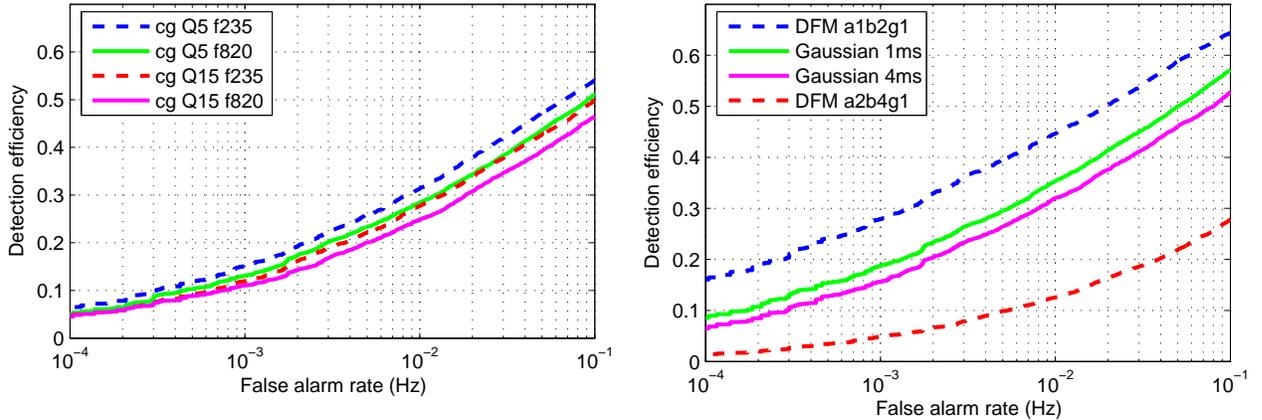


FIG. 7: EGC ROC curves for Gaussian Cosine (*left*) and Gaussian plus DFM (*right*) waveforms, injected with SNR 5.

B. Detection performances

For injections at SNR 10, detection efficiency reaches 100% at a false alarm rate of 10^{-4} Hz, except for DFM A2B4G1 (97%). We discuss hereafter results for SNR 5 injections.

The optimal behaviour of the filter is obtained, unsurprisingly, with the Gaussian Cosine

signals, as illustrated by the similarity of the ROC curves in fig. 7. The same similarity exists for the Gaussian waveforms, which implies that for low Q values the Cosine-Gaussian is a sufficient approximation of the Gaussian shape.

The two DFM waveforms are very different from the templates and from each other. This difference is observed in the output of the EGC filter, one waveform (A1B2G1) being very well extracted, the other (A2B4G1) much less. The highest detection efficiency is actually achieved for A1B2G1. The particular sharpness of the waveform, the choice of templates and the event selection steps likely contribute together to this enhancement.

C. Events characteristics analysis

Considering the distribution of event parameters (introduced in section IIC) helps to understand the behaviour of the filter. For the Central Frequency, Quality and Duration, average values and standard deviations are given in tab. I, along with expectations when meaningful for the waveforms.

1. Event frequency

The Gaussian Cosine provide a check on the possibility for frequency estimation. The small bias in the average estimate for the waveforms with quality factor 5, still compatible with the true value given the variance, disappears for $Q = 15$. It is introduced by the choice of templates and the natural limit on frequency resolution for shorter signals.

For A1B2G1, the large discrepancy between the frequency of the peak template in fig. 2 (713 Hz) and the event composite frequency in tab. I (593 Hz) suggests these estimations are not adequate. This is reasonable for signals with a large frequency bandwidth, like most waveforms from DFM. Still, A1B2G1 differs from the other selected waveforms by the narrowness of its single peak feature, that can only be properly matched by the few high frequency, low quality factor templates available, as illustrated in fig. 2. The performances for A1B2G1 cannot be directly compared to the available Gaussian waveforms, as its main peak is more than twice as narrow.

Gaussian Cos.	SNR 10		SNR 5	
	Av.	Var.	Av.	Var.
F = 235 (Hz)	237.6	7.8	237.0	27.3
Q = 5	5.1	1.2	5.1	2.4
$\sigma = 3.4$ (ms)	3.4	0.8	3.4	1.7
F = 820 (Hz)	792.0	22.2	807.8	49.6
Q = 5	5.3	1.0	5.4	2.2
$\sigma = 1.0$ (ms)	1.0	0.2	1.0	0.4
F = 235 (Hz)	232.5	3.3	234.0	14.1
Q = 15	14.1	1.7	13.0	3.5
$\sigma = 10.2$ (ms)	9.5	1.3	8.8	2.4
F = 820 (Hz)	824.9	9.4	821.1	20.3
Q = 15	15.3	2.3	13.7	3.5
$\sigma = 2.9$ (ms)	3.0	0.4	2.7	0.7

Waveforms	Parameters	SNR 10		SNR 5	
		Av.	Var.	Av.	Var.
DFM A1B2G1	F (Hz)	507.0	79.4	592.6	110.2
	Q	1.1	0.05	1.2	0.5
	σ (ms)	0.3	0.01	0.3	0.1
Gaussian	F (Hz)	141.6	19.0	144.7	43.3
	Q	1.3	0.02	1.3	0.2
	$\sigma = 1$ (ms)	1.6	0.3	1.6	0.6
Gaussian	F (Hz)	40.6	3.2	37.1	6.2
	Q	1.0	0.05	1.1	0.2
	$\sigma = 4$ (ms)	5.7	0.4	5.7	1.0
DFM A2B4G1	F (Hz)	73.8	14.6	76.4	45.8
	Q	1.3	0.1	1.3	0.3
	σ (ms)	3.4	0.5	3.4	1.0

TABLE I: Information (average value and standard deviation) for events associated to signal injections : Central Frequency, Quality factor and Duration. [28] For Gaussian and DFM waveforms, expectations are not given when a satisfying definition is not available.

2. Estimating event duration

Total event duration, whose distribution is shown in fig. 9 and characterized in tab. II, is consistently above the Gaussian width estimate given in table I, most clearly for DFM A1B2G1, with a factor 20 between the parameters at SNR 15, and 5.5 at SNR 5.

As expected, event duration increases with SNR. While at SNR 5 the ratio between Gaussian width and total duration varies between 2 and 3 for the other waveforms, they range between 3 and 8 at SNR 10. This comes from the shape of the templates : for a Gaussian-like signal, each extremum of the template will give an increased match, thus extending the time interval where the signal is actually detected. Besides, for the DFMs, total event duration is still below the real waveform duration, of the order of 0.01 and 0.1 seconds for A1B2G1 and A2B4G1. As for false alarm events, for the 10^{-2} Hz rate, 90 % of

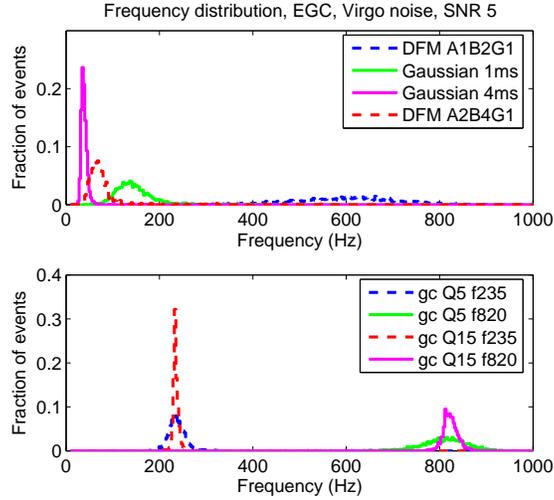


FIG. 8: Distributions of estimated frequency over events associated to signal injections (SNR 5).

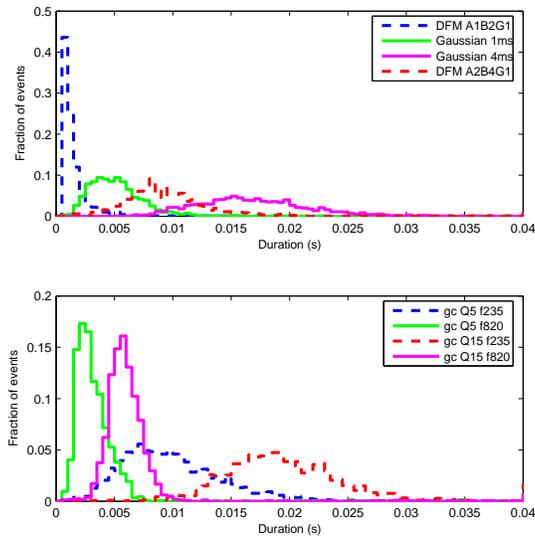


FIG. 9: Distributions of total event duration over events associated to signal injections (SNR 5).

them last less than 5.5 ms and 65 % less than 1 ms. The total event duration thus appears to contain little information on realistic events.

As no event lasted longer than 40 ms, the coincidence window (50 ms) does not affect the distributions.

Quality factor values (table I), when a reference is available, are accurate. For Gaussian Cosine Q15, the under-estimation of Q at lower SNR is reasonable considering that the tails

Gaussian Cos.	SNR 10		SNR 5		Waveforms	SNR 10		SNR 5	
	Av.	Var.	Av.	Var.		Av.	Var.	Av.	Var.
dt (ms)					dt (ms)				
F 235 Q 5	22.68	5.85	10.10	5.84	A1B2G1	6.03	5.04	1.65	3.90
F820 Q 5	7.28	4.55	3.60	5.15	G. 1 ms	12.92	5.14	5.45	4.94
F 235 Q 15	34.28	5.91	19.57	6.81	G. 4 ms	31.59	6.04	16.96	5.95
F 820 Q15	10.32	4.38	6.19	4.70	A2B4G1	18.67	8.66	9.39	5.29

TABLE II: EGC event duration (average value and standard deviation) for events associated to signal injections. [28]

of the waveform then disappear into the noise background.

3. Timing accuracy

Exploitation of GW candidates will strongly rely on timing for coincidence studies with other instruments. In a network of gravitational wave detectors, delays in arrival time translate in constraints on source direction. This principle is applied easily when possible differences of the GW measured by separate instruments, from polarization effects, are neglected. Coherent analysis combining the data from all detectors, as discussed for instance in [29], are an important alternative when polarization is considered.

Gaussian Cos.	SNR 10		SNR 5		Waveforms	SNR 10		SNR 5	
	Av.	Var.	Av.	Var.		Av.	Var.	Av.	Var.
δt (ms)					δt (ms)				
F 235 Q 5	0.019	0.55	0.009	1.16	A1B2G1	-0.001	0.03	-0.004	0.08
F820 Q 5	0.019	0.16	0.018	0.33	G. 1 ms	0.020	0.15	0.01	0.42
F 235 Q 15	0.004	1.64	-0.020	2.93	G. 4 ms	0.019	0.47	0.03	1.67
F 820 Q15	0.024	0.45	0.030	0.88	A2B4G1	-1.320	0.51	-1.29	1.20

TABLE III: Arrival time error (average value and standard deviation) for events associated to signal injections. [28]

For all waveforms, arrival time is defined here from the location of the maximum absolute amplitude. The distributions of arrival time error, shown in figure 10 and summarized in

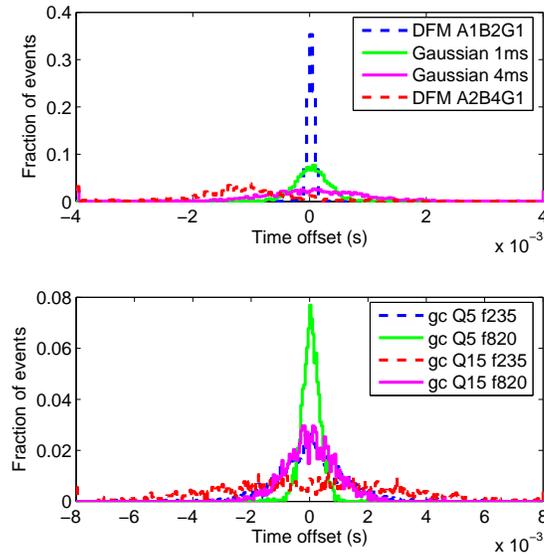


FIG. 10: Distributions of estimated arrival time error on recovered injections (SNR 5).

table III, have an average value of about a tenth of a millisecond and a standard deviation at least 20 times larger. This is to be compared to the sampling rate of the data (20 kHz or 0.05 ms) directly used in EGC. There is therefore no bias in the estimate, except for DFM A2B4G1. The delay for this waveform comes from a small asymmetry at the maximum of the main peak, visible in fig. 2, difficult to recover with symmetric templates.

The standard deviation is below the millisecond at SNR 10, except for Gaussian Cosine 235 Q 15, the longest duration waveform, and slightly above 1 ms at SNR 5 for the longer waveforms, the Gaussian Cosine at 235 Hz, Gaussian 4 ms and DFM A2B4G1. The spread for DFM A1B2G1 is the smallest, just as its main peak is the narrowest (less than a millisecond) of the testbed.

Shorter ($Q = 5$ compared to $Q = 15$) Gaussian-cosine are located in time with sharper distributions (fig. 10), but less so in frequency, as expected from the uncertainty relation for time-frequency transforms.

To translate these values into direction estimations, we refer to recent work [30] on source direction estimation from arrival times in a network of interferometer. It shows that these performances are not sufficient to guarantee an angular resolution of 1° over the sky (standard deviations below 0.1 ms would be required).

IV. CONCLUSION

Starting from the matched filtering technique, we developed the EGC algorithm for the extraction of impulsive gravitational wave signals. We have estimated its performances from simulations on Gaussian noise in terms of efficiency and timing accuracy. Elements of comparison of this algorithm with other burst detection methods can be found in [32] and [33]. These justify its use along with other filters.

Our simulations show that even for complex waveforms, arrival times are properly recovered. Frequency or, where applicable, quality factor estimates are consistent with injected parameters. Such characterization will hopefully contribute to the study of burst-like structures extracted from real data.

The template selection has a definitive influence on performances, so increasing the tiling parameter MM is an option, although it directly affects the computing cost. While the retained list gives satisfying results over the tested waveforms, dedicated searches focusing on some categories of signals, like the oscillating waveforms from [7] and [8], could use different template selection and thresholding rule, in exchange for reduced robustness to waveform type. However, the main goal of the event extraction process is to allow simple structures found in a signal to be grouped so that the whole waveform is detected. When successful, this allows EGC to detect any short waveforms where peaks, oscillations (within the range of the template bank) or a combination are prominent.

In the context of Virgo data analysis, the robustness offered by the matched filtering approach, useful to preserve most of the detection efficiency on real data in spite of difficult noise background is completed with the information extraction capabilities expected from time-frequency transforms. The EGC analysis method has contributed the commissioning of Virgo, by helping to identify instrumental noises, thus highlighting the interest of additional event descriptors, notably frequency, for physical interpretations. It is currently applied, in addition to several other methods, on the data collected during the first Virgo Scientific Run.

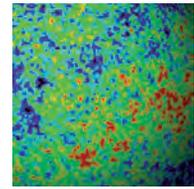
Acknowledgements

We wish to thank the Virgo Collaboration for providing with the SIESTA engine the 24 hours of simulated data used in this work for Monte Carlo studies, and the LIGO-Virgo joint analysis group, whose purpose and initial findings are discussed in [32], for a number of useful discussions. We are grateful for the comments by the anonymous referees.

-
- [1] <http://www.ligo.caltech.edu>
 - [2] <http://www.virgo.infn.it>
 - [3] M. Punturo, Virgo Note VIR-NOT-PER-1390-51 (2004).
 - [4] C.L. Frier and K.C.B. New in *Living Rev. Relativity*, **6**, (2003)
<http://www.livingreviews.org/lrr-2003-2>
 - [5] H. Dimmelmeier, J.A. Font & E. Müller, *A.A.***393**, 523 (2002)
 - [6] C. D. Ott *et al* , accepted in *Phys. Rev. Lett.***98**, 261101 (2007)
 - [7] M. Shibata & Y. Sekiguchi, *Phys. Rev.* **D71**, 024014 (2005)
 - [8] A. Burrows *et al* , *Astrophys. Jour.***640**, 878 (2006)
 - [9] E. Cappellaro *et al* , *A.A.***351**, 459 (1999)
 - [10] P. Flandrin, “Time-frequency / time-scale analysis” (Academic Press, 1999)
 - [11] W.G. Anderson *et al* , *Phys. Rev.* **D63**, 042003 (2001)
 - [12] S. Klimenko and G. Mitselmakher, *Class. Quantum Grav.***21**, S1819 (2004)
 - [13] G.M. Guidi *et al* , *Class. Quantum Grav.***21**, 5 (S815)2004
 - [14] S. Chatterji *et al* , *Class. Quantum Grav.***21**, S1809-S1818 (2004)
 - [15] C.W. Therrien, “Discrete random signals and statistical signal processing” (Prentice Hall, 1992).
 - [16] L.A. Wainstein and V.D. Zubakov, “Extraction of signal from noise” (Prentice-Hall, 1962).
 - [17] Y. Pan *et al* , *Phys. Rev.* **D69**, 10 (2004)
 - [18] R.C. Pinnegar and L. Mansinha, *Fluctuation and Noise Letters***3-3**, 357 (2003)
 - [19] For a flat PSD and a normalized Gaussian time series, choosing $Q = 1/2\pi$ (or $\sigma = 1/f_0$) gives the original S Transform.
 - [20] F. Acernese *et al* , *Class. Quantum Grav.***S197**, 23 (2006)

- [21] P.D. Welch, IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics**15**, 70 (1967)
- [22] $w(i) = \frac{1}{2}(1 - \cos(\frac{2\pi i}{N-1}))$, $i \in [0, N - 1]$
- [23] N. Arnaud *et al* , *Phys. Rev. D***67**, 102003 (2003)
- [24] J. Hoshel and R. Kopelman, *Phys. Rev. B***14**, 3438 (1976)
- [25] The original algorithm was modified to avoid storage of the output for all templates and completed by a border-bridging step, to merge clusters artificially split over several maps due to data segmentation.
- [26] For the PSD, a frequency resolution of $8 \cdot 10^{-2}$ Hz was used and it was averaged on 20 segments.
- [27] While this study aims at quantifying detection performance for a single event, the analyzed time series contains several, with an injection rate of 1/14 s. Tests showed however that at the selected SNR values, the multiplicity of events in the time series did not affect even a matched filter.
- [28] Estimations based on 6000 injected events, over 24 hours of data, with a false alarm rate of 10^{-2} Hz.
- [29] N. Arnaud *et al* , *Phys. Rev. D***68**, 102001 (2003)
- [30] F. Cavalier, *Phys. Rev. D***74**, 082004 (2006).
- [31] N. Arnaud *et al* , *Phys. Rev. D***67**, 062004 (2003)
- [32] F. Beauville *et al* , *J. Phys.***S32**, 212 (2006)
- [33] F. Beauville *et al* , submitted to *Class. Quantum Grav.*

Virgo et la quête des ondes gravitationnelles



Prédites théoriquement il y a cent ans dans le cadre de la Relativité Générale, les ondes gravitationnelles sont traquées depuis cinquante ans par les expérimentateurs. Ces infimes variations de la métrique de l'espace-temps sont produites par des événements astrophysiques cataclysmiques : effondrement d'étoile, formation de trou noir ou coalescence d'objets compacts. Ces ondes peuvent être directement détectées en utilisant un interféromètre de Michelson extrêmement sensible tels que LIGO et Virgo. Après 15 années de construction et de mise au point, ces détecteurs kilométriques ont atteint leur sensibilité nominale et délivré leurs premiers résultats astrophysiques. Les équipes impliquées mettent en œuvre la nouvelle génération, dix fois plus sensible, qui sera opérationnelle à l'horizon 2015 et qui devrait marquer le début de l'astronomie gravitationnelle.

Les ondes gravitationnelles

E instein « découvre » les ondes gravitationnelles dès 1916 en recherchant une solution aux équations de la Relativité Générale qu'il vient de publier. Pour ce faire, il linéarise ces équations en posant que la métrique de l'espace-temps est somme de celle de l'espace-temps vide (l'espace-temps de la Relativité Restreinte) et d'une petite perturbation. Cette petite perturbation de la métrique de l'espace-temps obéit alors à une équation de propagation tout à fait similaire à celle des ondes électromagnétiques dans le vide. Les ondes gravitationnelles sont nées. Dans le cadre de la Relativité Générale, une onde gravitationnelle est ainsi une perturbation de la métrique, c'est-à-dire un champ tensoriel de masse nulle qui se propage. Les propriétés fondamentales en découlent : la célérité de l'onde gravitationnelle est c et son hélicité est 2, montrant qu'il y a en général deux polarisations indépendantes. L'amplitude généralement notée h d'une onde gravitationnelle est une quantité sans dimension liée aux composantes du tenseur métrique associé. L'interprétation physique est indiquée plus bas. Enfin, on montre que le rayonnement gravitationnel est quadrupolaire à l'ordre le plus bas, alors que le rayonnement électromagnétique est dipolaire. Tout



Figure 1 – Vue aérienne du site de l'interféromètre Virgo à Cascina près de Pise.
© Virgo collaboration and EGO

objet possédant un moment quadrupolaire variable est donc une source potentielle d'ondes gravitationnelles. Malheureusement les ordres de grandeur sont désastreux, par exemple pour des sources au laboratoire, et empêchent toute réalisation d'une expérience de Hertz dans le domaine du rayonnement gravitationnel (voir *encadré 1*). En fait, seules des sources compactes (de dimensions comparables à leur rayon de Schwarzschild¹) et/ou relativistes (animées de vitesses caractéristiques proches de c)

1. Rayon d'un trou noir qui aurait la même masse que l'objet considéré.

Article proposé par :

Fabien Cavalier, cavalier@lal.in2p3.fr

Patrice Hello, hello@lal.in2p3.fr

Nicolas Leroy, leroy@lal.in2p3.fr

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, UMR 8607, CNRS / Univ. Paris-Sud 11, Orsay



Encadré 1

Puissances émises par différentes sources

Source	Distance	Amplitude h	P (W)
Cylindre d'acier, 500 tonnes, $\varnothing = 2$ m, $L = 20$ m, tournant à 5 tour/s perpendiculairement à l'axe du cylindre	1 m	2×10^{-34}	10^{-29}
Bombe H, 1 megatonne Asymétrie 10 %	10 km	2×10^{-39}	10^{-11}
Supernova de 10 masses solaires asymétrie 3 %	10 Mpc	10^{-21}	10^{44}
Coalescence de 2 trous noirs de 10 masses solaires chacun	10 Mpc	10^{-20}	10^{50}

sont susceptibles de rayonner une puissance dans le domaine gravitationnel suffisante pour être détectable sur Terre par un instrument tel que Virgo. C'est ce qu'indique la formule du quadrupôle d'Einstein où on fait apparaître l'asymétrie de la source ε , sa vitesse typique v , sa taille R et son rayon de Schwarzschild associé R_s . On a alors :

$$P \approx \frac{c^5}{G} \varepsilon^2 \left(\frac{v}{c} \right)^6 \left(\frac{R_s}{R} \right)^2 \approx (4 \times 10^{52} \text{ W}) \times \varepsilon^2 \left(\frac{v}{c} \right)^6 \left(\frac{R_s}{R} \right)^2$$

où G est la constante de Newton. Numériquement $c^5/G \sim 4 \times 10^{52} \text{ W}$ représente une puissance énorme. On constate donc qu'une bonne source d'ondes gravitationnelles doit être asymétrique, relativiste et compacte.

Les sources astrophysiques

Les sources potentielles pour Virgo impliquent donc essentiellement des astres compacts, étoiles à neutrons ou trous noirs.

Coalescence d'astres compacts

La source la plus importante, celle dont on pense qu'elle donnera lieu à la première détection, est le système double d'astres compacts. Un tel couple possède en effet un moment quadrupolaire variable et rayonne donc dans le domaine gravitationnel. Il perd ainsi de l'énergie et les deux astres se rapprochent l'un de l'autre. Se rapprochant, les deux étoiles perdent encore plus d'énergie et ainsi de suite jusqu'à la fusion finale des deux astres. Un détecteur terrestre comme Virgo avec une bande passante typiquement comprise entre quelques Hz et quelques kHz est alors susceptible de détecter les derniers instants du couple, c'est-à-dire les derniers cycles avant que les deux objets ne fusionnent en un trou noir unique.

On sait que de tels systèmes d'étoiles compactes existent. C'est d'ailleurs la découverte de l'un d'entre eux, le pulsar binaire PSR1913 + 16, par Hulse et Taylor (prix

Nobel 1993) qui a fourni la première preuve expérimentale de l'existence du rayonnement gravitationnel. Le système PSR1913 + 16 est un système de deux étoiles à neutrons dont l'une est un pulsar. En l'étudiant sur plus de 30 ans, on a pu suivre l'évolution de ses paramètres orbitaux. En particulier la diminution de la période liée à la perte d'énergie par émission d'ondes gravitationnelles est en accord remarquable avec la prédiction de la Relativité Générale.

Un détecteur tel que Virgo pourra alors observer les quelques minutes de la fin du pulsar binaire PSR1913 + 16 quand le signal émis rentrera dans sa bande passante ... dans quelques centaines de millions d'années.

Heureusement d'autres systèmes similaires ont été découverts depuis dans notre Galaxie permettant d'avoir une estimation raisonnable du taux d'événements attendus pour ce type de source. Ainsi pour les détecteurs de la prochaine génération, l'observation de coalescences d'astres compacts devrait être routinière.

Le signal d'onde gravitationnelle émis lors de la spirale des deux objets compacts est très bien modélisé car la structure interne des objets peut être négligée quasiment jusqu'à leur contact. C'est un « chirp », signal dont la fréquence et l'amplitude augmentent au cours du temps, selon des lois d'évolution dépendant des paramètres fondamentaux du système, telles que les masses des étoiles par exemple (figure 2). Le signal étant *a priori* connu, on peut alors utiliser des techniques éprouvées d'analyse du signal (« filtrage adapté ») pour faire ressortir le signal du bruit [voir L. Blanchet, Images de la Physique, 2005].

Supernovae

L'effondrement gravitationnel d'une étoile massive donnant naissance à une étoile à neutrons (supernova de type II) ou à un trou noir est aussi susceptible de produire des ondes gravitationnelles détectables. Les simulations réalistes et récentes indiquent cependant que la puissance rayonnée lors d'un effondrement stellaire reste limitée,

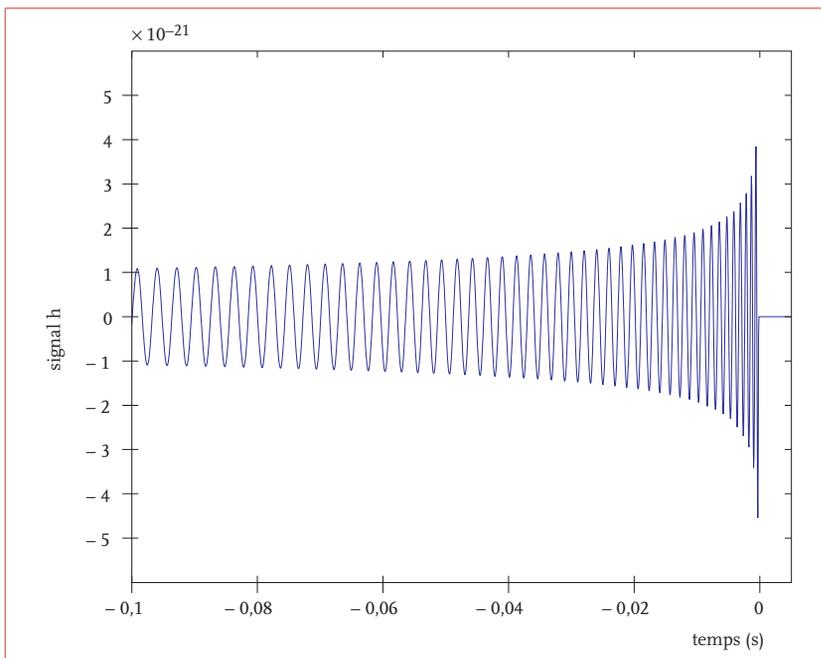


Figure 2 – Forme du signal d'onde gravitationnelle pour la fin de la coalescence de deux étoiles à neutrons. Le temps zéro correspond à l'instant du plongeon des deux astres pour n'en former qu'un seul. On observe une forme de « chirp » où la fréquence du signal augmente en même temps que l'amplitude.

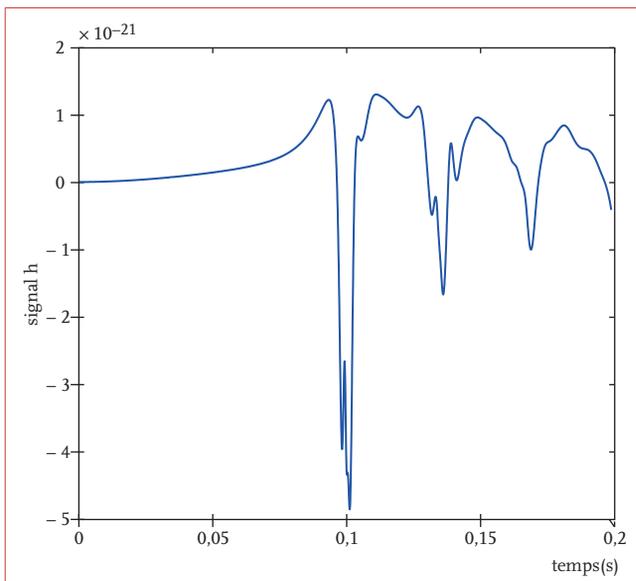


Figure 3 – Forme d'onde gravitationnelle pour une explosion de supernova provenant d'une simulation numérique. Les simulations donnent des formes d'ondes très variées mais on retrouve les mêmes caractéristiques avec un grand pic du fait de l'effondrement de l'étoile, suivi d'un ou plusieurs rebonds sur le noyau de matière nucléaire. D'après Dimmelmeier H., Font J.A. and Müller E., « Relativistic simulations of rotational core collapse. II. Collapse dynamics and gravitational radiation », *Astron. Astrophys.*, **393**, 523-542, (2002).

de sorte qu'un détecteur terrestre ne sera sensible, et sans doute à jamais, qu'à des supernovæ de notre propre Galaxie (quelques unes par siècle). Le signal attendu (*figure 3*) a une durée correspondant à la durée typique de l'effondrement, c'est-à-dire quelques millisecondes avec des amplitudes typiques $h \approx 10^{-21}$ pour des sources Galactiques. Il faut noter que la prédiction du signal émis est moins solide que celle qui concerne les spirales

d'étoiles compactes, la physique mise en jeu étant beaucoup plus complexe et seules les grandes lignes (durées typiques, pic de fréquence) sont à peu près certaines.

Autres types de sources

D'autres types de sources offrent des signatures d'onde gravitationnelle très différentes. Parmi celles-ci, les pulsars isolés peuvent émettre des ondes gravitationnelles de façon périodique s'ils sont déformés et possèdent ainsi un moment quadrupolaire variable à cause de leur rotation propre. Les déformations sont faibles, mais les sources potentielles étant continues, on a donc affaire à des signaux périodiques continus que l'on peut intégrer sur le temps nécessaire à leur détection. Si une recherche en aveugle est difficile et coûteuse en temps de calcul, il est beaucoup plus simple de s'intéresser à des pulsars connus comme celui du Crabe, dont la fréquence est suivie en permanence par les radiotélescopes. Enfin des fonds cosmologiques à l'origine de signaux

de type stochastique sont aussi prédits, signature de transitions de phase de l'Univers primordial ou signaux émis par des cordes cosmiques par exemple. Ce type de source donne un signal aléatoire dans un détecteur, qui apparaît donc comme un bruit supplémentaire et il faut donc corréler les sorties d'au moins deux détecteurs pour mettre en évidence un tel signal.

Le principe de Virgo

Une onde gravitationnelle est une perturbation de la métrique qui se propage à la vitesse de la lumière. L'effet physique associé est donc une variation de la mesure de la distance L entre deux masses test lors du passage d'une onde gravitationnelle. La variation relative maximale de distance est alors reliée à l'amplitude de l'onde gravitationnelle h par $\delta L / L = h / 2$. L'effet est de plus différentiel, car si les longueurs semblent s'allonger dans une direction, elles semblent rétrécir dans la direction perpendiculaire.

L'interféromètre de Michelson éclairé par une source laser stable de longueur d'onde λ est alors tout indiqué : il mesure la différence de phase de la lumière qui a suivi deux trajets orthogonaux selon les deux « bras » de longueur L de l'interféromètre. Ce déphasage est lui-même relié à la différence de chemin optique qui est justement l'effet induit par l'éventuel passage d'une onde gravitationnelle. Ce déphasage s'écrit

$$\delta\phi = \frac{4\pi L}{\lambda} h$$

et il est donc directement proportionnel à l'amplitude h de l'onde gravitationnelle. Une mesure interféro-



métrique de cette amplitude h est donc *a priori* possible. Pour atteindre une sensibilité qui permette de détecter une supernova galactique par exemple ($h \approx 10^{-21}$) il faut cependant quelques raffinements. En effet, le bruit de comptage de photons limite la sensibilité en phase (en l'absence d'autres bruits) comme dans toute expérience d'optique. La densité spectrale d'amplitude du bruit de phase ne dépend que des propriétés de la source laser (puissance P et pulsation ω)

$$\delta\tilde{\phi} = \sqrt{\frac{\hbar\omega}{P}}$$

Ce qui se traduit par une sensibilité en amplitude d'onde gravitationnelle

$$\tilde{h}_{\text{BruitPhoton}} = \frac{\lambda}{4\pi L} \sqrt{\frac{\hbar\omega}{P}}$$

Le premier paramètre sur lequel on peut jouer pour améliorer la sensibilité est donc la longueur des bras L . Virgo a ainsi des bras de 3 kilomètres dans lesquels la lumière est de plus « repliée » à l'aide de cavités Fabry-Perot de finesse modérée (de l'ordre de 50) ; les photons y parcourent alors un chemin optique de l'ordre de la centaine de kilomètres. De plus, une valeur élevée de L permet de diminuer l'influence des bruits de mesure (bruit sismique ou bruit thermique par exemple).

Un second facteur d'amélioration est lié à la puissance lumineuse P qui arrive sur la lame séparatrice de l'interféromètre. On montre que le maximum de sensibilité est atteint quand l'interféromètre est réglé sur une frange sombre et donc, l'essentiel de la lumière incidente est réfléchi vers la source laser. L'interféromètre est alors vu du point de vue de la source laser comme un miroir presque parfaitement réfléchissant. Une astuce consiste alors à placer un miroir, dit « miroir de recyclage », partiellement transparent à l'entrée de l'interféromètre de façon à former une nouvelle cavité Fabry-Perot, constituée du miroir de recyclage et du miroir composite formé par le reste de l'interféromètre. On obtient ainsi, à résonance, un gain d'intensité circulant dans l'interféromètre. La séparatrice est alors éclairée par un faisceau de puissance supérieure à la puissance délivrée par le laser source. Le schéma optique est alors complètement établi (figure 4) et le bruit de photons de l'expérience est totalement fixé par les caractéristiques de la source laser (longueur d'onde et puissance incidente) et de l'interféromètre « amélioré », longueur des bras, finesse des grandes cavités, réflexion du miroir de recyclage et pertes optiques.

Mais le bruit de photon n'est pas la seule source de bruit et n'est en fait pas la source dominante dans la partie de la bande passante la plus intéressante du point de vue

astrophysique, c'est-à-dire plutôt en deçà du kHz. Pour s'affranchir autant que possible du bruit sismique, les miroirs (les masses-test de l'expérience) sont suspendus à une chaîne d'atténuateurs sismiques de fréquence de résonance les plus basses possibles, exploitant le fait que des résonateurs mécaniques sont des filtres passe-bas. Une fois filtré, le bruit sismique impose la limite basse de la bande passante d'un détecteur terrestre, à savoir quelques Hz pour Virgo.

Les bruits qui interviennent ensuite sont les bruits thermiques associés aux degrés de liberté mécaniques des miroirs suspendus : les fils de suspensions ainsi que les miroirs sont des oscillateurs mécaniques qui sont excités par le mouvement brownien dû à la température. De manière imagée, on peut se figurer les miroirs comme des tambours dont la surface vibre à cause de la température. C'est le bruit thermique pendulaire qui domine à basse fréquence, au-delà de la coupure due au bruit sismique (quelques Hz) et jusqu'à quelques dizaines de Hz, puis le bruit thermique des miroirs prend le relais aux fréquences intermédiaires, jusqu'à quelques centaines de Hz, et enfin le bruit de photon domine à haute fréquence, au-delà du kHz.

La courbe de sensibilité de Virgo, essentiellement enveloppe de tous ces bruits, est représentée sur la figure 5 accompagnée des sensibilités des interféromètres LIGO situés à Hanford (état de Washington) et Livingston (Louisiane).

Les premiers résultats

Les détecteurs LIGO et Virgo ont achevé leur première prise de données commune à l'automne 2007. Les interféromètres de LIGO ont en fait accumulé des données pendant deux ans et Virgo a rejoint le réseau en mai 2007. L'analyse des premiers résultats et la publication

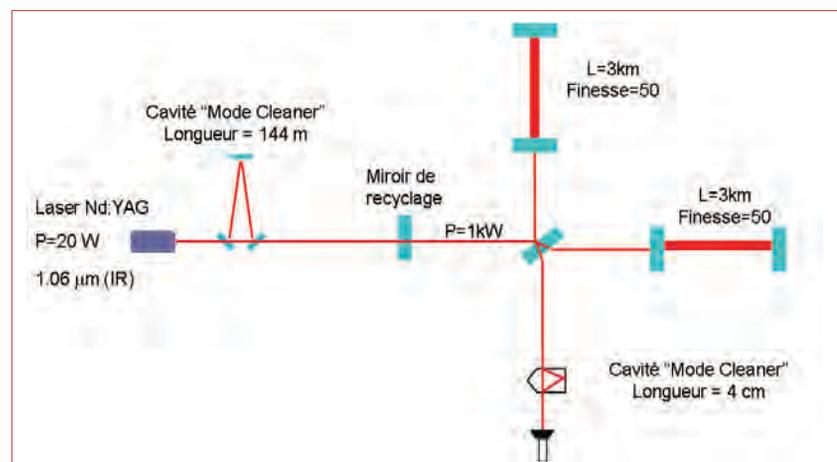


Figure 4 – Le schéma optique de Virgo. Les bras de l'interféromètre sont constitués de cavités Fabry-Perot de longueur 3 km et de finesse de l'ordre de 50. Le miroir de recyclage sert à augmenter la puissance circulant dans l'interféromètre. Les cavités « mode-cleaner » servent principalement à filtrer le faisceau laser et éliminer les « mauvais » modes. La source laser est continue et peut délivrer 20 W dans le proche infrarouge.

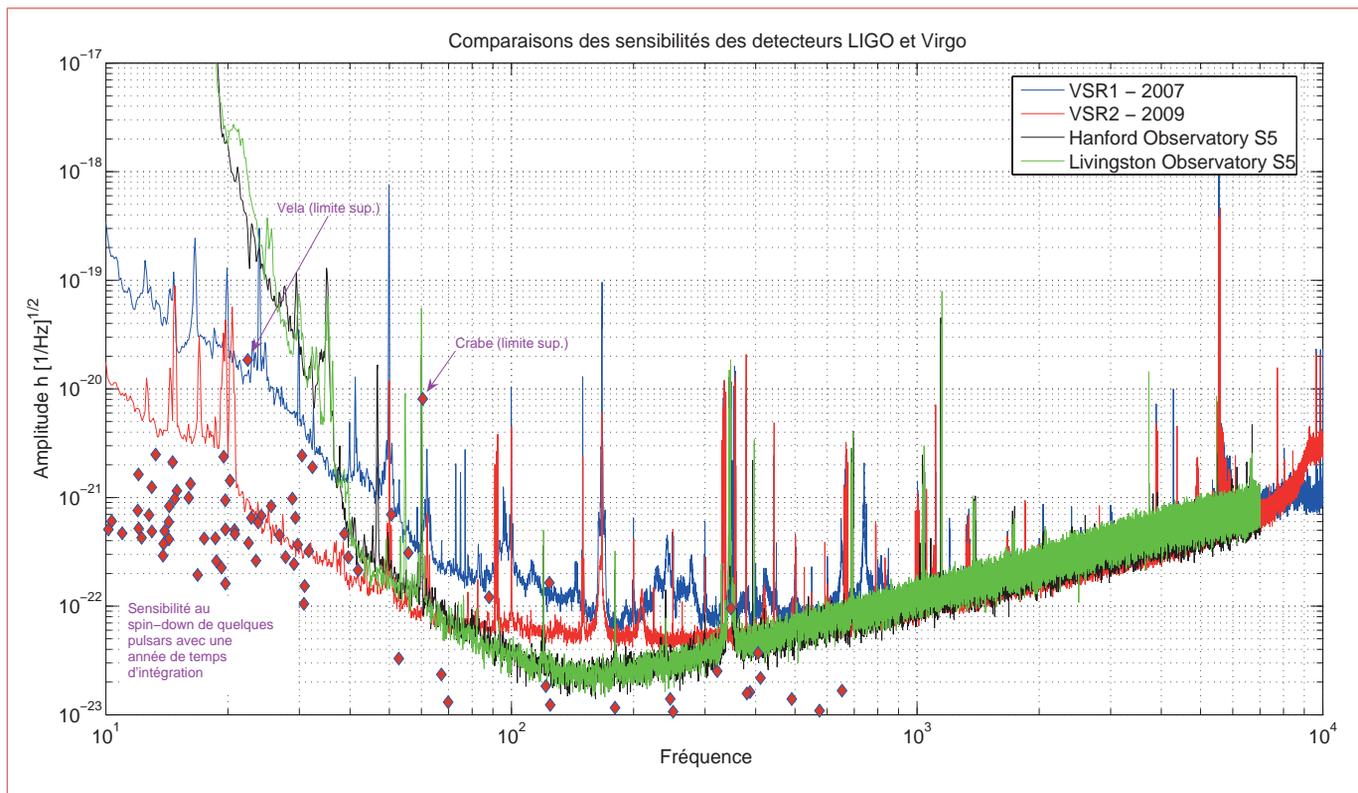


Figure 5 – Sensibilité mesurée des interféromètres Virgo (pendant les campagnes VSR1 et VSR2) et LIGO (Livingston et Hanford pendant la campagne S5 en 2007) lors des récentes prises de données. Le bruit sismique limite la sensibilité de Virgo en deçà de quelques Hz et n'apparaît donc pas sur la figure. On a ajouté le signal maximum attendu pour certains pulsars à rotation rapide comme le pulsar du Crabé (fréquence d'émission attendue ~ 60 Hz) ou le pulsar Vela (fréquence un peu supérieure à 20 Hz).

des plus importants a pris presque 2 ans et, à l'été 2010, le travail d'analyse n'est pas encore totalement achevé. Malheureusement aucun événement significatif n'a été mis en évidence. Cependant certaines analyses, notamment celles qui concernent les sources périodiques (pulsars) ou le fond stochastique, commencent à apporter des contraintes pertinentes pour l'astrophysique ou la cosmologie.

Pulsars

La recherche d'ondes gravitationnelles périodiques émises par des pulsars connus a permis de placer des limites supérieures compétitives sur les amplitudes. Pour la première fois ces limites sont en effet inférieures au signal maximum possible, ce qu'on appelle la « spin-down limit », signal maximum calculé en attribuant entièrement le ralentissement observé de la rotation du pulsar à l'émission de rayonnement gravitationnel. La figure 6 montre le résultat obtenu par LIGO entre autres sur le pulsar du Crabé (fréquence d'émission gravitationnelle ~ 60 Hz). On voit que les caractéristiques physiques du pulsar, son ellipticité et son moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation, commencent ainsi à être contraintes par les détecteurs d'ondes gravitationnelles. D'autres pulsars de basse fréquence sont sur le point d'être sondés par Virgo (seul appareil possédant la sensibilité adéquate à basse fréquence) comme le pulsar Vela.

Fond cosmologique

Un autre résultat intéressant concerne le fond cosmologique d'ondes gravitationnelles qui peut être mis en évidence en corrélant plusieurs détecteurs indépendants. L'absence de signature d'onde gravitationnelle se traduit par une limite supérieure sur la densité d'énergie d'un fond stochastique d'ondes gravitationnelles (normalisée par la densité critique²) de l'ordre de $\Omega \approx 6,9 \times 10^{-6}$ aux alentours de 100 Hz, c'est-à-dire au pic de sensibilité des interféromètres.

Cette mesure directe améliore en fait les limites indirectes obtenues *via* l'étude de la nucléosynthèse primordiale et par l'étude du fond cosmologique à 3K. Sur la figure 7 on voit que la limite actuelle permet déjà d'exclure certains modèles cosmologiques (« pre-big-bang » sur la figure). Les résultats attendus avec les détecteurs de seconde génération (AdvLIGO sur la figure) seront plus contraignants et permettront de s'attaquer aux modèles cosmologiques à base de cordes cosmiques par exemple.

Coalescence d'astres compacts

En ce qui concerne les coalescences de binaires, la recherche a été là aussi infructueuse. L'espace des

2. Densité pour un univers plat.

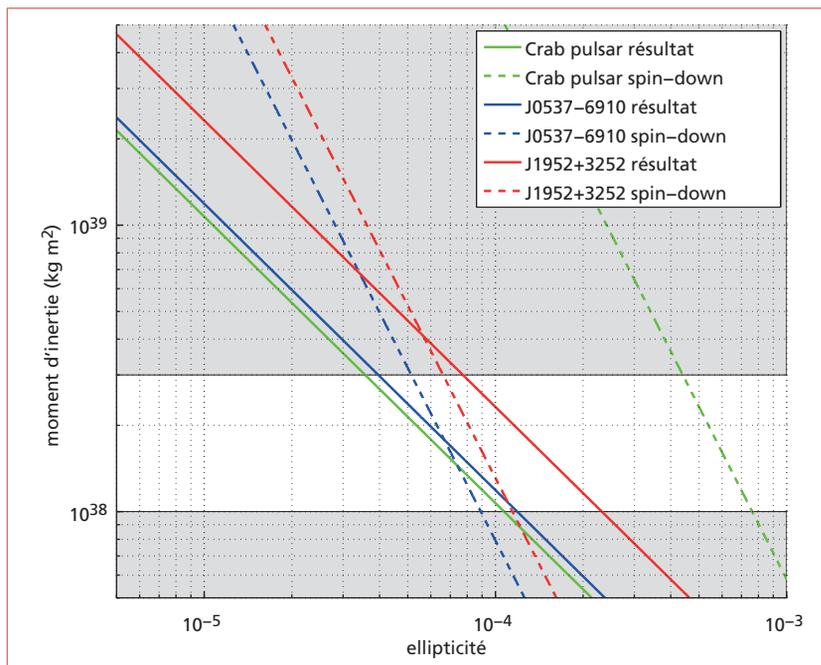


Figure 6 – Comparaisons entre les limites supérieures de la recherche d’ondes gravitationnelles pour 3 pulsars et la « spin-down limit ». La bande blanche correspond aux moments d’inertie les plus probables pour des étoiles à neutrons. La « spin-down limit » pour le Crabe est nettement battue (d’après LIGO Scientific Collaboration, Searches for gravitational waves from known pulsars with S5 LIGO data, paru dans *The Astrophysical Journal*, vol. 713, p. 671-685, 2010).

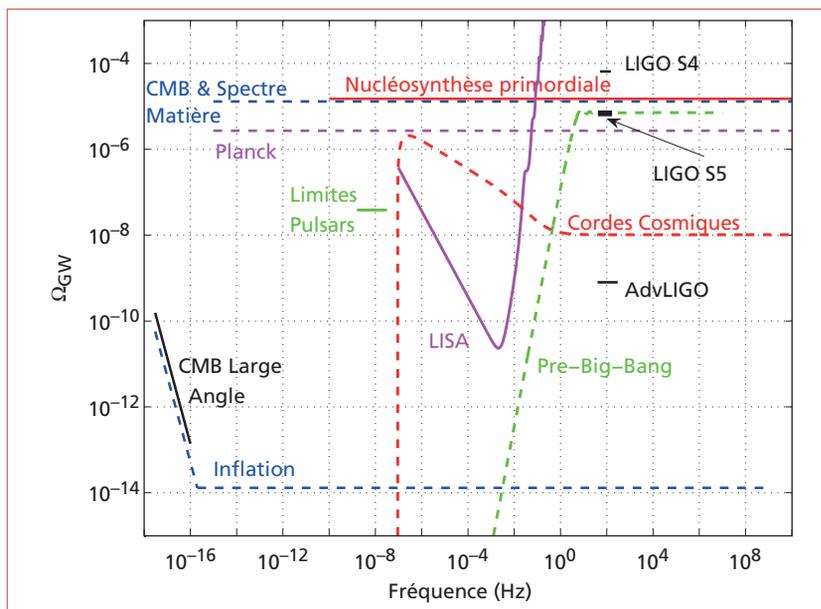


Figure 7 – Limite supérieure obtenue par les détecteurs LIGO sur le fond stochastique d’ondes gravitationnelles ainsi que les limites obtenues avec l’étude du fond diffus cosmologique. Les limites attendues avec la prochaine génération de détecteur et le futur détecteur spatial LISA sont également représentées. Ces limites sont comparées aux différents modèles d’émission de ce fond stochastique (d’après LIGO&Virgo coll., An upper limit on the stochastic gravitational-wave background of cosmological origin, *Nature* 460, 990-994 (2009)).

paramètres (les deux masses des astres en jeu) a été divisé en 3 catégories correspondant aux couples d’étoiles à neutrons, aux couples de trous noirs et aux couples formés d’une étoile à neutrons et d’un trou noir. L’absence de détection par LIGO et Virgo, pour des distances comprises entre 10 Mpc pour des couples d’étoiles à neutrons et

150 Mpc pour des trous noirs, se traduit par des limites supérieures sur les taux de tels événements. On obtient ainsi un taux d’événement maximal $R = 8,7 \times 10^{-3} \text{an}^{-1} L_{10}^{-1}$ pour les systèmes d’étoiles à neutron, $R = 4,4 \times 10^{-4} \text{an}^{-1} L_{10}^{-1}$ pour les trous noirs binaires et $R = 2,2 \times 10^{-3} \text{an}^{-1} L_{10}^{-1}$ pour les couples d’étoile à neutrons et trou noir, où L_{10} désigne 10^{10} fois la luminosité solaire dans le bleu (le taux de coalescences de binaires étant supposé proportionnel à cette quantité qui représente la luminosité typique d’une galaxie spirale). Les limites supérieures sont encore d’un ordre de grandeur supérieure aux prédictions astrophysiques optimistes. Cependant avec les détecteurs de seconde génération (Advanced LIGO et Advanced Virgo, voir ci-dessous) la sensibilité fera un bond d’un ordre de grandeur ce qui se traduira par un volume d’univers observable mille fois plus grand (les détecteurs étant sensibles à l’amplitude h et h étant proportionnel à $1/r$) et donc un taux d’événements également 1 000 fois supérieur. De marginale pour les détecteurs actuels LIGO et Virgo, la probabilité de détection d’une coalescence de binaires compactes deviendra presque certaine avec les détecteurs avancés.

Sources impulsives

En ce qui concerne la dernière catégorie de sources potentielles d’ondes gravitationnelles, les sources donnant des signaux brefs, ou « bursts », les résultats de LIGO et Virgo sont moins spectaculaires. Là encore, il n’y a eu aucune détection et l’analyse fournit des limites supérieures au taux d’événements et à leurs amplitudes caractéristiques pour différents signaux testés, comme montré sur la figure 8. La limite sur le taux d’événements dépend du temps d’observation alors que la sensibilité de l’analyse fixe les amplitudes caractéristiques maximales mesurables. Pour l’analyse commune LIGO/Virgo des prises de données des campagnes S5 et VSR1 entre 2005 et 2007, la sensibilité descend sous les $10^{-21} / \sqrt{\text{Hz}}$ pour des signaux de quelques centaines de Hz, et la limite sur le taux d’événements de « bursts » d’onde gravitationnelle est de l’ordre de 2 par an.

Suivis d’événements astrophysiques

La recherche d’ondes gravitationnelles peut être facilitée par l’utilisation d’informations collectées par d’autres observatoires (ondes électromagnétiques, neutrinos...).

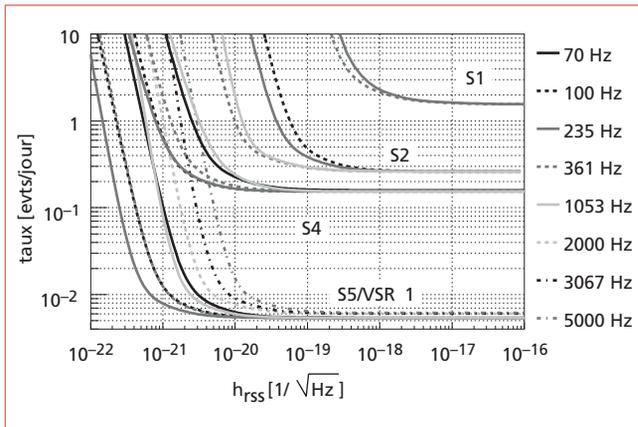


Figure 8 – Limites supérieures sur le taux de sources impulsives en fonction de l'amplitude possible (h_{rss}) pour des événements d'onde gravitationnelle et pour différents types de signaux, lors des campagnes d'observations des collaborations LIGO et Virgo.

La recherche associée aux sursauts gamma (GRB) en est une très bonne illustration. Le moteur central de ces phénomènes reste encore inconnu et deux scénarii probables sont la coalescence d'astres compacts ou l'effondrement d'une étoile massive en trou noir (hypernova). Ainsi l'utilisation des données provenant des observatoires gravitationnels permet d'ajouter des contraintes sur les modèles d'émission de ces objets comme dans le cas du GRB 070201. Cet événement a eu lieu dans la direction de la galaxie M31 (galaxie Andromède, située à 0,77 Mpc) pendant une prise de données des interféromètres LIGO. L'absence de détection a permis d'exclure la coalescence de binaires dans M31, ce qui implique qu'un autre scénario est à l'œuvre pour le cœur du sursaut ou encore que cet événement s'est déroulé dans une autre galaxie plus lointaine située sur la ligne de visée de M31.

La prochaine génération

Quelle science accessible avec la prochaine génération ?

Comme nous avons pu le voir précédemment, les interféromètres en cours de fonctionnement n'ont pas encore détecté directement le passage des ondes gravitationnelles. Si les sources n'ont pas été au rendez-vous pour l'instant, il convient de souligner que ces instruments, qui représentaient un immense défi lors de leur approbation dans les années 90, ont atteint les sensibilités prévues. Ils restent la meilleure stratégie disponible pour détecter les ondes gravitationnelles dans un avenir proche. Le plan (ambitieux) consiste à améliorer la sensibilité de ces instruments d'un facteur 10 sur l'ensemble de la bande de fréquence à l'horizon 2015 (voir *figure 9*).

Quand une telle sensibilité sera atteinte, les coalescences d'étoiles binaires seront visibles jusqu'à une distance de 140 Mpc et celles de trous noirs jusqu'à 1 Gpc. Avec de telles performances, plusieurs événements sont attendus chaque année même dans les scénarii les plus défavorables. Au-delà de la détection directe des ondes gravitationnelles, l'observation de tels phénomènes pourra avoir de nombreuses retombées astrophysiques : modèles de formation stellaire, équation d'état de la matière nucléaire ou observation directe de trous noirs. D'autre part, les coalescences de systèmes binaires constitueront un nouveau type de chandelle standard qui permettra d'estimer les paramètres cosmologiques.

En ce qui concerne les étoiles à neutrons en rotation, on pense que la « spin-down limit » d'une quarantaine de pulsars sera dépassée en un an d'observation et les limites sur l'ellipticité des pulsars atteindront alors 10^{-5} - 10^{-4} .

Même si la détection des supernovae restera limitée à la Galaxie et donc avec un taux faible, une telle mise en évidence permettra de mieux comprendre le mécanisme de l'explosion et une détection en coïncidence avec les détecteurs de neutrino conduira à des limites intéressantes sur la masse des neutrinos. D'autres sources impulsives telles que les « soft gamma repeaters (SGR) » devraient être détectables. Enfin, l'association avec les sursauts gamma (GRB) continuera à être étudiée activement.

Finalement, l'étude du fond stochastique d'ondes gravitationnelles conduira à de meilleures contraintes sur les modèles cosmologiques comme montré sur la *figure 7*.

Nous avons déjà mentionné l'intérêt de la détection en coïncidence avec les détecteurs de neutrinos. Cette approche dite multi-messagers est déjà en œuvre aujourd'hui avec l'utilisation de radiotélescopes pour les

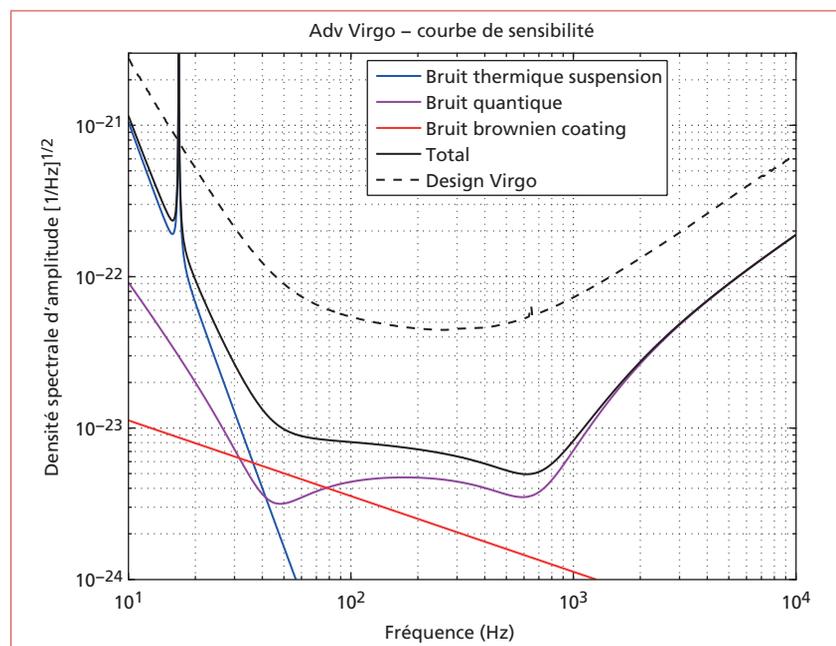


Figure 9 – Sensibilité prévue pour Advanced Virgo comparée à la courbe du design de Virgo.



pulsars, les télescopes optiques ou satellites X et γ pour la recherche de contreparties (signal optique par exemple « vu » en coïncidence avec le signal d'onde gravitationnelle). En premier lieu, une détection en coïncidence permettra bien évidemment de renforcer la confiance dans la première détection directe des ondes gravitationnelles. Ensuite, elle nous donnera des informations supplémentaires sur les mécanismes physiques mis en œuvre.

Comment modifier les instruments ?

Si le potentiel de physique pour la nouvelle génération est très prometteur, atteindre la sensibilité requise reste néanmoins un vrai défi scientifique qui implique la maîtrise de nombreuses technologies : laser, traitement de surfaces, vide, physique des matériaux, contrôle de cavités optiques suspendues. Tout d'abord, la configuration optique sera encore complexifiée avec l'ajout d'un nouveau miroir dit de « recyclage du signal » entre la séparatrice et le système de détection. Ce miroir permet de réduire le bruit de photon dans une région donnée du spectre, région qui dépend de la position et des paramètres optiques du miroir. La puissance de la source laser augmentera de 10 à 125 W et les contraintes sur la stabilité en puissance, fréquence et alignement demandent la mise en œuvre de nombreuses boucles de rétroaction. Les qualités des miroirs sont, elles aussi, poussées aux limites : rugosité inférieure à l'Angström, planéité définie au nanomètre. Le système de suspension des miroirs ne devrait être que faiblement modifié car l'atténuation du bruit sismique obtenue pour Virgo est suffisante pour Advanced Virgo. Cependant, afin de réduire le bruit thermique, les miroirs ne seront plus soutenus par des fils d'acier mais suspendus par des fibres de silice directement soudées aux miroirs. Ces suspensions, dites monolithiques, sont actuellement testées dans Virgo et devraient donc être bien maîtrisées pour Advanced Virgo. La liste des modifications apportées à Virgo est trop longue pour être dressée ici mais on peut affirmer aujourd'hui qu'aucune ne semble particulièrement risquée au vu de l'expérience acquise dans la collaboration dans les années passées à construire et mettre au point Virgo.

Afin d'être opérationnel en 2015, le détecteur Virgo sera arrêté mi-2011 après une dernière prise de données qui pourrait se révéler très intéressante pour la recherche de sources périodiques de type pulsar. Suivront ensuite la désinstallation de Virgo et la modification des infrastructures pour pouvoir accueillir dès 2013 les nouveaux composants nécessaires à Advanced Virgo.

Conclusion

La détection directe des ondes gravitationnelles est un long chemin qui devrait s'achever d'ici la fin de cette décennie. La première génération de détecteurs a atteint la sensibilité prévue lors de son lancement et la mise au point, qui s'est étendue sur plusieurs années, a représenté

un vrai défi scientifique. Même si la première détection se fait toujours attendre, la sensibilité actuelle permet d'obtenir des contraintes astrophysiquement pertinentes dans de nombreux domaines : pulsars, sursauts gamma ou modèles cosmologiques.

Les succès récoltés durant cette période ont permis l'approbation d'une nouvelle génération de détecteurs qui seront dix fois plus sensibles et qui devraient conduire de manière quasi-certaine à la première détection des ondes gravitationnelles. En coïncidence avec d'autres messages astrophysiques, il sera alors possible de mieux comprendre ces phénomènes cataclysmiques de l'Univers à l'origine des ondes gravitationnelles.

Encadré 2

Le laser de Virgo

La source laser utilisée par Virgo doit obéir à un cahier des charges complexe. On demande une source continue de puissance délivrant une dizaine de Watts tout en étant ultra-stable en fréquence, en puissance et en pointé. Deux lasers sont utilisés à cette fin, l'un délivre la puissance et l'autre est stabilisé en fréquence. La lumière du laser stabilisé est injectée dans le laser de puissance et lui confère sa stabilité (deux oscillateurs couplés et de fréquences proches peuvent en effet se synchroniser). La stabilisation en fréquence se fait en particulier grâce à une cavité rigide, fabriquée dans un matériau de faible coefficient de dilatation thermique (ULE) (voir [figure 10](#)). Cette cavité fournit en effet un étalon de longueur stable et donc une référence de fréquence. Le laser est asservi sur cette cavité et sa fréquence « suit » alors les fluctuations de longueur de la cavité rigide. Enfin, la technologie choisie pour les lasers est la technologie infrarouge (1,064 μm), éprouvée depuis au moins deux décennies.

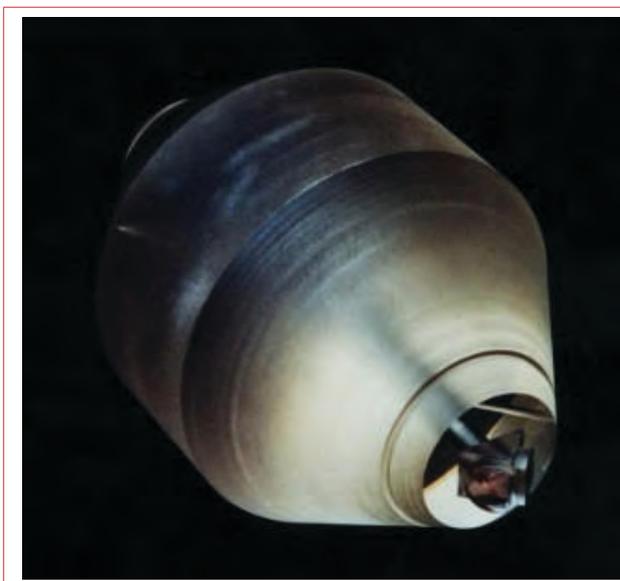


Figure 10 – Cavité de référence utilisée pour la stabilisation en fréquence de la source laser de Virgo. © OCA-Artemis

All papers

Go!

Quantum Physics

Constructor Theory of Information

[David Deutsch](#), [Chiara Marletto](#)

(Submitted on 21 May 2014 ([v1](#)), last revised 14 Jul 2014 (this version, [v2](#)))

We present a theory of information expressed solely in terms of which transformations of physical systems are possible and which are impossible - i.e. in constructor-theoretic terms. Although it includes conjectured laws of physics that are directly about information, independently of the details of particular physical instantiations, it does not regard information as an a priori mathematical or logical concept, but as something whose nature and properties are determined by the laws of physics alone. It does not suffer from the circularity at the foundations of existing information theory (namely that information and distinguishability are each defined in terms of the other). It explains the relationship between classical and quantum information, and reveals the single, constructor-theoretic property underlying the most distinctive phenomena associated with the latter, including the lack of in-principle distinguishability of some states, the impossibility of cloning, the existence of pairs of variables that cannot simultaneously have sharp values, the fact that measurement processes can be both deterministic and unpredictable, the irreducible perturbation caused by measurement, and entanglement (locally inaccessible information).

Subjects: **Quantum Physics (quant-ph)**

Cite as: [arXiv:1405.5563](#) [quant-ph]

(or [arXiv:1405.5563v2](#) [quant-ph] for this version)

Submission history

From: David Deutsch [[view email](#)]

[\[v1\]](#) Wed, 21 May 2014 21:51:34 GMT (3179kb)

[\[v2\]](#) Mon, 14 Jul 2014 11:26:30 GMT (3358kb)

[Which authors of this paper are endorsers?](#) | [Disable MathJax](#) ([What is MathJax?](#))

Link back to: [arXiv](#), [form interface](#), [contact](#).

All papers

Go!

Astrophysics > Astrophysics of Galaxies

Cosmic Structure as the Quantum Interference of a Coherent Dark Wave

Hsi-Yu Schive, Tzihong Chiueh, Tom Broadhurst

(Submitted on 25 Jun 2014)

The conventional cold, particle interpretation of dark matter (CDM) still lacks laboratory support and struggles with the basic properties of common dwarf galaxies, which have surprisingly uniform central masses and shallow density profiles. In contrast, galaxies predicted by CDM extend to much lower masses, with steeper, singular profiles. This tension motivates cold, wavelike dark matter (ψ DM) composed of a non-relativistic Bose-Einstein condensate, so the uncertainty principle counters gravity below a Jeans scale. Here we achieve the first cosmological simulations of this quantum state at unprecedentedly high resolution capable of resolving dwarf galaxies, with only one free parameter, \mathbf{mB} , the boson mass. We demonstrate the large scale structure of this ψ DM simulation is indistinguishable from CDM, as desired, but differs radically inside galaxies. Connected filaments and collapsed haloes form a large interference network, with gravitationally self-bound solitonic cores inside every galaxy surrounded by extended haloes of fluctuating density granules. These results allow us to determine $\mathbf{mB}=(8.1+1.6-1.7)\times 10^{-23} \text{ eV}$ using stellar phase-space distributions in dwarf spheroidal galaxies. Denser, more massive solitons are predicted for Milky Way sized galaxies, providing a substantial seed to help explain early spheroid formation. Suppression of small structures means the onset of galaxy formation for ψ DM is substantially delayed relative to CDM, appearing at $\mathbf{z}\lesssim 13$ in our simulations.

Comments: 14 pages, 8 figures. Pre-submission version. Final version has appeared in Nature Physics ([this http URL](#))

Subjects: **Astrophysics of Galaxies (astro-ph.GA)**; Cosmology and Nongalactic Astrophysics (astro-ph.CO)

DOI: [10.1038/nphys2996](https://doi.org/10.1038/nphys2996)

Cite as: [arXiv:1406.6586](#) [astro-ph.GA]

(or [arXiv:1406.6586v1](#) [astro-ph.GA] for this version)

Submission history

From: Hsi-Yu Schive [[view email](#)]

[v1] Wed, 25 Jun 2014 14:37:53 GMT (2177kb)

[Which authors of this paper are endorsers?](#) | [Disable MathJax](#) ([What is MathJax?](#))

Link back to: [arXiv](#), [form interface](#), [contact](#).

All papers

Go!

)



Constructor Theory of Life

[Chiara Marletto](#)

(Submitted on 1 Jul 2014 (this version), **latest version 4 Nov 2014 (v2)**)

Neo-Darwinian evolution theory explains how organisms with their appearance of purposive design came into existence without being designed. The centrepiece of the explanation is a physical object, the gene, and the processes it undergoes: mainly, replication and natural selection. The compatibility of that theory with the laws of physics has been challenged, by claims that self-reproduction of living cells, essential to gene replication, is incompatible with quantum theory. Wigner, notably, argued that it would require design-bearing laws of physics. Here I show that self-reproduction is compatible with no-design laws of physics, in particular with quantum theory, by expressing self-reproduction, replication and the appearance of design clearly within physics, using the recently proposed constructor theory. I also show that aside from sufficient resources such as time and energy, the only requirement on the laws of physics for evolution to be possible is that they permit digital information.

Subjects: **Biological Physics** ([physics.bio-ph](#)); Quantum Physics ([quant-ph](#))

Cite as: [arXiv:1407.0681](#) [[physics.bio-ph](#)]

(or [arXiv:1407.0681v1](#) [[physics.bio-ph](#)] for this version)

Submission history

From: Chiara Marletto [[view email](#)]

[v1] Tue, 1 Jul 2014 16:22:46 GMT (172kb,D)

[v2] Tue, 4 Nov 2014 17:38:12 GMT (177kb,D)

[Which authors of this paper are endorsers?](#) | [Disable MathJax](#) ([What is MathJax?](#))

Link back to: [arXiv](#), [form interface](#), [contact](#).